

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 025901 (449-460)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 025901 (449-460)

DOI: 10.35414/akufemubid.498561

Araştırma Makalesi / Research Article

İçten Yanmalı Dizel Bir Motorda Kanola Yağı Metil Esteri/Motorin Yakıtları Kullanılması Sonucunda Motor Yağı ve Piston Segmanlarının Analizi

İlker Temizer^{1*}, Bünyamin ESKİCİ²^{1*} Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Bölümü, Sivas.² Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Bölümü, Sivas.Sorumlu yazar e-posta*: ilktemizer@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1170-3898>bunyamineskici58@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5713-0840>

Geliş Tarihi: 17.12.2018;

Kabul Tarihi: 18.07.2019

Öz

Anahtar kelimeler

Motor Yağlama Yağı;

Elementel Analiz,

Aşınma; Dizel Motor,

Biodizel

Bu çalışma, farklı yakıtlarla çalışmış bir motorda uzun süreli dayanım testlerini içermektedir. Motor yakıtları olarak kanola yağı metil esterinden (KYME) oluşan biodizel yakıtı ile motorin yakıtı kullanılmıştır. Dizel motor her iki yakıt türü ile 150 saatlik çalışmaya tabi tutulmuştur. Böylece, farklı yakıtların ve yanma olayının motor yağlama yağı ve motor parçaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak, uzun süreli dayanım testleri sonucunda alınan yağlama numunelerindeki aşınma elementleri (Al,Cu,Zn,Mo,Cd) X-Işını Floresans (XRF) yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise farklı yakıt kullanımının segmanlar üzerindeki etkilerini gözlemlemek amacıyla Taramalı elektron mikroskobu (TEM) ve Enerji Dağılım X-Ray (EDX) analizleri yapılarak motor parçalarının tribolojik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, KYME10 yakıtla yapılan çalışmaya kıyasla, M100 yakıtı ile çalışan motorun yağlama yağında daha fazla metal elementi tespit edilmiştir. Ayrıca, M100 çalışmasına kıyasla, KYME 10 yakıtlı çalışmada piston segmanlarında daha fazla abrasif aşınma çizgileri tespit edilmiştir.

Analysis of Engine Oil and Piston Rings As a Result of Using Canola Oil Methyl Ester / Diesel Fuel In an Internal Combustion Diesel Engine

Abstract

Keywords

Engine Lubricating Oil;

Elemental Analysis;

Wear; Diesel Engine;

Biodiesel

This study includes long term endurance test in engine operated with different fuels. it was used as engine fuels which diesel fuel and biodiesel fuel created from formed canola oil methyl ester (KYME). The engine was operation run with for 150 h with both fuel types. Thus, the effect of different fuels and combustion events on engine lubricating oil and engine parts was examined. Firstly, the wear elements (Al, Cu, Zn, Mo, Cd) obtained from the lubrication samples taken as a result of long-term endurance test were examined by X-Ray Fluorescence (XRF) method. In order to observe the effects of used different fuel on the piston ring in the final stage of the study, the Scanning Electrodes Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) analyzes were performed and the tribological analysis of the engine components was carried out. In the analysis, more metal elements were detected in the lubricating oil of engine M100 fueled compared to the operation with KYME 10 fuel. Besides, it was found more abrasive wear lines in piston rings in the KYME 10 fueled operation compared to M100 operation.

1. Giriş

Biodizel yakıtları, motor ve yakıt üretim sistemleri (dağıtım, satış vb.) üzerinde birtakım değişiklikler yapılarak mineral dizel yakıtına alternatif olabilecek bir yakıt türüdür (Aldhaidhawi et al.2017). 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 mineral dizel yakıtına iyi bir alternatif yakıt türü olacağı değerlendirilmektedir (An et al. 2013).

Kısa süreli araştırmalara dayanan bu sonuçlar, biodizel yakıtının gelecek vaat ettiği sonucunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır (Staat and Gateau ,1995, Çanakci et al. 2006, Ganapathya et al.2011, Solaimuthu et al.2015, InWong et al. 2013, Ghobadian et al.2009, Chauhan et al. 2012). Bitkisel ve hayvansal ürünlerden elde edilebilen biodizel yakıtları, Avustralya'da yağlı tohumla sahip güzellik yaprağı yağı biokütlesinden elde edilerek içten yanmalı dizel bir motorda kullanılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada, biodizel yakıtı Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) yazılımı olan AVL Fire programında modellenerek motor simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sayısal veriler ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu doğrulanmıştır. Deneysel sonuçlarda %10 oranında biodizel yakıtı içeren karışım yakıtı ile motor emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı vurgulanmıştır (Hassan et al. 2015).

İçten yanmalı motorlarda yağlama yağının yaşlanmasını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlardan biri yanma olayı ve sonrasında gelişen süreçtir. Özellikle silindir içi basınç değişimlerinin segman-silindir bölgesi ve yataklar üzerinde oluşturacağı etki motor aşınmasını ve yağlama yağının performansını doğrudan etkiler. Aldhaidhawi vd. dört silindirli dört zamanlı direkt enjeksiyonlu sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda, performans ve emisyon değerlerini gözlemek için, elde ettikleri % 20 biodizel ve % 0-5 arasında değişen oranlarda hidrojen içeren bir karışım yakıtını kullanmışlardır. Sayısal sonuçlar tam yükte çalışma koşullarında sırasıyla, 1400 dev/dak ve 2400

dev/dak'da biodizel ve dizel yakıtları için enjektör konumu, silindir içi basınç eğrileri deneysel verilerle karşılaştırılmış ve bu yakıtların motorlar için uygun yakıtlar olduğu vurgulanmıştır (Aldhaidhawi et al. 2017).

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 (Sinha and Agarwal 2010, Sem 2004, Hazar and Temizer 2013). Motor aşınmalarının bir göstergesi olarak yağlama yağındaki aşınma sonucunda oluşan metallerinin varlığı gösterilebilir. Bu alanda yapılan bir çalışmada Fe, Cu, Zn, Mg, Cr, Pb ve Co gibi aşınma elementleri farklı yakıt kullanılan iki farklı yağlama yağı örneklerinde incelenmiş ve biodizel yakıtlarında daha az aşınma elemanları tespit edilmiştir (Agarwal 2003).

Bir başka çalışmada, uzun süreli dayanım testleri sonucunda yağlama yağında yapılan AAS (Atomic absorption spectroscopy) sonuçları, biodizel yakıtlı motordan alınan yağlama yağı örneklerinin motorine kıyasla, daha düşük konsantrasyonda aşınma sonucu oluşmuş metallere sahip olduğunu göstermekte olup, biodizel yakıt kullanımının motor bileşenlerinin aşınmasında bir azalmaya yol açtığını ve böylece motor parçalarının adhezif aşınmaya karşı dayanıklılığını artırdığı gözlemlenmiştir (Agarwal et al.2010).

İçten yanmalı motorlarda yaygın bir şekilde kullanılan yağlama yağları hareketli parçalar arasındaki sürtünmeyi 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 (Agarwal et al. 2008, Lin et al.2006).

Motor yağı bozulmalarına neden olan en büyük faktörlerden biri, motorda eksik yanma sonucu oluşan is partikülleridir. Is partiküllerinin motor yağına karışması yağın performansını etkilemektedir. Mineral dizel ve biodizel yakıtlarının kullanıldığı çalışmalarda biodizel yakıtlarının kullanıldığı yanma odalarında daha yüksek karbon kalıntısına rastlanmıştır (Agarwal et al. 2009, Agarwal et al. 2012, Dhar et al. 2014).

Pangomi yağı metil esterini içeren (%20 karışım oranında) biodizel yakıtı ve mineral dizel yakıtı 256 saatlik uzun süreli dayanım testine tabi tutulmuş ve biodizel kullanılan çalışmada daha fazla aşınma miktarına rastlanmıştır (Gopal and Raj 2016). Biodizel yakıtının motor yağlama yağı performansı üzerinde etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada ise, 3 farklı yakıt türü karşılaştırılmıştır. 200 saatlik çalışma sonucunda, motor yağından alınan numunelerin kimyasal ve tribolojik analizleri yapılmıştır. Yapılan incelemede, motorin yakıtına kıyasla biodizel yakıtlarında oksidasyon ve yakıt arttığı daha fazla gözlemlenmiştir. Ayrıca motorin yakıtına kıyasla, biodizel yakıtlarının yağlama yağı viskozitesindeki azalma daha fazla olmuştur (Gulzar et al. 2016). Yapılan bir başka çalışmada ise motor yağının kirlenmesi, motor parçalarının bozulması ve aşınmasının başlıca nedenleri olarak yağın incelenmesi (seyrelmesi) ve oksidasyon olayının etkili olduğu belirtilmiştir. Biodizel ve dizelin kimyasal bileşimindeki farklılıklar nedeniyle, yağlama yağının bozulması ve faydalı ömürleri farklılıklar göstermektedir (Kurre et al 2017). 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 kurum partikülleri motor yağının film kalınlığını bozar. Hem motor yağındaki is (kurum) oranı hem de çalışan parçalar üzerindeki film tabakasının yırtılması, motor aşınmalarının başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir (Song and Choi 2008, Totten et al. 2003, Stodola 2003). Bitkisel kökenli yağların motorda bir başka kullanıma alanı ise yağlama yağına belirli oranlarda karıştırılmasıdır. Yapılan bir çalışmada, motor yağı ile belirli oranlarda karıştırılan atık kızartma yağının aşınma ve sürtünme 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 (Hisham et al. 2017).

Biodizel yakıtlarının yaygın olarak kullanılması ve petrol kökenli yakıtların yerini doldurması bu alanda yapılacak kapsamlı ve uzun süreli dayanıklılık testlerine bağlıdır. Nitekim yapılan literatür araştırmasında, yakıtların yağlama yağı üzerinde uzun süreli dayanım testlerine çok sık rastlanmamaktadır. Dünyadaki kullanımı en yaygın kabul edilen kanola yağı metil esterinin motor tribolojisi ve yağlama yağı üzerindeki etkisi bu çalışmada kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır.

Dizel motorlarında bio-yakıtların kullanılabilirliği için, motor performans ve emisyonlarının yanı sıra motor dayanım ve aşınma testlerinin yapılması ve araştırılması gerekir. Deneylerde kullanılan tek silindirli dizel motora ait olan ve üretici tarafından belirlenen periyodik yağ değişimi süresi için yaklaşık 150 saatlik çalışma süresi belirlenmiştir. Ayrıca literatürden farklı olarak motordaki yanma ve sonrasında gelişen süreçlerin motor yağlama yağı ve aşınması üzerindeki yorumları kapsamlı olarak yapılmıştır. Bu çalışma ile temel olarak literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

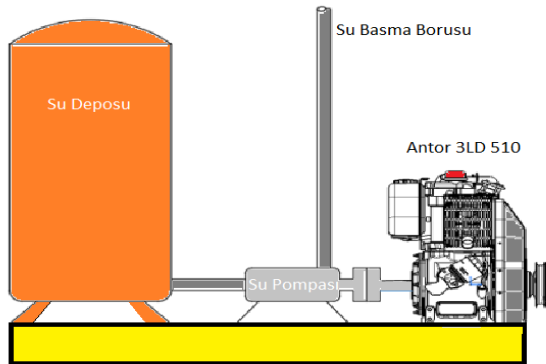
Deneyisel çalışmada kullanılan kanola yağı metal esterini üretimi, Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarında transestrifikasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Katalizör olarak KOH, ester oluşturma işleminde ise metanol kullanılmıştır. Gliserin alındıktan sonra biodizel içerisinde saf su kalma ihtimali olduğundan biodizel bir kaba alınarak 100°C 'nin üzerinde ısıtılarak su buharlaştırma işlemi yapılmış ve biodizel üretimi tamamlanmıştır. Deneylerde kullanılan biodizel yakıtı motorin yakıtına hacimsel olarak %10 oranında ilave edilerek KYME10 yakıtını oluşturmaktadır. Referans dizel yakıtı ise piyasada Eurodizel olarak satışı yapılan motorin (M100) yakıtından oluşmaktadır. Her iki motor yakıtı için motor yaklaşık 150 saatlik bir çalışmaya tabi tutulmuştur. Deneylerde, tek silindirli direkt

enjeksiyonlu Antor-3LD510 marka motor kullanılmıştır. Çizelge 1’de, deney motorunun teknik özellikleri verilmiştir. Şekil 1’de, deney standının şematik gösterimi görülmektedir. Motora bağlanan bir su pompası, su boruları yardımıyla depodaki suyun 30 m yükselmesini sağlamaktadır. Bu sayede, motorun kısmi yük altında sürekli çalıştırılması amaçlanmıştır. Netice itibarıyla boşta 1600 dev/dak altında çalışan motor, yükleme ile sabit 1500 dev/dak’ya kadar düşmüştür. İlk olarak, M100 yakıtı ile 1500 dev/dak ve kısmi yük altında motor günde ortalama 7 saat çalıştırılmıştır. Dizel yakıt ile yapılan ilk 150 saat çalışma sonucunda, motorun yağlama yağı ve segmanları alınarak analizler için hazır hale getirilmiştir. İkinci deneyimiz, KYME10 karışım yakıtı ile gerçekleştirilmiştir ve M100 yakıtlı çalışmada uygulanan proses tekrar edilerek, motor deneyleri 150 saatlik çalışma ile tamamlanmıştır.

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Motor Teknik Özellikleri	
Motor Tipi	4- zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi-cm ³	510
ÇapxStrok mm x mm	85 x 90
Sıkıştırma Oranı	17.5:1
Maksimum Güç (kW)	6.6@3000
Maksimum Tork (Nm)	32.8@1800
Püskürtme Açısı	126°
Nozul Sayısı	4

Deneyisel çalışma sonucunda, yağın spektrometrik ve piston segmanlarının tribolojik ve morfolojik analizleri incelenmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği şematik görünümü.

Deneyisel çalışma sonucunda motor yağlarında bulunan aşınma elementlerinin miktar ve tayini Thermo Fisher Scientific 900 Middlesex Turnpike Billerica, MA 01821 marka X-Işını Floresans (XRF) cihazı yardımıyla elde edilmiştir. XRF, çeşitli materyallerin temel bileşimlerini belirlemek için kullanılan bir malzeme analiz tekniğidir. XRF cihazında her iki yağlama yağı örneklerinde bulunan Alüminyum (Al -ppm), Bakır (Cu-ppm) Çinko (Zn-ppm), Molibden (Mo-ppm), Kadmiyum (Cd-ppm) metal partiküllerin yağlama yağı konsantrasyonundaki varlığı belirlenmiştir. Bu yöntemle 20'den fazla element tayini yapılarak, yağlama yağının çalışma şartları hakkında bilgi sahibi olunur. Çalışma, zaman sınırlamasını ekipmanın (IC Motor) kullanılabilmesi veya önleyici eylemin ne zaman gerekli olabileceğini belirlemek ve belirlemek için kullanılır.

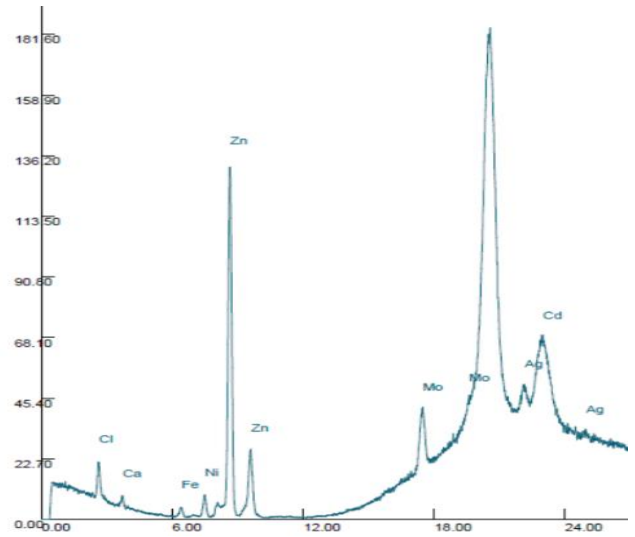
Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise, segmanların morfolojik ve tribolojik analizleri yapılmıştır. Motorda orta devirler olarak kabul edilen 1500 dev/dak ve kısmi yük çalışma şartları belirlenerek deneylere başlanmıştır. Deneylerde ilk olarak M100 yakıtı kullanılmıştır. Bu çalışma sonunda, motor yağlama yağı ve segmanları değiştirilerek KYME 10 yakıtı ile 150 saat yük altında çalıştırılmıştır. Farklı yakıtlar ile 150 saat çalıştırılmış motora ait segmanlar (birinci, ikinci ve üçüncü segman) metanol ile yıkayıp temizlenerek SEM/EDX analizleri için hazır hale getirilmiştir. Farklı çalışma şartlarına maruz kalan segmanların yapısını inceleyebilmek amacıyla birinci, ikinci ve üçüncü segmanların 1000X büyütme SEM ve EDX görüntüleri incelenmiştir. SEM ve EDX analizleri Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (CÜTAM) yapılmıştır. Ayrıca kullanılmış motor yağlarının analizi Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Petrol Araştırma Merkezinde (PAL) yapılmıştır.

3. Bulgular

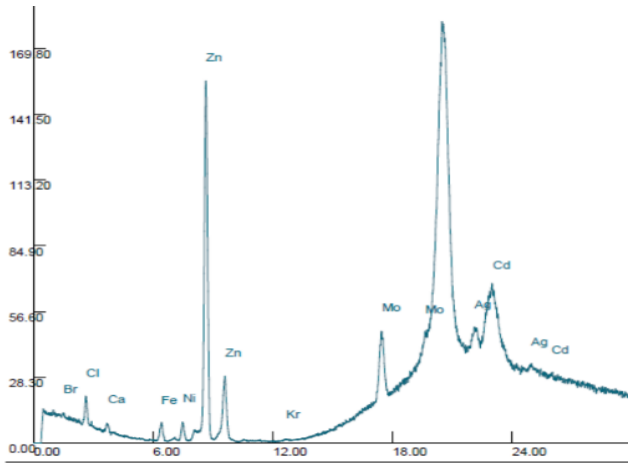
3.1.Yağın spektrometrik analizi

Spektroskopi aşınma davranışlarının izlendiği yaygın kullanılan bir metottür. Bu analiz motor yağındaki aşınma metallerinin türünü ve miktarını tespit etmede kullanılır. Birçok spektroskopi kullanılmakla

birlikte bu çalışmada XRF yöntemi kullanılmıştır. XRF özellikle metal alaşımların, minerallerin ve petrol ürünlerin bileşimlerini analiz etmede kullanılır. Diğer yöntemlere kıyasla çok daha hızlı bir metottur. Ancak elde edilen sonuçlara bakıldığında, özellikle hata payları bazı elementlerde oldukça fazladır. Bu nedenle element tayininde tam kesin değer vermese de bu çalışmada istenilen sonuçları ortaya koymaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3 elde edilen analiz raporlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, M100 yakıtı ile çalışmış motor yağlama yağındaki metal konsantrasyona, KYME10 yakıtı ile çalışmış motor yağlama yağına kıyasla daha fazla rastlanmıştır. Çizelge 2, iki farklı yakıt ile çalışmış motor yağlama yağına ait niceliksel aşınma elementleri değerlerini göstermektedir. Biodizel yakıtları yağlama yağının verimini geliştirdiği söylenebilir. Biodizel yakıtlarının yağlayıcılık özelliği motor parçalarının aşınma dayanımını arttırmıştır. Özellikle motor karterine geçen biodizel yakıtının motor yağlama yağına karışması da bu noktada etkili olabilir. Bilindiği gibi, motor çalışma şartlarında yakıtın bir kısmı silindir-segman bölgesinden yağlama yağına karışarak kartere kadar süzülür. Motorin yakıtına kıyasla, biodizel yakıtının hem daha iyi yağlayıcılık özelliği hem de daha fazla motor yağına karışması bu sonuçların oluşmasında önemli bir etken olarak düşünülmektedir. Yağlama yağlarının XRF sonuçlarına bakıldığında, biodizel yakıtlı çalışmanın daha az miktarda metalik kalıntıya (Al,Cu,Cr,Mn,Fe) neden olduğunu görülmektedir. Her bir element motorda farklı bir hareketli parçadan kopan partiküllerin sonucunda yağlama yağında tespit edilen elementlerdir.



Şekil 2. KYME10 yakıtla yapılan çalışmanın XRF analiz raporu.



Şekil 3. M100 yakıtla yapılan çalışmanın XRF analiz raporu.

Motorun farklı parçalarından aşınma sonucunda oluşan bu elementlerin tayin edilmesi motor aşınmaları hakkında birtakım bilgiler sunmaktadır. Karterde toplanan yağlama yağının Çizelge 2'deki elemental analizi sonuçları incelendiğinde, M100 yakıtının kullanıldığı motorda daha fazla aşınma elementine rastlandığı görülmektedir. Nitekim her iki yakıt türü ile çalışma sonucunda motor karterinde toplanan yağlama yağı miktarları kıyaslandığında, KYME10 yakıtlı çalışma sonucunda karterde daha fazla motor yağı toplanmıştır. Yukarıda belirtilen her iki durumun motor aşınmaları üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Sonuçların hata payları ve cihaz kalibrasyonu düşünüldüğünde, yanlıgıyı en aza indirmek amacıyla her bir numune için en az 3

farklı analiz yapılarak ortalama değerler tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Farklı şartlarda çalışmış motor yağları içerisindeki aşınma elementleri.

XRF ELEMEN T TAYİNİ	Alüminyum (Al -ppm)	Bakır (Cu-ppm)	Çinko (Zn-ppm)	Molibden (Mo-ppm)	Kadmium(Cd-ppm)
KYME10 ile çalışmış motor yağı	696	8	1714	42	20.8
M100 yakıtı ile çalışmış motor yağı	710	18	2038	54	22

Al,Cu,Zn,Mo,Cd motorlarda birden fazla parça içerisinde yer alan aşınma elementlerinden bazılarıdır.

3.2.Segmanların tribolojik ve morfolojik analizleri

Çalışmanın bu bölümünde, motorda kullanılan iki farklı yakıtın motor parçaları üzerindeki tribolojik ve morfolojik etkisi incelenmiştir. Her bir yakıt çalışmasında, orijinal segman takımı ve yeni yağlama yağı kullanmış ve her bir yakıt ile 150 saatlik dayanım testleri uygulanmıştır. SEM/EDX analizlerinde ilk olarak çalışmamış her üç segmanın yüzey malzeme dağılımına bakılmıştır. Motor deneylerinde kullanılan orijinal segmanların EDX analizleri incelendiğinde, birinci segmanın yüzeyinin krom kaplandığı, ikinci ve üçüncü segmanların ise küresel grafitli dökme demirden imal edildiği görülmüştür. Bu durum çalışmış segmanların yüzey yapılarının çalışma ile nasıl değiştiğinin incelenmesi için yapılmış bir adımdır. Şekil 4 çalışmamış birinci segman ait 1000 x büyütme analiz görüntüsünü, Şekil 5 ve Şekil 6 ise sırasıyla KYME10 ve M100 yakıtla çalışmış motorun segman analizlerini göstermektedir. Her iki çalışmada, birinci segmanın malzeme yapısında çok ciddi bir değişimin meydana gelmediği ve segmanın bütün bir yüzeyinde kaplama elementi olarak Cr elementine rastlanmıştır. Bir sonraki adımda SEM görüntüleri incelendiğinde ise, her iki çalışmada abrasif aşınma çizgilerinin sürtünme yönüne paralel geliştiği söylenebilir. Pistonun kayma yönüne paralel gelişen abrasif

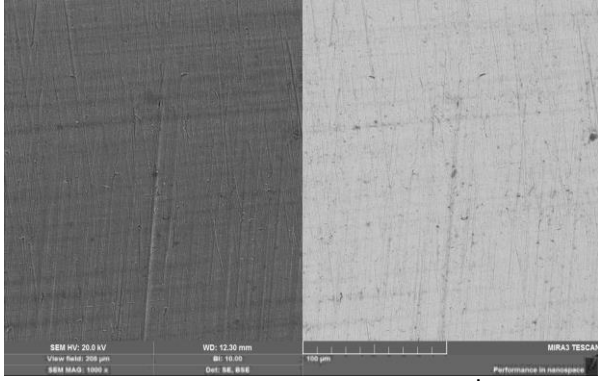
aşınmanın segman yapısında en fazla görülen aşınma türü olduğu bilinmektedir. Ancak her iki çalışmanın aşınma çizgilerinin sıklığı ve derinliği incelendiğinde, bazı farklılıklar dikkat çekmektedir. M100 yakıtlı çalışmaya kıyasla, KYME10 yakıtlı çalışmanın segman yüzeylerinde daha fazla abrasif ve kazıma aşınmasına rastlanmıştır. Yakıt zerrelerinin varlığının kısmi eksik yanma ürünü olan karbon birikintilerine dönüşmesi ve beraberinde yağlayıcının yağlayıcılık yeteneğini zayıflatması olarak düşünülmektedir. Nitekim, SEM/EDX analizleri bu yorumu desteklemektedir. Özellikle ikinci segman yüzey yapısındaki karbon birikintisi bu sonucu doğrulamaktadır. Çizelge 3, 150 saatlik çalışma sonunda iki farklı yakıtın kullanıldığı motora ait yağlama yağının kinematik viskozitesini göstermektedir. M100 yakıtlı çalışmaya kıyasla, özellikle KYME10 yakıtlı çalışmanın yağlama yağının viskozitesinde azalmalarda, silindir-segman bölgesindeki yağlamanın bir miktar kötüleşmesine katkıda bulunduğu söylenebilir.

Çizelge 3. İki farklı yakıtın kullanıldığı motorda yağlama yağlarının kinematik viskozite değerleri.

Yakıt türü	Kinematik viskozite (mm ² /s, 40 °C)
M100	80.05
KYME10	75.06

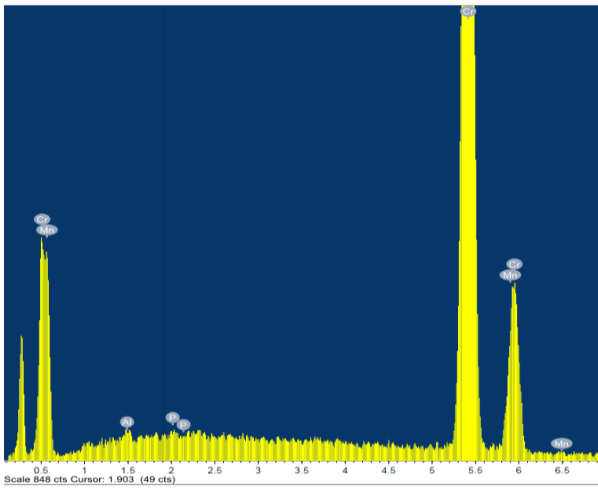
Kinematik viskozite ölçümlerinde oluşan bu farklılık, motor yağlama yağının kalitesi hakkında da birtakım bilgiler sunmaktadır. Bilindiği gibi, motor yağlarının özelliklerini kaybetmesi yağın viskozitesiyle birlikte gelişen bir durumdur. Yağlama yağında elde edilen bu sonuçlar ile SEM/EDX analizleri birbirlerini doğrular niteliktedir. Motor yağlarının viskoziteleri çalışma süreleri boyunca azalır ve bu durum yağın yağlama yeteneğinin kaybolması olarak değerlendirilir. 150 saatlik çalışma sonucunda, M100 yakıtı kullanılan motordan alınan yağlama yağına kıyasla, KYME10 yakıtlı motorun yağlama yağının viskozitesinin daha düşük çıkması segman silindir cidarı arasındaki yağ filminin daha fazla zayıf olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum segmanların daha fazla aşınmalarının bir başka nedeni olabilir. Bir diğer etken ise yanma olayı ve sonrasında gelişen süreçtir. Nitekim SEM

analizlerinde oluşan aşınma çizgileri bu durumun bir göstergesidir.



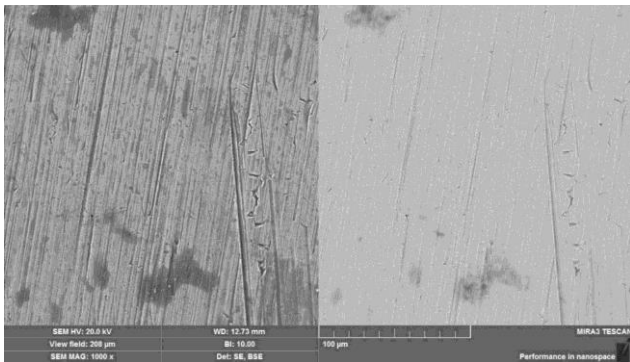
a.

b.



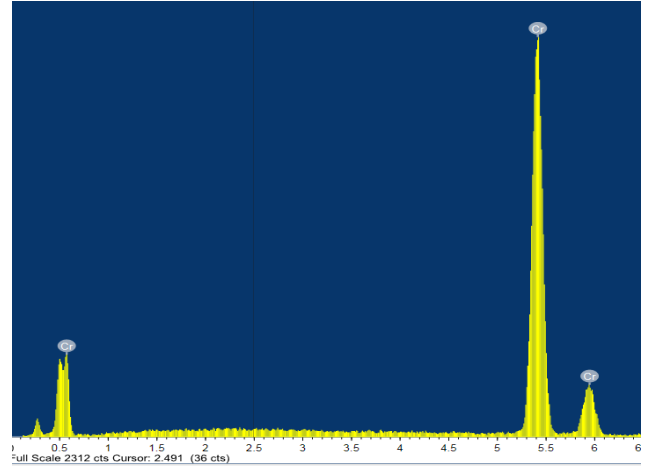
c.

Şekil 4. Çalışmamış birinci segment 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).



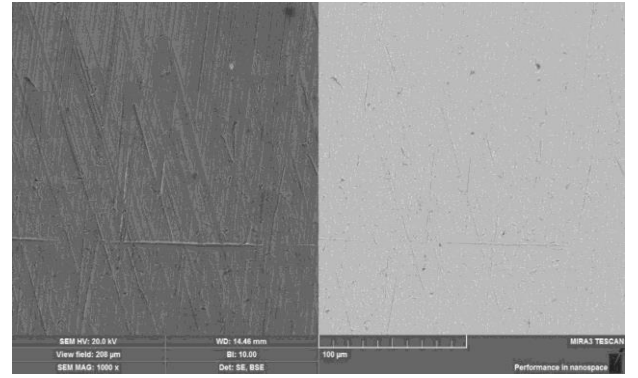
a.

b.



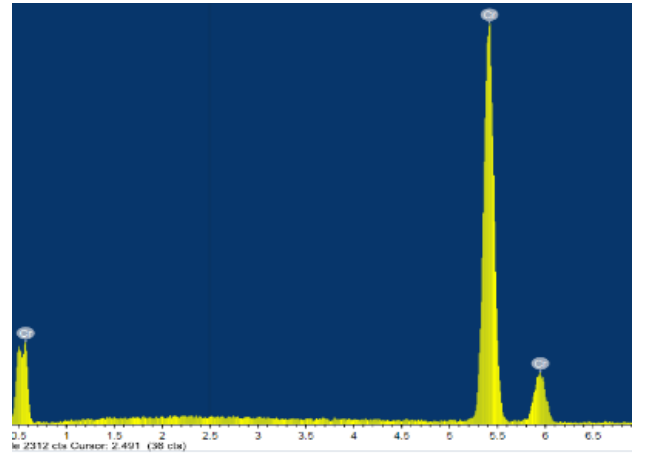
c.

Şekil 5. KYME 10 yakıtlı çalışmanın birinci segment 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).



a.

b.

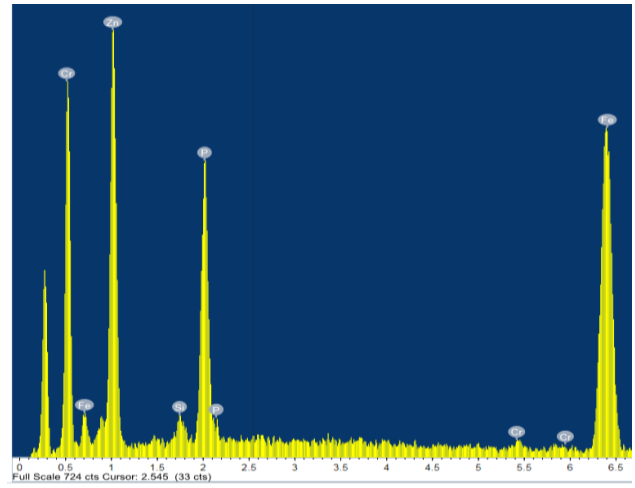
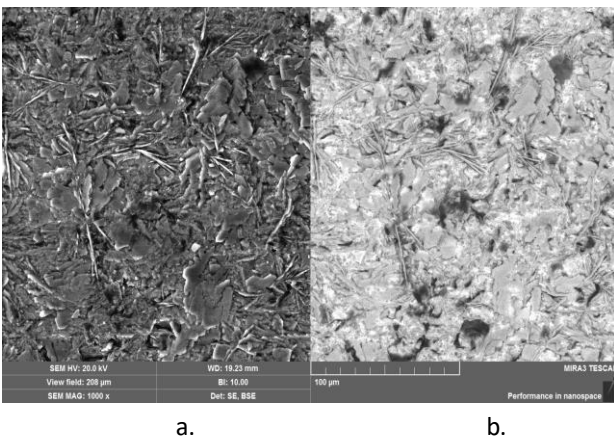


c.

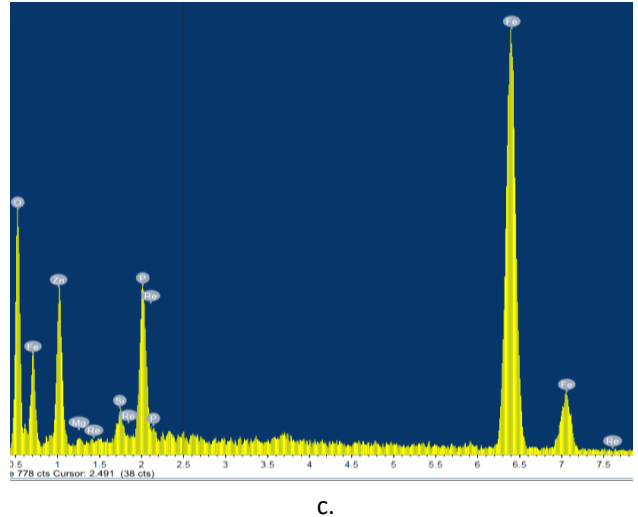
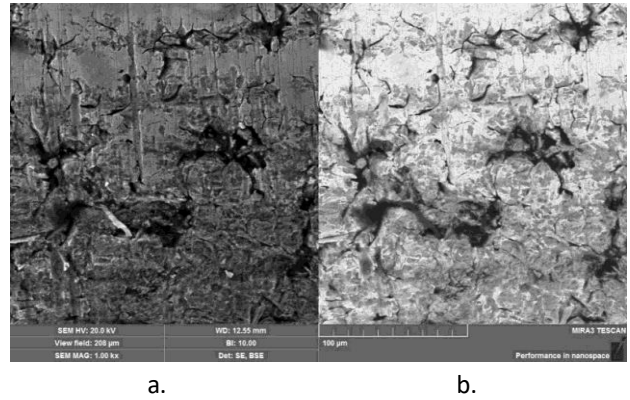
Şekil 6. M100 yakıtlı çalışmanın birinci segment 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).

Çalışmamış ikinci segmente ait 1000 x büyütme SEM ve EDX görüntüsü ve element dağılımı Şekil 7'de, KYME10 yakıtlı çalışmanın ikinci segmentinin 1000x büyütme SEM ve EDX görüntüsü ve element dağılımı Şekil 8'de, M100 yakıtlı çalışmanın ikinci segmentinin

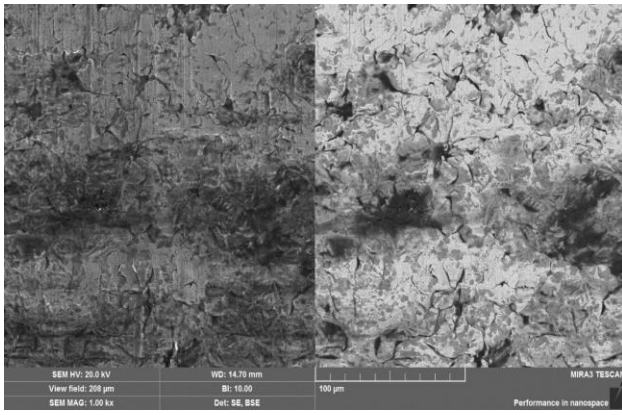
1000x büyütme SEM/EDX görüntüsü ve element dağılımı ise Şekil 9'da görülmektedir. Orijinal ikinci segmanın tüm yüzeyindeki element dağılımlarına bakıldığında yaklaşık olarak %51 Fe, %28 Zn, %18.1 P, %1.1 Si ve %0.8 oranında ise Cr elementinden oluşmaktadır. Ancak motor silindir cidarı ve yanma olayı, her iki yakıt çalışmasında da ikinci segmanın tüm yüzeyinin morfolojik yapısını oldukça değiştirmiştir. KYME 10 yakıtlı çalışma için segman orta bölgelerinde, silindir ve segman arasında yakıt ve yağlama yağının varlığı sonucu olduğu düşünülen yanmamış C atomlarına rastlanmıştır. Bu bölgede C elementinin yüzdesi 34 olarak görülmüş ve C atomu ile O atomlarına da bu bölgede %23 oranında rastlanmıştır. Fe atomlarının ağırlıklı ortalaması ise %31.34'dür. Tıpkı KYME10 yakıtlı çalışmada olduğu gibi, motorin yakıtı kullanılan motorda ikinci segmanın da yüzeyinde ki heterojen bir yüzey dağılımı dikkat çekmektedir. Ancak KYME10 yakıtlı çalışmaya kıyasla, segman yüzeyindeki karbon oluşumu daha az olmuştur. KYME10 çalışmasına kıyasla, bu yakıt çalışmasında geçiş bölgesi daha kısa olmuştur. Burada, 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 O atomlarına da bu bölgede %18 oranında rastlanmıştır. Fe atomlarının ağırlıklı ortalaması ise %60.3'dür.



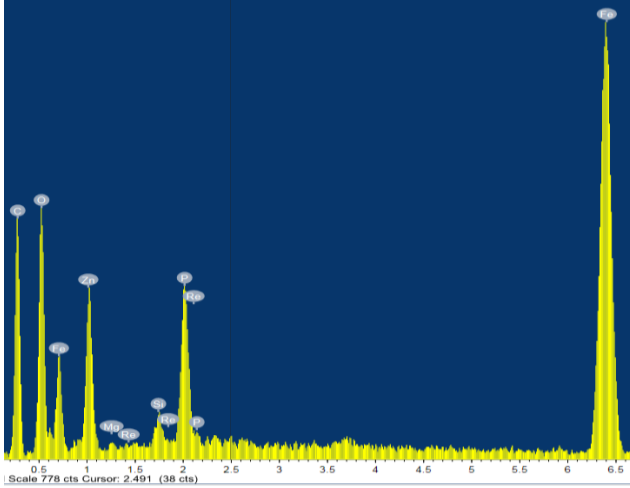
Şekil 7. Çalışmamış ikinci segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).



Şekil 8. KYME10 yakıtlı çalışmanın ikinci segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).



a. b.



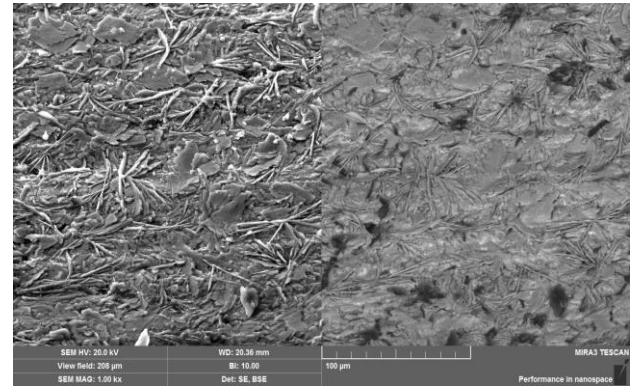
c.

Şekil 9. M100 yakıtlı çalışmanın ikinci segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).

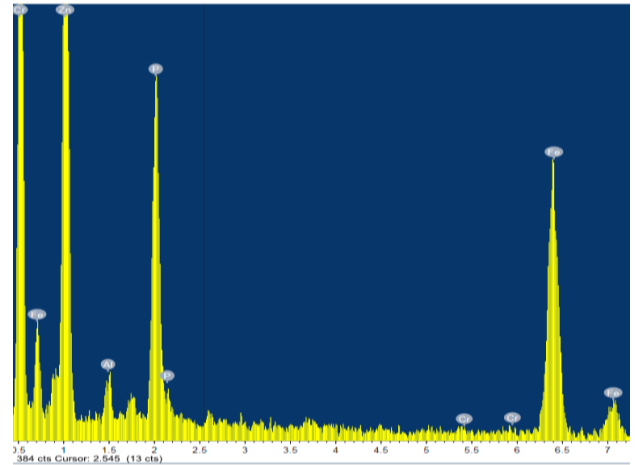
Çalışmamış üçüncü segmana ait 1000 x büyütme SEM ve EDX görüntüsü ve element dağılımı Şekil 10'de, KYME10 yakıtlı çalışmanın ikinci segmanının 1000x büyütme SEM ve EDX görüntüsü ve element dağılımı Şekil 11'de, M100 yakıtlı çalışmanın ikinci segmanının 1000x büyütme SEM/EDX görüntüsü ve element dağılımı ise Şekil 12'de görülmektedir. Her iki yakıt çalışması için SEM/EDX görüntüsü incelendiğinde, ikinci segmana kıyasla daha az C birikintilerine rastlandığı açık bir şekilde görülmektedir. 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. KYME 10 yakıtlı çalışmanın üçüncü segmanının tüm yüzeyinde %96.12 Fe geri kalan kısımda ağırlıklı Si tespit edilmiştir. M100 yakıtlı çalışmanın üçüncü

segmanının tüm yüzeyinde ise %96.93 Fe ve geriye kalan kısımda Si tespit edilmiştir.

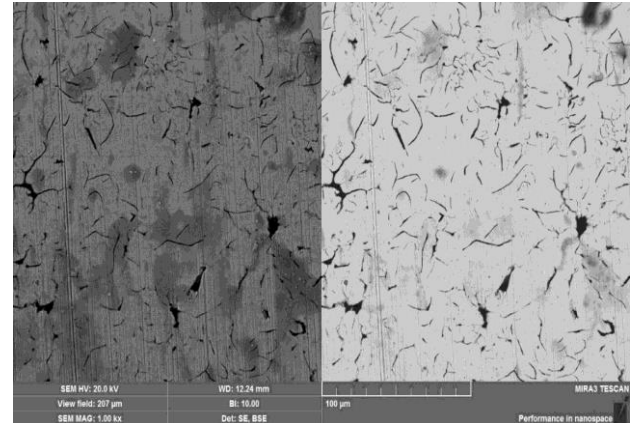
Tıpkı birinci segmanda olduğu gibi pistonun yaslanma yönüne paralel gelişen aşınma çizgileri ikinci segmanlarda da dikkat çekmektedir. Özellikle biodizel yakıtlarının yüksek buharlaşma sıcaklıkları nedeniyle yağlama yağına karışarak viskozitelerini düşürmesinin bir etkisi olarak KYME 10 yakıtlı çalışmada daha fazla abrasif aşınma çizgilerine rastlanılmıştır.



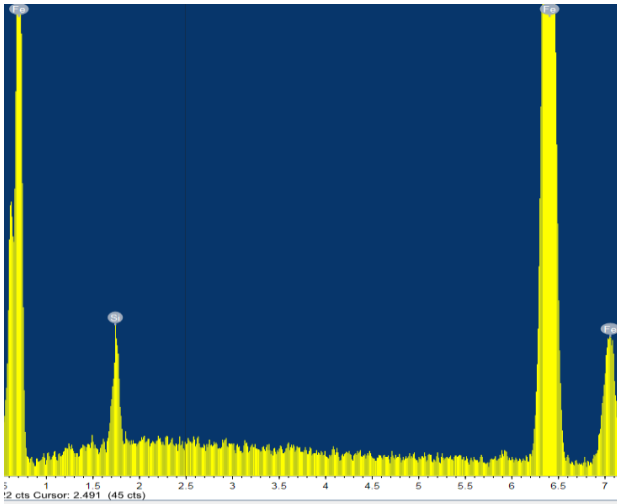
a. b.



Şekil 10. Çalışmamış üçüncü segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).

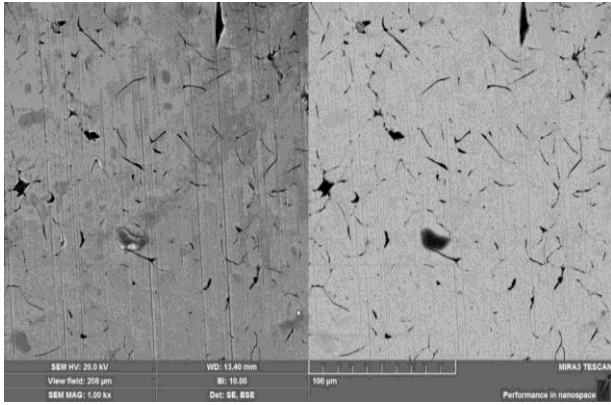


a. b.



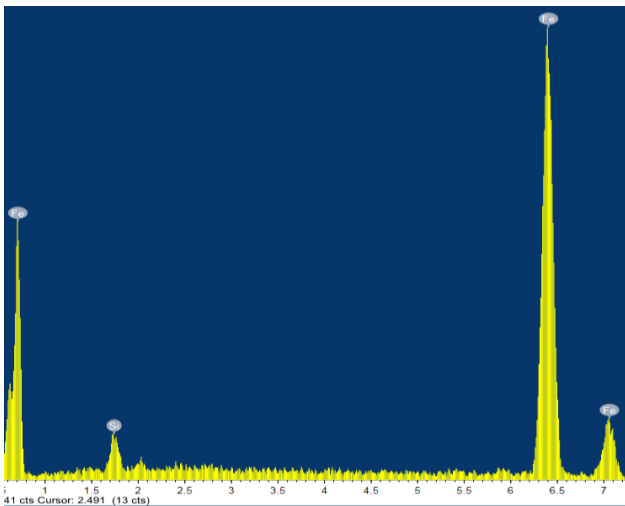
c.

Şekil 11. KYME10 yakıtlı çalışmanın üçüncü segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).



a.

b.



c.

Şekil 12. M100 yakıtlı çalışmanın üçüncü segman 1000 x büyütme SEM/EDX (sırasıyla a ve b) görüntüsü ve element dağılımı (c).

Motorin yakıtının kullanıldığı deneysel çalışmalara kıyasla, KYME10 yakıtı ile özellikle ikinci segmanlar üzerinde karbon birikimi daha fazla görülmüştür. Segmanların yüzey yapısı uzun süreli dayanıklılık testlerinden sonra her iki yakıt türü için kabul edilebilir durumda olduğunu söyleyebiliriz. Motorin kullanılan çalışma ile kıyaslandığında, her ne kadar biodizel kullanımı ile segman yüzeylerinde daha fazla karbon birikintileri ve abrasif aşınma çizgileri daha sık görülsede, uzun süreli dayanıklılık testlerinde herhangi bir anormal sorun yaşanmamıştır. Çizikle 4’de görüldüğü gibi çalışma öncesi ve sonrasında ölçülen segman ağırlıklarında ciddi bir azalma bulunmamaktadır. Ancak çalışmamış segman ile kıyaslandığında en fazla aşınmanın birinci segmanda olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Üç farklı piston segmanlarında çalışma sonunda ölçülen ağırlık değişimleri.

	1.Segman Ağırlığı (gr)	2.Segman Ağırlığı (gr)	3.Segman Ağırlığı (gr)
Çalışma öncesinde	12.9871	12.2021	15.5012
M100 yakıtlı çalışma sonucunda	12.8295	12.0787	15.4095
KYME10 yakıtlı çalışma sonucunda	12.7401	12.08	15.37

Ayrı ayrı 150 saat iki farklı yakıtın kullanıldığı motorda piston segmanlarının SEM/EDX analizlerine bakıldığında, biodizel yakıtlı çalışmada bir miktar daha fazla aşınma çizgilerinin olduğu görülmektedir. Bu durumu segmanların ölçülen ağırlıklarının farklı olmasını da doğrulamaktadır. Çizelge 4, her iki çalışma sonucunda piston segmanlarında ölçülen ağırlık dağılımı göstermektedir. KYME10 yakıtla çalışmış motorun segman ağırlıkları M100 yakıtlı motor segmanlarına kıyaslandığında, ikinci segman haricinde bir miktar daha fazla aşındığını söyleyebiliriz. Özellikle ikinci segman üzerindeki tortu birikintilerin segmanın ağır gelmesinde etkili olduğu söylenebilir ki bu durum SEM ve EDX analizleri ile örtüşmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, motorlarda alternatif yakıt türü olarak kullanılan bir biodizel yakıtının motor yağlama yağı

ve segman aşınmaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sabit ve kısmi yük altında,1500 dev/dak işletim şartlarında çalıştırılan motordan alınan yağ ve segman analizlerinde elde edilen sonuçlar;

1. XRF element belirleme yöntemine göre, KYME10 yakıtla yapılan çalışmaya kıyasla, M100 yakıtı ile çalışan motor yağlama yağında daha fazla metal elementine rastlanmıştır.

2. 150 saatlik çalışma sonucunda her iki yakıt çalışmasında segman yüzeylerinde abrasif aşınma çizgilerinin geliştiği söylenebilir.

3. Motorda KYME10 yakıtının kullanımı ile M100 yakıtına kıyasla motor yağının viskozitesi yaklaşık 6.25 oranında daha düşük çıkmıştır.

4. Aşınma sonucu metal element miktarı değerlerine bakıldığında, biodizel yakıtının motordaki temas eden parçalar üzerinde yağlayıcılık özelliğinin petrol kökenli yakıtlara kıyasla daha etkin olduğu ancak bu durumun motordaki gelişen yanma olayı ile yanma bölgesinde farklı geliştiği görülmüştür.

5. SEM/EDX analizlerinde püskürtme ve yanma dinamiği farklı olan yakıtların yanmasıyla oluşan yanmamış karbon partiküllerinin yağ filmini önemli ölçüde etkilediği ve bunun bir sonucu olarak da KYME10 yakıtla çalışmış ikinci segman yüzeylerinde daha fazla aşınmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda yağlama yağının ölçülen viskozite değerlerini de desteklemektedir.

6. Element analizleri incelendiğinde, KYME10 yakıtlı çalışmada, M100 yakıtlı çalışmaya kıyasla daha az aşınma elementine rastlandığı görülmektedir. Bu durum genel olarak biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla yağlayıcılık özelliklerinin daha iyi olduğunun da bir göstergesidir. Ancak yanma bölgesinde elde edilen bulgulara göre KYME10 yakıtlı çalışma ile bu bölgede (segmanlarda) daha fazla aşınma çizgilerine rastlanmıştır. Bu durum motorun çalışma parametreleri ile ilgili olabilir. Farklı motor devir sayıları ve yüklerinin motor tribolojisi ve yağlama yağı üzerindeki etkisi ileriki çalışma konuları içerisinde olabilir.

7. Uzun süreli dayanım testlerine göre biodizel yakıtlarının motorlarda kullanımı ciddi motor aşınmalarına neden olmadığı görülmektedir.

Motorlarda uzun süreli dayanım testlerinin tam yük ve farklı devir aralıklarında ve ayrıca, belirli zaman dilimlerinde alınan numuneler ile incelenmesi gelecekteki çalışmaların konusunu olmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmayı, TEKNO.020 No'lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen CÜBAP'a ve çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Agarwal, A.K., Bijwe, J., Das, L.M., 2003. Wear assessment in a biodiesel fueled compression ignition engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, **125**,(3).

Agarwal, A.K., Srivastava, D.K., Dwivedi, D., Kawatra, G., Kumer, M.R., Bhardwaj, OP, et al., 2008. 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.

Agarwal, A.K., Dhar A.,2009. 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.

Agarwal, A.K., Dhar, A. Wear ., 2012. 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.

Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., Bădescu, V., Descombes, G., Podevin, P., 2017. Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen additio, *International Journal Hydrogen Energy*, c. **42**, 26, 16793-16807.

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.

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.
- Canakci,M., Erdil,M., Arcaklioğlu, E., 2006. Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine, *Applied Energy*, **83**, Issue 6, Pages 594-605
- Dhar,A., Agarwal, AK., 2014.Effect of Karanja biodiesel blend on engine wear in a diesel engine, *Fuel*, **134**, 81–89.
- 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.
- 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.
- Gopal, K.N., Thundil, R., Raj, K., 2016. Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine, *Fuel*,**165**, 105–114.
- Gulzar, M., Masjuki, H.H., Varman, M., Kalam. M.A., Zulkifli, N.W.M., Mufti, R.A., Liaquat, A.M., Zahid, R., Arslan, A., 2016. Effects of biodiesel blends on lubricating oil degradation and piston assembly energy losses, *Energy*, **111**,713-721.
- Hassan, N. M. S., Rasul, M. G., and Harch, C. A., 2015.Modelling and experimental investigation of engine performance and emissions fuelled with biodiesel produced from Australian Beauty Leaf Tre, *Fuel*, c. **150**, 625–635.
- Hazar, H., Temizer, İ., 2013. Analysis of methanol and organometallic MnO₂ fuels as alternative fuels in a diesel engine, *International Journal of Sustainable Engineering Taylor & Francis*,**7**,34-40.
- 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
- 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.
- Kurre, S. K., Garg, R., Pandey, S., 2017. A review of biofuel generated contamination, engine oil degradation and engine wear. *Biofuels*, **8(2)**, 273-280.
- 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.
- Sem, T.R.,2004. Effect of various lubricating oils on piston deposits in biodiesel fueled engines. *SAE Paper*. 2004-01-0098.
- 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.
- Stodola, J., 2003. Model of filling up, renewal and degradation of lubricating medium in the combustion engines, *Petrol Coal*,**45(3–4)**, 89–92.
- 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.
- 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
- 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.
- Totten, G.E., Westbrook, S.R., Shah, R.J.,2003. Fuels and lubricants handbook- technology, properties, performance, and testing. *West Conshohocken (PA): ASTM International*.