

**FINDIK YAĞI VE FINDIK YAĞI METİL ESTERİNİN
TRİBOLOJİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Arzu KEVEN

**Doktora Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Cengiz ÖNER**

TEMMUZ-2013

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FINDIK YAĞI VE FINDIK YAĞI METİL ESTERİNİN TRİBOLOJİK
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Arzu KEVEN

(05119202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Eylül 2013
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü)
Doç. Dr. Şehmus ALTUN (B.Ü)
Doç. Dr. Hanbey HAZAR (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. H. Lütfi YÜCEL (F.Ü)

EYLÜL-2013

ÖNSÖZ

Doktora çalışmamda başta danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Doç.Dr. Cengiz ÖNER' e ve deneysel çalışmalarında katkıları olan Arş.Gör. Burak TANYERİ' ye teşekkür ederim. Ayrıca yardımlarını esirgenmeyen Kocaeli Üniversitesi GMYO öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Servet GÜLMEZ' e, Öğr.Gör. Hüseyin Şanlı' ya, Öğr.Gör. Yalçın UBAY' a, Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Rabi KARAALİ' ye, F.Ü. Teknoloji Fakültesi Otomotiv Atölyesi teknisyenlerine ve beni destekleyen aileme özellikle anneme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Arzu KEVEN
ELAZIĞ - 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1 Triboloji.....	10
1.1.1 Sürtünme.....	11
1.1.2 Aşınma.....	15
1.1.3 Yağlama.....	18
1.1.3.1 İçten Yanmalı Motorlarda Yağlamanın Amacı.....	19
1.1.3.1.1 Segmanlar.....	19
1.2 Yağlayıcı Maddeler.....	21
1.3 Taşıt Yağları ve Taşıtlarda Yağlama.....	21
1.3.1 Taşıt Yağlarının Genel Özellikler.....	23
1.3.1.1 Viskozite.....	23
1.3.1.2 Viskozite İndeksi.....	23
1.3.1.3. Akma Noktası.....	23
1.3.1.4. Nötralizasyon Sayısı.....	24
1.3.1.5. Oksitlenme Direnci.....	24
1.3.1.6. Yağların Bozulma Dirençleri.....	24
1.3.1.7. Korozyon Önleme.....	25
1.3.1.8. Dağıtma Özelliği	25

1.3.1.9. Sıvanma Özelliği	25
1.3.1.10. Çok Yüksek Basınçlara Direnç.....	25
1.3.1.11. Köpürme Direnci.....	26
1.4. Bitkisel Yağlar ve Yağlam.....	26
1.4.1. Bitkisel Yağların Motor Yağı Olarak Kullanımı.....	28
1.4.1.1. Biyolojik Olarak Ayrışabilir Yağlar İçin Bitkisel Yağların Kullanılması.	29
1.4.1.2. Kolza (Kanola–Canola Oil) Yağının Yağlama Yağı Olarak Kullanımı....	29
1.4.1.3 Fındık Yağının Özellikleri.....	30
1.4.2. Bitkisel Yağların Yağ Asidi Bileşenleri.....	32
1.4.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı.....	34
1.4.4. Bitkisel Yağların Fiziksel-Kimyasal ve Yakıt Özelliği.....	35
1.5. İki Zamanlı Motorlar.....	40
1.6. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma.....	41
1.6.1. Benzinli Motorlarda Yanma.....	43
1.6.1.1. Tutuşma ve Alevin İlerlemesi.....	44
1.6.1.2. Benzinli Motorlarda Yanmayı Etkileyen Faktörler.....	46
1.7. Demir Karbon Alaşımları.....	47
1.7.1. Karbon Miktarının Etkisi.....	48
1.7.2. İç Yapı ve Grafit Teşekkülü.....	48
1.7.3. Dökme Demirler.....	49
1.7.3.1. Beyaz Dökme Demir.....	49
1.7.3.2. Kır Dökme Demir.....	49
2. MATERYAL VE METOT.....	50
2.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri.....	50
2.2. Simülasyon Test Cihazı ve Teknik Özellikleri.....	52
2.3. Hassas Terazisi.....	59
2.4. Numune Hazırlama.....	59
3. BULGULAR.....	64
3.1. Deney Motoru Çalışmaları.....	64
3.1.1. Gözlemler.....	64
3.2. Silindirlerin Aşınma Davranışı.....	69
3.3. Segmanın Aşınma Davranışı.....	76

3.4.	Mikro Yapının İncelenmesi (EDS Analizleri).....	78
3.5.	Simülasyon Test Cihazı Çalışmaları.....	83
3.6.	Egzoz Gazı Emisyon Sonuçları	94
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	98
	KAYNAKLAR.....	101
	ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Bu çalışmada tek silindirli iki zamanlı benzinli bir motorda bitkisel yağ yağlama yağı olarak kullanılıp tribolojik fonksiyonu incelenmiştir. Yağlama yağlarının tribolojik fonksiyonlarını araştırmak için hem deney motoru hem de simülasyon test cihazı kullanılmıştır.

Deney motoru, seçilen her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Deney motorunda yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı ve fındık yağı metil esteri kullanılmıştır. Silindir yüzeyindeki aşınmayı belirlemek için numuneler hazırlanıp SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive Spectrograph) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre fındık yağı ve fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda silindir yüzeyindeki aşınmaların arttığı sonucuna varılmıştır.

Deney motorunda yapılan çalışmalar esnasında egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre fındık yağı ile yapılan çalışmada CO ve NO_x değerlerinin mineral yağ göre daha olduğu yüksek tespit edilmiştir.

Simülasyon test cihazında yağlama olarak mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı metil esteri ve kanola yağı kullanılarak silindir numunesi aşındırılmıştır. Burada dökme demir ile CrN ve TiN kaplı silindir numuneleri kullanılmıştır. Simülasyon test cihazı, her bir numune ve yağlama yağı için 40 saat ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda bu numunelerin aşınma miktarları tespit edilerek karşılaştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda dökme demir silindir numunesi, CrN ve TiN kaplamaya göre daha fazla aşınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silindir, Aşınma, Yağlama, Fındık Yağı, CrN, TiN

SUMMARY

The Investigation of Tribological Performance of Hazelnut Oil and Hazelnut Oil Methly Ester

In this study, The tribological performance using various lubricating oils of a two-stroke one cylinder gasoline engine have investigated. The gasoline engine and simulation testing machine have been used in the investigation of tribological performance of the lubrication oils.

The gasoline engine was tested 100 hours using lubrication oils. The mineral oil, hazelnut oil and hazelnut oil methly ester have been used as lubrication oil. The wear and friction in the surface of cylinder was examined using SEM (Scanning Electron Microscopy) and EDS (Energy Dispersive Spectrograph). The wear in the surface of cylinder has increased in the used of hazelnut oil and hazelnut oil methly ester in SEM and EDS analysis.

Engine exhaust emissions have been measured. CO and NO_x emissions have increased in in used of hazelnut oil.

Mineral oil, hazelnut oil, hazelnut oil methly ester and canola oil have been used In the simulation testing machine. The gray cast iron, CrN coated and TiN coated cylinder sufaces have been used as cylinder sample. The simulation testing machine was tested 40 hours using various lubricating oils and cylinder samples. The wear loss in the gray cast iron cylinder sample has increased according to CrN and TiN coated cylinder samples in the experimental results.

Key Words: Cylinder, Wear, Lubrication, Hazelnut Oil, CrN, TiN

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Tek silindirli iki zamanlı benzinli bir su motoru.....	51
Şekil 2.2. Deney motorunun yük altında çalışması.....	52
Şekil 2.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan simülasyon test cihazı.....	53
Şekil 2.4. Simülasyon test cihazının şematik olarak görüntüsü.....	53
Şekil 2.5. Simülasyon test cihazında segmanın aparata bağlanması.....	54
Şekil 2.6. Simülasyon test cihazında silindir numunesinin bağlanma aparatı.....	55
Şekil 2.7. Simülasyon test cihazında segman bağlama aparatı ve uygulanan yük.....	55
Şekil 2.8. Simülasyon test cihazında ileri-geri hareket eden sistem.....	56
Şekil 2.9. Simülasyon test cihazı yağlama sistemi.....	57
Şekil 2.10. Simülasyon test cihazında kullanılan segman.....	57
Şekil 2.11. Test cihazında kullanılan silindir numunesi.....	58
Şekil 2.12. Segman numunesinin test cihazına bir vida ile bağlanması.....	58
Şekil 2.13. Precisa XB 220A hassas terazi.....	59
Şekil 2.14. Numunenin kalıplara yerleştirilmesi ve numune üzerine bakalit-sertleştirici karışımın ilave edilmesi.....	60
Şekil 2.15. Kalıplarından çıkarılmış numuneler.....	61
Şekil 2.16. Zımpara tezgahı ve numune parlatma diskі.....	62
Şekil 2.17. Numunenin disk üzerinde parlatılması	63
Şekil 3.1. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonuncu sökülen silindir görüntüsü.....	64
Şekil 3.2. Deney motorunun benzin-fındık yağı karışımı ile çalıştırılması sonuncu sökülen silindir görüntüsü.....	65
Şekil 3.3. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonuncu piston görüntüsü.....	67
Şekil 3.4. Deney motorunun benzin-fındık yağı karışımı ile çalıştırılması sonuncu piston görüntüsü.....	68
Şekil 3.5. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin analizi.....	69
Şekil 3.6. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin analizi.....	70
Şekil 3.7. Mineral yağ ile yapılan çalışmada ÜÖN ya yakın yüzeyin analizi.....	71

Şekil 3.8. Fındık yağı ile yapılan çalışmada ÜÖN ya yakın yüzeyin analizi.....	72
Şekil 3.9. Fındık yağı ile yapılan çalışmada ÜÖN’ daki yüzeyin analizi.....	72
Şekil 3.10. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ ya yakın kısmından alınan numunenin analizi	74
Şekil 3.11. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ ya yakın kısmından alınan numunenin analizi.....	74
Şekil 3.12. Fındık yağı ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin SEM analizi.....	76
Şekil 3.13. Mineral yağ ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin SEM analizi.....	77
Şekil 3.14. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ yakın 2 nolu numunenin EDS analizi.....	78
Şekil 3.15. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ ya yakın 2 nolu numunenin EDS analizi.....	79
Şekil 3.16. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ ya yakın 1 nolu numunenin EDS analizi.....	80
Şekil 3.17. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN’ ya yakın 1 nolu numunenin EDS analizi.....	81
Şekil 3.18. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir orta kısmından alınan numunenin EDS analizi.....	82
Şekil 3.19. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin EDS analizi.....	83
Şekil 3.20. Silindir test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda dökme demir silindir numunelerindeki madde kayıpları.....	85
Şekil 3.21. Silindir test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda CrN kaplı silindir numunelerindeki madde kayıpları.....	87
Şekil 3.22. Simülasyon test cihazında mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları.....	88
Şekil 3.23. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında mineral yağ ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları.....	89
Şekil 3.24. Simülasyon test cihazında fındık yağı ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları	90
Şekil 3.25. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında fındık yağı ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları.....	90
Şekil 3.26. Simülasyon test cihazında fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları.....	91
Şekil 3.27. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında fındık yağı metil esteri ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları.....	92

Şekil 3.28. Simülasyon test cihazında kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları.....	92
Şekil 3.29. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında kanola yağı ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları.....	93
Şekil 3.30. CO emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre Değişimi.....	94
Şekil 3.31. NO _x emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre değişimi.....	95
Şekil 3.32. CO ₂ emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre değişimi.....	96

TABLolarIN LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Ham fındık yağına ait bazı özellikler.....	31
Tablo 1.2. Bazı yağların yağ asidi bileşenleri	34
Tablo 1.3. Dizel motorlarında kullanılan yağlar ve özellikleri	36
Tablo 1.4. Bitkisel yağların yağ asidi içerikleri	37
Tablo 1.5. Yağ asitlerinin kimyasal yapısı	38
Tablo 1.6. Yakıtların önemli özellikleri	39
Tablo 3.1. Deney motorunda çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda pistonlardaki is miktarı.....	69
Tablo 3.2. Deney motorunun yağlama yağı olarak mineral yağ ve fındık yağı ile çalıştırılması sonucundaki silindir numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	73
Tablo 3.3. Deney motorunda yağlama yağı ve yakıt olarak kullanılan mineral yağ, fındık yağı ve benzin ve karışımlarının kükürt içerikleri.....	76
Tablo 3.4. Simülasyon test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonrasında dökme demir kaplı silindir numunelerinin madde kayıpları.....	85
Tablo 3.5. Simülasyon test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonrasında CrN kaplı silindir numunelerinin madde kayıpları.....	87
Tablo 3.6. CrN ve TiN malzemesinin özellikleri	94

1. GİRİŞ

19. yüzyılın son çeyreğinde icat edilip bugüne kadar geliştirilmeye başlanan iki zamanlı motorlar düşük maliyetleri, hafiflikleri, basit tasarımları, yüksek spesifik güçleri gibi üstün özelliklerinden dolayı endüstriyel otomotiv ve el aletlerinde giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. İki zamanlı motorlarda yağlama, yakıtla yağlayıcının karıştırılarak verilmesi şeklinde olabileceği gibi yağlayıcının ayrı bir depoda pompalama ile silindire verilmesi şeklinde de olabilir. Her iki durumda da yağlayıcı yakıtla beraber yanmaktadır. Bu yüzden yağlayıcının yüksek, sıcaklıkta yağlama görevini yerine getirmesi ve yanmadan sonra kalıntı bırakmaması (is, kurum... vs.), zehirli emisyonlara yol açmaması gibi birçok önemli özelliklere sahip olması istenir. İki zamanlı motorlar dört zamanlı motorlardan yağlayıcının yakıtla beraber yanmasından ötürü daha fazla kirletici olduklarından çevre dostu yağlayıcıların geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Otomobil motorları binlerce parçadan oluşmakta olup yüzlercesinde yüzey sürtünme teması bulunduğundan yağlama hayati bir önem taşımaktadır. Yataklar, pistonlar, transmisyonlar , debriyaj ve diferansiyel kutuları ve diğer hareketli elemanlar arasındaki sürtünmeler yağlamanın önemini artırmaktadır.

Motorlarda yağlama yoluyla sürtünmelerin iyileştirilmesi ve azaltılmasıyla motorun yakıt tüketimi azaltılır ve çıkış gücü artırılır. Bunun yanında iyi bir yağlayıcı yağ tüketimini ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltır. Motorun sağlamlılığını koruması, arızasız çalışması, uzun ömürlü olması ve düşük tamir bakım gerektirmesi için yağlama yağının iyi olması gerekmektedir. Motorların dünya ekonomisinde ve enerji üretiminde oynadıkları rolün büyüklüğü de bunlarda yapılacak iyileştirmelerin, enerji tüketiminin ve dolayısıyla dünya ekonomisine çok faydalı olacağı gibi atmosfere salınan emisyonların azaltılmasında da etkili olacaktır.

Sürtünmelerin yakıt enerjisinin yaklaşık %15 civarını tükettiği ve sürtünmelerin %10 azaltılması bile yakıt tüketimini %1,5 azaltmaktadır. Sürtünmelerin yaklaşık yarısı motor içinde olurken diğer yarısı debriyaj ve diferansiyel kutusu gibi diğer elemanlarda ortaya çıkmaktadır. Sadece motordaki sürtünmeler göz önüne alındığında en büyük sürtünme kayıpları piston segmanları ile silindir yüzeyi arasında olmaktadır.

Pistonlar motorun en önemli parçaları olup yakıt enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesinde en büyük rolü oynarlar. Motorlarda sürtünen parçaların en önemli yağlama parametresi yağlayıcının film kalınlığıdır.

Modern bir içten yanmalı motorda piston segmanları en az 3 tane olup üst sıkıştırma segmanı yanmış gazların aşağıya geçmesini önler, ortadaki yada 2. Sıkıştırma segmanı hem üst segmandan geçen gazları durdurmak hem de yağ kontrol segmanlarından geçen yağları sıyrarak ince bir film tabakası oluşturur, en alttaki yağ kontrol segmanı ise adından anlaşılacağı gibi gelen yağ miktarını sınırlar ve geçen gazları durdurma görevi yoktur.

Yanma sırasında oluşan basınç patlamaları üstteki iki sıkıştırma segmanını silindir duvarına iterek sönmülenir. Bu iki sıkıştırma segmanı yanmada oluşan yüksek yükleme ve zorlamaları ile yüksek sıcaklıkları karşılar. Bu yüzden üst sıkıştırma segmanı krom veya molibden ile kaplı olabilir. Yağ kontrol segmanının iki yüzü çalışmakta olup bunlar da genellikle krom ile kaplanır. Çok çeşitli segman tipleri mevcut olduğundan bu konuda çok geniş bilgi literatürde mevcuttur. Piston segmanları çok karmaşık yağlama elemanları olduğundan analizleri de zordur. Büyük, ani, hızlı, değişken yüklere ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları gibi yağlama görevleri de vardır.

Modern hafif motorlarda piston eteği ile silindir yüzeyi arasındaki sürtünme nedeni ile önemli sürtünme kayıpları ortaya çıkmaktadır. Buradaki mevcut yağlama ile sürtünme kayıpları azaltılmaktadır. Segmanlar en çok çelikten olmak üzere gri dökme demirden de yapılabilir. Ancak çelikten yapılanlar daha üstündür. En çok krom ya da molibden kaplanırlar. Silindir cidarları genellikle gri dökme demirden üretilir. Ancak alüminyumdan üretimde giderek artmaktadır. Silindir cidarlarının ısıt işlemlerinin yapılması ya da kaplanması segmanlar kadar yaygın bir uygulama değildir. Ancak alüminyum cidarlı silindirlerde daha yaygındır.

Segmanların aşınma ve yorulmalarının anlaşılması ve kontrol edilmesi motor performansının artırılması ve ömrünün uzatılması için önemlidir. Yağlama ile yorulma ve aşınma arasındaki ilişkilerin anlaşılması henüz başlangıç aşamasında olup çok yenidir. Bu tezin amaçlarından biride yağlama ve aşınma arasındaki ilişkinin anlaşılmasına katkı sunmaktır. Yüzey işlemleri (segman ve silindir için) yorulma ve aşınma üzerinde önemli etkiye sahip faktörlerdir. Çok çeşitli yüzey işlemlerinin uygulanabildiği segman ve silindir yüzeyinde bu işlemlerden elde edilmek istenen sonuçlar daha az sürtünme, yüzeyde daha

iyi yağlama ve çalışma esnasında daha uygun ve uyumlu bir profil ortaya konulması şekilde sayılabilir.

Yakıt ekonomisinin geliştirilmesi ve düşük emisyon değerleri sağlanarak motor performansının artırılmasının en önemli yollarından biride sürtünme kayıplarının azaltılması ile etkili ve zararsız yağlanmanın sağlanmasıdır. Bu konu üzerinde yapılan bilimsel araştırma ve geliştirmeler ve teknolojik çabalar şunlar üzerinde yoğunlaşmaktadır;

1. Yorulmanın, sürtünmenin, yıpranma ve aşınmanın anlaşılması
2. En uygun yüzey iyileştirilmelerinin yapılması
3. En yaygın yağlayıcının geliştirilmesi (her türlü yorulma ve aşınmayı gideren ve emisyonları düşük çevre dostu)

Yağlayıcıların en önemli fonksiyonun bir yüzey film tabakası oluşturarak iki yüzeyin birbirini ile sürtünmesini önlemektir. Yağlayıcıda yapışkanlığı sağlayan bileşenler yağlayıcıyı yüzey üzerinde tutunmasını sağlar.

Sirkülasyonu olan yağlayıcıların bir diğer görevi de soğutmaktır. Sıcak yüzeylerden aldıkları ısıyı başka bir ortamda bırakarak (soğuyarak) soğutma işlemi sağlarlar.

Yağlayıcılara katılan katkı maddeleri yapışkanlıklarının ıslaklıklarını ve viskozitelerini iyileştirir. Ayrıca yağlayıcıların yapılarının istikrarlı olması, çabuk bozulmamasını ve yüzeylerle kimyasal reaksiyona girmesini önlemeyi sağlarlar.

Taşıtlarda çok çeşitli yağlayıcılar kullanılır. Bunlar yataklarda kullanılanlar, diferansiyel kutularda kullanılanlar, gresler, fren yağları, şok önleyici yağlar başlıcalarıdır. Ayrıca soğutma sistemlerinde kullanılan yağlarda önemlidir. İki zamanlı motorlarda yakıt katılan yağlar hem yağlama görevi hem de yakıt görevi yaparlar.

Motor yağları çoğunluğunun ana malzemesi petrol türevi olup koruyucu katkı maddeleri (%10-30 civarında) katılarak üretilirler. Amerikan petrol enstitüsünün (API) sınıflandırılması grup 1 den grup 5 e kadar petrol içeriği göz önüne alınarak yapılmıştır. Motor yağı üretiminde petrol türevi ürünlerinin istenilen hale getirilmesi için çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilerek işlenirler. Ayrıca çeşitli kimyasal proseslerle yeni moleküller oluşturarak hafif ve istenilen özelliklere sahip yağlarda üretilmektedir. Ana malzemesi sentetik olan yağlar grup 4 ve grup 5 olarak adlandırılırken ana malzemesi petrol ürünü olan katkılı yağlarda grup 2 ve grup 3 olarak adlandırılmaktadır. Ana

malzemesi sadece petrol ürünü olan yağlarda grup 1 olarak API tarafından adlandırılmaktadır.

Motor yağlarının ana malzemesi rafine süreci sonucunda elde edilmişse mineral yağlar, düşük ağırlıklı moleküllerden yapılmış olan yağlar sentetik yağlar, aynı şekilde yağlayıcının ana malzemesinin oranına göre yarı sentetik ve kısmi sentetik yağlayıcılara sentetik esterlerin katılmasıyla da daha akışkan yağlar elde edilmektedir.

Bu anlatılan yağlayıcılar arasında motor yağları en karmaşık olanlarıdır. Belli faydalar elde etmek için motor yağların birçok katkı maddesi eklenir. En önemli katkı maddesi motor yağının oksitlenmesini kalınlaşmasını azaltan antioksidanlardır. Ancak antioksidanlar bir süre sonra koruyucu özelliklerini kaybederler. Ayrıca yanmada veya yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkabilecek asitleri nötralize etmek için deterjanlar (yüzeyi temiz tutma, korozyon önleyici ve kalıntı önleyici özelliği vardır) kullanılırlar.

Ayrıca sürtünmeyi azaltan, köpüklenmeyi yok eden, viskoziteyi iyileştiren, katılaşmayı önleyen birçok katkı maddesi de motor yağına çeşitli oranlarda katılırlar.

Bir motor yağından istenen en önemli özellik yüksek sıcaklıkta yakıtla yanma sonu ürünleri veya ortaya çıkan kalıntılarla temasında bozulmama özelliğidir. Yeni üretilen bir motorda yüzey pürüzlülüğü daha kaba olup motor kullanıldıkça yüzeyler iyileşir ve düzleşir. Bu sırada da birçok küçük parça motordaki yüzeylerden koparak yağa veya yakıtı karıştır. Motor yağı bunları sürükleyerek filtrelerde bırakır. Motor yağının bunların yanında motorun çeşitli parçalarının korunması için ince film tabakası oluşturma, ısının başka yere taşınmasıyla soğutma yapmakta, silindir yüzeyi ve segmanlar üzerinde film tabakası oluşturup gaz kaçaklarını önleme ve en önemlisi sürtünmeyi azaltma işlevi vardır. Ayrıca piston kafasının soğutulması işlevi de mevcuttur. Yağlayıcının nemi veya suyu taşıması ve en önemlisi de zararlı emisyonlara neden olmaması gerekir. Bu yüzden motor yağı tasarlamak yada formülize etmek son derece zordur. Ancak iki zamanlı motorlar için bu zorluk daha da artar. Çünkü burada yağlayıcı yukarıda sayılan görevlerin çoğunu yerine getirmesi yanında ayrıca yakıtla beraber yanarak iyi bir yakıt ve iyi bir yağlayıcı olmak gibi iki ayrı işlevi beklenir.

Motor silindirlerindeki aşınmayı azaltmak için son zamanlarda yanma odası elemanları (piston, segman, silindir, yanma odası yüzeyi) seramik malzemeler ile kaplanmaktadır. Kaplama ile egzoz emisyonlarında iyileşme yanında, sürtünme katsayısının düşmesi ile sürtünme kayıplarının azaldığı birçok yayında belirtilmiştir.

Hazar ve Öner, bir dört zamanlı dizel motorun silindir yüzeyini CrN ile kaplayarak aşınma davranışlarını incelemek için farklı devir ve yüklerde deneyler yapmış, kaplamasız durum için karşılaştırarak aşınma karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Bunun için SEM, EDS ve yüzey pürüzlülüğü analizlerini yaparak CrN kaplı silindir yüzeyinin normal silindire göre daha az aşınma ve çizik olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca CrN kaplamasının yüzey sertliğini artırarak silindir ömrünü uzattığı ve silindirin bu şekilde kaplama ile yüzeyde ek işlem yapma gereğinin ortadan kalktığı sonucuna ulaşmışlardır [2].

Igartua ve arkadaşları, iki zamanlı motorların alternatif çevre dostu yağlayıcı geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Üç çeşit sentetik ester yağını seçip üç farklı yağlayıcı formüle etmişlerdir. Bunlar değişik karışım oranlarına sahip tam doymuş polyester ve mono ester karışımları olup katkı maddeleri aynıdır. Referans yağlayıcı olarak iki zamanlı benzinli motorlar için kullanılan klasik mineral yağlayıcı (katkı maddeleri farklı) almışlardır. Yağlayıcı viskoziteleri ASTM standartlarına göre alınmıştır. Yakıt olarak %85 etanol ve %15 kurşunsuz petrol karışımı alınarak bunun için yapılan yağlayıcı bu yakıtla karıştırılarak yakmışlardır. Bu yanma olayının sonucunda kalıntı oluşmadığını gözlemlemiş ve biobozunum ve zehirlilik ölçümlerinde OECD standartlarına göre (Manometric Respirometry Method) yapılmıştır. Formüle ettikleri yağlayıcıların tribolojik özelliklerini DIN standartlarına göre (100Cr6 çelikten yapılan disk ile 10 mm çaplı aynı malzemeden bilye) ortaya çıkarmışlardır. Tribolojik simülasyon için fosfatlı dökme demirden piston segmanı ile dökme demir silindir gerçek bir motordan kesilerek alınmış ve belli bir yük segmana verilerek yağlama banyosundan yağlayıcı bu yüzeylere pompalanmak sureti ile deneyler yapmışlardır. 45 saniye 50 N ve 90 dakika 300 N 'luk yük uygulanarak yağlayıcı 200 °C ' ta tutulmuştur. Segmanın ve silindirin kütlesinde aşınmadan dolayı meydana gelen kütle kaybı yağlayıcının tartılması ve bu ikisinin deney sonucunda tekrar tartılması ile izlemişlerdir. Ancak bu iki yol da sonuç vermemiş çünkü yüzeyde aşınan kısımlarda kimyasal reaksiyonlar gelişmiş rengi sarıya dönmüştür. Bu yüzden kütle kaybını yüzey geometrisindeki değişiklikten hesaplamışlardır. Bunun içinde mikroskop kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonucunda bu üç yağlayıcının sıcaklıkla viskozitesinin değişimi, ıslatma karakteristiğini biobozulma ve zehirleyici özelliklerini ve DIN standartlarına göre sürtünme katsayılarını, aşınma özelliklerini, kütle kaybı miktarını ortaya koymuş ve değişim eğrilerini çizmişlerdir. Sürtünmeden kaynaklanan kütle kaybı miktarına lineer bir doğru uygulanarak eğimi ve kesişimlerini incelemişlerdir. Geliştirdikleri bu üç yağlayıcının referans yağlayıcıya göre sürtünme katsayılarının yarısı

kadar olduğunu, aşınmanın daha az olduğunu yani çok daha üstün olduğunu göstermişlerdir [3].

Igartua ve arkadaşları, bir başka çalışmada otomotiv uygulamaları için bio yağlayıcı ve reaktif yağlayıcı malzemeleri incelemişlerdir. Hidrokarbon temelli yağlayıcılar yerine çevreye daha az zararlı bio bozulabilir yağlayıcı geliştirip kullanıma sunulması için yaptıkları çalışmada hidrokarbon ester (HCE) karışımından yapılmış ancak katkı maddeleri farklı olan iki çeşit yağlayıcı geliştirerek incelemişlerdir. Yeni bir yağlayıcının geliştirilmesinde en önemli zorluğun kullanılacak katkı maddeleri ve miktarları olduğunu belirtmişlerdir. Ve aşınmayı önleyen katkı maddelerinin çoğunda sülfür ve fosfor bileşiklerinin olması ve organik-metal karışımı (antioksidan ve motor temizleme) bileşiklerin çevreye çok zararlı ve zehirleyici olmaları yüzünden bu katkı maddelerinin en az kullanımı veya hiç kullanılmaması gerekliliğinin en büyük problem olduğunu belirtmişlerdir [4].

Bunun için lowSAP (düşük sülfür, kül (ash), fosfor (phosphorous) türü yağlayıcıların geliştirilmesinin hayati önemde olduğunu belirtip bir referans yağlayıcı (5W-30) ile yeni bir bio yağlayıcıdan iki tanesini karıştırmışlardır. Bir Avrupa projesi olarak yapılan bu çalışmalarda sabit ve artan yüklerde DIN standartlarına göre deneyler referans yağ ile formüle edilmiş yağlayıcılar için yapılmış ve elde ettikleri verileri sunmuşlardır. Bio bozunum ve zehirlilik (su zehirlenme) testleri OECD standartlarına göre yapılarak daha sonra tribolojik testleri yapmışlardır. Tribolojik testlerde segman silindir simülasyonu yapılmış, segmanlar triboreaktif tozlarla (powders) plazma kaplama ile kaplanarak, krom kaplamalı segman referans kabul edilmiş ve deneyleri sözü edilen yağlayıcılar için yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, geliştirilen yağlayıcıların ve kaplamaların daha iyi performans gösterdiklerini ve daha yüksek yüklerde de performanslarını sürdürdüklerini elde ettikleri verilerle göstermişlerdir. Ayrıca bilye-disk deney setinde sürtünme katsayıları mevcut standartlara göre ortaya çıkarılmış ve geliştirilmiş yağlayıcıların daha iyi sürtünme katsayılarına sahip oluklarını göstermişlerdir.

Motor testlerinden sürtünme testlerini turbo şarjlı dört zamanlı dizel motorda yapmış bunun için sürtünme katsayısının saptanması için sürtünme deneyleri, aşınma için sıcak şartlarda (uzun çalışmalarda, yüksek ve hızlı yüklemelerde) deneyler yapmışlardır. Ayrıca düşük ve yüksek termal şartlarda kaplamanın yapışma direncini ölçmek için çevrim testleri (deneylerini) yapmışlardır. Elde ettikleri temel sonuçlar titanyum oksidin sürtünme için en

iyi kaplama çeşidi olduğunu, aşınmaya karşı ise titanyum oksitle molibden kaplamaların en iyi performansı verdiği, yağlayıcılık özelliğinin en iyi titanyum krom oksit kaplama olduğu ve aşınmada geliştirdikleri yağların referans yağdan çok daha iyi performans verdiği ve yağ tüketimini % 45 azalttığını bulmuşlardır [4].

Y.C.Tan ve Z.M.Ripin, iki zamanlı motorlarda piston segmanlarının sürtünme davranışını makalelerinde incelemişlerdir. Silindir yüzeyi, emme basma için giriş çıkış bölmeleri ile kesildiğinden süresiz olup piston hareketinde ikincil titreşimlere (hareketlere) sebep olup motorda dört zamanlıya göre daha fazla titreşimlere yol açmaktadır. Piston segmanları motordaki sürtünmelerin %30-50 civarındaki kısmını meydana getirdiğinden yağlanmaları hayati önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi segman silindir yüzeyinin yağlanması yağlayıcının miktarına göre üç şekilde olabilir. Yağlayıcının fazla olduğu (hidrodinamik yağlama) bu şekil özellikle pistonun orta kısmında bulunduğu ve yağlayıcının tüm silindir yüzeyini kapladığı şekildedir. Karışık yağlamada (yağlayıcının bazı kesimlerde fazla bazı kesimlerde az olduğu) yağlayıcı segmanın bazı kısımlarını yeterli miktarda yağlamış bazı kısımlarda ise yetersiz olduğu , pistonun hızının yavaşladığı ölü noktaların yakınlarında ortaya çıkan durumdur. Fakir yağlama (sınır yağlama) ise yağlayıcı miktarının segmanın yüzeyinde minimuma indiği ve yetersiz olduğu ve yüksek basınçtan dolayı yüzeyden aşağı itildiği durumdur [5].

Piston maksimum hıza silindirin orta noktalarında minimum hıza ise silindirin ölü noktalarında olduğundan ve silindirin orta noktalarından piston itme kuvveti maksimumda, ölü noktalarda ise minimumda olduğundan piston silindir yüzeyi üzerinde pistonun bulunduğu yere göre değişik yağlama rejimleri olacaktır. İki zamanlı motorlarda silindir yüzeyindeki emme ve basma için giriş çıkış bölmeleri dışındaki silindir yüzeyinde segmanlar silindir yüzeyi ile tam temas halinde iken bu bölmelerin üzerinden geçerken tam temas hali bozulacaktır. Araştırmacılar, segmanların sürtünmelerini, basınçlarını ve ikincil hareketlerini (titreşimlerini) ölçmek için deney düzenekleri kurmuşlardır. Piston ikincil titreşimleri ile ilgili elde ettikleri verileri sunmuş ve piston ölü noktalarında maksimum sürtünme, silindir orta noktalarında ise minimum sürtünme kuvvetleri saptanmıştır. Piston hızı arttıkça titreşimlerin arttığını ancak emme basma bölmelerindeki boşlukların titreşimi artırdığını (maksimum titreşim emme bölmesi girişi ve basma bölmesi çıkışında elde etmişlerdir) saptamışlardır. Hidrodinamik yağlamanın pistonu belli bir hızdan sonra gerçekleştiğini, ikincil titreşimleri (hareketleri) yok etmenin çok zor olduğunu, düşük

hızlarda fakir veya karışık yağlama rejiminin söz konusu olduğunu ve fazla yağ basmanın sürtünme kuvvetleri üzerine fazla etkisinin olmadığını saptamışlardır [5].

Jonansson ve arkadaşları, makalelerinde segman silindir yüzeyi temasındaki sürtünmenin deneysel hesaplama ve değerlendirmesini yapmışlardır. Bunun için bir deney seti oluşturmuş ve bu deney setinde segmanın silindir yüzeyi üzerinde gidiş geliş hareketi yapacak şekilde yağlamasını da yapıp çalıştırmışlardır. Böylece sürtünme aşınma ve yüzey yapısındaki değişiklikleri ve bunların yanında dinamik viskozite, hız ve temas basıncının bu tek deney setinde çalışılabileceğini göstermişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün sürtünme ile birebir ilişkili olduğunu bu deneylerin sonunda bulmuşlardır. Bu tezde buluna deney setine benzer bir deney seti kurularak sürtünme ve aşınma kayıpları minimuma indirecek deneyler yapmışlardır. Tribometer adını verdikleri bu deney setinde gri dökme demir, ısıtılmış işlem görmüş gri dökme demir ve kaplanmış silindir ile CrN kaplanmış segmanlar kullanmışlardır. Sonuç olarak bu deney seti ile tek bir deneyde dinamik viskozite, hız ve temas basıncının çalışılabileceğini, temas basıncı arttıkça sürtünmenin de arttığını, yüzey pürüzlülüğünün artmasının sürtünmeyi azalttığını ancak yağlayıcının silindir yüzeyi üzerinde film tabakası oluşturma yeteneğinde önemli ve sürtünmeyi etkileyen bir faktör olduğunu bulmuşlardır. İleri çalışma olarak da yüzey pürüzlülüğü sürtünme ilişkisinin üzerinde çalışmayı önermişlerdir [6].

Tung ve Gao makalelerinde yüksek frekanslı tribometre kullanarak dökme demirden yapılmış silindir ve kaplanmış nitritli paslanmaz çelik (nitrited stainless steel) 'ten ve krom kaplı paslanmaz çelik segmanlar ile yaptıkları deneylerden elde ettikleri sonuçları açıklamışlardır. CrN ve DLC (diamond like carbon) kaplı segmanlar da kullanılmış ve muhtelif yağlayıcılarda denenmişlerdir. Yaptıkları testlerden DLC kaplı segmanların en az aşınmaya uğradığı ve aşınma yönünden CrN ve nitrik kaplı segmanlara benzediğini ayrıca yağlayıcıya molibdenyum ditikarbonat (MoDTC) veya organik sürtünme azaltıcı katkı maddesi eklenerek sürtünmenin ciddi miktarda azaltılabileceğini ve asidik yakıtların sürtünmeyi ve metal temasını artırdığını bulduklarını açıklamışlardır. Bu tez çalışmasında kullanılan test cihazının benzerini kuran araştırmacılar yakıt olarak %85 etanol ve %15 kurşunsuz benzin kullanılmış ve aşınmanın en çok silindirin üst kısmında olduğunu bulmuşlardır. Yakıtın asitliğinin arttıkça aşınmanın ciddi miktarda arttığı ve metal temasının arttığını bildirmişlerdir. Silindir yüzeyindeki aşınmaları fotoğraflamış ve farklı kaplamaların aşınma performansını göstermişlerdir [7].

Rejowski ve arkadaşları makalelerinde ağır hizmet tipi bir dizel aracın silindir yüzeyine DLC (Diamond-like-carbon, elmas benzeri karbon) kaplama uygulayarak aşınmayı araştırmışlardır. Bu çalışmada üst segman CrN kaplaması uygulanmıştır. Bu çalışmalarında %19 sürtünme kayıplarının azaldığı görülmüştür. DLC kaplı yüzeylerinde aşınma direncinin kaplanmamış silindire göre yüksek olduğunu ve özgül yakıt tüketiminin %2,5 azaldığını belirtmişlerdir [38].

Jayadas ve arkadaşları makalesinde çevre dostu yağlayıcılardan Hindistan cevizi yağının yağlama özelliklerini araştırmışlardır. Hindistan'ın bazı bölgelerinde iki zamanlı skuterlerin yağlanması yakıtı karıştırılarak verildiğini ve düşük emisyon daha iyi hızlanma ve yakıt tasarrufu sağladığını kullanıcıların bildirdiğini açıklamışlardır. Hindistan cevizi yağının diğer bitkisel yağlar gibi yüksek viskozite indeksine, iyi yağlama özelliğine, yüksek parlama noktasına ve düşük buharlaşma kaybına sahip olduğunu açıklamışlardır. Ancak yağ asitleri içerdiğinden dolayı aynı diğer bitkisel yağları gibi düşük sıcaklıkta kötü performans gösterdiğini ancak çok yüksek yağlayıcılık özelliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Hindistan cevizi yağı için yaptıkları deneylerde yağlayıcılık özelliklerini daha da geliştirmek için (aşınma önleyici ve yüksek basınç dayanımı artırıcı ZDDP) katkı maddeleri eklemişlerdir. Daha sonra ASTM standartlarına göre dört bilye testi (four ball tester) ile tribolojik testlerini üçer defa yapmışlardır. İçten yanmalı iki zamanlı motorda yaptıkları testlerde ise hava soğutmalı skuter motoru kullanmışlardır. Bu motorda önce ticari yağ daha sonra da Hindistan cevizi yağı kullanılmıştır. Ancak öncesinde silindirler 4 mikron hassasiyetinde ölçülmüştür. Bu ölçümler testlerden sonra da tekrarlanarak silindirler üzerindeki etkilerini görmeye çalışmışlardır [8].

1000, 5000 ve 10000 km lik testlerden sonra silindirin Hindistan cevizi yağı kullanımında dairesel özelliklerini bir miktar kaybederek ovalleştiğini ancak diğer özellikler yönünden ticari yağdan pek farklı olmadığını açıklamışlardır. Ancak ZDDP ve aşınma önleyici yüksek basınç dayanımı artırıcı katkı maddeleri katılması durumunda durumun daha da iyileştiğini ve ovalliğin azaldığını ve ancak bu şekilde ticari yağlarla rekabet edileceğini ve katkı maddesi kullanımının önerilemeyeceğini açıklamışlardır [8].

Kultarni ve arkadaşları, kanola yağı ile ilgili makalelerinde kanola yağının transesterlenmesinde metanol ve etanol ile karıştırılması ve esterin yağlayıcı olarak kullanımını incelemişlerdir. Metanol , etanol ve değişik oranlardaki metanol etanol karışımlarında kanola yağının transesterlenmesini, alkol yağ oranlarını 1'e 6 oranında

tutarak yapmışlardır. Alkol karışımının transesterlenme hızını artırdığını ve metil etil esterlerin oluşumunu artırdığını açıklamışlardır. Bu hızın artmasının sebebinin iyice karıştırılmış olduğunu ve 3'e 3 molar etanol oranının oluşan etil ester oranının metil esterin % 50 si civarında olduğunu açıklamışlardır. Karıştırılmış olanlar dahil incelenen tüm esterlerin asit değerleri, viskozite ve yoğunluklarının ASTM standartlarına uygun olduğunu ve bu esterlerin yağlayıcı özelliklerinin etil ester > metil etil ester > metil ester şeklinde olduğunu açıklamışlardır [9].

Wander ve arkadaşları dizel, soya ve hintyağı metil esterlerinin tek silindirli içten yanmalı motorlara etkisini inceledikleri makalelerinde 1000 saat çalıştırdıkları motorlardan elde ettikleri sonuçları açıklamışlardır. Soya metil esterinin viskozitesinde büyük düşüş kaydettiklerini ancak aşınmaya olan etkisinin diğerleri gibi olduğunu ve enjeksiyon sisteminde kötü bir etkisinin bulunmadığını açıklamışlardır. Yine soya metil esterinin karbon birikimini, sakızlanmayı (gumformation) ve segmanların gevşemesini artırdığını belirtmişlerdir. Ancak korozyon, sürtünme ve boyut analizi yönünden iyi sonuçlar vermiştir. Hint yağı metil esterinin ise orijinal yüzeyde kalıcı iz bırakmadığı yine korozyon sürtünme ve boyut analizi yönünden iyi sonuçlar verdiğini ancak hem soya metil esterinin hem de hintyağı metil esterinin supaplarda düzensiz temaslara yol açtığını bunun da yağlama ile aşılabileceğini açıklamışlardır. Soya metil esteri, hintyağı metil esteri ve dizel (D100) ile çalıştırılan her üç motorun da performans ve dayanım yönünden benzer sonuçlar verdiğini ve yağlama yağının daha sık değiştirilmesi şartıyla dizel motorlar için soya ve hintyağı metil esterinin önerilebileceğini bildirmişleridir [10].

1.1. Triboloji

Temasta olan ve birbirlerine göre izafi harekette bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin başında yağlama gelir. Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olan olayları inceleyen bilim dalına triboloji denir.

Dünya çapında yapılmış istatistiklere göre makine elemanlarının %70'inin işe yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır. Ayrıca sürtünme sonucunda meydana gelen enerji

kayıpları milyarlar tutarında harcamalara yol açar. Bu nedenle uygun bir yağlama ile sistemin verimi önemsiz bir oranda artırılrsa bile tasarruf edilen paranın tutarı milyonlara varmaktadır. Bunların yanı sıra aşınmadan dolayı meydana gelen malzeme kayıpları ve makinelerin onarımı için zaman göz önüne alınırsa, tribolojinin önemi daha iyi anlaşılır [11].

1.1.1.Sürtünme

Genel Anlamda sürtünme, temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir. Birbirlerine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma mevcut olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur [11].

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme, birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir. Teknikte sürtünme hem istenilen hem de istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenilen bir olaydır. Bu gibi yerlerde sürtünme artırılır. Bunların dışında, bütün bu izafi hareket yapan yüzeylerde istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin azaltılması gerekir. Sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları ve tam madensel temiz olmadıkları gibi hususlar göz önünde tutulmalıdır. Yüzeyler birbirleri ile pürüzlerinin tepelerinde temas etmektedir. Yüzeylerin durumuna gelince yapılan inceleme ve deneylere göre kuru olarak tarif edilen madenlerin yüzeyleri aslında atmosferi teşkil eden elemanların etkisi altında oksit, yağ, su buharı, pislik vs. gibi yüzey tabakaları ile kaplıdır. Adsorpsiyon yolu ile oluşan ancak elektronik mikroskoplarla varlığı kanıtlanabilen bu tabakalar maddesel yüzeylere kuvvetle bağlanabilmekte ve yalnız çok etkin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle temizlenebilmektedir. Ayrıca yüzeylerdeki oksit tabakası ani olarak oluşmaktadır. Şöyle ki talaş kaldırılarak işlenmiş veya temizlenmiş yüzeyler atmosfere maruz kalırsa yüzeylerde derhal bir oksit tabakası meydana gelmektedir. Sonuç olarak şu söylenebilir; teknikte kullanılan elemanların yüzeyleri çeşitli

kimyasal bileşikleri ihtiva eden tabii bir adsorpsiyon tabakası ile kaplıdır. Bunun sonucu olarak doğrudan doğruya temas eden yüzeyler arasında daima bu tabakalar bulunur.

Sürtünme olayını açıklamaya çalışan bir çok teori vardır. Bunların gerçeğe en yakın olanı Bowden ve Tabor'un kaynak bağları teorisidir. Yukarıdaki olaylara dayanarak bu teori şu şekilde açıklanabilir. Yüksüz durumda yüzeyler belirli pürüzlülük noktalarında temasta bulunurlar. Bu noktalardaki tabii tabakalar arasında bağlar oluşur. Yük tatbik edildikten sonra çok küçük olan temas yüzeylerinde çok büyük basınçlar meydana gelir. Bu basınçların etkisi altında bazı temas noktalarındaki tabii tabakalar kopar, metalik temas meydana gelir ve yüksek basıncın etkisi altında bu noktalarda moleküler bağ şeklinde mikroskobik kaynak bağları oluşur. Bu bağlar tabii tabaka bağlantısından çok daha kuvvetlidir. Temasta bulunan elemanların izafi hareketi ancak bu bağların kopması ile mümkündür. O halde sürtünme gerek metalik, gerekse tabii tabaka bağlarının oluşturduğu dirençtir. Sürtünme kuvveti ise bu ağların kopması için gereken kuvvettir [11].

Birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen demir, krom ve nikel gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşmaktadır. Sürtünme katsayısı düzensiz olarak değişmekte yüzeyler üzerinde izler ve bir yüzeyden diğerine malzeme transferi görülmektedir. Bazı hallerde kayma noktaları o kadar şiddetli olur ki yüzeyler birbirine kilitlenir. Hareket sağlansa bile yüzeyler tamamen bozulmuş olur. Buna yenme denir. Bu olay yukarıdaki malzemelerin alaşımları için geçerlidir.

Benzemeyen ve birbirleri ile ilgili olmayan malzemeler arasında daha hafif ve düzenli bir sürtünme oluşmakta ve yüzeyler üzerinde çok ince izler görülmektedir.

Birbiri üzerinde kayan malzemelerin biri sert diğeri yumuşak (örneğin kalay, kurşun, indiyum ve bunların alaşımları) olduğu takdirde yumuşak malzeme diğeri malzemeyi kendi parçacıklarında oluşan ince bir tabaka ile derhal kaplar. Ve bu şekilde iki yumuşak malzeme birbiri üzerinde kaymış gibi olur. Yani yumuşak malzeme bir yağlayıcı madde gibi rol oynar. Bunun sonucunda sürtünme katsayısı azalır ve bu yüzeyler arasında yenme olayı meydana gelmez. Şu halde küçük bir sürtünme katsayısı elde etmek ve aşırı aşınmayı önlemek için malzemeler aynı veya birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen cinsten olmamalıdır. Ayrıca malzemelerden birinin yumuşak diğeri sert olması gerekir.

Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir. Her iki yüzey yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış olabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında oluşur ve bu hale sıvı sürtünme denir. İkinci

durumda yani yüzeyler tamamıyla ayrılmadığı takdirde sınır sürtünme hali vardır. Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşturulamadığı durumda sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir.

Yüzeyler arasına bir yağlayıcı madde konulması halinde yağlayıcı maddenin molekülleri, adsorpsiyon olayının sonucu olarak maddesel yüzeylere düzgün ve muntazam bir şekilde yapışırlar. Yapılan deneyler göstermiştir ki polar karbonlu hidrojenlerin molekülleri aktif karboksil grupları ile maddesel yüzeylere bağlanmaktadır. Böylece yüzeyler üzerinde birkaç molekül tabakası kalınlığında adsorpsiyon tabakaları oluşmaktadır. Yağın bu özelliğine yapışma (oiliness) kabiliyeti denir. Bu özellik yağ ve maddesel yüzeylerin karşılıklı etkilerine bağlıdır. Oluşan bu tabaka tabii tabaka olduğu gibi, metalik yüzeylerini doğrudan doğruya temasa geçmesini önler. Ancak yağ tabakası ile tabii tabaka arasında önemli bir fark vardır. Havanın etkisi ile oluşan tabii tabakanın esas oksit tabakasıdır, burada tesadüfen buluna yağ molekülleri çok azdır. Yağ tabakası ise tamamen yağ moleküllerinden oluşur ve özelliğini buraya yağlamak amacıyla konulan yağ maddesinden alır. Yağ tabakasının tabii tabakaya göre kopma mukavemeti çok daha büyüktür ve bunun sonucu olarak doğrudan doğruya maddesel temasta olan yüzeyler daha azdır. Burada önemli olan yağ tabakasının kopma ve kayma mukavemetleridir. Adi yağların oluşturduğu yağ tabakasının kopma mukavemetini büyütmek veya kayma mukavemetini azaltmak için yağlara katıl (aditif) denilen bir takım ek maddeler konulur. Genellikle organik yağlardan oluşan katık maddeleri yağ içerisine çok az miktarda konulur. Bu maddeler metalsel yüzeylerle kimyasal reaksiyona girerler ve yüzeyler arasında kopma mukavemeti yüksek olan yarı sıvı halinde madeni sabunlar meydana getirirler böylece sınır sürtünme sırf adsorpsiyon tabakalarından oluşan fiziksel veya kimyasal reaksiyonu sonucu meydana gelen tabakalardan oluşan kimyasal esasına dayanır [11].

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılmış olduğu sürtünme halidir. Maddesel yüzeylerde doğrudan doğruya temasta bulunan yağ tabakaları, adsorpsiyon yolu ile bu malzemelere tamamen yapışmış olduğu görülür. Sıvı sürtünmenin oluşmasında rol oynayan esas etken yağ tabakasında meydana gelen basınçtır. Basınç oluşumu hidrodinamik ve hidrostatik olmak üzere iki olaya bağlıdır. Hidrodinamik sıvı sürtünmesinde yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olarak yağ tabakasında kendi kendine bir basınç alanı oluşur. Basınçlı bir yağ filminin oluşabilmesi için kinematik ve geometrik şartlar, yüzeylerin birbirine göre belirli bir izafi hıza sahip olması ve yağ

tabakasının hareket yönünde daralmasıdır. Pratikte bu iki şart eğik düzlemsel yüzeylerde (eksenel yataklarda) ve birbirine göre eksantrik bir durumda olan silindirik yüzeylerde (radyal yataklarda) gerçekleşir. Hidrodinamik sıvı sürtünmesi kinematik ve dinamik şartlara bağlı olduğundan uygulama alanı sınırlıdır. Genellikle bu sürtünme hali izafi hareketin sürekli olduğu ve yağ tabakasının hareket yönünde daraldığı sistemlerde oluşur. Öteleme hareketi sırasında hareket yönünde daralan bir yağ tabakası olduğu takdirde çok kısa süreli bir sıvı sürtünmesi hali gerçekleşebilir. Ancak bu sürtünme hiçbir zaman sürekli olmaz. Hidrodinamik sıvı sürtünmesi halinde sistemlerin aşınması tamamen önlenemez. Hidrodinamik sıvı sürtünmede yağlayıcı maddeler olarak sıvı, gaz veya gres kullanılabilir. Buna göre sıvı sürtünmesi halleri hidrodinamik, gazodinamik veya reodinamik olarak isimlendirilir. Hidrostatik sıvı sürtünmesi halinde dış kuvvetin dengelenmesi ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gereken basınç, bir yüksek basınçlı pompa vasıtası ile dışarıdan sağlanır. Yağ basınç ile yüzeyler arasına gönderilir. Bu durumda bütün sistemlerde, yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olmaksızın sıvı sürtünmesi sağlanabilir. Yani hidrostatik sıvı sürtünmesi hareketsiz yüzeylerde de oluşturulabilir. Böylece bu sistemlerde hareketin başlangıcında ve durma sırasında sıvı sürtünmesi hali vardır. Kuru ve sınır sürtünmenin bulunmadığı bu yağlama durumunda aşınma da yoktur.

Bu üstünlüklerine rağmen hidrostatik sıvı sürtünmesi ile çalışan sistemlerin mahsurları şu şekilde özetlenebilir. Tesisat bakımından (motor, pompa, süzgeç, dirençler) oldukça karışık ve pahalı bir sistemdir. Bu tesisatta bir arıza olduğu ve yatağa yağ gönderilmediği durumda, yüksek hızla çalışan elemanlar direkt temasa geçerler ve şiddetli bozulmalar meydana gelir. Ancak modern sistemlerde bu durumu önlemek için uyarıcı cihazlar konulur. Yağlayıcı maddeler sıvı, gaz veya gres olabilir. Buna göre sistemler hidrostatik, gazostatik ve reostatik olarak isimlendirilir [11].

Teknolojinin gelişmesi ile yağlama alanında da yeni yöntemler uygulanmaya başlanmıştır. Örneğin sıvı sürtünmesi bölgesinde çalışan sistemlerdeki yağlayıcı elektromagnetik alan içerisinde bulunursa, bu sistemlere, sıvı sürtünmenin cinsine göre magnetohidrodinamik, magnetogazodinamik ve magnetohidrostatik denilmektedir [11].

1.1.2. Aşınma

Aşınma sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır. Bu şekilde yüzeyler ilk şekillerini kaybederler. Parçalar arasındaki boşluklar büyür. Ve buna bağlı olarak makinenin hassasiyeti azalır. Dinamik kuvvetler büyür, gürültü ve titreşimler meydana gelir, verim azalır. Kısaca makine amaçlanan fonksiyonunu normal bir şekilde yerine getiremez olur. Genel olarak aşınma dış etkiler altında temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur. dış etkilerin fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin çokluğu nedeniyle pratikte bir aşınma hali değil, birçok aşınma halleri vardır. Bunlar adezyon, abrazyon, yorulma aşınması (pitting) ve mekanik korozyon olmak üzere dört grupta toplanabilir [11].

Adezyon aşınması en yaygın aşınma çeşididir ve genel anlamda da aşınma kavramı bu aşınma için kullanılmaktadır. Adezyon aşınmanın esası kaynak bağı teorisi ile açıklanabilir. Daha önce belirtildiği gibi yüzeyler arasındaki gerçek temas alanı çok küçük olduğundan temas noktaları büyük bir basınç altında bulunmaktadır. Normal olarak yüzeylerde absorbe edilmiş olan tabii ve yağ tabakaları basınç altında parçalanır. Malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temasa gelir ve bölgesel kaynak bağları oluşur. Bu kaynak bağlarının kopması ile meydana gelen malzeme kaybı, adezyon aşınmasını oluşturur. Adezyon aşınması yüzeylerde bir takım çizikler şeklinde veya tam tersine yüzeyleri parlatmış gibi görülmektedir, bu şekilde yüzeylerden bir tabaka kaldırılmaktadır. Aşınma çeşitli şekillerde gelişebilir. Alınan modellere göre aşınma üç bölgeden meydana gelir. I. bölgede yani parçacıkların ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Rodaj denilen bu safha parçaların birbirine alışması safhasıdır. Bazen imalatın devamı olarak sayılan bu safhada pürüzlükler eşitlenir. Rodaj parçanın daha sonraki aşınmasını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle parçaların rodajlarının iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmese gerekir. Genellikle rodaj, yüksüz ve normal hızdan daha küçük hızda yapılır. Rodajın iyi ve kısa süre içinde tamamlanması için bu safhaya ait özel yağlar kullanılır. II. bölgede esasen çalışma sırasındaki meydana gelen aşınmadır. Burada aşınma hızı az ve sabittir. Ancak zaman geçtikçe parçalar arasındaki boşluklar büyür, dinamik ve titreşimlerin artması ve yağlama koşullarının kötüleşmesi sonucu aşınma gittikçe artar ve şiddetli denilen aşınmanın III. bölgesine girilir. Bu safhada parçaların kırılması veya tüm makinenin bozulması beklenebilir. Yani bir zamandan sonra

parça değiştirilmeli veya tamir edilmelidir. Bu zamana bağlı aşınmanın yanı sıra yenme adını taşıyan ani bir aşınma tipi de vardır. Bu aşınmada yüzeyler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşur, parçalar birbirine kilitlenir veya hareket ettiği halde yüzeyler tamamen bozulur. Genellikle yenme, eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan, basınç ve kayma hızlarının çok büyük ve yağlanmanın yetersiz olmasından kaynaklanır. Yenmede görülen şiddetli kaynama, o noktaların sıcaklığının artmasından ileri gelir. Sıcaklık arttıkça yapışmış tabakanın düzeni bozulmaya başlar, belirli bir sıcaklıkta kopar ve metalik kaynak bağları oluşur. Bu sıcaklığa tabakanın kritik sıcaklığı da denir [11].

Adezyon aşınmasını önlemek için alınması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir: adezyon aşınması, benzer ve kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir. Bu bakımdan malzeme çiftinin birisi sert (örneğin çelik) diğeri yumuşak (örneğin bronz) veya kalaya dayanan yatak malzemesi olması şeklinde seçilmelidir. Bu aşınmaya yağlamanın etki çok büyüktür. Sınır sürtünmesi bölgesinde dahi, yüzeylere yapışmış yağ tabakası büyük ölçüde adezyon aşınmasını önlemektedir. Yüksek hız ve basınç altındaki yüzeyler arasına katı (aditifli) bir yağ konulursa, aşınma ve bilhassa yenme önlenir. Buna göre adezyon aşınmasını önlemek için iyi bir yağlama yöntemi sağlanmalı ve uygun yağlayıcı maddeler ile katıklar kullanılmalıdır. Yenmeyi önleyen yağlara, yüksek basınçlı (YB; HP) yağlar denilmektedir.

Diğer bir aşınma çeşidi de abrazyon aşınmasıdır. Çok önemli olan abrazyon aşınmasında yüzeylerin bozulması, dışarıdan yüzeyler arasına giren toz, talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi altında meydana gelir. Bu sert parçacıklar bir zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı bir etki yaparak eğeleme veya taşlamaya benzeyen bir malzeme kaybının meydana gelmesine neden olurlar. Abrazyon aşınmasında önemli olan yüzeylerin sertliğidir. Yüzeylerin sertliği ısıtma işlemi veya yüzeylerin sert malzeme ile kaplanmasıyla elde edilebilir. Abrazyon aşınmasını önlemek için alınacak önlemler şu şekilde özetlenebilir: yüzeyler sertleştirilmelidir. Dışarıdan sert malzemelerin yüzeyler arasına girmemesi için iyi bir sızdırmazlık sağlanmalıdır. Makineler ve sistemler talaştan ve diğer pisliklerden sık sık temizlenmelidir.

Yorulma aşınması (pitting), temas yüzeylerinde çok küçük çukurların oluşması şeklinde kendini gösterir. Olay özellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında, yani yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde ortaya çıkar ve

esas olarak bir malzeme yorulması sonucudur. Bu elamanlarda temas alanları küçük olduğundan yüzeylerde Hertz yüzey basınçları meydana gelir. Bu çeşit basınçların etkisi altında yüzeylerin hemen altında kayma gerilmeleri oluşur. Değişken zorlanma nedeniyle malzemenin yüzeyinde bir yorulma olayı başlar. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına da bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Zamanla bu boşluklar yüzeye doğru hareket etmekte, büyümekte ve yüzeyde küçük çukurcuklar meydana getirmektedir. Bu durumda yüzeyler arasındaki yağın etkisi de önemlidir. Yüksek basınç altındaki yağın çatlaklara girmesi, bunların büyümesinde önemli rol oynayabilir. Pitting aşınmasının diğer bir açıklama tarzı ise, çukurcukların plastik deformasyonlar nedeniyle doğrudan doğruya temas yüzeylerinde ve buradan malzemenin iç kısımlarına da yayıldığı ileri sürülmektedir.

İki türlü pitting vardır. İlkel pitting’ de çukurcuklar çok küçük olup büyümeyen ve yüzeye yayılmazlar. Tahripkar pitting’ de ise çukurcuklar zamanla büyür ve yayılırlar. Birinci tipteki pitting, elemanın normal çalışmasını genelde engellemez. Tahripkar pitting, elemanı işe yaramaz hale getirir.

Deney ve tecrübe göstermiştir ki pitting oluşumunda malzemelerin doğal sertliği önemli rol oynar. Doğal sertlikteki malzemelerde örneğin çeliklerde pitting meydana gelir. Ancak çeliğin yüzeyi sertleştirilirse pitting meydana gelmez. Bu aşınma türü yumuşak malzemelerde görülmemektedir. Yorulma aşınmasını önlemek için en önemli tedbir temas yüzeylerinin sertleştirilmesidir.

Yukarıda açıklanan üç aşınma çeşidinden en şiddetli olanı abrazyon aşınmasıdır. Bu bakımdan üç aşınma çeşidi elverişli olduğu durumda yüzeylerde abrazyon aşınması meydana gelmektedir.

Diğer bir aşınma türü de mekanik korozyon aşınmasıdır. Daha önce belirtildiği gibi yüzeyler hava ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları meydana getirirler. Bununla beraber özellikle kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makine elemanlarının yüzeyleri bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluştururlar. Aynı sonuç yağlarda bulunan maddelerden dolayı da elde edilir. Değişken yük altında bu sert tabaka kırılır ve sert parçacıklar düşerek aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar sert bir tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder. Henüz kesin olarak bilinmemekle beraber, hava rutubetinin de bu olay üzerinde etkisi önemlidir.

Oksidasyon aşınmasını önlemek için yüzeyler fosfat veya sülfür ile işlem görür veya oksidasyonu önleyen özel yağlayıcı maddeler kullanılır [11].

1.1.3. Yağlama

Yağlamanın amacı birbiri üzerinde hareket eden parçalar arasındaki sürtünme kuvvetini azaltmaktır. Böylece iş için gerekli olan enerjinin kayıpları azaltılmış olur. Hareket halindeki cisimler arasında temelde iki tür sürtünme vardır. Bunlar; yuvarlanma sürtünmesi ve kayma sürtünmesidir.

Hareketli cisimler arasındaki yuvarlanma sürtünmesi, kayma sürtünmesine göre ihmal edilecek boyuttadır. İki cisim üzerinde hareket edebilmeleri yüzeyler arasındaki sürtünmenin dış bir kuvvet tarafından yenilmesi ile olur. Bu kuvvet ortadan kaldırılırsa bir süre sonra hareket ortadan kalkacak ve cisimlerde durgun hallerine dönmüş olacaklardır [11].

Sürtünme katsayısının meydana gelişi temas yüzeyleri üzerindeki çeşitli noktaların birbirine kaynamaları ile ilgilidir. İki cismin temas yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin temas halindeyken mikroskopla incelendikleri aralarında birçok girinti ve çıkıntı bulunduğu görülecektir. Bu girinti ve çıkıntılar harekete karşı direnç göstereceklerdir. Bu direncin etkisi ile ısı enerjisi meydana gelerek cisimlerinin kristal yapılarının da bozulmasına neden olacaktır. Sonuçta hareket etme durumu zorlaşacağı gibi malzemelerde de ağır tahripler meydana gelecektir.

Yağlama bu noktada etkisini göstererek cisimler arasındaki bu girinti ve çıkıntıları örten bir tabaka meydana getirmektedir. İşte bu ince katmanına yağ filmi denilmektedir. Yağ filmi çok küçük büyüklükteki girintileri doldurarak bir tür dolgu görevi yapar. Aynı zamanda çıkıntılar arasına girerek parçaları birbirinden ayrı tutar. Kuru sürtünme olayına engel olarak, sıvı sürtünmesine imkan verir [12].

1.1.3.1. İçten Yanmalı Motorlarda Yağlamanın Amacı

Kuru sürtünmeyi, sıvı sürtünmeye dönüştürerek sürtünme kuvvetini azaltır. Bu şekilde motorların güç kaybı, fazla ısınması ve buna bağlı olarak fazla aşınması önlenir.

Motorda yağ dolaşımı sırasında sıcak noktalara soğuk yağ partiküllerini taşıyarak soğutma görevi yapar. Soğutma akışkanının ulaşamadığı noktalar örneğin; piston ve yataklar bu şekilde soğutulur.

Hareketli parçaların temizlenmesine yardımcı olur. Sürtünme yüzeylerinden mekanik olarak kopan parçaları kartere taşır ve orada depo eder.

Yanma sonunda motorda oluşan ağır darbeleri yutarak parçaların zarar görmesini önler ve parçalar arasındaki meydana gelen sesleri sönümler.

Yüzeyler üzerinde ince bir yağ filmi oluşturarak korozyona karşı koruyucu olur [13] .

1.1.3.1.1. Segmanlar

Piston segmanlarının görevi, yanma odasını karter bölgesine karşı bir conta gibi kapatmaktadır. Bu görevi sayesinde pistonun iki ölü nokta arasındaki hareketi sırasında gazların kartere kaçışını önlemiş olurlar. Yine emme ve güç zamanlarında da yağlama yağının silindir çevresine dağılımını sağlayarak tekrar kartere doğru sıyrılmasını temin eder. Böylece yağlama yağının yanma odasına geçmesine engel olur. Yağlama yağının yanmaya katılımını önleyerek hem yağın yanmasına hem de yanma odası çevresinde aşırı karbon birikmesine engel olur. Pistonlar üzerindeki ısıyı silindir gömleğine transfer ederek pistonların soğutulmasına yardım eder. Soğutma suyu, motor bloğu üzerideki silindir gömleklerinin çevresinde dolaşarak devri daimini sürdürür. Pistonların silindir gömleklerini doğrudan teması bulunmamaktadır. Gömlekler ile piston arasındaki temas, segmanlar aracılığı ile olmaktadır. Bu özelliği sebebiyle pistonların soğutulması görevini de yerine getirmiş olur.

Bu nedenle motorlarda iki farklı segman kullanılmaktadır. Bunlar kompresyon ve yağ segmanlarıdır. Yanma odasından kartere gazların sızmasını önlemek kompresyon segmanının görevidir. Bunun için bu segmanların pistonun üst kısmında yer alması ön görülmüştür. Kompresyon segmanları aynı zamanda yanma odasına en yakın çalışan

parçalardandır. Yüksek basınç, sıcaklık ve titreşim etkisi altında çalışmaktadır. Temel görevlerini yerine getirebilmeleri için dayanımlarının da yüksek olması gerekir. Bunun yanında da silindir cidarlarını en az seviyede aşındırması istenir. Segman malzemelerin seçimi önemli bir husustur. Segman malzemesi olarak günümüzde en sık olarak dökme demir kullanılmaktadır. Segmanlar sifero döküm yöntemi ile imal edilerek dökme demir içerisindeki grafit kitleleri çok küçük parçalara ayrılır. Böylece hem parçanın kendi kendini yağlaması hem de esnekliğinin artıp kırılabilirliğinin azalması sağlanmaya çalışılır. Bu fonksiyonların daha iyi yerine gelebilmesi için segman yüzeyleri kaplanır. Genellikle kaplama malzemesi olarak fosfat, demir oksit, kalay, krom ve molibden kullanılmaktadır.

Yağ segmanları motor yağının yanma odasına geçişine engel olmakla birlikte emme iş-güç zamanlarında yağın tekrar kartere geri inmesine yardımcı olurlar. Bu sıyırma işlemi sırasında karbon parçacıkları, motora giren toz ve diğer pisliklerde aşağı indirilir. Bu istenmeyen parçacıklar yağ içerisinden filtre yardımı ile geri alınır. Bu yöntemle yağlama yağı içerisinde devreden yağ silindir yüzeylerinin, segmanların temiz kalmasına yardımcı olur. Aynı zamanda karterde soğutulan yağ, tekrar bu parçalara geri gelerek motorun soğutulmasına da katılmış olur. Yağ segmanları genellikle piston eteğinde yer alırlar. Bu özelliğine göre genellikle bir adet olmakla birlikte bazı dizel motorlarında iki adet yağ segmanı da bulunabilmektedir.

Segmanların gaz ve yağ kaçağını tamamen önledikleri iddia edilemez. Özellikler segmanların silindir yüzeyine bir çizgi halinde temasını sağlayabilmek için ağızları açık yapılır. Bu ağız aralığı sıkı olursa çalışma sıcaklığının da etkisi ile bu aralık kapanır. Segmanlar fazla genleşemeyeceğinden kırılır, silindir yüzeyi çizilir. Aralık fazla olduğu takdirde ise sızdırmazlık kontrolü zorlaşır, kompresyon basıncında düşme meydana gelir. Segman ağız aralığı imalatçı firmalar tarafından belirlenen miktarda olmalıdır. Ancak günümüzde yağ silindir gömleklerinin daha yaygın olarak kullanılması yenileştirme işlemlerini kolaylaştırmıştır. Silindir gömlek ve pistonları her değişimde standart çap büyüklüğünde olmaktadır. Bu tip gömlekler, piston ve segmanı ile birlikte özel alıştırılmış bir biçimde piyasaya arz edilmektedir. Genel olarak silindir piston arasındaki boşluğun her bir 0,01 mm' sine kompresyon segmanlarında 0,10mm; yağ segmanlarında ise 0,07mm ağız aralığı verilir.

Segmanlar her ne kadar sızdırmazlığı yerine getirmeye çalışsalar da mevcut kompresyonun %20' sini kartere kaçıırırlar. Yağ segmanları da 1000 km de benzinli

motorlar için 0,5-1,0 g/litre; dizel motorlarında da 0,8-2,0 g/litre yağın yanma odasına kaçmasına engel olamazlar. Kaçak miktarı tolerans değerlerinin üstünde olduğu zaman yenileştirme işlemleri uygulamaya konur [12].

1.2. Yağlayıcı Maddeler

Sürtünme bakımından, çeşitli sürtünme halleri için yağlayıcı maddenin fonksiyonu farklıdır. Sıvı sürtünmelerinde yüzeyler arasındaki yağ tabakası yüzeyleri birbirinden tamamen ayırdığından burada önemli olan husus yağın viskozitesidir. Bu nedenle sıvı sürtünmesi halinde genellikle bazı hallerde gaz yağlayıcı maddelerde kullanılmaktadır. Sınır sürtünmesi halinde yağlayıcı maddenin yapışma kabiliyeti ve buna bağlı olarak kimyasal bileşimi önemlidir. Genellikle sınır sürtünmesi halinde katı ve katıkları sıvı yağlayıcı maddeler kullanılmaktadır.

Katı yağlayıcılar yalnız başlarına veya sıvı yağlar veya greslerin içine karıştırılarak kullanılır. Bu son durumda katı yağlayıcılar katık rolünü oynamaktadır. Pratikte en çok kullanılan katı yağlayıcılar grafit veya molibden disülfittir.

Sıvı yağlayıcı maddeler ; Genellikle kimyasal maddelerden elde edilen suni yağlar, ham petrolden damıtma yolu ile elde edilen madensel yağlar ve organik yani hayvansal ve bitkisel yağlar şeklindedir. Hayvansal esaslı kemik ve mafsalları yağları cihazlarda kullanılmaktadır.

Gaz yağlayıcılar; yüksek hız ve az yüklü sürtünmeli sistemlerde, gaz niteliğini taşıyan yağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Bunların viskoziteleri sıvılara göre çok düşük olduğundan kullanıldığı sistemlerde oluşan sürtünme ve bunun sonucunda sıcaklık çok az olur. Ancak bu sistemlerde yük taşıma kabiliyeti çok azdır [11].

1.3. Taşıtları Yağları ve Taşıtlarda Yağlama

Taşıtlarda kendinden beklenen bazı görevleri yerine getirmesi için yağlar kullanılır. Motorların yağ haznelerine konurlar buradan bir pompa yardımıyla krank ve piston kolu yatakları, kam mili ve tertibatına, eğer varsa kompresör ve türbin mili yataklarına

gönderilir. Pompalandıkları yerlerde yağlama görevini tamamladıktan sonra kartere geri dönerler.

Otomotiv sektörünün taleplerini karşılamak için belli miktarda katıklar içerebilirler. Motorlu taşıtlarda kullanılan yağların görevlerini şu başlıklar altında toplayabiliriz.

- a.Sürtünme ve aşınmayı azaltırlar.
- b.Soğutmaya yardımcı olurlar.
- c.Sızdırmazlık sağlarlar.
- d.Kirlenme ve birikinti oluşumunu kontrol altında tutarlar.

Aşınma olayı en belirgin olarak krank yatakları, silindirler, segmanlar, pistonlar, piston kolu yatakları, kam mili ve tertibatında görülür. Aşınmanın temel sert parçaların çizilmesi, metalin metale teması, asidik maddelerin tahribatıdır. Hava filtresinden sızan toz ve kir , aşınma ürünü metal parçalar ile yağda erimeyen oksidasyon ürünleri gibi ürünler sürtünen yüzeyler arasına girerek aşınmaya neden olacaktırlar. Motor içinde devamlı devir daim eden yağ bu toz, pis ve kiri olarak yağ filtresine taşır ve yağı temizler.

Motor parçalarının yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybedip deforme olmalarının önüne geçebilmek için soğutulmaları gerekmektedir. Motorlarda soğutma görevinin büyük bir kısmını soğutma sistemi yapmasına karşın yağlama sistemi soğutmaya oldukça yardımcı olmaktadır.

Motor yağı segman, piston ve silindir arasındaki boşlukları doldurarak yanma odasından kartere gaz kaçağına mani olur ve dolayısıyla motorun verimini artırır. İyi bir motor yağının segmanın rahat hareketini engelleyecek depozit ve tortuların oluşumuna neden olmaması gerekir.

Motorun çalışması sırasında yüksek sıcaklık, yanma, aşınma, toz ve rutubet gibi nedenlerle kirlenme ve birikinti oluşumu başlar. Motor yağının görevi bu kirlenmeyi ve birikinti oluşumunu kontrol altında tutarak motora zarar vermelerini önlemektir [13].

1.3.1.Taşıt Yağlarının Genel Özellikleri

1.3.1.1. Viskozite

Motor yağlarının viskozite özelliği aşınma, sızdırmazlık, yağ sarfiyatı, sürtünmeden ileri gelen güç kaybı gibi konularla yakından bağlantılıdır. Özellikle araç motorlarında ilk çalışma kolaylığı ve yakıt ekonomisi gibi kavramlar viskozite ile yakından ilgilidir [13].

1.3.1.2. Viskozite İndeksi

Bir yağın sıcaklık tesiri ile incelip kalınlaşma kabiliyeti “Viskozite İndeksi” diye tarif edilir. Buna göre yağlar

Alçak viskoziteli indeksli yağlar ($VI < 40$)

Orta viskoziteli indeksli yağlar ($40 < VI < 80$)

Yüksek viskozite indeksli yağlar ($80 < VI < 100$)

Multigrade viskozite indeksli yağlar ($VI > 100$),

olarak sınıflandırılır.

Yağların sıcaklıktan çabuk etkilenir olmaları arzu edilmediğinden dört mevsim boyunca değiştirilmeden kullanılabilen yüksek viskozite indeksli “Multigrade” yağları en çok tercih edilen yağlardır [13].

1.3.1.3. Akma Noktası

Özellikle soğukta çalışan yağlar için önemlidir. Yağın düşük sıcaklık tesiri ile akıcılığının kaybolmaması istenir. Yağ soğudukça şu iki olay gözlenir:

Viskozite yükselir yani kalınlaşır.

İçindeki vaks (mum) kristalleşerek ayrılmaya başlar. Sıcaklık düştükçe bu kristaller birbirleriyle birleşerek yağ zerrelerini aralarına hapseder ve böylece yağ akıcılığını kaybeder.

Akma noktası, bir tüp içinde soğumaya bırakılmış yağın hareketliliğinin kalmadığı sıcaklık derecesidir. Mum oranı fazla olan parafinik yağların “Akma Noktası” mum oranı az olan naftenik yağlarınkine nazaran daha yüksek olduğu için soğutma makinelerinde daha çok naftenik yağlar kullanılır. Parafinik yağların akma noktasını düşürmek için içlerindeki mumun ayrıca temizlenmesi gerekir ki buda maliyeti yükseltir.

1.3.1.4. Nötralizasyon Sayısı

Yağların eldesi esnasında asit ile işleme tabii olurlar, katılan asitlerden bir miktar asit mutlaka kalmaktadır. Bu asit, yağ bünyesinde kalırsa metal yüzeylerin aşınmasına neden olacağından yağlar ayrıca kostik soda ile nötrale edilir. Bu nötrleşme sonucu yine çok az miktarda asit kalabilir. Buda nötralizasyon deneyi ile tespit edilerek ,1 gr. yağı nötrale etmek için kullanılan miligram potasyum hidroksit cinsinden (mg KOH/gr) “Nötralizasyon sayısı” olarak ifade edilir [13].

1.3.1.5. Oksitlenme Direnci

Oksijenle temas eden yağ, özellikle yüksek sıcaklıklarda oksitlenerek bozulur, bu bir yanma olayıdır. Yanma sonucu bazı yağ asitleri meydana gelir ki bunlar bilhassa kurşun bronz yatakları aşındırır, yağın kalınlığını artırır, yağda çamurumsu bir tabaka hasıl eder ve eğer yağa su karışacak olursa emülsiyon olur. Bu durumda yağ görevini yapamaz hale gelir. Yağın oksitlenmesini önlemek için yağa “Oksidasyon Önleyici Katık” katılır. Bu katıklar oksijene karşı hidrokarbonlara nazaran daha haris oldukları yağa karışan oksijenle kendileri birleşerek yağın oksitlenmesine engel olurlar.

1.3.1.6. Yağların Bozulma Dirençleri

Bazı metaller örneğin bakır, yağda çözünmek suretiyle yağın ömrünü kısaltır. Yağın içinde milyonda 1 ölçüde bakır yağın ömrünü yarı yarıya azaltır. Bu nedenle böyle bir durumda engel olucu katıklar da yağa önceden ilave edilmelidir.

1.3.1.7. Korozyon Önleme

Oksitlenme sonucunda oluşan yağ asitlerinin metal yüzeyler etki etmemesi için ya bu asitleri nötralize eden veya metal yüzeylere yapışarak asitlerin etkisine engel olan bir katık kullanılır.

1.3.1.8. Dağıtma Özelliği

İçten yanmalı motorlarda daima meydana gelme olasılığı bulunan yanmamış karbon zerrecilerinin etrafı yağ içine konan özel bir katıkla sarılarak birbirleri ile birleşmeleri önlenir ve böylece bu karbonlar büyük parçalar meydana getirmeyerek yağ içinde ince zerreciler olarak kalırlar dolayısıyla yağ kanallarının tıkanması silindir gömleği ve yatakların çizilmezi gibi istenmeyen olaylar engellenir.

1.3.1.9. Sıvanma Özelliği

Parçalar üzerine sıvanan yağın yapıştığı yeri terk etmemesi yani polar özelliği koruması istendiğinde bu tip yağlara polar molekülleri fazla olan katıklar katılır [13].

1.3.1.10. Çok Yüksek Basınçlara Direnç

Aşırı yükler halinde bazen en etkili sıvanma özelliği olan yağlar bile film teşkil edemez ve parçalar arasındaki yüke dayanamayarak dışarı atılırlar. Böyle durumlar için daha etkili yağlar bulmak gerekir ki bunlara E.P (ekstreme pressure) tipi yağlar denir. Mineral yağ ilave edilen klor (Cl), kükürt (S), fosfor (P), kurşun (Pb) gibi katıklar hareket eden yüzeyler üzerinde gayet sert, elastik ve ince bir alایشım tabakası meydana getirerek yağa iyi bir sıvanma ve çok yüksek basınçlarda metale daha etki ederek sürtünme katsayısı düşük bir alایشım filmi meydana getirme özelliklerini kazandırır.

1.3.1.11. Köpürme Direnci

Yağ şiddetli bir şekilde çalkalanacak veya çırpılacak olursa (dişli kutularındaki gibi) hava ile karışır ve büyük hacimleri kaplayan köpük tabakası oluşur. Köpük halinde yağ yük taşımaz. Bu hal özellikle hidrolik sistem ve dişli kutularında mahzur teşkil edeceğinden böyle yerlerde kullanılacak yağa konan özel bir katık, köpük baloncuklarının birbiri ile birleşip büyüyerek patlamasını sağlar. Bütün bunların haricinde bazı yağlarda parçalar arasına nüfuz ederek pas çözme ve pas önleme yeteneği, elektriği iletememe gibi değişik özelliklerde aranabilir [13].

1.4. Bitkisel Yağlar ve Yağlama

Bitkisel yağlar, bitkilerin yağlı tohumlarından veya meyvelerinden çıkarılır ve dünyada kullanılan yağlı maddelerin hemen hemen yarısını oluşturur. Yağın elde edilmesini sağlayan işlemler 2 aşamada gerçekleşir;

1.Öğütülerek ezme; yağlı tohum/ meyveler preste ezilerek ham yağ ile küspe elde edilir.

2.Ham yağın arıtılması işleminde, nötrleştirme, renk giderme, süzme ve koku giderme gibi işlemler bulunur. Bundan sonra yağ tüketime hazır hale gelir.

Bitkisel yağlar petrol kökenli yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinik ve aromatiklerden oluşmasına karşılık bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserid adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını alırlar. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır.

Nükleer artıklar, ozon tabakasının incilmesi, çevre sorunları gibi konular günümüz dünyasında gündemi oluşturan sorunlardır. Artan çevre bilinci ile dünyada birçok ülke bu sorunlarla ilgili olarak çevre dostu ürünlerin kullanımı için yasa çıkarmıştır. Örneğin F. Almanya da bölgesel düzenlemeler ile orman bölgelerinde sadece hızlı biyolojik ayrışabilir yağ ile çalışan ekipman kullanımına izin vermiştir. Bitkisel yağlayıcıların kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Ormancılıkta zincirli testerelerin devir-daimsiz yağlanması. Burada dönen testerelerin dişlerine yapışarak yağlama sağlamakta, bunun yanında çalışma alanının içine yağlar dağılmaktadır. Yağ artıkları orman toprağına sızmakta veya testerelerin kesip parçalandığı odun artığına karışmaktadır. Bunun tekrar geri kazanımı söz konusu değildir, çevrenin (toprağın) korunması açısından yararlıdır. Bunun yanında zincirli testerede kullanılan yağlayıcılar bıçkı fabrikaları ve odun işleme makinelerine de uygulanmaktadır.

Süt sağım makineleri, şerbet gübre römorkları, zincirli elevatörler, mısır kıyıcıları, büyük balya presleri, yükleme vagonları gibi devir-daimsiz yağlayıcı tarım makinelerinde kullanılabilmektedirler. Pratik ve deneysel çalışmalarda, mevcut makine ve zincirlerin yanında vites kutularında basit ilavelerle veya soğuk preslemeyle elde edilen kolza yağı olumlu sonuçlar göstermiştir. Kuvvetli derecede bir aşınma veya bozulma saptanmamıştır [13].

İşletme içi devir-daimsiz yağlamayla çalışan makinelerde; silo frezeleri, taşıma ve dağıtma araçları, yem karıştırma veya ayrıştırma araçlarında.

Traktörün hidrolik sisteminde (çalışma aletleri ve römorkta). Traktör ve Alet-Makine arasında kavrama (birleştirme) sağlanırken sızıntı kaybına izin vermemektedir. Tarımda bu şekilde ortaya çıkan yağ kayıpları ortalama 5000 t/yıl olabilmektedir. ISO 5675'e göre kavramaların söküp takılmalarında 2.5 ml/sökme kaybı öngörülmektedir.

Yeni yağlayıcılarla ve kavrama rekorlarının geliştirilmesi gibi basit önlemlerle kayıpların azaltılması mümkündür. Bu yeni kavramalar bazı firma ve traktör üreticileri tarafından geliştirilmiştir. Bunlar ISO standartlarına uygundur fakat fiyatları pahalıdır.

Biçerdöver, mısır kıyıcıları ve bunun gibi kendi yürür hasat makinelerinin hidrolik sistemlerinde; bu makinelerde kural hidrolik basınçtır ve bitkisel hidrolik yağ yüksek basınç taleplerini karşılamaktadır. Sıvıdaki kirli katı madde, saflık (temizlik) sınıfına göre yüksek değildir.

Kendi yürür ormancılık makinelerinde; kural olarak kullanılan yağlama sistemi kapalı sistemdir. Bazı kaza durumlarında (hidrolik hortumunun arızası gibi) hidrolik yağ tamamıyla (makine büyüklüğü ve donanımına göre 50-150 litre) boşalabilmekte ve kontrol edilememektedir [13].

1.4.1. Bitkisel Yağların Motor Yağı Olarak Kullanımı

Günümüzde kullanılan motor yağları petrol kökenli mineral yağlardır. Motor teknolojisinin gelişimine paralel olarak mineral yağların bol bulunması ve mineral yağların özelliklerinin motorların isteklerine göre iyileştirilmiş olması nedeni ile yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzdeki çevre sorunları ve toplumların çevrenin korunması konusunda duyarlı hale gelmesi ile çevreyi daha az kirleten yenilenebilir kaynaklardan motor yağı elde etme ve bunları motorun isteklerine uygun hale getirme çalışmaları başlamıştır. Bu yağlar sentetik yağlar grubunda toplanmaktadır. Bunların başlıcaları aşağıdaki şekildedir.

Bitkisel yağ türevleri

Dibazik asit esterleri

Fosfat esterleri

Silikat esterleri

Silikon polimerleri

Poliglikoller

Poliakril esterler

Poliaril esterler

Halojenli çeşitli bileşikler

Bor, azot ve fosforun inorganik polimerleri

Sentetik yağlama yağları II. Dünya Savaşı'nda Almanya'nın yaşadığı petrol krizi sonrasında ortaya çıkmış ve günümüze sürekli gelişen bir teknoloji ile ulaşmıştır. Günümüzde sentetik yağlama yağları, petrol dışı yenilenebilir kaynaklara dayalıdır. Çevre dostu yağlama yağı, üretimi, kullanımı ve sonrasında, hava, su ve toprağı en az düzeyde kirletmeli; insan, hayvan ve bitkilere ise en az düzeyde sağlık ve güvenlik sorunları oluşturmamalıdır.

Bitkisel yağların viskozite indeksleri ve alevlenme noktası madeni yağdan daha iyidir. Pek çok ülkede biyolojik olarak hızlı ayrışabilen bitkisel yağların, yağlama yağları toplam tüketimi içindeki payının artması gereklidir. Bitkisel kökenli, çevre dostu yağlama yağları, yağlar ve başta yağ asidi esterleri olmak üzere yağ türevleridir. 19. yüzyıl öncesi başlıca

yağlama yağları olarak kolza yağı, hintyağı gibi bitkisel yağlar yağlama işlemlerinde kullanılmıştır. Petrol rafinasyonunun gelişimi ile, madeni yağların uzun yıllar bol ve ucuz bulunur olmaları bitkisel yağlara ilgiyi azaltmışsa da 80' li yıllardan sonra bu tip yağlama yağlarının sentetik yağlama yağları içindeki önemi artmıştır [13].

1.4.1.1. Biyolojik Olarak Ayrışabilir Yağlar İçin Bitkisel Yağların Kullanılması

Mineral yağlar ile bitkisel yağların basitleştirilmiş kimyasal yapıları arasında büyük oranda benzerlik vardır. En büyük fark ise bir hidrokarbonlu bitkisel yağlar esterlerdir.

Bitkisel yağların polar seter gruplarının etkisinden dolayı sürtünme ve aşınma azalması gibi özellikleri mineral yağlardan daha iyidir. Polar gruba sahip bitkisel yağlar yağlamaya başlanan mekanizmada tortu şeklinde kalan kirlenme ve atık yağ parçacıklarını daha iyi çözer. Çünkü bu özellikler bitkisel yağ esaslı yağlayıcılar için dispersiyon isteğini, aşınma etkilerini sürtünme etmenlerinin miktarının azaltılmasını mümkün kılmaktadır.

1.4.1.2. Kolza (Kanola–Canola Oil) Yağının Yağlama Yağı Olarak Kullanımı

Kanola yağı yağlayıcı madde olarak kullanılan yağların en uygunlarından biridir. Kuzey Amerika'da kanola, Avrupa'da kolza ismi ile anılmaktadır. Bitkinin ana vatanı Türkiye'dir. Kanola tohumlarından değişik presleme yöntemleriyle yağ elde edilir. Dünyada soya yağının üretimi kolza yağının üretiminden en az iki katı fazladır. Bitkisel yağların seçiminde soya yağı üretim fazlası olduğu için tercih edilebilir ancak soya yağı yağlayıcı yağı olarak diğer bitkisel yağlardan daha az iyi özelliklere sahiptir.

Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtarıdır. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir fakat düşük sıcaklık özelliğini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirle ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır. Kanola %58 monodoymamış, %36 polidoymamış ve %6 doymuş zincire sahip bu tipte bir yağdır. Bunlar yağa kabul edilebilir oksitlenme direnci ve

düşük sıcaklık performansı sağlarlar. Soya yağı aksine diğer mevcut yağlara göre önemli derecede daha az oksitlenme direnci sağlayan %61'lik polidoymamış zincire sahiptir. Yüksek oleik asitli ayçiçek yağı gibi bir yağ oksitlenme direncini artırmak için kullanılabilir. Yüksek oleik asitli ayçiçek yağı kanola yağından daha çok oksitlenme direncine sahiptir.

Kanola yağı yapılan araştırmalarda yaygın olarak hidrolik yağı olarak kullanılmaktadır. Bu yağ kendinden beklenen performansı sağlamaktadır. Biyolojik ayrışabilir hidrolik yağlarının temel özellikleri sıcaklık sınırı, materyal uygunluğu, diğer yağlarla karışım yapabilme yeteneği, sulama oranı, viskozite biyolojik ayrışabilme gibi özelliklerdir. Bu özelliklerin çoğu yeterli şartı sağlamasına rağmen bitkisel yağların farklı niteliklerinden dolayı, farklı hammadde ve malzemelerle uyumunda bazı problemler görülmektedir. Örneğin biyolojik aşınabilir yağlar ile uygun olmayan mineral yağın karışımında yağın özelliğini bozmakta; çalışma sıcaklığının artmasına bağlı olarak kısa sürede bozulabilmektedir. Yine biyolojik ayrışabilir yağ içine her hangi bir sebeple su karışması durumunda özelliği kısa sürede bozulmaktadır. Müsaade edilen su içeriği %0.2' den daha küçüktür. Biyolojik ayrışabilir hidrolik sıvısı seçilirken hidrolik sistemin yapısı, yükleme durumu ve çalışma şartları dikkate alınarak yapılmalıdır [13].

Araştırmalarda ve bitkisel yağ esaslı endüstriyel yağlayıcıların geliştirilmesinde kanola ve ayçiçek yağlarının kullanımı başı çekmektedir. Çünkü bunların oksitlenme değerleri diğer yağlardan daha iyidir [13].

1.4.1.3 Fındık Yağının Özellikleri

Türkiye'de uzun yıllardır fındık üretimi yapılmaktadır. Türkiye dünyada fındık üretimi ve ticaretinin önemli bir yüzdesini gerçekleştirmektedir.

Tablo 1.1. Ham fındık yağına ait bazı özellikler [15,17].

Yağ asitleri	Kütle oran (%)	Kapalı formül	Karbon ve çift bağ sayısı	Molekül ağırlığı	Mol sayıları (küt./mol.ağ.)
Palmitik asit	5,55	C ₁₅ H ₃₁ COOH	16/0	256,42	0,0216
Stearik asit	2,66	C ₁₇ H ₃₅ COOH	18/0	284,47	0,0093
Oleik asit	80,79	C ₁₇ H ₃₃ COOH	18/1	282,48	0,2860
Linoleik asit	10,21	C ₁₇ H ₃₁ COOH	18/2	280,44	0,0364

Doymuş yağ asitleri : %8,46

Tekli doymamış yağ asitleri: %81,19

Çoklu doymamış yağ asitleri: %10,35

Yağ asitlerinin mol sayıları (kütle/ molekül ağırlığı)

Palmitik asit 5,55 / 256,42 = 0,0216

Stearik asit 2,66 / 284,47 = 0,0093

Oleik asit 80,79 / 282,48 = 0,2860

Linoleik asit 10,21 / 280,44 = 0,0364

Toplam 0,3533

Üç mol asit, bir mol gliserinle birleşerek üç mol su ve bir mol trigliserid meydana gelmektedir [15,16]. Bu durumda;

0,3533 3 mol olursa
0,1834 mol palmitik asit
1 mol gliserin 0,0789 mol stearik asit
2,4285 mol oleik asit
0,3090 mol linoleik asit

birleşme oranları elde edilir. Birleşmenin bu orana uyan kimyasal eşitliği;

$C_3H_5(OH)_3 + 0,1834(C_{16}H_{32}O_2) + 0,0789(C_{18}H_{36}O_2) + 2,4285(C_{18}H_{34}O_2) + 0,3090(C_{18}H_{32}O_2) \rightarrow C_3H_5 + 0,1834(C_{16}H_{31}O_2) + 0,0789(C_{18}H_{35}O_2) + 2,4285(C_{18}H_{33}O_2) + 0,3090(C_{18}H_{31}O_2) + 3H_2O$
olacaktır.

Bu reaksiyona göre yakıt molekülünü oluşturan bileşenlerdeki toplam karbon, hidrojen ve oksijen sayıları;

$$\text{Karbon sayısı (C)} \quad 3 + 2,9344 + 1,4202 + 43,713 + 5,562 = 56,6296$$

$$\text{Hidrojen sayısı (H)} \quad 5 + 5,6854 + 2,7615 + 80,1405 + 9,579 = 103,1664$$

$$\text{Oksijen sayısı (O)} \quad 0,3668 + 0,1578 + 4,857 + 0,618 = 6$$

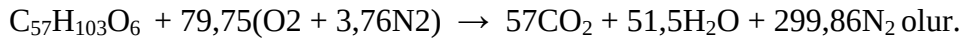
olarak ifade edilir. Bu değerlere göre ham fındık yağının kimyasal formülü;

$C_{56,6296}H_{103,1664}O_6$ 'dır. Bu formül yaklaşık olarak $C_{57}H_{103}O_6$ olarak yazılabilir.

Ham fındık yağının tam yanma eşitliği ise;



$$a = 79,75 \quad b = 57 \quad 2c = 103 \quad d = 299,86 \text{ bulunur. Buna göre;}$$



Hava / yakıt = 13,79 bulunur [16].

1.4.2. Bitkisel Yağların Yağ Asidi Bileşenleri

Tablo 1.2' de görüldüğü gibi fındık yağının oleik asit miktarı 71-85 gibi rakamla oldukça zengin ve linoleik asit miktarı 7-22 olan bir yağdır. Yine zeytin yağı ve aspir yağlarının oleik asit miktarı yüksektir. Araştırma ve uygulamalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkarmaktadır [19,20].

Yüksek oleik asitli bitkisel yağlarda oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtardır. Mono doymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir. Fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliklerini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına

sahip olacaktır. Kolza %58 monodoymamış, %36 polidoymamış ve %6 doymuş zincire sahip bu tipte bir yağdır. Bunlar yağa kabul edilebilir oksitlenme direnci ve düşük sıcaklık performansı sağlarlar. Soya yağı aksine diğer mevcut yağlara göre önemli derecede daha az oksitlenme direnci sağlayan %61 'lik polidoymamış zincire sahiptir [19].

Yüksek oleik asitli ayçiçek yağı gibi bir yağ oksitlenme direncini artırmak için kullanılabilir. Yüksek oleikli ayçiçek yağı kolza yağından daha yüksek oksitlenme direncine sahiptir. Yağ hammaddeleri yağda bozulmayı başlatıcı etkenler yanında bozulma tepkimelerini önleyici veya yavaşlatıcı bileşenleri de içerirler. Hava oksijeni gibi dış etkenler nedeni ile yağda oksidasyon oluşumunu engelleyen bu maddeler doğal antioksidanlar olarak bilinirler. Oksidatif reaksiyonlarda bünyeye giren oksijen ana unsurlarla reaksiyona girmeden antioksidanlara bağlanarak bozulma engellenmiş olur. Bitkisel yağlarda en yaygın olarak bulunan anti oksidan tokoferollerdir. Fındık yağında da oleik yağ asit miktarı yüksektir. Ayrıca içerisinde bulunan yüksek miktardaki tokoferol maddesi uzun süre depolanabilmesine imkan sağlamaktadır [21].

Tablo 1.2. Bazı yağların yağ asidi bileşenleri [19].

Yağ	Miristik Asit 14:0	Palmitik Asit 16:0	Stearik Asit 18:0	Oleik Asit 18:1	Linoleik Asit 18:2	Linoleik Asit 18:3	Araşidik Asit 20:0	Erusik Asit 22:1
Soya Y.		6-10	2-5	20-30	50-60	5-11		
Mısır Y.	1-2	8-12	2-5	19-49	34-62	Eseri		
Fındık Y.		4-10	1-3	71-81	7-22	1,5	1	
Yer Fıstığı Y.		8-9	2-3	50-65	20-30			
Zeytin Y.		9-10	2-3	73-84	10-12	Eseri		
Pamuk T. Y.	0-2	20-25	1-2	23-35	40-50	Eseri		
Yüksek Linoleikli Aspir		5,9	1,5	8,8	83,8			
Yüksek Oleikli Aspir		4,8	1,4	74,1	19,7			
Yüksek Oleikli Kolza		4,3	1,3	59,9	21,1	13,2		
Yüksek Erusikli Kolza		3,0	0,8	13,1	14,1	9,7	7,4	50,7
Tere Y.	7-10	24-26	10-13	28-31	1-2,5	0,2-0,5		
Don Y.	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3			
Keten T. Y.		4-7	2-4	25-40	35-40	25-60		

1.4.3. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Hava, çevre ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan konulardır. Artan çevre bilinci endüstri ve çevre bilimcilerinin halkı bilinçlendirmesi için faaliyetlerde bulunmasına sevk etmiştir. Dünyada birçok ülkede bununla ilgili olarak çevre dostu ürünlerinin kullanımı için yasa çıkarmıştır. Örneğin F. Almanya bölgesi düzenlemeler ile ormancılık sektöründe hızlı biyolojik ayrışabilir yağ

kullanılmayan ekipmanın kullanımını yasaklamıştır. Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alınırsa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkanı her an mevcuttur. Burada yetiştirilecek bitki çeşitlerinin yağ bitkileri olması ileride oluşacak ihtiyacı fazlasıyla karşılayacak düzeydedir [13] .

1.4.4. Bitkisel Yağların Fiziksel-Kimyasal ve Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilecek başlıcaları; fındık, haşhaş, susam, yağ keteni, mısır özü, hintyağı, defne, ceviz, badem, ayçiçeği, aspir, soya, hurma, kolza, yer fıstığı, susam, keten tohumu, pamuk tohumu yağıdır. Tablo 1.3’ de yakıt olarak kullanılan bitkisel yağların kinematik viskozite (KV), Karbon artığı (KA), Setan sayısı (SS), Üst ısı değeri (Ho), Kül (K), Kükürt içeriği (S), İyot değeri (ID), Sabunlaşma değeri (SD) özellikleri verilmiştir [13].

Tablo 1.3. Dizel motorlarında kullanılan yağlar ve özellikleri [13].

Yağ	KV	KA	SS	Ho	K	S	ID	SD
Pamuk yağı	33,7	0,25	33,7	39,4	0,02	0,01	113,20	207,71
Haşhaş	42,4	0,25	36,7	39,6	0,02	0,01	116,83	196,82
Kolza	37,3	0,31	37,05	39,7	0,006	0,01	108,05	197,07
Aspir	31,6	0,26	42,0	39,05	0,007	0,01	139,83	190,23
Ayçiçeği	34,4	0,28	36,7	39,6	0,01	0,01	132,32	191,70
Susam	36,0	0,25	40,4	39,4	0,002	0,01	91,76	201,34
Yağ keteni	28,0	0,24	27,6	39,3	0,01	0,01	156,74	188,71
Buğday	32,6	0,23	35,2	39,3	0,02	0,02	120,96	205,68
Mısır özü	35,1	0,22	37,5	39,6	0,01	0,01	119,41	194,14
Hint yağı	29,7	0,21	42,3	37,4	0,01	0,01	88,72	202,71
Soya	33,1	0,24	38,1	39,6	0,006	0,01	69,82	220,78
Defne	23,2	0,20	33,6	39,3	0,03	0,02	105,15	220,62
Yer fıstığı	40,0	0,22	34,6	39,5	0,02	0,01	119,55	199,80
Fındık	24,0	0,21	52,9	39,8	0,01	0,02	98,62	197,63
Ceviz	36,8	0,24	33,6	39,6	0,02	0,02	135,24	190,82
Badem	34,2	0,22	34,5	39,8	0,01	0,01	102,35	197,56
Zeytin	29,4	0,23	49,3	39,7	0,008	0,02	100,16	196,83

Bitkisel yağların karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın; oksijen değerleri ise daha yükseldir. Isıl değerleri ise dizel yakıtının ısı değeriyle yaklaşık % 10-15 kadar daha azdır.

Tablo 1.4. Bitkisel yağların yağ asidi içerikleri [13].

Yağ	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	Diğer
Pamuk yağı	28,7	0	0,9	13,0	57,4	0	0
Haşhaş	12,6	0,1	4,0	22,3	60,2	0,5	0
Kolza	3,5	0	0,9	64,1	22,3	8,2	0
Aspir	7,3	0	1,9	13,6	77,2	0	0
Ayçiçeği	6,4	0,1	2,9	17,7	72,9	0	0
Susam	13,1	0	3,9	52,8	30,2	0	0
Yağ keteni	5,1	0,3	2,5	18,9	18,1	55,1	0
Buğday	20,6	1,0	1,1	16,6	56,0	2,9	1,8
Hurma	42,6	0,3	4,4	40,5	10,1	0,2	1,1
Mısır özü	11,8	0	2,0	24,8	61,3	0	0,3
Hintyağı	1,1	0	3,1	4,9	1,3	0	89,6
Tallow	23,3	0,1	19,3	42,4	2,9	0,9	2,9
Soya	13,9	0,3	2,1	23,2	56,2	4,3	0
Defne	25,9	0,3	3,1	10,8	11,3	17,6	31,0
Yer fıstığı	11,4	0	2,4	48,3	32,0	0,9	4
Fındık	4,9	0,2	2,6	83,6	8,5	0,2	0
Ceviz	7,2	0,2	1,9	18,5	56,0	16,2	0
Badem	6,5	0,5	1,4	70,7	20,0	0	0,9
Zeytin	5,0	0,3	1,6	74,7	17,6	0	0,8
Hindistan cevizi	9,7	0,1	3,0	6,9	2,2	0	65,7

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında ön yanma odalı motorlar direkt püskürtmeli motorlardan daha etkili olmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksektir. Çalışmaların büyük bölümü bu yüksek viskozitenin çeşitli yöntemlerle azaltılması yönünde olmaktadır. Bitkisel yağlar yüksek viskoziteleri nedeni ile içten yanmalı motorlarda direkt olarak kullanılmamaktadır. Bitkisel yağların özelliklerinde bir takım değişiklikler yada motorda bir takım değişiklikler yapmak gerekmektedir.

Tablo 1.5. Yağ asitlerinin kimyasal yapısı [19,22].

Yağ Asidi	Karbon ve Çift Bağ Sayısı	Kimyasal Yapı
Kaprilik	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
Kaprik	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Laurik	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Miristik	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmitik	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmioleik	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearik	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oleik	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoleik	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolenik	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Araşidik	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Eikosenoik	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
Behinik	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Erusik	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

Tablo 1.6. Yakıtların önemli özellikleri [19].

	Yoğunluk (kg/l)	Isıl değer (MJ/kg)	Viskozite (20° Cde) (mm²/s)	Setan sayısı	Oktan sayısı	Parlama noktası (°C)	Yakıt eşdeğer- liği
Petrodizel	0,84	42,7	5,0	50	-	80	1
Kolza yağı	0,92	37,6	74,0	40	-	317	0,96
Biyodizel	0,88	37,1	7,5	56	-	120	0,91
N.Benzin	0,76	42,7	0,6	-	92	<21	1
Biyoetanol	0,79	26,8	1,5	-	>100	<21	065
Etil-tetra bütil-eter (ETBE)	0,74	36,4	1,5	-	102	<22	0,83
Biyometanol	0,79	19,7	-	-	>110	-	0,48
Metil-tetra bütil-eter (MTBE)	0,74	35,0	0,7	-	102	-28	0,80
Dimetil Eter (DME)	0,67 ¹	28,4	-	60	-	-	0,59
Biyometan	0,72 ²	50,0	-	-	130	-	1,4 ⁴

Parlama noktası yakıtların risk sınıflandırmasında çok önemlidir. Taşıma ve depolama için parlama noktasının yüksek olması istenir.

Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt kalitesi kriteridir.

Kinematik viskozite yoğunluğa benzer şekilde doğal bir özelliktir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya ve segmanlarda karbon birikmesine sebep olmaktadır.

Setan sayısı yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Bitkisel yağların setan sayısı elde edildiği ham maddeye bağlı olarak 40 ile 49 arasında değişmektedir. Motor performansı ve egzoz gazı emisyonları ile yayılan gürültü seviyesi önemli bir karakteristik özelliktir. Setan sayısının ölçülmesi özel motorlar (CFR veya sıkıştırma oranı değiştirilebilir motor) yardımıyla olmaktadır.

Karbon artığı yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır.

İyot sayısı yağın doymamışlığının bir ölçüsüdür. İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında polimerleşmeye ve hasara sebep olmaktadır.

Kükürt içeriği yakıtta yağlayıcılık özelliği kazandırır.

Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağ üretimi ve depolanması esnasında su karışabilmektedir [19].

1.5. İki Zamanlı Motorlar

İki zamanlı motorlarda bir iş çevrimi pistonun iki strokunda ya da krank milinin bir tam dönmesinde tamamlanır. Emme ve sıkıştırma iç içe olarak bir strokta yapılır. İş ve egzoz olayları ise diğer ikinci strokta tamamlanır. Bu yöntemle emme ve egzoz olayları için hava pompası kullanılmaktadır. Dizel motorlarında ise hava gereksiniminin daha fazla olması nedeniyle, piston alt yüzünün pompalayacağı hava yeterli olmamakta; bu motorlarda ayrı bir hava pompası kullanımı zorunlu olmaktadır. İki zamanlı motor aşağıda açıklandığı şekilde çalışmaktadır:

Püskürtme ve sıkıştırma zamanı ; piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru harekete başlarken, henüz egzoz ve emme kanalları açıktır ve emme kanalına basılan temiz karışım, silindir içerisindeki yanma ürünü gazları süpürerek egzoz yoluyla dışarı atarken silindirin içi taze dolgu ile dolar. Süpürme olarak da adlandırılan bu olay için bazen hava pompası da kullanılır. Biraz sonra emme ve egzoz kanalları kapanır ve silindir içerisindeki taze dolgu sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda silindir içindeki basınç ve sıcaklık değerleri dört zamanlı motorlardaki değerlere erişir.

İş zamanı; yanma dört zamanlı motorlardaki gibi piston ÜÖN'da iken başlar. Sıcaklık basınç yaklaşık olarak dört zamanlı motorlardaki değerlere erişir. Daha sonra iş gazları genişler pistonu AÖN'ya doğru iterler. Piston AÖN'ya yaklaşırken egzoz yolu açılarak yanmış gazlar bu yolla dışarı üflenirler. Biraz sonra giriş yolu da açılır ve içeriye basınçla giren taze dolgu yanmış gazların tümünü süpürerek egzoz yoluyla dışarı atar.

İki zamanlı motorlarda dolgu değişimi, piston AÖN civarında hareket ederken oluşmaktadır. Bu kısa süreçte silindir içerisindeki yanmış gazların boşaltılması ve silindirlerin tekrar taze dolgu ile doldurulması gerekmektedir. Burada pistonun görevi sadece egzoz ve emme yollarının açılıp kapanmasının sağlanmasıdır. Taze dolgu hava pompası tarafından emilir ve ortam basıncından 0,1-0,4 bar daha yüksek bir basınçla

silindir içine gönderir. Silindire giren taze dolgu, yanma ürünlerini, süpürerek egzoz yoluyla dışarı atar. Taze dolgu ile yanma ürünlerinin buluştukları yerde karışmalarının tam önlenmesi olanaklı değildir.

Süpürme akımının akış yönüne göre süpürme yöntemleri vardır. Bunlar; doğru akımlı süpürme, dönüşlü süpürme ve enine süpürme şeklindedir. Tüm süpürme yöntemlerinde, süpürme havasının silindir duvarları yoluyla beslenmesine dikkat edilmelidir. Çünkü bu durumda gaz akımları kendi akış doğrultularına yönlendirilebilirler. Ayrıca süpürme akımı o şekilde oluşturulmalıdır ki silindir içerisinde süpürülemeyen ölü hacimler yani süpürme gazlarının uğrayamadığı köşeler kalmamasın ve taze dolgu kısa devre yaparak doğrudan egzoz yoluna kaçmasın [18].

1.6. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma

Yanma, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Bir yanma işleminde, yanmanın tam olduğunu kabul ederek yapılan çözümlemenin sağladığı bazı bilgiler vardır. Yanma işlemi sırasında, eğer yakıt içindeki karbonun tümü CO_2 'ye, hidrojenin tümü H_2O 'ya ve varsa kükürdün tümü SO_2 'ye dönüşüyorsa yanma tam yanmadır. Başka bir deyişle, yakıt içinde bulunan yanabilecek tüm bileşenler tam olarak yanarlar. Yanma sonu ürünleri arasında yanmamış yakıt veya C, H_2 , CO, ve OH gibi bileşenler varsa yanma işlemi tam değildir.

Yanma için yeterli olan oksijenin bulunmaması, yanmamasının tam olmamasının açık nedenlerinden biridir, fakat tek nedeni değildir. Hatta yanma odasında tam yanma için gerekli oksijenden daha çoğunun bulunduğu durumlarda bile, yanma tam olmayabilir. Bunun nedenlerinden biri, yakıtın ve oksijenin bir arada olduğu süre içinde yeterince karışmamasıdır. Yanmanın tam olmamasının bir başka nedeni de yüksek sıcaklıklarda önem kazanan ayrışmadır.

Hidrojen atomlarının oksijen atomlarını çekim kuvveti, karbon atomlarına oranla daha büyüktür. Bu nedenle yakıt içerisindeki hidrojen, ortamda tam yanma için gerekli olan oksijenden daha az oksijen bulursa bile, tümüyle H_2O 'ya dönüşür. Buna karşılık karbonun bir bölümü yanma sonu ürünleri arasında CO veya C parçacıkları olarak görülür.

Yanma işleminde kullanılan yakıt ve hava miktarı biliniyorsa, ayrıca yanma tam kabul edilebilirse, yanma sonu ürünlerinin oranlarının hesaplanması daha kolay olur. Bu durumda hiçbir ölçüme gerek kalmadan yanma denkleminde yer alan her elemente

kütlenin korunumu denklemini uygulamak yeterlidir. Gerçek bir yanma işleminde ise yanma sonu ürünlerinin miktarlarının belirlenmesi daha zordur. Her şeyden önce, gerçek yanma işlemleri, fazla havanın olması durumunda bile tam değildir. Bu nedenle yanma sonu ürünlerini sadece kütlenin korunumu ilkesine göre belirtmek olanaksızdır. Bu durumda kalan tek seçenek, yanma sonu ürünlerinin miktarlarını doğrudan ölçmektir [25].

Yanma fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Yanma olayı yakıtın buharlaşarak hava ile karışma koşullarına, kimyasal reaksiyonların hızına ve yanma bölgesindeki ısı ve kütle iletim koşullarına bağlı olarak başlar, gelişir ve tanımlanır. İçten yanmalı benzin ve dizel motorlarında yanma olayı farklı şekillerde oluşmaktadır.

Benzin motorlarında buharlaşma ve karışma yanmadan önce ve genellikle silindirin dışında emme kanalında sağlandığından, homojen bir karışımın yanması (ön karışimli yanma) söz konusudur.

Dizel motorlarında ise karışım oluşturulması silindir içinde yapıldığından, yanma yakıtın parçalanması, buharlaşması ve yanabilen oranda karışım ortaya çıkması ile başlar ve difüzyon alevi (heterojen yanma) şeklinde devam eder. Burada fiziksel ve kimyasal olaylar iç içedir [24].

Yanma olayının başlaması çeşitli şekillerde olabilir. Dışarıdan ateşleme ve kendi kendine tutuşma olarak iki şekilde ele alınır.

Dışarıdan ateşlemede yanıcı karışım moleküllerinin enerjileri herhangi bir şekilde artırılırsa, bu moleküller aktif öğelere (H, O, OH, CH₃CHO gibi) ayrılırlar. Aktif öğeler ise kararlı moleküllere ısı veren egzotermik reaksiyonlar doğururlar. Böylece oluşan ısı birikimi o bölgede reaksiyonları hızlandırmakta ve bir süre sonra gözle görülür ışımlar ortaya çıkmaktadır. Benzin motorları, wankel motorları, gaz türbinleri, jet, ramjet, ocaklar, bekler ve bazı roket motorlarında yanma bu şekilde başlamaktadır. En çok kullanılan ateşleme vasıtaları buji, fitil, pilot alevi ve elektrikli dirençtir. Bilinen en klasik örnek olan buji ile ateşlemede, iki elektrot arasında teşekkül eden kıvılcım yüksek hızlı (büyük kinetik enerjili) elektron huzmesinden ibarettir. İşte karışım moleküllerine çarparak enerjilerini yükselten bu elektronlardır.

Karışım yeterli enerjiye ulaşarak tutuşması sonucu parlak ışımaya alev, alevin tutuşmamış karışımla temas sınırına da alev cephesi denir. Alevin rengi başlangıç karışımının terkiibi ve yanma verimiyle ilgilidir.

Karışım henüz alev cephesi oluşmadan tutuşma şartlarına gelir ve yanarsa bu olaya kendi kendine tutuşma (autoignition) denir. Kendi kendine tutuşma veya dışarıdan (buji, kızgın yüzey vs.) ateşleme sonucu tutuşma olayında basınç yükselmesi çok ani oluyor ve alev cephesi ses üstü hızla hareket ediyorsa buna vuruntu denir.

Kendi kendine tutuşmada reaktif bir karışım belirli basınç ve sıcaklığa ulaşp bu şartlarda bekletilince bir süre sonra kendi kendine tutuşabilmektedir. Mesela dizel motorlarında ve bazı roketlerde görülen tutuşma şekli böyledir. Olayın gelişimi şöyle izah edilebilir. Yanıcı ve yakıcı maddelerin bir arada söz konusu şartlara ulaşması halinde reaksiyonlar başlayabilir. Bu şartlar tutuşmanın başladığı şartlar olsa bile karışım bir süre sonra tutuşmadan kalabilmekte ve daha sonra eksplozyon görölmektedir. Konu edilen süreye tutuşma gecikmesi denir. Bu süre zarfında gelişen kimyasal olayların detayları bilinmemekle birlikte reaksiyon hızını son derece artıran bazı ara ürünlerin ortaya çıktığına inanılmaktadır.

Reaksiyon kinetiğine göre reaktif bir sistemde sıcaklık artınca moleküllerin öteleme hareketlerine ait kinetik enerjileri artar. Dolayısıyla moleküler çarpışmaların reaksiyona dönüşme ihtimali de fazlalaşmış olmaktadır. Basınç artışı sistemdeki moleköl sayısının fazlalaşması demek olduğundan sonuç olarak reaksiyon hızını artırıcı rol oynar [23] .

1.6.1. Benzinli Motorlarda Yanma

Benzin motorlarında yanma olayını farklı kılan en önemli özellik karışımın teşkili ve ateşlemenin (buji) ile dışarıdan sağlanmasıdır. Bir yandan karbüratörlü olan motorlarda oldukça homojen bir karışım sağlanırken diğer yandan tutuşma sonrası alevin ilerleme hızı, kendiliğinden tutuşma ve buji harici kaynaklardan tutuşma gibi hususlar çok önemli yanma problemleri çıkarabilmektedir [23].

Benzin motorlarında yakıt hava karışımı, silindir dışında yakıt moleküllerinin, hava moleküllerinin içerisinde düzgün dağıldığı homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanmaktadır.

Yanma olayı genel olarak üç faza bölünerek incelenebilir. Ancak fazlar çok belirgin bir şekilde birbirlerinden ayrılmazlar.

Birinci faz, bujide kıvılcım çaktığı nokta ile basıncın artmaya başladığı nokta arasındaki fazdır. Piston ÜÖN' ya gelmeden önce buji elektrotları arasında çakan kıvılcım enerjisi (30-100 mJ) nedeniyle, bu bölgedeki homojen karışımda, belirli bir tutuşma gecikmesi sonunda, ilk alev cephesi patlama şeklinde oluşmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi; buji kıvılcım enerjisine, kıvılcımın uygulanma süresine, buji elektrotları arasındaki ısınan bölgenin hacmine (buji tırnak aralığına), karışım oranına (kimyasal reaksiyonların hızına), buji önündeki akış hızına (ilk ısınan bölgenin hızlı taşınım sonucu enerji seviyesinin düşmesine) bağlıdır.

Bu fazda yanan karışım miktarı az olup, toplam miktarın %1' i kadardır. Bu nedenle p- α diyagramı üzerinde basınç artışı görülmez.

Tutuşma gecikmesi sonunda p- α diyagramında basıncın artmaya başlaması anında ana faz başlamaktadır ve ÜÖN' dan sonra maksimum basınç oluşuncaya kadar devam etmektedir. Ana fazın süresi 25-30° KMA civarındadır. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda basınç, sıcaklık ve karışım oranının belirlediği bir yanma hızı ile alev cephesi sürekli şekilde ilerler.

Son faz maksimum basınç oluşmasından sonra başlamakta ve genişleme sırasında yakıtın tümü yanıncaya kadar devam etmektedir [24].

1.6.1.1. Tutuşma ve Alevin İlerlemesi

Kullanılan yakıtların (çoğu defa benzin) özelliklerinden dolayı benzin motorları diye tabir edilen Otto çevrimine göre çalışan motorlarda çok yüksek sıkıştırma oranına çıkılamaz. Dolayısıyla kendi kendine tutuşma olamayacağından ateşleme için harici bir kaynak gereklidir. Hemen hemen bütün benzin motorlarında ateşleme kıvılcım oluşturan bir buji yardımı ile yapılır.

Yanma gelişme özelliğine sahip ve belli bir zaman alan bir süreçtir. Özellikle yüksek motor devirlerinde pistonun hızı milisaniye ölçeğinde olduğundan pistonun kat ettiği mesafe itibarıyla yanmanın tamamlanması için geçen süre hiç de küçük bir süre değildir. Yanma tamamlanması ifadesi fiziksel ve kimyasal bakımdan izaha muhtaçtır. Burada sadece yukarıda bahsedilen şekliyle tutuşma sonrası alevin bütün silindire sirayet etmesi anlamındadır [23].

Benzin motorlarında ateşleme buji ile yapıldığından ateşleme sisteminden sağlanan enerji elektronlar vasıtasıyla civardaki karışım moleküllerine aktarılarak buji tırnağı

civarında yüksek enerjili bir nüve teşkil eder. Motor çok soğuk iken böyle bir nüvenin teşkil edilmemesi veya sağlanan enerjinin cidarlardan transfer olan enerjiden az olması halinde sönme oluşması mümkündür. Olayın başlangıcında buji civarından önemli ısı kaybı olduğundan reaksiyonlar yavaş gelişir ve dolayısıyla kimyasal reaksiyon sınırı olarak kabul edilen alev cephesi yavaş ilerler. Yanan karışım miktarı az olduğundan basınç yükselmesi de çok küçüktür. Daha sonra reaksiyonlar hızlanır, ortamdaki aktif molekül sayısı ve dolayısıyla basınç yükselir. Açığa çıkan enerji miktarı cidardan transfer olan ısı miktarını hızla geçmeye başlar. Bu safhada yüksek türbülanslı hava hareketleri sebebiyle de alev cephesinin küresel şekli bozulur. Öncekine nazaran çok daha büyük olan girintili çıkıntılı alev cephesi yüzeyi biraz sonra da anlatılacağı gibi moleküler difüzyonu hızlandırarak yanmamış gazların basınç ve sıcaklığının da yükselmesine sebebiyet verir. Öyle ki yanmanın sonlarına doğru bu çok yüksek basınçlı gazların alev cephesinin etkisine girmesi hemen hemen ani yani sabit hacimde olur. Son safha ise türbülans etkilerinin olmadığı cidarlara yaklaştıkça alevin ilerlemesinin yavaşlaması ve nihayet artan ısı kaybı sebebiyle sönmesidir.

Yukarıdaki izahtan benzinli motorlardaki yanmaya has iki önemli sonuç çıkarılabilir.

Silindir içerisinde çok düşük reaksiyon ve alev hızı ve yaklaşık olarak sabit basınç yanma karakteri gösterdiğinden, çok yüksek reaksiyon ve alev hızı ile hemen hemen gösterene kadar çok değişik yanma özelliği gösteren karışım bölgeleri vardır.

Çok düşük değerden (10 m/s' nin altında) oldukça yüksek değerlere kadar (60 m/s civarında) değişen sınıra sahip alev hızı, yanmanın tamamlanmasının piston hareketinin zaman ölçeğinde bir süre aldığını gösterir.

Bu süre zarfında piston önemli bir mesafe kat eder. Motor verimi bakımından maksimum basıncın piston ÜÖN' yı 5-10 derece geçtiği anda oluşması arzu edildiğinden belirli bir sürede gerçekleşen yanma olayı benzin motorlarında verim dolayısıyla performans açısından son derece önemlidir. Motorlarda süreli bir yanmanın sebep olduğu güç kayıpları zaman kayıpları (time losses) olarak bilinir. Bu kayıpları en az indirmek için ateşlemenin yukarıdaki maksimum basınç pozisyonunu sağlayacak şekilde erken yapılması gerekir. Buna ateşleme avansı denir [23].

Alev cephesi sıcaklığı 2000-3000 K' e ulaştığında yakın civarda bulunan moleküllerin reaksiyona girmesi çok kolay olmaktadır. Bu sıcaklıklarda kimyasal dengeye ulaşılmakta, sıcaklık ve konsantrasyon gradyanlarındaki artışla birlikte aktif molekül ve radikaller çoğalmaktadır. Böylece alev cephesinden yanmamış gazlara doğru ısı transferi ve aktif

molekül difüzyonu neticesi kimyasal gazların yanmamış gazlara sirayet etmesi alevin ilerlemesi olarak adlandırılır. Diğer taraftan yanmamış karışım sıcaklığının artması ve pistonun sıkıştırma yapması neticesi artan basınç konsantrasyon gradyanlarında ve aktif molekül miktarındaki artışı daha da hızlandırır. Böylece alevin ilerlemesi çok hızlı olabilir.

Alev cephesinin kendine normal yönde yanmamış gazlara doğru kimyasal reaksiyonla sağladığı ilerleme hızına yanma hızı, aynı doğrultuda ancak alev cephesine ters yönde yanmamış gazların ilerleme hızına ise gaz hızı veya karışım hızı denir. Karışım hızının potansiyel kaynağı supap girişinden itibaren ki türbülanslı ortam artan yanmış bölge basıncının yanmamış bölgedeki karışımı sıkıştırması ve en önemlisi pistonun yanma sürecinde silindir gazlarını sıkıştırmasıdır.

Türbülanslı gaz karışımları alev hızını laminar akış haline kıyasla önemli ölçüde artırır. Laminar alev hızı 1-2 m/s mertebesinde iken türbülanslı alev hızı 15-50 m/s civarında olabilmektedir. Türbülanslı alev cephesi girintili çıkıntılı bir görünüme sahiptir. Böylece alev cephesi yanmamış gaz temas yüzeyi laminar duruma göre çok çok artacak, yanmış gazlar ile yanmamış gazlar arasındaki ısı değişimi ve difüzyon olayı daha yoğun hale gelecektir. Dolayısıyla her iki durumla ilgili temas alanları oranı A_T/A_L arttıkça alev hızı da artacaktır.

Özellikle benzin motorlarında alev cephesinin bütün karışıma sirayet etmesi süresini ifade eden yanma süresi yanma verimi bakımından son derece önemlidir. Yanma süresinin hesaplanmasında gerçekte buji tırnağından buraya en uzak noktaya olan mesafedir [23].

1.6.1.2. Benzinli Motorlarda Yanmayı Etkileyen Faktörler

Motorun her türlü çalışma koşulunda maksimum verimin elde edilebilmesi için ateşleme noktasının uygun seçilmesi gerekir. Avansın seçimini belirleyen ana etkenler yanma hızı ve tutuşma gecikmesidir. Bunlara etki eden faktörler de genelde sıcaklık, basınç, karışım oranı ve türbülans şiddetidir. Motorun çalışması sırasında sıcaklık basınç, karışım oranı ve türbülans şiddetine etkili her faktör dolaylı olarak yanma hızına etki etmektedir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

Dönme sayısı, motorun dönme sayısı arttıkça yanma olayı için geçerli süre azalır. Ancak dönme sayısının artışına bağlı olarak ortalama piston hızı arttığından yakıt-hava karışımındaki türbülans şiddeti hızla artar. Dolayısıyla dönme sayısı ile yanma hızı artmaktadır. Ancak dönme sayısı artışı tutuşma gecikmesi süresine fazla etki etmemekte,

bu nedenle tutuşma gecikmesi KMA olarak büyümektedir. Ateşleme avansı uygun şekilde değiştirilirse dönme sayısı değişse de motor verimi hemen hemen aynı kalmaktadır.

Hava fazlalık katsayısı, yanma hızını, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarını, basıncın ve sıcaklığın değişimini etkiler.

Silindire emilen yakıt-hava karışımının basıncı artarsa, alev cephesinin ilerleme hızı azalmakla beraber sıkıştırma sonu sıcaklığı da arttığından alev hızı da artmakta ve sonuçta yanma hızı artmaktadır. Dolayısıyla yanma olayı için geçen süre azalmaktadır.

Silindir içerisinde kalan artık gaz miktarı arttıkça silindirde kullanılabilen oksijen miktarı azaldığı için yanmış gazların sıcaklığı azalmakta, dolayısıyla yanma hızı da azalmaktadır.

Sıkıştırma oranı artarsa ateşleme anındaki karışımın basıncı ve sıcaklığı artar, artık gazların miktarı ise azalır. Dolayısıyla karışımın ateşlenebilmesi için uygun koşullar oluşur.

Yanma odasındaki türbülans şiddeti, emme kanalının ve yanma odasının şekline bağlı olarak değişmektedir. Yanma odası uygun biçimde şekillendirilerek türbülans şiddeti artırılabilir. Buna bağlı olarak yanma hızı artar. Yanma odasına yerleştirilen bujilerin konumu ve sayısı da toplam yanma süresini etkilemektedir. Buji sayısı arttıkça ortalama yanma hızı artmaktadır [24].

1.7. Demir Karbon Alaşımları

Demirin en önemli alaşım elementi karbondur. Karbon ucuz bir elementtir ve düşük miktarda bile demirin özelliklerini yüksek oranda etkiler. Yüksek fırınlardaki istihsal işlemleri sırasında karbon demirin içerisine girerek ve yaklaşık % 4 karbonlu ham demiri meydana getirir. Bileşiminde ayrıca refakat elementleri de yer alır.

α - Demir kristalleri + Karbon kristalleri

(Ferrit)

(Grafit)

Alaşımdaki tüm karbon miktarı yapı içerisinde grafit şeklindedir. Bu iç yapı yavaş soğuma ile elde edilir. Silisyum miktarı iç yapının ferrit+grafit şeklinde olmasını kolaylaştırır. Bu tip yapı stabil sistem olarak adlandırılır. Misal olarak kır dökme demir ve kır ham demir verilebilir.

Karbon metallere karşı belirli bir affinite gösterir ve karbürler teşkil edebilir. Bir demir karbon alaşımı hızlı soğutulursa metal olmayan karbon kristalleşecek zamanı bulamaz;

demirkarbür (Fe_3C) oluşur. Bu metal bileşiği daha çabuk kristalleşir ve kendine has karmaşık bir kristal kafesi meydana getirir. Metalografide bunlar sementit olarak isimlendirilir. Bu şekilde oda sıcaklığındaki ikinci temel (ana) iç yapı tarifi doğar.

α - Demir kristalleri + Demir karbür kristalleri

(Ferrit)

(Sementit)

Bu iç yapı hızlı soğuma ile oluşur ve manganez oranı ile oluşumu kolaylaşır. Sementit kristali yüksek sıcaklıkta parçalanmış ferrit ve grafit taneciklerine (temper grafiti) dönüşebileceği için bu tip bir katılaşmaya uğramış alaşım sistemine metastabil sistem denir. Misal olarak çelik, temper ham dökme demiri ve sert dökme demiri örnek olarak gösterebiliriz [30].

1.7.1. Karbon Miktarının Etkisi

İki kristal çeşidin üst üste yığılması şeklinde kabul edebileceğimiz malzemenin özellikleri mutlaka her iki kristal çeşidinin kendi özelliğine ve bileşim oranına bağlı olacaktır.

Ferrit; Hemen saf demir, kübik hacim merkezli, çok mukavim değil, iyi şekil değiştirebilir, sünek, manyetik.

Ostenit; Çözünmüş karbonlu demir, kübik yüzey merkezli, manyetik değil, çok sünek, çok iyi şekil değiştirebilir. Ostenit sadece alaşımlı çeliklerde oda sıcaklığında görülür. Alaşımsız malzemeler (çelikler) oda sıcaklığında ostenit ihtiva etmezler.

Grafit; Kristal halindeki saf karbon, hekzagonal, yumuşak, az şekil değiştirebilir, yağlı.

Sementit; Kristalleşmiş demirkarbür, çok sert kırılgan, şekil değiştirebilme kabiliyeti yok, yüksek mukavemetli [30].

1.7.2. İç Yapı ve Grafit Teşekkülü

Dökme çelik tamamen metastabil olarak katılaşırken (tüm karbon sementit olarak iç yapıda yer alır) kır dökme demir, demir karbon alaşımının stabil sisteminde katılaşır (tüm karbon element olarak grafit halinde iç yapıda yer alır).

Sınırı teşkil eden bu iki hal arasında her iki katılaşma şeklini de gösteren; yani sementit ve grafiti beraberce iç yapılarında bulunduran önemli çeşitler yer alır.

Grafit yavaş soğuma sonucu ve silisyum varsa teşekkül eder, sementit hızlı soğuma sonucu ve manganez varsa teşekkül eder.

Saf ferritik ana iç yapı en düşük mukavemete sahiptir [30].

1.7.3. Dökme Demirler

1.7.3.1. Beyaz Dökme Demir

Ana faz karbür olduğundan çok sert ve gevrek, ancak dövme ile şekil verilebilir. Genellikle aşınmaya dayanıklılık gerektiren yerlerde, örneğin bilyeli öğütme değirmenlerinde, demiryolu vagonu fren pabuçlarında ve kazı makinelerinde kullanılır. Beyaz dökme demir yüksek sıcaklıkta uzun süre tavlansa kararsız Fe_3C bileşiği Fe ile küçük parçalar halinde grafitte ayrışır. Bu yöntemle elde edilen metale temper dökümü denir. Sünekliği ve mukavemeti yüksek olan temper dökümü karışık şekilli parçaların seri halde üretimine elverişlidir [32].

1.7.3.2. Kır Dökme Demir

İçinde serbest halde uzun grafit parçacıkları bulunduğundan çekme mukavemeti düşük ve gevrek. Fakat basınç mukavemeti yüksektir. Kolay dövülür, talaş kaldırılarak kolay işlenir, titreşimi iyi söndürür ve en ucuz metaldir. Bu nedenle endüstride geniş kullanım alanı vardır. Dökümden önce sıvı halde iken biraz magnezyum katılırsa grafit kürecikler halinde oluşur, nodüler ve sfero denen bu metalin sünekliği ve mukavemeti yüksektir. Kır dökme demir dökümden önce yüksek sıcaklıkta kızdırılırsa grafit çok ince parçalar halinde ayrışır, mekanik özellikler iyileşir [32].

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada tek silindirli benzinli bir motorun yağlama yağı değiştirilerek tribolojik fonksiyonu incelenmiştir. Deneysel çalışma için kullanılan motor belirli bir yük altında seçilen her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Deney motorunda yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı ve fındık yağı metil esteri kullanılmıştır. Deney motorunda bu yağlar sırasıyla kullanılarak ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir çalışma sonunda motor sökölüp silindir, piston ve segmanlar alınıp incelenerek meydana gelen aşınmalar karşılaştırılmıştır. Aşınmayı belirlemek için numuneler hazırlanıp SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca deney motorunun egzoz gazı emisyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler için Madur marka GA-40 plus model cihaz kullanılmıştır.

Deney motorunda yapılan bu çalışmalardan sonra simülasyon test cihazında çalışmalara devam edilmiştir. Simülasyon test cihazı bu çalışma için üretilmiştir. Simülasyon test cihazında yine deney motorunda olduğu gibi silindirin aşınması incelemiştir. Simülasyon test cihazında yağlama yağı olarak sırasıyla mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı esteri ve kanola yağı kullanılmıştır. Bu cihazda aşınmayı araştırmak için kullanılan silindirin yüzeyi TiN ve CrN ile kaplanmıştır. Silindir yüzeyleri PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi ile yaklaşık 2 µm kalınlığında kaplanmıştır. Fiziksel buhar çökertme yöntemi, vakum altında bulundurulmuş malzemelerin buharlaştırılarak ve sıçratılarak atomların yüzeyden kopartılması ile kaplanacak olan ana malzeme yüzeyine (atomsal ve iyonik olarak) biriktirilmesi esasına dayanır [28]. Simülasyon test cihazında kaplanmış bu silindir yüzeyleri belirtilen yağlarla ayrı ayrı çalıştırılarak aşınma dereceleri belirlenip karşılaştırılmıştır. Aşınmayı belirlemek için her bir numune için hassas terazi kullanılmıştır.

2.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan deney motoru iki zamanlı tek silindirli ve benzinli bir motordur.

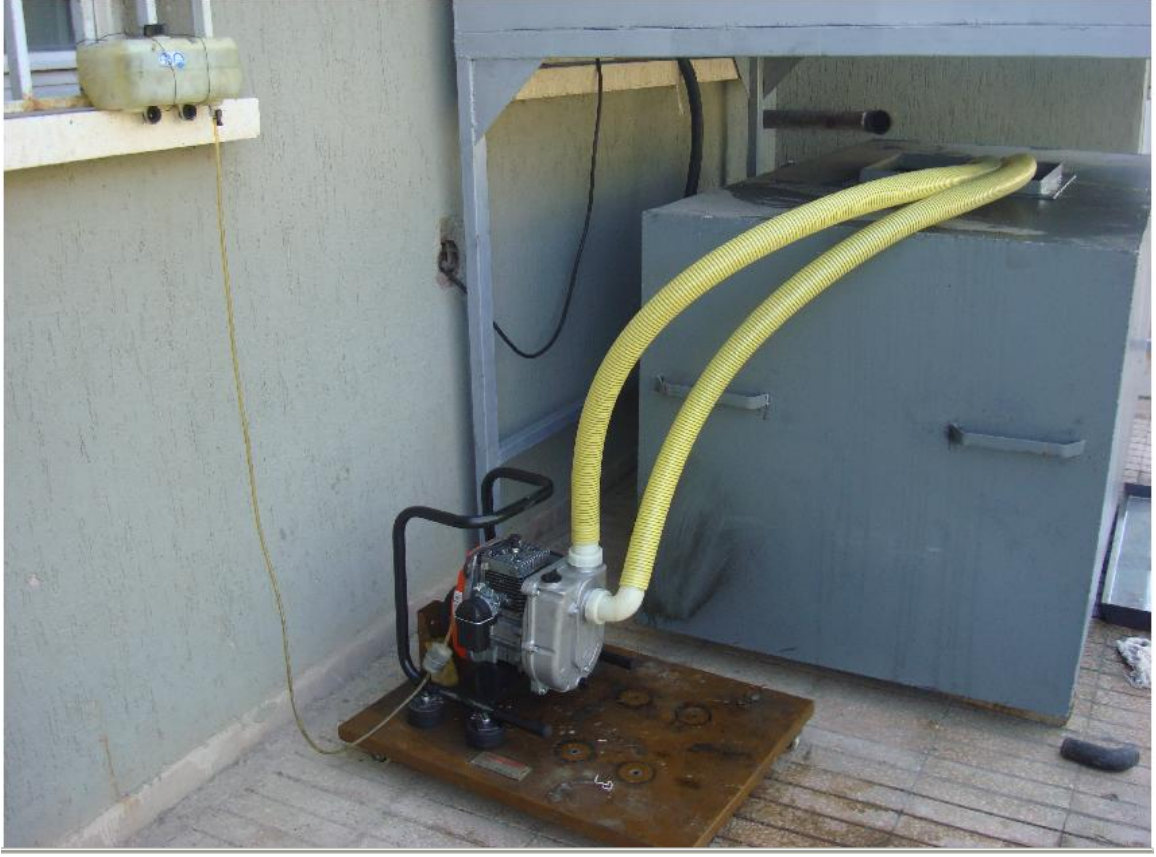
Motora akuple bir su pompası bulunmaktadır. Benzinli motor, su pompası ile su basarak yüklenmiştir. Benzinli motor 98,2 cc hacminde olup 3,4 HP gücündedir. Su pompasının su

giriş/çıkış borusu çapı 2 inç, su emme derinliği düşey olarak 7,5 metre, basma yüksekliği ise 40 metredir. Motor pompasının toplam ağırlığı 14,2 kg'dır.



Şekil 2.1. Tek silindirli iki zamanlı benzinli bir su motoru

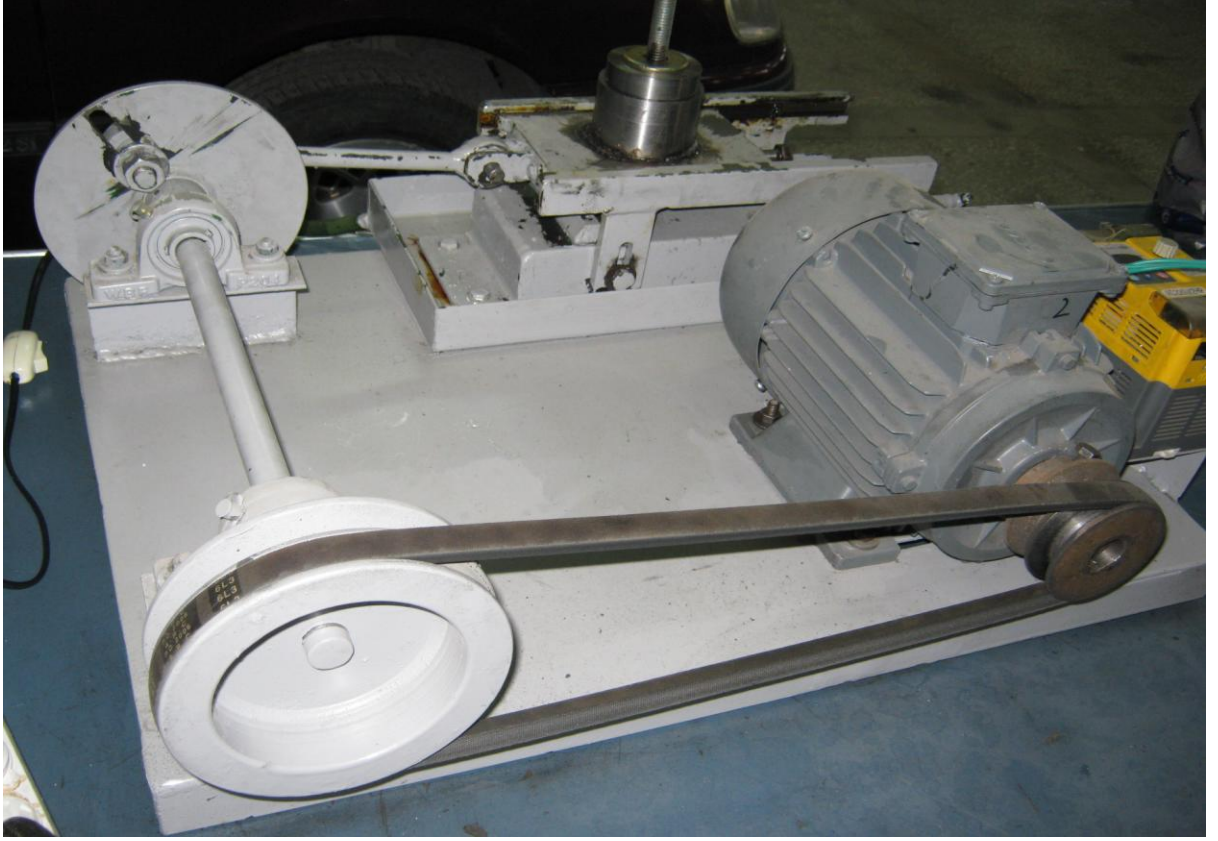
Deneysel çalışmalarda kullanılan su motorunu yük altında çalıştırabilmek için bir su deposu üretilmiştir. İki zamanlı bu motor depodaki suyu alıp aynı depoya üst kısımdan basmaktadır. Bu şekilde su motoru yük altında çalıştırılabilmektedir. Su deposu şekil 2.2’de gösterilmiştir.



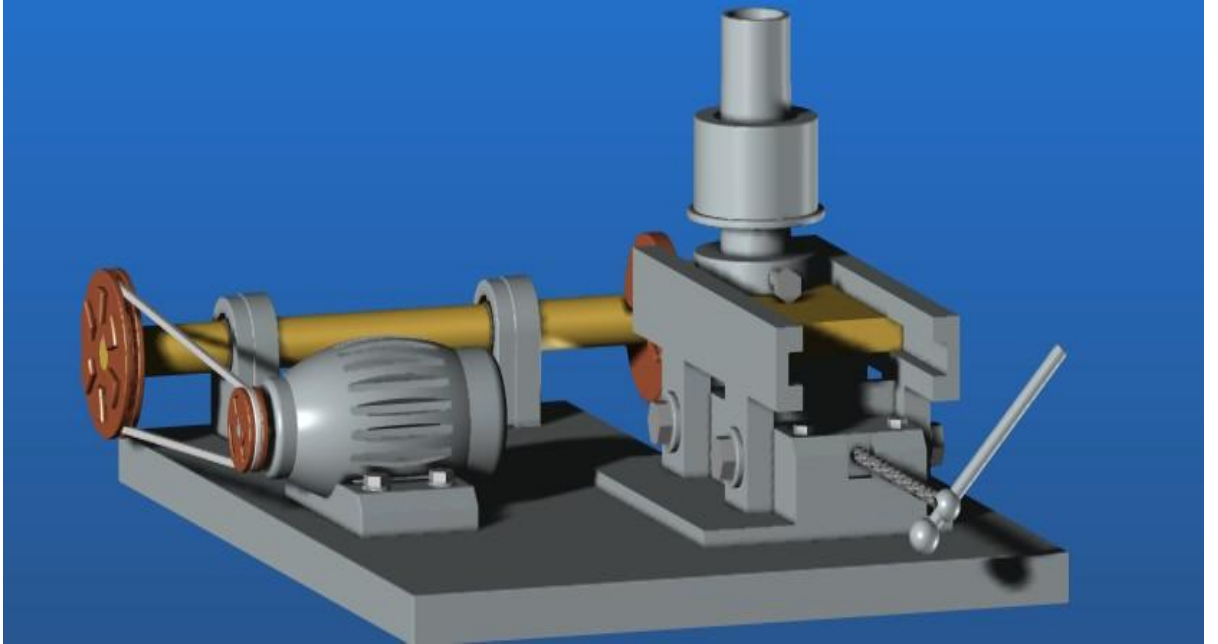
Şekil 2.2. Deney motorunun yük altında çalışması

2.2. Simülasyon Test Cihazı ve Teknik Özellikleri

Deneysel çalışmalarda aşınma özelliklerini araştırmak için üretilen simülasyon test cihazı şekil 2.3' te gösterilmiştir.

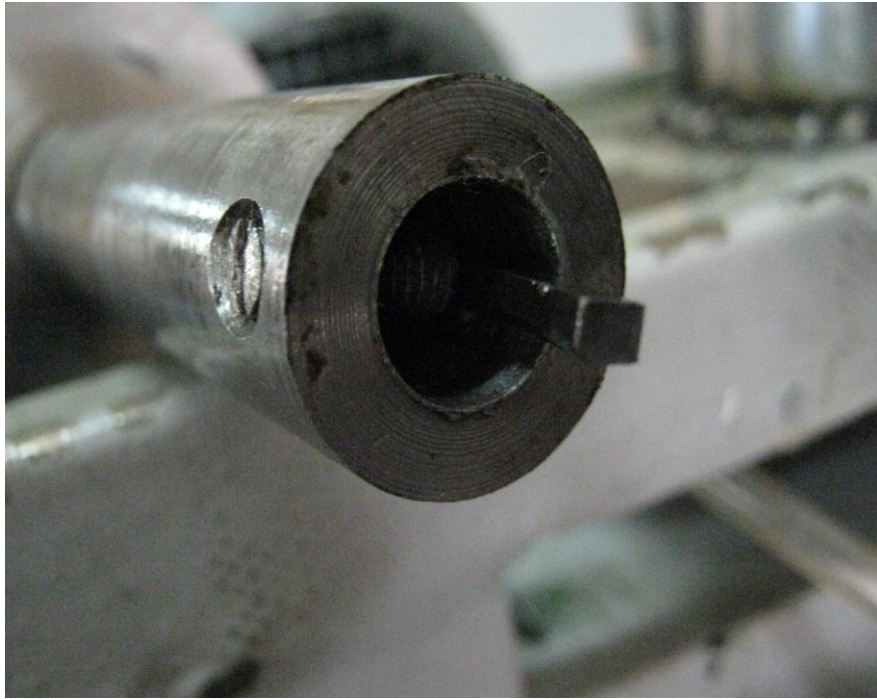


Şekil 2.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan simülasyon test cihazı



Şekil 2.4. Simülasyon test cihazının şematik olarak görüntüsü

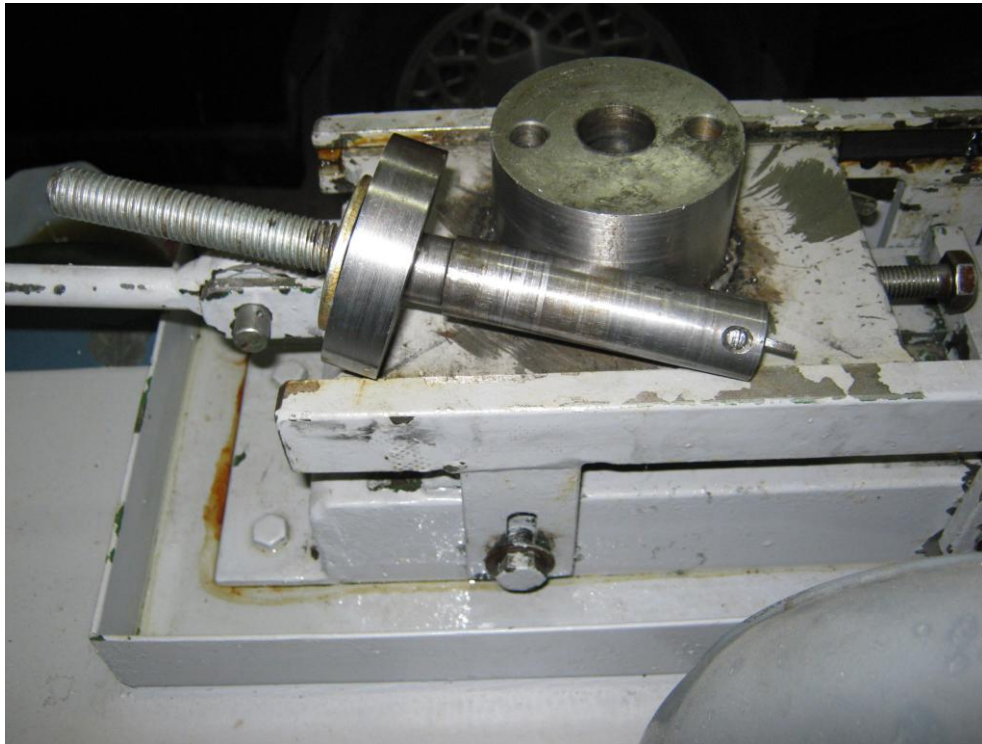
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi krank- biyel mekanizmasına benzeyen bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem sayesinde bir elektrik motorundan kayış vasıtasıyla hareket alarak doğrusal olarak ileri-geri hareketi sağlanmıştır. Simülasyon test cihazında sürtünme için kullanılan yüzeylerden biri silindir yüzeyidir, diğeri ise segman yüzeyidir. Silindir ve segman numuneleri test cihazındaki aparatlara bağlanacak şekilde hazırlamıştır. Aşağıdaki şekillerde segmaların ve silindir bağlantıları gösterilmiştir. Şekil 2.5’ te segman bir vida vasıtasıyla aparattaki yuvasına sabitlendiği görülmektedir. Şekil 2.6’ da ise silindir numunesi yine bir vidalı sistem vasıtasıyla simülasyon test cihazına bağlanmaktadır.



Şekil 2.5. Simülasyon test cihazında segmanın aparata bağlanması



Şekil 2.6. Simülasyon test cihazında silindir numunesinin bağlanma aparatı



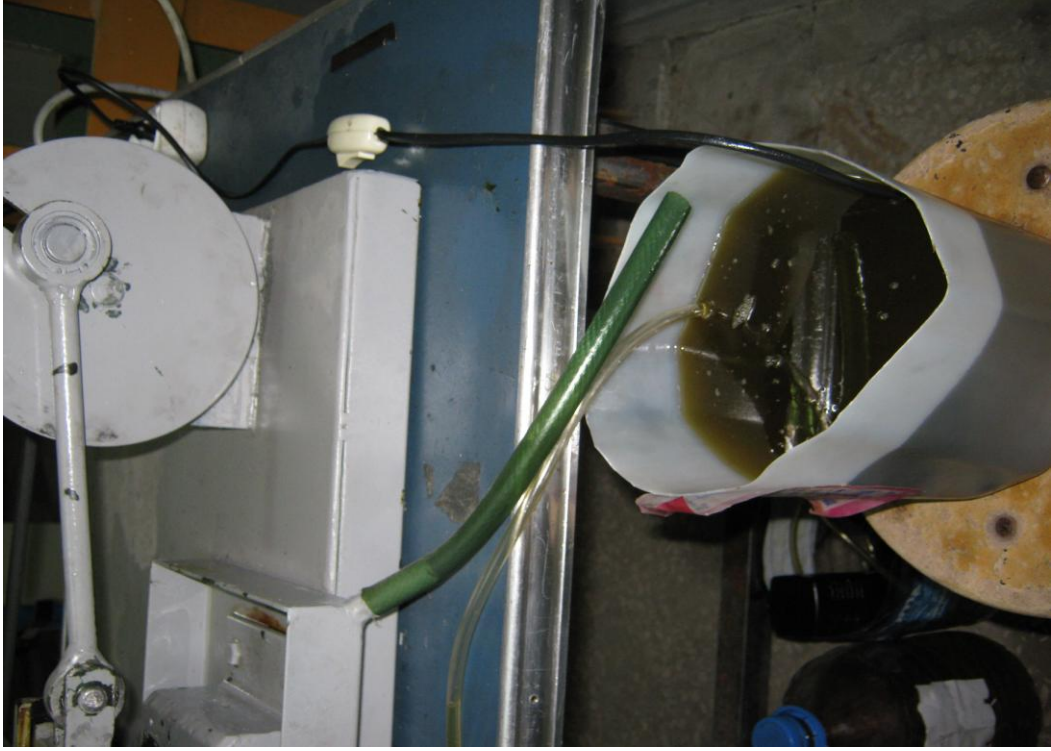
Şekil 2.7. Simülasyon test cihazında segman bağlama aparatı ve uygulanan yük

Silindir numunesinin yüzeyinde yeterli miktarda aşınma meydana getirmek için segmanın bağlandığı aparata 10 N değerinde bir yük uygulanmıştır. Bu yükü elde etmek için şekil 2.7’ de görüldüğü gibi silindirik bir parça kullanılmıştır.

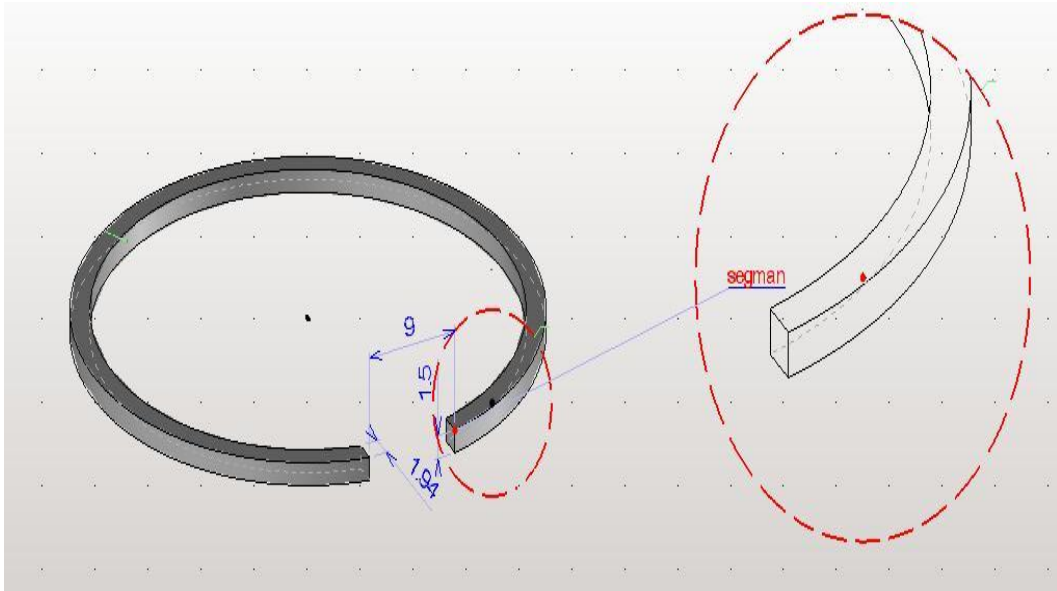


Şekil 2.8. Simülasyon test cihazında ileri-geri hareket eden sistem

Simülasyon test cihazında iki yüzeyin sürtünmesi sağlanarak aşınma oluşturulmuştur. Yağlama yağlarının aşınmaya etkisini araştırmak için çeşitli yağlar kullanılmıştır. Kullanılan yağlar mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı esteri ve kanola yağı şeklinde belirlenmiştir. Bu yağlar bir pompa vasıtasıyla yağ deposundan alınarak ince bir hortum sayesinde sürtünen yüzeye verilerek sistemin sürekli bir şekilde yağ içinde çalışması sağlanmıştır. Simülasyon test cihazı her bir yağ için ayrı ayrı 40 saat çalıştırılmıştır. Simülasyon test cihazının yağlama sistemi şekil 2.9’ da gösterilmiştir.



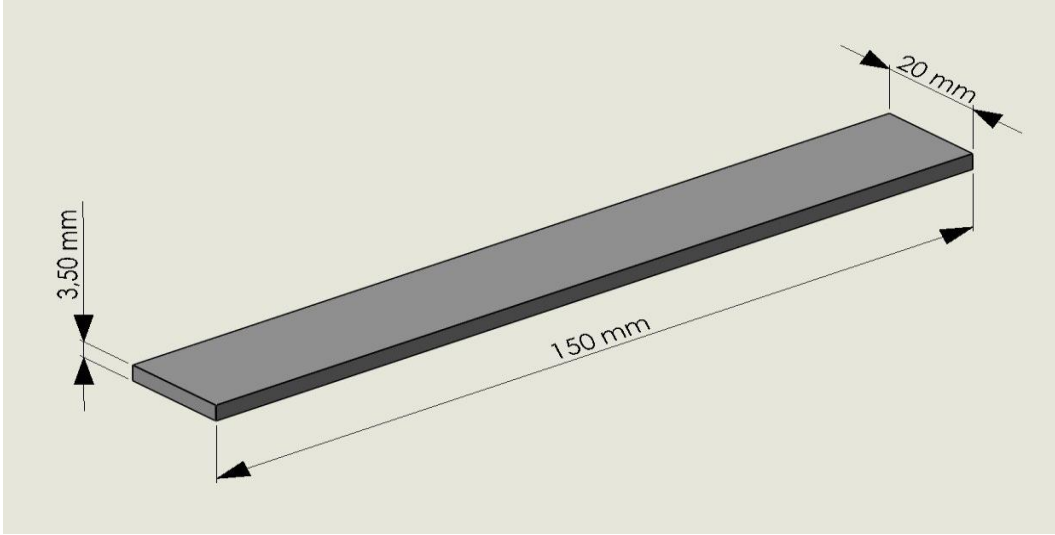
Şekil 2.9. Simülasyon test cihazı yağlama sistemi



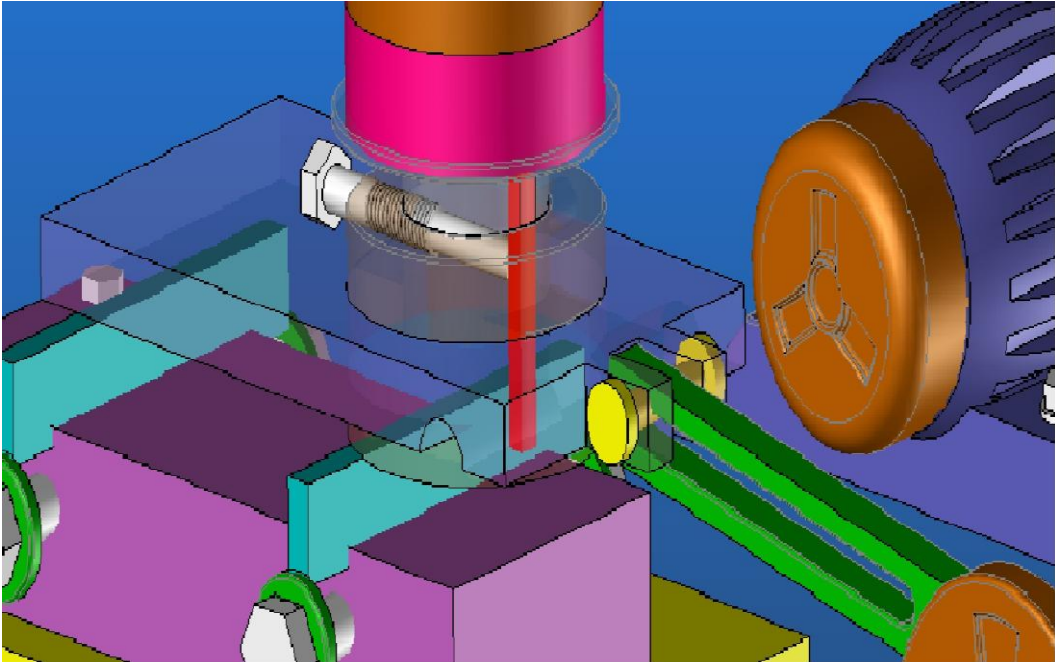
Şekil 2.10. Simülasyon test cihazında kullanılan segman

Şekil 2.10’ da görülen segman numunesi simülasyon test cihazındaki aparatına bağlanarak silindir numunesi üzerinde ileri-geri hareketi sağlanıp aşındırma olayı

gerçekleştirilmiştir. Silindir numunesinde strok 12 cm olarak belirlenmiştir. Aşındırma mekanizmasında segmanın üzerine 10 N değerinde bir yük konularak silindir numunesi yüzeyine 3,436 N/mm² değerinde bir basınç uygulanmıştır.



Şekil 2.11. Test cihazında kullanılan silindir numunesi



Şekil 2.12. Segman numunesinin test cihazına bir vida ile bağlanması

Şekil 2.11’ de simülasyon test cihazında kullanılan silindir numunesi görülmektedir. Deneylerde aynı boyutlarda üç farklı silindir numunesi kullanılmıştır. Bunlar dökme demir, CrN ve TiN kaplı silindir numuneleridir.

2.3.Hassas Terazi

Çalışmalar sonunda alınan numunelerin aşınmasını belirlemek için şekil 2.13’ te görülen hassas terazi kullanılmıştır. Kullanılan bu terazi 220 g kapasite ve 0,0001 g (0,1 mg) hassasiyetine sahiptir. Aşınma miktarı ölçülecek olan numune terazide tartılmadan önce asetonla temizlenip özenle kurutulmuştur.



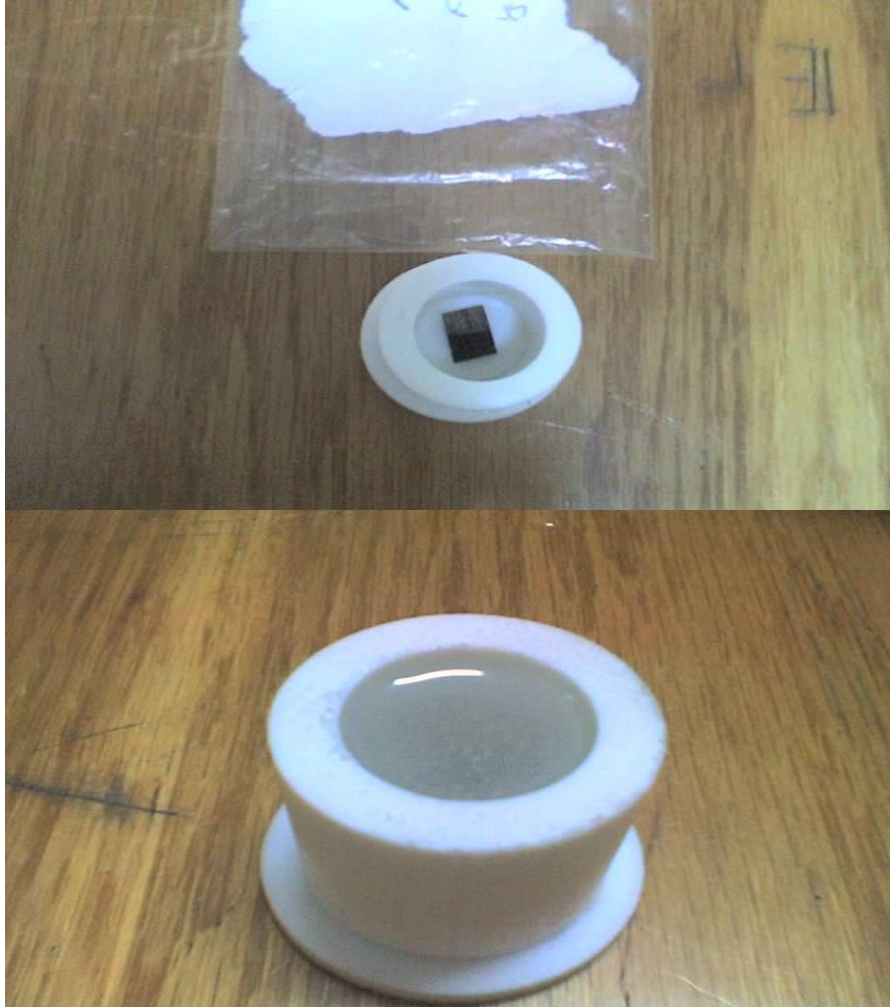
Şekil 2.13. Precisa XB 220A hassas terazi

2.4. Numune Hazırlama

İki zamanlı deney motoru önce belirli miktarda mineral yağ ve benzin karışımı ile 100 saat yük altında çalıştırılmıştır. Aynı çalışma fındık yağı ve benzin karışımı kullanılarak da tekrarlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda motorun silindir, piston ve segmanları sökülüştür. SEM ve EDS analizleri yapılacak numuneler aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır.

Metalografik incelemesi yapılacak olan parçaya öncelikle kesme işlemi yapılarak uygulanacak analiz tekniğine uygun ebatlarda numune hazırlanmıştır. Kesme işlemi numuneye hasar verilmeyecek şekilde testereyle yapılmıştır ve numunenin ebatları 1x 1 cm şeklinde belirlenmiştir. Numuneler alışmalar sonucunda sökülen silindirlerin alt, orta ve st kısımlarından kesilerek alınmıştır.

Küçük ebatlarda hazırlanan numunelerin daha kolay zımparalanması ve parlatılması için kalıplama işlemi yapılmıştır. Bunun için soğuk kalıplama tercih edilmiştir. Bu kalıplama işleminde soğuk bakalit kullanılmıştır. Soğuk kalıplama için bakalite 1/5 oranında sertleştirici ilave edilerek oluşturulan karışım iki dakika karıştırılmıştır. Numuneler şekil 2.14' te görüldüğü gibi öncelikle kalıplara uygun bir şekilde yerleştirilip üzerine bakalit-sertleştirici karışımı ilave edilmiştir.



şekil 2.14. Numunenin kalıplara yerleştirilmesi ve numune üzerine bakalit-sertleştirici karışımı ilave edilmesi

Her bir numune şekil 2.14’ te görüldüğü gibi ayrı ayrı kalıba yerleştirilip karışım ilave edildikten sonra sertleşmesi için 8 saat bekletilmiştir. Numuneler 8 saatlik bekleme süresinden sonra sertleşmiş bakalitle birlikte kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplardan alınan numuneler şekil 2.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Kalıplarından çıkarılmış numuneler

Numunelerin kalıplama işlemi bittikten sonra numunelerin zımparalama işlemin yapılmıştır. Numuneler düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olabilmeleri için zımparalanmıştır. Bu işlem için 120, 200, 320, 480, 600, 1000 ve 1200 numaralı zımparalar sırasıyla kullanılmıştır. Şekil 2.16’ da numune hazırlamada kullanılan zımpara tezgahı ve parlatma diskisi görülmektedir.



Şekil 2.16. Zımpara tezgahı ve numune parlatma disk

Zımparalama işleminden sonra numunelerin yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Bu işlemden sonra numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Numuneleri parlatmak için parlatma disk kullanılmıştır. Bu parlatma diskinin üzerine parlatıcı malzeme dökülmüştür. Ayrıca parlatma işlemi için numunenin üzerine atomik mertebede elmas aşındırıcı (yaklaşık 2 mikron elmas solüsyonları) sürülerek numune parlatma diskine elle bastırılarak parlatma işlemi yapılmıştır (şekil 2.17).



Şekil 2.17. Numunenin disk üzerinde parlatılması

Parlatma işlemi bittikten sonra numuneleri dağlamak için %2'lik nitrik asit kullanılmıştır. Dağlama görülemeyen tane sınırlarını gibi iç yapı özelliklerini ortaya çıkarmak için kullanılmıştır.

Son aşama olan dağlama işleminden sonra numunelerin SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Deney Motoru Çalışmaları

3.1.1. Gözlemler

Deneysel Çalışmalarda öncelikle iki zamanlı su motoru benzin ve mineral yağ karışımı ile çalıştırılmıştır. Bu deney motorunda yağlama işlemi yağın benzine belirli oranlarda karıştırılmasıyla yapılmaktadır. Benzin–mineral yağ karışımı 20:1 oranında hazırlanmıştır. 100 saatlik çalışma sonucunda motor sökülüp silindirdeki aşınmalar incelenmiştir. Şekil 3.1’de silindirin benzin-mineral yağ karışımı ile çalışması sonrası görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonuncu sökülen silindir görüntüsü

Deney motoru benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırıldıktan sonra sökülen silindir, piston ve segmanların yerine yenileri takılmıştır ve motor benzin-fındık yağı karışımı ile yeniden çalıştırılmıştır. Benzin-fındık yağı karışım oranı yine 20:1 oranında hazırlanmıştır. İki zamanlı deney motoru bu fındık yağı karışımı ile 100 saat çalıştırılmıştır. 100 saatlik çalışma sonucunda motor parçaları sökülerek silindirdeki aşınmalar incelenmiştir. Şekil 3.2’ de benzin-fındık yağı karışımı ile çalıştırılan motorun çalışma sonrası silindir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2. Deney motorunun benzin-fındık yağı karışımı ile çalıştırılması sonuncu sökülen silindir görüntüsü

Şekil 3.1’ de ve şekil 3.2’ de gösterilen silindir yüzeyleri karşılaştırıldığında benzin-fındık yağı karışımı ile yapılan çalışmada silindir yüzeyinde daha fazla aşınmanın olduğu ve daha fazla is birikintisinin olduğu gözlenmektedir. Bu durumda fındık yağı karışımı yanmayı kötüleştirmektedir denilebilir. Ayrıca iki zamanlı deney motoru benzin-fındık yağı ile çalıştırıldığında motorda vuruntu sesi duyulmuştur. Bu deney motorunun vuruntulu

alışmasının sebebi bitkisel yağlardaki setan sayısının yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Setan sayısı arttıkça yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğı de artmaktadır.

Yakıtın motor silindiri içinde çok hızlı ve darbeli yanışı, otto motorlarında açık bir çınlama ve dizel motorlarında ise vuruntu şeklinde gürültü ile anlaşılr. Bu nedenle vuruntu halinde otto motoru çınlıyor, dizel motoru ise ekiiliyor denir. Vuruntu gürültüsü silindirdeki şiddetli basınç dalgasının silindir kapağı ve piston yüzeyine çarpması ve orada eki darbesine benzer bir etki oluşturmāsından kaynaklanmaktadır.

Vuruntulu yanmada özellikle piston termik ve mekanik olarak aşırı yüklenir. Sürekli vuruntu pistonun tahrip olmasına neden olur. Isının aşırı derecede açığa çıkması ile piston hızla genleşir ve silindir duvarında oluşan yağ filminin bozulmasına neden olur. Bunun sonucunda kuru sürtünme başlar ve daha fazla açığa çıkan ısı ortam sıcaklığını hızla artırarak piston yüzeyinde ergimelere ve silindir duvarına kaynaklamalarına neden olur. Silindir yüzeyinde yer yer oluşan kaynak bağlantıları pistonun hareketi sonucu tekrar koparak şiddetli aşınmalara ve sıcaklığın devamlı yükselmesine sebep olur. Bu zincirleme olay kısa sürede pistonun silindir iç yüzeyine tamamen kaynaklanarak tahrip olması ile sonuçlanır. Vuruntu esnasında piston tahrip olmasa bile yükü şiddetle artarak motorun efektif gücünün düşmesine neden olur [14].

İki zamanlı benzinli deney motorunda yağlama yağı yerine fındık yağı metil esterini kullandığında benzinli motorlarda vuruntulu çalışmadan kaynaklanan sesler duyulmuştur. Ve çalışmadan yaklaşık 30 saat sonra motorun durduğu gözlenmiştir. Motor söküldüğünde segmanın silindir yüzeyine kaydacağı ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi fındık yağı metil esterinin düşük viskoziteye sahip olmasıyla açıklanabilir. Yüzeylerde yağlama yağının oluşturduğu yağ filmini oluşturmamıştır. Fındık yağı metil esterinin hem yağlama fonksiyonlarını yerine getirememesi hem de setan sayısının yüksek olması segmanın silindir yüzeyine kaynamasına sebep olmuştur. Bu olay adhezyon aşınmayla açıklanabilir.

Ani aşınma olayı özellikle adhezyon aşınmanın türüne bağlıdır. Yanma denilen bu aşınma türünde , yağlama yetersizliğine bağlı olarak yüzeyler arasında aniden kuvvetli bir kaynama meydana gelir. Bazı hallerde yüzeyler birbirlerine kilitlenir. Hareket olanağı sağlansa bile yüzeyler bozulmuş olur. Yanmada görülen şiddetli kaynama o noktanın sıcaklığının artmasından ileri gelir. Sıcaklık arttıkça yapışmış tabakanın düzeni bozulmaya başlar ve belirli sıcaklıkta kopar.

Deney motorunda yağlama yağı yerine fındık yağı kullanılarak yapılan çalışmada meydana gelen vuruntu fındık yağı metil esterine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Buna metil alkolün setan sayısının fındık yağından düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Mineral yağ ile yapılan çalışmalarda benzinli motorlarda duyulan vuruntu sesleri oluşmamaktadır. Buna bağlı olarak motor silindirinde meydana gelen aşınma normal değerlerdedir. Fındık yağı ile yapılan çalışmalarda vuruntulu çalışmanın silindire verdiği zarar şekil 3.2’de görülmektedir. Silindir ayrıntılı incelendiğinde silindir yüzeyinde kabarmalar ve kopmalar görülmektedir.

Silindir yüzeylerindeki gözlemler sırasında fındık yağı ile yapılan çalışmaların sonucunda mineral yağa göre daha fazla karbon artığı bulunduğu gözlemlenmiştir. Silindir yüzeyinde yapılan bu incelemeler piston yüzeylerinde de yapılmıştır. Şekil 3.3 ve şekil 3.4, yağlama yağı olarak sırasıyla mineral yağ ve fındık yağı kullanılması sonucu pistonların görüntülerini vermektedir.



Şekil 3.3. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü

Mineral yağ ve fındık yağı ile yapılan çalışmalar sonucunda piston yüzeyleri karşılaştırıldığında yine silindir yüzeyinde olduğu gibi fındık yağı ile yapılan çalışmada piston yüzeylerinde daha fazla kurumlanma ve is oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.4. Deney motorunun benzin-fındık yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü

Fındık yağı ve mineral yağ ile yapılan her iki çalışma sonucu deney motorundan pistonlar hassas terazide sırasıyla tartılmıştır. Bu işlem sonrası her iki pistonda elde edilen değerler motor çalıştırılmadan önceki piston ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında fındık yağı ile yapılan çalışma sonucunda pistondaki is miktarı mineral yağ ile yapılan çalışmaya göre 25 mg daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Piston ağırlıkları tablo 3.1’de verilmiştir. Çalışmalardaki bu oluşumun nedeni fındık yağındaki karbon artışı miktarının fazla olmasıyla açıklanabilir. Fındık yağının karbon içeriği yüksektir.

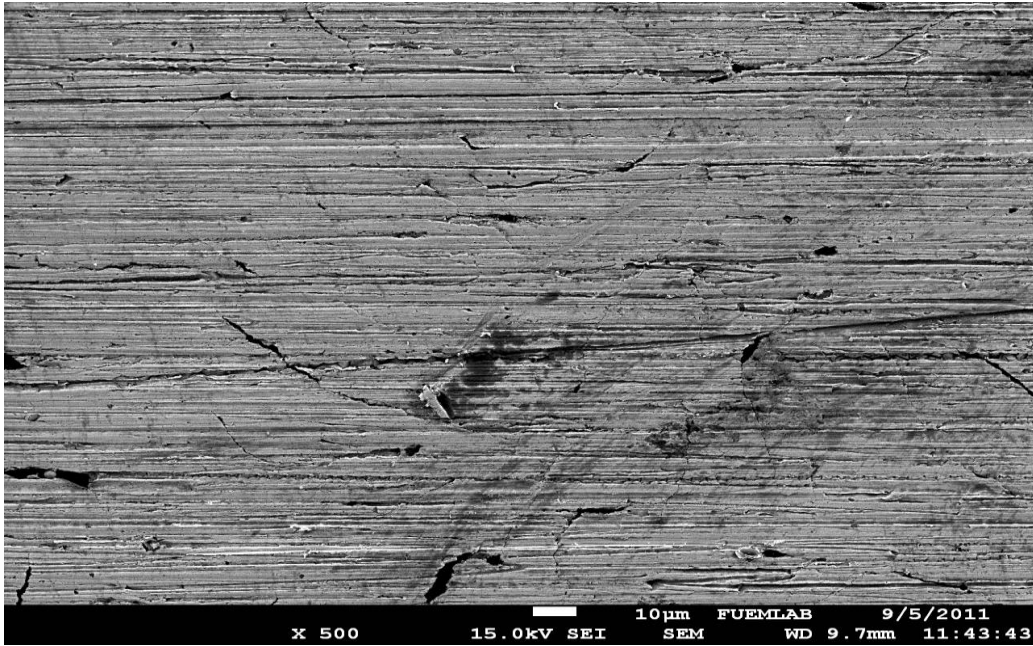
Ayrıca fındık yağı karışımı ile meydana gelen yanmanın kötü olması da karbon birikintilerini artırabilir.

Tablo 3.1 Deney motorunda çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda pistonlardaki ismiktarı

Yağlama yağı	Çalışma öncesi pistonun ağırlığı (gr)	Çalışma sonrası pistonun ağırlığı (gr)	İs miktarı (gr)
Mineral yağ	148	148,110	0,110
Fındık yağı	148	148,185	0,135

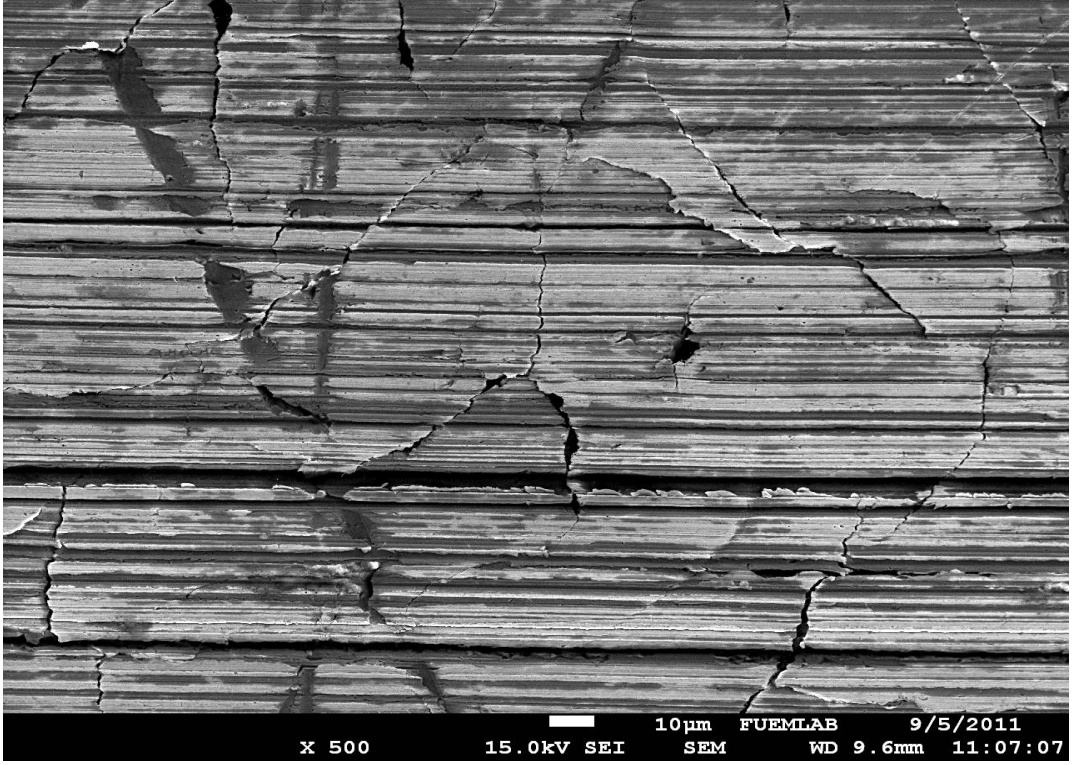
3.2. Silindirlerin Aşınma Davranışı

Bu kısımda yağlama yağı olarak mineral yağ ile fındık yağı kullanılarak deney motoru çalıştırılmış ve çalışma sonrası kesilerek alınan silindir numunelerin SEM analizleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin analizi

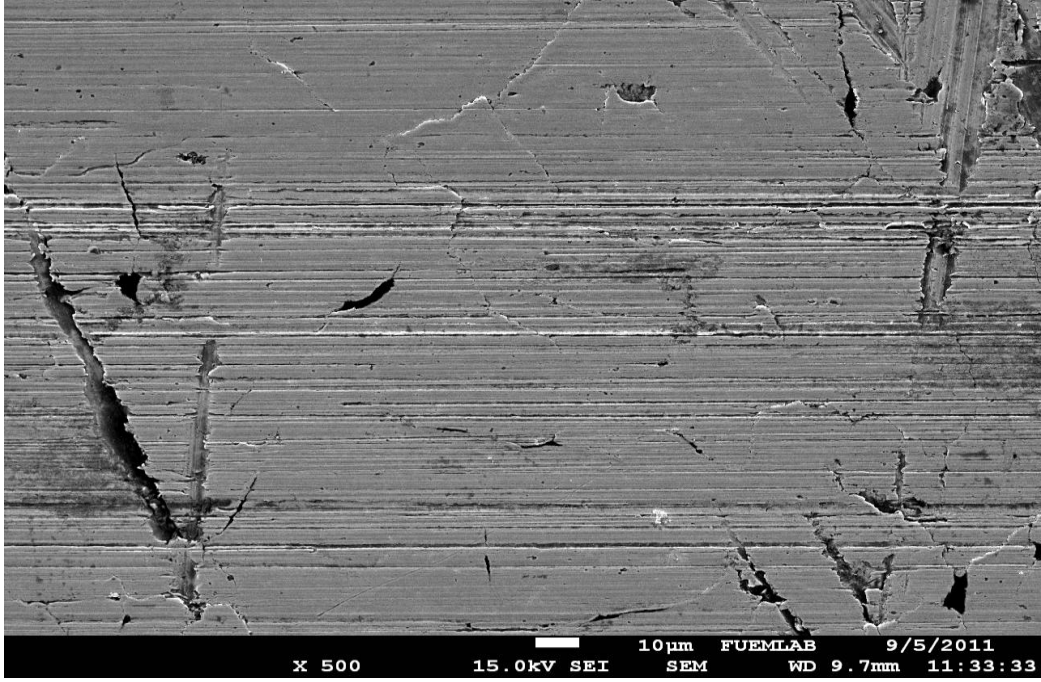
Şekil 3.5’ te deney motorunun yağlama yağı olarak mineral yağ kullanılması durumundaki silindir numunesinin analizi görülmektedir. Bu numune silindir yüzeyinin orta kısmından alınmıştır. Şekil 3.6’ da ise yağlama yağı olarak fındık yağının kullanılması sonucundaki analiz görülmektedir. Yine bu analizde de silindir numunesinin orta kısmı ele alınmıştır.



Şekil 3.6. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin analizi

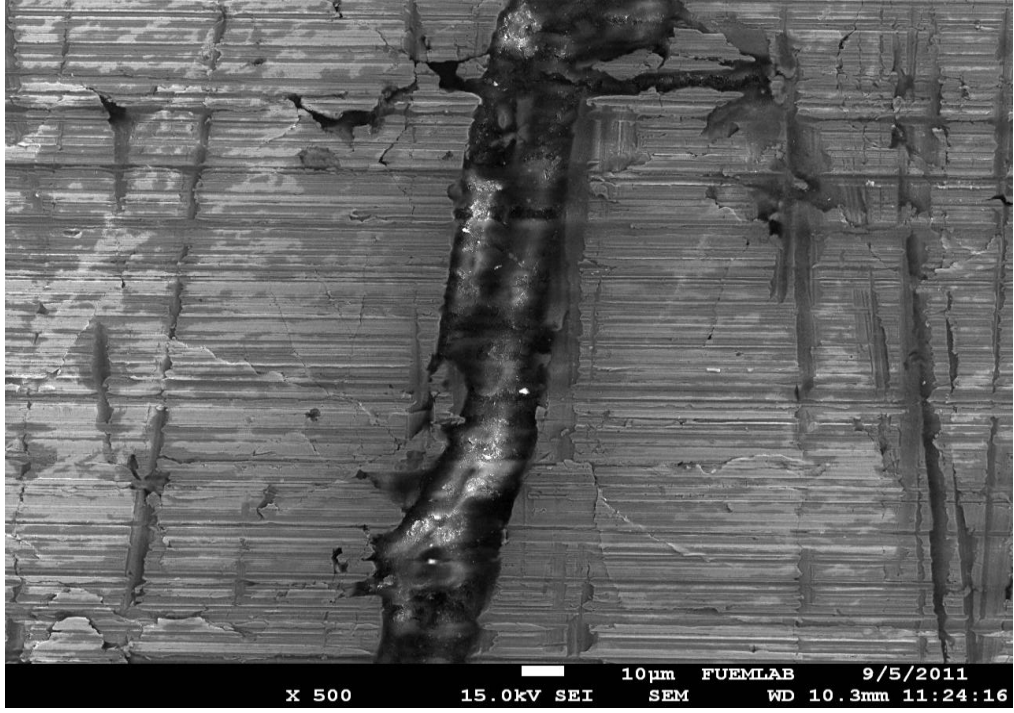
Şekil 3.5 ve şekil 3.6’ daki SEM analiz sonuçları incelendiğinde fındık yağı ile yapılan çalışmada motor silindirin daha fazla aşındığı, derin çizikler oluştuğu, yüzeylerde çatlaklar ve yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir. Fındık yağının setan sayının yüksek olması yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğini artırmıştır. Bu durumda yanma sırasında aşırı sıcaklık ve artan basınç dalgalanmaları görülmektedir. Bu aşırı sıcaklıkla genişleyen piston artan yanma basıncının etkisiyle silindir cidarındaki sürtünme etkisini artırmaktadır. Bu etkilerle yüzeydeki aşınma, çatlak ve yırtılmalar artmaktadır. Fındık yağının setan sayısı tablo 1.3’ te yaklaşık 52 civarında olduğu belirlenmiştir. Benzinin setan sayısının sıfır olduğu düşünülürse bir benzinli motor için bu değerin çok çok yüksek olduğu bilinmektedir. Fındık yağı miktarının deney motorunda 20:1 oranında kullanılması karışımın setan sayısını artırarak vuruntulu yanmaya sebep olmaktadır.

Şekil 3.7 ve şekil 3.8, sırasıyla mineral yağ ve fındık yağı ile yapılan çalışmalarda silindirin ÜÖN’ya yakın olan kısmının SEM analizini görüntülemektedir.

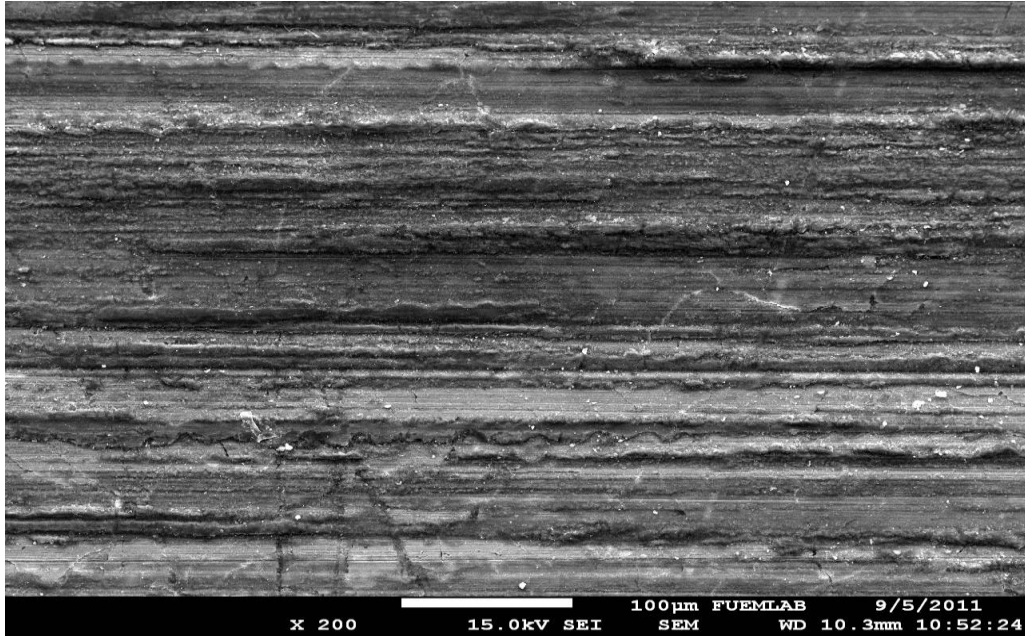


Şekil 3.7. Mineral yağ ile yapılan çalışmada ÜÖN ya yakın yüzeyin analizi

Şekil 3.7'ye ve şekil 3.8'e bakıldığında aşınmaların şekil 3.5 ve şekil 3.6'ya kıyasla daha fazla olduğu bununla birlikte yırtılmaların da arttığı görülmektedir. Başka bir deyişle silindirin ÜÖN'ya yakın olan bölgelerinde aşınmanın daha yüksek olduğu silindirlerin orta kısımlarında ise daha az olduğu görülmektedir. Yani silindirin tüm yüzeylerindeki aşınma aynı seviyede değildir. Çünkü yanma olayı ÜÖN' ya yakın bölgelerde gerçekleşmektedir. Yanma sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklık artışları aynı zamanda vuruntulu yanmadan kaynaklanan aşırı sıcaklık ve basınç artışları, alevin kontrolsüz ilerlemesi ÜÖN' ya yakın yüzeyleri daha fazla etkilemektedir ayrıca bu yüzeylerdeki sürtünmeyi artırarak yağ filminin yırtılmasına da sebep olmaktadır.



Şekil 3.8. Fındık yağı ile yapılan çalışmada ÜÖN ya yakın yüzeyin analizi



Şekil 3.9. Fındık yağı ile yapılan çalışmada ÜÖN' daki yüzeyin analizi

Deney motorunda mineral yağ ve fındık yağı ile yapılan çalışmalar sonucunda silindir numunelerindeki yüzey pürüzlülüğü değerleri tablo 3.2.' de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Mitutoyo SJ-210 marka pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Tablo 3.2

incelendiğinde silindir numunelerinin ÜÖN, orta ve AÖN’ yakın kısımlarındaki yüzey pürüzlülük değerinin ÜÖN’ ya yakın bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu; aşınma çizgilerinin üst bölgede en fazla aşağıya inildikçe azaldığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

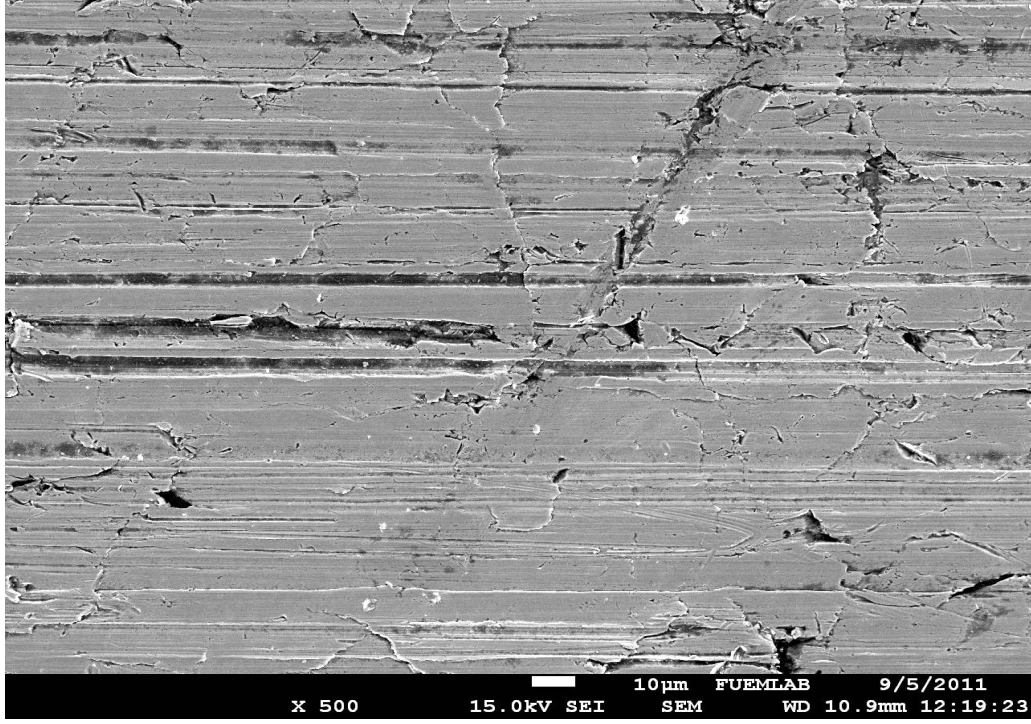
Tablo 3.2. Deney motorunun yağlama yağı olarak mineral yağ ve fındık yağı ile çalıştırılması sonucundaki silindir numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri

Silindir numunesinin yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü kısım	Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucundaki silindir numunesinin yüzey pürüzlülük değeri, Ra (μm)	Fındık yağı ile yapılan çalışma sonucundaki silindir numunesinin yüzey pürüzlülük değeri, Ra (μm)
ÜÖN	0,51	0,67
Orta	0,45	0,50
AÖN	0,41	0,43

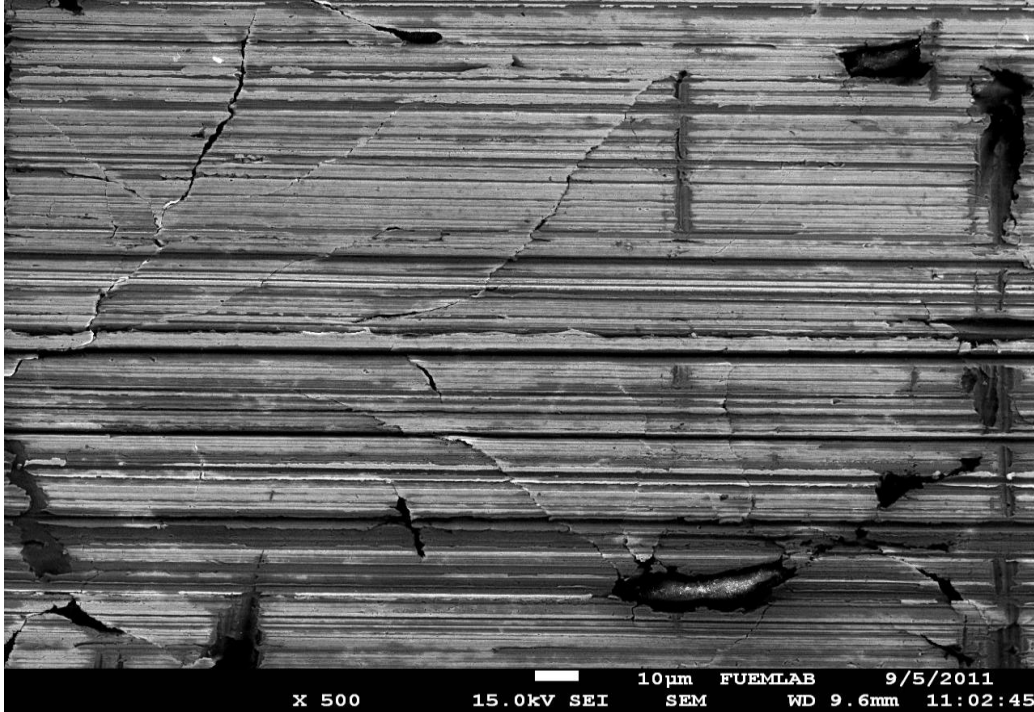
Fındık yağının kullanıldığı deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları (Şekil 3.6, şekil 3.8 ve şekil 3.11) o bölgedeki aşınmanın ve çatlamların fazla olduğunu görüntülemektedir.

Silindir yüzeyindeki bu çatlamlar, ve aşınmaların sebeplerinden biri vuruntu sırasında açığa çıkan aşırı sıcaklık ve basınç olabileceği gibi diğer bir sebep ise fındık yağındaki karbon sayısını fazlalığı olabilir. Fındık yağındaki karbon sayısının fazlalığı yanma sonucu artıklara, karbon birikintilerine sebep olabilir. Deney motoru sökölüp silindir yüzeyi incelendiğinde karbon birikintilerinin fazla miktarda olduğu görülmektedir (şekil 3.2, şekil 3.4 ve şekil 3.9).

Yanma artıkları hem efektif sıkıştırma hacmini azaltır, hem düşük iletkenliğe sahip olduklarından soğutma verimini düşürür ve hem de bünyelerinde ısı tuttuklarından akkor hale gelip bir tutuşturucu kaynak fonksiyonu icra ederler. Her üç sebep de neticede vuruntuya katkıda bulunur. Kızgın nokta tutuşması adı verilen yanma şekli egzoz, buji v.s. civarında kızgın yüzey veya buralardaki kızgın birikintiler sebebiyle olmaktadır. Tutuşma sıkıştırma esnasında meydana geldiğinden yanma sonu sıcaklıklar daha çok yükselir ve motor parçaları aşırı derece ısınır ve zarar görebilir. Kızgın yüzey tutuşması tam yüzeyde olmaktadır. Kızgın birikintiler halinde ise tutuşma yüzeyden biraz ötede oluşmaktadır.



Şekil 3.10. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN'ya yakın kısmından alınan numunenin analizi



Şekil 3.11. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN' ya yakın kısmından alınan numunenin analizi

Çünkü birikinti O_2 molekülünü absorbe edip hemen yanındaki karışımı çok zenginleştirmekte ve tutuşma özelliğini kötüleştirmektedir. Halbuki birikinti kızgın olduğu için ışıma ile çevresini ısıtmaktadır. Böylece Y/H oranı uygun olan biraz ilerideki bir noktada tutuşabilmektedir. Yani karbon birikintilerin hem yüzey sıcaklığını artırarak hem de alevsiz yanma neticesinde yakın bölgedeki karışımı tutuşma sıcaklığına çıkararak erken tutuşma meydana getirirler. Kızgın yüzeyler de erken tutuşmaya sebep olmaktadır [23].

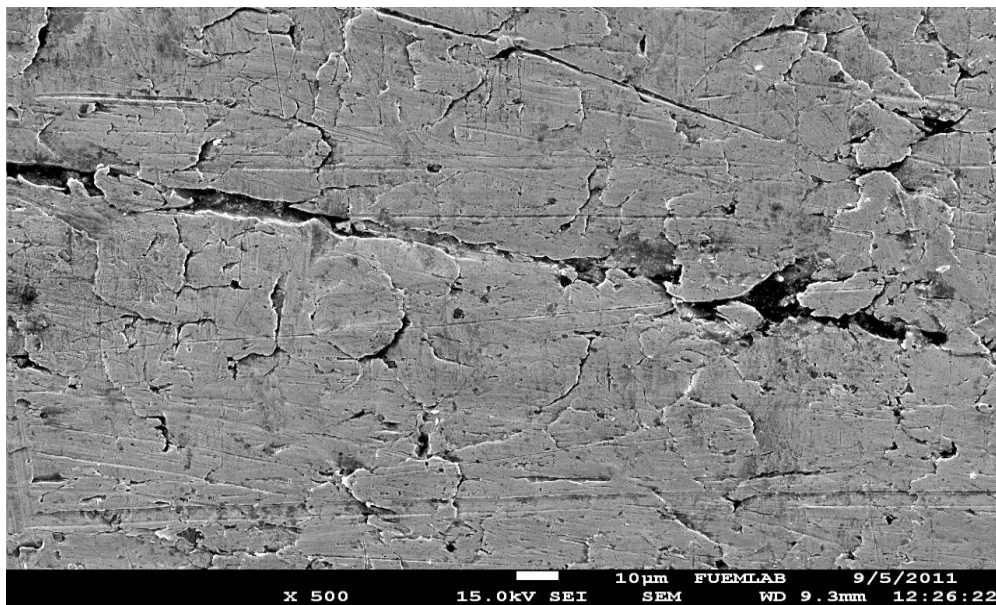
Fındık yağı karışımı ile yapılan çalışmalarda SEM fotoğrafları incelendiğinde silindirik yüzeyindeki aşınmanın mineral yağa göre fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca tablo 3.2' de verilen yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında fındık yağı ile yapılan çalışmadaki silindirik yüzeyinin daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Daha pürüzlü ve aşınmış yüzeyin oluşmasının diğer bir nedeninin de yağlayıcılık özelliğinin kötü olmasına bağlanabilir. Yağlayıcılığın en önemli özelliklerinden biri kükürt miktarıdır. Deney motorunda kullanılan yağlama yağının, benzinin, fındık yağının, fındık yağı benzin karışımının ve yağlama yağı benzin karışımının kükürt içerikleri tablo 3.3' te verilmiştir. Kükürt içerikleri incelendiğinde mineral yağdaki kükürt miktarının fındık yağına göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu özellik de mineral yağın yağlayıcılık özelliğini artırmaktadır. Deney motorunda fındık yağı ve mineral yağ benzin ile karıştırılarak kullanıldığı için bu karışımların kükürt içeriklerini belirlemek daha sağlıklı olacaktır. Karışımlardaki kükürt miktarına bakıldığında benzin ve mineral yağ karışımının kükürt içeriği 535,4 ppm olarak belirlenirken benzin ve fındık yağı karışımının kükürt içeriği 11,9 olarak belirlenmiştir. Bu iki değer arasında büyük bir fark olduğu görülmüştür. Kükürt içeriğindeki bu büyük fark yağlayıcılığı büyük ölçüde etkileyebilir. Fındık yağı karışımı ile yapılan çalışmalardaki aşınma kükürt miktarının azlığı ile açıklanabilir. tablo 3.3' te belirtilen yağların kükürt içerikleri Kocaeli Üniversitesi Alternatif Yakıtlar Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi tarafından ölçülmüştür.

Tablo 3.3. Deney motorunda yağlama yağı ve yakıt olarak kullanılan mineral yağ, fındık yağı ve benzin ve karışımlarının kükürt içerikleri

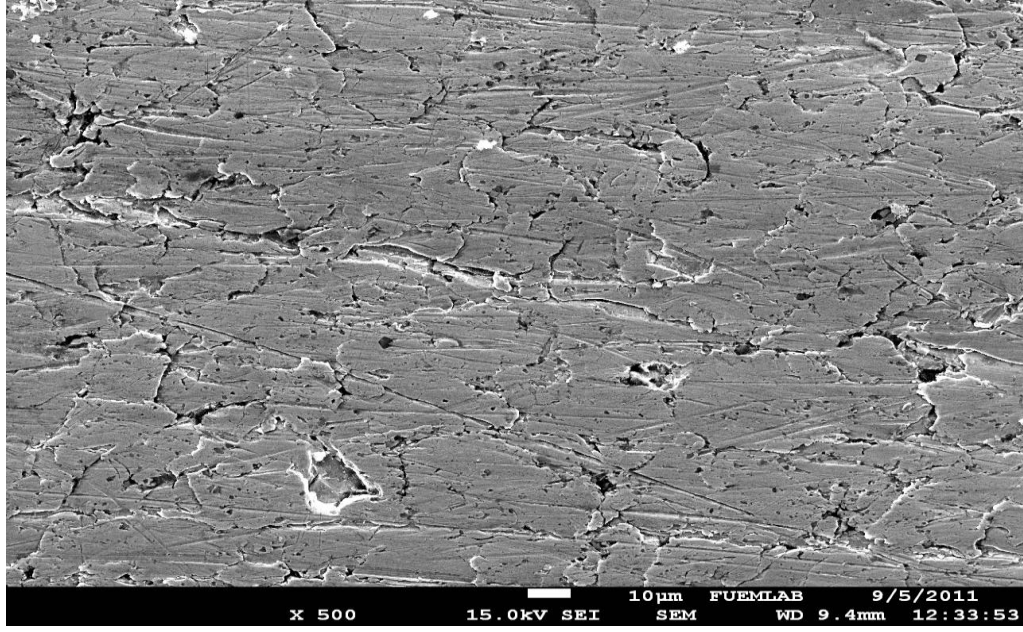
Deney motorunda kullanılan yakıt ve yağlama yağları	Kükürt Miktarı (ppm)
Mineral Yağ	>990 ppm
Benzin	9,1 ppm
Fındık Yağı	4,3 ppm
Benzin + Fındık Yağı	11,9 ppm
Benzin + Mineral Yağ	535,4 ppm

3.3. Segmanın Aşınma Davranışı

Deney motorunda piston üzerinde iki segman bulunmaktadır. Pistonun üst kısmında bulunan segman kompresyon segmanı, alt kısmındaki ise yağ segmanıdır. Kompresyon segmanı yanma odasına yakın olan segmandır. Bu yüzden bu segman, yağ segmanına göre daha fazla sıcaklık basınç altında çalışır. Bu sebeple aşınma miktarı daha fazla olduğu düşünülür. Deney motorunda fındık yağı ve mineral yağ ile yapılan çalışmalardan sonra üst segman sökülerek aşınma davranışını incelemek için SEM analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.12. Fındık yağı ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin SEM analizi



Şekil 3.13. Mineral yağ ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin SEM analizi

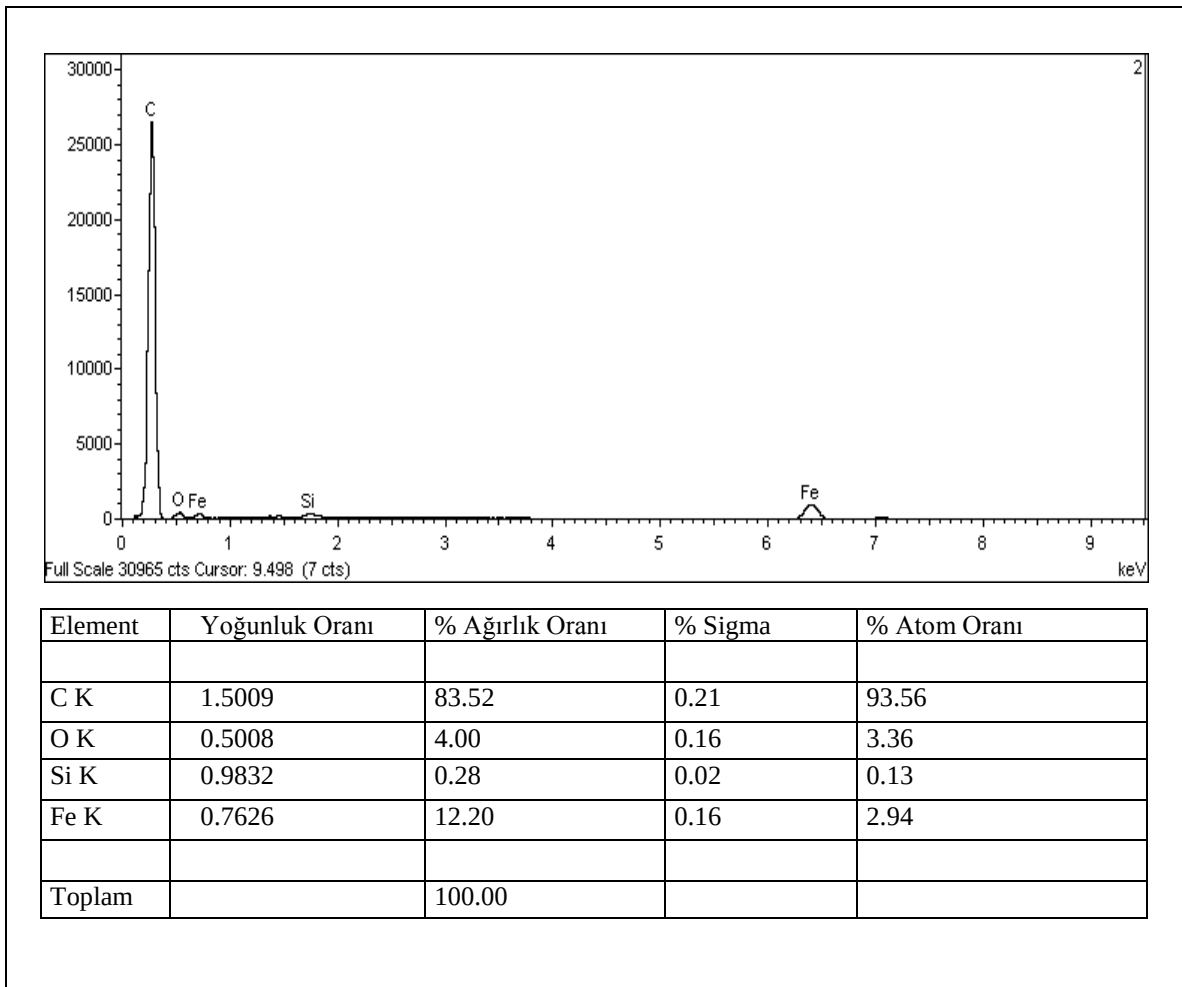
Şekil 3.12’ de findık yağı ile yapılan çalışma sonucunda segman yüzeyinin SEM fotoğrafı görülmektedir. Şekil 3.13’te ise mineral yağ ile yapılan çalışmanın sonucundaki segmanın SEM fotoğrafını vermektedir. Bu iki SEM fotoğrafı karşılaştırıldığında findık yağı ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin daha fazla deformasyona uğradığı görülmektedir. Segman yüzeyindeki bu derin aşınmalar yanma safhasındaki yanma basıncının şiddetinden ve aşırı sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Bu olay daha önce silindir yüzeyindeki aşınmalar kısmında anlatıldığı gibi vuruntulu yanmadan kaynaklanabileceği açıklanmıştır. Silindirlerde aşınmayı en fazla etkileyen faktör segmanın altına geçerek segmanı silindir cidarına doğru iten gaz basıncıdır. Pistonun ÜÖN’ ya yakın konumunda silindir basıncı ve buna bağlı olarak segmanı silindir yüzeyine doğru iten kuvvette en yüksek değerdedir. Bu bölgede sıcaklığında yüksek olması dikkate alındığında aşınma da diğer bölgelere göre yüksek olacaktır. Kısaca yanma basıncının aşırı yükselmesinden dolayı segmanın silindir yüzeyine uyguladığı sürtünme kuvveti artmaktadır. Bu durum yüzeyde derin çiziklere sebep olmaktadır.

Birinci segmanı silindir cidarına iten basınç, pistonun ön kısmında bulunan basıncın segmanın arka kısmına geçen basıncıdır. Birinci segmandan kaçan basınç ise ikinci segmanın arkasına geçerek bu segmanı silindir cidarına doğru iter. Bu basınçlar sızdırmazlığı sağlar. Ancak silindir ve segmanların aşınmasına neden olur. Birinci segman

arkasındaki basıncın ikinci segman arkasındaki basınçtan yüksek olması, birinci segmanın çıkabildiği en yüksek bölgede (Ü.Ö.N.) aşınmanın da en yüksek olması anlamına gelir. Nitekim yapılan ölçümler ve SEM fotoğraflarından bu bölgedeki aşınmanın en yüksek değerde olduğu görülmüştür.

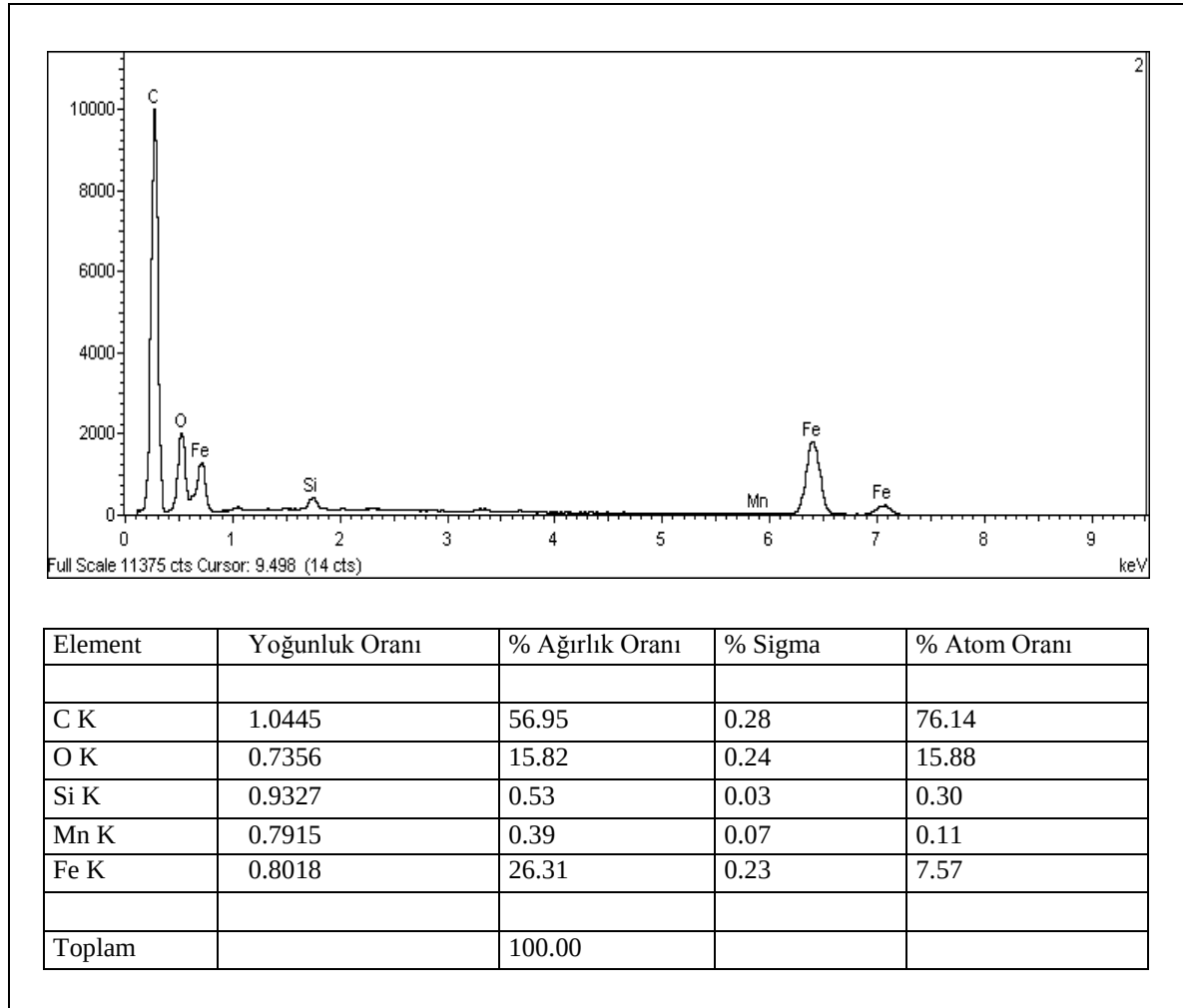
3.4. Mikro Yapının İncelenmesi (EDS Analizleri)

EDS (Energy Dispersive Spectrography), silindir yüzeyindeki mikro yapının noktasal analizini belirler. Bu çalışmada deney motorunda yapılan farklı çalışmalar sonucunda alınan silindir numunelerinin aynı bölgeleri için EDS analizleri yapılarak bu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.14. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN' yakın 2 nolu numunenin EDS analizi

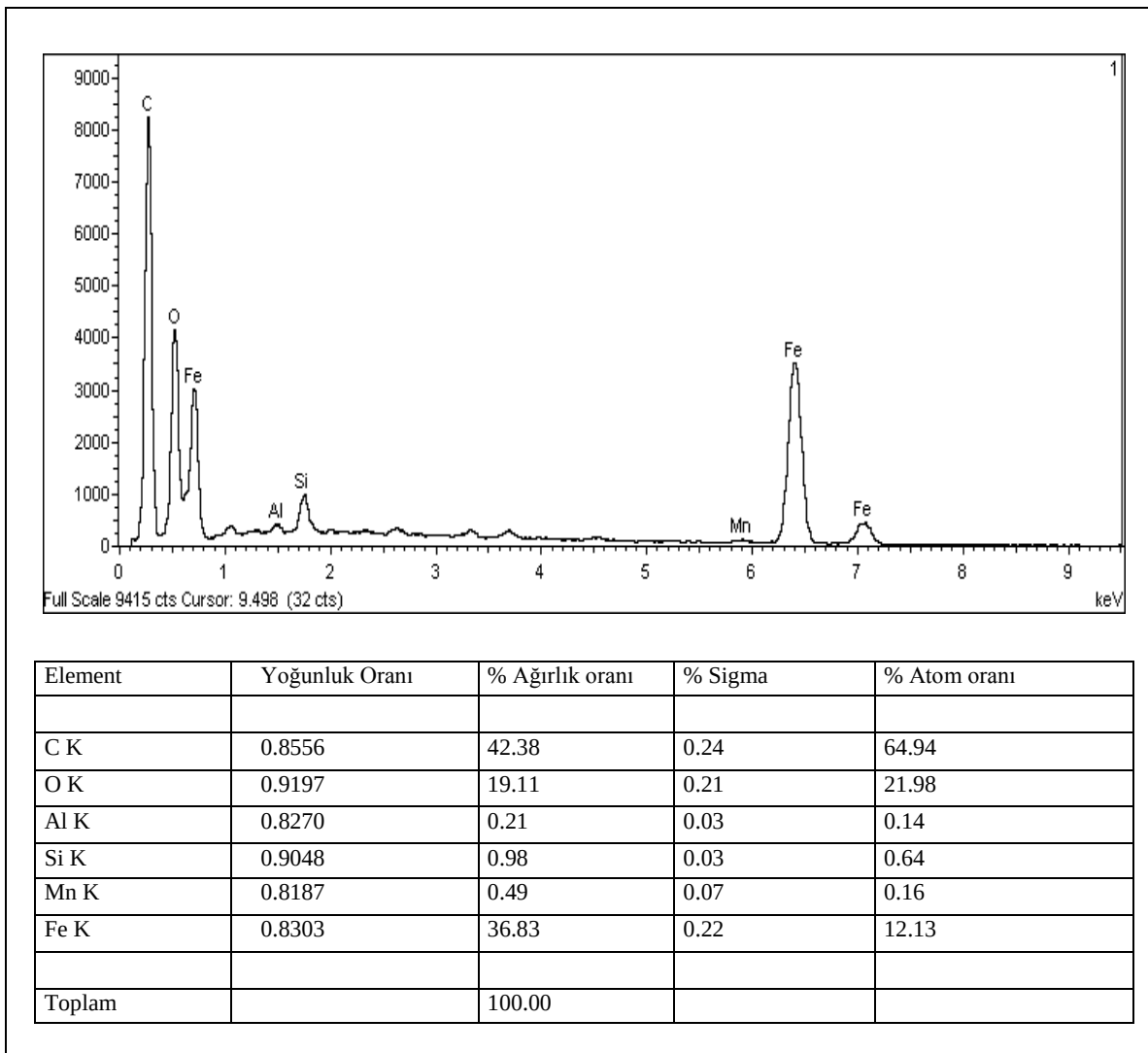
Deney motorunda mineral yağı ve fındık yağı ile yapılan çalışmalar sonucunda alınan silindir numunelerinin EDS analizleri yapılmıştır. EDS, silindir numunelerinin noktasal analizlerini ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Şekil 3.14 ve şekil 3.15, silindirin ÜÖN' ya yakın olan bölgelerinden alınan numunelerin EDS analizlerini vermektedir.



Şekil 3.15. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN' ya yakın 2 nolu numunenin EDS analizi

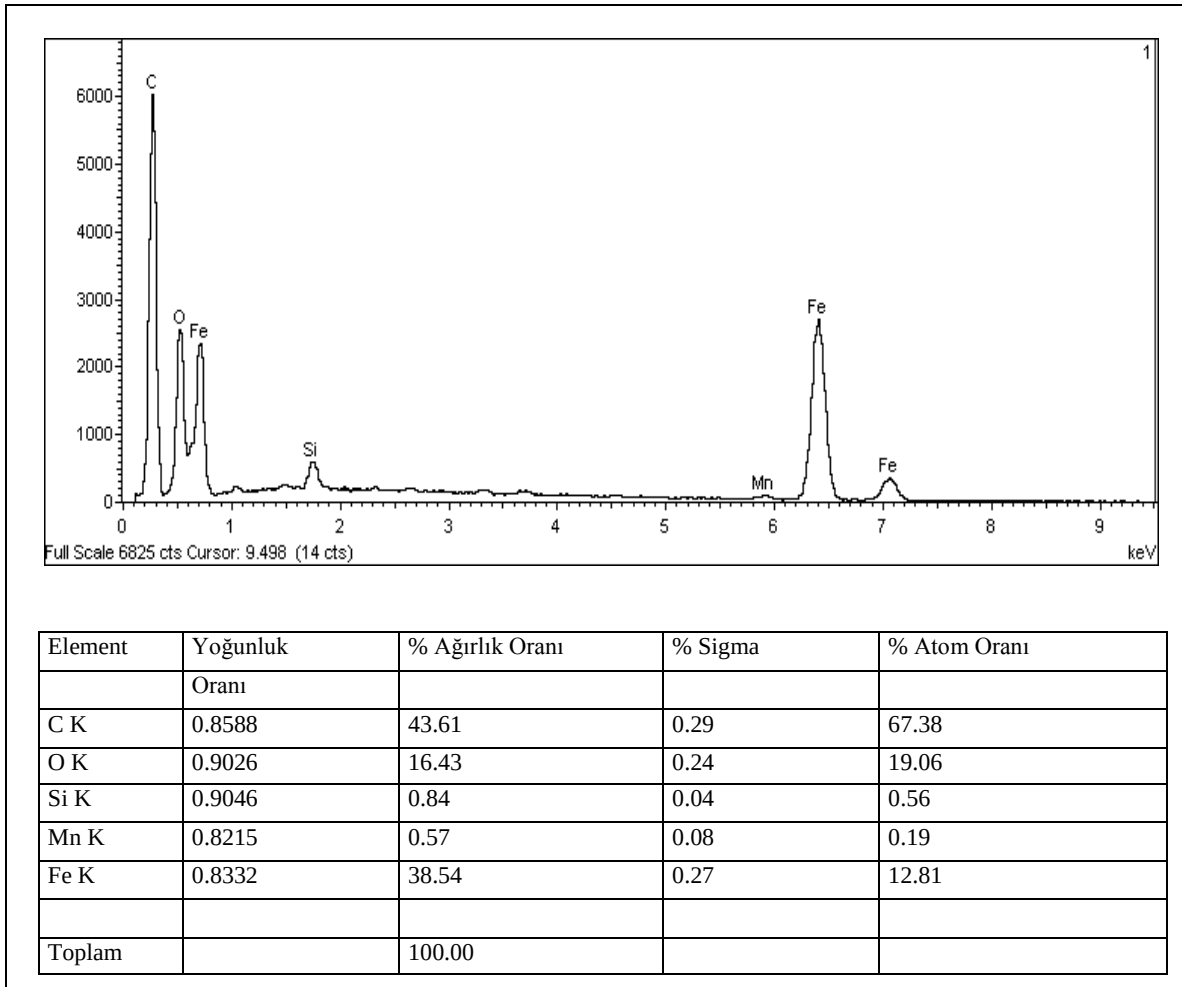
Şekil 3.14 ve şekil 3.15 sırasıyla fındık yağı ve mineral yağ ile yapılan çalışmalar sonucunda alınan numunelerin analizlerini vermektedir. Şekil 3.14' te EDS sonuçlarına göre içerik; %83,52 C, %4,00 O, %0,28 Si, ve %12,20 Fe şeklinde belirlenirken Şekil 3.15' te ise numunenin içeri %56,95 C, %15,82 O, %0,53 Si, %0,39 Mn ve %26,31 Fe olarak belirlenmiştir. Her iki numunenin içerikleri kıyaslandığında özellikle C ve Fe elementlerinin içerik oranlarında fark görülmektedir. Özellikle fındık yağı ile yapılan

çalışma sonucundaki numunenin C içeriği Mineral yağ ile yapılan çalışmaya göre artmaktadır. Bunun sebebi ise deney motorunda benzin-fındık yağı karışımı kullanıldığında yanma sonucu aşırı sıcaklık ve basınç yükselmelerinin sürtünmenin etkisini artırması olabilir. Aşırı sıcaklığın etkisi ile piston genişmekte ve bu genişleme sonucu silindir yüzeyindeki sürünme artmaktadır, silindir yüzeyindeki yağ filminin de bozulduğu düşünülürse sürtünmenin etkisiyle bu bölgede malzeme taşınımı meydana gelebilir. Malzeme taşınımı nedeniyle silindir yüzeyinin bazı bölgelerinde C ve Fe içeriği değişebilir.



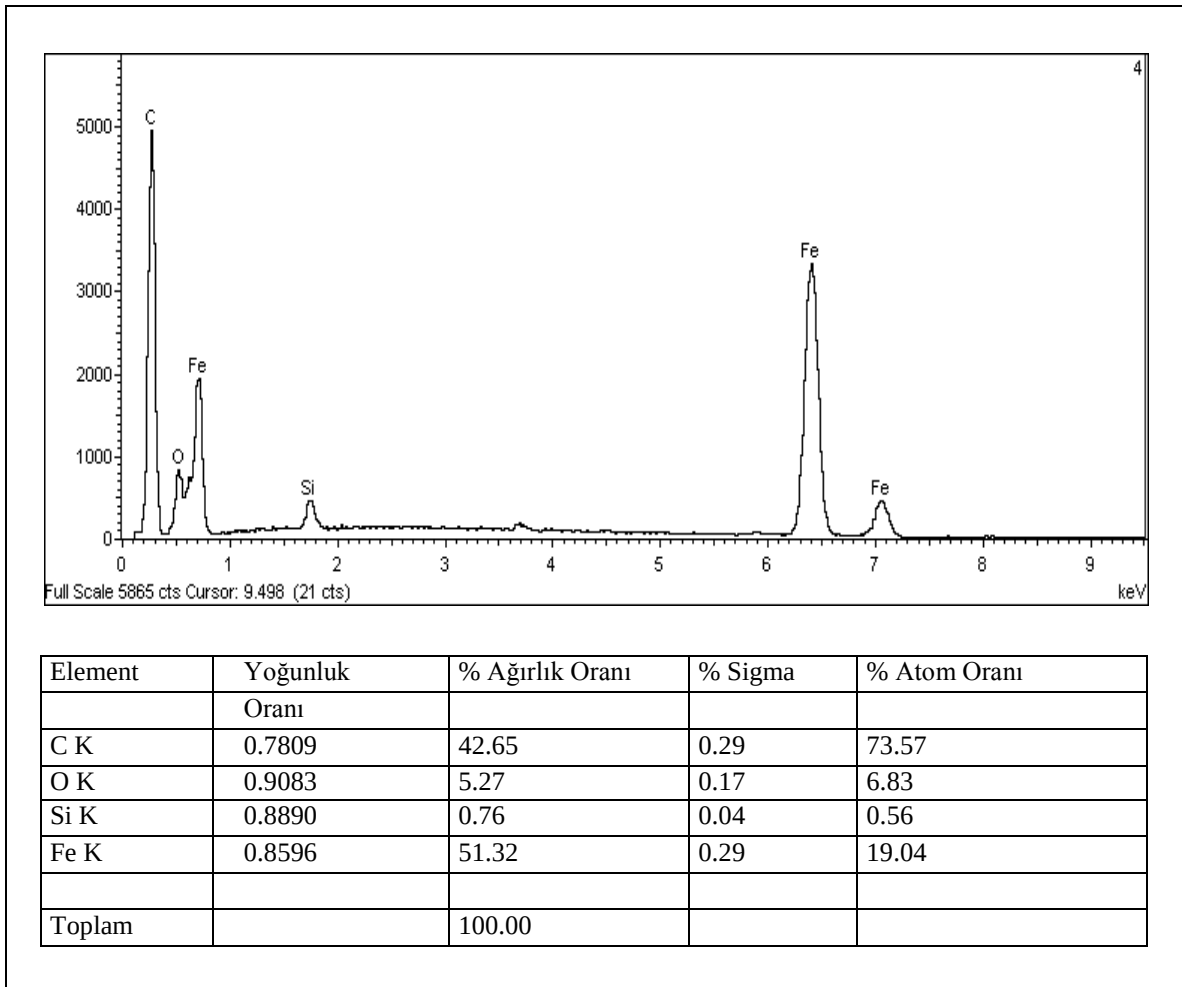
Şekil 3.16. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN' ya yakın 1 nolu numunenin EDS analizi

Şekil 3.16' da fındık yağı ile yapılan çalışma sonucunda alınan numunenin EDS analizlerini göstermektedir. Bu analiz sonuçlarına göre numunenin elementer içeriği, %42,38 C, %19,11 O, %0,21 Al ,% 0,98 Si, %0,49 Mn ve % 36,83 Fe olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.17' de ise mineral yağ ile yapılan çalışmanın EDS analizleri görülmektedir. Bu analiz sonuçlarındaki numunenin elementer içeriği ise %43,61 C, %16,43 O, %0,84 Si, %0,57 Mn ve %38,54 Fe olarak belirlenmiştir. Şekil 3.16 ve şekil 17' de analizleri verilen numuneler silindirin ÜÖN' sına yakın olan bölgelerden alınmıştır. Bu iki numune karşılaştırıldığında fındık yağı ile çalışan silindir numunesinin içeriğinde %0,21 oranında Al tespit edilmiştir. Al elementinin varlığı sürtünmeden kaynaklanan bir madde transferi şeklinde açıklanabilir. Bu madde transferi, sürtünme olayı esnasında piston malzemesindeki Al elementinin silindir yüzeyine olan taşınımı şeklindedir. Her iki numunenin C ve Fe içerikleri karşılaştırıldığında bu elementlerin içeriklerinin fazla değişmediği görülmektedir. Bu iki numune arasındaki en önemli fark Al transferidir.

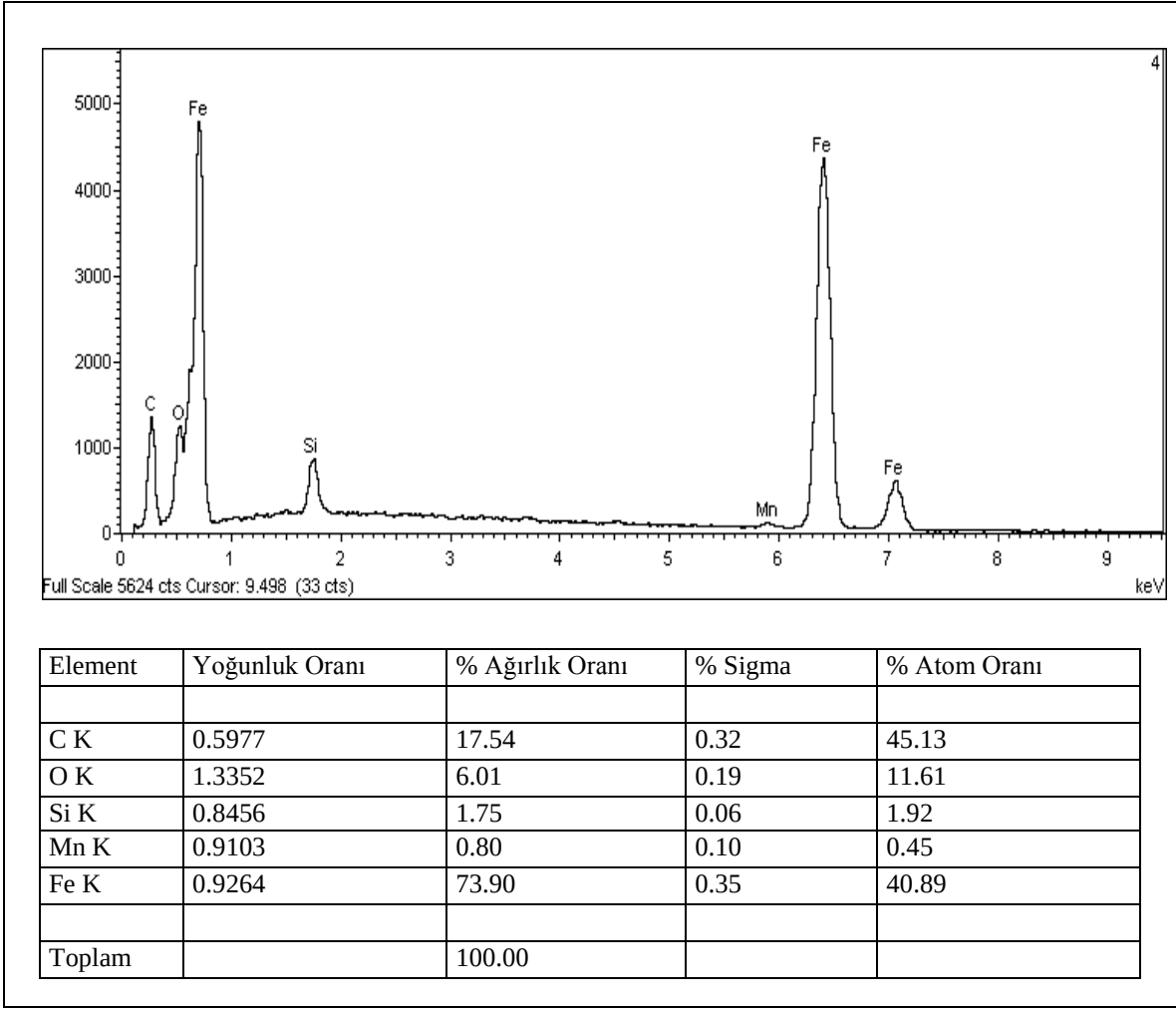


Şekil 3.17. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin ÜÖN' ya yakın 1 nolu numunenin EDS analizi

Şekil 3.18 ve şekil 3.19, sırasıyla fındık yağı ve mineral yağ ile yapılan çalışmalar sonucunda silindirin orta bölgesinden alınan numunelerin EDS analizlerini göstermektedir. Şekil 3.18’ de numunenin içeriği %42,65 C, %5,27 O,%0,76 Si ve %51,32 Fe olarak bulunurken şekil 3.19’ daki numunenin içeriği ise %17,54 C, %6,01 O, %1,75 Si, %0,80 Mn ve %73,90 Fe olarak tespit edilmiştir. Her iki analiz sonuçları karşılaştırıldığında fındık yağı ile yapılan çalışmada C miktarının arttığı Fe miktarının ise azaldığı görülmektedir. C elementindeki bu artış aşınma olayı ile açıklanabilir. Segman ile silindir yüzeyindeki sürtünme olayı esnasında silindir yüzeyinden grafit taşınımı olduğu düşünülebilir.



Şekil 3.18. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir orta kısmından alınan numunenin EDS analizi



Şekil 3.19. Mineral yağ ile yapılan çalışmada silindirin orta kısmından alınan numunenin EDS analizi

3.5. Simülasyon Test Cihazı Çalışmaları

Simülasyon test cihazında silindir ve segman numuneleri aparatlara bağlanarak silindir yüzeyi aşındırılmıştır. Bunun için segman numunesi üzerine 10N' luk kuvvet uygulanarak silindir numunesine sürtünmesi sağlanmıştır. Segman-silindir arasındaki yüzey basıncı motorunkine uygun hale getirilmiştir. Çalışmada kayma stroku 12 cm' ye, kayma hareketi ise dakikada 147 gidiş-geliş olarak ayarlanmıştır.

Simülasyon aşındırma test cihazına segman ve silindir numuneleri bağlandıktan sonra cihaz çalıştırılmadan önce yağlama sistemi pompası çalıştırılıp segman ve silindir numunesi yüzeylerinin sürekli yağlanması sağlanmıştır. Yağlama pompası olarak 20W gücünde bir akvaryum pompası kullanılmıştır.

Yüzeyler arasına püskürtülen yağ yüzeylere adsorpsiyon ile yapışarak yüzeyler üzerinde birkaç molekül kalınlığında adsorpsiyon tabakaları oluşturur. Yağın bu özelliğine ıslatma kabiliyeti de denir. Bu özellik yağ ve madensel yüzeylerin karşılıklı etkilerine bağlıdır. Yüzeyler arasında herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşturulamadığı takdirde sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar [26].

Simülasyon aşını test cihazında çeşitli yağların yağlayıcılık özellikleri araştırılmıştır. Kullanılan yağlar bir pompa aracılığı ile depodan alınıp silindir yüzeyine verilmiştir. Böylece segman ve silindirin sürekli bir şekilde yağlanıp malzemeler arasında kuru sürtünme önlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada yağlayıcı olarak mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı esteri ve kanola yağı kullanılmıştır. Her bir yağ için silindir ve segman numuneleri değiştirilerek cihaz 40 saat çalıştırılmıştır. Kayma yolu aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$S=H.t.n$$

burada; H: strok (m), t: çalışma süresi (dak), n: strok sayısı (1/dak) şeklindedir.

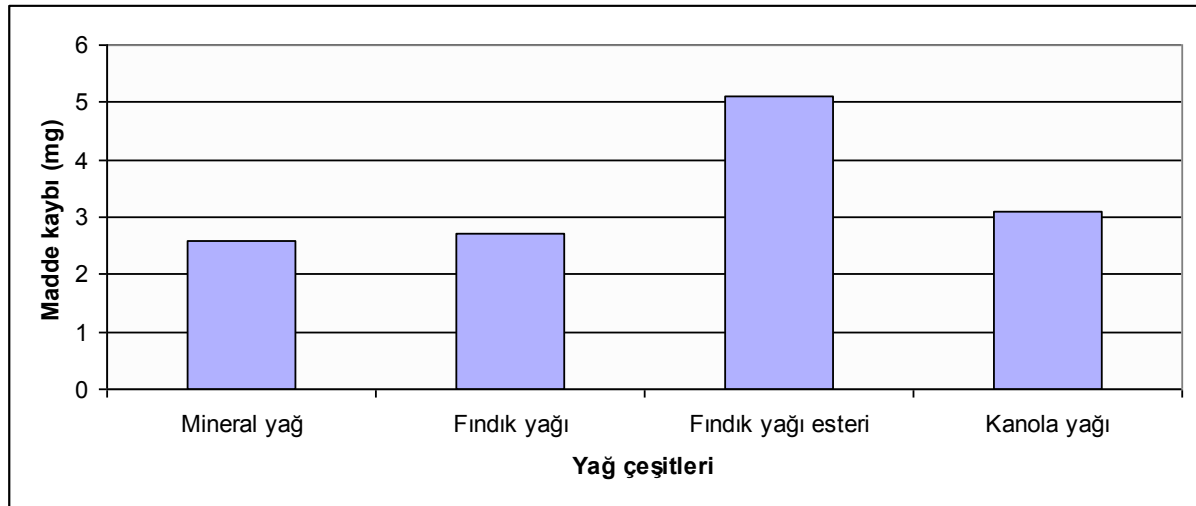
$$S=0,12.2.60.40.147=84672 \text{ m}$$

Her bir parça 84672 m kayma sürtünmesi ile aşındırılmıştır. Çalışma sonucunda silindir numunesi sökülüp tartılmış, aşınma sonucunda meydana gelen madde kaybı belirlenmiştir.

Çalışma sonunda silindir numunelerinin hassas teraziden alınan değerleri tablo 3.4' te verilmiştir. Şekil 3.20' de ise kullanılan yağlama yağlarına göre aşınma kayıpları gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Simülasyon test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonrasında dökme demir kaplı silindir numunelerinin madde kayıpları

Yağlama yağı	Çalışma öncesi dökme demir silindir numunesinin ağırlığı (gr)	Çalışma sonrası dökme demir silindir numunesinin ağırlığı (gr)	Dökme demir silindir numunesindeki madde kaybı (gr)
Mineral yağ	41,4354	41,4328	0,0026
Fındık yağı	51,8985	51,8958	0,0027
Fındık yağı metil esteri	50,7578	50,7527	0,0051
Kanola yağı	54,9065	54,9034	0,0031



Şekil 3.20. Silindir test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda dökme demir silindir numunelerindeki madde kayıpları

Madde kayıpları incelendiğinde fındık yağı ve kanola yağının yağlayıcılık özelliği mineral ile birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmada madde kaybının diğer yağlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin fındık yağı esterinin düşük viskozitesi olabilir. Düşük viskoziteye sahip olan yağ yüzeyde iyi bir yağ filmi oluşturamaz ayrıca bu yağ filminin yırtılmaya karşı direnci çok düşüktür. Böylece yetersiz bir yağlama meydana gelir. Buna bağlı olarak madde kaybı da diğerlerine oranla yüksek olmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan mineral yağın

viskozitesi (40°C sıcaklıkta) 40 cst, fındık yağının 35 cst ve fındık yağı metil esterinin 3,9 cst olarak ölçülmüştür. Viskozite ölçümünde Tanaka AKV-202 (ASTM-D445) cihazı kullanılmıştır. Viskozite değerlerinden de görüldüğü gibi mineral yağ ve fındık yağının viskozitesi, fındık yağı metil esterinin yaklaşık 9-10 katı kadardır. Bu durumun yağlayıcılığı etkileyeceği düşünülmüştür.

Şekil 3.20’deki grafik dikkate alındığında fındık yağının kanola yağına göre yağlayıcılık özelliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Bunu nedeni yağın içeriğindeki kükürt miktarı olabilir. Fındık yağının kükürt miktarı kanola yağının kükürt miktarından daha fazladır. Kükürt miktarı attıkça yağlayıcılık özelliği de artmış olabilir.

Yapılan çalışmalarda yakıttaki kükürt miktarının 10 ppm’ nin altına düşürüldüğünde partikül emisyonlarının azaldığı fakat yakıtın yağlama özelliğinin kötüleştiği görülmektedir [27].

Simülasyon test cihazında yapılan çalışmada ayrıca kanola yağının çalışma sonlarına doğru renginin koyulaştığı gözlenmiştir. Kanola yağı açık ortamda oksijenle reaksiyona girerek bozulma belirtileri göstermiştir. Yani oksidasyon oluşumu başlamıştır. Fakat fındık yağında çalışma süresince böyle bir bozulma belirtisi görülmemiştir. Bunu da fındık yağı içeriğindeki yüksek miktarda bulunan tokoferol maddesiyle açıklayabilir.

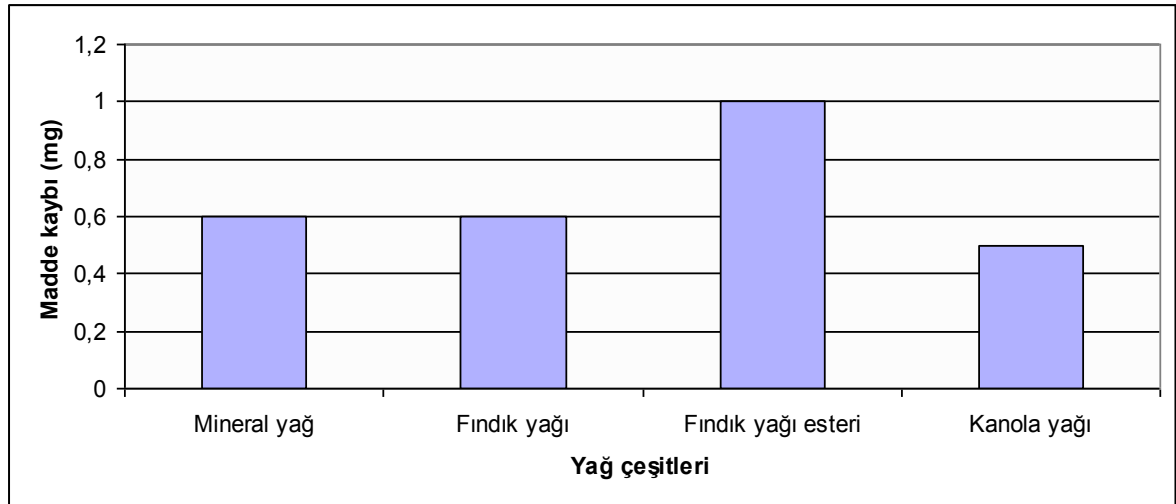
Oksidatif reaksiyonlarda bünyeye giren oksijen ana unsurlarla reaksiyona girmeden antioksidanlara bağlanarak bozulma engellenmiş olur. Bitkisel yağlarda en yaygın olarak bulunan antioksidan tokoferollerdir [19]. Bu antioksidan fındık yağında da yüksek miktarda bulunmaktadır [21]. Simülasyon test cihazında ve iki zamanlı deney motorunda yapılan çalışmalar karşılaştırılacak olursa iki zamanlı motorda fındık yağı kullanıldığı durumda yanmanın kötüleştiği sıcaklık ve basıncın aşırı yükseldiği ve buna bağlı olarak aşıntının da arttığı gözlenmiştir. Simülasyon test cihazında ise fındık yağı ile yapılan çalışmada aşıntı miktarının fazla olmadığı mineral yağ ile yakın değerler verdiği görülmektedir. Fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda ise iki zamanlı motorda yağlamayı kötüleştirerek segmanın silindir yüzeyine kaynaklanmasına sebep olmuştur. simülasyon test cihazında ise diğer yağlara oranla daha fazla aşıntı kaybı ortaya çıkmıştır. Bu durum ise fındık yağı metil esterinin düşük viskozitesi ile açıklanabilir.

Dökme demir silindir numunesiyle yapılan çalışmalar tamamlandıktan sonra silindir numunesi olarak CrN kaplı silindir numunesi kullanılmıştır. Bu CrN kaplı silindir numunesinde aşıntı miktarı araştırılmıştır. Yine kaplanmış numunede de yağlama yağı olarak bir önceki çalışmadaki gibi mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı metil esteri ve

kanola yağı kullanılmıştır. Kaplanmış numune bu yağlarla ayrı ayrı simülasyon test cihazında 40 saat kadar çalıştırıldıktan sonra madde kayıpları belirlenmiştir. Çalışmalar sonucundaki madde kayıpları tablo 3.5’ te verilmiştir. Şekil 3.21’ de ise kaplanmış numunelerde farklı yağlama yağı için aşınma değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Simülasyon test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonrasında CrN kaplı silindir numunelerinin madde kayıpları

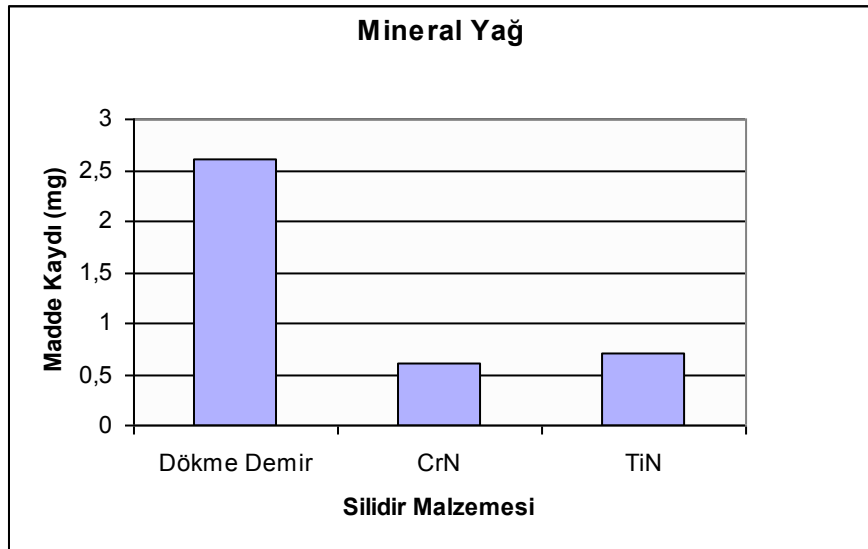
Yağlama yağı	Çalışma öncesi CrN kaplı silindir numunesinin ağırlığı (gr)	Çalışma sonrası CrN kaplı silindir numunesinin ağırlığı (gr)	CrN Kaplı silindir numunesindeki madde kaybı (gr)
Mineral yağ	55,8384	55,8378	0,0006
Fındık yağı	49,75813	49,75807	0,0006
Fındık yağı metil esteri	57,2716	57,2706	0,0010
Kanola yağı	61,7456	61,7451	0,0005



Şekil 3.21. Silindir test cihazında çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda CrN kaplı silindir numunelerindeki madde kayıpları

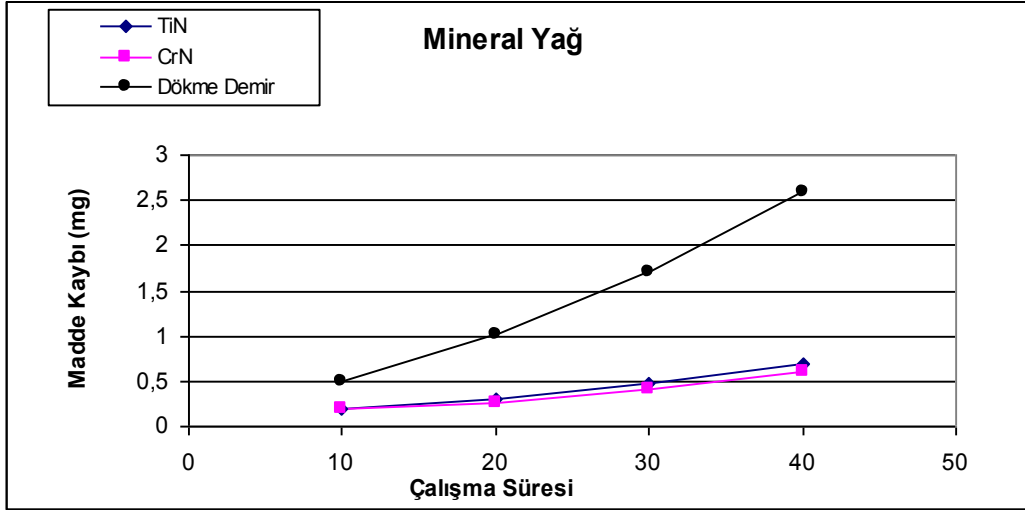
CrN kaplı silindir numunelerindeki madde kayıpları dökme demir numuneye göre daha azdır. Bu da CrN kaplı malzemenin aşınma direncinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Lamel grafitli dökme demir silindirinin CrN kaplı silindire göre yüzeyinin daha pürüzlü olması oluşturulan yağ filminin yırtılmasını hızlandırmaktadır. Ancak CrN kaplı silindirin yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olmasıyla bu olumsuz etkinin ortadan kalktığı, böylece hidrodinamik yağlama rejiminin daha uzun ömürlü olduğu düşünülmektedir. CrN kaplı silindir yüzeyinde mikro yapı, sertlik ve pürüzlülük değeri iyileşmiştir. CrN kaplı silindir yüzeyindeki aşınma miktarı lamel grafitli dökme demire göre yok denecek kadar azdır [28].



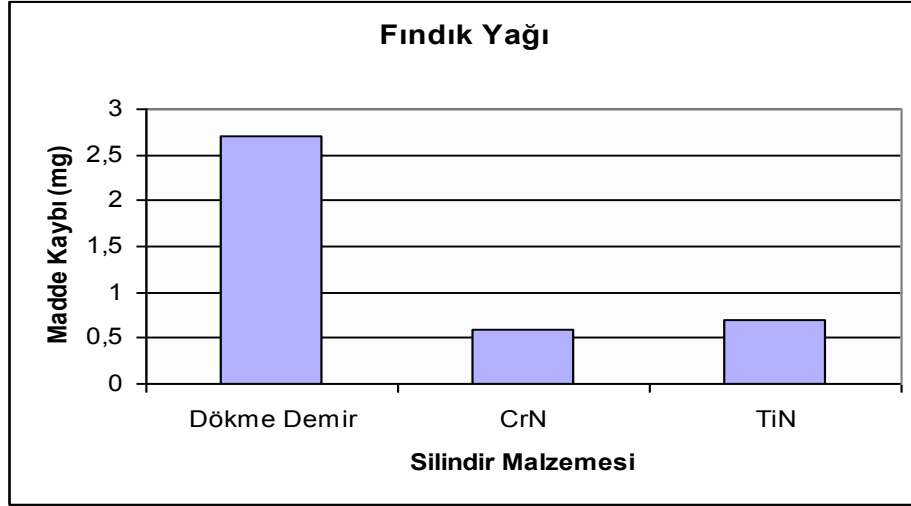
Şekil 3.22. Simülasyon test cihazında mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları

Dökme demir silindir numunesi simülasyon test cihazında mineral ile 10 saat çalıştırıldıktan sonra numune cihazdan sökülüp, asetonla temizlenmiştir. Temizlenen dökme demir numune hassas terazide tartılarak madde kaybı belirlenmiştir. Bu numune tekrar simülasyon test cihazında 10’ar saat aralıklarla toplam 40 saat çalıştırılmıştır. Her 10 saat çalışma sonucunda madde kayıpları belirlenmiştir. Dökme demir silindir numunesi ile yapılan bu çalışmalar CrN ve TiN kaplı silindir numunelerinde de tekrarlanmıştır. Dökme demir, CrN ve TiN kaplı silindir numunelerinin mineral yağ ile çalışması sonucunda tespit edilen madde kayıpları şekil 3.22 ’de ve şekil 3.23’ te verilmiştir.

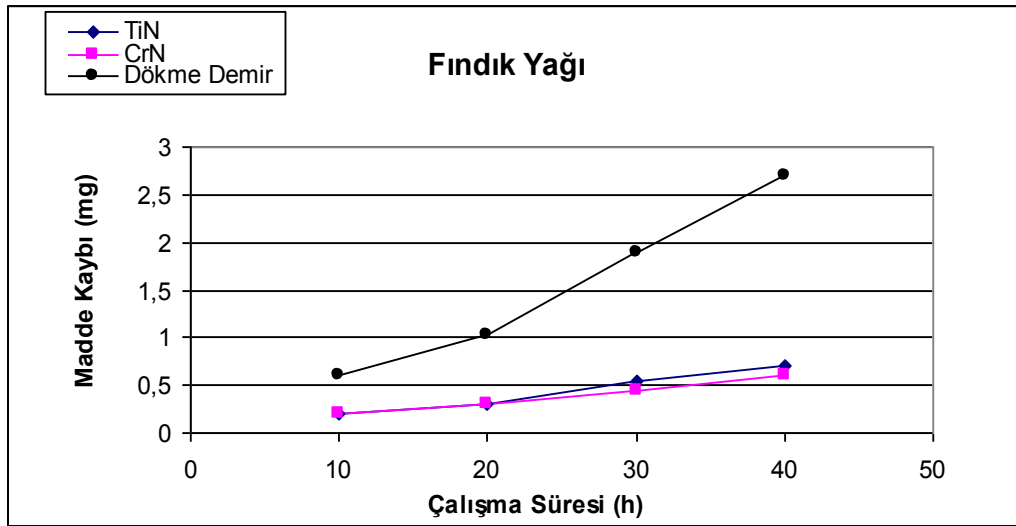


Şekil 3.23. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında mineral yağ ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları

Şekil 3.22 ve şekil 23 incelendiğinde aşınma kaybının en fazla dökme demir silindir numunesinde olduğu görülmektedir. CrN ve TiN kaplı silindir numunelerindeki madde kayıpları karşılaştırıldığında TiN kaplı numunenin CrN' e göre fazla olduğu anlaşılmaktadır. CrN kaplı numunenin aşınma miktarının az olması sürtünme katsayısı ile açıklanabilir. Tablo 3.6 ve tablo 3.7 incelendiğinde CrN kaplamanın sürtünme katsayısı 5,0 iken TiN kaplamanın sürtünme katsayısının 6,5 olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısının fazla olması aşınma miktarını artırmıştır.



Şekil 3.24. Simülasyon test cihazında fındık yağı ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları

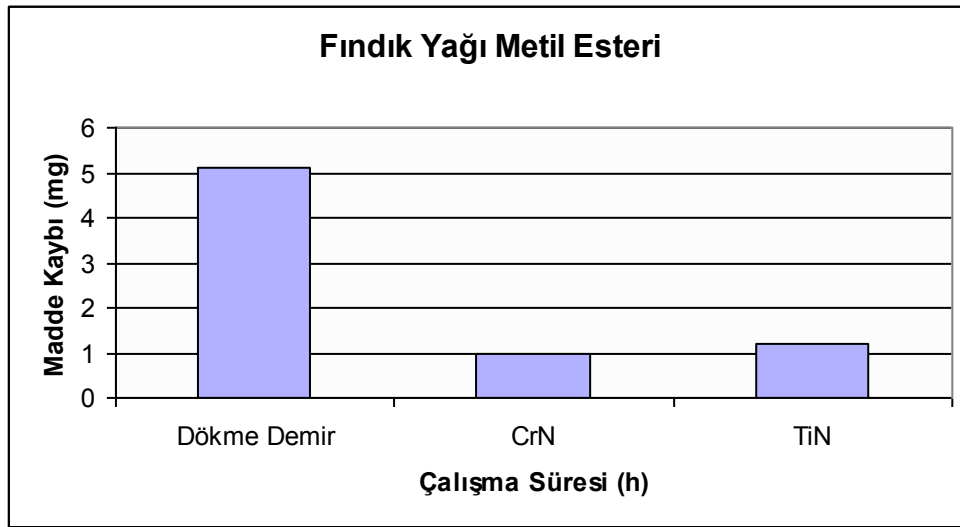


Şekil 3.25. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında fındık yağı ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları

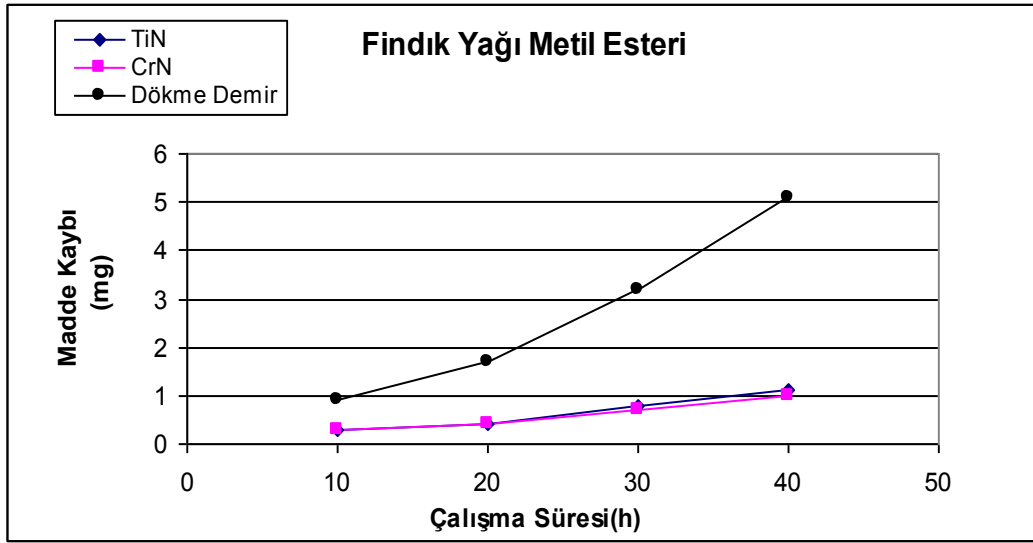
Şekil 3.24' de ve şekil 3.25' te dökme demir, CrN ve TiN kaplanmış silindir numunelerindeki madde kayıplarını göstermektedir. Bu çalışmada yağlama yağı olarak fındık yağı kullanılmıştır. Şekil 3.22' de ve şekil 3.23' te olduğu gibi CrN ve TiN kaplamaya kıyasla en büyük madde kaybının dökme demir numunede olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin dökme demir numunenin CrN ve TiN kaplı numuneye göre daha pürüzlü ve yumuşak bir yapıya sahip olmasıdır. CrN ve TiN kaplı numunelerdeki aşınma miktarı birbirine yakın değerler göstermektedir. Bunun sebebi ise

yüzey pürüzlülüğünün aynı değere sahip olması olabilir, fakat sürtünme katsayılarındaki fark nedeniyle TiN kaplı numunede aşınma miktarı CrN kaplı numuneye göre fazla olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.26 ve şekil 3.27’ de ise yağlama yağı olarak fındık yağı metil esteri kullanılmış, çalışmalar sonucunda üç ayrı numunenin madde kayıpları verilmiştir.

Yumuşak yüzeylerin sertliği ısıtıl işlem veya yüzeylerin sert malzeme ile kaplanmasıyla elde edilir. Dışarıdan sert malzemelerin yüzeyler arasına girmemesi için iyi bir sızdırmazlık sağlanmalıdır [11]. Sürtünme katsayısının meydana gelişi temas yüzeyleri üzerindeki çeşitli noktaların birbirine kaynamaları ile ilgilidir. İki cismin temas yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin temas halindeyken mikroskopla incelendiklerinde aralarında birçok girinti ve çıkıntı bulunduğu görülecektir. Bu girinti ve çıkıntılar harekete karşı direnç gösterecektir. Bu direncin etkisi ile ısı enerjisi meydana gelerek cisimlerin kristal yapılarının da bozulmasına neden olacaktır. Sonuçta hareket etme durumu zorlaşacağı gibi malzemelerde de ağır tahripler meydana gelecektir [12]. Yapılan çalışmalarda dökme demir silindir numunesinin yüzeyindeki tahribatın CrN ve TiN kaplamaya göre daha fazla olduğu aşınma kayıplarından anlaşılmaktadır. En az kaybın CrN kaplamada olduğu görülmektedir.

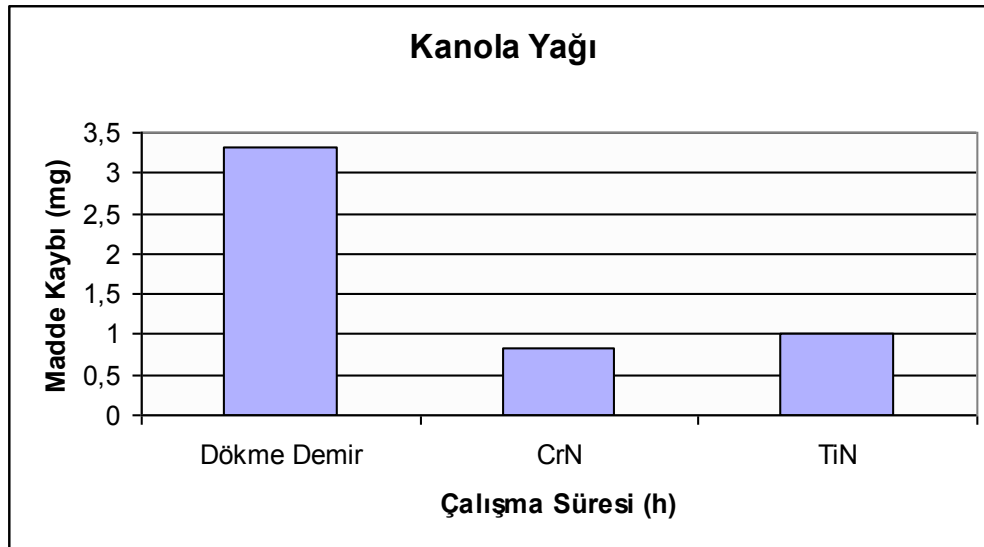


Şekil 3.26. Simülasyon test cihazında fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları

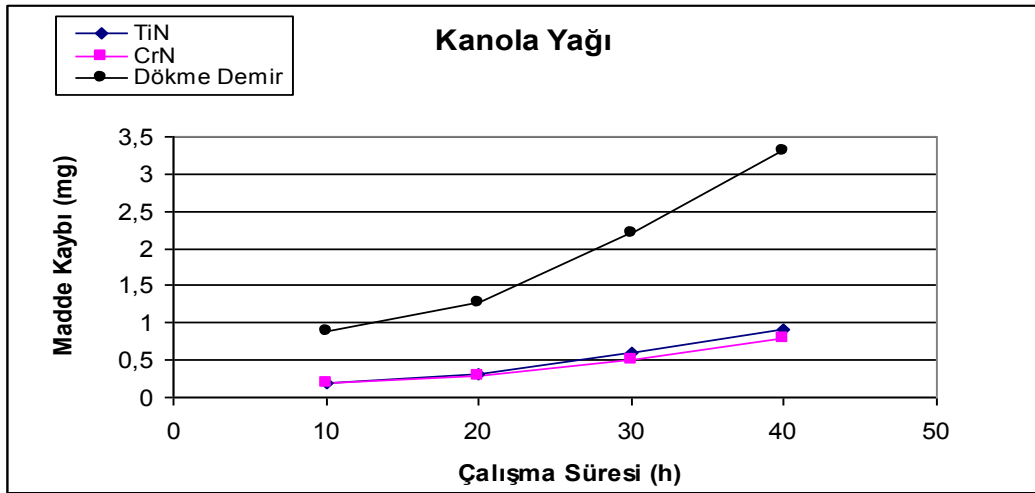


Şekil 3.27. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında findık yağı metil esterini ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları

Şekil 3.28’ de ve şekil 3.29’de simülasyon test cihazında kanola yağı kullanılarak yapılan çalışmalarda üç farklı silindir numunesinin madde kayıplarını göstermektedir.



Şekil 3.28. Simülasyon test cihazında kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda üç farklı silindir malzemesindeki madde kayıpları



Şekil 3.29. Üç farklı silindir malzemesinin simülasyon test cihazında belli zaman aralıklarında kanola yağı ile çalıştırılması sonucu elde edilen madde kayıpları

Şekil 3.23, 3.25, 3.27 ve 3.29 incelendiğinde kanala yağı ile yapılan çalışmada belli bir zaman sonra aşınmanın diğer yağlarla yapılan çalışmalara göre daha fazla arttığı yani daha dik bir artışın olduğu gözlenmektedir. Çalışma esnasında belli bir zamandan sonra hem aşınmadaki artış hem de kanola yağının renginin koyulaşması bu yağın zamanla bozulduğunu desteklemektedir. Çalışmanın yaklaşık son 10 saatinde kanola yağının renginin koyulaşması şekil 2.8’ de görülmektedir. Fındık yağında ve mineral yağda böyle bir renk değişimi görülmemektedir. Bu renk değişikliğinin sebebi açık ortamda oksijenle reaksiyona girmesi olabilir. Bitkisel yağların oksitlenme dirençleri birbirinden farklıdır bundan dolayı bitkisel yağların içerikleri dikkate alınmalıdır. Özellikle oleik asit miktarı incelenmelidir.

Yüksek oleik asitli bitkisel yağlarda oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtardır. Mono doymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir. Fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliklerini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır. Kolza (kanola) %58 monodoymamış, %36 polidoymamış ve %6 doymuş zincire sahip bu tipte bir yağdır [19]. Fındık yağı ise %81,19 mono doymamış, %10,35 polidoymamış ve %8,46 doymuş bir yapıya sahiptir [37]. Monodoymamış zincir yapıları karşılaştırıldığında fındık yağında bu yapının daha fazla olduğu görülmektedir. Fındık

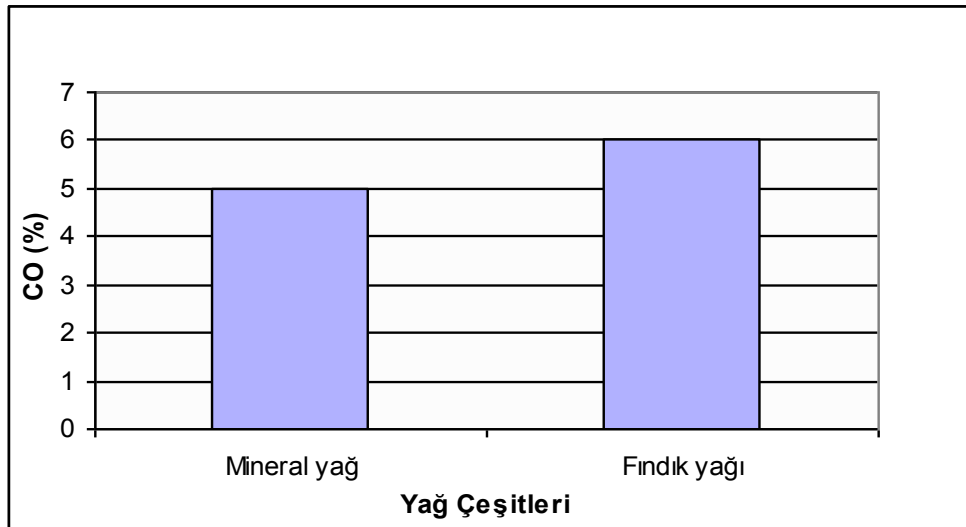
yağının oleik asit miktarı %83,6 iken kanola yağının ise 64,1 değerindedir [13]. Böylece fındık yağının oleik asit miktarının kanola yağına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu da fındık yağının oksitlenme direncini artırır ve renginin bozulmasını önleyebilir.

Tablo 3.6. CrN ve TiN malzemesinin özellikleri [33, 34].

Kimyasal Bileşimi	CrN	TiN
Kaplama Aralığı (μm)	1,0-10	2-3
Sertlik HV (kg/mm ²)	2200±400	2900±200
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	700	550
Sürtünme Katsayısı	0,5	0,65
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	0,2	0,2
Renk	Gümüş Grisi	Altın Sarısı

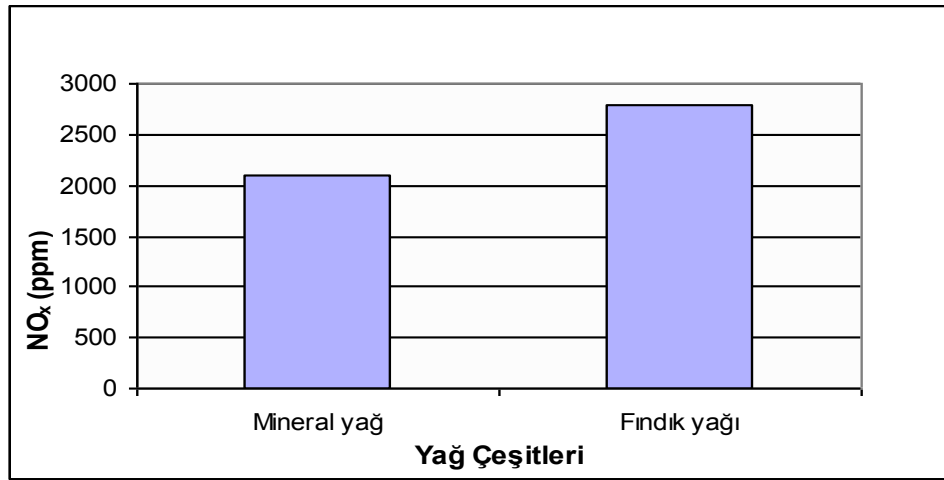
3.6. Egzoz Gazı Emisyon Sonuçları

İki zamanlı deney motoru önce yağlama yağı olarak kullanılan mineral yağ ve benzin karışımı ile tam yükte çalıştırılmıştır. Aynı çalışma fındık yağı ve benzin karışımı için de tekrarlanmıştır. Bu deney motoru depodaki suyu alıp aynı depoya basmaktadır. Deney motoru 2800 dev/dak sabit hızda çalışırken egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.30. CO emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre değişimi

Yanma sonucu açığa çıkan CO emisyonunun yetersiz oksijen miktarından olduğu bilinmektedir. Şekil 3.30 incelendiğinde mineral yağ ile yapılan çalışmada açığa çıkan CO miktarı %5 iken fındık yağı ile yapılan çalışmada ise %6 olduğu görülmektedir. CO emisyonunda bu %1 değerindeki artışın meydana gelmesi ile fındık yağının benzinli motorlarda yanmayı kötüleştirdiği sonucuna varılabilir. Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir içerisinde yakıt olarak benzin + fındık yağı karışımı bulunmaktadır. Bu karışım yandığında yapılan gözlemler ve ölçümler sonucunda silindir içerisindeki birikintilerin mineral yağ ile yapılan çalışmaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak fındık yağındaki C içeriğinin fazla olması düşünülebilir. Silindir içerisindeki bu artıklardan dolayı yeterli miktarda hava alınamaz bu da yanmayı kötüleştirerek CO oluşumuna sebep olabilir. Ayrıca fındık yağındaki setan sayısının fazla olması benzinli motorlarda vuruntuya neden olabilmektedir. Vuruntulu yanma sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklık CO₂ ayrışmasına sebep olarak CO oluşumu meydana getirebilir.

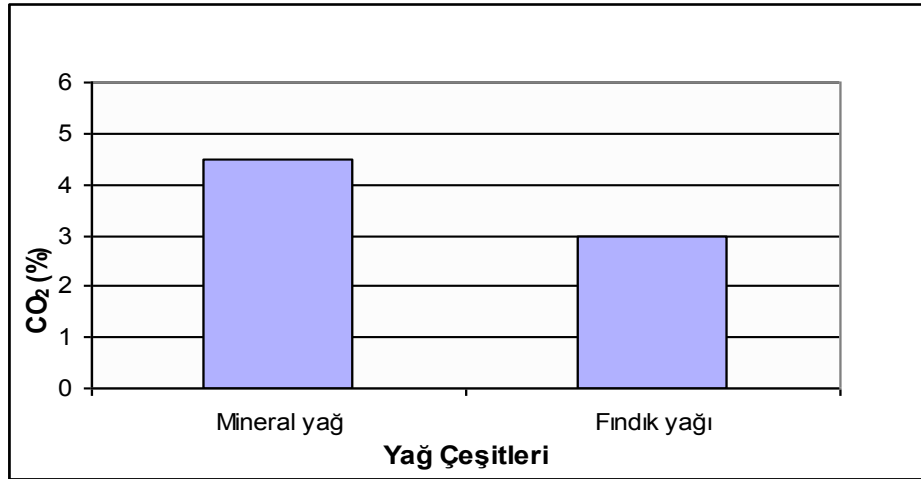


Şekil 3.31. NO_x emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre değişimi

Silindirlerdeki yanma yeterli olmayan hava ile gerçekleştirilirse, karbon monoksit meydana gelmesi kaçınılmaz olur. Motor silindirlerinde karbon monoksit oluşmasının sebeplerinden biride "ayrışma" ya da "disosiasyon" olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarında yanma ürünleri veya son ürünler olan CO₂ ve H₂O parçalanarak, element durumlarına dönüşürler ve bu dönüşme sırasında belirli miktarda ısı emerler. Böylece gazların basınç ve sıcaklığı, ayrışmadan önceki basınç ve sıcaklıktan daha düşük olur ve

indike iş azalır. Ancak indike iş ayrışan elementlerin (C ve H) sonraki yanmaları sırasında kısmen normal değere erişir. Bu arada, karbondioksit ayrışması sırasında CO ve O, su buharının ayrışması sırasında da H ve O meydana gelir. CO₂ ve H₂O'nun ayrışması yüksek sıcaklıkta artar [36].

Şekil 31' de görüldüğü gibi fındık yağı ile yapılan çalışma sonucunda NO_x emisyon değeri mineral yağa göre daha yüksektir. Mineral yağ ile yapılan çalışmada elde edilen NO_x değeri 2100 ppm iken fındık yağında bu değer 2800 ppm olarak tespit edilmiştir. NO_x emisyonu yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği bilinmektedir. Yanma olayında fındık yağının sebep olduğu vurutudan kaynaklanan yüksek sıcaklık NO_x oluşumunun bir sebebi olabilir. Yanma sıcaklıklarını artıran sebeplerin NO_x oluşumuna neden olacağı söylenebilir.



Şekil 3.32. CO₂ emisyonunun deney motorunda kullanılan yağlama yağına göre değişimi

Şekil 3.32' de mineral ile yapılan çalışmada CO₂ miktarı %4,5 iken fındık yağı ile yapılan çalışmada %3 olarak belirlenmiştir. CO₂ miktarındaki düşüş yanmanın kötüleştiğinin bir sonucu olabilir. Fındık yağı ve benzin karışımı ile gerçekleştirilen yanma sonucunda açığa çıkan CO₂ değerindeki azalma şekil 3.30' da verilen CO oluşumundaki artışı desteklemektedir. CO oluşumunu artıran sebeplerin CO₂ miktarını azalttığı düşünülebilir. Yani fındık yağı ile yapılan çalışmada silindirde biriken artıklar sebebiyle yeterli miktarda oksijenin alınamaması yanmayı kötüleştirir. Böylece CO miktarı artar, C atomları O₂ ile tepkimeye giremediğinden tam yanmanın göstergesi olan CO₂ değerinde

mineral yağa ile yapılan çalışmaya göre azalma görülür. Fındık yağı ve benzin karışımı ile yapılan yanma sonucunda meydana gelen yüksek sıcaklık CO₂ ayrışmasına sebep olabilir, bu olayın da CO₂ miktarını azalttığı düşünülebilir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada tek silindirli benzinli bir motorun yağlama yağı değiştirilerek tribolojik fonksiyonu incelenmiştir. Yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı ve fındık yağı metil esteri kullanılmıştır. Ayrıca simülasyon test cihazında TiN ve CrN ile kaplanmış silindir yüzeyleri çeşitli yağlarla ayrı ayrı çalıştırılarak aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir:

İki zamanlı deney motoru yağlama yağı olarak fındık yağı ve benzin karışımı ile çalıştırıldığında silindir yüzeyinde daha fazla aşınmanın olduğu ve daha fazla is birikintisinin olduğu gözlenmektedir. Bu durumda fındık yağı karışımı yanmayı kötüleştirmektedir denilebilir. Yanmanın kötüleşmesi fındık yağının setan sayısının fazla olmasıyla açıklanabilir. Bu da benzinli motorlarda kendi kendine tutuşmayı artırarak vuruntuya sebep olduğu düşünülebilir.

Deney motorunda yağlama yağı olarak fındık yağı metil esteri kullanıldığında ise motorun çalışma esnasında aniden durduğu fark edilmiştir. Motor söküldüğünde segmanın silindir yüzeyine kaydığı ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi ise fındık yağı metil esterinin düşük viskozitesinden dolayı yağ filmini oluşturamamış olması düşünülebilir.

Mineral ile yapılan çalışmalarda fındık yağı ve fındık yağı metil esterine göre benzinli motorlarda duyulan vuruntu sesleri oluşmamakta ve aşınmanın da daha az olduğu görülmektedir. Bu da mineral yağın içeriğinin iki benzinli motorlarda yağlama amacına daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir ve piston yüzeylerinde mineral yağa göre daha fazla karbon artığı bulunduğu gözlemlenmiş ve ölçümlerle tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak hem fındık yağının yanmayı kötüleştirilmesi hem de karbon içeriğinin fazla olması düşünülebilir.

Fındık yağı ve mineral yağ ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları incelendiğinde fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir numunesinin daha fazla aşındığı, derin çizikler oluştuğu, yüzeylerde çatlaklar ve yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir. Bunun en önemli sebebinin yanma sırasında meydana gelen vuruntu dolayı meydana gelen aşırı sıcaklık ve yüksek basınç olduğu düşünülebilir.

Deney motorunda yapılan çalışmalar sonucunda silindir numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlere dayanarak fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir yüzeyinin mineral yağa göre daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir.

Fındık yağı ve mineral yağın kükürt içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre mineral yağın kükürt içeriğinin fındık yağına göre çok daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Kükürt içeriğindeki bu büyük farkın yağlayıcılığı etkilediği düşünülmektedir.

Deney motorunda kullanılan segmanın SEM analizler incelendiğinde fındık yağı ile yapılan çalışmada daha fazla deformasyon görülmektedir. Yanma sırasında açığa çıkan aşırı sıcaklık ve basıncın etkisiyle segmanın silindir yüzeyine daha fazla kuvvet uyguladığı sonucuna varılabilir.

Silindir numunelerinin EDS analizlerine bakıldığında C ve Fe elementlerinin içerik oranlarında fark görülmektedir. Özellikle fındık yağı ile yapılan çalışmada silindir numunesinin C içeriği Mineral yağ ile yapılan çalışmaya göre artmaktadır. Bunun sebebinin sürtünmenin etkisi ile meydana gelen grafit taşınımı olduğu düşünülebilir. Ayrıca bu analizlerde fındık yapılan çalışmadaki silindir numunesinde Al elementi tespit edilmiştir. Bunun sebebinin sürtünme olayı esnasında piston malzemesindeki Al elementinin silindir yüzeyine taşınımı olduğu düşünülebilir.

Simülasyon test cihazında çalışma sonrası silindir numunesi incelendiğinde fındık yağı ve kanola yağının yağlayıcılık özelliğinin mineral ile birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmada madde kaybının diğer yağlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna fındık yağı esterinin düşük viskozitesinin sebep olduğu söylenebilir. Silindir numunesinde madde kayıpları incelendiğinde fındık yağının kanola yağına göre yağlayıcılık özelliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin yağının çalışma sonlarına doğru renginin koyulaşması yani bozulma belirtileri göstermesi olabilir. Kanola yağı açık ortamda oksijenle reaksiyona girerek bozulma belirtileri göstermiştir. Fakat fındık yağında bozulma belirtisi görülmemiştir. Bunu da fındık yağı içeriğindeki yüksek miktarda bulunan tokoferol maddesiyle açıklayabilir. Oksijen ana unsurlarla reaksiyona girmeden antioksidanlara bağlanarak bozulma engellenir. Bitkisel yağlarda en yaygın olarak bulunan antioksidan tokoferollerdir [19].

Simülasyon test cihazındaki çalışmalarda CrN ve TiN kaplı silindir numunelerindeki madde kayıpları dökme demir numuneye göre daha azdır. Dökme demir silindirinin CrN ve TiN kaplı silindire göre yüzeyinin daha pürüzlü olması oluşturulan yağ filminin yırtılmasını hızlandırmış olabilir. CrN ve TiN kaplı silindir numunesinin aşınma miktarı dökme demire göre çok az olduğu tespit edilmiştir. CrN ve TiN kaplı silindir numunelerindeki madde

kayıpları karşılaştırıldığında TiN kaplı numunenin CrN' e göre fazla olduğu anlaşılmaktadır. CrN kaplı numunenin aşınma miktarının az olması sürtünme katsayısı ile açıklanabilir. TiN kaplamanın sürtünme katsayısının CrN kaplamaya göre fazladır. Sürtünme katsayısının fazla olması aşınma miktarını artırmıştır.

İki zamanlı deney motorunda yanma sonucu açığa çıkan egzoz emisyon değeri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda fındık yağı ile yapılan çalışmada CO ve NO_x değerinin mineral yağ ile yapılan çalışmaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. CO değerindeki bu artıştan dolayı fındık yağının benzinli motorlarda yanmayı kötüleştirdiği düşünülebilir. Ayrıca yanma sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklık CO₂ ayrışmasına sebep olarak CO oluşunu meydana getirebilir. Bu yüksek sıcaklık aynı zamanda NO_x oluşumuna neden olacağı söylenebilir. CO₂ değerine bakıldığında fındık yağı ile yapılan çalışmada bu değer mineral yağ göre daha az olduğu görülür. CO₂ değerindeki bu azalma yanmanın kötüleştiğini düşündürülebilir ayrıca yanma odasındaki yüksek sıcaklık CO₂ ayrışmasını meydana getirebilir.

Bitkisel yağların herhangi bir değişiklik yapmadan yağlama amaçlı olarak iki zamanlı motorlarda benzin içerisine katılmasının emisyon ve aşınma yönünden olumlu sonuç vermediği anlaşılmıştır.

Simülasyon test cihazı ile yapılan aşınma deneylerinde ham fındık yağı ve kanola yağının aşınma etkileri birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle bitkisel yağların motorlarda pompalı yağlama sistemi ile 4 zamanlı motorlarda yağlama yağı olarak kullanılabileceği, iki zamanlı benzinli motorlarda yakıt içerisine yağlama amaçlı olarak katılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Heywood, J.B.**, 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York.
- [2] **Hazar, H., Öner C.**, 2007, CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi, Mühendis ve Makine Dergisi, 48, 575.
- [3] **Igartua, A., Nevshupa, R., Fernandes, X., Conte, M., Zabala, R., Bernaola, J., Zabala, P., Kuther, R., Rausch J.**, 2011. Alternative eco-friendly lubes for clean two-stroke engines, Tribology International, 44, 727-736.
- [4] **Igartua, A., Fernandez, X., Areitioaurtena, O. Luther, R., Seyfert, C., Rausch, J., Illarramendi, I., Berg,M., Schultheiß, H., Duffau, B., Plouseau, S., Woydt, M.**, 2010. Biolubricants and triboreactive materials for automotive applications. Tribology International, 42, 561-568.
- [5] **Tan, Y.C., Ripin, Z.M.**, 2010. Frictional behavior of piston rings of small utility two stroke engine under secondary motion of piston, Tribology International, 44, 592-602.
- [6] **Johansson, S., Nilsson, P.H., Ohlsson, R., Rosén, B.G.**, 2010, Experimental friction evaluation of cylinder liner/piston ring contact, Wear, 271, 625-633.
- [7] **Tung, SC., Gao, H.**, 2003. Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels. Wear, 255, 1276-1285.
- [8] **Jayadas, N.H., Nair, K.P., Ajithkumar G.**, 2007. Tribological evaluation of coconut oil as an enviroment-friendly lubricant, Tribology International, 40, 350-354.

- [9] **Kulkarni, M.G., Dalai, A.K., Bakhshi, N.N.**, 2007. Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive, Bioresource Technology, 98, 2027-2033.
- [10] **Wander, P.R., Altafini, C.R., Colombo, A.L., Perera, S.C.**, 2010. Durability studies of mono-cylinder compression ignition engines operating with diesel, soy and castor oil methyl esters, Energy, 36, 3917-3923.
- [11] **Akkurt, M.**, 1990. Makine Elemanları Cilt1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [12] **Yardım, M.H.**, 2008. Motor Teknolojisi, Nobel yayıncılık, İstanbul.
- [13] **Acaroğlu M.**, 2003, Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Basımevi, İstanbul.
- [14] **İlkılıç, C., Bayındır, H., Öner, C.**, 1997. Dizel motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Ayçiçek Yağının Kullanılması, Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [15] **Altun, Ş.**, 2004, Motorin ve Susam Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] **Akbaş, B.**, 2005. Ham Fındık Yağının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [17] **Georing, C.E., Schwab, B., Daughrt, M.J., Preyde, E.H., Heakin, A.J.**, 1982. Fuel Properties Of Eleven Vegetable Oils, Transaction of ASAE, 25, 1472-1477.
- [18] **Kuşhan, E.B.**, 1995. Otto ve Dizel Motorları, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [19] **Öğüt H., Oğuz H.**, 2006, Biyodizel, Nobel yayın dağıtım.
- [20] **Karaosmanoğlu F., Aksoy H.A.**, 1994. kullanılmış Kızartma Atık Yağının Seyreltme Yöntemi İle Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, 6. Enerji Kongresi, İzmir.

- [21] **Gümüskesen A.S.**, 1999. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği Yayın No:5 ISBN: 975-941208-0-5, İzmir.
- [22] **Tyson, S.K.**, 2001 Biodiesel Handlind and Use Guidelines. NREL September.
- [23] **Balcı, M.,Borat O., Sürmen A.**, 1999. İçten Yanmalı Motorlar.
- [24] **Safgönül B., Ergeneman M., Arslan E., Soruşbay C.**, 1999. İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [25] **Çengel, Y.A., ve Boles, M.A.**, 2002. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür yayınları, İstanbul.
- [26] **Akkurt, M.**, 1896. Makine Elemanları, İkinci Cilt, Birsen Kitapevi Yayınlar.
- [27] **Hertz, P.B.**, 1998. Extending Diesel Engine Life and Fuel Economy with Canola Based Fuel Additives. Mechanical Engineering dept. University of Saskatchewan, Saskatoon SK Canada.
- [28] **Hazar H.**, 2004, Bir Dizel Motoru Silindir Yüzeyinin Seramik Malzeme İle Kaplanarak Aşınma Davranışının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [29] **Anık S., Anık E.S.**, 1997. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Kitapevi Yayınları, İstanbul.
- [30] **Anık S., Anık E.S., Vural M.**, 1993. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen kitapevi.
- [31] **Pulkrabek W.W.**, 2004. Engineering Fundamentals of The İnternal Combustion Engine, Universty of Wisconsin, Prentice Hall, Upper Saadle River, New Jersey 07458.
- [32] **Onaran K.**, 1986. Malzeme Bilimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- [33] **Hazar, H., Öner C.**, 2008, CrN Kaplamanın Bir Dizel Motoru Üzerindeki Etkileri, Mühendis ve Makine, 48, 574-578.

[34] <http://.titanit.com.tr/tin.asp>. 9 Temmuz 20013.

[35] **Owen K., Coley T.**, 1995, Automotive Fuel Reference Book , Second Edition, SAE.

[36] **Küçükşahin, F.**, 1996. Dizel Motorları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[37] **Akbaş, B., Altun, Ş., Öner, C., Sugözü, İ.**, 2007. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 15-24.

[38] **Rejowski, E., Mordente Sr, P., Pillis, M., Casserly, T.**, 2012. Application of DLC Coating in Cylinder Liners for Friction Reduction, SAE Technical Paper 2012-01-1329.

ÖZGEÇMİŞ

7 Temmuz 1975 tarihinde Köln’ de doğdum. Lise öğrenimimi Elazığ’ da tamamladım. 1997 yılında F.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Donanımı Bölümünden mezun oldum. 2002 yılında F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği bölümünden mezun oldum. 2005 yılında F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans programını tamamladım.