



**NANO AKIŞKANLI BİR BENZİNLİ MOTOR
RADYATÖRÜNÜN PERFORMANSI**

Aziz ZENGİN

Yüksek Lisans Tezi

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ESEN

EYLÜL-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO AKIŞKANLI BİR BENZİNLİ MOTOR RADYATÖRÜNÜN
PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aziz ZENGİN
(121136101)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği
Programı: Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Bilim Dalı

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.08.2016

EYLÜL - 2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO AKIŞKANLI BİR BENZİNLİ MOTOR RADYATÖRÜNÜN
PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aziz ZENGİN

(121136101)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Programı: Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Bilim Dalı

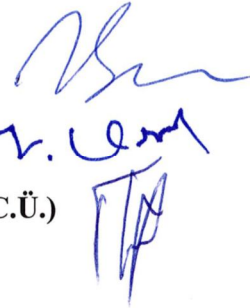
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.08.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.09.2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Tahsin YÜKSEL (C.Ü.)



EYLÜL - 2016

ÖNSÖZ

Bilimsel hazırlık sınıfı dâhil olmak üzere üç yılı aşkın bir süredir devam eden yüksek lisans ve proje çalışmalarım süresince, maddi ve manevi desteklerini üzerimden esirgemeyen kurum ve kişiler sayesinde, yüksek lisans tezimi en iyi şekilde neticelendirmeye gayret ettim.

Bu tez çalışmasında, yüksek lisans tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ESEN'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışmam süresince laboratuvar desteği yönünden yardımlarını esirgemeyen ve muhtelif zamanlarda esnek çalışma yapabilme konusunda yol gösterici olan Otomotiv Mühendisliği bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Yasin VAROL ile bölüm öğretim üyelerinden Doç. Dr. Cengiz ÖNER hocama,

Yüksek lisans çalışmalarım süresince bana her konuda destek olan; görev yapmış olduğum İnönü Üniversitesi Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Ergun EKİNCİ'ye ve bölüm başkanım Sayın Öğr. Grv. Suat DİKİLİTAŞ'a,

Deneysel çalışmalar sürecinde, bizlere sıcak ve samimi yaklaşımıyla yol gösteren Arş. Grv. Mert GÜRTÜRK'e,

Deney aşamasında elektronik bir arıza sonucu benzinli motora ait enjektörlerin yakıt püskürtmemesinden dolayı, ihtiyacımız doğrultusunda bizleri kırmayarak laboratuvarımıza kadar gelen, diagnostik destek vererek benzinli motorun yeniden çalışmasını sağlayan değerli arkadaşım Ford Özel Servis Teknisyeni Gökhan BAŞARAN'a,

TEKF.15.10 Nolu projeye olan desteklerinden dolayı, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi çalışanlarına,

Bugünlere gelmemde şüphesiz birçok emeği olan, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, bu süreçte sevgi ve sabrını benden esirgemeyen ailem, eşim, çocuklarım ve de emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Aziz ZENGİN
Elazığ – 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Sisteminin Yapısı	7
1.1.1. Görevleri ve Çeşitleri	7
1.1.2. Hava ile Soğutma Sistemi	7
1.1.3. Sıvı ile Soğutma Sistemi	9
1.4. İçten Yanmalı Benzinli Motorlarda Isı Transferinin Önemi	11
1.4.1. Benzinli Bir Motorda Yanma Olayı ve Isı Üretimi	11
1.4.2. Benzinli Bir Motorda Yanmanın Aşamaları	13
1.4.2.1. Tutuşma Gecikmesi	13
1.4.2.2. Kontrolsüz Yanma	13
1.4.2.3. Alevin Yayılması	13
1.5. Benzinli Motor Soğutma Suyu Radyatöründe Isı Transferini Artırma Yöntemleri	14
1.5.1. Yüksek Isı İletim Katsayısına Sahip Malzeme Kullanımı	14
1.5.2. Isı Transfer Yüzey Alanının Artırılması	16
1.5.3. Fan Yardımıyla Emilen Havanın Radyatör Yüzeyinden Geçirilmesi	18
1.5.4. Soğutma Suyuna Nano Bileşik Katılması	19
2. MATERYAL ve METOT	20
2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	20
2.2. Motor ile Birlikte Deney Setinin Hazırlanması	22
2.3. Çalışır Durumdaki Motordan Ölçümlerin Yapılması	30
2.3.1. Musluk Suyu ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	35
2.3.2. Antifrizli Su ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	35
2.3.3. SiO ₂ Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	36

2.3.4.	Al_2O_3 Nanobileşigi ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	37
2.3.5.	TiO_2 Nanobileşigi ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	39
2.3.6.	Fe_3O_4 Nanobileşigi ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması	40
2.3.7.	ZnO Nanobileşigi ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması.....	42
2.3.8.	ZrO_2 Nanobileşigi ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması.....	43
3.	BULGULAR.....	46
3.1.	Musluk Suyu Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	46
3.2.	Antifrizli Su Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	48
3.3.	SiO_2 Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	51
3.4.	Al_2O_3 Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	52
3.5.	TiO_2 Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	54
3.6.	Fe_3O_4 Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	55
3.7.	ZnO Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	57
3.8.	ZrO_2 Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	58
4.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	60
5.	ÖNERİLER.....	64
	KAYNAKLAR.....	65
	ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Endüstrinin her alanında kullanılan ısı değıştircilerde, enerji ekonomisi açısından ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar önem arz etmektedir. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar genel olarak “pasif”, “aktif” ve “karma” yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Pasif yöntemler, dış güç kullanılmasını gerektirmeyen yöntemlerdir. Dönmeli akış cihazları, pürüzlü yüzeyler, borunun içine yerleştirilen iyileştirme elemanları vs. pasif yöntemlere örnek olarak verilebilir. Aktif yöntemler, dış güç kaynağının kullanılmasını gerektiren yöntemlerdir ve mekanik karıştırıcılar, akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, elektrostatik alanlar vs. bu yöntemler arasında sayılabilir. Karma yöntemlerde ise aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır.

Konvansiyonel ısı değıştircilerinde ısı transferi performansları düşük olan su, motor yağı ve etilen glikol gibi ısı transferi akışkanları kullanılmaktadır. Ancak sıvı fazındaki bu akışkanların ısı transferi kabiliyetleri çok iyi düzeyde değildir. Bu nedenle son yıllarda nano teknolojinin de gelişmesi ile birlikte, ısı transfer performansları yüksek olan ve mikron boyutunda üretilebilen nano partiküller sayesinde, nano akışkanlar elde edilmeye başlanmıştır. Elde edilen bu nano akışkanlar, soğutucu akışkan olarak birçok uygulama ve bilimsel çalışmada kullanılmış, netice olarak ısı transferini artırmada daha etkili oldukları tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında; Al_2O_3 , Fe_3O_4 , ZnO , ZrO_2 , SiO_2 , ve TiO_2 gibi nano bileşikler ile suyun birbirine karıştırılmasından elde edilen nano akışkanlar; dört zamanlı ve dört silindirli içten yanmalı benzinli bir motorun soğutma sisteminde ayrı ayrı soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. Motor soğutma sistemine ait radyatör fanı çalıştığı zamanlarda, her bir nano akışkanın ısı transferi üzerine olan katkısı ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, denenen nano akışkanların su ve antifrizli suya göre daha iyi bir düzeyde ısı transferine etki ettikleri tespit edilmiştir. Ancak, suda çözünmeyen ve zamanla çökelmeye maruz kalan mevcut nano akışkanların bu yönü itibariyle önem arz eden bir dezavantaja sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Benzinli motor, nano akışkan, motor soğutma sistemi, radyatör.

SUMMARY

The Performance of a Gasoline Engine Radiator Nanofluids

The study of improving temperature transfer becomes more important in energy economy point of view, when temperature change in any field of an industry. The improvements of temperature transfers are categorized as “passive”, “active”, and “mixed”. The passive methods are used when there is no need for an external force. Rotary fluid devices, rough surfaces, elements of improvements in pipes etc. are among the examples of passive methods. The active methods are used when there is a need for an external force and mechanic mixers, fluids vibration, surface vibration, electrostatic fields etc. are among the examples of active methods. For the mixed methods, two or more of active and passive methods are used together.

Low performance of temperature transfer fluids like water, engine oil, and ethylene glycol are used for the conventional temperature changers. However, the ability of temperature transfer of these fluids is not at an optimal level as they are all in liquid phase. Therefore, in the recent years with the improvements in nano technology, nano fluids with the high performance temperature transfer are manufactured with the help of nano particles in micron dimensions. These nano fluids are used in many scientific studies and applications as coolant fluids, as a result, they have been proven to be effective in improving temperature transfer.

In this thesis, nano fluids, derived from mixing water and nano compounds like Al_2O_3 , Fe_3O_4 , ZnO , ZrO_2 , SiO_2 , and TiO_2 , are used as coolant fluid in four-stroke and four-cylinder internal combustion gasoline engine system. When radiator fan in engine coolant system is on, the contribution to temperature transfer has been measured for each and every nano fluid. In the light of the performed experiments, nano fluids that are experimented with are found to perform far better than antifreeze-water and water in temperature transfer. However, it has been observed that current nano fluids are non-soluble in water and they leave sediments in time, which is an important disadvantage of nano fluids.

Key words: Gasoline engines, nono-fluids, engine coolant system, radiator.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 1.1.	İçten yanmalı motorlarda sıvı akışkanlı soğutma sistemi.....	3
Şekil 1.2.	Hava soğutmalı motosiklet motoru	8
Şekil 1.3.	Sıvı ile soğutmalı motorun genel yapısı	9
Şekil 1.4.	Soğutma sistemi kısımları.....	9
Şekil 1.5.	Pompa soğutma sisteminin kısımları.....	11
Şekil 1.6.	Endüksiyon bobini	12
Şekil 1.7.	Ateşleme bujisi.....	23
Şekil 1.8.	Otomobil radyatörü üzerine monte edilmiş kanatçıklar	17
Şekil 1.9.	Radyatör fanı.....	18
Şekil 2.1	Deneyde kullanılan benzinli motora ait fabrika tip etiketi	21
Şekil 2.2.	Deney yapılacak ortamın genel bir görüntüsü	22
Şekil 2.3.	Deney motoruna ait olan radyatör muhafaza ızgaraları.....	23
Şekil 2.4.	Temsili olarak radyatör yüzeyine termokuplların monte edilmiş biçimi.....	23
Şekil 2.5.	Gerçekte radyatör yüzeyine termokuplların monte edilmiş biçimi.....	24
Şekil 2.6.	Deneylerde kullanılan Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının görüntüsü	25
Şekil 2.7.	Türbin debimetrenin, su sayacı giriş-çıkış elemanlarına entegre edilmesi.....	25
Şekil 2.8.	Türbin debimetrenin akış metre kontrol cihazına bağlanması.....	26
Şekil 2.9.	Testo 510 basınç ölçer cihazının genel görüntüsü	26
Şekil 2.10.	Testo 510 basınçölçer cihazının bağlantı şekli	27
Şekil 2.11	DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçer cihazının genel görüntüsü.....	27
Şekil 2.12.	DT 186 Anemometre cihazının uygulamadaki görüntüsü.....	28
Şekil 2.13.	Radwag AS 220/C/2 hassas terazi.....	28
Şekil 2.14.	Deney motorunun genel görüntüsü	29
Şekil 2.15.	Deney motoruna ait gösterge panelinin genel görüntüsü	29
Şekil 2.16.	Deney motoruna ait motor işletim sistemi(ECU).....	32
Şekil 2.17.	DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçüm grafiği (Maksimum 8,99 m/s).....	32

Şekil 2.18	TESTO 510 basınçölçer ekran görüntüsü.....	34
Şekil 2.19.	SiO ₂ Nano bileşiği	37
Şekil 2.20.	Al ₂ O ₃ Nano bileşiği	38
Şekil 2.21.	TiO ₂ Nano bileşiği	40
Şekil 2.22.	Fe ₃ O ₄ Nano bileşiği	41
Şekil 2.23.	ZnO Nano bileşiği.....	43
Şekil 2.24.	ZrO ₂ Nano bileşiği.....	44
Şekil 3.1.	Musluk suyunun zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği	48
Şekil 3.2.	Antifrizli suyun zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği.....	50
Şekil 3.3.	SiO ₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği.....	51
Şekil 3.4.	Al ₂ O ₃ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği	53
Şekil 3.5.	TiO ₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği.....	54
Şekil 3.6.	Fe ₃ O ₄ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği	56
Şekil 3.7.	ZnO Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği	57
Şekil 3.8.	ZrO ₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği.....	59

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.1.	Normal şartlar altında bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları.....	16
Tablo 2.1.	Deneyde kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri.....	20
Tablo 2.2.	Deneyde kullanılan nano bileşikler ile diğ er sarf malzemeler ve kullanım amaçları.....	21
Tablo 2.3.	Deneyin gerçekleştirildiğ i ortam ve diğ er koşullar	31
Tablo 2.4.	DT 186 Anemometre tarafından ölçülen ve fan tarafından üflen en havanın hız ı.....	33
Tablo 2.5.	SiO ₂ bileşiğ inin özellikleri	36
Tablo 2.6.	Al ₂ O ₃ bileşiğ inin özellikleri	38
Tablo 2.7.	TiO ₂ bileşiğ inin özellikleri	39
Tablo 2.8.	Fe ₃ O ₄ bileşiğ inin özellikleri	41
Tablo 2.9.	ZnO bileşiğ inin özellikleri	42
Tablo 2.10.	ZrO ₂ bileşiğ inin özellikleri.....	44
Tablo 3.1.	Suyun 0°C - 100°C arasındaki termo fiziksel özellikleri	47
Tablo 3.2.	Antifrizin özellikleri	49
Tablo 4.1.	Deneysel çalış malar a ait sonuçların karşı laşt ırılması.....	61
Tablo 4.2.	Deneysel çalış malar a ait sonuçların karşı laşt ırılması.....	61

SEMBOLLER LİSTESİ

d	: Yoğunluk (g/cm^3)
dT	: İki yüzey arasındaki sıcaklık farkı (K)
dx	: İki yüzey arasındaki mesafe (m)
h	: Isı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
K	: Mutlak sıcaklık (Kelvin)
m	: Kütle (kg)
Pa	: Basınç (Pascal)
q"	: Bölgesel ısı akısı (W/m^2)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
t	: Zaman (s)
T_∞	: Çevre(Akışkan) sıcaklığı (K)
T_s	: Yüzey sıcaklığı (K)
$\dot{v}$	: Debi (cm^3/s)
v	: Hacim (m^3)
V	: Hız (m/s)
W	: Enerji/Isı geçişi (J/s)

KISALTMALAR LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
AÖN	: Alt Ölü Nokta
Au	: Altın
CH	: Channel
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
Cu	: Bakır
CuO	: Bakır oksit
d/dk	: Devir/dakika
ECU	: Electronic Control Unit
EFI	: Electronic Fuel Injection
EGR	: Egzoz Gazları Resirkülasyonu
Fe₃O₄	: Demir oksit
GDI	: Gasoline Direct Injection
H/Y	: Hava/Yakıt oranı
HC	: Hidrokarbon
LPG	: Likit Petrol Gazı
MPI	: Multi Point Injection
nm	: Nanometre
Nm	: Newton metre
NO_x	: Azot oksit
PVC	: Polivinil klorür
SiO₂	: Silisyum dioksit
SPI	: Single Point Injection
TiO₂	: Titanyum dioksit
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ZnO	: Çinko oksit
ZrO₂	: Zirkonyum dioksit

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun rakamsal olarak geldiği düzey dikkate alındığında insanların ihtiyaçlarının karşılanması hususunda teknolojinin ve sanayinin ulaştığı son nokta, maalesef bir takım olumsuz sonuçları da beraberinde getirmektedir. Örneğin doğada çözünmeyen evsel veya teknolojik atıklar, dijital ve optik esaslı üretilmiş olan telefon, televizyon, radyo, telsiz, görüntüleme cihazları gibi ürünlerin yaydığı radyasyonlar, sanayi kökenli baca dumanları ile bu fabrikalardan çıkan kimyasal atıklar, kozmetik ürünleri ve motorlu taşıtların egzozundan yayılan emisyonlar, her geçen gün çevreyi daha da kirletmektedir.

Çevre kirliliğine yol açan her etmen aynı zamanda dünyayı kuşatan atmosfer tabakasında sera gazı etkisi oluşturmakta ve bunun sonucunda da insan, hayvan ve bitki sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca güneşin zararlı ışınlarını adeta filtreleyen ozon tabakası da bu anlamda zarar görmektedir.

Hem canlıların daha sağlıklı bir ortamda yaşamasını temin etmek, hem de ozon tabakasının daha fazla zarar görmesini engellemek adına bütün dünya ülkelerinin çevre ile ilgili bakanlıkları ve Dünya Çevre Örgütü gibi kuruluşlar; günümüzde çevreyi tehdit eden sorunlara karşı mücadele etmektedirler. Çöp toplama, kullanılabilir veya dönüştürülebilir atıkların geri kazanımı gibi çeşitli yöntemler ile ağaçlandırma gibi sosyal sorumluluk projelerinin yanı sıra, yasal düzenlemeler sayesinde de ayrıca çevrenin korunması hedeflenmektedir.

İstatistiksel verilere bakıldığında, dünya nüfusunun artışına paralel olarak motorlu taşıtların sayısında da ciddi artışlar görülmektedir. Örneğin 2016 yılının ikinci çeyreğinde, ülkemizde trafiğe kayıtlı olan araç sayısı yaklaşık olarak 20.300.000 adet civarındadır. Yine aynı dönemde ülkemiz nüfusunun yaklaşık 78.800.000 kişi olduğu dikkate alınırsa; ortalama olarak her 3.9 kişiye 1 adet motorlu taşıt denk gelmektedir.

Ortaya çıkan bu rakamsal veriler, ülkemizde yaşayan nüfusun; motorlu taşıtların sayısına bağlı olarak bu taşıtlardan yayılan zararlı emisyonlara aslında ne kadar maruz kaldığını göstermektedir. Kaldı ki diğer dünya ülkelerinde de durum bundan farklı değildir. İşte bu bilinçle hareket eden otomotiv üretici firmalar, çevreyi korumak adına her geçen gün daha iyi sonuçlar ortaya koymak için, üretmiş oldukları araçların tahrik ve/veya güç sistemlerinde iyileştirmeler yapmaktadırlar.

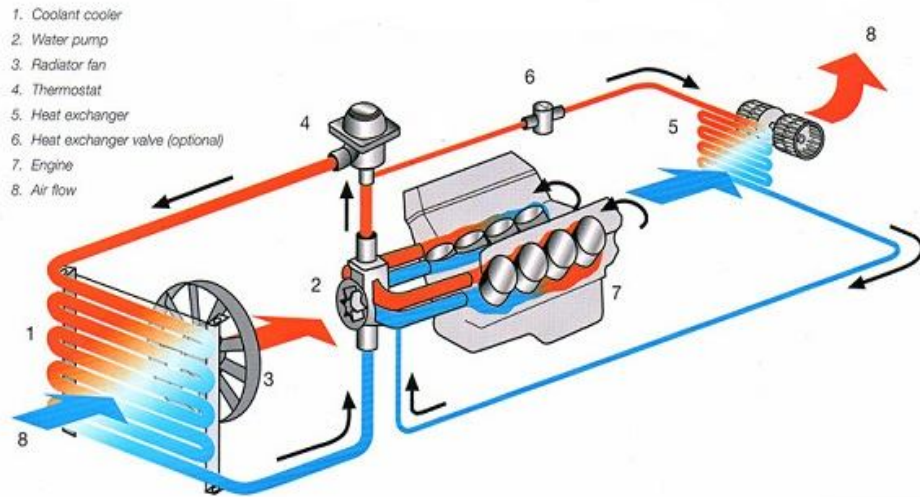
Fosil bir yakıt olan petrolün, dünya üzerindeki mevcut rezervlerinin belli bir zaman sonra motorlu taşıtlara yeteri kadar yakıtı sağlayamayacak duruma geleceğini ön gören bilim adamlarından gelen bilgiler doğrultusunda, otomotiv üretici firmaların Ar-Ge departmanları ve bu departmanlarda görev üstlenen mühendisler daha az yakıt tüketimi ile daha çok güç üreten motorlar geliştirmektedirler. Neredeyse teknolojinin tüm imkânlarının seferber edildiği bu merkezlerde;

- Elektronik Kontrollü Dolaylı Yakıt Püskürtme Sistemleri,
- Elektronik Kontrollü Direkt Yakıt Püskürtme Sistemleri,
- Egzoz Gazları Resirkülasyonu Uygulamaları (EGR),
- Katalitik Konvektör ve Lambda Sensörü Uygulamaları,
- Hassas Çalışan Piezoelektrikli Yakıt Püskürtme Enjektörleri,
- Ultra Kalitede Süzme Yapan Yakıt ve Hava Filtreleri,
- Akıllı Silindir Yönetim Sistemleri,
- Start – Stop Sistemleri,
- Kayıpsız Güç ve Hareket İleten Yeni Nesil Otomatik Şanzımanlar,
- Fren Enerjisi Geri Kazanımı Sistemleri,
- Hafifletilmiş Şasi ve Gövde Tasarımları,
- Aerodinamik Açıdan Geliştirilmiş Kaporta Tasarımları
- Çok Valfli Silindir Kapağı Tasarımları,
- Düşük Hacimli Motorlardan Yüksek Güç Üreten Turbo Uygulamaları
- Değişken Subap Zamanlama Sistemleri,
- Değişken Geometrilili Turboşarj Sistemleri

gibi konularda çalışmalar yapılarak, mümkün olduğunca performanstan ödün vermeden daha az yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak daha az egzoz emisyon salınımı sayesinde çevreci motorlar geliştirilmektedir. Hatta bu ve buna benzer çalışmaların yanı sıra, artık yollarda da görmeye başladığımız hibrid araçlar ya da tamamen elektrik enerjisi ile çalışan otomobiller, çevreci araçlar olarak kendini göstermektedirler.

Yine dizel motorlarında uygulanan Euro II, Euro III, Euro IV, ve Euro V gibi normlar da, bu motorların daha az çevreyi kirlettiğini ifade etmektedir. Yukarıda bahsedilen çalışmaların dışında son yıllarda dikkati çeken konulardan biri de nano boyuttaki parçacıkların yeteneklerinden faydalananarak farklı sektörlerde ve otomotiv alanında daha etkin ve daha verimli sonuçlar alınmaya çalışılmasıdır.

Bilindiği üzere, bir motorlu taşıtın gövde ağırlığı ne kadar fazla olursa o gövdeyi hareket ettirmeye yarayan tahrik/güç sistemi de o kadar güçlü olmalıdır. Fazla güç üretmek ise çeşitli iyileştirmelerin yanı sıra daha fazla yakıt tüketimi ile mümkün olmaktadır. Bu da otomatikman daha fazla çevre kirliliği anlamına gelmektedir. İşte bunun önüne geçmek adına hafifletilmiş gövde ve şasi tasarımlarının yanında motor gibi büyük kütleli parçaların da küçültülmesi daha düşük yakıt tüketimi konusunda olumlu sonuçlar doğuracaktır. Bir taşıtın motorunun silindir sayısı ve silindir hacmi bakımından küçültülmesi, hafif alaşımlı malzemelerin kullanılması sonucu, doğal olarak motorun kütle ağırlığının azaltılması anlamına gelmektedir. Her ne kadar motorun ağırlığı azaltılmış olsa da bilinen gerçek şudur ki, içten yanmalı bir benzinli motorun silindir içerisinde ürettiği ısının transfer edilmesi için etkin bir soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Bu da beraberinde belli bir miktardaki soğutma suyunun varlığı anlamına gelmektedir. Bununla da sınırlı kalmayıp bu soğutma suyunu motor bloğu içerisindeki silindir gömlekleri etrafında dolaştıran su dolaşım kanallarına, suyu taşıyan borulara, sistemdeki yeteri kadar suyu muhafaza eden depoya, sudaki ısının atılmasını sağlayan radyatöre ve ısının birim zamanda radyatörden daha çabuk atılmasına destek olan radyatör fanına ihtiyaç vardır. Şekil 1.1’ de içten yanmalı benzinli bir motora sahip soğutma sistemi görülmektedir.



Şekil 1.1. İçten yanmalı motorlarda sıvı akışkanlı soğutma sistemi

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere bu parçaların ve soğutma sıvısının varlığı, bir motorlu taşıt için ek ağırlık anlamına gelmektedir.

Durum böyle olunca da akla gelen ilk şey, mevcut bir soğutma sisteminin yapısında küçültme yoluna gidilerek bu ek ağırlıkların biraz daha azaltılmasıdır. Bu ise bilinen koşullar dışında daha etkin bir ısı transferinin gerçekleşmesi ile ancak mümkün görünmektedir. Kaldı ki bu hususta yapılacak başarılı bir çalışmanın sonucunda motora ait kütle ağırlıklarının azaltılmış olması doğal olarak aracın genel anlamdaki ağırlığında bir azalmaya neden olacağından, bu durum yakıt tüketimini düşüreceği gibi, çevreye atılan egzoz salınımlarını da azaltacaktır. Bu da hem canlılar için daha sağlıklı bir çevre hem de bütçe giderlerinin azalması hususunda artı bir katma değer anlamına gelmektedir.

Son yıllarda yapılan akademik ve bilimsel çalışmalarda, sıvı akışkanlı alt yapıya sahip mevcut bir soğutma sisteminde, soğutma sıvısına göre ısı iletim katsayısı yüksek olan çeşitli yapıdaki nano parçacıkların soğutma sıvısına ilave edilerek ısı iletimine katkıda bulunduğu, birim zamanda transfer edilen ısı miktarının arttığı ve bunun sonucunda daha etkin bir soğutma elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında özellikle su ile kimyasal tepkimeye girmeyen, suda çözünmeyen, oksitlenme gibi olumsuz etkiler üretmeyen Al_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO , ZnO , ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 gibi nano bileşikler, bu tezin dayanak noktasını oluşturan deneylerde kullanılmak suretiyle ısı transferinin daha etkin bir düzeye getirilmesi ve mukayese edilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan literatür taramalarında, nano akışkanların motor soğutma sistemindeki suya kıyasla daha iyi termofiziksel özelliklere sahip oldukları ve ısı transferinde daha etkili sonuçlar verdikleri tespit edilmiştir.

Şahin vd. [1] ısı değiştiricilerinde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı iletkenliklerini artırmak için, nano yapıdaki katı partiküller ile süspansiyonlar oluşturmuşlardır.

Wang vd. [2] çalışmalarında, nano boyuttaki katı partiküllerin ısı değiştiricilerinde zamanla çökme, tortulaşma ve aşınma gibi sorunlar nedeniyle, ısı değiştiricilerinde basınç düşümünün ortaya çıktığını tespit etmişlerdir.

Duangthongsuk vd. [3] çalışmalarında, çok küçük boyuttaki (16-60 nm) nano partiküller ile hassas bir şekilde oluşturulan nano akışkanların, iki fazlı katı-sıvı karışımından çok, tek fazlı akışkan gibi davrandığını tespit etmişlerdir.

Jung vd. [4] yaptıkları çalışmada, kare kesitli mikro kanallarda 170 nm çapında Al_2O_3 partiküllü nano akışkanların farklı hacimsel oranlarına ait zorlanmış ısı taşınımını araştırmışlardır. Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimini incelemişlerdir. Laminer akış şartlarında Reynolds sayısının artışı ile Nusselt sayısının arttığını tespit etmişlerdir.

Özerinç vd. [5] tarafından yapılan araştırmalarda, nano akışkanların akış özellikleri ve viskozitesinin, ısı iletkenliğe göre daha az incelendiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, nano akışkanların viskozitesinin, nano akışkanların potansiyel uygulamaları açısından büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Baz akışkan içerisine eklenen nanoparçacık konsantrasyonunun artmasının, karışımın (nano akışkan) ısı iletkenlik katsayısını artırdığını, ancak baz akışkan içerisindeki nanoparçacık konsantrasyonunun artmasının nano akışkanın viskozitesini de artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca viskozite artışının, akışın gerçekleştiği kanalda basınç düşümüne yol açtığını ve akış için gerekli pompa gücünün artması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Xuan vd. [6] çalışmasında; nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olayları incelemiştir. Netice olarak akışkan içerisine süspanse edilen partiküllerin akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyüttüğünü, nanopartiküllerin akışkan efektif ısı kapasitesini artırdığını, akışkanın çalkantılarının ve türbülans şiddetinin arttığını, partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmaların akışkanın yüzey alanının artmasına neden olduğunu tespit etmiştir.

Lee vd. [7] çalışmasında, nano akışkan üretebilmek için partikül olarak Alüminyum oksit(Al_2O_3), bakır(Cu), bakır oksit(CuO), altın(Au), gümüş(Ag) ve Silisyum dioksit(SiO_2) kullanmıştır.

Chein ve Chuang [8] yaptıkları çalışmada, CuO -Su nano akışkanının soğutma performansını incelemişlerdir. Akışkan tarafından absorbe edilen enerji, ısı direnç ve basınç kayıplarının yanı sıra optik mikroskopla elde edilen partikül çöküntü görüntülerini ortaya çıkarmışlardır. Nano akışkan kullanılan mikro kanalların, su kullanılan mikro kanallara göre daha fazla ısı absorbe ettiğini ve daha düşük duvar sıcaklıklarına ulaşıldığını tespit etmişlerdir.

Chein ve Chuang [9] yaptıkları çalışmada, mikro kanallardaki akış hızının yüksek olduğu durumlarda, nano akışkanların suya göre daha fazla ısı absorbe etmediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca mikro kanallı soğutucuların performans analizini teorik ve deneysel olarak çalışmışlardır.

Bu çalışmada, nano akışkanların motor soğutma sisteminde kullanılmasıyla radyatörden çekilen sıcaklık değerlerinin tespit edilmesi ve nano akışkanların ısı transferi konusunda göstermiş oldukları performanslar karşılaştırılması hedeflenmiştir.

İçten yanmalı benzinli bir motor çalıştırıldığında, silindir içerisinde meydana gelen yanma olayı neticesinde açığa çıkan ısı enerjisinin sadece %25 ile %30'u kadarı motorun krank milini çevirebilecek güce dönüşür. Geriye kalan ısı enerjisinin bir kısmı egzoz supabından dışarı atılırken, bir kısmı sürtünmelere, bir kısmı da soğutma sıvısına ve motor yağına geçer. Motor bloğu içerisindeki su kanallarında dolaşan soğutma suyu, silindir gömleklerinin dış yüzeylerine temas ederek ve silindir kapağındaki su kanallarını dolaşarak, bu noktalardaki ısıyı üzerine alır. Soğutma suyuna geçiş yapan ısı; bir önceki sayfada bahsedilen nano bileşiklere ait çok küçük boyuttaki parçacıklara da geçiş yapar. Soğutma sıvısı içerisinde iken ısıyı üzerine alan nano parçacıkların sahip oldukları ısı enerjisi; sistemde ısı değiştirici olarak görev yapan radyatörden ortam havasına geçerek, taşıtın motorundan atılmış olur. Bu olay ise; içten yanmalı benzinli motorun çalışması esnasında ortaya çıkan ısıнын, ısı iletim katsayısı yüksek olan nano parçacıklara yüklenerek soğutma suyu vasıtasıyla radyatöre ulaşması, oradan da daha düşük enerji seviyesine sahip olan(soğuk) radyatör borularına temas ederek, etkin bir ısı transferi sayesinde nano parçacıkların ve haliyle soğutma suyunun soğuması şeklinde gerçekleşir. Genel olarak, içten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan ısıнын motordan uzaklaştırılması, motorlarda kullanılan soğutma sistemi ile mümkün olmaktadır.

Soğutma sisteminin görevini yapması ve sistemin işleyişi ile verimliliği hakkında daha doğru bir yorum yapma imkânı adına sistemi oluşturan parçaların bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle sonraki bölümde, motorlarda kullanılan soğutma sistemi hakkında çeşitli bilgilere yer verilmiştir.

1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Sisteminin Yapısı

1.1.1. Görevleri ve Çeşitleri

Motor soğutma sisteminin görevi, motor parçalarının ve motor yağının aşırı ısınmasını önlemek, motoru en verimli ısıya en kısa zamanda yükseltmek ve motorun tam güç verecek şekilde çalışma sıcaklığında kalmasını sağlamaktır. Çalışma şartları ne olursa olsun soğutma sistemi, motoru en verimli ısıda çalıştırmalıdır.

Motorun çalışması sırasında silindir cidarları, pistonlar ve silindir kapağı gibi parçalar büyük miktarda ısıyı absorbe eder. Eğer motorun bu kısımları çok fazla ısınır ve yağ filmi yanar ve yağ tabakası yağlama özelliğini kaybeder. Bundan dolayı da nedenle motor hasar görebilir. Motor parçaları soğutulmadığı takdirde; motor parçalarının mekanik dayanımı azalır. Parçalar üzerinde aşırı genleşmeler meydana gelir ve hareketli parçalar arasında bulunan yağ boşluğu ortadan kalkar. Yağlanamayan parçalar kuru sürtünme sonucu oluşan ısının da etkisi ile birbirine kaynar ve sıkışır kalır. Ayrıca motor yağı yağlama özelliğini kaybederek görevini yapamaz. Bu durumda kuru sürtünmeye yol açar ve aynı sonuçları meydana getirir. Yukarıda açıklanan olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için motorun tamamen soğutulması da çözüm değildir. Çünkü motor çalışma sıcaklığına ulaşmadan istenilen gücü veremez. Yağ kirlenir, tortular oluşur, yakıt sarfiyatı artar, bundan dolayı motor çalışma sıcaklığına ulaşmaya kadar soğutma sistemi devreye girmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısı ile soğutma sistemi, motoru rejim (normal çalışma) sıcaklığında tutmalıdır. Motorun çalışma sıcaklığında tutulmasını ve anormal düzeydeki sıcaklığa bağlı olarak motor parçalarının zarar görmesini engelleyen sistem, motor soğutma sistemidir. [10]

Günümüzde kullanılmakta olan içten yanmalı motorlarda genellikle, hava ve sıvı ile soğutmalı sistemler kullanılmaktadır.

1.1.2. Hava ile Soğutma Sistemi

Otomobil motorları genellikle su soğutmalıdır; hava soğutması daha çok motosikletlerde, çim biçme makinelerinde ve bazı küçük araçlarda kullanılır. Şekil 1.2’de hava soğutmalı motosiklet motoru gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Hava soğutmalı motosiklet motoru

Silindir ve silindir kapağı, ısı dağılan yüzeylerinin artırılması için soğutma kanatçıkları ile donatılmıştır. Fan kullanılmayan sistemlerde hareket sırasında oluşan rüzgâr, silindir ve krank muhafaza gövdesi etrafından geçerken bu yüzeylere temas eder ve ısı doğrudan dışarı atılır. Hava yönlendirmesi için fan kullanılan hava soğutmalı motorlarda, soğutma sıvısı, radyatör su pompası, genleşme kabı, radyatör kapağı, radyatör hortumları, motorun su kanalları ve kalorifer radyatörü bulunmaz. Sadece motor soğutma kanatçıkları, hava yönlendirme sacları ve soğutma fanı bulunmaktadır.

Hava ile soğutma işlemi soğutucu hava akışı ve bir fan (vantilatör) yardımıyla sağlanır. Fan havayı aksel yönde emer ve çevresel yönde dışarıya gönderir. Hava yönlendirme sacı havayı silindirlere yönlendirir. Soğutma işlemi silindirlerin ve silindir kapağının üzerinden veya etrafından fan ile üflenlen havanın geçmesi ile mümkün olmaktadır. Silindir ve silindir kapağının dışına, daha iyi soğutma sağlamak için ince hava kanatçıkları yapılmıştır.

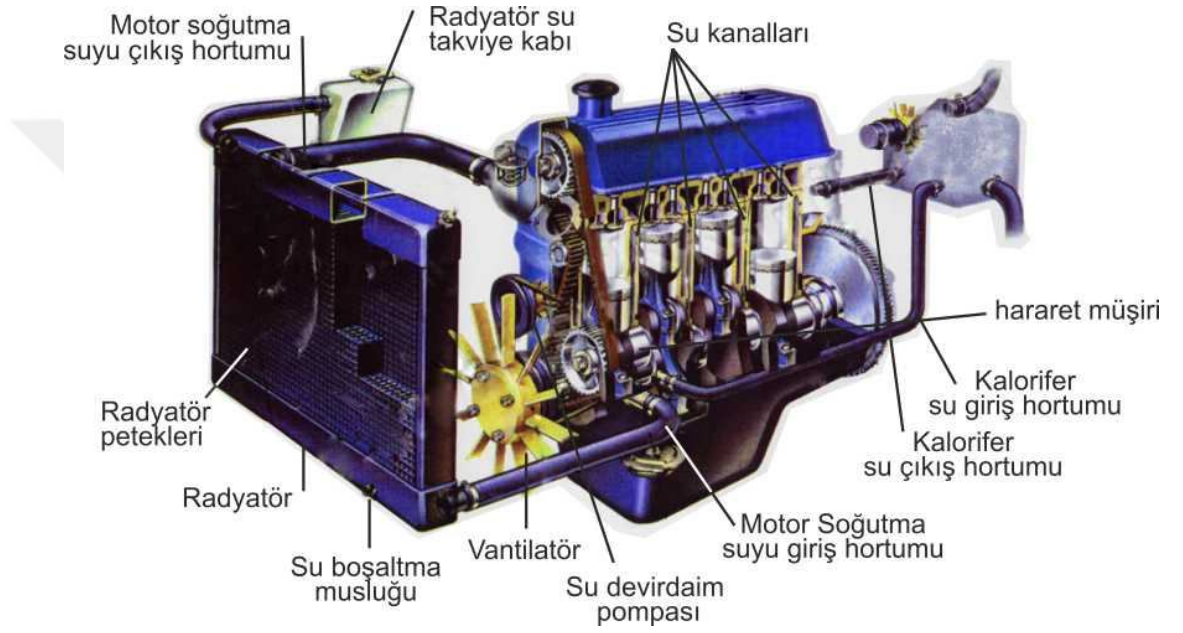
Bu sistemin özellikleri:

- Birim güce isabet eden motor ağırlığı azdır.
- İşletmesi emniyetli ve bakım gerektirmez.
- Çalışma sıcaklığına daha erken ulaşır.
- Donma olayı olmaz.
- Fanı hareket ettirmek için motordan güç kullanılır.
- Daha büyük piston boşluğu gerektirir.

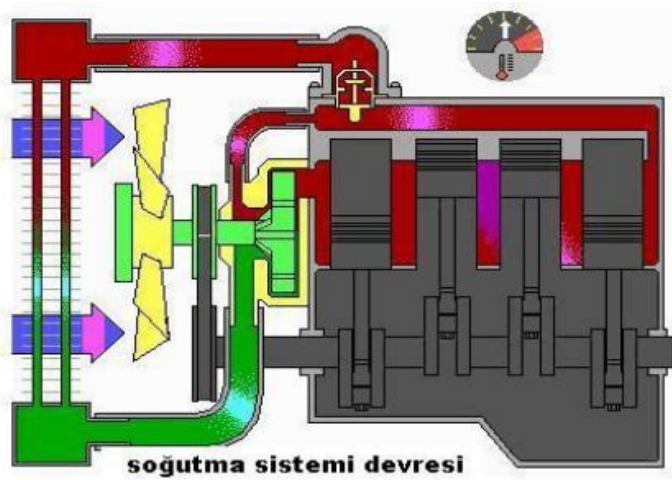
Hava ile soğutma sistemi yalnızca küçük hacimli motorlarda kullanılır.

1.1.3. Sıvı ile Soğutma Sistemi

Sıvı soğutmalı motorlarda soğutucu akışkan olarak genellikle su kullanılır. Su soğutmalı motorlarda, motorun içerisinde meydana gelen ısı, motor soğutma suyu tarafından alınır ve radyatörde soğutulur. Soğutma suyu, su pompası vasıtasıyla devridaim ettirilir. Radyatör içerisindeki sıcak olan motor soğutma suyu, radyatör fanının dönmesi ile birlikte veya aracın ileri doğru gitmesiyle birlikte doğal olarak içeri giren hava ile soğutulur. Şekil 1.3’de sıvı ile soğutmalı motorun genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Sıvı ile soğutmalı motorun genel yapısı



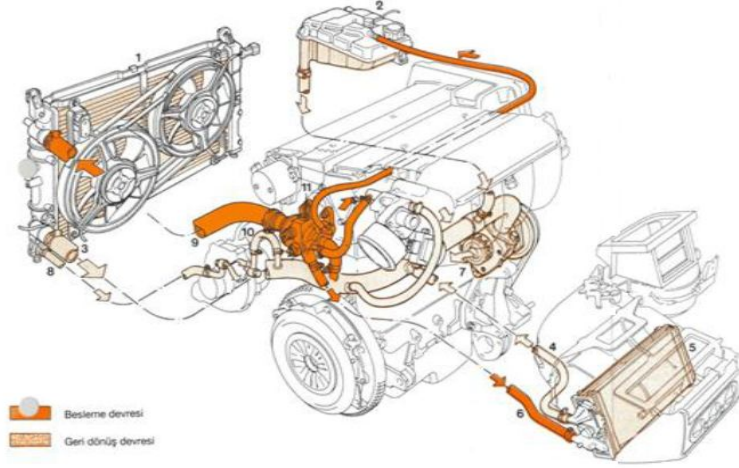
Şekil 1.4. Soğutma sistemi kısımları

Soğuk bir motor çalıştırıldığı zaman, motorun çabuk ısınması için radyatöre giden su kanalı bir termostat tarafından kapatılmıştır ve bu yüzden soğutma suyu sadece motorun su ceketleri içerisinde devridaim edilir. Motorun ısınması ile birlikte, termostat açılır ve soğutma suyunun radyatöre gitmesine izin verilir. Soğutma suyunun bir kısmı hava-yakıt karışımının daha iyi buharlaşabilmesi için emme manifolduna gönderilir. Soğutma suyu aynı zamanda kalorifer peteklerinin içerisinde devridaim ettirilerek araç içinin ısıtılmasında da kullanılır. Bazı araçlarda ise jikle tertibatı motor suyu sıcaklığına bağlı olarak hareket eder.

Sıvı soğutmalı motorlarda, soğutucu sıvısı (antifriz ve su karışımı) Şekil 1.4'te görüldüğü gibi motor bloğu ve silindir kapağındaki kanallarda dolaşır. Soğutucu sıvı motor parçalarıyla dolaylı biçimde temas eder. Parçaların içinden geçerken ortaya çıkan ısıyı üzerine alır ve radyatörün içinden geçerek ısıyı havaya verir. Sonra aynı yolu tekrar dolaşır. Bu işlem motor çalıştığı müddetçe devam eder. Motor bloğu ile radyatör üst su haznesi arasındaki üst soğutma suyu hattına bir termostatik supap monte edilmiştir. Termostattan su pompasına direkt bir kısa devre kanalı ayrılır.

Motorun ana mili kasnağından hareket alan su pompası mili ucundaki palet dönmeye başlayınca radyatörün alt tarafından suyu alarak merkezkaç kuvvet etkisi ile çevreye doğru sıkıştırır. Böylece bir basınç kazanan su, pompayı terk eder ve su ceketlerinden dolaşarak termostattan geçer ve tekrar radyatöre döner. Radyatörden geçerken bir kısım ısı havaya iletilir ve su dolaşımına devam eder. Bugün ki motorların hemen hepsi pompalı soğutma sistemi ile soğutulur.

Bu tip soğutma da su devri yaptıran su pompası bulunmaktadır. Bu nedenle radyatör ile motor arasına santrifüj tip bir su pompası konmuştur. Şekil 1.5'te pompalı soğutma sisteminin tüm parçaları ve çalışması görülmektedir.



Şekil 1.5. Pompalı soğutma sisteminin kısımları

1-Radyatör, 2-Genleşme kabı, 3-Soğutma suyu hortumu, 4-Soğutma suyu hortumu, 5-Yolcu kabini kalorifer radyatörü, 6-Soğutma suyu hortumu, 7-Su pompası, 8-Soğutma suyu hortumu, 9- Soğutma suyu hortumu, 10-Soğutma suyu hortumu, 11-Termostat

1.4. İçten Yanmalı Benzinli Motorlarda Isı Transferinin Önemi

İçten yanmalı motorların temel malzeme yapısı, metal ve/veya metal alaşımlarından ibarettir. Yakıtın yanmasıyla açığa çıkan ısı enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren motor donanımları, aslında birbirleriyle temas halinde çalışan hareketli parçalardır. Hareketli parçaların birbirine temas ederek görev üstlenmesi, aynı zamanda bu donanımların sürtünmeden dolayı ısınmalarını ve aşınmalarını da beraberinde getirmektedir. Kaldı ki ateşleme ile birlikte meydana gelen yanma olayı da motorun hareketli ve hareketsiz tüm parçalarına fazladan ısı yüklemektedir. Gerek sürtünmeler nedeniyle ve gerekse yanma olayı nedeniyle ortaya çıkan ısının, motor parçalarına zarar vermeden uzun ömürlü olarak çalışabilmelerine olanak sağlaması için motordan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, motor donanımlarının daha az zarar görmesi ve de uzun ömürlü olmaları için etkin bir ısı transferine sahip soğutma sistemi ile motor yağlama sisteminin varlığı büyük önem arz etmektedir.

1.4.1. Benzinli Bir Motorda Yanma Olayı ve Isı Üretimi

İçten yanmalı buji ile ateşlemeli motorlarda, güç üretebilmek için benzinin silindir içerisine alınmış olması ve yanmanın meydana gelebilmesi için aynı zamanda hava ile iyi bir şekilde karışmış olması gerekmektedir.

Bilindiği üzere benzinli motorlarda yakıtın silindir içerisine ulaştırılması, karbüratörlü sistemlerde venturi düzeneği sayesinde belli bir oran dâhilinde yakıt-hava karışımı oluşturularak sağlanırken; enjeksiyonlu sistemlerde ise motorun içerisinde alınan hava miktarına bağlı olarak, yakıtın ya emme manifolduna ya da silindir içerisine direkt püskürtülmesiyle sağlanmaktadır.

Netice itibariyle emme zamanı sonunda silindir içerisinde bulunan yakıt-hava karışımı; hem emme hem de egzoz supabının kapalı olduğu bir anda pistonun A.Ö.N.'dan Ü.Ö.N.'ya hareket etmesiyle kaçacak yer bulamaz ve sıkıştırılmaya başlar. Piston Ü.Ö.N.'ya yaklaştıkça yakıt-hava karışımını oluşturan moleküller, daha fazla birbirine çarparak ısınırlar ve durumun sonucunda silindir içerisindeki yakıt-hava karışımı tutuşturulmaya müsait bir hale getirilmiş olur.

Sıkıştırma zamanı sonunda sıcaklığı ve basıncı artmış olan yakıt-hava karışımının farklı bir mekanizma yardımıyla tutuşturulması gerekmektedir -ki bunu da sağlayan motor ateşleme sistemidir. [11] 12 volt değerindeki batarya gerilimini endüksiyon bobini yardımıyla 20.000 volt seviyelerine çıkaran ateşleme sistemi, yüksek voltaj değerindeki elektrik akımını sistemin bir parçası olan bujiye göndererek, ateşleme sırası gelmiş olan silindirde yakıt-hava karışımını tutuşturmuş olur. Aşağıda Şekil 1.6 ve 1.7'da, sırasıyla endüksiyon bobini ile ateşleme bujisi görülmektedir.



Şekil 1.6. Endüksiyon bobini



Şekil 1.7. Ateşleme bujisi

Silindir içerisinde buji elektrotları arasında meydana gelen kıvılcım, yakıt-hava karışımını tutuşturur fakat yanma olayı bir anda son bulmaz. Yakıt-hava karışımındaki benzinin tamamen yanması, ancak aşağıdaki evrelerden sonra gerçekleşmiş olur.

1.4.2. Benzinli Bir Motorda Yanmanın Aşamaları

1.4.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Buji elektrotları arasında kıvılcım oluştuğu andan, bir alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen periyottur. Başka bir ifadeyle buji elektrotları arasında kıvılcım çaktıktan sonra silindir basıncında; sıkıştırma basıncının üzerinde kayda değer bir artış görülene kadar geçen süredir.

Bu sürenin uzunluğu aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Ateşleme sırasında açığa çıkan buji kıvılcım enerjisi ve sıcaklığı,
- Yakıtın tutuşabilirliği(oktan sayısı),
- Silindire alınan taze dolgunun basınç ve sıcaklığı,
- Silindire alınan dolgunun miktarı ve hava-yakıt oranı.

1.4.2.2. Kontrolsüz Yanma

Bu ikinci periyot, alev cephesinin başlangıcı ve basıncın yükselmeye başlamasından sonra kuvvetli bir alev cephesinin silindir duvarlarına yayılarak silindir basıncının maksimum olduğu noktaya ulaşana kadar geçen süredir. Genişleyen alev cephesinin yanma odası hacmini kuşattığı karışımın enerjisinin açığa çıktığı periyottur. Bu periyodun süresi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Yanma odasının şekli ve bujinin konumu,
- Silindire alınan hava-yakıt karışımının homojenliği,
- Silindirdeki hava-yakıt karışımının oranı,
- Sıkıştırma nedeniyle yanma odasındaki türbülansın şiddeti.

1.4.2.3. Alevin Yayılması

Yanmanın bu son basamağı, iş zamanı esnasında ortaya çıkan maksimum silindir basıncından egzoz supabı açılıncaya kadar geçen süredir. Alev hızla ilerleyerek yanma odası ve silindir içersinde en uzak noktalara kadar ulaşır.

Bu periyotta açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmı, motor soğutma suyuna ve yağlama yağına ısı enerjisi olarak geçiş yaptığı için silindir duvarlarından, silindir kapağından, piston tepesinden kaybedilir. Ayrıca eş zamanlı olarak piston A.Ö.N.'ya doğru ilerledikçe hacim artacağından, yanma hızı da yavaşlar ve silindirdeki basınç hızla

azalmaya başlar. Yukarıdaki yanma periyotları sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi; hem çalışan parçaları, hem motor yağlama yağını, hem de soğutma suyunu ısıtır. Isı transferi şeklinde gerçekleşen bu enerji kayıplarının yanı sıra aracın motoruna ait aksamların ağırlıkları da, birim zamanda tüketilen yakıtın artmasına yol açar.

İçten yanmalı bir benzinli motorda, motorun silindirlerinde üretilen ısıyı daha etkin bir şekilde transfer edebilmek adına; alaşımlı motor blokları, değişken devirli radyatör fanları, alüminyum boru-alüminyum kanatçık tertibinde üretilmiş olan motor soğutma suyu radyatörleri, radyatör üzerinden geçirilen hava kütesinin soğutmada etkili olabilmesi için radyatöre entegre edilmiş olan davlumbazlar yapılan çalışmalardan birkaçı olarak sıralanabilir. Ancak mevcut uygulamalara ilave olarak, aracın motoruna ait aksamların sayısını ve ağırlığını çoğaltmadan gerçekleştirilebilecek etkin bir ısı transferi sayesinde, mevcut soğutma sistemi donanımlarının yapısında hacimsel ve kütleli azalmalar elde edilirse işte o zaman, aracın toplam ağırlığındaki bir azalma sayesinde birim zamanda tüketilen yakıt miktarında da azalma görülebilir. Kaldı ki bu durumun olumlu sonuçları olarak, hem yakıt ekonomisi hem de daha az çevre kirliliği elde edilmiş olur.

1.5. Benzinli Motor Soğutma Suyu Radyatöründe Isı Transferini Artırma Yöntemleri

1.5.1. Yüksek Isı İletim Katsayısına Sahip Malzeme Kullanımı

Bilindiği üzere ısı değiştiricilerde, ya sıvı-gaz akışkan ya da sıvı-sıvı akışkan modeli kullanılarak, sistemde üretilen ısı tahliye edilmektedir. Benzinli motor radyatörünün iç kısmında sıvı akışkan olan “su” dış kısmında ise gaz akışkan olan “hava” kullanılmaktadır.

İçten yanmalı benzinli motorun silindir içerisinde ürettiği ısı; önce iletim yoluyla silindirin dış kısmına, oradan taşınım yoluyla soğutma suyuna, oradan da radyatöre kadar ulaştırılmaktadır. Newton Soğutma Kanunu dikkate alındığında, ısı taşınım denklemindeki (1.1) ısı taşınım katsayısı(h), akışkanın türüne göre değişkenlik gösteren bir parametredir.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (1.1)$$

Motor bloğu içerisinde suyun dolaşımı cebri yolla yani devir daim pompası sayesinde gerçekleşmektedir. Radyatöre kadar ulaşan sıcak suyun taşıdığı ısı, taşınım yoluyla radyatör boru iç yüzeylerine, oradan iletim yoluyla boru dış yüzeyi ve kanatçıklarına geçiş yapmaktadır. Son olarak ısı, taşınım yoluyla radyatör üzerine uygun

bir şekilde konumlandırılmış olan elektrofana yardımıyla üflenen havaya transfer olmaktadır.

Bu zincir olaylar neticesinde motorun ürettiği ısı, motordan uzaklaştırılmaktadır. Ancak bilindiği üzere, iyi bir ısı iletimine doğrudan katkısı olan unsurlardan birisi de ilgili sistemde kullanılan malzemenin cinsidir. Çünkü her maddenin ısı iletim katsayısı, malzemenin yapısına bağlı olarak birbirinden farklı olmakla birlikte özellikle metal sınıfında yer alan elementlerin ısı iletim katsayılarının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu hususun dikkate alınmasıyla da, etkin bir ısı transfer mekanizması oluşturulabilmektedir.

Metal malzemeler sınıfında yer alan, pas ve korozyona karşı dayanıklı olan, bu özelliklerinin yanı sıra hafif ve kolay işlenebilir bir malzeme türü olan alüminyumun, alaşım olarak otomotiv endüstrisinde motorlu taşıt soğutma suyu radyatörü olarak tercih edilmesinin beraberinde bu malzemeyi önemli kılan unsurlardan biri de yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmasıdır.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.2)$$

Yukarıda gösterilmiş olan Fourier ısı iletim denklemindeki (1.2) parametreler dikkate alındığında, göze çarpan ısı iletkenlik katsayısı(k), malzemenin yapısına özgü olan ve malzemenin fiziki görünümünden bağımsız olarak ısı iletimini etkileyen bir faktördür. Tablo 1.2’de görüldüğü üzere; alüminyum alaşımının hem ısı iletkenliğinin iyi olması hem de oksitlenmeye karşı dirençli olması nedeniyle, içten yanmalı motorların ürettiği ısıyı motordan uzaklaştırılması adına radyatör malzemesi olarak yaygın bir biçimde kullanıldığı bilinmektedir.

Tablo 1.1. Normal şartlar altında bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları

Normal şartlarda malzeme (298 K, 24,85°C)		Tipik ısı iletkenlik (k) W/mK
Metal malzemeler	Saf alüminyum	205-237
	Alüminyum alaşımı(6082)	170
	Pirinç (CZ 121 tipi)	123
	Pirinç (63% bakır)	125
	Pirinç (70% bakır)	109-121
	Saf bakır	353-386
	Bakır (C101 tipi)	388
	Hafif çelik	50
	Paslanmaz çelik	16
Gaz	Hava	0,0234
	Hidrojen	0,172
Diğerleri	Asbestos	0,28
	Cam	0,8
	Su	0,6
	Ağaç	0,07-0,2

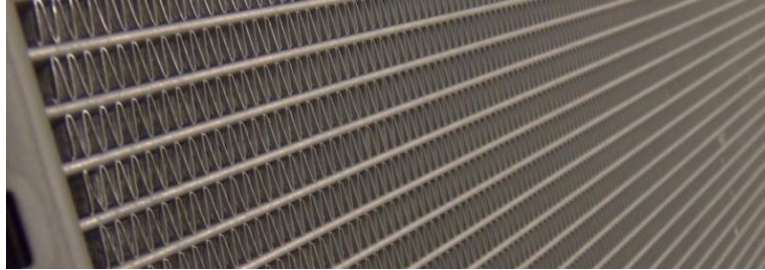
Yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü günümüzde, içten yanmalı benzinli motorlarda kullanılan soğutma suyu radyatörlerinin genelde alüminyum boru - alüminyum kanatçık tertibinde imal edildikleri görülmektedir.

1.5.2. Isı Transfer Yüzey Alanının Artırılması

Belli bir düzeydeki sıcaklığa sahip olan herhangi bir cismin yüzeyinden, etkin bir şekilde ısı transfer edilebilmesi için, cismin geometrik şeklinin çok iyi analiz edilmesi ve buna göre tasarım yapılması gerekmektedir. Bilindiği üzere, ısı birim zamanda daha fazla transfer edilebilmesi için alınması gereken tedbirlerden bir tanesi de, ısı transfer yüzey alanının artırılmasıdır. Isı transfer yüzey alanının artırılması, doğal olarak soğutucu akışkanın daha fazla yüzeye temas ederek oradaki ısıyı alıp götürmesi anlamına gelmektedir.

Motorlu taşıtlarda kullanılan soğutma suyu radyatörlerinin içerisinde dolaştırılan suyun, mümkün olduğunca en kısa zamanda ve etkili bir şekilde motor bloğundaki ısıyı üzerine alması ve radyatöre ulaştırması gerekmektedir. Çünkü içten yanmalı motor, çalıştığı sürece ve devamlı olarak ısı üretmektedir. İşte bu nedenle, radyatöre ulaştırılan sıcak sudaki ısının, yine en kısa zamanda dış hava ortamına tahliye edilebilmesi için ya soğutucu akışkanın dolaştığı boru sayısının artırılması, ya da boruların yüzey alanlarının artırılması gerekmektedir.

Günümüzde yakıt ekonomisinin ve egzoz kaynaklı çevre kirliliğinin önem kazandığı dikkate alınacak olursa, otomotiv üretici firmalar daha az yakıt tüketen ve buna bağlı olarak çevreyi daha az kirleten kompakt yapıda araçlar tasarlamaktadırlar. Kaldı ki bu durum karşısında, özellikle araçların motor havuzlarının küçüldüğü; motor parça ve aksamalarının daha iç içe monte edildiği görülmektedir. Bu sebeplerden dolayı hali hazırda yer sorunu varken, otomotiv üretici firmaların motor soğutma sistemindeki radyatöre daha fazla sayıda boru yerleştirmek yerine mevcut yapıdaki radyatöre daha fazla kanatçık monte etmesi daha makul bir uygulama olarak görülmektedir. Şekil 1.8'deki otomobil radyatöründe, birim zamanda daha fazla ısının transfer edilebilmesi adına, ısı transfer yüzey alanını artırmak için dizayn edilmiş olan kanatçıklar görülmektedir.



Şekil 1.8. Otomobil radyatörü üzerine monte edilmiş kanatçıklar

Yukarıdaki şekilde görülen otomobil radyatöründe, soğutucu akışkan olan suyun taşınması için yatay ve düz borular tercih edilmiştir. Yatay borular arasına ise, daha fazla ısının kısa zamanda transferini sağlamak üzere zigzag şekilde dizayn edilmiş ince yapıda alüminyum kanatçıklar yerleştirilmiştir.

1.5.3. Fan Yardımıyla Emilen Havanın Radyatör Yüzeyinden Geçirilmesi

İçten yanmalı bir motorun soğutma suyuna yüklediği ısı, daha önce de bahsedildiği üzere iletim ve taşınım yoluyla motordan uzaklaştırılmaktadır. Sistemde görev yapan ve bir ısı değiştirici olan radyatör; içten yanmalı motorun ürettiği ısının büyük bir bölümünü tahliye etme anlamında etkili bir rol üstlenmektedir. Radyatör boru ve kanatçıklarına iletim yoluyla geçiş yapmış olan ısı, dış ortamdaki hava kaynaklı taşınım yoluyla artık içten yanmalı motordan ayrılmaktadır. Çalıştığı süre zarfında, devamlı yakıt yakarak ısı üreten bir motorun en ideal bir şekilde soğuyabilmesi için radyatör yüzeyine intikal etmiş olan ısının kısa bir zaman diliminde dış hava ortamına verilmesi önem arz etmektedir.

Bilindiği üzere taşınım yoluyla ısı transferi üç şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; zorlanmış taşınım, doğal taşınım ve de faz değişimi ile taşınımdır. Bir araç eğer park halinde ve motoru çalışır vaziyette ise; o esnada aracın radyatörüne ait elektrofân da çalışmıyorsa, radyatör yüzeyine temas eden havaya, kendisinden daha yüksek enerjili olan radyatör yüzeyinden taşınım yoluyla ısı geçişi meydana gelir. Radyatör yüzeyini yalayan ve ısınan hava kütlesi, genişler ve yükselerek yerini daha düşük enerjili bir hava kütlesine bırakmış olur. Bu döngü devam ettiği sürece, radyatör yüzeyinden havaya doğal taşınımla ısı transferi gerçekleşmiş olur. Ancak böylesi bir süreç, radyatördeki ısının daha geç bir zamanda dış hava ortamına geçmesine neden olur. Bu ise, çalışarak sürekli ısı üreten bir motor için sakıncalı bir durumun oluşmasına ve hatta motorun aşırı ısınarak hararet yapmasına neden olur.



Şekil 1.9. Radyatör fanı

Şekil 1.9’da görüldüğü üzere, otomotiv üretici firmalar tarafından araçların marka ve modeline göre farklı şekillerde tasarlanarak üretilen radyatör elektrofanı; soğutma sistemindeki termostatin açılarak devir daim pompası(su pompası) tarafından motor bloğu içerisindeki sıcak suyun radyatöre gönderilmesiyle devreye girmektedir.

Yani motordaki sıcak su radyatöre ulaştığında, suyun sahip olduğu ısının en kısa zamanda transfer edilebilmesi için, radyatör fanı o an için daha fazla miktardaki havayı daha hızlı bir biçimde radyatör yüzeyine temas ettirerek, birim zamanda daha fazla ısının atılmasını sağlamaktadır.

1.5.4. Soğutma Suyuna Nano Bileşik Katılması

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi sayesinde, nano partikül adı verilen çok küçük tanecikli yapıda imal edilen ve oksit kökenli bazı nano bileşiklerin ısı iletim katsayılarının yüksek olmasından dolayı soğutucu akışkan içerisine katılmalarıyla, mevcut soğutma sistemlerine nazaran daha etkili bir biçimde ısıyı transfer ettikleri, deneylerle ispatlanmış durumdadır.

Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda genellikle; Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , TiO_2 vb gibi nano partikül yapısına sahip oksit bileşiklerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak bunun yanında Fe_3O_4 , ZrO_2 ve ZnO gibi diğer oksit bileşiklerin de ısı iletimi konusunda olumlu sonuçlar verebileceği ön görülerek, bu araştırma konusunun içerisine dâhil edilmiştir.

Daha önceki araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılmış olan Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , TiO_2 bileşiklerine ilave olarak, bahsedilen diğer ilgili bileşiklerin de, deney aşamalarında kullanılması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

İçten yanmalı benzinli bir motorda, motorun çalışması esnasında ürettiği ısı, bilindiği üzere radyatör ve elektrofân yardımıyla motordan atılmaktadır. Mevcut yapıyı bozmadan, motor soğutma suyu içerisine katılacak olan nano bileşikler sayesinde, radyatörden birim zamanda çekilen ısı miktarında artış olup olmadığının araştırılması için atölye ortamında ve özel profil yapı üzerine konumlandırılmış olan benzinli bir motor üzerine, çeşitli ölçüm cihazları entegre edilerek, nano bileşiklerin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Bu nedenle deney aşamasında kullanılan sarf malzemeler, demirbaş malzemeler, deney ortamının tespiti ve deney esnasında kullanılan teknikler aşağıda sıralı olarak açıklanmıştır.

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deney aşamasında motor soğutma suyuna katılacak olan nano bileşiklerin tespiti için literatür taraması yapılmış ve sonuç olarak; su ile kimyasal reaksiyona girmeyen, su ile bir araya geldiğinde oksitleyici özellik oluşturmayan, ani olarak çökelme yapmayan ve tedarik edilebilir nitelikte olduğu tespit edilen nano bileşiklerden altı tanesi, ilgili deneyde kullanılmıştır.

Ayrıca nano bileşik ve motor soğutma suyu ikilisinden hazırlanmış olan sıvı-katı formundaki süspansiyonlar ile motor soğutma suyu ve antifriz ikilisinden hazırlanmış olan sıvı-sıvı formundaki çözeltinin; ısı transferi üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenebilmesi için, gerçek bir motora uygulanması mümkün görülen cihazların tedarik edilmesiyle sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

Bu anlamda, nano bileşik ve su ile hazırlanmış olan nano akışkanların, benzinli bir motora ait radyatör üzerindeki etkilerinin analiz edilebilmesi için gerekli olduğu ön görülen ve deneyde kullanılan ölçüm cihazları Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Deneyde kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri

Ölçüm Cihazlarının Adı	Adedi/Miktarı	Görevi ve Teknik Özellikleri
Anemometre	1	Rüzgâr hızı ölçer, DT 186
Manometre	1	Basınç ölçer, Testo 510
Datalogger	1	Veri kaydedici, Keithley 2701 Ethernet Multimeter
Türbin Debimetre	1	Debi ölçer, Mini PVC Türbin Debimetre
2 Uçlu Debimetre Sensörü	1	Debimetre ölçüm kontrol cihazı, çift uçlu sensör
Hassas Terazi	1	Ağırlık ölçer, Radwag AS 220/C/2

Yukarıda gösterilen ölçüm cihazlarının yanı sıra, tez konusunun temel deney materyali olan motor; Ford tarafından üretilmiş, 1.6 litre motor hacmine sahip, 4 zamanlı, 4 silindirli, çok nokta enjeksiyonlu, üstten çift eksantrikli, 16 valfli, elektronik ateşlemeli, içten yanmalı ve atmosferik emişli benzinli bir EFI motordur. İlgili motora ait fabrika tip etiketi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Deneyde kullanılan benzinli motora ait fabrika tip etiketi

Deneyde kullanılan ölçüm cihazlarının haricinde tezin temel konusunu oluşturan nano bileşikler ve diğer sarf malzemelere ait bilgiler ise Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Deneyde kullanılan nano bileşikler ile diğer sarf malzemeler ve kullanım amaçları

Sarf Malzemenin Adı	Miktarı	Kullanım amacı
Motor soğutma suyu	7 litre	Her deney için radyatöre doldurulan su miktarı
Antifriz	3 litre	Antifrizli ölçüm için kullanılan kimyasal sıvı
95 oktan benzin	15 litre	Deney aşamasında motorun çalışmasını sağlayan yakıt
Al_2O_3	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
ZrO_2	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
ZnO	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
TiO_2	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
Fe_3O_4	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
SiO_2	1 kg	Isı transferi artırıcı nano bileşik
Termokupl	18 metre	T tipi, 1x2x0,5 mm solid feb(teflon), ısı iletimi

Yukarıda isim, miktar, kullanım amacı ve teknik özellikleri verilen sarf malzemelerin yeteri kadarı deneylerde kullanılmıştır. Her bir deneye ait verilerin teknik açıdan birbiriyle kıyaslanabilmesi için, deneyde kullanılan nano bileşiklerin eşit miktarları dikkate alınarak ölçümler yapılmıştır. Bunun yanı sıra, deney koşulları ile deney aşamasında kullanılan sarf malzemelere ait diğer bilgiler sonraki aşamalarda detaylı olarak ele alınmıştır.

2.2. Motor ile Birlikte Deney Setinin Hazırlanması

Deney setinin hazırlanması için öncelikle deneyin yapılacağı ortamın tespit edilmesi ve ortam koşullarının deney şartlarına uygun hale getirilmesi planlanmıştır. Bu anlamda deneyin yapılacağı ortamın; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği laboratuvarı olduğu kanaatine varılmıştır.

İlgili deneylerin gerçekleştirileceği yer anlamında; egzoz tahliye sisteminin, su tahliye sisteminin, ortam havalandırma sisteminin ve deney aşamasında müdahale gerektirecek durumlar için her türlü tornavida ve anahtar takımlarının bulunduğu uygun bir yer seçilmiştir.

Deneylerin yapılmasına karar verilen Otomotiv Mühendisliği laboratuvarına ait genel bir görüntü Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deney yapılacak ortamın genel bir görüntüsü

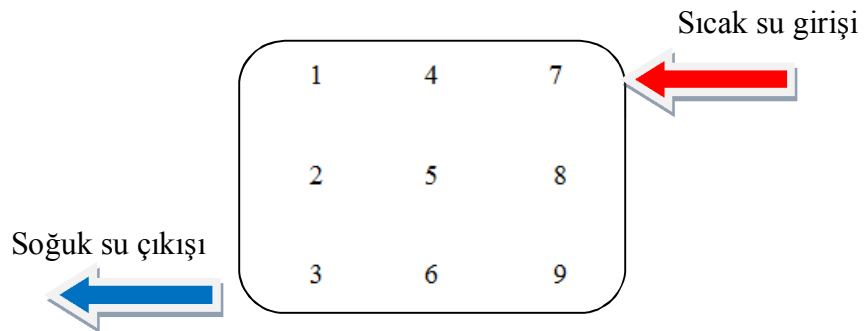
Deney ortamının seçilmesinden sonra, deneyde kullanılacak ölçüm cihazları ile sarf malzemeler, deney setinin oluşturulması için ilgili motorun yanına getirilmiştir. Deney,

genel anlamda motor soğutma sistemine müdahaleyi gerekli kıldığından dolayı, ilk etapta radyatöre ait olan ve Şekil 2.3’de de görülen sarı renkteki muhafaza ızgaralarının sökülmesiyle işe başlanmıştır.



Şekil 2.3. Deney motoruna ait olan radyatör muhafaza ızgaraları

Radyatör muhafazaları söküldükten sonra, 18 metre uzunluğundaki T tipi termokupl, dokuz eşit parçaya ayrılarak 2’şer metrelik termokupllar elde edilmiştir. Elde edilen termokuplların her iki uçları kablo pensiyle sıyrılarak, çift taraflı açık uçlar elde edilmiştir. Daha sonra termokupllara 1’den 9’a kadar numara verilerek, termokuplların numaralandırılması sağlanmıştır. Numaralandırılmış olan termokuplların birer uçları, temsili olarak Şekil 2.4’de, gerçek olarak da Şekil 2.5’de gösterildiği üzere, radyatör üzerine monte edilmiştir.



Şekil 2.4. Temsili olarak radyatör yüzeyine termokuplların monte ediliş biçimi



Şekil 2.5. Gerçekte radyatör yüzeyine termokuplların monte ediliş biçimi

Termokuplların açıkta kalan diğer uçları ise, Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazına entegre edilmiş olan 40 kanallı multiplexer kanal girişlerine bağlanmıştır.

Bağlantı yapılırken;

- 1 numaralı termokupl ucu multiplexer CH1 girişine,
- 2 numaralı termokupl ucu multiplexer CH2 girişine,
- 3 numaralı termokupl ucu multiplexer CH3 girişine,
- 4 numaralı termokupl ucu multiplexer CH4 girişine,
- 5 numaralı termokupl ucu multiplexer CH5 girişine,
- 6 numaralı termokupl ucu multiplexer CH6 girişine,
- 7 numaralı termokupl ucu multiplexer CH7 girişine,
- 8 numaralı termokupl ucu multiplexer CH8 girişine,
- 9 numaralı termokupl ucu multiplexer CH9 girişine bağlanmıştır.

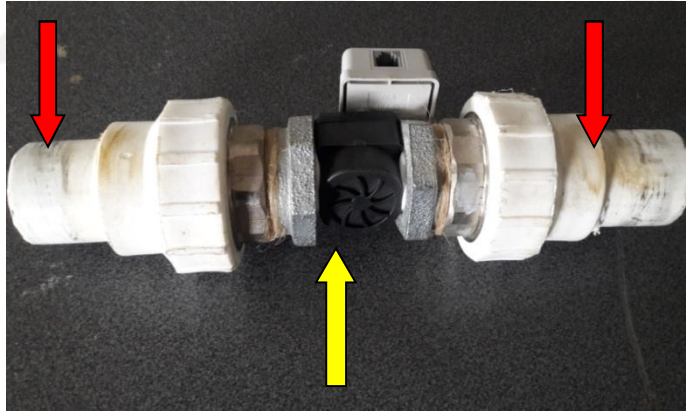
Termokuplların bağlantıları yapıldıktan sonra, radyatör yüzeyinden elde edilecek olan sıcaklık verilerinin excelinx ara yüzü ile bilgisayara aktarılması durumu hazır hale getirilmiştir. Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının genel bir görüntüsü Şekil 2.6'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Deneylerde kullanılan Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının görüntüsü

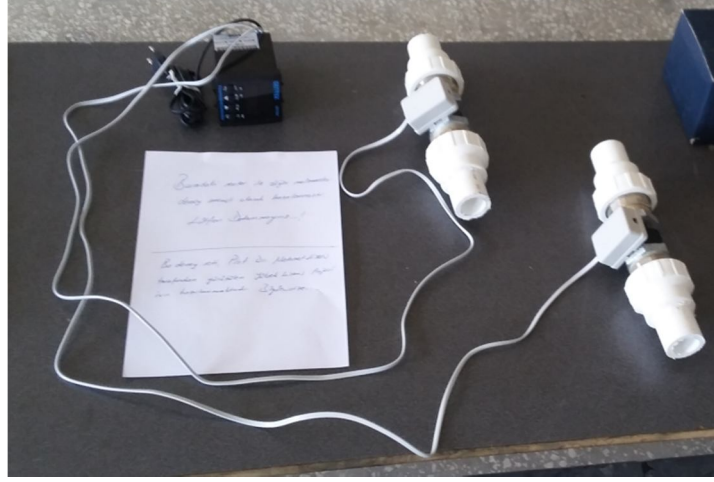
Motor çalışırken radyatöre giren soğutucu akışkana ait debinin ölçülmesi için 1 adet PVC türbin tipindeki debimetre; beyaz renkteki plastik malzemeden imal edilmiş su sayacı bağlantı giriş-çıkış elemanlarına entegre edilerek, radyatör hortumuna bağlanacak hale getirilmiştir.

Kullanılır hale getirilmiş olan türbin debimetre Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Türbin debimetrenin, su sayacı giriş-çıkış elemanlarına entegre edilmesi

Şekil 2.7’de sarı renkli ok ile gösterilen türbin debimetrenin, her iki tarafına PVC boru elemanları takılarak, radyatör hortumuna uyarlanabilmesi sağlanmıştır. Türbin debimetrenin ürettiği verilerin okunabilmesi için ise GENTEK GNT604 isimli akış metre kontrol cihazına, soketli kablo bağlantıları yapılmıştır. Şekil 2.8’de türbin debimetrenin, GENTEK GNT604 akış metre kontrol cihazına bağlantısı görülmektedir.



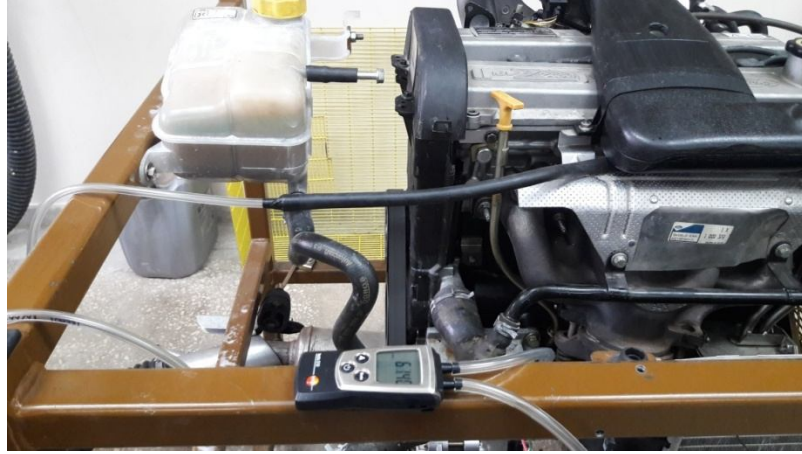
Şekil 2.8. Türbin debimetrenin akış metre kontrol cihazına bağlanması

Deney aşamasında motor çalışırken, soğutma sistemi kapalı devresinde oluşan basıncın tayin edilmesi için, TESTO 510 isimli basınçölçer cihaz kullanılmıştır. Şekil 2.9’da TESTO 510 cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Testo 510 basınç ölçer cihazının genel görüntüsü

Şekilde 2.9’da görüldüğü üzere, basınç ölçer cihazının iki ucu vardır. Deneyde kullanılan benzinli motorun sahip olduğu kapalı devre soğutma sistemi gibi belli bir basınç düzeyinde çalışan kapalı devrelerde, ilgili cihazın bir ucu devre dışı bırakılarak diğer ucu sistem basınç kontrol ucuna bağlandığında cihaz ekranında dijital olarak sistem basıncı ölçülebilmektedir. Deney aşamasında TESTO 510 cihazının bir ucu, tıpa takılarak bloke edilmiş, diğer ucu ise motor soğutma sistemi genleşme tankı devir daim besleme hattına takılarak, sistem basıncının ölçülmesi amaçlanmıştır. Şekil 2.10’da TESTO 510 cihazının, motora bağlanmış hali gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Testo 510 basın  l  r cihazının bağlantı şekli

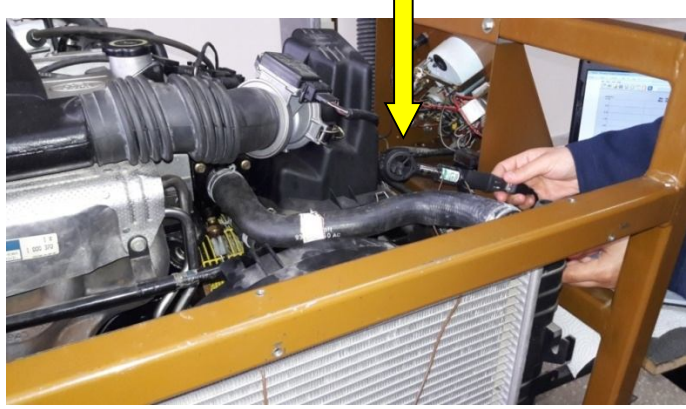
Motor çalışırken belli bir seviyeye ulaşan soğutma suyunun sıcaklığını algılayan hararet m  şiri ile motor bloğu içerisinde konumlandırılmış olan ve sıcak suyun radyatöre geçişine yön veren termostat sayesinde, gerekli bilgileri toplayarak radyatör elektro fanının rölesini tetikleyen motor i letim sistemi (ECU), radyatör fanının çalışmasını temin etmektedir. Bu esnada, fan tarafından radyatör yüzeyine üflenen havanın hızını tespit edebilmek amacıyla, deney setinde DT 186 Anemometre rüzgâr hızı ölçer cihazı kullanılmıştır. Şekil 2.11’de DT 186 Anemometre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.11. DT 186 Anemometre rüzgâr hızı ölçer cihazının genel görüntüsü

Cihazın aynı zamanda veri kaydedici olarak da görev yapabilmesinden dolayı, pil ile enerji vermek suretiyle ilgili cihazın radyatör yüzeyine karşıdan tutulması neticesinde, fan çalıştığı andan itibaren radyatöre üflenen havanın hızı m/s cinsinden  l  l erek bilgisayara

aktarılması sağlanmıştır. Şekil 2.12’da DT 186 Anemometre rüzgâr hızı ölçer cihazının uygulanış şekli gösterilmiştir.



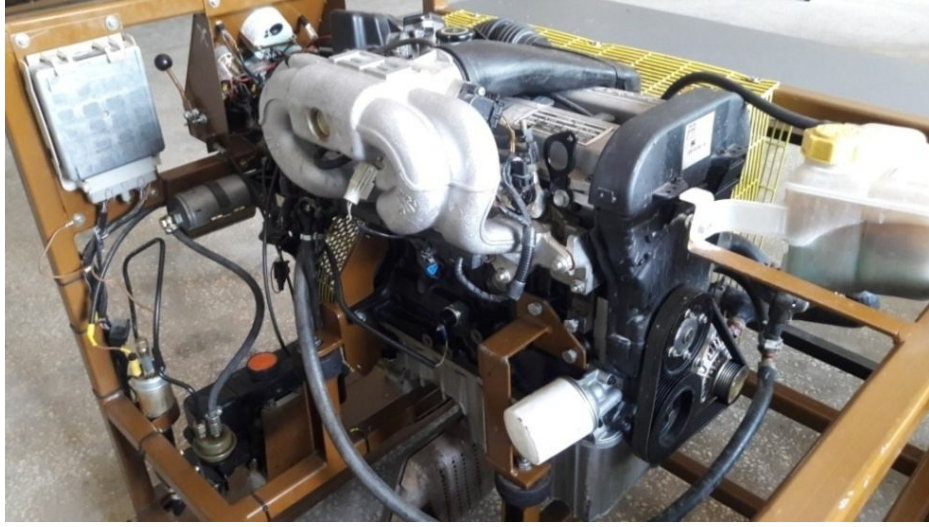
Şekil 2.12. DT 186 Anemometre cihazının uygulamadaki görüntüsü

Ölçüm cihazlarının hazırlıkları tamamlandıktan sonra; deney aşamasında radyatör suyunun boşaltılması neticesinde hem boşaltılan suyun tahliyesi hem de radyatörün temiz su veya duruma göre nano akışkanla doldurabilmesi için muhtelif boyutlarda su kovası laboratuvar imkânları dâhilinde temin edilmiştir. Nano akışkan hazırlamak ve kıyaslanabilir sonuçlar elde etmek için, her deney aşamasında kullanılması gereken nano bileşik miktarının tayin edilmesinde Radwag AS 220/C/2 varyantına sahip hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 2.13’de ilgili hassas terazi gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Radwag AS 220/C/2 hassas terazi

Deney setinin en önemli materyali konumunda olan ve daha önce teknik özellikleri hakkında bilgi verilen benzinli motor ve motor devri, yağ basıncı, hararet seviyesi kontrolüne olanak sağlayan gösterge paneline ait resimler Şekil 2.14 ve Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Deney motorunun genel görüntüsü



Şekil 2.15. Deney motoruna ait gösterge panelinin genel görüntüsü

Deney aşamalarında kullanılacak olan tüm malzemelerin, ekipmanların, ölçüm cihazlarının ve de güvenlik tedbirlerinin hazır hale getirilmesiyle deney sürecine geçiş yapılmıştır. Deney sürecinde; farklı nano bileşikler, musluk suyu ve antifrizli su için yapılacak olan ölçümler öncesinde motor rölantide çalıştırılmış, motor çalışma sıcaklığına ulaşıldıktan sonra elde edilen veriler gözlemlenerek kaydedilmiştir.

2.3. Çalışır Durumdaki Motordan Ölçümlerin Yapılması

Pratik olarak gerçekleştirilen mevcut deneylerde;

- Ortam şartları,
- Motor ısınma süresi,
- Motor devri,
- Fan açma-kapama noktaları,
- Çalışan bir motorda blok içerisinde su sirkülasyonunun devamlılığı,
- Çalışan bir motorda suyun, belli periyotlarda blok ve radyatör arasındaki geçişi,
- Deney geçişleri arasında motorun soğuması,
- Yeni bir deney için önceki deneyden kalan soğutucu akışkanın motordan temizlenmesi,
- Radyatörün su ile doldurulmasından sonra hava alma işlemi sırasında geçen zaman,
- Suyu katılan nano bileşiklerin termo fiziksel yapısı,
- Manüel müdahale gerektiren durumlarda kişisel reaksiyonlar,

gibi birden fazla değişkenin var olduğu bir durumda, kıyaslanabilmesi mümkün sonuçlar elde etmek adına, yukarıda maddeler halinde sıralanan durumlar nedeniyle, deney aşamasında bazı değişkenler sabitlenerek sonuca gidilmeye çalışılmıştır. Sabitlenen değişkenlerden bazıları tarafımızca manüel olarak, bazıları ise deneyde kullanılan mevcut motorun sahip olduğu teknik özellikler sayesinde otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu anlamda deneyin gerçekleştirildiği ortam ve sabitlenmiş olan diğer değişkenlere ait veriler Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Deneyin gerçekleştirildiği ortam ve diğer koşullar

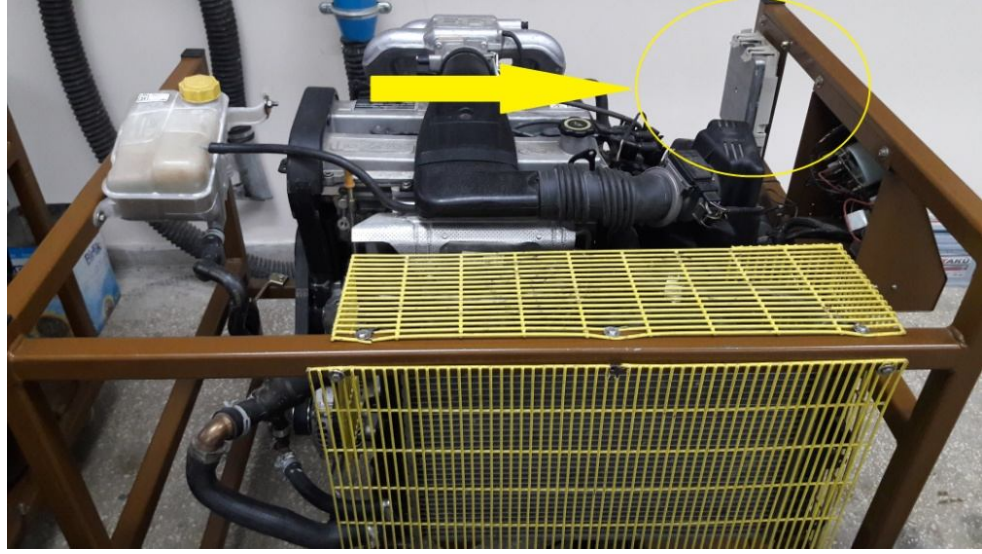
Değişkenler	Sabit kabul edilen/Sabitlenen veriler
Oda sıcaklığı	21°C - 23°C (Mayıs ayı bina içi sıcaklığı)
Motor devri	Deney aşamasındaki devir 1500 d/dk.
Her deney için kullanılan nano bileşik miktarı	150 gr.
Antifrizli ölçüm için kullanılan antifriz miktarı	0,15 litre
Radyatör fanı açık kalma(çalışma) süresi	18 saniye
Radyatör fanı devreye girme aralığı	84 saniye
Radyatör fan devri	2200 d/dk.
Radyatör fanı tarafından üflenilen havanın hızı	Maksimum 8,99 m/s
Motor soğutma sistemi basıncı	Maksimum 10,405 hPa = 10405 Pa

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, benzinli motor ile yapılan deneyler Mayıs ayı boyunca gerçekleştirildiği için, o döneme ait bina içi oda sıcaklığının 21°C - 23°C şeklinde ölçülmesinden dolayı, deney yapılan ortamın sıcaklığı 21°C - 23°C olarak kabul edilmiştir. Deneyde kullanılan benzinli motor, 6000 devir/dakika motor devrine sahip bir motordur.

Ancak farklı devir aralıklarında, motorun birim zamanda yaptığı ateşleme sayısının farklı olmasından dolayı, motorun ideal çalışma sıcaklığına farklı sürelerde ulaşması söz konusudur. Fakat bu durum, kıyaslanabilir bir deney sonucu anlamında belirsizlik ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı tüm deney aşamalarında, motor devri 1500d/dk olacak şekilde sabitlenmiş ve deneyler bu şekilde tamamlanmıştır.

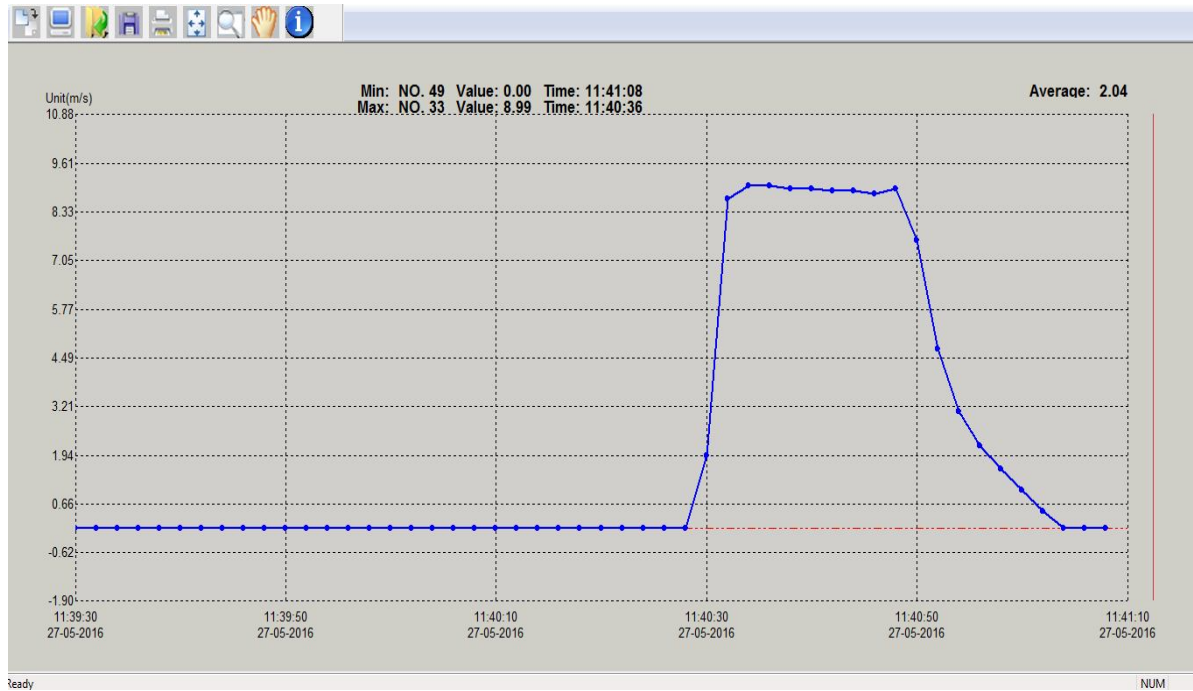
Her deney aşamasında farklı nano bileşikler kullanımı söz konusudur. Ancak kıyaslama için tüm deneylerde hassas terazi ile tartım yapılarak eşit miktarda nano bileşikler kullanmaya gayret edilmiştir.

Radyatör fan açma – kapama süreleri, fan devri, fan devreye girme aralığı gibi veriler, deneyde kullanılan benzinli motorun işletim sisteminde kayıtlı olan parametreler doğrultusunda ortaya çıkan ve sabit olan verilerdir. Şekil 2.16’da ilgili motora ait motor işletim sistemi (ECU) görülmektedir.



Şekil 2.16. Deney motoruna ait motor işletim sistemi(ECU)

Radyatör fanı tarafından radyatör yüzeyine üflenlen havanın hızı daha önce de bahsedildiği üzere, DT 186 Anemometre rüzgâr hızı ölçer cihazı ile tespit edilmiştir. DT 186 Anemometre cihazı her 2 saniyede bir ölçüm yapacak şekilde programlanmış ve cihazdan elde edilen ölçümler, hem grafik formatında hem de Excel ara yüzüne aktarılmış sayısal veri şeklinde sunulmuştur. Şekil 2.17’de, radyatör fanı devrede iken ölçülen rüzgâr hızı grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.17. DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçüm grafiği (Maksimum 8,99 m/s)

DT 186 Anemometre cihazı tarafından ölçülmüş olan ve Excel ara yüzüne aktarılmış olan sayısal veriler Tablo 2.4’de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. DT 186 Anemometre tarafından ölçülen ve fan tarafından üflenen havanın hızı

Zaman (Tarih-Saat-Dakika-Saniye)	Radyatör yüzeyinden geçen havanın hızı
27.05.2016 11:40:26	0,00 m/s
27.05.2016 11:40:28	0,00 m/s
27.05.2016 11:40:30	1,91 m/s
27.05.2016 11:40:32	8,65 m/s
27.05.2016 11:40:34	8,99 m/s
27.05.2016 11:40:36	8,99 m/s
27.05.2016 11:40:38	8,92 m/s
27.05.2016 11:40:40	8,92 m/s
27.05.2016 11:40:42	8,85 m/s
27.05.2016 11:40:44	8,85 m/s
27.05.2016 11:40:46	8,78 m/s
27.05.2016 11:40:48	8,92 m/s
27.05.2016 11:40:50	7,57 m/s
27.05.2016 11:40:52	4,70 m/s
27.05.2016 11:40:54	3,06 m/s
27.05.2016 11:40:56	2,15 m/s
27.05.2016 11:40:58	1,54 m/s
27.05.2016 11:41:00	1,00 m/s
27.05.2016 11:41:02	0,45 m/s
27.05.2016 11:41:04	0,00 m/s
27.05.2016 11:41:06	0,00 m/s

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere, DT 186 Anemometre cihazı, saat 11:40:30 itibariyle elektrofana tarafından havanın üflendiğini algılayarak 1,91 m/s hızındaki havanın, radyatör kanatçıklarına temas ederek geçtiğini ölçmeye başlamıştır. Saat 11:40:48 itibariyle ve elektrofanın devreden çıkması sebebiyle, bu zamandan sonraki ilk ölçümde havanın radyatörden 7,57 m/s geçiş hızına düştüğünü ölçmüştür. Böylece 11:40:30 ile 11:40:48 arasında geçen zamanın 18 saniye olduğu ve radyatör fanının da bu süre zarfında çalıştığı teyit edilmiştir.

Motor çalışırken, TESTO 510 basınçölçer cihazının bir ucu bloke edilerek diğer ucu, motor soğutma sistemi genleşme tankı devir daim besleme hattına takılarak, basınç artışı cihazın ekranından takip edilmiştir.

Motor ilk fan açma aşamasına geldiğinde ve motor bloğu ile radyatör arasında sıcak su geçişi başladığı anda, TESTO 510 cihazının ekranında maksimum 104,05 hPa (=10405 Pa) basınç ölçümü gözlemlenmiştir. Şekil 2.18’de TESTO 510 basınçölçer cihazının ekranından okunan değer gösterilmiştir.



Şekil 2.18 TESTO 510 basınçölçer ekran görüntüsü

Benzinli motora entegre edilen ölçüm cihazlarından ve ortam şartlarından elde edilen veriler neticesinde, deney aşamasında sorunların en aza indirgenebilmesi için deneyle alakalı olduğu ön görülen birçok parametrenin sabitlenmesi sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra, hem musluk suyu ve antifrizli su, hem de motor soğutma suyuna belli bir oran dâhilinde nano bileşikler karıştırılarak elde edilen nano akışkanlar ile deney sürecinin devam ettirilmesi ön görülmüştür.

Musluk suyu, antifrizli su ve altısı da nano akışkan olmak üzere, toplam da sekiz farklı deney sonucunda; eşit koşullar altında motor soğutma suyundan çekilen ısıya bağlı olarak radyatör fanının devreye girmesinden, tekrar devreden çıkmasına kadar geçen süre zarfında, her bir deney sonucunda radyatör yüzeyinden kaç °C’lik bir sıcaklık düşüşünün gerçekleştiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tespit edilen veriler, grafik formatında ve sayısal bilgilerle desteklenerek sunulmaya çalışılmıştır.

2.3.1. Musluk Suyu ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Deneyde kullanılan benzinli motorun radyatörüne, içerisinde herhangi bir bileşik veya katkı maddesi bulunmayan 7 litre miktarında temiz musluk suyu doldurulmuştur. Gereken tüm hazırlıklar yapıldıktan sonra motor 1500 d/dk'da çalıştırılarak, motorun ısınması sağlanmış ve toplamda üç kez fan devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır.

Radyatör içerisindeki su sirkülasyonu ile radyatör fanının radyatör üzerindeki konumu gibi durumlardan dolayı, pratik anlamda radyatör yüzeyinin her yerinde eşit sıcaklık ölçümleri yapılamadığı için, radyatöre bağlanmış olan dokuz farklı noktadaki dokuz adet termokuplun ölçtüğü sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması referans alınarak, gerçekteki bir radyatörün performansı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Radyatör yüzeyine monte edilmiş olan dokuz adet T tipi termokupludan elde edilen sıcaklık ölçüm verileri, Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı aracılığı ile excelinx ara yüzüne aktarılmıştır. Ayrıca Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı, motor çalıştığı sürece radyatör yüzeyinden her 3 saniyede bir veri alacak şekilde programlanmıştır.

Deney yapılan ortam koşulları, motor devri, radyatör elektro fan devri, sabit devirde motor soğutma sisteminde üretilen basınç miktarı gibi değişkenler deney aşamasında sabit değişkenler olarak belirlenmiştir.

2.3.2. Antifrizli Su ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Musluk suyu ile yapılan deneyden sonra, radyatörün alt hortum kelepçesi sökülerek ilk etapta bir miktar soğutma suyu motordan dışarı tahliye edilmiştir. Hortum tekrar yerine takıldıktan sonra benzinli motorun radyatörüne, 0,15 litre miktarında antifriz ilave edilmiştir. Devamında ise toplam soğutma sistemi kapasitesine (7 litre) ulaşacak kadar temiz şebeke suyu doldurulmuştur. İlgili hazırlıklar yapıldıktan sonra motor 1500 d/dk'da çalıştırılarak, motorun ısınması sağlanmıştır.

Motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile antifrizli suyun debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.3. SiO₂ Nanobileşiğı ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak antifrizli su kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökölerek, motor soğutma sistemi içerisindeki antifrizli su boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genişleme tankından verilerek motor bloğı ve radyatör içerisindeki iyice temizlenmesi sağlanmıştır. Devamında radyatör alt hortumu yerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan SiO₂ nano bileşiğı temiz ve boş bir kabın içerisinde dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğın üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak SiO₂ nano akışkanını elde edilmiştir. Tablo 2.5’de SiO₂ nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.5. SiO₂ bileşiğının özellikleri

SiO ₂	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	40 nm
Saflık	%99,9
Yüzey alanı	≈ 14 m ² /gr
Renk	Beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle(True)	2,3 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan SiO₂ nano bileşiğı ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genişleme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genişleme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir.

İlgili deneyde kullanılan SiO_2 nano bileşiği Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. SiO_2 Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile SiO_2 nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.4. Al_2O_3 Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak SiO_2 nano akışkanı kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökülerek, motor soğutma sistemi içerisindeki SiO_2 nano akışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde iyice temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının tıkanmadan açık kalması sağlanmıştır. Devamında radyatör alt ve üst hortumları yerlerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan Al_2O_3 nano bileşiği temiz ve boş bir kabın içerisine dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak Al_2O_3 nano akışkanı elde edilmiştir. Tablo 2.6’da Al_2O_3 nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.6. Al_2O_3 bileşiğinin özellikleri

Al_2O_3	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	40 nm
Safılık	%99,9
Yüzey alanı	$\approx 15 \text{ m}^2/\text{gr}$
Renk	Beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel, rombohedral
Özkütle(True)	$3,5 - 3,9 \text{ gr/cm}^3$
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan Al_2O_3 nano bileşiği ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genleşme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genleşme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir. İlgili deneyde kullanılan Al_2O_3 nano bileşiği Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Al_2O_3 Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Al_2O_3 nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.5. TiO₂ Nanobileşiğı ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak Al₂O₃ nano akışkanı kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökölerek, motor soğutma sistemi içerisindeki Al₂O₃ nano akışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genişleme tankından verilerek motor bloğı ile radyatör içerisinde iyice temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının tıkanmadan açık kalması sağlanmıştır. Devamında radyatör alt ve üst hortumları yerlerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan TiO₂ nano bileşiğı temiz ve boş bir kabın içersine dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğın üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak TiO₂ nano akışkanı elde edilmiştir. Tablo 2.7’de TiO₂ nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.7. TiO₂ bileşiğının özellikleri

TiO ₂	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	10 nm
Safılık	%99,9
Yüzey alanı	≈ 180±30 m ² /gr
Renk	Beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle(True)	4,23 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan TiO₂ nano bileşiğı ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genişleme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genişleme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir. İlgili deneyde kullanılan TiO₂ nano bileşiğı Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. TiO_2 Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile TiO_2 nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.6. Fe_3O_4 Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak TiO_2 nano akışkanı kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökülerek, motor soğutma sistemi içerisindeki TiO_2 nano akışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde iyice temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının tıkanmadan açık kalması sağlanmıştır. Devamında radyatör alt ve üst hortumları yerlerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan Fe_3O_4 nano bileşiği temiz ve boş bir kabın içerisine dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak Fe_3O_4 nano akışkanı elde edilmiştir.

Ancak Fe_3O_4 nano bileşiğinin suda hızlı ve tam olarak çözünmediği ve suya tam anlamıyla karışmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 2.8’de Fe_3O_4 nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.8. Fe_3O_4 bileşiğinin özellikleri

Fe_3O_4	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	20 nm
Safılık	%99,9
Yüzey alanı	$\approx 66 \text{ m}^2/\text{gr}$
Renk	Siyah
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle(True)	$4,8 - 5,1 \text{ gr/cm}^3$
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan Fe_3O_4 nano bileşiği ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genişleme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genişleme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir. İlgili deneyde kullanılan Fe_3O_4 nano bileşiği Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Fe_3O_4 Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Fe_3O_4 nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.7. ZnO Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak Fe_3O_4 nano akışkanı kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökülerek, motor soğutma sistemi içerisindeki Fe_3O_4 nano akışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde iyice temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının tıkanmadan açık kalması sağlanmıştır. Devamında radyatör alt ve üst hortumları yerlerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan ZnO nano bileşiği temiz ve boş bir kabın içerisine dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak ZnO nano akışkanı elde edilmiştir. Tablo 2.9’da ZnO nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.9. ZnO bileşiğinin özellikleri

ZnO	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	30 nm
Safılık	%99,9
Yüzey alanı	$\approx 50 \text{ m}^2/\text{gr}$
Renk	Sütsü Beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle(True)	$5,6 \text{ gr}/\text{cm}^3$
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan ZnO nano bileşiği ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genleşme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır.

Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genleşme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir. İlgili deneyde kullanılan ZnO nano bileşiği Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. ZnO Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile ZnO nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.8. ZrO_2 Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümünün Yapılması

Bir önceki deneyde, soğutucu akışkan olarak ZnO nano akışkanı kullanıldığı için, öncelikle motor radyatörü alt hortumu tamamen sökülerek, motor soğutma sistemi içerisindeki ZnO nano akışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su, genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde iyice temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının tıkanmadan açık kalması sağlanmıştır. Devamında radyatör alt ve üst hortumları yerlerine takılarak, motor deney yapılacak duruma getirilmiştir.

Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde, 150 gr ağırlığında tartılan ZrO_2 nano bileşiği temiz ve boş bir kabın içerisine dökülmüştür. Daha sonra ilgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek karışım hazırlanmış ve netice olarak ZrO_2 nano akışkanı elde edilmiştir. Tablo 2.10’da ZrO_2 nano bileşiğine ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.10. ZrO_2 bileşiğinin özellikleri

ZrO_2	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	40 nm
Safılık	%99,9
Yüzey alanı	$\approx 20 - 40 \text{ m}^2/\text{gr}$
Renk	Beyaz
Morfoloji	Küresel
Özkütle(True)	$5,89 \text{ gr/cm}^3$
Suda çözünme	Suda çözünmez

Yukarıdaki özelliklere sahip olan ZrO_2 nano bileşiği ile elde edilen nano akışkan, motor soğutma sistemi genişleme tankının dolum kapağından, soğutma sistemine boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını, sistemin kapasitesi olan 7 litreye tamamlamak üzere; ilgili nano akışkandan sonra, genişleme tankı dolum kapağından sisteme yaklaşık 6 litre su daha ilave edilmiştir. İlgili deneyde kullanılan ZrO_2 nano bileşiği Şekil 2.24’de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. ZrO_2 Nano bileşiği

Soğutma sistemi akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra öncelikle motor çalıştırılarak, soğutma sisteminin havası alınmıştır. Devamında ise motor ısındıktan sonra radyatör elektro fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile ZrO_2 nano bileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.



3. BULGULAR

Çalışmanın temelinde; motor soğutma suyuna bazı nano bileşiklerin katılmasıyla elde edilen nano akışkanların, motor tarafından üretilen ısıyı daha hızlı ve pratik bir şekilde transfer etmesiyle, motorun etkin bir şekilde soğutulması ve radyatör performansının değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu nedenle, deney aşamasında kullanılan içten yanmalı, 4 silindirli ve 4 zamanlı benzinli motorun mevcut yapısına müdahale edilmeksizin sadece motor soğutma suyuna antifriz ile nano bileşikler katılarak ve radyatör üzerinden transfer edilen ısıya bağlı olarak, radyatör yüzeyindeki ortalama sıcaklık düşüşü, antifriz ve her nano bileşik için ayrı ayrı ölçülmüştür.

Deney aşamasında sabitlenen değişkenlerin dışında kullanılan musluk suyu, antifriz ve nano bileşiklerin hem kimyasal yapılarının hem de yoğunluklarının farklı olması nedeniyle, her deney aşamasında radyatör yüzeyinden ölçülen sıcaklık verileri ile mini PVC türbin debimetreden ölçülen debi verileri farklılık göstermektedir. Bundan dolayı her deney aşamasında, hem sıcaklık verileri hem de debimetre verileri grafik olarak sunulmuş, elde edilen bulgular ise bu bölümde yorumlanmıştır.

3.1. Musluk Suyu Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, soğutucu akışkan olarak sadece 7 litre miktarında temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. İlgili deneyde kullanılan malzeme su olduğundan dolayı, öncelikle suyun termo fiziksel özelliklerinin verilmesi uygun görülmüştür. Tablo 3.1’de suyun 0°C - 100°C arasındaki termo fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

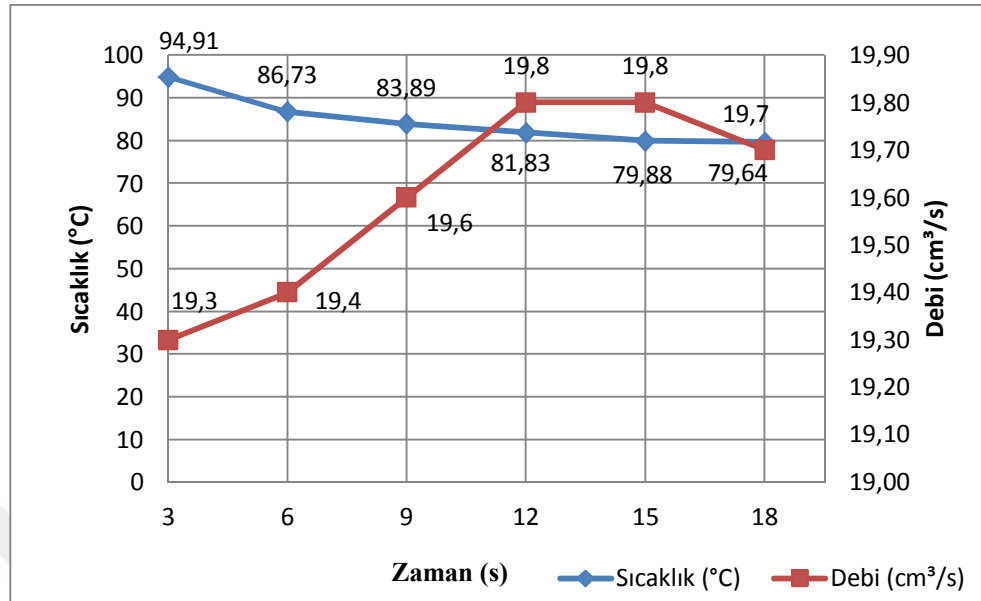
Tablo 3.1. Suyun 0°C - 100°C arasındaki termo fiziksel özellikleri

Sıcaklık °C	Yoğunluk gr/cm ³	Cp J/gK	Buhar Basıncı kPa	Viskozite μPaS	Isı Taşınım Katsayısı W/m ² K
0	0.99984	4.2176	0.6113	1793	561.0
10	0.99970	4.1921	1.2281	1307	580.0
20	0.99821	4.1818	2.3388	1002	598.4
30	0.99565	4.1784	4.2455	797.7	615.4
40	0.99222	4.1785	7.3814	653.2	630.5
50	0.98803	4.1806	12.344	547.0	643.5
60	0.98320	4.1843	19.932	466.5	654.3
70	0.97778	4.1895	31.176	404.0	663.1
80	0.97182	4.1963	47.373	354.4	670.0
90	0.96535	4.2050	70.117	314.5	675.3
100	0.95840	4.2159	101.325	281.8	679.1

Deneyde kullanılan musluk suyu, yoğunluk olarak diğer malzemeler içerisinde en düşük yoğunluğa sahip olan bir soğutucu akışkandır. Bu çalışmanın genelinde kullanılan nano bileşikler, suya göre daha yüksek ısı iletimine sahip ve aynı zamanda ısı transferini artırıcı özellik taşıyan malzemelerdir. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığı zaman bu hususta somut verilerin elde edildiği açık ve net olarak ortadadır.

Bu çalışmada yapılan deneylere ait malzemelerin yoğunlukları dikkate alınarak, en düşük yoğunluğa sahip olan malzemeden en büyük yoğunluğa sahip malzemeye doğru sıralı bir şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Musluk suyu ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Musluk suyunun zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 94,91 °C olarak tespit edilmiştir.

Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 79,64 °C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 15,27 °C’lık bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir deyişle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı 15,27 °C azalmıştır.

3.2. Antifrizli Su Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

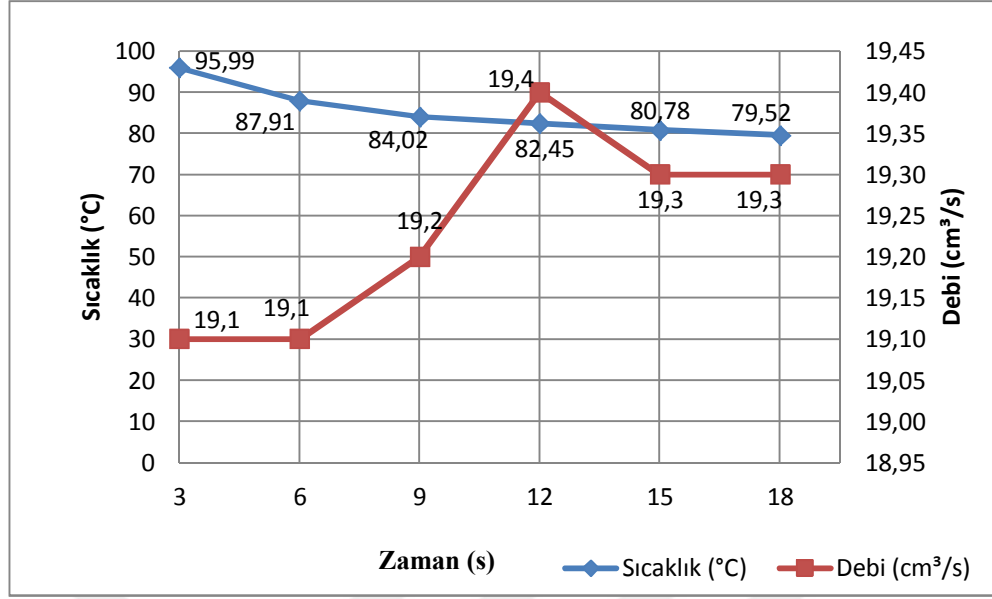
Motor soğutma sisteminde, soğutucu akışkan olarak 0,15 litre antifriz, 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda da temiz musluk suyu kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir.

Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. İlgili deneyde kullanılan malzeme antifrizli su olduğundan dolayı, öncelikle antifriz spesifikasyonunun verilmesi uygun görülmüştür. Tablo 3.2’de antifrizle ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Antifrizin özellikleri

Özellik	Açıklama
Görünüş	Homojen sıvı
Bağıl yoğunluk (15,5°C)	1,117 gr/cm ³
Donma noktası	-37 °C
Kaynama noktası	163 °C
pH	8,3
Su miktarı %(m/m)	3,81
Suya karışma	Homojen dağılım

Deneyde kullanılan antifriz, yoğunluk olarak diğer malzemeler içerisinde sudan sonra en düşük yoğunluğa sahip olan bir soğutucu akışkandır. Antifriz aynı zamanda, etilen glikol veya propilen glikol esaslı motorların soğutma sistemlerine katıldığında soğutucunun donma noktasını düşüren, kaynama noktasını yükselten ve paslanmayı önleyen homojen bir sıvıdır. Bu deneyde kullanılan antifrizli su, musluk suyuna göre daha yüksek ısı iletimine sahip ve aynı zamanda ısı transferini artırıcı özellik taşıyan bir soğutucu akışkan olduğu tespit edilmiştir. Antifrizli su ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Antifrizli suyun zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,99 °C olarak tespit edilmiştir.

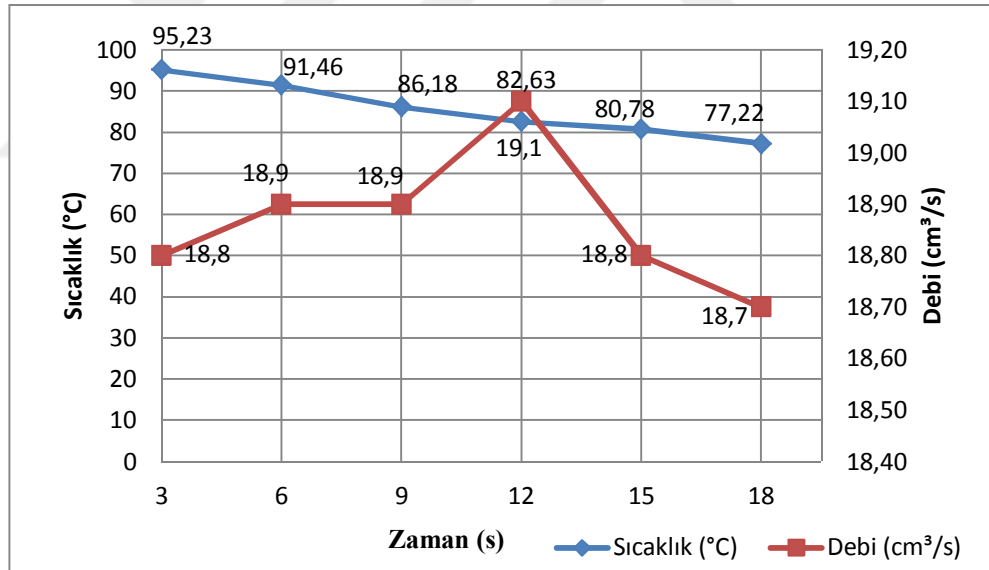
Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 79,52 °C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 16,47 °C’lik bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı 16,47 °C azalmıştır.

Bu deney sonucundan hareketle antifriz katkısı, standart şartlar altında musluk suyuna göre radyatördeki sıcaklığın 1,20 °C daha fazla düşmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.3. SiO₂ Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. SiO₂ nano bileşiği ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan SiO₂ nano bileşiği, bu çalışmanın genelinde kullanılan diğer nano bileşikler arasında en düşük, musluk suyu ve antifrizli sudan ise daha büyük yoğunluğa sahip olan bir malzemedir. Bu deneyde, SiO₂ nano bileşiğinden elde edilerek kullanılan nano akışkan, antifrizli suya göre daha yüksek ısı iletimine sahip ve aynı zamanda ısı transferini artırıcı özellik taşıyan bir soğutucu akışkan olduğu tespit edilmiştir. SiO₂ nano akışkan ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. SiO₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,23 °C olarak tespit edilmiştir.

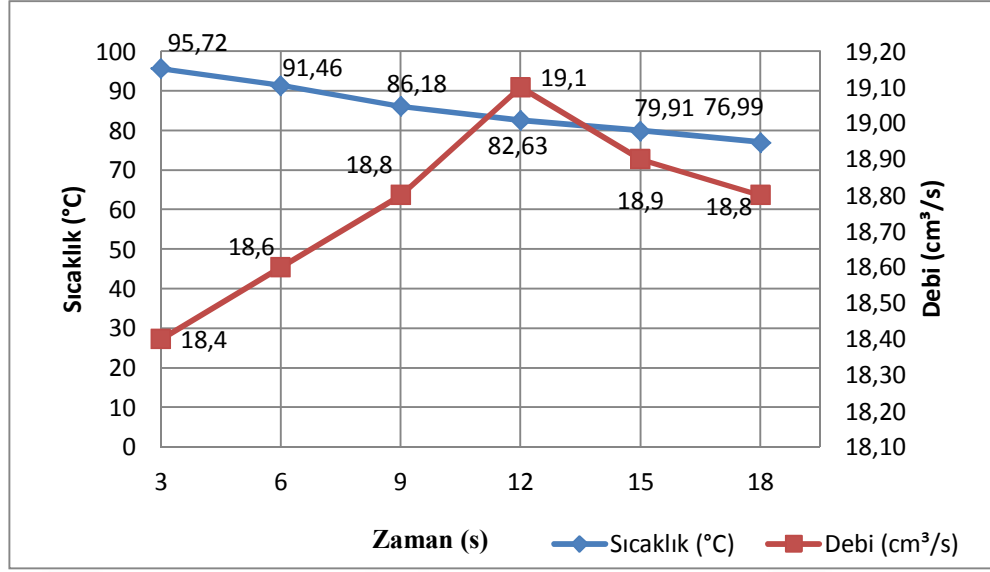
Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 77,22 °C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenene hava sayesinde, elektro fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 18,01 °C’lık bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, SiO₂ nano akışkanının etkisiyle 18,01 °C azalmıştır.

Yoğunluğu, su ve antifrizli suya göre daha yüksek olan SiO₂ nano akışkanına ait debimetre verilerinde ise düşüş tespit edilmiştir. Yoğunluğun biraz daha fazla olması, motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde azalmaya yol açmıştır.

3.4. Al₂O₃ Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. Al₂O₃ nano bileşiğı ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değeri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan Al₂O₃ nano bileşiğı, bu çalışmanın içerisinde kullanılan SiO₂ nano bileşiğinden biraz daha yoğun olan bir malzemedir. Bu deneyde; Al₂O₃ nano bileşiğinden elde edilerek kullanılan nano akışkanın, SiO₂ nano akışkanına göre daha yüksek ısı iletimine sahip ve aynı zamanda ısı transferini artırıcı özellik taşıyan bir soğutucu akışkan olduğu tespit edilmiştir. Al₂O₃ nano akışkan ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Al₂O₃ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,72 °C olarak tespit edilmiştir.

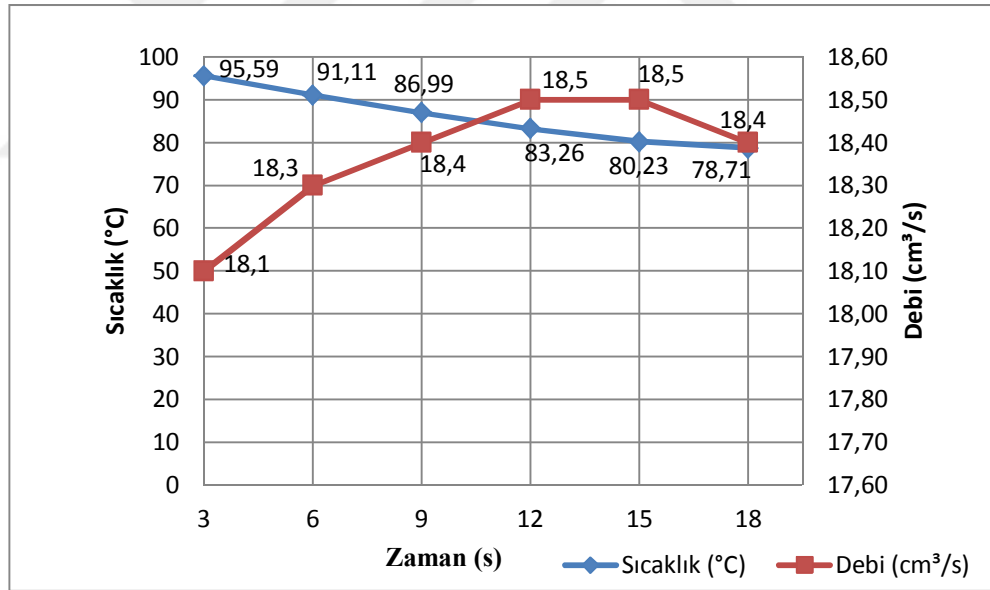
Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 76,99°C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 18,73 °C’lik bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, Al₂O₃ nano akışkanının etkisiyle 18,73 °C azalmıştır.

Yoğunluğu su, antifrizli su ve SiO₂ nano akışkanına göre daha yüksek olan Al₂O₃ nano akışkanına ait debimetre verilerinde ise düşüş tespit edilmiştir. Yoğunluğun biraz daha fazla olması, motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde azalmaya yol açmıştır.

3.5. TiO₂ Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. TiO₂ nano bileşiği ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan TiO₂ nano bileşiği, bu çalışmanın içerisinde bir önceki deneyde kullanılan Al₂O₃ nano bileşiğinden biraz daha yoğun olan bir malzemedir. Bu deneyde; TiO₂ nano bileşiğinden elde edilerek kullanılan nano akışkanın, Al₂O₃ nano akışkanına göre daha düşük bir ısı iletimine sahip ve aynı zamanda daha az ısı transferini artırıcı özellik taşıyan bir soğutucu akışkan olduğu tespit edilmiştir. TiO₂ nano akışkanı ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. TiO₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,59 °C olarak tespit edilmiştir.

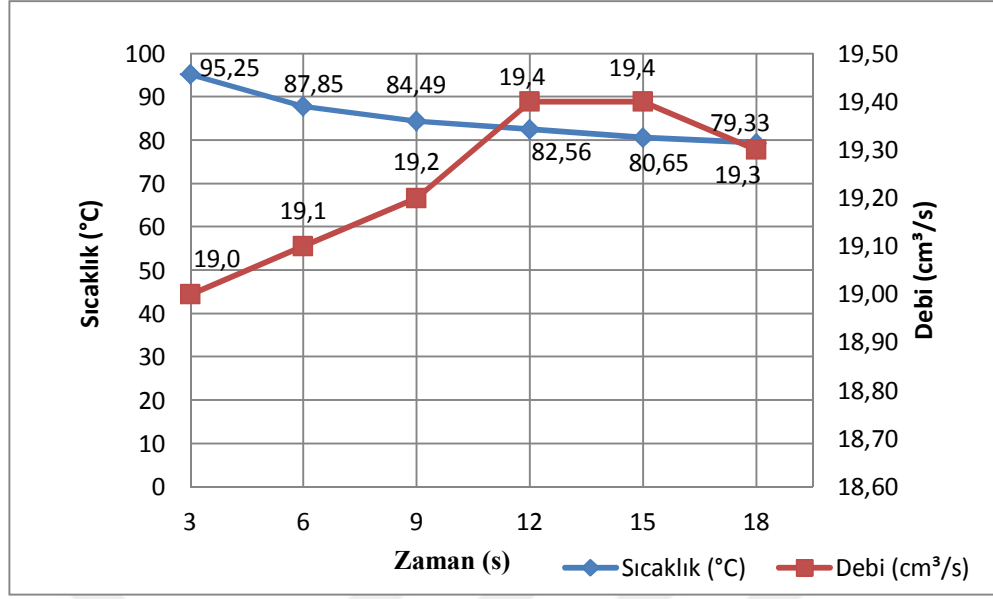
Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 78,71°C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 16,88 °C’lık bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, TiO₂ nano akışkanının etkisiyle 16,88 °C azalmıştır.

Yoğunluğu su, antifrizli su, SiO₂ ve Al₂O₃ nano akışkanına göre daha yüksek olan TiO₂ nano akışkanına ait debimetre verilerinde ise önceki deneylere göre düşüş tespit edilmiştir. Yoğunluğun biraz daha fazla olması, motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde azalmaya yol açmıştır.

3.6. Fe₃O₄ Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. Fe₃O₄ nano bileşiği ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupullar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan Fe₃O₄ nano bileşiği, bu çalışmanın içerisinde bir önceki deneyde kullanılan TiO₂ nano bileşiğinden biraz daha yoğun olan bir malzemedir. Isıl iletkenlik bakımından yapılan araştırmalarda Fe₃O₄ nano bileşiğinin, normal koşullar altında ZrO₂, TiO₂, Antifrizli su ve musluk suyundan daha yüksek bir ısı iletimine sahip olduğu görülmüştür. Ancak Fe₃O₄ nano bileşiğinin suya kolay bir şekilde karışmadığı, daha çok su yüzeyinde asılı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak ise, Fe₃O₄ nano bileşiğinden elde edilen nano akışkanın neredeyse musluk suyu gibi davrandığı ve radyatördeki ısı transferini artırıcı bir özellik taşımadığı tespit edilmiştir. Nitekim Fe₃O₄ nano akışkanı ile yapılan deney sonrasında; motor soğutma suyu radyatörünün alt hortumu sökülüp, radyatör ile motor bloğu içerisindeki soğutucu akışkan boşaltıldığında, su ile Fe₃O₄ nano bileşiğinin birbirinden ayrı olarak heterojen bir yapıda dışarı çıktığı görülmüştür. Fe₃O₄ nano akışkanı ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.6’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Fe₃O₄ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,25 °C olarak tespit edilmiştir.

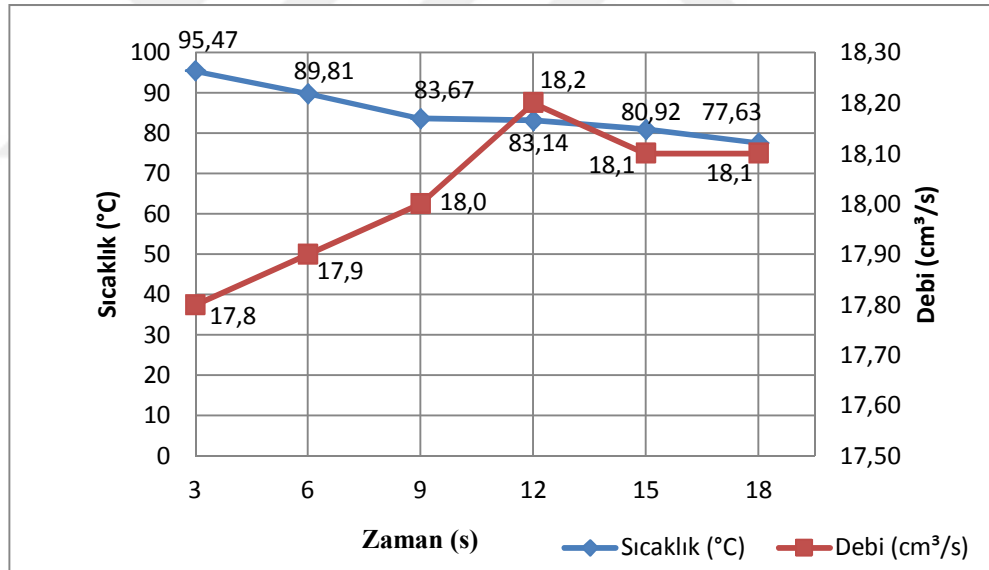
Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 79,33°C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 15,92 °C'lik bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, Fe₃O₄ nano akışkanının etkisiyle 15,92 °C azalmıştır.

Normal şartlarda Fe₃O₄ nano bileşiğinin yoğunluğu; su, antifrizli su, SiO₂, Al₂O₃ ve TiO₂ nano akışkanına göre daha yüksek olmasına karşın, musluk suyu hariç diğer soğutucu akışkanlara göre debimetre verilerinde bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Neden olarak, daha önce de ifade edildiği üzere Fe₃O₄ nano bileşiğinin su ile homojen olarak karışmamasından dolayı, elde edilmiş olan nano akışkanın neredeyse musluk suyu gibi bir davranış sergilediği ve buna bağlı olarak yoğunluğu düşük olan Fe₃O₄ nano akışkanının debisinde artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

3.7. ZnO Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. ZnO nano bileşiği ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan ZnO nano bileşiği, bu çalışmanın içerisinde bir önceki deneyde kullanılan Fe_3O_4 nano bileşiğinden biraz daha yoğun olan bir malzemedir. Bu deneyde ZnO nano bileşiğinden elde edilerek kullanılan nano akışkanın; SiO_2 ve Al_2O_3 nano akışkanlarından sonra en iyi düzeyde ısı transferini artırıcı özellik taşıyan bir soğutucu akışkan olduğu tespit edilmiştir. ZnO nano akışkanı ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. ZnO Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,47 °C olarak tespit edilmiştir.

Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 77,63°C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 17,84 °C’lık bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, ZnO nano akışkanının etkisiyle 17,84 °C azalmıştır.

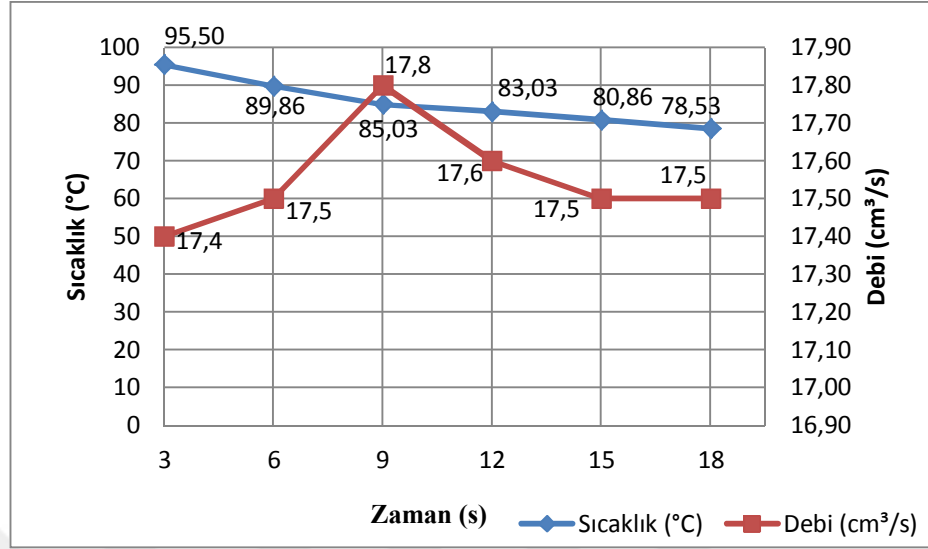
ZnO nano bileşiğinin yoğunluğu; su, antifrizli su ve SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ ile Fe₃O₄ nano akışkanlarına göre daha yüksek olduğundan, debimetre verilerinde diğer soğutucu akışkanlara göre bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Yoğunluğun biraz daha fazla olması, motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde azalmaya yol açmıştır. Ayrıca 5,6 gr/cm³ yoğunluğuna sahip olan ZnO nano bileşiğinin, suya karışmasını müteakiben yaklaşık iki dakika gibi kısa bir süre içerisinde çökme yaptığı gözlemlenmiştir.

3.8. ZrO₂ Nano Akışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr. ZrO₂ nano bileşiği ile 7 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyundan hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır. İlgili deneyde motor çalıştırılarak radyatör elektro fanının, üç kez devreye girmesi gözlemlenmiştir. Motorun çalışması esnasında, radyatör yüzeyinden termokupllar ile ölçülen sıcaklık değerleri ve soğutma sistemi genişleme tankı besleme hattı üzerinden ölçüm yapan Mini PVC Türbin Debimetre verileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan ZrO₂ nano bileşiği, bu çalışmanın içerisinde bir önceki deneyde kullanılan ZnO nano bileşiğinden biraz daha yoğun olan bir malzemedir. Bu deneyde ZrO₂ nano bileşiğinden elde edilerek kullanılan nano akışkanın; TiO₂, musluk suyu ve antifrizli suya nazaran daha yüksek düzeyde ısı transferini artırıcı özellik taşıyan soğutucu bir akışkan olduğu tespit edilmiştir.

ZrO₂ nano akışkanı ile yapılan deneyden elde edilen bulgular Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. ZrO₂ Nano akışkanının zamanla değişen sıcaklık ve debi grafiği

Motor çalışırken soğutma suyunun ısınması neticesinde, radyatör elektro fanı devreye girmiş ve 18 saniye süresince çalışmıştır. Motor soğutma suyu ısınıp elektro fan devreye girdiğinde, termokupl sayesinde radyatör yüzeyindeki dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerine istinaden; ölçümü yapılan radyatör yüzeyindeki dokuz adet sıcaklık değerinin aritmetik ortalaması 95,50 °C olarak tespit edilmiştir. Radyatör elektro fanı 18 saniye boyunca devrede kalmış ve fan devreden çıktığı andaki radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması ise 78,53°C olarak tespit edilmiştir. Elektro fan devrede iken 8,99 m/sn hızla radyatör kanatçıklarına üflenlen hava sayesinde, elektron fan açma – kapama süresi arasında, radyatör yüzeyinden toplamda 16,97°C’lik bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Ya da başka bir ifadeyle, elektro fan yardımıyla radyatördeki soğutucu akışkanın sıcaklığı, ZrO₂ nano akışkanının etkisiyle 16,97°C azalmıştır. ZrO₂ nano bileşiğinin yoğunluğu; musluk suyu, antifrizli su ve SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₃O₄ ile ZnO nano akışkanlarına göre daha yüksek olduğundan, debimetre verilerinde diğer soğutucu akışkanlara göre bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Yoğunluğun biraz daha fazla olması, motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde azalmaya yol açmıştır. Ayrıca 5,89 gr/cm³ yoğunluğuna sahip olan ZrO₂ nano bileşiğinin, suya karışmasını müteakiben yaklaşık 1,5 - 2 dakika gibi kısa bir süre içerisinde çökeltme yaptığı gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; musluk suyu, antifrizli su ve nano bileşiklerin suya katılmasıyla elde edilen nano akışkanların motor soğutma sistemindeki etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda; 4 zamanlı, 4 silindirli, içten yanmalı benzinli bir motorun radyatörüne sırasıyla musluk suyu, antifrizli su ve SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_3O_4 , ZnO ile ZrO_2 nano akışkanları doldurularak motor çalıştırılmış ve de her soğutucu akışkan için ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, radyatör üzerinde dokuz farklı noktaya T tipi termokupllar bağlanarak radyatör yüzeyinden sıcaklık verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Radyatörün dokuz farklı noktasından elde edilen sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması alınarak daha sade ve anlaşılır sonuçların ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler; motor üzerindeki fabrika tip etiketi, internet, katalog ve yetkili servis aracılığı ile tespit edilmiştir. Ayrıca kıyaslanabilir deney sonuçları elde etmek adına, deney yapılan motor farklı bir ortama götürülmeden aynı oda şartları altında çalıştırılmıştır. Bunun yanı sıra; radyatör elektro fanının üflediği havanın hızını tespit edebilmek için DT 186 tipi Anemometre, motor soğutma sistemi basıncını ölçebilmek için TESTO 510 tipi Manometre, radyatör yüzeyinden ölçülen sıcaklıkların bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için Keithley 2701 tipi Ethernet Multimeter, motor bloğundan radyatöre geçen soğutucu akışkanın debisini tayin edebilmek için Mini PVC Türbin tipi Debimetre, debimetre ölçümlerini dijital veriye dönüştüren Çift Sensör Girişli Flowmeter kontrol cihazı, antifriz ve nano bileşik miktarlarını belirleyebilmek için Radwag AS 220/C/2 tipi hassas terazi kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan benzinli motorun genel yapısında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, sadece deney amaçlı kullanılan ölçüm cihazlarının motor ve motora ait diğer aksamla entegre edilmesiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler kapsamında; hem nano bileşiklerin suya karışmasıyla ilgili davranış biçimleri, hem de motor soğutma sistemindeki ısının daha etkin bir şekilde transfer edilmesine olanak sağlayan etkileri analiz edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalara ait ölçüm sonuçları Tablo 4.1 ve 4.2’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması

Deneysel çalışma malzemesi	Miktar (gr-lt)	Motor devri (d/dk)	Elektrofan devri (d/dk)	Elektrofan çalışma süresi (saniye)	Soğutma sistemi basıncı (Pascal $\pm$ 10)
Al ₂ O ₃	150 gr.	1500	2200	18	10405
SiO ₂	150 gr.	1500	2200	18	10405
ZnO	150 gr.	1500	2200	18	10405
Fe ₃ O ₄	150 gr.	1500	2200	18	10405
ZrO ₂	150 gr.	1500	2200	18	10405
TiO ₂	150 gr.	1500	2200	18	10405
Antifrizli Su	0,15 lt	1500	2200	18	10405
Musluk Suyu	7 lt.	1500	2200	18	10405

Tablo 4.2. Deneysel çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması

Deneysel çalışma malzemesi	Oda sıcaklığı (°C)	Radyatörden geçen havanın hızı (m/s)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Elektrofan açma-kapama arasındaki sıcaklık farkı (°C)
Al ₂ O ₃	21-23	8,99	3,50-3,90	18,73
SiO ₂	21-23	8,99	2,30	18,01
ZnO	21-23	8,99	5,60	17,84
ZrO ₂	21-23	8,99	5,89	16,97
TiO ₂	21-23	8,99	4,23	16,88
Antifrizli Su	21-23	8,99	1,117	16,47
Fe ₃ O ₄	21-23	8,99	4,80-5,10	15,92
Musluk Suyu	21-23	8,99	0,998	15,27

Tablo 4.1’deki veriler incelendiğinde, deneysel çalışma sonuçlarını olumsuz etkileyebilecek tüm faktörlerin standart bir hale getirildiği görülmektedir. Böylece kıyaslanabilirlik anlamındaki sorunlar en aza indirgenmiştir. Gerek ortam koşulları anlamında ve gerekse izlenen deney yöntemleri anlamında, eşit şartlar altında deneysel çalışmalar yapılarak sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

Radyatörden çekilen sıcaklık miktarları, Tablo 4.2’de en sağdaki sütunda büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Burada tespit olunan sıcaklık verileri; motor çalışırken radyatör elektro fanının devreye girip çalıştığı ve tekrar devreden çıktığı iki nokta arasında, radyatör yüzeyindeki dokuz farklı noktadan ölçülen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamasından ibarettir.

Yapılan deneysel çalışmalardan görüldüğü üzere; deneylerde kullanılan nano akışkanlar için eşit koşullar altında yapılan ölçümlere göre Al_2O_3 nano akışkanı en çok, Fe_3O_4 nano akışkanı ise en az ısı transferine katkıda bulunmuştur. Nano akışkanlar dışında kalan diğer akışkanlar arasında musluk suyu ise, en düşük düzeyde ısı transferine etki ederek son sırada yer almıştır. Bu anlamda, musluk suyunun ısı transferine olan etkisinin nano akışkanlara göre düşük seviyelerde kaldığı ve suya karıştırılan nano bileşiklerin ise ısı transferini artırıcı etkilerinin ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere; radyatör fanı devreye girip tekrar devreden çıkıncaya kadar geçen sürede, Al_2O_3 nano akışkanı sayesinde radyatördeki sıcaklık $18,73^{\circ}C$ azalmıştır. Yine aynı koşullar altında, piyasada kullanım durumu da dikkate alınarak antifrizli suyun kullanıldığı radyatördeki sıcaklık ise $16,47^{\circ}C$ azalmıştır. Netice olarak deneysel çalışmalar içerisindeki en iyi düzeyde ısı ileten Al_2O_3 nano akışkanı ile en düşük düzeyde ısı ileten antifrizli su akışkanı arasında $2,26^{\circ}C$ ’lik fark meydana gelmiştir. Matematiksel bir oranlama yapıldığında Al_2O_3 nano akışkanının kullanıldığı radyatörün, antifrizli su kullanılan radyatöre göre %13,72 oranında daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, şöyle bir yorum da yapılabilir:

“Bu deneysel çalışma kapsamında; eğer Al_2O_3 nano akışkanı kullanılarak mevcut radyatörden sıcaklığın çekilmesi anlamında antifrizli suya göre %13,72’lik bir performans elde edilebiliyorsa, o zaman radyatörün yapısında %13,72’lik bir küçülme olsa bile ilk haline kıyasla aynı performans elde edilebilmelidir.” Ancak her ne kadar burada teorik olarak böyle bir yorum yapılabilir olsa da, aynı özelliklere sahip iki benzinli motor üzerinde gerçek anlamda tasarımlar yapılmadan ve gerekli testler uygulanmadan kesin olarak sonuca gidilmesi ř aşamada mümkün görünmemektedir. Nitekim literatür taramalarından elde edilen sonuçlar da bu durumu destekler niteliktedir. Fakat burada kesin olarak tespit edilen bir durum vardır ki o da; yüzdesel verilerden anlaşıldığı ve daha önce de ifade edildiği üzere, ısı iletkenlik katsayısı yüksek olan nano akışkanların, ısı transferi konusunda musluk suyuna göre belirgin bir şekilde olumlu etkilerinin var olmasıdır.

Deneysel alışmalar kapsamında dikkat çeken hususlardan biri de musluk suyu ile Fe_3O_4 nano akışkanından elde edilen sıcaklık verilerinin birbirlerine benzer durumda olmalarıdır. Bu durumun gerekçesi ise, ilgili deney aşamasında su ile Fe_3O_4 nano bileşiğinin homojen olarak karışmaması ve nano bileşiğin topaklanarak suyun üzerinde kalmasıdır. Haliyle su ile karışmayan ve heterojen yapıda olan Fe_3O_4 nano bileşiğinden elde edilen nano akışkanın, musluk suyuna benzer bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan malzemelerden özellikle ZrO_2 ile ZnO nano bileşiklerinin yoğunlukları, diğerlerine göre yüksek olduklarından, deney aşamasında her iki nano bileşik ile elde edilen nano akışkanların çok fazla homojen yapıya sahip olmadıkları ve birkaç dakika içerisinde çökmeye maruz kalarak heterojen yapıya dönüştükleri gözlemlenmiştir. Bu durum nedeniyle, bahsedilen her iki nano bileşiğin deneylerde çalışılan diğer nano bileşiklere kıyasla, motor soğutma sistemlerinde kullanılmasının çok da verimli olmadığı kanaatine varılmıştır.

Deney aşamalarında sırasıyla ayrı ayrı kullanılan ve daha önceki bölümlerde özellikleri verilen nano bileşiklerin, suda çözünmemeleri nedeniyle, mevcut motorlu bir taşıtın soğutma sisteminde kullanılmaları şu aşamada mümkün görünmemektedir. Çünkü ilave tedbirler alınmaksızın herhangi bir motorlu taşıtın soğutma sistemindeki suya, bu tür nano bileşiklerin katılması; motorun çalışmadığı ve özellikle de uzun süre beklemede kaldığı durumlarda, gerek motor bloğu içerisindeki su dolaşım kanallarında, gerek soğutma sistemi hortumlarında ve gerekse radyatördeki soğutucu akışkan dolaşım borularında tıkanmalara sebebiyet vereceği ön görülmektedir.

5. ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada; musluk suyu, antifrizli su ve nano akışkanların motor soğutma sistemindeki ısı transferine olan etkileri ve performansları incelenmiştir. Bu amaçla, hem antifriz hem de nano bileşikler belli bir oran dâhilinde bir araya getirilerek, özel karışımlar oluşturulmuştur. Böylece musluk suyundan farklı olarak, nano akışkanların ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu hususta olumlu sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Ancak suda çözünmeyen nano bileşiklerin özellikle de motor çalışmadığı durumlarda çökelmeye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaya ilave olarak;

- Daha düşük yoğunluklara sahip nano bileşikler denenebilir,
- Birden fazla nano bileşiğin bir araya getirilmesiyle elde edilen nano bileşik karışımının, motor soğutma suyuna katılarak ısı transferi üzerine etkileri incelenebilir,
- Antifriz, alkol gibi su ile karışıtklarında homojen yapıda kalabilen ya da başka bir ifadeyle suda çözünebilen farklı nano bileşikler denenebilir,
- Motor soğutma suyunun yoğunluğunu artırabilen katkıları sayesinde, suda çözünmeyen nano bileşiklerin çökelmeye maruz kalmaksızın su içerisinde asılı kalmaları sağlanabilir,
- Nano bileşik gibi davranan, ısı iletkenliği yüksek olan, su ile tepkimeye girmeyen ve suda çözünebilen farklı kimyasal sıvılar, ısı transferi artırıcı malzeme olarak motor soğutma sistemlerinde denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, O., Yılmaz, M.** 2006. “Nano akışkanlar İle Isı Transferinin İyileştirilmesi,” MMO Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 47, sayı 559, s. 29-34.
- [2] **Wang, X., Mujumdar, A.S.** 2007. “Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review,” International Journal of Thermal Sciences, vol. 46, no.1, p. 1-19.
- [3] **Duangthongsuk, W., Wongwises, S.** 2010. “An Experimental Study on the Heat Transfer Performance and pressure drop os TiO₂-Water Nanofluids Flowing Under a Turbulent Flow Regime.” International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 53, no. 1-3, p. 334-344.
- [4] **Jung, J.Y., Oh, H.S., Kwak, H.Y.** 2009. “Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids in microchannels,” International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 52, no. 1-2, p. 466-472.
- [5] **Özerinç, Ö., Kakaç, S. Yazıcıoğlu, A.G.** 2010, “Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A state-of-the-art Review,” Microfluid Nanofluid, 8, 145-170.
- [6] **Y. Xuan and Q. Li,** Heat Transfer Enhancement of Nanofluids, Int J Heat Fluid Flow 21 (2000), pp. 58-64.
- [7] **S. Lee, S.U.S. Choi, S. Li and J.A. Eastman,** Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, ASME JHeat Transfer 121 (1999), pp. 280-289
- [8] **Chein, R., Chuang, J.** 2007. “Experimental Microchannel Heat Sink Performance Studies Using Nanofluids,” International Journal of Thermal Sciences, vol. 46, no.1, p. 57-66.
- [9] **Chein, R., Huang, G.** 2005. “Analysis of Microchannel Heat Sink Performance Using Nanofluids,” Applied Thermal Engineering, vol. 25, no. 17-18, p. 3104-3114

- [10] www.megep.meb.gov.tr/mte Motor Donanımları, 525MT0280, Ankara 2011.
- [11] www.megep.meb.gov.tr/mte Benzinli Motorlarda Yakıt ve Ateşleme Sistemleri, 525MT0273, Ankara 2011.



ÖZGEÇMİŞ

Aziz ZENGİN, 15 Mayıs 1980 tarihinde Malatya'nın Battalgazi ilçesinde doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini ilçede, lise öğrenimini ise Malatya Şehit Kemal Özalper Teknik Lisesi, Motor Bölümü'nde tamamlamıştır. 2001 yılında, ÖSS puanı ile Elazığ Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği Programına yerleşmiştir. 2005 yılında Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi'nden mezun olmuştur. İzmir ve Tekirdağ illeri olmak üzere, 2006 yılının Kasım ayında Yedek Subay olarak askerlik hizmetini tamamlamıştır. 2006 yılının Aralık ayında ise Elazığ Ford Yetkili Bayii, Çetinkayalar Otomotiv San. ve Tic. Ltd. Şti.de Binek Araçlar grubunda Servis Danışmanı olarak iş hayatına başlangıç yapmıştır. İki yıllık bir çalışma döneminden sonra, 2008 yılının Mart ayında Adıyaman Araç Muayene İstasyonuna İstasyon Amiri olarak; devamında ise aynı yılsonu itibariyle Malatya Araç Muayene İstasyonuna, İstasyon Amiri olarak geçiş yapmıştır. Malatya'da yaklaşık dört yıllık bir çalışma süresinden sonra; 2012 yılının Şubat ayında, Malatya İnönü Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Otomotiv Teknolojisi Programına, Öğretim Görevlisi olarak atanmıştır. 2012 yılı Güz Döneminde Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Programında Yüksek Lisans'a başlamıştır. Halen İnönü Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak meslek hayatına devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.