



**NANO AKIŞKANLI BİR DİZEL MOTOR
RADYATÖRÜNÜN PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türkan BAYRAM

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Program: Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ESEN

EYLÜL-2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NANO AKIŞKANLI BİR DİZEL MOTOR RADYATÖRÜNÜN PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türkan BAYRAM

(122136102)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Program: Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ESEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:02/09/2016

EYLÜL-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO AKIŞKANLI BİR DİZEL MOTOR RADYATÖRÜNÜN PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türkan BAYRAM

(122136102)

Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği

Programı: Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Bilim Dalı

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02.09.2016

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

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ESEN'e teşekkür ederim. Çalışmam süresince deneysel ortam yönünden yardımlarını esirgemeyen ve yol gösterici olan Sayın Prof.Dr.Yasin VAROL'a teşekkür ederim. TEKF.15.09 Nolu projeye olan desteklerinden dolayı, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi çalışanlarına, çalışmanın deneysel aşamasında yardımcı olan Arş.Gör.Mert GÜRTÜRK'e teşekkür ederim. Projenin her aşamasında destek olan Fethi POLAT'a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, eğitim hayatı boyunca tüm zorlukları benimle göğüsleyen annem Havva BAYRAM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Türkan BAYRAM
ELAZIĞ - 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Dizel Motorlarda Yanma.....	3
1.1.1. Tutuşma Gecikmesi.....	4
1.1.2. Kontrolsüz Yanma (Hızlı Yanma).....	4
1.1.3. Kontrollü Yanma	5
1.1.4. Gecikmiş Yanma.....	5
1.2. Common Rail Dizel Enjeksiyon Sisteminin Genel Yapısı ve Çalışması.....	6
1.2.1. Enjektörler	7
1.3. Elektrik Kontrol Ünitesinin (ECU).....	7
1.4. İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Sistemi	8
1.4.1. Görevleri ve Çeşitleri	8
1.4.2. Hava ile Soğutma Sistemi	9
1.4.3. Sıvı İle Soğutma Sistemi	10
1.5. Dizel Motorda Radyatöründe Soğutma Suyunun Isı Transferini Arttırma Yöntemleri.....	12
1.5.1. Yüksek Isı İletim Katsayısına Sahip Malzeme Kullanımı	12
1.5.1.1. Isı Transfer Yüzey Alanının Arttırılması	13
1.5.1.2. Radyatör Yüzeyine Fan Yardımıyla Havanın Üflenmesi	14
1.5.2. Soğutma Suyuna Nanobileşik Katılması.....	15
2. MATERYAL ve METOT	17
2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	17
2.2. Motor İle Birlikte Deney Setinin Hazırlanması.....	19

2.3.	Çalışır Durumdaki Motordan Ölçümlerin Yapılması	26
2.3.1.	Saf Su İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması	30
2.3.2.	Antifrizli Su İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması	30
2.3.3.	Al ₂ O ₃ Nanobileşiği ile Isı Transferi Ölçümü Yapılması	30
2.3.4.	SiO ₂ Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması.....	32
2.3.5.	TiO ₂ Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması.....	33
2.3.6.	Fe ₃ O ₄ Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması.....	34
2.3.7.	ZrO ₂ Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması	35
2.3.8.	ZnO Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması.....	36
3.	BULGULAR	39
3.1.	Saf Su Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	39
3.2.	Antifrizli Su Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	40
3.3.	SiO ₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	42
3.4.	Al ₂ O ₃ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	43
3.5.	TiO ₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	45
3.6.	Fe ₃ O ₄ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	46
3.7.	ZnO Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri.....	47
3.8.	ZrO ₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri	49
4.	SONUÇLAR.....	51
5.	ÖNERİLER.....	54
	KAYNAKLAR	55
	ÖZGEÇMİŞ	56

ÖZET

Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda içerisinde 10-50 nanometre büyüklükte katı partiküllerin, geleneksel soğutucu akışkanların içerisine katılarak ısı transferi performansları iyileştirilmeye çalışılmıştır. Soğutma sistemlerinde kullanılan antifriz/su karışımları çok yüksek ısı transferi kapasitesine sahip değildir. Nanoakışkanlar kullanılarak bu akışkanların ısıl kapasiteleri daha etkili hale gelebilecektir. Nanoakışkanlar kullanılarak tasarlanmış ısı değiştiricilere sahip motorlar daha uygun sıcaklıklarda çalışabileceklerdir.

Bu tez kapsamında, motor soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanların içerisine nanobileşikler ilave edilerek ısıl iletkenlikleri artırılmaya çalışılmıştır. Soğutma sıvısına SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_3O_4 , ZnO , ZrO_2 nanobileşikleri katılarak karışım hazırlanmıştır. Yeni karışımların termofiziksel özellikleri belirlemek için ısıl iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının yüksek olmasından dolayı soğutucu akışkan içerisine katılmasıyla, geleneksel soğutucu akışkanlara göre soğutma sisteminden birim zamanda daha fazla ısıyı transfer ettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma sistemi, Isıl iletkenlik, Nanoakışkan

SUMMARY

The performance of a diesel engine radiator with nano fuelling

Studies performed in recent times, solid particles in 10-15 nanometer size added into traditional cooling viscous therefore heat transfer performances had been tried to be improved. Antifreeze /water mixtures used in cooling systems don't have so much high heat transfer capacity. Through using nano viscous, heat capacities of those viscous will be more efficient. Motors that were designed with nano viscous and having heat changers will be able to operate in more coherent temperature.

In the scope of this thesis, heat conductivity of nano-components adding into cooling viscous used in motor cooling system had been tried to be increased. The mixture will be prepared through adding nano-components, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_3O_4 , ZnO , ZrO_2 into cooling fluid. Heat conductivity measuring device had been used to determine thermophysical features of new mixtures.

At the end of performed studies, upon adding nano-viscous into cooling viscous, because heat transfer coefficients of nano-viscous is high; it had been observed that so much heat had been transferred comparing to traditional cooling viscous in unit time.

Key Words: Cooling system, thermal conductivity, Nano viscous

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Dizel motorlarında yanma diyagramı	4
Şekil 1.2.	Common rail dizel enjeksiyon sisteminin genel görünüşü	6
Şekil 1.3.	Common rail enjektörün yapısı	7
Şekil 1.4.	Elektronik kontrol prensibi.....	8
Şekil 1.5.	(a) (b) Motosiklet motoru üzerinde hava soğutma kanatçıkları	9
Şekil 1.6.	Soğutma sistemi kısımları	10
Şekil 1.7.	Soğutma sistemi devresi.....	10
Şekil 1.8.	Soğutma sistemi elemanları	11
Şekil 1.9.	Otomobil radyatörü.....	14
Şekil 1.10.	Radyatör fanı	15
Şekil 2.1.	Deneyde kullanılan dizel motorun fabrika tip etiketi	18
Şekil 2.2.	Deney yapılacak ortamın genel görüntüsü.....	19
Şekil 2.3.	Deney motoruna ait olan radyatör muhafaza ızgaraları.....	20
Şekil 2.4.	Temsili olarak termokuplların radyatör üzerinde monte ediliş biçimi	20
Şekil 2.5.	Gerçek radyatör yüzeyinde termokuplların monte ediliş biçimleri.....	20
Şekil 2.6.	Deneylerde kullanılan Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının görüntüsü	21
Şekil 2.7.	Türbin debimetrenin, su sayacı giriş-çıkış elemanlarına monte edilmesi.....	22
Şekil 2.8.	Türbin debimetrenin akış metre kontrol cihazına bağlantısı.....	22
Şekil 2.9.	Türbin debimetrenin dizel motora bağlantı yapılmış hali.....	23
Şekil 2.10.	TESTO 510 basınç ölçer cihazın genel görüntüsü	23
Şekil 2.11.	Testo 510 basınç ölçer cihazının bağlantı şekli.....	24
Şekil 2.12.	DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçer cihazın genel görüntüsü	24
Şekil 2.13.	DT 186 Anemometre cihazının uygulamadaki görüntüsü	25
Şekil 2.14.	Radwag AS 220 /C/2 hassas terazi	25
Şekil 2.15.	Deney motoruna ait gösterge panelinin görüntüsü	26
Şekil 2.16.	DT Anemometre rüzgar hızı ölçüm grafiği (9, 26 m/sn)	28
Şekil 2.17.	Al ₂ O ₃ nanobileşiği.....	31
Şekil 2.18.	SiO ₂ nanobileşiği.....	32

Şekil 2.19. TiO_2 nanobileşiği	34
Şekil 2.20. Fe_3O_4 nanobileşiği	35
Şekil 2.21. ZrO_2 nanobileşiği	36
Şekil 2.22. ZnO nanobileşiği	37
Şekil 3.1. Şebeke suyunun zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	40
Şekil 3.2. Antifrizli suyun zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	41
Şekil 3.3. SiO_2 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	43
Şekil 3.4. Al_2O_3 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	44
Şekil 3.5. TiO_2 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	45
Şekil 3.6. Fe_3O_4 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	47
Şekil 3.7. ZnO nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	48
Şekil 3.8. ZrO_2 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği	49

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Çeşitli yapıdaki malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları.....	13
Tablo 2.1. Deneyde kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri	18
Tablo 2.2. Deneyde kullanılan sarf malzemeler ile nanobileşiklerin kullanım amaçları	18
Tablo 2.3. Deneyin gerçekleştirildiği ortam ve diğer koşullar	27
Tablo 2.4. DT 186 Anemometre tarafından ölçülen ve fan tarafından üflenmiş havanın hızı	29
Tablo 2.5. Al ₂ O ₃ nano bileşiğinin özellikleri	31
Tablo 2.6. SiO ₂ nanobileşiğinin özellikleri.....	32
Tablo 2.7. TiO ₂ nanobileşiğinin özellikleri	33
Tablo 2.8. Fe ₃ O ₄ nanobileşiğinin özellikleri.....	34
Tablo 2.9. ZrO ₂ nanobileşiğinin özellikleri.....	36
Tablo 2.10. ZnO nanobileşiğinin özellikleri.....	37
Tablo 3.1. 0 C°- 100 C° arasındaki termal fiziksel özellikleri	39
Tablo 3.2. Antifrizin özellikleri	41

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al₂O₃ : Alüminyumoksit

Ar –Ge : Araştırma Geliştirme

Common Rail: Yeni geliştirilen bir dizel enjeksiyon sistemine

ECU : Elektronik kontrol ünitesi

Etilen glikol : Antifriz

Fe₃O₄ : Demiroksit

nm : Nanometre

SiO₂ : Silikondioksit

TiO₂ : Titanyumdioksit

ZnO : Çinko oksit

ZrO₂ : Zirkonyumoksit

1. GİRİŞ

Dizel motor, oksijen içeren bir gazın sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve bu gazın içerisine püskürtülen yakıtın yanması prensibi ile çalışır. Benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ve yakıt oksijen oluşumunu oluşturmak için karbüratöre gerek yoktur. Dizel motorları, düşük motor hızlarında bol güç üretmektedir. Bunun için, kamyon, otobüs, iş makineleri, gemi, tren, denizaltı ve sabit güç makinelerinde çok tercih edilmektedir. Gelişen dizel motor teknolojisi bu tip motorların binek otomobillerde de yaygınlaşmasını sağlamıştır. Yüksek fiyat ve bakım masraflarına rağmen ekonomik olması ve ivmelenme performansının benzinli motorlara çok yaklaşması nedeni ile önemli bir alternatif haline gelmiştir.

Araç sayılarının her geçen gün hızla artması, devletlerin önlem almalarını zorunlu hale getirmiştir. Hızlı nüfus artışı ve sanayileşmeye paralel olarak her geçen gün doğa biraz daha kirletilmekte, doğanın doğal dengesi bozulmaktadır. Bu kirlenme insan sağlığını ve hayatını tehdit edecek ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu gelişmeler karşısında hükümetler birtakım önlemler almak zorunda kalmıştır. Dünyanın birçok yerinde de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Dizel motorlarında uygulanan Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 gibi normlarda da, bu motorların daha az kirlettiği ifade edilmektedir.

Ülkemizde, bu konuda önümüzdeki birkaç yılda emisyon standartlarının denetlenmesi, dizel partikül tutucularının uygulamaya konulması CO, HC ve NO_x emisyonlarının kontrollü için katalizör kullanımı, alternatif yakıtların motorlarda kullanımı gibi önlemler, çevre kirliliğinin azaltılmasıyla ilgili önemli bir yer tutmaktadır.

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 departmanlarında çalışan mühendisler daha az yakıt tüketimi ile daha çok güç üreten motorlar geliştirmektedir. Hibrit otomobiller ülkemizde yeterli sayıda olmasa da birçok ülkede devlet tarafından desteklenmesi ile cazip hale getirilmeye çalışılmıştır. Hibrit otomobiller daha az yakıt tüketir yani daha çevreci otomobillerdir. Dizel hibrit araçlar günümüzde kullanılmaktadır. Dizel-elektrikli araçlara örnek verecek olursak bunlar trenleri çeken lokomotifler ve maden kamyonları diyebiliriz. Bu araçlar, kablolu yerlerde elektrik, kablosuz yerlerde ise dizel ile çalışırlar. Denizaltılarında bazıları nükleer-elektrik, bazılarında ise dizel-elektrik kullanılan hibrit araçlardandır. Hibrit araçlar rejeneratif enerji

yardımıyla kendi kendini şarj eder. Bir diğer çalışmada tamamen elektrik enerjisiyle çalışan otomobiller geliştirmektir. Bu sayede daha az yakıta bağımlılık ve daha çevreci motorların geliştirilmesi planlanmaktadır.

Isı değiştiricilerde kullanılan klasik ısı transferi akışkanları su, etilen glikol (antifriz) ve motor yağı gibi akışkanlardır. Şahin vd. [1], ısı değiştiricilerde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı iletkenliklerini arttırmak için, nano yapıdaki katı partiküller ile süspansiyon oluşturmuşlardır. Temel akışkanın içine katı partiküllerin katılması ısı iletkenliği artırır. Choi vd. [2], ısı değiştiricilerde kullanılan klasik soğutucu akışkanlarının içine mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin katılması fikrini ilk öne süren Maxwell 'in teorik çalışması bundan yaklaşık 100 yıl önce yayınlanmıştır. Ancak mikrometre boyutundaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar daha az kararlı yapı gösterirler ve böylece mikro kanalların tıkanmasına sebep olurlar. Wang vd. [3], nanoboyuttaki katıların ısı iletkenliklerinde zamanla çökme, tortulaşma ve aşınma gibi sorunlardan dolayı basınç düşümü ortaya çıkmıştır. Özeriç vd. [4], yapılan araştırmalarda, nanoakışkanların akış özellikleri ve viskozitesinin, ısı iletkenliğe göre daha az incelendiği görülmüştür. Nanoakışkan viskozitesinin, potansiyel uygulamaları açısından büyük önem taşıdığını belirtmiştir.

Son zamanlarda dikkat çeken konulardan biri de nano boyuttaki parçacıkların özelliklerinden yararlanılarak farklı sektörlerde ve otomotiv alanında daha verimli sonuçlar alınmaya çalışılmasıdır. 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 için yapılan iyileştirmelerin yanında daha fazla yakıt tüketimi gerekir. Bu da daha fazla çevre kirliliğine sebep olur. Bunun önüne geçmek için hafifletilmiş gövde ve şasi tasarımlarının yanında motor gibi büyük kütleli parçaların küçültülmesi daha az yakıt tüketimine konusunda yararlı olacaktır. Bir motorun silindir sayısı ve hacminin küçültülmesi, hafif alaşımlı malzemelerin kullanılması motorun kütle ağırlığının azalması anlamına gelir. Motorun çalışması sırasında silindir cidarları, pistonlar ve silindir kapağı gibi motor parçaları ısıyı büyük miktarda emer. İçten yanmalı bir dizel motorun silindir içerisinde ürettiği ısı iletmesi için etkili bir soğutma sistemine ihtiyaç vardır.

Son yıllarda yapılan akademik ve bilimsel çalışmalarda, soğutma sisteminin verimini arttırmak için soğutma suyunun içerisine 10-50 nanometre büyüklüğünde ısı iletim katsayısı yüksek olan katıların ilave edilerek ısı iletimine katkıda bulunduğu, birim zamanda daha fazla ısıyı transfer ettiği gözlemlenmiştir. Özellikle suda çözünmeyen,

çökelme yapmayan, oksitlenme, aşındırma gibi olumsuz etkiler meydana getirmeyen Al_2O_3 , Fe_3O_4 , ZnO , ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 gibi nanobileşikler bu tezi oluşturan deneylerde kullanılmak suretiyle ısı transferinin daha etkin bir düzeye getirilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Duangthonsuk vd. [5], çok küçük boyuttaki (16-60nm) nano partiküller ile oluşturulan nanoakışkanların tek fazlı akışkan gibi davrandığını tespit etmiştir.

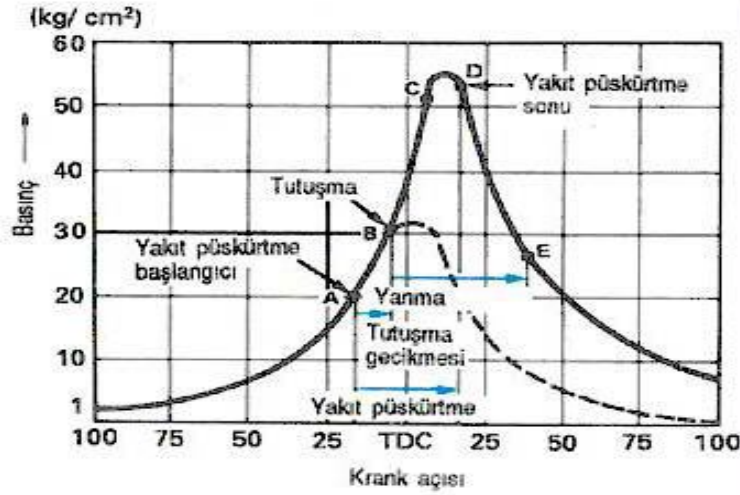
Xuan vd. [6], çalışmalarında, nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olayları incelemiştir ve akışkanların yüzey alanlarını genişlettiğini tespit etmiştir.

Lee vd. [7], çalışmasında, nanoakışkan üretebilmek için partikül olarak Al_2O_3 , Cu, CuO, Au, Ag ve SiO_2 kullanmıştır.

İçten yanmalı dizel bir motor çalıştırıldığında, silindir içerisinde meydana gelen yanma olayı sonucunda açığa çıkan ısı enerjisinin %25 ve %30'u kadarı motorun güce dönüşür. Geriye kalan ısı enerjisinin bir kısmı egzoz supabından atılırken bir kısmı soğutma sıvısına, bir kısmı da sürtünmelere ve motor yağına geçer. Motor bloğu içerisindeki su ceketlerinde dolaşan soğutma suyu, silindir gömleklerinin dış yüzeylerine temas ederek ve silindir kapağındaki su kanallarını dolaşarak, bu noktalardaki ısıyı üzerine alır. Soğutma suyuna geçen ısı, soğutma sıvısına ilave edilen nanobileşiklere geçiş yapar. Isıyı üzerine alan nanobileşikler, radyatör yardımıyla ısıyı dış ortama aktarır. Akışkan içerisine ilave edilen nano boyuttaki metalik partiküller yeni oluşturulan nanoakışkanların taşınım özelliklerini ve ısı transfer performansını değiştirir. Genel olarak, içten yanmalı motorlarda silindir içerisinde yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan ısı motorun atılması, soğutma sistemi ile mümkündür. Geçmişten günümüze kadar sürekli değişim içerisinde olan dizel motorları, yapılan çalışmanın daha anlaşılır olması adına alt başlık şeklinde aşağıda açıklanmaktadır.

1.1. Dizel Motorlarda Yanma

Yakıtın oksijenle birleşerek su ve karbondioksit oluşmasına yanma denir. Bu işlem sırasında ısı ve enerji açığa çıkar. Motorlar kimyasal reaksiyon sonucu oluşan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürürler. Dizel motorlarında yanma ise, emme zamanında silindire alınan havanın, sıkıştırma zamanı sonunda sıcaklığı yaklaşık 600–900°C kadar yükselterek bu havanın üzerine enjektörler vasıtasıyla yakıt püskürtülmesiyle oluşur [8].



Şekil 1.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı

Yanma olayı 1-Tutuşma gecikmesi 2-Kontrolsüz yanma (Hızlı yanma) 3- Kontrollü yanma 4-Gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir.

1.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Sıkıştırma zamanı sonunda, sıkıştırılan havanın üzerine yakıt püskürtüldüğü andan, alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen süredir. Bu sürenin uzunluğu yakıtın tutaşabilirliği (setan sayısı), silindire alınan havanın basınç ve sıcaklığı, silindire alınan havanın miktarı ve hava-yakıt oranına bağlıdır.

1.1.2. Kontrolsüz Yanma (Hızlı Yanma)

Alev cephesinin başlangıcı ve basıncın yükselmeye başlamasından sonra kuvvetli bir alev cephesinin silindir duvarlarına yayılarak silindir basıncının maksimum olduğu noktaya ulaşana kadar geçen zamandır. Bu süre, yanma odası şekline, enjektör yapısına sıkıştırma oranına ve yanma odasındaki türbülansın şiddetine bağlıdır. Tutuşma gecikmesinde yakıtın hepsi oksijenle karışır ve hızlı yanma meydana getirir. Bu motorlarda basıncın yükselmesine ve sesli çalışmasına neden olur.

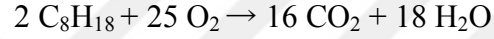
1.1.3. Kontrollü Yanma

KontROLSÜZ yanma sonucunda silindir içersine alınan havanın basıncı ve sıcaklığı yüksektir. Bu durum enjektörden püskürtülen yakıtın gecikme olmadan yanmasına neden olur. Belirli bir süre sonra basınç sabit kalarak kontrollü yanma meydana gelir.

1.1.4. Gecikmiş Yanma

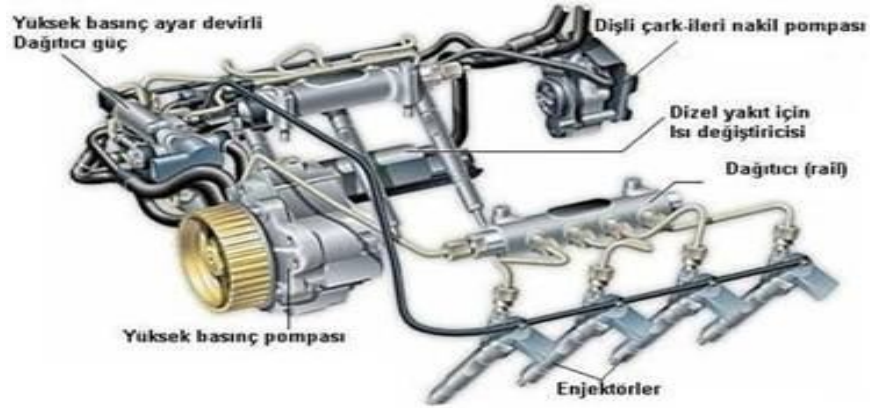
Yakıtın silindire püskürtme olayı sonunda daha önceden püskürtülen ve yanmayan yakıt oksijen buldukça yanar. Bu olaya gecikmiş yanma denir.

Benzin ve motorin için, yanma kimyasal denkleminin katsayılarının denkleştirilmiş hali aşağıdaki şekildedir;



Yanma periyotları sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi, hareketli motor parçalarını, motor yağını ve soğutma suyunu ısıtır. Isı transferi şeklinde gerçekleşen bu enerji kayıpları, birim zamanda tüketilen yakıtın artmasına neden olur. İçten yanmalı dizel motorlarda, motor silindirlerinde üretilen ısıyı daha etkili bir şekilde transfer edebilmek için, alaşımlı motor blokları, değişken devirli radyatör fanları, alüminyum boru ve kanatçık tertibatından oluşan motor soğutma radyatörleri yapılan çalışmalardan biri olarak söylenebilir. Bu uygulamalara ek olarak, aracın motoruna ait aksamaların sayısını ve ağırlığını arttırmadan gerçekleştirebilecek ısı transferi sayesinde, var olan soğutma sisteminin yapısında hacimsel ve kütsel azalmalar elde edilirse, aracın toplam ağırlığındaki azalma ile birim zamanda tüketilen yakıt miktarında da azalma görülebilir. Buna bağlı olarak yakıt ekonomisi ve daha az çevre kirliliği elde edilebilir.

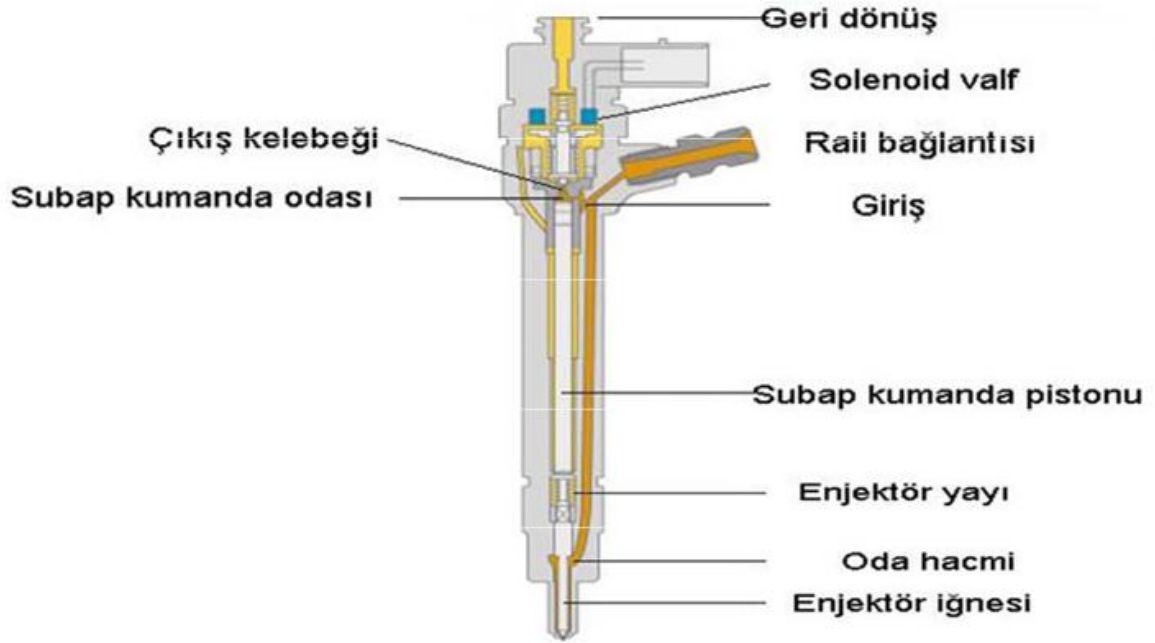
1.2. Common Rail Dizel Enjeksiyon Sisteminin Genel Yapısı ve Çalışması



Şekil 1.2. Common rail dizel enjeksiyon sisteminin genel görünüşü

Yeni geliştirilen bir dizel enjeksiyon sistemine Common Rail sistemi denir. Günümüze kadar kullanılan aynı türdeki sistemlere göre yakıt sarfıyatı, egzoz gazı emisyonu, çalışma sistemi yönünden daha üstün özelliklere sahiptir. Tutuculu püskürtme anlamına gelen common-rail’de basınç oluşumu ve püskürtme tek pompalı sistemlerden farklı olarak ayrılmaktadır. Püskürtme basıncı, püskürtme miktarı ve motor devir sayısından bağımsız olarak oluşturulur. En çok tercih edilen dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık olarak 900 bar’lık basınç ile çalışırken Common rail sistemi yakıtı 2000 bar’a kadar yükselterek ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtır [9]. Bu yüksek basıncı Elektronik kontrol ünitesi (ECU), motorun yüküne ve devir sayısına bağlı olarak ayarlar. Enjektörler üzerinde bulunan manyetik supaplar püskürtmeyi sağlamaktadır. Bununla birlikte püskürtmenin şekillendirilmesi ve püskürtme miktarının ölçülmesi sağlanmaktadır. Bu imkanlar neticesinde sistemin bir avantajı olan ön (pilot) püskürtme ortaya çıkmaktadır. Ön püskürtme, ana püskürtmeden önce meydana gelerek yakıtın daha iyi yanmasını ve buna bağlı olarak emisyon oranlarını iyileştirir. Direkt püskürtmeli yanma odalarında ön püskürtme vasıtasıyla gürültü emisyonunu ve yakıt sarfıyat miktarını azaltır.

1.2.1. Enjektörler

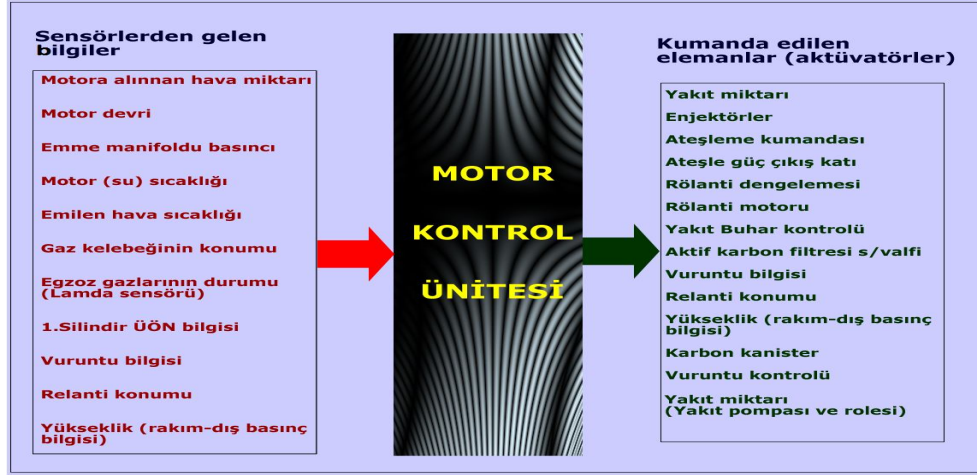


Şekil 1.3. Common rail enjektörün yapısı

Common rail dizel enjektörlerinin diğer dizel enjektörlerinden farkı hidrolik yakıt basıncı ile açılmamasıdır. ECU tarafından sistemin enjektörleri elektrikselsel olarak çalıştırılır. Bu şekilde enjeksiyonun başlaması ve enjektör miktarının kontrolü sağlanır. Elektromanyetik kumandalı enjektörler, yüksek hassasiyete sahip olmaları gerekmektedir.

1.3. Elektrik Kontrol Ünitesinin (ECU)

Modern elektronik kontrollü dizel motorlar, ECU içerisinde motorun çalışmasıyla ilgili algoritmalar ve kalibrasyon tabloları mevcuttur. ECU bir sensörden motor hızına bağlı bir uyarı alırsa gereken bilgi işlemleri yapar, elektronik hidrolik valfleri vasıtasıyla yakıt miktarını ve yanma zamanlamasını kontrol ederek motor hızını sabitler. ECU'nun bulunduğu motorlarda kumanda yapısı Şekil 1.4'te görüldüğü gibi sensörlerden ve aktivatörlerden oluşur.



Şekil 1.4. Elektronik kontrol prensibi

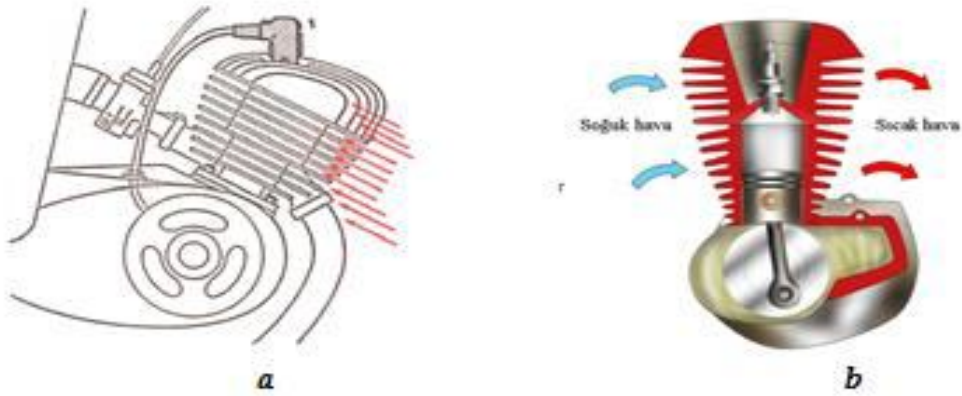
1.4. İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Sistemi

1.4.1. 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 [10]. Soğutma sistemi çalışma şartları ne olursa olsun, motoru en verimli ısıda çalıştırmalıdır. Motorun çalışması esnasında silindir cidarları, pistonlar ve silindir kapağı gibi motor parçaları büyük miktarda ısıyı absorbe eder. Motorun bu kısımları eğer çok fazla ısınır ve yağ filmi yanar ve yağ tabakasının yağlama özelliğini kaybetmesine neden olur. Bundan dolayı motor hasar görebilir. Eğer motor parçalarında yeterli soğutma yapılmazsa, motor parçalarının mekanik dayanımı azalır. Motor parçaları üzerinde aşırı genleşmeler meydana gelir ve hareketli parçalar arasındaki yağ boşluğu ortadan kalkar. Yağlanamayan parçalar kuru sürtünme sonucunda ısınır ve birbirine kaynar. Bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak için motorun tamamen soğutulmasına çözüm değildir. Çünkü motor çalışma sıcaklığına ulaşmadan istenilen gücü veremez. Bunun için motor soğutma sistemi, çalışma sıcaklığına ulaşmaya kadar devreye giremeyecek şekilde tasarlanmıştır. Soğutma sistemi motoru normal çalışma sıcaklığında tutmalıdır. Günümüzde kullanılmakta olan içten yanmalı motorlarda genellikle, hava ve sıvı ile soğutma sistemleri kullanılmaktadır.

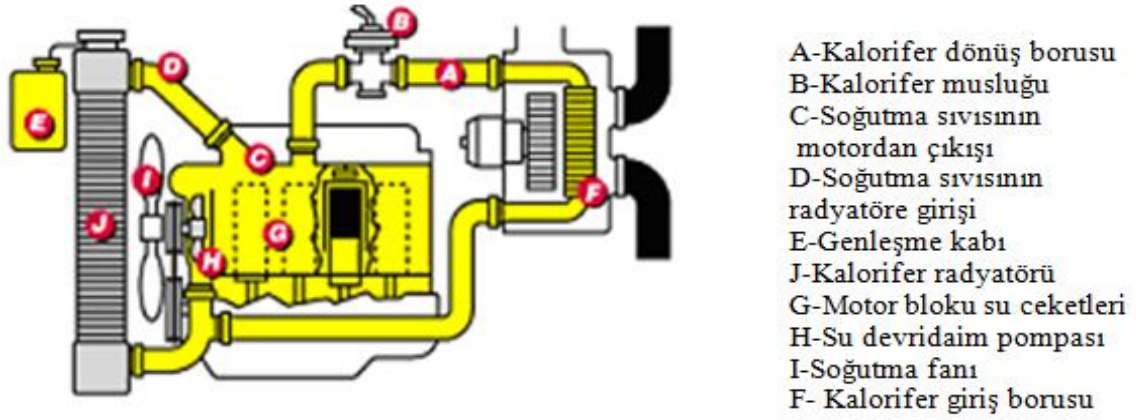
1.4.2. Hava ile Soğutma Sistemi

Otomobil motorları genellikle su soğutmalıdır, hava soğutması daha çok motosikletlerde, çim makinelerinde ve bazı küçük araçlarda kullanılır. Şekil 1.5’de hava ile soğutmalı motor gösterilmiştir. Silindir ve silindir kapağı, ısı dağılan yüzeylerinin arttırılması için soğutma kanatçıkları ile donatılmıştır. Fan kullanılmayan sistemlerde hareket esnasında oluşan rüzgar, 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 saçları ve soğutma fanı bulunmaktadır. Hava ile soğutma işlemi soğutucu hava akışı ve bir fan yardımıyla sağlanır. Fan havayı eksenel yönde emer ve çevresel yönde dışarı gönderir. Hava yönlendirme saçları havayı silindirlere yönlendirir. Soğutma işlemi silindirlerin ve silindir kapağının üzerinden üflenen havanın geçmesi ile meydana gelir. Daha iyi soğutma sağlamak için silindir ve silindir kapağının dışına ince kanatçıklar yapılmıştır.



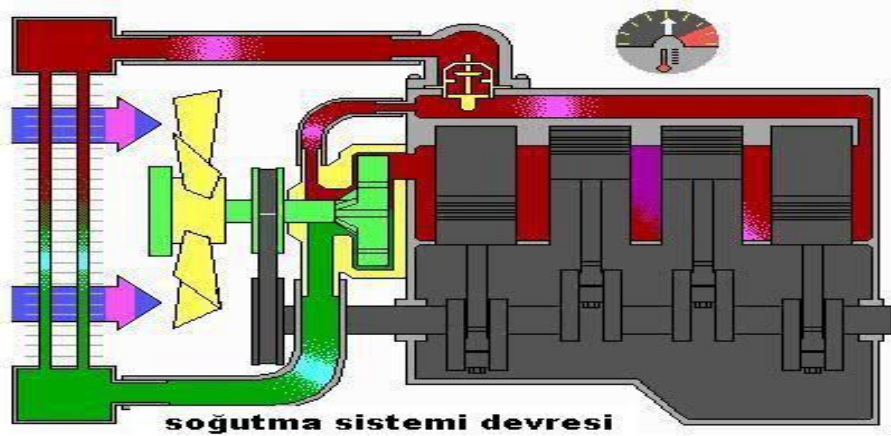
Şekil 1.5. (a) (b) Motosiklet motoru üzerinde hava soğutma kanatçıkları

1.4.3. Sıvı İle Soğutma Sistemi



Şekil 1.6. Soğutma sistemi kısımları

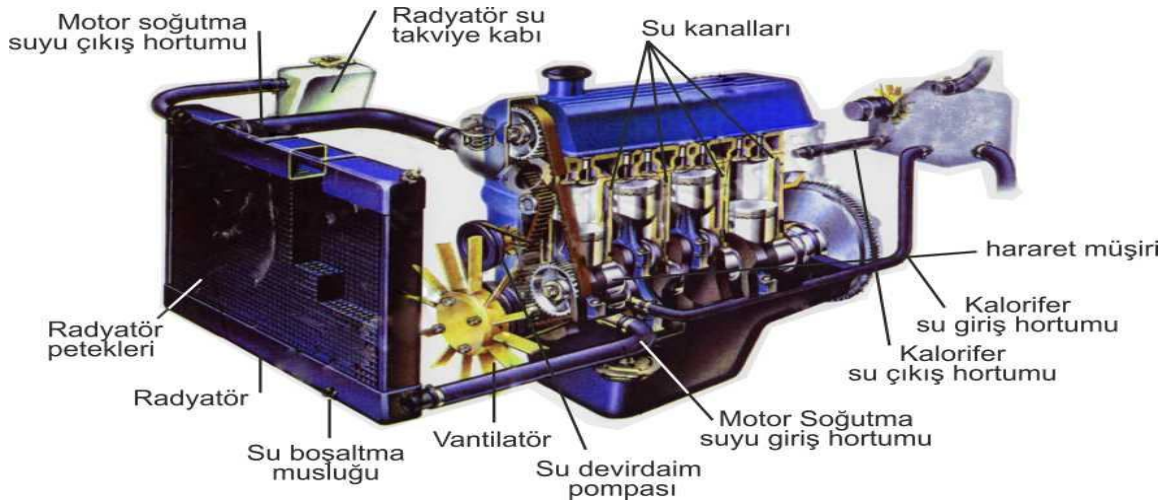
Sıvı soğutmalı motorlarda soğutucu akışkan olarak genelde su kullanılır. Su soğutmalı motorlarda, motorun içerisinde meydana gelen ısı motor soğutma suyu tarafından alınır ve radyatörde soğutulur. Soğutma suyu su pompası vasıtasıyla devridaim ettirilir. Bu şekilde radyatör içerisindeki sıcak olan motor soğutma suyu, radyatör fanının dönmesi ile birlikte veya aracın ileri doğru hareket etmesiyle birlikte doğal olarak içeri giren hava soğutulur. Şekil 1.6’da sıvı soğutma sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Soğutma sistemi devresi

Soğuk bir motor çalıştırıldığı zaman, motorun çabuk ısınması için radyatöre giden su kanalı bir termostat tarafından kapatılmıştır ve bu şekilde 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. Ayrıca soğutma suyu kalorifer petekleri içerisinde devridaim edilerek araç içinin ısıtılmasında kullanılır. Sıvı soğutmalı motorlarda, soğutma sıvısı (antifriz ve su karışımı) Şekil 1.7’de görüldüğü gibi motor bloğu ve silindir kapağındaki kanallarda dolaşır. Soğutucu sıvı motor parçalarında dolaylı biçimde temas eder. Parçaların içinden geçerken ortaya çıkan ısıyı üzerine alır ve radyatörün içinden geçerek ısıyı havaya bırakır. Sonra aynı yolu tekrar dolaşır Bu işlem motor çalıştığı sürece 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. Motor ana mili kasnağından hareket alan su pompası mili ucundaki palet dönmeye başlayınca radyatörün alt tarafından suyu alarak merkezkaç kuvvet etkisi ile çevreye doğru sıkıştırılır. 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. Günümüz motorların hemen hepsi pompalı soğutma sistemi ile soğutulur. Bu nedenle radyatör ile motor arasına santrifüj tip bir su pompası konulmuştur. Şekil 1.8’de sıvı soğutma sistemi elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Soğutma sistemi elemanları

1.5. Dizel Motorda Radyatöründe Soğutma Suyunun Isı Transferini Arttırma Yöntemleri

1.5.1. Yüksek Isı İletim Katsayısına Sahip Malzeme Kullanımı

Sistemde üretilen ısı, değıştiricilerde ya sıvı-gaz ya da sıvı-sıvı akışkan modeli kullanılarak tahliye edilmektedir. Dizel motor radyatörünün iç kısmında sıvı akışkan olan “su” dış kısmında ise gaz akışkan olan “hava” kullanılmaktadır.

İçten yanmalı dizel motorun silindir içerisinde ürettiğı ısı, önce iletim yoluyla silindirin dışına, oradan da taşınım yoluyla soğutma suyuna en son olarak radyatöre kadar ulaşmaktadır. Motor bloğu içerisinde suyun dolaşımı devir daim pompası vasıtasıyla gerçekleşir. Radyatöre 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 üzerinde bulunan elektrofân yardımıyla havaya transfer olmaktadır. Bu şekilde motorun ürettiğı ısı, motordan uzaklaştırılmıştır. Isı iletimine katkıda bulunan unsurlardan birisi de kullanılan malzemenin cinsidir. Her maddenin ısı iletim katsayısı, malzemenin yapısına bağılı olarak birbirinden farklıdır. Özellikle metal sınıfında yer alan elementlerin ısı iletim katsayıları yüksektir. Radyatör malzemelerinde, genellikle bakır veya pirinç tercih edilmektedir. Ancak son yıllarda alüminyum alaşımından yapılmış olan malzemelerde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanılma nedenleri korozyona karşı dayanıklı olmaları ve iyi ısı iletkenliğine sahip olduklarındandır. Bu özelliklerin yanında alüminyumun hafif ve kolay işlenebilir olması, otomotiv endüstrisinde motorlu taşıt soğutma suyu radyatörü olarak en fazla tercih edilmesi sebebidir.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Yukarıda gösterilmiş olan Fourier ısı iletim denkleminde (1) parametreler dikkate alındığında, ısı iletken katsayısı (k), malzemenin yapısına özgü olan ve malzemenin fiziki görünümünden bağımsız olarak ısı iletimini etkileyen bir faktördür.

Tablo 1.1. Çeşitli yapıdaki malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları

Normal şartlarda malzeme (298 K, 24. 85 C°)		Tipik ısı iletkenlik (k) W/mK
Metal Malzeme	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 (C 101 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 (yumuşak ya da sert ağaç)	0. 07-0. 2

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı günümüzde en çok soğutma suyu radyatörlerinde alüminyum boru ve kanatçık kullanılmaktadır.

1.5.1.1. Isı Transfer Yüzey Alanının Arttırılması

Motorun çalışması sırasında açığa çıkan aşırı sıcaklıktan, motor yağının ve motor parçalarının zarar görmemesi için motor bloğunun soğutulması gerekir. Soğutmanın amacı motordaki fazla ısıyı sistemden uzaklaştırmak ve motoru en verimli ısıya en kısa zamanda yükseltilmesini sağlamaktır. Isının dağıtımı açısından, ısı transfer yüzey alanı ne kadar büyük olursa, soğutma buna bağlı olarak daha etkili olur.

Günümüzde kullanılan içten yanmalı motorlarda soğutma, kapalı devre soğutucularında soğutucu akışkanın motor bloğu ve içindeki kanallarda dolaşmasıyla sağlanır. Soğutucu sıvı ısıyı absorbe eder ve daha sonra radyatör ile üzerindeki ısıyı havaya iletir. Bu işlemin mümkün olduğunca en kısa zamanda gerçekleşmesi gerekmektedir. Çünkü içten yanmalı motor, çalıştığı sürece devamlı olarak ısı üretmektedir. Radyatöre ulaştırılan soğutma sıvısındaki ısının dış ortama atılmasında, soğutucunun dolaştığı boru sayısının ve boruların yüzey alanlarının da önemi vardır. Bunun için hava ile geniş bir temas yüzeyi oluşturacak kanatçıklara ihtiyaç vardır. Birim zamanda daha fazla ısının transfer edilebilmesi için mevcut yapıdaki radyatörlere daha fazla kanatçık monte edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.9. Otomobil radyatörü

Otomobil radyatörlerinde soğutucu akışkanın taşınması için genellikle su boruları dik olarak yerleştirilmiştir. Hava kanatçıkları da düz veya kıvrık olarak, daha fazla ısının transfer edilmesi için su borularının üzerine lehimlenmiştir.

1.5.1.2. Radyatör Yüzeyine Fan Yardımıyla Havanın Üflenmesi

İçten yanmalı bir motorun soğutma suyuna verdiği ısı daha önce de bahsedildiği gibi iletim ve taşınım yoluyla motordan uzaklaştırılmaktadır. Radyatör, motordan aldığı ısıyı havaya aktaran parçadır. Sistemden boru ve kanatçıklarına iletim yoluyla aldığı ısıyı, dış ortamdaki havaya taşınım yoluyla vermiş olur. Taşınım yoluyla ısı transferi; zorlanmış taşınım, doğal taşınım, faz değişimi ile taşınım şeklinde gerçekleşir. Aracın düşük hızda ilerlemesi veya motorun rölantide kalması durumunda, aracın ön kısmından içeri giren hava, soğutmada kullanılması yetersiz olur. Bu süreç, uzun sürerse motorun aşırı ısınarak hararet yapmasına neden olur. Radyatöre giden motor soğutma sıvısının soğutulmasında eğer radyatör yetersiz kalıyorsa, soğutmanın hızlanması için radyatöre hava üfleyen bir fan devreye girer. Bu şekilde radyatör yüzeyine gelen sıcak hava kütlesi taşınım yoluyla genleşerek yerini düşük sıcaklıktaki hava kütlesine bırakmış olur. Genellikle fanlar su pompası şaftı üzerine monte edilmiştir ve bu fanlar hareketini V kayışından alırlar. Ayrıca fanlar bağımsız bir ünite olarak da takılabilirler. Bu fanlar ise aküye bağlıdır ve elektrik ile çalışırlar.



Şekil 1.10. Radyatör fanı

Şekil 1.10’da görüldüğü gibi, otomotiv üretici firmalar araçların marka ve modeline göre farklı şekillerde tasarlayarak radyatör elektrofani üretirler. Elektrofani soğutma sisteminde termostatin açılarak su pompası tarafından motor su ceketleri içerisindeki sıcak suyun radyatöre gönderilmesiyle devreye girmektedir. Birim zamanda daha fazla ısıyı atılmasını sağlamak için, elektrofani daha fazla havayı radyatöre göndermektedir.

1.5.2. Soğutma Suyuna Nanobileşik Katılması

Isı transferi süspansiyonları için nanopartiküller oldukça uygundur. Daha fazla yüzey alanı ve daha az kütle, nanopartikülleri bu uygulamalarda cazip kılan unsurlardır. Argonne National Laboratory’de Choi (1995) tarafından nano boyuttaki partiküller temel akışkan içine karıştırılarak ısı özellikleri iyileştirilmiştir. Temel akışkan içerisine süspansiyon edilen nano boyuttaki metalik partiküller yeni oluşan nanoakışkanların taşıma özelliklerini değiştirerek ısı transferi performansını artırırlar.

Son yıllarda nano boyutlu malzemeler üzerine yapılan çalışmalar önemli bir alan olma yolunda gelişme göstermektedir. Boyutu 100 nanometrenin (nm) altında olan nanopartiküller, hacimsel olarak büyük olan malzemelere göre daha üstün özellikleri olduğu kabul edilmiştir. Bu sebepten dolayı nano boyuttaki partiküller soğutucu akışkan içine karıştırılarak ısı iletkenlik özellikleri iyileştirilmiştir. Basınç düşümünde yok denecek kadar az artışa neden olduklarından pratik uygulamalara uygun olabilecekleri düşünülmektedir. Nanoakışkanlar nano boyutlarda katı partiküllerin temel akışkan olan su ve etilen glikol (antifriz) içerisine katılmasıyla hazırlanırlar. Çok küçük tane boyutlarındaki partiküller (16-60 nm) akışkan içerisinde çok iyi karıştırıldığında, ortaya çıkan akışkan katı-sıvı karışımından çok, tek fazlı akışkan gibi davranır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının yüksek olmasından dolayı soğutucu akışkan içerisine katılmasıyla, mevcut

soğutma sistemlerine göre daha fazla ısıyı transfer ettikleri deneylerle ispat edilmiştir. Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda genellikle Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , TiO_2 gibi nanoakışkanların kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında Fe_3O_4 , ZrO_2 , ZnO gibi nanoakışkanlarında ısı iletimi konusunda olumlu sonuçlar verebileceği ön görülmüştür. Bu çalışmamızda Al_2O_3 (Alüminyumoksit), SiO_2 (Silikondioksit), TiO_2 (Titanyumdioksit), Fe_3O_4 (Demiroksit), ZrO_2 (Zirkonyumoksit), ZnO (Çinko oksit) nanobileşiklerin kullanılması amaçlanmıştır.



2. MATERYAL ve METOT

İçten yanmalı dizel bir motor çalıştırıldığında, silindir içerisinde meydana gelen yanma sonucunda açığa çıkan ısı, soğutma sistemindeki radyatör ve elektrofân yardımıyla dışarı atılmaktadır. Mevcut yapıya ek olarak, motor soğutma suyu içerisine nanobileşiklerin ilave edilmesiyle, radyatörden birim zamanda çekilen ısı miktarında artış olup olmadığının araştırılması için atölye ortamında dizel bir motor üzerine, ölçüm cihazları monte edilerek incelenmiştir. Bu nedenle deney aşamasında kullanılan sarf malzemeler, demirbaş malzemeler ve deney sırasında kullanılan teknikler aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deney aşamasında motor soğutma suyunda ısı transferini artıracak nano bileşiklerin belirlenmesi için ilk önce literatür taraması yapılmıştır. Oluşturulacak süspansiyonun homojen bir dağılım sağlayan, su ile tepkimeye girmeyen, akışkanların kimyasal özelliklerini değiştirmeyen, oksitlenme yapmayan, ani çökelme ve topaklanma yapmayan, tedarik edilebilir nitelikte olan nano bileşiklerin altı tanesi deneyde kullanılmıştır.

Ayrıca nanobileşik ve motor soğutma suyu ikilisinin katı-sıvı formundaki süspansiyonları ile motor soğutma suyu ve antifriz ikilisinin sıvı-sıvı formundaki çözeltinin, ısı transferi üzerindeki etkilerinin araştırılması için gerçek bir motora uygulanması mümkün olan cihazların tedarik edilmesi ile deneyler sonuçlandırılmaya çalışılmıştır.

Bunun için, nanobileşik ve su ile hazırlanmış nanoakışkanların, dizel bir motora ait radyatörün üzerindeki etkilerinin incelenmesinde gerekli görülen 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	Rüzgar hızı ölçer, DT186
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 Terazî	1	Ağırlık ölçer, Radwag AS 220/C/2

Yukarıda gösterilen ölçüm cihazlarının yanı sıra, temel deney malzemesi olan motor; 1.8 litre motor hacmine sahip, 4 zamanlı, 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu, üstten eksantrikli, 8 subaplı, sıkıştırma ateşlemeli, içten yanmalı, atmosferik dizel motordur. Fabrika tip etiketi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan dizel motorun fabrika tip etiketi

Deneyde kullanılan sarf malzemelere ve nanobileşiklere ait bilgiler Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Deneyde kullanılan sarf malzemeler ile nanobileşiklerin kullanım amaçları

Sarf Malzemenin Adı	Miktarı	Kullanım amacı
Motor soğutma suyu	7. 5 litre	Her deney için radyatöre doldurulan su miktarı
Antifriz	3 litre	Antifrizli ölçüm için kullanılan kimyasal sıvı
Motorin yakıt	15 litre	Deney aşamasında motorun çalışmasını sağlayan
Al ₂ O ₃	1 kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
SiO ₂	1 kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
TiO ₂	1 kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
Fe ₃ O ₄	1 kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
ZrO ₂	1kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
ZnO	1kg	Isı transferi artırıcı nanobileşik
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 deney ait verilerin kıyaslanabilmesi için eşit miktarda nanobileşik kullanılmıştır. Ayrıca, deney koşulları ile deney aşamasında kullanılan sarf malzemelere ait açıklamalar sonraki aşamalarda verilmiştir.

2.2. Motor İle Birlikte Deney Setinin Hazırlanması

Deney setinin hazırlanması için öncelikle deneyin yapılacağı ortamın belirlenmesi ve ortam koşullarının şartlara uygun hale getirilmesi planlanmıştır. Buna uygun olarak deney yapılacak ortamın Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği atölyesinde karar verilmiştir.

İlgili deneylerin gerçekleştirileceği ortam için egzoz tahliye sisteminin, su tahliye sisteminin, ortam havalandırma sisteminin ve deney aşamasında gerekli olacak her türlü tornavida ve anahtar takımlarının bulunduğu yer seçilmiştir. Otomotiv Mühendisliğine atölyesine ait genel bir görüntü Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deney yapılacak ortamın genel görüntüsü

Deney ortamının seçilmesinden sonra, deneyde kullanılacak ölçüm cihazları ile sarf malzemeler, deney setinin oluşturulması için ilgili motorun yanına getirilmiştir. Deney genel anlamda soğutma sistemine müdahale gerekli kıldığından dolayı, ilk etapta radyatöre ait olan ve Şekil 2.3’de görülen sarı renkteki muhafazaların sökülmesiyle işe başlanmıştır.

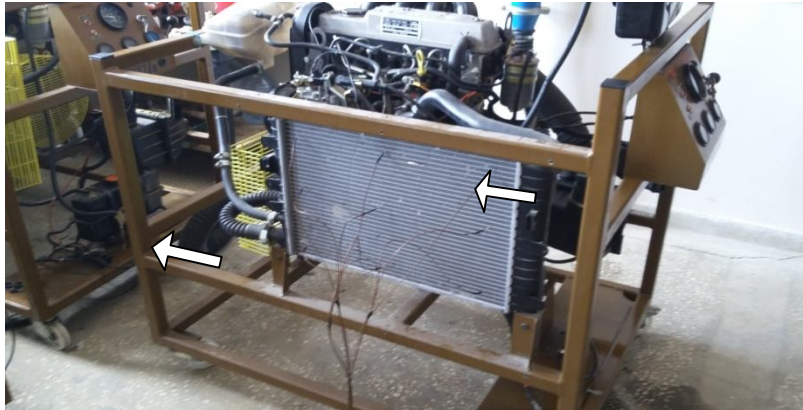


Şekil 2.3. Deney motoruna ait olan radyatör muhafaza ızgaraları

Radyatör muhafazaları söküldükten sonra, 18 metre uzunluğundaki T tipi termokupl, dokuz eşit parçaya ayrılarak 2'şer metrelik termokupllar elde edilmiştir. Bu 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 yapılmıştır. Numaralandırılmış olan termokuplların birer uçları Şekilde temsili olarak Şekil 2.4'de, gerçek olarak da Şekil 2.5'de gösterildiği üzere radyatör üzerine monte edilmiştir.



Şekil 2.4. Temsili olarak termokuplların radyatör üzerinde monte ediliş biçimi



Şekil 2.5. Gerçek radyatör yüzeyinde termokuplların monte ediliş biçimleri

Termokuplların açıkta kalan diğer uçları ise, Keithley 2701 Ethernet Multimeter (40 kanallı) cihazına bağlanmıştır. Bağlantılar aşağıdaki şekilde yapılmıştır;

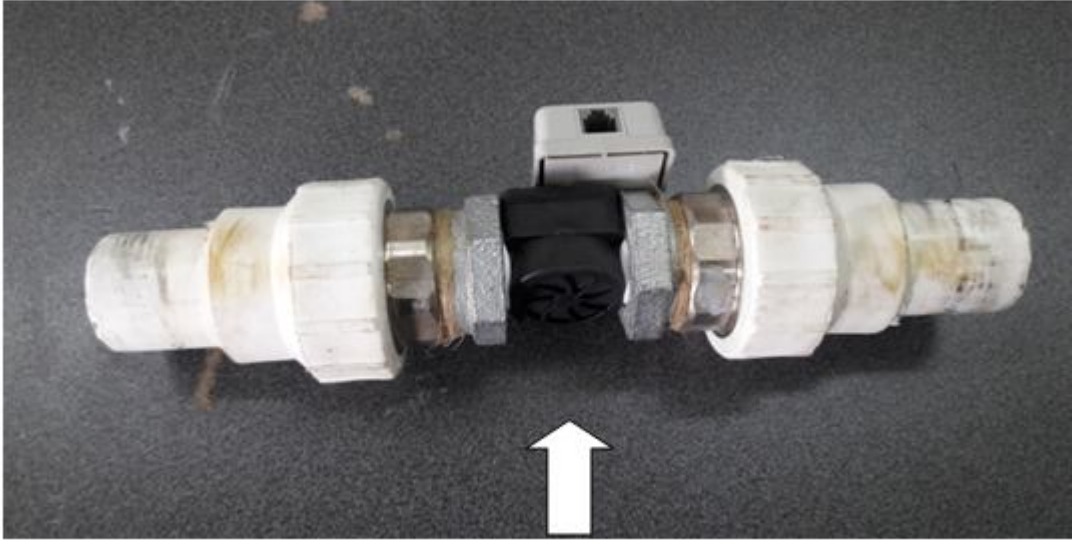
- 1 numaralı termokupl ucu multiplexer CH1 girişine
- 2 numaralı termokupl ucu multiplexer CH2 girişine
- 3 numaralı termokupl ucu multiplexer CH3 girişine
- 4 numaralı termokupl ucu multiplexer CH4 girişine
- 5 numaralı termokupl ucu multiplexer CH5 girişine
- 6 numaralı termokupl ucu multiplexer CH6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

Termokuplların bağlantıları yapıldıktan sonra, radyatör yüzeyinden alınacak sıcaklık verilerinin excelin ara yüzü ile bilgisayara aktarılması hazır hale getirilmiştir. Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının genel görüntüsü Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Deneylerde kullanılan Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazının görüntüsü

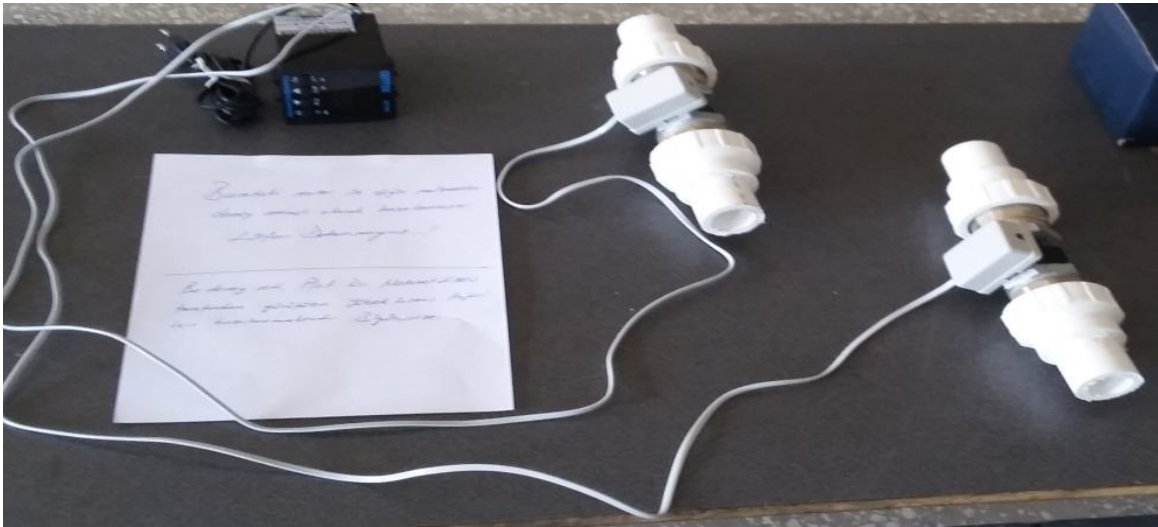
Motor çalışırken radyatöre giren soğutucu akışkana ait debinin ölçülmesi için beyaz renkteki plastik malzemeden imal edilmiş 1 adet su sayacı giriş-çıkış elemanlarına birleştirilerek, radyatör hortumuna bağlanacak hale getirilmiştir. Bağlantısı yapılmış olan türbin debimetre Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



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

Şekil 2.7’de ok ile gösterilen türbin debimetrenin, her iki tarafına PVC boru elemanları takılarak radyatör hortumuna uyarlanabilmesi sağlanmıştır.

Türbin debimetrenin sağladığı verilerin okunabilmesi için GENTEK GNT604 isimli akış metre kontrol cihazına, soketli kablo bağlantıları yapılmıştır. Şekil 2.8’de türbin debimetrenin, GENTEK GNT604 akış metre kontrol cihazına bağlantısı ve Şekil 2.9’da türbin debimetrenin dizel motora bağlantı yapılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Türbin debimetrenin akış metre kontrol cihazına bağlantısı



Şekil 2.9. Türbin debimetrenin dizel motora bağlantı yapılmış hali

Deney aşamasında motor çalışırken, kapalı devre soğutma sisteminde oluşan basıncın belirlenebilmesi için, TESTO 510 isimli basınç ölçer cihazı kullanılmıştır. Şekil 2. 10’da TESTO 510 cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.10. TESTO 510 basınç ölçer cihazın genel görüntüsü

Şekil’de gösterildiği gibi, basınç ölçer cihazın iki ucu vardır. Deneyde kullanılan dizel motorun sahip olduğu kapalı devre soğutma sistemi gibi belli bir basınç altında çalışan kapalı devrelerde, cihazın bir ucu devre dışı bırakılarak diğer ucu sistem basınç kontrol ucuna bağlandığında cihaz ekranında dijital olarak sistem basıncı

ölçülebilmektedir. Şekil 2.11’de TESTO 510 cihazının motora bağlantı yapılmış hali gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Testo 510 basınç ölçer cihazının bağlantı şekli

Motor çalışırken belirli bir seviyeye ulaşan soğutma suyu sıcaklığını algılayan hararet müşiri ile motor bloğu içerisinde konumlandırılmış olan ve sıcak suyun radyatöre geçişine yön veren termostat sayesinde, radyatör fanının çalışması sağlanmaktadır. Bu nedenle radyatör yüzeyine fan tarafından üflenlen havanın hızını tespit edebilmek için, deney setinde DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçer cihazı kullanılmıştır. Şekil 2.12’de DT 186 Anemometre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.12. DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçer cihazın genel görüntüsü

Aynı zamanda cihaz veri kaydedici olarak da görev yapabildiği için, pil ile enerji vermek suretiyle cihazın radyatör yüzeyine karşıdan tutulması suretiyle, fan çalıştığı andan itibaren radyatör yüzeyine üflenlen havanın hızı m/s cinsinden ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Şekil 2.13’de DT 186 Anemometre rüzgar hızı ölçer cihazın uygulanış şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.13. DT 186 Anemometre cihazının uygulamadaki görüntüsü

Ölçüm cihazları tamamlandıktan sonra deney aşamasında radyatör suyunun boşaltılması ya da nano akışkanla doldurulabilmesi için muhtelif boyutlarda su kovası atölye imkanları dahilinde temin edilmiştir. Nano akışkanların hazırlanması ve kıyaslanabilir sonuçlar elde etmek için her deney de eşit miktarda nanobileşik kullanılması gerekmektedir. Bunun için çalışmamızda Radwag AS 220/C/2 varyantına sahip hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 2.14’te ilgili hassas terazi gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Radwag AS 220 /C/2 hassas terazi

Daha önce teknik özellikleri hakkında bilgi verilen dizel motorun, motor devri, yağ basıncı, hararet gösterge paneline ait resim Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Deney motoruna ait gösterge panelinin görüntüsü

Deney aşamasında kullanılacak tüm malzemelerin, ölçüm cihazlarının ve güvenlik tedbirlerinin hazırlanması ile deney sürecine geçilmiştir. Deney süresince; altı farklı nano bileşik, su ve antifrizli su için yapılacak ölçümlerden önce motor rölantide çalıştırılmış, çalışma sıcaklığına ulaştıktan 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

Birden fazla değişkenin var olduğu bir durumda, sonuçların kıyaslanabilir olması için yukarıda maddeler halinde verilen durumlar nedeniyle, deney sırasında bazı değişkenler sabitlenerek sonuca gidilmeye çalışılmıştır. Sabitlenen değişkenlerden bazıları tarafımızca manüel olarak, bazıları ise mevcut motorun sahip olduğu teknik özelliklerden yararlanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Deneyin gerçekleştirildiği ortam ve sabitlenmiş diğer değişkenlere ait bilgiler Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

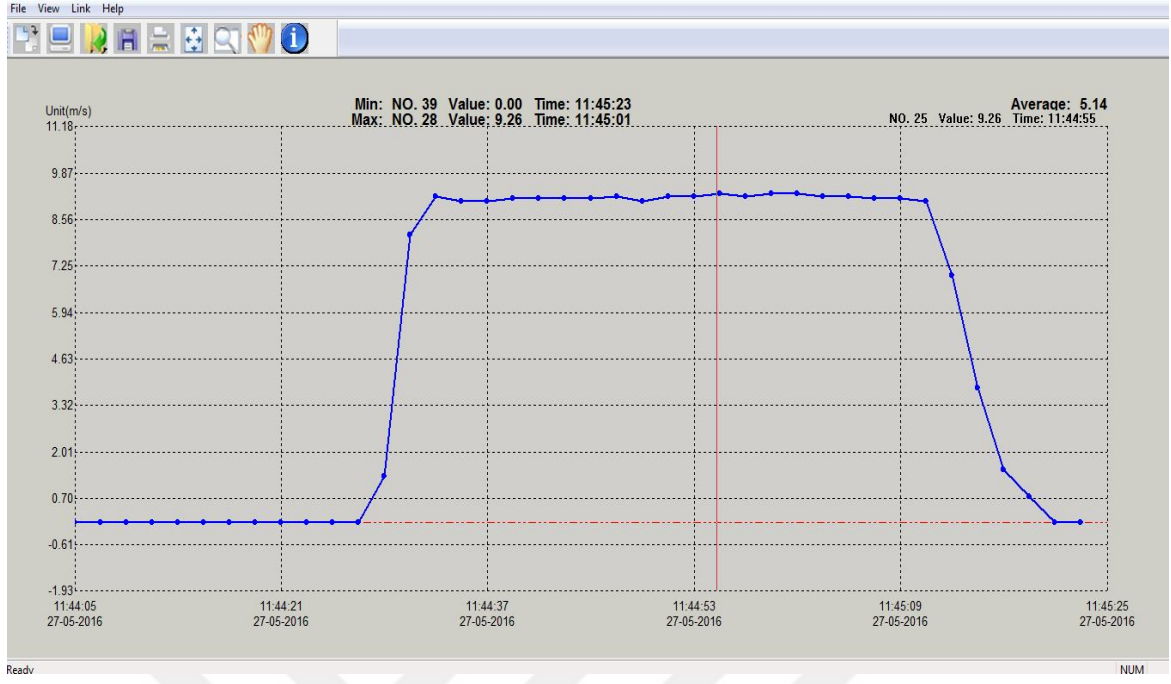
Tablo 2.3. Deneyin gerçekleştirildiği ortam ve diğer koşullar

Değişkenler	Sabit kabul edilen / Sabitlenen veriler
Oda sıcaklığı	19° C - 21 °C (Nisa ayı bina içi sıcaklığı)
Motor devri	Deney aşamasındaki devri 1500 d/dk
Her deney için kullanılan nanobileşik miktarı	150 gr
Antifrizli ölçüm için kullanılan antifriz miktarı	0. 15 litre
Radyatör fanı açık kalma süresi	40 saniye (ortalama)
Radyatör fanı devreye girme aralığı	90 saniye (ortalama)
Radyatör fan devri	2000 d/dk
Radyatör fanı tarafından üflenen havanın hızı	9, 26 m/sn
Motor soğutma sistemi basıncı	102, 60 hPa = 10260 Pa

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere, dizel motor ile yapılan deneyler Nisan ayı boyunca gerçekleştirildiğinden dolayı, deney ortamının sıcaklığı 19 °C-21 °C olarak kabul edilmiştir.

Deneyde kullanılan dizel motor, 4800 d/dk motor devrine sahiptir. Ancak farklı devir aralıklarında motorun birim zamanda yaptığı iş farklı olduğundan dolayı kıyaslanabilir deney sonuçları ortaya çıkmaz. Bunun için tüm deneylerde, motor devri 1500 d/dk olacak şekilde sabitlenmiştir. Her deney aşamasında farklı nano bileşik kullanımı söz konusu olduğu için tüm deneylerde hassas terazi ile ölçüm yapılarak eşit miktarda nano bileşik kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Radyatör fan açma-kapama süreleri, fan devri, fan devreye girme aralığı gibi veriler deneyde kullanılan dizel motorun işletim sisteminde (ECU) kayıtlı olan parametreler doğrultusunda ortaya çıkmış sabit verilerdir. Radyatör fanı tarafından radyatör yüzeyine üflenen havanın hızı daha önce bahsedildiği gibi, DT 186 Anemometre cihazı her 2 saniyede bir ölçüm yapmıştır. Ölçüm değerleri, hem grafik formatında hem de Excel ara yüzüne aktarılmış sayısal veri şeklinde gösterilmiştir. Radyatör fanı devrede iken ölçülen rüzgar hızı grafik olarak Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. DT Anemometre rüzgar hızı ölçüm grafiği (9, 26 m/sn)

DT 186 Anemometre tarafından ölçüm yapılan ve sonuçları Excel ara yüzüne aktarılmış olan sayısal veriler Tablo 2.4’de gösterilmiştir.

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

Zaman (Tarih-Saat-Dakika-Saniye)	Radyatör yüzeyinden geçen havanın hızı
27. 05. 2016 11:44:25	0 m/
27. 05. 2016 11:44:27	0 m/s
27. 05. 2016 11:44:29	1,3 m/s
27. 05. 2016 11:44:31	8,11 m/s
27. 05. 2016 11:44:33	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:44:35	9,05 m/s
27. 05. 2016 11:44:37	9,05 m/s
27. 05. 2016 11:44:39	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:44:41	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:44:43	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:44:45	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:44:47	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:44:49	9,05 m/s
27. 05. 2016 11:44:51	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:44:53	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:44:55	9,26 m/s
27. 05. 2016 11:44:57	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:44:59	9,26 m/s
27. 05. 2016 11:45:01	9,26 m/s
27. 05. 2016 11:45:03	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:45:05	9,19 m/s
27. 05. 2016 11:45:07	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:45:09	9,12 m/s
27. 05. 2016 11:45:11	9,05 m/s
27. 05. 2016 11:45:13	6,96 m/s
27. 05. 2016 11:45:15	3,79 m/s
27. 05. 2016 11:45:17	1,49 m/s
27. 05. 2016 11:45:19	0,73 m/s
27. 05. 2016 11:45:21	0 m/s
27. 05. 2016 11:45:23	0 m/s

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere DT 186 Anemometre cihazı saat 11:44:29 itibariyle elektrofán tarafından 1,3 m/s hızındaki havanın sistem tarafından üflendiği ölçmeye başlamıştır. Saat 11:45:01 itibariyle elektrofán devreden çıkmış ve radyatör yüzeyine üflenlen havanın hızı 9,19 m/s'ye düştüğü görülmüştür. Böylece 11:44:29 - 11:45:01 arasındaki zamanda 32 saniye boyunca sistemde radyatör fanının çalıştığı teyit edilmiştir.

Motor çalışırken, TESTO 510 basınç ölçer cihazının bir ucu bloke edilerek, diğér ucu soğutma sistemi genleşme tankı devir daim besleme hattına takılarak, basınç artışı cihaz ekranından takip edilmiştir. Motor ilk fan açma aşamasına geldiğinde, TESTO 510 basınç ölçer cihazının ekranında maksimum 102, 60 hPa= (10260 Pa) ölçtüğü gözlemlenmiştir.

2.3.1. Saf Su İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneyde kullanılan dizel motorun radyatörüne 7,5 litre temiz şebeke suyu doldurulmuştur. Daha sonra motor 1500 d/dk çalıştırılarak motorun ısınması sağlanmış ve üç kez fanın devreye girmesi sağlanarak ölçümler yapılmıştır.

Radyatör içerisindeki su sirkülasyonu ve radyatör fanının konumundan dolayı radyatör yüzeyinin her noktasından eşit ölçümler yapılamadığı için, radyatör yüzeyine her biri farklı noktaya olmak üzere dokuz termokupl bağlanmış ve bu termokuplların ölçtüğü sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak gerçek radyatör performansı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Radyatör yüzeyine monte edilmiş olan dokuz T tipi termokupldan elde edilen sıcaklık verileri her üç saniyede bir ölçüm yapacak şekilde programlanmış, Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Excel ara yüzüne aktarılmıştır. Deney yapılan ortam koşulları, motor devri, radyatör elektrofän devri, motor soğutma sistemindeki basınç miktarı sabit olarak alınmıştır.

2.3.2. Antifrizli Su İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Şebeke suyu ile yapılan deneyden sonra, radyatör alt hortumu kelepçesi sökülerek ilk önce bir miktar su boşaltılmıştır ve hortum tekrar yerine takıldıktan sonra radyatöre 0, 15 litre antifriz ilave edilmiştir. Devamında soğutma sisteminin kapasitesi 7,5 litreye ulaşacak kadar temiz şebeke suyu doldurulmuştur. Bu işlemlerden sonra motor 1500 d/dk çalıştırılarak, motorun ısınması sağlanmıştır.

Motor ısındıktan sonra radyatör elektrofanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri Keithley2701 Ethernet Multimeter cihazı ile suyun debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt altına alınmıştır.

2.3.3. Al₂O₃ Nanobileşiğı ile Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak antifrizli su kullanıldığı için, radyatör alt hortumu sökülerek soğutma suyu içerisindeki antifrizli su boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genişleme tankından verilerek motor bloğı ile radyatör içerisindeki temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumları yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr

Al_2O_3 nano bileşiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, Al_2O_3 nano akışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2.5’de Al_2O_3 nano bileşiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.5. Al_2O_3 nano bileşiğinin özellikleri

Al_2O_3	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	20 nm
Saflık	% 99,9
Yüzey alanı	~15 m ² / gr
Renk	Beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel, rombohedral
Özkütle (True)	3,5 - 3,9 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünme olmaz

Yukarıdaki özelliklere sahip olan Al_2O_3 nano bileşiği ile elde edilen nano akışkan motor soğutma sistemi genleşme tankı dolum kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan Al_2O_3 nano bileşiği Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Al_2O_3 nanobileşiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilen sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Al_2O_3 nanobileşiğin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.

2.3.4. SiO₂ Nanobilesiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak Al₂O₃ nanobilesiğini kullandığı için, radyatör alt hortumu sökölerek soğutma suyu içerisindeki Al₂O₃ nanoakışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genişleme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumları yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr SiO₂ nanobilesiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, SiO₂ nanoakışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2.6’da SiO₂ nanobilesiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.6. SiO₂ nanobilesiğinin özellikleri

SiO ₂	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	30 nm
Safılık	% 99,9
Yüzey alanı	~ 14 m ² /gr
Renk	Siyah
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle (True)	6,3 - 6,49 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünme olmaz

Yukarıdaki özelliklere sahip olan SiO₂ nanobilesiği ile elde edilen nanoakışkan motor soğutma sistemi genişleme tankı dolum kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan SiO₂ nanobilesiği Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. SiO₂ nanobilesiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilen sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimetre cihazı ile SiO₂ nanobilesiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.

2.3.5. TiO₂ Nanobilesiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak SiO₂ nanobilesiğini kullandığı için, radyatör alt hortumu sökülerek soğutma suyu içerisindeki SiO₂ nanoakışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisindeki temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumları yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr TiO₂ nanobilesiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, TiO₂ nanoakışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2.7’de TiO₂ nanobilesiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.7. TiO₂ nanobilesiğinin özellikleri

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

Yukarıdaki özelliklere sahip olan TiO₂ nanobilesiği ile elde edilen nanoakışkan motor soğutma sistemi genleşme tankı dolun kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan TiO₂ nanobilesiği Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. TiO₂ nanobilesiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilen sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile TiO₂ nanobilesiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.

2.3.6. Fe₃O₄ Nanobilesiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak TiO₂ nanobilesiği kullandığı için, radyatör alt hortumu sökülerek soğutma suyu içerisindeki TiO₂ nanoakışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genişleme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumları yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr Fe₃O₄ nanobilesiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, Fe₃O₄ nanoakışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2. 8’de Fe₃O₄ nanobilesiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.8. Fe₃O₄ nanobilesiğinin özellikleri

Fe ₃ O ₄	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	20 nm
Saflık	% 99, 9
Yüzey alanı	66 m ² /gr
Renk	Siyah
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle (True)	4, 8 – 5, 1 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünme olmaz

Yukarıdaki özelliklere sahip olan Fe_3O_4 nanobileşiği ile elde edilen nanoakışkan motor soğutma sistemi genleşme tankı dolum kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan Fe_3O_4 nanobileşiği Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Fe_3O_4 nanobileşiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilen sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Fe_3O_4 nanobileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.

2.3.7. ZrO_2 Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak Fe_3O_4 nanobileşiği kullanıldığı için, radyatör alt hortumu sökülerek soğutma suyu içerisindeki Fe_3O_4 nanoakışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumlar yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr ZrO_2 nanobileşiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, ZrO_2 nanoakışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2. 9’da ZrO_2 nanobileşiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.9. ZrO₂ nanobileşiğinin özellikleri

ZrO ₂	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	40 nm
Saflık	% 99, 9
Yüzey alanı	~ 20-40 m ² /gr
Renk	Beyaz
Morfoloji	Küresel
Özkütle (True)	5, 89 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünme olmaz

Yukarıdaki özelliklere sahip olan ZrO₂ nanobileşiği ile elde edilen nanoakışkan motor soğutma sistemi genleşme tankı dolum kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan ZrO₂ nanobileşiği Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. ZrO₂ nanobileşiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilecek sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile ZrO₂ nanobileşiğinin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.

2.3.8. ZnO Nanobileşiği İle Isı Transferi Ölçümü Yapılması

Deneye başlamadan önce bir önceki deneyde soğutucu akışkan olarak ZrO₂ nanobileşiği kullanıldığı için, radyatör alt hortumu sökülerek soğutma suyu içerisindeki

ZrO₂ nanoakışkanı boşaltılmıştır. Bir miktar temiz su genişleme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinde temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır. Daha sonra radyatör üst ve alt hortumlar yerlerine takılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr ZnO nanobileşiği temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek, ZnO nanoakışkanı hazır hale getirilmiştir. Tablo 2.10'da ZnO nanobileşiğine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.10. ZnO nanobileşiğinin özellikleri

ZnO	Açıklama
Ortalama parçacık boyutu	30 nm
Saflık	% 99,9
Yüzey alanı	~ 50 m ² /gr
Renk	Sütsü beyaz
Morfoloji	Neredeyse küresel
Özkütle (True)	5,606 gr/cm ³
Suda çözünme	Suda çözünme olmaz

Yukarıdaki özelliklere sahip olan ZnO nanobileşiği ile elde edilen nanoakışkan motor soğutma sistemi genişleme tankı dolum kapağından sisteme boşaltılmıştır. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Deneyde kullanılan ZnO nanobileşiği Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



Şekil 2.22. ZnO nanobileşiği

Soğutucu akışkan seviyesi ayarlandıktan sonra, motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler

yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilecek sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile ZnO nanobileşiminin debisi ise mini PVC türbin debimetre ile kayıt edilmiştir.



3. BULGULAR

Çalışmanın ana nedeni, motor soğutma suyuna nanobileşiklerin ilave edilmesiyle motor tarafından elde edilen ısıyı motordan en kısa zamanda uzaklaştırmak ve radyatörün performansını değerlendirmektir. Bunun için, kullanılan içten yanmalı bir dizel motorun yapısına müdahale edilmeden, motor soğutma suyuna antifriz ve altı farklı nanobileşik ilave edilerek radyatör yüzeyindeki ortalama sıcaklık düşüşü ölçülmüştür.

Deneyde kullanılan şebeke suyu, antifriz ve nanobileşiklerin kimyasal yapıları farklı olduğundan dolayı, sıcaklık değerleri ve debi verileri farklılık göstermektedir. Bu kısımda her deneyin hem sıcaklık hem de debimetre verileri ayrı ele alınmış ve yorumlanmıştır.

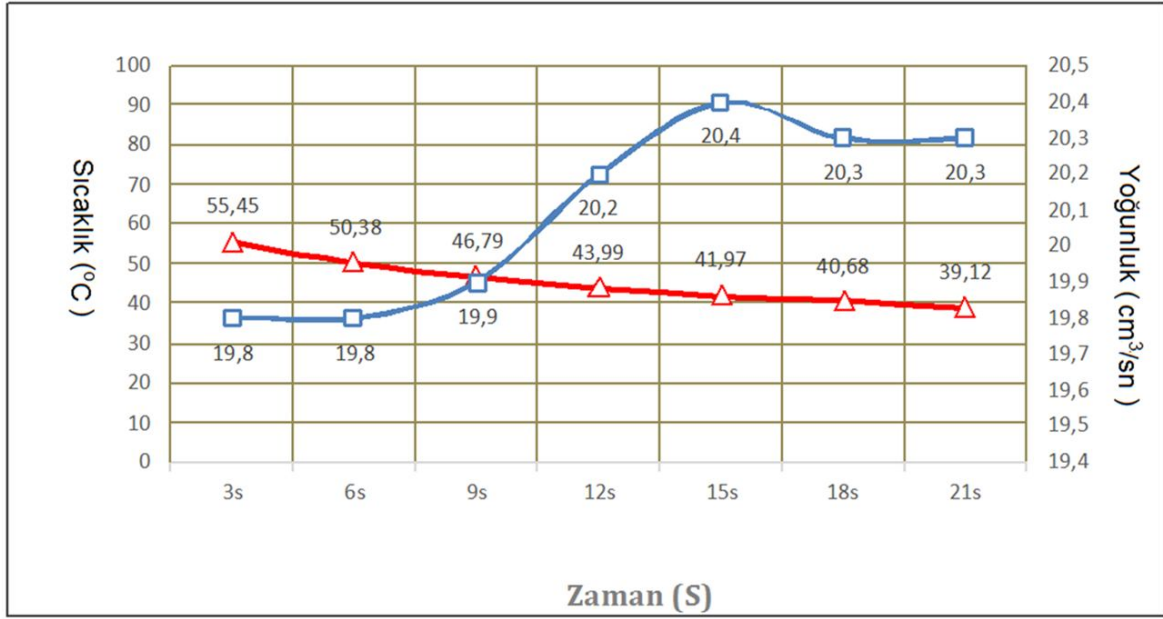
3.1. Şebeke Suyu Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, soğutucu akışkan olarak 7,5 litre temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genişleme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir. Tablo 3.1’de suyun 0 °C- 100°C arasındaki termo fiziksel özellikleri verilmiştir.

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

Sıcaklık °C	Yoğunluk gr/cm ³	CpJ / 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 su, antifriz ve nanobileşiklere göre az yoğunluğu sahiptir. Literatüre bakıldığı zaman nanobileşiklerin ısı iletim katsayısının yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan malzemelerin yoğunlukları göz önünde bulundurularak en düşük yoğunluktan en yüksek yoğunluğa sahip malzemeler gösterilmiştir. Şekil 3.1’de su ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Şebeke suyunun zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 55,45 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 39,12 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca, radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 16,33 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir.

3.2. Antifrizli Su Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

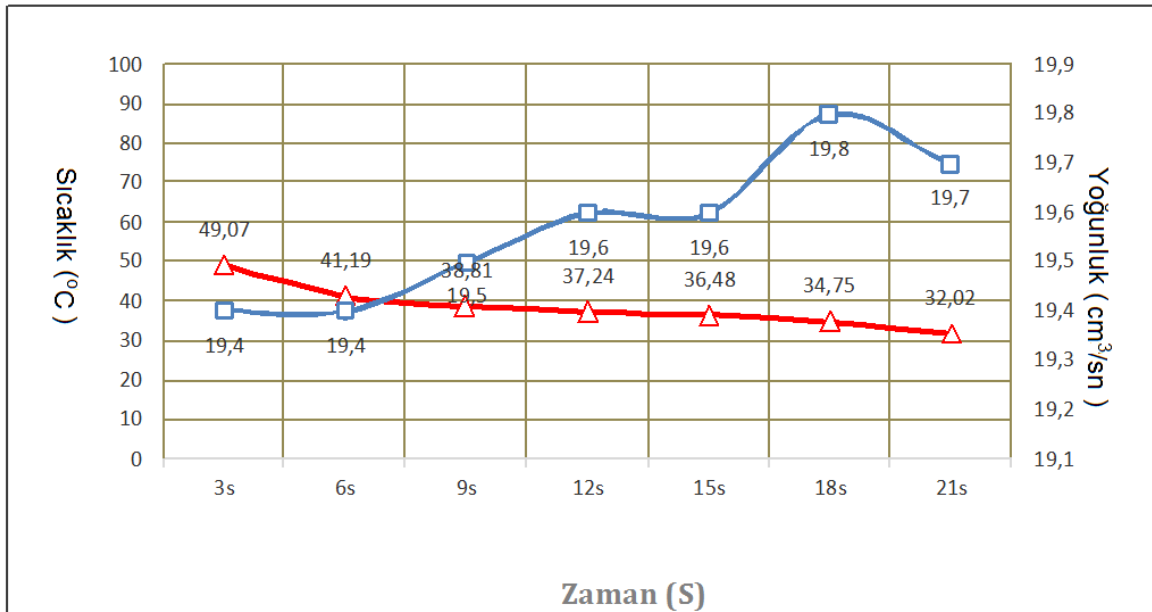
Motor soğutma sisteminde, soğutucu akışkan olarak 0,15 litre antifriz ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genişleme tankı

besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir. Tablo 3.2’de antifrizin özellikleri verilmiştir.

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, sudan sonra nanobileşiklere göre az yoğunluğa sahiptir. Antifriz (etilen glikol) motorun soğutma sistemine katıldığı zaman soğutucunun donma noktasını düşürür, kaynama noktasını yükseltir. Çalışmada kullanılan antifrizli su, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletimine sahiptir. Şekil 3.2’de antifrizli su ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Antifrizli suyun zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

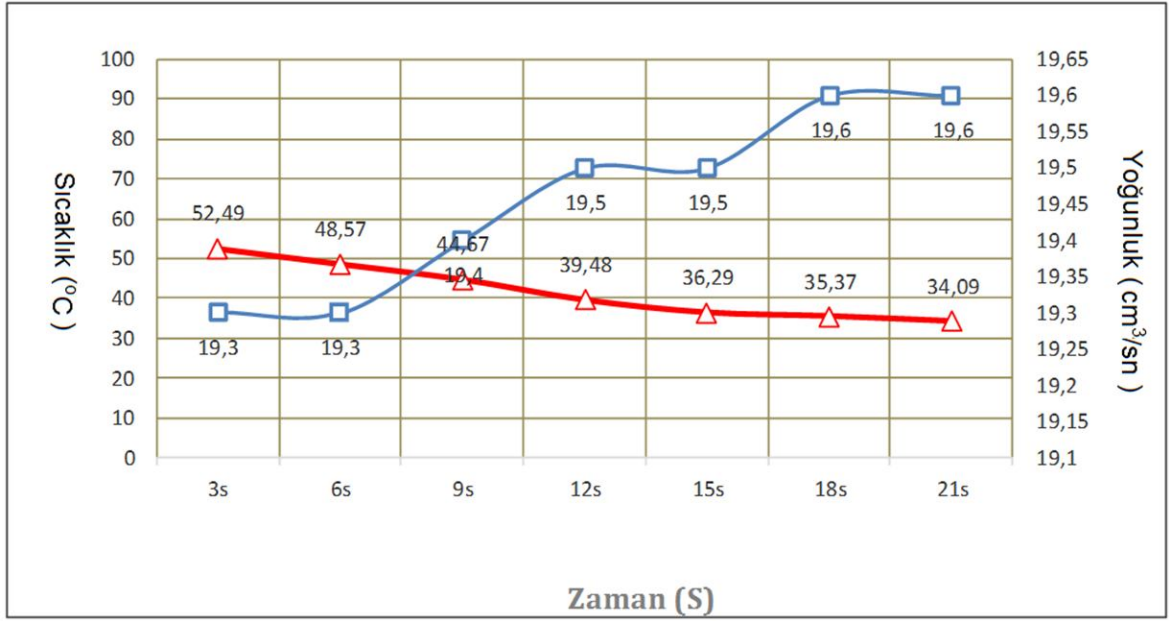
İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan devreye girdiği

anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 49,07°C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 32,02 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca, radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 17,05 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir.

3.3. SiO₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr SiO₂ nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genleşme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan SiO₂ nanobileşiği, deneyde kullanılan diğer nanobileşiklere göre az yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletimine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.3'te SiO₂ nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



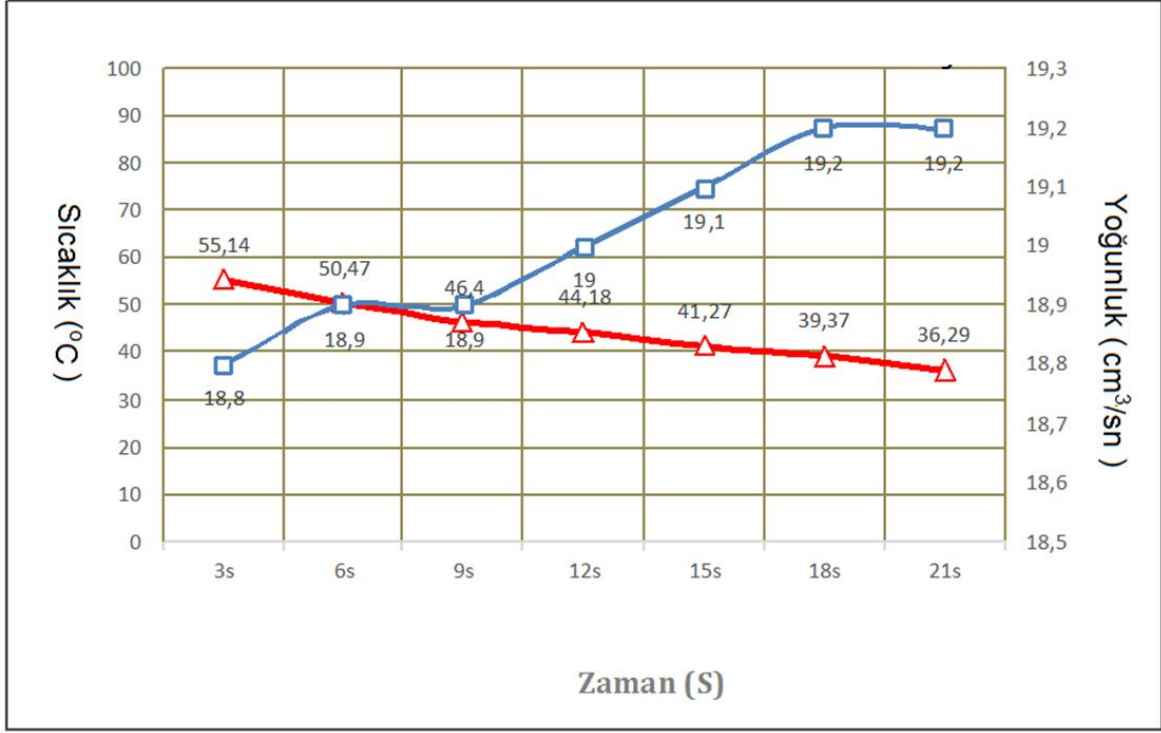
Şekil 3.3. SiO₂ nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 52,49 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 34,09 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca, radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 18,40 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. Yoğunluğu, su ve antifrizli suya göre daha fazla olan SiO₂ nanoakışkanın debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.

3.4. Al₂O₃ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr Al₂O₃ nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genişleme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan Al_2O_3 nanobileşiği, SiO_2 nanobileşiğine göre daha fazla yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletimine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.4'te Al_2O_3 nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.

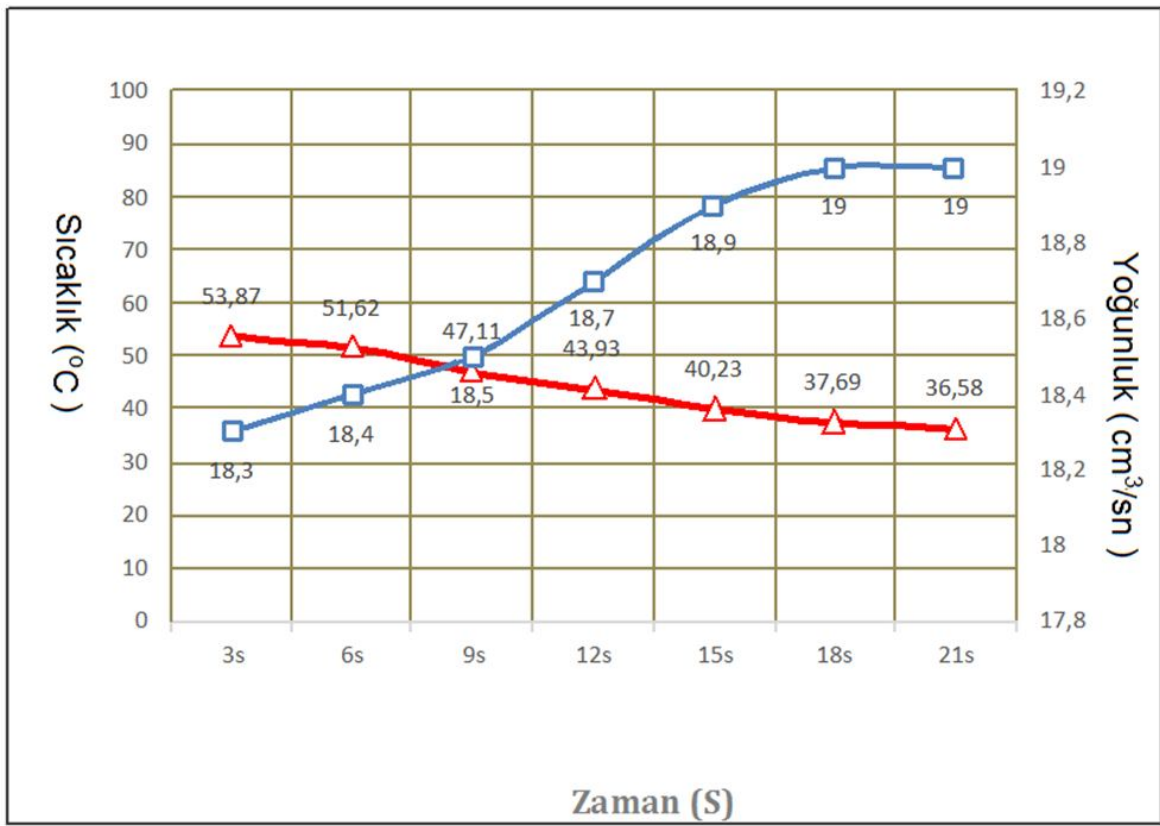


Şekil 3.4. Al_2O_3 nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye devrede kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 55, 14 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 36, 29 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca radyatör kanatçıklarından 9, 26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 18,85 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. Al_2O_3 nanoakışkanı, SiO_2 nanoakışkanına göre yoğunluğu fazladır ve debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.

3.5. TiO₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr TiO₂ nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genişleme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.5. TiO₂ nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

Deneyde kullanılan TiO₂ nanobileşiği, Al₂O₃ nanobileşiğine göre daha fazla yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletimine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.5'te TiO₂ nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.

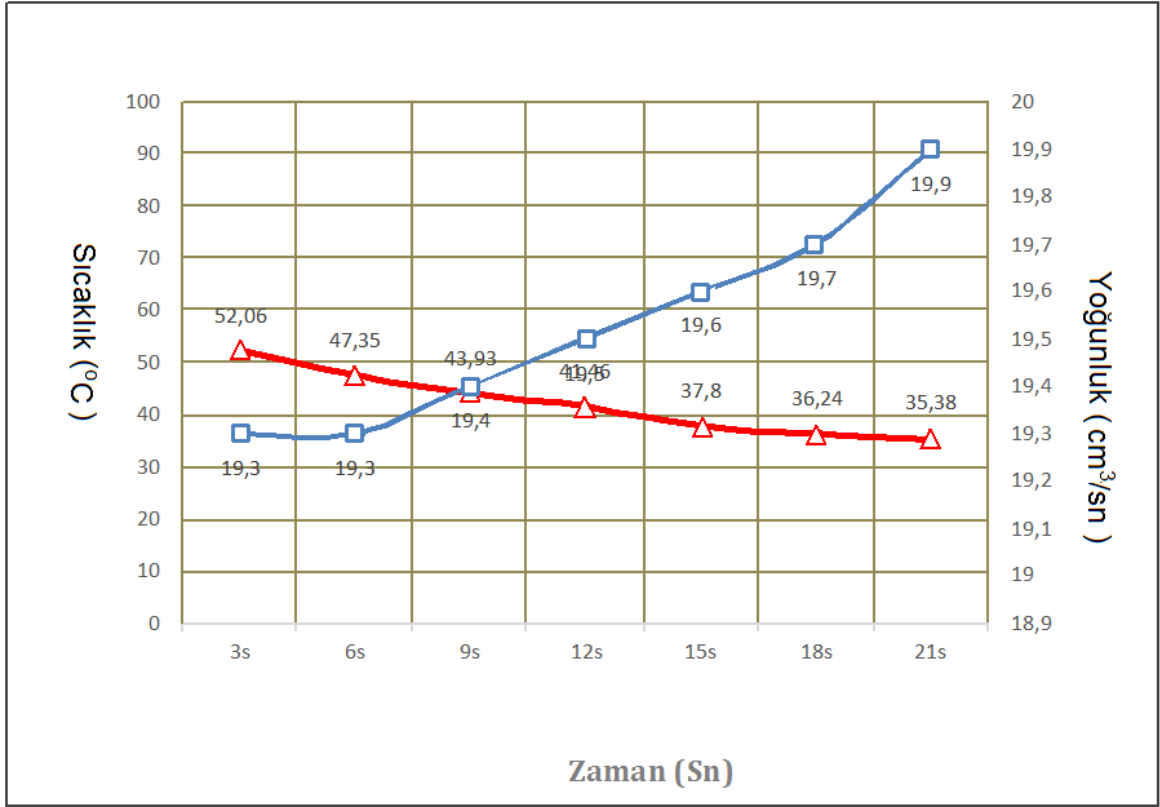
İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye devrede kalmıştır. Fan

devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 53,87 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 36,58 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca radyatör kanatçıklarından 9, 26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 17,29 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. TiO₂ nanoakışkanı, Al₂O₃ nanoakışkanına göre yoğunluğu fazladır ve debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.

3.6. Fe₃O₄ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr Fe₃O₄ nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genleşme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan Fe₃O₄ nanobileşiği, TiO₂ nanobileşiğine göre daha fazla yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre ısı iletkenliği az bir farkla fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.6'da Fe₃O₄ nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Fe₃O₄ nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

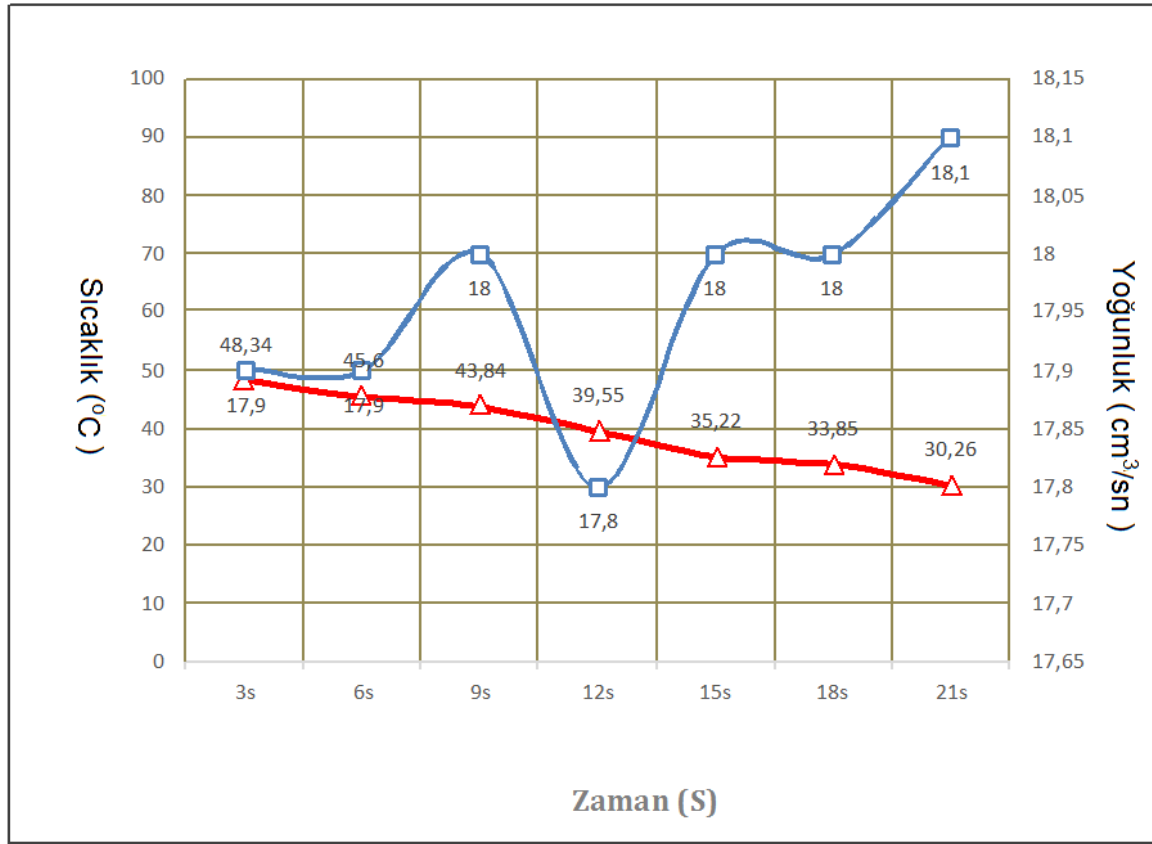
İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye devrede kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 52,06 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 35,38 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 16,68 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. Fe₃O₄ nanoakışkanı, TiO₂ nanoakışkanına göre yoğunluğu fazladır ve debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.

3.7. ZnO Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr ZnO nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genleşme tankı besleme hattı

üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan ZnO nanobileşiği, Fe₃O₄ nanobileşiğine göre daha fazla yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.7’de ZnO nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



Şekil 3.7. ZnO nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

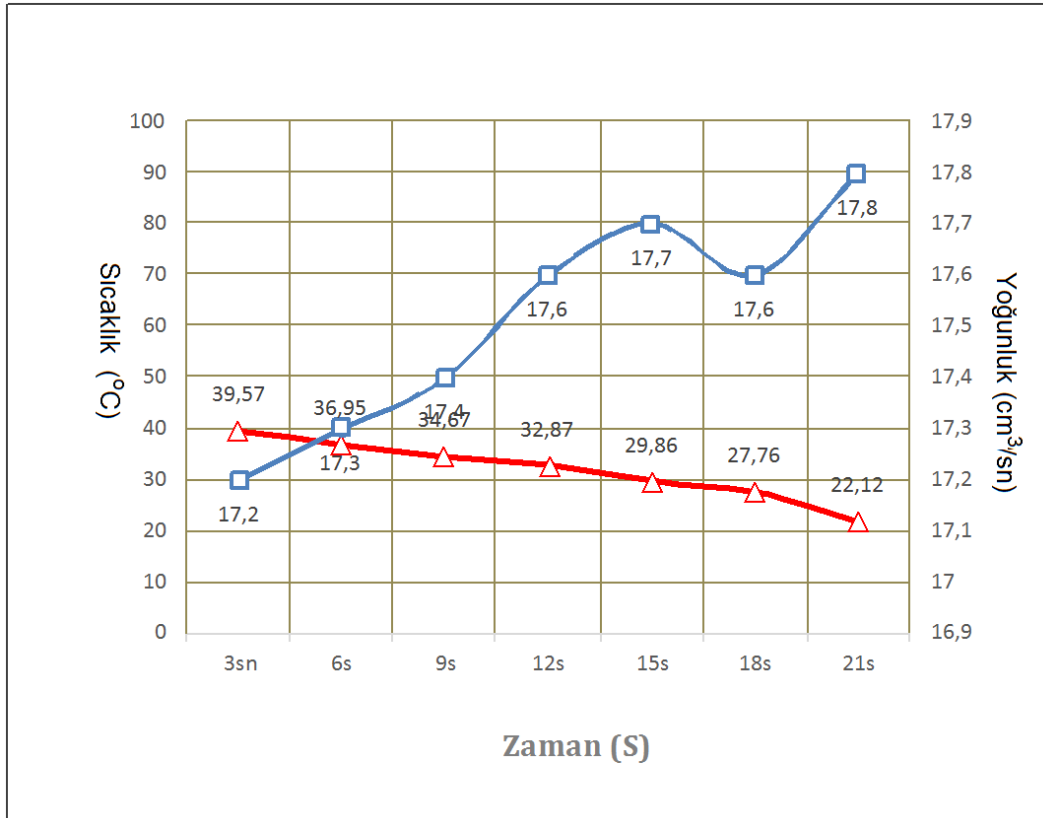
İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 48,34 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 30,26 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör

yüzeyinde 18,08 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. ZnO nanoakışkanı, Fe₃O₄ nanoakışkanına göre yoğunluğu fazladır ve debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.

3.8. ZrO₂ Nanoakışkan Kullanımından Elde Edilen Sıcaklık ve Debi Verileri

Motor soğutma sisteminde, 150 gr ZrO₂ nanobileşiği ve 7,5 litrelik kapasiteyi tamamlayacak miktarda temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Motor çalıştırılarak, radyatör fanının üç kez devreye girmesi sağlanmıştır. Motor çalışması sırasında radyatör yüzeyine bağlı olan termokupllar sayesinde ölçülen sıcaklık verileri ve genişleme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin Debimetre ile ölçülen debi verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan ZrO₂ nanobileşiği, ZnO nanobileşiğine göre daha fazla yoğunluğa sahiptir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanın, şebeke suyuna göre daha yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.8’de ZrO₂ nanoakışkanı ile yapılan deneye ait bulgular gösterilmiştir.



Şekil 3.8. ZrO₂ nanoakışkanının zamana bağlı sıcaklık ve debi grafiği

İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında, soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan devreye girdiği anda radyatör yüzeyinde dokuz ayrı noktadan alınan sıcaklık verilerinin aritmetik ortalaması 39,57 °C olarak belirlenmiştir. Fan devreden çıktığı anda radyatör yüzey sıcaklığının aritmetik ortalaması 22,12 °C olarak tespit edilmiştir. Fan açma-kapama süresi boyunca radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava sayesinde radyatör yüzeyinde 17,45 °C sıcaklık düşüşü görülmektedir. ZrO₂ nanoakışkanı, ZnO nanoakışkanına göre yoğunluğu fazladır ve debi verilerinde genelde düşüş meydana gelmiştir.



4. SONUÇLAR

Mevcut çalışmamızda dizel motor radyatöründe soğutma sıvısında nanoakışkan kullanımıyla radyatör performansının artırılması amaçlanmıştır. Su, antifriz (etilen glikol) gibi akışkanlar ısı değiştiricilerde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarıdır. Isı transferini geliştirmek için en yaygın yöntemlerden birisi ısı transfer yüzey alanını maksimum seviyeye getirmek olup, radyatör gibi birçok ısı değiştiricisi tasarlanırken ısı transfer sisteme bağlı olarak mümkün olmamaktadır. Özellikle havacılık ve otomotiv sistemlerinde, ısı transferi alanının artırılması istenilmeyen ağırlık artışı meydana gelmektedir. Bu sebeplerden ötürü konstrüksiyona bağlı ısı transferi yüzey alanının arttırılamadığı durumlarda nanoakışkan kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Bir katı metalin ısı iletkenliği temel akışkanınkinden yüksek olduğu için temel akışkan içerisine süspansiyon olarak katılan ince katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır. Akışkan içerisine süspanse edilen partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına neden olur.

Deneysel aşamada, dizel motor radyatörüne 7,5 litre temiz şebeke suyu doldurulmuştur. Daha sonra motor 1500 d/dk çalıştırılarak motorun ısınması sağlanmış ve üç kez fanın devreye girmesi sağlanarak ölçümler yapılmıştır. Motor çalışırken, TESTO 510 basınç ölçer cihazının bir ucu bloke edilerek, diğer ucu soğutma sistemi genleşme tankı devir daim besleme hattına takılarak, basınç artışı cihaz ekranından takip edilmiştir. Motor ilk fan açma aşamasına geldiğinde, TESTO 510 basınç ölçer cihazının ekranında maksimum 102, 60 hPa= (10260 Pa) olarak ölçülmüştür. Radyatör fanı tarafından radyatör yüzeyine üflenen havanın hızı DT 186 Anemometre cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Radyatör fanı devrede iken rüzgar hızı maksimum 9, 26 m/sn olarak ölçülmüştür. Radyatör yüzeyine monte edilmiş olan dokuz T tipi termokupldan elde edilen sıcaklık verileri her üç saniyede bir ölçüm yapacak şekilde programlanmış, Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile Excel ara yüzüne aktarılmıştır. Radyatör yüzeyine bağlanmış termokuplların ölçtüğü sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak radyatör performansı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmamızda temel soğutucu akışkanları su ve antifriz (etilen glikol) dahil olmak üzere Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Fe_3O_4 , ZrO_2 , ZnO nanobileşikleri ile birlikte sekiz adet sıcaklık

ölçümü yapılmıştır. Radwag AS 220/C/2 hassas terazisinde ölçülen 150 gr nanobileşik temiz bir kabın içerisine dökülmüştür. İlgili bileşiğin üzerine 1 litre temiz su ilave edilerek nanoakışkan hazır hale getirilmiştir. Motor soğutma sistemindeki soğutucu akışkan miktarını sistemin kapasitesine tamamlamak için yaklaşık 6,5 litre su ilave edilmiştir. Daha sonra motor çalıştırılarak sistemin havası alınmıştır. Motor ısındıktan sonra radyatör fanı üç kez devreye girecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra elde edilen sıcaklık verileri Keithley 2701 Ethernet Multimeter cihazı ile bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Kullanılan nanoakışkanların debisi ise genleşme tankı besleme hattı üzerinden Mini PVC Türbin debimetre ile ölçüm yapılmıştır. Her deney aşaması sonunda kullanılan nanoakışkan, radyatör alt hortumu sökülerek boşaltılmıştır. Daha sonra bir miktar temiz su genleşme tankından verilerek motor bloğu ile radyatör içerisinin temizlenmesi ve radyatör üst hortumunun bağlantı noktasından basınçlı hava verilerek radyatör kanallarının açık kalması sağlanmıştır.

Çalışma sonucunda, motor soğutma suyunun ısınması ile radyatör elektro fan devreye girmiştir ve sistemde ortalama 21 saniye kalmıştır. Fan açma-kapama süresi boyunca, radyatör kanatçıklarından 9,26 m/sn hızla çekilen hava ile sistemde sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir. Elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı şu şekilde olmuştur:

- Şebeke suyu için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 16,33 °C olarak belirlenmiştir.
- Antifrizli su için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 17, 05 °C olarak belirlenmiştir.
- SiO₂ (Silikondioksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 18, 40 °C olarak belirlenmiştir.
- Al₂O₃ (Alüminyumoksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 18, 85 °C olarak belirlenmiştir.
- TiO₂ (Titanyumdioksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 17, 29 °C olarak belirlenmiştir.
- Fe₃O₄ (Demiroksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 16, 68 °C olarak belirlenmiştir.
- ZnO (Çinko oksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 18, 08 °C olarak belirlenmiştir.
- ZrO₂ (Zirkonyumoksit) için elektro fan açıkken oluşan sıcaklık farkı 17, 45 °C olarak belirlenmiştir.

Deneyde kullanılan nanobileşiklerin ısı iletim katsayıları büyükten küçüğe doğru sıralaması şu şekilde olmuştur:

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{ZnO} - \text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{ZrO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{Antifrizli su} - \text{Şebeke suyu}$

Fan açma kapama sırasında sistemde en fazla sıcaklık farkı Al_2O_3 olmuştur. Fan açma kapama sırasında sistemde en az sıcaklık farkı ise TiO_2 olmuştur. Aynı şartlar altında Al_2O_3 nano akışkanı sayesinde radyatördeki sıcaklık $18,85\text{ }^\circ\text{C}$ azalmıştır. Antifrizli suyun kullanıldığı radyatörde sıcaklık $17,05\text{ }^\circ\text{C}$ azalmıştır. Sonuç olarak çalışma içerisindeki en iyi ısı ileten Al_2O_3 nanoakışkanı ile antifrizli su akışkanı arasında $1,80\text{ }^\circ\text{C}$ fark meydana gelmiştir. ZrO_2 ile ZnO nanobileşiklerinin yoğunlukları, diğerlerine göre yüksek olduklarından dolayı bunlardan elde edilen nanoakışkanlar fazla homojen yapıya sahip değildir. Su içerisinde çökelme hızı yüksektir. Fe_3O_4 ise su ile homojen karışmamıştır ve nanobileşik su üzerinde topaklanma meydana gelmiştir. Fe_3O_4 nanobileşiğinin ısı iletkenliği saf suya yakındır. Bu yüzden soğutucu akışkan olarak kullanımı uygun değildir. Sistemde debi verilerinde ise küçükten büyüğe doğru sıralaması şu şekilde olmuştur:

$\text{Şebeke suyu} - \text{Antifrizli su} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{ZnO} - \text{ZrO}_2 -$

Sıcaklığın artması ile genellikle yoğunluk azalır. Buda motordan radyatöre birim zamanda geçiş yapan soğutucu akışkanın hacminde artmaya yol açar. Debi verilerinde en düşük yoğunluk suyun, en yüksek yoğunluk ise ZrO_2 nanobileşiğidir. Fe_3O_4 yoğunluğu ise saf suya yakındır.

Bu tez çalışmasının sonucunda, motor soğutma sisteminde soğutucu olarak kullanılması için nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri sayesinde motor soğutma sisteminde daha fazla sıcaklık düşüşü oluşmuştur. Ancak suda çözünmeyen nanobileşikler zamanla çökelmeye maruz kaldığı için su dolaşım kanallarının tıkanmasına neden olur.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada motor soğutma sisteminde kullanılması için motor soğutma suyunda nanoakışkan kullanımı ile ısı iletkenlik arttırılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak;

- Aynı çalışma şartlarında, farklı boyutlarda farklı miktarda uygun nanobileşikler kullanılabilir.
- Deney sistemi minyatür haline getirilerek soğutma kanallarında ısı performansı araştırılabilir.
- Nanoakışkanların ısı transferi davranışlarını açıklamak için tanecik hareketlerinin işleyişi daha fazla teorik anlayış ve deneysel sonuçlar gereklidir.
- Soğutma sisteminde, su yerine nanoakışkanların uygulanması ile ısı performansının artırılması kararlılık ve çökelme gibi bazı ortak problemlerin detayları ile birlikte çalışılması gerekir.
- Nanoakışkanların kullanımıyla ısı transferi performansını tahmin edecek yeni bağıntı geliştirilmesi gereklidir.
- Suyun yoğunluğunu arttırabilen katkıları sayesinde, nanobileşiklerin su ile homojen karışımları sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- (1) Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 47, 559.
- (2) Choi, S.U.S., Eastman, J. A., 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ASME International Mechanical Engineering Congress, Exposition, San Francisco, CA.
- (3) 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.
- (4) Özerinç, Ö., Kakaç., S.Yazıcıoğlu, A.G. 2010, “Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A state-of-the-art Review,” Microfluid Nanofluid, 8,145-170.
- (5) 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
- (6) Y.Xuan and Q.Li, 2000 Heat Transfer Enhancement of Nanofluids, Int J Heat Fluid Flow 21, pp. 58-64
- (7) S.Lee, S.U.S. Choi, S.Li and J.A.Eastman, 1999, Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, ASME J Heat Transfer 121, pp.280-289
- (8) www.megep.meb.gov.tr/mte Dizel Yakıt Sistemleri, Ankara 2006.
- (9) www.megep.meb.gov.tr/mte Yeni Nesil Dizel Yakıt Sistemleri, Ankara 2013.
- (10) www.megep.meb.gov.tr/mte Motor Donanımları, 525MT0280, Ankara 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Türkan Bayram, 28 Kasım 1984 Konya’da doğmuştur. İlköğrenimini Niğde’de, ortaöğrenimini Konya’da yapmıştır. 2006 yılında Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine Resim ve Konstrüksiyon programına kayıt yaptırmıştır ve 2008 yılında mezun olmuştur. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği programına dikey geçiş sınavı ile kayıt yaptırmış ve 2012 yılında mezun olmuştur. 2013 yılı Şubat ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Taşıt Tahrik Güç Sistemleri Programında Yüksek Lisansa başlamıştır.

