



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

**DİZEL BİR MOTORDA BİODİZEL YAKIT KULLANIMININ
YANMA PROSESİ VE MOTOR TRİBOLOJİSİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bünyamin ESKİCİ
(20169240008)**

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

**SIVAS
AĞUSTOS 2019**

Bünyamin ESKİCİ'nin hazırladığı ve “Dizel Bir Motorda Biodizel Yakıt Kullanımının Yanma Prosesi ve Motor Tribolojisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Dr. Öğr. Üyesi İlker TEMİZER**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Burak Tanyeri**
Fırat Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi 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, 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-020 Numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Bünyamin ESKİCİ, 2019

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, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

29.08.2019

Bünyamin ESKİCİ

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Dr.Öğr. Üyesi İlker TEMİZER'e çok teşekkür ederim. Aynı zamanda, bu çalışmada kullanılan deney motoruna ait teknik bilgileri bizlerle paylaşan Anadolu Motor'a teşekkürlerimizi sunarız.

Yüksek lisans eğitimim süresince fedakârlıklarıyla çalışmalarımı destekleyen Değerli eşim Ayşe ESKİCİ 'ye, bugüne dek maddi ve manevi her yönden destek olan anne ve babama teşekkür ederim.



ÖZET

DİZEL BİR MOTORDA BİODİZEL YAKIT KULLANIMININ YANMA PROSESİ VE MOTOR TRİBOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bünyamin ESKİCİ

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi İlker TEMİZER

2019

70'li yıllarda yaşanan petrol krizinin de etkisi ile alternatif motor yakıtlarına yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda, dizel motorlarda kullanılabilen bir yakıt türü olan biodizel yakıtlar ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir bir alternatif yakıt olması nedeniyle biodizel önemli bir yakıttır. Bu çalışmada tek silindirli dizel bir motorda bitkisel yağdan elde edilmiş biodizel ve motorin yakıtları kullanılmıştır. Motorda yanma süreci Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ve deneysel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Aynı zamanda, kullanılan yakıtların motor tribolojik özellikleri de incelenmiştir. Deneyler Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızın ilk aşamasını motor performans ve emisyon değerlerinin sayısal ve deneysel incelenmesi oluşturmuştur. Deneysel çalışmalar tek silindirli dizel bir motor ve bağlı olduğu dinamometre kullanılarak yapılmıştır. Sayısal çalışma ise AVL-FIRE yazılımının ESE-Diesel kısmında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada püskürtme modeli olarak WAVE model, türbülans modeli k-zeta-f model ve yanma modeli olarak EFCM-3Z model kullanılmıştır. Bu çalışmada gerçek çalışma şartlarına yakın bir sayısal çalışma amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada, silindir basıncı dizel motorun silindir tepesine bağlanan bir basınç sensörü ile ölçülmüş ve aynı zamanda krank miline bağlanan bir enkoderle de krank açısı değeri elde edilmiştir. Ölçülen veriler anlık olarak Febris yanma analiz programına aktarılmıştır. Deneysel çalışmanın amacı motorda yanma olayına ait iç veriler elde etmektir. Çalışmamızın ikinci safhasında, kullanılan motor

yakıtlarının motor tribolojisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla motor iki farklı yakıt kullanılarak yaklaşık 150 saatlik bir çalışmaya tabi tutulmuştur. Böylece yakıt kimyasının, aşınma ve yağlama yağı performansı üzerindeki etkisi incelenebilmiştir. İki farklı yakıt kullanımı sonucu motorda kullanılan yağların, kinematik viskozite, yoğunluk, asit sayısı tayini, nem içeriği, kül içeriği, gibi kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Her iki numunedeki metal konsantrasyonlar, Endüktif Eşleşmiş Plasma -Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve Endüktif Eşleşmiş Plasma- Kütle Spektromu (ICP-MS yöntemi) ile belirlenmiştir. Piston segmanı üzerindeki aşınma çizgileri, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yapılarak incelenmiştir. Motor triboloji analizleri sonucunda, biodizel yakıt ile çalıştırılan motorun, motorin ile çalıştırılan motora göre yağlama yağında, daha az aşınma elementlerine rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzun süreli dayanım testi, Triboloji, Yanma analizi, Motor yağlama yağı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE USE OF BIODIESEL FUEL ON A COMBUSTION PROCESS AND ENGINE TRIBOLOGY IN A DIESEL ENGINE

Bünyamin ESKİCİ

Master Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Ass. Prof Dr. İlker TEMİZER

2019

With the effect of the oil crisis experienced in the 70s, studies on alternative motor fuels continue rapidly. As a result of these studies, biodiesel fuels, a type of fuel that can be used in diesel engines, have emerged. Biodiesel is an important fuel because it is a renewable alternative fuel. In this study, biodiesel and diesel fuels obtained from vegetable oil were used in a single cylinder diesel engine. The combustion process in the engine has been investigated by using Computational Fluid Dynamics (HAD) methods and experimental methods. At the same time, the engine tribological properties of the fuels used were also investigated. The experiments were carried out in Cumhuriyet University Faculty of Technology Automotive Engineering Laboratory. The first stage of our study was the numerical and experimental study of engine performance and emission values. Experimental studies were performed using a single cylinder diesel engine and dynamometer. Numerical operation was performed in ESE-Diesel part of AVL-FIRE software. WAVE model, turbulence model k-zeta-f model and EFCM-3Z model as combustion model were used in numerical study. In this study, a numerical study close to the actual working conditions was aimed. In the experimental study, the cylinder pressure was measured by a pressure sensor connected to the cylinder top of the diesel engine and at the same time a crankshaft angle value was obtained by an encoder connected to the crankshaft. The measured data was transferred to the Febris combustion analysis

program. The aim of the experimental study is to obtain internal data of combustion in the engine. In the second phase of our study, the effect of used motor fuels on engine tribology was investigated. For this purpose, the engine was subjected to an operation of approximately 150 hours using two different fuels. Thus, the effect of fuel chemistry on wear and lubricating oil performance was examined. Chemical properties such as kinematic viscosity, density, acid number determination, moisture content, ash content, etc. of the oils used in the engine as a result of the use of two different fuels were analyzed. Metal concentrations in both samples were determined by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) and Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (ICP-MS). The wear lines on the piston ring were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. As a result of engine tribology analysis, less wear elements were found in lubricating oil of biodiesel fuel driven engine compared to diesel powered engine.

Keywords: Long-term endurance test, Tribology, Combustion analysis, Engine lubricating oil

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
DENKLEMLER DİZİNİ	xviii
KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1.GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1 Deneysel aşama.....	15
2.2 Deneysel ve Sayısal Yanma Analizleri.....	19
2.3 Avl Fire Sayısal Analiz Modelleri.....	26
2.3.1 Püskürtme modeli.....	26
2.3.2 Dağılma (Break up) modelleri.....	26
2.3.3 Buharlaştırma.....	27
2.3.4 Türbülans dağılımı.....	27
2.3.5 Püskürtme-Duvar etkileşimi modeli.....	28
2.3.6 Yanma ECFM-3Z model.....	29
2.4 Uzun Süreli Dayanım Testleri.....	29
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	33
3.1 Motor Performans ölçümleri.....	33
3.2 Egzoz emisyon ölçümleri.....	38
3.3 Deneysel Yanma Analizi.....	42
3.4 Sayısal Yanma Analizi.....	46
3.5 Farklı krank açılarında yanma odasında oluşan CO oluşumu.....	54
3.6 Yağlama yağının Fiziksel ve Kimyasal özelliklerinin analizleri.....	68
3.6.1 Kinematik Viskozite.....	69
3.6.2 Yoğunluk.....	69
3.6.3 Parlama Noktası.....	70
3.6.4 Nem içeriği.....	70
3.6.5. Toplam Baz Numarası (TBN) ve Toplam Asit Numarası (TAN)....	71
3.6.6. Sülfatlı Kül içeriği.....	71
3.7 Yağlama yağının spektrometrik analizi.....	72
3.8 SEM ve EDX Analizleri.....	73

KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	102



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 KOH' ın metanol içerisinde çözülmesi.....	15
Şekil 2.2 Kanola yağı ve Metanol-KOH çözeltisinin sabit sıcaklıkta karıştırılması	16
Şekil 2.3 24 saat süresince bekletilmiş biodizel ve gliserin karışımı.....	16
Şekil 2.4 Deney sisteminin şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.5 Febris yanma analizi yazılımı ayarlar ekranı.....	19
Şekil 2.6 Febris yanma analizi yazılımı motor özellikleri ekranı	20
Şekil 2.7 Febris yanma analizi yazılımı ölçüm ekranı.....	20
Şekil 2.8 Febris yanma analizi yazılımı veri inceleme ekranı	21
Şekil 2.9 Yanma Odası Geometrisi.....	22
Şekil 2.10 Wave dağılma modelinin farklı yolları.....	27
Şekil 2.11 Damlacık duvar etkileşimi.....	28
Şekil 2.12 ECFM-3Z modelin bölgeleri	29
Şekil 2.13 SEM/EDX cihazının genel görünümü	31
Şekil 2.14 Yaklaşık 150 saat çalışma yapılan motor deney düzeneği	31
Şekil 3.1 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan tork değişimi.....	34
Şekil 3.2 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan güç değişimi	34
Şekil 3.3 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile değişen ÖYT değerleri.....	34
Şekil 3.4 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan tork değişimi.....	36
Şekil 3.5 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan güç değişimi	36
Şekil 3.6 Motorda farklı yakıtların kullanılmasıyla ÖYT değerlerinin değişimi.....	36
Şekil 3.7 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen egzoz gaz sıcaklıkları	37
Şekil 3.8 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen egzoz gaz sıcaklıkları	38
Şekil 3.9 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen CO emisyonu	39
Şekil 3.10 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen HC emisyonu	40
Şekil 3.11 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen NO emisyonu.....	40
Şekil 3.12 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen CO emisyonu	41
Şekil 3.13 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen HC emisyonu	42
Şekil 3.14 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen NO emisyonu.....	42
Şekil 3.15 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel silindir içi basınç/krank açısı değişimi	45
Şekil 3.16 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel ısı salınım/krank açısı değişimi.....	45
Şekil 3.17 M100 ve AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel silindir içi basınç/krank açısı değişimi	46
Şekil 3.18 M100 ve AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel ısı salınım/krank açısı değişimi.....	46
Şekil 3.19 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	48
Şekil 3.20 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi.....	48
Şekil 3.21 M100 ve AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	49
Şekil 3.22 M100 ve AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi.....	49

Şekil 3.23 M100 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi.....	50
Şekil 3.24 M100 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	50
Şekil 3.25 KYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	51
Şekil 3.26 KYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	51
Şekil 3.27 KYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	51
Şekil 3.28 KYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	52
Şekil 3.29 KYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	52
Şekil 3.30 KYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	52
Şekil 3.31 AYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	53
Şekil 3.32 AYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	53
Şekil 3.33 AYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	53
Şekil 3.34 AYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	54
Şekil 3.35 AYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi	54
Şekil 3.36 AYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi	54
Şekil 3.37 M100 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu.....	56
Şekil 3.38 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	56
Şekil 3.39 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	57
Şekil 3.40 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	57
Şekil 3.41 M100 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı	59
Şekil 3.42 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	59
Şekil 3.43 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	60
Şekil 3.44 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	60
Şekil 3.45 M100 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı	61
Şekil 3.46 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	61
Şekil 3.47 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	62

Şekil 3.48 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	62
Şekil 3.49 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	64
Şekil 3.50 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	64
Şekil 3.51 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu	65
Şekil 3.52 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	65
Şekil 3.53 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	66
Şekil 3.54 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı.....	66
Şekil 3.55 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	67
Şekil 3.56 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	67
Şekil 3.57 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710 ⁰ ,720 ⁰ ve 730 ⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı.....	68
Şekil 3.58 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda birinci segmana ait 100x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü.....	74
Şekil 3.59 M100 yakıtlı çalışma sonunda birinci segmana ait 100x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü.....	74
Şekil 3.60 KYME10 (a) ve M100 (b) çalışmalarında, birinci segman tüm yüzeyindeki elementel dağılım.....	75
Şekil 3.61 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü.....	76
Şekil 3.62 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX görüntüsü	77
Şekil 3.63 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segman ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	77
Şekil 3.64 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	77
Şekil 3.65 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	78
Şekil 3.66 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	78
Şekil 3.67 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü.....	79
Şekil 3.68 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	79
Şekil 3.69 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	80
Şekil 3.70 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü.....	80
Şekil 3.71 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	81
Şekil 3.72 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	81

Şekil 3.73 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın tüm yüzeyindeki elementel harita	82
Şekil 3.74 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanda üst (a), orta (b) ve alt (c) bölgelerinde elementel dağılım.....	84
Şekil 3.75 M100 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın tüm yüzeyindeki elementel harita.....	85
Şekil 3.76 M100 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın üst (a) ve alt (b) bölgelerinde yüzeyin elemental dağılımı	86
Şekil 3.77 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	87
Şekil 3.78 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	88
Şekil 3.79 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	88
Şekil 3.80 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	89
Şekil 3.81 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	89
Şekil 3.82 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü	90
Şekil 3.83 KYME10 yakıtlı çalışmanın sonunda, üçüncü segmana ait element dağılımı.....	90
Şekil 3.84 M100 yakıtlı çalışmanın sonunda üçüncü segmana ait element dağılımı	91
Şekil 3.85 Üç farklı piston segmanlarında çalışma sonunda ölçülen ağırlık değişimleri.....	91

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1 Deney motorunun teknik özellikleri.....	18
Tablo 2 Motorin ve kanola yağı metil ester yakıtlarının özellikleri.....	18
Tablo 3 Sınır Şartları	22
Tablo 4 İki farklı motor yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	68
Tablo 5 Elementel analiz sonuçları	73



DENKLEMLER DİZİNİ

Sayfa

1) Süreklilik denklemi;.....	23
2) r- Momentum denklemi;	23
3) θ - Momentum denklemi;	23
4) z- Momentum denklemi;.....	23
5) Enerji Denklemi;.....	23
6) Türbülans viskozitesi;	24
7) Türbülans kinetik enerjisi;	24
8) Türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı;.....	24
9) Hız ölççeği;.....	24
10) Eliptik rahatlama faktörü;	24
11) Türbülans kinetik enerji üretimi;	25
12) Ortalama gerilme tensör modülü	25
13) Türbülans zaman göstergesi;	25
14) Türbülans uzunluk göstergesi;	25

KISALTMALAR DİZİNİ

HAD	:Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
KYME	:Kanola yağı metil esteri
AYME	:Ayçiçek yağı metil esteri
M100	:Motorin
ÖYT	:Özgül yakıt tüketimi



1. GİRİŞ

Artan petrol fiyatları ve tükenen fosil yakıt rezervleri göz önüne alındığında, biodizelin, motrinin kısmen yerini alabileceği, motorun bütünlüğüne sorun çıkarmadan ve aynı zamanda çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir faktör olan egzoz emisyonların iyileştirilmesine de katkıda bulunarak, dizel motorlarda kullanılacağı için umut verici alternatif bir yakıt olarak görülmektedir [1-5,97]. Günümüzde, biodizel yakıtlarının motor karakteristik özellikleri üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, biodizel yakıtının motorda sorun teşkil etmeden doğrudan kullanılması ve özellikle çevresel etkilerinden dolayı, motorin yakıtına iyi bir alternatif yakıt türü olacağı değerlendirilmektedir [6]. Kısa süreli araştırmalara dayanan bu çalışmalar, biodizel yakıtının gelecek vaat ettiği sonucunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır [7- 13].

Biodizel yakıtlarının motor performans ve emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu yakıtların motorlarda doğrudan kullanılabilirliğinin bir başka göstergesi de uzun süreli dayanım testleridir. Uzun süreli dayanım testlerinde kullanılan alternatif motor yakıtlarının motor parçaları ve yağlama yağı üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi, bu yakıtların geleceğini oldukça etkiler. Biodizel yakıtlarının sürdürülebilir olması, hayvansal ve bitkisel kaynaklara dayalı olması, motor yakıt sistemlerinde doğrudan kullanılabilir olmaları, motorin yakıtına kıyasla yüksek parlama noktası gibi özellikleri bu yakıtları günümüzde oldukça popüler kılmaktadır. Uzun süreli dayanım testleri sonucunda motorlarda yapılacak tribolojik ve morfolojik testler bu yakıtların önemini ortaya koyacaktır.

Dizel motorlarında farklı yakıt kullanımı ile değişen motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi gibi motor karakteristik özelliklerin yanı sıra, bu yakıtların silindir içi basınç/krank değişimi, ısı salınım oranları, kütleli yanma oranı gibi birçok yanma parametrelerinin de incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bir çalışmada, motorin yakıtına kıyasla biodizel yakıtlarının kullanıldığı motorda yüksek silindir içi sıcaklık ve ısı salınım oranları elde edilmiştir [14]. Özellikle birçok çalışmada, silindir içi yanma parametreleri üzerinde yakıtın setan sayısı, yoğunluğu, buharlaşma kabiliyeti ve viskozitesi gibi özelliklerin oldukça önemli olduğu vurgulanmaktadır [15-17]. KIVA4-CHEMKIN yazılımının kullanıldığı bir başka çalışmada, farklı karışım oranlarında biodizel yakıtının üç

farklı motor yükünde testleri yapılmıştır. Yapılan testlerde yakıtların viskozite ve oksijen içerikleri gibi birçok etkenin CO ve NO_x emisyonları üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır [18]. Soya yağı metil ester biodizel/motorin karışımlarının üç farklı oranda (%20, %60 ve %100) kullanıldığı çalışmada, biodizel karışimli yakıtlar motorun az da olsa yanma sonu basınç değerlerini azalttığı, NO emisyonlarını ise arttırdığı vurgulanmıştır [19].

Biodizel yakıtlarının motorlarda yaygın bir şekilde kullanımı uzun süreli dayanım testlerine dayanmaktadır. Bu testlerde motor yağlama yağı ve motor parçaları üzerinde bırakacağı etki son derece önemlidir. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada, Pangomi yağı metil esteri içeren (%20 karışım oranında) biodizel yakıtı ve motorin yakıtları ayrı ayrı 256 saat motorda kullanılmıştır. Çalışmada, biodizel kullanılan motorun yağlama yağında daha fazla aşınma elementinin oluştuğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen birçok çalışmada, biodizel yakıtı kullanılan motorun yağlama yağında daha az aşınma elementlerine rastlandığı ve biodizel yakıtlarının motor aşınmaları üzerinde olumlu etki yaptığı vurgulanmıştır [20-24].

Özellikle motor yağlama yağında meydana gelen asit oluşumu, oksidasyon ve hidroliz gibi fiziksel- kimyasal değişimler yağın yağlama davranışlarını oldukça değiştirir. Motor yağlama yağı içerisindeki aşınma elementleri motorlarda meydana gelen aşınmanın boyutunun bir göstergesidir. Bu doğrultuda, yağlama yağı içerisindeki metal konsantrasyonu ölçümünde birçok yöntem bulunmaktadır. AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) yöntemi ile %20 biodizel- %80 motorin içeren karışım yakıtı ile %100 motorin yakıtı kullanılan motor, uzun süreli dayanım testine tabi tutulmuştur. Yağ örneklerinden alınan numunelerde biodizel yakıtı ile çalışan motor yağında daha az aşınma elementlerine rastlandığı tespit edilmiştir [25]. Hidrokarbon yakıtlarının eksik yanma ürünü olan is (kurum) mikroskobik karbon partikülleridir. İs, yağ katkı maddeleri ile reaksiyona girerek motor aşınmalarını artırır. Yağ filminin parçalanması is partikülleri ile motor yüzeyleri arasında temas yüzeyinin artmasına neden olur. Özellikle 0.01-0.8 mikron çapındaki is partikülleri metal yüzeyleri üzerindeki yağ film kabiliyetini azaltarak abrazyon aşınmaya neden olmaktadır [26]. Bu çalışmada motor yağının kirlenmesi, motor parçalarının bozulması ve aşınmasının başlıca nedenleri olarak yakıt seyrelmesi ve oksidasyon olduğu söylenmektedir. Bir başka çalışmada, motor yağı bozulmalarına neden olan en büyük faktörlerden birinin motorlarda eksik yanma sonucu oluşan is

partiküllerinin olduğu vurgulanmıştır. Bu partiküllerin motor yağına karışması ile yağın özelliklerinin değiştiği ve aşınmaların arttığı vurgulanmıştır [27]. Yapılan literatür incelemesinde, motorlarda kullanılan yakıtların yağlama yağı üzerinde kimyasal ve fiziksel etkilere sahip olduğu ve özellikle motor yağlama yağında meydana gelen asit oluşumunun, oksidasyon ve hidroliz gibi fiziksel - kimyasal değişimleri beraberinde getirdiği vurgulanmaktadır [28-31]. Uzun süreli dayanım testlerinin uygulandığı dizel motorda, referans kabul edilen motorin ve biodizel esaslı karışım yakıtlar kullanılmıştır. Çalışma sonundaki yağ örneklerinden alınan numunelerde motorin ile kıyaslandığında, biodizel karışımlı yakıtların kullanıldığı motorun yağlama yağında daha düşük Fe ve Cu elementlerine rastlandığı bildirilmiştir[32]. Motorda farklı çalışma şartlarında oluşan yanma olayı ve aşınmalar, beraberinde yağlama yağında is, tortu ve aşınma elementlerinin miktarlarını etkileyerek yağlama yağının viskozite, yoğunluk gibi özelliklerini değiştirmektedir [33-34].

Yapılan literatür incelemesinde genelde, motor yağlama yağı element tayini yapılmış olup, eş zamanlı yanma ve tribolojik analizlere çok az rastlanmıştır. Bu çalışmada yağlama yağı element analizleri, silindir içi yanma olayı ile birlikte değerlendirilmiştir. Yanma ve aşınma olayına, eş zamanlı en fazla maruz kalan piston segmanları, tribolojik ve morfolojik olarak incelenmiştir. Motorlarda farklı yakıtların kullanımı farklı mekanik gerilmelere, termal gerilmelere ve kimyasal reaktiviteye neden olabilir. Bu çalışmada, mekanik ve ısı gerilmelerin etkisini ölçmek için motorin/biodizel karışımlı yakıt ile çalışan motorun silindir basıncı ve ısı salınım hızındaki değişiklikler incelenmiştir. Biodizel yakıtları petrol kökenli motorin yakıtlarından oldukça farklı kimyasal etkilere sahiptir. Bu farklılıklar motor yağlama yağlarının farklı kimyasal ve fiziksel değişimlere uğramasına neden olabileceği gibi, motor parçaları üzerinde de etkisini gösterebilir. Bu nedenle, bu yakıtların kullanıldığı motorlarda uzun süreli dayanım testlerinin gerçekleştirilmesi ve tribolojik analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda literatürden farklı olarak, dünyada kullanımı en yaygın görülen kanola yağı metil esteri ile motorin karışımları motor yakıtı olarak seçilmiştir.

Yağlama yağları genel olarak yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme ve aşınmaları önleme görevini üstlenir. Yağın yaşlanması, beraberinde yağlama performansını düşürür. Yağın belirli bir basınç ve sıcaklıkta temas eden yüzeylere

aktarılması sürtünme ve aşınmanın gelişiminin yavaşlaması açısından, büyük önem taşır[35]. Özellikle içten yanmalı motorlarda oluşan sürtünme kayıpları en genel haliyle motor işletim şartlarına göre değişmektedir. En fazla aşınmanın meydana geldiği segman-silindir bölgesinde elde edilecek kazançlar, motorlarda mekanik kayıpların azalmasına ve yakıt tüketim miktarlarının düşmesine neden olacaktır. Bu nedenle, günümüzde kullanılan piston segmanları, motor basınç ve sıcaklıklarına dayanıklı, aynı zamanda yüzeylerinde aşınma direnci yüksek malzemelerden seçilmelidir [36-37]. Motor yağında meydana gelen bu değişimler beraberinde motor aşınmalarının artmasına ve performans değerlerinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu kapsamda motor yağı içerisindeki katkı maddelerinin varlığı oldukça önemlidir. Yapılan bir çalışmada, katkısız yağlara katılan is partiküllerini temsil eden bir karbon siyahının bir anti-aşınma maddesi olan ZnDTP ya da ZDDP (Çinko-dialkiltriofosfat) miktarının aşınmaya olan etkisi incelenmiştir. Oksidasyon yaşlanması sonucu bozulan anti-aşınma filminin performansında düşüş ve yüzeyin sülfürizasyonundan dolayı, yüzeylerde oluşan korozif aşınma dikkat çekmiştir[39]. Alternatif yakıtların motorlarda uzun süreli kullanımı da motor ömrü açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Biodizel yakıtlarının motorlardaki yanma ve emisyonları üzerinde birçok çalışma mevcuttur. Bütün bu çalışmaların genelinde biodizel yakıtlarının özellikle CO ve HC gibi bazı emisyon değerleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu vurgulanmıştır [40-44].

Günümüzde, kısa süreli araştırmalara dayanan biodizel yakıtlarının motor karakteristik özellikleri üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, biodizel yakıtının motorda sorun teşkil etmeden, doğrudan kullanılması ve özellikle çevresel etkilerinden dolayı, motorin yakıtına iyi bir alternatif yakıt türü olacağı değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda özellikle yapısında bulundurduğu oksijen içeriği ve setan sayısının motorin yakıtına yakın olması dizel motorlarda önemli avantajlar sunmaktadır [45]. Biodizel yakıtlarının motorlarda kullanılabilirliğinin bir başka göstergesi de titreşim yoğunluğu ve seviyesidir. Yapılan bir çalışmada, özellikle biodizel/motorin karışımları içerisindeki karışım yüzdelere bağlı olarak titreşim seviyelerinin değiştiği vurgulanmaktadır [46-48]. Atık yağlardan elde edilen biodizel yakıtlarının farklı püskürtme basınç değerlerinde yanma analizleri incelendiğinde, püskürtme basıncındaki artış ile paralel olarak iyileşen bir karışım oluşumu gözlenmiştir [49]. Biodizel yakıtlarının motorlarda

doğrudan kullanılması ve yerel imkanlarla üretilebilir olması gün geçtikçe bu alanda yapılan çalışmaları daha da artırmaktadır. Özellikle dizel motorlarında kullanılan bu yakıtların çok kapsamlı araştırmalar sonucunda motorlarda kullanımını oldukça önemlidir. Bu kapsamda biodizel yakıtlarının nanopartikül katkı maddeleri ile birlikte motorlarda kullanımını özellikle yanma sonu ürünlerini oldukça iyileştirmiştir [50].

Hong ve Tarng [51] yaptıkları çalışmada, içten yanmalı motorlarda silindir içi akışta meydana gelen türbülans uzunluklarını HAD ve direk ölçüm yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Ölçümler iki problu lazer hız ölçüm (LDV) sistemi kullanılarak iki noktalı eşanlı bir ölçüm tekniği tasarlanarak yapılmıştır. 500 d/d yapılan ölçümlerde bulunan değerler KIVA-3 sayısal analiz yazılımı ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunun, sayısal analiz sonucuna yakın, makul değerler olduğu görülmüştür.

Wang vd. [52], homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli (HCCI) motorlarda üç boyutlu yanma süreci ile kimyasal kinetiği birlikte incelemişlerdir. HCCI şartları altında ateşlemeyi, yanmayı, emisyon oluşumunu ve yüksek oktanlı yakıtlarda hidrokarbon oksidasyon reaksiyonlarını birlikte analiz etmişlerdir. Sayısal çalışma FIRE yazılımı ile yapılmıştır. Üç boyutlu HAD kodu ile emme, püskürtme, yanma ve kirletici oluşumu benzinli direk enjeksiyonlu (HCCI) bir motorda kademeli enjeksiyon şartları için elde edilmiştir. Sayısal veriler deneysel verilerle karşılaştırıldığında verilerin örtüştüğü gözlemlenmiştir.

White vd. [53], çalışmalarında sıkıştırma ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmakta olan ikili yakıt sistemlerini sayısal ve deneysel yöntem olarak incelemişlerdir. Çalışmada sayısal verileri, bir HAD yazılımı olan, FLUENT yazılımını kullanarak elde etmişlerdir. Aynı anda yüksek çözünürlükteki fotoğraflama sistemi ile deneysel veriler elde etmişlerdir. Çalışma, sıkıştırma ateşlemeli motorlar için çift yakıtlı bir enjektör tasarımının optimize etmek için incelenmiştir. Elde edilen verilerle güçlü hava yakıt karışımının olduğu enjektör ve çalışma şartları incelenmiştir. Curtis vd. [54], yüksek basınçlı püskürtme modellemede kullanılmak üzere bir damla buharlaştırma modeli geliştirmişlerdir. Farklı modifikasyonların etkileri hem çalışma ortamında hem de KIVA II kodunu kullanarak yüksek basınçlı bir püskürtme için tek bir buharlaştırıcı damlacık

durumunda test edilmiştir. Mobasher vd. AVL-FIRE ticari yazılımı ile, ağır hizmet tipi bir dizel motorda, motor performansı ve emisyon oluşumu üzerine pilot, post ve çok yakıtlı enjeksiyon stratejilerinin ve EGR'nin kombine etkilerini incelemek için bir model oluşturmuşlardır. Model, bir Caterpillar 3401 DI dizel motorundan elde edilen deney verileri ile doğrulanmış, öngörülen ve ölçülen silindir basıncı, ısı salınım oranı, NO_x ve is emisyonları arasında iyi bir uyum elde edilmiştir [55].

Dizel yakıtlı motorlarda yanmanın modellenmesinde püskürtme modelinin tahmini önemli bir rol oynamaktadır. Bir dizel motorun yanmasını inceleyen Fu-shui vd. [56] çalışmada dizel püskürtme modeli WAVE parametrelerini silindir içi fiziksel gelişme ile uyum sağlayacak şekilde ayarlamak için bir yöntem araştırılmıştır. Çalışmada sayısal modelleme AVL-FIRE yazılımı ile yapılmış ve elde edilen veriler deneysel veriler ile de doğrulanmıştır. Motor çevrimlerinde oluşan değişimleri analiz etmek amacıyla parçacık hızı görüntüleme (PIV) ve lazer taramalı hız ölçme (LDV) yöntemleri de kullanılmaktadır. Ancak deneysel çalışmanın beraberinde getirdiği maliyet ve zaman kaybı gibi bazı olumsuzluklar düşünüldüğünde bu yöntemlerle yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda yanma ve türbülansın sayısal modellemesinde FLUENT, STAR-CD, CFX, VECTIS, AVL-FIRE, KIVA gibi birçok çeşitli ticari yazılımların kullanıldığı görülmektedir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen bir başka çalışma da Johan vd. sonlu elemanlar yöntemiyle silindir içinin numerik çözümü yapılmıştır. Çalışmada emme sıkıştırma ve egzoz zamanında silindir içinde meydana gelen hız ve basınç dağılımları araştırılmıştır[57].

Sterno ve arkadaşları [58] yüksek hızlı, tek silindirli, doğrudan püskürtmeli dizel bir motorun is emisyonunu incelemek için sayısal bir çalışma gerçekleştirmiştir. KIVA sayısal akışkanlar mekaniği yazılımı ve standart buharlaştırma modeli yardımıyla deneysel yönelimin tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Akar[59], hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodu olarak FLUENT kullanarak bir yanma odasında akış karakteristiklerini incelemiştir. Tek supaplı ve düz yanma odalı bir motorda supap açıklığının ve silindir uzunluğunun akış karakteristikleri üzerinde etkili olduğunu belirlemiştir.

Arıca [60], Bu çalışmada öncelikle tek boyutlu (1B) 12 silindirli ağır vasıta bir dizel motorun tam yükleme durumu düşünülerek, tasarımı, performans ve emisyon

analizleri yapılmış, motorun performans eğrisi elde edilmiştir. Tek boyutlu analizden elde edilen ilk koşullar kullanılarak, emme valfinin kapandığı andaki basınç ve sıcaklık değerleri, üç boyutlu CFD analizinde kullanılmış ve tek bir silindir için akış analizi yapılmıştır. Han vd. [61], dizel motorlarda is ve NO emisyonlarını düşürmek için farklı çözümleri çoklu püskürtme yapabilecek bir motorda denemişlerdir. Çalışmada sayısal veriler KIVA-II koduyla alınmıştır. Çalışma sonunda özellikle is emisyonlarında, önemli derecede düşüşlerin olduğu gözlenmiştir. Ra vd. [62], homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli düşük basınçlı yakıt enjektörü ile çalışan dizel bir motorda, yanma özelliklerinin parametrik davranışı, sayısal benzetimler ve motor deneyleri ile araştırılmıştır. Deneysel çalışmada tek silindirli bir motor kullanılmış ve motorda emisyon değerlerinden hat sıcaklıklarına kadar bir çok deneysel veri elde edilmiştir. Sayısal kısımda KIVA-3V kodu kullanılmış ve yanma süreci tamamen modellenmiştir. Prasad vd. [63], tek silindirli bir dizel motor üzerinde yaptıkları çalışmada piston üst yüzey şeklinin motor içi akış karakteristikleri ve yanma üzerine etkisini incelemiştir. Sayısal çalışma AVL-FIRE ticari yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada $k-\epsilon$ ve benzeri türbülans modellerinin yanında, püskürtme modeli olarak Wave model, is emisyonları için Hiroyasu ve Nagle-Strickland Constable model ve NO emisyonları için ise Zeldovich model kullanılmıştır. Binesh ve Hossainpour [64], yaptıkları çalışmada FIRE kodu kullanarak, Caterpillar ağır hizmet tipi bir dizel motorunda püskürtme ve karışım oluşumunun ayrıntılı bir modellemesini yapmışlardır. Hassan vd. [65], bitkisel yağdan elde edilmiş biodizel yakıtı kullanarak, sıkıştırma ateşlemeli bir motorun performansını ve egzoz emisyonunu deneysel olarak araştırmışlar ve bu sonuçları dizel ile karşılaştırmışlardır. Ardından, motor performansını ve kullanılan biodizel ve dizelin, emisyonunu tahmin etmek için, hesaplamalı akışkan dinamikleri (CFD) yazılımı AVL Fire kullanarak bir motor yanma modeli geliştirmişlerdir.

Aldhaidhawi vd. [37], Dört silindirli dört zamanlı doğrudan enjeksiyonlu sıkıştırma ateşlemeli bir traktör motorunda, motor performans ve emisyon değerlerini gözlemlemek için, kolza tozu metil esterinden elde ettikleri %20 Biodizel ve %0-5 arasında hidrojen içeren bir karışım oluşturmuşlardır. Sayısal çalışmayı, AVL kodlarını (HYDSIM ve BOOST 2013) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Payri vd. [66], tek silindirli, dört zamanlı direk enjeksiyonlu bir dizel motorda çeşitli yanma odaları kullanarak emme ve sıkıştırma zamanlarında akış karakteristiklerini

incelemişlerdir. Çalışmada, sonlu hacim yöntemi kullanan ticari bir yazılımla, beş farklı akış karakteristiklerini birbiri ile ve gerçek çalışma şartlarıyla karşılaştırmışlardır. Sayısal çalışmada türbülans denklemleri, k-ε türbülans modeli ile oluşturulmuş ve çözüm için PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operator) algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, piston geometrisinin emme ve sıkıştırma zamanının başlangıcında akışı etkilediği saptanmıştır.

Yang vd. [67], çalışmalarında Cummins ISM370 motora H₂ eklenmesi ile dizel motorun yanma ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Silindir basıncı ve ısı salınım hızı motora % 6 H₂ ilavesiyle % 70 yük altında test edilmiştir. Sayısal model AVL FIRE yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Zhang vd. [68], dizel motorun yüksek tork karakterini muhafaza ederken emisyon seviyesini azaltmak amacıyla, dünyadaki araştırmacılar tarafından çeşitli çözüm önerileri getirmiştir. En cazip yöntemlerden biri, nispeten az miktarda dizel ile ateşlenen önceden karışmış gaz halindeki yakıtla çift yakıt tekniği kullanmaktır. Sayısal modelleme AVL Fire ESE-DIESEL yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Mobasheri ve Peng [69], Yüksek Hızlı Doğrudan Enjeksiyon (HSDI) dizel motorları, üstün yakıt ekonomisi nedeniyle otomotiv uygulamalarında giderek daha da fazla kullanılmaktadır. Dört valf 2.0L Ford dizel motorunda enjeksiyon zamanlamasının yanma prosesi ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisini analiz etmek için gelişmiş bir HAD modeli AVL-FIRE yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Alternatif yakıtların motor performans ve emisyonları üzerindeki etkilerinin yanı sıra tribolojik özelliklerinin incelenmesi de ayrı bir çalışma alanıdır. Bilindiği gibi, yağlama yağları genel olarak yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme ve aşınmaları önleme görevini üstlenir. Yağın yaşlanması, beraberinde yağlama performansını düşürür. Yağın belirli bir basınç ve sıcaklıkta temas eden yüzeylere aktarılması, sürtünme ve aşınmanın gelişiminin yavaşlaması açısından büyük önem taşır [70]. Özellikle içten yanmalı motorlarda oluşan sürtünme kayıpları en genel haliyle motor işletim şartlarına göre değişmektedir. En fazla aşınmanın meydana geldiği segman-silindir bölgesinde elde edilecek kazançlar motorlarda mekanik kayıpların azalmasına ve yakıt tüketim miktarlarının düşmesine neden olacaktır. Bu nedenle günümüzde kullanılan piston segmanları motor basınç ve sıcaklıklarına dayanıklı, aynı zamanda yüzeylerinde aşınma direnci yüksek malzemelerden

seçilmelidir [71-72]. Motorlarda malzeme seçiminin yanı sıra, yağlama yağının türü ve içeriği de oldukça önemlidir. Özellikle oksidasyon inhibitörleri gibi kullanılan katkı maddeleri hidrokarbon moleküllerinin oksidasyonunu limitleyerek yağın ömrünü uzatır. Ancak her ne kadar yağlama yağı içerisinde katkı maddeleri kullanılsa bile, yağın yaşlanmasının önüne geçilmesi mümkün değildir. Motor yağının yaşlanması dört farklı kategoride incelenebilir. İlk kategoride, yağdaki deterjanların tükenmesi göz önüne alınır. Bu noktada hidrolize bağlı olarak motor yağlarında bozulmalar başlar. İkinci kategoride ise antioksidanların tükenmeye başlaması ile oksitlenme sürecinin başlamasıdır. Bu evrede, oksitlenme sonucu oluşan asitlerden dolayı asit seviyesinde bir kademeli yükseliş gözlenir. Üçüncü kategoride ise, deterjan ve antioksidanların tamamen tükenmesi sonucu asitler, nitratlar ve sülfatlar oluşmasıyla beraber yağın asit seviyesindeki artışlardır. Dördüncü ve son kategoride ise, motordaki yanma ve aşınmalar sonucunda yağlama yağında oluşan is, tortu ve aşınma elementlerinin yağlama yağının viskozite, yoğunluk gibi özelliklerini değiştirmesi sonucudur [33,34,38].

Taşıt motorlarında biodizelin büyük ölçekli olarak uygulanması için, yağın bozulması üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmalıdır. Biodizel ve dizelin kimyasal bileşimindeki farklılıklar nedeniyle, yağlama yağı bozulması ve faydalı ömürleri arasında bazı farklılıklar göstermektedir. Dhar ve Agerwal, yaptıkları çalışmada, % 20 karanja biodizeli/motorin karışımının motor tribolojisi üzerindeki etkisini 200 saatlik dayanıklılık testi ile incelenmiştir. Kinematik viskozite, parlama noktası, toplam alkalın sayısı, biodizel karışımı motorda daha az gözlenmiştir. Yoğunluk, kül içeriği, nem içeriği, pentan ve benzen, biodizel yakıtı kullanılan motorda daha yüksek bulunmuştur [40]. Bir başka çalışmada ise, biodizel yakıtlarının motor parçaları üzerindeki etkisi ve aşınma davranışları incelenmiştir. Uzun süreli dayanım testine tabi tutulan motor parçaları üzerinde özellikle enjektör ve yanma odalarında motorin yakıtına kıyasla biodizel yakıtlarında daha fazla karbon birikintilerine ve motor aşınmalarına rastlanılmıştır. Ancak bütün bu olumsuzlukların motor için müsaade edilen sınırlar içinde olduğu vurgulanmıştır [20].

Günümüzde, kısa süreli araştırmalara dayanan biodizel yakıtlarının motor karakteristik özellikleri üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, biodizel yakıtının motorda sorun teşkil etmeden doğrudan kullanılması ve özellikle çevresel etkilerinden dolayı, motorin yakıtına iyi bir alternatif yakıt türü

olacağı değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda özellikle yapısında bulundurduğu oksijen içeriği ve setan sayısının motorin yakıtına yakın olması, dizel motorlarda önemli avantajlar sunmaktadır [73]. Biodizel yakıtlarının motorlarda kullanılabilirliğinin bir başka göstergesi de titreşim yoğunluğu ve seviyesidir. Yapılan bir çalışmada, özellikle biodizel/motorin karışımları içerisindeki karışım yüzdelere bağlı olarak titreşim seviyelerinin değiştiği vurgulanmaktadır [48]. Biodizel yakıtlarının motorlarda doğrudan kullanılması ve yerel imkânlarla üretilebilir olması gün geçtikçe bu alanda yapılan çalışmaları daha da arttırmaktadır. Özellikle dizel motorlarında kullanılan bu yakıtların çok kapsamlı araştırmalar sonucunda motorlarda kullanımı oldukça önemlidir.

Günümüzde birçok araştırmacı, biodizel yakıtlarının motor performans ve emisyonları üzerindeki etkisine odaklanmıştır [74-76]. Özellikle biodizel yakıtlarının oksijen içeriği yanma ve egzoz emisyon değerlerinin iyileşmesine neden olduğu görülmektedir. Petranovic vd, çalışmalarında içten yanmalı motorlarda yanma sonu emisyonlarını öngörmek için AVL-FIRE yazılımı ile bir model geliştirmişlerdir [77]. Aldhaidhawi vd, %20 biodizel içeren bir karışımı çalışmayı, AVL kodlarını (HYDSIM ve BOOST 2013) kullanarak gerçekleştirmişlerdir [78]. Birçok araştırmacı, biodizel yakıtlarının kullanımı ile HC emisyonlarında azalmaların olduğunu raporlamıştır [79-80]. Atık kızartma yağı metil esterinin kullanıldığı bir başka çalışmada ise biodizel karışımı yakıt motorda düşük ısı salınımları oluşturmuştur. Bunun temel nedeni olarak, biodizel karışımlarında tutuşma gecikmesi sürelerinin kısalması ve yakıtın yavaş yanması gösterilmektedir [81]. Farklı motor yüklerinin incelendiği bir başka çalışmada, biodizel yakıtı silindir içi gaz basıncında artışa, ısı salınım değerlerinde ise azalmaya neden olduğu vurgulanmıştır [82]. Ayrıca literatür incelemesinde, yanma parametreleri üzerinde yakıtın setan sayısı, yoğunluğu ve viskozitesi gibi bazı özelliklerin oldukça önemli olduğu vurgulanmaktadır [83,16].

Bu çalışmaların yanı sıra biodizel yakıtlarının içten yanmalı motorlarda kullanılabilirliğinin bir başka göstergesi de uzun süreli dayanım testlerinin uygulanmasıdır. Özellikle yakıtların motor parçaları üzerindeki kalıntı biriktirme davranışları, yağlama yağı üzerindeki etkileri ve bunun sonucunda oluşacak adhezif aşınma belirtilerinin kapsamlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bazı

çalışmalarda yakıt, yanma ve beraberinde yağlama yağı bozulmalarını kapsamlı olarak izlenmiş ve birtakım değerlendirmeler sunulmuştur [84].

İçten yanmalı motorlarda yaygın bir şekilde kullanılan yağlama yağları hareketli parçalar arasındaki sũrtũnmeyi azaltarak parçaların aşınmasını önler, motorlardaki güç düşüşünü azaltır, parçaların soğutulması ve aşınma sonucunda yüzeylerinde oluşan partikülleri kartere taşıyarak parçaların temizlenmesini de sağlamaktadır. Ancak motor yağı bütün bu görevlerini yerini getirirken gerek yakıt gerekse yanma olayından son derece etkilenir [85].

Yakıtın yağlama yağının yapısını bozmasının yanı sıra diğer bir etkende şüphesiz motorlarda yanma olayının başlaması ve gelişmesi sürecidir. Özellikle kötü atomizasyon ve eksik yanma ürünü olarak ortaya çıkan is partikülleri motor yağının film kalınlığını bozar. Hem motor yağındaki is oranı hem de çalışan parçalar üzerindeki film tabakasının yırtılması, motor aşınmalarının başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir [86-87].

Bitkisel kökenli yağların motorda bir başka kullanılma alanı ise yağlama yağına belirli oranlarda karıştırılmasıdır. Yapılan bir çalışmada, motor yağı ile belirli oranlarda karıştırılan atık kızartma yağının aşınma ve sũrtũnme performansları değerlendirilmiştir. Karışım içerisindeki atık yağın konsantrasyonundaki artışla yağlayıcının viskozitesinde azalma ve nem içeriğinde ise karışım yağındaki atık yağın %10 oranına kadar fazla bir değişimin olmadığı rapor edilmiştir [88]. Wang vd. farklı biodizel yakıtların kullanıldığı bir dizel motorda, is oluşumunu gözlemlemek için KIVA 3V kodu kullanarak sayısal bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli motor çalışma koşullarında motor deneyleri ve sayısal çalışmalar arasında iyi bir örtüşme olduğu gözlemlenmiş, deneysel veriler ve simule edilen sonuçlar, biyodizel yakıtlarının doygunluk derecesinin ve oksijen içeriğinin is üretiminde önemli faktör olduğunu göstermiştir [89]. Yapılan başka bir çalışmada, motor performansını tahmin edebilen (CFD) AVL Fire yazılımı ile Avustralya yerel güzellik yaprak tohumundan (BLS) üretilen ikinci nesil biyodizel için bir motor yanma modeli geliştirmiştir. Simũlasyon sonuçları, genel olarak B10 biyodizelinin daha iyi performans ve verimlilik sağladığını ve motor emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı ortaya konmuştur. Öte yandan, B5 karışımının, çok az da olsa performans ve verimi arttırdığı ve motorine kıyasla daha düşük emisyon sağladığı belirtilmiştir [90].

Abed vd. farklı hammaddelerden elde ettikleri biodizel yakıtları, farklı oranlarda dizel yakıt ile karıştırarak, tek silindirli dizel bir motorda kullanmışlar ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. B10 ve B20 biodizel karışımlarının yanma sonu ortaya çıkan CO, HC, CO₂ ve is emisyonları, dizel yakıtı göre daha düşük bulunmuştur [91]. Pandey, A. K. ve Nandgaonkar, M. Sıkıştırma ateşlemeli dizel bir motorda, karanja biodizeli kullanmış, düşük emisyon değerleri yanı sıra motor performansında da arttığını gözlemlemişlerdir. Motor 100 saatlik dayanım testine tutulmuştur. 20 saatlik bir çalışma sonunda motordan alınan yağlama yağı elementel analize tabi tutulmuş, metalik kalıntı konsantrasyon analizi, AAS (Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi) kullanılarak yapılmıştır. Biodizel ile çalışan metal aşınmasının yaklaşık %30 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha yüksek viskoziteye sahip olan biyodizel yakıtın, ilave yağlama özelliği, hareketli parçaların daha az aşınmasına neden olduğu belirtilmiştir [92]. Raman vd. Tek silindirli dört zamanlı dizel bir motorda, kolza yağından elde ettikleri biodizel ile motorin yakıtı farklı oranlarda karıştırarak, fren ısı verimi, fren özgül enerji tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, silindir içi basınç, ısı salınımı gibi motor performans parametrelerini incelemişlerdir. Tüm test yakıtları için yanmamış HC, CO, NO_x ve İs emisyonu ölçülmüş, saf dizel yakıt ile yapılan testler ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, B25 karışımının motorda kabul edilebilir ısı verim ve iyileşmiş egzoz emisyonlarıyla, herhangi bir değişiklik yapmadan dizel motorda kullanılabileceğini ortaya koymuştur [93]. Senthur vd. yaptıkları araştırmada, Adelfa ve Okaliptüs bitkilerinden elde ettikleri biyodizel ile motorin %20 oranında ayrı ayrı karıştırarak, çeşitli performans ve emisyon özelliklerini incelemek için tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu dizel bir motorda test etmişlerdir. Çalışmalarda, biyodizel karışımlarının, Hidrokarbon ve Karbon monoksit emisyonlarında ve motorun fren ısı veriminde hafif bir azalma, NO_x emisyonlarında ise önemli bir artış kaydedilmiştir [94]. Tek silindirli dört zamanlı doğal emişli dizel motorda, mısır özü yağı metil esteri (B10, B15, B20 ve B25) - dizel yakıt karışımları ile performans parametreleri ve egzoz emisyonları incelenmiştir. Test sonuçları, biyodizel karışımlarının, dizel yakıtla karşılaştırıldığında fren termal verimi ve spesifik yakıt tüketimi için iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Mısır tohumu metil esteri emisyonları dizel yakıt emisyonları ile benzerdir ancak, karışımların is opaklığının düştüğü gözlemlenmiştir [95]. Yapılan başka bir çalışmada, tek silindirli dizel motor üzerinde juliflora

biyodizel ve dizel karışımları (B20, B30, B40, B100) ve D100 yakıtları deneylerde kullanılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda, B20'nin performans ve yanma özelliklerinin neredeyse dizel yakıtına benzer olduğu görülmüştür [96].

Yağlama yağının, sürtünmeyi azaltma, aşınmayı önleme, hareketli elamanları soğutma, piston segman bölgesindeki sızdırmazlığı sağlama ve katı partikülleri uzaklaştırma, iç korozyonu önleme gibi başlıca görevleri bulunmaktadır. Motor yağı bozulmalarına neden olan en büyük faktörlerden biri, motorda kısmi yanma sonucu oluşan is partiküllerinin, silindir gömleği ve piston segman arasından motor yağına karışmasıdır. Bu işlem sonucunda motor yağı viskozitesinde bir artış meydana gelmekte ve bu da yağın performansını etkilemektedir. Bulunduğu ortama, yağın derecesine ve çalışma koşullarına göre her yağ kullanıldığı sürece yaşlanmaya başlar. Yağ yaşlandığı zaman kimyasal bileşimi ve işlevi değişime uğrar [100]. Yağın viskozitesinin değişmesinde yağın sıcaklığının rolü çok büyüktür. Yağın sıcaklığının artmasıyla beraber viskozitesi düşer. Ancak yağ sıcaklığının artması, yağın içinde bulunan is partiküllerinin bağ yapma enerjisini artıracığından sıcak yağlarda kümelenme daha hızlı gelişir. Bu da yağın viskozitesinde artışa neden olur. Bu yüzden yaşlanan yağlarda sıcaklığın yaratacağı etkiler çok değişken olabileceğinden yağın normal çalışacağı bir optimum sıcaklığın seçilmesi büyük önem taşır. Yüksek viskoziteli yağlarda aşırı derecede kalınlaşma görülebilir. Durağan koşullarda çalışan yağlarda is partiküllerinin oluşturduğu katılaşma düşük sıcaklıklarda akma gerilmelerine neden olur. Akma noktası düşürücüler sayesinde bu etki geciktirilebilmesine rağmen is partiküllerinin konsantrasyonunun artması ile beraber, çok daha düşük sıcaklıklarda kümelenmiş partiküllerin soğumasından dolayı oluşturacağı pıhtılaşmış is maddeleri, akma noktasını düşürücü etki oluşturur [100].

İs partiküllerinin etkisini azaltmadaki en iyi etkiyi sağlayan katkı maddeleri dispersanlardır. Dispersanlar, katı partiküllerin yüzeylerine tutunarak bu partiküllerin yağ içinde aktif rol oynamasını engeller. Dispersanların katı is partiküllerine tutunması sonucu partiküllerin kümelenmesi önlenir. Ancak yağ içindeki is miktarının artmasıyla dispersanların etkisi ortadan kalkar. Yüksek is miktarlarına yaklaşıldıkça is partiküllerinin meydana getirdiği yağ yaşlanması, daha belirgin görülür. Motor elemanlarında temas eden yüzeylerde yüksek çalışma hızlarından dolayı aşınmanın gelişmesi kaçınılmazdır. Yağ filmi kalınlığı yüzey pürüzlülüğü ve is partiküllerinin çapından büyük olduğu zaman aşınma daha yavaş düzeyde gelişir.

Yağ filmi kalınlığı azaldıkça aşınma hızlanmaya başlar. Motor çalışma şartlarının aşınmaya etkileri olarak, motor gücü ve ortalama efektif basınç, sıkıştırma oranı, sıcaklık, devir sayısı, hava fazlalık katsayısı, motor ilk hareketi ve yakıt gibi parametreler sayılabilir [100].

Bu çalışmada, içten yanmalı dizel bir motorda alternatif olarak biodizel/dizel karışımı yakıtların kullanımının yanma ve triboloji üzerindeki etkisini incelemektir. Çalışma temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada farklı yakıtların motor performans ve emisyonları üzerindeki etkisi ortaya koyulmuştur. İkinci aşamada test yakıtlarının yanma analizleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Bir diğer aşama ise bitkisel kökenli biodizel karışımı KYME10 ile M100 yakıtlarının yağlama yağı ve motor parçaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tribolojik ve morfolojik bu deneylerde referans kabul edilen M100 ve KYME10 yakıtları, yaklaşık 150 saat süre ile sabit 1500 d/d 'da ve kısmi yük altında çalıştırılmıştır. Her iki çalışma sonucunda, motorun yağlama yağı ve segman takımı yenilenerek kullanılan yakıtların etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Farklı şartlarda çalışmış segman takımları üzerinde SEM/EDX analizleri yapılarak, tribolojik etki izlenmiştir. Çalışmamızın son aşamasında aynı zamanda iki farklı yakıt kullanılan motordaki yağlarının durumu da izlenmiştir. Motorda farklı yakıt kullanımı sonucunda motor yağındaki değişimin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak yağlama yağının fiziksel özelliklerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Deneysel aşama

Biodizel üretimi, Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarında transestrifikasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Katalizör olarak KOH, ester oluşturma işlemi ise Metil Alkol kullanılarak yapılmıştır.

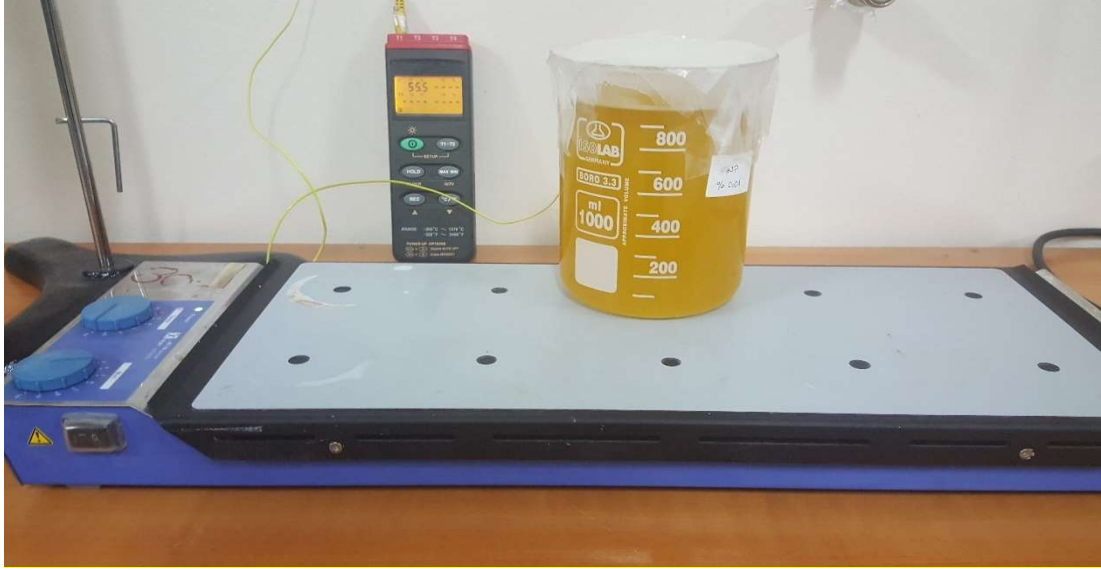
Alkoliz reaksiyon olarak da bilinen transesterifikasyon işlemi bitkisel yağ ve bir alkolün, katalizör eşliğinde reaksiyona girerek yağ asidi alkol esterleri ve gliserin oluşturmaktadır. Oluşan alkol esterine biodizel denilmektedir.

Metil alkol ve KOH toplam karışım oranı 6:1 olacak şekilde 250 ml 'lik bir erlen içerisine alınarak, yaklaşık olarak 35-40°C sıcaklık aralığında KOH çözünene kadar karışım işlemi devam etmiştir. Bu işlem Şekil 2.1' de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 KOH' ın metanol içerisinde çözülmesi

Kanola yağı 1000 ml'lik behere konularak manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda 150 d/d hızda, homojen bir şekilde 60-70 °C ye kadar ısıtılmıştır. Ardından yağ 55-60 °C aralığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra sıcaklığı 55-60 °C aralığında olan yağa, toplam karışım ağırlığının 6:1'i oranında metanol ve %0,5 oranında KOH çözeltisi 1000 ml'lik behere alınarak, sabit bir devirde manyetik ısıtıcılı karıştırıcıda, karışım sıcaklığı 55-60°C aralığında tutularak 60 dakika karıştırılmıştır. Yapılan bu işlem Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2 Kanola yağı ve Metanol-KOH çözeltisinin sabit sıcaklıkta karıştırılması

Yaklaşık 60 dakika kadar manyetik karıştırıcı ve ısıtıcıda karıştırılan kanola yağı ve Metanol-KOH çözeltisi ayırma hunisine alınarak 24 saat boyunca dinlenmeye bırakılmıştır. Bu işlem aşağıda Şekil 2.3’ de gösterilmiştir. Dinleme sonucunda görüldüğü gibi, gliserin altta çökmüş ve biodizel yukarıda kalmıştır.

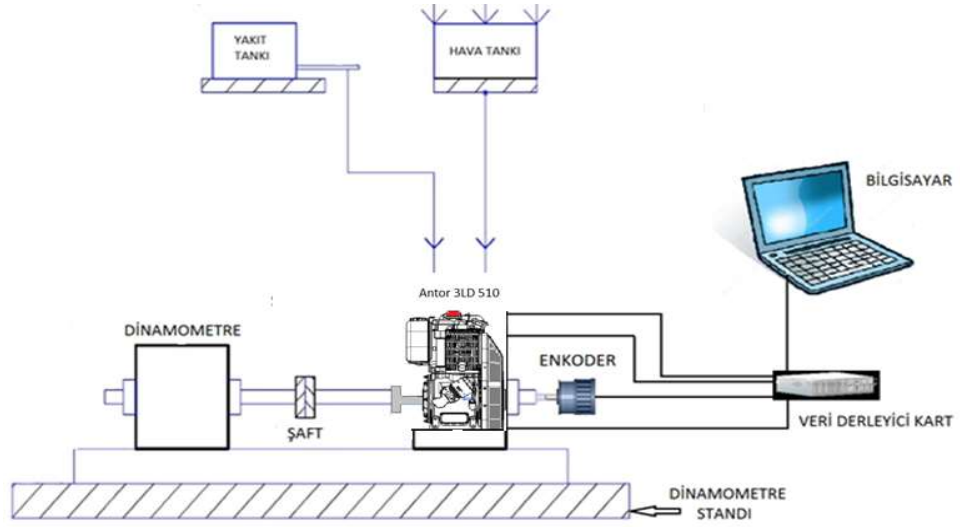


Şekil 2.3 24 saat süresince bekletilmiş biodizel ve gliserin karışımı

Bu işlemin ardından ayırma hunisinin altında kalan gliserin alınmış, geriye kalan biodizel ise daha sonraki işlem olan yıkama ve buharlaştırma için, biodizel saklama deposuna alınmıştır. 24 saat süren dinlenmeden sonra gliserinden ayrılan biodizel, içerisinde gliserin bulunma ihtimaline karşı, yaklaşık 40°C ‘ye kadar ısıtılmış olan saf suyun, ayırma hunisinde bulunan biodizel üzerine bir enjektör yardımı ile püskürtülerek, tekrardan dinlenmeye alınmıştır. Bu karışım yaklaşık 12 saat bekletilmiş ve dibine çöken gliserin ayırma hunisinden alınmıştır.

Gliserin alındıktan sonra biodizel içerisinde saf su kalma ihtimali olduğundan biodizel bir kaba alınarak 100°C 'nin üzerinde ısıtılarak su buharlaştırma işlemi yapılmış ve biodizel üretimi tamamlanmıştır.

Bu çalışmada, alternatif yakıt olarak kanola ve ayçiçek yağından elde edilmiş olan biodizel yakıtları ve referans kabul edilen ve ticari olarak satışı yapılan motorin yakıtları kullanılmıştır. Biodizel yakıtları, Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde sentezlenmiştir. Motor deneylerinde hacimsel olarak %100 Motorin (M100) , %90 Motorin -%10 Kanola yağı metil esteri (KYME10), %80 Motorin -%20 Kanola yağı metil esteri (KYME20) ve %70 Motorin -%30 Kanola yağı metil esteri (KYME30) ve aynı şekilde, %90 Motorin -%10 Ayçiçek yağı metil esteri (AYME10) , %80 Motorin -%20 Ayçiçek yağı metil esteri (AYME20) ve %70 Motorin -%30 Ayçiçek yağı metil esteri (AYME30) deneylerde kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilen motor performans ve egzoz emisyon analizleri, Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında bulunan tek silindirli Antor 3 LD 510 dizel motorunun ANKA marka elektrikli motor dinamometresine bir şaft aracılığı ile bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında deneysel gerçekleştirilen yanma analizlerindeki motor basıncı, OPRANT marka optik basınç sensörü yardımıyla ve krank açısı ise KUBLER marka encoder kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler, laboratuvarında bulunan motor dinamometre sistemine bağlı bir veri derleyici kart aracılığı ile bilgisayar ortamına aktararak kayıt altına alınmıştır. Deneysel çalışmalarda dinamometre kontrol yazılımı aracılığı ile motor 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 d/d aralıklarında anlık olarak izlenerek kayıt altına alınmıştır. Motor performans değerlerinin alınmasından sonra egzoz emisyon değerlerinin tespiti için, Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Bosch Marka BAE350 Model egzoz emisyon cihazı kullanılarak emisyon ölçümleri yapılmıştır. Emisyon ölçümünde CO, HC ve NO emisyonları incelenmiştir. Tablo 1'de deney motoruna ait teknik özellikler, Tablo 2'de motorin yakıtı ve kanola yağı metil ester yakıtlarının özellikleri verilmiştir. Şekil 2.4'de ise deney düzeneğinin şematik yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Deney sisteminin şematik gösterimi

Tablo 1 Deney motorunun teknik özellikleri

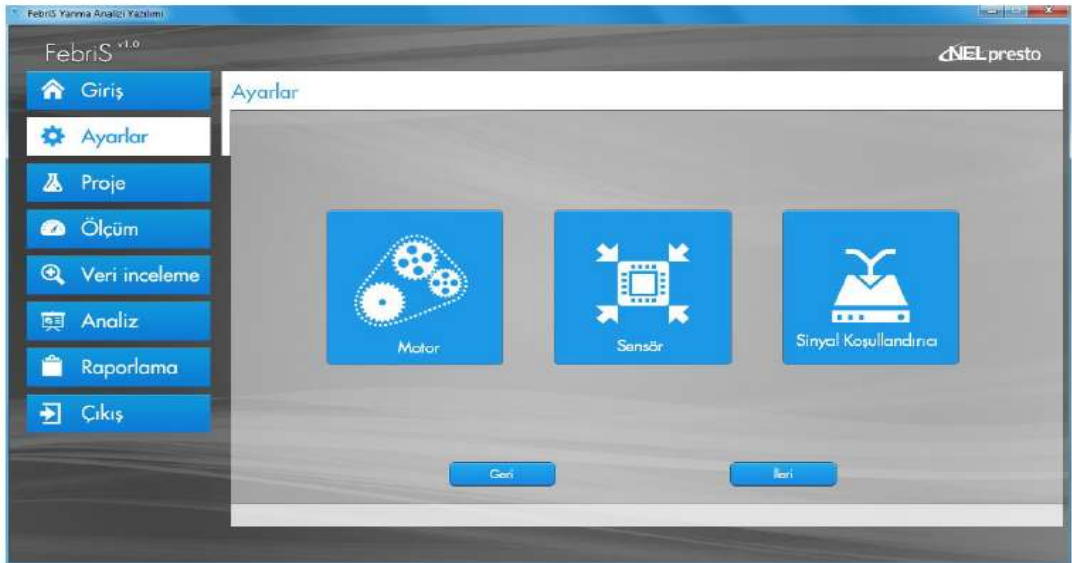
Motor Teknik Özellikleri	
Motor Adı	Antor 3 LD 510
Motor Tipi	4- zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi-cm ³	510
Çap x Strok mm x mm	85 x 90
Sıkıştırma Oranı	17,5:1
Maksimum Güç (kW)	8,8/3000
Maksimum Tork (Nm)	32,8/2000
Püskürtme Açısı	126°

Tablo 2 Motorin ve kanola yağı metil ester yakıtlarının özellikleri [102,103]

Özellikler	Dizel	Kanola Yağı Metil Ester	Ayçiçek Yağı Metil Ester
Yoğunluk (g/cm ³)	0.8424	0.881	0.88
Viskozite (mm ² /s)	3.4301	4.44	4.7
Akma Noktası (°C)	-6	-10.0	-9
Donma Noktası (°C)	-	-12.9	-
Parlama noktası (°C)	58	135.7	160
Asit değeri (mg KOH/g)	0.15	0.72	0.22
Bakır şerit korozyonu (3 h 50 °C)	No 1A	No 1A	No 1A
Setan indeksi (%)	57.8	47.2-55	-
Kalorifik Değer (Mj/kg)	43	37.5	37
Kükürt içeriği	0.154	0	0

2.2 Deneysel ve Sayısal Yanma Analizleri

İçten yanmalı motorların yanma verimlerinin artırılması ve egzoz emisyonlarının azaltılması günümüzde büyük önem arz etmektedir. Motor yakıtı olarak motorin ve biodizel yakıtlarının kullanımı motorlarda farklı mekanik gerilmelere, termal gerilmelere ve kimyasal reaktiviteye neden olabilir. Mekanik ve ısıl gerilmelerin etkisini ölçmek için, dizel ve biodizel karışımı yakıt ile çalışan motorlarda silindir basıncındaki ve ısı salma hızındaki değişiklikler bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Çalışmada, motora ait iç veriler Febris Yanma Analiz programı kullanılarak elde edilmiştir. Krank ve basınç sensörlerinin, tek silindirli motora bağlanmasının ardından elde edilen veriler, derleyici bir kartta toplanarak Febris arayüzü sayesinde, anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. FEBRİS Yanma Analizi Yazılımı Cumhuriyet Üniversitesi CÜBAP birimi tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında alınmıştır. Yazılımın Ayarlar ekranı test edilecek olan içten yanmalı motorun, kullanılmak istenen sensörlerin ve sinyal koşullandırıcıların fiziksel özelliklerinin kaydedildiği bölümdür. Bu ekranda kaydedilen bilgiler daha sonra yapılacak olan çalışmalar için de kullanılabilir. Ayarlar ekranında, içten yanmalı motorun, silindir çapı, strok, biyel kolu uzunluğu gibi geometrik özellikleri belirtilir. Motorun geometrik özellikleri girildiğinde, Febris yazılımında motor hacmi otomatik olarak hesaplanır. Ölçüm menüsü altında bulunan monitör ekranında, sensörlerden gelen ve hesaplanan veriler eş zamanlı olarak görülebilir. Febris yanma analizi programı arayüzü aşağıdaki gibidir.

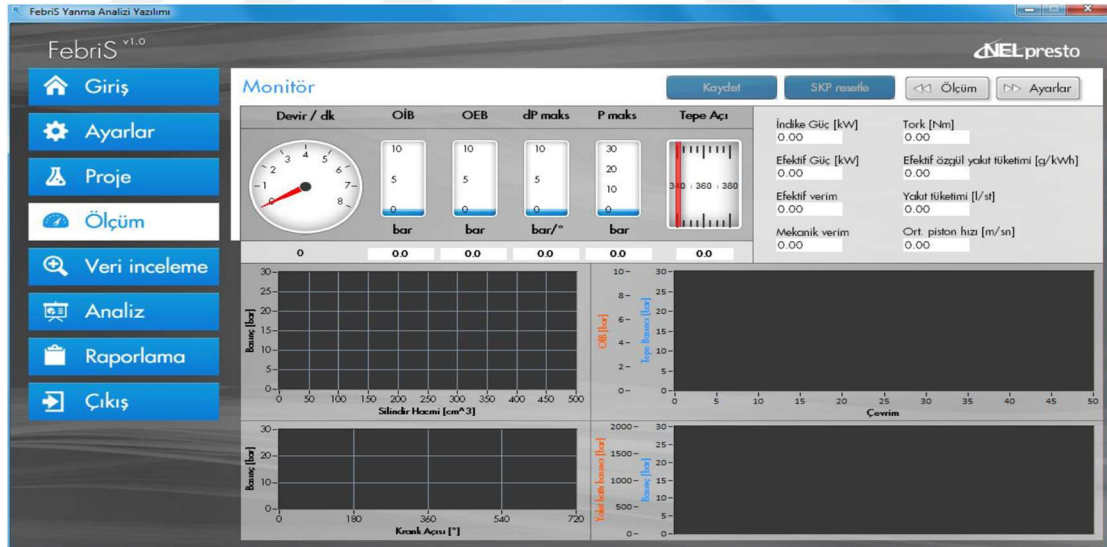


Şekil 2.5 Febris yanma analizi yazılımı ayarlar ekranı [99]

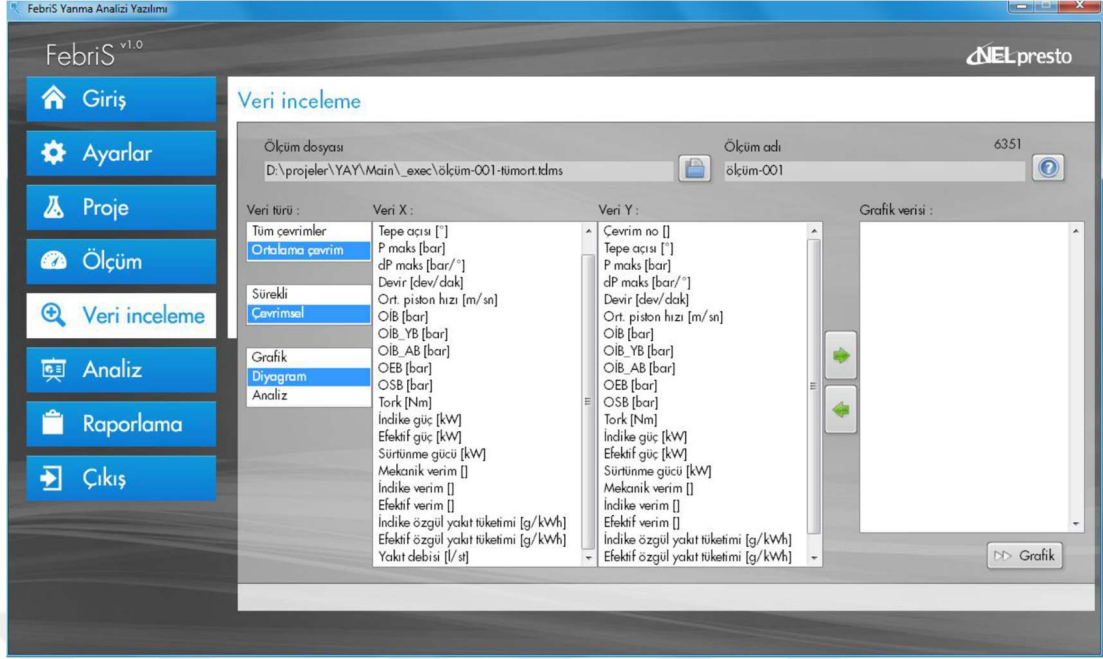


Şekil 2.6 Febris yanma analizi yazılımı motor özellikleri ekranı [99]

Ölçüm menüsü altında bulunan monitör ekranında, sensörlerden gelen ve hesaplanan veriler eş zamanlı olarak görülebilir. Grafikler ve göstergeler yardımı ile birçok parametre monitör ekranında görülebilir.



Şekil 2.7 Febris yanma analizi yazılımı ölçüm ekranı [99]



Şekil 2 8 Febris yanma analizi yazılımı veri inceleme ekranı [99]

Ölçümler kaydedildikten sonra, menüden veri inceleme ekranına geçilerek, kaydedilen veriler, grafikler halinde görülerek, detaylı bir şekilde incelenebilir.

Febris yanma analizi yazılımında yapılabilen analizler, aşağıdaki gibi sıralanabilir;

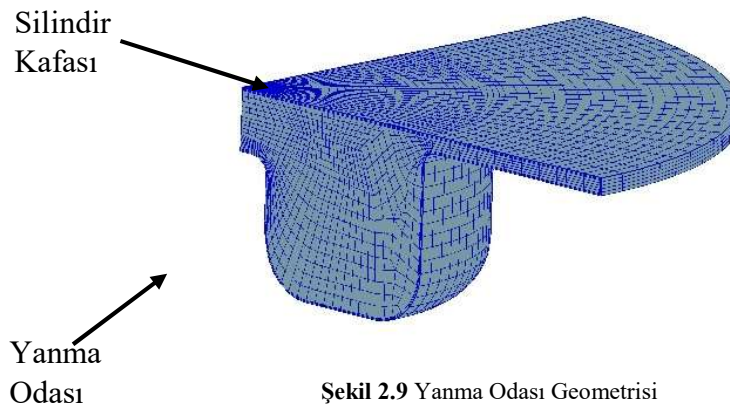
- Ortalama çevrim hesabı
- Gürültü filtreleme
- Yanma sonu tahmini
- Kütleli yanma oranı
 1. Rassweiler and Withrow
 2. Wiebe
- Ortalama gaz sıcaklığı
- Özgül ısılar oranı
- Net ısı salımı
- Isı transferi katsayısı
 1. Woschni
 2. Hohenberg
 3. Annand
- Isı transferi
- Brüt ısı salımı
- Vuruntu yoğunluğu

Yanma analizlerinin yapıldığı sayısal çalışma ise AVL-FIRE yazılımının ESE-DIESEL kısmında gerçekleştirilmiştir. AVL-FIRE yazılımında gerçeğe yakın bir modelleme yapabilmek için bilinen motor parametreleri, yazılıma elle girilmiş ve püskürtme modeli olarak WAVE model, türbülans modeli olarak k-zeta-f model ve yanma modeli olarak ise ECFM-3Z model kullanılmıştır. Sayısal çalışmada, M100 ve KMYE karışımı test yakıtlarının, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel bir motordaki püskürtme ve yanma prosesi AVL-FIRE yazılımı kullanılarak simule edilmiştir.

Tablo 3 Sınır Şartları

Başlangıç ve Sınır Koşulları	
Motor Hızı	2000 d/dk
Hava giriş sıcaklığı	293,15 K
Hava giriş basıncı	1 Bar
Yakıt püskürtme sıcaklığı	330,15 K
Silindir kafası sıcaklığı	575,15 K
Silindir duvar sıcaklığı	475,15 K
Püskürtme aralığı	-20-0 KA
Yakıt tüketimi	1.9 lt/h

Aşağıdaki şekilde modeli oluşturulan tek silindirli dizel bir motorun yanma odası geometri örgüsü görülmektedir. Hesaplamalar yaklaşık 50000 hücre için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.9 Yanma Odası Geometrisi

Sayısal çalışma verileri, AVL-FIRE yazılımının ESE-DIESEL kısmında oluşturulan model sonucunda elde edilmiştir. Çalışmada, püskürtme akışında, hız, basınç ve sıcaklık değerlerinin bulunabilmesi için, deneysel çalışma şartlarında, türbülanslı

akış rejiminde, zamana bağlı olarak yazılan aşağıdaki denklemlerin çözümü yapılmıştır.

1) Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0 \quad [1]$$

2) r- Momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V_\theta^2}{r} \right) \\ = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial(r V_r)}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} \right) \\ + \rho g_r \end{aligned} \quad [2]$$

3) θ - Momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} \right) \\ = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left(\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial(r V_\theta)}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial z^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} \right) \\ + \rho g_\theta \end{aligned} \quad [3]$$

4) z- Momentum denklemi;

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) + \rho g_z \end{aligned} \quad [4]$$

5) Enerji Denklemi;

$$\rho c_p \left(u_r \frac{\partial T_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T_\theta}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T_z}{\partial z} \right) = k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_r}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T_z}{\partial z^2} \right) \quad [5]$$

Motorlarda silindir içi akış modellerinde türbülans oluşumu oldukça önemlidir. İçten yanmalı motorlarda silindir içine alınan dolgu, içeri geçerken yüksek hızlara ulaşır ve türbülanslı bir akış oluşur. Oluşan türbülanslı akışın özelliklerinin belirlenmesi için çözüm modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında AVL-FIRE yazılımında kullanılan model k- ζ -f türbülans modelidir. Bu model içten yanmalı motorlarda türbülans çözümlenmeleri için çoğunlukla tercih edilmektedir. AVL-FIRE yazılımı da yanma problemlerinin çözümünde daha çok bu modeli tercih etmektedir [101].

Modele ait denklemler aşağıdaki gibidir;

6) Türbülans viskozitesi;

$$v_t = C_\mu \xi k T \quad [6]$$

7) Türbülans kinetik enerjisi;

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = P_k - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad [7]$$

8) Türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı;

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon}{T} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad [8]$$

9) Hız ölçeği;

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + U_j \frac{\partial \xi}{\partial x_j} = f - \frac{\xi}{k} P_k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\xi} \right) \frac{\partial \xi}{\partial x_j} \right] \quad [9]$$

10) Eliptik rahatlama faktörü;

$$L^2 \nabla^2 f - f = \frac{1}{T} \left(C_1 - 1 + C_2 \frac{P_k}{\varepsilon} \right) \left(\xi - \frac{2}{3} \right) \quad [10]$$

11) Türbülans kinetik enerji üretimi;

$$P_k = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_j}{\partial z_i} \quad [11]$$

$$P_k = \nu_t S^2$$

12) Ortalama gerilme tensör modülü

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad [12]$$

13) Türbülans zaman göstergesi;

$$T = \max \left[\min \left(\frac{k}{\varepsilon}, \frac{0.6}{\sqrt{6}C_\mu |S| \xi} \right), C_T \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{1/2} \right] \quad [13]$$

14) Türbülans uzunluk göstergesi;

$$L = C_L \max \left[\min \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon}, \frac{k^{1/2}}{\sqrt{6}C_\mu |S| \xi} \right), C_\eta \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon} \right)^{1/4} \right] \quad [14]$$

Türbülans oluşumu ve karakteristiklerine ait bir çok parametre k- ζ -f türbülans model yardımıyla detaylı olarak çözülmektedir. Modele ait sabitler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [101].

$$C_\mu = 0.22, \sigma_k = 1, \sigma_\varepsilon = 1.3, \sigma_\xi = 1.2, C_\varepsilon = 1.2, C_{\varepsilon 1} = 1.4(1 + 0.012/\xi), C_{\varepsilon 2} = 1.9, C_1 = 1.4$$

$$C_2 = 0.65, C_T = 6, C_L = 0.36, C_\eta = 85$$

2.3 Avl Fire Sayısal Analiz Modelleri

2.3.1 Püskürtme modeli

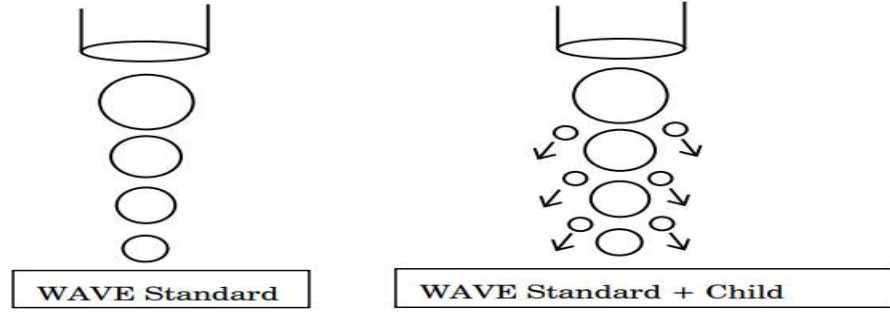
Püskürtme simülasyonları, birden fazla akış olaylarını içerir ve bu nedenle gaz ve sıvı fazı için aynı anda koruma denklemlerinin sayısal çözümünü gerektirir. Sıvı faz ile ilgili olarak, günümüzde mühendislik ortamında hemen hemen tüm püskürtme hesaplamaları, Ayrık Damlacık Yöntemi (Discrete Droplet Method) olarak adlandırılan istatistiksel bir yöntem temel almaktadır [101]. Bu yöntem, tek bir damlacıkta yörünge, momentum, ısı ve kütle transferi için sıradan diferansiyel denklemlerin çözülmesi ile çalışır. Özdeş olmayan damlacıklar bir grup oluşturur ve bu gruplara parsel adı verilir. Böylece grubun bir üyesi komple parselin davranışını temsil eder [101]. Damlacık parsellerinin hızı, büyüklüğü, sıcaklığı ve parseldeki parçacık sayısı değerleri başlangıç koşulları olarak girilir. AVL-FIRE bir nozuldaki püskürtme şeklinde çıkan ve akış alanına sıvı ve gaz karışımı olarak giren bu damlacık parsellerinin tanımlanmasını desteklemektedir. Püskürtmenin atomizasyon süreci, ayırt edici alt modellerle açıklanmaktadır. Damlacık-gaz momentum değişimi, türbülanslı dağılım, damlacıkların buharlaştırılması, ikincil parçalanma, damlacık çarpması ve damlacık duvarı etkileşimi, birçok farklı akış rejimi için modülün kullanılmasına izin veren kapsamlı bir model setini kapsamaktadır. Damlacıklar, gaz fazı kısmi diferansiyel denklemlerinin çözümü için kullanılan hesaplama tablosu vasıtasıyla Lagrange şeklinde izlenir. Gaz ve sıvı fazları arasındaki iki yönlü etkileşim hesaba katılır. Sürekli faz içindeki dağınık fazın etkisi önce ihmal edilebilir, bu şekilde önce gaz fazı için çözüm yapılır sonra ise damlacık simülasyonu yapılabilir [101].

2.3.2 Dağılma (Break up) modelleri

AVL-FIRE yazılımı, ayrılma modeli olarak birçok modeli kullanmaktadır. Dağılma modellerinin hassas olarak uygulanmasında seçilen yöntem oldukça önemlidir. AVL-FIRE yazılımı dağılma modeli olarak farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş modellerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kullanılan modeller aşağıdaki gibidir;

- CHU BREAK-UP (CHU) Model
- WAVE Standard Model
- WAVE Child Break-up Model

- TAB Model
- FIPA Model
- Huh-Gosman Model
- KH-RT Model



Şekil 2.10 Wave dağılma modelinin farklı yolları[101]

Şeklinde sıralanabilir. Bunlar arasında sıklıkla kullanılan modeller WAVE ve KH-RT modelleridir. Bu modeller Rayleigh rejimine daha uygun olduğundan dizel püskürtmeye uyarlanabilmektedir [101].

2.3.3 Buharlaşma

Bir damlacığın ısınması ve buharlaşması durumunu inceleyen çeşitli modeller bulunmaktadır. Püskürtme modelleri arasında buharlaşma modelinin incelenmesi hususu da oldukça önemlidir. İçten yanmalı motorlarda püskürtme sonrası gerçekleşen buharlaşma, yanma öncesinde büyük bir önem arz etmektedir. En çok tercih edilen yöntemler aşağıda sıralanmaktadır [101].

- Isı ve Kütle Transferi Benzeşimi
- Çok Bileşenli Buharlaşma Modeli

2.3.4 Türbülans dağılımı

Parçacıklar akış alanından geçerken farklı türbülanslı akışlarla etkileşime girdiği varsayılmaktadır. Her bir etkileşimde türbülans girdabı, ani bir hız ile parçacığı saptırır. Püskürtülen partiküller üzerindeki bu türbülans etkileri, akış alanı ile ayrıntılı olarak çözülemez, dolayısıyla türbülanslı bir dağılım modeli kullanılır. Parçacık yörüngesi, parçacık değerlendirilen bölge dışına çıkana kadar, rastgele bir yürüyüş hesaplamasına benzer şekilde belirlenir. Çalkantılı bir girdap içindeki ani gaz hızı, ortalama alan akışkan hızı ve türbülans kinetik enerjisi ile belirlenir. Bu iki değer gaz fazı denklemlerinin çözümü ile belirlenir. Bir parçacık ile bireysel

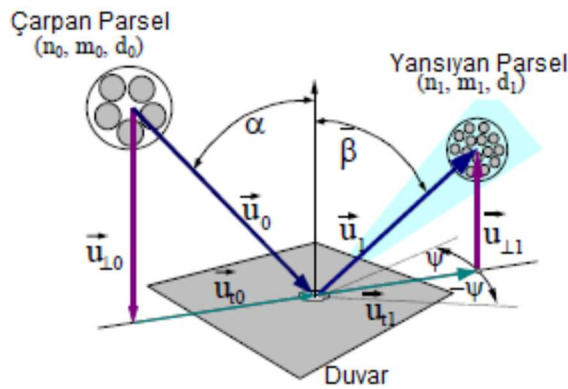
dönüşler arasındaki etkileşim süresi, türbülans süresi ve bir parçacığın kanadı geçmesi için gereken süre olmak üzere iki kriter göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır [101].

AVL_FIRE aşağıdaki iki farklı modeli kullanmaktadır.

- Enable
- O'Rourke

2.3.5 Püskürtme-Duvar etkileşimi modeli

Püskürtme-Duvar etkileşimi yakıtın parçalanması ve oluşacak emisyonların tespiti noktasında oldukça önemlidir. Yakıt zerrecelerinin duvarlara çarpması ile yakıt buharlaşır ya da atomize olur. Duvar bölgesinde yanmamış yakıt ciddi HC emisyonlarına ve is oluşumuna sebep olmaktadır. Bir damlanın duvar etkileşimindeki davranışı, damlacık hızı, çap, damlacık özellikleri, duvar yüzey pürüzlülüğü ve duvar sıcaklığı gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Damlacık, çok düşük giriş hızında duvara yapışır. Giriş hızı arttıkça buhar veya gaz sınır tabakası damlacıkların altında tutulur ve sıvının geri tepmesine neden olur. Hızın daha da artması hem yayılma hem de sıçrama rejimine yol açar. Yayılma rejiminde duvarda bulunan damlacıkların tümü neredeyse hiç normal hızla yayılmaz. Sıçrama rejiminde damlacıkların bir kısmı yüzeyin yakınında kalır ve geri kalan kısmı ikincil damlacıklara ayrılır. Duvara çarpan damlacık küçük bir açıyla duvardan uzaklaşır ve daha küçük damlacıklara bölünür [101].



Şekil 2.11 Damlacık duvar etkileşimi[101]

Damlacık duvar etkileşimi modelleri aşağıdaki gibidir [101].

- Walljet0/Walljet1/Walljet2 Model
- Mundo Tropea Sommerfeld Model
- Bai and Gosman Model
- O'Rourke and Amsden Model
- Kuhnke/Wruck Wall Interaction and Wall Heat Transfer Model
- Maichle and Weigand Model

2.3.6 Yanma ECFM-3Z model

ECFM-3Z model dizel motorların yanmasının çözümlenmesi için GSM (Groupement Scientifique Moteurs) konsorsiyumu tarafından geliştirilmiş bir yanma modelidir. Bu yanma modeli alev yüzey yoğunluğu transport denklemleri ve karışım modelinin birlikte olduğu bir difüzyon yanma modeline dayanır. Model AVL-FIRE yazılımı tarafından kullanılmakta ve ECFM modele kıyasla daha gelişmiş bir kimyasal detay içermektedir [101].



Şekil 2.12 ECFM-3Z modelin bölgeleri [101]

2.4 Uzun Süreli Dayanım Testleri

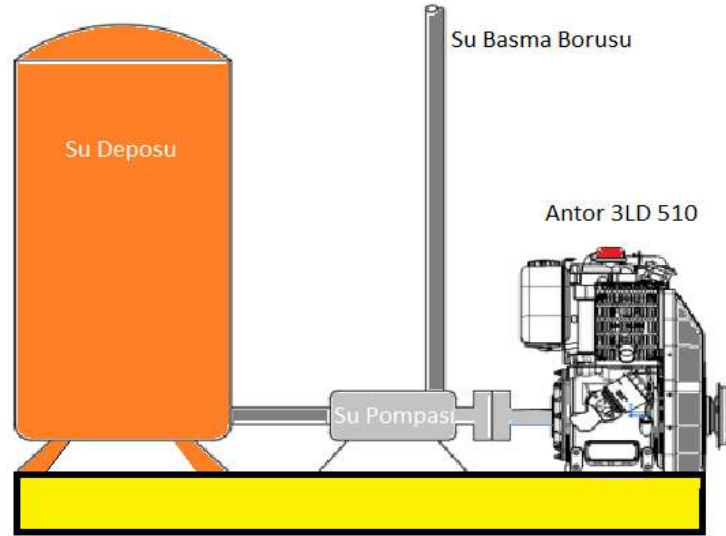
Çalışmanın son aşamasında ise, motorda kullanılan farklı yakıtların motor parçaları üzerindeki etkilerini gözlemlemek amacıyla, motor uzun süreli dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde, M100 ve KYME10 test yakıtları ayrı ayrı yaklaşık olarak 150 saat deney motorunda kullanılmıştır. Şekil 2.14 'te kullanılan motor ve yükleme ünitesi görülmektedir. Motora bağlanan bir su pompası, su boruları yardımıyla depodaki suyun 30 m yükselmesini sağlamaktadır. Bu sistem kurularak

motorun kısmi yük altında uzun süreli çalıştırılması amaçlanmıştır. Netice itibariyle boşa 1600 d/d altında çalışan motor, yükleme ile birlikte sabit 1500 d/d kadar düşmüştür. İlk olarak M100 yakıtı ile 1500 d/d ve kısmi yük altında günde ortalama 7 saat olarak motor çalıştırılmıştır. M100 yakıtı ile yapılan ilk 150 saat çalışma sonunda motorun yağlama yağı ve segmanları motordan alınarak analizler için hazırlanmıştır. Daha sonra aynı prosedür, KYME10 karışım yakıtı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı yakıtların mekanik, termal ve kimyasal reaktivitesi, uzun süreli dayanım testlerine tabi tutulan motordaki aşınmaları değiştirebilir. Uzun süreli dayanım testlerinde, her iki deney yakıtının mekanik ve ısıl etkisini görebilmek amacıyla motorun aynı zamanda ısı salınım oranı, silindir basıncı ve kütleli yanma oranları gibi yanma parametreleri de bu çalışmada incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel araştırmalar, hedeflenen amaca ulaşmakta etkili bir yöntem olacaktır. Toplamda 300 saat çalışma sonucunda motor yağlama yağında meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla yağın iki farklı analizi yapılmıştır. İlk analiz, motorda kullanılan yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesidir. Yağlama yağının; yoğunluk, viskozite, parlama noktası, kül içeriği, asit sayısı tayini, toplam baz sayısı, nem içeriği analizleri yapılmıştır. İkinci analizlerde ise yağlama yağı analizlerindeki metal aşınma elementleri tespiti yapılmıştır. Analizlerde İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemleri kullanılmıştır. ICP-AES analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Petrol Araştırma Laboratuvarında (PAL), ICP-MS analizleri Yıldız Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Yağlama yağının fiziksel ve kimyasal analizleri ise yine ODTÜ PAL merkezinde yaptırılmıştır. Ayrıca motorda meydana gelen aşınmaları yorumlayabilmek için sadece yağlama yağının element ve fiziksel-kimyasal analizleri yeterli olmayabilir. Kapsamlı bir aşınma yorumu yapabilmek amacıyla malzemeler üzerinde meydana gelen değişimleri de gözlemlemek gerekecektir. Bu nedenle, farklı şartlarda çalışan piston segmanlarının morfolojik ve tribolojik analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, farklı yakıtlarla uzun süreli çalışmaya tabi tutulan deney motorunda kullanılan segmanlar çıkartılarak alkol ile temizlenmiş ve SEM/EDX analizleri için hazır hale getirilmiştir. Farklı şartlarda çalışan segmanların yanma olayı sonundaki yapısını inceleyebilmek amacıyla birinci, ikinci ve üçüncü segmanların 100x, 200x, 500x ve 2000x büyütme ile SEM/EDX analizleri yapılmıştır. Ayrıca ikinci segmanların kapsamlı elementel haritası çıkartılmıştır.

SEM/EDX analizleri Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (CÜTAM) yapılmıştır.



Şekil 2.13 SEM/EDX cihazının genel görünümü



Şekil 2.14 Yaklaşık 150 saat çalışma yapılan motor deney düzeneği

Biodizel yakıtları, C/H oranı ve yapısındaki oksijen içeriği bakımından minarel dizel yakıtlarından oldukça farklı kimyasal etkilere sahiptir. Bu farklılıklar özellikle motor yağlama yağlarının çalışma süreleri boyunca birbirinden farklı kimyasal ve fiziksel değişimlere uğramasına neden olmaktadır. Bu nedenle uzun süreli dayanım testlerinin gerçekleştirilmesi ve tribolojik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu

doğrultuda literatürden farklı olarak dünyada kullanımı en yaygın görülen kanola yağı metil esterinden (KYME) oluşan biodizel yakıtı ile bu çalışmada referans yakıt olarak kabul edilen motorin yakıtı kullanılmıştır. Farklı şartlarda çalışan segman yüzeylerinin morfolojik ve tribolojik analizleri elemental haritalar çıkartılarak kıyaslanmıştır. Çalışmada aynı zamanda, iki farklı yağ numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri de incelenerek kapsamlı bir araştırma yapılmıştır.

Ayrıca bu alanda yapılan çalışmalara ulaşmak için YÖK, çeşitli üniversitelerin kütüphaneleri, üniversitemizin yayın tarama bölümü ve bu konuda yurtdışında yapılmış çalışmalar için internet'ten yararlanılmıştır.

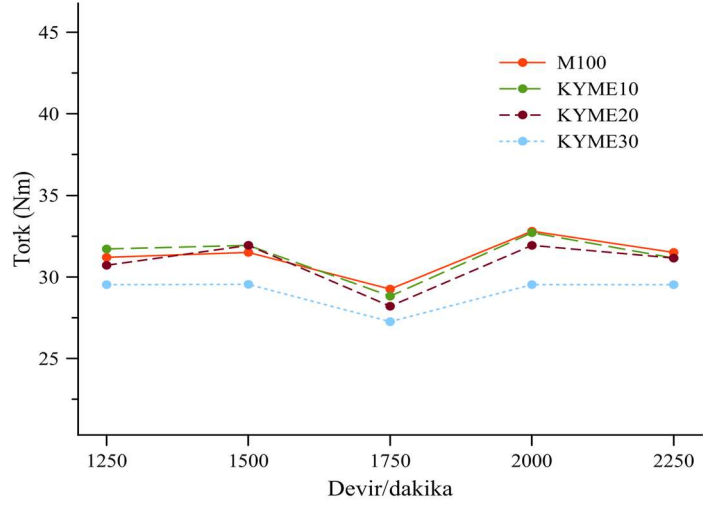


3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

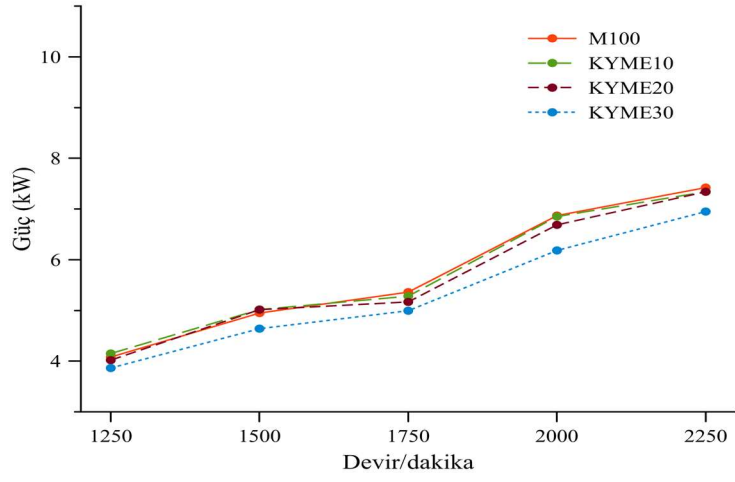
3.1 Motor Performans ölçümleri

İçten yanmalı motorlarda performans ve emisyon karakteristikleri birçok bileşene bağlı olarak değişir. Özellikle dizel motorlarda tutuşma gecikmesi süresi, silindir içi yakıt hava hareketliliği, enjektör basıncı, püskürtme açısı, yakıtın setan sayısı, viskozitesi ve bağ yapısı gibi birçok parametre yanma olayı ile yakından ilişkilidir. Şekil 3.1 ve 3.4'de tam yük altında motorin ve karışım yakıtlarına ait motor tork değerleri görülmektedir. Şekil 3.1 ve 3.4 incelendiğinde, bütün test yakıtları için maksimum motor torkunun 2000 d/d'da elde edildiği görülmektedir. Özellikle KYME10 ve KYME20 yakıtlarının kullanıldığı motordaki tork değerleri, M100 yakıtı kullanılan motorun tork değerlerine yakındır. Ancak motor torku düşüşünde etkili olan yakıt türü KYME30 olmuştur. Maksimum motor torku M100, KYME10, KYME20 ve KYME30 yakıtları için sırasıyla, 32.8 Nm, 32.71 Nm, 31.93 Nm ve 29,52 Nm olarak elde edilmiştir. Referans kabul edilen M100 yakıtlı çalışmalara kıyasla, KYME karışımları içeren test yakıtlarının sahip oldukları düşük ısı değerlerinin bu azalmaların temel nedeni olduğu söylenebilir [98].

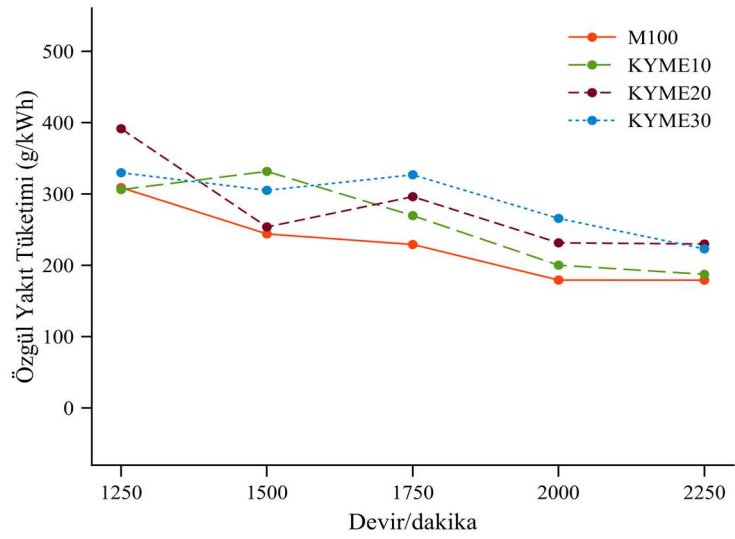
Şekil 3.2 farklı yakıtlarla çalışan motor güç parametrelerini, Şekil 3.3 ise bu yakıtların kullanıldığı motorun ÖYT değerlerini göstermektedir. Motorda devir sayının artmasıyla birlikte çevrim başına püskürtülen yakıt miktarlarındaki artış, bütün test yakıtları için motor gücünü arttırmıştır. Referans kabul edilen motorin yakıtına belirli oranlarda ilave edilen KYME yakıtı, motor gücünde bir miktar azalmalara neden olmaktadır. Maksimum motor gücü bütün yakıtlar için 2250 d/d' da elde edilmiştir. M100, KYME10, KYME20 ve KYME30 yakıtları için maksimum güç değerleri sırasıyla, 7.42 kW, 7.35 kW, 7.34 kW, 6.95 kW olarak kaydedilmiştir. Karışım yakıtları içerisinde KYME oranının artmasıyla paralel olarak motor gücünün azaldığı görülmektedir. Bu azalmaların temel nedeni olarak, KYME karışımli yakıtların sahip olduğu düşük kalorifik değer ve yakıt oranı ile artan viskozite değerlerinin olduğu düşünülmektedir. Yüksek viskoziteli yakıtlar, motorlarda atomizasyon problemlerine neden olabilmektedir. Nitekim bu sonuç sayısal püskürtme dağılımı/sıcaklık analizlerinde de ortaya çıkmıştır. Ayrıca, biodizel yakıtlarının kimyasal yapısında ihtiva ettikleri oksijen molekülleri yakıtın kalorifik değerlerinin azalmasına neden olur. Bu azalmalar sonucunda, Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi, karışım oranının artmasına paralel olarak ÖYT değerleri artışı göstermiştir.



Şekil 3.1 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan tork değişimi

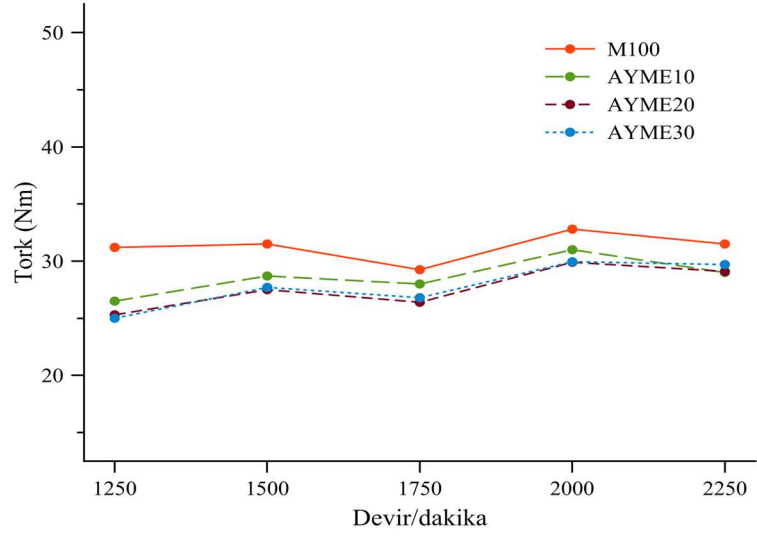


Şekil 3.2 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan güç değişimi

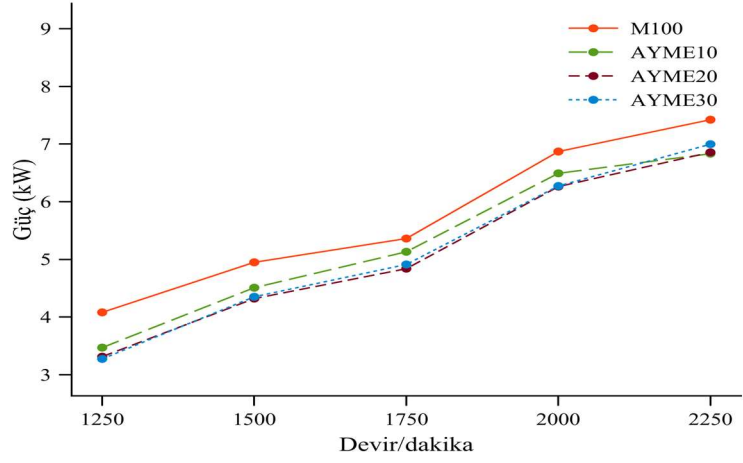


Şekil 3.3 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile değişen ÖYT değerleri

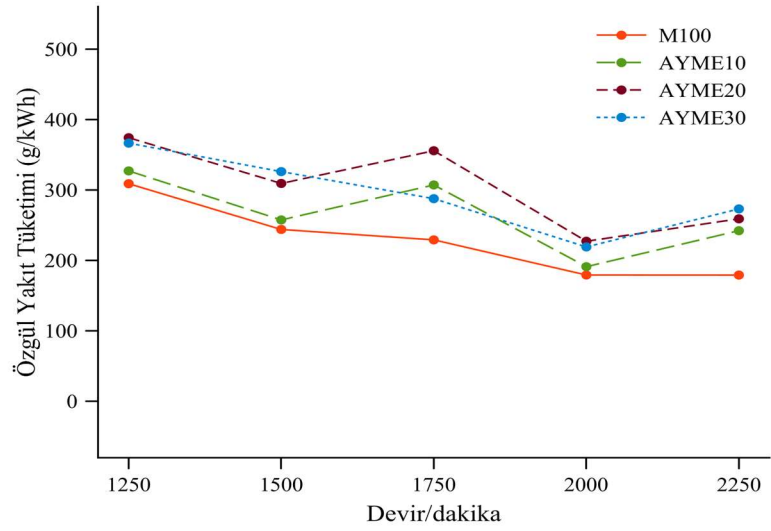
Bu çalışmada, farklı alternatif yakıtların motor üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla kullanılan bir başka biodizel yakıtı ise Ayçiçek yağı metil ester (AYME) olmuştur. Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6, referans kabul edilen M100 ile belirli oranlarda AYME yakıt karışımlarının kullanıldığı motora ait performans sonuçlarını göstermektedir. Maksimum motor torku motorun 2000 d/d için M100, AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarında sırasıyla bu değer, 32.8 Nm, 31 Nm, 29.9 Nm, 29.95 Nm olmuştur. Özellikle KYME karışimli yakıtlara kıyasla, AYME karışimli yakıtların motor torkunda daha fazla azalma tespit edilmiştir. Bu sonuç AYME karışimli yakıtların hem motorin hem de KYME karışimli yakıtlardan daha düşük kalorifik değerinin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Karışım içerisinde AYME oranının artmasına paralel olarak, motor tork ve güç değerleri azalmaktadır. Şekil 3.5 incelendiğinde, motorun 2250 d/d için bütün test yakıtlarında maksimum gücün oluştuğu görülmektedir. Motor devir sayısındaki artışla paralel olarak çevrim başına düşen yakıt miktarının artması, güç değerlerinin bütün test yakıtları için artmasına neden olmuştur. Motorda bir başka performans özelliği ise ÖYT değeridir. Artan devir sayısı ile yükselen silindir içi sıcaklık ve hava hareketliğinin, yanmayı iyileştirerek ÖYT değerlerinin tüm test yakıtlarında azalmalarına neden olmuştur. Bütün test yakıtları kıyaslandığında, AYME karışimli yakıtlar motorun ÖYT değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 3.6 incelendiğinde, farklı test yakıtlarına ait motorun ÖYT değerleri görülmektedir. Bu sonuç karışimli biodizel yakıtlarının kalorifik değerlerindeki azalmaların yanı sıra, bu yakıtların yüksek viskozitesinin de bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Yakıt karışımlarının sahip oldukları yüksek viskozite, silindir içerisinde yakıtın atomizasyonu kötüleştirerek, parçalanmasını engeller. Bu durum yakıtın yanma verimini azaltarak, ÖYT değerlerinin artmasına neden olur.



Şekil 3.4 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan tork değişimi



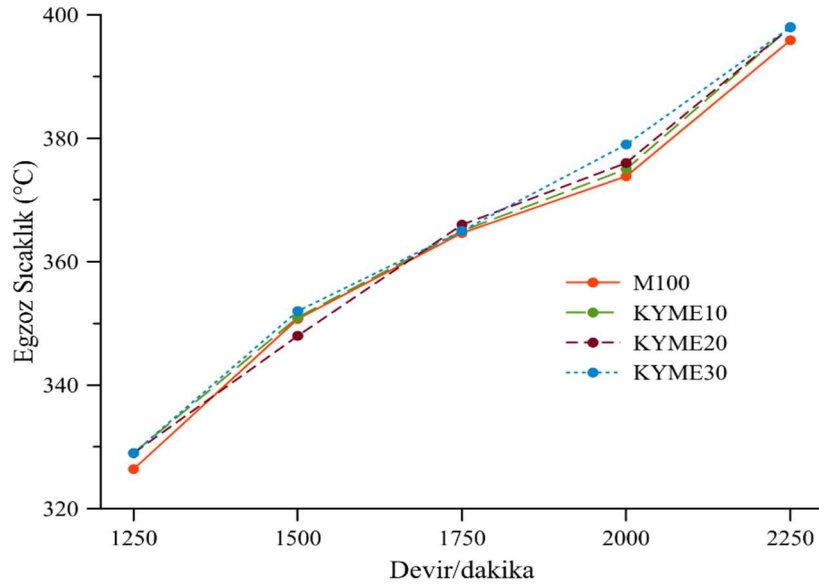
Şekil 3.5 Motorda farklı yakıtların kullanımı ile oluşan güç değişimi



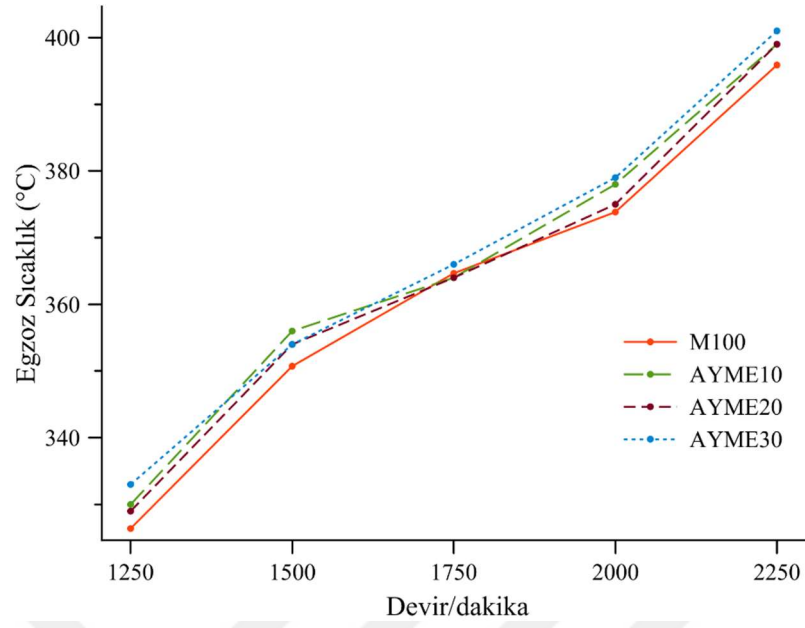
Şekil 3.6 Motorda farklı yakıtların kullanılmasıyla ÖYT değerlerinin değişimi

Hem KYME hem de AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motor karakteristik testlerinde KYME10 yakıtının, M100 yakıtına daha yakın performans sonuçları oluşturduğu görülmüştür. Bu nedenle, tribolojik ve morfolojik analizlerin yapıldığı uzun süreli dayanım testlerinde bu iki yakıt türü seçilmiştir.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8, motorun farklı çalışma rejimlerinde çalıştırılmasıyla oluşan egzoz gaz sıcaklığını göstermektedir. Hem KYME hem de AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motor çalışmalarında, motorin yakıtına kıyasla biodizel karışimli yakıtların egzoz gazı sıcaklıklarını arttırdığı görülmektedir. Bilindiği gibi, motorlarda yanma sonu sıcaklıkları birçok değişkene bağlı gelişen bir parametredir. Özellikle KYME ve AYME yakıtların sahip oldukları oksijen içeriğinin, motorda ki yanmanın gelişmesine olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. Nitekim bu sonucu egzoz emsiyon ölçümleri doğrulamaktadır. Hem KYME karışimli hem de AYME karışimli motor çalışmalarında, karışım içerisinde artan biodizel oranı ile paralel olarak sıcaklıklar artış göstermektedir. Bu artışın bir başka nedeni olarak ise, yakıtların sahip oldukları yoğunluk farkının olduğu düşünülmektedir. Özellikle enjektör iğnesinin açılmasıyla, silindir içerisinde püskürtülen yakıt miktarları her bir yakıt çalışmasında farklılık gösterir. Motorin yakıtlarına kıyasla, biodizel karışimli yakıtların sahip oldukları yüksek yoğunluk birim hacimde daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesine neden olur ve bu husus sıcaklıkların artış göstermesinde etkili olabilir.



Şekil 3.7 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen egzoz gaz sıcaklıkları

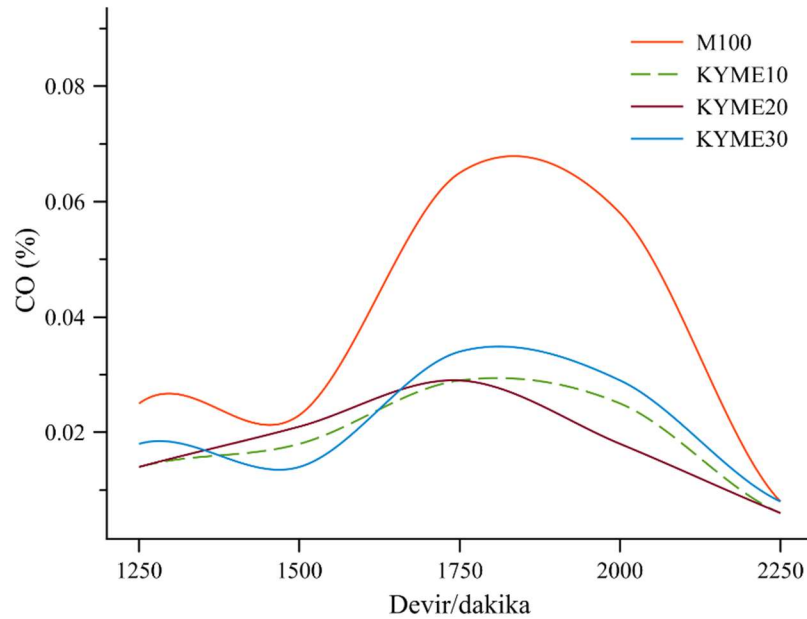


Şekil 3.8 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen egzoz gaz sıcaklıkları

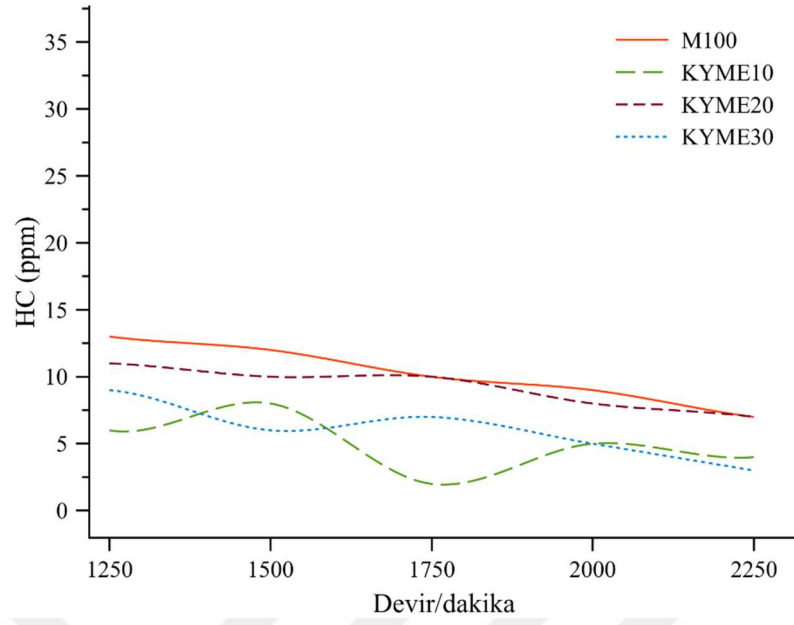
3.2 Egzoz emisyon ölçümleri

CO emisyonu, son derece zehirli ve ölümcül bir emisyon türüdür. Motorlarda hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak değişebilen bu emisyon temelde oksijen yetersizliğine bağlıdır. Şekil 3.9’da, M100 ve KYME karışımli yakıtların kullanıldığı motorda ki CO değişimini göstermektedir. Genel olarak artan devir sayısı ile silindire alınan yakıtın artması, CO emisyonlarını orta devirlere kadar arttırmıştır. Ancak, motorun 1750-1800 d/d hızı sonrasında silindir içi artan sıcaklıklar ve hava hareketliliği bütün test yakıtlarında CO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Ayrıca, referans kabul edilen M100 yakıtına kıyasla KYME karışımli yakıtlar, motorun CO emisyonlarında ciddi oranda azalmalara neden olmuştur. Özellikle yanmanın idealleşme eğilimi gösterdiği 2000-2250 devir aralıklarında benzer bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu azalmalar biodizel yakıtlarının sahip oldukları oksijen içeriğinin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Biodizel yakıtlarının sahip oldukları oksijen içeriği yanmayı iyileştirerek, CO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. CO emisyonlarındaki bu azalmalar, AVL-FIRE programında gerçekleştirilen sayısal sonuçlarla da desteklenmiştir. Motorlardan kaynaklanan eksik yanma ürünlerinden biri de HC emisyonudur. Farklı devir sayısı ve yakıtların kullanıldığı motora ait HC emisyonlarındaki değişim Şekil 3.10’da görülmektedir. Genel olarak bütün test yakıtları için artan devir sayısı ve sıcaklıklar ile HC

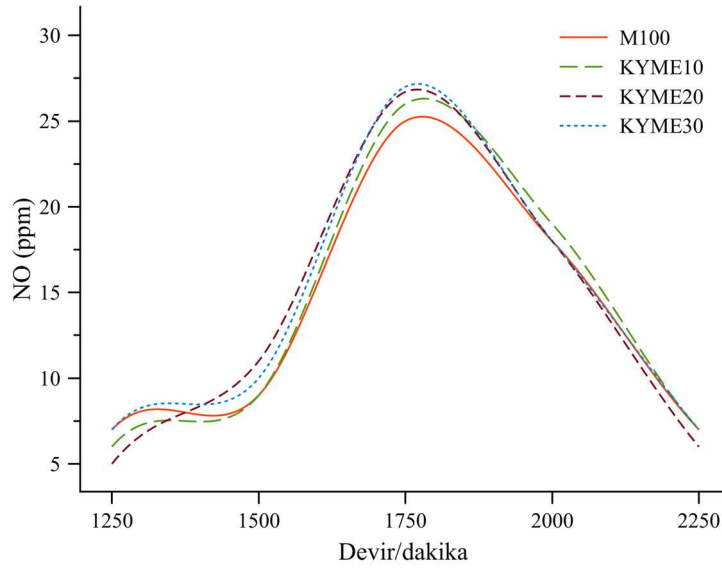
emisyonlarının azaldığı söylenebilir. M100 yakıtına kıyasla, KYME karışımı yakıtların ihtiva ettikleri oksijen ve sonrasında artan sıcaklıkların HC emisyonlarının azalmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bir başka zararlı emisyon türü ise NO emisyonlarıdır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan NO emisyonları silindir içi sıcaklık, yanma süreleri ve hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Genel olarak bütün test yakıtları için 1750-2000 d/d motor hızında maksimum NO seviyeleri elde edilmiştir. Bütün test yakıtları için motorun 1750-2250 d/d hızlarındaki NO miktarları azalmaktadır. Bu azalmanın temelinde yanma için ayrılan sürelerin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, motorda KYME karışımı yakıtların kullanımı ile NO miktarlarının arttığı görülmektedir. Özellikle karışımı yakıtların sahip olduğu oksijen içeriği ve beraberinde artan silindir içi sıcaklıklar NO miktarlarının artmasındaki temel neden olarak görülmektedir. Şekil 3.11’de farklı devir sayılarında ve yakıtlar ile motorda oluşan NO değişimi görülmektedir.



Şekil 3.9 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen CO emisyonu



Şekil 3.10 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen HC emisyonu

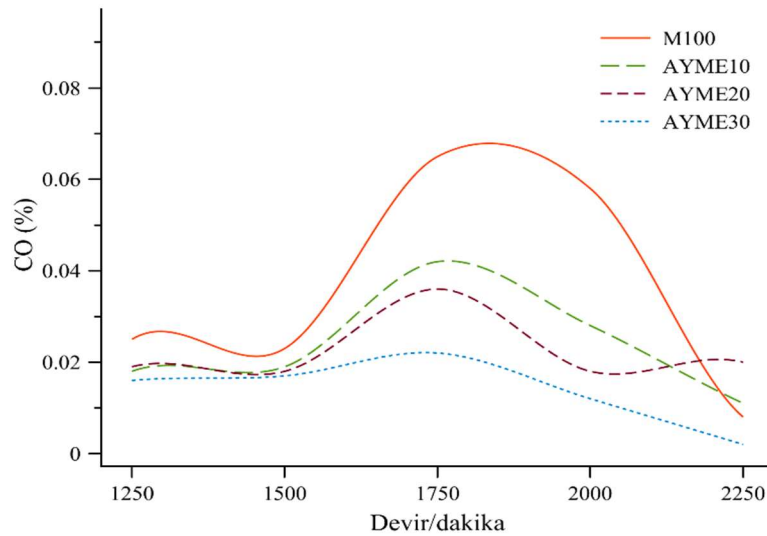


Şekil 3.11 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen NO emisyonu

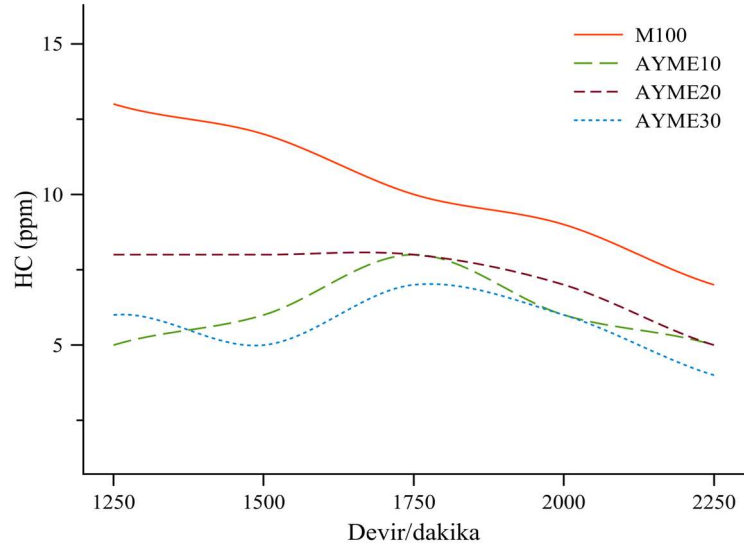
Şekil 3.12’de M100 ve AYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait CO değişimini göstermektedir. Özellikle orta devir aralıklarında artan silindir içi sıcaklıkların ve hava hareketliliğinin CO seviyelerinin azalmasındaki temel etkenler olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, referans yakıt kabul edilen M100 yakıtına kıyasla AYME karışimli yakıtlar CO emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Özellikle bütün yakıtlar için yanmanın idealleşme eğilimi gösterdiği

1750-2000 d/d motor hızlarında CO miktarında azalmalar görülmektedir. Karışım içerisinde AYME oranının artışına paralel olarak ise CO emisyonu azalmıştır. Bu azalmalar AYME yakıtının sahip olduğu oksijen içeriğinin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3.13’ te farklı motor hızlarında ve test yakıtları için motorda ölçülen HC emisyonlarının değişimi görülmektedir. Bütün test yakıtları için devir sayısı ile artan sıcaklıklar, bütün test yakıtlarında HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıtın eksik yanması sonucunda oluşan HC emisyonu silindir içi sıcaklık, hava hareketliliği ve karışım homojenliği gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. M100 yakıtına kıyasla, AYME karışımlı yakıtların kimyasal yapısında ihtiva ettikleri oksijen içeriği ve beraberinde artan sıcaklıklar yanmanın iyileşmesine ve bunun sonucunda da HC emisyonlarının azalmasına neden olmuştur.

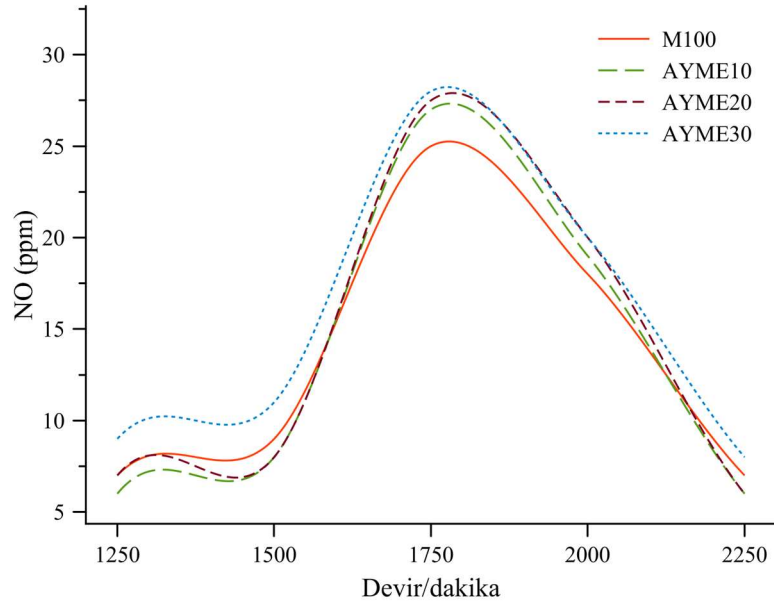
Şekil 3.14’te M100 ve AYME karışımlı yakıtların kullanıldığı motora ait NO değişimini göstermektedir. Tıpkı KYME karışımlı yakıt çalışmasında olduğu gibi, burada da bütün test yakıtları için 1750-2000 d/d aralığı için maksimum NO seviyeleri elde edilmiştir. Ancak bütün test yakıtları için motorun 2000-2250 d/d hızlarındaki NO miktarları azalmaktadır. Bu azalmanın temelinde yine yanma için ayrılan sürelerinin azalması söylenebilir. Ayrıca motorda AYME karışımlı yakıtlar, NO miktarlarının artmasına neden olmuştur. Özellikle AYME karışımlı yakıtların sahip olduğu oksijen içeriği ve beraberinde artan silindir içi sıcaklıklar NO miktarlarının artmasındaki temel neden olarak söylenebilir.



Şekil 3.12 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen CO emisyonu



Şekil 3.13 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen HC emisyonu



Şekil 3.14 Farklı test yakıtlarının kullanıldığı motordan ölçülen NO emisyonu

3.3 Deneysel Yanma Analizi

Bu çalışmada, farklı yakıtların motor performans ve emisyon değerlerinin yanı sıra, silindir içi basınç/krank açısındaki değişimler ve ısı salınım oranları da aynı zamanda ölçülmüştür. Motorlardaki yanma analizi, silindir içi bazı parametrelerin elde edilmesi ile mümkündür. Bu parametrelerden ikisi, bu çalışmada enkoder tarafından ölçülen motor krank mili açısı ve optik basınç sensörü tarafından ölçülen silindir içi basınçtır. Şekil 3.15'te farklı oranlarda KYME yakıtı ve M100 kullanılan motora ait

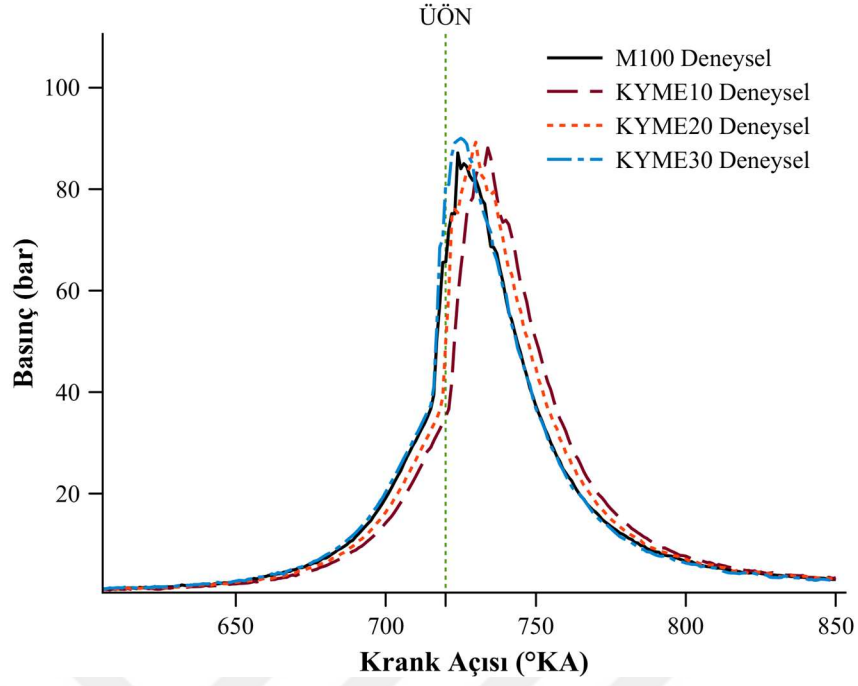
silindir içi basınç/krank açısı değişimi görülmektedir. Deneysel gerçekleştirilen bu aşamada, bütün test yakıtları için 200 çevrimin ortalama hesabı yapılarak hata payının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda motor performans testlerinde bütün test yakıtları için maksimum motor momenti 2000 d/d hızında elde edilmiştir. Bu nedenle hem deneysel hemde sayısal gerçekleştirilen yanma analizlerinde motorun 2000 d/d seçilmiştir. Referans kabul edilen M100 yakıtına kıyasla, KYME10, KYME20 ve KYME30 yakıtlı çalışmalarda motorun silindir içi maksimum basınç değerleri çok az da olsa yükselmiştir. Özellikle biodizel yakıtlarının yoğunluğunun motorine kıyasla fazla olması, biodizel yakıtları için enjektörden daha fazla yakıt kütlelerinin yanma odasına transferi anlamına gelmektedir. Bu durum KYME karışımı yakıt çalışmalarında, maksimum basınçların artışıdaki önemli etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Bir başka etken ise, biodizel yakıtlarının kimyasal yapısında buldukları oksijen içeriğidir. Oksijenin yanma olayına karışması ile beraberinde artan silindir içi sıcaklıklar, silindir içi maksimum basınçların bir miktar artmasına neden olur. Nitekim bu sonuçlar AVL Fire programında yapılan yanma analizleriyle de doğrulanmaktadır. Farklı yakıtlarla yapılan deneysel çalışmaların sayısal çalışmalarla olan benzerliği, sayısal sonuçların doğruluğunu geçerli kılmaktadır. Silindir içi basınç/krank açısı değişimlerinde dikkat çeken bir başka durum ise, biodizel karışımı yakıt çalışmalarında yanma fazında oluşan kaymadır. M100 yakıtının KYME karışımı test yakıtlarına kıyasla daha iyi buharlaşması ve hava ile karışımı oluşturduğu karışım, yakıtın daha kolay tutuşarak yanmasını kolaylaştırmıştır. Ancak biodizel karışımı yakıtlarının setan sayısı ve viskozitesi, bu yakıtların buharlaşmasını ve karışım oluşumunu zorlaştırmaktadır. Bu durum Şekil 3.15'te görülmektedir.

Isı salınım oranı aynı zamanda, yakıtın yanmasıyla oluşan toplam ısı salınım oranıdır. Toplam ısı salınım oranı yanma hakkında birtakım bilgiler sağlar. Şekil 3.16'da farklı oranlarda KYME yakıtları ve M100 yakıtının kullanıldığı motora ait silindir içi ısı salınım oranları/krank açısı değişimlerini göstermektedir. Özellikle KYME karışımı yakıtlar, yakıtın yanmasıyla açığa çıkan maksimum enerji seviyesini arttırmaktadır. KYME karışımı yakıtların silindir içi basınç ve sıcaklık artışına paralel olarak maksimum ısı salınım oranları da artmaktadır. Özellikle yakıtların setan sayısının bir fonksiyonu olarak gelişen tutuşma gecikmesi sürelerindeki artışlar, maksimum ısı salınım oranlarının arttırmasına neden olabilir.

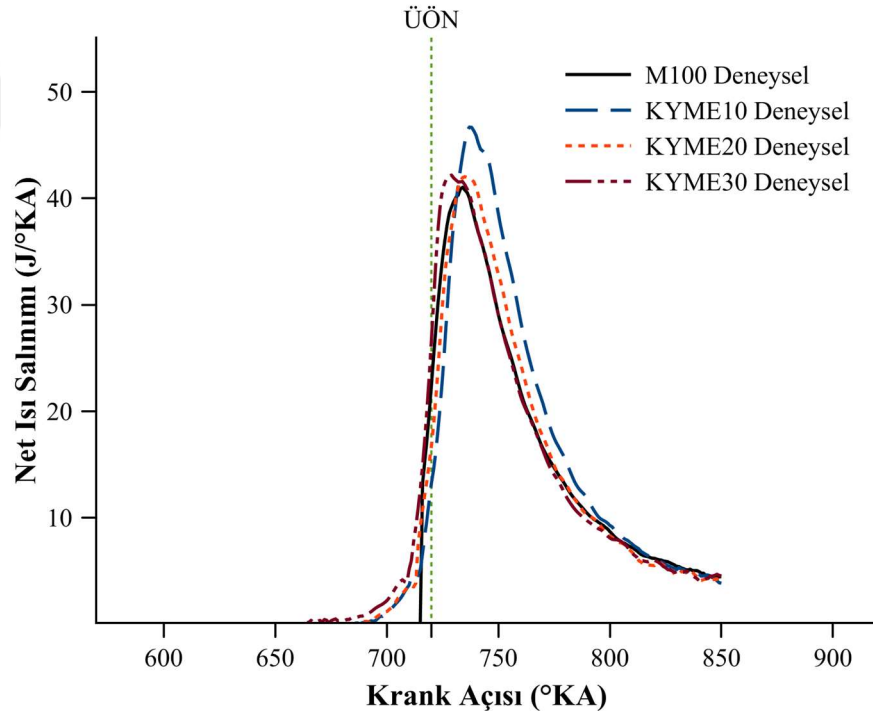
Bu duruma paralel olarak, silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıklarda artmaktadır. Nitekim sayısal çalışmada elde edilen püskürtme dağılımı/sıcaklık şekillerinde de bu durumu açıklayan yanma görüntüleri elde edilmiştir.

Çalışmada, bir başka alternatif yakıt türü olarak kullanılan AYME karışimli yakıtlar ile biodizel yakıtlarına ait yapılan analizler daha da genişletilmiştir. Şekil 3.17'de M100 ve AYME karışimli yakıtların motorlarda kullanımı ile oluşan silindir içi basınç/krank açısı değişimi görülmektedir. Referans kabul edilen M100 yakıtına kıyasla, AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarına ait silindir içi maksimum basınç değerleri tıpkı KYME karışimli çalışmalarda olduğu gibi bir miktar yüksektir. Bu artışın temel nedenlerden biri olarak biodizel yakıtlarının yoğunluğu söylenebilir. Ayrıca, AYME karışimli yakıtlarının kullanılmasıyla artan silindir içi sıcaklıkların etkili olduğu düşünülmektedir.

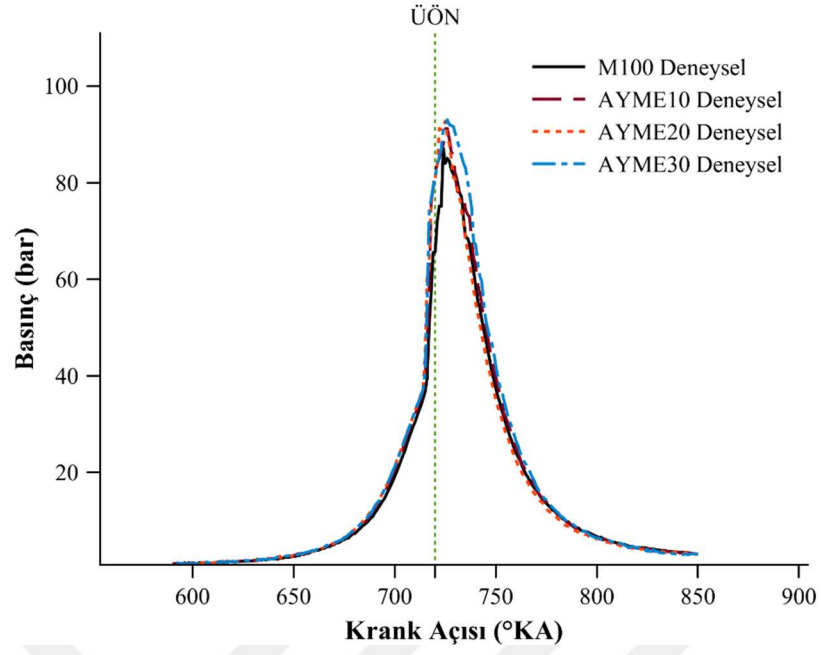
M100 ve AYME karışimli test yakıtlarının kullanıldığı motora ait ısı salınım oranları/krank açısı değişimleri incelendiğinde, genel olarak yakıtların silindir içerisine püskürtülmesiyle birlikte TG süreleri yaşanmış ve ardından ani bir basınç artışı ile birlikte maksimum ısı salınımlarının meydana geldiği görülmektedir. Özellikle M100 yakıtı ile kıyaslandığında, AYME karışimli yakıt çalışmalarında açığa çıkan maksimum ısı salınım değerlerinin Ü.Ö.N civarında daha fazla olduğu görülmektedir. AYME karışimli yakıtların yanma başlangıcının kontrollü yanma fazına doğru kayması, motorin yakıtından daha fazla ısı salınım oranının oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bilindiği gibi, biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla yüksek viskozitesi ve düşük buharlaşma derecesi yakıt hava karışımının gerçekleşmesi için daha fazla zamana ihtiyaç duyması anlamına gelmektedir. Bu durum yakıt zerreciklerinin atomizasyonu zorlaştırarak yanmanın ileriki safhalara kaymasına neden olur. Şekil 3.18, yakıt olarak farklı oranlarda AYME içeren karışım yakıtlarının kullanıldığı motora ait ısı salınım oranı/krank açısındaki değişimi göstermektedir. Bu çalışmada biodizel karışimli yakıtların silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıkları arttırdığı ve paralelinde maksimum ısı salınım oranlarının da artmasına neden olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar aynı zamanda sayısal çalışmada elde edilen veriler ile de doğrulanmıştır.



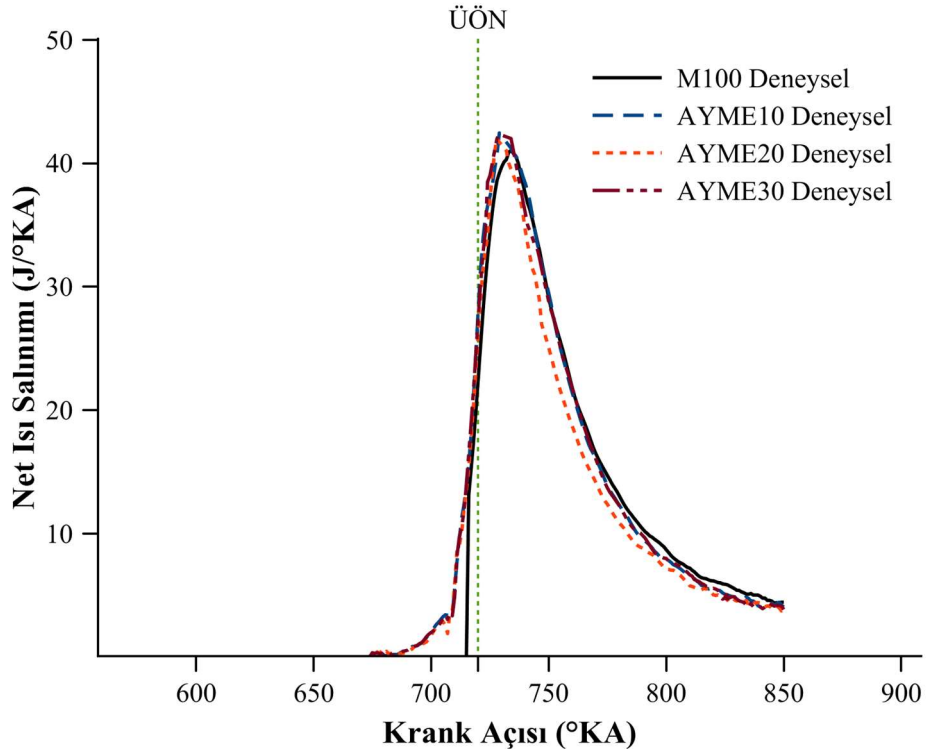
Şekil 3.15 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel silindir içi basınç/krank açısı değişimi



Şekil 3.16 M100 ve KYME karışimli yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel ısı salınım/krank açısı değişimi



Şekil 3.17 M100 ve AYME karışımı yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel silindir içi basınç/krank açısı değişimi



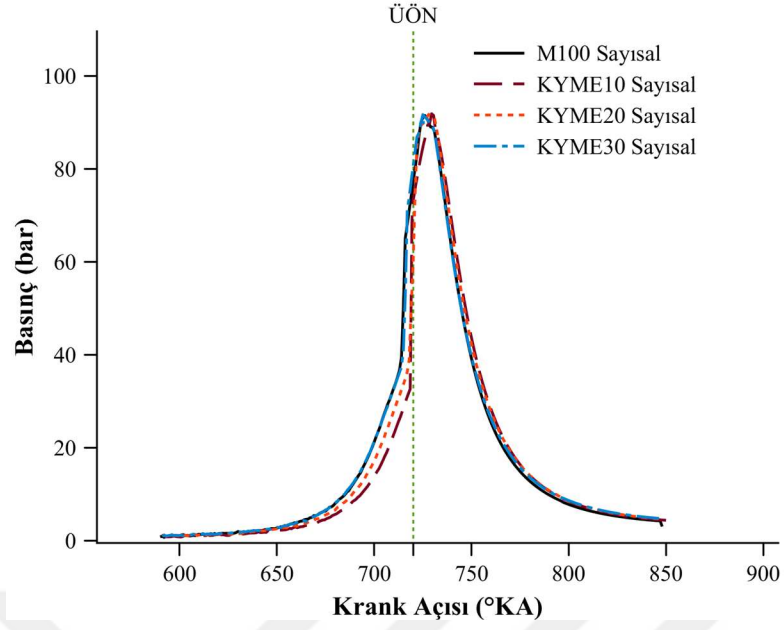
Şekil 3.18 M100 ve AYME karışımı yakıtların kullanıldığı motora ait deneysel ısı salınımı/krank açısı değişimi

3.4 Sayısal Yanma Analizi

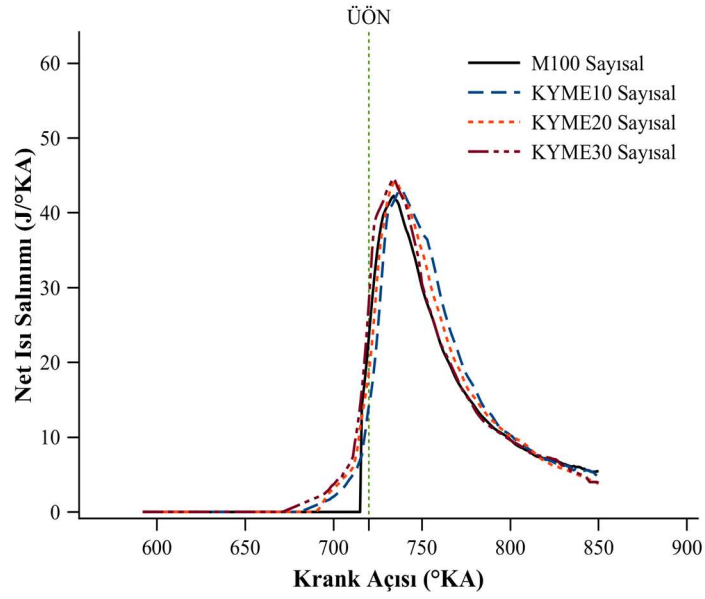
Çalışmanın bu bölümünde, deneysel çalışmada kullanılan motor ve test yakıtları birebir AVL-Fire programında modellenerek sayısal yanma analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak

sunularak, sayısal modelin geçerliliği üzerinde durulmuştur. Şekil 3.19 ve 3.20’de, M100 ve KYME10, KYME20, KYME30 yakıtlarının kullanıldığı motora ait silindir içi basınç ve ısı salınım oranlarının krank açısı cinsinden değişimi, Şekil 3.20 ve 3.21’ de ise, M100 ve AYME10, AYME20, AYME30 yakıtlarının kullanıldığı motora ait silindir içi basınç ve ısı salınım oranlarının krank açısı cinsinden değişimi görülmektedir.

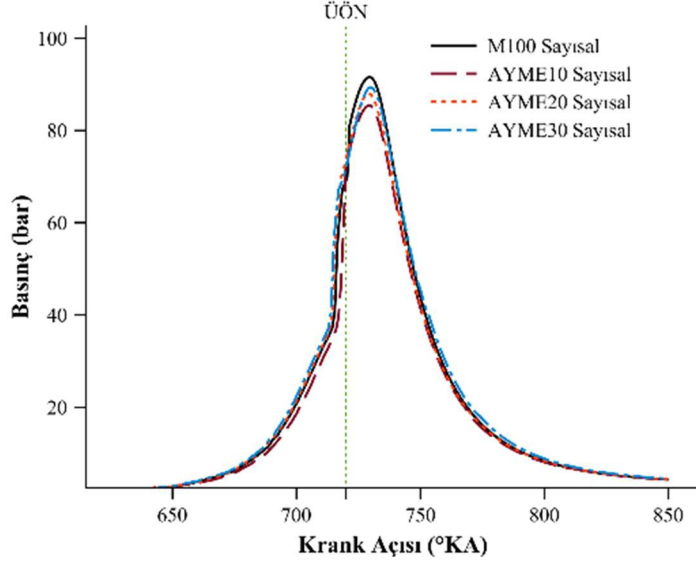
AVL kütüphanesinde bulunan KYME ve AYME yakıtları tıpkı deneysel çalışmada olduğu gibi, hacimsel olarak motorin yakıtına belirli oranlarda ilave edilerek karışım yakıtları elde edilmiştir. AVL- FIRE yakıt kütüphanesinde kimyasal yapısı tanımlanan kanola yağı metil esteri ve ayçiçek yağı metil ester yakıtları motorin yakıtı içerisine tıpkı deneysel çalışmada olduğu gibi hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında karıştırılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, deneysel veriler ile olan benzerlik dikkat çekmiştir. Sayısal çalışmada elde edilen bu başarı tamamiyle dinamik bir modellemenin gerçekleştirilmiş olumasıdır. Gerek motor üreticisinden alınan teknik motor verileri, gerekse deneysel çalışmada elde edilen sınır şartlarının tesbiti sayısal modellemedeki en önemli adımlar olmuştur. Sayısal ve deneysel çalışmada elde edilen silindir içi basınç/krank açısı değerleri arasındaki benzerlik tüm test yakıtlarında görülmektedir. Deneysel çalışmada olduğu gibi, genel olarak biodizel karışımlı yakıtların motorin yakıtına yakın bir silindir içi yanma davranışı gösterdiği görülmektedir. Ancak motorda biodizel karışımlı yakıtların kullanımı ile silindir içi maksimum basınç ve ısı salınım oranlarının az da olsa arttığı, sayısal sonuçlarda da görülmektedir. Hem KYME hem de AYME karışımlı yakıtlar ile kıyaslandığında, M100 yakıtının daha kontrollü bir yanma eğilimi gösterdiği görülmektedir.



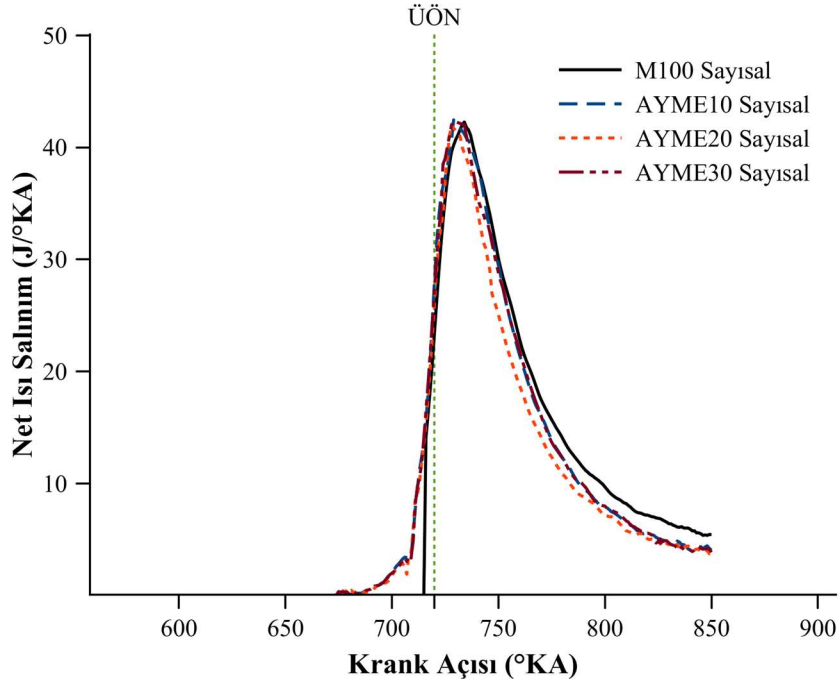
Şekil 3.19 M100 ve KYME karışımlı yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



Şekil 3.20 M100 ve KYME karışımlı yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



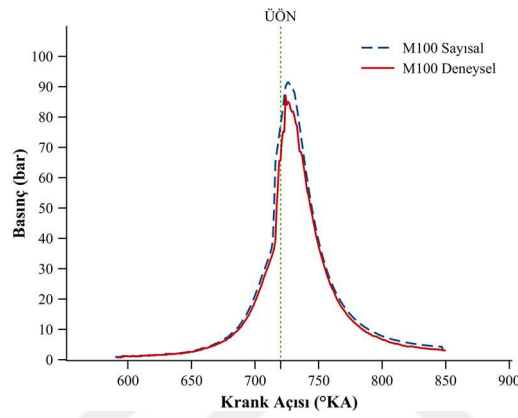
Şekil 3.21 M100 ve AYME karışımı yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



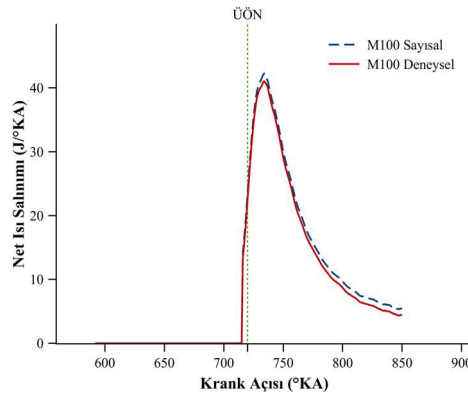
Şekil 3.22 M100 ve AYME karışımı yakıtların kullanıldığı motora ait sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi

Aşağıdaki şekillerde, motorda farklı yakıtlarla yapılan yanma analizlerine ait deneysel ve sayısal sonuçlar ayrıca kıyaslamalı olarak sunulmaktadır. Şekil 3.23 ve 3.24'te M100, Şekil 3.25 ve 3.26'da KYME10, Şekil 3.27 ve 3.28 de KYME20, Şekil 3.29 ve 3.30'da KYME30 yakıtlarına ait deneysel ve sayısal silindir içi

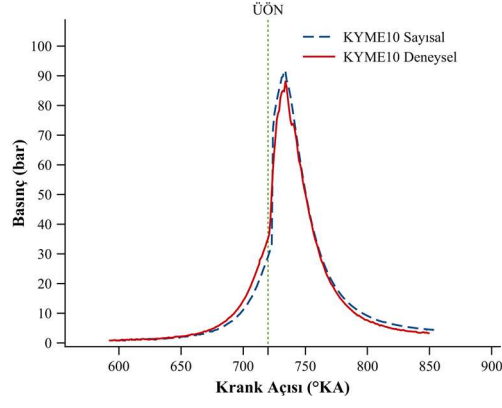
basınç/krank açısı ve ısı salınım oranları/krank açısı değişimini, Şekil 3.31 ve 3.32’de AYME10, Şekil 3.33 ve 3.34’te AYME20 ve Şekil 3.35 ile 3.36’da ise AYME30 yakıtlarına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı ve ısı salınım oranları/krank açısı sonuçlarını karşılaştırmalı olarak yansıtmaktadır. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, AVL-FIRE programında elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Gerek yanma odasının gerekse farklı yakıtların modellenmesine imkanı sağlayan AVL-FIRE motor simülasyonları ile Febris yanma analiz sonuçları arasındaki bu uyum çalışma için bir başarı ölçütü olarak kabul edilmektedir.



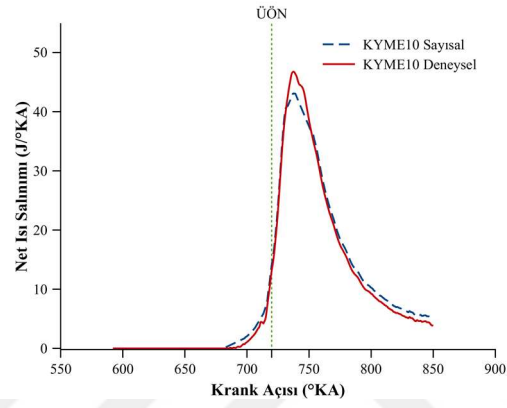
Şekil 3.23 M100 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



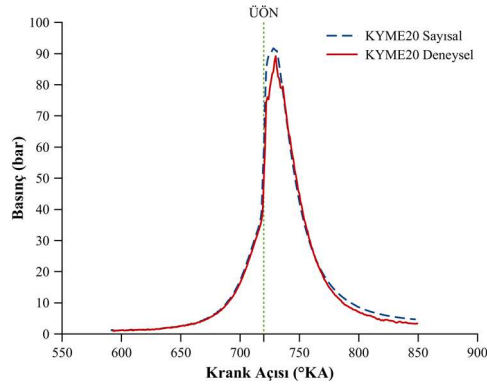
Şekil 3.24 M100 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



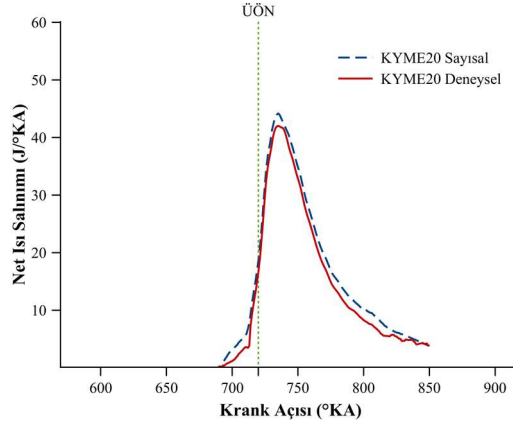
Şekil 3.25 KYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



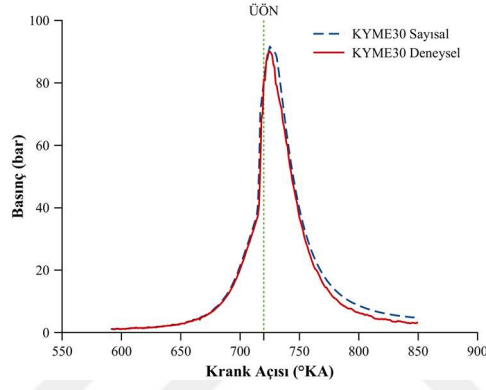
Şekil 3.26 KYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



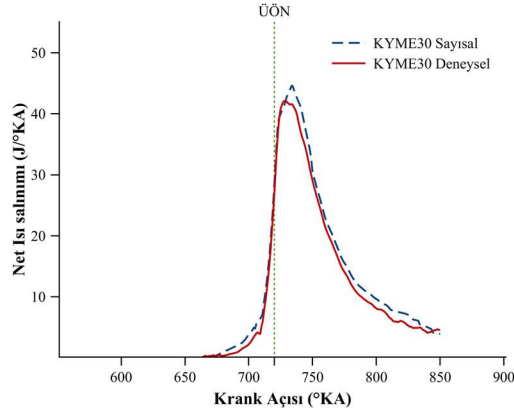
Şekil 3.27 KYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



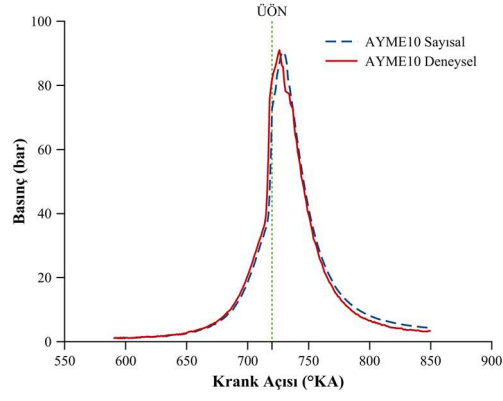
Şekil 3.28 KYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



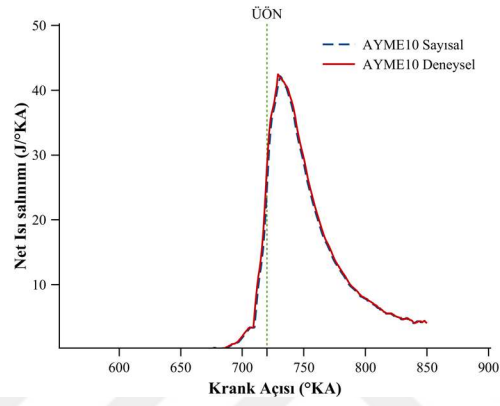
Şekil 3.29 KYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



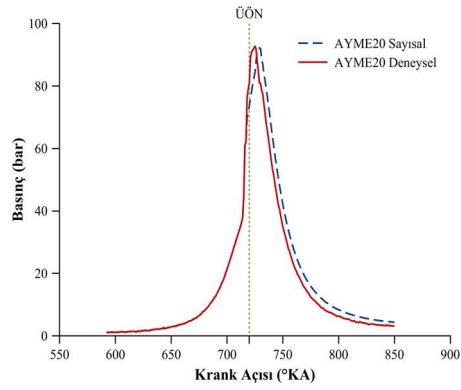
Şekil 3.30 KYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



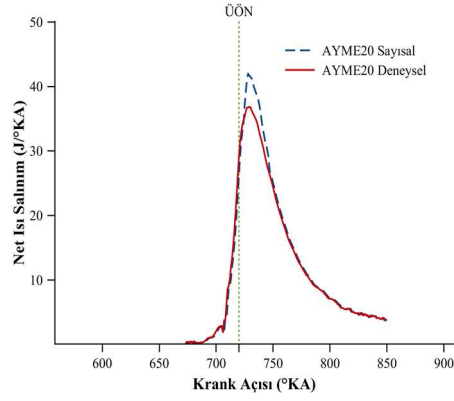
Şekil 3.31 AYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



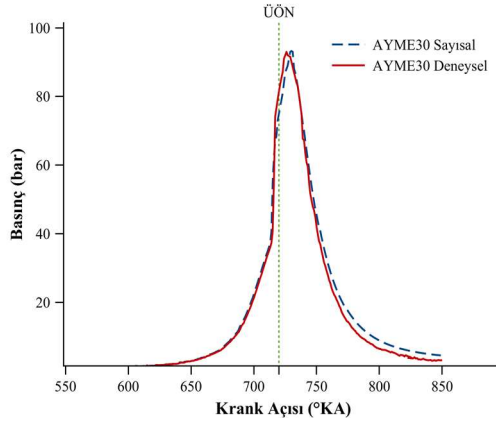
Şekil 3.32 AYME10 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



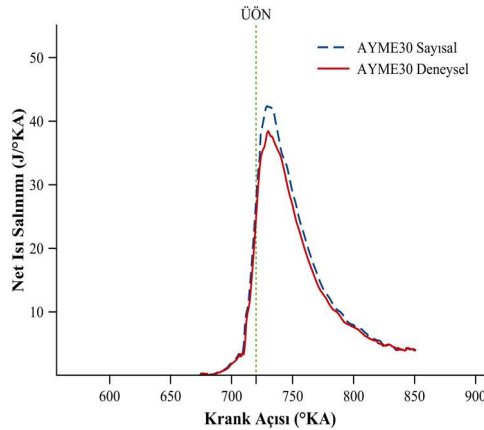
Şekil 3.33 AYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi



Şekil 3.34 AYME20 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi



Şekil 3.35 AYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal silindir içi basınç/krank açısı değişimi

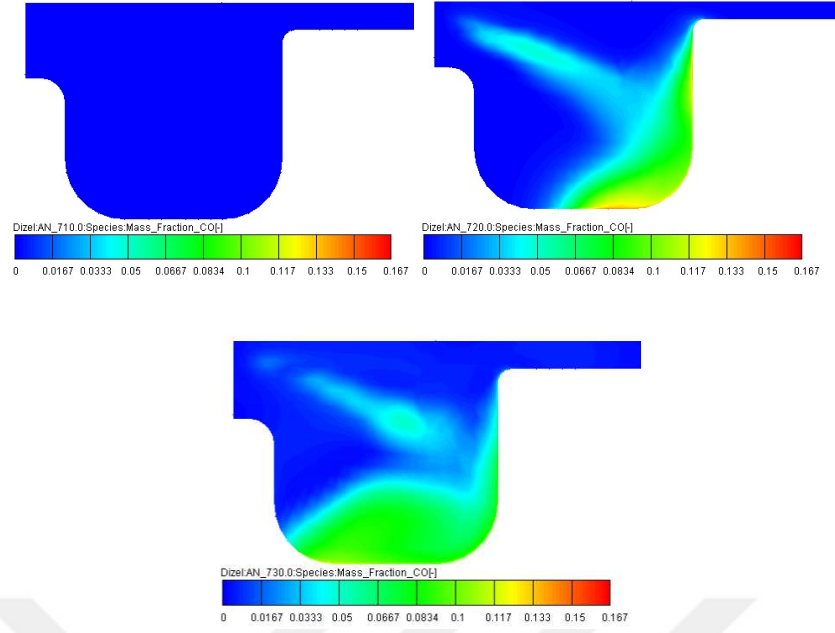


Şekil 3.36 AYME30 yakıt çalışmasına ait deneysel ve sayısal ısı salınım/krank açısı değişimi

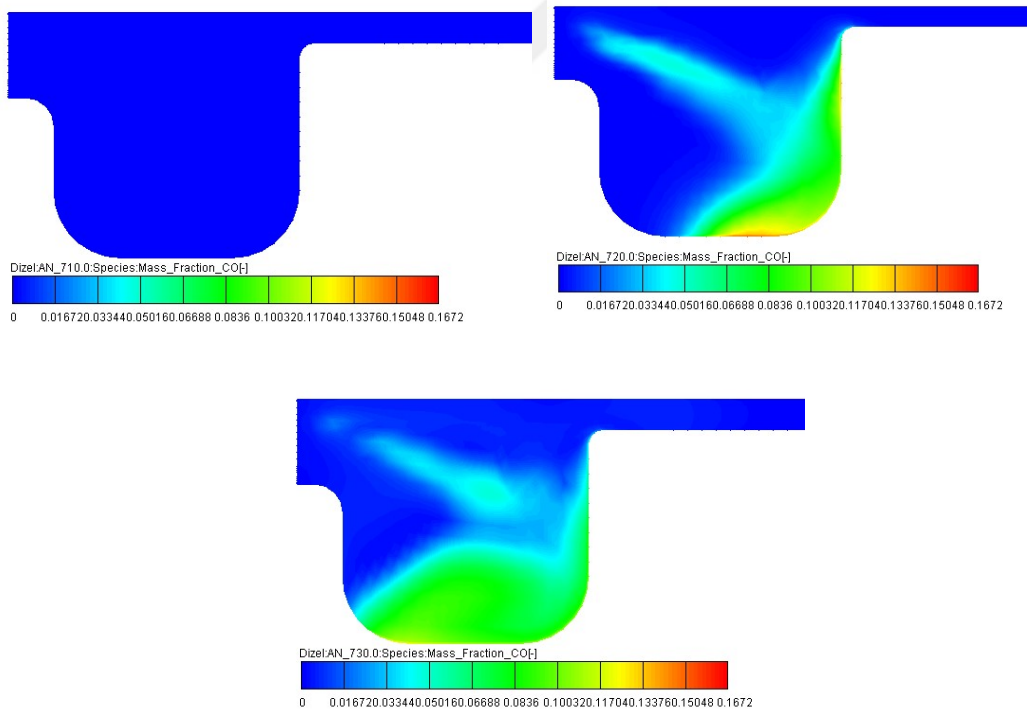
3.5 Farklı krank açılarında yanma odasında oluşan CO oluşumu

Motorlarda silindir içi yanma analizlerinde takip edilmesi gereken bir başka parametre ise CO oluşumudur. CO oluşumu silindir içi sıcaklık, eşivalans oranı, karışımın kimyasal ve fiziksel özellikleri, silindir içi akış davranışları, yanma odası

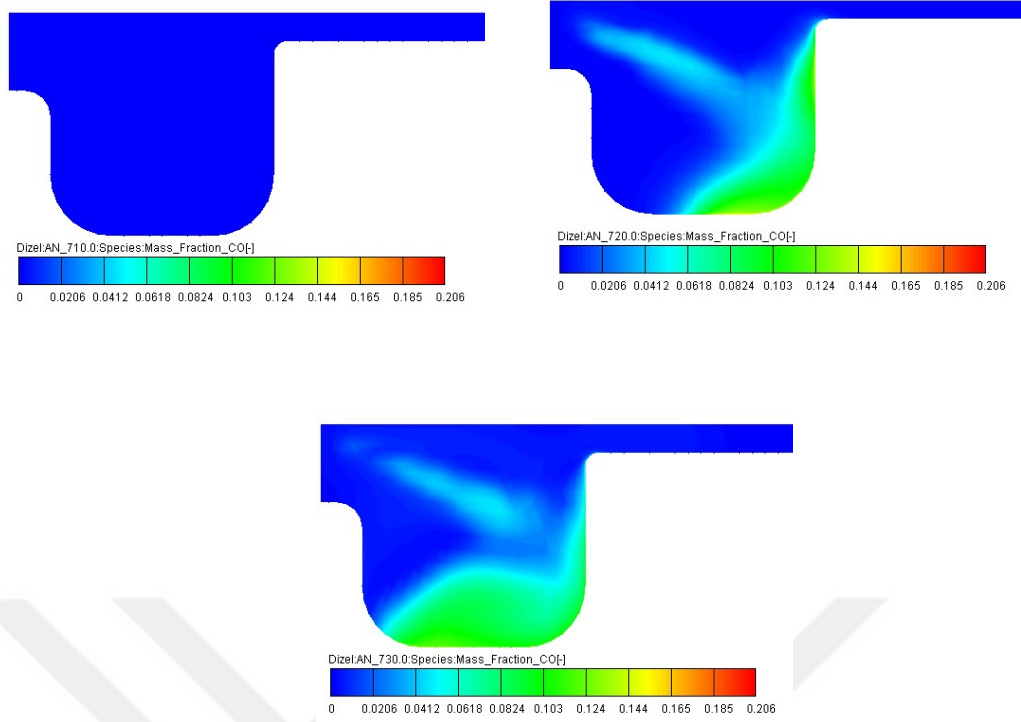
geometrisi gibi birbirinden bağımsız birçok fonksiyona bağlı olarak gelişir. Bu çalışmada, silindir içerisinde farklı krank açılarındaki oluşan CO emisyon oluşumu bütün test yakıtları için motorda Ü.Ö.N kabul edilen 720° krank açısından önce ve sonra irdelenmiştir. Çalışmada sayısal olarak aynı zamanda silindir içi damlacık dağılımı, sıcaklık oluşumu ve eşvalans oranları da incelenmiştir. Böylece silindir içi yanma ve emisyon oluşumu hakkında daha kapsamlı yorumların yapılmasının önü açılmıştır. Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da sırasıyla M100, KYME10, KYME20 ve KYME30 yakıtlarının kullanıldığı motora ait 3 farklı krank açısındaki yerel CO oluşumu görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, bütün test yakıtlarında pistonun Ü.Ö.N ya varmadan krank açısı cinsinden 10° öncesinde, silindir içi CO oluşumunun yok denilecek kadar az olduğu görülmektedir. Ayrıca, yakıtların püskürtüldüğü alan bölgesinde daha fazla CO oluşumunun geliştiği söylenebilir. Yine bütün test yakıtları için, krank açısındaki artışla birlikte artan silindir içi hava hareketleri ve sıcaklıklar CO oluşumunu önemli derecede etkilemiştir. Özellikle enjektör tarafından yanma odası oyuklarına yapılan püskürtme, bu bölgelerde bulunan yakıtın duvar ile etkileşimini geliştirmiş ve yakıtın buharlaşması ve yanması sağlanmıştır. Ancak her ne kadar biodizel karışumlu yakıtların M100 yakıtına kıyasla düşük buharlaşma derecesine sahip olduğu bilinse de, yapısındaki oksijen fazlalığının silindir içi CO oluşumunda daha etkin olduğu görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, en yüksek CO oluşumunun M100 yakıtı kullanılan çalışmada elde edildiği görülmektedir. Karışım içerisindeki KYME oranının artışına paralel olarak CO oluşumunun azaldığı aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Bu sonuç deneysel çalışmada ölçülen verileri doğrulamaktadır.



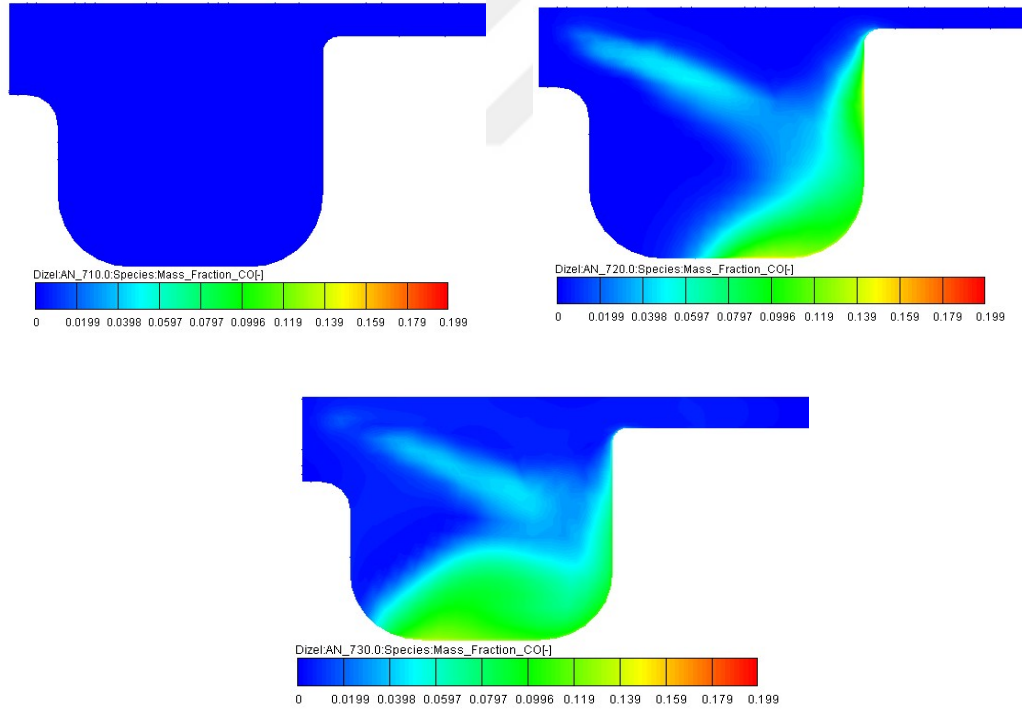
Şekil 3.37 M100 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



Şekil 3.38 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



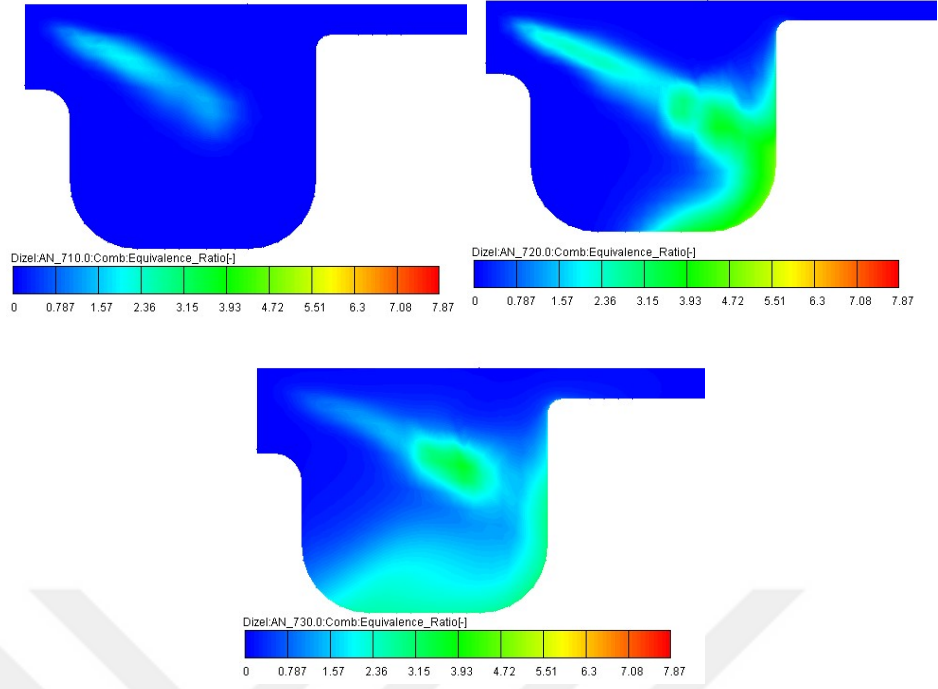
Şekil 3.39 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



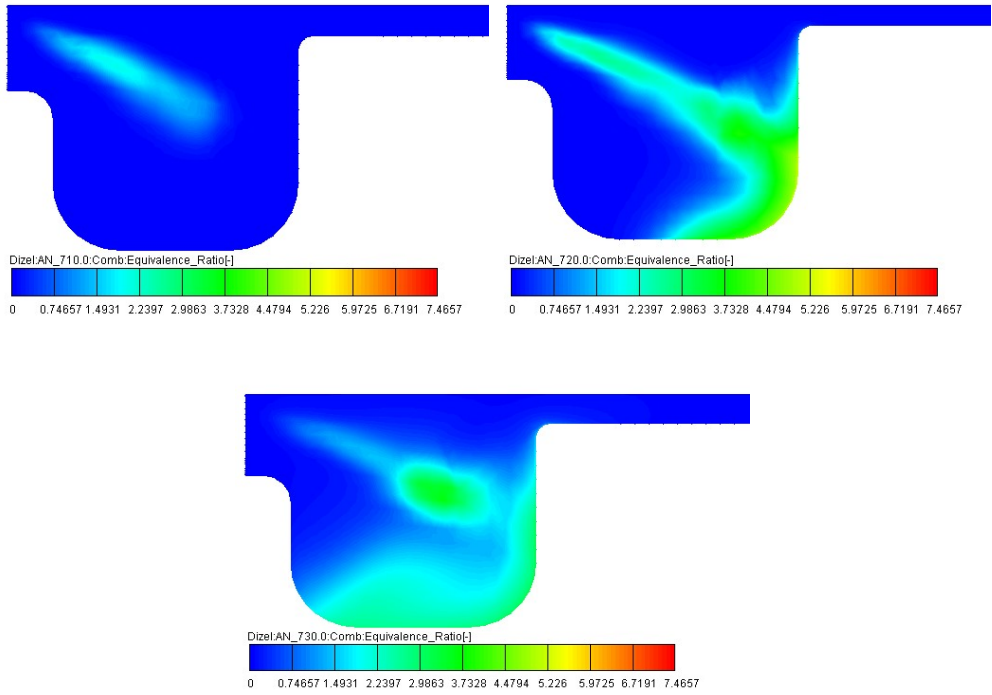
Şekil 3.40 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu

Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'de sırasıyla M100, KYME10, KYME20 ve KYME30 yakıtlarının kullanıldığı motora ait 3 farklı krank açısındaki silindir içi ekivalans dağılımı görülmektedir. Yakıt-hava karışımının zengin, fakir ya da stokiyometrik şartlarda olup olmadığını gösteren ve motor yorumlarında yaygın

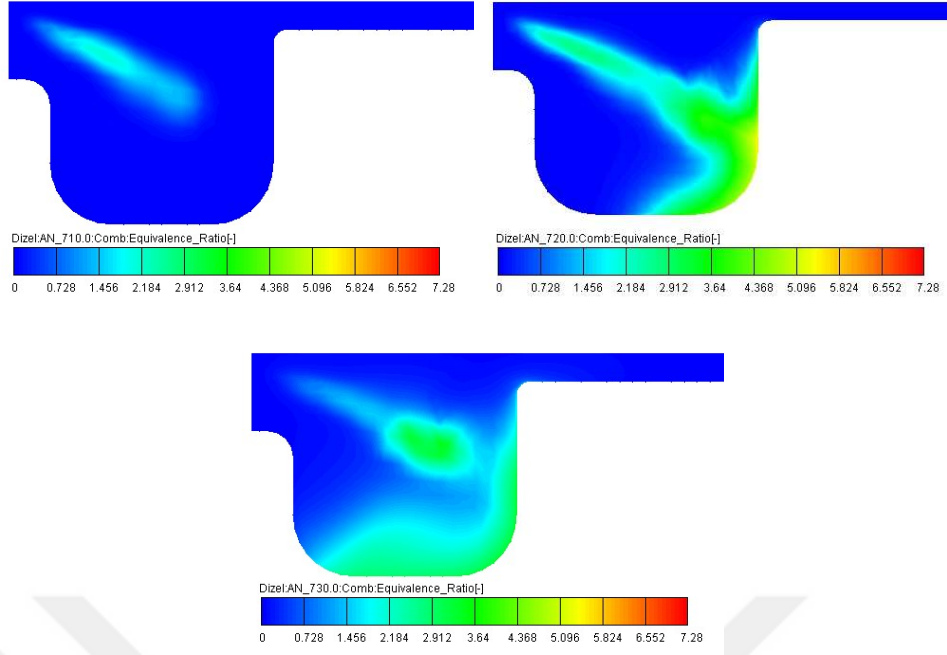
olarak kullanılan ekivalans oranı (ϕ), gerçek şartlardaki yakıt/hava oranının stokiyometrik şartlardaki değerine oranıdır. Bütün test yakıtları için, krank açısındaki artışla birlikte yakıtın yanma odası cidarlarına sıvanarak hava ile karıştığı görülmektedir. Yine bütün yakıt çalışmalarında, pistonun alt ölü noktaya hareketiyle birlikte yakıtın yanma odasına dağıldığı ve yanma olayının artarak devam ettiği görülmektedir. Farklı yakıtlarla yanma odasındaki ekivalans oranları incelendiğinde, biodizel karışimli yakıtlara kıyasla, motorin yakıtının daha kolay hava ile karışım oluşturduğu görülmektedir. Bu durum yakıtların buharlaşma derecelerinin de bir göstergesidir. Nitekim bu husus, silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıklarında değişmesinde etkili olan faktörlerden biri olarak açıklanmıştır. Oluşan bu sonuçları destekleyen bir başka gösterge olarak yakıt parçacıkları ve sıcaklık analizlerini söylemek mümkündür. Enjektörden püskürtülen yakıtın dağılımı, yanma odası içerisinde gelişimi ve beraberinde oluşan sıcaklıklar ise Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de görülmektedir. Özellikle biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla sahip olduğu yüksek viskozite ve yoğunluk motorlarda bir takım dezavantajlar oluşturabilir. Biodizel karışimli yakıtların yapısında bulunan oksijenin varlığı ve yüksek yoğunluklar, silindir içi yanma sıcaklıklarının arttırmasındaki neden olarak görülmektedir. Bütün yakıtlar için, krank açısındaki artış ile birlikte yakıtların parçalandığı ve buhar haline gelerek yanma oyuğundaki bölgelerde yanma olayını başlattıkları görülmektedir. Yanma odası cidarlarına sıvanan yakıt zerrecikleri, yanma odası sıcaklıklarının da etkisiyle yanmaya başlamış ve lokal olarak sıcaklık artışlarına neden olmuştur. İlk enjektör çıkışında büyük parçalar halinde bulunan yakıt zerrecikleri, silindir içi sıcaklık ve karışım oluşumu ile birlikte daha küçük yakıt zerreciklerine ayrılmıştır. Özellikle M100 yakıtına kıyasla, biodizel karışimli yakıtların yanma odasında varlığını daha uzun süre devam ettirdiği görülmektedir. Bu durum motorine kıyasla, biodizel yakıtlarının düşük buharlaşma derecesi ve yüksek viskozitesinin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir.



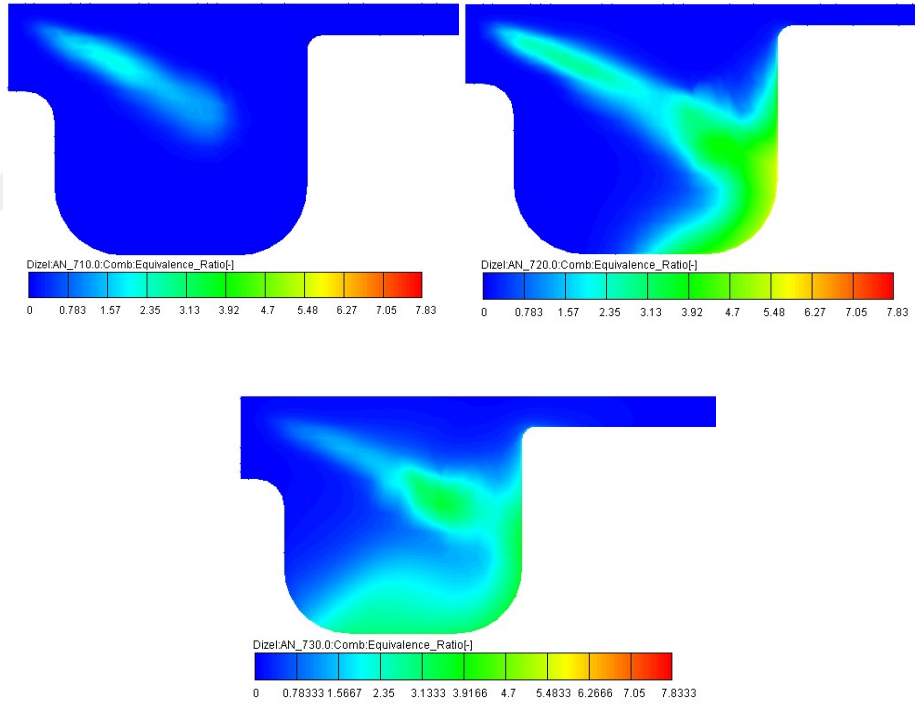
Şekil 3.41 M100 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



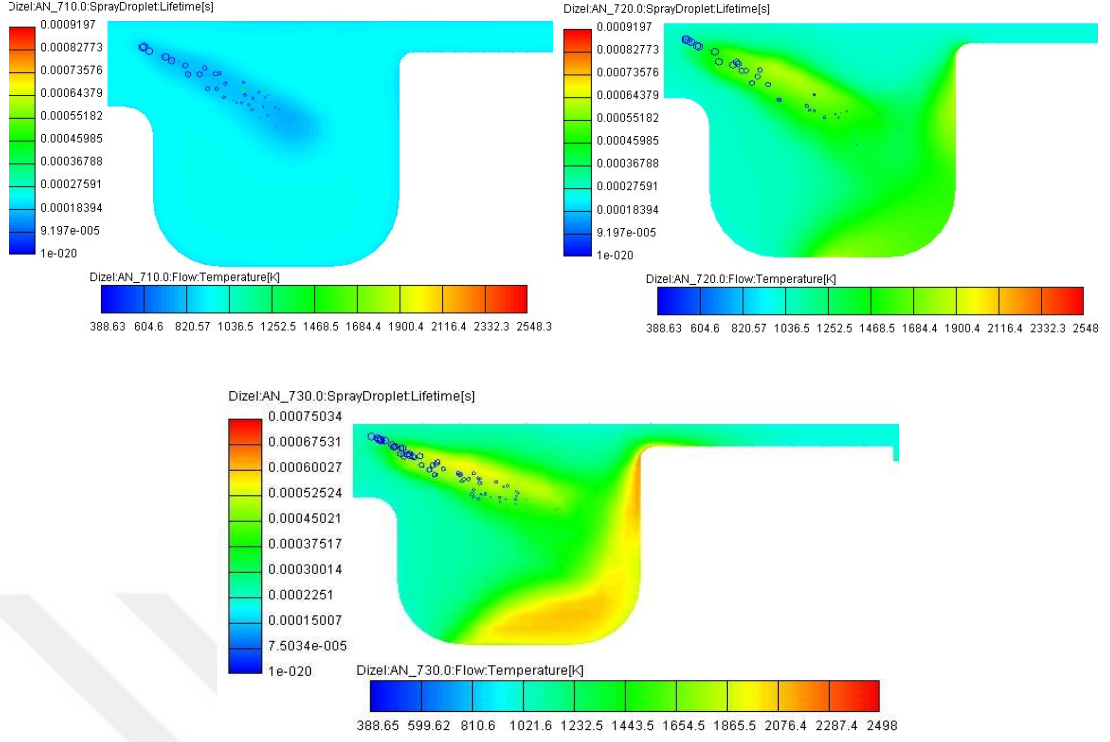
Şekil 3.42 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



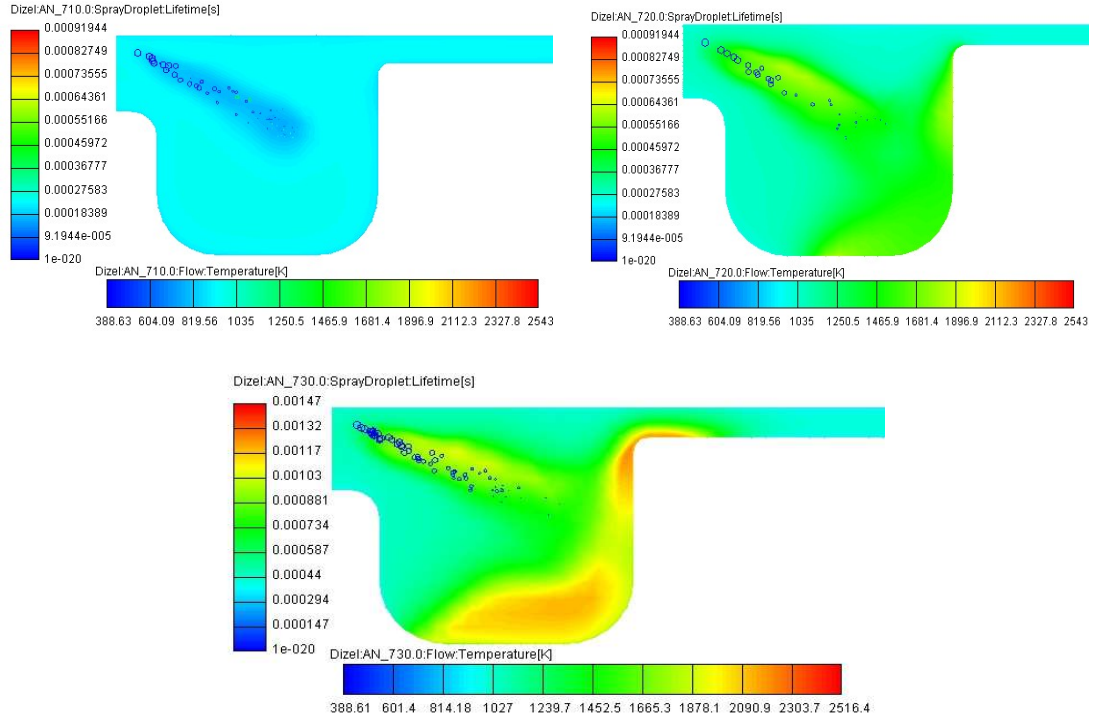
Şekil 3.43 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710°,720° ve 730° krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



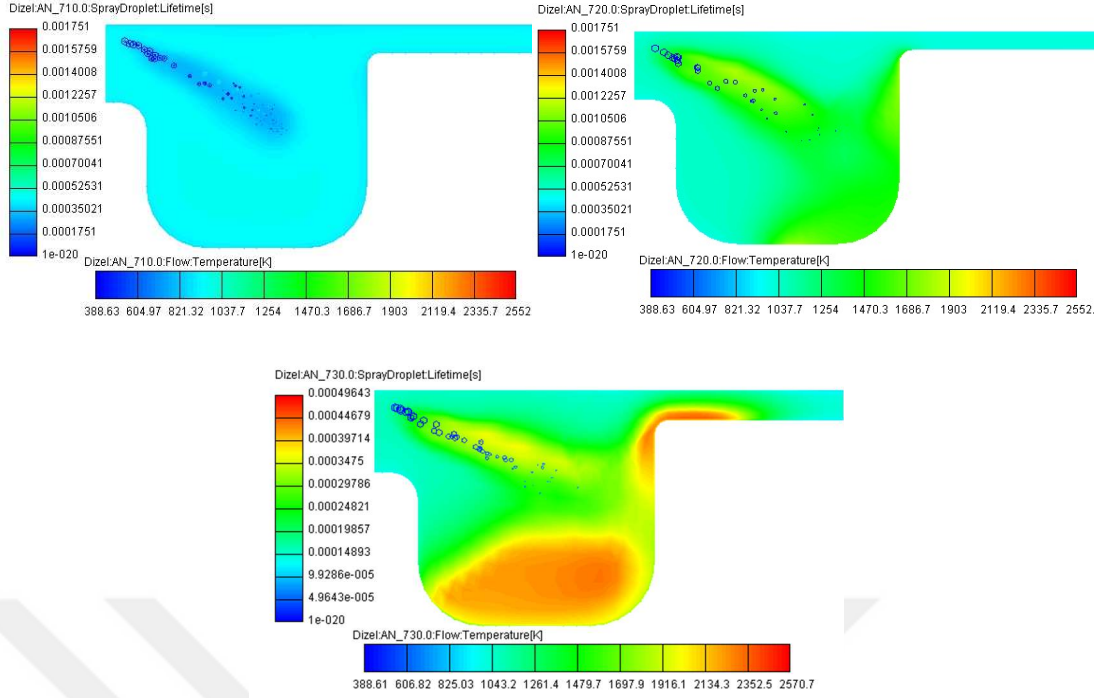
Şekil 3.44 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710°,720° ve 730° krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



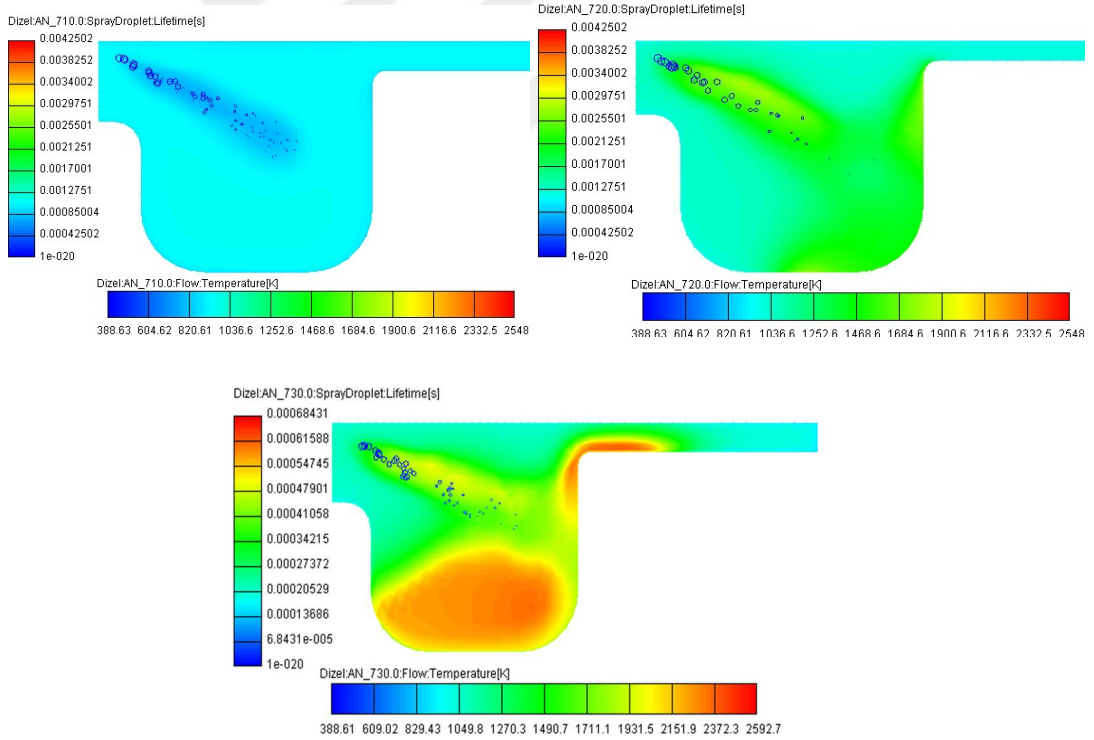
Şekil 3.45 M100 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı



Şekil 3.46 KYME10 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı



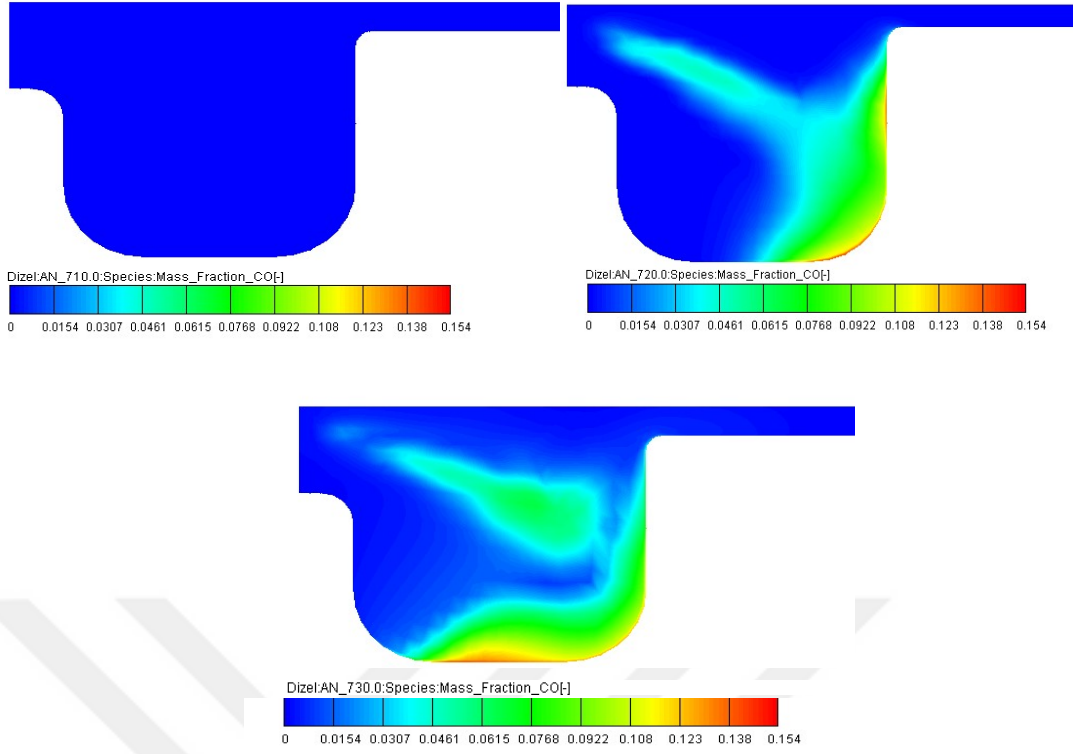
Şekil 3.47 KYME20 yakıt çalışmasına ait 710^o,720^o ve 730^o krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı



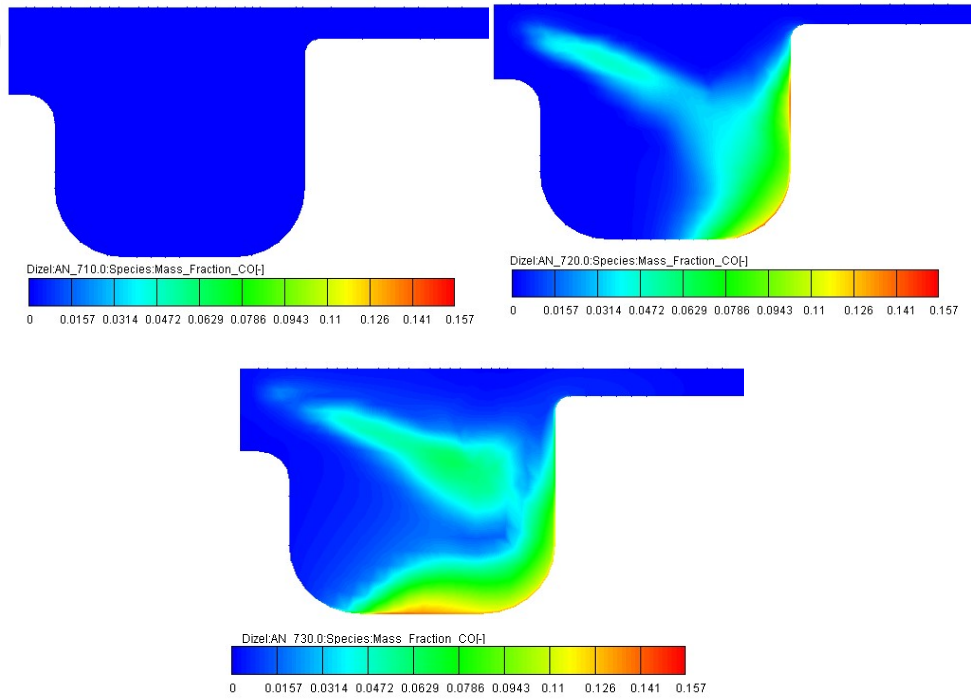
Şekil 3.48 KYME30 yakıt çalışmasına ait 710^o,720^o ve 730^o krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı

Bu tez çalışması kapsamında incelenen biodizel yakıtlarının yanma karakteristiklerinin belirlenmesi noktasında önemli bir başka parametrede yanma odası püskürtme dağılımı/sıcaklık grafikleri olmuştur. Enjektörden püskürtülen yakıtın dağılımı, yanma odası içerisinde gelişimi ve beraberinde oluşan sıcaklıklar, Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de M100, KYME10, KYME20 ve KYME30 için görülmektedir. Yakıtın yanma odası içerisinde penetrasyon derinliğinin artmasıyla daha küçük parçalara ayrıştığı ve buharlaşmasıyla birlikte yanarak alevin yanma odası içerisindeki dağılımı bütün test yakıtlı çalışmalarda gelişen ortak bir sonuç olmuştur. İçten yanmalı motorlarda yakıt/ hava karışım oranı üzerinde yakıtın penetrasyon derinliği ve püskürtme oluşumu oldukça önemlidir. Aynı zamanda silindir içi sıcaklık oluşumu ve yakıt zerreciklerinin dağılımı da yanma hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

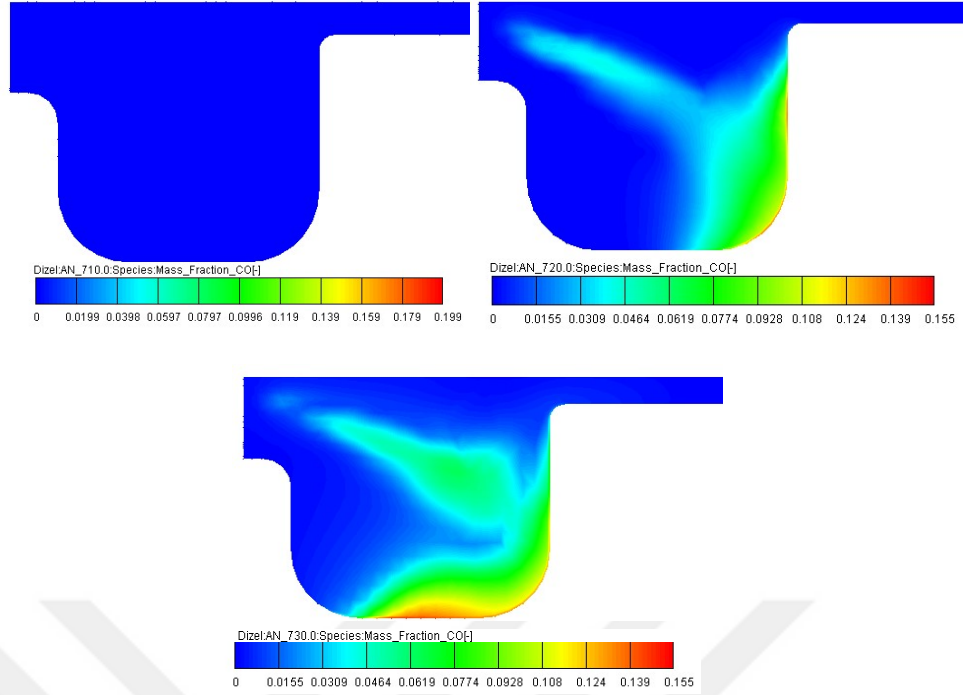
Çalışmada KYME karışimli yakıtların yanısıra AYME karışimli yakıtlarında silindir içi davranış şekilleri incelenmiştir. Şekil 3.49, Şekil 3.50 ve Şekil 3.51' de AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarına ait farklı krank açılarında yanma odalarındaki CO oluşumu, Şekil 3.52, Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'de AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarına ait farklı krank açılarında yanma odalarındaki eşivalans oranlarını, Şekil 3.55, Şekil 3.56 ve Şekil 3.57'de ise püskürtme dağılımı/sıcaklık değişimi görülmektedir. Özellikle biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla sahip olduğu yüksek viskozite ve yoğunluk motorlarda yanma açısından bir takım dezavantajlar oluşturabilir. Ancak motorun 2000 d/d çalışma şartlarında silindir içerisindeki biodizel yakıtlarının sahip oldukları oksijenin yanma olayına katılması ve yüksek yoğunluğu, silindir içi yanma sıcaklıkları bir miktar arttırmıştır. Bu sonuç hem deneysel hemde sayısal çalışmalarda geçerli olmuştur. Silindir içi sıcaklıkların bu artışı, yakıt viskozitenin neden olduğu birtakım yanma olumsuzluğunu ortadan kaldırarak yanmanın iyileşmesine katkı sağladığı düşünülmektedir. Krank açısındaki artış ile birlikte yakıtların parçalandığı ve buhar haline gelerek yanma oyuğundaki bölgelerde yanmayı başlattıkları görülmektedir. Yanma odası cidarlarına sıvayan yakıt zerrecikleri yanma odası sıcaklıklarının da etkisiyle yanmaya başlamış ve lokal olarak sıcaklık artışlarına neden olmuştur. Bütün test çalışmalarında krank açısının 730° olduğu anda püskürtme ile birlikte, alevinde yanma odası içerisinde dağıldığı görülmektedir.



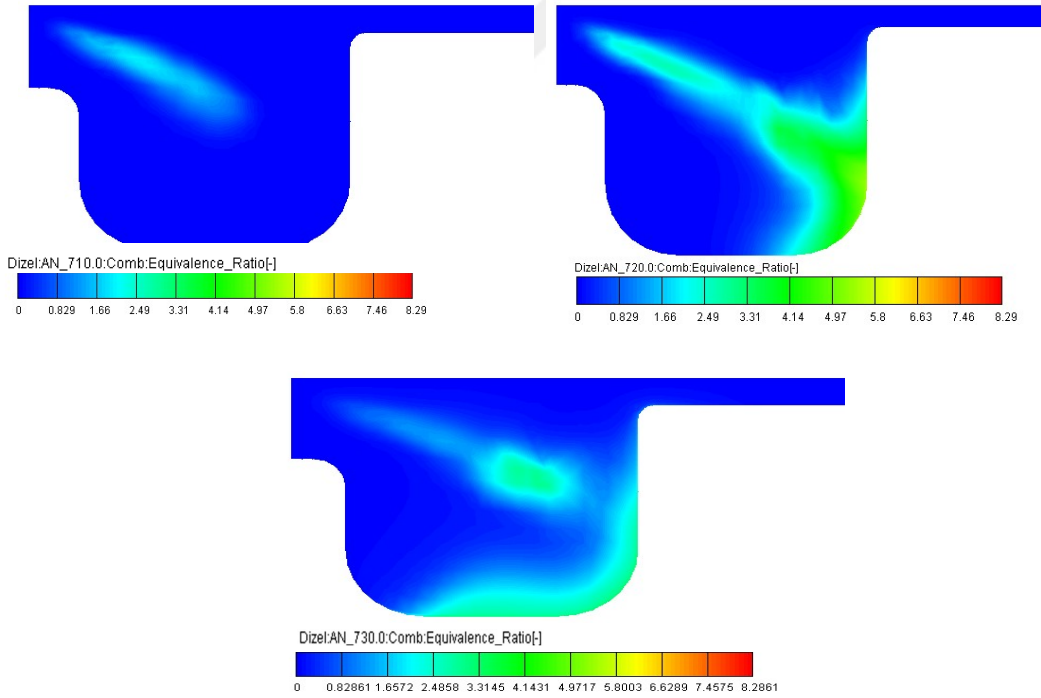
Şekil 3.49 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



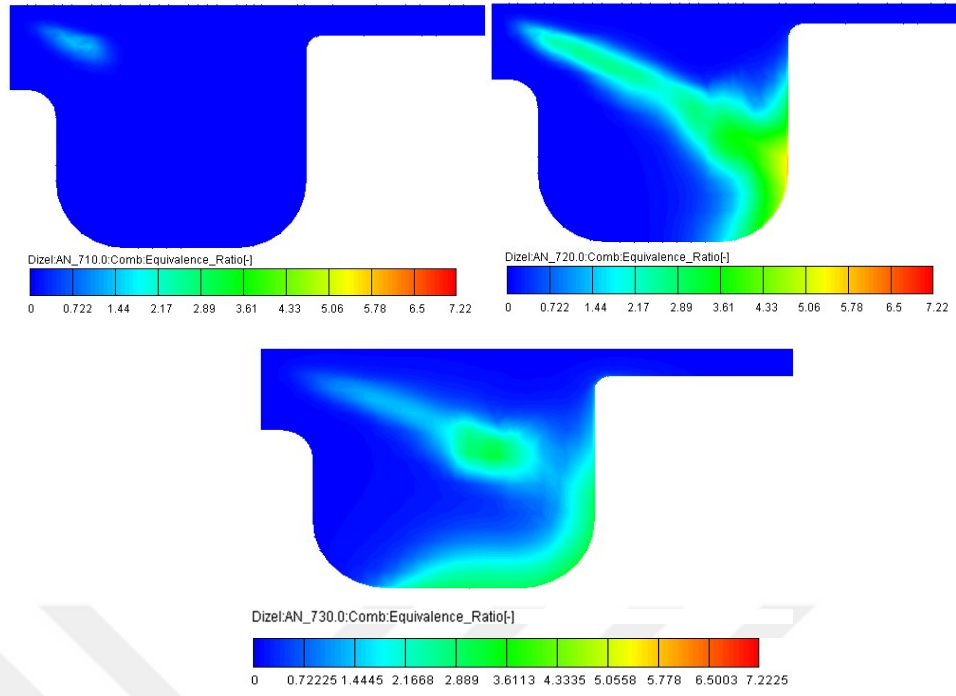
Şekil 3.50 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



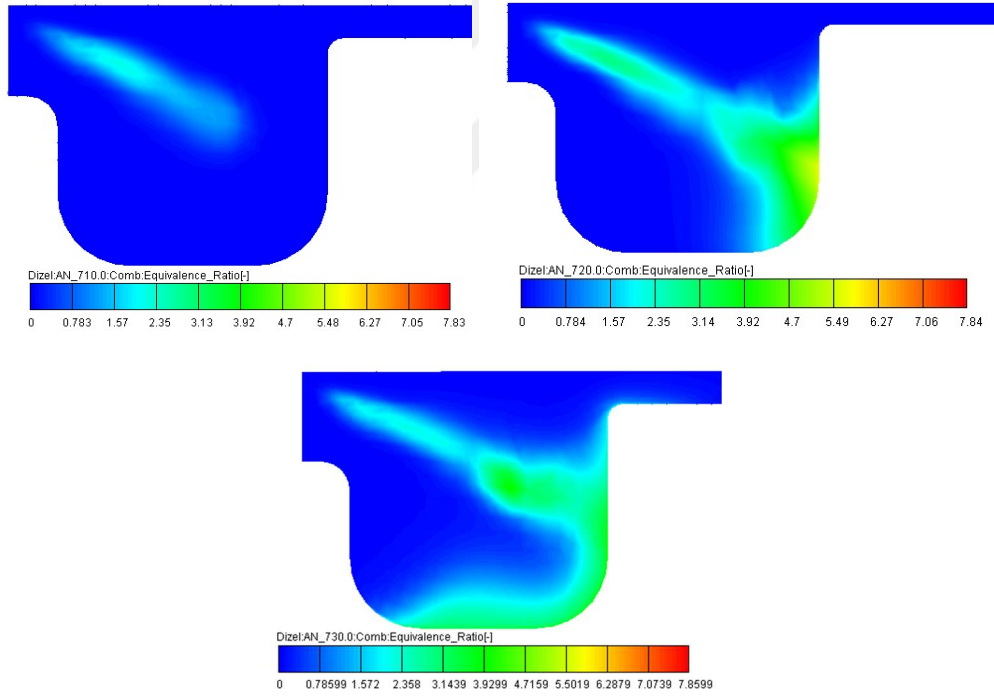
Şekil 3.51 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi CO oluşumu



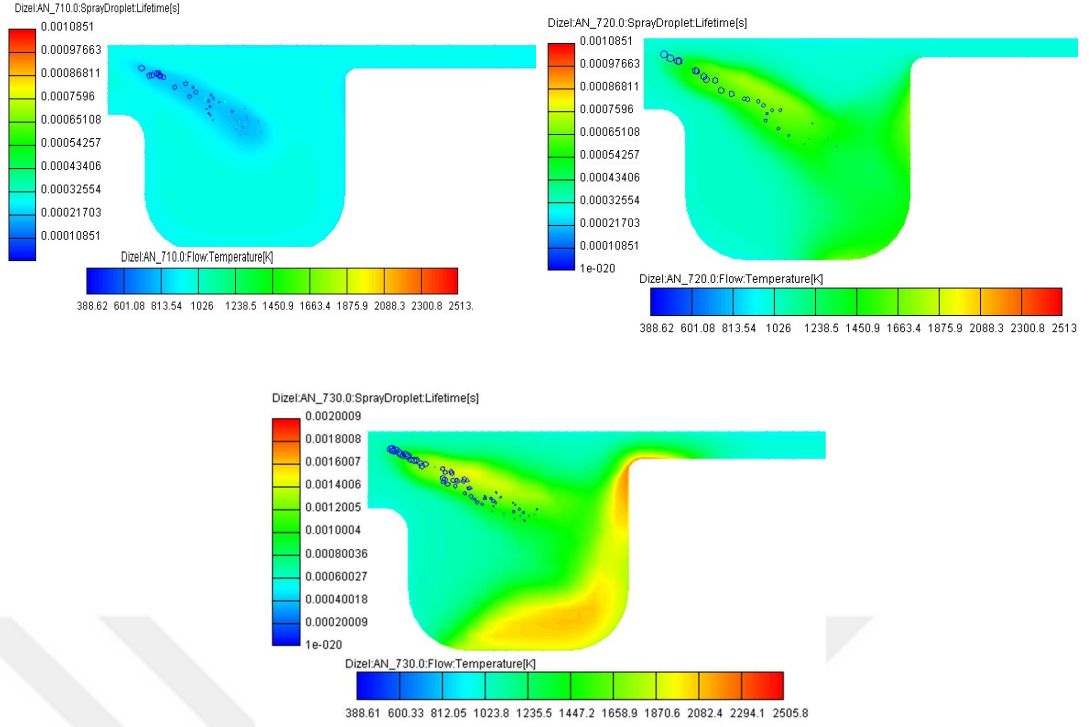
Şekil 3.52 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi Eşivalans Oranı



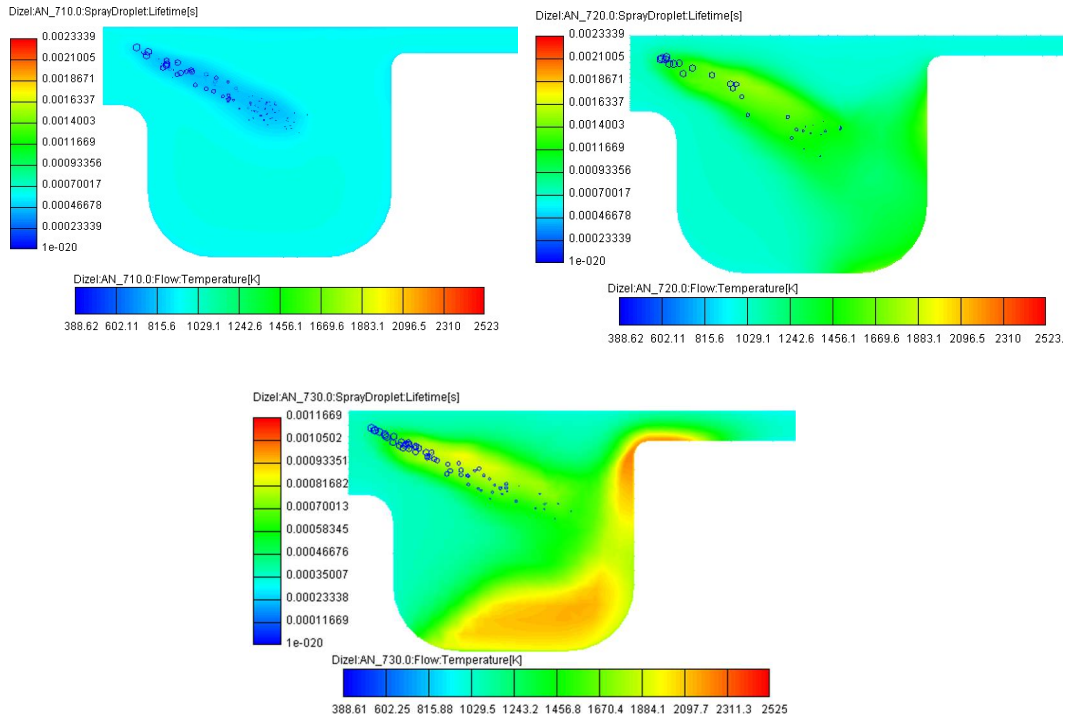
Şekil 3.53 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



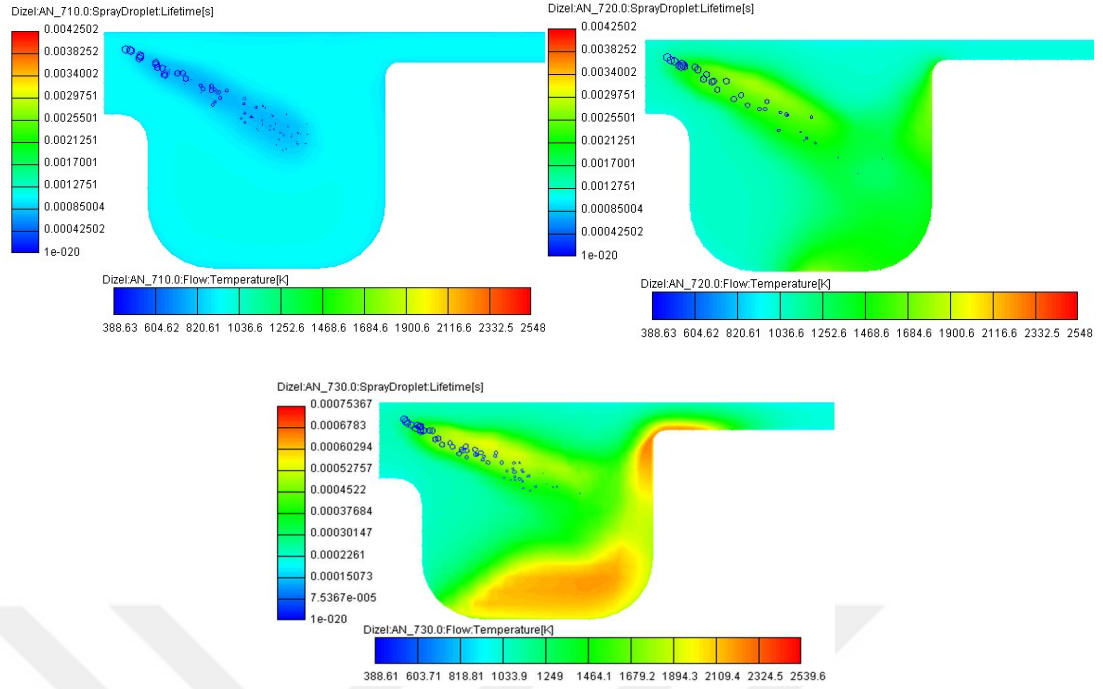
Şekil 3.54 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710⁰,720⁰ ve 730⁰ krank açılarındaki silindir içi Ekvivalans Oranı



Şekil 3.55 AYME10 yakıt çalışmasına ait 710^o,720^o ve 730^o krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı



Şekil 3.56 AYME20 yakıt çalışmasına ait 710^o,720^o ve 730^o krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı



Şekil 3.57 AYME30 yakıt çalışmasına ait 710^o,720^o ve 730^o krank açılarındaki silindir içi püskürtme/sıcaklık dağılımı

3.6 Yağlama yağının Fiziksel ve Kimyasal özelliklerinin analizleri

Motor yağlarında meydana gelen değişimler yağlama yağının performansı hakkında birtakım bilgileri de beraberinde sunar. Uzun süreli dayanım testleri sonucunda motorda kullanılan M100 ve KYME10 yakıtlarının yağlama yağı üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve bir takım fiziksel ve kimyasal özellikler elde edilmiştir. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, M100 yakıtına kıyasla, motor yağında KYME10 yakıtının kullanıldığı motorda kinematik viskozite, parlama noktası, TAN ve nem içeriği azalırken, yoğunluk, TBN değeri ve sülfatlı kül içeriği artmıştır. Tablo 4’ de iki farklı yağlama yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4 İki farklı motor yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

M100 yakıtlı çalışmanın motor yağı analiz sonuçları			
	Yöntem	Ölçüm Belirsizliği	Sonuç
Yoğunluk (kg/m ³ , 15°C)	TS EN ISO 12185	±0,2	867,8
Parlama Noktası (Cleveland Açık Kap, °C)	TS EN ISO 2592	±9,8	218
Kinematik viskozite (mm ² /s, 40 °C)	ASTM D 445	±0,392	80,05
TAN (mg KOH/g)	ASTM D 664	±	7,4
TBN (mg KOH/g)	ASTM D 2896	±0,1	8,2
Sülfatlı Kül (% Ağırlıkça)	ISO 3987	±0,008	0,97
Nem içeriği	ASTM D 95	±0,03	0,4

KYME10 yakıtlı çalışmanın motor yağı analiz sonuçları			
Yoğunluk (kg/m ³ , 15°C)	TS EN ISO 12185	±0,2	872
Parlama Noktası (Cleveland Açık Kap, °C)	TS EN ISO 2592	±9,7	216
Kinematik viskozite (mm ² /s, 40 °C)	ASTM D 445	±0,368	75,06
TAN (mg KOH/g)	ASTM D 664	±	2,6
TBN (mg KOH/g)	ASTM D 2896	±0,2	9,9
Sülfath Kül (% Ağırlıkça)	ISO 3987	±0,008	1,05
Nem içeriği	ASTM D 95	±0,01	0,2

3.6.1 Kinematik Viskozite

Viskozite, bir akışkanın iç direncinin ölçümüdür. Yani akmaya karşı göstermiş olduğu bir dirençtir. Motorlarda yağlama yağının durumunu değerlendirmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Viskozite, hareketli iki yüzey (piston segmanı ve silindir duvarı) arasında yağ film kalınlığının geliştirilmesi ve devamlılığında önemli bir rol oynar. Motor yağlama yağının kinematik viskozitesi belirtilen aralıkta olmalıdır. Bu çalışmada, iki farklı yağlama yağı numunesinin kinematik viskozitesi ASTM D 445 standart test prosedürüne göre 40° C'de ölçülmüştür. Tablo 4' te iki farklı yağlama yağı numunesinin kinematik viskozite değerleri görülmektedir. Bilindiği gibi, biodizel yakıtlarının viskozitesi motorin yakıtına kıyasla daha fazladır. Özellikle yağlama yağına biodizel yakıtının daha fazla karışması yağın seyrelmesine neden olabilir. KYME10 çalışması sonucunda analizi yapılan yağlama yağının kinematik viskozite değeri, M100 yakıtlı deney numunelerine kıyasla yaklaşık % 6,25 oranında daha düşüktür. Bu düşüş biodizel yakıtının motor yağlama yağını daha fazla seyreltildiğinin bir göstergesidir.

3.6.2 Yoğunluk

Tablo 4' te yağlama yağı örneklerinden ölçülen yoğunluk değerleri görülmektedir. Sıvıları birbirinden ayıran en önemli özelliklerden birisi de yoğunluktur. Yağların yoğunluğunun çok artması, yağlayıcının hareketliliğini azaltır. Diğer taraftan, eğer yoğunluk azalır, hareketli parçalar arasındaki sürtünme artar ve motor bileşenlerinin daha fazla yıpranmasına yol açabilir. Yağlama yağı numunelerinin yoğunluğu, TS EN ISO 12185 test yöntemine göre ölçülmüştür. Uzun süreli dayanıklılık testi sonuçlarına bakıldığında, KYME10 karışimli çalışmanın yağlama yağı yoğunluğu M100 çalışmasına kıyasla bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Bu

durum motorin yakıtına kıyasla, biodizel karışumlu yakıtın yağlama yağına daha fazla karıştığı bir göstergesi olmaktadır. Özellikle biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla yoğunluğunun genellikle yüksek olması, burada bu sonucun oluşmasındaki temel etken olduğu düşünülmektedir.

3.6.3 Parlama Noktası

Bu çalışmada motordan alınan yağlama yağı örneklerinin parlama noktası değerleri Pensky-Martins kapalı kap test cihazı (TS EN ISO 2592) ile ölçülmüştür. Parlama noktası, bir yağlayıcının veya yakıtın hava ile tutuşabilir bir karışım oluşturmak için buharlaşabildiği en düşük sıcaklıktır. Parlama noktası ayrıca, yağlama yağının kirliliğini ve yağlayıcı uçuculuğunu belirlemek için kullanılan bir özelliktir. Tablo 4' te, iki farklı yağ numunesinin yoğunluk değerleri görülmektedir. Her iki çalışmanın yoğunluk değerleri birbirine çok yakın değerler olsa da M100 yakıtı ile çalışılmış motor yağının parlama noktası sıcaklığı, KYME10 yakıtlı motor yağına kıyasla bir miktar yüksek çıkmıştır. Genellikle yağlama yağının parlama noktası, uçuculuk yapısını azaltmak için daha yüksek olmalıdır. Yağlama yağının parlama noktasının yüksekliği, Van der Waals kuvvetlerini daha yüksek olduğunu gösterir ve dolayısıyla yağ buharlaştırmak için gereken enerjiyi artırır ve bu durum arzu edilen bir şeydir. Yağlama yağı parlama noktasının azalması, yağın bozulduğunun da bir göstergesidir. Özellikle yakıtların uçuculuğu burada etken bir özelliktir. Bu sonuç hem yoğunluk hem de viskozite sonuçlarını destekleyen bir durum olarak değerlendirilmektedir.

3.6.4 Nem içeriği

Yağlama yağındaki nem içeriği, yağ filminin gücünü bozan negatif bir parametredir. Bu çalışmada nem içeriği ASTM D 95 yöntemi ile yapılmıştır. Her iki motordan toplanan yağlama yağı numunelerinin nem içeriği Tablo 4' te gösterilmektedir. Yağlama yağındaki yüksek nem içeriği, segman ve cidar arasındaki sızdırmazlığı bozar. Aynı zamanda yağlama yağda nem içeriği, yağın erken yaşlanmasına yol açan oksidasyon reaksiyonu hızlandıran faktörlerinde başında gelir. Ayrıca motor parçalarında korozyon oluşumunu da etkileyen bir faktördür. M100 yakıtlı motorun yağlama yağında tespit edilen nem içeriği, KYME10 yakıtlı çalışmaya kıyasla daha yüksek tespit edilmiştir. Biodizel yakıtlı çalışmanın yağ analiz sonucu incelendiğinde, düşük nem içeriği aynı zamanda yakıtın ek yağlama özelliğinin bir sonucudur.

3.6.5. Toplam Baz Numarası (TBN) ve Toplam Asit Numarası (TAN)

TBN VE TAN analizleri birlikte değerlendirilmesi gereken bir yağ özelliğidir. TBN, yağlayıcıdaki alkalinite (bazlılık) rezervini ölçmek için özel olarak kullanılan motor çalışması sırasında oluşan aşındırıcı asitleri nötralize etme yeteneğinin bir göstergesidir. Toplanan yağlama yağı numunelerinin TBN analizleri ASTM D 2896, TAN analizleri ise ASTM D664 yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. KYME10 ve M100 yakıtlı motorlardan toplanan yağlama yağı numunelerinin TBN sonuçları incelendiğinde, M100 çalışmasına kıyasla KYME10 çalışmasında TBN değerleri daha fazla olmuştur. KYME10 yakıtlı motor yağının yüksek TBN içeriği biodizel yakıtlı motorlarda aşındırıcı asitlerin daha düşük olacağına işaretler. Nitekim TAN değerleri de incelendiğinde her iki numune arasında bir denge görülmektedir. Ayrıca motor yağlama yağındaki aşınma elementleri sonuçlarını da destekleyen bir netice olmuştur. Tablo 4' te her iki yağlama yağı numunesinin TBN ve TAN değerleri görülmektedir. Motor işletiminde TAN zamana bağlı olarak artar fakat korozyon ve oksidasyonu önlemenin en önemli şartı yağlama yağının düşük asitliğidir. Yapılan literatür araştırmalarında biodizel yakıtlı motorlarda kullanılan yağlama yağlarının asit ve baz dengesinin çalışma zamanına ve sıcaklığına bağlı olarak farklılıklar gösterebileceği görülmektedir [46]. Bu sonuç KYME10 yakıtının 150 saatlik çalışma sonucunda yağlama yağının esterlerini yeterince hidroliz etmediğinin de bir göstergesidir. Nitekim hidroliz işlemi arttıran en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. Hidrolizasyon, sıcaklık artışı ile hızlanır. Ayrıca M100 yakıtı ile kıyaslandığında, KYME10 yakıtının yağlama yağının esterlerini yeterince hidroliz etmemesinde bir başka faktöründe biodizel yakıtlı çalışmanın yağlama yağında tespit edilen düşük nem içeriği olmuştur.

3.6.6. Sülfatlı Kül içeriği

Yağlama yağının kül içeriği, yağ numunelerinin tamamen yakılmasından sonra kalan yanmayan kalıntı kütlelerinin yüzdesidir. Yağlama yağındaki fazla kül içeriği, motor yağı filtrelerini, aşırı yakıt tüketimini engeller ve motor ömrünü kısaltır. Yağlama yağı numunelerinin kül içeriği ISO 3987 standartlarına göre ölçülmüştür. Sülfatlı kül kütlelerinin yağlama yağının toplam kütlelerine oranı (mass/lubricating oil) olarak tanımlanır. Uzun süreli dayanıklılık testi sırasında her iki motordan toplanan yağlama yağı numunelerindeki kül içeriği Tablo 4' te gösterilmektedir. Sonuçlar

incelendiğinde, KYME10 yakıtlı motordan alınan yağlama yağının kül içeriği, M100 yakıtı ile çalışılmış yağlama yağına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, biodizel yakıtının yanma sonunda oluşturduğu kül içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu sonuç yağlama yağına daha fazla biodizel yakıtının karıştığına da bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Nitekim bu sonuçlar SEM/EDX analiz sonuçlarıyla da büyük oranda örtüşmektedir. Yağlama yağı içeriğinde daha fazla kül, daha yüksek abrasif aşınmayı yansıtır.

Yağlama yağında yapılan fiziksel ve kimyasal analizler, birbirinden bağımsız gelişen olayları da beraberinde göstermektedir. KYME10 yakıtına kıyasla, M100 yakıtının daha fazla uçucu olduğu ve yağlama yağına daha az karıştığı özellikle viskozite, yoğunluk ve parlama noktası sıcaklığı testlerine bakılarak söyleyebiliriz. Bu durumun bir göstergesi olarak da 150 saatlik çalışma sonunda karterden alınan yağın miktarının KYME10 yakıtlı çalışmada daha fazla görülmesiyle de teyit edilmiştir. Ancak burada yağlama yağına daha fazla karışan yakıtın, yağın asit-baz dengesini daha fazla bozacağı düşünülmekteydi. Ancak TAN ve TBN sonuçları incelendiğinde, oksidasyon ve hidroliz olaylarının tamda gelişmediğini görmekteyiz. Bu durum özellikle düşük devirde yeterli sıcaklıkların oluşmamasına bağlı olarak geliştiğini düşünülebilir. Nitekim 1500 d/d için ölçülen yağ sıcaklık değerlerine bakıldığında, KYME10 yakıtı ile çalışan motor yağı sıcaklıkları diğer yakıt türüne kıyasla daha az olmuştur. Daha uzun süreli testler ve özellikle yüksek motor devir-yük durumlarında çalışılması durumunda, yağlama yağında KYME10 yakıtının yağlama yağını bozarak daha fazla aşınmalara neden olabileceği düşünülmektedir.

3.7 Yağlama yağının spektrometrik analizi

Burada ICP-AES ve ICP-MS olmak üzere iki farklı yağ element analiz yöntemi belirlenmiştir. İlk olarak ICP-AES yöntemi ile yapılan analizlerde yağlama yağı aşınma element miktarları tam olarak teyit edilemediğinden, alternatif olarak ICP-MS yöntemi seçilmiştir. Her iki yöntemde de genel olarak, KYME10 çalışmasına kıyasla M100 yakıtı ile çalışmış motorun yağlama yağındaki metal konsantrasyonu daha fazladır. Bu sonuç yukarıda söz ettiğimiz durumu açıklar niteliktedir. Bu durum, biodizel yakıtlarının yağlama verimini geliştirdiğinin de bir sonucudur. Yağlama yağları üzerinde, biodizel yakıtın daha az miktarda metalik kalıntıya (Al, Cu, Cr, Mn, Fe) neden olduğu görülmektedir.

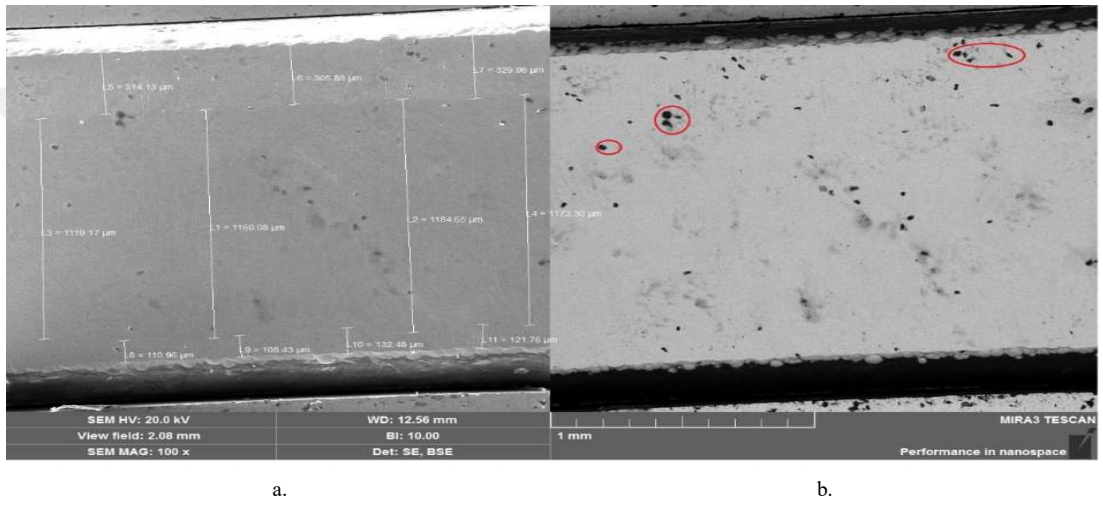
Tablo 5 Elementel analiz sonuçları

ICP-AES Element Tayini	Alüminyum (mg/kg)	Bakır (mg/kg)	Krom (mg/kg)	Mangan (mg/kg)	Demir (mg/kg)
KYME10 ile çalışmış motor yağı	3,07	<2	<1	<5	25,5 (±1,3)
M100 yakıtı ile çalışmış motor yağı	59,1 (±3,4)	<2	<1	<5	91,8 (±4,9)
ICP-MS Element Tayini	Alüminyum (µg/g)	Bakır (µg/g)	Krom (µg/g)	Mangan (µg/g)	Demir (µg/g)
KYME10 ile çalışmış motor yağı	22.66 (±1.51)	0,33 (±0,01)	0,54 (±0,06)	0,12 (±0,01)	5,46 (±0,08)
M100 yakıtı ile çalışmış motor yağı	21.37 (±1.42)	1,03 (±0,03)	0,88 (±0,01)	0,33 (±0,01)	21,91(±0,33)

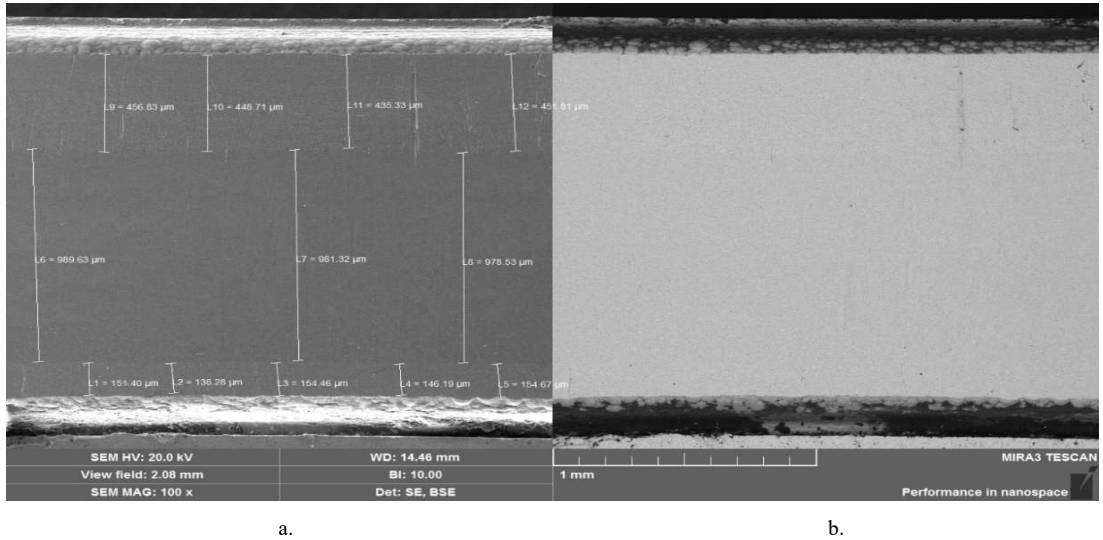
3.8 SEM ve EDX Analizleri

Çalışmanın bu aşamasında, motorda uzun süreli deneylerde kullanılan M100 ve KYME10 yakıtlarının motor parçaları üzerindeki tribolojik ve morfolojik analizleri incelenmiştir. Motorda, yağlama yağı ve piston segmanları iki yakıt türü için 150 saatlik dayanım testlerinde ayrı ayrı kullanılmıştır. İlk olarak motor 1500 d/d sabit devir ve yük altında M100 yakıtı ile çalıştırılmıştır. Daha sonra motor, yağlama yağı ve segmanları değiştirilerek KYME10 yakıtı ile çalıştırılmıştır. Her iki çalışma sonucunda piston a ait birinci, ikinci ve üçüncü segmanlar SEM/EDX analizleri için uygun ebatlarda kesilmiştir. Ayrıca deneylerde kullanılan segmanların çalışmamış orijinal kesitleri de SEM/EDX analizlerinde incelenerek, çalışma öncesi ve sonrası yapısındaki değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde çalışmamış birinci segmanın yüzeyinin krom kaplandığı, ikinci ve üçüncü segmanın ise küresel grafitli dökme demirden imal edildiği görülmüştür. Bilindiği üzere günümüz taşıtlarında kullanılan segmanlar genellikle küresel dökme demirden imal edilmekte ve imalat sonrasında yüzeyleri işlenmekte ya da kaplama işlemine tabi tutulmaktadırlar. Deneylerde kullanılan birinci segmandaki krom kaplamanın segmanların aşınma ve korozyon dirençlerini arttırmak ile sürtünme katsayısını düşürmek amacıyla yapıldığı

düşünülmektedir. KYME10 yakıtı kullanılan motorda segmanların SEM/EDX analizleri Şekil 3.58(a) ve 3.58(b) 'de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, segman yüzeyinde 305-329 μm arasında değişen uzunluklarda silindir teması ile daha fazla alanın aşındığı ve bu bölge dışındaki diğer yüzeylerde değişimin daha az olduğu görülmektedir. Abrasif aşınma çizgilerinin sürtünme yönüne paralel olarak geliştiği görülürken, bu çizgilerin aşındırıcı elemanlardan dolayı oluştuğu düşünülmektedir. EDX analizleri incelendiğinde ise birinci segman yüzeyinde ağırlıklı olarak Cr elementine rastlanmaktadır. Şekil 3.58(b)'de kırmızı daireler ile gösterilen alanlarda ayrıca karbon kalıntılarının da rastlandığı görülmektedir.



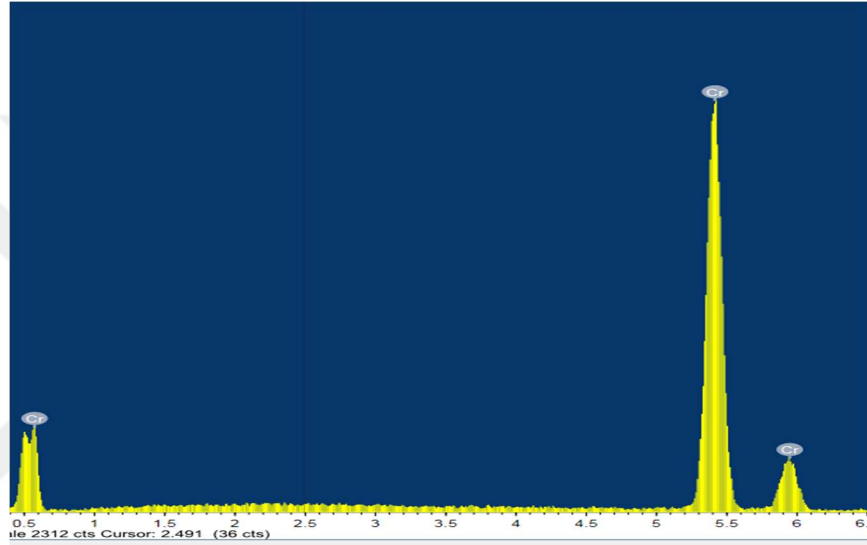
Şekil 3.58 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda birinci segmana ait 100x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü



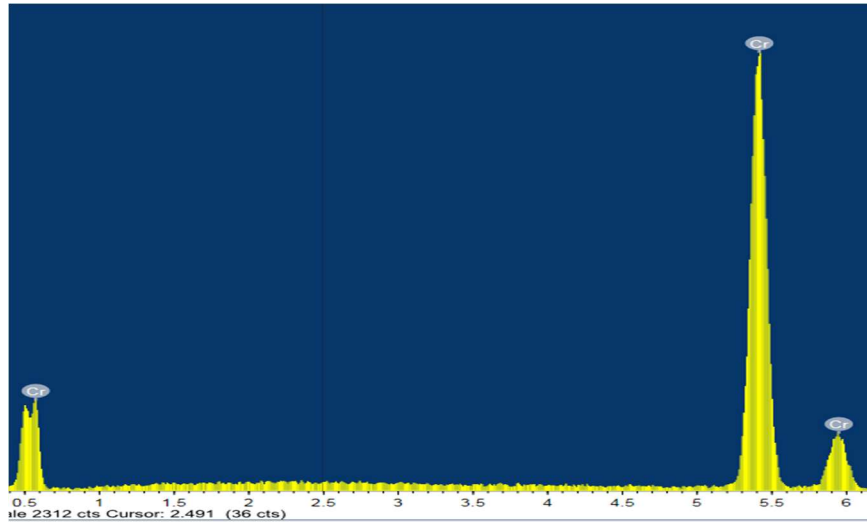
Şekil 3.59 M100 yakıtlı çalışma sonunda birinci segmana ait 100x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü

Şekil 3.59'da M100 yakıt ile çalışmış motorun birinci segmana ait SEM/EDX analizleri görülmektedir. M100 yakıtlı çalışmada, tıpkı KYME10 ile çalışmada

olduğu gibi segmanın üst bölgesinde abrasif aşınma çizgilerinin sürtünme yönüne paralel olduğu görölmektedir. Birinci segman yüzeyinde 435-456 µm uzunluğunda değişen bir bölgenin silindir ile temas ederek aşındığı ve bu bölge dışında yüzey değişiminin daha az olduğu görölmektedir. Ancak biodizel yakıtının eksik yanması sonucunda oluşturduğu is partiküllerinin daha küçük alanda ancak daha yoğun ve derin kazımlar yaptığı düşünölmektedir. Nitekim EDX görüntülerinde KYME10 yakıtlı çalışmada daha fazla karbon elementine rastlanmıştır. Şekil 3.60'da her iki yakıt çalışmasında segman malzemesi yüzeyinde tespit edilen elementel dağılım görönmektedir.



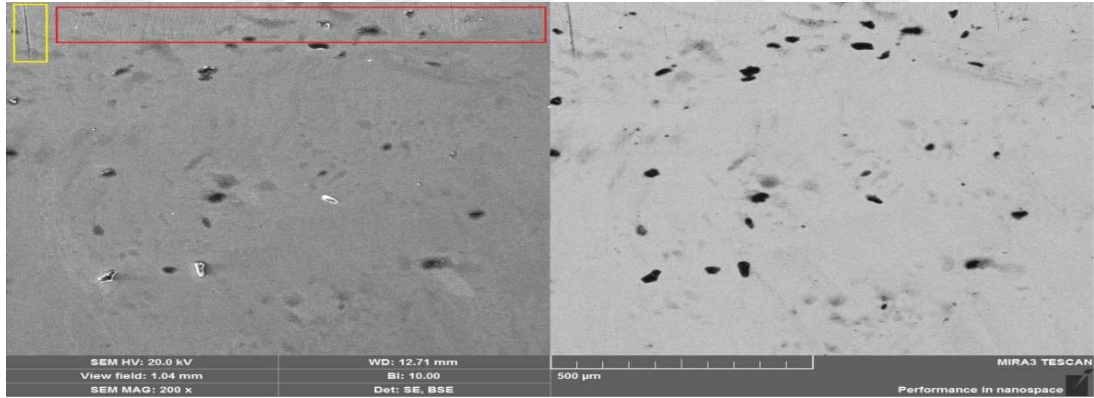
a.



b.

Şekil 3.60 KYME10 (a) ve M100 (b) çalışmalarında, birinci segman tüm yüzeyindeki elementel dağılım

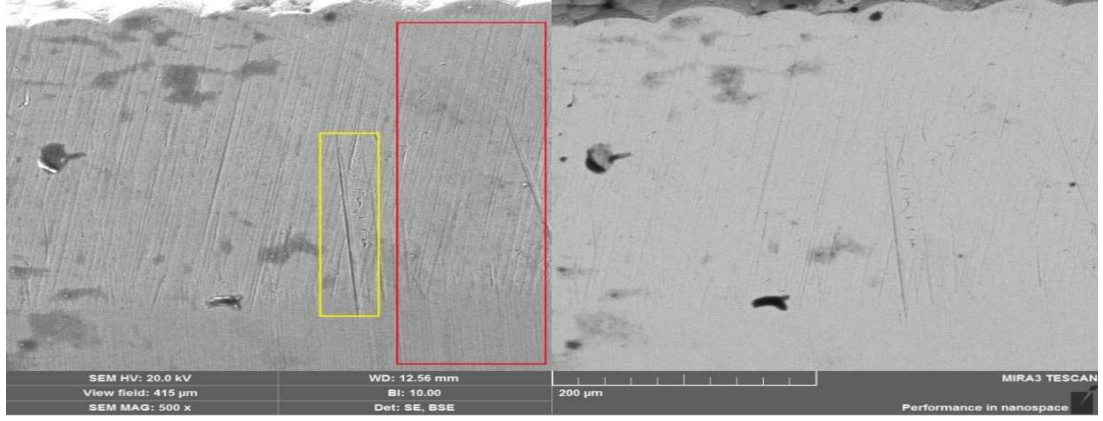
Yüzey üzerinde herhangi bir işlem görmemiş orijinal birinci (kompresyon) segmanın yüzeyindeki malzeme dağılımına bakıldığında, Cr, Mn, Al elementleri ağırlıklı olarak bulunmuştur. Ağırlık dağılımında %97 oranında Cr, %1,63 Mn ve %0,47 Al elementleri bulunmaktadır. Atomik dağılımları ise sırasıyla %97, %1,54 ve %0,9 olarak tespit edilmiştir. Orijinal birinci segman element dağılımında bulunan Cr, Mn ve Al elementleri uzun süreli dayanım testleri sonunda yerini %100'e çok yakın bir oranda sadece Cr elementine bırakmıştır. Özellikle KYME10 yakıtına kıyasla, M100 yakıt çalışmasında birinci segman yüzey üzerinde çok düşük miktarda karbon kalıntısına rastlanmıştır. Ancak, genel olarak yüzeyin tamamındaki element dağılımı, her iki çalışmada da aynı olduğu görülmüştür. KYME10 yakıt çalışmasında, birinci segmanın 200x, 500x, 2000x büyütme SEM/EDX görüntüleri sırasıyla Şekil 3.61, Şekil 3.62, Şekil 3.63'de M100 yakıtlı çalışmaya ait birinci segmanın 200x, 500x, 2000x büyütme SEM/EDX görüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.64, Şekil 3.65 ve 3.66'da görülmektedir. Sarı ile belirlenen alanlarda kazıma aşınması, kırmızı alan içerisinde ve bölgenin diğer büyük bir kısmında ise pistonun kayma yönüne paralel gelişen abrazyon aşınma tespit edilmiştir. Genel olarak abrazyon aşınmanın segman yapısında en fazla görülen aşınma türü olduğu görülmektedir.



a.

b.

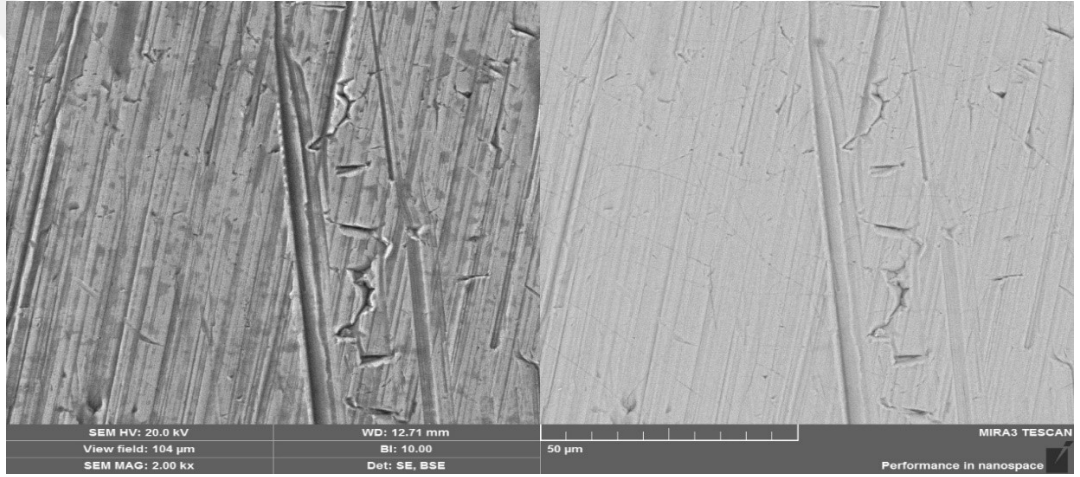
Şekil 3.61 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü



a.

b.

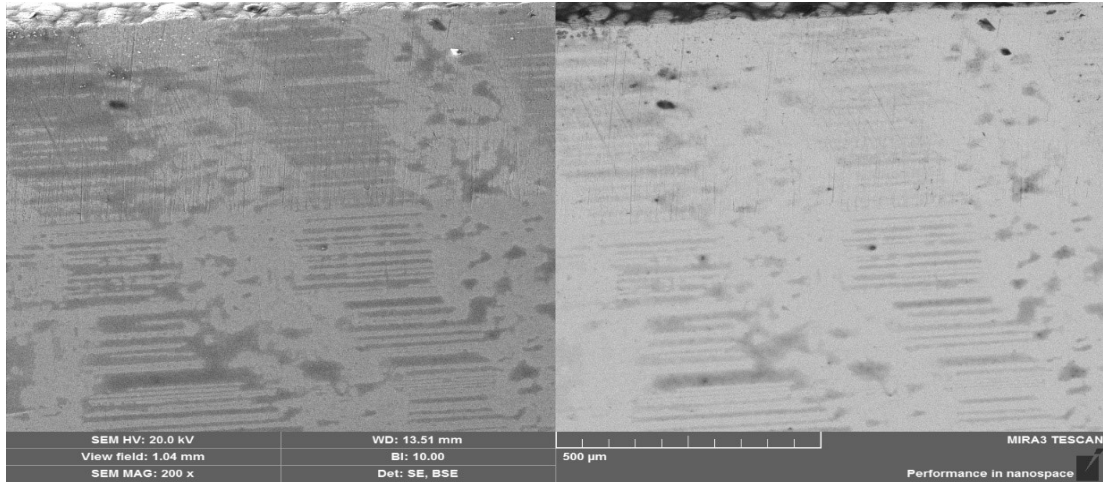
Şekil 3.62 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX görüntüsü



a.

b.

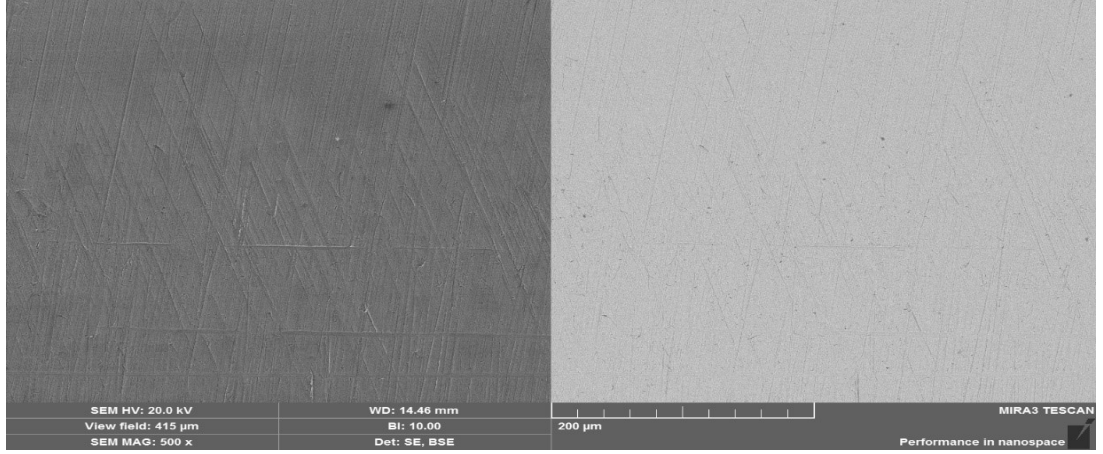
Şekil 3.63 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segman ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a.

b.

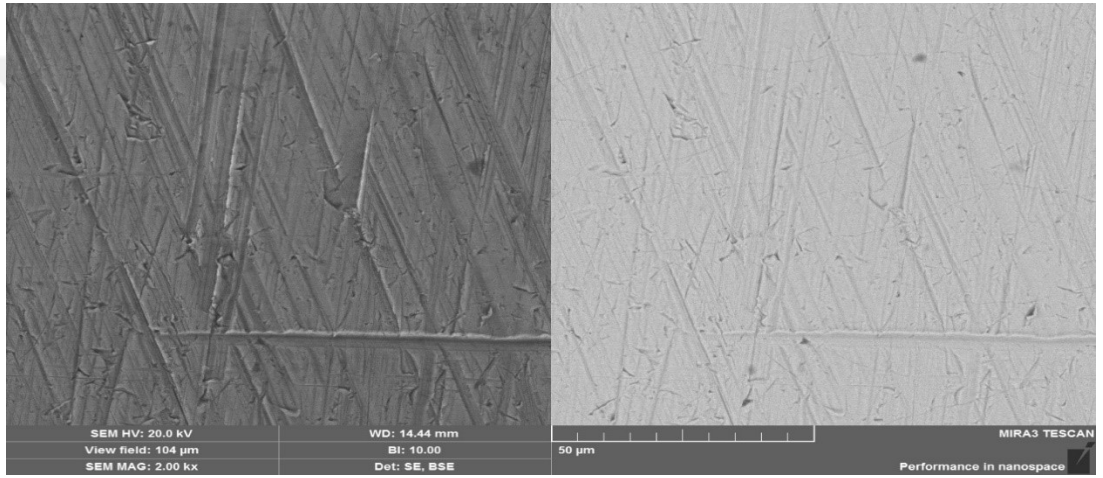
Şekil 3.64 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a.

b.

Şekil 3.65 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



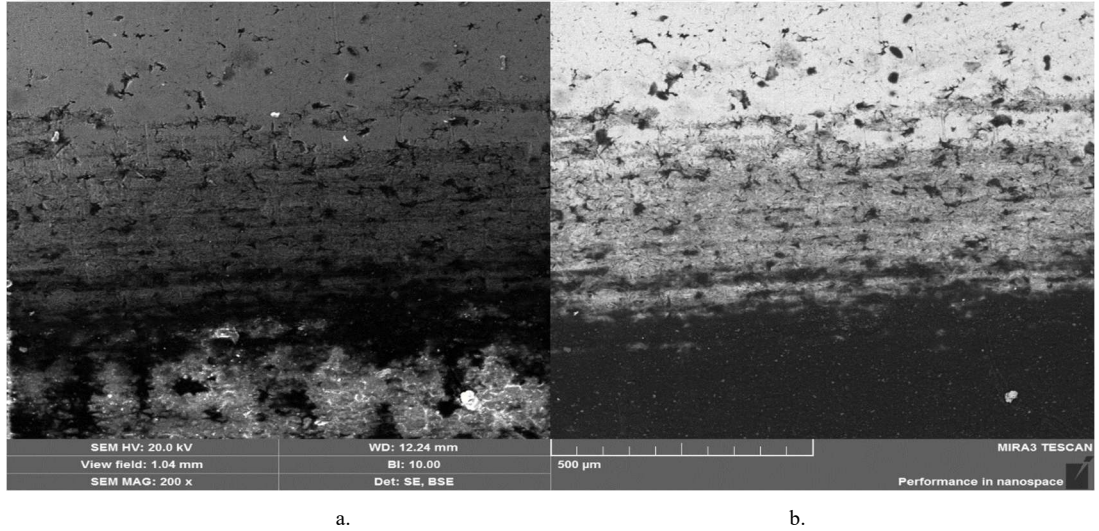
a.

b.

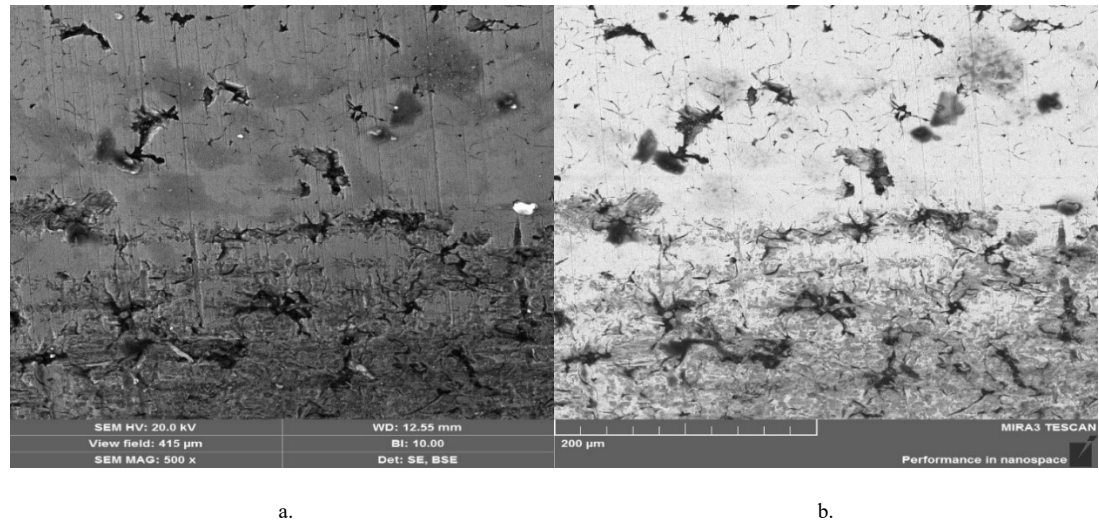
Şekil 3.66 M100 yakıtlı çalışma sonunda, birinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü

Her iki yakıt çalışmasında, birinci segmanın malzeme yapısında çok ciddi bir değişimin meydana gelmediği ve segmanın bütün bir yüzeyinde genel olarak Cr elementinin yoğunlukla bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak her iki çalışmanın aşınma çizgilerinin sıklığı ve derinliği incelendiğinde, bazı farklılıklar dikkat çekmiştir. Özellikle M100 yakıtlı çalışmaya kıyasla, KYME10 yakıtlı çalışmanın segman yüzeylerinde daha fazla abrasif ve kazıma aşınmasına rastlanmıştır. Biodizel yakıtlı çalışmanın motor yağlama yağının viskozitesindeki azalmanın, silindir-segman yağlanmasını bu noktada bir miktar kötüleştirdiği düşünülmektedir. Ayrıca biodizel yakıt çalışmasında, segman silindir bölgesindeki yanmamış yakıt zerrelerinin birikintilerine dönüşmesi ile yağlama yeteneğinin azaldığı düşünülmektedir. Nitekim ikinci segman SEM/EDX sonuçları bu yorumu desteklemektedir. Şekil 3.67, Şekil 3.68 ve Şekil 3.69'da KYME10 yakıt çalışması sonucunda ikinci segmana ait

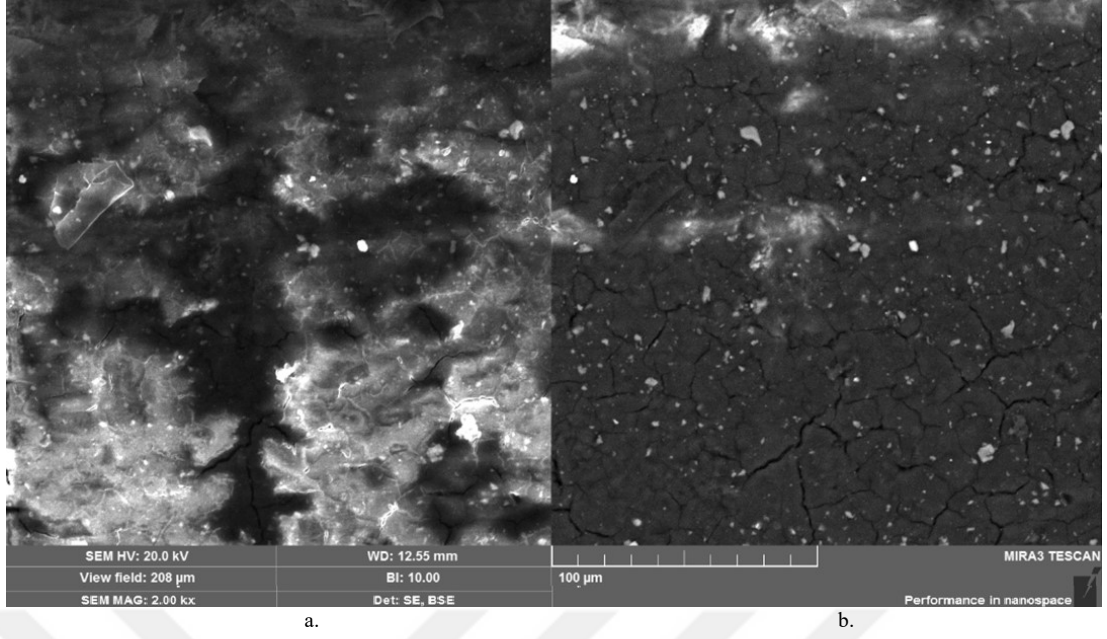
sırasıyla 200x, 500x ve 2000x büyütme SEM/EDX görüntülerini, Şekil 3.70, Şekil 3.71 ve Şekil 3.72 ise M100 yakıt çalışması sonucunda ikinci segmana ait sırasıyla 200x,500x ve 2000x büyütme SEM/EDX görüntülerini yansıtmaktadır. İkinci segmanların yüzey analizleri incelendiğinde, birinci segmanların aksine ikinci segmanlardaki aşınma alanının genel olarak daha fazla olduğu her iki yakıt çalışmasında görülmektedir. Birinci segmana nazaran ikinci segman üzerine etki eden sıcaklık ve gazın basıncının etkisiyle hareketinin daha geniş olması, ikinci segmanların daha fazla aşınmasına neden olduğu düşünülmektedir. M100 yakıt çalışması sonucunda ikinci segmanda oluşan yüzey morfolojisi KYME10 yakıtlı çalışmada olduğu gibi heterojen bir görünüm kazanmıştır. Ancak KYME10 yakıtlı çalışmaya kıyasla, M100 çalışmasında segman yüzeyinde daha az karbon oluştuğu görülmektedir. Ayrıca yüzey üzerindeki geçiş bölgesi daha kısa olmuştur.



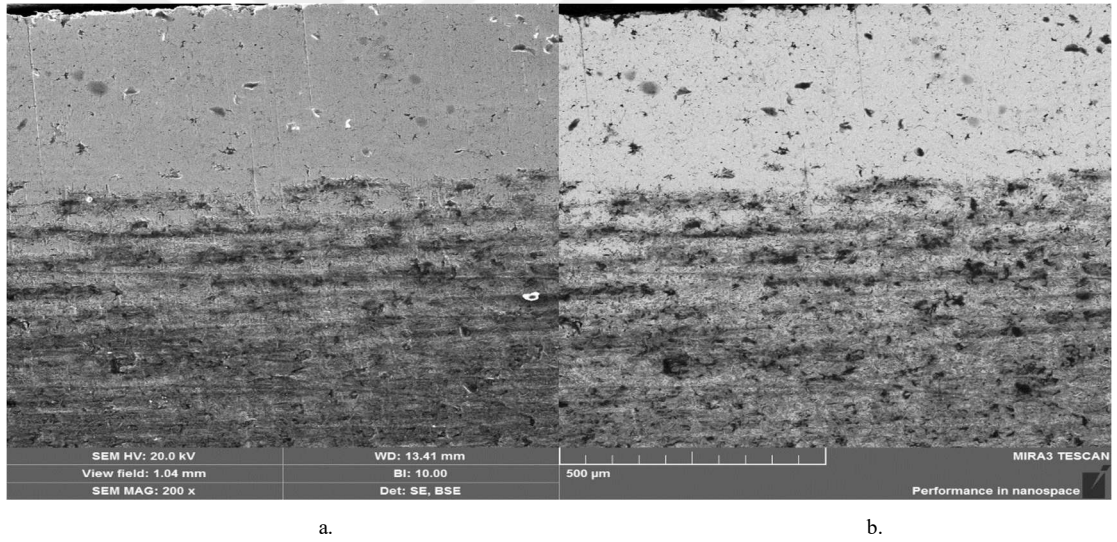
Şekil 3.67 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü



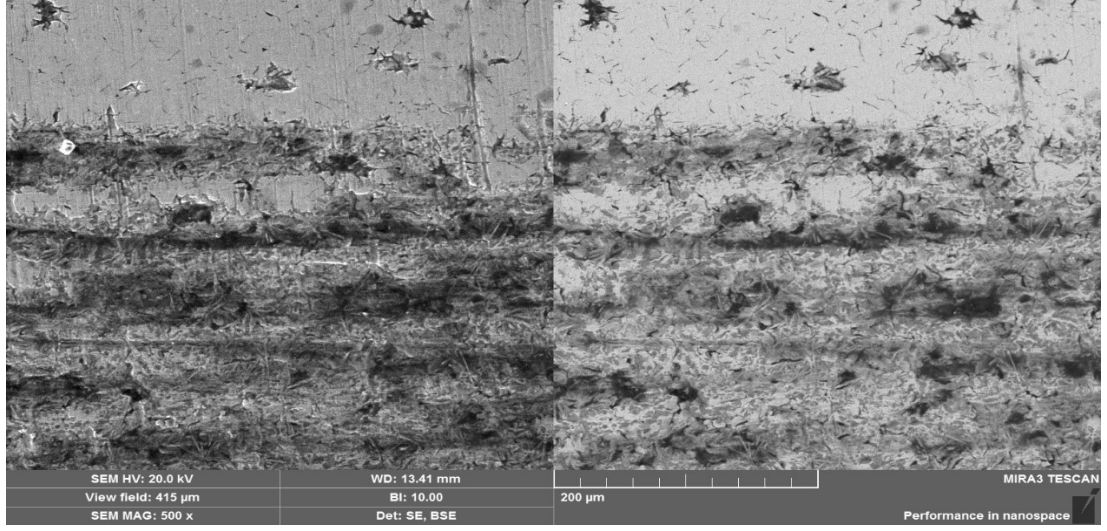
Şekil 3.68 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



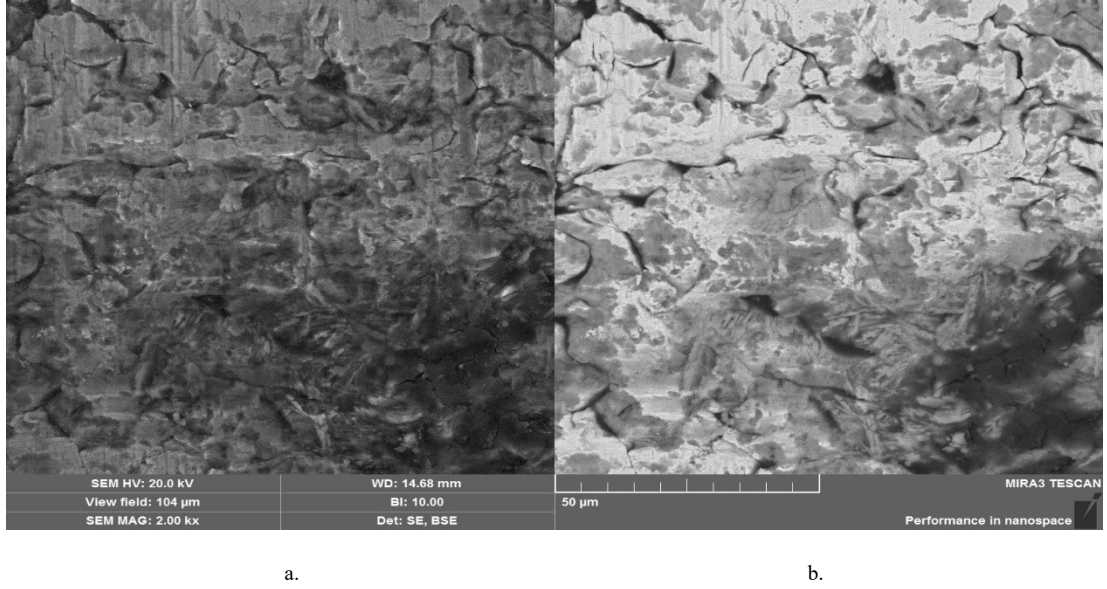
Şekil 3.69 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



Şekil 3.70 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a/b) görüntüsü

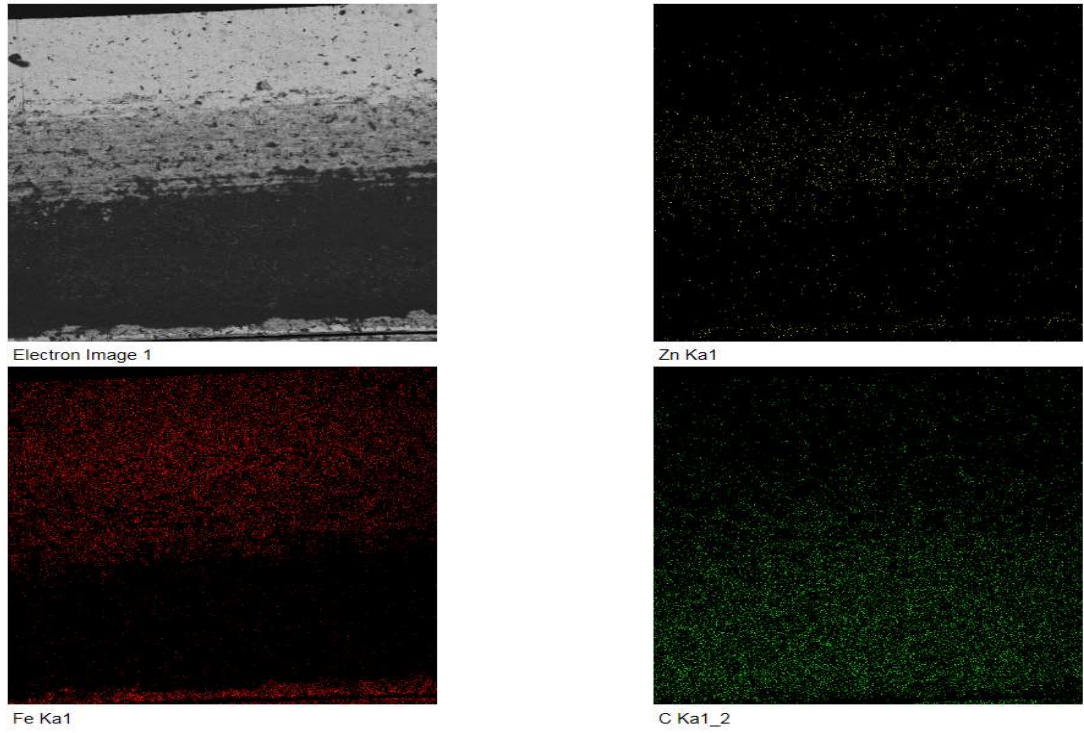


Şekil 3.71 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



Şekil 3.72 M100 yakıtlı çalışma sonunda, ikinci segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü

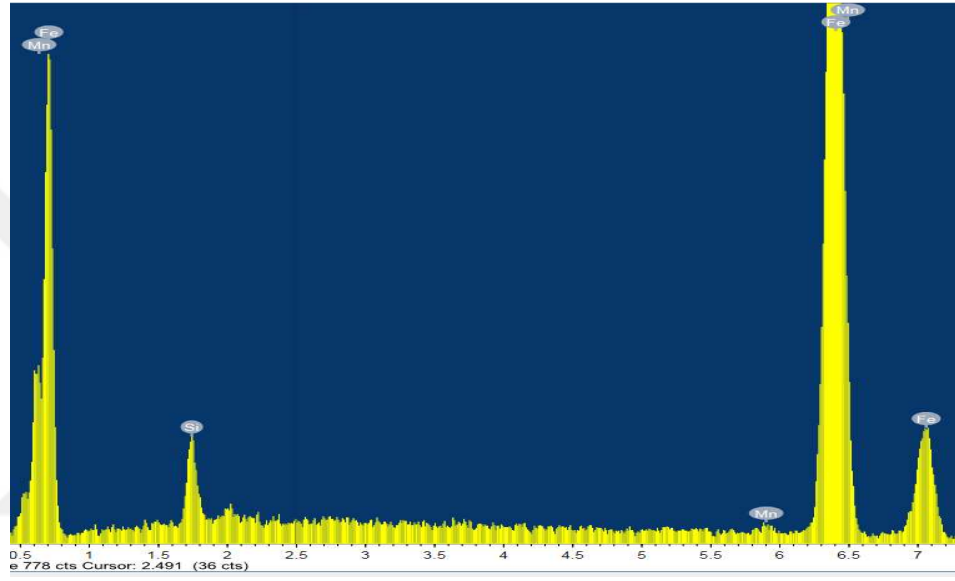
Her iki yakıt çalışmasında, ikinci segmanların yüzey morfolojisindeki görülen heterojen dağılım bu segmanların bölgesel incelenmesini zorunlu kılmıştır. Bu doğrultuda her iki çalışmada da kullanılan ikinci segmanların elemental haritaları çıkartılmıştır.



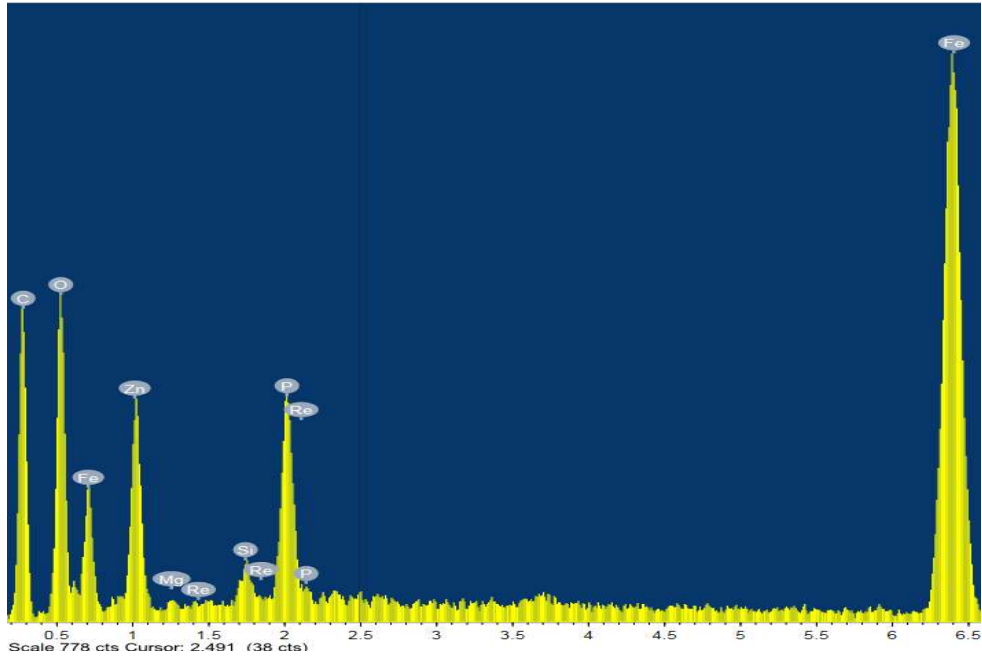
Şekil 3.73 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın tüm yüzeyindeki elementel harita

Şekil 3.73 'de KYME10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın tüm yüzeyindeki elementel harita çıkartılmıştır. KYME10 yakıt çalışmasında ki ikinci segman yüzey dağılımı incelendiğinde, aşınma elementlerinin yanı sıra motordaki yanma ve yakıt kimyasının yüzey üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Ağırlıklı olarak Fe elementinden oluşan ikinci segman yüzeyi üzerinde özellikle üst kısımlarda sıcaklık ve aşınma faktörlerinin etkili olduğu görülmektedir. Segmanın özellikle orta bölgesinde bir geçiş noktası oluşmuştur. Bu bölgede Fe ve C atomları diğer iki bölgeye nazaran daha dengeli bir oranda dağılmıştır. Ayrıca bu bölgede çinko (Zn) elementine de daha sık rastlanmıştır. Segmanın üst bölgesinden alt bölgesine doğru inildikçe C elementinin yüzdesi de kademeli olarak artmıştır. Bu artış yüzey üzerinde biriken yanmamış yakıtın varlığının da bir göstergesidir. Genel olarak ikinci segman üst bölgesinde Fe, alt bölge yüzeylerinde ise daha çok C elementine rastlandığı söylenebilir. Orijinal ikinci segmanın tüm yüzeyindeki element dağılımlarına bakıldığında, yaklaşık %51 Fe, %28 Zn, %18,1 P, %1,1 Si ve %0,8 oranında ise Cr elementine rastlanmıştır. Ancak motor silindir cidarı ve yanma olayı, ikinci segmanın tüm yüzeyinin morfolojik yapısını oldukça değiştirmiştir. Element ve analiz tayinini sağlıklı yapabilmek için ikinci segman 3 bölgede incelenmiştir. Şekil 3.74'de, bu üç bölgenin EDX analizlerini göstermektedir. Segmanın en üst kısmı incelendiğinde

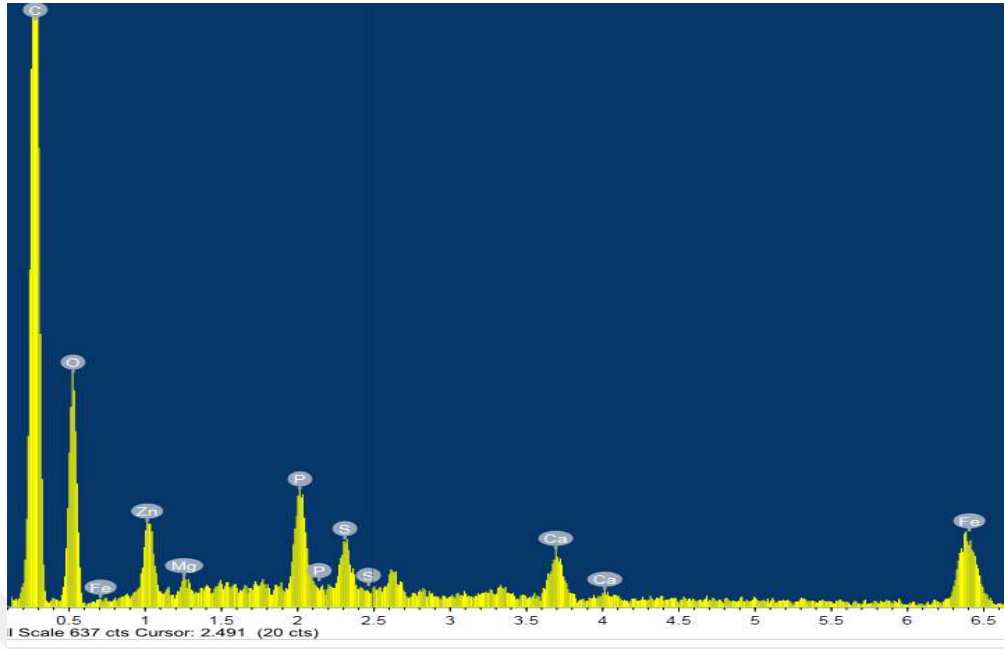
%95 Fe ,%3,84 Si ve %0,76 Mn elementleri bulunmaktadır. Segman orta bölgelerinde silindir ve segman arasında bulunan yakıt ve yağlama yağının varlığı sonucu oluştuğu düşünülen yanmamış C atomlarına rastlanmıştır. Bu bölgede C elementinin yüzdesi 34 olarak görülmüş ve C atomu ile birlikte O atomlarına da bu bölgede %23 oranında rastlanmıştır. Fe atomlarının ağırlıklı ortalaması ise %31,34'dür. Segmanın en alt bölgesinin yüzeyinde ise ağırlıklı olarak C atomlarının bulunduğu görülmektedir. Bu bölgede, EDX element dağılımlarına göre yaklaşık % 60 C, %28 O, %4,4Fe, %3 Zn, %1,7 P, %0,8 S şeklinde olmuştur.



a.



b.

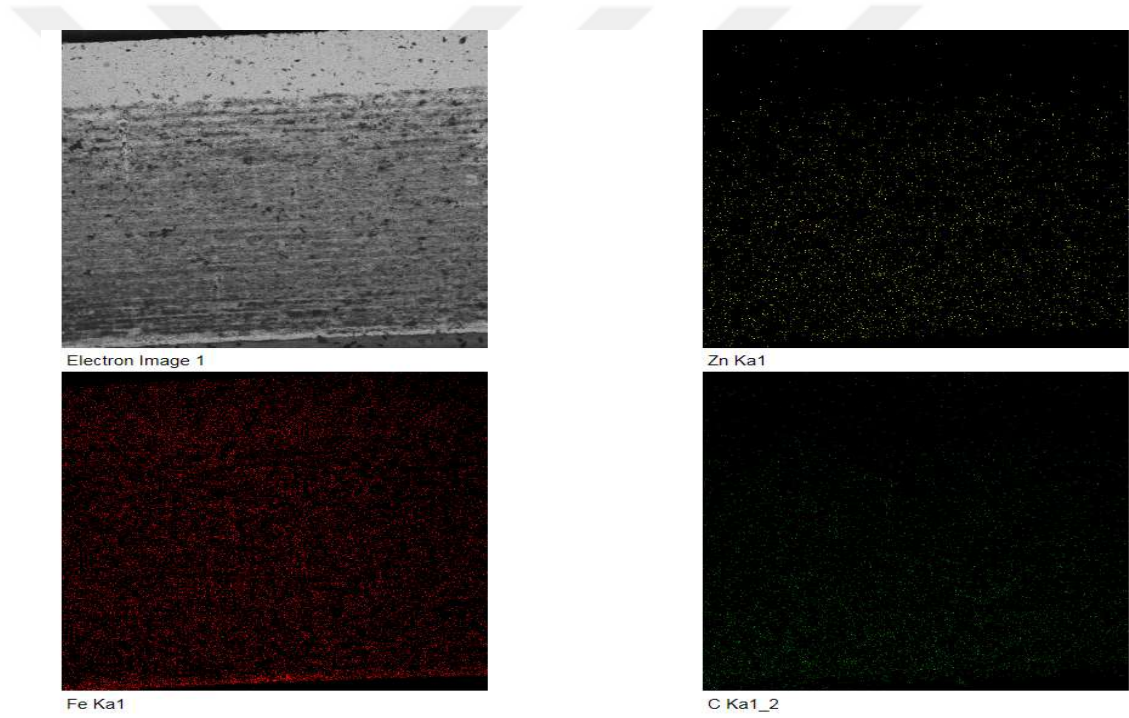


c.

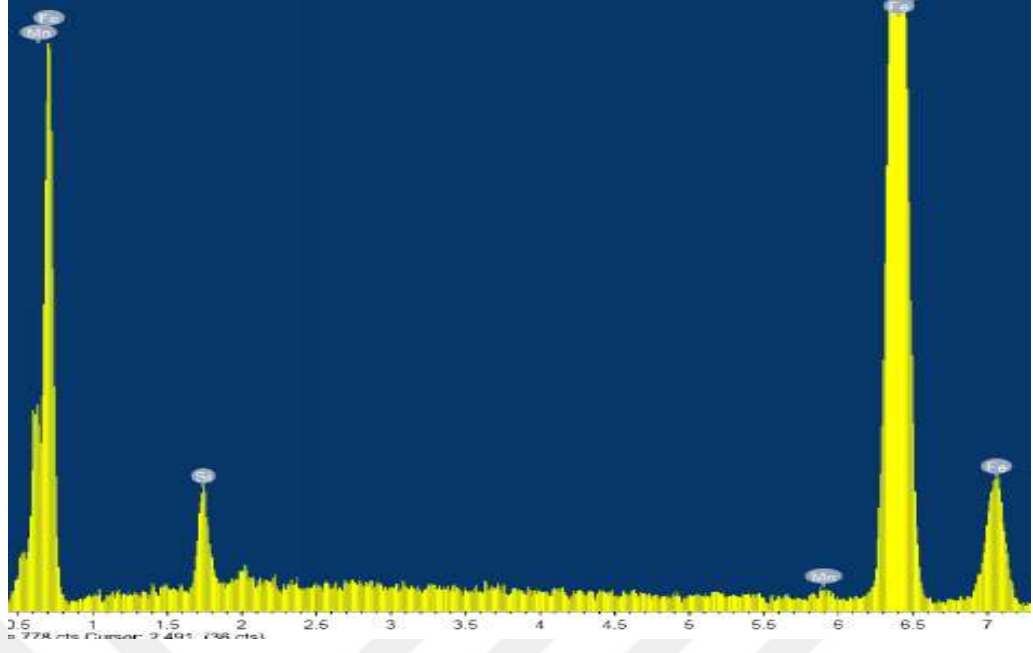
Şekil 3.74 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanda üst (a), orta (b) ve alt (c) bölgelerinde elementel dağılım

Şekil 3.75’de, M100 yakıtıyla çalışmış ikinci segmanın elementel harita görüntüsü göstermektedir. Tıpkı KYME10 karışimli yakıt çalışmasında olduğu gibi, M100 yakıtı ile çalışmış motorun ikinci segmanın yüzey dağılımının aşınma elementleri de motordaki yanma ve yakıtın kimyasal yapısından etkilenmiştir. Orijinal ikinci segman element dağılımında yaklaşık %51 Fe, %28 Zn, %18.1 P, %1.1 Si ve %0.8 Cr oranında bir dağılım söz konusu idi. Ancak motor silindir cidarındaki aşınma ve yanma olayı, ikinci segmanın yüzey morfolojik yapısında oldukça değişiklik gösterdiği görülmektedir. Element ve analiz tayinini sağlıklı yapabilmek için segman KYME10 yakıtlı çalışmanın aksine M100 yakıt çalışmasında 2 bölgede incelenmiştir. Çünkü bu çalışmada ağırlıklı olarak iki bölgeyi bir oluşum söz konusudur. Burada, KYME10 karışım yakıtlı çalışmanın segman yapısının aksine ara geçiş bölgesi çok fazla oluşmamıştır. Yine segmanın en üst kısmı incelendiğinde, ağırlıklı olarak %96 Fe, %3.8 Si ve %0.7 Mn elementlerine rastlanmıştır. Segman orta bölgelerinde silindir ve segman arasında bulunan yanmamış yakıtın varlığı sonucu oluşan karbon (C) atomlarına daha geniş bir alanda ancak oransal olarak daha az rastlanmıştır. Bu bölgede C elementi %15 olarak görülmüştür. C atomu ile birlikte O atomlarına da bu bölgede %18 oranında rastlanmıştır. Fe atomlarının ağırlıklı ortalaması ise %60.3’dür. Zn aşınması biodizel karışimli çalışmaya kıyasla daha az

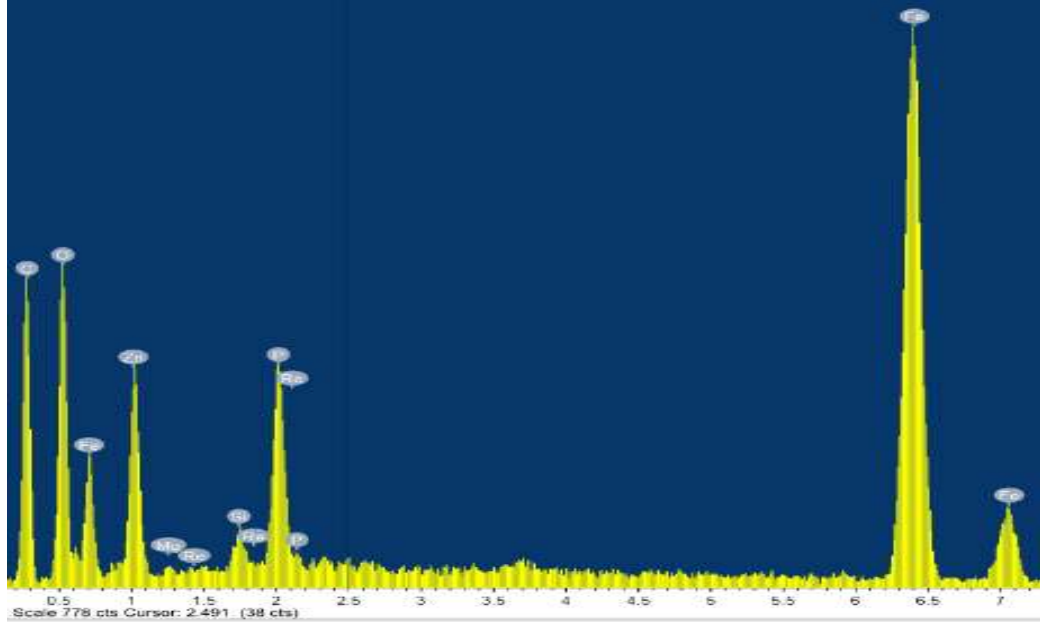
gerçekleşmiştir. Segmanın alt bölgesinin yüzeyinde ağırlıklı olarak Fe ve C atomlarının bulunduğu görülmektedir. EDX element dağılımı % 60.3 Fe, %18 O, %15 C, %5 Zn, %1 P ve %0.8 S şeklinde olmuştur. Özellikle motorin içerisinde bulunan kükürt S varlığı yine burada dikkat çekmiştir. Ayrıca çalışmada, segman yüzeyinin detaylı element haritası çıkartılmıştır. Ağırlıklı olarak Fe elementinin segmanın her iki bölgesinde de etkili olduğu söylenebilir. Ancak segman üst bölgesinden alt bölgesine doğru C elementinin yüzdesi kademli olarak artmıştır. Bu artış yüzey üzerinde biriken yanmamış yakıt ve yağlama yağının varlığını da bir noktada yansıtmaktadır. Şekil 3.76'da, bu iki bölgenin EDX analizlerini göstermektedir.



Şekil 3.75 M100 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın tüm yüzeyindeki elementel harita



a.

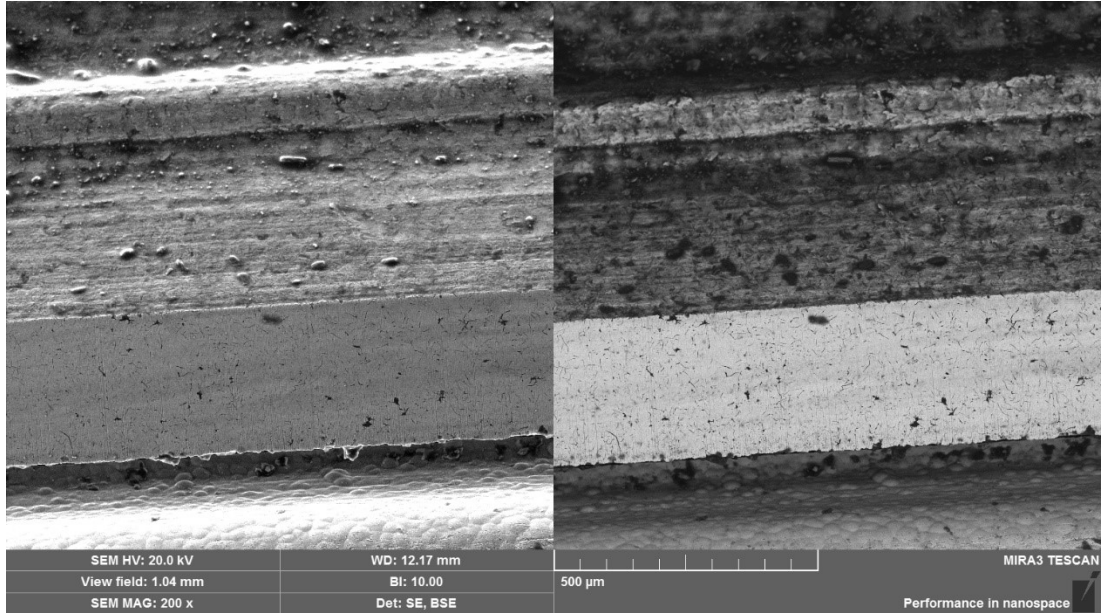


b.

Şekil 3.76 M100 yakıtlı çalışma sonunda ikinci segmanın üst (a) ve alt (b) bölgelerinde yüzeyin elemental dağılımı

KYME10 çalışmasına kıyasla, M100 çalışmasında segman yüzeyindeki geçiş bölgesi daha kısa olmuştur. Segman bölgelerinde silindir ve segman arasında bulunan yanmamış yakıtın varlığı sonucu oluşan C atomlarına daha geniş bir alanda ancak oransal olarak daha az rastlanmıştır. Bu bölgede C elementi %15 olarak görülmüştür. C atomu ile birlikte O atomlarına da bu bölgede %18 oranında rastlanmıştır. Fe atomlarının ağırlıklı ortalaması ise %60.3'dür.

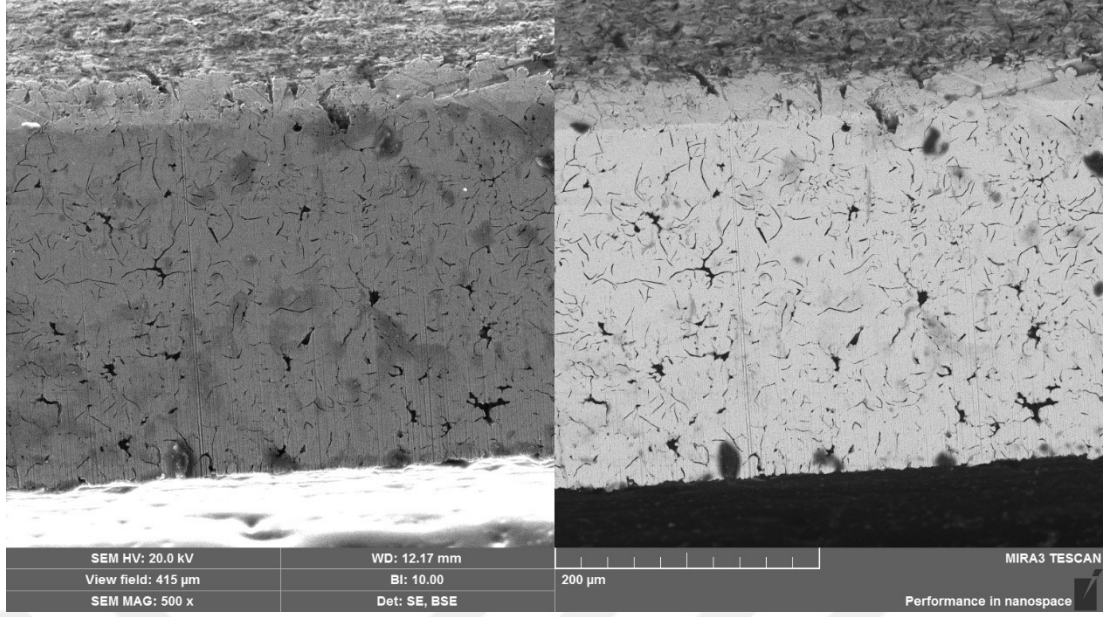
Şekil 3.77, Şekil 3.78 ve Şekil 3.79 sırasıyla, KYME10 yakıtlı çalışmanın üçüncü segmanına ait 200x, 500x ve 2000x büyütme SEM/EDX görüntülerini, Şekil 3.80, Şekil 3.81 ve Şekil 3.82 ise sırasıyla M100 yakıtlı çalışmanın üçüncü segmanın 200x, 500x ve 2000x büyütme SEM/EDX görüntülerini yansıtmaktadır. Her iki yakıt çalışmasında SEM/EDX görüntüsü incelendiğinde, yanma etkisinin ikinci segmana kıyasla daha az olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Orijinal çalışmamış üçüncü segmanın EDX analizi yapıldığında, ağırlıklı olarak %51 oranında Fe bulunurken, sırasıyla %28.65, %18.15, %1.14 ve %0.84 oranında Zn, P, Si ve Cr tespit edilmiştir. Her iki yakıt çalışması sonucunda da yüzeydeki malzeme dağılımı benzer sonuçlar vermiştir. Şekil 3.83 ve Şekil 3.84 sırasıyla KYME10 ve M100 yakıtı ile çalışmış motorun üçüncü segmanlarına ait element dağılımını göstermektedir. KYME 10 yakıtlı çalışmanın üçüncü segmanının tüm yüzeyinde %96.12 Fe geri kalan kısımda ağırlıklı Si, M100 yakıtlı çalışmanın üçüncü segmanının tüm yüzeyinde ise %96.93 Fe ve geriye kalan kısımda Si tespit edilmiştir. Tıpkı birinci segmanda olduğu gibi pistonun yaslanma yönüne paralel gelişen aşınma çizgileri dikkat çekmektedir. Özellikle biodizel yakıtlarının yüksek buharlaşma sıcaklıkları nedeniyle yağlama yağına karışarak viskozitelerini düşürmesinin bir etkisi olarak KYME 10 yakıtlı çalışmada daha fazla abrasif aşınma çizgilerine rastlanılmıştır.



a)

b)

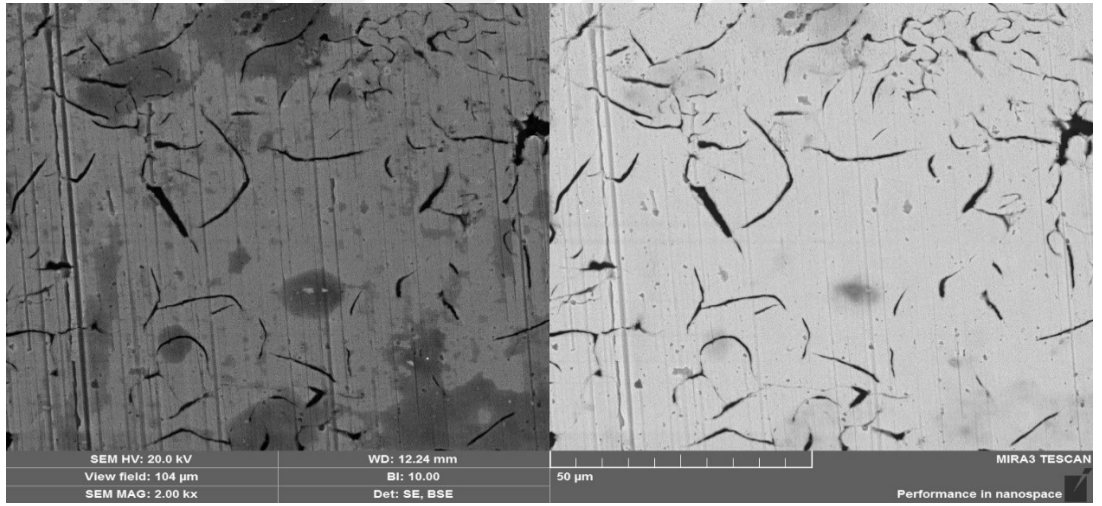
Şekil 3.77 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a)

b)

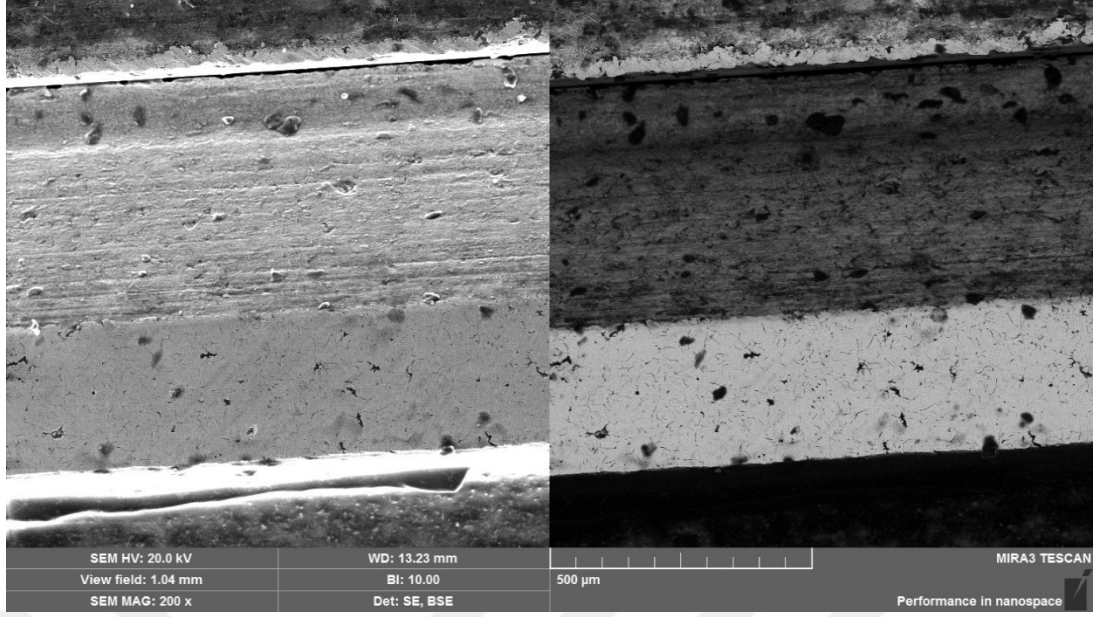
Şekil 3.78 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a)

b)

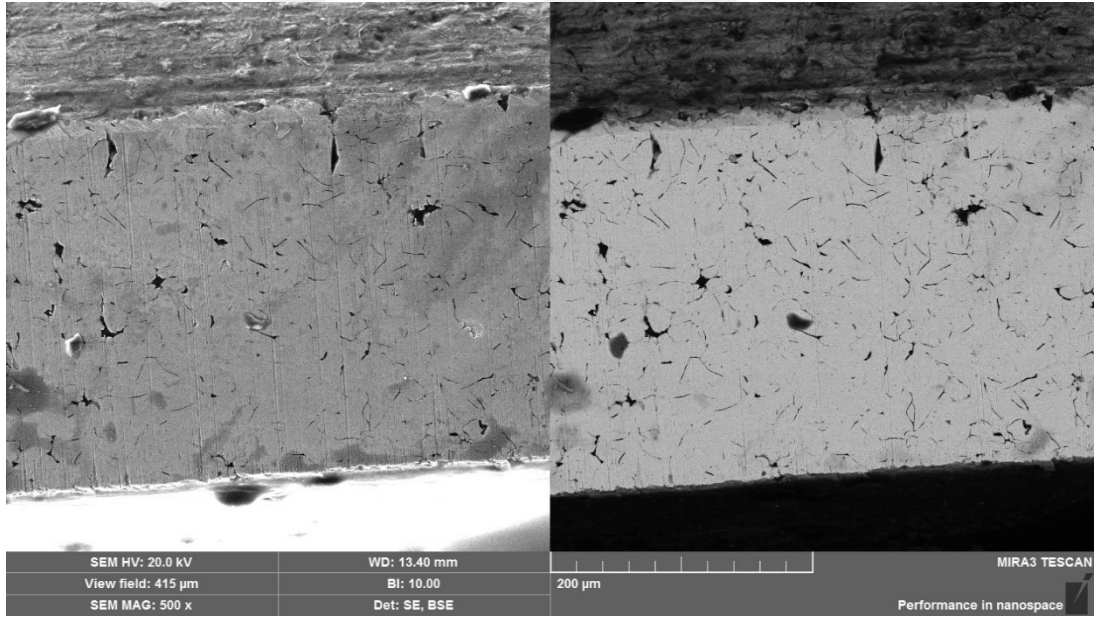
Şekil 3.79 KYME10 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a)

b)

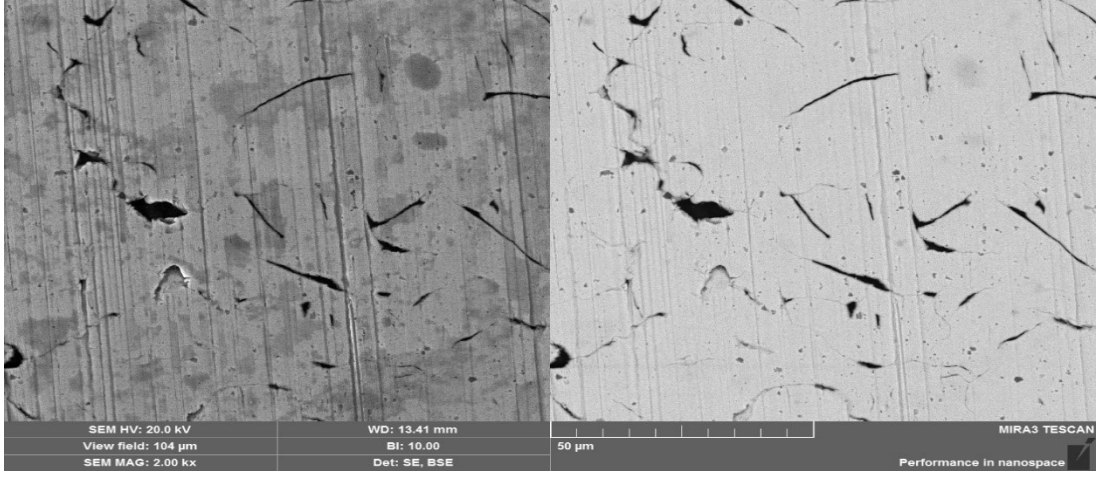
Şekil 3.80 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 200x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



a)

b)

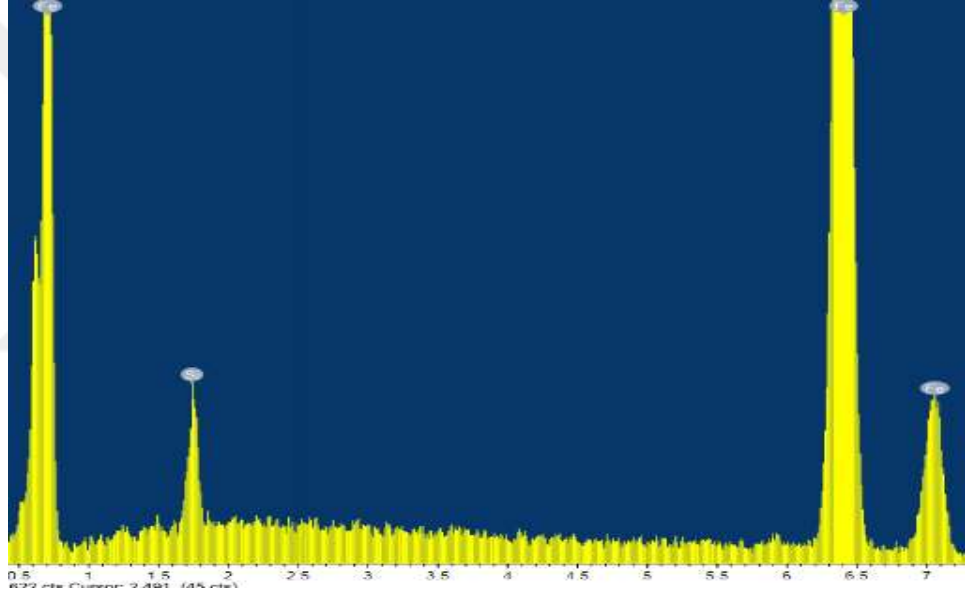
Şekil 3.81 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 500x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü



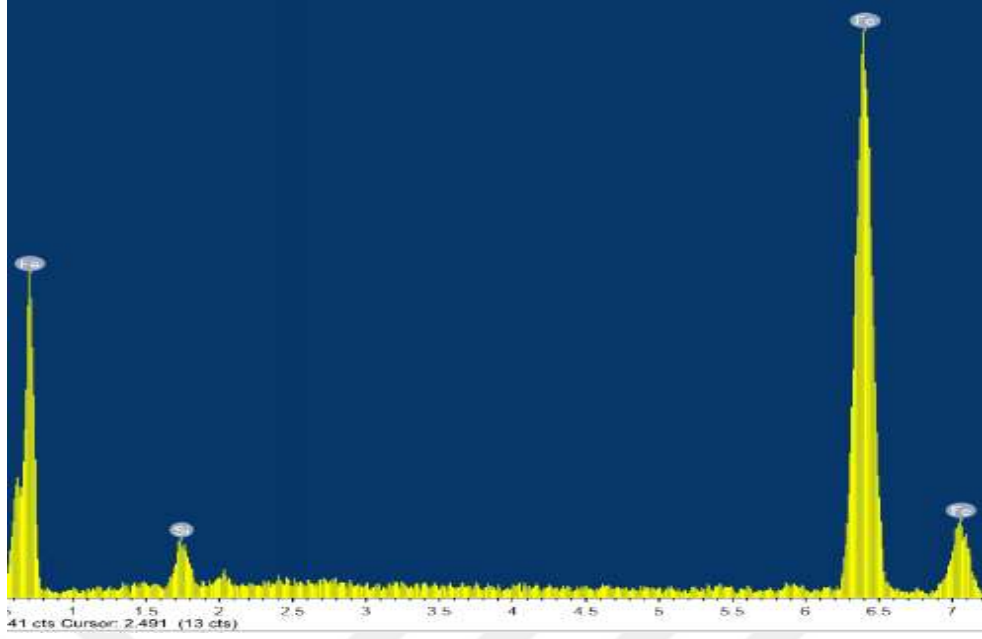
a)

b)

Şekil 3.82 M100 yakıtlı çalışma sonunda, üçüncü segmana ait 2000x büyütme SEM/EDX (a.ve b.) görüntüsü

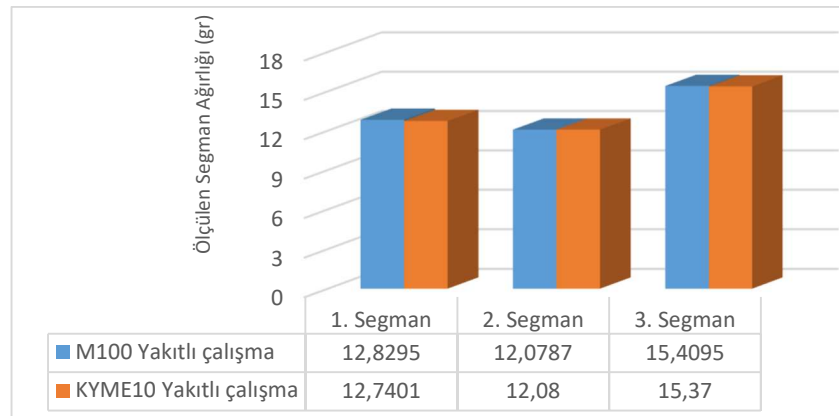


Şekil 3.83 KYME10 yakıtlı çalışmanın sonunda, üçüncü segmana ait element dağılımı



Şekil 3.84 M100 yakıtlı çalışmanın sonunda üçüncü segmana ait element dağılımı

M100 yakıtının kullanıldığı deneysel çalışmalara kıyasla, KYME10 yakıtının kullanımı ile motor parçaları üzerinde daha fazla karbon birikimi görülmektedir. Ancak, segmanların yüzey yapısı dayanıklılık testlerinden sonra her iki yakıt türü için kabul edilebilir durumda olduğunu söyleyebiliriz. Yüksek karbon birikimlerine ve bazı bileşenlerinin daha fazla aşınmasına rağmen, biodizel yakıtlı motor için uzun süreli dayanıklılık sonrası herhangi bir anormal sorun görülmemiştir. Şekil 3.85, üç farklı piston segmanlarında çalışmalar sonunda ölçülen ağırlık değişimlerini yansıtmaktadır.



Şekil 3.85 Üç farklı piston segmanlarında çalışma sonunda ölçülen ağırlık değişimleri

İki farklı yakıt türünün kullanıldığı motorlarda piston segmanlarının SEM/EDX analizlerine bakıldığında, biodizel yakıtlı çalışmada bir miktar daha fazla aşınma çizgilerinin varlığı çekmiştir. Bu sonuçların bir göstergesi olarak segmanların ölçülen ağırlıklarını söyleyebiliriz. KYME10 yakıtı ile çalışmış motorun segman ağırlıkları M100 yakıtlı motor segmanlarına kıyaslandığında, ikinci segman haricinde bir miktar daha fazla aşındığını söylenebilir.

Bu çalışmada sonuç olarak, farklı yakıtların motor performans ve emisyon değerlerine bakıldığında, motorda M100 yakıtı kullanımına kıyasla, KYME ve AYME karışimli yakıtların, motor tork ve gücünde azalmalar oluşturduğu, bu azalmaların, karışım yakıtlarının oranlarının artması ile daha da arttığı, bunun yanı sıra, ÖYT değerlerinde ise artışa neden olduğu görülmüştür. Dinamik bir modelleme ile de AVL-FIRE yazılımı, deneysel sonuçlara yakın değerler vermiştir. Emisyon değerlerine bakıldığında motorin/biodizel karışimli yakıtların CO ve HC emisyonlarında azalmaya, NO emisyonlarında ise artışa neden olmuştur.

Ayrıca yanmanın, motor tribolojisi üzerinde etkili olduğu görülmüş olup, farklı yakıt kullanımını sonucu, biodizel ile çalışan motorun yağlama yağında, daha az aşınma elementlerine rastlanmıştır.

Bu çalışmada, uzun süreli dayanım testleri, 150 saat süre ile kısmi yük altında yapılmıştır. Uzun süreli dayanım testleri sürelerini daha da artırıp, deney motorunun tam yük altında çalıştırılması ile belirli aralıklarda yağ analizlerinin yapılarak, motor yağlama yağında, aşınma elementlerine bakılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Acharya N., Nanda P., Panda S., Acharya S.** (2017). Analysis of properties and estimation of optimum blending ratio of blended mahua biodiesel, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 511–517.
- [2] **Milano J., Ong H.C., Masjuk H.H., Silitonga A.S., Chen W.H., Kusumo F., Dharma S., Sebayang A.H.** (2018). Optimization of biodiesel production by microwave irradiation-assisted transesterification for waste cooking oil-Calophyllum inophyllum oil via response surface methodology, *Energy Conversion and Management*, 158, 400–415.
- [3] **Murillo S., Miguez J.L., Porteiro J., Granada E., Moran J.C.** (2007). Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*, 86 (12):1765–71.
- [4] **Hwang J., Qi D., Jung Y., Bae C.** (2014). Effect of injection parameters on the combustion and emission characteristics in a common-rail direct injection diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel. *Renewable Energy*, 63:9–17.
- [5] **Damanik N., Ong H.C., Chong W.T., Silitonga A.S.** (2017). Biodiesel production from Calophyllum inophyllum_palm mixed oil, *Energy Source Part A*. 39,1283–1289.
- [6] **An H., Yang W.M., Maghbouli A., Li J., Chou S.K., Chua K.J., Wang J.X., Li L.** (2014). Numerical investigation on the combustion and emission characteristics of a hydrogen assisted biodiesel combustion in a diesel engine, *Fuel*, 120, 186–194.
- [7] **Staat, F., Gateau P.** (1995). The effects of rapeseed oil methyl ester on diesel engine performance exhaust emissions and long-term behavior-a summary of three years of experimentation. *SAE Paper*, 9, 950053.
- [8] **Canakci, M., Erdil, M., Arcaklioğlu, E.** (2006). Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine, *Applied Energy*, 83, Issue 6, Pages 594-605
- [9] **Ganapathy, T., Gakkhar, R.P., Murugesan, K.** (2011). Influence of injection timing on performance, combustion and emission characteristics of Jatropha biodiesel engine, *Applied Energy*, 88, 4376-4386.
- [10] **Solaimuthu, C., Ganesan, V., Senthilkumar, D., Ramasamy, K.K.** (2015). Emission reductions studies of a biodiesel engine using EGR and SCR for agriculture operations in developing countries, *Applied Energy*, 138, 91-98
- [11] **InWong, K., Wong, P.K., Cheung, C.S., Vong, C.M.** (2013). Modeling and optimization of biodiesel engine performance using advanced machine learning methods, *Energy*, 55, 519-528.

- [12] **Ghobadian,B., Rahimi,H., Nikbakht,A.M., Najafi,G., Yusaf,T.F.** (2009). Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network, *Renewable Energy*, **34**, 976-982.
- [13] **Chauhana, B.S., Kumara, N., Chob,H.K.** (2012). A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends, *Energy*, **37**,616-622.
- [14] **Ananthakumar S., Jayabal S.P.** Thirumal, Investigation on performance, emission and combustion characteristics of variable compression engine fuelled with diesel, waste plastics oil blends, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, (39);19–28, 2017.
- [15] **Soloiu V., Harp S., Watson C., Butts C.L.** Performance of an IDI Engine Fueled with Fatty Acid Methyl Esters Formulated from Cotton Seeds Oils, *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 8 (2);277–289, 2015.
- [16] **Islam M.A., Rahman M.M., Heimann K., Nab M.N., Ristovski Z.D., Dowell A., Thomas G., Feng B, Alvensleben N., Brown R.J.** Combustion analysis of microalgae methyl ester in a common rail direct injection diesel engine, *Fuel* (143);351–360, 2015.
- [17] **Gopal K.N., Karupparaj R.T.** Effect of Pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of DI compression ignition engine, *Ain Shams Engineering Journal* (6);297–305, 2015.
- [18] **Li H., Yang W., Zhou D., Yu W.** Numerical study of the effects of biodiesel unsaturation on combustion and emission characteristics in diesel engine, *Applied Thermal Engineering*, 137, 310-318, 2018.
- [19] **Lee Y., Huh K.Y.** Numerical study on spray and combustion characteristics of diesel and soy-based biodiesel in a CI engine, *Fuel*, 113, 537–545, 2013.
- [20] **Gopal KN., Thundil R., Raj K.** Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine, *Fuel*,165, 105–114, 2016.
- [21] **Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M.** Wear assessment in a biodiesel fueled compression ignition engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 125(3), 2003.
- [22] **Agarwal A.K., Srivastava D.K., Dwivedi D., Kawatra G., Kumer M.R., Bhardwaj OP, et al.** Field trial of biodiesel (B100) and diesel fuelled common rail direct injection Euro-III compliant sports utility vehicles in India condition. *SAE Paper*,28-77, 2008.
- [23] **Agarwal A.K., Dhar A.** Karanja oil utilization in DI engine by preheating: experimental investigations of engine durability and lubricating oil properties,

Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering 224(1):85-97, 2009.

- [24] **Agarwal A.K., Dhar A.** Wear Durability and lubricating oil performance of a straight vegetable oil (Karanja) blend fueled direct injection compression ignition engine. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(6), 063138-1–063138-13, 2012.
- [25] **Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M.** Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 125,2003.
- [26] **Kurre S.K., Garg R., Pandey S.** A review of biofuel generated contamination, engine oil degradation and engine wear. *Biofuels*, 8(2), 273-280, 2017.
- [27] **Dhar A., Agarwal A.K.** Effect of Karanja biodiesel blend on engine wear in a diesel engine, *Fuel*, 134, 81–89, 2014.
- [28] **Bora D.K., Das L.M., Babu M.K.G.** Wear and tear analysis of a single cylinder diesel engine using Karanja biodiesel (B20) after 512 h. *J Sci Ind Res*,69:639–42, 2010.
- [29] **Sarveshwar R.M., Sharma N., Agrawal A.K.** Effect of straight vegetable oil blends and biodiesel blends on wear of mechanical fuel injection equipments of a constant speed diesel engine. *Renewable Energy*; 99:1008–18, 2016.
- [30] **Kalam M.A., Masjuki H.H.** Effect of palm oil methyl ester and its emulsions on lubricant degradation and engine component wear. *Lubrication Sci*,16(1):57–65, 2003.
- [31] **Gulzar M., Masjuki H.H., Varman M., Kalam M.A., Zulkifli N.W.M., Mufti R.A., Liaquat A.M., Zahid R., Arslan A.** Effects of biodiesel blends on lubricating oil degradation and piston assembly energy losses. *Energy* 111, 713-721, 2016.
- [32] **Paresh S.C., Patel D. Rajesh A.,Patel N.** Study on tribological behavior of biodiesel – Diethyl ether (B20A4) blend for long run test on compression ignition engine, *Fuel*. Volume 230, 15, Pages 64-77, 2018.
- [33] **Kral J.J., Konecny B., Kral J., Madac K., Federco G., Molnar, V.** Degradation and chemical change of longlife oils following intensive use in automobile engines", *Measurements*, 50, 34-42, 2014.
- [34] **Gary M.C., Bowman J.** FT-IR Analysis of Used Lubricating Oils – General Considerations, Application Note: 50731, Thermo scientific, 2007.
- [35] **Lesnik L., Iljaz J., Hribernik A., Kegl B.** Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends. *Energy Conversion and Management*; (81):534-46, 2014.

- [36] **Sanli H., Canakci M., Alptekin E., Turkcan A., Ozsezen A.** Effects of waste frying oil based methyl and ethyl ester biodiesel fuels on the performance, combustion and emission characteristics of a DI diesel engine. *Fuel*, (159):179-87, 2015.
- [37] **Aldhaidhawi M., Chiriac R., Badescu V., Descombes G., Podevin P.** Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen addition, *International Journal of Hydrogen Energy*, (42);16793-16807, 2017.
- [38] **Hazar H., Temizer İ.** Analysis of methanol and organometallic MnO₂ fuels as alternative fuels in a diesel engine, *International Journal of Sustainable Engineering Taylor & Francis*,34-40, 2013.
- [39] **Masuko M., Ohkido T., Suzuki A., Ueno T., Okuda S.,Sagawa T.** Effect of Ashless Dispersant on Deterioration of Antiwear Characteristics of ZnDTP due to Decomposition during the Oxidation Inhibition Process,” *Tribology Transactions*, 50, pp 310–318,2007.
- [40] **Dhar A., Agarwal A.K.** Experimental investigations of effect of Karanja biodiesel on tribological properties of lubricating oil in a compression ignition engine. *Fuel*, 130, 112-119,2014.
- [41] **Fazal M.A., Asma H., Masjuki H.H.** Biodiesel feasibility study: an evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. *Renew Sustain Energy Rev*,15:1314–24,2011.
- [42] **Cetinkaya M., Ulusoy Y., Tekin Y., Karaosmanouğlu F.** Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Convers Manage*, 46:1279–91,2005.
- [43] **Roy M. M., Wang W., Bujold J.** Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel and canola oil-diesel blends at high idling operations, *Appl. Energy*, c. 106, ss. 198–208, 2013.
- [44] **Petranović Z., Bešenić T., Vujanović M., Duić N.** Modelling pollutant emissions in diesel engines, influence of biofuel on pollutant formation, *J. Environ. Manage.*, c. 203, ss. 1038–1046, 2017.
- [45] **Chiatti G., Chiavola O., Palmieri F., Albertini S.** Combustion and emissions characterization of biodiesel blends in a city-car engine. *Energy Fuels*,28 (8):5076–85,2014.
- [46] **Alisarei A.T., Ghobadian B., Hashjin T.T., Mohtasebe SS.** Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. *Fuel*,102:414–22,2012.

- [47] **Heidary B., Hassan-Beygi S.R., Ghobadian B., Taghizadeh A.** Vibration analysis of a small diesel engine using diesel-biodiesel fuel blends. *Agric Eng Int*,15 (3):117–26,2013.
- [48] **Shaikh M.F., Umale S.** Noise and vibration analysis of diesel engine using diesel and jatropha biodiesel. *Int J Eng Trends Technol*,104:228–323,2014.
- [49] **Kumar R., Gakkhar R.P.** Influence of nozzle opening pressure on combustion, performance and emission analysis of waste cooking oil biodiesel fuelled diesel engine, *Int. J. Renewable Energy Technology*, Vol. 9,2018.
- [50] **Devarajan Y., Mahalingam A., Munuswamy D.B., Arunkumar T.** Combustion, Performance, and Emission Study of a Research Diesel Engine Fueled with Palm Oil Biodiesel and Its Additive, *Energy Fuels*, 32, 8, 8447-8452,2018.
- [51] **Hong, C.W., Tarng, S.D.** (1998). Direct measurement and computational analysis of turbulence length scales of a motored engine, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 16, 277-285.
- [52] **Wang, Z., Shuai, S.J., Wang, J.X., Zhang, F.** (2008). Numerical simulation of gasoline stratified charge compression ignition using 3d-CFD coupled with detailed chemistry, *Combustion Sci. Technol.*, 180, 1295–1316.
- [53] **White, T.R., Milton, B.E., Behnia, M.** (2004). Direct Injection of Natural Gas/Liquid Diesel Fuel Sprays, 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, Australia, and 13-17 December.
- [54] **Curtis, E. W., Uludogan, A., Reitz, R. D.** A New High Pressure Droplet Vaporization Model for Diesel Engine Modeling, SAE 952431.
- [55] **Mobasheri, R., Peng, Z., Mirsalim, S. M.** (2012). Analysis the effect of advanced injection strategies on engine performance and pollutant emissions in a heavy duty DI-diesel engine by CFD modeling, *Int. J. Heat Fluid Flow* 33, 59–69.
- [56] **Fu-shui, L., Lei, Z., Bai-gang, S., Zhi-jie, L., Schock, H.J.** (2008). Validation and modification of WAVE spray model for diesel combustion simulation, *Fuel*, 87, 3420–3427.
- [57] **Johan, Z., Moraes, A.C.M., Buell, J.C., Ferencz, R.M.** (2001). In-cylinder cold flow simulation using a finite element method, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*,190, 3069-3080.
- [58] **Sterno, N., Greeves, G., Tullis, S., Jiang, X., & Zhao, H.** (2007). Improvements of the KIVA dense spray modeling for HSDI diesel engines (No. 2007-01-0001). SAE Technical Paper.
- [59] **Akar, R.** (2005). Combustion chamber design with computational fluid dynamic, Msc Thesis, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- [60] **Arıca, S. Ö.** (2012). Ağır vasıta bir diesel motorun tasarımı, üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve emisyon analizi (Master's thesis, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [61] **Han, Z., Uludogan, A., Hampson G.J., Reitz, R.D.** (1996). Mechanism of Soot and NOx Emission Reduction Using Multiple-Injection in a Diesel Engine, SAE paper, Paper No: 960633.
- [62] **Ra, Y., Hruby, E. J., Reitz, R. D.** (2005). Parametric study of combustion characteristics in a direct-injection diesel homogeneous charge compression ignition engine with a low-pressure fuel injector, *Int. J. Engine Research*, 6, 215-230.
- [63] **Prasad, B.V.V.S.U., Sharma, C.S., Anand, T.N.C., Ravikrishna, R.V.** (2011). High swirl-inducing piston bowls in small diesel engines for emission reduction, *Applied Energy*, 88, 2355–2367.
- [64] **Binesh, A. R., & Hossainpour, S.** (2008). Three dimensional modeling of mixture formation and combustion in a direct injection heavy-duty diesel engine. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 41, 207-212.
- [65] **Hassan, N. M. S., Rasul, M. G., & Harch, C. A.** (2015). Modelling and experimental investigation of engine performance and emissions fuelled with biodiesel produced from Australian Beauty Leaf Tree. *Fuel*, 150, 625-635.
- [66] **Payri, F., Benajes, J., Margot, X., & Gil, A.** (2004). CFD modeling of the in-cylinder flow in direct-injection Diesel engines. *Computers & fluids*, 33(8), 995-1021.
- [67] **Yang, Z., Chu, C., Wang, L., & Huang, Y.** (2015). Effects of H₂ addition on combustion and exhaust emissions in a diesel engine. *Fuel*, 139, 190-197.
- [68] **Zhang, B., Mazlan, S. K., Jiang, S., & Boretti, A.** (2015). Numerical investigation of dual fuel diesel-CNG combustion on engine performance and emission (No. 2015-01-0009). SAE Technical Paper.
- [69] **Mobasheri, R., & Peng, Z.** (2012, May). CFD modelling of the effects of injection timing on the combustion process and emissions in an HSDI diesel engine. In *ASME 2012 Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference*(pp. 775-783). American Society of Mechanical Engineers.
- [70] **Liao K., Liu Y., Kim D., Urzua P., Tian T.** Practical challenges in determining piston ring friction”, *Journal of Engineering Tribology*, 227, 112- 125, 2012.
- [71] **Srivastava D.K., Agarwal A.K., Kumar J.** Effect of liner surface properties on wear and friction in a non-firing engine simulator, *Materials and Design*, 28, 1632-1640,2007.

- [72] **Andersson, P.** Piston ring tribology, VTT Industrial Systems, Research Notes 2178, Finland, 20-22,2002.
- [73] **Temizer İ., Yüksel T., Eskici B., İzgi A.** Dizel Motorda Kullanılan Biodizel Yakıtının Sayısal Analizi, International engineering and technology symposium,03-05 May, 65, 2018.
- [74] **Subhash L., Subramanian K.** (2015). Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*,(139):537-45.
- [75] **Labeckas G., Slavinskas S., Mazeika M.** (2014). The effect of ethanoldiesel-biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, (79):698-720.
- [76] **Qi DH, Chen H, Geng LM, Bian YZH, Ren XCH.** (2010). Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. *Appl Energy*;(87):1679–86.
- [77] **Zvonimir P., Wilfried E., Milan V., Neven D., Peter P., Reinhard T.** (2016). CFD modelling of spray and combustion process using avl FIRE // Digital Proceedings of The 36th International Symposium on Combustion COEX, Seoul, Korea,
- [78] **Aldhaidhawi M., Brabec M., Lucian M., Chiriac R., Bădescu V.** (2017). Experimental and numerical assessment of ignition delay period for pure diesel and biodiesel B20, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, (252); 012068.
- [79] **Kweon CB, Okada S, Stetter JC, Christenson CG, Shafer MM, Schauer JJ, Foster DE.** (2003). Effect of fuel composition on combustion and detailed chemical/physical characteristics of diesel exhaust. SAE Technical Paper (1)-1899.
- [80] **Attia AM, Hassaneen AE.** (2016). Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. *Fuel*;(167);316–328.
- [81] **SenthilKumar R., Loganathan M.** (2016). Combustion characteristics of the direct injection diesel engine fuelled with corn oil methyl ester, *International Journal Ambient Energy* 37 (2);136–142.
- [82] **Wei L., Cheung CS., Ning Z.** (2017). Influence of waste cooking oil biodiesel on combustion, unregulated gaseous emissions and particulate emissions of a direct-injection diesel engine, *Energy* (127); 175–185.
- [83] **Aydin H., Bayindir H.** (2010). Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine, *Renewable Energy* (35);588–592.

- [84] **Sinha, S., Agarwal A.K.** (2010). Experimental investigation of the effect of biodiesel utilization on lubricating oil degradation and wear of a transportation CIDI engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, **132**, 042801-1-9.
- [85] **Lin, Y.C., Lee, W.J., Wu, T.S., Wang, C.T.** (2006). Comparison of PAH and regulated harmful matter emissions from biodiesel blends and paraffinic fuel blends on engine accumulated mileage test. *Fuel*, **85**, 2516–23.
- [86] **Song, B.H., Choi, Y.H.** (2008). Investigation of variations of lubricating oil diluted by post-injected fuel for the regeneration of CDPF and its effects on engine wear, *Journal of Mechanical Science and Technology*, **22**, 2526–2533.
- [87] **Totten, G.E., Westbrook, S.R., Shah, R.J.** (2003). Fuels and lubricants handbook- technology, properties, performance, and testing. *West Conshohocken* (PA): ASTM International.
- [88] **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
- [89] **Wang, Z., Li, L., Wang, J., & Reitz, R. D.** (2016). Effect of biodiesel saturation on soot formation in diesel engines. *Fuel*, **175**, 240–248.
- [90] **Harch, C. A., Rasul, M. G., Hassan, N. M. S., & Bhuiya, M. M. K.** (2014). Modelling of engine performance fuelled with second generation biodiesel. In *Procedia Engineering* (Vol. 90, pp. 459–465)
- [91] **Abed, K. A., Gad, M. S., El Morsi, A. K., Sayed, M. M., & Elyazeed, S. A.** (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*, **28**(2), 183–188.
- [92] **Pandey, A. K., & Nandgaonkar, M.** (2010). Experimental investigation of the effect of esterified karanja oil biodiesel on lubricating oil and wear of a 780 hp military CIDI engine. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, **3**(2), 273–279.
- [93] **Raman, L. A., Deepanraj, B., Rajakumar, S., & Sivasubramanian, V.** (2019). Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. *Fuel*, 69–74.
- [94] **Senthur, N. S., Ravikumar, T. S., Pradeepkumar, A. R., & Sasi Reka, S.** (2015). Experimental investigation on performance, combustion, and emission characteristics of two different biodiesel fuels in a DI diesel engine - A comparative analysis. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, **7**, 232–235.
- [95] **Rama Krishna Reddy, E., & Dhana Raju, V.** (2018). Experimental studies on natural aspirated diesel engine fuelled with corn seed oil methyl ester as a

bio-diesel. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 330). Institute of Physics Publishing.

- [96] **Asokan, M. A., Prabu, S. S., Bade, P. K. K., Nekkanti, V. M., & Gutta, S. S. G.** (2019). Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine. *Energy*, 173, 883-892.
- [97] **How, H. G., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Teoh, Y. H., & Abdullah, M. A.** (2013). Effect of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a common-rail diesel engine fuelled with coconut oil methyl ester. In *SAE Technical Papers* (Vol. 11).
- [98] **Ibrahim, A.** (2018). An experimental study on using diethyl ether in a diesel engine operated with diesel-biodiesel fuel blend. *Engineering science and technology, an international journal*, 21(5), 1024-1033.
- [99] **Febris Yanma Analizi Kullanıcı Kılavuzu.**
- [100] **Cesur, İ.** (2008). Farklı Yakıt Karışımlarının Segman-Silindir Çifti arasındaki Sürtünme ve Aşınma Özelliklerine etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi).
- [101] **AVL-FIRE User Guides, 2014.**
- [102] **Boz, N., Kara, M., Sunal, O., Alptekin. E., Değirmenbaşı, N.** (2009). Investigation of the fuel properties of biodiesel produced over an alumina-based solid catalyst, *Turkish Journal of Chemistry*, 33, 433-442.
- [103] **Elkelawya M., Bastawissia H.A., Esmaeila K.K., Radwana A.M., Panchalb H., Sadasivunic K.K, Ponnammac D., Walvekard R.** (2019). Experimental studies on the biodiesel production parameters optimization of sunflower and soybean oil mixture and DI engine combustion, performance, and emission analysis fueled with diesel/biodiesel blends.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Bünyamin ESKİCİ
Doğum Yeri ve Tarihi Sivas, 20.09.1983
Medeni Hali Evli
Yabancı Dil İngilizce
İletişim Adresi Cumhuriyet Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı
E-posta Adresi bunyamin@cumhuriyet.edu.tr



Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Sivas Merkez İmam Hatip Lisesi, 2000
Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2016
Yüksek Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Memur, 2008
Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisi, 2018