

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PLAZMA SPREY YÖNTEMİYLE KAPLANMIŞ DİZEL VE
BENZİNLİ MOTORUN DİNAMİKSEL TİTREŞİM ANALİZİNİN
KESTİRİMCİ YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI**

Tugay TELÇEKEN

Yüksek Lisans Tezi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hanbey HAZAR

AĞUSTOS-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLAZMA SPREY YÖNTEMİYLE KAPLANMIŞ DİZEL VE BENZİNLİ
MOTORUN DİNAMİKSEL TİTREŞİM ANALİZİNİN KESTİRİMCİ
YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tugay TELÇEKEN
(151136102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 02 Ağustos 2019

Tez Danışman : Prof. Dr. Hanbey HAZAR (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)
Dr. Öğr. Üyesi Emine ŞAP (Bingöl. Ü)

AĞUSTOS-2019

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması aşamasında her türlü desteği veren ve çalışmalarım esnasında bana sürekli anlayışla yaklaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hanbey HAZAR’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Çetin ÖZAY ‘a , Arş. Gör. Hüseyin SEVİNÇ'e ve Yüksek Makine mühendisi Zahide KÜÇÜK ‘e teşekkürü bir borç bilirim.

Bunların yanı sıra çalışmalarımı yaparken benden maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme minnet borçluyum.

Ayrıca bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi FÜBAP tarafından **TEKF.1701** numaralı proje olarak desteklenmiştir.

Tugay TELÇEKEN
ELAZIĞ - 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMAL KAPLAMA YÖNTEMLERİ	4
2.1. Kimyasal Yöntemle Termal Bariyer Kaplama Teknikleri.....	6
2.1.1. Alev Sprey Kaplama Tekniği	6
2.1.2. Detonasyon Tabancası Tekniği	7
2.1.3. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme) Yöntemi.....	8
2.2. Elektriksel Yöntemle Termal Bariyer Kaplama Teknikleri.....	9
2.2.1. Elektrik Ark Spreyleme Yöntemi.....	9
2.2.2. Plazma Sprey Yöntemi	9
2.3. Kaplama Yüzeyini Temizleme İşlemi	13
2.4. Kaplama Yüzeyini Pürüzlendirme İşlemi	13
2.5. Maskeleme.....	14
2.6. Seramik Kaplama İşleminde Kullanılan Malzemeler.....	14
2.7. Krom Karbürler	16
2.8. Krom Oksitler	17
3. BAKIM YÖNTEMLERİ	18
3.1. Arıza Çıktıkça Bakım Yöntemi	18
3.2. Periyodik – Koruyucu Bakım Yöntemi	18
3.3. Pro-Aktif Bakım	19
3.4. Kestirimci Bakım Yöntemleri.....	19
3.4.1. Kestirimci Bakımın Faydaları.....	20
3.4.2. Kestirimci Bakımın İşleyiş Aşamaları.....	20
3.4.3. Yağ Analizi	21

3.4.3.1. Yağ Analizinde Kullanılan Parametreler	22
3.4.4. Ultrasonik Analiz.....	22
3.4.5. Kızıl Ötesi Termografi Analizi.....	23
3.4.6. Titreşim Analizi	24
4. ALTERNATİF YAKITLARA DUYULAN İHTİYAÇ	26
4.1. Biyodizel.....	26
4.1.1. Biyodizelin Avantajları.....	26
4.1.2. Biyodizelin Dezavantajları.....	27
4.2. Biyodizelin Özellikleri.....	27
4.2.1. Yoğunluk	28
4.2.2. Parlama Noktası.....	28
4.2.3. Kalori Değeri.....	28
4.2.4. Kinematik Viskozite	28
4.2.5. Soğukta Akış Özelliği.....	29
4.2.6. Setan Sayısı	29
4.2.7. Isıl Değer	29
4.2.8. Yağlayıcılık.....	30
4.2.9. Karbon Artığı	30
4.2.10. İyot Sayısı.....	30
4.2.11. Kükürt İçeriği.....	31
4.2.12. Su İçeriği.....	31
4.2.13. Oksidasyon Kararlılığı.....	31
4.2.14. Yağlama Yağının Seyrelmesi	31
4.2.15. Toksik Etkisi	32
4.2.16. Biyobozunabilirlik.....	32
4.2.17. Motor Yakıtı Özellikleri	32
4.3. Biyodizelin Motorinle Karşılaştırılması	33
5. MATERYAL ve METOT	34
5.1. Birinci aşama.....	34
5.2. İkinci aşama	34
5.3. Deney Motorları ve Teknik Özellikleri	35
5.4. Motor Test Düzenegi	38

5.5.	Biyodizel Üretimi	42
5.5.1.	Yağ Kimyası	42
5.5.2.	Toplam Yağ Asitliği	42
5.5.3.	Serbest Yağ Asitliği (SYA) Tayini	43
5.5.4.	Transesterifikasyon işlemi	43
5.5.5.	Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler	45
5.5.6.	Biyodizel Üretiminde Kullanılan Araç Gereç ve Cihazların listesi.....	45
5.5.7.	Çitlembik Yağı Metil Esteri (ÇYME) Üretimi İçin Uygulanan İşlem Basamakları.....	45
5.5.8.	Aspir Yağı Metil Esteri (AYME) Üretimi İçin Uygulanan İşlem Basamakları.....	49
6.	DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	53
6.1.	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
6.2.	Dizel Motor Deney Sonuçları.....	53
6.2.1.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması	53
6.2.2.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı CO Emisyonlarının Karşılaştırılması	55
6.2.3.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	57
6.2.4.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı HC Emisyonlarının Karşılaştırılması	58
6.2.5.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı EGS Değerlerinin Karşılaştırılması	60
6.2.6.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması	62
6.2.7.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı İş Yoğunluğunun Karşılaştırılması	63
6.2.8.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması	65
6.2.9.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı CO Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	67
6.2.10.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	69
6.2.11.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı HC Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	70
6.2.12.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı EGS Değerlerinin Karşılaştırılması	72
6.2.13.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması.....	74
6.2.14.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı İş Yoğunluğunun Karşılaştırılması.....	76
6.3.	Benzinli Motor Deney Sonuçları.....	78
6.3.1.	NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması	78
6.3.2.	CO Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	79
6.3.3.	CO ₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması	80

6.3.4.	HC Emisyonlarının Karşılaştırılması.....	81
6.3.5.	EGS Değerlerinin Karşılaştırılması	81
6.3.6.	ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması.....	82
6.4.	Titreşim Sonuçlarının Analizi.....	83
6.4.1.	Dizel Motorlarda Titreşim sonuçları analizi.....	84
6.4.1.1.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı Titreşim analizleri	84
6.4.1.2.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı Titreşim analizleri	86
6.4.2.	Benzinli Motor Titreşim Deney Sonuçları.....	87
6.5.	Kızıl Ötesi Termografi Sonuçlarının Analizi	88
6.5.1	Dizel Motorların Termal Görüntüleri	89
6.5.1.1.	Aspir Yakıtının Kullanıldığı Motorların Termal görüntüleri	89
6.5.1.2.	Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı Motorların Termal görüntüleri.....	94
6.5.2.	Benzinli Motorların Termal Görüntüleri.....	99
7.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA	101
8.	ÖNERİLER.....	107
	KAYNAKLAR.....	108
	ÖZGEÇMİŞ	113

ÖZET

Bu tez çalışmasında içten yanmalı motorlara Termal Bariyer Kaplama (TBK) uygulanmıştır. TBK uygulaması ile motorların yakıt tüketiminin azaltılması, emisyonlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan benzinli ve dizel motorların kaplanma yöntemi plazma sprey yöntemidir. Plazma sprey kaplama yönteminin seçilmesinin başlıca nedenleri; uygulanmasının kolay olması, basit donanım gerektirmesi, ekonomik, güvenli ve kullanılan toz karışımının kimyasal kompozisyonunda değişiklik yapılabilirliğidir. Benzinli motorun kaplanma malzemesi olarak krom karbür (Cr_3C_2) kullanılmıştır. Dizel motorun kaplama malzemesi olarak krom oksit (Cr_2O_3) kullanılmıştır. Bu motorların piston ve supapları kaplanarak; titreşim ve termografi analizleri yapılmıştır.

Ayrıca ham aspir yağı ve ham çitlembik yağlarından, transesterifikasyon yöntemi uygulanarak biyodizel yakıtlar üretilmiştir. Adyabatik özellik kazandırılmış motorda; D-2 yakıt ve biyodizel yakıtların D-2 yakıt ile karışımları, alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Kaplama öncesinde ve sonrasında dizel motorun NO_x , CO, CO_2 , HC, duman yoğunluğu emisyon değerleri, egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ve özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri ölçülmüştür. Benzinli motorun NO_x , CO, CO_2 , HC emisyonları, EGS ve ÖYT değerleri ölçülmüştür. Bu değerler grafikler yardımıyla yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır. Hem dizel hemde benzinli motorun kaplama öncesi ve sonrası kestirimci bakım yöntemleri olan titreşim ve termografi analizleri yapılmış ve yorumlanmıştır.

TBK ile dizel motor egzoz emisyonlarından HC, CO, duman yoğunluğu emisyonu ve ÖYT değerlerinde düşüş, CO_2 , NO_x ve EGS değerinde ise artış olmuştur. Benzinli motor egzoz emisyonlarından HC, CO, ÖYT değerlerinde azalma, CO_2 , NO_x ve EGS değerlerinde ise artış olmuştur. Elde edilen sonuçlar TBK ve yakıt olarak biyodizel kullanımının motorlarda egzoz emisyon, ÖYT ve EGS değerlerinde dikkate alınacak bir iyileşme olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal Bariyer Kaplama, kestirimci bakım, Benzinli Motor Dizel Motor, titreşim, termografi, biyodizel

SUMMARY

Investigation of Dynamic Vibration Analysis of Diesel and Gasoline Engine Coated with Plasma Spray Method

In this thesis, Thermal Barrier Coating (TBK) is applied to internal combustion engines. With the TBK application, it is aimed to reduce the fuel consumption of the engines and to improve their emissions.

In this study, the method of coating of gasoline and diesel engines is plasma spray method. The main reasons for choosing plasma spray coating method are; is easy to apply, requires simple equipment, economic, safe and chemical composition of the powder mixture used can be modified. Chromium carbide (Cr_3C_2) is used as the coating material of the gasoline engine. Chromium oxide (Cr_2O_3) is used as the coating material of diesel engine. Plungers and valves of these engines are covered; vibration and thermography analyzes were performed.

In addition, biodiesel fuels were produced from crude safflower oil and crude chickpea oils by transesterification method. Adiabatic feature gained engine; Mixtures of D-2 fuel and biodiesel fuels with D-2 fuel were used as alternative fuels. NO_x , CO, CO_2 , HC, smoke density emission values, exhaust gas temperature (EGS) and specific fuel consumption (AGT) values of the diesel engine were measured before and after coating. NO_x , CO, CO_2 , HC emissions, EGS and AGE values of the gasoline engine were measured. These values were compared as percentages by means of graphs. Vibration and thermography analyzes, which are predictive maintenance methods of both diesel and gasoline engines before and after plating, are made and interpreted.

With TBK, diesel engine exhaust emissions, HC, CO, smoke density emission and AGE values decreased, CO_2 , NO_x and EGS values increased. Among the gasoline engine exhaust emissions, HC, CO, AGE values decreased and CO_2 , NO_x and EGS values increased. The results showed that the use of biodiesel as TBK and fuel is an improvement to be taken into consideration in exhaust emission, AGT and EGS values in engines.

Keywords: Thermal Barrier Coating, predictive maintenance, Gasoline Engine Diesel Engine, vibration, thermography, biodiesel

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC,%12Co)	12
Tablo 2.2. Termal Bariyer Kaplama sistemleri ve özellikleri.....	12
Tablo 2.3. Bazı basit seramik bileşikler ve erime sıcaklıkları	16
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan tek silindirli dizel motorun teknik özellikleri.....	36
Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan tek silindirli benzinli motorun teknik özellikleri.....	37
Tablo 5.3. Plazma spre y yönteminin parametreleri gösterilmiştir.....	40
Tablo 5.4. Plazma Spre y yönteminin parametreleri	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Termal bariyer kaplama yöntemleri	4
Şekil 2.2. Termal bariyer kaplama prosesi genel görünümü	5
Şekil 2.3. Alev sprej kaplama sistemi	7
Şekil 2.4. Detonasyon tabancası tekniği	7
Şekil 2.5. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işlemi.....	8
Şekil 2.6. Elektrik ark tel sprej yöntemi	9
Şekil 2.7. Plazma sprej sürecinin şematik diyagramı	10
Şekil 2.8. Plazma sprej kaplama prosesi ile kaplanabilen malzemeler	11
Şekil 2.9. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri.....	13
Şekil 3.1. Bakım yöntemleri.....	18
Şekil 3.2. Kestirimci Bakım yöntemleri	21
Şekil 5.1. 6LD 400 model Lombardini marka dizel motor	36
Şekil 5.2. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP benzinli motor görüntüsü	37
Şekil 5.3. Motor test düzeneği şematik görünümü	38
Şekil 5.4. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü	39
Şekil 5.5. Plazma sprej yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü	39
Şekil 5.6. Dizel motorun kaplama yapılan piston ve supaplarının görünümü	40
Şekil 5.7. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü.	41
Şekil 5.8. Transesterifikasyon reaksiyonu.....	44
Şekil 5.9. Metoksit çözeltisi hazırlama	46
Şekil 5.10. Metoksit aktarımı	46
Şekil 5.11. Reaksiyon sonu faz ayrımı ve biyodizel oluşumu.....	47
Şekil 5.12. Yıkama işlemi	48
Şekil 5.13. Çitlembik biyodizel görünümü	48
Şekil 5.14. Metoksit çözeltisi hazırlama	49
Şekil 5.15. Metoksit aktarımı	50
Şekil 5.16. Biyodizel faz ayrımı, biyodizel	50
Şekil 5.17. Yıkama işlemi ve elde edilen net biyodizel	51
Şekil 5.18. Elde edilen Aspir biyodizel	52
Şekil 6.1. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun NO _x grafiği	54

Şekil 6.2. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun CO grafiği	56
Şekil 6.3. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun CO ₂ grafiği	57
Şekil 6.4. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun HC grafiği	59
Şekil 6.5. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun EGS grafiği	61
Şekil 6.6. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun ÖYT grafiği.....	62
Şekil 6.7. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun Duman (is) grafiği	64
Şekil 6.8. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun NO _x grafiği.....	65
Şekil 6.9. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun CO grafiği	67
Şekil 6.10. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun CO ₂ grafiği	69
Şekil 6.11. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun HC grafiği	71
Şekil 6.12. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun EGS grafiği	73
Şekil 6.13. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun ÖYT grafiği.....	74
Şekil 6.14. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun Duman (is) yoğunluğu grafiği. 76	
Şekil 6.15. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin NO _x grafiği.....	78
Şekil 6.16. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO grafiği	79
Şekil 6.17. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO ₂ grafiği	80
Şekil 6.18. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin HC grafiği	81
Şekil 6.19. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin EGS grafiği.....	82
Şekil 6.20. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin ÖYT grafiği.....	83
Şekil 6.21. Fluke 805 vibration cihazı.....	84
Şekil 6.22. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorların titreşim grafiği	85
Şekil 6.23. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorların titreşim grafiği	86
Şekil 6.24. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin titreşim grafiği	87
Şekil 6.25. DALİ LT3 termal kameranın görüntüsü	88
Şekil 6.26. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü	89
Şekil 6.27. Kaplanmış dizel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü.....	90
Şekil 6.28. Kaplanmış dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü.....	90
Şekil 6.29. Kaplanmış dizel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü....	91
Şekil 6.30. Normal dizel motorun kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	91

Şekil 6.31. Normal dizel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	92
Şekil 6.32. Normal dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	92
Şekil 6.33. Normal dizel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	93
Şekil 6.34. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü	94
Şekil 6.35. Kaplanmış dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü	95
Şekil 6.36. Kaplanmış dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü	95
Şekil 6.37. Kaplanmış dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü	96
Şekil 6.38. Normal dizel motorun kullanıldığı deneyin termal analizi	96
Şekil 6.39. Normal dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	97
Şekil 6.40. Normal dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	97
Şekil 6.41. Normal dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü	98
Şekil 6.42. Normal benzinli motorun termal görüntüsü	99
Şekil 6.43. Kaplanmış benzinli motorun termal görüntüsü	100

KISALTMALAR LİSTESİ

AME	: Aspir Metil Ester
B100	: % 100 BiyodizelSOx :Kükürt oksitler
B20	: % 20 Biyodizel + % 80 Motorin
B50	: % 50 Biyodizel + % 50 Motorin
ÇME	: Çitlembik Metil Ester
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme
KDM	: Kaplanmış Dizel Motor
KM	: Kaplanmış Motor
NDM	: Normal Dizel Motor
NM	: Normal Motor
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PPM	: Milyondaki Partikül Miktarı
T	: Sıcaklık
TBK	: Termal Bariyer Kaplama

SEMBOLLER LİSTESİ

Al₂O₃	: Alüminyum oksit
C	: Karbon
CaO	: Kalsiyum oksit
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cr₂O₃	: Krom Oksit
Cr₃C₂	: Krom Karbür
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik asit
HF	: Hidroflorik asit
HNO₃	: Nitrik asit
MgO	: Magnezyum oksit
Ni	: Nikel
NO_x	: Azot oksit
SiC	: Silisyum karbür
ZrO₂	: Zirkonyum Oksit
µm	: Tane boyutu

1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey kalitesi artırmak için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler genellikle malzeme yüzeyinde fiziksel, kimyasal, termal veya termokimyasal yöntemler olarak gerçekleştirilir. Bu yöntemlerin malzemeye uygulanması neticesinde, malzemenin özellikleri geliştirilmekte ve malzeme kalitesine artı değer katmaktadır. Malzeme üzerinde yapılan değişimler malzemenin ömrünün artmasına ve malzemede oluşan kohezyon ve malzeme deformasyonunda azalma ve korunma sağlamaktadır. Bu uygulamaları gerçekleştirirken malzeme mühendisliğinin yüzey mühendisliği dalından faydalanılır.

Günümüzde içten yanmalı motorların yanma odası elemanlarının yüksek sıcaklığa maruz kalmalarından dolayı metal parçalarında erimeler görülmektedir. Isı kayıplarını azaltmak maksadıyla dizel motorlarında yapılan kaplamalar, soğutma sistemini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Soğutma sistemi elemanlarının ortadan kalkmasıyla motor ağırlığında ve parça maliyetinde azalmanın yanı sıra %40 oranında yakıt tasarrufu sağlanacaktır [1].

İçten yanmalı motorlar incelendiğinde, motorun yanma odasında gerçekleşen yanma olayı neticesinde yanma odası elemanlarının maruz kaldığı yüksek sıcaklık, yüksek basınç, malzeme üzerindeki ani termal değişimler, kohezyon, birikinti ve tortullar gibi yanma olayının doğal sonuçları malzeme üzerinde olumsuz etkiler meydana getirir. Yanma odasındaki bu yanma olayının sürekli ve tekrarlı olması, büyük deformasyona ve hasara yol açmaktadır bu da motorun çalışma verimini olumsuz etkilemektedir. Yanma verimini kalitesini düşürmektedir. Motor elemanlarının yüzeyinin ısı iletim kat sayısı düşük malzeme kullanımı malzeme ile ısı akışı izolasyonunu artıracak için yanma verimini olumlu yönde etkiler. Yanma veriminin artması ile yakıt tüketiminde iyileşme ve ekonomik avantajlar sağlar. Yanma odasındaki ısı verimin artması enerji verimliliğini artırır.

Motor bakım ve analiz yöntemleri son yıllarda büyük gelişim ve farklılıklar göstermiştir. Motorların çalışması neticesinde motorlarda oluşan fiziksel, kimyasal ve termal etkenler motorla ilgili analiz yapma ve motorun genel durumu hakkında bir kanıya varmamızı sağlar. Motor analizleri geleneksel sanayi mantığı ile incelendiğinde motor sesi, titreşim, görmeye ve dokunmaya bağlı yağ analizleri gibi semptomlarla değerlendirilir

ancak bu durum kesin ve net bir sonuca varmamızı sağlamaz. Kestirimci bakım yöntemleri ise motor hakkında kesin ve grafiksel verilerle bize net ve kesin motorun genel durumu ile ilgili parametreleri verir. Ayrıca kestirimci bakım yöntemleri gelişen ve değişen teknoloji ile doğru orantılı bir şekilde gelişmekte ve uygulanmaktadır.

Enerji kullanımının artması ve üretimi ülkeler için önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve ulaşılabilirliğinin zor olması ülkeler arasında çıkar çatışmaları, büyük krizler ve hatta savaşlara sebebiyet verebilmektedir. Günümüzde ve yakın tarihte bu tür örneklerle rastlanmaktadır. Enerjiyi elinde tutan ülkeler dünya ekonomisinde ve konjonktüründe etkin roller üstlenmektedir. Geçmişten günümüze enerji kaynaklarını temelini fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Ancak fosil temelli yakıtların dünya üzerindeki coğrafi dağılım noktasında tüm ülkeler aynı şansa sahip değildir. Bunun neticesinde fosil yakıt kaynaklarına uzak ve fosil yakıt kaynağı sınırlı olan ülkeler alternatif enerji kaynakları bulmaya yönelmişlerdir.

Fosil yakıtların ülke ekonomileri üzerinde oluşturduğu yoğun baskı ve olumsuz etkenlerinin yanı sıra, çok önemli bir sorun da bu yakıtların fazla kullanımının sebep olduğu küresel ısınmadır. Fosil yakıtların kullanılması atmosferdeki CO₂ miktarını arttırmaktadır. CO₂ miktarındaki bu artış sonuç olarak küresel ısınmayı da beraberinde getirmekte, bu durum yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan “sera etkisine” neden olmaktadır[2].

İçten yanmalı motorların temel enerji kaynağı petrol kökenli yakıtlardır. Tükenebilir kaynaklar arasında olan petrolün bu durumu alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına sebebiyet vermiştir. Alternatif yakıtların başında ise bitkisel yağ kökenli yakıtlar gelmektedir. Bitkisel yağların saf olarak motorlarda kullanımı bazı sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar yüksek yağ viskozitesi, asit bileşimi, bağımsız yağ asitleri, oksidasyon ve yanma ile ilgili sorunlardır. Bu tür sorunları ortadan kaldırmak için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin başlıca olanları: seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleridir.

Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asiti oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Yani metanol (odun alkolü), sodyum hidroksitle karıştırılır ve sodyum metoksit elde edilir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca, gliserin dibe çöker ve metil ester üstte kalır [3].

Motor teknolojisinde son dönemde iki parametre üzerinde çalışmalar yoğunlaşmış durumdadır. Bunlar motor performansı ve emisyon değerleridir. Motorun yanma odasındaki yüzey kalitesi yanma olayının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesini sağlaması ve egzoz emisyon değerlerini pozitif yönde etkilemesi sebebi ile çok önemlidir. Motordaki yanma olayı esnasında yanma elemanları üzerinde meydana gelen dezenformasyon ve korozyon yanma olayında enerji verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Verimsiz yanma sonucunda oluşan partikül maddelerde artış meydana gelmektedir.

Motorlarda yanma olayı sonucunda büyük oranda ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Ancak bu enerjinin sadece üçte biri etkin şekilde kullanılabilmektedir. Ortaya çıkan ısı enerjisinin boşa giden üçte birlik kısmı soğutucuya geriye kalan kısmı ise egzoz marifeti ile atmosfere bırakılmaktadır. Kinetik enerjiye çevrilerek kullanılan verimli enerji üçte bir oranındadır. Temel enerji kuramları dikkate alındığında ısı kaybının azalması sağlandığında enerji verimliliğinin bilindiğinden yüzey modifikasyon yöntemleri kullanılarak düşük sürtünme, termal yalıtım ve aşınma direncine sahip ince tabaka şeklinde kaplandığında enerji kaybı azaltılıp enerji verimliliği artırılabilir.

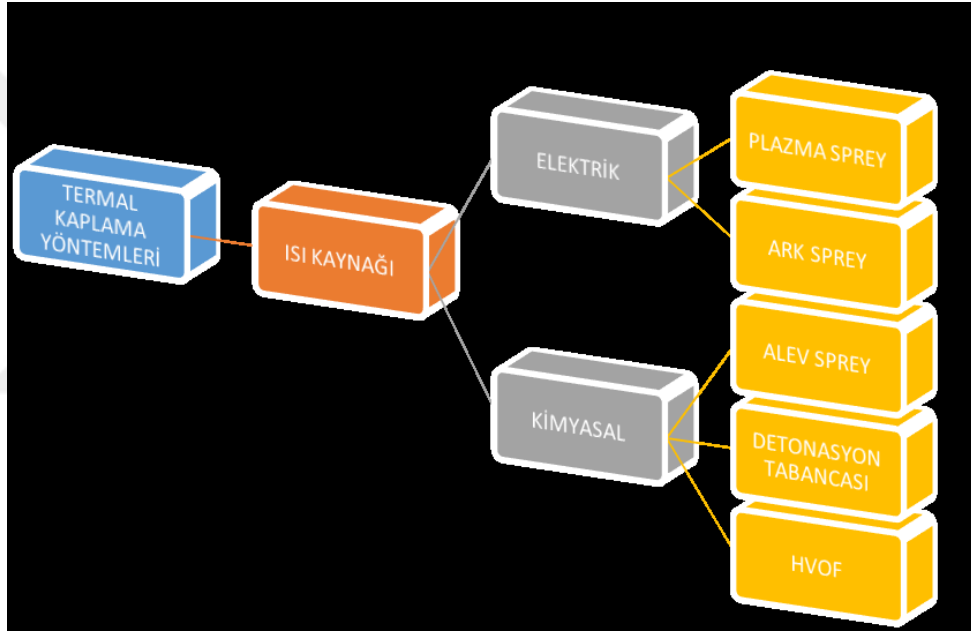
Çalışma süresi boyunca kaplama yöntemi olarak plazma sprey yöntemi kullanılmıştır. Çalışma içerisinde içten yanmalı tek silindirli benzinli motorun silindir gömleği, piston üst yüzeyi ve supapları krom karbür (Cr_3C_2) maddesi ile kaplanmıştır. İçten yanmalı tek silindirli dizel motorunda silindir gömleği, piston üst yüzeyi ve supapları krom oksit (Cr_2O_3) maddesi ile kaplanmıştır. Kaplanan yüzeylerin her türlü aşınma ve korozyona karşı korunmuş yüzey sürtünme kat sayısı düşürülmüş, yüzey mukavemeti artırılmıştır.

Kaplanan motorların termal, titreşim verileri termal kamera ve titreşim ölçer cihazı ile farklı devir ve farklı uygulanan yüklerde ortaya çıkan bilgiler grafiksel olarak elde edilmiştir.

Yapılan çalışmanın son aşamasında ise aspir ve çitlembik bitkisel yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyoyakıtların kaplanmış ve kaplanmamış tek silindirli dizel motorda titreşim, egzoz emisyon değerleri, özgül yakıt tüketimi, termal görüntüleri alınarak biyodizel yakıtının kaplanmış ve kaplanmamış tek silindirli dizel motorundaki etkileri incelenmiştir.

2. TERMAL KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Bariyer kaplama yöntemleri kaplanacak malzemenin ergimiş veya yarı ergimiş hale getirilerek yüzeye püskürtülme prensibiyle yapılır. Isıtılan tel veya toz materyal parçacıklar hızlandırılarak kaplanacak yüzeye çarptırılır. Yüzeye çarptırılan bu materyaller kaplama yüzeyine yapışır. Milyonlarca toz parçacığı kaplama yüzeyine mekanik ya da metalik bağlarla bağlanır ve parçacıkların üst üste binmesi ile kaplama istenilen hali alır[4]. Termal bariyer kaplama yöntemleri Şekil 2.1. de gösterilmiştir



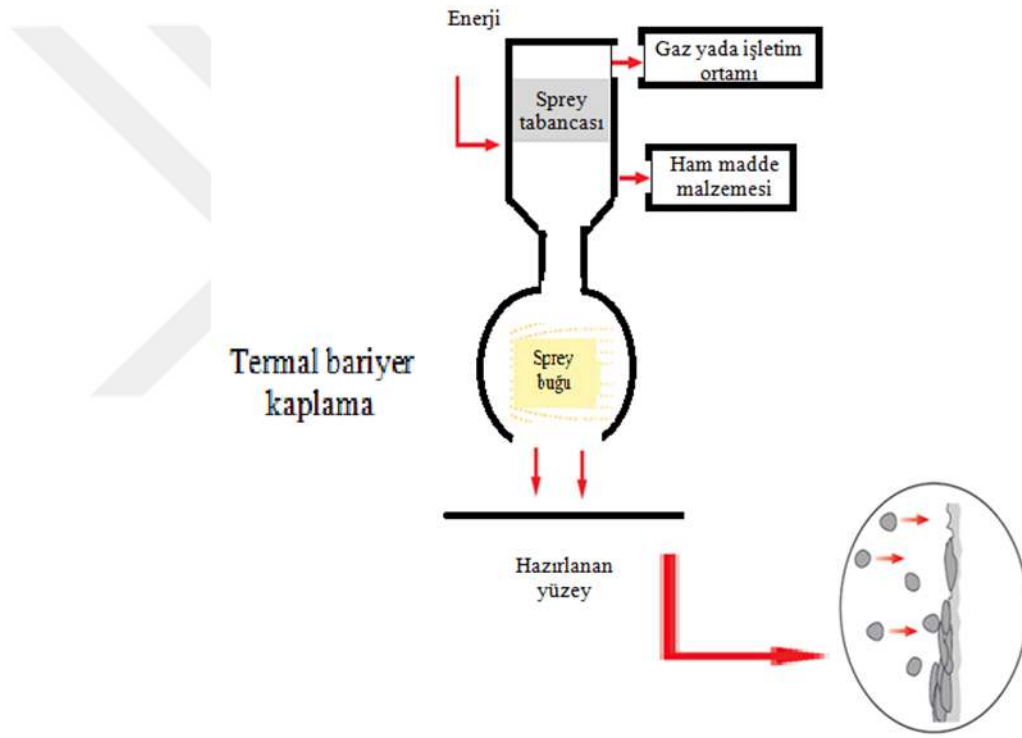
Şekil 2.1. Termal bariyer kaplama yöntemleri

Termal bariyer kaplama 3 temel esas üzerinden ilerler bunlar sırasıyla; kaplama yapılacak malzeme, kaplamada kullanılacak seramik kaplama malzemesi ve üçüncü olarak bu iki malzemeyi birbirine harmanlayarak birbirine bağlanmasını sağlayan bağlayıcı katmadır. Termal bariyer kaplamada ilk yapılan iş kaplanacak olan altlık malzemenin belirlenmesidir. Belirlenen altlık malzemenin kimyasal yollarla temizlenmesi ile termal bariyer kaplamanın ikinci aşaması gerçekleştirilir böylelikle püskürtülecek malzemenin yüzeye tutunması sağlanır. Aşındırıcı parçacıklar püskürtülerek yüzey pürüzlülüğü sağlanır. Pürüzlü yüzey üzerinde partiküllerin oluşan yüzeye yerleşmesiyle kaplamanın daha sağlıklı ve sağlam olması sağlanır.

Bariyer kaplamanın temel amacı kaplanan malzemenin genel yapısını iyileştirmektir, bunun için sırasıyla aşağıdaki basamaklar izlenir.

- Sorunların tespiti ve giderilme yolları
- Yapılacak olan kaplamanın özelliklerinin belirlenmesi
- Kaplama malzemesinin, kaplama yönteminin ve kullanılacak cihazın belirlenmesi
- Kaplama yöntemini başarı ile gerçekleştirilmesi
- Kaplanmış malzemenin analizlerinin teknik ve mali açıdan incelenmesi ve değerlendirilmesi

Termal bariyer kaplama prosesi genel görünümü Şekil 2.2. de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Termal bariyer kaplama prosesi genel görünümü

Spreyleme teknikleri, ısı kaynağı tarafından uygulanan sıcaklık ve parçacık hızlarının farklılıkları sebebiyle uygulamanın maliyeti, kullanılacağı alan ve kaplama yöntemi olarak en uygun yöntem belirlenmelidir.

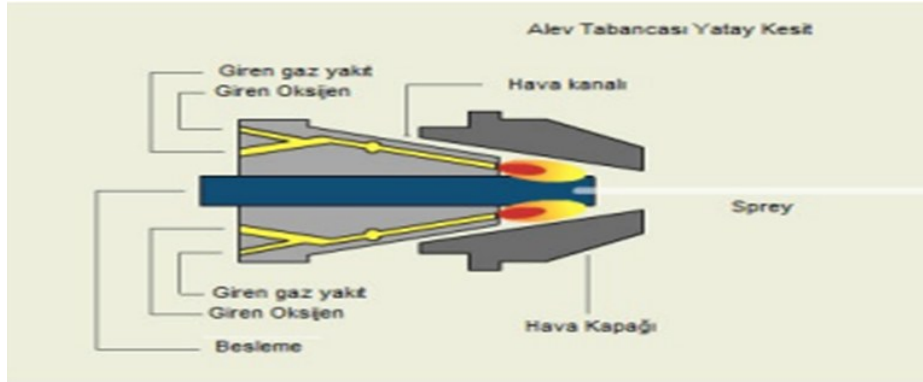
2.1. Kimyasal Yöntemle Termal Bariyer Kaplama Teknikleri

2.1.1. Alev Sprey Kaplama Tekniği

Alev sprej kaplama, termal sprej (ısıp püskürtme) kaplama yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde yanıcı gaz (oksi-asetilen) oksijen ile yakılarak erittiği metal ya da seramik toz parçaları altlık parçanın üzerine kaplanır. Bu ısı hem seramik ve metali eritmeye yeterken diğer taraftan parça yüzeyinde her hangi bir çarpılmaya yer açmadığı için “soğuk” sistem olarak da bir taraftan bilinmektedir. Alev sprej kaplama hem ekonomik hem de geniş alanda malzeme türüne uygulanan ve malzemeleri uygulayan bir yöntemdir. Sadece paslanmaz çelik ya da diğer çelik türleri değil, tel halinde molibden kaplama, çinko kaplama, bakır kaplama ve bronz kaplama gibi kaplamaların yanı sıra, sermet (metal kaplı seramik tozlar) kaplama, teknik seramikler (elektriksel izolasyon için saf alüminyum oksit, sertlik ve yüksek korozyon direnci için krom oksit kaplamalar) de yine alev sprej kaplama ile kolaylıkla uygulanabilecek malzemelerdir. Bu uygulamalarda mükemmel aşınma direnci ve yüksek yapışma kuvvetleri söz konusu iken kaplama türüne göre de mükemmel darbe dirençleri de elde edilebilmektedir. Alev sprej kaplamada, tabancanın nozulünün çapına göre farklı boyutlarda toz kullanılmakla beraber, tozun boyutu ile tabancanın performansı ve verimliliği ile bir ilgi de vardır. Tabancanın nozulü daraldıkça daha ince tane boyutlu tozlar kullanılırken, bu tozlar kaba olanlara göre daha kolay erimekte ve daha pürüzsüz bir kaplama ortaya çıkmaktadır. Tabancanın performansı da yine ince taneli tozlarda tıkanma daha az olduğundan daha yüksektir. Bununla beraber, ince tozlarda tozun atımı esnasında toz kaybı daha fazlayken, geniş nozul ve kaba tozlarda bu nispeten daha az gözükmektedir.

Alev sprej yönteminde alüminyum oksit kaplama türleri, krom oksit kaplama türleri uygun altlık ile beraber seramik kaplama için uygunken, tel alev sprej yöntemi ile metalik alaşımlandırılmış teller yüksek kalınlık ve pürüzlülükte atılabilmektedir. Başta yine çelik türleri, bronz, bakır, çinko (düşük sıcaklık olduğu için özel kaplama teçhizatı gereklidir), molibden, monel (özellikle deniz suyu ve sülfürik asit korozyonuna karşı uygulanan nikel-bakır alaşımı), beyaz metal de yine tel sprej kaplama ile uygulanmaktadır.

Alev sprej kaplama sistemi Şekil 2.3. de gösterilmiştir



Şekil 2.3. Alev sprej kaplama sistemi

2.1.2. Detonasyon Tabancası Tekniği

Bu teknikle kaplama, 2-3 cm iç çapında 1-1,5 m uzunluğunda su soğutmalı bir yanma odasında taşıyıcı gaz ve oksijen-asetilen gaz karışımının kontrollü bir şekilde infilak ettirilmesiyle (patlatılmasıyla) kaplama tozlarının ergitilmesi ve yüzeye püskürtülmesiyle gerçekleşir. Gaz karışımı bir elektrik kıvılcımı ile saniyede 4-8 kez infilak ettirilir, sistem devamlı olmayıp kesiklidir. Bu teknikle üretilen kaplamalar, yoğun, sert ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir. İş parçasının az ısınması ve karbürler gibi ergime sıcaklığının yüksek olduğu malzemelerin kaplanması prosesin avantajıdır. Buna karşılık düşük biriktirme hızı, esnek olmaması ve pahalı bir proses olması tekniğin dezavantajlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor parçacıklarının korunmasında, tekstil makine parçaları, kağıt ve plastik sanayisinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda detonasyon tabancası tekniği uygulanmaktadır [5]. Detonasyon tabancası tekniği Şekil 2.4. de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Detonasyon tabancası tekniği

2.1.3. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme) Yöntemi

Kapılanılacak malzemenin toz halinin hızlandırılarak kinetik enerjinin ortaya çıkması ve ortaya çıkan enerjinin etkisiyle toz partiküllerin kaplanan yüzeye çarptırılmasıyla yapılan yöntemdir.

Bu yöntemde O_2 ve yakıt gazı, yüksek basınçlarda kullanılır. Kullanılan gazlar propan, propilen ve hidrojenidir. Kaplama malzemesi tabanca içerisindeki yanma odasına, azot kullanılarak iletilir. Yakıt, O_2 ile tabanca içerisinde karıştıktan sonra dışarıya püskürtülür. HVOF alevinin yapısı, genişleyen gaz akışının süpersonik karakteri tarafından şekillendirilmektedir. Tork çıkışında ulaşılan ses üstü hız ve akışın genişmesi ses üstü hızın karakteristikleri olan genişleme-sıkıştırma dalgaları ve “shockdiamonds” oluşumuna yol açar. HVOF spreyleme tekniğinde 2200 °C’ye ulaşan alev sıcaklıkları ve 1600 m/s spreyleme hızları ölçülmüştür. Kaplamada kullanılan partiküllerin boyutları 4-4,5 mikron arasında olabilmekle birlikte, 20-120 gr/dk aralığında bir hızla beslenebilmektedir. Kaplama prosesinde spreyleme mesafesi 150 ile 300 mm aralığındadır. Taşıyıcı gaz olarak azot ve argon kullanılmaktadır [6]. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işlemi Şekil 2.5. de gösterilmiştir.

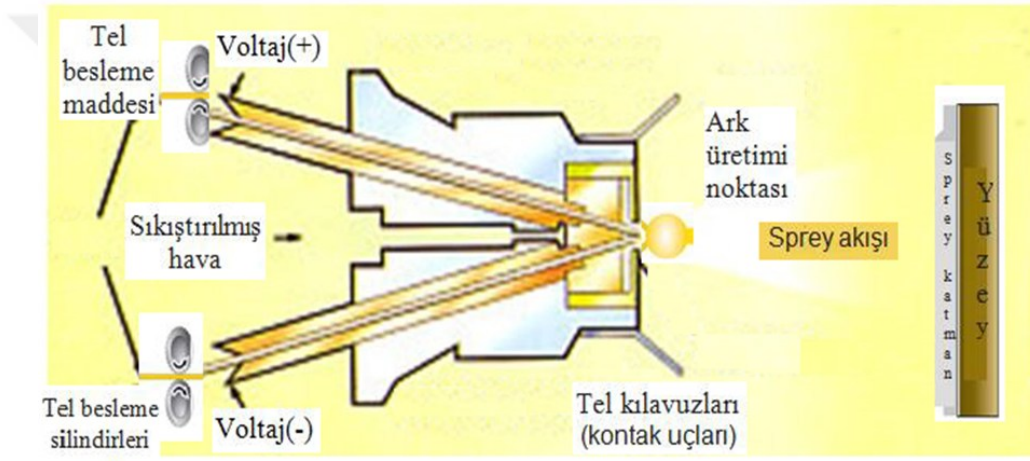


Şekil 2.5. HVOF yöntemi ile yapılan kaplama işlemi

2.2. Elektriksel Yöntemle Termal Bariyer Kaplama Teknikleri

2.2.1. Elektrik Ark Spreyleme Yöntemi

Elektrik ark spreyleme yönteminde metal tel veya toz halinde kaplama malzemesi kullanılır. Kaplama malzemesi (tel) besleme tabancası yardımıyla yanma odasına ulaştırılır. Pozitif ve negatif iyonlarla yüklenmiş ortamdan geçen tellerde bir ark oluşarak teller erir. Daha sonra ortamda bulunan gazların uyguladığı basınç yardımıyla eriyen teller kaplama yüzeyine püskürtülür. Elektrik ark tel spray yöntemi Şekil 2.6. da gösterilmiştir.



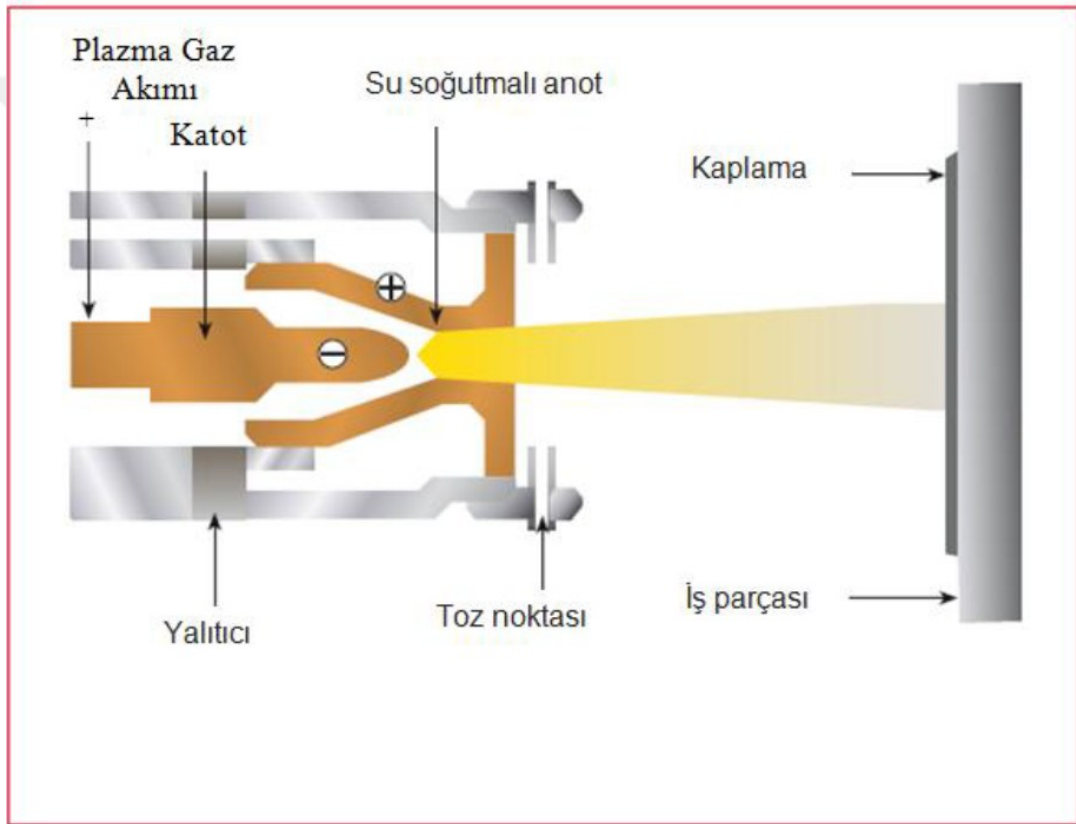
Şekil 2.6. Elektrik ark tel spray yöntemi

2.2.2. Plazma Sprey Yöntemi

Plazma spreya kaplama teknolojisi, termal spreya ailesinin alt bir grubudur ve 1937 yılında Reineck tarafından bulunmuş, daha sonra bu teknoloji Amerikan şirketlerince geliştirilmiştir. Plazma spreya ilk endüstriyel uygulamaları 1960'lı yıllarda havacılık sahasında görülmüştür [7].

Plazma, eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulunduran, genellikle maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan yoğunlaştırılmış bir gazdır. Plazma püskürtme kaplama ise; metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bir ısıl püskürtme yöntemidir [8]. Plazma spreya yöntemini ifade edecek en temel cümle ise bir malzemenin eritilerek başka bir maddenin yüzeyine püskürtülmesidir. Plazmanın ayırt edici iki etkili

özelliği vardır. Bunlardan ilki malzemelere ısı transferinin iyi olması diğeri ise tüm malzemeleri eritebilecek düzeyde yüksek sıcaklık elde edilebilmesidir. Plazma spreynin bir başka özelliği ise argon, azot veya hidrojen gibi soy gazlar kullanıldığı için oksitlenme sorunu en alt seviyeye inmektedir. Plazma spreynin yönteminde kaplama malzemesi sıcak plazma alevi içine beslenir; yarı plastik bir hale gelene kadar ısıtılır ve altlık malzemesine doğru hızla püskürtülür. Çarpma sonucunda sıcak parçacıklar altlık malzemesine ve daha sonra birbirlerine yapışarak kaplama tabakasını oluştururlar [9]. Plazma spreynin şematik diyagramı Şekil 2.7. de gösterilmiştir.

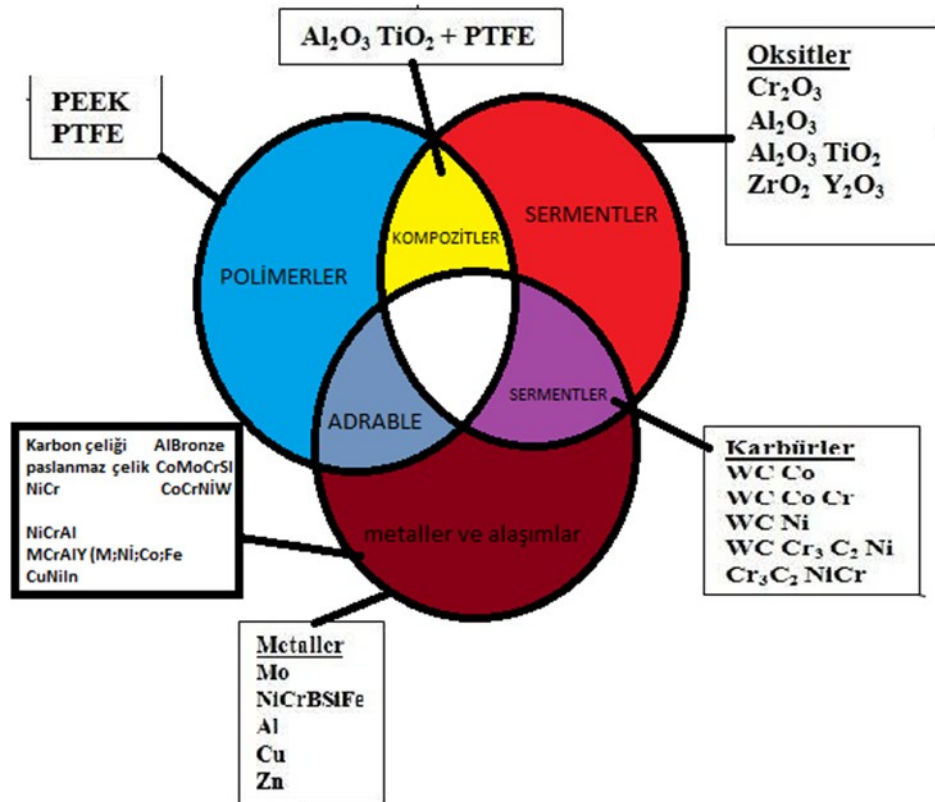


Şekil 2.7. Plazma spreynin şematik diyagramı

Plazma spreynin sistematik yapısını oluşturan elemanlar;

- Toz besleme ünitesi,
- Güç ünitesi,
- Soğutma sistemi,
- Gaz besleme ünitesi,
- Kontrol ünitesi,
- Plazma tabancası,

Plazma sprej yöntemiyle gerçekleştirilen seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve erozyon direncine sahiptirler ve dizel motorları da dâhil erozyon ve aşınma dirençli uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. Plazma sprej işlemi vakum veya düşük basınç altında da gerçekleştirilebilir. Bu durumda süreç düşük basınçta plazma sprej ya da vakum plazma sprej adını alır. Bu yöntemin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi atmosfer ortamından kaynaklanan oksitlenmenin önüne geçilmesidir. İkincisi ise ortaya çıkan zararlı olabilecek gaz ve malzemelerin kapalı ortamda tutulmasıdır [10]. Plazmanın yüksek sıcaklığa sahip olması yüksek seviyede ergime sıcaklığına sahip malzemelerin kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Buda plazma sprej yönteminde birçok farklı malzeme seçeneği ile çalışma olanağı sağlamaktadır. Plazma sprej kaplama prosesi ile kaplanabilen malzemeler Şekil 2.8. de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Plazma sprej kaplama prosesi ile kaplanabilen malzemeler

Plazma sprej yönteminde kaplanan ile kaplayan malzemenin iyi yapışabilmesi için yüzeyin girintili çıkıntılı olması gerekir. Yüzey tabakasında kir ve tortu olmamasına özen gösterilmelidir. Bu yöntemin genel avantajları;

- Prosesin tam anlamıyla otorizasyona imkan vermesi

- Ergime sıcaklığı sabit olan tüm malzemelerin kaplamada kullanılabilmesi
- Malzemelerin kaplanabilir olması (Tablo 2.1)
- Her türlü fiziksel büyüklükte ve geometrik şekildeki iş parçalarının kaplanabilir olması
- Yüksek düzeyde ve kalite standartlarında kaplama üretimini sağlaması şeklinde sıralanabilir (Tablo 2.2)

Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC,%12Co)

	Gaz Hızı	Oksit İçeriği	Porozite(%)	Alev Sıcaklığı	Bağlanma Mukavameti(MPa)	Bağlanma Kalınlık(inç)	DPH 300
HVOF	March 4	<1	0	2760	69	0.060	1.050
Standart Plazma	Ses altı	<3	<2	11.100	55,2	0.025	750
Yüksek Hızlı Plazma	March 1	<1	<1	11.100	69	0.015	950

Tablo 2.2. Termal Bariyer Kaplama sistemleri ve özellikleri

Biriktirme Tekniği	Elaktrik Ark	APS	LPPS	Alev Püskürtme	HVOF
Isı Kaynağı	Elektrodlar Arası ARK	Plazma ARK	Plazma ARK	Oksiasetilen/ Oksihidrojen	Propan/ Propilen/ Hidrojen/ Kerosen
İtici Gaz	Hava	İnert Gaz	İnert Gaz	Şok Dalgaları	Hava
Tabanca Sıcaklığı(oC)	600	16000	16000	3300	2800
Parçacık Hızı (M/S)	40	120-600	900	240	1350
Kaplama Malzemesi	Sünek Malzemeler	Metalik Plastik Seramik Bileşik	Metalik Plastik Seramik Bileşik	Metalik Seramik	Metalik Seramik
Yapışma Mukavameti(MPa)	40-60	30-70	>70	20-28	40-49
Porozite Seviyesi (V (%))	8-15	2-5	<5	10-20	0,5-2

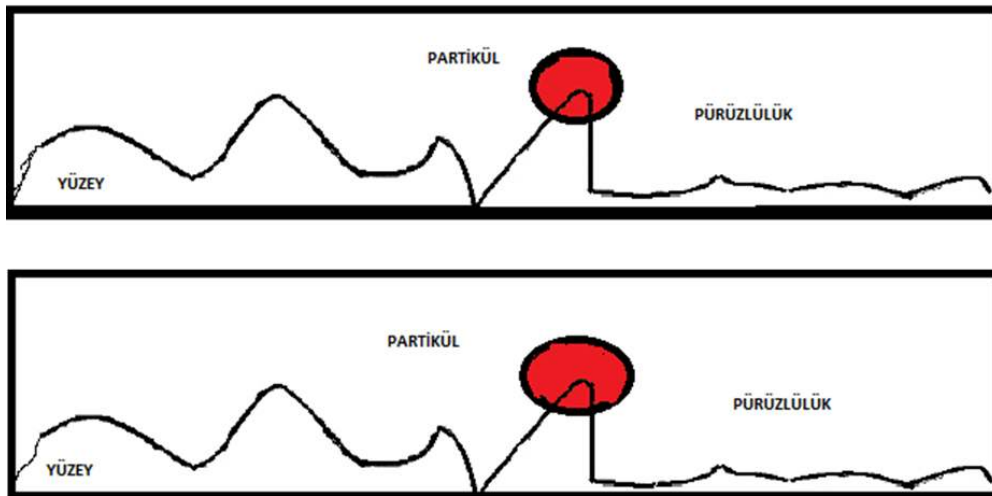
2.3. Kaplama Yüzeyini Temizleme İşlemi

Kaplamanın başarılı gerçekleşmesi için kaplanacak olan metal malzemenin kir, tortu, yağ ve pas gibi tabakalardan arındırılması gerekir. Temizleme işleminin iki temel elemanı vardır; bunlar sıcaklık ve alkoldür.

2.4. Kaplama Yüzeyini Pürüzlendirme İşlemi

Temizleme işlemi bittikten sonra pürüzlendirme işlemine geçilir. Pürüzlendirme işleminde kullanılan malzeme bağ tabakayı oluşturur. Pürüzlendirme işlemi için genellikle Silisyum Karbür(SiC), Al_2O_3 tozları ve kuvars kumu kullanılmaktadır. Yüzey hazırlama işleminin tipi ve yüzeyin pürüzlülük derecesi kaplamanın cinsine ve kalınlığına bağlıdır. Kumlama için kullanılan havanın ve kumlama malzemesinin kuru olması gerekmektedir. Ayrıca kumlama malzemelerinin daha önce başka bir amaç için kullanılmamış olması, yağsız ve temiz olması önemlidir. Arzu edilen yüzey pürüzlülüğüne keskin köşeli kumlarla ulaşmak mümkündür. Kumlama sonucu elde edilen pürüzlülük derecesi; aşındırıcının tane boyutuna, hava basıncına, ana malzemenin yüzey sertliğine, püskürtme açısına, aşındırıcının şekline vs. bağlıdır [11].

Kaplamanın güçlü olabilmesi için pürüzlendirme işleminin düzgün olması gerekir çünkü kaplama ve altlık arasındaki bağ kuran ve mukavemeti arttıran pürüzlendirme işlemidir. Pürüzlendirmede kullanılacak yöntem kaplamanın kalınlığına ve boyutuna göre belirlenir. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri Şekil 2.9. gösterilmiştir.



Şekil 2.9. İyi mekanik bağlanma gösteren pürüzlülük tipleri

Diğer taraftan, aşırı kumlama iş parçasının sertleşmesine, piklerin körleşmesine ve yüzeyde fazla kum artıklarının kalmasına neden olmaktadır. Kumlama zamanı ve basıncı arttıkça yüzeyde kirliliğe neden olan kum kalıntısı ve pürüzlülük artmaktadır. Bağlanma katmanı, seramik katmanın bağlanmasını sağlamasının yanında taban malzemeyi oksitlenmeden ve korozyondan korur. Bağlanma katmanı yüksek sıcaklıklarda oksitlenir ve bunun sonucunda seramik metalik katman ara yüzeyinde oksijen bariyeri olarak adlandırılan bir katman oluşumu gözlenir. Oksijen bariyeri katmanının yapısını süreklilik gösteren $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ oluşturur. Bu katman, sistemin çalışma koşullarında zararlı diğer oksitlerin oluşmasını baskılayan bir difüzyon bariyeri olarak işlev yapar ve sonuçta sistem ömrünü uzatır. Ancak bu koruyucu katmanın yanı sıra krom(Cr) ve Ni'nin oluşturduğu oksitlerin saptandığı da rapor edilmiştir. Bağlanma katmanının oksitlenmesi TKB'nin ayrılmasına sebep olan en büyük etmendir [12].

2.5. Maskeleme

Kaplamalarda yüzeylerin örtülmesine maskeleme işlemi denir. Kaplanacak parçanın sadece gerekli kısımlarının kaplanabilmesi için, çeşitli maskeleme teknikleri kullanılır. Bunlar; metal maskeleme, lastik maskeleme ve bazı oksit boyalarla maskeleme teknikleridir. Kaplama hızı yüksek olan uygulamalarda metal ve lastik maskeleme daha uygundur [13].

2.6. Seramik Kaplama İşleminde Kullanılan Malzemeler

Seramik, farklı bileşimdeki kristal ve cam yapıları içeren ve genellikle poroziteye sahip olan malzemelerdir. İyonik ve kovalent bağ yapısına sahip olan seramik malzemelerin, yüksek sıcaklıktaki mukavemet ve sertlikleri, korozyona karşı dirençleri (özellikle şiddetli korozyon ve oksitli atmosferde) ve yorulma dirençleri yüksektir. Bu özellikleri ile seramik malzemeler, aşınmanın etkili olduğu uygulamalarda kullanılan bir malzeme grubunu oluşturmaktadır [14].

Seramik malzemenin parça yapımında kullanılması uygun görülse de gerek gevrek olması gerek mali açıdan fazla avantajlı olmaması tercih edilmemesine neden olmaktadır. Buna alternatif olarak seramik malzeme ile kaplanması daha avantajlıdır.

Seramik kaplamalar genel olarak:

- Koruma kaplaması olarak,
- Sürtünmeyi azaltıcı olarak
- Korozyon önleyici olarak,
- Termal bariyer olarak
- Elektrik izolatörü, yarı iletken ve süper iletken olarak
- Genel tokluğu ve aşınma direncini artırıcı olarak, makine elamanları üzerinde kullanılmaktadırlar [15].

Günümüzde seramik malzemelere ilginin artmasının başlıca nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Kimyasal kararlılığın yüksek olması,
- Çok sert olmaları,
- Metallerden hafif olmaları,
- Hammadde olarak bol miktarda bulunmaları ve genellikle metallere kıyasla ucuz olmaları
- Pahalı ve stratejik metallere ihtiyaç göstermemesi
- Erozyon ve aşınmaya karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Sürtünme katsayısının düşük olması,
- Basma mukavemetinin yüksek olması.

Bütün bu üstün özelliklerine rağmen, seramik malzemelerin en önemli istenmeyen özelliği gevrek karakterde olmalarıdır [16]. Mühendislik ve geleneksel olarak ikiye ayrılan seramikler ham madde olarak farklılıklar gösterirler. Mühendislik seramiklerinde ham madde olarak Al_2O_3 , SiC, Magnezyum oksit(MgO), ve ZrO_2 (Tablo 2.3) gibi malzemeler kullanılır. Geleneksel seramiklerde ise ham madde olarak kaolen, kil , feldispat gibi malzemeler kullanılmaktadır. Geleneksel seramiklere örnek verecek olursak çimento, tuğla-kiremit, çini, çömlek, çanak, fayans, porselen, cam ve seramik yapımı sağlık gereçleri örnek olarak verilebilir.

Tablo 2.3. Bazı basit seramik bileşikler ve erime sıcaklıkları

Seramik Bileşik	Sıcaklığı(oC)
Titanyum dioksit, TiO ₂	1605
Silisyum nitrür, Si ₃ N ₄	1900
Silisyum dioksit, SiO ₂	1715
Aliminyum oksit, Al ₂ O ₃	2050
Bor karbür, B ₄ C	2450
Silisyum karbür, SiC	2500
Magnezyum oksit, MgO	2798
Tungusten karbür, WC	2850
Titanyum karbür, TiC	3120
Hafniyum karbür, HfC	4150

Farklı birçok kaplama yöntemiyle, Vanadyum(V), Titanyum (Ti), Zirkonyum(Zr), Hafniyum (Hf), Niobyum(Nb), nitrür ve karbonnitrürleri ve çeşitli oksit esaslı seramikler (Al₂O₃, Cr₂O₃, BeO, MgO, Zr₂O) içeren kaplamalar metaller üzerine başarı ile uygulanabilmektedir. En yaygın ve uygulaması kolay seramik kaplama işlemi seramik tozlarının püskürtülerek metal üzerine kaplanmasıdır. Bu amaçla en uygun seramik kaplama malzemeleri, mikron boyutunda üretilen toz formundaki malzemelerdir [17]. Bu çalışma içerisinde kaplama malzemesi olarak Krom karbür(Cr₃C₂) ve Krom oksit(Cr₂O₃) kullanılmaktadır.

2.7. Krom Karbürler

Krom karbür üç kimyasal kompozisyonda bulunabilen bir seramik bileşiktir. Bu kompozisyonlar; Cr₃C₂, Cr₇C₃ ve Cr₂₃C₆'dır. Standart koşullarda, koyu gri renkte bir katıdır. Cr₂₃C₆ kübik kristal kafeste ve 10.5 GPa Vickers sertliğine sahiptir [50]. Cr₇C₃ ise ortorombik kristal kafes yapısındadır ve Vickers sertliği 14.5 GPa'dır [18]. Son olarak, Cr₃C₂ bu üç kompozisyonun en kararlısı olup, ortorombik kristal yapıda ve 23.5 GPa Vickers sertliğine sahiptir [19]. Bu özellikleri ile metal alaşımlarına katkı olarak ilave edilebilir. Krom karbür, bir metalin yüzeyine kaplandığında, yüzeye hem aşınma hem de korozyon direnci verir ve bu özelliğini yüksek sıcaklıklarda da sürdürür. Bu tip kaplama uygulamaları için en sert ve genelde en çok kullanılan kompozisyonu Cr₃C₂'dir [20].

Metal malzemelerin yüzeylerinin sertliğini arttırmak, aşınma ve korozyona karşı dirençli olmasının istendiği yerlerde krom karbür ısıt püskürtme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yataklar, vanalar ve contalar gibi parçalarda vanadyum karbür gibi sinterlenmiş karbürlerle birlikte kaplama işlemi yapılmaktadır. Çelik ve krom karbürün ısıt genişleme kat sayısı birbirine çok yakındır.

2.8. Krom Oksitler

Yüzey sertliğinin artırılması için, korozyon ve aşınmaya karşı mukavemetli olması, kaplama sonrası düşük pürüzlülük sağlaması gibi özellikleri vardır. Kullanım alanları rulman yerleri, hidrolik piston milleri, şaft, otomotiv sanayide piston segmanları, senkromençler, krank milleri, debriyaj baskı balataları belirli kullanım alanlarıdır.

3. BAKIM YÖNTEMLERİ

Bakım yöntemleri 4 başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar kullanım alanlarına ve yerine göre farklılık gösterirler. Bakım yöntemleri Şekil 3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bakım yöntemleri

3.1. Arıza Çıktıkça Bakım Yöntemi

Bakım yöntemleri arasında düşük verimli bakım yöntemi olarak nitelendirebiliriz bu yöntemi. Makine çalışma durumunda iken üzerinde hiçbir müdahalenin yapılmadığı, makine arıza verdikten sonra arızaya sebebiyet veren parçanın tamirine yönelik bir bakım yöntemidir. Bu yöntemin dezavantajı ise arızaya sebebiyet veren parçanın önceden müdahale yapılmadığı için sistem içerisinde olan diğer sistem parçalarına zarar verebilme olasılığıdır.

3.2. Periyodik – Koruyucu Bakım Yöntemi

Bu yöntemde arızaların çıkması beklenmemekte, sistem daha önceden periyodik olarak yapılan kontroller neticesinde olası arızaların önüne geçilmektedir. Bakım ekibinin tecrübeleri ve makinelerin genel performans durumları, çalışma süreleri gibi parametreler göz önünde bulundurularak periyodik bakımın hangi zaman aralığında yapılacağı

belirlenir. Bu bakımda yıpranma aşınma, ihtimali yüksek olan parçalar stokta bulundurulur bakım süresinin kısa tutulması hedeflenmektedir. Bu bakım yönteminin en önemli özelliği düzenli periyodik bakım yapıldığı için sistem içerisindeki parçaların dezenforme olup arıza vermeden önce değişimi ile olası büyük ve maliyetli arızaların oluşmasının engellenmesidir.

3.3. Pro-Aktif Bakım

Arızanın kaynağına inilerek arızayı oluşmadan önlemek için kullanılır. Sürekli tekrarlayan bir problemi, sürekli yakalayıp sürekli müdahale etmek yerine arızayı oluşturabilecek sebepleri; örneğin gerilme, dengesizlik, eksenel kaçıklık vb.; problemleri uygun ekipmanlar kullanarak azaltıp ortadan kaldırarak veya etkisini azaltarak arıza oluşmasını engeller. Ayrıca geciktirir. Proaktif bakıma örnek olarak lazerli kaplin ayarı ve balans alma işlemi verilebilir [21].

3.4. Kestirimci Bakım Yöntemleri

Hareketli sistemlerin veya malzemelerin fiziksel özellikleri ile işlevlerinin gerektirdiği durumlara göre, belirli ölçme ve değerlendirme tekniklerine göre yapılan, arıza oluşumunu engelleyen öngörmeli bir bakım uygulamasıdır. Kestirimci bakımda, işletmelerdeki makineler belli noktalardan izlemeye alınır.

Bunun için, bir takım ölçüm cihazları kullanılır. Belli bir zaman aralığında alınan ölçüm sonuçları değerlendirilir. Elde edilen ölçüm değerlerinin eğilimi incelenerek, sistemde oluşabilecek arızalar makine iyi durumda iken bile önceden tespit edilir.

Kestirimci Bakım bir cihazın arıza yapmak üzere mi olduğunu ya da durumunun genel olarak hangi safhada olduğunu belirtmek amacıyla teknik bilgilerin analizini sağlar. Problemler daha pahalı ve büyük arızalara dönüşmeden düzeltilirler. Bu yöntem, çalışan sistemi takip ederek olası arızaları tespit ettiği için sistemin gereksiz durmasına ve gereksiz parça değişimlerine engel olmaktadır. Ölçüm değerlerinin eğilimleri analiz edilerek bir planlı bakım programı hazırlanır ve sistem bakıma alınır.

3.4.1. Kestirimci Bakımın Faydaları

- Bazı parça değişimlerinin makinenin çalışmadığı zamanlara planlaması olası hale gelir. Bu da toplam maliyeti azaltır.
- Bakım için gerekli işgücü, alet ve yedek parçalar planlanan duruş zamanında kullanıma hazır olur.
- Ekipmanın gerçek mekanik durumunun göstergesi olan gerçek verilerle çalışılır. Bakım planları gerçek veriler ışığında gerçekleştirilmekte ve güncellenmektedir.
- Kestirimci bakım plan-dışı arızaları büyük ölçüde önlemesinin yanı sıra, gerçekleşecek arızaların diğer sistemleri yıpratmasını da engellemekte, ayrıca tamirden sonraki durum hakkında da gerçek veri sağlamaktadır.
- Makine için çok önemli arızalar minimum düzeye indirilebilir.
- Bakım süresi, dolayısıyla makinenin duruşu minimum düzeye indirilebilir.
- İyi durumda olup çalışan makineler gereksiz yere durdurulmamış olur. Bu sayede, harcanan zaman ve maliyet en az düzeyde kalır.

3.4.2. Kestirimci Bakımın İşleyiş Aşamaları

Tespit: Makinanın çalışma şartlarında meydana gelebilecek bir değişikliğin mümkün olan en kısa sürede tespit edilmesi.

Analiz ve Teşhis: Meydana gelen değişikliğe neden olan hasarın teşhisi için, makinenin karakteristiğinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi.

Düzeltilme (bakım-onarım): Gerekli onarım ve değiştirmenin yapılması. Kestirimci Bakım yöntemleri Şekil 3.2. de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kestirimci Bakım yöntemleri

3.4.3. Yağ Analizi

Mekanik parçalar temelde 10 mikronluk bir yağ filmi üzerinde çalışırlar ki bu kalınlık yaklaşık olarak bir kan hücresinin çapına eşittir. Bu yağ filminin ortadan kalkması arızanın oluşması anlamına gelir. Bu yağ filminin temiz ve sağlıklı olması son derece önemlidir. Bu amaca ulaşılmasını sağlayan kestirimci bakım metodu yağ analizi olarak adlandırılır. Buna ek olarak, insan vücudundaki kan gibi, makinelerdeki yağ da makinenin sağlığı ile ilgili olarak çok önemli ipuçları verir. Yağ analiziyle bu ipuçları analiz edilerek operasyonları ve bakım kararlarını etkileyen çok önemli bilgilere dönüştürülür[22]. Yağ analizi yapılırken analizler sadece kullanılan yağ üzerinden yapılmamalıdır. Yağın kullanıma hazır hali incelenmeli nemi, parçacık sayısı ve viskozitesi gibi parametreler incelenmelidir.

Yağ analizinde metal parçacık analizi yapılırsa arıza tespiti daha ivedi bir şekilde sonuca ulaştırılabilir. Metal parçacık analizinde metal parçacıkların fazla olması arızanın aşınma veya yıpranma sonucu olduğu izlenimini verir.

3.4.3.1. Yağ Analizinde Kullanılan Parametreler

Kurum: Yanma esnasında tam olarak yanmayan yakıtın atık halidir. Kurumdaki yüksek konsantrasyon yağlanmayı olumsuz etkiler ve aşınmaya sebebiyet verir. Kurum motor yağlarında oluşur.

Nitrasyon: Yağın incelmeyeine sebebiyet verir, tüm motor yağlarında görülür, yanma sonucunda oluşur.

Asitlik (TAN): Yağ bozuldukça asidik yan ürünler ortaya çıkar, ortaya çıkan bu ürünleri nötrleştirmek için gerekli olan potasyum hidroksit oranını belirler.

Oksidasyon: Yağın kalınlaşması olarak ifade edilir, oksidasyona sebep olan temel faktörler bakır varlığı, uzun süreli yağ kullanımı, yüksek yağ sıcaklığı ve soğutucudan kaynaklanan antifrizdir. Oksidasyon asit oluşumu yapar buda yağlamayı olumsuz etkiler ve motor ömrünü kısaltır.

Parçacık sayımı: Yağ fiziksel olarak her ne kadar saf ve pürüzsüz görünse de mutlaka içerisinde mikron seviyesinde de olsa parçacık barındırır, parçacıkların metalik olup olmadığı önemli bir etken olduğu için bu yöntem aşınma analizi ile birlikte kullanılır.

Su Miktarı: Yağın kalitesini ve işlevini bozan en önemli etkenlerden birtaneside su miktarıdır. Yağ içerisindeki su miktarının artması korezyonu hızlandırır.

Yağ analizi ile amaçlanan hedef yağ değişim süresini ve arızaya sebebiyet veren etkenleri tespit etmektir.

3.4.4. Ultrasonik Analiz

Ultrason ile çeşitli ölçümler yapılmasının yaklaşık 40-50 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. Günümüzde endüstriyel kullanım yönünden ultrason, basınçlı hava kaçaklarının belirlenmesi, buhar kapalıları çalışma testlerinin yapılması, rulmanların yağlama ve hasar durumunun kontrolü, elektriksel sistemlerde ark-korona dinlenmesi, kalınlık ölçülmesi, boru ve tesisatlardaki korozyon ve erozyonun tespiti gibi geniş bir alanı kapsamaktadır[23].

İnsanların duyma seviyesinin üstündeki seslere ultrason denir. İnsan kulağının duyma eşiği 20 Hz ile 20 kHz arasındadır. Genel olarak 16,5 kHz üzerindeki sesleri birçok insan duyamaz. Duyulabilir sınırdaki seslerin dalga boyu yaklaşık 1,9 cm ile 17 m arasında değişir. Ultrason cihazları ile yakalanan seslerin dalga boyu ise 0,3-1,6 cm arasındadır. Bu

değerler insan kulağı tarafından duyulamaz, ama bu frekansları dinlemek için ayarlanmış bir cihaz tarafından rahatlıkla tespit edilebilir ve bir dizi elektronik filtreleme işleminden sonra, bu sesler insan kulağı tarafından da duyulabilir hale getirilebilir. Bu cihazlar temelde iki şekilde bilgi verebilirler. Ultrasonik sesi bir dizi elektronik filtreden geçirdikten sonra, bu sesleri insan kulağı tarafından da duyulabilir hale getirerek çevre gürültüsünü izole eden bir kulaklıkla operatöre ulaştırır ya da bir gösterge üzerinde sayısal olarak gösterir[23]. Ultrason sistemini en önemli özelliklerinden biride ses analizi yaparken sessiz bir ortama ihtiyaç duyulmamasıdır. Bunun temel sebebi ultrasonik testlerin yapıldığı ortamdaki dış ortam seslerinin duyma seviyesinde olması ve düşük oranda ultrasonik ses içermesidir. Ultrasonik sistemlerin analizi ile elektrik motorları ve rulmanlardaki arıza tespitleri kolaylıkla yapılabilir.

Ultrasonik analizin doğru uygulanması sonucunda kullanıldığı alanda hem maddi hem de işleyiş açısından büyük kazanımlar sağlar. Bu yöntem kullanılarak basınçlı hava kaçaqları tespit edilebilir, buhar kapalı çalışma testleri yapılabilir.

3.4.5. Kızıl Ötesi Termografi Analizi

Gözün algılaya bildiği ışınlar ışık tayflarına ayrıldığında algılanan ışınların sınırının üstünde bir dalga boyuna sahip ışınlara kızıl ötesi ışın denir. Mutlak sıfırdan (0 °K, -273,15 °C) daha sıcak olan tüm maddeler mutlaka çevresine enerji yayar. Kızıl ötesi ışınların dalga boyu 0,75 ile 1000 mikron arasındadır. Göz ile görünmese de sıcaklık şeklinde hissedilebilir. Özellikle, teknolojiye gelişmeler yardımı ile bu ışınlar günümüzde fotoğraflanabilmektedir, diğer bir deyişle görülebilir hale gelmişlerdir[24].

Termal kameraların termografik analiz yapabilmesi için görüntünün alındığı dış ortam sıcaklığı ile görüntünün alınacağı cismin yüzey sıcaklığı farklı olmalıdır, aynı olması halinde termografik analiz yapılamaz. Termal kameralarda görüntü analizindeki farklılıklar cihazdan alınan görüntü verilerindeki renk farklılıkları ile ayırt edilir. Termografik analiz elektrik sistemleri, elektrik elektronik devre bileşenleri ve demir çelik gibi alanlarda uzun süredir kullanılan arıza bulma yöntemlerinden biridir.

Termografik analiz maliyet açısından yüksek miktarlarda bütçe gerektirdiği için uzun yıllar sadece uzmanlar tarafından kullanılsa da gelişen teknoloji ve imkânlar neticesinde birçok alanda ulaşılabilir, bir yöntem haline gelmiştir.

3.4.6. Titreşim Analizi

Kestirimci bakım yöntemleri arasında kullanım alanı en fazla olan, en hızlı sonuç alınabilen yöntem titreşim analizi yöntemidir. Titreşim analizi yönteminin temel işleyişi analizi yapılan makinenin oluşturduğu titreşim tepkileri elektrik sinyaline dönüştürülür ve sinyaller cihaz tarafından veri olarak kaydedilir. Bu veriler bir analiz yazılımı yardımı ile yorumlanır. Analiz sonucunda makinenin mekaniksel durumu hakkında bize bilgi oluşturur.

Titreşim analizi yöntemi ile eksenel ayarsızlık sorunu, mekanik gevşeklik, rulman arızaları, dişli sorunları, yağlama problemleri, kavitasyon, balanssızlık, kaplin dengesi, şase ve ankraj zayıflıkları gibi mekanik arıza tespitleri yapılabilir. Titreşim analiz yönteminde yorumlama yapılırken hassas olunmalıdır, hatalı yorum ve arıza tespiti yapmamak için alınan veriler ile arızalar tecrübe ile ilişkilendirilmelidir.

Bir cismin, belirli bir referans eksenine göre bulunduğu doğal pozisyonundan, farklı periyod ve genliklerle geçerek, tekrarlamış olduğu yer değiştirmelere titreşim denir. Titreşim tekrarlanan bir çevrim şeklinde ve süreklidir. Aksi takdirde bu durum titreşim değil hareket olur.

Titreşimin kendini tekrar ettiği zaman aralığına periyod adı verilir [25]. Titreşimin birim zamandaki tekrarlaması sayısı da bize frekansı verir. Bu iki kavram titreşim analizinde temel iki kavramı ifade eder.

Frekans iki türlü ifade edilebilir. Bunlardan ilki titreşimin bir saniye içindeki tekrarlaması miktarıdır ve birimi hertz (Hz)'dir [25]. Diğerisi ise titreşimin bir dakika içerisindeki tekrarlaması miktarıdır ve birimi RPM (revolution per minute) yani n (d/d) devir/dakika 'dır. Frekans ile periyod arasındaki bağıntı şu şekildedir;

$$f = \frac{1}{T}$$

$n / 60 = \text{Hz}$ eşitliği ile dönüşüm yapılabilir.

- Basit Harmonik Salınım: En basit titreşim, harmonik titreşimdir [25]. Oluşan bütün harmonik hareketler periyodiktir ancak tersi her zaman mümkün değildir. Titreşimin oluşması için gereken kuvvetlerin büyüklüğü, titreşimin şiddetini ifade eder. Bu etki eden kuvvetler ne kadar büyükse yer değiştirme miktarı yani titreşimin genliği de o derece büyük olur.

• Deplasman: Sıfır konumundan başlayarak maksimuma, oradan tekrar sıfır konumuna oluşan harekette yer değiştirme miktarı mm veya mikron cinsinden ifade edilebilir. Titreşim ile geçen zaman arasındaki bağıntı ise şu şekilde ifade edilir.

$$X = X_0 \sin(\omega t)$$

• Hız: Birim zamanda alınan yoldur, titreşime neden olan parçanın ne kadar hızlı hareket ettiğinin ölçüsüdür. Deplasmanın birinci türevinin yâda ivmenin integralinin alınması ile hesaplanır. Birimi mm/s, mikron/sn yâda in/sn olarak verilir.

$$V = \frac{dX}{dt} = x_0 \omega \cos(\omega t)$$

• İvme: Birim zamandaki hız değişimi ivmeyi verir. Deplasmanın ikinci yâda hızın birinci türevi ile hesaplanır. Birimi mm/s², mikron/sn², in/sn² yâda gs olarak verilir (gs yer çekimi ivmesidir).

$$a = \frac{dV}{dt} = -x_0 \omega^2 \sin(\omega t)$$

• Titreşim Genliği Değerleri: Genlik, yani titreşimin şiddeti, tepe değer, tepeler arası değer, RMS ve ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir [26].

- Tepe Değer: Tepe değer, sıfır noktasından tepe noktasına olan uzaklık, yani titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği maksimum değerdir [26]. Bu değer X_0 değeridir. Titreşimin hızının veya ivmesinin genlik değerini ifade için kullanılır [25].
- Tepeler Arası Değer: Sinyalin maksimum tepe noktasından, minimum tepe noktasına kadar aldığı değer olarak tanımlanır. $2X_0$ değeridir. Genellikle titreşimin deplasmanını ifade eder [25].
- RMS (Root Mean Square): Bir sinyalin t_1 ve t_2 zaman aralıklarında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür.
- Ortalama: Bir sinyalin t_1 - t_2 zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Titreşim analizinin genel yapısı yukarıda belirtilen terimler ifade eder. Analizin yorumlanması bu terimlerle gerçekleştirilir.

4. ALTERNATİF YAKITLARA DUYULAN İHTİYAÇ

Dünya nüfusunun hızla artışı ve insanların enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının giderek arttığı ve kullanım alanının her geçen gün genişlediği sektörlerden biride otomotiv sektöründeki yakıt ihtiyacıdır. Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanan yakıt ihtiyacı, bu sektörde olan üreticileri farklı enerji kaynaklarını incelemeye ve bu kaynakları otomotiv sektöründe kullanmaya yönlendirmiştir. Elektrikli araçların son dönemdeki atılımı bunun en iyi örneklerinden biridir. Bir başka enerji kaynağı ise bitkisel ve hayvansal kökenli biyo yakıttır. Tarım alanlarının ve iş gücün yüksek olduğu ülkemizde biyodizel üretimi ve kullanımı için tüm şartlar olumludur. Biyodizel üretim tesislerinin oluşması hem tarımsal hem de sanayi anlamında büyük katkı sağlayacak, ülkemizdi işsizlik oranın azalmasına katkıda bulunup gayri safi milli hâsıla olarak ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Biyo yakıtın bir başka önemli özelliği ise çevreci olmasıdır. Fosil kökenli yakıtların çevreye vermiş oldukları zarar; karbondioksit, metan, kükürt gibi gazların atmosfer tabakasında oluşturmuş oldukları olumsuz etkide biyo yakıtı fosil yakıtlara karşı önemli bir alternatif olarak ön plana getirmiştir.

4.1. Biyodizel

Bitkisel veya hayvansal yağlardan kimyasal yöntem ve katkı maddeleri ile üretilmiş yenilenebilir sıvı halde kullanılan yakıt türüdür. Biyodizel bir başka tanımı ise kimya tabiri ile uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteridir. Biyoyakıtın halk dilindeki tanımı ise yağ mazotu olarak ifade edilmektedir.

4.1.1. Biyodizelin Avantajları

- Çevre dostu
- Yenilenebilen hammaddelerden elde edilebilen
- Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen
- Anti-toksik etkili
- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozulabilen

- Kanserojen madde ve kükürt içermeyen
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir.
- Yağlayıcılık özelliği mükemmel
- Motor ömrünü uzatan
- Motor karakteristik değerlerinde iyileşme sağlayan
- Kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilen
- Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygun
- Stratejik özelliklere sahip
- Mevcut dizel motorlarında hiçbir tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilen
- Ticari başarıyı yakalamış bir yakıttır.

4.1.2. Biyodizelin Dezavantajları

- Viskozitesi daha yüksektir
- Azot oksit emisyonunu artırır
- Oksitlenmeye karşı eğilimi fazladır
- Yüksek viskoziteye sahip olmasından dolayı yakıt filtresini tıkayabilir
- Motorda belirli düzeyde güç azalmasına sebebiyet verir

4.2. Biyodizelin Özellikleri

Mevcut dizel yakıtına benzer özellikler gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilmektedir. Biyodizel, direk olarak motorin yerine kullanılabilceği gibi, mevcut motorin yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir. Biyodizel yakıtı, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretir, kükürt içermez.

Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla karışım oluşturma yanma verimini ve motor performans parametrelerini etkileyen bir işlem olmaktadır. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarı, motorinle karşılaştırıldığında %11 oranında daha fazla olduğu için biyodizel kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonların da azalma görülmektedir[28]. Standartlara uygun biyodizelin diğer özellikleri aşağıdaki gibidir;

4.2.1. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15°C de 880-920 (kg/m³) gelmektedir. Bu belirleme DIN normu DIN EN ISO 3675 veya DIN EN ISO 12185 standartlarına göre yapılmaktadır. Elde edilen biyodizelin yoğunluğu ise düşmekte ve motorin seviyesine inebilmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar. Elde edilen biyodizel yoğunluğu fazla çıkması ortamdan gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Biyodizel, motorine oranla %10-15 daha az ısı değere sahiptir, fakat % 5-7 oranında daha fazla yoğundur. Düşük ısı değeri sonucu, motor gücü ve torkunda düşüş olmaktadır. Ancak yüksek yoğunluk nedeni ile güç kaybı azalmaktadır[27].

4.2.2. Parlama Noktası

Parlama noktası yakıtların risk sınıflamasında çok önemlidir. Taşıma ve depolama için parlama noktasının yüksek olması istenir. Dizel yakıtının parlama noktası 74°C olmasına rağmen bitkisel yağların parlama noktası 300°C'den yukarıda, biyodizelin parlama noktası ise 220°C civarındadır. Parlama noktasının tespitinde DIN EN 22719 standardı uygulanmaktadır[27].

4.2.3. Kalori Değeri

Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt kalitesi kriteridir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 MJ/kg'dan daha büyüktür. Kalori değeri DIN 51900-3 test metoduna göre belirlenmektedir[27].

4.2.4. Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite biyodizelin karakteristik özelliğidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite pompalanabilmeyi ve enjektörlerin püskürtmesini azaltır. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40 °C'de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir.

Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çifte bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Yüksek viskozite çıkması transesterifikasyon işleminin başarı ile tamamlanamadığının göstergesidir[27].

Test metodu olarak DIN EN ISO 3104 uygulanmaktadır. Yüksek viskozite sorununu çözmek için iki temel strateji vardır;

- Motorun yakıtı uyarlanması: Bitkisel yağlı motorlar-stasyonere motorlar
- Yakıtın motora uyarlanması: Biyodizel (Viskozite düşürülmesi)

4.2.5. Soğukta Akış Özelliği

Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem çıkarmaktadır. Doymuş hidrokarbonların CP, CFPP, PP değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Hayvansal ve kızartma yağların doymuş hidrokarbon sayısı fazladır.

Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verir. Ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşur[27].

4.2.6. Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının tutuşma özelliğini belirtir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar dizel vuruntusuna daha fazla eğilimlidir. Setan sayısı hidrokarbonların uzunluğu arttıkça artar, çift bağ sayısı arttıkça azalır. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir (palm ve don yağı) Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısını artırır. EN 14214 standardında minimum setan sayısı 51'dir [29].

4.2.7. Isıl Değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Ağırlık sınırlaması olan araçlar için bu değer çok önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça

ısı değer artar (palm yağı). Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır[29].

Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür.[Kanola (%13 kütleli, %8 hacimsel-biyodizelin yoğunluğu yüksek)] Aynı motor çalışma şartları altında biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfıyatı artar.

4.2.8. Yağlayıcılık

Motor elemanlarının (piston-segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünme ve aşınma problemlerinin giderilmesi için yağlamaya ihtiyacı vardır. Günümüz fosil dizel yakıtlarındaki kükürt miktarı oldukça düşürülmüştür. Kükürt miktarı düşürülmüş dizel yakıtları için yağlama özelliğini arttıran katkıları kullanılmaktadır. Ancak katkı miktarı arttığında yakıt besleme elemanlarında tortular oluşmaktadır. Biyodizelin Yağlayıcılık özelliği çok iyidir.

Bazı çalışmalarda % 0.15-0.50 (hac/hac) biyodizel eklenmesi ile kükürtsüz fosil dizel yakıtı için aşınma izi standartta belirtilen 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır[29].

4.2.9. Karbon Artığı

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Denemeler, biyodizelin pratikte yok denecek kadar az karbon artığı bıraktığı ve maksimum değer kütlenin % 0,4'ü kadar olduğunu göstermiştir[27].

4.2.10. İyot Sayısı

İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır[27]

4.2.11. Kükürt İçeriği

Bitkisel yağların kullanılması durumunda dizel yakıtıyla karşılaştırıldığı zaman kükürt miktarlarında azalma olduğu görülür.

4.2.12. Su İçeriği

Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermesi motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde çürümelere sebep olabilir.

4.2.13. Oksidasyon Kararlılığı

Biyodizelin kimyasal yapısı itibari ile oksidasyon kararlılığı fosil dizel yakıtına göre çok daha düşüktür. Özellikle çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyon kararlılığı açısından düşüktür (ayçiçeği yağında linoleik ve linolenik asit fazla). Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir (palm yağı). Oksidasyon kararlılığı ham yağın tokoferol ve karoten (antioksidan) içeriğine de bağlıdır. Antioksidan katkıları kullanılır.

4.2.14. Yağlama Yağının Seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında ortaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Motor yağı ve biyodizelin motor içindeki direkt ilişkisi, yakıt enjeksiyon pompasında ve silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonu yanma işlemi süresince olmaktadır. Araştırmalar yağlama yağı seyrelmesinin %4-5 oranında olduğunu göstermiştir[31].

Yağ seyrelmesi motor yaşının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile artış gösterir. Piston-silindir arasındaki aşınma ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışır ve sonuçta yağı bozar. Motorin kullanımında, yağlama yağına karışan yakıtın büyük kısmı kısa sürede buharlaşırken, biyodizel kullanımında, yakıtı

oluşturan ester moleküllerinin kaynama noktaları birbirine yakın olduğu için buharlaşma olmaz ve motor yağı kısa sürede bozulur.

4.2.15. Toksik Etkisi

Biyomotorinin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyomotorin için ağızdan alınmada öldürücü doz 1,74 g biyomotorin/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 17,5 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyomotorinden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri Biyomotorinin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyomotorin toksik olmamasına karşın, biyomotorin ve biyomotorin- motorin karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir[30].

4.2.16. Biyobozunabilirlik

Biyomotorini oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10 000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında Biyomotorinin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyomotorinin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir[30].

4.2.17. Motor Yakıtı Özellikleri

Dizel motorlarında yanma odasına püskürtülen yakıtın uygun bir tutuşma gecikmesinden sonra kendi kendine tutuşması istenir. Tutuşma gecikmesi dizel vuruntusunun oluşmasını ve yanma verimliliğini etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle setan sayısı uygun değerde olmalıdır. Genel olarak biyodizelin setan sayısı motorinden daha yüksektir. Bu özellik yüksek viskozite ve düşük ısı veriminden kaynaklanan düşük yanma verimini kısmen telafi etmektedir.

4.3. Biyodizelin Motorinle Karşılaştırılması

Biyodizel, ana yakıt karakteristikleri bakımından motorine oldukça yakındır. Bu nedenle motorda herhangi bir modifikasyon gerektirmez. Motor torku ve beygir gücü aynı değerleri almaktadır. Motorinle uyumludur ve tek başına kullanılabildiği gibi motorinle karıştırılarak da kullanılabilir.

Yakıtların tutuşa bilirliliği olarak ifade edilen setan sayısı biyodizel de motorine göre daha yüksektir. Bu da motorun daha az vuruntulu çalışmasını sağlayacak bir etkidir. Setan sayısını saptamak için, setan sayısı saptanacak örnek yakıt ile bilinen iki saf hidrokarbonun karışımları karşılaştırılır. Kullanılan bu saf hidrokarbonlar sabit tutuşma kaliteli, parafin serisinden setan (C16H34) ile yine değişmez bir tutuşma kalitesine sahip naftalen serisinden alfa-metilnaftalen (C11H10) dir.

Tutuşmaya karşı eğilimi yüksek olan setanın tutuşabilirliği 100 ve setana göre tutuşma eğilimi son derece düşük olan alfa-metilnaftalenin tutuşabilirliği 0 kabul edilir. İki saf hidrokarbonun değişik oranlarda karışımıyla hazırlanan referans yakıtlar kullanılarak deneme yoluyla örnek yakıtlarla (setan sayısı saptamak istenen yakıt), aynı sıkıştırma oranında, aynı tutuşma gecikmesi süresini verecek referans yakıt karışım oranları tespit edilir. Oluşan referans yakıttaki setan yüzdesi (hacimsel olarak) , örnek yakıtın setan sayısını gösterir[30].

Biyomotorinin motorin karşısında üstünlük sağladığı belki de en önemli yönü, onun emisyon değerlerinin düşük olmasıdır. Fosil kökenli yakıtlarla karşılaştırıldığında bu durum daha net bir şekilde gözükmetedir.

5. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada Normal Motor(NM) ve Kaplanmış Motorun(KM) 'un dinamiksel titreşim analizinin kestirimci yöntemlerle araştırılması yapılmıştır. Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

5.1. Birinci aşama

Dizel ve benzinli standart motorların egzoz emisyon ve performans verileri alınmıştır. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde Kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır.

Dizel motorun elemanlarından piston ve emme supapları Cr_2O_3 ile benzinli motorun elemanlarından piston ve emme supapları Cr_3C_2 ile 300 mikron kalınlığında plazma spreyle kaplanmıştır. Yarım yükte ve değişken devirlerde egzoz emisyon ve performans verileri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde Kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır.

NM ve KM dizel Motor'da yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kendi aralarında kıyaslanmıştır.

NM ve KM benzinli Motor'da yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kendi aralarında kıyaslanmıştır.

5.2. İkinci aşama

Aspir ve Çitlembik yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

Aspir yağından üretilen biyodizel ile dizel yakıt %20 ,%50 ,%100 oranlarında yakıt karışımlarından dizel kaplanmış motor (DKM) ve dizel normal motor (DNM) da egzoz emisyon ve performans verileri alınmıştır. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır

Çitlembik yağından üretilen biyodizel ile dizel yakıt %20 ,%50 ,%100 oranlarında yakıt karışımlarından DKM ve DNM da egzoz emisyon ve performans verileri alınmıştır. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır.

Dizel NM ve KM'nin farklı devir ve yarım yükte; ÖYT (gr/kWh), HC (ppm), CO (%), CO₂(%), NO_x (ppm), duman yoğunluğu(%) ve EGS(°C) değerleri kayıt altına alınmıştır. Benzinli NM ve KM'nin farklı devir ve yarım yükte; ÖYT (gr/kWh), HC (ppm), CO (%), CO₂(%), NO_x (ppm), duman yoğunluğu(%) ve EGS(°C) değerleri kayıt altına alınmıştır. NM'lerde ve KM'lerde; yarım yük değişken devirlerde 3000 dev/dk'den başlayarak 300 dev/dk aralıklarla 1800 dev/dk'ye kadar inilerek 5 farklı egzoz emisyon ve performans değerleri ölçülmüştür. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır.

Dizel motorun piston, egzoz ve emme supapları; yüksek aşınma direnci, yüksek yapışma ve korozyona karşı dayanıklılık gösteren plazma sprej yöntemi kullanılarak Cr₂O₃ ile kaplanmıştır. Benzinli motorun piston ve supaplarının çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve ısı transferini daha verimli yapabilmesi için plazma sprej yöntemi kullanılarak Cr₃C₂ ile kaplanmıştır. Motorlara termal bariyer kaplama (TBK) yapıldıktan sonra deneyler tekrarlanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında dizel motorun egzoz emisyon, duman yoğunluğu, EGS ve ÖYT değerleri, benzinli motorun egzoz emisyon, EGS ve ÖYT değerleri alınmıştır. Daha sonra transesterifikasyon yöntemi kullanılarak aspir ve çitlembik yağlarından biyodizel üretimi başarı ile üretilmiştir. Elde edilen aspir yağından üretilen biyodizel ile dizel yakıt %20 ,%50 ,%100 oranlarında yakıt karışımı üretilip DKM ve DNM da egzoz emisyon ve performans verileri alınmıştır. Daha sonra yarım yük ve farklı devirlerde kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntü analizi yapıp veriler kayıt altına alınmıştır. Aynı işlemler üretilen çitlembik yağı içinde gerçekleştirilmiştir.

5.3. Deney Motorları ve Teknik Özellikleri

Deneylerde dizel motor olarak 4 zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı 6LD 400 model Antor marka motor(Tablo 5.1) kullanılmıştır. Dizel motor Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 6LD 400 model Antor marka dizel motor

Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan tek silindirli dizel motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	6LD 400 Antor Dizel motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8,5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 - 2000
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 dev/dk
Sıkıştırma Oranı	18:1
Boyutları	382 x 427 x 491 mm

Benzinli motor olarak tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP model motor (Tablo 5.2) kullanılmıştır. Kullanılan benzinli motor Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



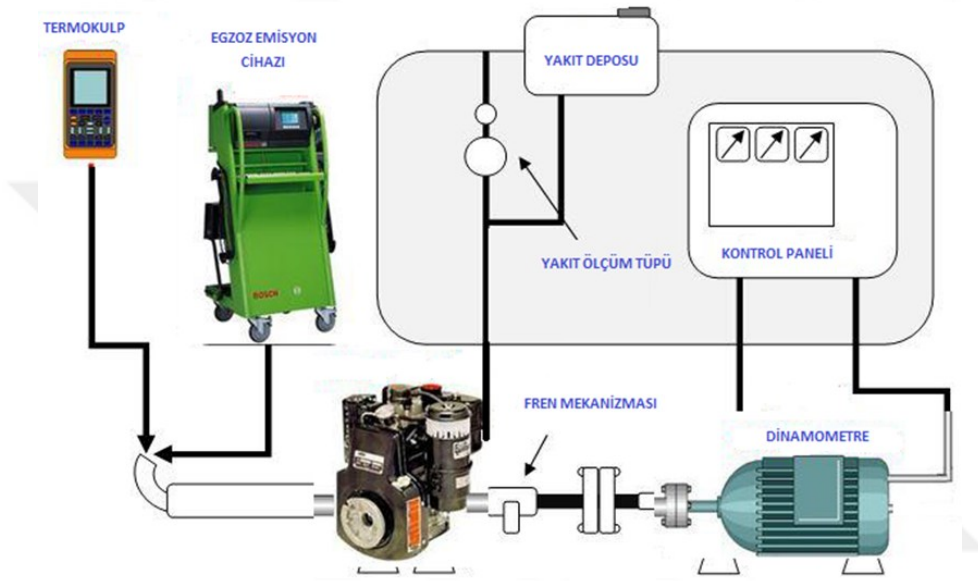
Şekil 5.2. Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP benzinli motor görüntüsü

Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan tek silindirli benzinli motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP Benzinli Motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm ³
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg

5.4. Motor Test Düzeneği

Motor deneyleri Cussons P8160 Model elektrikli dinamometre düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.3. gösterilmiştir. Deney düzeneğinde test motoru, egzoz emisyon cihazı, termometre, fren mekanizması, dinamometre, yakıt ölçüm tüpü, yakıt deposu ve kontrol ünitesi bölümler bulunmaktadır.

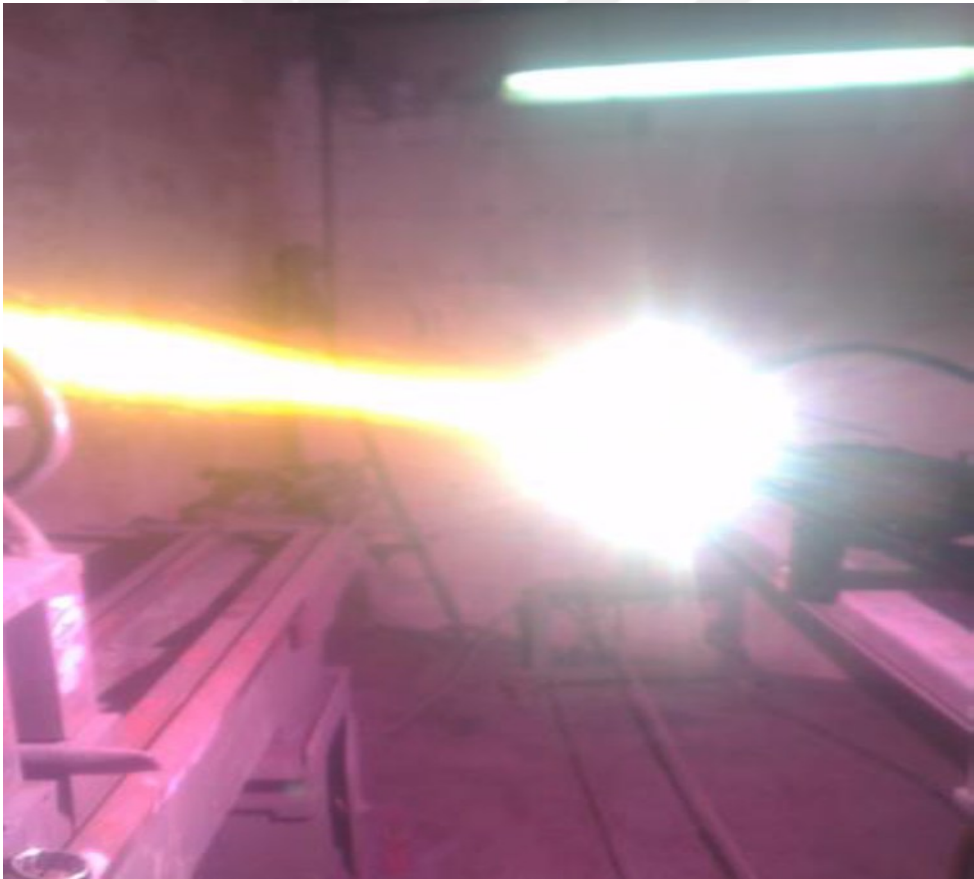


Şekil 5.3. Motor test düzeneği şematik görünümü

Farklı devirlerde, yarım yük verilmiş motordan egzoz emisyon, EGS ve ÖYT değerleri alınmıştır. Deney sonuçları alınan NM'nin piston ve supapları sökülümüştür. Yanma odası hacminin ve sıkıştırma oranının değişmemesi için piston ve supapların yanma odası bölümünde kalan kısımlarından 300 mm talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında kaplama öncesi malzeme yüzeyindeki fiziksel suyun uçurulması işlemi (100-110 °C'de) gerçekleştirilmiştir. Daha sonra malzemeler 24 grit Al_2O_3 kum ile kumlanarak pürüzlendirilme işlemine tabi tutulmuş ve kaplama öncesi işlem tamamlanmıştır (Tablo 5.3). Seramik katmanın bağlanmasını sağlamak, taban malzemeyi oksitlenmeden ve korozyondan korumak için bağlayıcı toz olarak %80 Ni, %20 Cr kaplanmıştır (Tablo 5.4). Dizel motorun piston ve supapları plazma sprej yöntemi kullanılarak Cr_2O_3 ile kaplanmıştır. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü Şekil 5.4.de verilmiştir. Plazma sprej yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Dizel motor pistonunun kaplama işlemi esnasındaki görünümü



Şekil 5.5. Plazma sprej yöntemi ile yapılan kaplama işleminin görüntüsü

Tablo 5.3. Plazma sprej yönteminin parametreleri gösterilmiştir.

Parametreler	
Plazma sprej tabancasının adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama kalınlığı (mikron)	300 Mikron
Bağlayıcı toz adı	80/20 Ni/Cr
Bağlayıcı toz katman kalınlığı (mikron)	20-30 Mikron
O2 basıncı (Bar), akışı (l/dk.)	10.3 bar,l/dk
Propan basıncı (bar), akışı (l/dk.)	6.9 bar,l/dk
Toz besleme miktarı (gr/dk.)	38-150 g/dk
Püskürtme mesafesi (mm)	23-25cm
Taşıyıcı gaz (N2) basıncı (bar), akışı (l/dk.)	0.55 bar,l/dk



Şekil 5.6. Dizel motorun kaplama yapılan piston ve supaplarının görünümü

Tablo 5.4. Plazma Sprey yönteminin parametreleri

Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	300 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig),	75 psig,l/dk
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (l/dk.)	50 psig,l/dk
Toz Besleme Miktarı (gr/dk.)	45-60-g/dk
Püskürtme Mesafesi (mm)	8,5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz (N2) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 (SCFH),l/dk

Benzinli motorun piston ve supapları ise plazma spre y yöntemi kullanılarak Cr_3C_2 ile kaplanmıştır. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Benzinli motorun kaplama yapılmış piston ve supaplarının görünümü.

5.5. Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde bitkisel yağların yakıtı dönüşmesi ve dizel motorda olumsuz etki bırakmadan, performans düşüklüğü oluşturmada kullanılması için saf bitkisel yağların belirli yöntemlerle kullanıma hazır hale gelmesi gerekir. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi kullanılarak aspir ve çitlembik yağlarından biyodizel üretimi sağlanmıştır. Biyodizel üretimi için Türkiye Antalya'da bulunan Dikmaksan firmasından aspir ve çitlembik yağları temin edilmiştir. Biyodizel üretimi Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde yapılacak ilk aşama bitkisel yağlara serbest yağ asidi tayini (SYA) yapılarak yağlardan biyodizel üretiminin yapılıp yapılmayacağına karar vermektir. SYA sonucunda yağların biyodizel üretimine uygun olduğu belirlenmiştir. Son olarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimleri gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Yağ Kimyası

Yağlar; çift karbon sayılı (4-24 C) doymuş ve doymamış yağ asitlerinin gliserin ile oluşturduğu triesterlerdir. Yağların yapı taşı olan gliserin, bir trialkol'dur ve yağın % 10'unu oluşturmaktadır ($\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$). Yağ asitleri ise bir dizi üzerine dizilmiş tek veya çift bağlı C atomlarının bir araya gelmesi ile oluşur. Yağların sınıflandırılmasındaki en yaygın yöntem; yağ asidi yapısındaki C atomları arasındaki çift bağ sayısıdır. C atomları arasında çift bağ içermeyen yağ asitleri doymuş yağ asitleri ($\text{C}_n \text{H}_{2n+1}\text{COOH}$) bir ve daha fazla sayıda çift bağ içeren yağ asitleri doymamış yağ asidi ($\text{C}_n \text{H}_{2n-1}\text{COOH}$) olarak tanımlanmaktadır. Doymuş yağ asitlerinden 8 karbonluya kadar olanlar oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Karbon sayısı arttıkça yağ asitleri daha az akıcı olurlar ve katı hale gelirler. Yağlı tohumlar, soya, kanola, pamuk tohumu, mısır gibi bitkisel ürünler ise çoğu doymamış yağ asitlerinin kaynağıdır.

5.5.2. Toplam Yağ Asitliği

Gliserole bağlı veya serbest halde bulunan yağ asitleri yağdaki toplam yağ asitlerini oluşturur. Hayvansal ve bitkisel yağlar ve bu yağların karışımı en az % 90 toplam yağ asidi

içermelidirler. Çünkü doğal halde bulunan yağda % 90 yağ asidi ve % 10 gliserin bulunur. % 90'dan daha düşük seviyede yağ asidi içeren bir bileşimde nem, eterde çözünmeyen safsızlıklar ve sabunlaşmayan madde miktarı yüksektir. Yağ asitliği kompozisyonu sonuçları ile yağın moleküler ağırlığı tespit edilir.

5.5.3.Serbest Yağ Asitliği (SYA) Tayini

Bitkisel yağların fizikokimyasal özellikleri, üretilecek biyodizelin verim ve kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bitkisel bir yağın serbest yağ asitlik derecesi bu parametrelerin başında gelmektedir. Serbest yağ asitliği gliserine bağlı olmadan yağ içerisinde serbest halde bulunan yağ asitleridir. Doğal yağlar trigliserit halinde bulunurlar. Bu yapıda 3 adet yağ asidi 1 adet gliserin molekülüne bağlanmıştır. Serbest yağ asitleri, yağ moleküllerinin gliserin kısmından yağ asitlerinin ayrılması yolu ile oluşurlar. Bitkisel yağlar yüksek serbest yağ içeriğine sahip olmaları, viskozitelerinin fazla olması ve yüksek molekül ağırlığından dolayı doğrudan yakıt olarak kullanılamazlar. Biyodizel üretilirken %5 üzerinde serbest yağ asit derecesine sahip yağlarda reaksiyon verimi oldukça düşük olup reaksiyon sırasında sabun oluşumuna neden olmakla beraber biyodizel fazı ile gliserin fazının ayrıştırılmasını olanaksız hale getirerek reaksiyonların olumsuz neticelenmesine sebebiyet vermektedirler. Bu seviyede asit derecesine sahip yağların ekstra ön kimyasal işlemlere tutulmaları gerekmektedir. Bu sebeple biyodizel üretimine geçilmeden önce mutlaka serbest yağ asidi (SYA) tayini yapılması gerekmektedir.

SYA değeri; 1 g yağda serbest halde bulunan yağ asitlerini nötrleştirmek için harcanması gereken NaOH miktarının mg cinsinden değeri o yağın asit değeridir. Serbest yağ asitleri %' si yağda NAOH çözeltisi ile nötralize edilen serbest yağ asitlerinin moleküler ağırlığına bağlı olarak hesaplanan kütesidir.

5.5.4. Transesterifikasyon işlemi

Transesterifikasyon trigliserid yapısında olan yağların bir esterinden bir başka estere dönüşümüdür. Yani gliserol tabanlı tri-ester, metil veya etil estere dönüşmektedir ve oluşan ürünlerden biri de serbest gliseroldur. Ester; bir başka moleküle bağlanabilen hidrokarbon zinciridir. Bir bitkisel yağ molekülü, gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden oluşmaktadır. Bitkisel yağ moleküllerine trigliserit ya da gliserol esterleri de denmektedir.

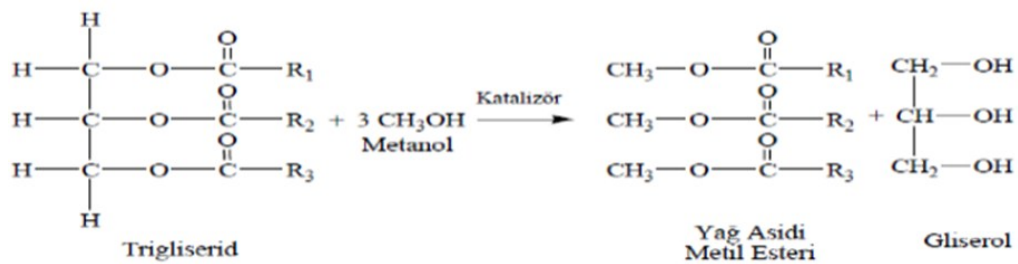
Burada “tri” ifadesi üç esteri, “gliserit” ifadesi ise gliserini ifade etmektedir. Bitkisel yağların, ortalama 1/5’i gliserinden, meydana gelmektedir. Bitkisel yağların yapışkanlığı ve kalınlığının özelliği gliserinden gelmektedir. Transesterifikasyon işleminin temel mantığı yağ ile gliserini birbirinden ayırmak olduğu için işlemin sonunda, yağ incelmekte ve viskozitesi azalmaktadır. Bu işlemle bitkisel yağın gliserini bir alkol (etanol alkolü veya metanol alkolü) ile yer değiştirmektedir. Gliserin böylece yapıdan uzaklaşmaktadır. Reaksiyon esnasında kullanılan alkoller genellikle ya etanol, yâda metanol olmaktadır. Etanol alkolünün kaynağı tahıllardır. Metanol alkolünün kaynağı ise doğal gaz, kömür veya odundur. Daha durgun bir yapıda olduğu için alkol tercihi genellikle metanol olarak yapılır[55].

Kimyasal reaksiyonun başlamasını ve ilerlemesindeki tetikleyici maddelere katalizör maddeler denir.

Biyodizel reaksiyonlarında da trigliseritlerin parçalanabilmesi için bitkisel yağ içerisine “katalizatör” katılmaktadır. Katalizör etkisiyle trigliseritler parçalanarak esterler bağımsız bir yapıya dönüşürler. Bağımsız duruma geçen esterler daha sonra alkol ile bir araya gelebilmektedirler. Katalizatör ise gliserit ile birleşerek reaksiyon kabının dibine çökelmektedir. Biyodizel reaksiyonu sonuç olarak; alkil esterler ve gliserin sabunu üretmektedir. Alkali katalizör serbest yağ asitleri ile reaksiyona girerek sabun oluşturur. Serbest yağ asitleri ile alkali katalizörle (NaOH) oluşturduğu sabunlaşma reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir.



Biyodizel reaksiyonunda katalizatör olarak kullanılabilecek maddeler; sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH)’tir. Sodyum hidroksit, çoğunlukla kostik soda olarak da adlandırılan beyaz bir maddedir ve bulunamadığı durumlarda potasyum hidroksitde kullanılabilmektedir. Yaptığımız deneyler esnasında alkali katalizör olarak granüller NaOH kullanılmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonu Şekil 5.8.’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Transesterifikasyon reaksiyonu[54]

5.5.5. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler

- Çitlembik yağı 15 lt
- Aspir yağı 15 lt
- Sodyum hidroksit (NaOH) 2 kg
- Metanol $\geq$ %96 30 lt
- Saf su 20 lt

5.5.6. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Araç Gereç ve Cihazların listesi

- Sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı 2 adet
- Çift boyunlu balon (1000 ml)
- Geri soğutucu (reflüks)
- Beher 100 ml-500 ml-2000ml
- Büret 100 ml
- Cam termometre
- Ayırma hunisi 2000 ml
- Hassas terazi (0,001 gr)
- Süzgeç kâğıt
- 2 adet balık karıştırıcı

5.5.7. Çitlembik Yağı Metil Esteri (ÇYME) Üretimi İçin Uygulanan İşlem Basamakları

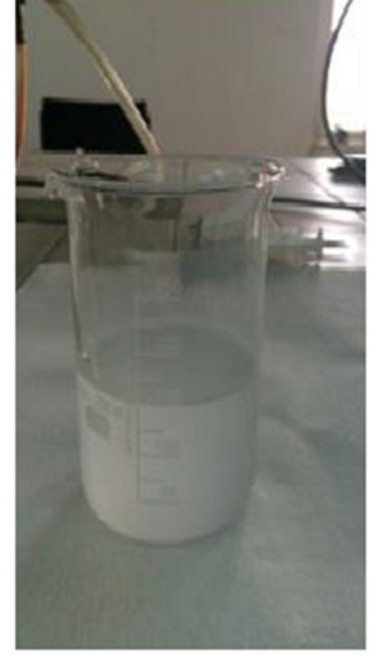
İşlem basamakları esnasında uygulanan ve yukarıda da anlatılanları özetlemek gerekirse yağ/alkol stokimetrik olarak 6:1 (v/v) belirlenmiştir. Yani 1000 ml Çitlembik yağı için 200 ml metanol kullanılmıştır. Katalizör olarak kullanacağımız 200 ml'lik baz katalizör metoksit çözeltisi (metilalkol + NaOH) için kütleli olarak reaksiyona sokulan yağın (1000 ml için) % 1,25'i ağırlığında NaOH kullanılmıştır. Yani 200 ml metilalkol içerisinde 11,5 gr NaOH çözdürülmüştür. Şekil 5.9'da çözelti düzeneği görülmektedir.



YAĞ



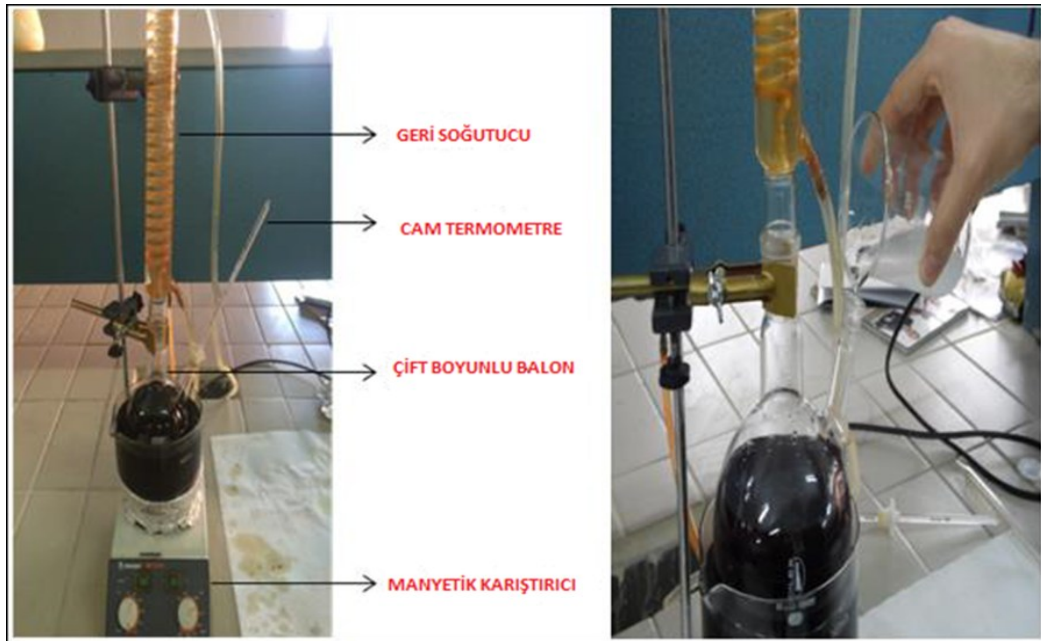
NaOH



Metoksit çözeltisi

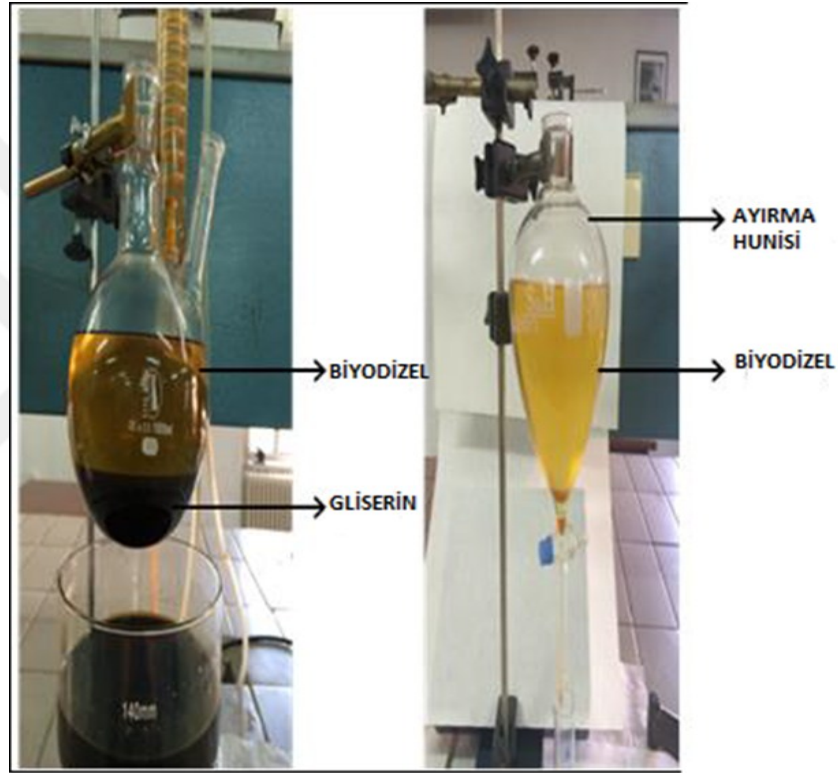
Şekil 5.9. Metoksit çözeltisi hazırlama

1000 ml çitlembik yağı iki boyunlu balon içerisine aktararak manyetik karıştırıcıda 400 d/d'da 55 °C de karıştırılmıştır. Şekil 5.10.'de görüldüğü gibi hazırladığımız 200 ml' lik Metoksit çözeltisi (metilalkol + NaOH) çift boyunlu balon içerisindeki yağımızın üzerine yavaş yavaş aktarılmıştır.



Şekil 5.10. Metoksit aktarımı

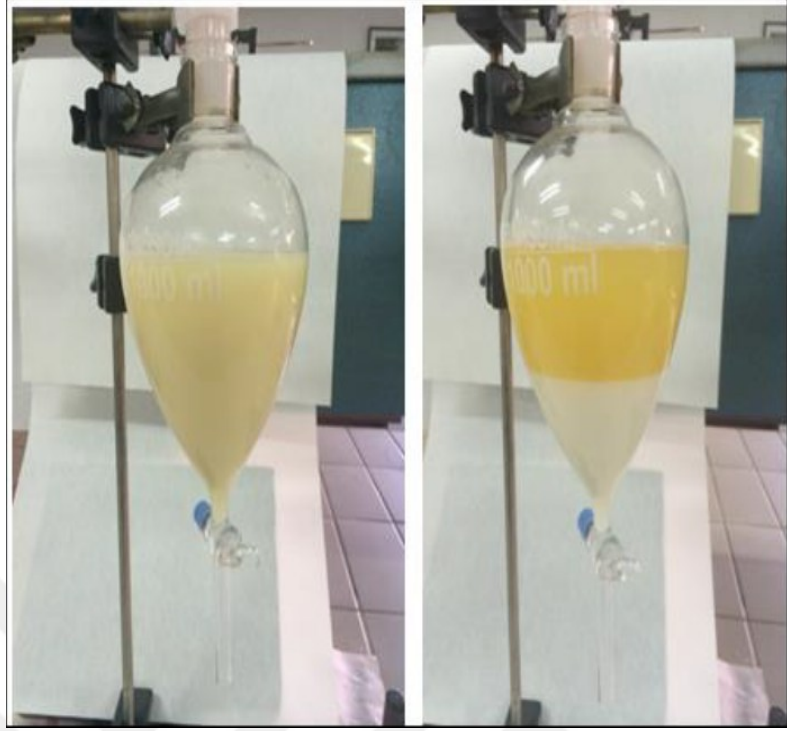
Sıcaklık cam termometre vasıtasıyla kontrol altında tutularak 60 °C'de sabitlenmiştir. Reaksiyon 400 dv/dk'da 75 dk. sürmüştür. Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi süre sonunda gliserin/biyodizel faz ayrışması net bir şekilde görülmüştür. Reaksiyon sonunda karışım ayırma hunisine alınarak faz ayrışması bitmesi için 5 saat beklenmiştir. Süre sonunda altta gliserin, üstte ise berrak biyodizel fazı görülmüştür. Gliserin fazı ayırma hunisinden kontrollü musluk vasıtasıyla alınarak biyodizel elde edilmiştir. Ayrılan gliserin miktarı biyodizel verimini ölçmek için biriktirilmiştir.



Şekil 5.11. Reaksiyon sonu faz ayrımı ve biyodizel oluşumu

Gliserin fazı büyük oranda ayrılmış olsa da az miktarda olsa gliserin tuz ve artık metanol biyodizel fazı içerisinde yer almaktadır. Bu maddeleri biyodizel fazından ayırtırmak için yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Gliserin, tuz ve metanol suda çözünen maddelerdir. Yıkama işlemiyle bu maddeler suda çözünerek alttaki faza geçmektedir. Böylece bu maddeler biyodizelden ayrıştırılabilmektedir.

Yıkama işlemiyle elde edilen biyodizel, kendi hacminin 1/3 oranında ılık distile su ile ayırma hunisi içerisinde karıştırılarak çalkalanmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Her seferinde altta kalan su fazı ayırma hunisinden ayrılarak atılmıştır. Şekil 5.12.'de yıkama işlemi görülmektedir.



Şekil 5.12. Yıkama işlemi

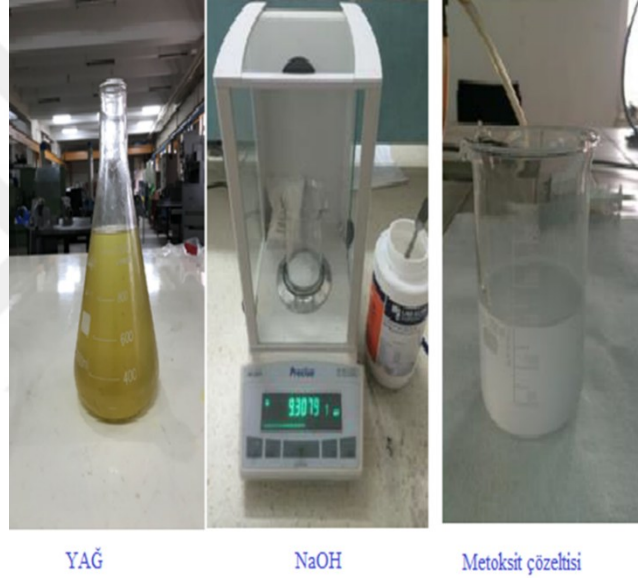
Saflaştırılan biyodizel buharlaştırma işlemine tabi tutularak içinde eser miktarda kalan su ve metanolden tamamen arındırılmıştır. Son olarak süzgeç kağıt kullanılarak filtreleme işlemi yapılmış, normal dizel ve biyodizel %20, %50 oranlarında karıştırılarak B-20 ve B-50 diye adlandırılan biyodizel karışımları elde edilerek depolanmıştır. Çitlembik biyodizel görünümü 5.13. 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Çitlembik biyodizel görünümü

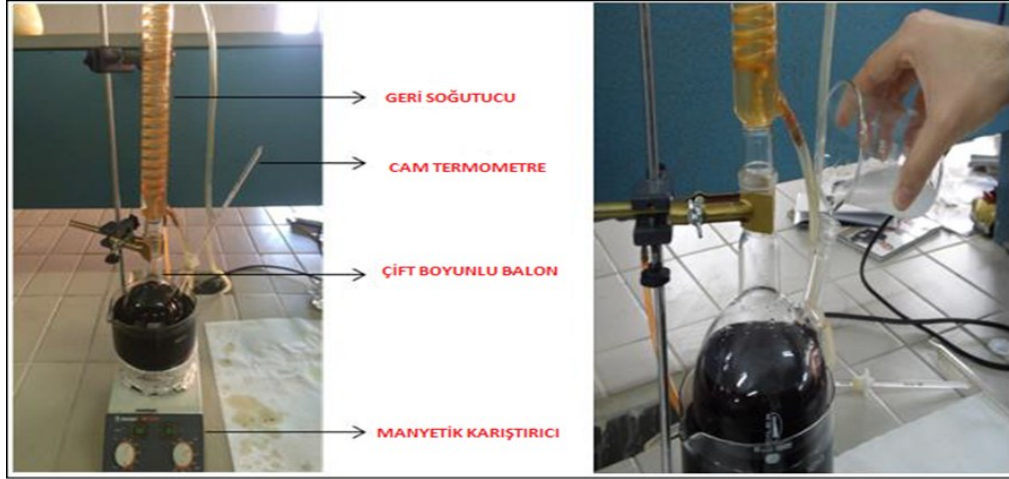
5.5.8. Aspir Yağı Metil Esteri (AYME) Üretimi İçin Uygulanan İşlem Basamakları

Aspir yağından (AY) elde edeceğimiz biyodizel yakıt için reaksiyonda uygulanacak yağ/alkol stokimetric oranı olarak 6:1 (v/v) belirlenmiştir. Yani 1000 ml KÇY için 200 ml metanol kullanılmıştır. Katalizör olarak kullanacağımız 200 ml'lik baz katalizör metoksit çözeltisi (metilalkol + NaOH) için kütleli olarak reaksiyona sokulan yağın (1000 ml için) $\approx$ % 1'i ağırlığında NaOH kullanılmıştır. Yani 200 ml metilalkol içerisinde 7,5 gr NaOH çözündürülmüştür. Şekil 5.14.'de metoksit hazırlama prosedürü görülmektedir.



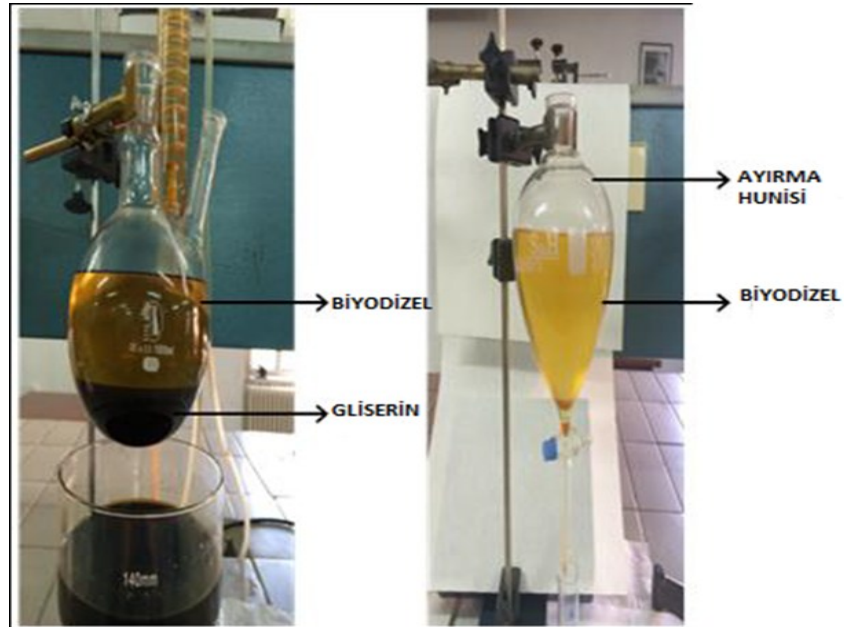
Şekil 5.14. Metoksit çözeltisi hazırlama

1000 ml AY çift boyunlu balon içerisine aktararak manyetik karıştırıcıda 400 d/d'da 60 C° de karıştırılmıştır. Hazırladığımız 200 ml' lik metoksit çözeltisi (metilalkol + NaOH) çift boyunlu balon içerisindeki yağımızın üzerine yavaş yavaş aktarılmıştır. Şekil 5.15.'da metoksit aktarımı görülmektedir.



Şekil 5.15. Metoksit aktarımı

Sıcaklık cam termometre vasıtasıyla kontrol altında tutularak 60 C⁰ de sabitlenmiştir. Reaksiyon 400 d/d'da 90 dk. sürmüştür. Süre sonunda gliserin/biyodizel faz ayrışması net bir şekilde görülmüştür. Reaksiyon sonunda karışım ayırma hunisine alınarak faz ayrışması bitmesi için 5 saat beklenmiştir. Süre sonunda altta gliserin, üstte ise berrak biyodizel fazı Şekil 5.16.'da olduğu gibi görülmüştür. Gliserin fazı ayırma hunisinden kontrollü musluk vasıtasıyla alınarak biyodizel elde edilmiştir. Ayrılan gliserin miktarı biyodizel verimini ölçmek için biriktirilmiştir.



Şekil 5.16. Biyodizel faz ayrımı, biyodizel

Gliserin fazı büyük oranda ayrılmış olsa da az miktarda olsa gliserin tuz ve artık metanol biyodizel fazı içerisinde yer almaktadır. Bu maddeleri biyodizel fazından ayırtmak için yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Gliserin, tuz ve metanol suda çözünen maddelerdir. Yıkama işlemiyle bu maddeler suda çözünerek alttaki faza geçmektedir. Böylece bu maddeler biyodizelden ayrıştırılabilmektedir.

Yıkama işlemiyle elde edilen biyodizel, kendi hacminin 1/3 oranında ılık saf su ile ayırma hunisi içerisinde karıştırılarak çalkalanmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Her seferinde altta kalan su fazı ayırma hunisinden ayrılarak atılmıştır. Her 3 yıkama ve yıkama sonrası net biyodizele ait resimler Şekil 5.17.'de gösterilmiştir. Resimlerden de görüldüğü gibi her yıkama işlemi sonrası biyodizelde berraklaşma görülmektedir.



Şekil 5.17. Yıkama işlemi ve elde edilen net biyodizel

Saflaştırılan biyodizel buharlaştırma işlemine tabi tutularak içinde eser miktarda kalan su ve metanolden tamamen arındırılmıştır. Normal dizel ve biyodizel %20, %50 oranlarında karıştırılarak B-20 ve B-50 diye adlandırılan biyodizel karışımları elde edilmiştir. Elde edilen Aspir biyodizel şekil 5.18 ‘de gösterilmiştir.



şekil 5.18. Elde edilen Aspir biyodizel

6. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Kaplanmış ve kaplanmamış motorların yarım yükte birbirinden farklı devirlerde performans ve emisyon değerleri tespit edilmiş, kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi ve termal görüntülerin analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalar dizel ve benzinli motorlarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

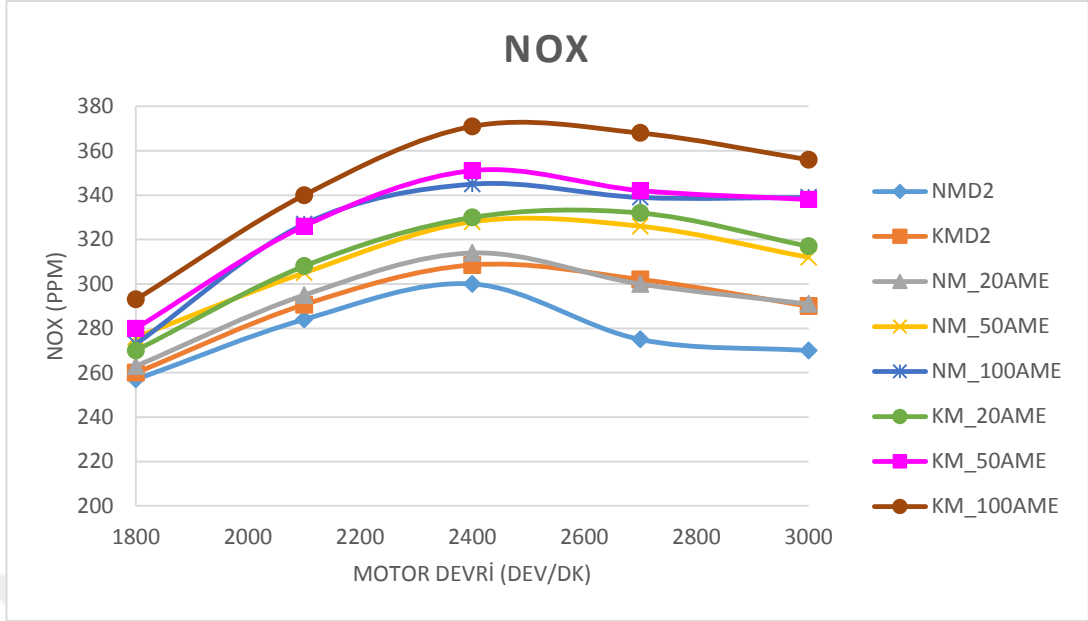
6.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kaplama öncesi ve kaplama sonrası dizel motorlarda ve benzinli motorlarda yarım yük farklı devirlerdeki emisyon, ÖYT ve EGS değerleri kestirimci bakım yöntemleri olarak da titreşim analizi grafikleri ve termal görüntü analizleri yapılmıştır. Dizel motor analizleri aspir ve çitlembik yağından üretilen yakıtlardan elde edilen deney sonuçları olarak iki başlık altında incelenmiştir. Toplamda kaplanmış, kaplanmamış dizel motor sonuçları, kaplanmış kaplanmamış benzinli motor sonuçları ve son olarak da bunların termal analizleri olarak 3 ana başlık altında toplanmıştır.

6.2. Dizel Motor Deney Sonuçları

6.2.1. Aspir Yakıtının Kullanıldığı NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

Dizel motorlarda yanma sonu sıcaklıkların artması neticesinde NO_x emisyon oluşumu meydana gelir. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin grafiği Şekil 6.1. de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun NO_x grafiği

İçten yanmalı motorlarda hava vasıtasıyla alınan azot ile oksijenlerin tepkimeye girmesi sonucunda ve yüksek sıcaklık etkisiyle NO_x emisyon oluşumu artar. Silindir içi sıcaklığın NO_x emisyon oluşumuna olumlu yönde etkisi vardır. Aspir biyodizelin de normal dizel yakıtına göre NO_x oluşumu daha fazladır. Düşük devirlerde NO_x emisyon oluşumu azdır, orta devirlere ilerledikçe NO_x emisyon oluşumu artmaktadır, orta devirlerin üstünde ise yanma için ayrılan sürenin kısılmasıyla NO_x emisyon oluşumu belirli oranda düşmüştür. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 AME , %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 5.25 , %12.97 , %18.78 , %25.4 oranlarında NO_x emisyon değerlerinde artış olmuştur.

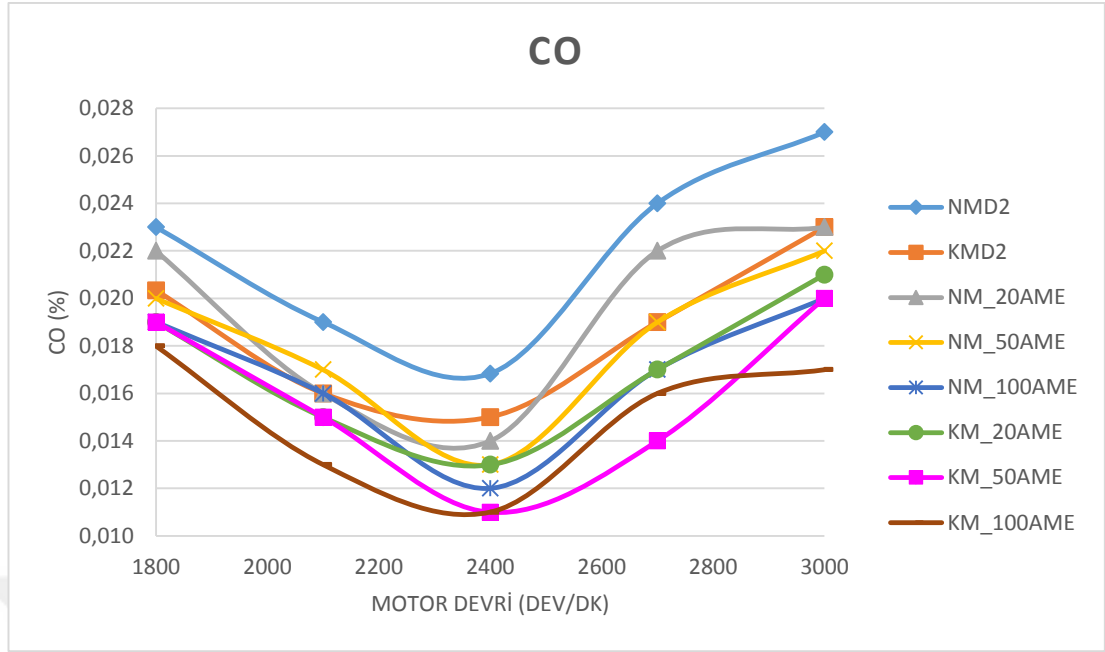
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 aspir metil ester(AME) yakıtının kullanıldığı NDM arasında %5,55 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %11,64 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %17,04 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %7,20 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %12,68 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %18,91 NO_x emisyon artışı olmuştur. Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimi göstermiştir. Çünkü oksijen yanma verimini artırdığı için yanma sonu sıcaklığını

yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir. Bu çalışmada biyodizel yakıtlar ile ölçülen NO_x emisyonları dizel yakıtına göre artış eğilimlerinin sebebinin bu olduğu düşünülmektedir.

NO_x oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış motorda %100 biyodizelin kullanıldığı deneylerde sağlanmıştır. NO_x emisyon oluşumunun en düşük olduğu deney şartları normal dizel yakıtın kullanıldığı kaplanmamış motorun kullanıldığı deneylerde görülmüştür. Aspir yakıtında NO_x emisyon oluşumunun yüksek olmasının temel sebebi oksijen içeriğinin yüksek olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir, aspir yakıtında NO_x emisyonunun fazla olmasının diğer sebepleri ise setan sayısının ve iyot sayısının yüksek olmasıdır[32] . Ayrıca AME yakıtının içerisinde bulunan doymamış yağ asitleri ve yanma esnasında oluşan yüksek adyabatik alev sıcaklığı NO_x oluşumunda etkilidir[56]. Kaplama yapılmış motorda NO_x emisyon oluşumunun artması yanma veriminin yüksek olması ve ısı kaybının az olması ile açıklanabilir.

6.2.2. Aspir Yakıtının Kullanıldığı CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda CO emisyon oluşumu etkileyen faktörler motor devri, hava –yakıt oranı, yanma odası geometrisi, setan sayısı ve oksijen miktarıdır. Oksijen miktarı düşükse yanma eksik gerçekleşir ve CO emisyon oranı artar. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO emisyon grafiği Şekil 6.2. de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun CO emisyon grafiği

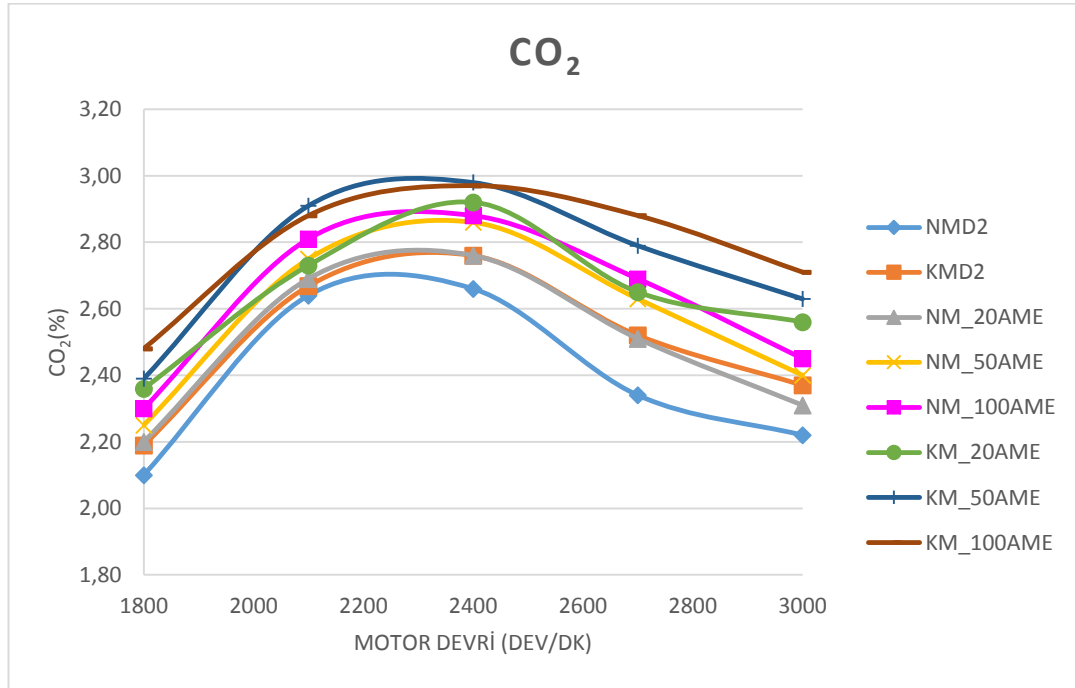
Motor yükü arttıkça hava /yakıt oranı azalmakta ve CO emisyon miktarı artmaktadır. CO emisyon miktarına silindir içindeki oksijen ve yakıt özellikleri etki etmektedir. Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile CO emisyon oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 , %20 AME , %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 15.24 , %22.67 , %28.27 , %31.8 oranlarında CO emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %12,02 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %17,14 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %23,39 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. Kullanılan yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO emisyon değerlerinde azalma olmuştur. Düşük motor devirlerinde hacimsel verimin yüksek olmasına rağmen tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış olmasının nedeni yakıt atomizasyonunun yeterince gerçekleşmemesi, silindir içerisinde türbülans yoğunluğunun artması ve silindir içi sıcaklığın düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir[57]. Nitekim motor devrinin artmasıyla silindir içi sıcaklığı artmakta ve CO emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Normal motora kaplama yapılması ile CO emisyon oranlarında düşüş gözlenmiştir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %9,08 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %15,77 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %19,76 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. Termal bariyer kaplamalar sonucunda Yanma odası sıcaklığı arttığı için yanma iyileşmiş olduğundan dolayı CO emisyonunda azalma meydana gelmiştir. CO emisyon oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. CO emisyon oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.3. Aspir Yakıtının Kullanıldığı CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

CO₂ emisyonu yanmanın tamamlanmasının göstergesidir. Buna göre biyodizel yakıt karışımlarının yapısındaki oksijen daha verimli bir yanma sağlayarak CO₂ emisyonu üretimini artırmaktadır[33]. İçten yanmalı motorlarda yük artışı ile CO₂ miktarıda artış gösterir. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO₂ emisyon grafiği Şekil 6.3. de gösterilmiştir.



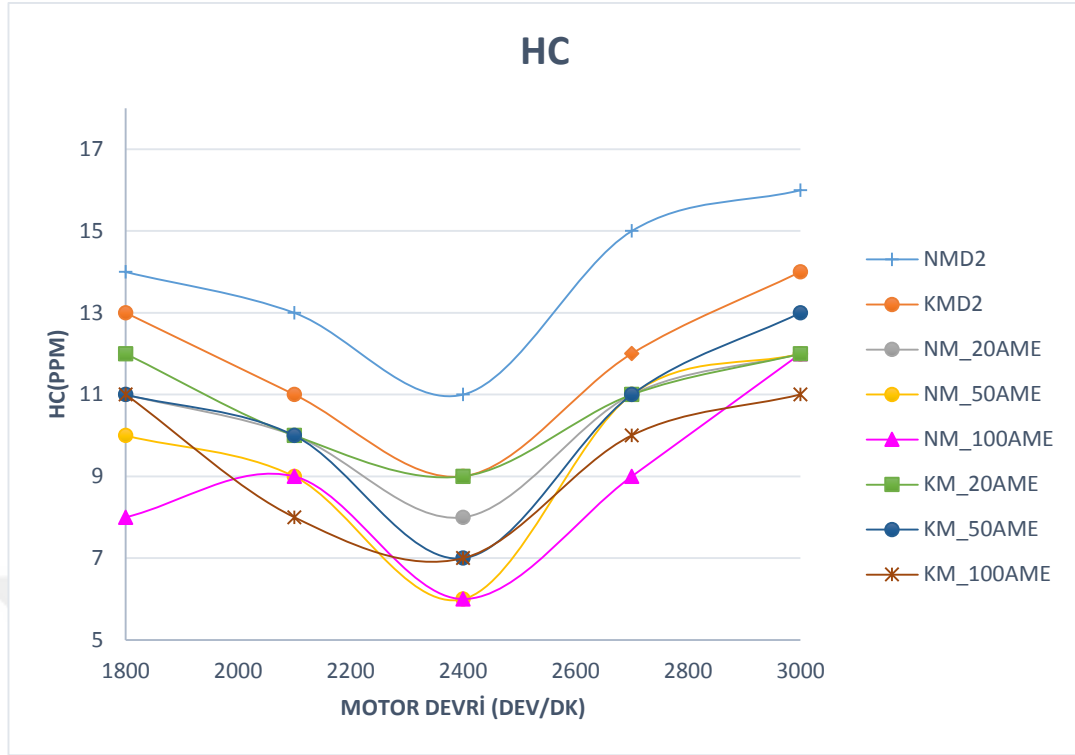
Şekil 6.3. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun CO₂ emisyon grafiği

Yanma esnasında yakıtın içerisinde bulunan karbon ve hidrojen bileşenlerinin birbirinden ayrışmasıyla birlikte, hidrojen bileşeni suya dönüşmektedir. Karbon bileşeni ise oksidasyon esnasında yeterli oksijeni bulması halinde CO₂'ye, bulamaması halindeyse CO veya dumana dönüşmektedir. Biyodizel içerisindeki karbon oranının standart dizel yakıtı göre bir miktar az olmasından dolayı, tüm devirlerde CO₂ emisyon değerleri standart dizel yakıtına göre bir miktar düşük çıkmıştır. Devrin artışına bağlı olarak volumetrik verim düşmekte ve bu nedenle yeterli oksijen bulunmadığından dolayı, CO₂'ye dönüşüm süresi kısalmaktadır. Bu nedenle CO₂ emisyonları motor devrine bağlı olarak artmaktadır. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 AME , %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 4.72 , %10.83 , %14.75 , %16.8 oranlarında CO₂ emisyon değerlerinde artış olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 4,35 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %7,87 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %9,91 CO₂ emisyon artışı olmuştur. Normal motora kaplama yapılması ile CO₂ emisyon oranlarında artış gözlenir. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında % 5,82 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında % 9,58 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %11,49 CO₂ emisyon artışı olmuştur. CO₂ emisyon oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür. CO₂ emisyon oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise normal dizel motorda görülmüştür.

6.2.4. Aspir Yakıtının Kullanıldığı HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda HC emisyonu eksik yanma sonucunda meydana gelen organik bileşiklerdir. HC emisyon'un yanma sonucu egzoz gazlarında bulunması yakıtın belirli oranda yanmadığının göstergesidir. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin HC emisyon grafiği Şekil 6.4. de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun HC emisyon grafiği

İçten yanmalı motorlarda düşük silindir sıcaklıklarında HC emisyonu artmaktadır bunun nedeni yanma veriminin düşük olması yanmanın istenilen seviyede gerçekleşmemesidir. Yanma esnasında HC emisyonu oluşumu tepkimeye giren yakıt ürünlerinin hava yakıt karışım bölgelerinin tutuşma sıcaklığının altında kalması ve oksijen yetersizliğiyle oksidasyona neden olmasıyla açıklanabilir[58]. Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile HC emisyon oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 AME , %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 17.22 , %23.67 , %31.21 , %36.39 oranlarında HC emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

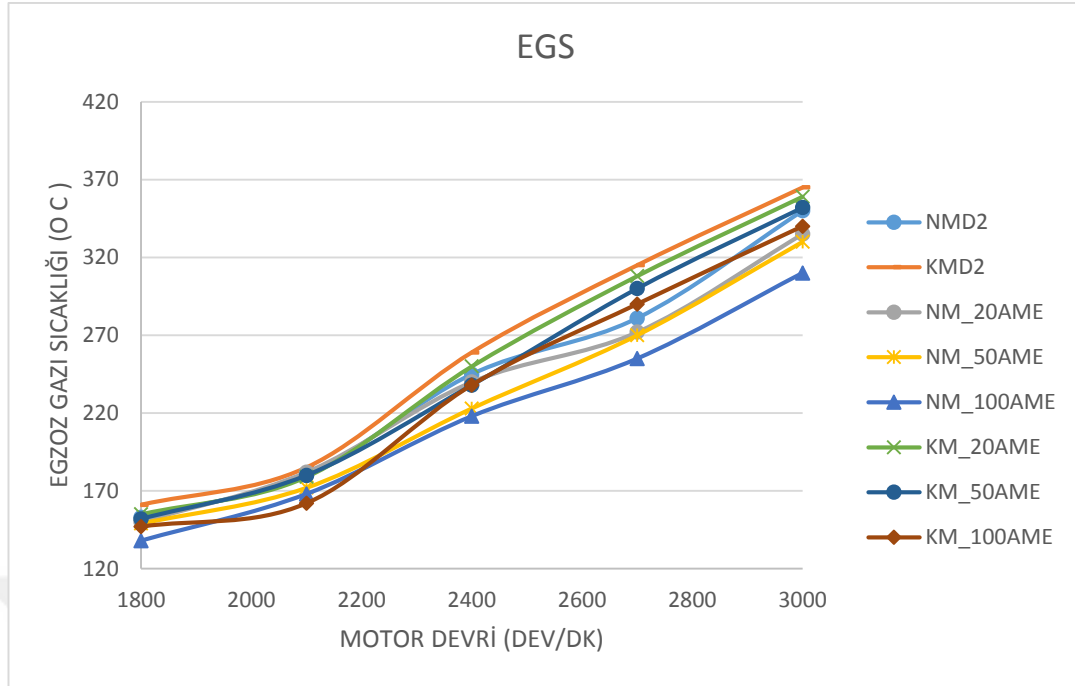
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %24,69 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 31,29 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 36,82 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. Egzoz gazları içerisinde hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yakılamadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır [46]. Bütün motor devirlerinde biyodizel karışım yakıtlarının HC emisyonları dizel

yakıtlarının HC emisyonlarından daha düşük çıkmıştır. Böyle bir durumun oluşmasının nedeni biyodizelin oksijen içermesinden kaynaklanmaktadır. Düşük motor devirlerinde tüm yakıtların HC emisyonu yüksek çıkmasının sebebi silindir içi sıcaklığının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Normal motora kaplama yapılması ile HC emisyon oranlarında düşüş gözlenir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %7,88 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %12,43 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %20,59 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. Deneylerde kaplama sonucunda artan yanma odası sıcaklığı ile yanma verimi artmıştır. Yüksek motor devirlerinde sıcaklık artmasına rağmen HC emisyonu artış göstermiştir. Yüksek hızlarda sıcaklık artmasına rağmen HC emisyonunun artmasının sebebi, yanmanın kötüleşmesi, yanmaya ayrılan sürenin kısılması zayıf karışım oranının artması ve volümetrik verimin azalmasının olduğu düşünülmektedir. HC emisyon oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. HC emisyon oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.5. Aspir Yakıtının Kullanıldığı EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda devir sayısının artması ile EGS değeri de doğru orantılı olarak artmaktadır. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin EGS değeri grafiği Şekil 6.5. de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun EGS değeri grafiği

Egzoz gazı sıcaklığının artmasının nedeni yanma sonucu ortaya çıkan ısıнын artmasıdır. Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile EGS değerinde azalma meydana gelmiştir. NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 , %20 AME , %50 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 6.02 , %2.99 , %0.76 oranlarında EGS değerlerinde artış olmuştur ; %100 AME yakıtının kullanımında ise %3.29 oranında EGS değerinde azalma olmuştur.

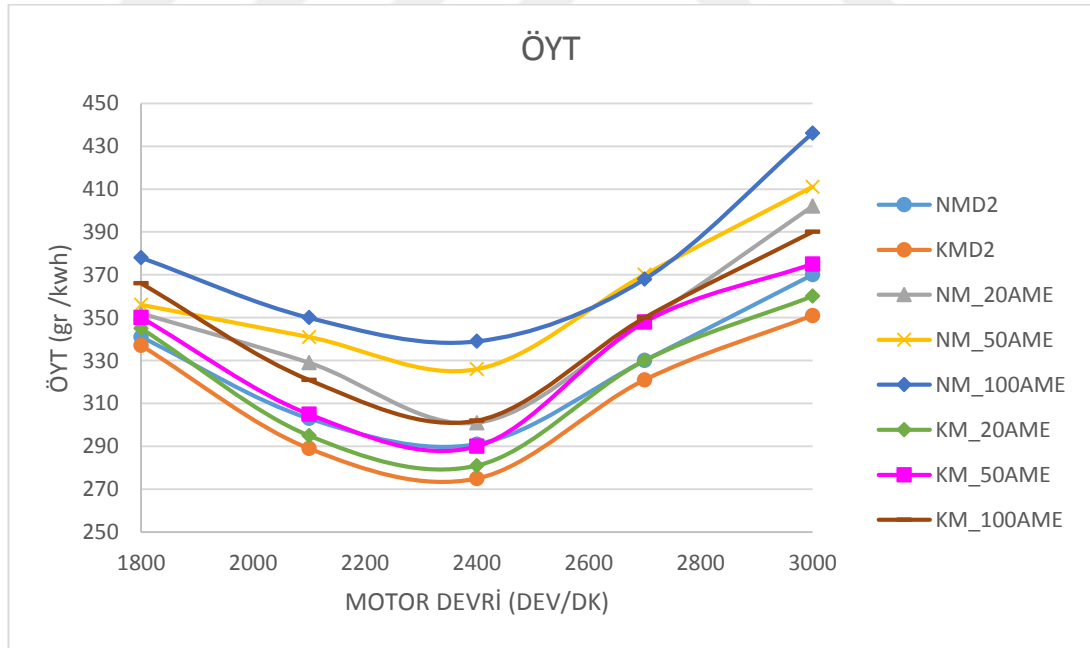
D2 yakıtının kullanıldığı normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 2,08 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı normal dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %5,13 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %9,63 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Setan sayının yüksek olması ve içeriğinde oksijen bulunması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken, aspir metil esterin kaynama noktası yüksek bazı bileşikler içermesi ana yanma fazında yeterince buharlaşamaması ve yanmanın genişleme periyoduna kaymasına neden olmaktadır. Normal dizel motora kaplama yapılması ile EGS değerlerinde artış görülmüştür.

D2 yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %2,86 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2

yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %4,94 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %6,12 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Motor devrinin artmasına bağlı olarak kaplanmış motora ait egzoz gazı sıcaklığı normal motora göre daha yüksek olduğu görülmektedir. KDM 'da AME yakıtının EGS değerlerinin düşük olmasını yanma esnasında buharlaşmanın tam anlamıyla gerçekleşmemesi ve daha düşük ısı verim elde edilmesiyle açıklayabiliriz. EGS değerlerinin en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış dizel motorda görülmüştür. EGS değerlerinin en düşük olduğu deney şartları ise %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda görülmüştür.

6.2.6. Aspir Yakıtının Kullanıldığı ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin ÖYT değeri grafiği Şekil 6.6. da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun ÖYT değeri grafiği

İçten yanmalı motorlarda motorun çalışmasındaki başlangıç devirlerinde motorun yanma odasında yeterli seviyede ısı verim olmadığından ÖYT değeri artışı olur.

NDM ‘da Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile ÖYT değerinde artış meydana gelmiştir. NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 ve %20 AME, yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 3.83 , %1.52 oranlarında ÖYT değerlerinde azalma olmuştur ; %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanımında ise sırasıyla %1.95 , %5,7 oranında ÖYT değerinde artış olmuştur.

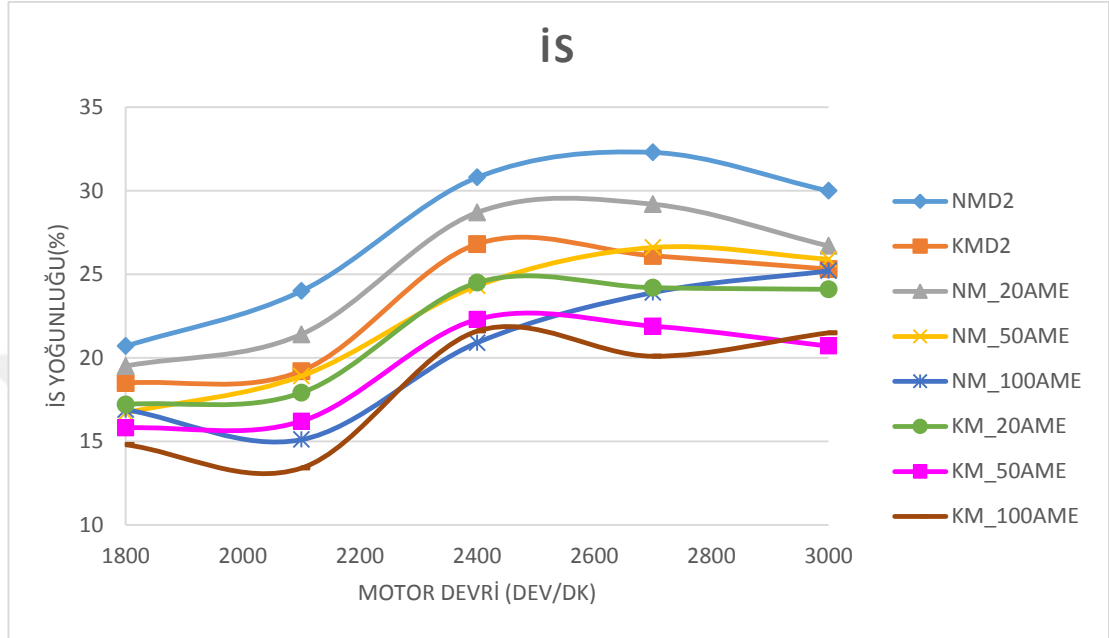
NDM ‘da %20 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 5,87 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. NDM ‘da %50 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 10,43 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. NDM ‘da %100 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 14,44 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Karışım yakıtların özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına nazaran daha yüksek olmasının temel nedeni biyodizelin ısı değerlerinin dizel yakıtı değerine göre düşük olmasıdır. Bununla birlikte biyodizel yakıtların yakıt özelliklerindeki avantajları yanma verimini arttırmaktadır. Bu nedenle özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artışlar genellikle ısı değer farkından daha az olmaktadır. Normal dizel motora kaplama yapılması ile ÖYT değerlerinde azalma görülmüştür.

KDM ‘da %20 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 2,4 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. KDM ‘da %50 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 6,02 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. KDM ‘da %100 AME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 9,3 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Özgül yakıt sarfiyatındaki iyileşmenin nedeni yanma odası elemanlarının kaplı olması nedeniyle artan silindir içi gaz sıcaklıklarının artmasının olumlu etkisi, tutuşma gecikmesindeki kısalmanın etkisi ve yanma sıcaklığının bir miktar düşmesiyle ön yanma safhasında yanmaya katılan yakıtın miktarının artmasıyla açıklanabilir. ÖYT değerlerinin en yüksek olduğu deney şartları %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda görülmüştür. ÖYT değerlerinin en düşük olduğu deney şartları ise kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.7. Aspir Yakıtının Kullanıldığı İş Yoğunluğunun Karşılaştırılması

Dizel motorda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İş oluşumunun nedenleri yakıtının cinsine göre değişmekle birlikte genellikle silindir içinde

yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışmaması ve buharlaşmamasıdır [34]. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin is grafiği Şekil 6.7. de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorun is grafiği

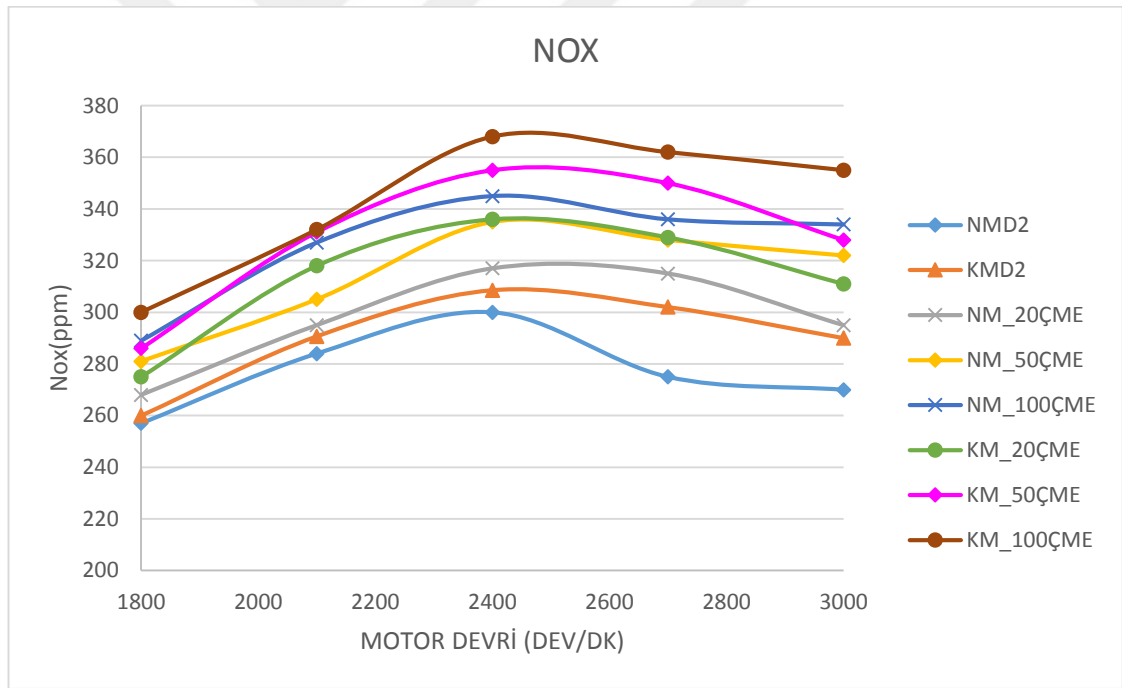
Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile is oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 AME , %50 AME ve %100 AME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 15.69 , %21.5 , %29.39 , %33.73 oranlarında İS emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %8,81 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 18,6 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %25,92 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Normal motora kaplama yapılması ile is oluşumunda azalma gözlenir. AME yakıtının kullanımında daha düşük oranda is oluşumu meydana gelir. Bunu yakıtın daha iyi atomizasyonu ve yüksek buharlaşma oranı sağlar. Yanmanın etkisiyle oluşan yoğun türbülans, yüksek sıcaklık ve basınç reaksiyona daha fazla C atomunun reaksiyona girmesine neden olur. Atomizasyonun etkisi ve yüksek buharlaşma oranı is miktarında azalma sağladığı düşünülmektedir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %6,86 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %16,23 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 AME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %21,5 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. İs oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. İs oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.8. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

Dizel motorlarda yanma sonu sıcaklıkların artması neticesinde NO_x oluşumu meydana gelir. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin grafiği Şekil 6.8. de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun NO_x emisyon grafiği

NO_x emisyonlarını, motorlarda etkileyen en önemli iki parametre yanma ortamında bulunan oksijen miktarı ve maksimum sıcaklık süresidir. Grafik incelendiğinde, ÇME yakıtı ile dizel yakıtına oranla NO_x emisyonlarında hemen hemen tüm motor devirlerinde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir. Bu yüksek değerlerin oluşumunda silindir içi sıcaklığın NO_x oluşumuna olumlu yönde etkisi vardır. Çitlembik biyodizelin de

normal dizel yakıtına göre NO_x oluşumu daha fazladır. Düşük devirlerde NO_x oluşumu azdır, orta devirlere ilerledikçe NO_x oluşumu artmaktadır, orta devirlerin üstünde ise yanma için ayrılan sürenin kısılmasıyla NO_x oluşumu belirli oranda düşmüştür. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 5.25 , %14.32 , %20.21 , %25.21 oranlarında NO_x emisyon değerlerinde artış olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 çitlembik metil ester(ÇME) yakıtının kullanıldığı NDM arasında %8,63 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %14,59 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %18,95 NO_x emisyon artışı olmuştur. Zengin karışımların yanması esnasında yeterli oksijenin bulunmaması ve fakir karışımlarda da yanmanın yavaş olmasından dolayı yanma sonu sıcaklığı ve basıncının azalması, NO_x emisyonlarını düşürmektedir. Biyodizel içerikli yakıtların NO_x miktarları, D₂ yakıtına göre motorun tüm devirlerinde yüksek çıkmıştır. Biyodizel içeriğindeki oksijen miktarının fazla olması ve yanma esnasında oksitlenmeyi iyileştirmesi, yanma bölgelerinin sayısında artış meydana getirmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklığın elde edildiği bölgelerin artması, NO_x emisyonlarının oluşum hızını artırmaktadır. Devrin artmasıyla, emme zamanı kısalarak volümetrik verim düşmekte ve silindir içerisine alınan O₂ miktarının azalması ile birlikte, azot ile oksijenin silindir içerisinde bulunma süresi de azalmaktadır. Bu nedenle, motor devrinin artmasıyla NO_x oluşumunda düşüş meydana geldiği düşünülmektedir[47].

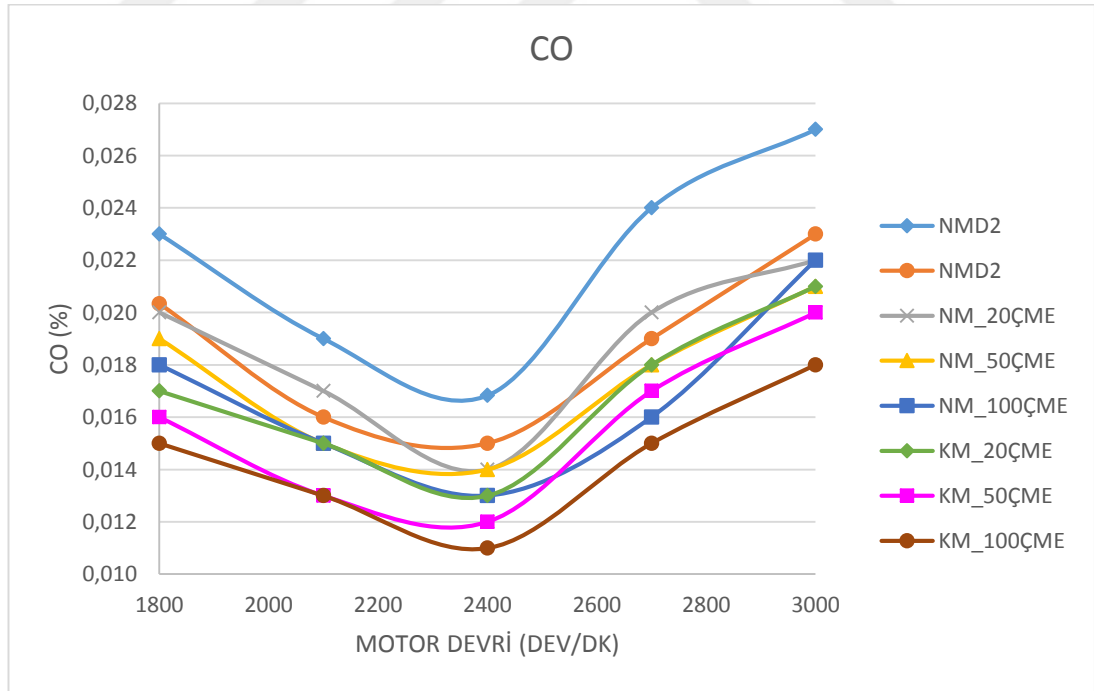
D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %8,58 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %14,15 NO_x emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %18,84 NO_x emisyon artışı olmuştur. Kaplanmış motorda NO_x konsantrasyonunun normal motora göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu da kaplama ile oluşturulan kısmi termal bariyerin bir sonucu olarak yanma odası sıcaklığının dolayısıyla yanma sıcaklığının artmasını ve bu devir aralığında bu motor için sıcaklığın yüksek olmasıyla açıklanabilir. Devir arttıkça her iki motor için NO_x oluşumunun arttığı orta devirlerden sonra ise düştüğü görülmektedir. NO_x konsantrasyonun yüksek devirlerde artan sıcaklığa rağmen düşmesi, ortamda bulunan gazların yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinin azalması, tutuşma gecikmesi için zamanın kısa

olması, böylece NO_x konsantrasyonu için yeterli zaman kalmadığı şeklinde yorumlanabilir[48].

NO_x oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış motorda %100 biyodizelin kullanıldığı deneylerde sağlanmıştır. NO_x oluşumunun en düşük olduğu deney şartları normal dizel yakıtın kullanıldığı kaplanmamış motorun kullanıldığı deneylerde görülmüştür. Çitlembik yakıtında NO_x oluşumunun yüksek olmasının temel sebebi oksijen içeriğinin yüksek olmasıdır, çitlembik yakıtında NO_x in fazla olmasının diğer sebepleri ise setan sayısının ve iyot sayısının yüksek olmasıdır[35] . Kaplama yapılmış motorda NO_x oluşumunun artması yanma veriminin yüksek olması ve ısı kaybının az olması ile açıklanabilir.

6.2.9. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda CO oluşumu temel sebebi yeterli oksijen bulunmadığından yanmanın eksik gerçekleşmesidir. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO emisyon grafiği Şekil 6.9. da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun CO emisyon grafiği

Motor yükü arttıkça hava /yakıt oranı azalmakta ve CO emisyon miktarı artmaktadır. CO emisyon miktarına silindir içindeki oksijen, yakıt özellikleri etki etmektedir. Normal

dizel yakıtına oranla çitlembik biyodizelinin kullanımı ile CO emisyon oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 15.24 , %23.58 , %29.3 , %34.5 oranlarında CO emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

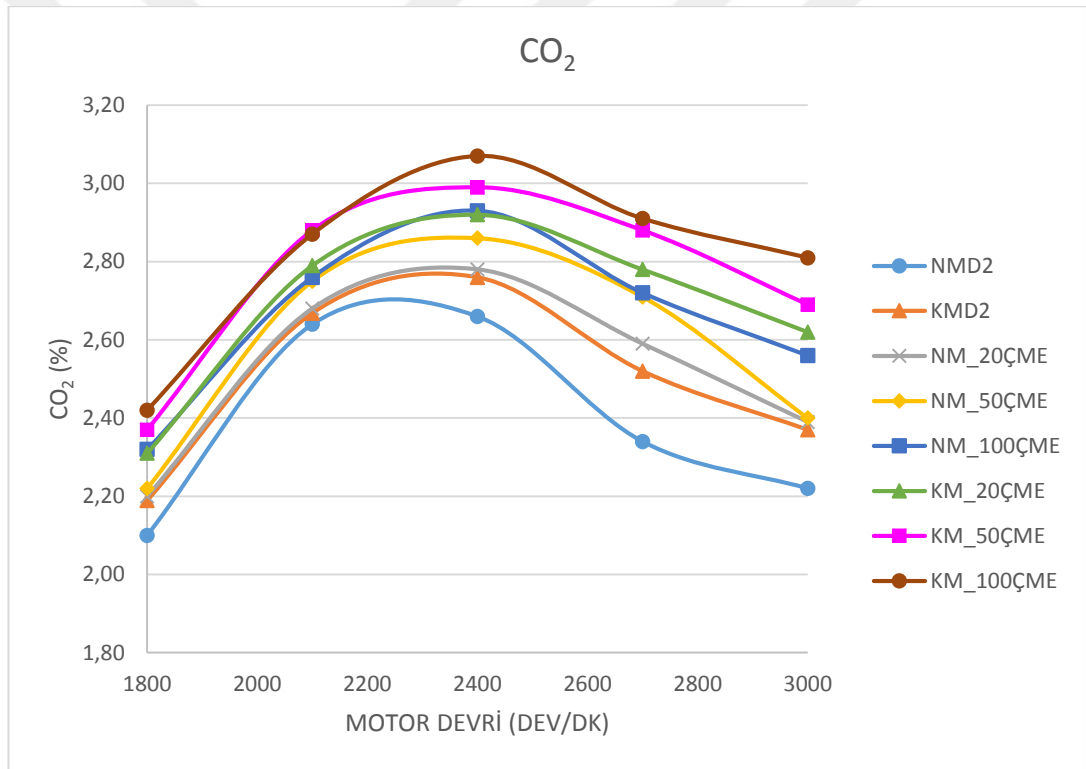
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %15,11 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %20,5 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 ÇYM yakıtının kullanıldığı NDM arasında %23,48 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. Biyodizelin yüksek O₂ içeriği, yanmanın tam olmasını sağlayarak CO'yu düşürmektedir. Düşük motor devirlerinde volumetrik verimin daha yüksek ve yeterli yanma süresi olması nedeniyle, CO emisyonları tüm yakıtlar için daha düşük orandadır. Yüksek motor devirlerinde, yakıtın yanma süresinin kısalması ve volumetrik verimin düşmesinden dolayı tüm yakıtları için CO emisyonları artmıştır. Bu düşüşün temel sebebinin, devir sayısının artmasına bağlı olarak karışımın daha homojen olması ve yanmanın iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Normal motora kaplama yapılması ile CO oranlarında düşüş gözlenmiştir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %9,99 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %16,73 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %22,89 CO emisyon oranında düşüş olmuştur. Dizel motorlarında yakıt, yanma odasına yanma başlamadan önce püskürtülmektedir. Yanma odasının büyük bölümünde yakıt dağılımı üniform değildir. Yanma odasında yakıt dağılımının üniform olmaması, yanma olayının da üniform bir şekilde şekil de yayılmasını engellemektedir. Dolayısıyla tepkimeye hiç girmeyen ve eksik yanan hidrokarbon ürünleri artmaktadır. Yanma odasında yakıtın her yerde üniform bir dağılıma sahip olmaması, yetersiz oksijen, düşük reaksiyon sıcaklığı gibi nedenlerden dolayı karbonmonoksit (CO) konsantrasyonu artmaktadır. Kaplanmış motorda kısmi termal bariyer etkisi, yanma odası cidar sıcaklığını arttırmakta, sonuçta yanma odası içeriğinin sıcaklığını da yükseltmektedir. Silindir ve supapların kaplanması sonucu bu parçalar üzerinden gerçekleştirilen ısı transfer oranında bir azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte kaplanmış motorda CO konsantrasyonun da azalma meydana gelir. Bu da kaplamanın bir sonucu olarak yanma sıcaklığının normal motora göre daha yüksel olmasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir[48]. CO oluşumunun

en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. CO oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.10. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda CO₂ emisyonu yanmanın tamamlanmasının göstergesidir. Buna göre biyodizel yakıt karışımlarının yapısındaki oksijen daha verimli bir yanma sağlayarak CO₂ emisyonu üretimini artırmaktadır[33]. İçten yanmalı motorlarda yük artışı ile CO₂ miktarında artış gösterir. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO₂ emisyon grafiği Şekil 6.10. da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun CO₂ emisyon grafiği

NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 4.72 , %12.46 , %15.72 , %18 oranlarında CO₂ emisyon değerlerinde artış olmuştur.

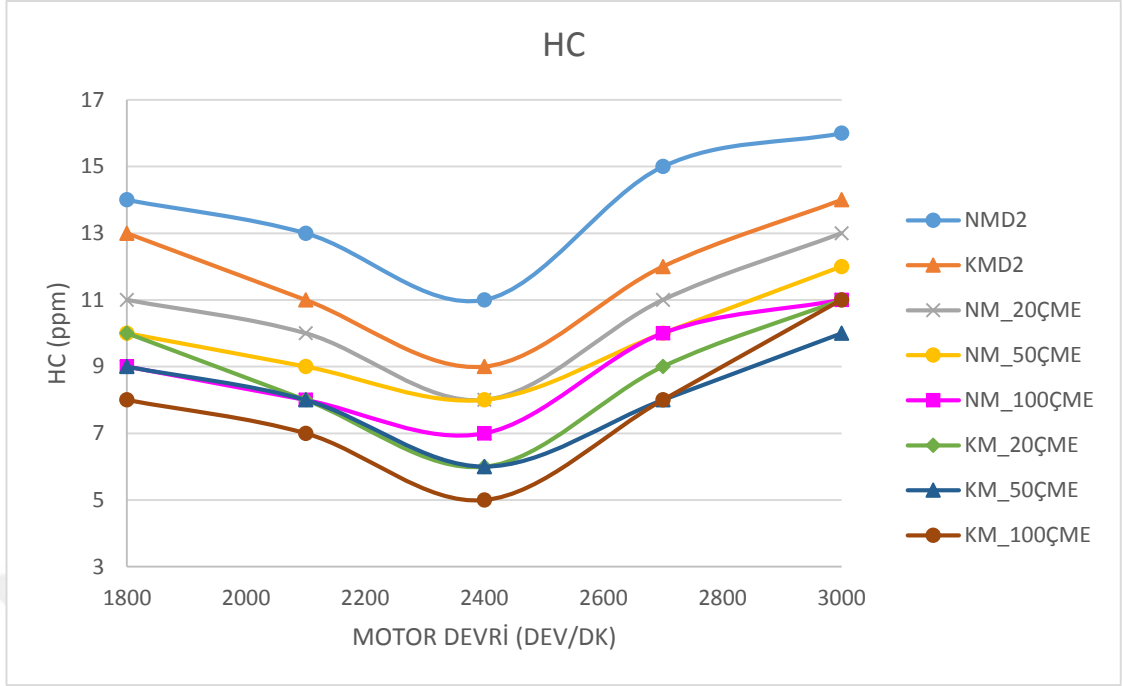
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 5,83 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME

yakıtının kullanıldığı NDM arasında %8,26 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %11,35 CO₂ emisyon artışı olmuştur. İçten yanmalı motorlarda sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artar. Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir ve CO₂ oranı da buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin parçalanarak CO₂ oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi yanma odası sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle artan devir sayısı ile birlikte CO azalır ve CO₂ emisyonu da artmakla beraber tekrar düşmektedir. Grafik incelendiğinde artan silindir içi basınç ve artan karışım oranlarıyla CO₂ emisyonlarında azalmalar görülmektedir. Normal motora kaplama yapılması ile CO₂ emisyon oranlarında artış gözlenir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %7,35 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %10,46 CO₂ emisyon artışı olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %12,67 CO₂ emisyon artışı olmuştur. Grafik incelendiğinde motorun düşük devirlerinde dizel yakıtının kullanımında elde edilen CO₂ emisyonu değerleri gerek kaplamalı gerekse normal motorda ÇME yakıtından daha yüksek çıkmıştır. Ancak motorun devir sayısı yükseldikçe ÇME yakıtının karışımının kullanımında oluşan CO₂ miktarları gerek kaplamalı gerekse normal motor için daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni yüksek motor devirlerinde bitkisel yağların sahip olduğu oksijen içeriğinden dolayı yanmanın dizel yakıtına göre daha iyi olması ve tam yanma ürünü olan CO₂'nin artmasıdır. CO₂ oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür. CO₂ oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise normal dizel motorda görülmüştür.

6.2.11. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda HC parametresi yanmamış yakıtla doğru orantılıdır. HC'nun yanma sonucu egzoz gazlarında bulunması yakıtın belirli oranda yanmadığının göstergesidir. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin HC emisyon grafiği Şekil 6.11. de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun HC emisyon grafiği

İçten yanmalı motorlarda düşük düşük silindir sıcaklıklarında HC emisyonu artmaktadır bunun nedeni yanma veriminin düşük olması yanmanın istenilen seviyede gerçekleşmemesidir. Normal dizel yakıtına oranla Çitlembik biyodizelinin kullanımı ile HC emisyon oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ' a göre KDM ' da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 17.22 , %25.89 , %30.53 , %34.81 oranlarında HC emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

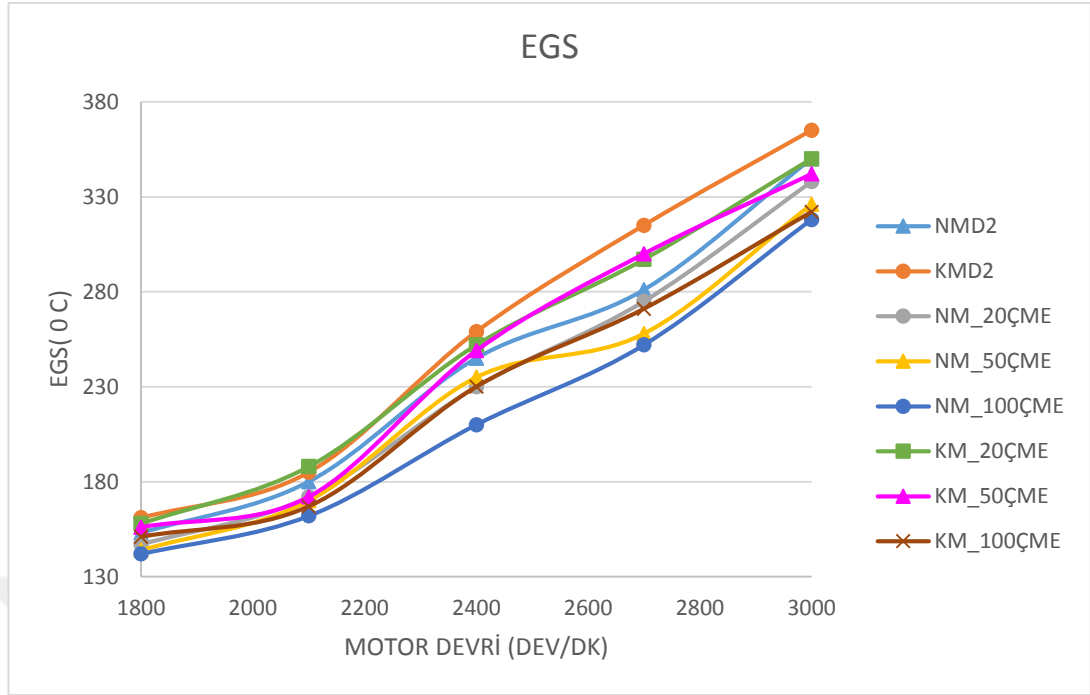
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %8,08 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 14,64 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %22 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. Biyodizel karışım oranına bağlı olarak HC emisyonları nın azaldığı görülmektedir. Bu durum, biyodizel içerisindeki karbon oranının düşük olması ve oksijen oranının fazla olmasına bağlı bir durumdur. Bu nedenle, biyodizel içerisindeki yüksek O₂, zengin bölgelerde yeterli yanmayı temin ettiği düşünülmektedir. Normal motora kaplama yapılması ile HC emisyon oranlarında düşüş gözlenir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %10,56 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %16,05 HC emisyon oranında düşüş olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %21,28 HC emisyon oranında düşüş olmuştur. Grafikte görüldüğü gibi kaplamalı motorlarda bu yakıtların kullanılmasıyla HC emisyonlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. ÇME yakıtı için dizel yakıtıyla karışımlarının kullanımında motor egzozundan çıkan HC emisyonlarının dizel yakıtının sebep olduğu HC emisyonlarına göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplamalı motorda HC emisyonlarının azalmasının nedeni kaplamayla yanma odasında motor dışına ısı transferinin azalması ile beraber sıcaklıkların artması ve yanmanın tam yanmaya yakın seyretmesi ayrıca yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle HC oksidasyonun egzoza kadar devam etmesi gibi nedenler gösterilebilir. ÇME yakıt karışımları için HC emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasının nedeni ise bitkisel yağların kimyasal yapısında bulunan Oksijen içeriğinin yanmayı iyileştirmesi ve eksik yanma ürünlerinden olan HC ve CO emisyonları azaltmasıdır[49]. HC oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. HC oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.12. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda devir sayısının artması ile EGS değeri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin EGS değeri grafiği Şekil 6.12. de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun EGS değeri grafiği

Egzoz gazı sıcaklığının artmasının nedeni yanma sonucu ortaya çıkan ısıнын artmasıdır. Normal dizel yakıtına oranla çitlembik biyodizel test yakıtlarının kullanımı ile EGS değerinde azalma meydana gelmiştir. NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 6.02 , %3.25 , %0.72 oranlarında EGS değerlerinde artış olmuştur ; %100 ÇME yakıtının kullanımında ise %5.24 oranında EGS değerinde azalma olmuştur.

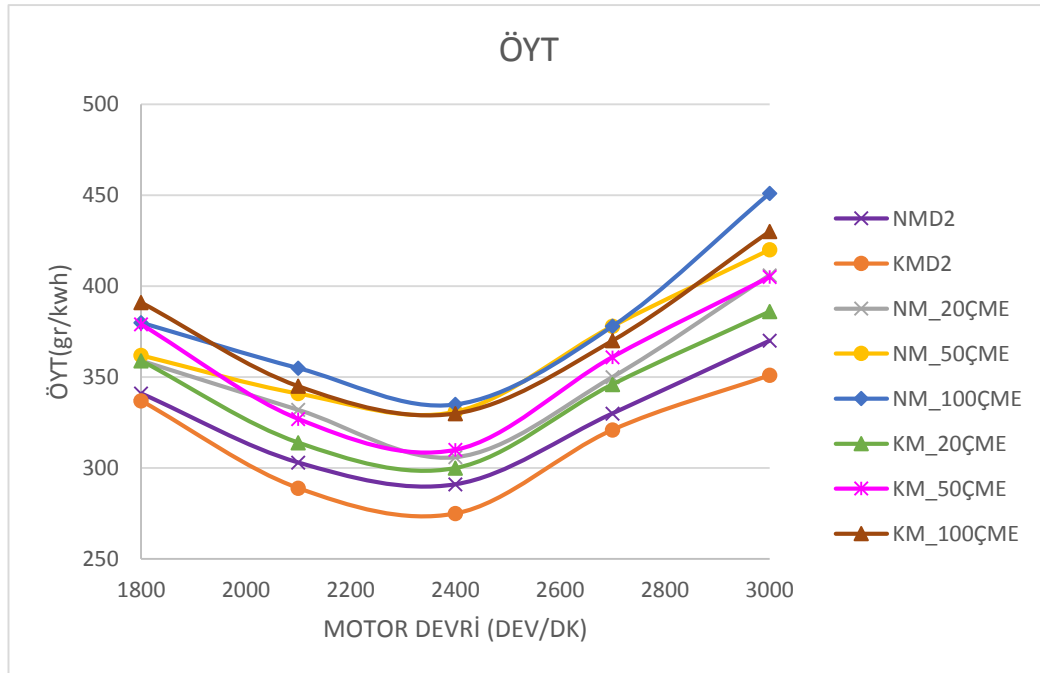
D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 4,01 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %6,11 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %10,19 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Dizel motorlarda, tutuşma gecikmesi süresi egzoz gaz sıcaklıklarını etkilemektedir. Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır. Bu yüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığı değerlerinin ÇME yakıtının kullanımında düşük çıkmasının bir başka sebebi ise biyodizel yakıtının standart dizel yakıtına göre daha uçucu olmasının etkisinin olduğu düşünülmektedir. Genellikle yüksek uçuculuğa sahip yakıtlar buharlaşırken çevrelerinden ısıyı çekerek soğutma etkisi

sağlarlar ve EGS' yi düşürürler. Normal dizel motora kaplama yapılması ile EGS değerlerinde artış görülür.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %2,55 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %5,01 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %8,22 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Kaplanmış motordaki egzoz gaz sıcaklığının normal motora göre yüksek olduğu grafikte görülmektedir. Bu kaplama yapılmış motorda ısı transferi fikrine uygun gelmektedir. Yanma odası elemanları üzerinden gerçekleştirilen ısı transfer oranının kısmi termal bariyer etkisiyle azaltılması sonucu egs değerinin yüksek olmasının sağlandığı düşünülmektedir[48]. EGS değerlerinin en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış dizel motorda görülmüştür. EGS değerlerinin en düşük olduğu deney şartları ise %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda görülmüştür.

6.2.13. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin ÖYT değeri grafiği Şekil 6.13. de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun ÖYT değeri grafiği

İçten yanmalı motorlarda motorun çalışmasındaki başlangıç devirlerinde motorun yanma odasında yeterli seviyede ısı verim olmadığından ÖYT artış olur.

Normal dizel yakıtına oranla çitlembik biyodizelinin kullanımı ile ÖYT değerinde artış meydana gelmiştir. NDM 'da Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile ÖYT değerinde artış meydana gelmiştir. NDM ' a göre KDM ' da D2 yakıtının kullanılmasıyla % 3.83 oranında ÖYT değerinde azalma olmuştur ; %20 ÇME %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanımında ise sırasıyla %4.23 , %8.89, %14.05 oranlarında ÖYT değerlerinde artış olmuştur.

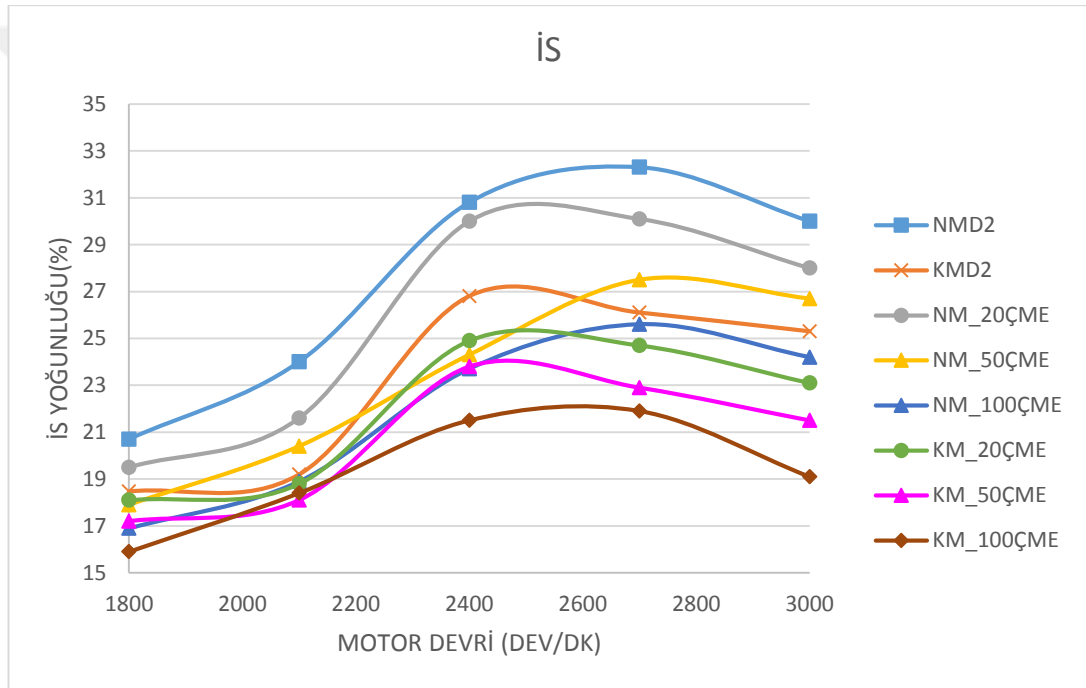
NDM 'da %20 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 7,16 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. NDM 'da %50 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 12,1 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. NDM 'da %100 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 16,03 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Grafikte ÇME yakıtı kullanılarak özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi görülmektedir. Biyodizel ile çalışmada, biyodizelin ısı değeri dizel yakıttan düşük olması nedeniyle efektif güç daha düşük ve özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından düşük olması nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu durum özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketimini etkilemesiyle açıklanabilir[49]. Normal dizel motora kaplama yapılması ile ÖYT değerlerinde azalma görülür.

KDM 'da %20 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 8,41 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. KDM 'da %50 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 13,24 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. KDM 'da %100 ÇME yakıtının kullanımı ile D2 yakıtının kullanımı arasında % 18,63 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur.. Grafikte görüldüğü gibi ÇME yakıtı için elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri motorun orta devirlerinde en düşük değerini almış ve motor devrinin yükselmesiyle beraber tekrar yükselmiştir. Deney yakıtı karşılaştırıldığında hem kaplamalı hem de normal motorda en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtının kullanımda elde edilmiştir. Bunun nedeni özgül yakıtının ısı değeri bitkisel yağlardan daha yüksek olması nedeniyle aynı motor gücünü verebilmesi için daha fazla kütleli yakıt tüketimi gerektirmesi olduğu düşünülmektedir[50]. ÖYT değerlerinin en yüksek olduğu deney şartları %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda

görülmüştür. ÖYT değerlerinin en düşük olduğu deney şartları ise kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.2.14. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı İS Yoğunluğunun Karşılaştırılması

Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İS yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır [51]. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin is grafiği Şekil 6.14. de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorun is yoğunluğu grafiği

Normal dizel yakıtına oranla çitlembik biyodizelinin kullanımı ile is oluşumunda azalma meydana gelmiştir. NDM ‘ a göre KDM ‘ da D2 , %20 ÇME , %50 ÇME ve %100 ÇME yakıtlarının kullanılmasıyla sırasıyla % 15.69 , %19.98 , %24.93 , %29.05 oranlarında İS emisyon değerlerinde azalma olmuştur.

D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında %6,37 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı NDM arasında % 15,1 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı NDM ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı NDM arasında

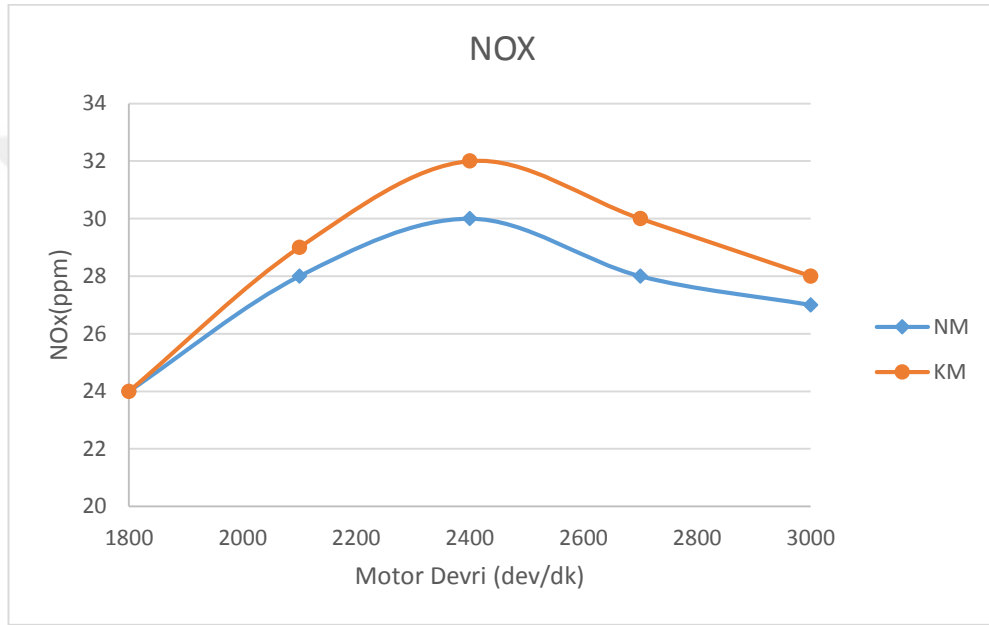
%20,55 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Grafikte görüldüğü gibi ÇME yakıtı ile duman emisyonlarında, dizel yakıtı kullanımına göre tüm devirlerde önemli düşüşler olduğu görülmektedir. Motor devir sayısı arttıkça, yanma kalitesi artarak duman koyuluğu azalmaktadır. ÇME yakıtı ile duman emisyonunda azalma, ÇME 'nin içerisinde bulunan oksijen nedeni ile yakıtın zengin karışım bölgesinde daha verimli şekilde yanması ile açıklanabilir. Dizel yakıt kullanımı ile duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana nedeni olarak da, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşikler gösterilebilir. Metil esterin yok denecek kadar az aromatik ve sülfür içermesi is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır [53]. Normal motora kaplama yapılması ile is oluşumunda düşüş gözlenir.

D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %20 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %5,05 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %50 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %10,22 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. D2 yakıtının kullanıldığı KDM ile %100 ÇME yakıtının kullanıldığı KDM arasında %15,7 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Dizel motorlarda oluşan difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin oksijenle tepkimeye girmesi, karbonla tepkimeye girmesinden daha karardır. Bu durumda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içerisindeki hidrojen molekülleri hızlı bir şekilde oksijenle tepkimeye girmekte ve geriye kalan karbonlar yeterli oksijen bulamadıklarından yanamayarak is partikülleri şeklinde atmosfere atılmaktadır. İis bu tepkimelerin sonucunda meydana gelen katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen Hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir [52]. Grafik incelendiğinde kaplanmış ve kaplanmamış motorlar için düşük devirlerde duman yoğunluğunun düşük çıktığı görülmektedir. Düşük devirlerde yanma odasındaki hava hareketliliğinin ve yanma odası sıcaklığının düşük olmasından dolayı bu durum meydana gelmektedir. Plazma sprej kaplamanın temel işlevi ısı kayıplarını azaltarak termal verimliliği arttırmaktır. Plazma sprej kaplamanın ısı yalıtımı özelliği sayesinde kaplanmış piston ve supaplarla daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır. Kaplanmış motorlar içerisinde meydana gelen bu yüksek sıcaklığın duman yoğunluğu üzerinde olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Uygulanan kaplamanın is oluşumu üzerinde önemli etkiye sahip olan sıcaklık, tepkime zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği düşünülmektedir. İis oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları normal dizel motorda görülmüştür. İis oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.3. Benzinli Motor Deney Sonuçları

6.3.1. NO_x Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyon değeri yanma odası sıcaklığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin NO_x grafiği Şekil 6.15. de gösterilmiştir.

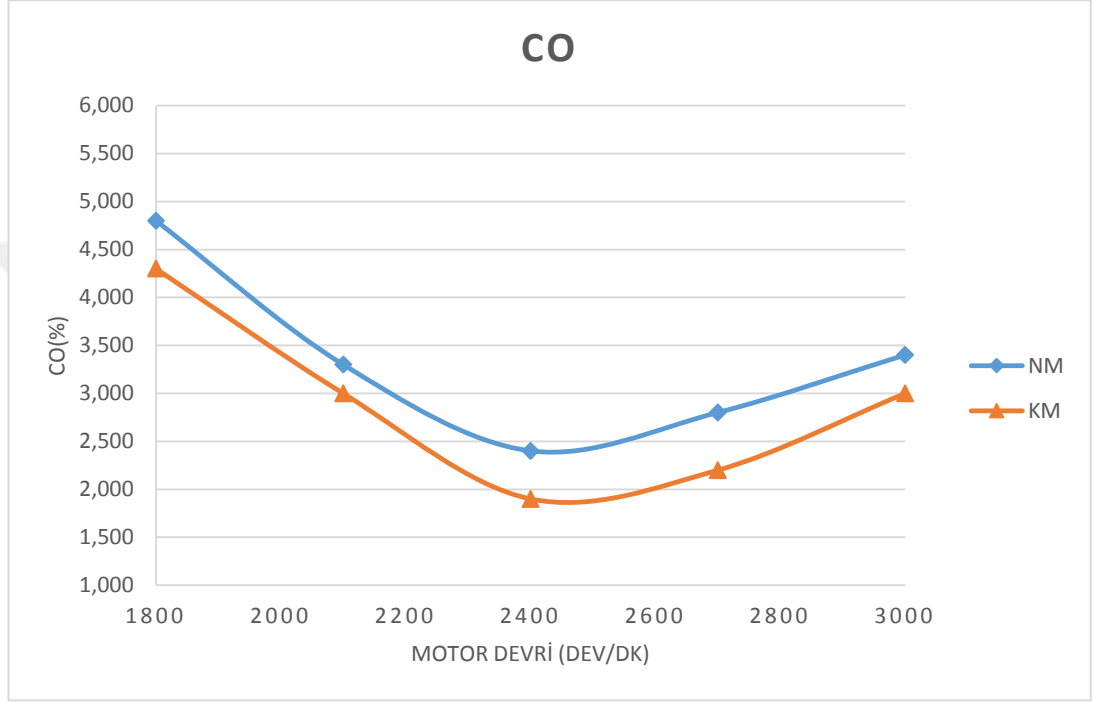


Şekil 6.15. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin NO_x grafiği

Düşük devirlerde motor sıcaklığı istenilen düzeyde olmadığı için hem benzinli kaplanmış motorda hem de benzinli normal motorda NO_x miktarları düşüktür. Termal bariyer kaplama ile ısı artışı olacağından normal benzinli motora göre kaplanmış benzinli motorda ısı artışı görülür buda kaplanmış benzinli motorda daha çok NO_x miktarı olduğu düşünülmektedir. Kaplanmış benzinli motorun NO_x miktarı normal benzinli motordaki NO_x miktarına oranla % 4,22 artış gösterir.

6.3.2. CO Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda emisyon verilerinin bir başka başlığı da CO parametresidir. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO grafiği Şekil 6.16. da gösterilmiştir.

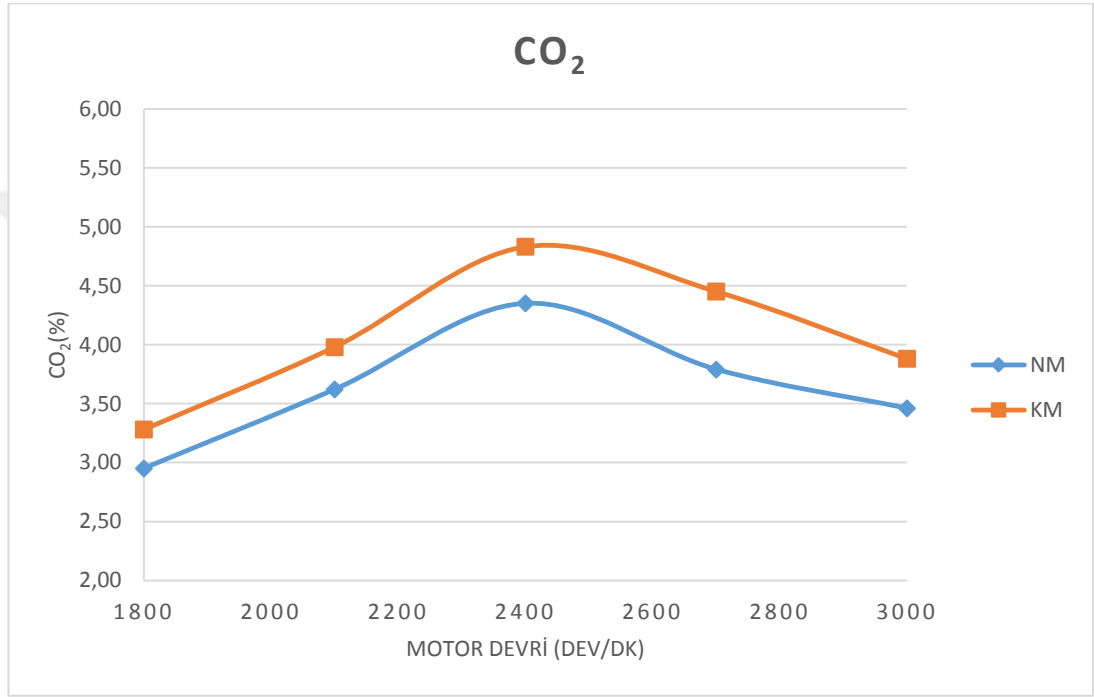


Şekil 6.16. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO grafiği

Benzinli motorlarda yanma tepkimesi sonrasında CO oluşumunun temel sebebi hava / yakıt oranının düşük olması ve eksik yanma olayının meydana gelmesidir [36]. Benzinli motorlarda düşük devirlerde CO oranı fazladır, orta devirlere doğru CO oranı azalır, orta devirlerin üstündeki devirlerde yanma için yeterli sürenin olmaması ve volümetrik verimin düşmesi CO miktarının artmasının nedenidir [37]. Normal motorda yanma sonucu oluşan CO miktarı kaplanmış motorda oluşan CO miktarından fazladır. Bu durumu kaplamanın yanmaya olumlu etkisiyle yanma esnasında CO'lerin CO₂ 'e dönüşmesi ile açıklayabiliriz. Kaplanmış benzinli motorun CO miktarı normal benzinli motordaki CO miktarına oranla % 14,71 düşüş gösterir.

6.3.3. CO₂ Emisyonlarının Karşılaştırılması

İçten yanmalı motorlarda düşük devirlerde yanmanın istenilen düzeyde gerçekleşmemesi ve silindir sıcaklığının düşük olması sebebiyle CO₂ miktarı azdır. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO₂ grafiği Şekil 6.17. da gösterilmiştir.

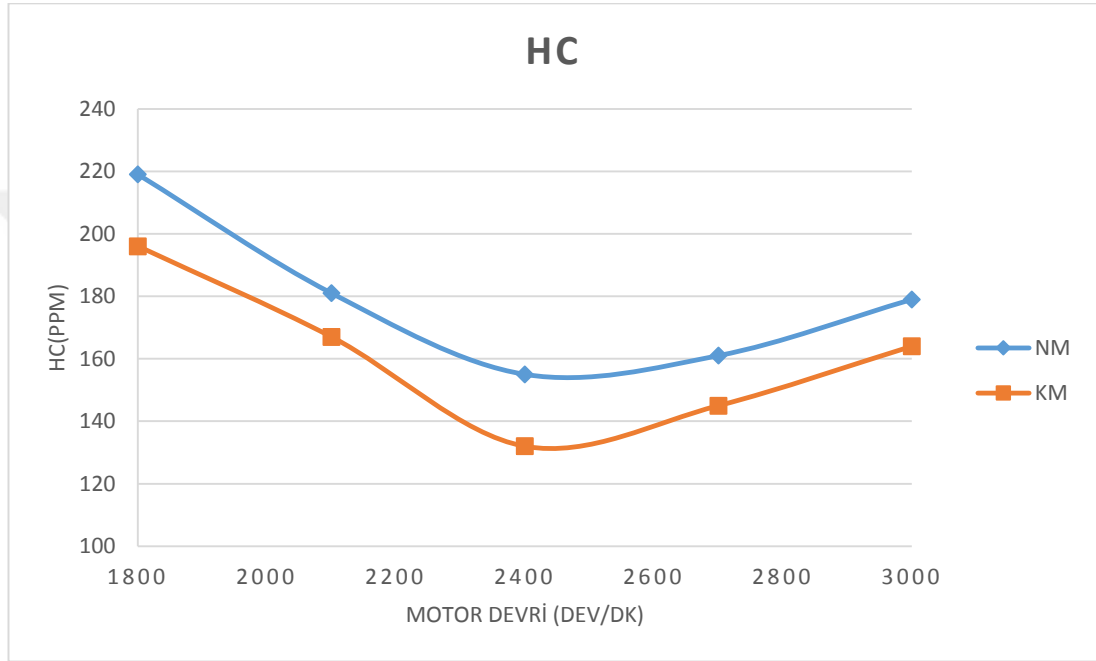


Şekil 6.17. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin CO₂ grafiği

Benzinli motorlarda orta devirlerde yanmanın optimum değere gelmesi CO₂ miktarının orta devirlerde en üst seviyeyi görmesinin nedenidir. Bunun sebebi motorda orta devirlerde yüksek oranda O₂ bulunması ve bu O₂'lerin CO ile tepkimeye girmesi CO₂ miktarında artış meydana getirir. Benzinli motorlarda yüksek devirlere çıkıldıkça yakıt karışımı zenginleşmekte ve CO₂ oranı düşmektedir. Kaplama sonucunda motor yanma verimi artmış CO miktarı azalmış ve CO₂ miktarı artmıştır . Kaplanmış benzinli motorun CO₂ miktarı normal benzinli motordaki CO₂ miktarına oranla % 12,34 artış gösterir.

6.3.4. HC Emisyonlarının Karşılaştırılması

Benzinli motorlarda stokiyometrik yanmanın olmaması bir başka ifade ile yanmanın optimum seviyede gerçekleşmemesi sonucunda HC oranları artar . Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin HC grafiği Şekil 6.18. de gösterilmiştir.



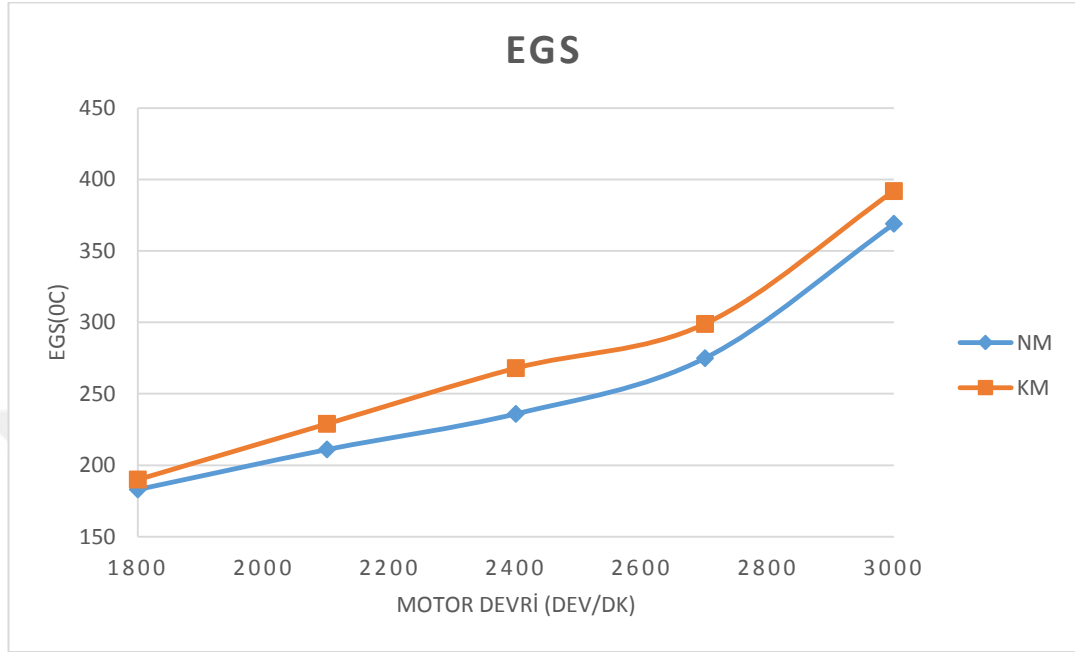
Şekil 6.18. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin HC grafiği

Benzinli motorlarda yüksek devirlerde yanma için yeterli sürenin olmaması ve volümetrik verimin düşük olması nedeniyle orta devirlere oranla HC değerlerinde artış görülür. Benzinli motara kaplama işlemi yapıldıktan sonra ise yanma veriminde oluşan iyileşme ve ısı kaybının azalması neticesinde HC oranlarında düşüş görülür. Kaplanmış benzinli motorun HC miktarı normal benzinli motordaki HC miktarına oranla % 10,28 düşüş gösterir.

6.3.5. EGS Değerlerinin Karşılaştırılması

Egzoz gaz sıcaklığı farklı devir periyotlarına göre farklı değerler almaktadır. Devir sayısının minimumdan maksimuma doğru artışında doğru orantılı olarak EGS de artar.

Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin EGS grafiği Şekil 6.19. da gösterilmiştir.

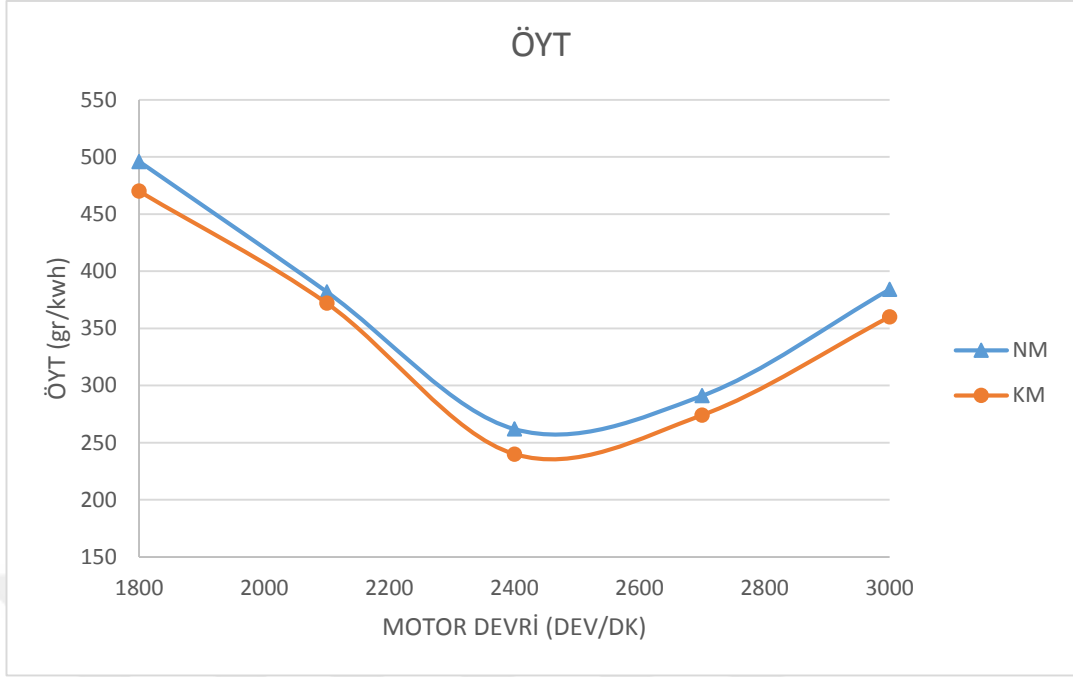


Şekil 6.19. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin EGS grafiği

Benzinli motorlarda yüksek devirlerde yanma odasındaki yakıt miktarının artışı ve yanma neticesinde ortaya çıkan ısıнын artması EGS değerlerinde artışa sebep olur. Benzinli motorlara kaplama işlemi uygulandıktan sonra normal motora oranlara EGS değerlerinde artış görülür. Bunun sebebi yanma veriminin artması ve yanma sonucu ısı kaybının azalması olarak açıklanabilir. Kaplanmış benzinli motorun EGS değeri normal benzinli motordaki EGS değerine oranla % 8,18 artış gösterir.

6.3.6. ÖYT Değerlerinin Karşılaştırılması

Benzinli motorlarda düşük devir periyotlarında ÖYT miktarı fazladır, bunun temel sebebi motor gücünün düşük olması ve yanma veriminin istenilen düzeyde olmamasıdır. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin ÖYT grafiği Şekil 6.20. de gösterilmiştir.



Şekil 6.20. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin ÖYT grafiği

Benzinli motorlarda orta devirlerden yüksek devirlere çıkınca ÖYT değerleri artar bunun sebebi yakıtların yanması için yeterli zaman aralığının olmaması ile açıklanabilir. Termal bariyer kaplama ile kaplanmış benzinli motorda normal benzinli motora oranla ÖYT miktarında azalma görülür. Kaplanmış benzinli motorun ÖYT değeri normal benzinli motordaki ÖYT değerine oranla % 5,67 düşüş gösterir.

6.4. Titreşim Sonuçlarının Analizi

İçten yanmalı motorların ürettiği titreşimlerin azaltılması ve yalıtılması içten yanmalı motorlarla tahrik edilen taşıtların konforu, kullanışlılığı, yolcuların ve sürücülerin can güvenliği, taşıtların ömrü ve çevre açısından önem arz etmektedir. Son yıllarda sürücü ve yolculara yansıyan titreşimlerin sınırlandırılmasına yönelik bazı standartların da ortaya çıktığı görülmektedir [37]. İçten yanmalı motor titreşimlerinin tamamen giderilebilmesi mümkün olmamakla birlikte, tasarım ve geliştirme aşamasında alınacak önlemlerle azaltılması mümkündür [38]. Bu çalışmada dizel motor ve benzinli motor olarak iki ana başlık altında titreşim incelenmiştir. Dizel motor deneylerinde aspir ve çitlembik bitkisel yağlarından üretilen yakıtlar kullanılmıştır. Titreşim analizlerinde benzinli ve dizel motorların termal bariyer kaplama yapılmış parametreleri ve normal kaplanmamış motor parametreleri bir

grafik üzerinde yorumlanmıştır. Bu çalışmada titreşim ölçer aleti olarak fluke 805 vibration cihazı kullanılmıştır. Fluke 805 vibration cihazı Şekil 6.21. de gösterilmiştir.

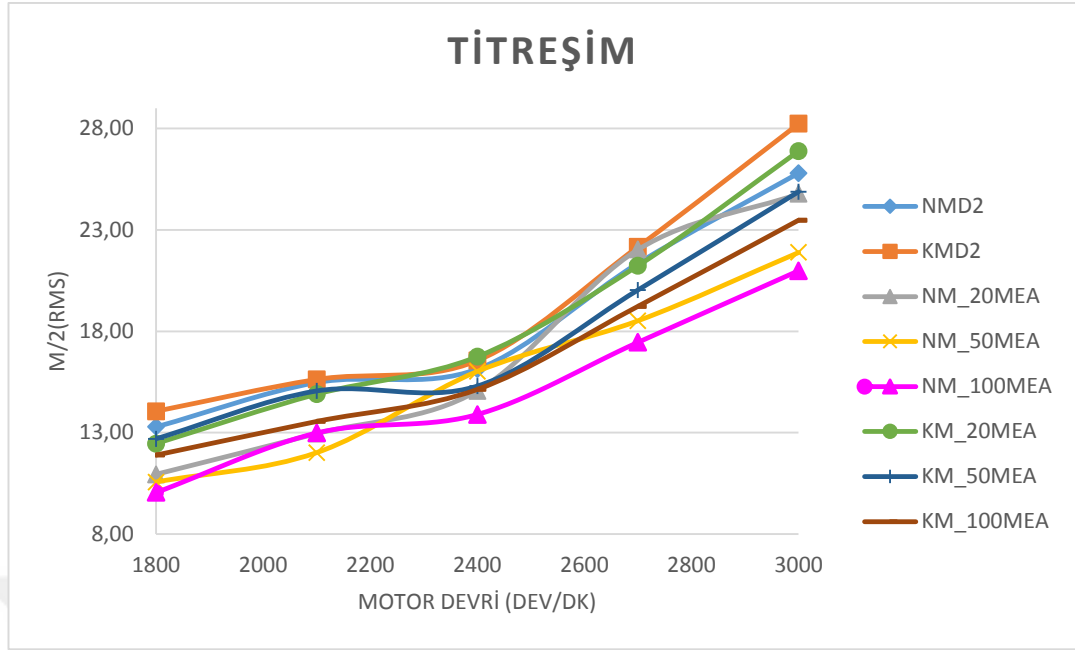


Şekil 6.21. Fluke 805 vibration cihazı

6.4.1. Dizel Motorlarda Titreşim sonuçları analizi

6.4.1.1. Aspir Yakıtının Kullanıldığı Titreşim analizleri

Bitkisel yağlardan üretilen biyoyakıtların setan sayısının yüksek olması nedeniyle tutuşma gecikmesi kısılmakta ve bu süre içerisinde buharlaşan yakıt miktarı azalmaktadır. Bunun etkisiyle yanma sonu basıncının düşmesi, yanma kalitesine bağlı olan titreşim seviyesini azalttığı düşünülmektedir. Aspir den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin titreşim grafiği Şekil 6.22. de gösterilmiştir.



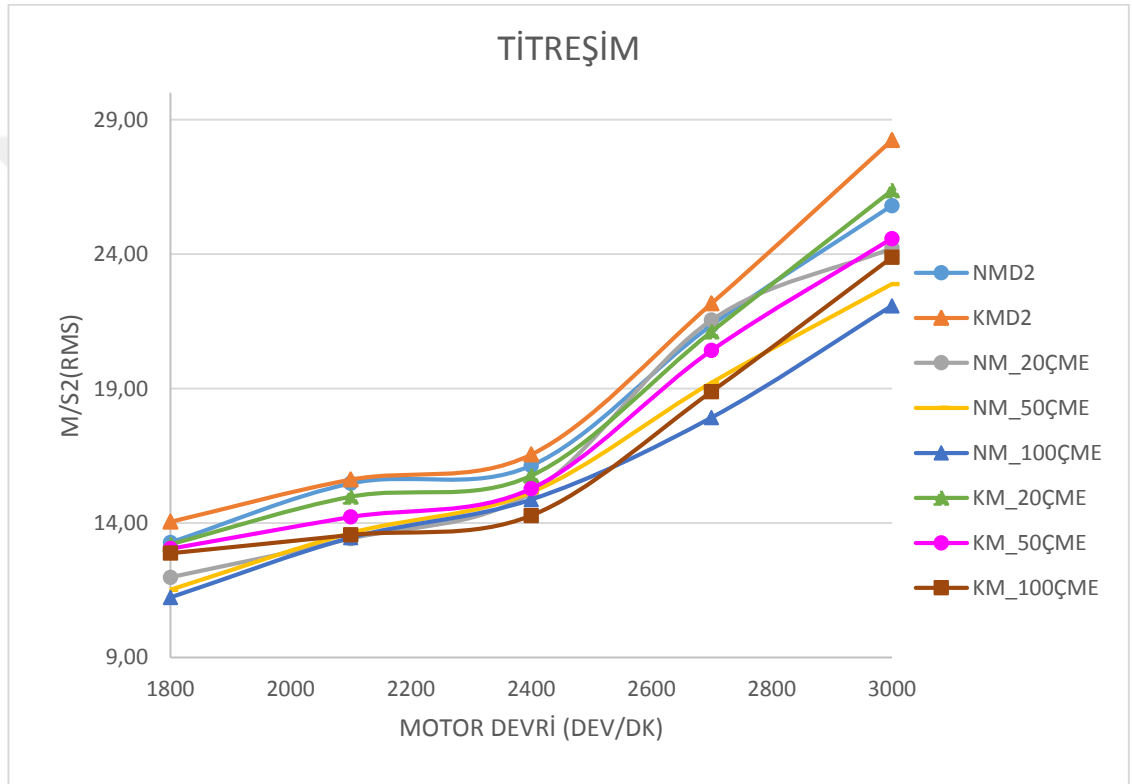
Şekil 6.22. Aspir biyodizelinin kullanıldığı motorların titreşim grafiği

Normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile titreşim oluşumunda azalma meydana gelmiştir. Normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %8,28 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 14,4 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %18,28 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal motora kaplama yapılması ile titreşim oranlarında düşüş gözlenmiştir. AME yakıtının kullanımıyla D₂ yakıtının kullanımında oluşan titreşim oranlarındaki düşüş, AME yakıtının toplam yanma veriminin dizel yakıtına göre düşük olması ve dolayısıyla silindir içi basıncın düşmesi motor parçaları (piston, biyel vb.) üzerinde oluşan titreşimin azalmasıyla açıklanabilir.

Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %4,79 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %8,5 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %13,46 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Titreşim oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış dizel motorda görülmüştür. Titreşim oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 aspir biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda görülmüştür.

6.4.1.2. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı Titreşim analizleri

İçten yanmalı motorlarda oluşan titreşimlerin temel sebepleri; yanma sonucu oluşan değişken gaz kuvvetleri, ivmeli hareket yapan motor parçalarının balanssızlığı, volanın meydana getirdiği merkezkaç kuvveti ve supap mekanizmasındaki geçici rejim etkileşimleridir[39,40]. Çitlembik den elde edilen yakıtla yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin titreşim grafiği Şekil 6.23. de gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Çitlembik biyodizelinin kullanıldığı motorların titreşim grafiği

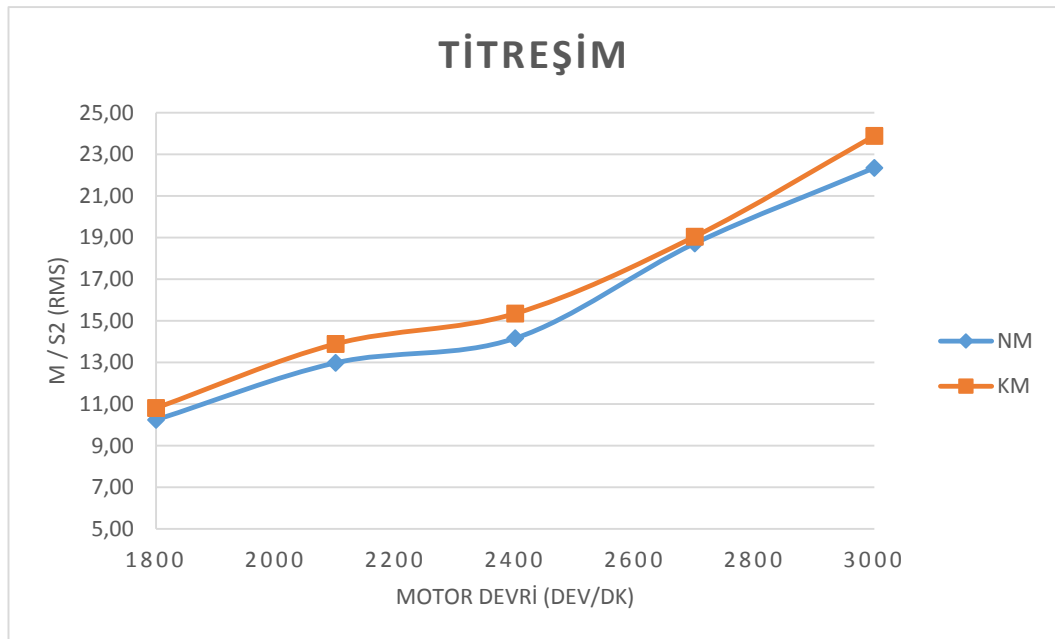
Normal dizel yakıtına oranla Çitlembik biyodizelinin kullanımı ile titreşim oluşumunda azalma meydana gelmiştir. Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %6,91 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 10,52 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %13,37 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Normal motora kaplama yapılması ile titreşim azalış oranlarında düşüş gözlenir. ÇME yakıtının kullanımıyla D₂ yakıtının kullanımında oluşan titreşim değerlerindeki düşüş. ÇME yakıtının atomizasyonunun tam sağlanamaması ve

ateşleme gecikmesinin oluşması motor parçaları üzerinde oluşan titreşimin azalmasıyla açıklanabilir.

Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında % 5.24 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %8,91 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %13,09 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Titreşim oluşumunun en yüksek olduğu deney şartları kaplanmış dizel motorda görülmüştür. Titreşim oluşumunun en düşük olduğu deney şartları ise %100 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı normal dizel motorda görülmüştür.

6.4.2. Benzinli Motor Titreşim Deney Sonuçları

Titreşim büyüklüğü motor devrine, yakıt türüne ve yakıt enjeksiyon yöntemine bağlıdır. Motordaki yanma işleminden kaynaklanan gürültü ve titreşim, motor parçalarının aşınması ve ömrü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Enjeksiyon zamanlaması, enjektör püskürtmesi, yakıt miktarı ve yakıt tipi motor bloğu titreşimine etki eden unsurlardır [41]. Kaplanmış benzinli motor ve normal benzinli motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin titreşim grafiği Şekil 6.24. de gösterilmiştir.



Şekil 6.24. KM ve NM motorda yapılan deneyler sonrasında oluşan verilerin titreşim grafiği

Benzinli motorlarda devrin artmasıyla yanma odasındaki zengin yakıt karışımının miktarının artışı ve yanma neticesinde ortaya çıkan silindir içi pik basıncın yükselmesiyle titreşim değerlerinde artış meydana gelir. Benzinli motorlara kaplama işlemi uygulandıktan sonra normal motora oranlara titreşim değerlerinde artış görülmüştür. Bunun sebebi yanma veriminin artması ve yanma sonucu ısı kaybının azalması olarak açıklanabilir. Kaplanmış benzinli motorun titreşim değeri normal benzinli motordaki EGS değerine oranla % 5,93 artış gösterir.

6.5. Kızıl Ötesi Termografi Sonuçlarının Analizi

Bu çalışmada termografi kızılötesi yöntemi DALİ LT3 termal kamerasından alınan görüntülerin analizi ile yapılmıştır. DALİ LT3 termal kameranın görüntüsü Şekil 6.25. de gösterilmiştir.



Şekil 6.25. DALİ LT3 termal kameranın görüntüsü

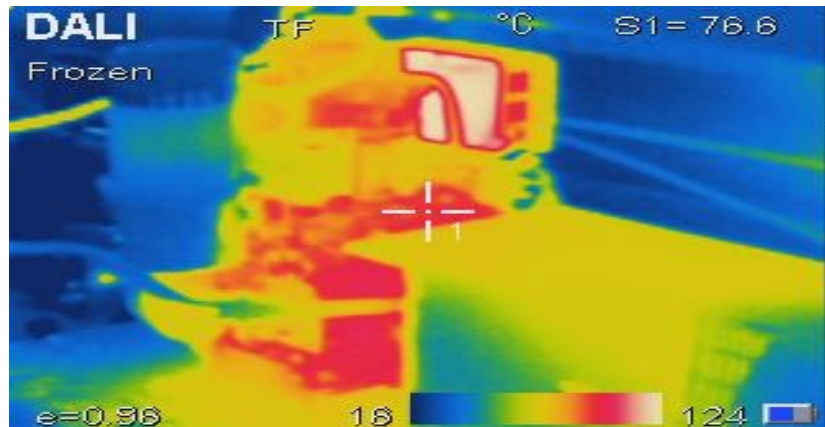
Termal kamera ile motor bloğunun cidar sıcaklığının ölçülmesi için sırasıyla normal dizel motor , %20 aspir yakıtının kullanıldığı NM ,% 50 aspir yakıtının kullanıldığı NM , %100 aspir yakıtının kullanıldığı NM, %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel

motor, %50 aspir yakıtının kullanıldığı KM ,%100 aspir yakıtının kullanılmış olduğu KM, , %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı NM ,% 50 çitlembik yakıtının kullanıldığı NM , %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı NM, %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor, %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı KM ,%100 çitlembik yakıtının kullanılmış olduğu KM son olarak da benzinli normal motor ve benzinli kaplanmış motorun termal görüntüleri alınmıştır. Görüntülerin alındığı deney koşulları yarım yükte, orta devirde ve motorların çalışmaya başladıktan 20 dk. Sonra çalışır durumda iken piston ve supapların bulunduğu motor bloğunun sabit bir noktası belirlenerek ayrı ayrı motor bloğunun cidar sıcaklığının gösterildiği görüntüleri alınmıştır.

6.5.1 Dizel Motorların Termal Görüntüleri

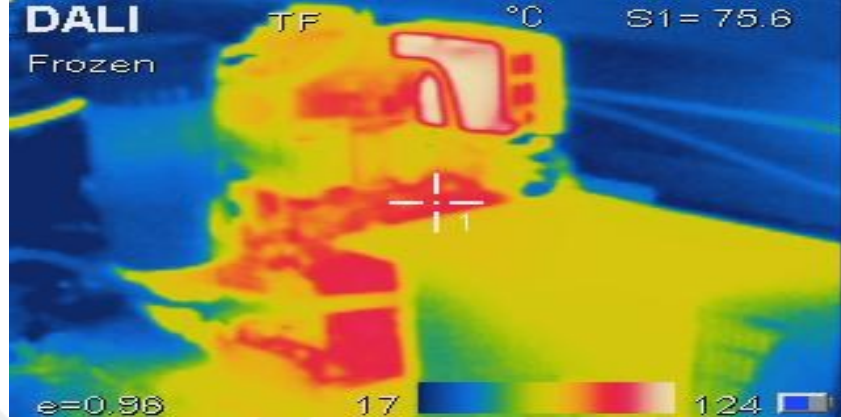
6.5.1.1. Aspir Yakıtının Kullanıldığı Motorların Termal görüntüleri

Dizel motorlarda yakıt silindir içerisine püskürtüldüğü zaman sıcak hava ile karışıp parçalanarak daha küçük hidrokarbonlara ayrılarak hızla buharlaşırken difüzyon alev yapısı oluşmaya başlar. Parçalanmış yakıtın hava ile birleşmesi devam ederken ortama bıraktığı reaksiyon bölgesinin sıcaklığı 1800 K civarına yükselmekte ve yakıt enjeksiyon haznesinin diğer köşesine taşınırken radyasyon ve konveksiyon ısı transferi ile sıcaklığı artmaktadır. Ön karışım yanma ve difüzyon alevi çevresinde zengin bölge oluşmakta bu nedenle bu bölgelerde yakıtın tamamen yanabilmesi için yeterli derece oksijen bulunmamaktadır[42]. Yanma esnasında oluşan ısının yansımaları motor bloğunun cidar sıcaklığında termal olarak değişime sebep olur. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü Şekil 6.26. da gösterilmiştir.



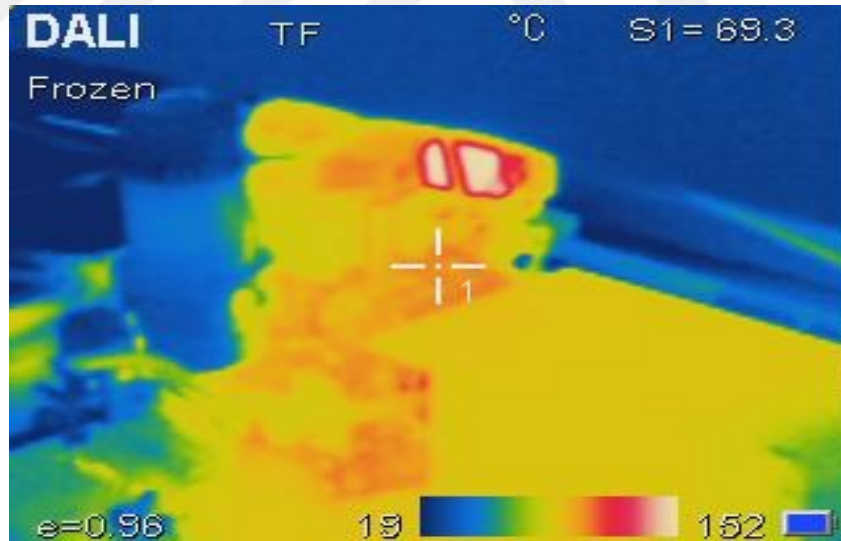
Şekil 6.26. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü

Kaplanmış dizel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.27. gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Kaplanmış dizel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Kaplanmış dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.28. de gösterilmiştir.



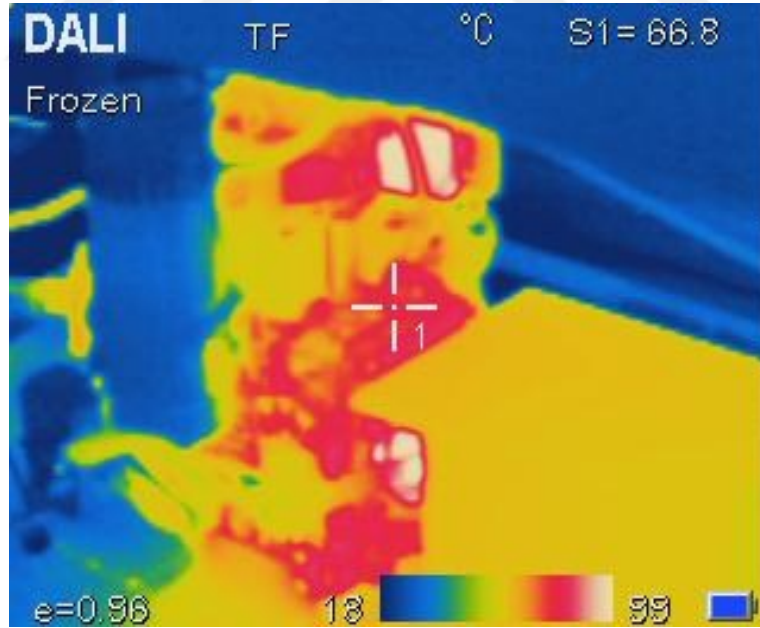
Şekil 6.28. Kaplanmış dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Kaplanmış dizel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.29. da gösterilmiştir.



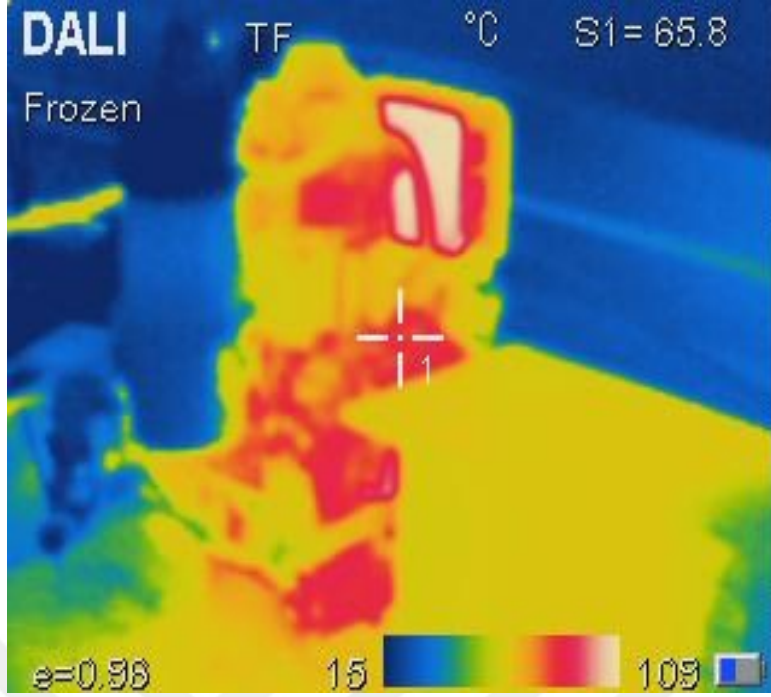
Şekil 6.29. Kaplanmış diesel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Normal diesel motorun kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.30. da gösterilmiştir.



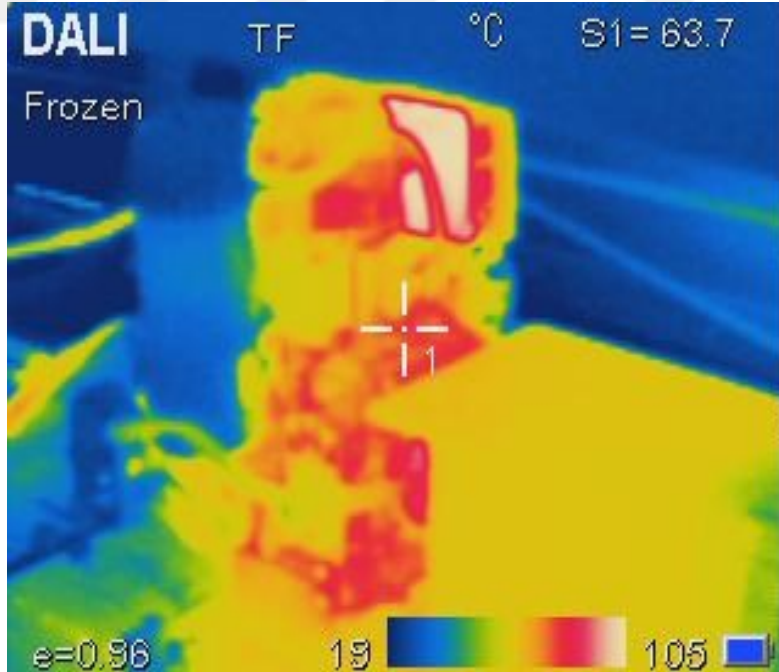
Şekil 6.30. Normal diesel motorun kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Normal diesel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.31.de gösterilmiştir.



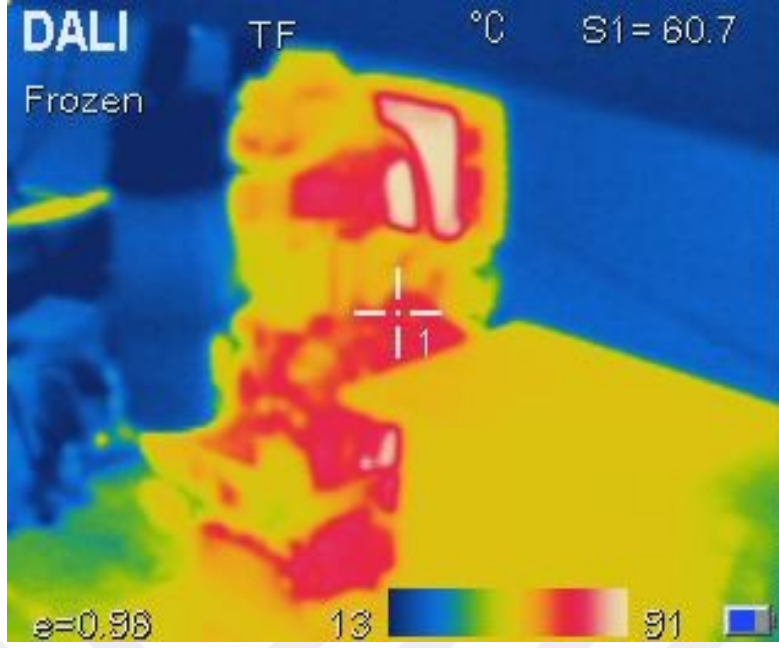
Şekil 6.31. Normal dizel motorda %20 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Normal dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.32. de gösterilmiştir.



Şekil 6.32. Normal dizel motorda %50 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Normal dizel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.33. de gösterilmiştir.

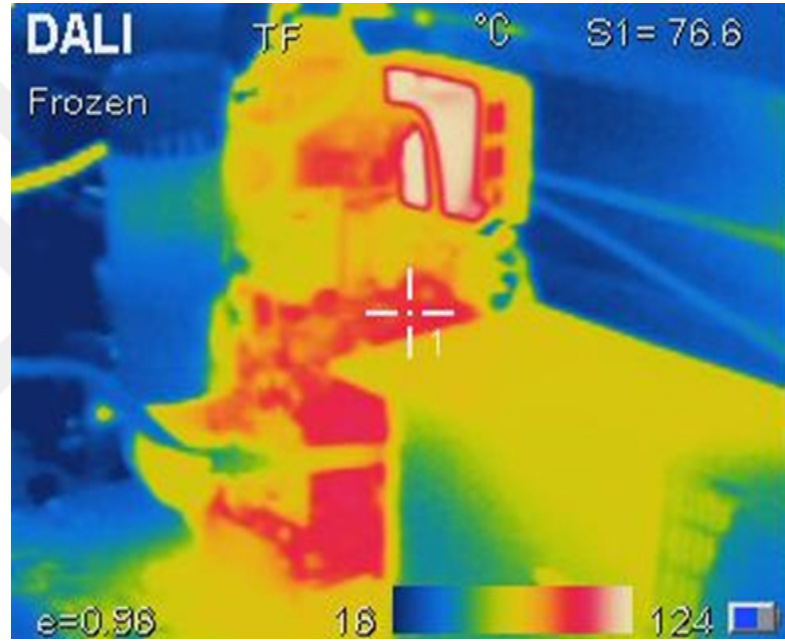


Şekil 6.33. Normal dizel motorda %100 aspir yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Aspir biyodizel yakıtıyla yapılan deney termal görüntüler yoluyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, normal dizel yakıtına oranla aspir biyodizelinin kullanımı ile motor bloğu cidar sıcaklığında azalma meydana gelmiştir. Normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %1,49 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 4,64 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %7,63 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal motora kaplama yapılması oluşan değişimler ise; Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %1,31 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %50 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %9,53 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %11,35 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Termal görüntülerde motor bloğu cidar sıcaklığı farkının en yüksek olduğu deney şartları %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür. Termal görüntülerde motor bloğu cidar sıcaklığı farkının en düşük olduğu deney şartları ise %20 aspir biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

6.5.1.2. Çitlembik Yakıtının Kullanıldığı Motorların Termal görüntüleri

Bitkisel kaynaklı bir biyodizel olan çitlembik yağından elde edilen yakıtın viskozitesi normal dizel yakıtı oranla yüksektir. Viskozite seviyesinin yüksek olması yakıt püskürtülmesinde olumsuzluklar oluşturur ve yakıt atomizasyonu tam anlamıyla sağlanamaz. Yakıtın tam atomize olmaması yanma verimini düşürür. Yanma esnasında oluşan ısının yansımaları motor bloğunun cidar sıcaklığında termal olarak değişime sebep olur. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü Şekil 6.34. de gösterilmiştir.



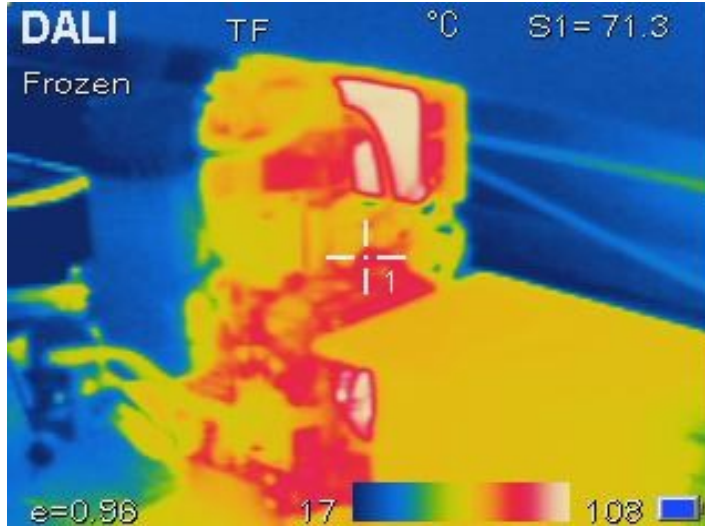
Şekil 6.34. Kaplanmış dizel motorun termal görüntüsü

Kaplanmış dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.35. de gösterilmiştir.



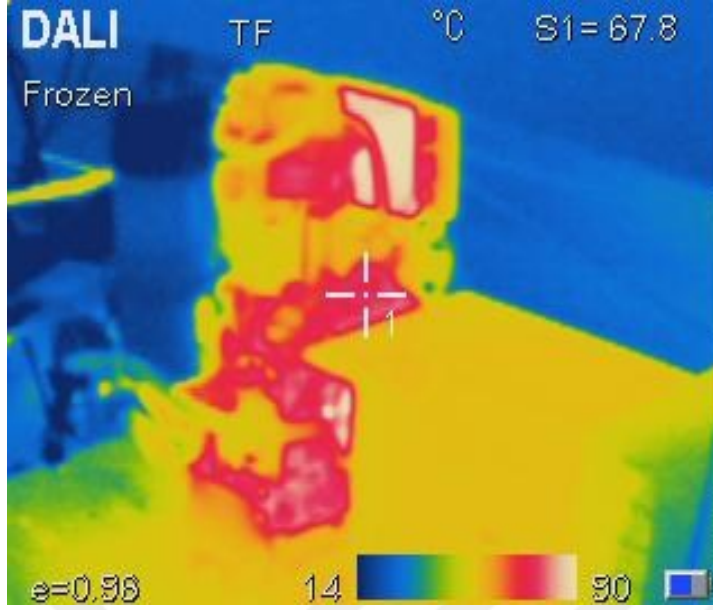
Şekil 6.35. Kaplanmış dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Kaplanmış dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.36. da gösterilmiştir.



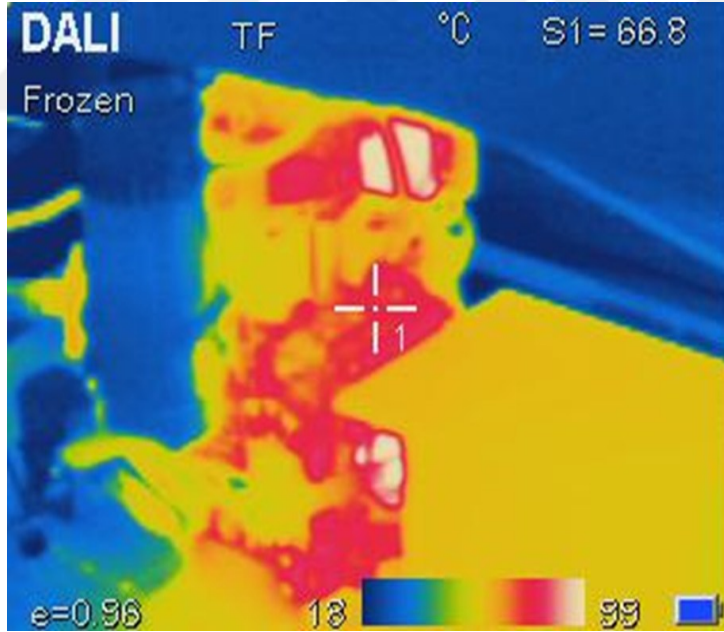
Şekil 6.36. Kaplanmış dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Kaplanmış dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.37. de gösterilmiştir.



Şekil 6.37. Kaplanmış dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı termal görüntü

Normal dizel motorun kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.38. de gösterilmiştir.



Şekil 6.38. Normal dizel motorun kullanıldığı deneyin termal analizi

Normal dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.39. da gösterilmiştir.



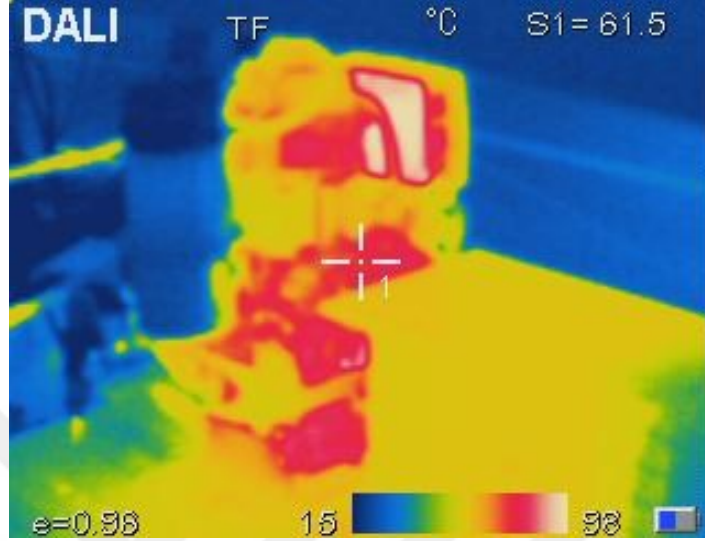
Şekil 6.39. Normal dizel motorda %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Normal dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.40. da gösterilmiştir.



Şekil 6.40. Normal dizel motorda %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Normal dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal analizi Şekil 6.41. de gösterilmiştir.

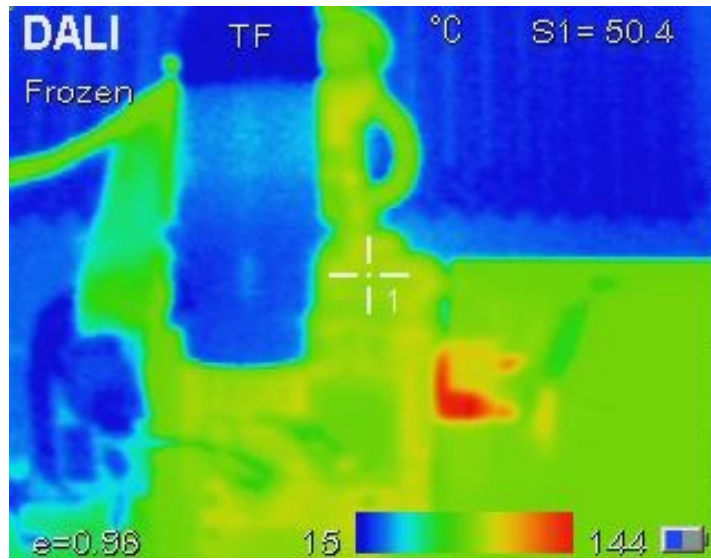


Şekil 6.41. Normal dizel motorda %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı deneyin termal görüntüsü

Çitlembik biyodizel yakıtıyla yapılan deney termal görüntüler yoluyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, Normal dizel yakıtına oranla çitlembik biyodizelinin kullanımı ile motor bloğu cidar sıcaklığında azalma meydana gelmiştir. Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %2.54 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 5.68 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %7,9 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Normal motora kaplama yapılması oluşan değişimler ise; Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %3,39 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %50 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %7,31 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %11,4 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Termal görüntülerde motor bloğu cidar sıcaklığı farkının en yüksek olduğu deney şartları %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür. Termal görüntülerde motor bloğu cidar sıcaklığı farkının en düşük olduğu deney şartları ise %20 çitlembik biyodizelinin kullanıldığı kaplanmış dizel motorda görülmüştür.

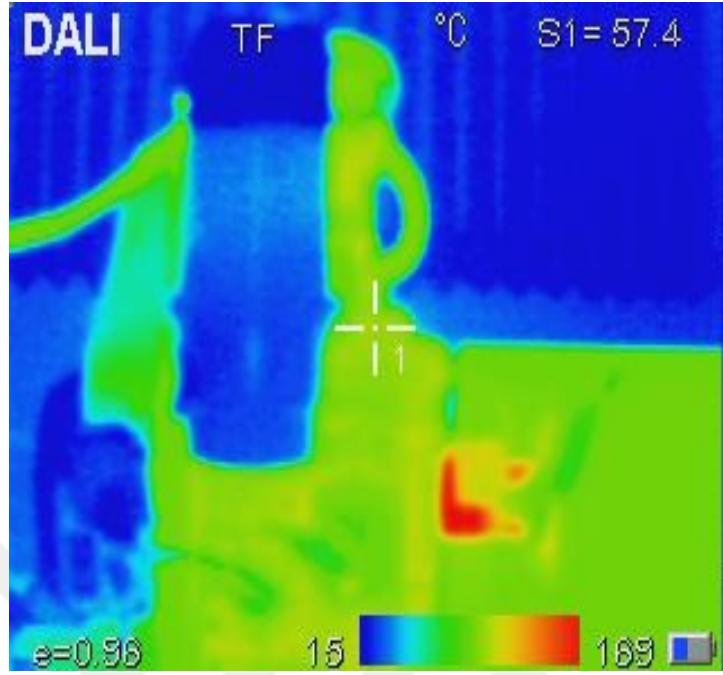
6.5.2. Benzinli Motorların Termal Görüntüleri

Otomotiv alanında kullanılan taşıt motorlarının geliştirilmesinde yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, motor veriminin artırılması, gelişmiş sürtünme ve aşınma özellikleri gibi talepler motor malzemeleri üzerindeki araştırmaların artmasına sebep olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda elde edilen toplam enerjinin sadece %30-40 kadarı faydalı enerjiye dönüşmektedir. Geriye kalan miktar ise motor parçalarını aşırı ısıdan korumak amacıyla soğutma sistemine ve egzoz gazları yardımıyla dış ortama yani atmosfere atılmaktadır. Yukarıda bahsedilen bu kayıp enerjiyi faydalı enerjiye dönüştürmek için genişleme zamanındaki faydalı işi artırmak, egzoz ve soğutma sistemine giden ısıları azaltmakla gerçekleştirilebilir. Bunun sağlanması için yanma odasını oluşturan parçaların, ısı iletkenliği düşük, yüksek çalışma sıcaklığına dayanabilen bir malzemeden imal edilmesi gerekir. Motorlarda ısı kayıplarını azaltmak amacıyla yanma odası, silindir yüzeyi ve diğer parçaların seramik bir malzeme ile kaplanması veya seramikten imal edilmesi önemli bir gelişme göstermektedir. Kullanılan bu seramik malzemeler; yüksek sertlik ve aşınma mukavemeti, yüksek ergime sıcaklığı, iyi bir korozyon direnci ve düşük ısı iletkenlik gibi özelliklerinden dolayı yanma odası kaplamalarında önemli bir ölçüde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın son aşamasında kaplanmış benzinli motor ile normal benzinli motorun termal görüntüleri incelenmiştir. Normal benzinli motorun termal görüntüsü Şekil 6.42. de gösterilmiştir.



Şekil 6.42. Normal benzinli motorun termal görüntüsü

Kaplanmış benzinli motorun termal görüntüsü Şekil 6.43. de gösterilmiştir.



Şekil 6.43. Kaplanmış benzinli motorun termal görüntüsü

Benzinli motorun kaplanmasıyla yanma odasında ısı veriminin artması, dışa aktarılan ısı enerjisinin azalması benzinli motorun bloğunun cidar sıcaklığında artış sağlamıştır. Normal benzinli motordan alınan cidar sıcaklığı ile kaplanmış benzinli motordan alınan cidar sıcaklığında % 14.68 'lik artış görülmüştür.

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında dizel ve benzinli motorun performansını ve çalışma verimliliğinin arttırmak için TBK yapılmıştır. Dizel ve benzinli motorun KM ve NM olarak ayrı ayrı egzoz emisyon ve performans değerleri ölçülmüştür. Bitkisel kaynaklı aspir ve çitlembik yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle biyoyakıt üretilip ayrı ayrı %20 ,%50 ,%100 dizel yakıtıyla karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar dizel motorlarda KM VE NM olarak ayrı ayrı değerlendirilmek üzere egzoz emisyon ve performans analizleri yapılmıştır.

Son olarak bütün test motorlarından elde edilen sonuçlara göre ayrı ayrı kestirimci bakım yöntemlerinin ana başlıklarından olan titreşim analizleri ve termal görüntü analizleri yapılmış sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre;

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %6,00 oranında NO_x artışı olmuştur. Bu sonuç NO_x in aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %19,02 NO_x artışı olmuştur. Bu sonuç NO_x in aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %23,39 CO oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç CO' nun aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %9,08 CO oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç CO' nun aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 4,35 CO₂ artışı olmuştur. Bu sonuç CO₂ ' in aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %11,49 CO₂ artışı olmuştur. Bu sonuç CO₂ ' in aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek artış oranıdır.

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %24,32 HC oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç HC' un aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %7,72 HC oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç HC' un aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 2,08 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç EGS değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %6,12 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç EGS değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %14,44 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Bu sonuç ÖYT değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %2,4 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Bu sonuç ÖYT değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %25,92 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç is değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %6,86 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç is değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %8,09 NO_x artışı olmuştur. Bu sonuç NO_x in çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %18,84 NO_x artışı olmuştur. Bu sonuç NO_x in çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %23,48 CO oranında düşüş olmuştur Bu sonuç CO' nun çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %9,99 CO oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç CO' nun çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 5,83 CO₂ artışı olmuştur. Bu sonuç CO₂' in çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %12,67 CO₂ artışı olmuştur. Bu sonuç CO₂' in çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %8,08 HC oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç HC' un çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %22,00 HC oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç HC' un çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %10,19 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç EGS değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %2,55 EGS değerlerinin oranında düşüş olmuştur. Bu sonuç EGS değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında % 7,16 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Bu sonuç ÖYT değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en düşük artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %18,63 ÖYT değerlerinin oranında artış olmuştur. Bu sonuç ÖYT değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek artış oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %20,55 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç is değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en yüksek düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %5,05 oranında is oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç is değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun NO_x miktarı normal benzinli motordaki NO_x miktarına oranla % 4,22 artış gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun CO miktarı normal benzinli motordaki CO miktarına oranla % 14,71 düşüş gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun CO₂ miktarı normal benzinli motordaki CO₂ miktarına oranla % 12,34 artış gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun HC miktarı normal benzinli motordaki HC miktarına oranla % 10,28 düşüş gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun EGS değeri normal benzinli motordaki EGS değerine oranla % 8,18 artış gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun ÖYT değeri normal benzinli motordaki ÖYT değerine oranla % 5,67 düşüş gösterir

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %18,28 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç titreşim değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en fazla düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %4,79 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç titreşim değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %13,37 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç titreşim değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en fazla düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında % 5.24 oranında titreşim oluşumunda düşüş olmuştur. Bu sonuç titreşim değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış benzinli motorun titreşim değeri normal benzinli motordaki titreşim değerine oranla % 5,93 artış gösterir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %20 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %1,31 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Bu sonuç motor bloğu cidar sıcaklığı değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 aspir yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %11,35 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Bu sonuç motor bloğu cidar sıcaklığı değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en fazla düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal dizel motor ile %20 çitlembik yakıtının kullanıldığı normal dizel motor arasında %2.54 oranında motor bloğu cidar sıcaklığında düşüş olmuştur. Bu sonuç motor bloğu cidar sıcaklığı değerinin çitlembik yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en az düşüş oranıdır.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Kaplanmış dizel motor ile %100 çitlembik yakıtının kullanıldığı kaplanmış dizel motor arasında %11,4 oranında motor bloğu cidar

sıcaklığında düşüş olmuştur. Bu sonuç motor bloğu cidar sıcaklığı değerinin aspir yakıtı ile yapılan deneylerde elde edilen en fazla düşüş oranıdır.

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda Normal benzinli motordan alınan cidar sıcaklığı ile kaplanmış benzinli motordan alınan cidar sıcaklığında % 14.68 'lik artış görülmüştür.



8. ÖNERİLER

İçten yanmalı motorlar üzerinde yapılan kaplama işlemleri ile motor performansını geliştirme, enerji verimliliğini sağlayarak yakıt tüketimini azaltma ve kirletici emisyonların azaltılması amaçlanmaktadır.

Yapılan deneysel çalışma ile içten yanmalı motorlara uygulanan farklı kaplama malzemeleri ve yöntemlerle motorların emisyon ve performans değerlerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Kestirimci bakım yöntemleri olan titreşim analizi ve termal görüntü analizi ile motorların farklı devir ve koşullarda motor üzerinde oluşan değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmaya ek olarak aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- ✓ Yanma odası elemanlarından piston ve supaplara ek olarak silindir gömleği ve silindir üst kapağı seramik malzemeler ile kaplanabilir.
- ✓ Motorlara farklı kaplama yöntemleri ve farklı kaplama malzemeleri uygulanabilir.
- ✓ Motor performans ve emisyon testlerine tabi tutulan bitkisel yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel yakıtıyla değişik oranlardaki karışımlarının uzun vadede motor parçaları üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.
- ✓ Biyodizel üretiminde farklı bitkisel yağlat kullanılabilir, bunlara motor performansını ve emisyonunu artırıcı ve düzenleyici katkı maddeleri eklenebilir.
- ✓ Motor cidar sıcaklığının belirlenmesi için yapılan termal görüntü analizleri, daha gelişmiş cihazlarla motor yanma odası sıcaklığı iç analizi yapılabilir.
- ✓ Motor deneylerinin süresi artırılarak kestirimci bakım analizinin uzun süreli analizleri sonuçları elde edilip motor ömrü ile ilgili tahminlerde bulunulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Roger, B., Luny, D., Douglas, J. 1984. Cummins Uncooled 250 Engine, SAE International Congress, Michigan.
- [2] Öğüt, H., Oğuz, H., “Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel 2.baskı ”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1-25 (2006).
- [3] Gürleyük, S. S. 2003. <http://www.arsiv.emo.org.tr/kartus01/sempozyumlar/yeksem>. Erişim Tarihi: 16.11.2005.
- [4] Davis, J.R., 2004. Introduction to thermal spray processing. Handbook Of Thermal Spray Technology Editor, Asm International and The Thermal Spray Society, 3-13, America.
- [5] Kharlamov, Y.A., 1986. Materials engineering forum detanation spraying of proctective coatings, Voroshilavgrad Machine Building Institute, Voroshilovgrad, U.S.S.R. 9 Sept.
- [6] Pawlowski, L., 2007. The Scienceand Engineering of Thermal Spray Coatings, John Wiley&Sons Second Edition.
- [7] Yüksek, E., Altuncu, E., Eker, G., ÜSTEL, F. 2005. Plazma Sprey Kaplama Yöntemi Ve Teknolojik Uygulamaları. 4th Powder Metalurgy Conference, 18-22, Sakarya, Türkiye.
- [8] Herman, H., and Shankar, N. R., 1987. Survivability of thermal barrier coatings. Materials Science & Engineering, Vol 88, pp 69-74, USA.
- [9] Bornstein, N., and Marcin, J., 1996. Pratt&Whitney thermal barrier coatings, Advanced Turbine Systems Annual Program Review, National Technical Information Service, 1-14, USA.
- [10] Stokes, J., 2003. The the oryand application of the HVOF thermal spray process. Doktora Tezi, Dublin City University Press, 27-28, Ireland.
- [11] Yenihayat, F., 1996. Seramik kaplamalarda kırılma tokluğunun sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 75, Ankara.
- [12] Chen, W.,Wu, X., Marple, B., Nagy, D., and Patnaik, P., 2007. TGO growth behaviour in TBC swith APS and HVOF bond coats. Surface&Coatings Technology.

- [13] Çelik, E., 1995. Plazma Sprey Tekniğiyle Üretilen Seramik Kaplamaların Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Metalurji ve Malzeme Müh., Eylül.
- [14] Wear Applications, engineered Materials Handbook, Ceramic and Gases, V. 2, pp: 973-977, 1987
- [15] Toptan, Ö., 2008. Geleneksel Seramikler, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları. [15] Trent, E.M., 1977. Metal Cutting, London.
- [16] <http://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-equipment/>, 15.6.2014.
- [17] http://www.hardmaterials.de/html/_crystal_structures.html, Crystal Structures of Hard Materials, 08.07.2014.
- [18] Tracey, V.A., 1992. Nickel in Hardmetals. Refractory Metals & Hard Materials, 11 p. 137-149.
- [19] Lide, D.R., 1998. Handbook of Chemistry and Physics (87 ed.), Boca Raton, FL: CRC Press. 4-52.
- [20] Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- [21] Understanding the S-O-S Oil Analysis Tests, <http://www.cat.com/cda/components/securedFile/displaySecuredFileServletSSP?field=214955&language=1&id=7> [17.09.2006]
- [22] Murphy, T., J. Understanding Ultrasonic Signal Analysis <http://www.sdnorthamerica.com/reliabilityweb.com/tutorials.htm> [18.04.2006]
- [23] Ultrasonic Testing of Gearboxes, <http://www.ctrlsys.com/library/applications/gearboxes-3.php> [26.09.2006]
- [24] Baykara, V.İ., “Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri
- [25] Orhan, S., “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı”, Akyarlı, A., “Biyodizelin yakıtın uluslararası standartlarda üretimi” Bioenerji Sempozyumu _zmir 2004 Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2002).

- [26] Ana, I., Carrapiso, A., & Garcia, C. (2000). Development in Lipid Analysis: Some New Extraction Techniques and in situ Transesterification” *Lipids*, 35:11, 1167-1177, 2000. *Lipids* , 1167-1177.
- [27] Fessenden, e. a. (2001). Gingko Biloba: A case report of herbal medicine and bleeding postoperatively from a laparoscopic cholecystectomy. s. 33.
- [28] Schumacher, L.G., 1997. 6V-92TA DDC Engine exhaust emission tests using metliyi ester, National SoyDiesel Development Board, U.S.A
- [29] Karahan,S., “Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin dizel Motorlara Etkisi” Ulusal Biyodizel Sunuşayı, Ankara 2006
- [30] Dengiz, T., (1990), Ağır Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen
- [31] Karabektas, M., 2002. “ Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımının motor performansına etkisi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya. Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] C. İlkiliç, S. Aydın, R. Behcet, and H. Aydın, “Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 3, pp. 356–362, 2011.
- [33] Xue J., Grift T.E., Hansen A.C., Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 15, 1098-1116, 2011.
- [34] Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan H. ve Mutlu, M., 1998. Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 13-14.
- [35] <http://www.mendeley.com/research/terebinth-oil-biodiesel-production-diesel-engine-application/>
- [36] Abdel-Rahman. A., 1998. On the emissions from internal-combustion engines:a reiew. *International Journal Of Energy Research , Int. J. Energy Res.*, 22, 483-513
- [37] Siefert, A., Pankoke, S., ve Wölfel, H.P., “Virtual Optimisation of Car Passenger Seats: Simulation of Static and Dynamic Effects on Drivers’ Seating Comfort”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 410-424, 2008.
- [38] Karabulut, H., Öztürk, E., Çınar, C., “Dynamic Modeling and Investigation of Vibrations of a Single Cylinder Four-Stroke Diesel Engine”, *J. Fac. Eng, Arch. Gazi Univ.*, Cilt 26, No 1, 173- 183, 2011.

- [39] Haagensohn, D., & Wiesenborn, D. (2011). Haagensohn, Impact of the North Dakota Growing Location on Canola Biodiesel Quality. *Journal of American Oil Chemists Society* , 88,1439-1445
- [40] Boysal A., Rahnejat H. (1997). Torsional Vibration Analysis of a Multi-body Single Cylinder Internal Combustion Engine Model, *Applied Mathematical Modelling*, 21: 481-493.
- [41] De la Cruz M., Theodossiades S., Rahnejat H. (2009). An Investigation of Manual Transmission Drive Rattle, *Journal of Multi-Body Dynamics*, 224: 167-181.
- [42] Taghizadeh-Alisaraei, A.,Rezaei-Asl, A., (2016). Theeffect of addedethanol todieselfuel onperformance, vibration, combustionand knocking of a CI engine, *Fuel*, 185, 718–733.
- [43] Kulkarni, M., Dalai, A., & Bakhshi, N. (2006). Utilization of green seed canola oil for biodiesel production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* , 1886-1893.
- [44] N. Usta, C. Özer ve E. Öztürk Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3 (2005), 325{334.
- [45] Gül, H., 1999. Termal bariyer kaplanmış motorun yapay sinir ağları ile matematiksel modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 57–58, Elazığ.
- [46] Payri, F., Bermudez, V. R., Tormos, B., Linares, W. G., “Hydrocarbonemissions speciation in diesel and biodiesel exhausts”, *Atmospheric Environment*, 43:1273-1279, (2009).
- [47] Canakci M, NOx emissions of biodiesel as an alternative diesel fuel. *Int. J. Vehic. Design* 2009;50: 213-28.
- [48] Hazar, H., , Ö.C., , N.M., (2009). Effects of CrN Coating of Cylinders on Engine Performance. *Energy Education Science & Technology, Part A Energy Science and Research*, 2(23),71-85.
- [49] Hazar, H., Aydın, H., (2010). Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil RRO diesel blends. *Applied Energy*, 87(3),786-790.

- [50] Hazar, H., (2009). Effects of biodiesel on a low heat loss diesel engine. *Renewable Energy*, 34(6),1533-1537.
- [51] Boot M, Frijters P, Luijten C, Somers B, Baert R, Donkerbroek A, 2009. Cyclic oxygenates: a new class of second-generation biofuels for diesel engines? *Energy Fuels*;23(4):1808–17
- [52] B. Rajesh Kumar , S. Saravanan , R. Niranjan Kumar , B. Nishanth , D. Rana , A. Nagendran, 2016. Effect of lignin-derived cyclohexanol on combustion, performance and emissions of a direct-injection agricultural diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes, *Fuel* 181 630–642.
- [53] Kılıçkan, A., Eliçin, A.K., Erdoğan D., (2008). Pamuk yağı motorin karışımlarının ve pamuk yağı esterlerinin küçük güçlü bir dizel motorda yakıt olarak kullanımı, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(3), 237-245.
- [54] Srivastava, A. and Prasad, R., 2000. Triglycerides-based Diesel Fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.4, pp.111-133,
- [55] Barnwal, B. K.; Sharma, M. P. *Renewable Sustainable Energy ReV.* 2005, 9, 363–378
- [56] El-Kasaby, M., Nemit-allah, M.A., 2013. Experimental investigations of ignition delay period and performance of a diesel engine operated with jatropha oil biodiesel. *Alexandria Eng. J.* 52 (2), 141–149
- [57] Monyem A, Gerpen JHV. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy* 2001;20:317e25.
- [58] B. Challen, R. Baranescu, *Diesel Engine Reference Book*, second ed., Butterworth Heinemann, Oxford, UK, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Elazığ ‘da doğdu. Lise eğitimimi Korgenaral Hulusi Sayın Lisesi’nde tamamladı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde üniversite eğitime başladı. Bu bölümden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir.

