



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL BİR MOTORDA BİYOETANOL KULLANIMININ SEGMAN
AŞINMASI VE YAĞLAMA YAĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşegül ARI
(20189240010)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç.Dr. İlker TEMİZER**

**SİVAS
OCAK 2022**

Ayşegül ARI'nın hazırladığı ve “**Dizel Bir Motorda Biyoetanol Kullanımının Segman Aşınması ve Yağlama Yağı Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Doç.Dr. İlker TEMİZER Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç.Dr.Furkan SARSILMAZ Fırat Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç.Dr. Koray KARABULUT Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından TEKNO-030 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

©Ayşegül ARI, 2022

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

13.01.2022

Ayşegül ARI

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. İlker TEMİZER'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana destek olan annem, babam ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Bilimsel desteklerini esirgemeyen Dr.Öğretim Üyesi Ömer CİHAN'a ve arkadaşım Fırat GÜCER'e çok teşekkür ederim.

Çalışmamıza destek sağlayan üniversitemiz CÜBAP birimine ve çalışanlarına, ayrıca CÜTAM'a ve değerli çalışanlarına teşekkür ederim.

ÖZET

DİZEL BİR MOTORDA BİYOETANOL KULLANIMININ SEGMAN AŞINMASI VE YAĞLAMA YAĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ayşegül ARI

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. İlker TEMİZER

2022

Bu çalışmada, iki farklı yakıt türünün motor yağlama yağı ve parçaları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, %100 motorin (D100) ve %90 motorin-%10 biyoetanol karışım yakıtları (B10) uzun süreli dayanım testlerinde kullanılmıştır. İki farklı yakıt tek silindirli, direkt püskürtmeli dizel bir motorda; yaklaşık 110 saat süre ile kısmi yük altında çalıştırılmıştır. Çalışmada ilk olarak, kullanılan farklı yakıtların motor yağlama yağı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uzun süreli dayanım testleri sonucunda, motor yağlama yağının; kül içeriği, yoğunluk, viskozite, asit sayısı tayini, parlama noktası gibi birtakım fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. İkinci aşamada, uzun süreli dayanım testleri sonucunda motorun yağlama yağındaki aşınma belirtisi metal kalıntıları tespit edilmiştir. Her bir test yakıtı için 55 ve 110 saatlik çalışma aralıklarında yağlama yağından numuneler alınarak metal kalıntıları Endüktif Eşleşmiş Plasma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile tespit edilmiştir. Son olarak ise, her bir yakıt çalışmasında yenilenen piston segmanlarının tribolojik ve morfolojik analizleri yapılmıştır. Piston segmanları (1.segman, 2.segman ve 3.segman) üzerindeki değişimler Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Analizler sonucunda, yakıt türleri için aşınma elementlerinin zamana bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, segmanlar üzerinde yapılan tribolojik analizlerde ise, biyoetanol karışımlı yakıt türüne kıyasla, motorin kullanılan çalışmada daha fazla abrasif aşınma çizgilerine rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyoetanol, Triboloji, Motor yağlama yağı

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON RING WEAR AND LUBRICANT OIL OF THE USE OF BIOETHANOL IN A DIESEL ENGINE

Ayşegül ARI

Master Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Assoc. Prof Dr. İlker TEMİZER

2022

In this study, the effects of three different fuel types on engine lubricating oil and parts will be examined. In this study, 100% diesel (D100) and 90% diesel-10% bioethanol (B10) will be used in long term endurance tests. The experimental fuels will be used in a single-cylinder, direct injection diesel engine; under partial load, for approximately 110 hours. Firstly, in this study, the effects of different fuels on engine lubricating oil will be examined. At the end of long-term endurance tests, the some physical and chemical properties of the engine lubricating oil; such as ash content, density, viscosity, acid number determination, the flashpoint will be analyzed. Secondly, at the end of the long-term endurance tests, wear trace metals in the lubricating oil of the engine will be detected. Wear trace metals in the samples taken from the lubricating oil at the operated of 55 and 110 hours for each test fuel will be determined by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Finally, tribological and morphological analyzes of renewed piston rings of the engine in each fuelled operation will be performed. Changes in piston rings (ring 1, ring 2, ring 3) will be examined using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) and Scanning Electron Microscopy (SEM). As a result of the analysis, it has been determined that the wear elements for fuel types vary depending on time. At the same time, in the tribological analyzes made on the rings, more abrasive wear lines were found in the study using diesel fuel compared to the bioethanol blended fuel type.

Keywords: Bioethanol, Tribology, Engine Lubricating oil

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
KISALMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Biyoyakıtlar	2
1.1.1 Biyoetanol	3
1.1.1.1 Türkiyede ve dünyada biyoetanol kullanımı	4
1.1.1.2 Biyoetanol üretim yöntemleri	5
1.1.1.3 Biyoetanolün yakıt olarak kullanılması	6
1.2 Motor Yağlama Yağı	7
1.3 Aşınma	8
1.3.1 Aşınma Çeşitleri	8
1.3.1.1 Adhezyon aşınması	8
1.3.1.2 Abrasyon aşınması	9
1.3.1.3 Yorulma aşınması	10
1.3.1.4 Korozyon aşınması	11
1.4 İçten Yanmalı Motorlarda Piston-Silindir Sistemi	12
2. MATERYAL VE METOD	31
2.1 DeneySEL Aşama	31
2.2 Uzun Süreli Dayanım Testleri	32
3. BULGULAR	34
3.1 Motor Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi	34
3.2 Yağlama Yağının Spektrometrik Analizi (ICP-MS)	36
3.3 SEM/EDX Analizi	38
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Dünya enerji talebi ve yenilenebilir enerji kaynakları.....	1
Şekil 1.2 Biyoyakıtların sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.3 2021 yılı Türkiye’de biyoetanol üretimi yapan firmalar	5
Şekil 1.4 Biyoetanol üretim basamakları	5
Şekil 1.5 Motor yağlama yağı sistemleri	7
Şekil 1.6 Adhezyon aşınması.....	9
Şekil 1.7 Adhezyon aşınması SEM görüntüleri.....	9
Şekil 1.8 Abrasif aşınması	10
Şekil 1.9 Abrasif aşınma SEM görüntüleri	10
Şekil 1.10 Yorulma aşınması	11
Şekil 1.11 Yorulma aşınması SEM görüntüleri	11
Şekil 1.12 Korozyon aşınmasının gelişimi	12
Şekil 1.13 Korozyon aşınması SEM görüntüsü	12
Şekil 1.14 Piston segman çeşitleri	13
Şekil 2.1 Motor deney düzeneği	32
Şekil 2.2 SEM/EDX Cihazı	34
Şekil 3.1 Çalışmamış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü	40
Şekil 3.2 Çalışmamış birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım	40
Şekil 3.3 D100 yakıtı ile çalışmış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü.....	42
Şekil 3.4 D100 yakıtlı çalışma sonunda birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım	43
Şekil 3.5 B10 yakıtı ile çalışmış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü.....	44
Şekil 3.6 B10 yakıtlı çalışma sonunda birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım	45
Şekil 3.7 Çalışmamış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 500x (c) ve 1000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü	46
Şekil 3.8 Çalışmamış ikinci segman yüzeyindeki elemental dağılım.....	46
Şekil 3.9 D100 yakıtı ile çalışmış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 500x (c) 1000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü.....	47
Şekil 3.10 D100 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segman yüzeyindeki elemental dağılımı	48
Şekil 3.11 D100 yakıtlı çalışmada motorun ikinci segmanına ait elemental harita...	49
Şekil 3.12 B10 yakıtı ile çalışmış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 250x (c) ve 500x (d) 1000x (e) büyütme SEM/EDX görüntüsü	50
Şekil 3.13 B10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segman yüzeyindeki elemental dağılım	51
Şekil 3.14 B10 yakıtlı çalışmada motorun ikinci segmanına ait elemental harita.....	52

Şekil 3.15 Çalışmamış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü	53
Şekil 3.16 Çalışmamış üçüncü segman yüzeyindeki elemental dağılım	53
Şekil 3.17 D100 yakıtı ile çalışmış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü.....	54
Şekil 3.18 D100 yakıtlı çalışmada motorun üçüncü segmanına ait elemental harita	55
Şekil 3.19 B10 yakıtı ile çalışmış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü.....	56
Şekil 3.20 B10 yakıtlı çalışmada motorun üçüncü segmanına ait elemental harita...	56

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1 Deney motorunun teknik özellikleri.....	31
Tablo 2 İki farklı yakıt ile çalışmış motor yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri	34
Tablo 3 ICP-MS element tayini sonuçları.....	37

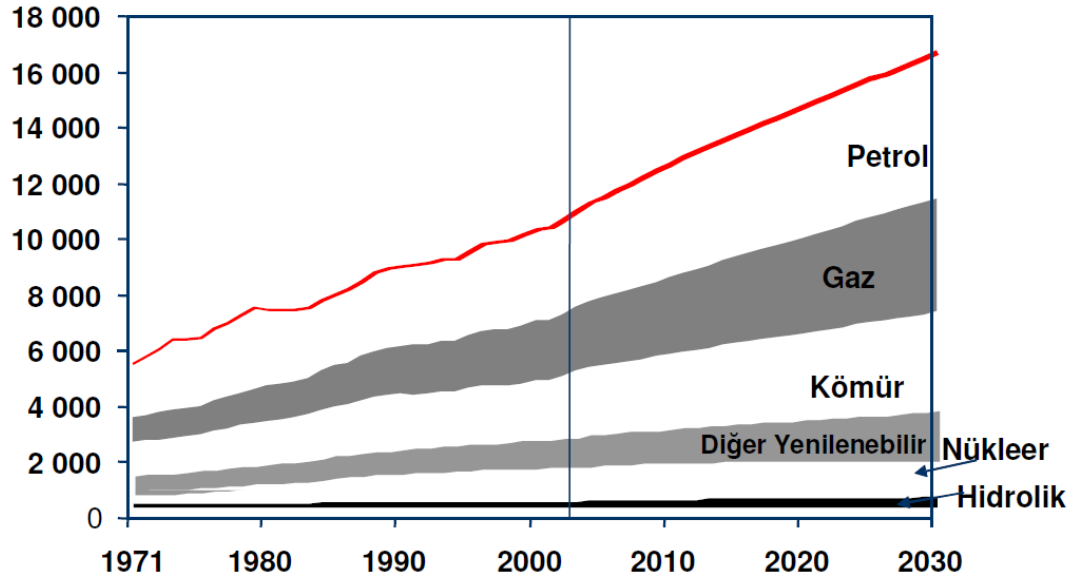
KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birlięi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
B10	: Hacimsel olarak %90 motorin-%10 biyoetanol karışımı
BEPA	: Türkiye Biyokütle Enerji Atlası
CÜTAM	: Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkezi
D100	: Hacimsel olarak %100 motorin
EDX	: Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
ICP-MS	: Endüktif Eşleşmiş Plasma-Kütle Spektrometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve nüfus artışının hızlanmasının bir sonucu olarak fosil yakıt kaynaklarının giderek azalıyor olması, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmıştır. Son yıllarda mevcut enerji kaynaklarına alternatif olarak, biyokütleden elde edilecek enerjiye duyulan ilgi artmıştır [1].

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmaya göre, 2000-2030 yılları arasında fosil enerji kaynaklarının payının %85, petrol ve doğalgazın payının ise %60 seviyelerinde olacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji payı ise %15 düzeyinde olacaktır [2].



Şekil 1.1 Dünya enerji talebi ve yenilenebilir enerji kaynakları (mtep/yıl) [2]

Biyokütle yenilenebilir, çevre dostu, ülkelerin sosyo-ekonomik gelişimi için önemli ısı, güç ve alternatif motor yakıtı üretimi için uygun, stratejik bir enerji kaynağıdır [3]. Genel olarak biyokütle enerjisi; doğada yaygın olarak mevcut tarımsal kökenli ürünlerden değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle üretilen, ticari özelliğe sahip, temel ve belirli özellikleri olan katı, sıvı ve gaz haldeki bitkisel enerji kaynaklarıdır [4].

Yenilenebilir enerji teknolojileri içinde, motor biyoyakıtları, hızlı gelişimleri ile akaryakıt sektöründe buldukları ticari konum ve hedeflenen kullanım oranları ile ülke uygulamalarına girmektedir. Hayvansal veya bitkisel kökenli, gıda ve yem dışı,

yenilenebilir alanlarda kullanım ürünlerine sahip ve bazı istisnalar dışında, çevreye zarar verecek herhangi bir madde içermeyen ürünlere “Biyokökenli ürünler” denmektedir. Biyokökenli ürünler fotosentez kaynaklı olup, bitkilerin depoladığı biyolojik karbondan, biyoteknoloji ile üretilen yeşil ürünlerdir. Biyokökenli ürünler, biyokimyasallar, biyomalzemeler ve biyoyakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüzde en yaygın olan biyoyakıtlar ise biyoetanol ve biyodizeldir [5].

1.1. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar çevresel hassasiyetler, petrolde olan dışa bağımlılık, tarımsal kalkınma gibi konuların ortak noktası olup kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu yüzden Dünya’da birçok ülke biyoyakıt kullanımına yönelik farklı politikalar uygulamaktadır [7].

2000’li yılların başından itibaren hammaddesi tarıma dayalı enerji ürünleri (biyoyakıtlar) ülkemizin gündeminde de yer almaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda 2013 yılından itibaren benzine biyoetanol katılması %1 gerçekleşmiş, dizele biyodizel katılması hakkında yeterli hammadde (yağ bitkileri) olmadığı gerekçesiyle gündeme alınması oldukça gecikmiştir. Ancak, 2006 Bakanlar Kurulunun “yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizelde ÖTV sıfırdır” kararı ile yerli tarım ürünleri (yağ bitkileri) üretimi artırılmıştır. Bu süreçte iki önemli yağ bitkisi (aspir ve kanola) ekonomiye kazandırılmıştır [8].

Bitkisel Biyokütle Kaynaklar

- Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçek, soya v.b.)
- Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı v.b.)
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.)
- Protein bitkileri (bezelye, fasulye v.b.)
- Bitkisel ve tarımsal artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.)

Orman ve Orman Ürünlerinden Elde Edilen Biyokütle Kaynakları

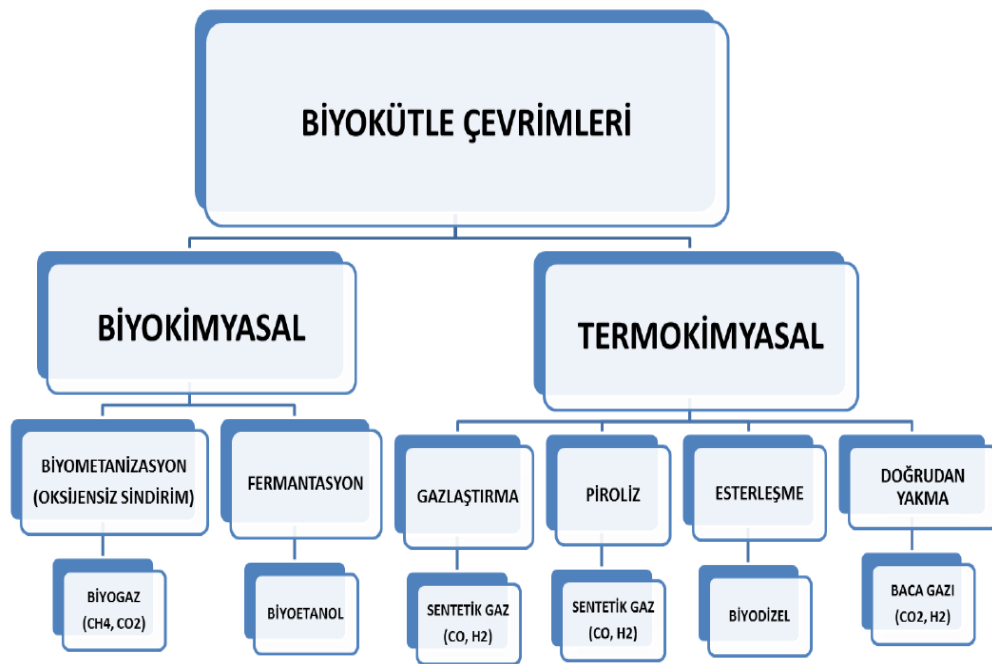
- Odun ve orman atıkları(enerji ormanları ve enerji bitkileri, çeşitli ağaçlar)

Hayvansal Biyokütle Kaynakları

- Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

Organik çöpler, Şehir ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Kaynakları

- Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, endüstriyel ve evsel atık sular, belediye ve büyük sanayi tesisleri atıkları



Şekil 1.2 Biyoyakıtların sınıflandırılması [9]

Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [9].

1.1.1. Biyoetanol

Biyoetanol, farklı biyokütle hammaddelerinden dönüştürme teknolojisiyle elde edilen sıvı ve biyolojik bir yakıt türüdür. Biyoetanol; yenilenebilir, sera gazı salınımına az etki eden, çevre dostu ve biyolojik temelli bir yakıt olmasından kaynaklı fosil yakıtların alternatifi olarak dikkat çekmektedir. Aynı zamanda, yüksek oktan sayısı ve yapısında bulunan oksijen nedeniyle yanma sistemlerinde birtakım avantajlar

sağlamaktadır. Özellikle benzinli motorlarda vuruntu ve erken ateşleme gibi bazı olumsuzlukların önüne geçmesi de, bu yakıtın tercih sebeplerindendir [10].

Biyometanol yakıtlarının yapısında yer alan oksijen içeriklerinden kaynaklı olarak, daha etkili bir yanma ve sonrasında oluşan egzoz emisyon salınımları daha da azalmaktadır. Yerli imkânlarla üretilebilir olması ve yenilenebilir bir yakıt türü olması bakımından da oldukça önemlidir. Böylece, ülkelerin fosil kökenli yakıtlara olan bağımlılığı azaltılmış olunur. Temiz, düşük maliyetli, taşınması diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay olması vb. özellikleri de bu yakıtları avantajlı kılmaktadır [10].

1.1.1.1 Türkiye’de ve Dünyada biyometanol kullanımı

Dünyadaki biyometanol piyasasında Amerika, Brezilya, AB ve Çin öncü rolündedirler. Biyoyakıt piyasasının %85’inden fazlasını oluşturan biyometanol üretimi, 2000 yılından itibaren hızlı bir gelişim göstermiştir. ABD ve Brezilya ise % 87’lik oranla dünya biyometanol üretiminde lider konumundalardır [12].

Türkiye’de biyometanol üretimi özellikle şeker pancarından yapılmaktadır ve biyometanol üretimi için Türkiye’deki başlıca birincil kaynaklar; şeker pancarı ve artıkları, patates, melas, buğday ve artıkları, mısır ve koçanı, diğer lignoselülozik materyaller (çimen, bitkisel atık/artıklar, enerji tarımı ürünleri vb.) olarak sıralanmaktadır. Ülkemizde biyometanol yakıt olarak sadece yurt dışı kaynaklı benzin ve benzin türlerine harmanlama olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de mevcut biyometanol üretim tesislerinde üretilebilecek biyometanol üretim potansiyeli yaklaşık olarak 800.000 l/gündür. Türkiye’de biyometanol üreten 12 tesis olup bunlardan 8 tanesi biyoyakıt üretme kapasitesine sahiptir. Ancak, bunlardan sadece 3’ü yakıt olarak biyometanol üretmekte olup diğer tesisler etanolü gıda amaçlı kullanmaktadır [13].

2021 yılında Türkiye Biyokütle Enerji Atlası (BEPA)’na göre biyometanol üretimi yapan beş adet firma görülmektedir [14].

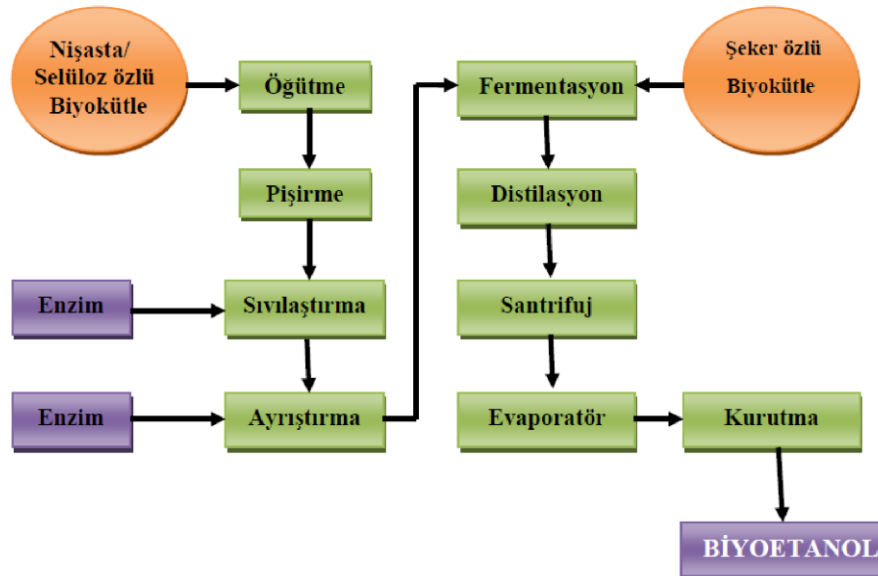
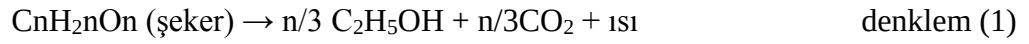
Biyoeanol Üretimi Yapan Firmalar



Şekil 1.3 2021 yılı Türkiye’de biyoeanol üretimi yapan firmalar [14]

1.1.1.2 Biyoeanol üretim yöntemleri

Biyoeanol nişasta, şeker ve selüloz içeren biyokütlenin fermente edilmesiyle elde edilir. Şeker pancarı, şeker kamışı, mısır ve patatesten fermentasyon (mayalanma) yoluyla üretilmektedir. Biyokütle içindeki basit şekerler aşağıdaki tepkime yoluyla biyoeanol ve karbondioksit dönüştürülür [10].



Şekil 1.4 Biyoeanol üretim basamakları [7]

Biyoetanol üretimi genel olarak hazırlama, fermantasyon ve distilasyon basamaklarından oluşmaktadır.

Hazırlama; bu safha da ürün öğütülerek *liquefying* enzimi yardımıyla hammaddenin hücresel yapısı parçalanmaktadır. Böylece, hammadde içindeki nişastanın ortaya çıkması ve biyoetanol üretimi için daha iyi verim elde edilmesi sağlanmaktadır. Ortaya çıkan nişasta, *saccarification* enzimi yardımı ile şekere çevrilmektedir. Parçalanmış nişasta kaynağı, enzim ve sudan oluşmuş bulamaç halindeki sıvı içerisine maya konularak bir sonraki aşama olan fermantasyon ünitesine aktarılmaktadır [7].

Fermantasyon; eklenen maya, bulamaçta bulunan şeker moleküllerini biyoetanol molekülüne çevirmektedir. Mayanın yüksek verimle çalışması için gerekli koşulların denetlendiği bu işlem yaklaşık 60-80 saat sürmektedir. Fermantasyon prosesi sonunda, bulamacın içinde % 10-12 arası biyoetanol elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca fermantasyon süresince açığa çıkan karbondioksit de ayrılmış olmaktadır [7].

Distilasyon; fermantasyon sonucu elde edilen bulamaç distile edilerek içindeki biyoetanol ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırma işlemi, distilasyon kulelerindeki sıvının ısıtılması ile sağlanmaktadır. Distilasyon sonucu %95 – 96 oranında biyoetanol, fermentasyondan gelen bulamaçtan ayrılmakta ve ayrıştırılan biyoetanol içindeki su, moleküler elek teknolojisi yardımı ile süzülerek % 99.80 – 99.95 saflığında biyoetanol elde edilmektedir [7].

Günümüzde benzin ve biyoetanol'ün karıştırılarak kullanımı bunun örneklerindendir. Bu nedenle biyoetanol, dizel motorlarda da kullanılacak umut verici bir yakıt türü olarak görülmektedir [7].

1.1.1.3 Biyoetanolün yakıt olarak kullanılması

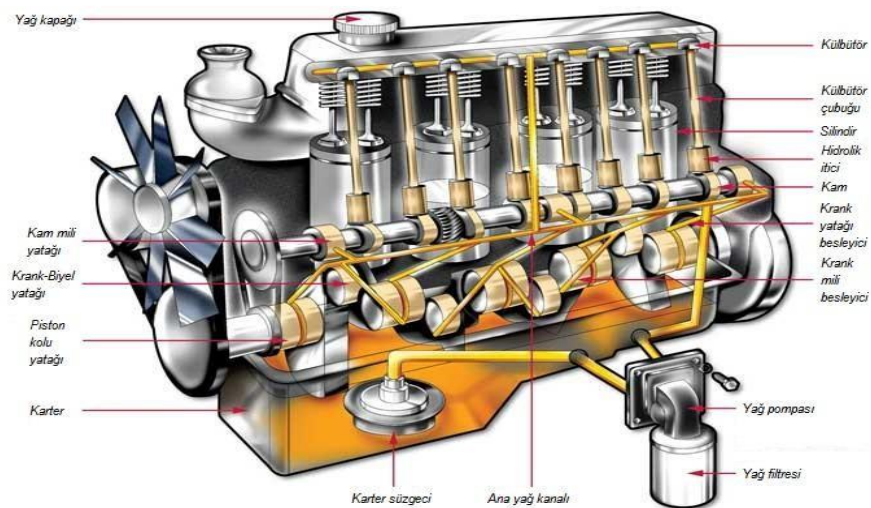
Biyoetanol kullanımının hızla yaygınlaşmasının nedeni, ekonomik olarak değer kazanması ve kullanımında çevreye olumsuz bir etkisinin olmamasıdır. Biyoetanol üretiminin ana gerekçelerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Fosil yakıtların neden olduğu çevresel etkilerin azaltılması,
- CO₂ emisyon değerlerinin düşük olması,
- Elde edilen enerjinin son derece güvenilir olması,
- Enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltacak olması,

- 1 litre biyoetanol, şeker pancarının yetişmesinden enerji olarak kullanımına kadar geçen süreçte 2,9 kg karbondioksit salınımını engellemektedir. Şeker pancarı, aynı alandaki çam ormanından üç kat daha fazla oksijen üretmektedir.
- Yerli ürün olduğundan diğer yakıtların fiyat belirsizliklerinin ortadan kaldırılması,
- Diğer yakıt kaynakların tükenme sürecine girmesi,
- Şeker pancarından üretildiği için tarımsal kalkınmayı geliştiriyor olması,
- Tarımsal ürün fazlalık riskini enerji tarımına yönlendirerek, sürdürülebilir tarımı desteklemesi.

1.2 Motor Yağlama Yağı

Yağlama yağı, iki katı cisim arasındaki sürtünmeyi iyileştirerek daha kolay hareket sağlamak için kullanılmaktadır. Yağlar, yağlama yüzeylerini kayganlaştırarak, yüzeylere asılı kalıp sürtünen yüzeyler arasında film tabakası oluştururlar. Yağlama yağları motor parçaları arasındaki aşınmayı azaltmak, motor ömrünü artırmak ve gerekli işin daha az enerji kaybı ile yapılmasını sağlamak amacıyla uygulanır. Ayrıca karbon artıklarının birikmesine engellemek, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirerek etkisiz hale getirmek ve asitlerin sebep olduğu aşınmaları en aza indirmek gibi görevleri de vardır [17-18].



Şekil 1.5 Motor yağlama yağı sistemi [19]

Motorlarda parçaların sürtünmesi ile oluşan aşınma, parçaların ömrünü belirlemede oldukça önemlidir. Oluşan sürtünme kayıpları, motor işletim şartlarına göre

değişmektedir. Motor yağı, çalışan parçalar arasında koruyucu bir tabaka oluşturur. Özellikle aşınmanın yoğun olduğu bölgelerden elde edilecek kazançlar, motorlarda özgül yakıt tüketim miktarının ve mekanik kayıpların azalmasını da sağlayacaktır. Bu nedenle, sistemde kullanılan yağın türü ve içeriği oldukça önemlidir. Özellikle, oksidasyon inhibitörleri hidrokarbon moleküllerinin oksidasyonunu limitleyerek yağın ömrünü uzatır. Ancak, yağlama yağı içerisinde her ne kadar katkı maddesi kullanılsa da yağın yaşlanmasının önüne geçilmesi mümkün değildir. Belirli bir kullanım süresinden sonra yağın oksidasyon sonucu yağlama yağı fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğrar. Ayrıca toz, kir, su, yakıt, metalik parça gibi dış etkenler motor yağlama yağına karışarak motor yağlarının eskiyerek koruyucu etkilerini yitirmelerine sebep olur [20-21].

1.3 Aşınma

Birbiriyle temas ve hareket eden yüzeylerin sürtünmesi ile oluşan malzeme ve enerji kayıplarına aşınma denilmektedir. Aşınma olayı neticesinde, sürtünen yüzeyler eski haline geri gelemezler. Makine parçaları arasındaki boşluklar giderek artar ve buna bağlı olarak hassasiyet azalır; titreşim ve gürültü meydana gelir. Oluşan bu aşınma kayıplarının göz önüne alınarak dizel motorlarında performans ölçümü ve enerjinin verimli kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenlerden dolayı motorlarda sürtünmeye maruz kalan parçaların yağlanması hem parçaların kullanım ömrünü arttırmakta, hem de sürtünme kuvvetini düşürmektedir [22].

1.3.1 Aşınma çeşitleri

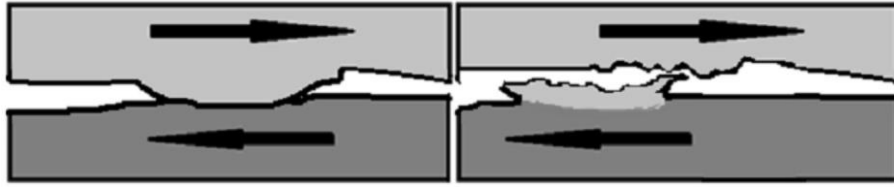
Aşınma malzeme türüne, yüzey pürüzlülük durumlarına ve temas şekline göre değişiklik göstermektedir. Adhezyon, abrazyon, yorulma aşınması ve korozyon aşınması olmak üzere temelde dört çeşit aşınma türü mevcuttur [23].

1.3.1.1 Adhezyon aşınması

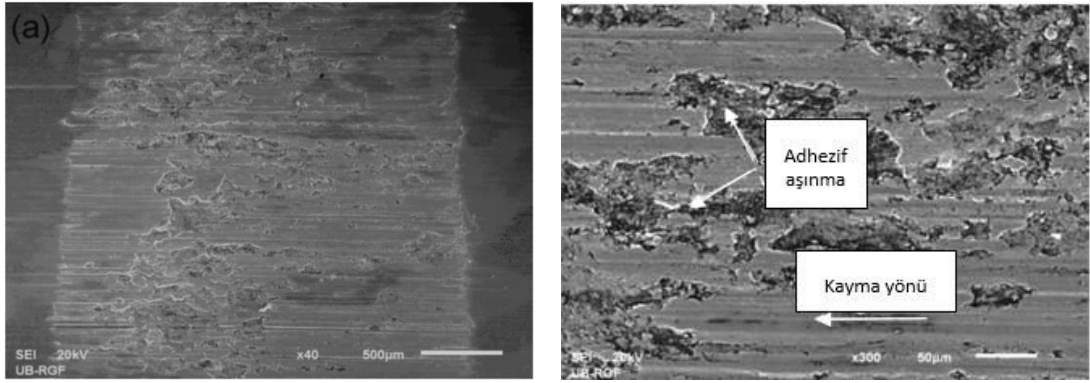
Adhezyon aşınma, uygulama alanlarında görülen en sık aşınma türüdür. Genellikle ilk çalışma evrelerinde yapışma aşınması olarak da bilinen bu aşınma, metal-metal temasın olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Kayma esnasında, birbirine yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması veya kopması sonucu ortaya malzeme eksilmesi çıkar. Adhezyon aşınmasında metaller arasında kayma sürtünmesi

gerçekleştğinde aşınma parçaları yumuşak olan metalden kopar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise, aşınma her iki yüzeyde de gerçekleşir.

Metaller arasındaki yağlama, meydana gelen tribosistemin aşırı ısınmasını engelleyerek, temas eden malzeme yüzeylerinin parlak olmasını, malzemenin sertliğinin artmasını ve yüzeye etki eden yükün azalmasını sağlayarak adhezif aşınmayı azaltabilir [23-24].



Şekil 1.6 Adhezyon aşınması [24]

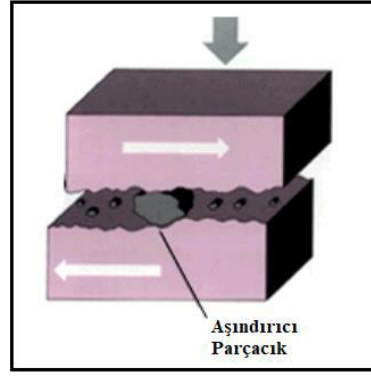


Şekil 1.7 Adhezif aşınma SEM görüntüleri [24]

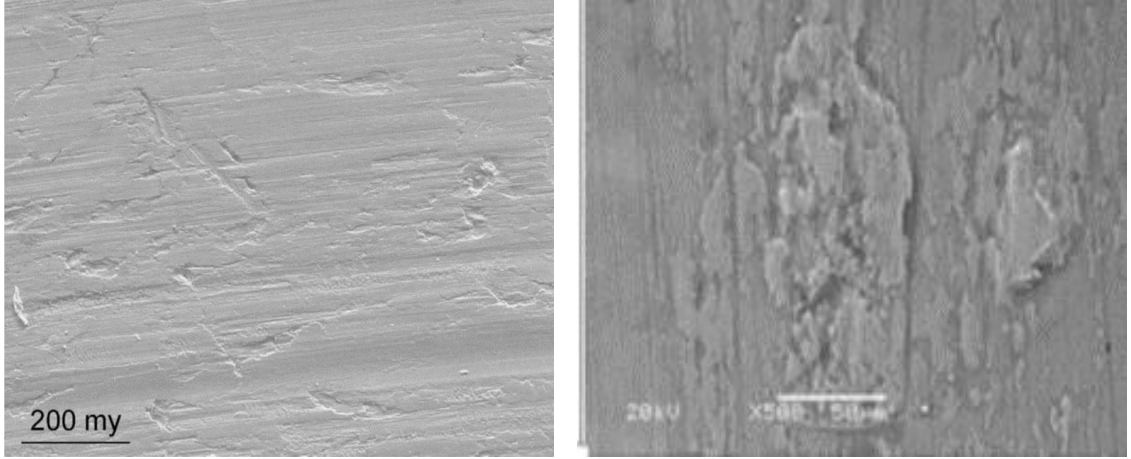
1.3.1.2 Abrazyon aşınması

Abrazyon aşınma, sert parçacıkların yüzeyi kazınması veya kesmesi ile gelişen paralel çizgilere sahiptir. Bu çizikler, derin veya küçük oyuklar şeklinde olabilir [25]. Abrazyon aşınmada kayma hızı, uygulanan yük, yüzey sertliği, aşındırıcı tane veya pürüzün boyutu /şekli temel etkenler olarak sayılabilir [18].

Abrasif aşınmayı azaltmak için, aşınma parçacıklarının mekanizma içerisine girmesini engellemek ve yüzeylerin temizlenmesi sağlanmak gerekir. Malzeme açısından ise daha sert alaşımlar kullanmak, malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak etkili olacaktır. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır [24-25].



Şekil 1.8 Abrasif aşınma [25]

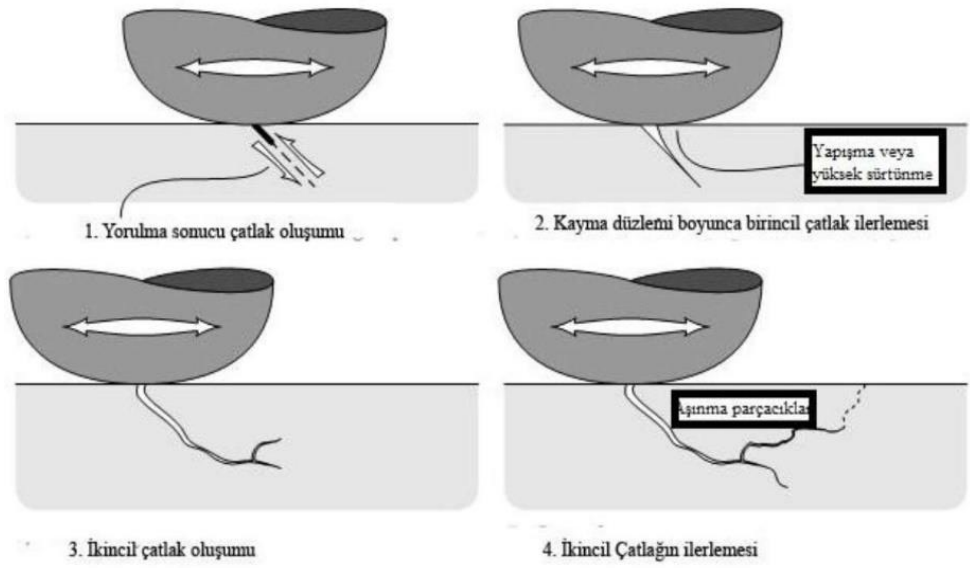


Şekil 1.9 Abrasif aşınma SEM görüntüleri [24]

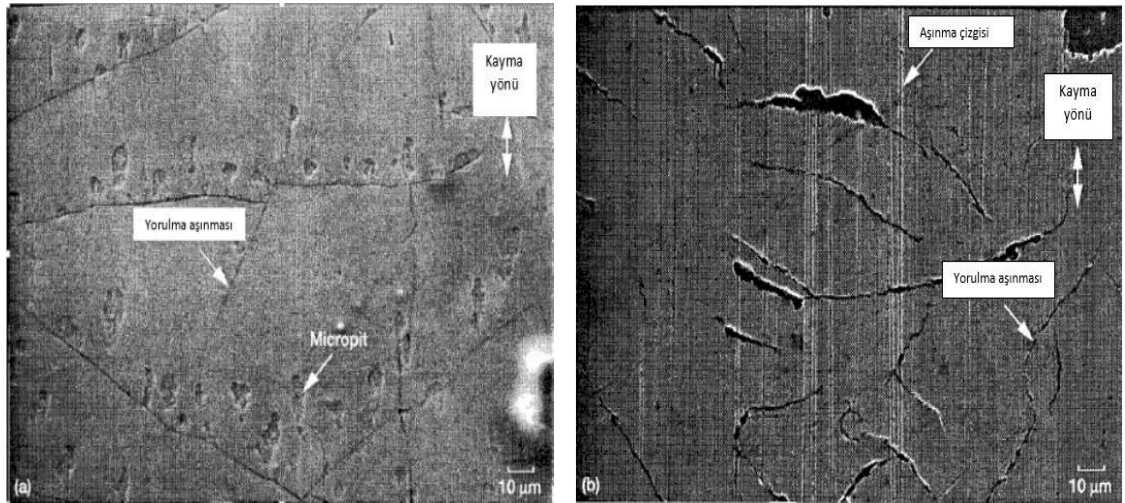
1.3.1.3 Yorulma aşınması

Makine parçalarında tekrarlı yükleme ya da titreşimden dolayı, zamanla yorulmalar meydana gelmektedir. Birbirleriyle sürekli temas halindeki yüzeylerde sıkça görülen bu aşınma türü, genellikle dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında görülür. Yüzeylerde yorulmaya bağlı olarak mikro çatlaklar oluşmaya başlar ve bu çatlaklar yüzey bölgelerine yayılmaya başlar. Bu tip aşınma sonucunda yüzeyde çatlayan kısımlardan parçacık kopmaları ortaya çıkmaktadır [24].

Yorulma aşınmasını önlemek için temas yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısının az olması ve yüzeyler arasında kullanılan yağın etkisi oldukça önemlidir. Ayrıca yüzey sertleştirme işlemleri de uygulanmalıdır. Yüksek basınçla birlikte, yağın yüzey üzerindeki çatlaklara girmesi, çatlakların büyümesinde önemli bir role sahiptir [25].



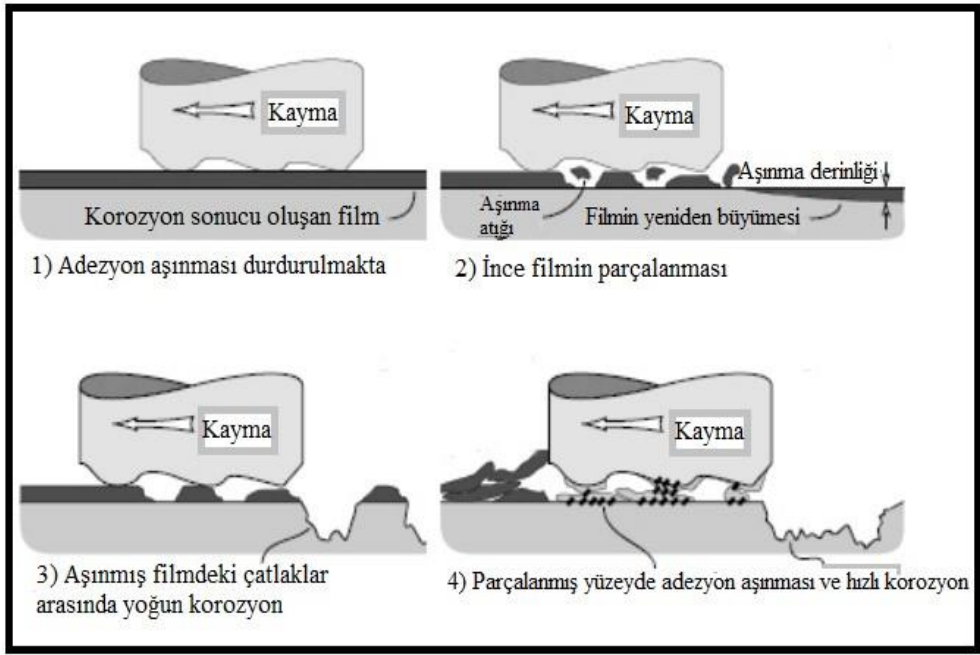
Şekil 1.10 Yorulma aşınması [24]



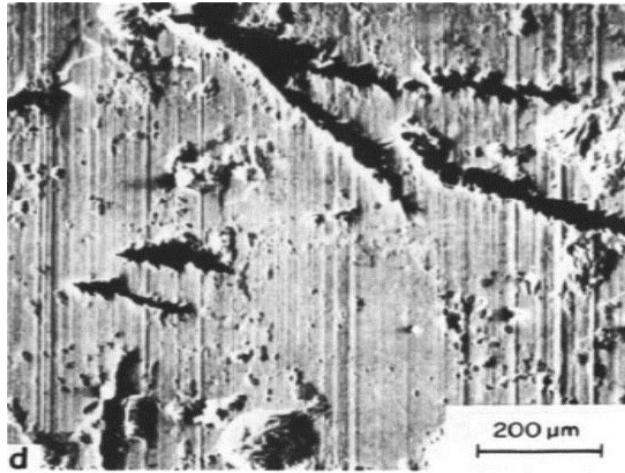
Şekil 1.11 Yorulma aşınması SEM görüntüleri [24]

1.3.1.4 Korozyon aşınması

Korozyon aşınması sürtünen yüzeylerin bulunduğu çevre ile kimyasal olarak reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Korozyon aşınmasının en yaygın görüleni oksitlenmedir. Korozyon ilk önce yüzeyde ince bir film tabakası oluşturarak malzeme kaybını azaltıcı bir etki yapar. Yüzey korozyonu sıkı çukurcuk ve katı fazlı çıkıntılar içeren düzensiz bir yüzey topoğrafyasının oluşmasına neden olmaktadır [18,25].



Şekil 1.12 Korozyon aşınmasının gelişimi [25]



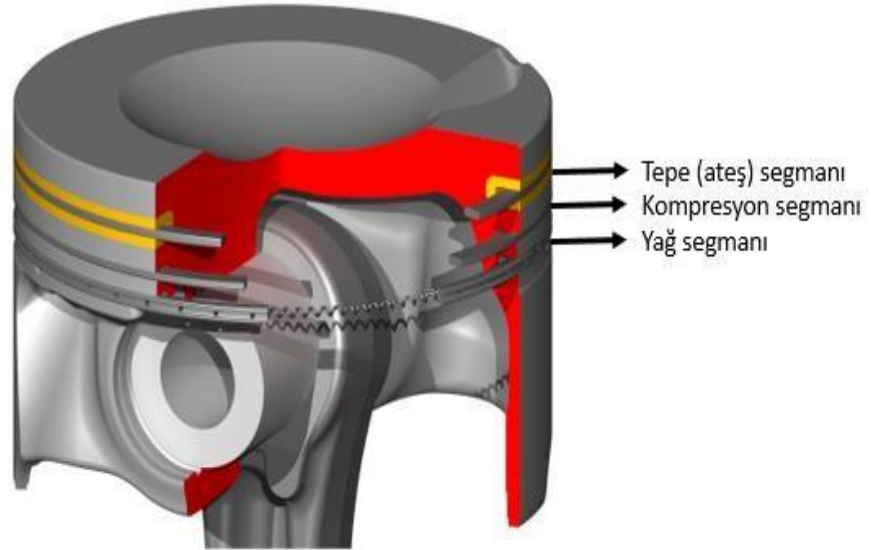
Şekil 1.13 Korozyon aşınması SEM görüntüsü [24]

1.4 İçten Yanmalı Motorlarda Piston-Silindir Sistemi

İçten yanmalı motorlardaki güç üretim kaynağı piston-silindir sistemidir. Piston segmanları, piston başında bulunan, halka şeklindeki esnek parçalardır ve piston ile silindir arasındaki sızdırmazlığı sağlarlar. Segmanlar motorda güç kayıpları, emisyon fazlalığı, yakıt ve yağ tüketimi gibi birtakım olumsuzluklara neden olabilirler. Piston-segman grubunun temel görevi karter ve yanma odası arasındaki gaz sızdırmazlığını sağlamak ve yanma odasına yağ girişini engellemektir. Sızdırmazlık sağlanmaz ise, yanmış gazlar kartere geçeceğinden dolayı motor gücü azalacak ve özgül yakıt

tüketimi artacaktır. Yağın yanma odasına girmesi durumunda ise motor, yağı yakarak egzoz gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır [18,25].

İçten yanmalı motorlardaki piston segmanlarının her birinin belirli bir rolü vardır. Pistonlarda genellikle tepe segmanı, kompresyon segmanı ve yağ segmanı olmak üzere üç adet segman bulunmaktadır. Birinci (tepe) ve ikinci (kompresyon) segmanlar sıkıştırma zamanında gazın sızdırmazlığını sağlayan segmanlardır. Birinci segmana, yanma odasına yakın olduğundan ve yüksek sıcaklık /basınca maruz kaldığı için ateş segmanı da denilmektedir. Birinci segmanlar genellikle aşınmaya karşı dayanıklı, sertlikleri yüksek çalışma yüzeylerine sahiptirler. Ancak bu segmana taşınan yağ miktarı düşük olduğundan dolayı, diğer segmanlara göre daha fazla aşınma görülmektedir. İkinci segman olan kompresyon segmanları hem sızdırmazlık hem de fazla yağın sıyrılmasını sağlamaktadır. Tepe segmanının etkinliğini artırmakta etkilidir. Birinci segmana göre daha düşük ısı ve basınç yüklerine maruz kaldığından sertlikleri birinci segmana göre daha düşüktür. Yağ segmanı ise, yağlama için gerekli miktardaki yağın piston ile silindir duvarı arasından geçişine izin vererek silindir yüzeylerinde biriken fazla yağı sıyrıp yüzeyde ince bir yağ filmi tabakası oluşmasını sağlar [18,25].



Şekil 1.14 Piston segman çeşitleri [25]

Balcı yaptığı çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda menengiç metil esteri (biyodizel), motorin ve biyoetanol yakıtlarını kullanmıştır. Her biri için yapılan 100'er saatlik motor denemelerinde farklı zaman dilimleri (0, 20., 40., 60., 80. ve 100. saat) için motor yağlama yağından numuneler alarak aşınma elementi (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) analizleri yapmıştır. Karışım yakıtları yağlama yağına ait sonuçları motorin ile karşılaştırarak yağlama yağındaki değişimleri incelemiştir. Motor yağlama yağı verileri değerlendirildiğinde en iyi sonucu E-B3-M3 yakıtından elde etmiştir [7].

Aydın çalışmasında, aspir yağını transesterifikasyon yöntemi ile aspir yağı metil esterine dönüştürerek, biyodizel üretimi gerçekleştirmiş ve elde ettiği biyodizel yakıtını motorinle % 2,5 ve % 5 oranında biyoetanol ilavesi ile birlikte ve ters oranla hacimsel olarak karıştırmıştır. Elde edilen karışım yakıtlarının (E2.5-B2.5-M95; E5-B5-M90; E5-B2.5-M92.5 ve E2.5-B5-M92.5) ve motorinin yakıt özelliklerini incelemiştir. Motorin ve elde edilen karışımları, dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli yakıt sistemine sahip, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek incelemiştir. Her yakıtta motor kısmi yük altında 100 saat çalıştırmış ve belirli saatlerde motor yağından numuneler alarak, aşınma elementlerini incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda, motor çalışma saati arttıkça numuneler içindeki aşınma elementlerinde artışlar olduğunu ve E2.5B5M92.5 yakıtı kullanımında aşınma elementlerinin diğer yakıt türlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir [20].

Kwanchareon ve arkadaşları motorin – biyodizel – biyoetanol yakıtlarını farklı oranlarda karıştırarak bu karışımların yakıt özelliklerini (yoğunluk, yanma ısısı, setan sayısı, parlama noktası ve akma noktası), emisyon ve performans değerlerini, motorin ile kıyaslayarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; %80 dizel, %15 biyodizel ve %5 biyoetanol karışımının emisyon ve yakıt özellikleri (parlama noktası hariç) bakımından en uygun yakıt olduğunu gözlemlemişlerdir [26].

Nagdeote ve Deshmukh çalışmalarında dizel bir motorda DI (%100 dizel), BD (%20 biyodizel ve %80 dizel), BDET (%15 biyodizel, %80 dizel ve %5 DEE) ve BDE (%15 biyodizel, %80 dizel ve %5 etanol) karışım yakıtlarının performans ve emisyon üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. BDE ve BDET karışımlarında yanma verimliliğinin arttığını ve emisyon oranlarının düştüğünü; ayrıca BDET yakıtının diğer

yakıtlara göre daha iyi yanma özelliği ve motor performansı sergilediğini gözlemlemişlerdir [27].

Peterson ve arkadaşları, etil ve metil esterlerin kullanımının dizel motorlar üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, 10 farklı yakıt kullanarak kısa ve uzun süreli testleri iki farklı dizel motoru üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Testler esnasında motor değişik yük durumlarında belirli periyotlar dâhilinde çalıştırılmış ve yağ numuneleri 50 saatlik aralıklarla alınmıştır. Yağ analizleri sonunda aşınma ürünleri incelendiğinde, bütün testler boyunca normal sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Viskozite değerlerinde de kullanım saatine bağlı olarak düşüş görülmüştür [28].

Alakel çalışmasında dizel bir motorda; motorin, soya yağı biyodizeli ve sırası ile %5, % 10, % 15 ve % 20 oranında biyoetanolün hacimsel karışımlarını oluşturarak farklı devirlerde bu yakıtları performans açısından deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak hazırlanan karışım yakıtlarında %75 motorin, %15 biyodizel ve %10 biyoetanol içerikli yakıt karışımının en iyi sonucu verdiğini ortaya koymuştur [29].

Guido ve arkadaşları yaptıkları çalışmada %10 kolza biyodizeli – %90 dizel (B10) ve %10 biyodizel - %20 biyoetanol - %70dizel (B10E20) karışım yakıtlarını dizel motorunda performans ve emisyon değerleri bakımından incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, biyoetanol karışımlarında CO ve HC emisyonlarının yüksek oranda, B10E20 yakıtında bulunan biyoetanolün oksijen içeriğinden dolayı duman emisyonlarında ve NO_x emisyonlarında azalma olduğunu vurgulamışlardır [30].

Roy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 4 silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorda kanola yağından elde ettikleri B20, B50, B100 ve biyodizel – motorin karışımlarına hacimce % 5 ve % 15 biyoetanol ile dietil eter ekleyerek yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarına (CO, CO₂, NO, NO₂, NO ve HC) etkilerini incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; motorin-biyodizel katkılı karışımların dizele göre düşük CO emisyonu ürettiğini, artan biyodizel içeriğinin HC emisyonlarını da azalttığını tespit etmişlerdir [31].

Mofijur ve arkadaşları yaptıkları çalışmada dünya biyoyakıt standartları ile farklı ülkelerin izlediği biyoyakıt politikalarını ve sera gazı emisyonlarını incelemişlerdir. Hem biyodizel-motorin hem de biyoetanol-biyodizel-motorin karışımlarının egzoz gazı emisyonlarının azalmasında önemli olduğunu; ayrıca %5-10 biyoetanol ile %20-

25 biyodizelin dizelle karıştırılmasının sera gazı emisyonlarını azaltacağını böylece çevre ve insan sağlığının daha iyi korunacağını ifade etmişlerdir [32].

Praptijanto ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, motorine ilave edilen etanolün (hacimce %2,5, %5, %7,5 ve %10), iki silindirli dizel bir motorda performans ve emisyon analizleri gerçekleştirmiştir. Motorine ilave edilen etanol ile is, CO ve NO emisyonlarında düşüş olduğunu gözlemlemiştir [33].

Sezer çalışmasında, üç farklı yakıt karışımı olan %15 etanol (E15), %15 etanol ile %2 dietil eter (E15DEE2) ve %15 etanol ile %4 dietil eter (E15DEE4) yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan analizlerde dizel yakıtına göre yakıt karışımlarında CO emisyonlarının, motor yüküne bağlı olarak değiştiğini; motor tam yükte iken karışım içerisindeki dietil eter oranının artması ile HC emisyonlarının arttığını tespit etmiştir [34].

Gökalp ve arkadaşları, motor aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, motor yağlarının kullanıldığı sistemlerde motor bünyesinde oluşabilecek aşınmaya bağlı hasarların yapılacak düzenli yağ analizleri ile daha önceden tahmin edilebileceğini göstermiştir [22].

Özçelik, aspir biyodizeli üretimini transesterifikasyon yöntemi ile gerçekleştirmiş ve aspiden elde edilen biyodizel yakıtını motorinle %2 (B2) ve %20 (B20) oranlarında karıştırmıştır. B2, B20, B100 ve motorin yakıtlarıyla dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direk püskürtmeli yakıt sistemine sahip bir dizel motorda performans ve emisyon değerleri karşılaştırmıştır. Ayrıca her yakıtta motoru kısmi yük altında 10 saat çalıştırmış ve belirli saatlerde motor yağlama yağından numuneler alarak yağlama yağındaki aşınma elementlerini incelemiştir [35].

Niyet, dizel motorlarda biyodizel kullanımının belirli bir çalışma saati sonrasında egzoz gazı emisyonları ve yağlama yağı üzerindeki değişimlerini gözlemleyerek motor aşınmasına olan etkilerini yorumlamıştır. Yapılan yağ analizleri sonucunda motordaki aşınmaların en önemli göstergelerinden biri olan yağlama yağı içerisindeki aşınma ürünlerinden demir (Fe) miktarını incelediğinde, biyodizel kullanımında dizel yakıtla kıyasla daha hızlı arttığı, motor yağlama yağının incelmeye paralel olarak, çalışmada kullanılan numuneler için aşınma ürünlerinde artışlar olduğunu gözlemlemiştir [36].

Salman çalışmasında, makinelerde ve makine elemanlarında kullanılan mineral esaslı yağlama yağlarının yerine yağlayıcı ve/veya yağ katkı maddesi olarak çevre dostu bitkisel ürünlerin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla, haşhaş, jojoba, mısır, kanola, soya, pamuk, ayçiçeği, aspir yağları ile aspir metil ester, kanola metil ester ve soya metil ester yağlarının tribolojik özelliklerini, pim disk aşınma ve sabit yüklü radyal kaymalı yatak test düzeneklerinde deneysel olarak incelemiştir [37].

Dhar ve Agarwal çalışmasında, %20 Karanja biyodizel karışımının motor tribolojisi ve yağlama yağı üzerindeki etkisini 200 saatlik bir dayanıklılık testinde, motorin ile karşılaştırarak incelemiştir. Biyodizel yakıtlı motorun yağlama yağı, dizel ile karşılaştırıldığında yoğunluğu, karbon kalıntısı ve kül içeriği bakımından yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 100 saat sonra ise demir, alüminyum, bakır, krom ve magnezyum gibi aşınma iz metallerinin artmasıyla yağlama yağının önemli ölçüde bozulduğunu ifade etmişlerdir [38].

Gopal ve Raj, dizel ve biyodizel karışımlarını tek silindirli dizel bir motorda kullanarak yağlama yağının bozulmasına ilişkin karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak motor 256 saat dizel ile çalıştırılmış daha sonra aynı test çevirimini biyodizel için gerçekleştirmişlerdir. Biyodizel motorunda yağlama yağının çeşitli tribolojik özellikleri olan yoğunluk, kül içeriği, nem içeriği ve çözünmezler daha yüksek bulunmuştur. Biyodizel karışım yakıtlı motorda kinematik viskozite, parlama noktası ve toplam baz sayısının daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [39].

Agarwal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada test yakıtları olarak motorin, motorin karışımları ve keten yağı metil esterini sırasıyla iki benzer motorda kullanarak motorları uzun süreli dayanıklılık testlerine tabi tutmuşlardır. Her iki motordan belirli aralıklarla yağlama yağı numunesi alarak ICP element (Fe, Cr, Mg, Cu, Co, Zn, Pb) analizi yapmışlardır. Deneysel sonuçlara göre biyodizel yakıtı ile çalışan motordaki aşınma elementlerinin %30 oranında daha düşük olduğu görülmüştür [40].

Kara yaptığı çalışmada, kanola yağı metil esterini (B100) tek silindirli dizel motorda kullanmış ve ayrıca, yağlama yağına etkilerini tespit etmiştir. B100 ve motorin yakıtlarını 150 saat süre ile 1910 d/d hız ve kısmi sabit yük şartlarında toplam 300 saat süre ile çalıştırmış, yağ analizi için de 25'er saatlik periyotlarda yağ numuneleri almıştır. Analizlerle, yağlama yağının viskozitesi ve aşınma elementi olan demir (Fe)

miktarına bağılı olarak B100 yakıtının yağlama yağını motorine göre daha çabuk eskittiği sonucuna ulaşmıştır [17].

Özkan çalışmasında motor yağları katkı maddelerinin segman-silindir yüzeylerinin aşınmalarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Borun aşınma önleyici katkı maddesi olarak etkinliğini, günümüzde yağlama yağı endüstrisinde yoğun olarak kullanılan ve ZDDPs içeren klasik aşınma önleyici katkı maddesi ile tribometre ve motor deneyleri test yağlarına uygulanmak sureti ile karşılaştırarak ortaya çıkarmıştır. Günümüzün başlıca popüler ve önemli araştırma konularından biri olan grafenin doğrudan metalik yüzeylere uygulanması ile uygulanan yüzeylerdeki korozyona karşı direnç ve tribolojik performanslarının nano ve makro boyutlardaki sürtünme testleri ile araştırmasını yapmıştır [18].

Yılmaz çalışmasında, araç motorlarında istenilen zamanda yağlama yapılarak ilk aşınma ve çalışma aşınmasının önlenmesi amaçlamıştır. Motorun ilk çalışması esnasında silindir cidarlarında bulunan yağ miktarı oldukça azdır. Yağ miktarının az olması aşınmanın temel sebebidir. Çalışmasında, motor çalışmadan önce silindir cidarlarına yağ gönderilerek aşınma miktarı en aza indirilmiştir ve iki motordan bir tanesi çalışmadan önce yağlama başlatılarak diğeri ise normal yağlama ile çalıştırarak deneyler yapmıştır [41].

Cesur çalışmasında, segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınmayı incelemek amacıyla bir aşınma cihazının tasarım ve imalatını yapmıştır. Daha sonra aşınma cihazında yağlayıcı olarak % 100 yağ, % 100 dizel, % 50 dizel + % 50 yağ, % 100 TTYME (tütün tohumu metil esteri) ve % 100 AYME'nin (ayçiçeği yağı metil esteri) kullanılmasının segman-silindir çifti arasındaki, yük ve devir değişimlerine bağılı olarak sürtünme ve aşınmaya olan etkisini deneysel olarak incelemiştir [42].

Ameen soya yağı ve kullanılmış kızartma yağı yağ asidi metil esterleri karışımlarının sınır yağlama şartlarında tribolojik özelliklerinin incelenmiştir. Pim Disk Aşınma Test cihazında yatak malzemesi numunesi ile çelik bilye arasında sınır yağlama şartlarında testler yapmıştır. Yağlayıcı adayı olan soya yağı ve kullanılmış kızartma yağı yağ asidi metil esterlerinin sınır ve/veya karışık yağlama performansının oldukça iyi olduğunu göstermiştir [43].

Gulzar ve arkadaşları, biyodizel karışımlarının (%20 hurma biyodizeli, %20 jatropha biyodizeli ve motorin) yağlama yağı bozulması ve piston grubu enerji kayıpları üzerindeki etkileri için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yağ numuneleri, 200 saatlik test sırasında düzenli aralıklarla toplanıp, ardından numunelerin reolojik, tribolojik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, B20 yakıtlarının viskoziteyi azalttığını ve motor yağının asitliğini arttırdığını göstermiştir. Kimyasal analizlerde, B20 yakıtlı motor testlerinde motor yağı numunelerinde yakıt kalıntısı, aşındırıcılık ve oksidasyonda bir artış olduğu görülmüştür [44].

Kalam ve arkadaşları, bitkisel yağ ile karıştırılmış yakıtlarla çalıştırılan çok silindirli motorların aşınma ve yağlama karakteristiklerinin deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Hindistan cevizi yağı ve dizel yakıtı %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında (hacimsel olarak) karıştırılmış, motor her test yakıtı ile 100 saatlik bir süreyle 2000 devir/dakika sabit ortalama hız ve %50 yük pozisyonunda, 600 saat süre ile çalıştırılmıştır. Bütün deneylerde yağlama yağı olarak SAE40 kullanılmış olup, yağlama yağı numuneleri 50 saatlik aralıklarla alınmıştır. Yakıt karışımlarının motorun parçalarına, aşınma ürünlerine ve yağlama yağının karakteristik özelliklerinden viskozite, toplam baz sayısı (TBN), nem içeriği, oksidasyon, aşındırıcı metaller ve kirletici üzerine etkisini analiz etmişlerdir [45].

İpek ve Erdoğan çalışmalarında, motor performansını artırmak için üretilen motor yağı katkı malzemeleri motorun aşınma direncine ve yağlama performansına etkileri deneysel olarak araştırmıştır. Aşınma testlerini, pin-on-silindir yağlı ortamda gerçekleştirmişlerdir. Aşınmanın kütsel kaybının kayma süresine (kayma yolu) bağlı olarak değişimini ve aşınmış numune yüzeylerini SEM görüntüleriyle incelemişlerdir. Aşınmalar genel olarak abrasif, adhesiv ve plastik deformasyon şeklinde gelişmiştir. Numunelerin aşınmış yüzeylerinde benzer aşınma mekanizmaları meydana geldiğini, aralarındaki farkın bu mekanizmaların süreçleri ve şiddetleri ile ilgili olduğunu ortaya koymuşlardır [46].

Müjdecı, çalışmasında farklı motor yağı katkı maddeleri kullanarak, yağ katkılarının sürtünmeyi önleme üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Motor performans deneyleri ile yağ katkılarının motorda moment, güç, yakıt sarfıyatı ve egzoz emisyonları açısından meydana getirdikleri değişiklikleri karşılaştırarak, deney sonunda yağ analizi ile aşınma elementlerini incelemiştir. Sonuç olarak, ticari yağ katkı maddelerinin

sürtünmeyi azaltması, aşınmayı önlemesi, motor gücünün artırılması ve yakıt sarfiyatının düşürülmesi üzerinde pozitif etkilerinin bulunmadığını belirtmiştir [47].

Keven çalışmasında, tek silindirli iki zamanlı benzinli bir motorda bitkisel yağı yağlama yağı olarak kullanıp tribolojik fonksiyonu incelemiştir. Yağlama yağlarının tribolojik fonksiyonlarını araştırmak için hem deney motoru hem de simülasyon test cihazı kullanmıştır. Deney motorunu, seçilen her bir yağ için 100 saat çalıştırmıştır. Deney motorunda yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı ve fındık yağı metil esterleri kullanmıştır. Silindir yüzeyindeki aşınmayı belirlemek için numuneler hazırlayıp SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive Spectrograph) analizleri yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre fındık yağı ve fındık yağı metil esterleri ile yapılan çalışmalarda silindir yüzeyindeki aşınmaların arttığı sonucuna varmıştır [48].

Eskici, tek silindirli dizel bir motorda bitkisel yağdan elde edilmiş biyodizel ve motorin yakıtlarını kullanmıştır. Motorda yanma prosesini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ve deneysel yöntemler kullanarak incelemiştir. Aynı zamanda kullanılan yakıtların motor yağlama yağı ve motor parçaları üzerindeki tribolojik özelliklerini de incelemiştir. Bu amaçla motorda iki farklı yakıt kullanarak yaklaşık 150 saatlik bir çalışmaya tabi tutmuştur. Yakıt kimyasının, aşınma ve yağlama yağı performansı üzerindeki etkilerini gözlemlemiştir. Numunelerdeki metal konsantrasyonları, Endüktif Eşleşmiş Plasma-Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve Endüktif Eşleşmiş Plasma-Kütle Spektromu (ICP-MS yöntemi) ile belirlemiştir. Piston segmanı üzerindeki aşınma çizgilerini, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yaparak incelemiştir. Motor triboloji analizleri sonucunda, biyodizel yakıt ile çalıştırılan motorun, motorin ile çalıştırılan motora göre yağlama yağında, daha az aşınma elementleri olduğuna rastlamıştır [21].

Habibullah ve arkadaşları, dört bilyeli tribometre kullanarak *Calophyllum inophyllum* (CI) biyodizelinin yağlayıcı artırıcı olarak tribolojik özelliklerini incelemiştir. Dizel yakıtı ile *Calophyllum inophyllum* biyodizeli %10 (CIB10), %20 (CIB20), %0 (CIB30) ve %50 (CIB50) belirli oranlarda karıştırmış ve test edilen tüm yakıtları; 27°C'de sabit sıcaklık ve 1800 d/d'da 40 kg, 50 kg, 63 kg ve 80 kg farklı yüklerde 300 sn. boyunca gerçekleştirmiştir. Test edilen yakıtlar için element analizini, çok elementli yağ analizörü (MOA) ve bilyenin aşınmış yüzeylerini ise SEM / EDX analizi

ile incelemiştir. CIB20 yakıtı için oksit oluşumu ve metal elementlerin eklenmesi son derece düşüktür. Yüzey morfolojisi, CIB20'nin; CIB100 dışındaki diğer dizel-biyodizel karışımları ile kıyaslandığında daha küçük aşınmış yüzeyler olduğunu göstermiştir [49].

Thangarasu ve arkadaşları, direkt enjeksiyonlu dizel bir motorda Aegle Marmelos Correa biyodizeli (B100) ile dizel karışımlarının (B10, B20, B50, B60, B90) tribo-korozyonu ve motor özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Triboloji sonuçlarına göre, B50 diğer tüm karışımlar arasında en düşük kararlı durum sürtünme katsayısına sahiptir. Dizel, katı emisyon normlarını karşılamak için korozyona neden olan sülfür atomlarının kaldırılması nedeniyle en düşük; B50'nin ise tüm metallerde dizelden sonra daha düşük korozyon oranları ürettiği bulunmuştur [50].

Fazal ve arkadaşları, dört bilyeli aşınma makinesi kullanarak palmye biyodizelinin sürtünme ve aşınma özelliklerini farklı konsantrasyon seviyelerinde değerlendirmiştir. İncelenen yakıtlar biyodizel (B100), dizel (B0) ve B10 (dizelde% 10 biyodizel), B20, B50 gibi üç farklı biyodizel karışımları olup; testleri 75°C'de 40 kg'lık normal bir yük altında 1 saat süreyle 600, 900, 1200 ve 1500 d/d gibi dört farklı hızda gerçekleştirmiştir. Topların aşınmış yüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Sonuçlar biyodizel oranının artmasıyla birlikte, aşınma ve sürtünmenin azaldığını ve daha iyi bir yüzey elde edildiğini göstermiştir. B100'deki çelik bilye aşınmasının dizele (B0) göre % 20 daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [51].

Lenauer ve arkadaşları, biyoetanolün piston segmanı ve silindir gömleği sistemi üzerindeki etkilerini araştırmak için, sürtünme ve piston segmanı aşınmasını ölçen bir tribometre modeli üzerinde tribolojik testler gerçekleştirmiştir. Böylece silindir gömlekleri üzerindeki aşınma bölgesinin kimyasal yüzey analizini gerçekleştirmiştir. Piston segmanının kararlı hal aşınma hızı ile silindir gömleğindeki tribofilm kalınlığı arasında yakın bir ilişki bulmuştur [52].

Shahabuddin ve arkadaşları, jatropha yağından formüle edilen biyo-yaglayıcıların tribolojik özelliklerine ilişkin deneysel araştırma gerçekleştirmiştir. Biyo-yaglayıcı olarak Jatropha yağını %10, %20, %30, %40 ve %50 gibi çeşitli oranlarda, baz yaglayıcı (SAE 40) ile karıştırmışlardır. Aşınma ve sürtünme davranışını incelemek için, aşınmış yüzeyin görüntüsü optik mikroskopi ile alınmıştır. Sonuç olarak, deney

sırasında meydana gelen yağlama rejiminin sınır yağlama olduğunu, baz yağlayıcı ile %10 jatropha yağının eklenmesinin herhangi bir eksiklik olmaksızın yağlama yağı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır [53].

Mujtaba ve arkadaşları, çalışmasında dizel-biyodizel yakıtın etanol ve nano partiküllü katkı maddeleri ile yağlama özelliğini değerlendirmiştir. Baz yakıt olarak B30 yakıt numunesi, tribolojik davranış analizinden önce farklı oranlarda yakıt katkı maddeleri ile karıştırılmıştır. Test edilen tüm yakıtların tribolojik davranışını, aşınma izi çapını ve yüzey morfolojisini değerlendirmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak aşınmış çelik bilyelar ve plakalar aracılığıyla incelemiştir. Testler sonucunda, B10'un test edilen diğer yakıtlar arasında çok zayıf bir sürtünme katsayısına ve aşınma izi çapına sahip olduğunu gözlemlemiştir. B30 yakıt numunesine yakıt katkı maddesi olarak etanol eklenmesi, diğer yakıt katkı maddelerinin yanı sıra yakıtın kayganlığını azaltmış ve aşınma ve sürtünme katsayısını artırmıştır [54].

Balakumar ve ark., atık biyodizel ile kirlenmiş yağlayıcının silindir gömleği-piston halkası tribo çifti malzemesinin tribolojik davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Test yakıtı olarak atık yağdan B10, B15 ve B20 oranlarında karışımlar hazırlamıştır. Pim morfolojisinin aşınma yüzeylerini Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanarak incelemiştir. Dizel yakıtı, pim yüzeyinde diğer tüm biyodizel yakıt karışımlarından daha büyük aşınma çizgisi göstererek, pim yüzeyindeki bu aşınma çizgileri sürtünme yükünü ve yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Biyodizel karışımlarının daha az aşındırıcı çizgiler gösterdiğini ve biyodizelin mükemmel yağlama özelliğine sahip olduğunu netleştirmektedir [55].

Erkan, motor yağına hacimsel olarak %2,5, %5 ve %10 oranlarında kenevir (*Cannabis sativa* L.) tohumu yağı (KTY) ilave ederek; tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda motor performans, egzoz emisyon ve yağlama yağında meydana gelen aşınma elementleri etkilerini araştırmıştır. Hazırladığı bu karışımları (KTY2,5, KTY5, KTY10 ve MY100) motorun 100 saatlik çalışma periyodunda değerlendirmiştir. Motor testlerinde ilk olarak MY100 daha sonra ise KTY2,5, KTY5 ve KTY10 alternatif yağlama yağlarını teste tabi tutmuş her 20 saatte bir numune alarak aşınma elementlerini tespit etmiştir. Alternatif yağlama yağlarının 100 saat

sonundaki aşınma element sonuçları MY100 ile karşılaştırıldığında, aşınma elementleri olan Fe, Cr, Cu, Pb ve Ni miktarının sırası ile arttığını gözlemlemiştir [56].

Sert, içten yanmalı bir motorda deniz yakıtlarının yağlama yağına karışması durumunda tall yağı asidi katkısının segman-silindir gömleği arasındaki sürtünme davranışlarına etkisini araştırmıştır. Tribolojik testlerin gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla farklı devir, sıcaklık, yağlayıcı, kirletici (Marine Diesel Oil - MDO ve Heavy Fuel Oil - HFO) ve katkı maddesi katılması durumlarını deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneylerin sonucunda belirli miktarlarda tall yağı asidi katılmasıyla MDO ve HFO'nun kirlenmesi durumunda bölgede oluşan sürtünmenin azaldığını tespit edilmiştir [57].

Demirtaş, 75 saat çalıştırılan içten yanmalı tek silindirli, ticari motor yağı kullanılan Honda GX 270 motoruna ait (kaplamalı ve kaplamasız) çeşitli segmanlar ile yapılan testlerde segman ve silindir ÜÖN'de meydana gelen aşınma mekanizmalarını tespit etmiştir. Üst ölü noktalardan alınan kesitlerin optik mikroskop, SEM, EDX ve AFM analizlerini, literatürde yapılan araştırmalarla karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda üst ölü noktada meydana gelen aşınma türünü belirleyip, kaplamalı segmanın aşınmayı önlemedeki rolünü incelemiştir [24].

Chourasia ve arkadaşları sıkıştırılmalı ateşlemeli (CI) bir motorda dizel ve biyodizel yakıtlarını hacimsel olarak B0, saf dizel; B10,% 10 biyodizel +% 90 dizel; B20A4,% 20 biyodizel +% 4 DEE +% 76 dizel oranlarında karıştırıp, uzun süreli dayanıklılık testi (512 saat) gerçekleştirerek biyodizelin tribolojik davranışlarını incelemiştir. Her 128 saatte bir yağ numuneleri alarak madeni yağ analizi (Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi - AAS, Ferrografi) yapmıştır. 512 saatlik uzun ömür testi sırasında toplanan verilere göre (yağlama yağı analizi, aşınma analizi, boyut analizi) B20A4 yakıtlı motorun çeşitli kısımlarının aşınmasının dizel yakıtlı motora göre daha düşük olduğunu göstermektedir [58].

Hisham ve arkadaşları çalışmasında, SAE10W-40 ile harmanlanmış atık kızartma yağının piston eteğindeki aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemiştir. Deneylerde farklı dönme hızları (200, 250 ve 300 d/d), farklı hacim konsantrasyonları (atık yağın % 5 ve% 10'u) ve farklı yükler (2 kg, 5,5 kg ve 9 kg) altında aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonunda, atık kızartma yağı konsantrasyonunun azalmasıyla birlikte aşınmanın da azaldığını tespit etmişlerdir [59].

Dandu ve Nanthagopal hem sıkıştırılmalı ateşlemeli hem de kıvılcım ateşlemeli motorlarda yakıt olarak ve aynı zamanda yağlama yağı olarak kullanılan biyoyakıtların malzeme uyumluluğu, aşındırıcı yönleri, aşınma ve sürtünme davranışı ve uzun vadeli dayanıklılık testleri açısından tribolojik yönlerini ayrıntılı olarak ele almıştır. Biyoyakıtın, çeşitli tribo test koşulları sırasında daha iyi yağlama sağladığını; biyodizelin serbest yağ asidi içeriği gibi kimyasal bileşiklerinin korozyon aşınma oluşumunu artırdığını ortaya koymuştur [60].

Heredia-Cancino ve arkadaşları motor yağının deformasyon sürecini ve bunun tribolojik performans üzerindeki etkisini araştırmak için, bozunmuş yağ farklı karıştırma yüzdeleriyle taze yağ ile karıştırarak yeni bir yöntem kullanmışlardır. Karıştırılmış yağların tribolojik performanslarını 50°C ve 80°C'de karışık yağlama rejimi altında değerlendirmişlerdir. Ölçülen aşınma hacimleri sonucu, test edilen tüm yağ numuneleri için 50°C ve 80°C'de karşılık gelen ortalama aşınma hacimleri sırasıyla 0.19 ve 0.24 mm³ gelmiş ve kayda değer değişiklikler göstermemiştir. SEM analizleri, yeni ve bozulmuş yağın ürettiği aşınma izleri sürtünme katsayısının yüksek sıcaklıkta daha düşük olmasına rağmen, her iki sıcaklıkta da pürüzsüz ve çok benzer görüldüğünü ortaya koymuştur [61].

Suthisripok ve Semsamran yaklaşık 800 saat biyokütle kaynaklı bir yakıt ile çalışan dizel motorunda saha deneyi gerçekleştirmişlerdir. Her 100 saatlik yağ değişiminden sonra kullanılmış yağlama yağı numunelerini toplayarak, numunelerin fiziksel ve kimyasal yağ durumlarını, aşınma elemanlarını ve kirleticilerini analiz etmişlerdir. Testler sonucunda kullanılmış tüm yağ örneklerinde, yağın kullanım ömrünün sona doğru bozularak; yağın viskozitesinin azaldığı (yağ seyreltilmiş ve yağ filminin kalitesi bozulmuş), TBN, oksidasyon ve nitrasyonun arttığını gözlemlemişlerdir [62].

Yadav ve arkadaşları bu çalışmalarında farklı çalışma zaman döngülerine sahip kullanılmış ve kullanılmamış SAE 15W40 ve SAE 20W50 sınıfı yağlama motor yağının aşırı basınç ve aşınmaya karşı dayanıklılığının tribolojik analizini gerçekleştirmiştir. Testler, atmosferik yağlama yağı basıncı altında 392 N yük, 75°C sıcaklık ve 1250 d/d sabit hızda TR-30L test cihazı üzerinde yapılmıştır. Testler sonucunda, her iki motor yağlama yağı numunelerinin neredeyse benzer aşınma modellerini gösterdiği ve motorda kullanılan yağlama süresinin artmasıyla, aşınma izi çapının kademeli olarak arttığını ortaya koymuşlardır [63].

Savaş, çalışmasında içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasındaki yağlama yağına yakıt karışmasının, aşınmaya olan etkilerini incelenmiştir. Çalışma sonucunda yağa yakıt karışımının silindir-gömlek aşınması üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu; kirletici miktarının artmasına bağlı olarak aşınma miktarının arttığını gözlemlemiştir [64].

Liu ve ark. *Jatropha curcas* türevi biyodizelin oksidasyonunun yağlama özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu araştırma sonucunda; oksidasyonun biyodizelin yağlama özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. *Jatropha* biyodizelinin performansını geliştirerek metal yüzey üzerinde kararlı bir sınır filmi oluşumuna katkıda bulunduğunu ve yüzey kayganlığını artırdığı sonucuna varmışlardır [65].

Çetin, çalışmasında nano-grafen oksit katkılı motor yağının tribolojik özelliklerini incelemiştir. 10W-40 tam sentetik motor yağına katkı maddesi olarak farklı miktarlarda grafen oksit (GO) ilave ederek motor yağının tribolojik özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan katkılı motor yağlarının ve baz motor yağının fiziksel özelliklerini, ayrıca sürtünme ve aşınma gibi tribolojik performanslarını da disk üstü bilye mekanizmasında analiz etmiştir. Sürtünme testleri sonucunda aşınan bilyelerde meydana gelen aşınma miktarlarını EDS analizi ve detaylı SEM görüntüleri ile almıştır. GO katkılı motor yağlarının, aşınma yüzeyindeki boşlukları doldurarak tribo filmi oluşturduğunu aynı zamanda viskoziteyi düşürerek yağlamayı kolaylaştırıp sürtünme ve aşınmayı azalttığı sonucuna ulaşmıştır [66].

Özkan ve Kaleli çalışmasında, çinko fosfat kaplamalı yağ kontrol segmanı ile gri dökme demir silindir gömleği çiftleri arasındaki sürtünme katsayısı, yüzey morfolojisi kimyası ve kantitatif aşınma ölçümlerini incelemiştir. Çinko fosfat kaplamanın tribolojik performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Silindir gömlekleri ve yağ kontrol halkalarının yüzey kimyasını ve koruyucu katkı katmanlarını belirlemek için SEM/EDX spektroskopilerini kullanmıştır. Deneyler sonucunda kaplama malzemesinin segman yüzeyinden uzaklaştığını ve aktarılan yağdan Ca, Zn, S ve P gibi katkı maddelerinin silindir gömleği yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturduğunu gözlemişlerdir [67].

Pathmasiri ve Perera çalışmasında, yağlama yağı olarak kullanılacak orta derecede bir viskoziteye sahip olan palm yağının; viskozitesini iyileştirmek için Oksitlenmiş polietilen (OPE) kullanımının etkilerini araştırmıştır. Palm yağına çeşitli ağırlık yüzdelerinde OPE ekleyerek incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarında palm yağı viskozitesine eklenen ağırlıkça %1-2 OPE konsantrasyonu kademeli olarak artış gösterirken; yaklaşık %2,5 OPE konsantrasyonunda ise viskozite artış hızı azaldığı görülmüştür. OPE düşük ve orta sıcaklıklarda üstün viskozite artışı göstermektedir [68].

Malik ve ark., buji ile ateşlemeli bir motorda alkol-benzin yakıt karışımının yağlayıcı yağın bozulması üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yakıt olarak benzin ve metanol yakıtları ile 100 saat çalışan motordan yağ numunelerini alarak, sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, metanol yakıtının benzin ile çalışan motora göre yağın asidik yapısında %10,23 daha yüksek TAN ve %0,079 daha yüksek özgül ağırlık artışı tespit edilmiştir [58].

Tung ve Gao, E85 etanol yakıtını (%85 etanol ve %15 kurşunsuz benzinden oluşan bir yakıt karışımı) ve farklı sürtünme düzenleyicilerine (molibden ve organik) sahip motor yağlarının piston segman kaplamaları üzerindeki tribolojik özelliklerini değerlendirmiştir. Yüksek frekanslı pistonlu bir tribometre kullanılarak gerçekleşen testler sonucunda; Nitrülenmiş paslanmaz çelik halka ve kaplamaları için, molibden sürtünme düzenleyici motor yağı ile en düşük sürtünme katsayısı üretirken, organik sürtünme düzenleyici motor yağı daha yüksek sürtünme katsayısı göstermiştir. En düşük sürtünme katsayısı ise molibden sürtünme düzenleyici eklenen motor yağı ile kaplamasız nitrülenmiş paslanmaz çelikte gerçekleşmiştir [71].

Cesur ve Akgündüz çalışmasında, krom-nikel ile kaplanan segmanların segman-silindir çifti arasındaki aşınma ve sürtünme özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Deneyleri farklı yük, hız ve sıcaklıkta gerçekleştirerek; kaplanmış segmanların silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmaları SEM görünüşü ve EDX analizi ile elde etmişlerdir. Analizler sonucunda nikel kaplı segmanda Ni, P, C, O, Fe; krom kaplı segmanda da Fe, Cr, C, Si, P elementlerinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yükün artması ile aşınma değerlerinin arttığını ve gömlek numunesinde honlama çizgilerinin zarar görerek kaybolduğunu gözlemlemişlerdir [72].

Hoang ve ark., tarafından alternatif bir biyoyakıtın dizel motorlarında çalıştırılması ile yağlama yağı bozulması, tortu oluşumu, aşınma ve ses yoğunluğu üzerindeki incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda; dizel motorunda B20 (hacimce %20 ve %80 dizel) kullanıldığında yağlama yağı bozulması, tortu ve aşınmanın azaldığı, saf biyodizel yakıtı kullanıldığında ise bu endekslerin arttığını gözlemlemişlerdir [73].

Hoang ve Pham çalışmasında, dört zamanlı-dört silindirli Yanmar TF120M dizel motorunu 300 saat boyunca dizel yakıtı ve jatropha yağı karışımı (SJO90) ile çalıştırarak, yağlama yağı üzerindeki etkileri gözlemlemişlerdir. Her 25 saatte bir alınan yağ numunelerinde yağın viskozite, yoğunluk ve metalik konsantrasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yağlama yağı analizleri sonucunda, SJO90 yakıtı kullanılan motorun yağlama yağı metal konsantrasyonları, dizel yakıt kullanımına kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmüştür [74].

Sinha ve Agarwal deneysel araştırmasında, biyodizelin silindir içi motor bileşenlerinin aşınması üzerindeki etkilerini görmeyi amaçlamıştır. Dayanıklılık testleri, dizel (B00) ve %20 biyodizel (B20) ile çalışan direkt enjeksiyonlu (CIDI) dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin tamamlanmasından sonra, piston segmanları, yataklar, silindir gömleği ve silindir kapağı gibi çeşitli hayati motor parçalarının fiziksel durumunu gözlemek için motorlar sökülüştür. B20 yakıtlı motorun piston segmanlarında daha az aşınma tespit edilmiştir. Motorlardan düzenli aralıklarla alınan yağlama yağı örneklerinde aşınma metalleri incelenmiştir. B20 yakıtlı motorun yağlama yağında Pb ve Al hariç tüm aşınma metallerine nispeten daha düşük aşınma konsantrasyonları bulunmuştur. Uzun vadeli bir dayanıklılık testi, biyodizelin dizel ile kısmi olarak karıştırılmasının başarıyla kullanılabileceğini kanıtlamıştır [75].

Venkatakoteswararao ve ark., dört bilyeli tribometre kullanarak kaju fıstığı kabuğu metil ester ile biyo-yaglayıcının sürtünme ve aşınma davranışını incelemiştir. Çalışmada, kaju fıstığı kabuğu metil esterini (CSME), %15 ve %30'luk farklı hacimlerde hazırlanarak, SAE20W40 yağlayıcısı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda üç numunenin viskozite ve viskozite indeksinin özellikleri incelendiğinde, SAE 20W40 ile CSME %30'da daha iyi tribolojik sonuçların olduğu görülmüştür [76].

Cortes ve arkadaşları, farklı konsantrasyonlarda yağlayıcı katkı maddesi olarak silikon dioksit (SiO_2) ve titanyum dioksit (TiO_2) nanoparçacıkları ile modifiye edilmiş ayçiçek yağının reolojik ve tribolojik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Kullanılan yağların aşınmaya karşı koruma ve sürtünme özelliklerini halka üzerinde blok testleri ile gerçekleştirerek, aşınmış yüzeylerin morfolojisini ve yapısını karakterize etmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDX) ve profilometri gibi yüzey analizine dayalı araçlar kullanmışlardır. Aşınmış yüzeylerde nanoparçacık katkılarının ürettiği parlatma etkisiyle yüzey iyileştirmelerinin SEM ve profilometri analizleriyle; koruyucu film yağlama mekanizmasını ise EDX element analizi kullanarak keşfetmişlerdir. Deneyler sonucunda nanopartiküllerle zenginleştirilmiş ayçiçek yağının iyi bir yağlayıcı olarak kullanım potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmışlardır [77].

Thapliyal ve Thakre çalışmalarını ticari motor yağları üzerinde gerçekleştirmiş ve fiziko-kimyasal, reolojik ve tribolojik performansa ait karakteristik özelliklerini belirlemiştir. Sürtünme ve aşınma önleyici özellikleri açısından tribolojik performansı dört bilye kullanılarak incelemişlerdir. Sentetik yağlayıcılar, mineral bazlı yağlara kıyasla yüksek viskozite indeksi, TBN ve daha yüksek katkı konsantrasyonlarına sahiptir. Yağlayıcıların tribolojik performansı, sentetik bazlı yağlayıcının mineral bazlı yağlayıcılara göre üstün sürtünme önleyici ve aşınma önleyici özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Aşınmış yüzeylerde, sentetik bazlı yağlayıcıların daha az yüzey bozulmasına neden olduğu görülürken mineral bazlı yağlayıcılarda ciddi sürtünme göstermektedir [78].

Jain ve arkadaşları iki farklı ticari motor yağı ile yağlanan piston, segman ve gömlek arasındaki sürtünmeyi karşılaştırmak ve değerlendirmek için birleşik deneysel ve sayısal bir araştırma yapmıştır. Deneysel araştırmalarda, test numuneleri olarak gerçek piston segmanı ve gömlek kullanarak pistonlu tribo test cihazında gerçekleştirmiştir. Çalışmada, yükün artmasına paralel olarak, yağlayıcının özelliklerinin değiştiği ve aşınmaların arttığını tespit edilmiştir [79].

Hassan ve arkadaşları çalışmasında, dört bilyeli bir tribotester kullanarak farklı hacimsel karışım oranlarında kaktüs yağı ile mineral yağının aşınma önleyici, sürtünme önleyici, viskozite indeksi ve flaş sıcaklık parametreleri gibi tribolojik özelliklerini araştırmayı amaçlamıştır. Hacimsel harmanlama oranı değiştirilmiş (%20

ila %80) bu karışımlar 1200 d/d, 40 kg yük ile 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %80'lik bir kaktüs yağı ilavesinin, %100 ticari yağlayıcı ve saf kaktüs yağına (%CC100) kıyasla daha düşük sürtünme katsayısı oluşturduğu tespit edilmiştir. Aşınma izi çapının ise %20 kaktüs yağı karışımının %100 ticari yağlayıcılardan daha düşük (yaklaşık %26,72) olduğu görülmüştür. Genel olarak, karışımların aşınma ve yağlama performansında herhangi bir kötü etki yaratmadığı, böylece kaktüs yağının kısmi bir alternatif biyo-yaglayıcı olma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir [69].

Kashyap ve Harsha yaptıkları çalışmada, motor yağlama özellikleri üzerinde farklı yağlayıcıların etkisini ortaya koymuşlardır. Bu doğrultuda, kolza tohumu yağı ile seryum (CeO_2) ve bakır oksit (CuO) nanoparçacıklarıyla modifiye edilmiş kolza yağının tribolojik performansını dört bilyeli bir test cihazı kullanarak incelemiştir. Boyutları 50 nm'den küçük olan CuO ve CeO_2 nanopartiküllerini, kimyasal olarak modifiye edilmiş kolza tohumu yağına ağırlıkça %0,1- %1 arasında ilave etmişlerdir. Araştırma sonucunda kimyasal olarak modifiye edilmiş kolza yağının oksidasyon kararlılığının ve termal kararlılığının daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir [70].

Farhanah ve Syahrullail çalışmasında ağartılmış ve kokusu giderilmiş hurma çekirdeğinin (RBD PK) tribolojik performansını ticari mineral motor yağı (SAE 40) ile karşılaştırmıştır. Çinko dialkil ditiyofosfat (ZDDP) katkılı ham ve formüle edilmiş hurma çekirdeğinin tribolojik performansını belirlemek için disk üzerinde pin-on-disk tribotester kullanarak analiz yapmışlardır. Pimlerin aşınmış yüzeyini optik mikroskop ile incelemiştir. Bulgular, RBD PK yağının, hurma yağındaki yağ asitlerinin varlığı nedeniyle ticari mineral yağa (SAE 40) kıyasla daha iyi sürtünme önleyici ve aşınma önleyici performans sergilemiştir. RBD PK'nin aşınma izi çapının, ağırlıkça %5 ZDDP katkı maddesinin eklenmesiyle %33,5 oranında azalttığını ve ZDDP katkısının, yüzeyi aşınmaya ve oksidasyona karşı koruyabildiği sonucuna varmışlardır [6].

Shafi ve Charoo yağlama için ağırlıkça %1 ila %3 konsantrasyonlarında çinko dialkil ditiyofosfat (ZDDP) ile karıştırılmış avokado yağının tribolojik ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Sonuçlar ZDDP ilavesinin, tüm konsantrasyonlarda yağın viskozitesini artırdığını ve koruduğunu göstermektedir. Ağırlıkça %1 eklenen ZDDP katkısında avokado yağında %39,8'lik maksimum aşınma önleyici iyileştirme gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu testlerde SEM ve EDX görüntülerinde koruyucu çinko

fosfat filmi oluşarak aşınmış yüzeylerde Zn ve P'nin gözlendiğini de doğrulanmıştır [11].

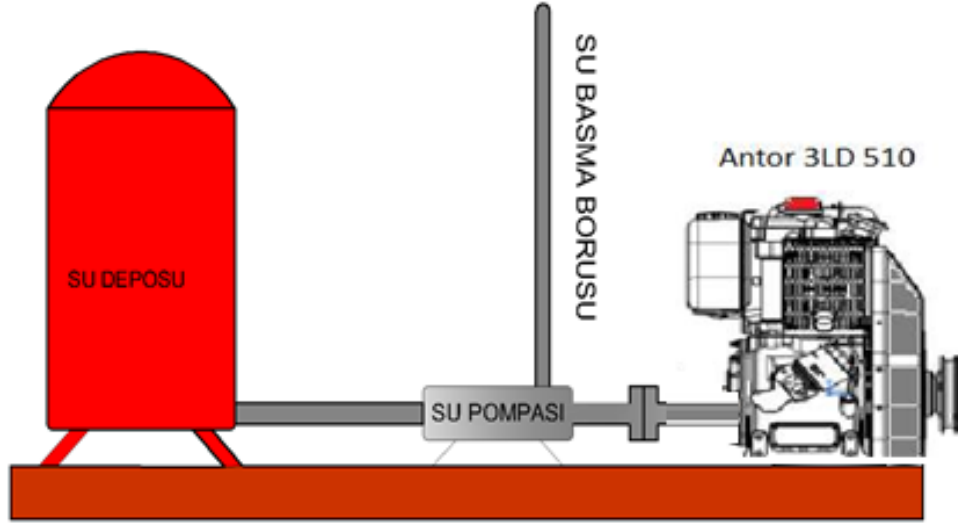
Patel ve arkadaşları, atık yemeklik yağ, jatropha ve karanja yağı kaynaklı biyodizellerle çalışan tek silindirli sıkıştırma ateşlemeli (CI) jeneratör motorunda Endüktif Eşleştirilmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) yöntemini kullanarak iz metal analizi için % 50 ve % 100 motor yüklerinde biyodizellerden oluşan partiküllerde metalleri izlemiştir. Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, Zn ve Al gibi metallerin tüm test yakıtlarında daha yüksek konsantrasyonlar gösterdiği, Ba, Cd, Cr, Mn ve Mo metallerinin ise toplanan partiküllerde daha düşük konsantrasyonlar gösterdiğini bulmuşlardır [15].

Literatürde biyoetanol yakıtlarının motorlardaki kullanımı ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır. Ancak, yapılan bu çalışmaların birçoğu kısa süreli motor performans ve egzoz emisyonları üzerinde olduğu görülmektedir. Biyoetanol karışimli test yakıtlarının motor üzerindeki etkilerinin kapsamlı incelenmesi amacıyla, motorun bu yakıtlarla uzun süreli testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapılan literatür incelemesinde, etanol yakıtının setan sayısı ve buharlaşma ısısı gibi birtakım özellikleri nedeniyle dizel motorlarında belirli oranlarda kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada dizel yakıtının yanı sıra, dizel yakıtına belirli oranda ilave edilen biyoetanol yakıtlı karışımın motorda uzun süreli kullanımı ile ortaya çıkan tribolojik ve morfolojik etkiler incelenmiştir. Ayrıca, her iki yakıtın motor yakıtı olarak kullanılması sonucunda motor yağı üzerindeki etkileri de tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylece, biyokütle kaynaklı yakıtların motorlarda uzun vadede kullanılabilirliğinin tespiti ortaya çıkarılarak, literatüre yeni bir bakış açısının kazandırılması amaçlanmıştır.

2. MATERİYAL VE METOD

2.1 Deneysel Aşama

Çalışmada, hacimsel olarak %100 motorin (D100) ve %90 motorin-%10 biyoetanol içeren (B10) karışım kullanılmıştır. Çalışmada, farklı yakıtların motor tribolojisi ve yağlama yağı üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, tek silindirli, direkt püskürtmeli Antor 3 LD 510 dizel motoru Şekil 2.1’de görüldüğü gibi bir dinamometreye bağlanmıştır. Böylece, motor kısmi yük altında, iki farklı yakıt türü ile yaklaşık 110 saat çalıştırılmıştır. Deneyler Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Motor deney düzeneği

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Teknik Özellikleri	
Motor Adı	Antor 3 LD 510
Motor Tipi	4- zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi-cm ³	510
Çap x Strok mm x mm	85 x 90
Sıkıştırma Oranı	17,5:1
Maksimum Güç (kW)	8,8/3000
Maksimum Tork (Nm)	32,8/2000
Püskürtme Açısı	126°

2.2 Uzun Süreli Dayanım Testleri

Çalışmada, farklı yakıt kullanımının motor yağlama yağı üzerindeki etkilerini tespit etmek amacıyla, uzun süreli dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde (D100) ve (B10) yakıtları yaklaşık 110 saat süre ile 2000 d/d’ da kısmi yük altında çalıştırılmıştır. Belirli çalışma aralıklarında yağlama yağındaki element tayini için yağlama yağından numuneler alınmıştır. Öncelikle D100 yakıtı ile motor günde ortalama 5-6 saat çalıştırılarak, 55. saatin sonunda motor yağından ilk numune alınmıştır. Aynı şartlar altında motor çalıştırılmaya devam edilerek 110. saat sonunda çalışma sonlandırılmıştır. Motorun 110 saatlik çalışması sonucunda, yağlama yağı ve segmanları (birinci, ikinci ve üçüncü segmanı) alınarak yenileri ile değiştirilmiştir. Daha sonra aynı işlem B10 yakıtı için de gerçekleştirilmiştir. Her iki yakıt ile 110 saatlik çalışma sonunda, üç farklı analiz gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yağın; kül içeriği, yoğunluk, viskozite, asit sayısı tayini, parlama noktası gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Bu analizler Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Petrol Araştırma Merkezi’nde yapılmıştır. İkinci aşamada, farklı yakıt ile çalışmış (farklı çalışma saatlerinde elde edilen) yağ numunelerinin aşınma belirtisi metal kalıntıları Endüktif Eşleşmiş Plasma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile tespit edilmiştir. ICP-MS analizleri Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji ve Uygulama Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise, aşınmalar ve motordaki yağlama hakkında yorum yapabilmek için, piston segmanlarının tribolojik analizleri yapılmıştır. Piston segmanları üzerindeki değişimler, Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak incelenmiştir (Şekil 2.2). SEM ve EDX analizleri, Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde (CÜTAM) yapılmıştır.



Şekil 2.2 SEM/EDX Cihazı

3. BULGULAR

3.1 Motor Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analizleri

Yağın özelliklerinin test edilmesi, yağ kalitesinin anlaşılabilmesi için oldukça önemlidir. Motor deneylerinde kullanılan D100 ve B10 yakıtlarının motor yağlama yağı üzerindeki etkilerini incelemek üzere motor yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Tablo 2’de iki farklı yakıt ile çalışmış motor yağlama yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. İki farklı yakıt ile çalışmış motor yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

D100 yakıtı ile çalışmış motor yağı analiz sonuçları			
	Yöntem	Ölçüm Belirsizliği	Sonuç
Yoğunluk (kg/m³, 15 °C)	ASTM D4052	±0,1	856,9
Parlama Noktası (Cleveland Açık Kap, °C)	ASTM D92	±3,4	154
Viskozite (mm²/s, 40 °C)	ASTM D445	±0,125	68,08
Viskozite (mm²/s, 100 °C)	ASTM D445	±0,017	11,61
Viskozite indeksi (mm²/s, 40 °C)	ASTM D 2270	±0,5	166
TAN (mg KOH/g)	ASTM D 664	±0,66	3,08
Sülfatlı Kül (% Ağırlıkça)	ASTM D874	±0,047	0,785

B10 yakıtı ile çalışmış motor yağı analiz sonuçları			
	Yöntem	Ölçüm Belirsizliği	Sonuç
Yoğunluk (kg/m³, 15 °C)	ASTM D4052	±0,1	860,2
Parlama Noktası (Cleveland Açık Kap, °C)	ASTM D92	±4,4	198
Viskozite (mm²/s, 40 °C)	ASTM D445	±0,127	69,04
Viskozite (mm²/s, 100 °C)	ASTM D445	±0,017	11,6
Viskozite indeksi (mm²/s, 40 °C)	ASTM D 2270	±0,5	163
TAN (mg KOH/g)	ASTM D 664	±0,7	3,29
Sülfatlı Kül (% Ağırlıkça)	ASTM D874	±0,049	0,819

Yağlayıcı maddelerin temel özellikleri, yağlama kabiliyetine ve bir takım fiziksel davranışlarına bağlıdır. Bu nedenle yağlama yağının viskozite, kül içeriği, yoğunluk, asit sayısı tayini, parlama noktası gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi

gerekmektedir. Bu kapsamda, iki farklı yakıt türü ile çalışmış motorun yağlama yağları analiz edilmiştir.

Yağlarda parlama noktası, yakıtın seyreltme oranını göstermek açısından önemli bir parametre olarak bilinir. Etanolün parlama noktası sıcaklığı 13 °C iken, motorin için bu değer 60-80 °C aralığındadır. Çalışmamış yağın orijinal parlama noktası sıcaklığı ise 229 °C'dir. D100 yakıtı kullanılan motorun yağlama yağı parlama noktası sıcaklığı 154 °C ölçülürken, bu değer B10 yakıtlı çalışmada 198 °C olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç motorinin daha fazla yağlama yağına karışmış olabileceğini gösteren önemli bir bulgu olmuştur. Bilindiği gibi, dizel motorlarında kullanılan motorin aynı zamanda iyi bir yağlayıcı özelliğine sahiptir. 110 saat sonunda toplamda B10 çalışmasına kıyasla D100 çalışmasında daha az aşınmanın görülmesi, bu özelliğin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Sıvıların farklı akış karakteristiği göstermesinin nedeni iç sürtünmelerinden dolayı harekete karşı dirençli olmalarıdır. Akmayı zorlaştıran bu direnç viskozite olarak adlandırılır. Yağın fiziksel durumu için doğrudan bilgi verir ve akıcılığını göstermesi bakımından en önemli özelliklerden biridir. Her iki çalışmış yağa ait kinematik viskozitelerine bakıldığında, değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Başlangıç şartlarına kıyasla, 110 saatlik çalışma sonucunda her iki yağlama yağı viskozitesinin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. D100 yakıtı ile çalışmış motorun yağlama yağı viskozitesi 40 °C'de 68.08 mm²/s ve 100 °C'de 11.61 mm²/s iken, B10 yakıtı ile çalışmış motorda bu değer 40 °C'de 69.04 mm²/s ve 100 °C 'de 11.6 mm²/s olarak ölçülmüştür.

Yağlama yağlarında önemli bir başka özellik ise yağın yoğunluğudur. Genellikle yoğunluk sıcaklığa bağlı bir faktördür. Bu nedenle yağın yoğunluğu belirli sıcaklığa göre verilir. 20 °C sıcaklıkta madensel yağların yoğunluğu ortalama olarak $\rho_{20^{\circ}}=(0.85...0,95)$ kg/dm³ olup birçok durumda $\rho=0,9$ kg/dm³ olarak alınır. D100 çalışmasında ölçülen yağın yoğunluğu 856,9 kg/m³ iken, B10 çalışmasında bu değer 860,2 kg/m³ olarak ölçülmüştür.

Kül içeriği, yağlayıcıda bulunan metal aşınma kalıntıları, yabancı partikül ve kirleticilerin varlığını gösteren bir parametredir. 110 saat sonunda B10 çalışmasında, D100'e kıyasla görülen daha fazla element kalıntısının kül içeriğine de yansıdığı

görülmüştür. Nitekim ölçülen değerlere baktığımızda, D100 çalışmasında, kül içeriği ağırlıkça 0,785 iken B10 çalışmasında bu değer 0,819 olarak tespit edilmiştir.

Asit sayısı tayini (TAN) yağın, korozyona sebep olan asitleri absorbe edebilme yeteneğidir. 1 gram yağlama yağında bulunan mg türünden potasyum hidroksit miktarıdır. Toplam alkalinite sayısı yağlama yağının, yakıtın yapısındaki sülfür içeriğinden dolayı meydana gelen ve korozyona neden olan sülfirik asit oluşumunu önleyebilme yeteneğidir. Bununla birlikte yağlama yağının makine parçalarına yapışan yanma artıklarını temizleyebilme özelliğini de gösterir. TAN yağ içindeki asidik moleküllerin konsantrasyon miktarını göstermesi bakımından önemlidir. TAN değeri yağlayıcı içerisinde bulunan asit ya da asit türevlerinin sayısını veren önemli bir parametredir. D100 çalışmasında TAN değeri 3,08 mg KOH/g olarak ölçülürken, B10 çalışmasında bu değer 3,29 mg KOH/g 'dır. Düşük TAN, yağlayıcı yağ için daha iyi bir performans ve daha düşük korozyon potansiyeli gösterir. Biyoetanol yakıtının koroziv ve nem tutma özelliğinin, yağlama yağına karışmasıyla bu değere yansıdığını göstermektedir.

3.2 Yağlama Yağının Spektrometrik Analizi (ICP-MS)

Motor yağlama yağındaki aşınma elementleri analizlerinde Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan "Thermo Scientific ICP-MS iCAP Q" marka ICP cihazından yararlanılmıştır. Motor yağı, organik bileşenler ve yüksek karbon içeriğinden dolayı ICP-MS cihazına direkt verilememektedir. Bu yüzden mikro dalga cihazında yüksek basınç ve sıcaklık altında asit ile parçalama işlemine tabii tutulur. EPA3051(for oil) yöntemi kullanılarak parçalama işlemi yapılmıştır. Spektrometrik yağ analizi, yağlama yağındaki aşınmış metallerin miktarlarını belirlemek için kullanılan bir önleyici bakım aracıdır. Spektrometrik yağ analizinin amacı mekanik sistemde bulunan yağlama yağından uygun şartlarda alınan yağ numunesinin analizi ile elde edilen veriler doğrultusunda sistemde meydana gelebilecek aşınma, korozyon, çizilme ve parçalanma gibi anormal bir durumun olup olmadığını motora dışarıdan bir etki yapmaksızın önceden tespit etmektir.

Motor yağlama yağındaki metalik aşınma belirtisi element sonuçları incelendiğinde, 55. saat sonunda alınan yağ numunelerinde B10 çalışmasına kıyasla, D100 yakıtlı çalışmada genellikle daha fazla aşınma elementine (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu ve Pb) rastlanmaktadır. Bu sonuç, motorda meydana gelen yanma parametrelerinin bir

göstergesi olarak kabul edilmektedir. Isıl değeri B10 yakıtına kıyasla daha fazla olan motorin, silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıkların artmasına neden olarak hareketli parçaların birbiriyle olan etkileşimini artırmıştır. Nitekim bu sonuçlar segmanlar üzerinde yapılan SEM/EDX analizleri ile de desteklenmiştir. Motorda farklı yakıtların kullanılması ile değişen yanma ve egzoz oluşumları segman-silindir yapısı, piston pimi, biyel ve krank yatağına uygulanan basınç kuvvetlerini değiştirecektir. Aynı zamanda yanma odası içerisindeki farklı sıcaklık dağılımları, motor parçaları ve yağlama yağı üzerindeki termal değişimleri de beraberinde getirmiştir. Tablo 3’de ICP-MS element tayini sonuçları incelendiğinde, 55. saat sonunda her iki yağlama yağında oluşan farklılıklar yanma ve sonrasında gelişen eylemlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 3. ICP-MS element tayini sonuçları

Element	55.saat sonunda		110.saat sonunda	
	B10 ile çalışmış motor yağı	D100 yakıtı ile çalışmış motor yağı	B10 ile çalışmış motor yağı	D100 yakıtı ile çalışmış motor yağı
Mg (ppb)	22100,1	15139,03	40784,72	52306,19
Al (ppb)	17993	15108	30922	31772
Cr (ppb)	94063,91	384018,1	27000,57	261585,6
Mn (ppb)	1813,906	2226,534	3721,418	2970,692
Fe (ppb)	74374,05	88452,82	273279,3	206092,7
Ni (ppb)	603,2048	709,3008	1917,265	1061,589
Cu (ppb)	2558,35	3492,682	14622,81	12222,33
Zn (ppb)	665927,7	654918	721777,2	781688,2
Pb (ppb)	500,1327	747,031	3172,144	1753,201

Motorlarda yanma ve egzoz olayları yağlama yağı üzerinde etkili olabildiği gibi, zaman içerisinde yağda biriken kirleticiler, yakıt molekülleri, nem vb. maddeler de

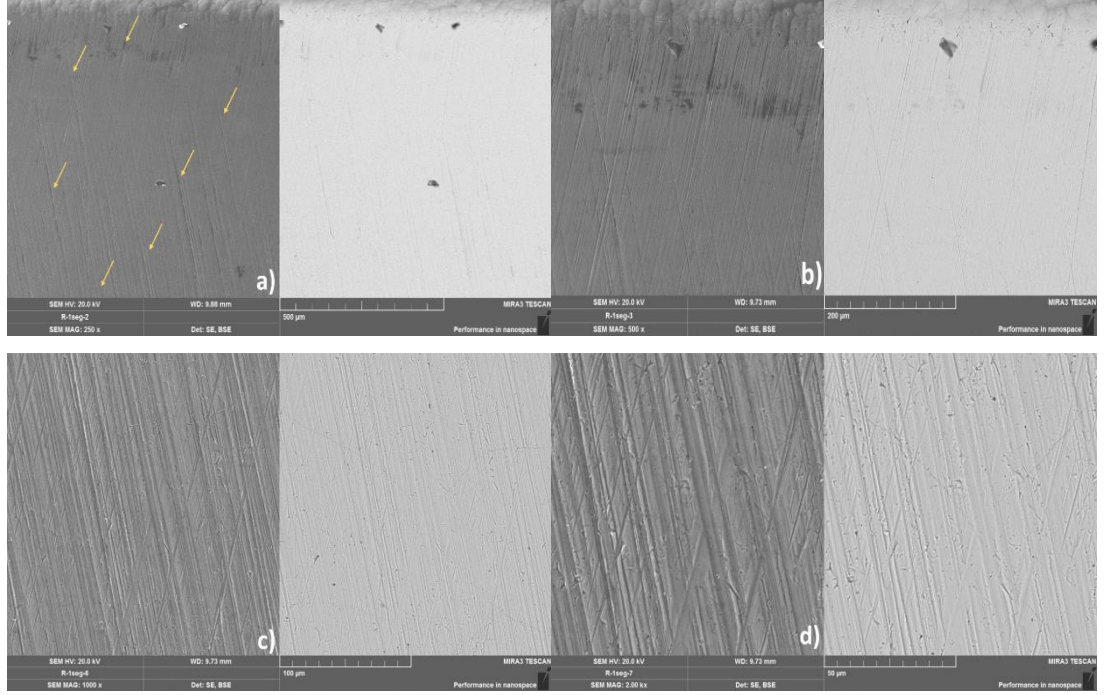
yağın yapısını bozarak, yağlayıcılık özelliklerinin değişmesine neden olabilir. Nitekim 110. saat sonunda yağlama yağı element analizleri incelendiğinde, D100'e kıyasla, B10 yakıtlı motor çalışmasında genel olarak daha fazla aşınma elementine (Mn, Fe, Ni, Cu ve Pb) rastlanmıştır. Bu durum iki farklı şekilde açıklanabilir. İlk olarak, biyoetanol yakıtının motorine kıyasla sahip olduğu düşük viskozite ve yağlama fonksiyonunun bir sonucu şeklinde açıklanabilir. Diğer bir husus ise, biyoetanol yakıtının kimyasal yapısında oksijen bulundurması ve yakıtın nem tutabilme özelliğidir. Nitekim yağlama yağına karışan biyoetanol, yağın oksidasyonunu zaman içerisinde artırarak yağlama fonksiyonunun zayıflamasına ve dolayısıyla daha fazla motor aşınmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda yakıtın korozyif etkisinin de yağlama yağına karışarak, motor parçalarının daha fazla aşınmasına sebep olabileceği de düşünülmektedir. Segman yapıları incelenirken, B10 yakıt çalışmasına kıyasla, D100 yakıtı kullanılan motor segmanlarında daha fazla aşınma belirtisine rastlanmıştır. Özellikle segman-silindir bölgesinde görülen bu aşınmalar, yağlama yağına daha fazla yakıtın karışması sonucunu doğurmaktadır.

3.3 SEM/EDX Analizleri

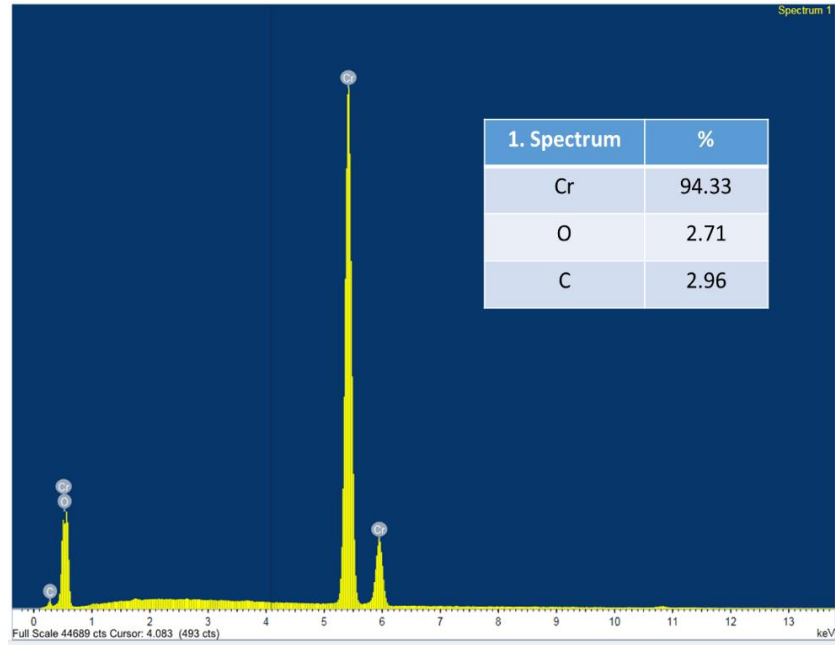
Çalışmanın son aşamasında 110 saatlik uzun süreli dayanım testlerinde D100 ve B10 yakıtları kullanımının piston segmanları üzerindeki tribolojik ve morfolojik analizleri yapılmıştır. Her iki yakıt türü için ayrı ayrı piston segmanları kullanılmıştır. İlk olarak motor 2000 d/d sabit devir ve yük altında D100 yakıtı, ardından B10 yakıtı ile çalıştırılmış, daha sonra piston segmanları değiştirilmiştir. Her iki yakıt çalışması sonunda pistondan alınan birinci, ikinci ve üçüncü segmanlar uygun boyutlarda kesilerek SEM/EDX analizi için hazırlanmıştır. Ayrıca deneylerde hiç kullanılmamış piston segmanları da referans kabul edilerek analize dahil edilmiştir.

Motorlarda farklı yakıt kullanımı, silindir içi yanma parametrelerini değiştirebildiği gibi yağlama rejiminin de değişmesine neden olabilmektedir. Özellikle yanma odasında artan sıcaklık ve basınç değerleri yağlama yağı viskozitesinde azalmalara neden olarak yağ film kalınlığının azalmasına neden olabilir. Silindir içerisinde pistonun farklı zamanlarda ki (emme, sıkıştırma, genişleme ve egzoz) hareketleri motor parçalarının sürtünme rejimlerinin değişmesine neden olmaktadır. Özellikle yağ film kalınlığının 1 µm değerinin altına düşmesi durumunda, yüzey pürüzleri teması ile

adhezyon aşınmalar artar. Bu noktada yağın dinamik viskozitesi oldukça önemlidir. Çünkü hidrodinamik yağlama rejiminde dinamik viskozitenin bir özelliği olarak, yüzeylerin tamamı yağ film kalınlığı ile birbirinden ayrılır ve basınç kuvveti hidrodinamik hareket ile karşılanır. Hidrodinamik yağlamanın zayıflaması ile metal metal temasının görüldüğü ölü bölgelerdeki piston hareketlerinde, adhezif aşınma oranları daha fazla olmaktadır. Abrazif aşınmada kuvvet derecesine bağlı olarak, yüzeyde taramalı, çizgisel sıyırma veya oluklar meydana gelebilmekte olup, silindir-segman aşınmalarında sıklıkla gözlemlenirler. Pürüzlü yüzeylerin kaynamasının mikro çizgisel aşınmaya neden olabileceği gibi, kazıma aşınmasında yağ filminin yok olması ya da metal yağlayıcının reaksiyonu ile koruyucu filmin bozularak yağlayıcının görevini yerine getirmemesi sonucu ortaya çıkar. Kayma yönünde küçük ve ince çizgilerin oluşumuna denilir. Aşınma derecesi, bu çizgilerin uzunluk, genişlik ve derinlik oranlarının ortaya çıkartılması ile belirlenir. Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak, çalışmamış segman ile D100 ve B10 yakıtları kullanılan motora ait birinci segmanların 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX analizleri yapılmıştır. Şekil 3.1’de çalışmamış segmana ait farklı büyüttmelerde SEM/EDX görüntüleri görülmektedir. Bilindiği gibi, motorlarda birinci segmanlar, diğer segmanlara (kompresyon ve yağ segmanı) kıyasla daha yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalırlar. Bu özelliği, bu segmanların yüzey yapısını diğer segmanlardan ayırmaktadır. Dolayısıyla birçok üretici özellikle birinci segman yüzeyinde kaplama yöntemine başvurmaktadır. Bu çalışmada yapılan EDX analizlerinde de tespit edildiği gibi, segman yüzeyinin Cr ile kaplandığı görülmektedir. Çalışmamış segmanın bütün yüzeyleri homojen kabul edilerek bütün yüzey tek bir spektrumda incelenmiştir. Aynı zamanda yüzey üzerinde yağın tutunmasını arttırmak amacıyla belirli açıda bir yüzey pürüzlüğünün verildiği (sarı oklarla belirtilen) görülmektedir. Şekil 3.2’de çalışmamış birinci segmana ait EDX analizi görülmektedir.



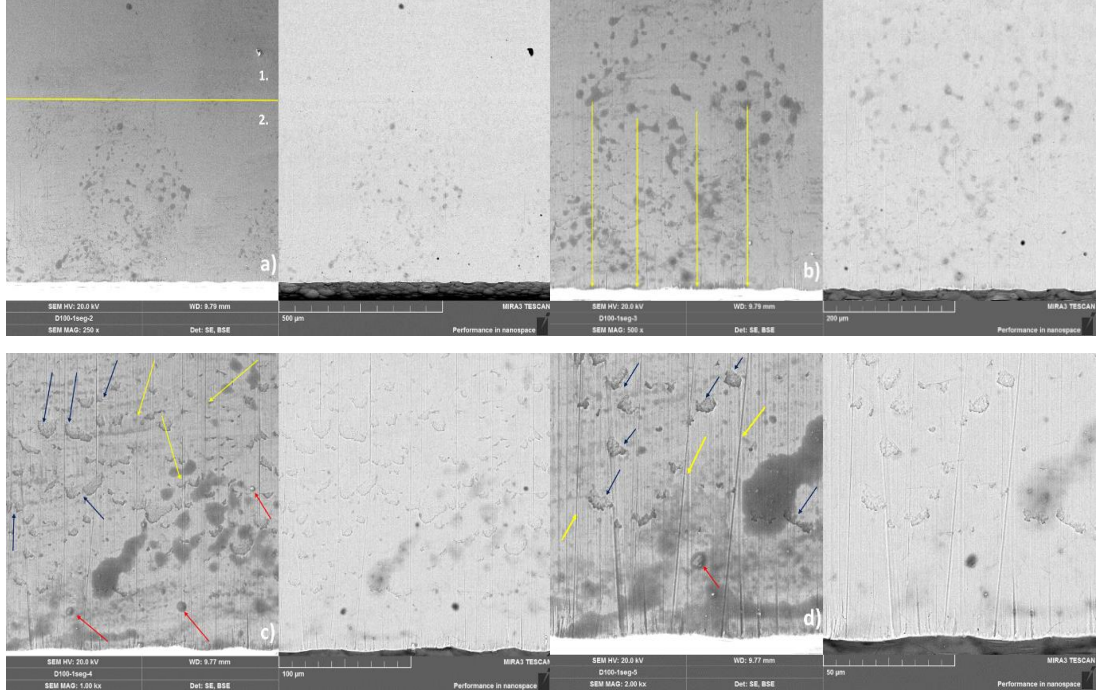
Şekil 3.1 Çalışmamış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



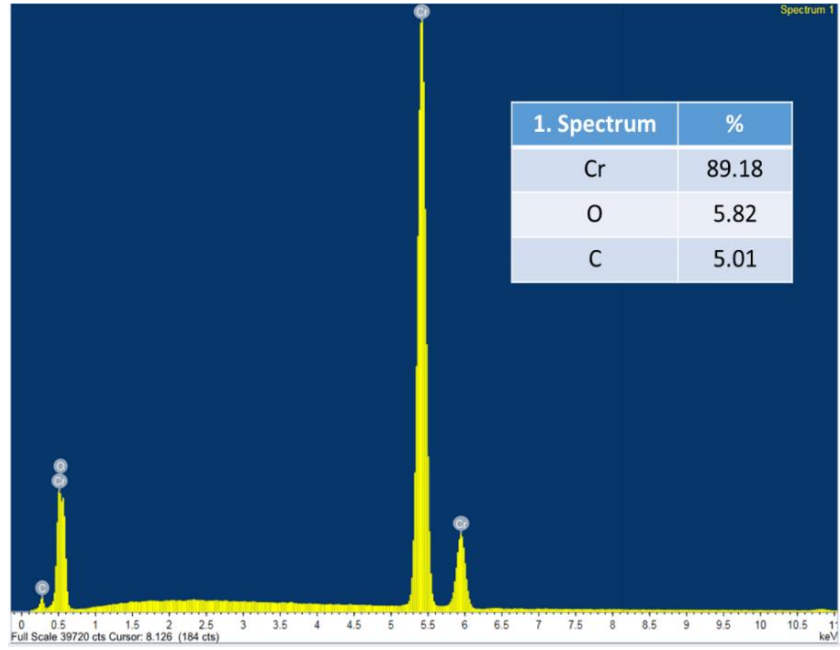
Şekil 3.2 Çalışmamış birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım

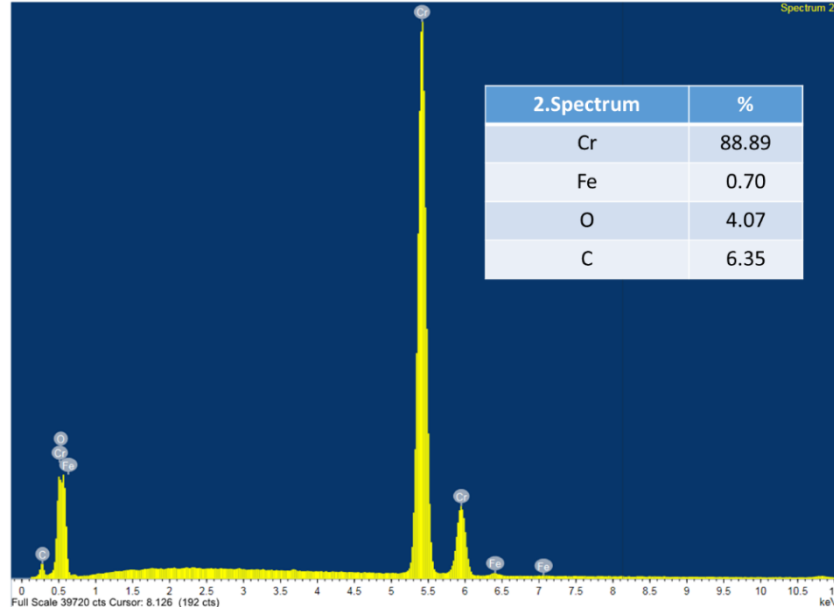
Şekil 3.3’de, D100 yakıtı kullanılan motorun birinci segmanına ait SEM/EDX görüntüleri bulunmaktadır. Çalışmamış segman yüzeyi ile kıyaslandığında, yüzey tribolojisinin oldukça değiştiği görülmektedir. Çalışmamış segman yüzeyinde belirli bir açıda verilen eksen çizgilerinin ve yüzey pürüzlüğünün, D100 yakıtlı motor çalışması neticesinde tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yüzey morfolojik

olarak incelendiğinde tıpkı çalışmamış segmanda olduğu gibi ağırlıkça Cr elementine daha çok rastlanmıştır. B10 yakıtlı çalışma ile kıyaslandığında, D100 yakıtlı çalışmada birinci segmanın bütün yüzeyine yayılan ve daha uzun gerçekleşen aşınma çizgilerine rastlanmıştır. D100 çalışmasının birinci segman yüzeyinde, abrazyon aşınmanın yanı sıra yorulma aşınması da görülmüştür. Abrazyon aşınmada sıklıkla çizgisel aşınma izlerine rastlanmıştır. D100 yakıtı ile çalışmış motorun birinci segmanın 250x büyütme SEM/EDX görüntüsü incelendiğinde, B10 çalışmasına kıyasla bütün yüzeylerde kısmen daha homojen dağılım görülsede lokal olarak farklı aşınma türlerine rastlanmaktadır. Bu sebeple aşınmaların yoğunluğu dikkate alınarak, segman yüzeyi iki farklı spektrumda incelenmiştir. Özellikle ikinci spektrum bölgesinde (sarı çizginin alt tarafı) uzunluğu maksimum 385.97 μm ile 383.12 μm aralığında değişen çok fazla sayıda çizgisel aşınma türüne (500x büyütmede ki sarı oklar) rastlanmıştır. Yine segmanın bu bölgesinde lokal mikro kaynamaların olduğu (1000x büyütmede kırmızı oklar) görülmüştür. Ayrıca, yorulma aşınmasına bağlı olduğu düşünülen yerel oyuklara da (1000x ve 2000x büyütmede mavi oklar) yine bu bölgede daha fazla rastlanmıştır. Aşınmada görülen bu farklılıkların sebeplerinden biri olarak, B10 yakıtına kıyasla D100 yakıtının sahip olduğu yüksek kalorifik değer gösterilebilir. Çünkü yakıtın yüksek kalorifik değer ile artan silindir içi basınç ve sıcaklık dağılımları, yağlama yağının davranışlarını etkilemektedir. Özellikle yağlama yağı viskozitesindeki azalmalar, yağ film kalınlığının zayıflamasına ve beraberinde aşınmaların artmasına neden olabilir. Bununla yanı sıra, D100 yakıtının B10 yakıtına kıyasla sahip olduğu yüksek karbon içeriğinin, yanma safhasında daha fazla is oluşumlarını tetiklediğini ve bunun da yağlama yağı özelliklerini bozarak yağ film kalınlığının zayıflamasına ya da kopmasına neden olabileceğini söyleyebiliriz. Şekil 3.4’de, D100 yakıtı ile çalışmış birinci segman yüzeyine ait EDX analizi görülmektedir.



Şekil 3.3 D100 yakıtı ile çalışmış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü

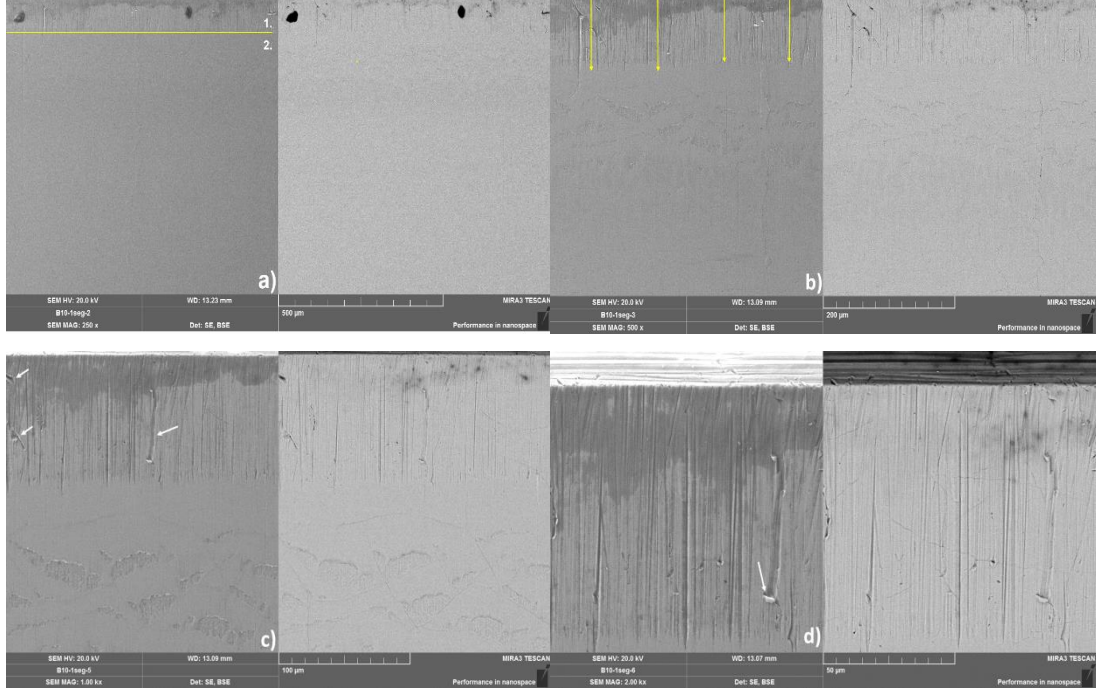




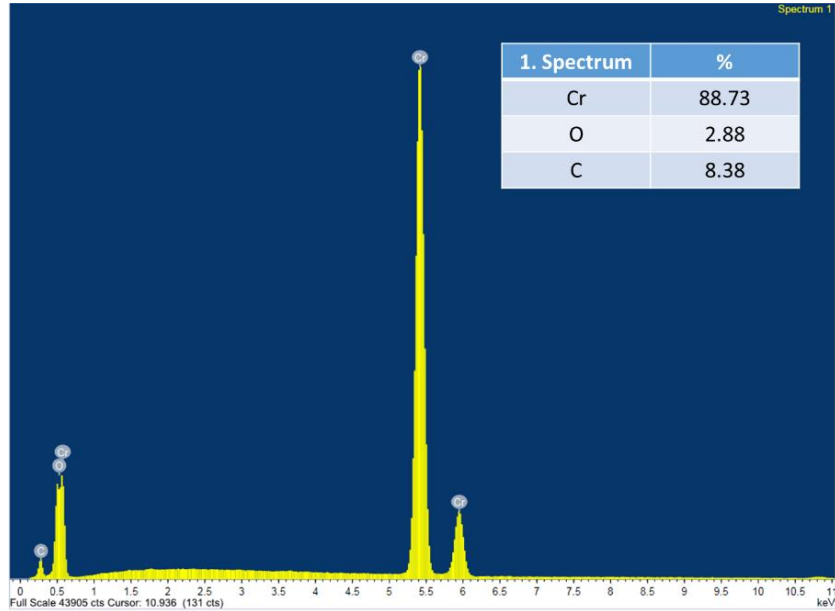
Şekil 3.4 D100 yakıtlı çalışma sonunda birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım

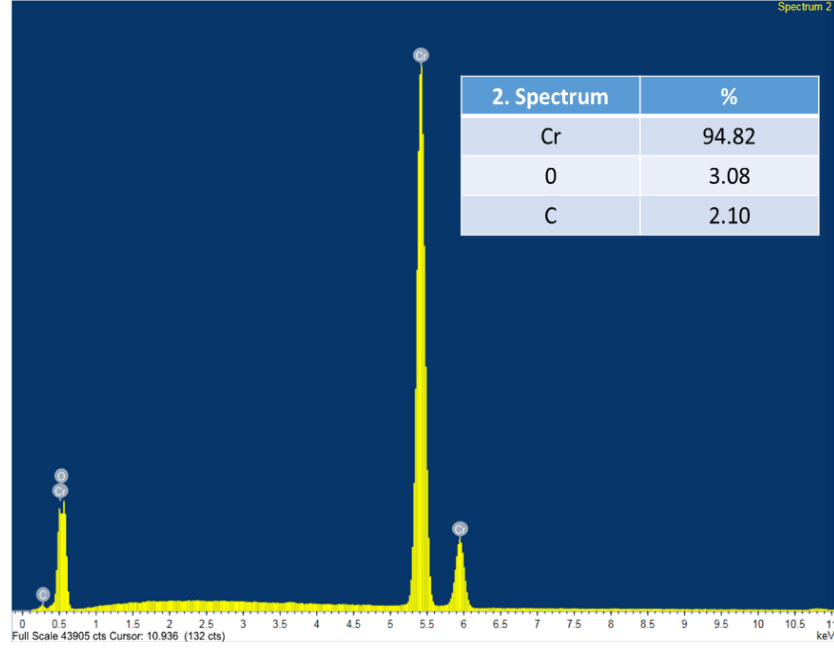
Şekil 3.5’te, ise B10 yakıtı ile çalışmış motora ait birinci segmanın 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX analizleri görülmektedir. SEM/EDX görüntülerinde, aşınma çizgilerinin görülme sıklığı, uzunluğu ve yoğunluklarına bakılarak yorumlar yapılmıştır. D100 çalışmasında olduğu gibi, B10 çalışmasında da üretim aşamasında oluşturulan açılal eksen çizgilerinin ve yüzey pürüzlüğünün tamamen kaybolduğunu söyleyebiliriz. B10 çalışmasında birinci segman yüzeyinin EDX sonuçları incelendiğinde, yüzey morfolojik dağılımlarının orijinal ve D100 çalışmasına kıyasla çok fazla değişmediği görülmektedir. B10 yakıtı ile çalışmış birinci segmanın 250x, 500x, 1000x ve 2000x büyütme görüntüleri incelendiğinde, yoğunlukla abrazif aşınma çizgilerine rastlanmıştır. B10 yakıtı ile çalışmış birinci segmanın 250x büyütme SEM/EDX görüntüsü incelendiğinde, genel olarak iki bölge bir oluşum görülmektedir (sarı çizgi bu iki farklı alanı birbirinden ayırmaktadır). Birinci spektrum (1.) bölgesinde, uzunluğu maksimum 85.97 μm ile 82.18 μm aralığında değişen çok fazla sayıda çizgisel aşınma (500x büyütmede görülen sarı oklar) türüne rastlanmıştır. Aynı zamanda, birinci segmanın üst bölgelerinde lokal kazımların oluştuğu (1000x büyütmede görülen beyaz oklar) görülmektedir. Burada, silindir cidarına kaynaklı mikro partikül maddelerin segman yüzeyinde kazımaya neden olabileceği yorumlanmaktadır. Birinci segmanın maruz kaldığı yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle, yağlama yağı kalınlığının bu bölgelerde düşmesi ya da tamamen kaybolması beraberinde aşınma yoğunluğunu da getirmektedir. Motorine kıyasla,

etanolün düşük ısıl değerin bir sonucu olarak azalan indike basınç ve sıcaklıkların, aşınma derecelerini önemli derecede etkilediğini söyleyebiliriz. Şekil 3.6’da, B10 yakıtı ile çalışmış birinci segman yüzeyine ait EDX dağılımı görülmektedir.



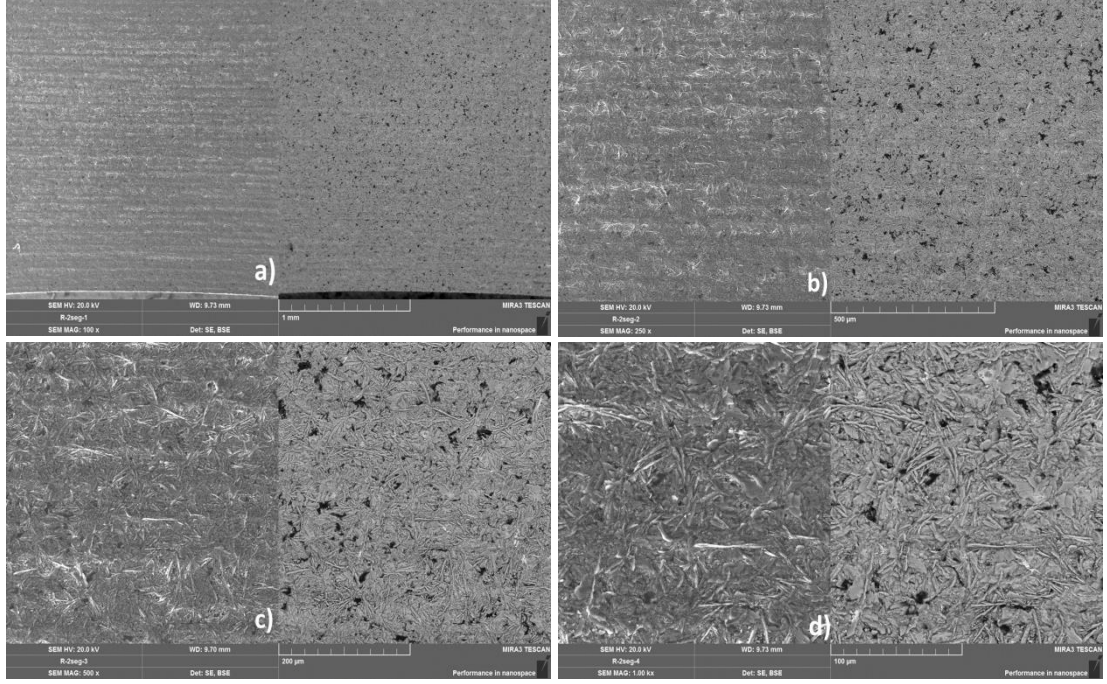
Şekil 3.5 B10 yakıtı ile çalışmış birinci segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



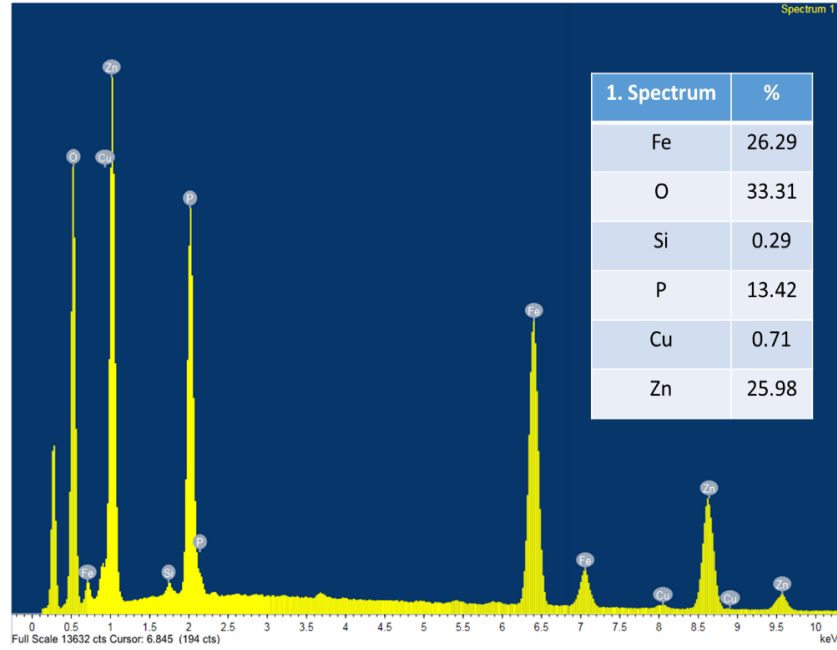


Şekil 3.6 B10 yakıtlı çalışma sonunda birinci segman yüzeyindeki elemental dağılım

Çalışmanın bu bölümünde, ikinci segman analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmamış ikinci segman ve iki farklı yakıt ile çalışmış motorlardan sökülen ikinci segmanların SEM/EDX analizleri 100x (a), 250x (b), 500x (c) ve 1000x (d) büyütmede gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7’de çalışmamış segmana ait farklı büyütmelerde SEM/EDX görüntüleri görülmektedir. Motorlarda birinci segmanın yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalmaları nedeniyle yüzey morfolojisi, ikinci segmandan oldukça farklıdır. İkinci segmanların tamamında, yapılan EDX analizlerinde yüzeylerin grafitli dökme demirden oluştuğu görülmektedir. Çalışmamış segmanın bütün yüzeyleri homojen kabul edilerek bütün yüzeyin tek bir spektrumda yüzeyi incelenmiştir. Yağın yüzey üzerinde tutunmasını arttırmak amacıyla bir yüzey pürüzlüğünü kazandırıldığı da görülmektedir. Şekil 3.8’de ise çalışmamış segman yüzeyine ait EDX analizi görülmektedir.



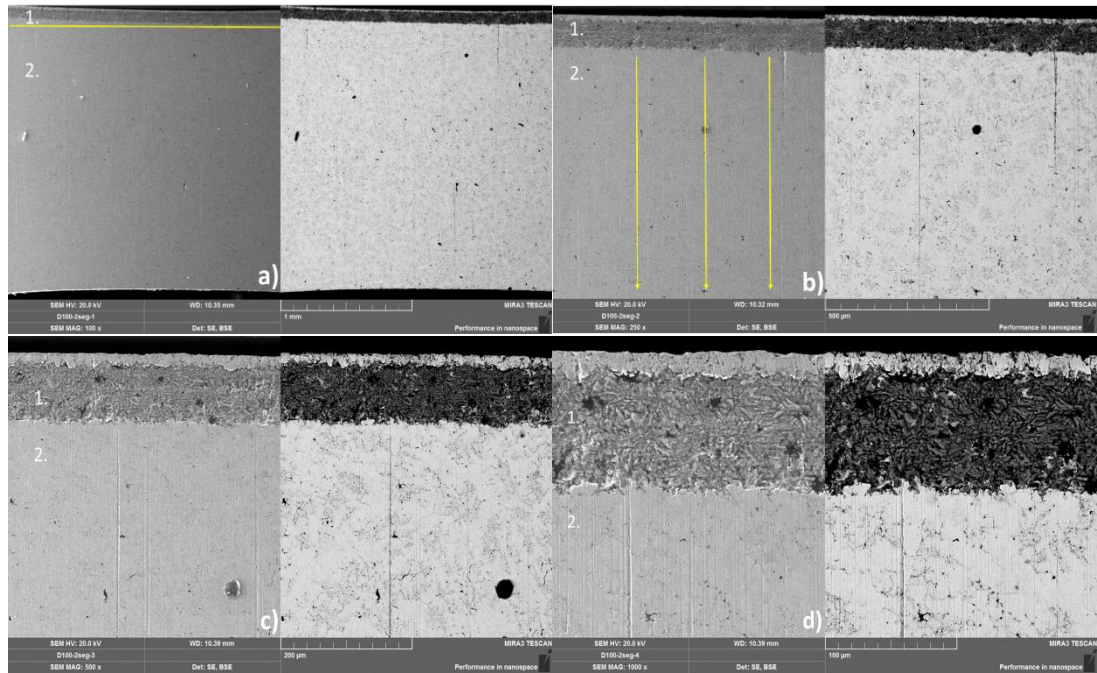
Şekil 3.7 Çalışmamış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 500x (c) ve 1000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



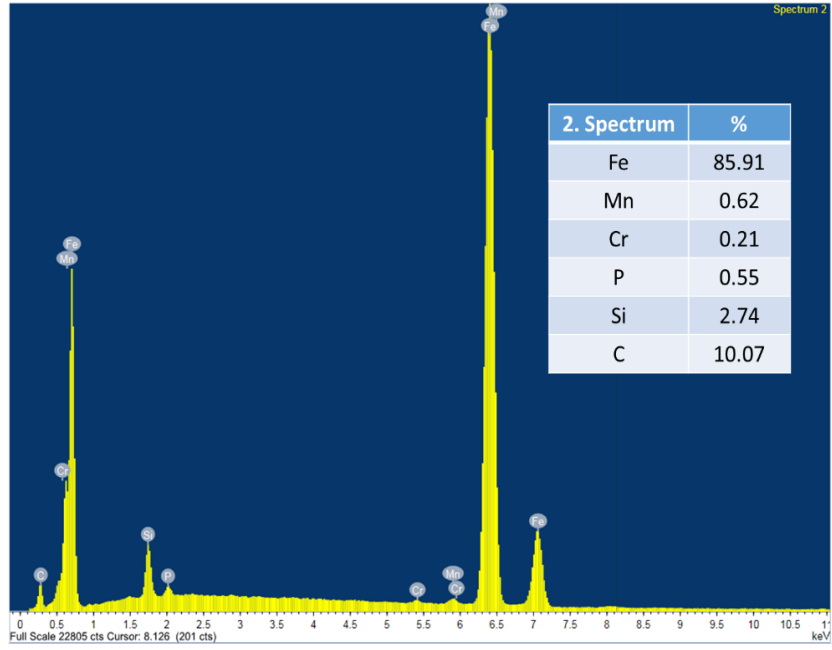
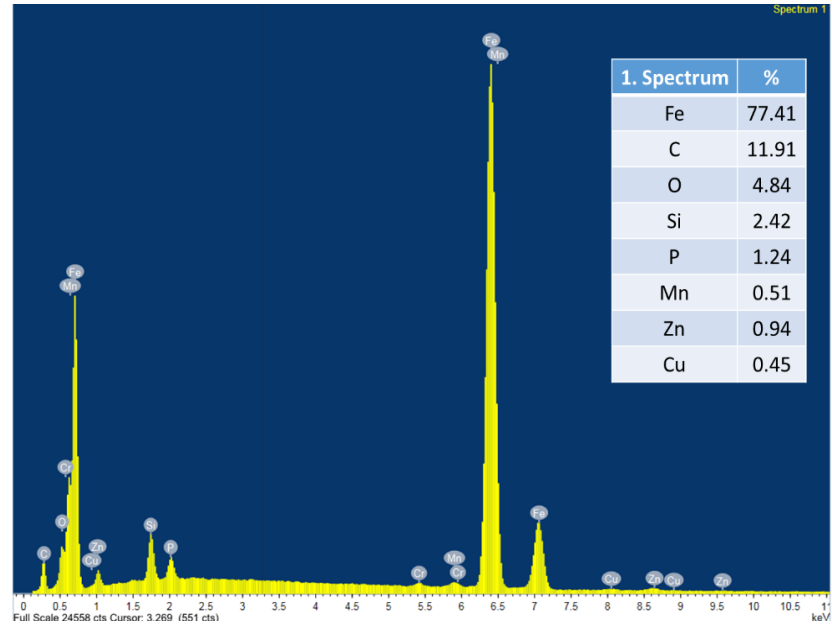
Şekil 3.8 Çalışmamış ikinci segman yüzeyindeki elemental dağılım

Şekil 3.9’da, D100 yakıtı ile 110 saat çalıştırılmış motorun ikinci segman SEM/EDX analizleri görülmektedir. Yüzey tribolojik olarak incelendiğinde, iki bölgeyi bir yapının ortaya çıktığı görülmektedir. 2. bölge (sarı çizginin alt kısmı) yanma odasına yakın olan kısmı temsil ederken, 1. bölge (sarı çizginin üst kısmı) segmanın alt kısmını

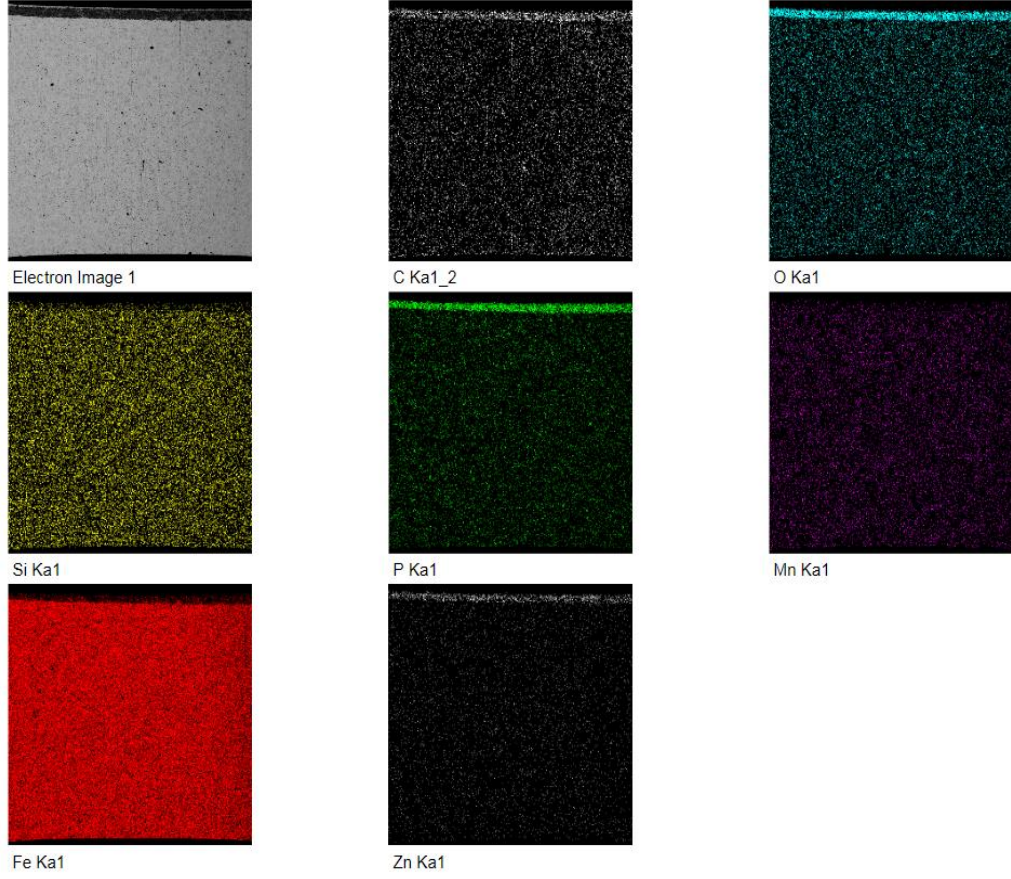
gösterir. 1.bölgede çalışmamış segman yapısında görülen gözenekli yapı daha baskın iken, diğer bölgede daha çok parlama ve abrasif aşınma çizgilerine rastlanmıştır. Segmanın üst bölgelerinde birinci segman yüzeyine benzer aşınma davranışları görülürken, alt bölgelere doğru bu etkinin kaybolduğu görülmüştür. Segman yüzeyi tribolojik olarak incelenirse, düzenli aralıklarla oluşan abrasif aşınma çizgilerine rastlanmıştır. Bu aşınma çizgilerinin pistonun hareketi yönünde gerçekleştiği görülmüştür. 1. bölgede ağırlıkça %77.41 oranında en fazla Fe elementine rastlanırken, 2. bölgede bu oran %85.91 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.10'da D100 yakıtı ile çalışmış ikinci segman yüzeyine ait EDX analizi görülmektedir. Elementlerin dağılım oranlarına bakıldığında, 1. bölgede yoğunlaşan C, O, Zn, Mn ve P elementleri dikkat çekmektedir. Bu sonuç, yağlama yağının bu bölgedeki varlığının da bir göstergesi olarak düşünülmektedir. Şekil 3.11'de ise, D100 yakıtı ile çalışmış ikinci segman yüzeyine ait elemental harita görülmektedir.



Şekil 3.9 D100 yakıtı ile çalışmış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 500x (c) ve 1000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



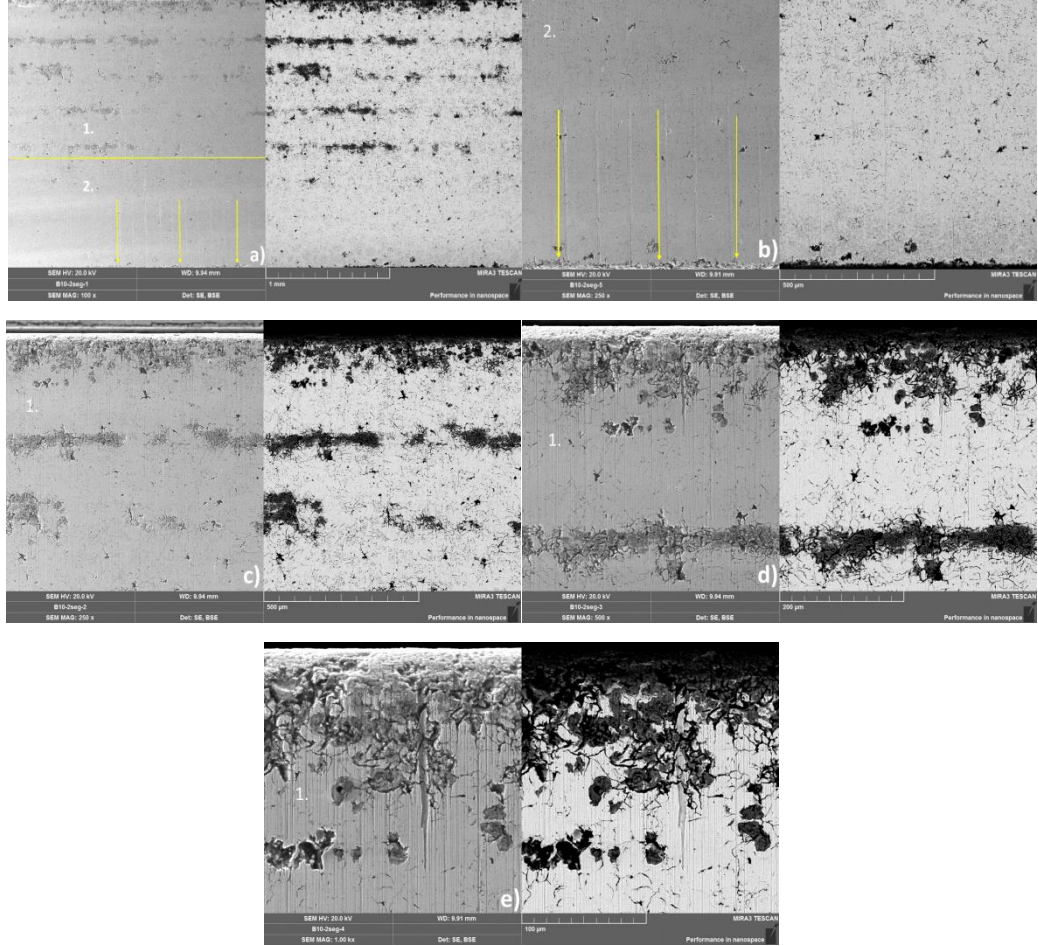
Şekil 3.10 D100 yakıtı ile çalışmış ikinci segman yüzeyindeki elemental dağılım



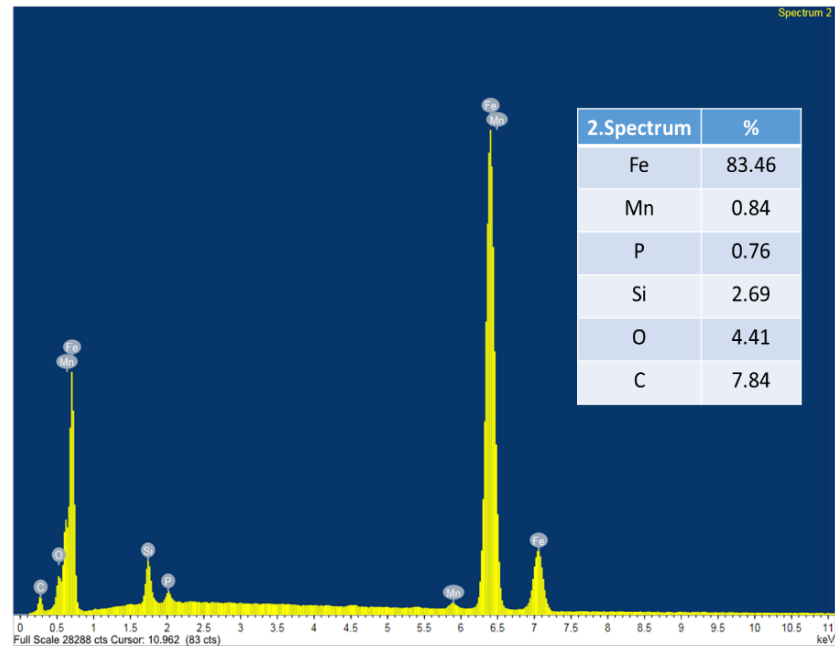
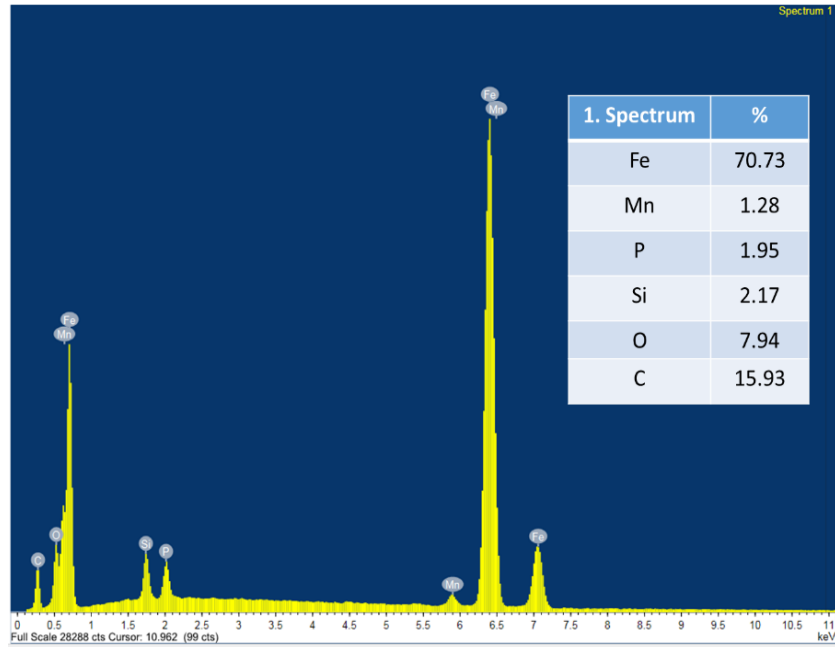
Şekil 3.11 D100 yakıtlı çalışmada, motorun ikinci segmanına ait elemental harita

Şekil 3.12’de, B10 yakıtı ile 110 saat çalıştırılmış motorun ikinci segmanına ait SEM/EDX analizleri görülmektedir. Yüzey tribolojik olarak incelendiğinde, tıpkı D100 çalışmasında olduğu gibi iki bölgeyi bir yapının ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak, 2. bölge (sarı çizginin alt kısmı) sınırının değiştiği ve yerel farklılıkların olduğu görülmektedir. D100 çalışmasına kıyasla, 1. bölgede çalışmamış segman yapısında görülen gözenekli yapının daha fazla alanda olduğu görülürken, diğer bölgede yine parlama ve abrasif aşınma çizgilerine rastlanmıştır. Segmanın üst bölgelerinde tıpkı birinci segman yüzeyindeki gibi aşınma davranışları görülürken, alt bölgelere doğru bu etkinin kademeli olarak kaybolduğu görülmüştür. Bu husus, B10 çalışmasında ikinci segmanın daha az aşındığının da bir göstergesi olmaktadır. Nitekim, segman yüzeyi tribolojik olarak incelenirse, düzenli aralıklarla oluşan abrasif aşınma çizgilerinin olduğu 2. bölgenin daha sınırlı olduğu görülmektedir. Yine bu aşınma çizgilerinin pistonun hareketi yönünde gerçekleştiğini söyleyebiliriz. 1. bölgede ağırlıkça %70.73 oranında en fazla Fe elementine rastlanırken, 2. bölgede bu oran %83.46 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.13’de B10 yakıtı ile çalışmış ikinci segman yüzeyine ait EDX analizi görülmektedir. Elementlerin dağılım oranlarına

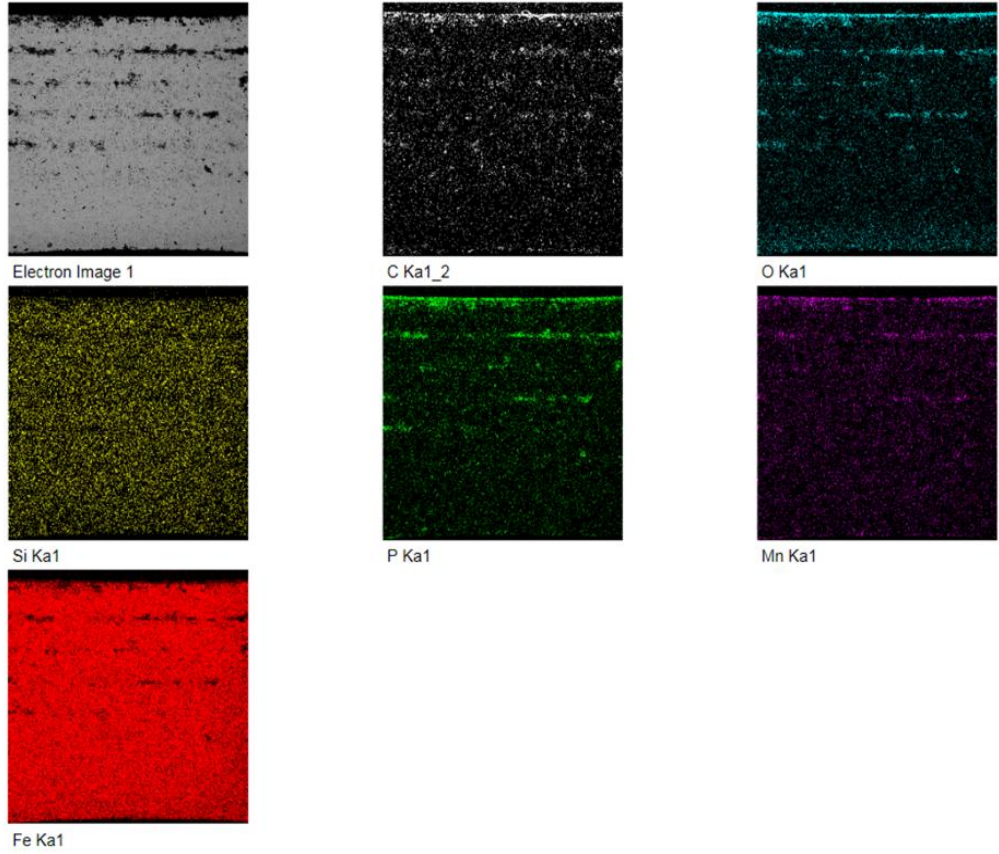
bakıldığında, D100 yakıt çalışmasına kıyasla daha geniş bir alana yayılan C, O, Mn ve P elementleri tespit edilmiştir. Bu sonuç, yağlama yağının daha geniş bir yüzeyde etkili olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.14’de ise, B10 yakıtı ile çalışmış ikinci segman yüzeyine ait elemental harita görülmektedir.



Şekil 3.12 B10 yakıtı ile çalışmış ikinci segmana ait 100x (a), 250x (b), 250x (c), 500x (d) ve 1000x (e) büyütme SEM/EDX görüntüsü

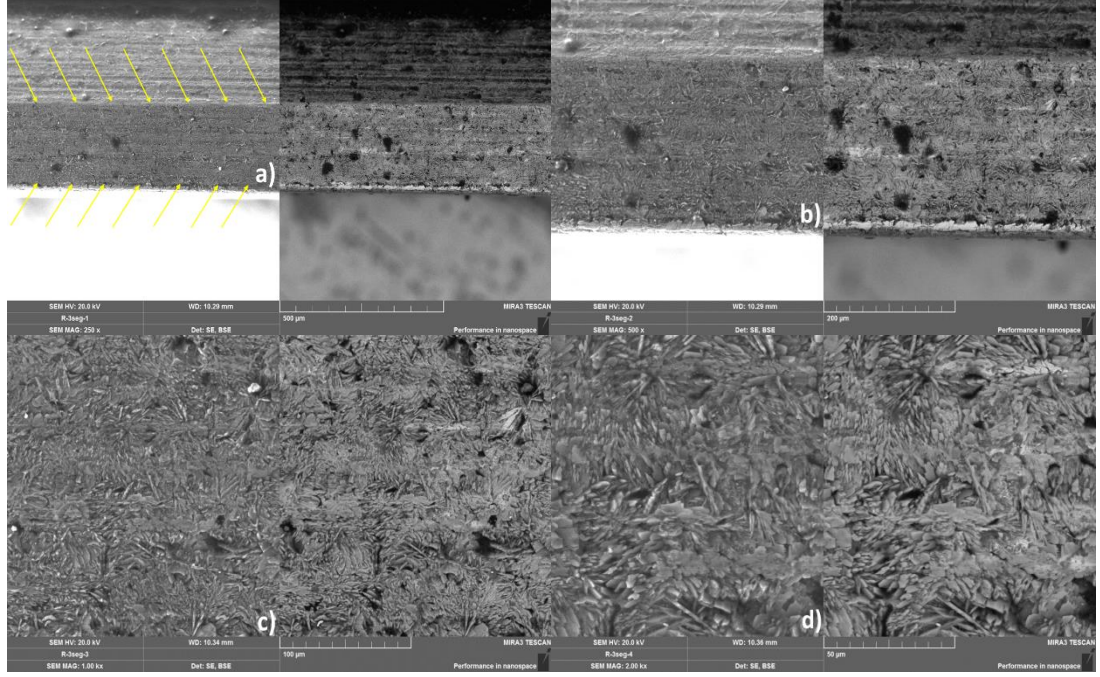


Şekil 3.13 B10 yakıtı ile çalışmış ikinci segment yüzeyindeki elemental dağılım

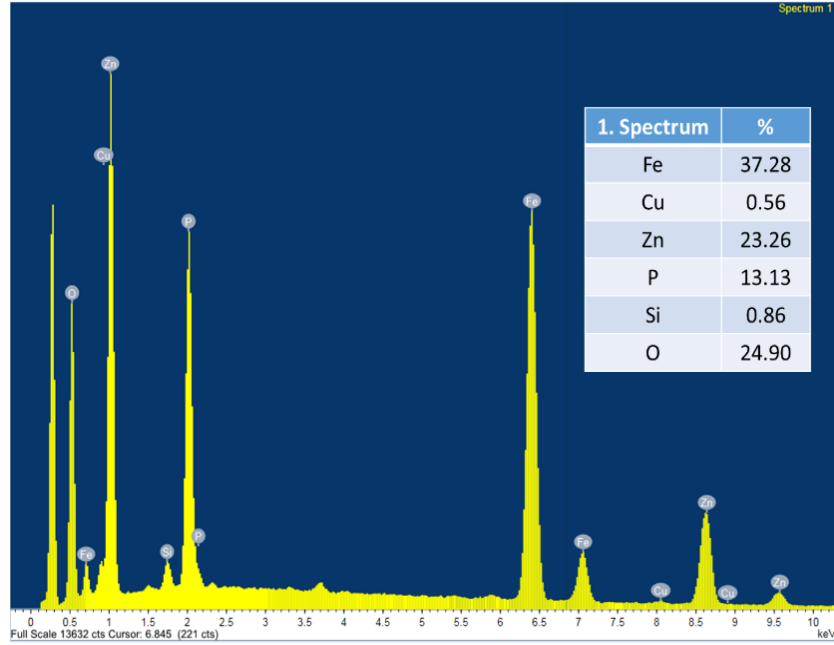


Şekil 3.14 B10 yakıtlı çalışmada, motorun ikinci segmanına ait element harita

Çalışmanın bu bölümünde, üçüncü segman analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmamış üçüncü segman ve iki farklı yakıt ile çalışmış motorlardan sökülen üçüncü segmanların SEM/EDX analizleri 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütmede gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15'te çalışmamış segmana ait farklı büyütmelerde SEM/EDX görüntüleri görülmektedir. Yapılan EDX analizlerinde, üçüncü segmanların grafitli dökme demirden oluştuğu görülmektedir. Çalışmamış segmanın bütün yüzeyleri homojen kabul edilerek bütün yüzeyin tek bir spektrumda yüzeyi incelenmiştir. Üçüncü segmanda da yağın yüzey üzerinde tutunmasını artırmak amacıyla, üretim aşamasında segmana bir yüzey pürüzlüğünün verildiği görülmektedir. Şekil 3.16'da ise çalışmamış segman yüzeyine ait EDX analizi görülmektedir.



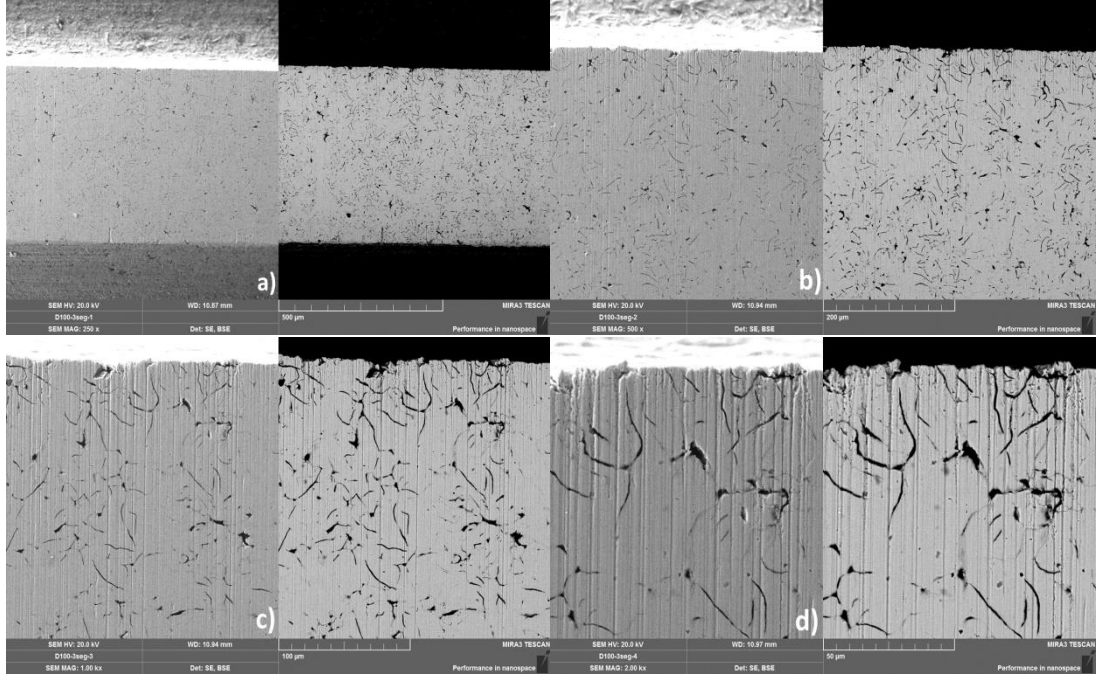
Şekil 3.15 Çalışmamış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



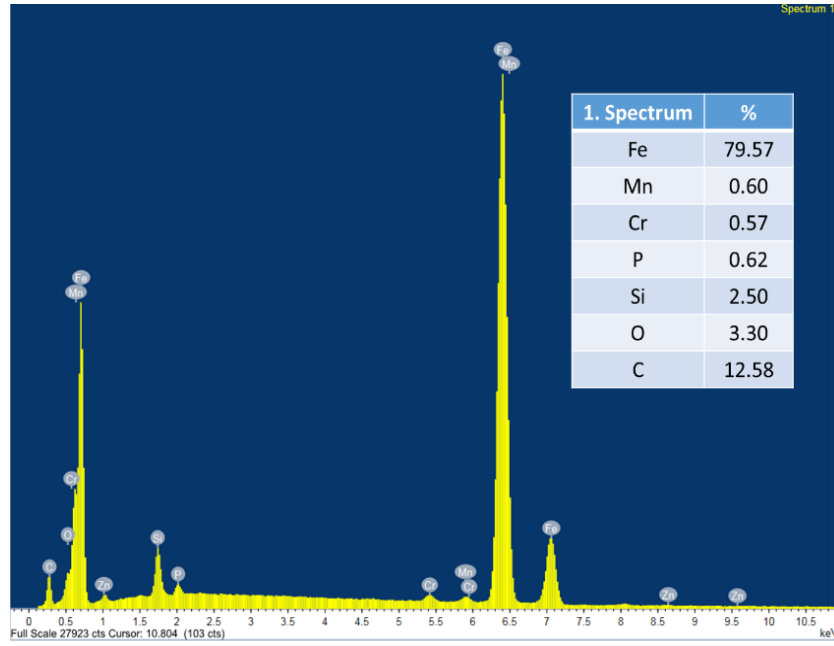
Şekil 3.16 Çalışmamış üçüncü segman yüzeyindeki elemental dağılım

Üçüncü segman üzerindeki basınç ve sıcaklığın birinci ve ikinci segmana kıyasla etkisini düşürmesi, yüzey aşınma derecelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Aynı zamanda, bu segmanların yağlayıcı özelliği ile aşınma derecesinin diğer segmanlara kıyasla daha az olması beklenmektedir. Şekil 3.17’de, D100 yakıtı ile çalışmış

motordan sökülen üçüncü segmanın farklı büyütmelerde SEM/EDX görüntüleri görülmektedir. Tıpkı ikinci segmanlarda olduğu gibi, yüzey pürüzlülüğünün azalarak, pistonun hareketi yönünde abrasif aşınma çizgilerinin belirgin olduğu görülmektedir. Üçüncü segman ile cidar arasındaki yağlama yağı film kalınlığının diğer segmanlara kıyasla daha fazla olması aşınma derecesini sınırlı kılmıştır. Şekil 3.18’de, yüzeyde bulunan elementlerin ağırlıkça dağılım oranları görülmektedir. Yüzeyde, çalışmamış segmana kıyasla daha yüksek Fe elementine rastlandığı tespit edilmiştir.

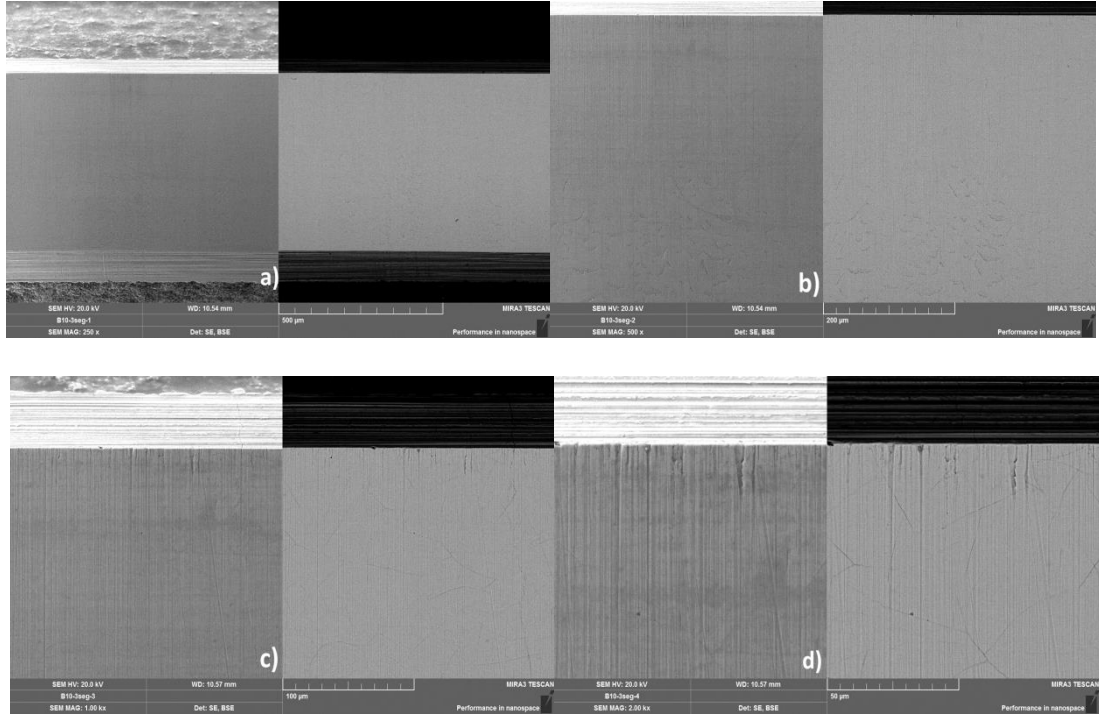


Şekil 3.17 D100 yakıtı ile çalışmış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü

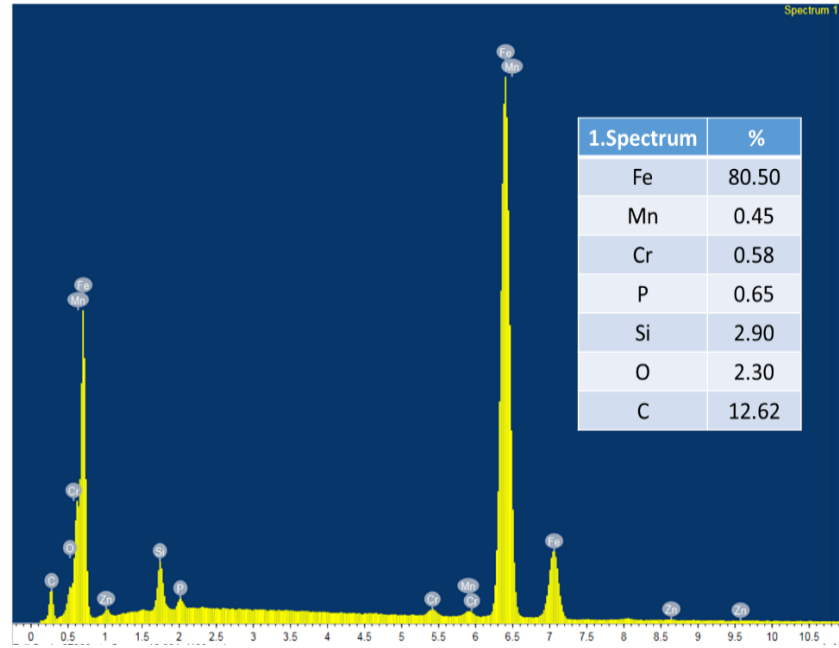


Şekil 3.18 D100 yakıtı ile çalışmış üçüncü segman yüzeyindeki elemental dağılım

Motorlarda maksimum basınç ve sıcaklığın azalması yüzey aşınma derecelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Nitekim birinci ve ikinci segmanlarda olduğu gibi üçüncü segmanda da, B10 yakıtının kullanılması etkili olmuştur. Şekil 3.19’da, B10 yakıtı ile çalışmış motordan sökülen üçüncü segmanın farklı büyütme ölçeklerinde SEM/EDX görüntüleri görülmektedir. İkinci segmanlarda olduğu gibi üçüncü segmanda da, pistonun hareketi yönünde abrasif aşınma çizgilerinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu aşınma çizgilerinin, D100 yakıtlı motorun üçüncü segmanına kıyasla daha sınırlı sayıda ve derinlikte olduğu görülmektedir. Şekil 3.20’de, yüzeyde bulunan elementlerin ağırlıkça dağılım oranları görülmektedir. Yüzeyde, çalışmamış ve D100 yakıtlı üçüncü segmana kıyasla daha yüksek oranda (%80.50) Fe elementine rastlanmıştır.



Şekil 3.19 B10 yakıtı ile çalışmış üçüncü segmana ait 250x (a), 500x (b), 1000x (c) ve 2000x (d) büyütme SEM/EDX görüntüsü



Şekil 3.20 B10 yakıtı ile çalışmış üçüncü segman yüzeyindeki elemental dağılım

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması içten yanmalı dizel bir motorda hacimsel olarak D100 ve B10 yakıtları kullanımının motor tribolojisi ve yağlama yağı üzerindeki etkilerini içermektedir. Çalışma kapsamında bu yakıtların kullanılması ile numunelerin fiziksel, kimyasal, tribolojik, morfolojik ve elemental analizleri gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler tablolarla sunulmuştur. Bu çalışmada sonuç olarak, farklı yakıtların motor yağlama yağına ve tribolojisine etkisi incelendiğinde, motorda biyoetanol karışımı yakıt kullanımı sonucu motor yağında daha fazla aşınma elementlerine rastlanmıştır. Motor yağlama yağına yapılan fiziksel ve kimyasal analizlerde ise D100 yakıtına kıyasla, B10 yakıtının parlama noktası, kül içeriği, TAN değeri yüksek olup; yoğunluk ve kinematik viskozite değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Uzun süreli dayanım testi sonucunda parlama noktası verilerine göre motorinin yağlama yağı içerisine daha fazla karışmış olabileceği bulgularına rastlanmıştır. Motorinin iyi bir yağlayıcı özelliğe sahip olması nedeniyle D100 yakıtında daha az aşınmalar görülmüştür. Biyoetanol ise daha az karışmış olmasına rağmen korozyif ve düşük yağlayıcılık özelliklerine sahip olmasından dolayı daha fazla aşınma elementi oluşturmuştur. Bu korozyif özellik aynı zamanda TAN değerine de yansımış B10 TAN değeri D100 yakıtına kıyasla daha yüksek sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda, biyoetanol çalışmasındaki daha fazla element kalıntısı kül içeriği değerinin de daha fazla çıkmasına sebep olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Deniz, E., Yeşilören, G., Özdemir, N., İşçi, A.** (2015). Türkiye’de gıda endüstrisi kaynaklı biyokütle ve biyoyakıt potansiyeli, *Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 47-54.
- [2] **Üstün, G.E. ve Genç, B.** (2015). Biyoyakıtların Dünyada ve Türkiye'deki durumu. *Ziraat Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi*, 29 (2), 157-164.
- [3] **Karaosmanoğlu, F., Özgülsün, A. ve Bayraktar, L.** (1995). Yağlama yağları, *Mühendis ve Makina*, 429, 26-31.
- [4] **Tasyürek, M.** (2005). Palm ve Aspir Biyomotorininde Depolama Süresi ve Sartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bil. Ens.Mak. Egt., Anabilim Dalı*, (Yüksek Lisans Tezi). 101s, Konya.
- [5] **İşler, A. ve Karaosmanoğlu, F.** (2007). Yakıt alkolü: Mevcut durumu ve geleceği, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 123-132.
- [6] **Farhanah, A. N., Syahrullail, S.** (2015). Tribological performance of raw and formulated RBD palm kernel with ZDDP additive, 190-195.
- [7] **Balcı, A. B.** (2017). Biyoetanol ile menengiç biyodizelinin motorinle karışımlarının dizel motorda performans, egzoz emisyonları ve yağlama yağına etkilerinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Doktora Tezi). 150s, Konya.
- [8] **Akımerdem, F.** (2014). Biyoyakıtların Türkiye Açısından Önemi ve Tarım ve Enerji Sektörüne Etkisi, *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, Samsun.
- [9] (<<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>>) alındığı tarih: 15.08.2021
- [10] **Adıgüzel, A. O.** (2013). Biyoetanolün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal*, 204-220
- [11] **Shafi, W. K., Charoo, M. S.** (2020). Avocado oil mixed with an antiwear additive as a potential lubricant – Measurement of antiwear and extreme pressure properties, *Mechanical Engineering Science*, 1-12.
- [12] **Akalın, B., Seyrekbasan, A., M.** (2015). Dünyadaki biyoetanol bolitikalarının Türkiye koşulları ile karşılaştırmalı incelenmesi ve Türkiye şartlarına uygunluk açısından biyoetanol üretiminde kullanılan hammaddelerin değerlendirilmesi, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi* 157-168
- [13] **İllez, B.** (2020). Türkiye’nin Enerji Görünümü 2020, *Oda raporları*, 717, 317-346, ISBN: 978-605-01-1367-9, Ankara.
- [14] Türkiye Biyokütle Enerji Atlası BEPA - <<https://bepa.enerji.gov.tr/>> Alındığı tarih: 15.08.2021

[15] **Patel, C., et. al.** (2019). Comparative compression ignition engine performance, combustion, and emission characteristics, and trace metals in particulates from Waste cooking oil, Jatropha and Karanja oil derived biodiesels, *Fuel*, 236, 1366-1376.

[16](<https://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2085/biyoetanol-uretim-tesisi>)
Alındığı tarih: 15.08.2021

[17] **Kara, F.** (2007). Hatz E-673 marka yükleme düzenekli dizel motorunda (megapower mp-3 system) biyodizel'in kullanılması, performans testleri ve motorine göre kıyaslayarak yağlama yağına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, *Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). 126s, İstanbul.

[18] **Özkan, D.** (2016). Motor Yağları Katkı Maddelerinin Segman-Silindir Yüzeylerinin Aşınmalarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Doktora Tezi). 337s, İstanbul.

[19] **Halis, S.** (2016). Araç kullanım sürelerinin motor yağ viskozitesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, , *Pamukkale Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi). 51s, Denizli.

[20] **Aydın, F.** (2014). E-B Motorin yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansına, emisyonlara ve yağlama yağına etkileri, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Doktora Tezi). 114s, Konya.

[21] **Eskici, B.** (2019). Dizel bir motorda biyodizel yakıt kullanımının yanma prosesi ve motor tribolojisi üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). 121s, Sivas.

[22] **Gökalp, B., Saraç H. İ., Çelik, C.** (2007). Yağ analiz programı ile aşınmaya bağlı hasar analizi. University of Kocaeli, Department of Mechanical Engineering, Veziroğlu Campus, İzmit, Turkey.

[23] **Öncü, G.** (2019). Atık bitkisel yağ metil esterlerinin yağlama yağı olarak değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Makina Mühendisliği*, (Doktora Tezi). 158s, Isparta.

[24] **Demirtaş, S.** (2017). İçten yanmalı motorda üst ölü noktada meydana gelen aşınma mekanizmalarının deneysel olarak incelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi). 89s, İstanbul.

[25] **Evrensel, D.** (2021). Pdv tekniği kullanılarak farklı seramik malzemelerle kaplanmış segmanların aşınma davranışlarının incelenmesi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi). 82s, Samsun.

[26] **Kwanchareon, P., Luengnaruemitchai, A. ve Jai-In, S.** (2007). Solubility of a dieselbiodiesel- ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine, *Fuel*, 86 (7-8), 1053-1061.

- [27] **Nagdeote D., Deshmukh M.** (2012). Experimental Study of Diethyl Ether and Ethanol Additives with Biodiesel-Diesel Blended Fuel Engine, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2, 3.
- [28] **Peterson, L.C., et.al.** (1996). Performance and Durability Testing of Diesel Engines Using Ethyl and Methyl Ester Fuels, for the National Biodiesel Board, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho, Moscow, Idaho.
- [29] **Alakel, H.** (2008). Bir dizel motorda biyodizel, dizel ve etanolün motor performansına etkilerinin İncelenmesi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). 112s, Hatay.
- [30] **Guido, C., Beatrice, C. ve Napolitano, P.** (2013). Application of bioethanol/RME/diesel blend in a Euro5 automotive diesel engine: Potentiality of closed loop combustion control technology, *Applied Energy*, 102, 13-23.
- [31] **Roy, M. M., Calder, J., Wang, W., Mangad, A. ve Diniz, F. C. M.** (2016). Cold start idle emissions from a modern Tier-4 turbo-charged diesel engine fueled with dieselbiodiesel, diesel-biodiesel-ethanol, and diesel-biodiesel-diethyl ether blends, *Applied Energy*, 180, 52-65.
- [32] **Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Azad, A. K., Mamat, R. ve Bhuiya, M. M. K.** (2016). Role of biofuel and their binary (diesel-biodiesel) and ternary (ethanolbiodiesel- diesel) blends on internal combustion engines emission reduction, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 53, 265-278.
- [33] **Praptijantoa A., Muharama A., NuR A., Putrasari Y.** (2015). Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool, *Energy Procedia*, 68, 345–354.
- [34] **Sezer İ.** (2017). Dizel yaktına etanol ve dietil eter katılmasının motor performansı ve emisyonlara etkilerinin deneysel incelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 37, 1, 61-68.
- [35] **Özçelik, A.E.** (2011). Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi (Doktora Tezi). 117s, Konya.
- [36] **Niyet, M.** (2009). Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor aşınmasına olan etkilerinin incelenmesi, *Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Yüksek Lisans Tezi). 59s, Kütahya.
- [37] **Salman, Ö.** (2011). Yağlama yağı için bitkisel yağların ve esterlerinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi). 293s, Isparta.

- [38] **Dhar, A., & Agarwal, A. K.** (2014). Experimental investigations of effect of Karanja biodiesel on tribological properties of lubricating oil in a compression ignition engine, *Fuel*, 130, 112-119.
- [39] **Gopal, K. N., Raj, R. T. K.** (2015). Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine, *School of Mechanical & Building Sciences*, VIT University, Vellore 632014, Tamil Nadu, India.
- [40] **Agarwal, A. K., Bijwe, J. ve Das, L. M.,** (2003). Wear assessment in a biodiesel fueled compression ignition engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 125, 820-826.
- [41] **Yılmaz, H.** (2018). Otomobil motorlarında aşınmayı önleme yöntemlerinin deneysel araştırılması *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans). 95s, Isparta.
- [42] **Cesur, İ.** (2008). Farklı yakıt karışımlarının segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). 110s, Sakarya.
- [43] **Ameen, N. H.** (2017). Soya yağı ve kullanılmış kızartma yağı yağ asiti metil esterleri karışımlarının sınır yağlama şartlarında tribolojik özelliklerinin incelenmesi, *Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Yüksek Lisans Tezi). 79s, Isparta.
- [44] **Gulzar, M., et.al.** (2016). Effects of biodiesel blends on lubricating oil degradation and piston assembly energy losses, *Energy*, 111, 713-721.
- [45] **Kalam A., Masjuki Hj.H. and Mohamad E.N.** (2005). Wear and Lubrication Characteristics of a Multi-Cylinder Diesel Engine Using Vegetable Oil Blended Fuel, World Tribology Congress III, Washington, D.C., USA, 12-16.
- [46] **İpek, R. ve Erdoğan,M.** (2006). Motor yağı takviyelerinin, aşınma mekanizmalarına etkisinin deneysel araştırılması, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ISSN - 1302 – 3055.
- [47] **Müjdecı, S.** (2009). İçten yanmalı motorda ticari yağ katkı maddelerinin sürtünme, aşınma ve motor performansına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, *Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı*, (Doktora Tezi). 196s, İstanbul.
- [48] **Keven, A.** (2013). Fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin tribolojik performansının incelenmesi, *Fırat Üniversitesi*, (Doktora Tezi). 117s, Elazığ.
- [49] **Habibullah, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A, Zulkifli, N. W. M., Masum, B. M., Arslan, A., Gulzar, M.** (2015). Friction and wear characteristics of Calophyllum inophyllum biodiesel, *Centre for Energy Sciences, Faculty of Engineering, University of Malaya*, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, 188–197.

- [50] **Thangarasu, V., et.al.** (2019). Experimental investigation of tribo-corrosion and engine characteristics of Aegle Marmelos Correa biodiesel and its diesel blends on direct injection diesel engine, *Energy*, 171, 879-892.
- [51] **Fazal, M. A., Haseeb, A. S. M. A., Masjuki, H. H.** (2013). Investigation of friction and wear characteristics of palm biodiesel, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, 251–256.
- [52] **Lenauer, C., Tomastik, C., Wopelka, T., Jech, M.** (2013). Piston ring wear and cylinder liner tribofilm in tribotests with lubricants artificially altered with ethanol combustion products, *Austrian Centre of Competence for Tribology*, 2700 Wiener Neustadt, Austria.
- [53] **Shahabuddin, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A.** (2013). Experimental investigation into tribological characteristics of biolubricant formulated from Jatropha oil, *Centre for Energy Sciences, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia*, 597 – 606.
- [54] **Mujtaba, M. A., Cho, H. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Farooq, M., Soudagar, M. E. M., Gul, M., Ahmed, W., Afzal, A., Bashir, S., Raju, V. D., Yaqoob, H., Syahir, A. Z.** (2021). Effect of alcoholic and nano-particles additives on tribological properties of diesel–palm–sesame–biodiesel blends. *Energy Reports*, 7, 1162-1171.
- [55] **Balakumar, R., Sriram, G., Arumugam, S.** (2018). Effect of Lubricant contaminated with Waste Ayurvedic Oil Biodiesel on Tribological Behavior of Cylinder Liner-Piston Ring Tribo pair Material, *cDepartment of Mechanical Engineering, Sri Chandrasekharendra Saraswathi Viswa Mahavidyalaya University*, 13220–13226.
- [56] **Erkan, M. F.** (2020). Tek silindirli bir dizel motorda kenevir yağının yağlama yağı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Yozgat Bozok Üniversitesi, Makine Mühendisliği*, (Yüksek Lisans Tezi). 115s, Yozgat.
- [57] **Sert, O.** (2019). Deniz yakıtlarının yağlama yağına karışması durumunda tall yağı asidi katkısının segman-silindir gömleği arasındaki sürtünme davranışlarına etkisinin incelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi). 117s, İstanbul.
- [58] **Malik, M.A.I., Usman, M., Hayat, N., Zubair, S.W.H., Bashir, R., and Ahmed, E.** (2021). Experimental evaluation of methanolgasoline fuel blend on performance, emissions and lubricant oil deterioration in SI engine. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-17.
- [59] **Hisham, S., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Noor, M.M., Amirruddin, A.K. Najafi, G. Rahman, M.M.** (2017). Waste cooking oil blended with the engine oil for reduction of friction and wear on piston skirt, *Fuel*, 205, 247-261.
- [60] **Dandu, M. S. R., & Nanthagopal, K.** (2019). Tribological aspects of biofuels—A review. *Fuel*, 258, 116066.

- [61] **Heredia-Cancino JA, Ramezani M, Álvarez-Ramos M.E.** (2018). Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures, *Tribology International*
- [62] **Suthisripok, T., Semsamran, P.** (2018). The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine, *Automotive Engineering Department, College of Engineering, Rangsit University, Thailand*, 397-409
- [63] **Yadav, G., Tiwari, S., Jain, M. L.** (2016). Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester, cShri G. S. Institute of Tecnology and Science, 23 Park Road, Indore 452010, India, 248-253
- [64] **Savaş, Ö.** (2017). İçten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasındaki yağlama yağına yakıt karışmasının aşınmaya etkilerinin incelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İstanbul*, 112-119.
- [65] **Liu, Z., Li, F., Shen, J., Wang, H.** (2019). Effect of oxidation of Jatropha curcas-derived biodiesel on its lubricating properties, Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China, 33-39.
- [66] **Çetin, Ö.** (2021). Nano-Grafen oksit katkılı motor yağının tribolojik özelliklerinin ve motor performansına etkilerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği*, (Yüksek Lisans Tezi). 178s, Denizli.
- [67] **Özkan, D., Kaleli, H.** (2014). Surface and wear analysis of zinc phosphate coated engine oil ring and cylinder liner tested with commercial lubricant, *Faculty of Mechanical Engineering, Energy Division, Yıldız Technical University, 34349 Yıldız, Besiktas, Istanbul, Turkey*.
- [68] **Pathmasiri, TKKS. ve Perera, GIP.** (2020). Yağlama yağı olarak kullanmak için palmye yağının viskozite artırıcısı olarak polietilen kullanma potansiyeli. *Makine Mühendisliğindeki Gelişmeler* , 12 (11), 1687814020970745.
- [69] **Hassan, M., Syahrullail, S., Ani, F. N.** (2016). The tribological characteristics of the castus and mineral oil blends using four-ball tribotester, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310.
- [70] **Kashyap, A., Harsha, AP.** (2016). Tribological studies on chemically modified rapeseed oil with CuO and CeO₂ nanoparticles, *Engineering Tribology*, 1562-1571.
- [71] **Tung, S. C., Gao, H.** (2003). Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels, *Chemical and Environmental Sciences Laboratory, General Motors R&D Center*, 1276–1285.

- [72] **Cesur, İ., Akgündüz, M. (2021).** Krom-Nikel kaplı segmanların silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Türkiye.*
- [73] **Hoang, A. T., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Carlucci, A. P., Ölçer, A. I., Le, A. T., Ghassemi, A. (2020).** Rice bran oil-based biodiesel as a promising renewable fuel alternative to petrodiesel: A review, Henan Province Engineering Research Center for Forest Biomass Value-added Products, School of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China.
- [74] **Hoang, A. T., Pham, P. P. (2018).** A study of emission characteristic, deposits, and lubrication oil degradation of a diesel engine running on preheated vegetable oil and diesel oil, Vietnam, 1556-7036
- [75] **Sinha, S., Agarwal, A. K. (2016).** Experimental Investigation of the Effect of Biodiesel Utilization on Lubricating Oil Degradation and Wear of a Transportation CIDI Engine, Department of Mechanical Engineering, Engine Research Laboratory, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208016, India.
- [76] **Venkatakoteswararao, G., Baskar, S., Arumugam, S. (2018).** Tribological investigation of cashew nut shell oil as lubricant additive, Department of Mechanical Engineering, Sri Chandrasekharendra Saraswathi Viswa Mahavidyalaya, Enathur, Kanchipuram - 631561, Tamil Nadu, India.
- [77] **Cortes, V., Sanchez, K., Gonzalez, R., Alcoutlabi, M., Ortega, J. A. (2020).** The Performance of SiO₂ and TiO₂ Nanoparticles as Lubricant Additives Sunflower Oil, Department of Mechanical Engineering, The University of Texas Rio Grande Valley.
- [78] **Thapliyal, P., Thakre, G. D. (2017).** Correlation Study of Physicochemical, Rheological, and Tribological Parameters of Engine Oils, Department of Physics, Army Cadet College, Indian Military Academy, Dehradun 248007, India.
- [79] **Jain, A. K., Kumar, M., Thakre, G. D. (2020).** A novel tribological approach for selection of low friction engine lubricating oil, Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces, India.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Ayşegül Arı
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 05.03.1996
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Yunus Emre Mahallesi 15. Sokak No:6 Sivas/Merkez
E-posta Adresi	ayse123ari@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas İMKB Anadolu Lisesi, 2010
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2014
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Estaş Eksantrik Sanayi Otomotiv Mühendisi, 2019
ve Ticaret A.Ş.