



BİODİZEL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUNDA PİSTON VE SUBAPLARDA SERAMİK
KAPLAMA UYGULAMALARININ MOTORA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan BAYAŞOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat – 2018

BİODİZEL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUNDA PİSTON VE SUBAPLARDA SERAMİK
KAPLAMA UYGULAMALARININ MOTORA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan BAYAŞOĞLU

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN

Şubat - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Serkan BAYAŞOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Biodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorunda Piston ve Subaplarda Seramik Kaplama Uygulamalarının Motora Etkilerinin Araştırılması başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

27/02/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Bölüm Başkanı, Makina Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç Dr. Levent URTEKİN
Danışman, Makina Mühendisliği Bölümü, Ahi Evran Üniversitesi

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar SALMAN
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN
Makina Mühendisliği Bölümü, Ahi Evran Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %6 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN

Serkan BAYAŞOĞLU

BİODİZEL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUNDA PİSTON VE SUBAPLARDA SERAMİK KAPLAMA UYGULAMALARININ MOTORA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan BAYAŞOĞLU

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2017

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN

ÖZET

Bu çalışmada içten yanmalı dizel motorda yanma odası çevresinde oluşan yüksek sıcaklıkların farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış olan piston üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmadan yakıt olarak biyodizel tercih edilmiştir. Piston başları ve supaplar plazma sprej kaplama yöntemi ile zirkonyum, nikel - krom ve nikel - alüminyum ara bağlayıcı malzeme ile alüminyum oksit kaplanmıştır. Her numune için motor yağı yenilenmiş olup kullanılmış yağ numuneleri içerisinde aşınan partüküllerin tespiti amacıyla elementel olarak analiz edilmiştir. Termal kamera ile motorlar gözlenmiş, ısı farklılıkları fiziksel olarak karşılaştırılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış pistonların kullanım sonrası durumları SEM ve EDX analizleri ile değerlendirilmiştir. Piston özelinde gerçekleştirilen bu çalışmada ile yanma odası bileşenlerinin aşınma durumları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyumoksit Kaplama, Zirkonyum Kaplama, , Biyodizel, İçten Yanmalı Motor

**INVESTIGATION OF THE ENGINE EFFECT OF CERAMIC COATING
APPLICATIONS ON PISTONS AND VALVES FOR A BIODIESEL FUELED
DIESEL ENGINE**

Serkan BAYAŞOĞLU

Mechanical Engineering, Master Thesis, 2017

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Levent URTEKİN

SUMMARY

In this study, the effects of piston on the internal combustion diesel engine with different coating materials were investigated. Biodiesel has been preferred as a fuel from the work done. The piston surface and valves were coated with zirconium, nickel - chromium and nickel - aluminum interfacial material with aluminum oxide by plasma spray coating method. For each experiment, the engine oil was renewed to detect the wear elements. Wear elements in oil have been analyzed. The engine was observed with the help of a thermal camera, and the temperature differences were physically compared. The sample of the coated and uncoated piston were evaluated by SEM and EDX analyzes. In each experiment, engine block temperature were monitored. In this piston specific study, the wear conditions of the combustion chamber components were investigated.

Key Words: Aluminium oxide coating, Zirconium coating, Biodiesel Fuel, Internal Combustion Engine.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada katkılarından dolayı ve hiçbir şekilde desteğini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN'e

Bölümün tüm imkanlarını kullanmamı sağlayan Prof. Dr. Ramazan KÖSE ve Doç. Dr. Özer AYDIN'a çalışmamda teknik destek sağlayan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Mustafa ULUTAN ve Yrd. Doç. Dr. Sezcan YILMAZ'a ve her türlü destek ve yardımları için Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Motor Laboratuvarı sorumlusu Mak. Tek. Öğretmeni İsmail BAŞ'a, mesai arkadaşım Can KÜZECİ'ye ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
3. BİYODİZEL	8
3.1. Biyodizelin Avantajları	10
3.2. Biyodizelin Dezavantajları	11
3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	11
3.4. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliği	11
4. SERAMİK KAPLAMA VE KAPLAMA YÖNTEMLERİ	13
4.1. Termal Bariyer Oluşturmada Kullanılan Kaplama Yöntemleri.....	15
4.2. Plazma Sprey Sistemi	16
4.3. Plazma Sprey Yönteminde Etkili Olan Parametreler ve İşlem Prosedürü.....	17
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	19
5.1. Kaplama Yöntemi ve Kaplama Malzemeleri	20
5.2. Yağ Analizleri	23
5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analizleri.....	25
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	27
6.1. ZrO ₂ Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi	28
6.2. Ni-Cr Ara Bağlayıcı Al ₂ O ₃ Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi	31
6.3. Ni-Al Ara Bağlayıcı Al ₂ O ₃ Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi	33
6.4. Kaplamasız Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi.....	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.5. Termal Kamera İle Yapılan Ölçümler	39
6.6. ICP Cihazı ile Yapılan Motor Yağı Analiz Sonuçları	50
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	51
KAYNAKLAR DİZİNİ	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Plazma sprej yöntemi ekipmanları	16
4.2. Plazma sprej kaplama prosesi	17
4.3. Plazma sprej yönteminde etkili olan temel parametreler	18
5.1. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motor	20
5.2. Piston tablası Al_2O_3 kaplanmış piston.....	21
5.3. Al_2O_3 kaplanmış supaplar.	21
5.4. Deneylerde kullanılan takometre.	22
5.5. Termal kamera.	22
5.6. Yüzey sıcaklık ölçüm cihazı.	23
5.7. ICP analiz cihazı.	24
5.8. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Edx dedektörü.....	26
6.1. Kaplama malzemesi olarak kullanılan seramik ve ara bağlayıcı tozlarının SEM görüntüleri.	27
6.2. Ni-Al ve Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston görüntüsü.....	28
6.3. ZrO_2 kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri.....	29
6.4. ZrO_2 kaplamalı piston kesitinin EDX analizi.....	30
6.5. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri	31
6.6. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin EDX analizleri.	32
6.7. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri.	34
6.8. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin EDX görüntüleri.	35
6.9. Kaplamasız piston kesitinin SEM görüntüleri.	36
6.10. Kaplamasız piston kesitinin EDX analizi.....	38
6.11. Termal kamera ile sıcaklık ölçümleri (a) Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 seramik kaplamalı piston (b) Ni-Cr ara bağlayıcı Al_2O_3 seramik kaplamalı piston (c) ZrO_2 seramik kaplamalı piston (d) kaplamasız piston.....	40
6.12. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklığının değişimi.....	41
6.13. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklığının değişimi.....	41
6.14. ZrO_2 kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklığının değişimi.	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.15. Kaplamasız piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklığının değişimi.	42
6.16. Ni-Al ara bağlayıcı Al ₂ O ₃ kaplamalı supapların biyodizel yakıt çalışmış görüntüsü.	43
6.17. Ni-Cr ara bağlayıcı Al ₂ O ₃ kaplamalı supapların biyodizel yakıt ile çalışmış görüntüsü.	44
6.18. Enjektörün biyodizel yakıt ile çalışma sonrası görüntüsü.	44
6.19. Yüzey sıcaklık ölçüm cihazı ile sıcaklık ölçümü.	45
6.20. Ni-Al ara bağlayıcı Al ₂ O ₃ kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.	46
6.21. Ni-Cr ara bağlayıcı Al ₂ O ₃ kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.	47
6.22. ZrO ₂ kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.	48
6.23. Kaplamasız pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut standartlar.....	10
4.1. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri.....	13
5.1. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motor teknik özellikler.	19
5.2. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motorun bazı parçalarının malzeme bileşimleri. ...	20
5.3. Deneyde kullanılan pistonlar.....	21
6.1. Ni-Al ara bağalyıcılı Al_2O_3 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü ($^{\circ}C$)	45
6.2. Ni-Cr ara bağalyıcılı Al_2O_3 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü ($^{\circ}C$)	46
6.3. ZrO_2 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü ($^{\circ}C$)	47
6.4. Kaplamasız Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü ($^{\circ}C$).....	48
6.5. ICP cihazı ile yapılan yağ analizi sonuçları	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum oksit
ZrO_2	Zirkonyum dioksit
Ni	Nikel
Cr	Krom
Al	Alüminyum
TiO_2	Titanyum dioksit
CO	Karbonmonoksit
HC	Hidrokarbon
NO_x	Azot oksit
MgO	Magnezyum oksit
Y_2O_3	İtrium oksit
Cu	Bakır
ThO_2	Thorium dioxide

Kısaltmalar

ICP	Endüktif eşleşmiş plazma
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
EDX	Enerji dağılımlı X ışınları analizi

1. GİRİŞ

Bu çalışmada içten yanmalı dizel motorda yanma odası çevresinde oluşan yüksek sıcaklıkların farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış olan piston üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bir dizel motorun performansını arttırabilmek adına yakıt enejisini maksimum seviyede faydalı enerjiye dönüştürmek için yanma odası elemanlarının değişik kaplama malzemeleri ile kaplanması gerekir. Bu malzemeler termal gerilmelere daha fazla dayanım gösteren, yanma odasındaki sıcaklığının daha yüksek seviyelere çıkararak düşük ısıl kapasiteli yakıtlardan bile optimum verim alınabilen motorlar haline gelebilir.

Hazar ve Öztürk (2009) gerçekleştirdiği çalışmada malzeme ömürlerinin mekanik ve ekonomik olarak arttırılabilmesinin en etkili yollarından birisinin ana malzemenin seramik kompozitle kaplanması suretiyle, ana malzeme üzerinde termal ve aşınma engelleyici bir katman oluşturulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Bu nedenle bu çalışmada ısıl yalıtım özelliği yüksek ve termal gerilmelere dayanabilen seramik malzemeler ile (ZrO_2 ve Al_2O_3) deneyler yapılmıştır.

Günümüzde yüksek verimli motorlarda sıkıştırma oranının artması neticesinde yanma odasında sıcaklık değerleri geleneksel motorlara göre oldukça yükselmektedir. Yanma odası elemanlarından piston bu artan sıcaklıklardan en çok etkilenen bileşendir. Bunun nedeni alevle doğrudan temasın yanında basınç kuvveti ve yanma gazları özellikle pistonun kafa bölgesini etkileyerek termal gerilmelere maruz bırakmakta ve bunun neticesinde çatlaklara neden olmaktadır (Canvar, 2011). Piston özelinde gerçekleştirilen bu çalışma ile yanma odası bileşenlerinin aşınma durumları incelenmiştir.

Koç Ö., (2010) gerçekleştirdiği çalışmada dizel ve biyodizel yakıtlarını kullanılan yağlama yağının elementel analizi ile motor aşınmalarına yakıtın etkisi araştırılmış ve çalışma sonucundaki biyodizel yakıtlı motorda aşınma elementlerinden bazılarının dizel motordaki yağ analizlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmadan yakıt olarak biyodizel tercih edilmiştir. Her numune için motor yağı yenilenmiş olup kullanılmış yağ numuneleri içerisinde aşınan partiküllerin tespiti amacıyla elementel olarak analiz edilmiştir.

Motorlarda kayıp enerji en fazla ısı enerjisi ile çevreye atılmaktadır. Yapılan bu çalışmada termal kamera ile motorlar gözlenmiş, sıcaklık farklılıkları fiziksel olarak karşılaştırılmıştır. Yanma odasında meydana gelen ısı enerjisi öncelikle sübapların bulunduğu gövde bölgesi ve pistonun üst yüzeyini etkilemekte ardından enerji segman yuvalarını etkilemekte ve yuvalarda bulunan segmanlar ve segmanlarla temas halinde olan gövde ısıdan

etkilenmektedir. Ayrıca pistonu pim yuvalarından pimplere oradanda diğer yapısal elemanlara enerji geçişi meydana gelmektedir (Canvar, 2011). Kaplamalı pistonların kullanıldığı yanma odalarında termal bariyer oluşturan kaplamalar yanmanın daha iyi bir şekilde oluşmasını ve kayıp enerjinin daha fazla faydalı işe dönüşebileceğini göstermektedir.

Kaplanmış ve kaplanmamış pistonların kullanım sonrası durumları SEM ve EDX analizleri ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yanma odasındaki hareketli parçalardan olan piston ve supapların seramik malzeme ile kaplanarak motor performansı ve tribolojik etkileri incelenmiştir. Çevre için duyarlı ve yenilenebilir yakıt olan biyodizel kullanılarak yapılan bu çalışmada Çakır, (2007)'ın da değindiği gibi yanma odasındaki malzemelerin ısı iletkenlikleri düşük malzemeden imal edilmeleri veya kaplanmaları sayesinde, yanma odasından soğutucu akışkana geçen ısı transferi azalacağından soğutma sistemlerinin hacimleri azaltılabilir. Bu sayede motor hacimleri küçültülebilirken verimlerinin de artabilirliği amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde biyodizel yakıtlarla ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Dördüncü bölümde gerçekleştirilen kaplamalarla ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiş olup. Altıncı bölümde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları irdelenmiştir.

2. LİTERATÜR

Koç Ö., (2010) gerçekleştirdiği çalışmada dizel ve biyodizel yakıtlarını kullanılan yağlama yağının elementel analizi ile motor aşınmalarına yakıtın etkisi araştırılmıştır. Çalışmada gömlek ve segmanlarda çoğunlukla bulunan Cr değerlerinin Dizel Motorda yüksek olması Biyodizel motorun yağlayıcılık özelliğinden gömlek aşınmalarını azalttığı görülmüştür. Enjektör deliklerindeki kurum nedeniyle daralma meydana gelmesi yanma olayını direkt olarak etkileyecektir. Sonuç olarak yapılan çalışmalar göstermiştir ki biyodizelin motorlarda kullanımı geleneksel dizel yakıtına göre hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Gürbüz ve Gökkaya, (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada dizel motor yanma odası bileşenlerinin seramikle kaplanması neticesinde egzoz gaz sıcaklığı ve emisyonuna ayrıca yakıt sarfiyatına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda kaplama ile birlikte egzoz gazlarının zararlı emisyonlarında (HC ve CO) azalma ile birlikte sıcaklıkta artma gözlemlenmiştir. Ayrıca yakıt sarfiyatında %11 gibi görece önemli bir azalma meydana gelmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda farklı oranlarda karıştırılan seramiklerden elde edilen kaplama malzemelerinden $Al_2O_3-TiO_2$ (% 87-13) kaplamasının diğerlerinden daha performanslı olduğu raporlanmıştır.

Hazar ve Öztürk, (2009) gerçekleştirdikleri çalışmada piston ve supapların seramiklerle kaplanması durumunda mikroyapı incelemesi ile mekanik özelliklerindeki değişimlerin tespiti amaçlanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde seramik kaplama malzemesi piston üst yüzeyine ve supaplara plazma sprej yöntemi ile uygulanmıştır. Ana malzemeler ve kaplanmış malzemeler ayrı ayrı elektron ve optik mikroskoplarda incelenmiştir. Bu deneyde ara bağlayıcı olarak 100 μm kalınlığında NiAl ve kaplama olarak 200 μm kalınlığında $Al_2O_3-TiO_2$ (% 87-13) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde motorlar aynı yük şartlarında yaklaşık olarak 180 saat çalıştırılmıştır. Bu deneysel çalışmalar neticesinde plazma spreyle gerçekleştirilen kaplamanın yüzey kalitesini büyük oranda koruduğu ve yanma odası elemanlarının temas noktalarında kaplama yapılmamasından, dolayı mekanik hareketleri engelleyen bir durum olmadığı görülmüştür. Kaplamanın özellikle yüksek oranda ısıya maruz kalan bölgelerde gerçekleştirilmesi ve termal bariyer özelliği sayesinde yanma odası elemanlarının mekanik ömürlerini arttırdığı görülmektedir.

Büyükkaya, (1994) tarafından gerçekleştirilen çalışmada iki silindirli dizel bir motorun piston, supap ve silindir kapağının $MgO+ZrO_2$ ile kaplanarak termal bariyer oluşturulması amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda düşük ısı kaybı sağlamak amacıyla soğutma sistemi tarafından dışarıya atılan ısı enerjisini azaltmayı hatta ortadan kaldırmayı amaçlamıştır. Isı

kayıplarının azaltılması sebebiyle sıkıştırma ile ateşlenen motorlarda (dizelerde), yanma odasında gaz sıcaklığı daha yüksek olacağından, harekete başlama daha kolaylaşacaktır. Isı kayıplarının azaltılmasıyla, egzoz gazlarının sıcaklığını yükseltmek dolayısıyla termik verimi artırmak mümkün olacaktır sonucuna varılabileceğini belirtmiştir.

Gürbüz, (2013) gerçekleştirdiği çalışmada dizel motorun elemanlarından piston ve supaplar zirkonyum ile kaplanmıştır. Deneylerde üç ham bitkisel yağ yakıt olarak kullanılmıştır. Kaplamalı ve normal motor deneyleri karşılaştırıldığında test yakıtlarının kaplamalı motorlarda kullanılması ile elde edilen güç değerleri genel olarak normal motordaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni motorun kaplanmasıyla beraber silindir içerisinde yanma odasında oluşan sıcaklıklardan daha çok faydalanılmasıdır. Motorun kaplama işleminin motor momentine etkilerinin test yakıtlarına göre değişimleri incelendiğinde ise kaplamayla beraber motor silindirlerinin dışına olan ısı transferinin azalmasıyla beraber silindir içi basınçların artmasından dolayı ortalama efektif basınç artmış ve moment değerlerinde bir miktar artış gösterilmiştir.

Cesur, (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada motor yanma odası elemanları termal bariyer malzeme ile kaplanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerle kaplama ile birlikte su enjeksiyonunun motor performans ve egzoz emisyonlarını nasıl değiştirdiği değerlendirilmiştir. Piston üst yüzeyi 500 µm kalınlığında Y_2O_3 seramikle kaplanmıştır. Ara bağlayıcı olarak metalik malzeme tercih edilmiştir. Ara bağlayıcının tutması için ana malzeme pürüzlendirilmiştir ve bu pürüzlendirme kum püskürtülerek gerçekleştirilmiştir. Kaplama bölgesinde ara bağlayıcı olarak 200 µm nikel alüminyum (Ni-Al) metalik malzeme tozu ve kaplama malzemesi olarak 300 µm itriyum oksit (Y_2O_3) seramik malzeme tozu uygulanmıştır. Deneyler esnasında su püskürtme işlemi emme manifoldunda yapılmıştır. Termal bariyer sayesinde kaplamasız motora göre motor performansında yükselme, emisyon değerlerinden HC azalırken aynı zamanda silindir içi sıcaklığının yükselmesi neticesinde NO_x değerlerinde artmaların olduğu tespit edilmiştir. Motora farklı oranlarda su enjeksiyonu ile yükselen NO_x emisyon değerinin kontrol altına alınması sağlanmaya çalışılmıştır. Su enjeksiyonunun, kaplama gerçekleştirilmiş olan motorda standart motora göre performans ve emisyon değerlerinde daha iyi sonuçlar vermesini sağlamış olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen kaplamayla birlikte efektif güçte % 4,6 oranında yükselme, özgül yakıt tüketiminde % 4,5 iyileşme, HC emisyonlarında % 30 ve NO_x emisyonlarında ise % 26 oranında bir düşüş olduğu tespiti yapılmıştır.

Vural vd., (2015) gerçekleştirdikleri çalışmada piston yüzeyine çeşitli oranlarda seramik malzeme uygulanmış kaplamaların termal şok dayanımları incelenmiştir. Deneyde $\text{AlSi}_{12}\text{CuNi}$ alaşımından imal edilmiş olan piston yüzeyine plazma püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanan seramik malzemeler $\text{ZrO}_2+\text{MgO}+\%75\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2+\text{MgO}+\%50\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{ZrO}_2+\text{MgO}+\%25\text{Al}_2\text{O}_3$, ZrO_2+MgO oranlarında kullanılarak deneyler yapılmıştır. Denemeler, 300°C , 600°C ve 900°C sıcaklıklara kadar ısıtılan kaplanmış pistonların oda sıcaklığındaki suya bırakılması suretiyle termal şok deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, $\text{ZrO}_2+\text{MgO}+\%50\text{Al}_2\text{O}_3$ tozu ile kaplanan numunenin kaplama tabakasında herhangi bir kopma ya da çatlağın oluşmadığı ve termal bariyer kaplamasında uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

İşcan, (2016) gerçekleştirdiği çalışmada dizel motorlarda pamuk tohumu saf bir bitkisel yağının kullanılabilirliğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, belirtilen parçalardan çıkan ısıyı düşürmek için test motorunun piston yüzeyi ve valfleri zirkonyum oksit (ZrO_2) seramik kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Daha sonra dizel yakıt normal kaplanmamış tek silindirli dizel motoru ile kaplanmış motorda test edilmiştir. Tüm test sonuçlarının karşılaştırılması, kaplama işleminin tüm test yakıtları için test motorunun performansını önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, ölçülen her kirletici emisyonu sadece azot oksitler (NO_x) hariç olmak üzere azaltılmıştır. Bu, kaplama işleminin, dizel motorlarda saf bitkisel yağların kullanılması için makul bir yöntem olduğunu onaylamaktadır.

Peng-feiHe, (2016) arkadaşlarıyla yapmış olduğu çalışmada; Silindir-pistonlu tribo-sistemi optimize etmek için plazma püskürtmesi ile motor silindiri yüzeyine TiO_2 -12 ağırlıkça% Al_2O_3 seramik ile kaplama yapılmıştır. Tribolojik testler SRV4® pistonlu tribometre üzerinde yağlanmış koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Buna göre, tribolojik yüzey analizi sonucunda, sürtünme katsayısının değişimi incelenmiştir. Sonuçlar aynı zamanda, kaplamadan sonra silindirlerin, yağda mükemmel kimyasal kararlılığa dönüştüğü, sürtünme esnasında malzemenin pürüzsüz yüzey özellikleri sergilediğini, yüksek sertlik kazandığı belirlenmiştir. Seramik kaplamanın kaplanmamış numunelerle karşılaştırıldığında tribolojik özelliklerinde belirgin bir iyileşme olduğu gösterilmiştir.

S.Karthikayan vd., (2017) yaptıkları araştırmada; sanayileşme ve kentleşme, dünyanın çeşitli endüstrilerden ve ulaşım sistemlerinden gelen tehlikeli emisyonlara karşı sürekli meydan okuduğunu belirtmişlerdir. Emisyonlar, küresel ısınmada, ozon tabakasının tükenmesinde ve ekosisteme zarar verilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Emisyon nedeniyle olumsuz etkilerden sağ kalma, emisyon azaltımında teknolojik ilerlemelere erişmek suretiyle önemli ölçüde kontrol edilebileceğini vurgulamışlardır. Birçok araştırmacı, yanma odası yüzeylerinde

metal kaplamayı benimseyerek kontrol edilen motor emisyonuna karşı ilgi çekmektedir. Araştırmacılardan bazıları, piston, motor kafası gibi bileşenler için seramik kaplama ile de uğraşmaktadır. Metal kaplamaların bazıları termal bariyer gibi davranmakta ve bu ısı yalıtımı, ısıyı kendi içinde geri yükleyerek yanma odasından gelen ısı transfer oranını düşürmektedir. Bu araştırma makalesi, otomobil motoru uygulamasında metal kaplamayla ilgili çeşitli eğilimleri ve yenilikleri detaylandırmaktadır. Sonuç olarak motor performansının artırılması algısı ve motor emisyonunun önemli ölçüde azaltılması için metal kaplamalara dikkat çekilmiştir.

ChunshengMa vd., (2018) yaptıkları çalışmada amaçlarının; dizel motorlar için yüksek silikonlu alüminyum alaşımlı piston güvenilirliğini ve dayanıklılığını geliştirmektir. Yeni seramik matris kompozitleri, ZL109 alüminyum alaşım yüzeylerinde, mikroark oksidasyon (MAO) ile elektroforez birikimi (EPD) birleştirilerek iki aşamalı olarak imal edilmiştir. MoS_2 , işlem sırasında alüminyum oksit matrisine dahil edilmiştir. Seramik matris kompozitlerinin aşınmaya ve kendiliğinden yağlanmaya etkisi, karşılıklı test yöntemi ve silindir gömleği numuneleri kullanılarak ortak olarak araştırılmıştır. Yüksek silikonlu alüminyum alaşımları alt katmanı ile karşılaştırıldığında, seramik matris bileşiklerinin sağladığı aşınma kaybı % 95 azalmıştır. Aşınmış yüzeyler düz, pürüzsüz ve sürtünme katsayısı nispeten kararlılık göstermiştir.

Hazar vd., (2017) Bu çalışmada, içten yanmalı, tek silindirli dizel bir motorun manifold çıkışından susturucuya kadar olan egzoz borusunun dış kısımları krom karbür (Cr_3C_2) kaplanmıştır. Deneyde egzoz borusu plazma sprey yöntemiyle 100 mikron kalınlığında kaplanarak malzeme üzerindeki ısı transferi ve triboljik etkiler incelenmiştir. Kaplanan egzoz; motorun sürekli devinim halinde olan parçalarından olduğundan hem malzemenin iç yapısında kimyasal etkileşimle hem de dış ortamdan fiziksel etkileşim ile metal çözücülerinin olumsuz etkileri irdelenmiştir. Kaplama malzemesinin SEM ve EDX analizi ile kaplama tabakasının ana malzemeye iyi bir şekilde tutunduğunu belirtmişlerdir. Kaplanmış egzoz borusunun dışarıya ısı kayıpları engellenerek egzoz emisyon değerleri kayıt altına alınmış ve kirleticilerin etkileri incelenmiştir. Isı transferinin egzoz gazlarının soğumasını geciktirmesinin bir sonucu olarak, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO_2) emisyonlarının azaldığı, egzoz gaz sıcaklığının (EGS) ve NO_x emisyonunun ise arttığını tespit etmişlerdir.

Raghavendra P.M vd., (2014) yapmış oldukları çalışmada; piston üst yüzeyi, silindir kapağı yanma odası ve supapların yüzeyinin plazma püskürtme tekniği ile 0,25 mm ZrO kaplayarak motorun düşük ısı kayıplı motor haline getirmişlerdir. *Callophyllum* bitkisi kullanılarak üretilen biyodizel yakıtının dizel yakıtı ile hacimce karışım yakıtları haline

getirerek B20 (%20), B30 (%30), B40 (%40), B100 (%100) ve %100 dizel yakıtı kullanarak deney motorunu çalıştırmışlardır. Yapılan deneylerde motorun farklı (160 bar, 180 bar ve 200 bar) enjeksiyon basınçlarında testler yapılarak motor performansı ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, 180 bar basınçta B40 harmanının termal bariyer kaplamalı motor için dizel ve diğer tüm biyodizel yakıt harmanları ile karşılaştırıldığında motor performans ve emisyon karakteristikleri daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.



3. BİYODİZEL

1970'li yıllardan itibaren görülmeye başlanan petrol krizi, araştırmacıları alternatif yakıt araştırmalarına yönlendirmiştir (Yaşar, 2016). Alternatif yakıt, motorlar gibi enerji üretim makinelerinde fosil kökenli olan yenilenemeyen enerji kaynağı ve kullanıldıkça dünyada rezervleri azalan yakıtlar yerine; yenilenebilen ve rezervleri kullanıldıkça azalmayan yakıttır. Güneş, rüzgar, jeotermal gibi enerji kaynaklarının yanında toprak, biyodizel ve biyogazdan elde edilen enerjiler alternatif yakıtlara örnek verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında sayılmakta olan biyoyakıtlar uygulama alanları dolayısıyla ülkelerin ticari alanlarında büyük bir önem arz etmektedirler. İçeriğinde çevreye zararlı madde bulunmayan ürünlere "biyokökenli ürünler" olarak ifade edilmektedir. Biyokütleli ürünler yeşil yapraklı bitkilerin fotosentez yöntemiyle enerji depoladıkları biyolojik karbonlu yeşil ürünlerdir (İşler ve Karaosmanoğlu, 2007). Bitkisel yağlar yağlı tohum bitkileri olarak adlandırılan ve tohumlarından yağ çıkartılan kanola, aspir, soya, kolza, mısır, ayçiçeği, haşhaş, pamuk, fıstık, palm gibi bitkilerden elde edilir. Atıl durumda olan ülke arazilerimize ekilecek uygun olan yağ bitkilerinin tohumlarından elde edilecek yağlardan kimyasal prosesler ile biyodizel imal edilir (Albayrak, 2014).

Biyodizelde 1.5 milyon ton kapasite ile ülkemiz dünyada ikinci sıradadır. Biyodizele yatırım yapan tarımda gelmiş tesisler ülkenin tüm bölgelerine yayılmış durumdadır. Tesislerin bu denli yaygın olması sayesinde enerji verimliliği açısından atıl durumda olan ülke arazilerimizin değerlendirilerek, ülkemizin ihtiyacı olan dizel yakıtının bir kısmının bu yöntem ile üretilmesi için son derece önemlidir. Üretilen biyodizelden optimum verim alarak motor üzerinde kullanımı ve etkilerinin incelenmesi bu çalışmanın temel hedefini oluşturmaktadır (Albiyobir, 2017).

Petrol ürünleri kaynaklı en büyük sorun çevre kirliliği olmasına rağmen petrol fiyatlarındaki artışta önemli problemlerden bir diğeri olarak ortaya çıkmaktadır. Taşıtlar hava kirliliğini (özellikle NO_x, CO, CO₂, HC ve is emisyonlarını) arttıran en önemli kaynaklardan birisi olarak görülmektedir (Örs, 2016).

Yeni veya kullanılmış olan bitkisel ve hayvansal yağlardan kimyasal dönüşüm yöntemleriyle üretilen biyoyakıtlardan biriside biyodizeldir. Biyodizel çevre dostu yenilenebilir nitelikte olan bir yakıt türü olarak görülmektedir. 4.12.2003 tarihinde TBMM tarafından 5015 numaralı kanunun 2004 tarih ve 25579 sayılı kısmında "Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında" yayınlanan yönetmelikte "Biyodizel" olarak tanımlanmıştır.

Ülkemizde biyodizel üretiminde toplam 2,3 milyon ton'luk kurulu bir kapasite vardır. Üretim kapasitesinin sadece 1,5 milyon ton'luk bölümü lisanslanmış durumdadır (Kafadar, 2010).

2005 sonunda Avrupa Birliği'nin 2003/30/EC yönetmeliği ile petrol ürünü dizel yakıtlara %2 oranında biyodizel ilavesi zorunlu kılınmıştır. Aynı zamanda, 27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ”e göre akaryakıt olarak kullanılmak üzere piyasaya sürülen motorin türlerinin, yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin en az %3 olması ve bunun yerli tarım ürünlerinden sağlanması zorunludur (Albayrak, 2014).

Dizel motorlarda mekanik enerjiye dönüşen ısı enerjisi, yanma odası içerisine belirli oranlarda alınmış olan yakıt ve hava karışımının arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindirlerde oluşan yanma olayını ve neticede elde edilen enerjiyi doğrudan etkiler.

Motorları biyodizelle çalıştırmak, güneş enerjisiyle çalıştırmaya eşdeğerdir. Çünkü biyodizel de dahil olmak üzere, tüm biyoyakıtların temeli, güneş ışınlarının bitki yapraklarında enerjiye (karbonhidrat ve lipitlere) dönüşümüne dayanır. Bitkiler atmosferdeki karbondioksiti (CO_2) emip, güneşten elde ettikleri enerji ile fotosenteze tabi tutarlar. Ürettikleri karbonhidrat ve/veya lipitler yakıldığında, daha önce atmosferden emilmiş olan karbondioksit tekrar atmosfere döner ve başka bitkilerce tekrar emilir. Atmosferde net karbondioksit artışı olmaz. Buna karşılık, petrol bazlı yakıtlar, binyıllar önce atmosferden emilmişse de artık toprağın derinliklerinde gömülü karbondioksidi tekrar atmosfere yaydıkları için, sera gazlarının artmasına ve küresel ısınmaya neden olurlar (Uluengin, 2007).

Atık yağların biyodizel üretiminde değerlendirilmesi sayesinde çevreye (özellikle içme sularına ve toprağa) oldukça zararlı olan bu yağların değerlendirilmesi sağlanarak verecekleri zararlarda en aza indirilebilmiş olacaktır. Bu sayede hem çevresel hemde ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir. Atık yağların tekrar değerlendirilmesi sayesinde ucuz hammadde sağlanmış olacak ve bu da maliyet avantajını beraberinde getirecektir (Kafadar, 2010).

Ülkemizde son yıllarda çevre duyarlılığı adına önemli gelişmeler yaşanmakta ve devletimiz bu konuda göstermiş olduğu hassasiyeti çıkardığı kanunlara (yönetmelik, tebliğ vs.) yansıtmaktadır. Aşağıda yakın zamanda çeşitli çıkmış mevzuat düzenlemeleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut standartlar (Öğüt ve Oğuz 2006).

KRİTERLER	EN590	DIN 51606	EN14214
Yoğunluk(15°C g/cm ³)	0.82-0.86	0.875-0.9	0.86-0.9
Viskozite(40°C mm ² /s)	2.0-4.5	3.5-5.0	3.5-5.0
Parlama Noktası (°C)	>55	>110	>101
Kükürt (%Kütle)	0.20	<0.01	<0.01
Sülfatlanmış kül (%Kütle)	0.01	<0.03	0.02
Su (mg/kg)	200	<300	<500
Karbon Kalıntısı (%Kütle)	0.30	<0.03	<0.03
Toplam Kirlilik (mg/kg)	Bilinmiyor	<20	<24
Bakır Şerit Korozyonu (3h/50°C)	Sınıf 1	Sınıf 1	Sınıf 1
Setan Sayısı	>45	>49	>51
Metanol (%Kütle)	Bilinmiyor	<0.3	<0.2
Ester içeriği (% Kütle)	Bilinmiyor	>96.5	>96.5
Monogliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.8	<0.8
Digliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.4	<0.2
Trigliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.4	<0.4
Serbest Gliserol (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.02	<0.02
Toplam Gliserol (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.25	<0.25
İyot Sayısı	Bilinmiyor	<115	120
Fosfor (mg/kg)	Bilinmiyor	<10	<10
Alkali Metaller Na K (mg/kg)	Bilinmiyor	<5	<5

Biyodizel konusunda ülkemizde kullanılan Türk Standartları EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak oluşturulmuştur (Koç, 2011).

3.1. Biyodizelin Avantajları

- Yerli kaynaklardan üretilmektedir.
- Yenilenebilir karakterdedir.
- Doğada çözünebilir ve çevrecidir.
- Emisyonlarında partikül, CO, yanmamış HC_x daha azdır ve S nerdeyse yok denecek kadar azdır.
- Petrodizele göre CO₂ atımı çok daha düşük olduğu için sera etkisine neden olmaz.
- Tutuşma derecesi petrodizele göre yüksektir. Bu durum nakliyenin daha güvenli olarak yapılmasına olanak sağlar.
- Biyodizel petrodizele yüksek oranda ilave edilmediği durumlarda standart motorlarda herhangi yapısal bir değişikliğe gerek kalmaksızın kullanılabilir.
- Oksijen içeriği yüksek olduğundan dolayı verimli bir yanma sağlar (Öğüt ve Oğuz, 2006).

3.2. Biyodizelin Dezavantajları

- Petrodizele göre düşük bir ısısal değere sahip olması nedeniyle motor gücünde bir miktar düşüşe neden olmaktadır.
- Soğuktan viskozite artışı nedeniyle daha fazla etkilenmekte ve bundan dolayı soğuk iklimlerde yada soğuk iklimli bölgelerde kullanımı kısıtlanmaktadır.
- NO_x emisyonları bir miktar yükselmektedir.
- Yakıt tüketimi bir miktar artmaktadır.
- Saf biyodizel kullanım durumunda motorda modifikasyon yapılması gerekmektedir. Özellikle yakıt pompası, filtre, hortum, bağlantı elemanları ve contaların biyodizele uyumlu malzemelerle değiştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Biyodizel hammaddesi olarak bitkisel ve hayvansal kaynaklı yağlar, alg ve bakteriler, atık yağlar ve yağ rafinasyon atıkları kullanılmakla birlikte ticari olarak en çok tercih edileni bitkisel yağlardır. Standartlar oluşturulurken o ülkede en çok bulunan yağlı tohumlar esas alındığı için (kanola ve soya vb.) üretilen biyodizelin yakıt performansı ve soğuk akış özellikleri de daha çok bu yağ kaynaklarına dayandırılmıştır. Diğer taraftan, yüzlerce bileşen içeren dizel yakıtın kimyasıyla karşılaştırıldığında biyodizel üretiminde kullanılan farklı yağların kimyasal yapıları birbirine benzerdir çünkü yağların temel yapısı, %90-98 oranında trigliseridlerden ve az miktarda di vemonogliseritlerden oluşmaktadır. Esas fark ise yağ asitlerinin karbon zincir uzunluklarından ve çifte bağ sayısından (doymamışlık oranı) kaynaklanmaktadır. Kullanıma en uygun biyodizel, tekli doymamış yağ asidi içeren yağlardan üretilmekte olup bu tip yağların içerisinde ise en çok kullanılanlar soya yağı, ayçiçeği yağı, palm yağı, kanola yağı ve pamuk yağıdır (Koç, 2011).

3.4. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarda Kullanılabilirliği

Motorların modifikasyonu ile bitkisel yağlar motorlar üzerinde yakıt olarak kullanılabilir. Motor üzerine yakıtın yanmasını sağlayan kit takılması ile motor enjektör püskürtme basıncının değiştirilmesi ve yanma odasında yapılabilecek yanmanın iyileştirilebileceği konstrüksiyon değişiklikleri ile bitkisel yağlar yakıt olarak kullanılabilir.

Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için petrol kökenli dizel yakıtına (motorin) göre çok yüksek olan

viskozitelerinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla piroliz, seyreltme, transesterifikasyon ve mikroemülsiyon oluşturma yöntemleri kullanılmaktadır. Seyreltme yönteminde yağ, belirli oranda petrodizel yakıtı ile harmanlanarak seyreltilir (Yaşar, 2016).



4. SERAMİK KAPLAMA VE KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Düşük ısı kayıplı motor tasarımında neredeyse başlangıçtan itibaren seramikler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin, standart motorlarda kullanılan metallere göre ağırlığı az ve ısı iletim katsayısı (k) daha düşüktür (Haşimoğlu, 2005). Günümüzde klasik seramiklerin üretiminde miktar ve kalite bakımından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ayrıca son yarım yüzyılda yeni seramikler geliştirilmiş olup, bunlar "İleri Teknoloji Seramikleri" olarak isimlendirilmektedirler. İleri teknoloji seramiklerinin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları,
- Kimyasal kararlılıklarının yüksek olması,
- Çok sert olmaları,
- Yoğunluklarının düşük olması,
- Tabiatla ham madde olarak bol miktarda bulunmaları,
- Aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Isı iletim katsayılarının düşük olması,
- Basma mukavemetlerinin yüksek olması (Çevik, 1992).

İleri teknoloji seramikleri başlıca Al_2O_3 (Alüminyumoksit), ZrO_2 (Zirkonyum) MgO (Magnezya), BeO (Berilya) gibi saf oksitler ve oksit olmayan yapılardan oluşmaktadır. Bazı ileri gelen seramiklerin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri (Haşimoğlu, 2005).

Malzeme	Ergime Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (MPa)	E (GPa)	Sertlik (kg/mm ²)
Cam	500	2,2	48	7,2	650
Al_2O_3	2050	3,96	250-300	36-40	1300
ZrO_2	2700	5,6	113-130	17-25	1200
SiC	3000	3,2	310	40-44	2800
Si_3N_4	1900	3,24	410	30,70	1300

Endüstride kullanılan malzemelerin kalitelerini geliştirmek, daima ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Özellikle hareketli makina parçalarının daha yüksek, termik, mekanik ve korozyon mukavemetine sahip olması için yapılan çalışmalar, çok hızlı bir şekilde

devam etmektedir. Bu özelliklere sahip malzemeleri üretebilmek için seramiklerden yararlanma yoluna gidilmektedir. Fakat parçaların tamamen seramikten yapılması, gerek imalat gerekse imalat sonrası çıkan problemler sebebiyle pek sağlıklı ve hesaplı olmamaktadır. Seramiklerin bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla metalik malzemeler üzerine kaplama yoluna gidilmekte, böylece dizayn esnekliği olan parçalar daha ucuz ve hafif olarak üretilmektedir. Düşük ısı kayıplı motor olarak tabir ettiğimiz seramik motorların dizaynı için, aşağıdaki ilkeler ışığında hareket edilmesi, daha iyi sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır (Büyükkaya, 1994).

- Kaplama kalınlığının belirlenmesi,
- Yanma bölgesinin kaplanması,
- Tasarımda karmaşıklılığın azaltılması,
- Soğutma bağımsız olmalı,
- Dayanım süresi arttırılmalı,

Çeşitli ileri teknoloji seramiklerinin kaplamaları kalın ve ince kaplamalar olmak üzere iki çeşittir. İnce kaplamalar 500 μm ye kadar olanlar, kalın kaplamalar ise 6,5 mm kadar olan kaplamalardır. Termal bariyer kaplamaların ince bir tabaka halinde uygulandığı yerler; gaz türbinlerinde, motorların piston ve supaplar. Bunlar ZrO ve Al_2O_3 gibi malzemeler termal bariyer olarak yüzeyde kullanılan malzemeler ara bağlayıcı olarak ise Ni-Cr ve Ni-Al gibi malzemeler kullanılmıştır.

Isı yalıtımı için yapılan kaplamalarda kaplama tekniği, kaplama kalınlığı, kaplama malzemesi kaliteye etki eden en önemli faktörlerdir. Her şeyden önce temiz bir yüzey ve iyi bir bağ tabakası gerekmektedir. Genleşme tabakası seramik tabakayla çok farklı olan malzemelerde çok katlı kaplama tekniği uygulanabilir (Büyükkaya, 1994).

Yüzey kaplamaları ile ana malzeme kaplanarak, malzeme yüzeyinin aşınma, sürünme ve korozyon dirençlerinin arttırılması amaçlanmaktadır. Isıl püskürtme ile yüzey kaplama yöntemleri bu işlenim gerçekleştirilmesinde oldukça başarılıdır (Özel, 2013).

Alüminyumoksit (Al_2O_3) ergime noktası 2000°C civarındadır. Orta sıcaklıklarda mekanik yüklere ve kimyasal maddelere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerdendir. Nispeten düşük ergime noktası, kullanımını sınırlandırmaktadır. Suda ve iyi kalsine edildiği takdirde mineral asitlerinde ve bazlarda çözünmez. Doğal alümina, korundum halinde, silikatlarla birlikte bulunduğu gibi boksit, diaspor, kriyolit, silimanit, kyanit, nefelit ve diğer

birçok mineralin bileşiminde yer almaktadır. Saflığı arttıkça ısıya dayanım, elektrik ve aşınma direncinde de artış olmaktadır (Haşimoğlu, 2005).

Dünyada bulunan Zirkonyum (Zr) rezervleri metallerin (Bakır, Nikel, Kurşun, Çinko v.d.) bazılarında daha fazladır. Zirkonyum mineral olarak Baddeleyit (ZrO_2) ve Zirkon ($ZrSiO_4$) olmak üzere iki temel formda çıkartılmaktadır. Termal bariyer olarak kullanılan yüzey kaplama malzemelerinde ergime noktasının ve ısı iletkenlik dirençlerinin yüksek olması beklenmektedir. Zirkonyum oksit $2700^\circ C$ 'lik metallere oranla çok yüksek bir ergime noktasına ve yüksek bir ısı iletkenlik direncine sahip olması nedeniyle bu iş için oldukça uygundur. Zirkonyumun özellikle havacılıkta çok tercih edilmesinin başlıca nedeni Nikel (Ni) elementinin taban malzemesi olarak çok kullanılıyor olmasıdır. Zira yüzey kaplama uygulamalarında Zirkonyumla Nikelin diğer kaplama seramiklerine göre termal genleşme katsayılarının birbirine daha yakın olması kaplamanın uygulanmasında kolaylık sağlamaktadır. Zirkonyumun kaplama malzemesi olarak en büyük tercih nedenlerinde biriside termal bariyer olarak kullanıldığı durumlarda sıcaklığın yükselmesiyle ısı direncinin neredeyse hiç değişmemesidir (Gürbüz, 2013).

4.1. Termal Bariyer Oluşturmada Kullanılan Kaplama Yöntemleri

Isıl dirençleri yüksek seramik malzemelerle kaplanan motor yanma odası elemanları düşük ısı kayıplı hale gelmektedir. Günümüzde aşağıda da belirtilen çeşitli kaplama sistemleri kullanılabilmektedir (Yaşar, 1997),

- Alevle tel püskürtme
- Alevle toz püskürtme
- Elektrik ark sprej
- Detenasyon tabancası tekniği
- Yüksek hızlı oksijen-yakıt sprej
- Plazma sprej tekniği (Yılmaz, 2015)

Kaplama işleminin gerçekleştirileceği yöntemin belirlenmesinde kullanım amacına göre kaplanacak malzemenin özellikleri ve kaplama malzemesinin özelliği detaylı şekilde değerlendirilmelidir (Çelik, 1991).

4.2. Plazma Sprey Sistemi

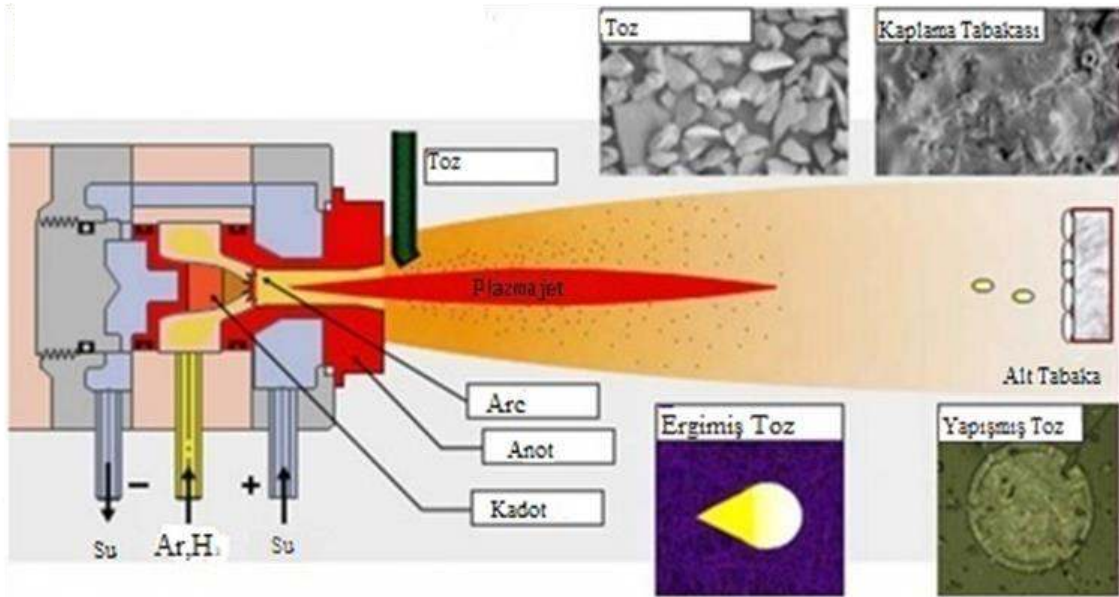
Plazma spreyle kaplama sayesinde ana malzeme çok ince bir tabaka ile kaplanabilmektedir. İnce bir tabaka halinde yapılan kaplama sayesinde ana malzemenin istenilen mekanik özellikleri olan kolay şekillendirme ve tokluk korunmuş olur. Seramik esaslı malzeme ile kaplanmış olan ana malzemenin yüzeyinde ısı, oksitlenme, korozyon ve aşınma dirençleri artmaktadır. Bu sayede plazma spre yöntemi ile yapılan kaplama işlemiyle birlikte ana ve kaplama malzemelerinin iyi özellikleri korunmuş istenmeyen özelliklerinde bertaraf edilmiş olur (Evcin, vd., 2009).

Plazma spre sistemi Şekil 4.1'de belirtilen ekipmanların bir araya getirilmesiyle kullanılabilen komplike bir cihazdır (Yılmaz, 2015).



Şekil 4.1. Plazma spre yöntemi ekipmanları (Gürbüz, 2013).

Bu yöntemde en önemli ekipman plazma tabancasıdır. Şekil 4.2. da görüldüğü gibi spre tabancasında doğru akımın elektrot ile nozul arasından geçirilmesi sayesinde elektrik arkı meydana gelir. Anot olarak kullanılan nozul saf bakır (Cu) malzemeden ve katot olarak kullanılmakta olan elektrot ise %2 toryum oksit (ThO_2) katkılı tungsten (W) malzemeden imal edilmiştir. Plazmanın elde edilmesi, oluşturulan arkla plazma gazlarının iyonizasyonu sayesinde gerçekleştirilir. Plazma gaz karışımı, katot boyunca 8000 °C sıcaklığa erişerek iyonize olmakta ve nozuldan alev şeklinde plazma olarak tahliye edilir. Püskürtülen yüksek sıcaklık değerine sahip plazma aleviyle birlikte ergiyen kaplama tozları ana malzeme yüzeyine çarparak katılır ve kaplama yüzeyini meydana getirirler (Yılmaz, 2015). Kaplama malzemeleri 5–15 μm kalınlığında lameller şeklinde katmanlı olarak katılırlar. Kaplama tozlarının plazma gazı içerisinde geçirilerek ergimiş halde kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmesi “Plazma Püskürtme Tekniği” adını alır (Gürbüz, 2013).



Şekil 4.2. Plazma spray kaplama prosesi (Kaya, vd., 2017).

Bu kaplama yönteminde plazma gazları plazmayı meydana getirmenin yanında toz halinde bulunan kaplama malzemesini hızlandırarak ana malzeme yüzeyine sevk etmekte kullanılmaktadır (Yılmaz, 2015).

Ana malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakası kaplamanın yapışmasını zorlaştırmaktadır. Artan kaplama kalınlığı ile birlikte yapışma mukavemeti düşmektedir. Ana malzemenin yüzey özelliklerine ve yüzeyin pürüzlülük değerine bağlı olarak kaplama malzemesinin yapışma mukavemeti değeri değişmektedir (Yeşildal ve Günay, 2007).

4.3. Plazma Sprey Yönteminde Etkili Olan Parametreler ve İşlem Prosedürü

Plazma spreyle gerçekleştirilen kaplama işlemi sürecinin kontrolünde kullanılan parametreler (Şekil 4.3'te görülmekte olan) ana malzeme, spreylenilen tabancasına, püskürtme süreci ve kaplama malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleşmesi parametrelerin tümünün birbirine uyumlu şekilde ayarlanmasını gerektirir. Bu durum plazma spray yönteminin çok basit bir teknoloji olmadığı, yüksek bilgi birikimi gerektirdiğini göstermektedir (Öztürk, 2010).

Plazma spray yöntemi ile yüzey kaplaması oluşturulması için öncelikle ana malzeme yüzeyinin hazırlanması gerekmektedir. Hazırlanan yüzey solventle temizlenerek ara bağlayıcının tutunabilmesi için yüzeye kumlama işlemi yapılır. Kumlanan yüzey üzerinde kaplanması istenen bölge dışındaki yerler maskelenir. Kaplama işleminde kullanılacak

malzemeye bağılı olarak kaplama yöntemi ve parametreleri belirlenerek, sistem bu parametreler doğrultusunda ayarlanır.



Şekil 4.3. Plazma spray yönteminde etkili olan temel parametreler (Üstel vd., 2006).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında yapılmıştır. Antor 3 LD 510 marka dizel bir motor kullanılmıştır. Motor özellikleri Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motor teknik özellikler (Antor, 2017).

Antor 3 LD 510 Tek Silindirli Hava Soğutmalı Dizel Motor	
Maksimum Güç	12 HP
Maksimum Tork	3,35 Kg.m(1800 d/d)
Maksimum Devir	3000 d/d
Sıkıştırma Oranı	17,5/1
Silindir Çapı	85 mm
Silindir Stroğu	90 mm
Silindir Hacmi	510 cc
Özgül Yakıt Tüketimi	190 gr / HPh
Yağ Tüketimi	10 gr / h
Karter Yağ Kapasitesi	1,75 lt
Yakıt Deposu Kapasitesi	5,5 lt

Motor deneylerine başlamadan önce yağı ve filitresi değiştirilmiş, %100 biyodizel yakıt konularak 12 saat çalıştırılmıştır. Motorun farklı devirlerinde, gövde bloğu için sıcaklık değerleri termal kamera ile görüntülenmiştir. Daha sonra motor piston ve subapları seramik kaplama ile kaplanıp motor yağı değiştirilmiş %100 biyodizel yakıt ile tekrar 12 saat çalıştırılmıştır. Motor optimum çalışma devrinde ayarlanıp sıcaklık değerleri için termal kamera ile görüntüler alınmıştır. Değişik kaplama özelliğindeki her piston ve supapın motor modifikasyonu (demontaj- montajı) sırasında motor karter yağından numuneler alınmış bu numuneler ICP spektrometresi, analiz edilmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.2 de motorun bazı önemli parçalarının malzeme özellikleri belirtilmiştir.



Şekil 5.1. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motor (Antor, 2017).

Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan ANTOR 3 LD 510 motorun bazı parçalarının malzeme bileşimleri (Koç, 2010).

Motor Parçası	Malzeme
Biyel	40 CrMo ₄
Piston	KS 1275
Piston Pimi	16MnCr ₅
Piston Pim Segmanı	C20
Krank	42CrMo ₄
Kam	18CrMo ₄
Silindir Gömlek	GGZCr230
1. ve 2. Segmanlar LG1	(Lamel grafitli dökme demir – alaşımlı pik dokum)
3. Segman (yağ sıyrıcı)	(Küresel grafitli dökme demir – sfero dokum)

5.1. Kaplama Yöntemi ve Kaplama Malzemeleri

Deneylerde kullanılan motorun piston tablası emme ve egzoz subaplarının yüzeyi Ni - Cr ara bağlayıcılı Al₂O₃, Ni-Al ara bağlayıcılı Al₂O₃ ve ZrO₂ seramik malzeme kullanılarak plazma püskürtme yöntemiyle kaplanmıştır. Bu yöntemle deney motoru düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Çizelge 5.3'de deneylerde kullanılan kaplamalı piston malzemeleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan pistonlar.

Piston Numarası	Kaplama Malzemesi	Ara Bağlayıcı
Piston 1	Al_2O_3	Ni - Cr
Piston 2	Al_2O_3	Ni - Al
Piston 3	ZrO_2	-
Piston 4	Kaplamasız	-

Şekil 5.2., Şekil 5.3. de gösterildiği üzere piston başı yüzeyi ve supap yüzeyleri seramik malzemeler ile kaplanmıştır.



Şekil 5.2. Piston tablası Al_2O_3 kaplanmış piston.



Şekil 5.3. Al_2O_3 kaplanmış subaplar.

Deneylerde kullanılan kaplama yöntemi plazma püskürtme yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan parametreler sıcaklık 15000 – 20000 °C, cihazla tabanca arası mesafe 70 - 120 mm, parça sıcaklığı 80 – 100 °C, parça yüzeyi ile alev doğrultusunun açısı 90°, yapışma değeri 5000 - 10000 psi, gaz olarak ise argon gazı tercih edilmiştir.

Deneylere başlamadan önce motor enjektörünün demontaj edilip özel bir firmada motor katalog değerlerinde yer alan enjektör basınç değerleri kontrol edilerek yeni yağ filitresi ve yeni motor yağı (SAE 20W-50) kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan takometre.

Deneylerde Diztaş İnş. Malz. Petrol Ürün. Oto. ve Teks. San. Tic. Ltd. Şti. 'den temin edilen ham ayçiçek yağından üretilen TS EN 14214 standartında %100 Biyodizel (B100) kullanılmıştır.

Deneylerde kaplamalı piston ve supaplar biyodizel yakıt ile kullanıldıktan sonra kaplamasız piston motora montaj edilip motor performansı incelenerek karşılaştırılmıştır. Farklı motor devirleri Şekil 5.4'te gösterilen Lutron DT-2268 dijital takometre ile ölçülmüştür.



Şekil 5.5. Termal kamera.

Motorun yanma performansını inceleyebilmek için belli devirlerde motorun Şekil 5.5’de gösterilen FLIR T200 marka termal kamera kullanılmıştır.

Bu kamera özellikleri

43200 piksel 240x180 IR kızılötesi çözünürlüklü

Ölçüm sıcaklık aralığı – 20 °C ile 350 °C

30 °C <0,08 °C termal hassasiyetli

%2 ölçüm hassasiyetine sahip

Resim karesi hızı 9 Hz

Spektral aralık 7,5 ile 13 µm olup sabit uzaklıktan termal çekimler yapılmıştır.

Motor belirli devirler için bloğundan sabit bir noktadan Şekil 5.6. da gösterilen TESTO 735 marka -50°C ile +350°C ölçüm aralığında 0,05 °C kadar hassasiyetli yüzey sıcaklık ölçüm cihazı ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.6. Yüzey sıcaklık ölçüm cihazı.

5.2. Yağ Analizleri

Motorların çalışması için çok önemli bir etken olan yağ aynı insan sağlığında kan değerlerinin bize verdiği bilgiler gibi motor durumu hakkında bilgiler vermektedir. Bunun için günümüzde değişik analiz cihazları geliştirilmiş, doğru yorumlamalarla motor çalışma durumları izlenebilmiştir. Yağda metal analizi, yağ analiz yöntemlerinin en önemlilerindendir.

Yağda metal analizi için kullanılabilecek en verimli ve diğerlerine göre ucuz yöntem ise spektroskopik yöntemlerdir. Spektroskopi, bir örnekteki atom, molekül veya iyonların, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorbe edilen veya yayımlanan elektromanyetik ışımanın ölçülmesi ve yorumlanmasıdır. Motor yağ analizlerinde kullanılan en etkili ve hassas yöntem ICP yöntemidir (Avcı, 2009).

Deneylerde piston ve subap değişimlerinde motor yağından numuneler alınarak Akredite Laboratuvar olan Gemar Çevre Ölçüm ve Analiz İş Sağ. ve Güv. Jeo. Mad. İnş. San. Tic. Ltd. Şti. de Şekil 5.7. de gösterilen ICP cihazında yağın elementel analizleri yaptırılmıştır.



Şekil 5.7. ICP analiz cihazı.

Yağ içinde bulunan aşınma ürünleri, motordan ve motor aksamından kaynaklanan elementler demir, bakır, alüminyum ve kromdur. Yine yağ içerisinde bulunan yakıtın yanmasından kaynaklı elementler ise Sodyum, Çinko, Magnezyum ve Kalsiyumdur.

Demir (Fe) çalışmış motordan alınan yağ numunelerinde en fazla bulunan metalik partiküldür. Motor blokları, silindir kapakları, krank mili, pernolar, krank kolları, segmanlar v.b. hareketli çalışan parçalar bu elementin yağ içinde oluşmasını sağlar. Alınan yağ numunesi içerisinde bu demir partiküllerinin normalden fazla olması durumunda motordan anormal ses gelmesi, performans düşmesi, yağ tüketiminde artış, çalışma sıcaklıkları ve yağ basıncında yükselme, piston segmanlarında arıza ve pas oluşumu gibi olumsuzluklarla karşılaşılması muhtemeldir (Kaleli ve Yavaşlıol, 1997).

Bakır (Cu) büyük oranda bronz ve pirinç gibi alaşımlarda bulunmaktadır. Bakır içerikli alaşımlar içten yanmalı motorlarda çoğunlukla piston pim ve kam yatakları, bazı dişliler, supap tablaları, turbo şarj ünitelerindeki yataklarda bulunmaktadır. Yağ numunesinde bakır miktarının normalden fazla olması yağ soğutma ünitesinde korozyon olabileceği manasına gelmektedir (Müjdecı, 2009).

Alüminyum (Al) pistonlar, piston başı ve segmanları, mil yataklarından gelmektedir. İçten yanmalı motorların imalatından sonraki ilk devreye alma esnasında kullanılan yağdan alınan numunede normalden yüksek miktarda tespit edilir. Alınan numune içerisinde Alüminyum partüküllerinin yüksek çıkması durumunda karter ve supap kapaklarında bir problem yada yağ filtresi ve hava emiş devresinde kirlenme olabileceğini gösterir. Problem kaynağı tespit edilerek giderilmemesi halinde ise anormal mekanik sesler, performans düşüşü ve yağ tüketiminde yükselme gibi problemlere dönüşecektir (Avcı, Müjdecı, 2009).

Kurşun (Pb) genellikle kaplama malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır. Motorda kullanılan yatak malzemelerinin aşımından yağa karışabileceği gibi aynı zamanda lehim yapılan bölgelerden ya da sızdırmazlık sağlamak amaçlı kullanılan contalardan da karışabilir (Kara, 2007).

Krom (Cr) genellikle yapısal eleman olarak kullanılmasından ziyade kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yağ numunelerinde tespit edilen bu metalinin başlıca kaynağı Krom kaplı piston segmanları ve Krom alaşımlı motor parçalarıdır. Silindir içine giren havanın uygun şekilde filtrelenmemiş olması ve segmanlardaki fiziksel deformasyonlar yağ numunesinde normalden fazla Krom metale rastlanmasına neden olur. Bu metalin artmasının tespit edilmesi bize makinede yağ tüketiminde artış olduğunu gösterir (Avcı, 2009).

5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analizleri

Yaptığımız çalışmada aynı sürede biyodizel ile çalışmış olan kaplamalı ve kaplamasız pistonlardan kesit parçalar alınarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma merkezinde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu ile (SEM) çekimi ve Elementel analizler yapılmıştır.

Pistonların üzerinden ortalama 2 cm² büyüklüğünde kesitler kesilerek yüzey görüntüleri Şekil 5.8 de gösterilen JEOL JSM-7100F Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile EDX spektrumları ise Oxford Instrument X-Max marka model dedektör kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Numunelerin iletkenliklerinin artırılması için Quorum kaplama cihazında altın-

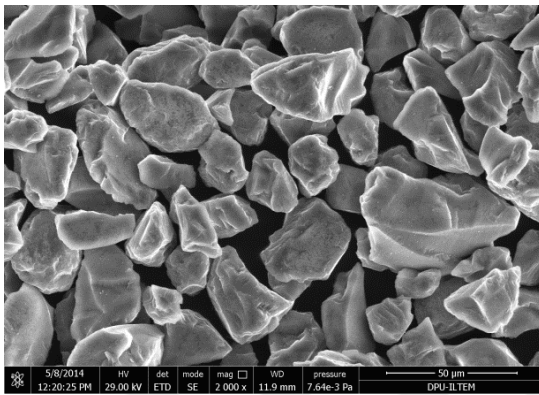
paladyum (%80-%20) kaplama işlemi (8×10^{-1} mbar/Pa vakum altında 10 mA voltajla) gerçekleştirilmiştir. Görüntüler 20 kV voltaj uygulayarak çekilmiştir.



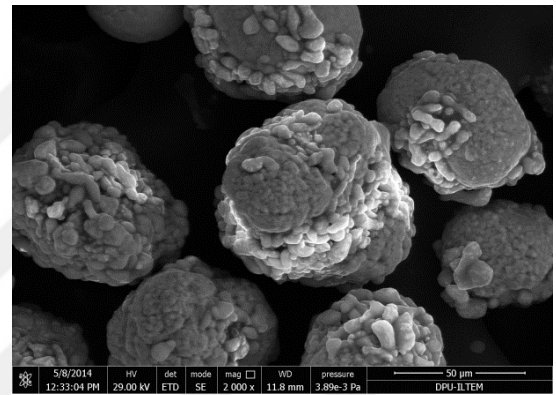
Şekil 5.8. Taramalı elektron mikroskobu ve Edx dedektörü.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

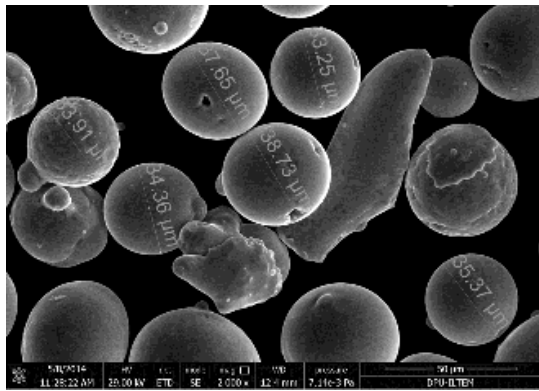
Plazma püskürtme yöntemi ile kaplama yapılmadan öncesi ara bağlayıcı ve kaplama tozlarının SEM analizleri görüntülenmiştir. Kaplama sırasında mekanik bir tutunma gerçekleştiğinden toz geometrisinin önemli olduğu (Urtekin, 2001) bilinmektedir. Ni-Cr tozlarının küresel formda olması kaplama yoğunluğunun daha yüksek olacağı ve iyi bir bağ mukavemeti sağlayacağı tahmin edilmektedir. Şekil 6.1'de SEM analizi ile elde edilmiş kaplama tozlarının görüntüleri verilmiştir.



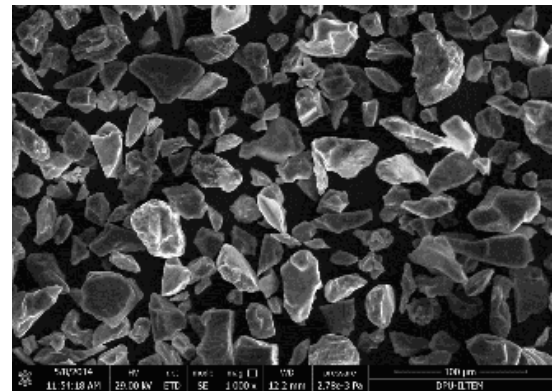
(a) Al_2O_3



(b) Ni-Al



(c) Ni-Cr



(d) Al_2O_3

Şekil 6.1. Kaplama malzemesi olarak kullanılan seramik ve ara bağlayıcı tozlarının SEM görüntüleri.

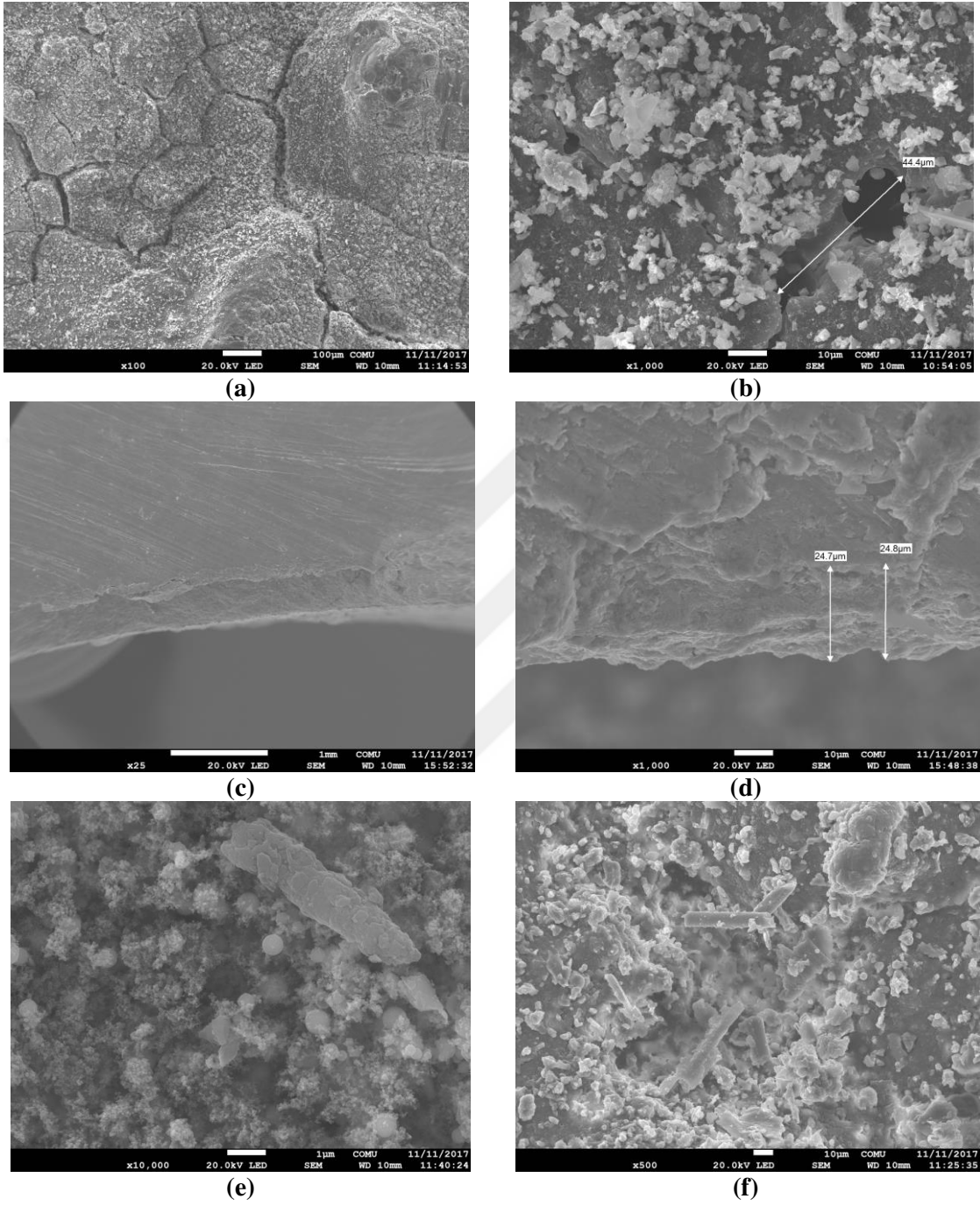
Kaplanmış piston yüzeylerinden kesitler alınarak kaplama yüzeyinden görüntüler alınmıştır. Pistonun biyodizel yakıt ile çalışmasından sonra yüzeyinde ve meydana gelen değişiklikleri (deformasyon- aşınma v.b. değişiklikler) incelemek amaçlanmıştır. Şekil 6.2'de kesiti alınan kaplamalı pistonların görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.2. Ni-Al ve Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston görüntüsü.

6.1. ZrO_2 Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi

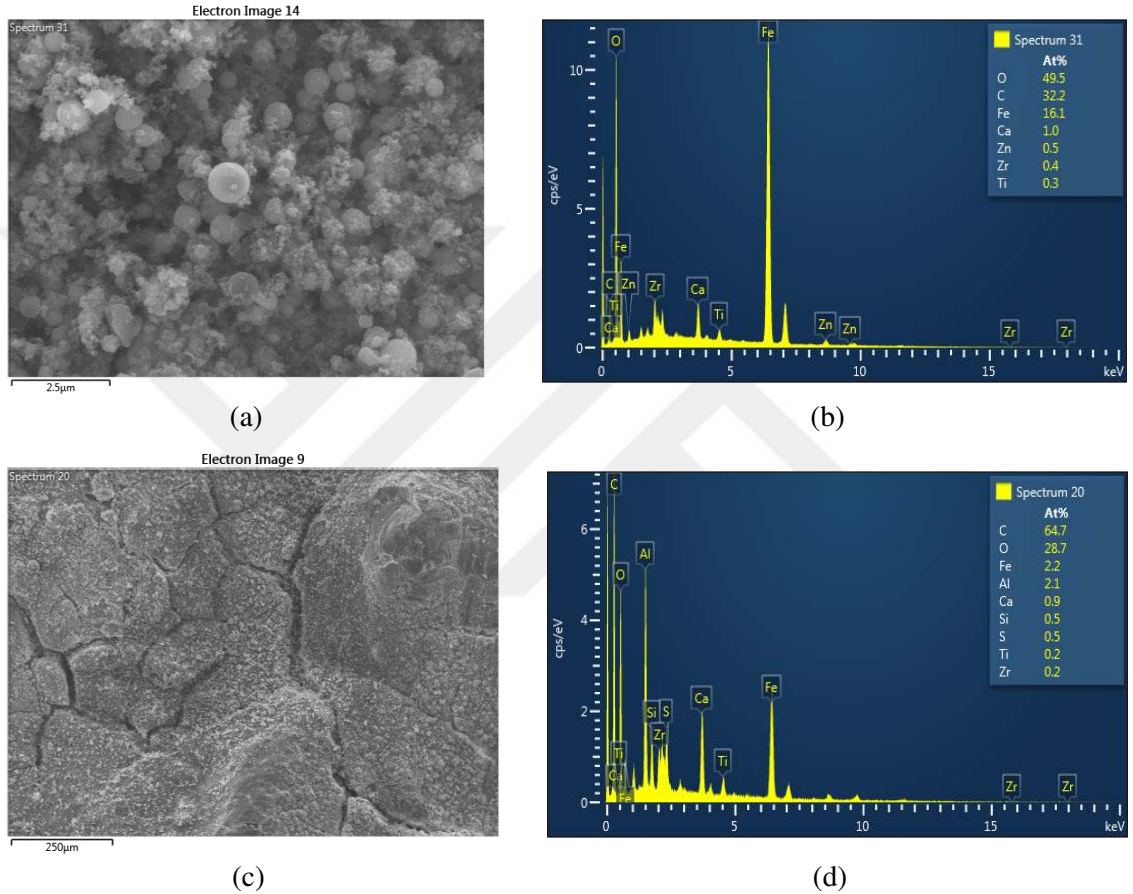
Öncelikle sert ve termal aşınma direnci yüksek olan ZrO_2 ile kaplama yapılmıştır. Sonrasında ise çeşitli parametrelerde biyodizel ile çalışan ZrO_2 kaplamalı piston üzerinden alınan kesitten SEM görüntüsü elde edilmiştir. Hem piston yüzeyinden hemde kaplama ve ana malzemenin birleştiği kesitten görüntüler alınmıştır.



Şekil 6.3. ZrO₂ kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri.

Şekil 6.3'de SEM cihazından alınan görüntüler verilmiştir. Şekil 6.3. (a) 'ya bakıldığında ZrO₂ kaplamalı piston çalışması sonrasında yüzeyin geniş bir bölgesinde yanma sonrası oluşan partiküller görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.3.(b)'de termal yorulma (sıcaklık) neticesinde kaplamada geniş ve derin çatlaklar Şekil 6.3. (c) de yüzey kesitinden alınan görüntüde piston üst yüzeyinde sık ve dar abrezif aşınma izlenimleri görülmektedir. Şekil 6.3. (d) yüzey kesitinden

alınan görüntüde piston üzerindeki kaplamanın kesit ve malzeme kalınlıkları görülmektedir. Şekil 6.3. (e) çalışan malzeme geçişinden demir elementleri, yakıtın yanmasından kaynaklı karbon elementleri görülmektedir. Şekil 6.3. (f) de ise görülen demir ve silisyum elementlerinin silindir gömleğinin aşınma sonrasında piston ana yüzeyine malzeme geçişi olduğunu göstermektedir.



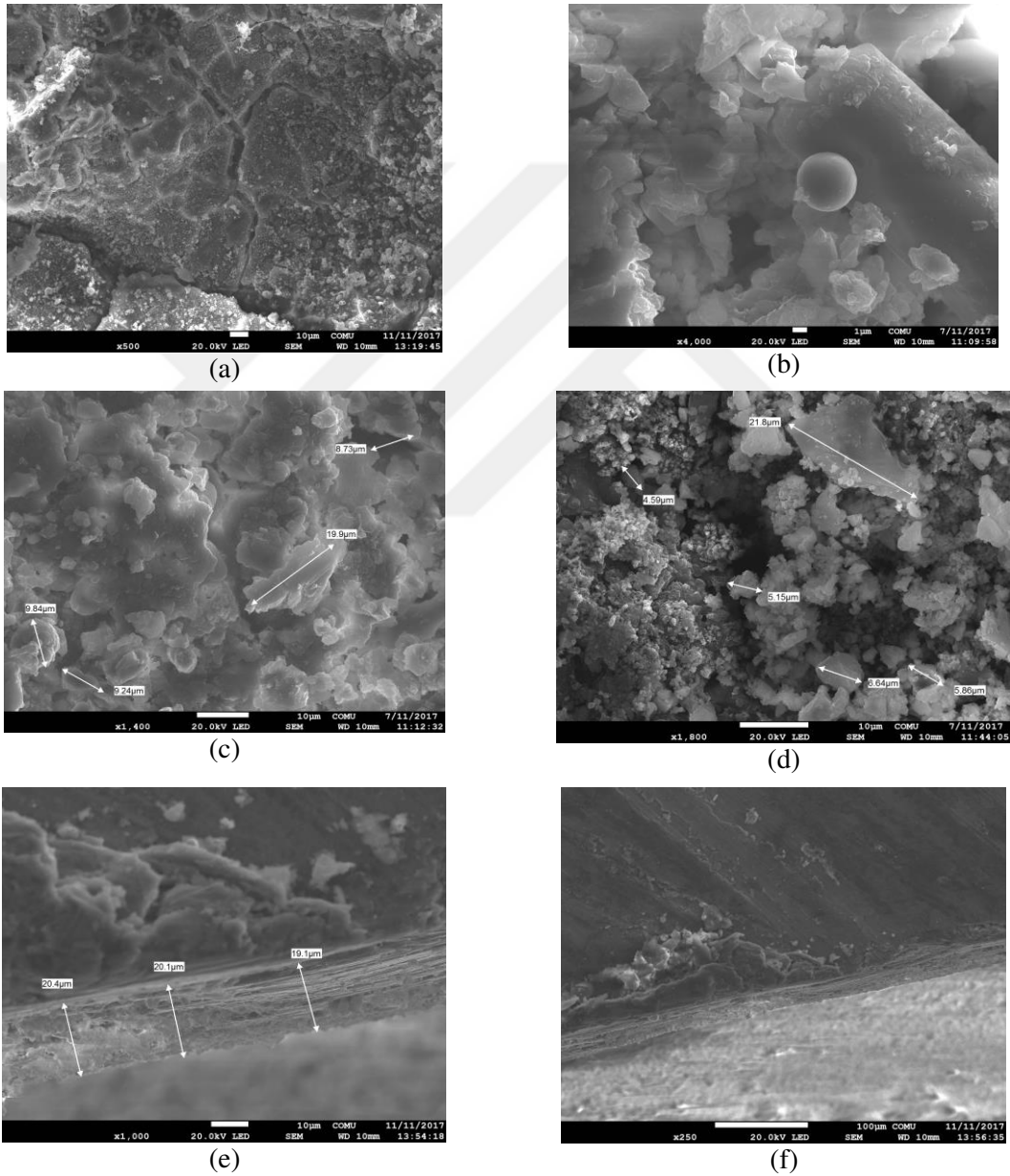
Şekil 6.4. ZrO₂ kaplamalı piston kesitinin EDX analizi.

SEM analizi sırasında yüzeyden EDX alınmıştır. Şekil 6.4'de piston çalışması sonrası yüzeyden EDX analizi verilmiştir. Yüzeyde oluşan partiküller EDX analizi incelendiğinde Şekil 6.4. (d) karbon ve oksijen oranının büyük oranda yükseldiği görülmekte bu elementlerden karbonun biyodizelin yanması sonucu yüzeyde tutunduğu düşünülmektedir. Zirkonyum elementinin analiz sonucunda az çıkması kaplamanın çalışma sonrası yüzeye tutunduğunu göstermektedir.

Bu numunede belirgin bir aşınma izi ve delaminasyon (tabaka kalkması) yoktur. Yorulmaya bağlı olarak plastik deformasyon ve partikül kopması görülmektedir.

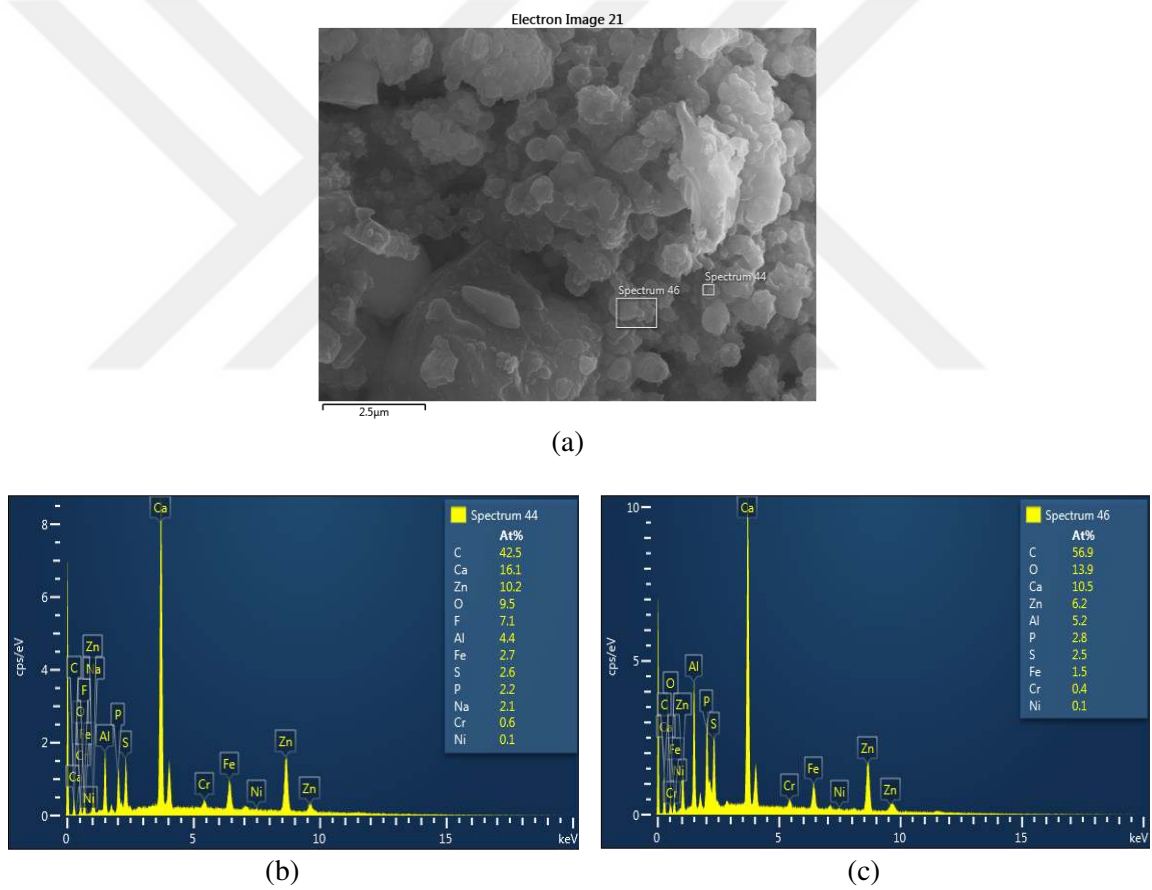
6.2. Ni-Cr Ara Bağlayıcı Al_2O_3 Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi

Daha sonra kaplama işlemine Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 seramik malzeme ile devam edilmiştir. Ara bağlayıcı kullanılmasıdaki sebep Al_2O_3 seramik malzemesinin yüzeye bağlanma oranını artırmaya çalışmaktır.



Şekil 6.5. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri.

Piston çalışma sonrası yüzeyden ve kesitten alınan SEM analizleri Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Nikel - Krom Ara bağlayıcılı Alüminyum oksit kaplamalı piston yüzeyinde şekil 6.5. (a) da zirkonyum kaplamaya benzer nitelikte termal yorulma çatlakları görülmektedir. Ancak yüzeyde tabakalı olarak bir transfer bölgesi oluşmuştur. yüzeyde kısmen abrezif aşınma izleri görülmektedir. Seramik kaplamadan kopan sert partiküllerin bu izleri oluşturduğu düşünülmektedir. Şekil 6.5. (b) demir elementi ve silisyum çubuğu görülmektedir. Şekil 6.5. (c) ve Şekil 6.5 (d) de farklı boyuttaki transfer partikilleri oluşumu belirlenmiştir. Pistonun yüzey kesitinden alınan görüntülerde Şekil 6.5. (e) ve Şekil 6.5.(f) de kaplama malzemesinin kalınlığı ve yüzeyindeki aşınma hareketleri görülmektedir.



Şekil 6.6. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin EDX analizleri.

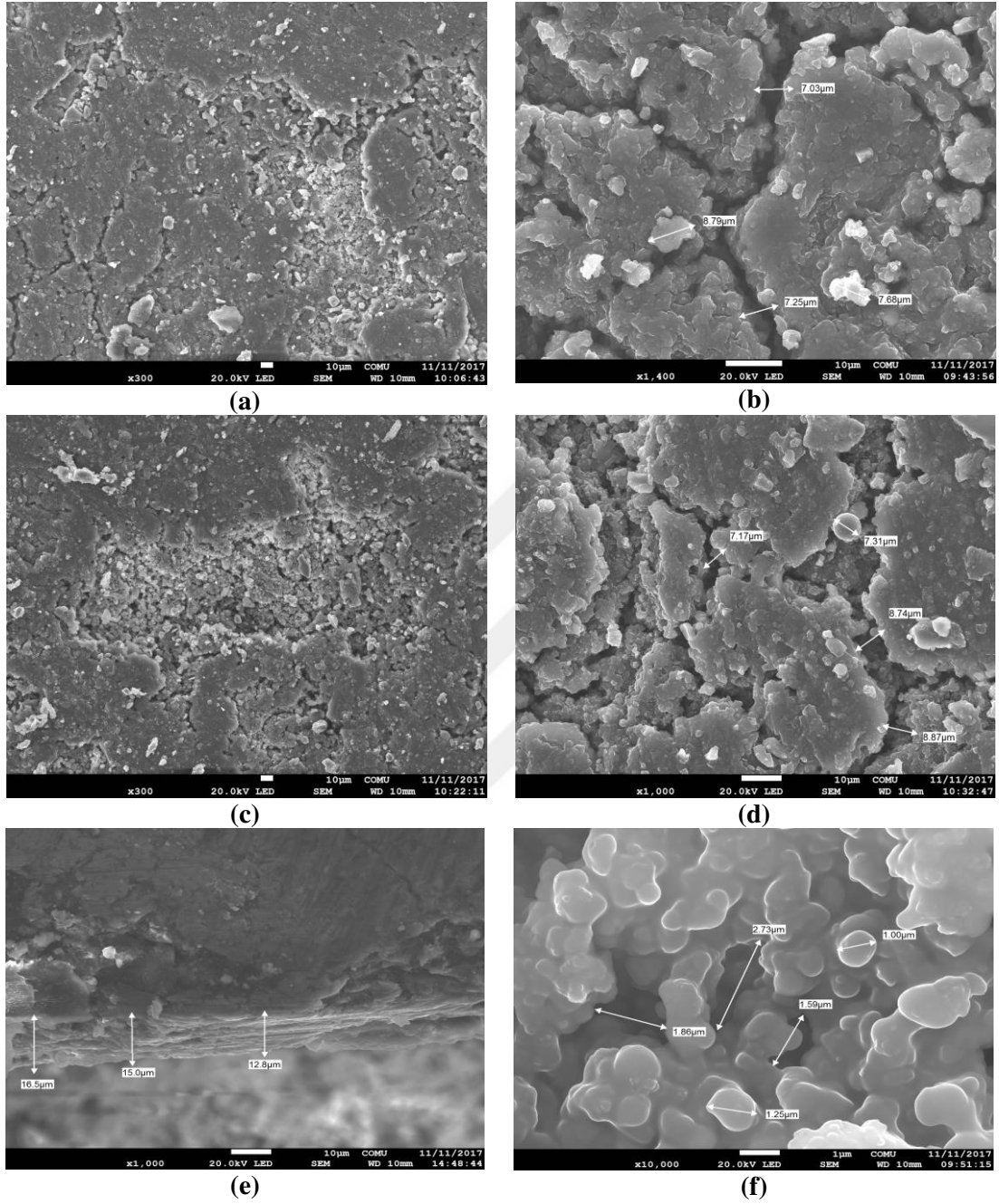
Şekil 6.6. (b) incelendiğinde yüzeyde, karbon ve oksijen bileşiği belirlenmiştir. Burada demir elementinin diğer numunelere göre az çıkması kaplamanın iyi tutunduğunu göstermektedir. Bu düşüncüyü alüminyum ve krom elementinin de oranlarının az olması desteklemektedir. Salman (2005) ve arkadaşlarının yaptığı daha önceki çalışmada anlık termal bariyer kaplamanın ZrO_2 için iyi olduğu ispatlanmıştır. Fakat motor çalışma şartlarında ara

bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamanın mekanik tutunmasının yağ ve SEM analizleri neticesinde daha üstün olduğu söylenebilir.

6.3. Ni-Al Ara Bağlayıcı Al_2O_3 Kaplamalı Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi

Literatürde; (Köse 2005, Salman 2006) ara bağlayıcı olarak kullanılan bir diğer toz ise Ni-Al' dur. Al_2O_3 kaplamasının diğer bir ara bağlayıcı ile denenmesi ve motor yanma odasındaki tepkisini ölçme amaçlı gerçekleştirilmiştir.

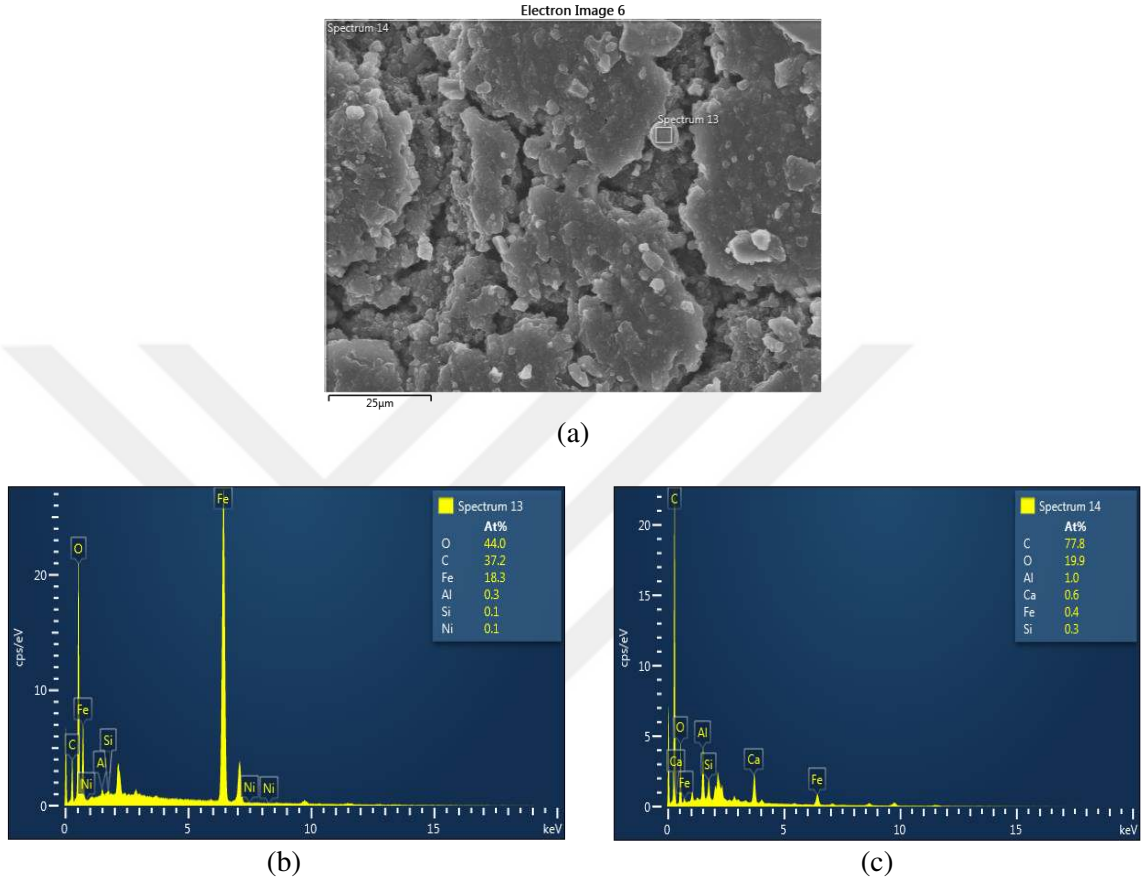




Şekil 6.7. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin SEM görüntüleri.

Şekil 6.7'de SEM görüntüleri verilmiştir. Pistonun yüzey kesitinden alınan görüntüde Şekil 6.7. (e) belirlenen ve yaklaşık olarak 15 mikron kalınlığında olan Ni- Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kapmanın Şekil 6.7. (a) da çalışma sonrası piston tablasının yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde termal yorulmadan dolayı derin çatlaklar ve ayrıca delaminasyon (tabaka kalkması) aşınmasına uğradığı bölgeler mevcuttur. Yüzeyden ayrılan bu tabakaların

parçalanması sonucunda oluşan sert partiküller yüzeyde abrazyif aşınmayı arttırmış buna rağmen sert alüminyum kaplama aşınmayı geciktirmiştir.

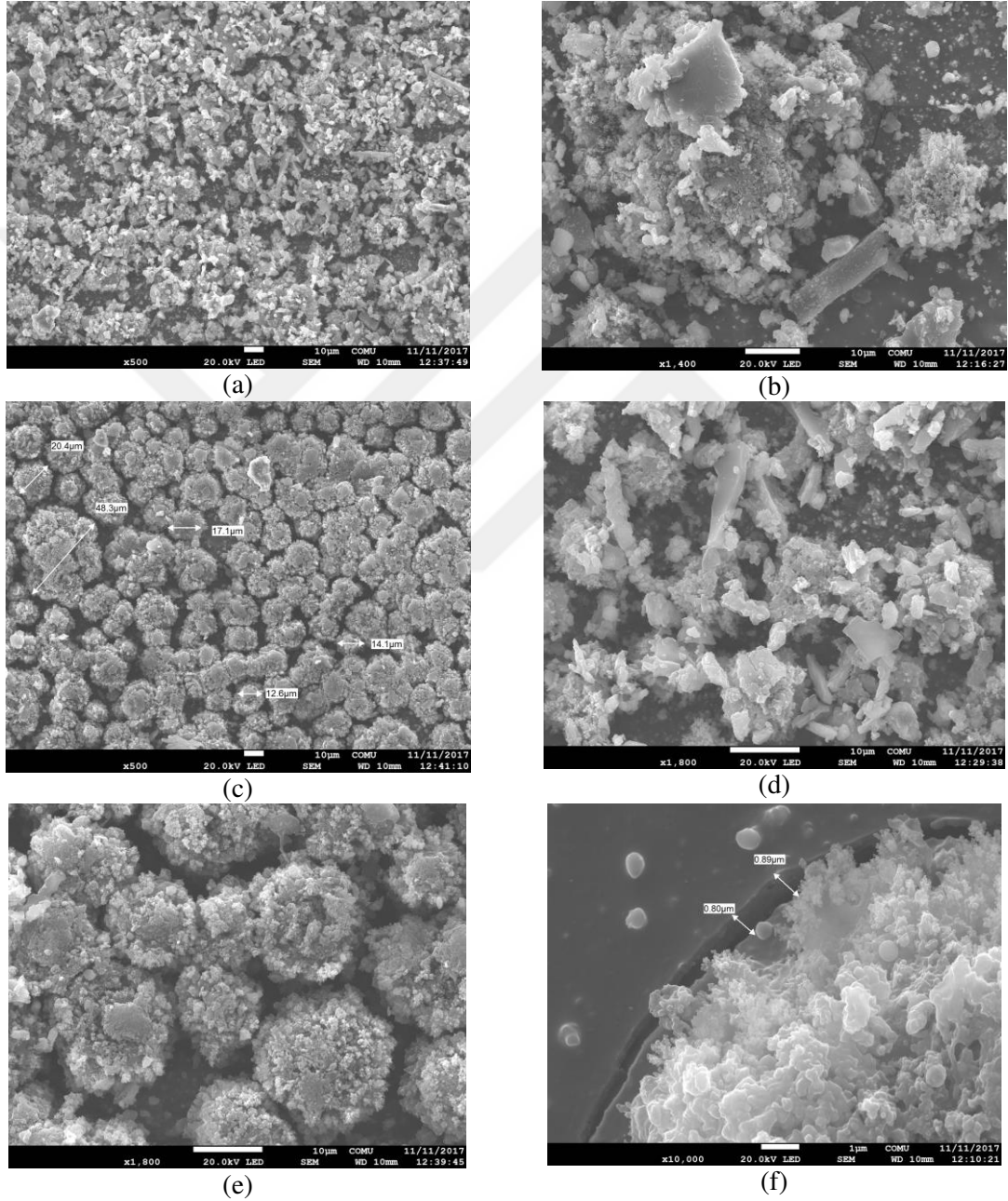


Şekil 6.8. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston kesitinin EDX görüntüleri.

Şekil 6.8. (b) incelendiğinde yüzeyde demir, karbon ve oksijen bileşiği belirlenmiştir. Burada demir elementinin kısmen yüksek miktarda çıkması piston ve silindir gömleğinde aşınmanın artışı ile birlikte olduğu düşünülmektedir.

6.4. Kaplamasız Pistonun Çalışma Sonrası Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Elementel Analizi

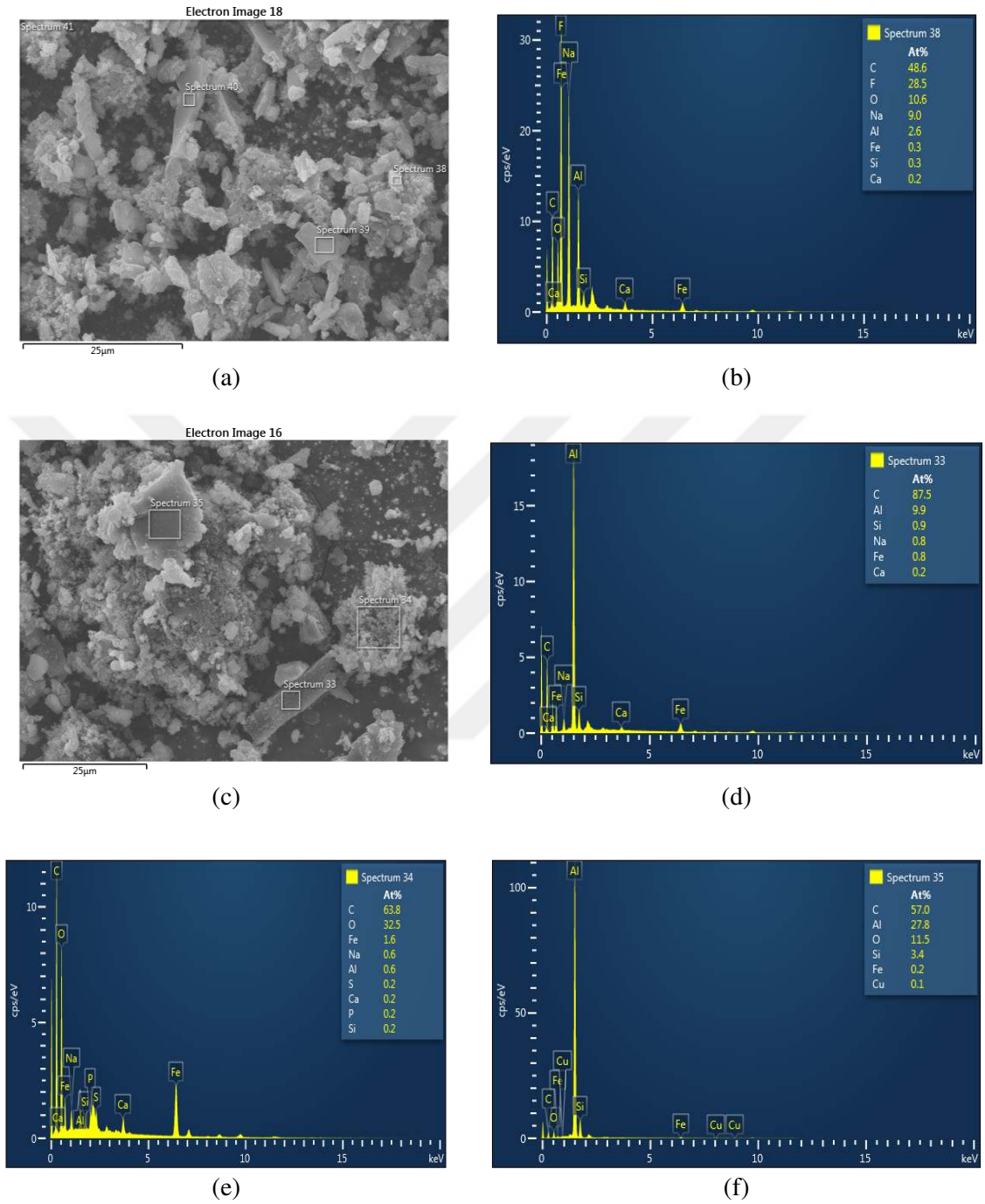
Son olarak karşılaştırma amaçlı kaplamasız piston için SEM analizleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.9. Kaplamasız piston kesitinin SEM görüntüleri.

Şekil 6.9. (a) da kaplamasız piston üst yüzeyinde diğer numunelerden farklı olarak yanma kalıntı partikülleri görülmemektedir. Diğer şekillerde de abrazif aşınma izleri kazıma ve kesilme şeklinde oluşmuştur. Bu abrazif aşınmayı yanma neticesinde kopan sert partiküllerin oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerde yüzeyden koparak uzaklaşan parçalarda görülmektedir. Yüzeyde oluşan tekrarlı yük ve yüksek ısının etkisiyle açık şekilde abrezif aşınma ve yorulma aşınması görülmektedir. Şekil 6.9. (e) ve Şekil 6.9. (f) de yorulma aşınmasında oluşan gevrek klivaj kırıkları görülmektedir.





Şekil 6.10. Kaplamasız piston kesitinin EDX analizi.

Şekil 6.10. deki numunenin EDX analizi incelendiğinde yüzeyde demir, karbon, alüminyum ve silisyum elementlerinin görüldüğü belirlenmiştir. Burada alüminyum ve demir elementinin yüksek miktarda çıkması piston ve silindir gömleğinde aşınmanın olduğu düşünülmektedir. Bu aşınmanın motor yanma odası elemanlarının termal şoklara ve yorulmalara

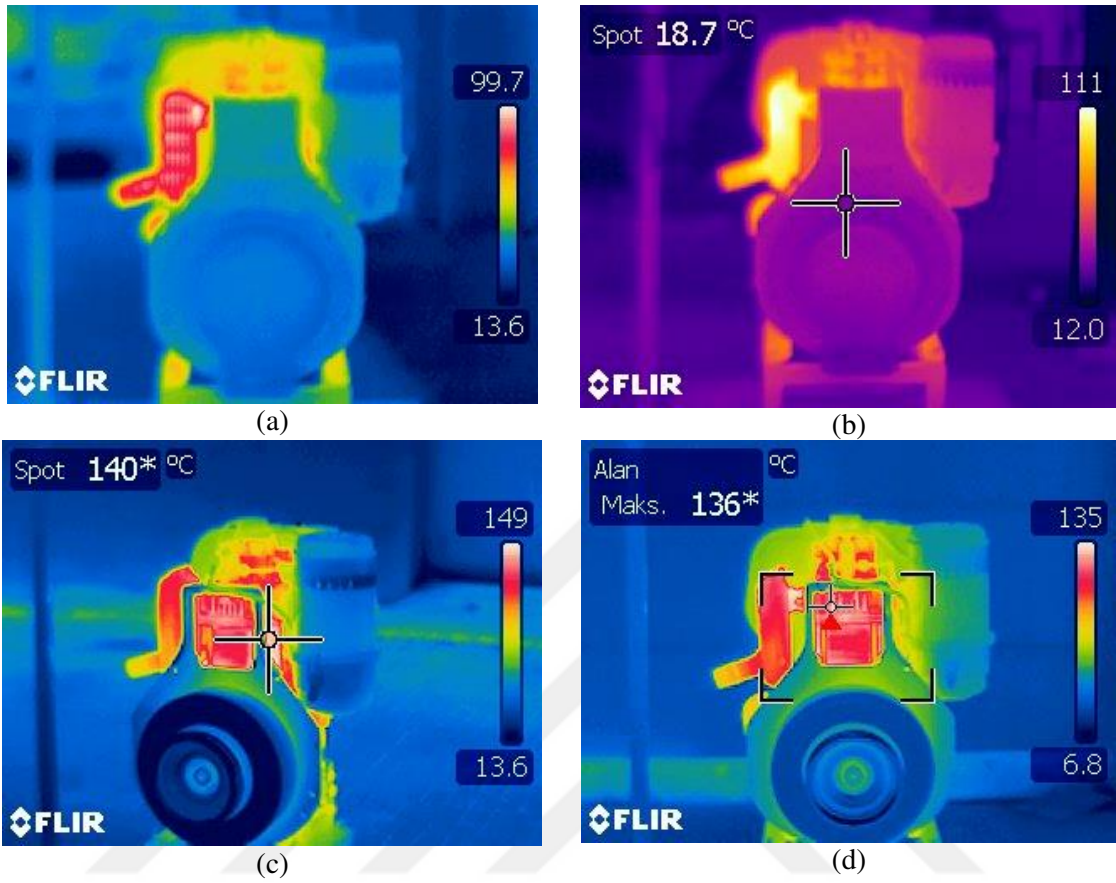
daha az mukavim olduğunu belirtmekte. Oksijen, sodyum, flor ve fosfor elementlerinin yakıttan kaynaklı olarak piston yüzeyine malzeme geçişi olduğunu göstermektedir.

6.5. Termal Kamera İle Yapılan Ölçümler

Çalışmada termal kamera ile motor bloğundan görüntü ile sıcaklık değerleri alınmıştır. Termal Kamera ile çekimler yapılmış deneyin bu kısmında infrared banda ait sıcaklık radyasyonunu görüntülenmeye çalışılmıştır. Farklı kaplama malzemelerinde sabit devirde zamana göre motor sıcaklığının değişimi tespit edilmeye çalışılmıştır.

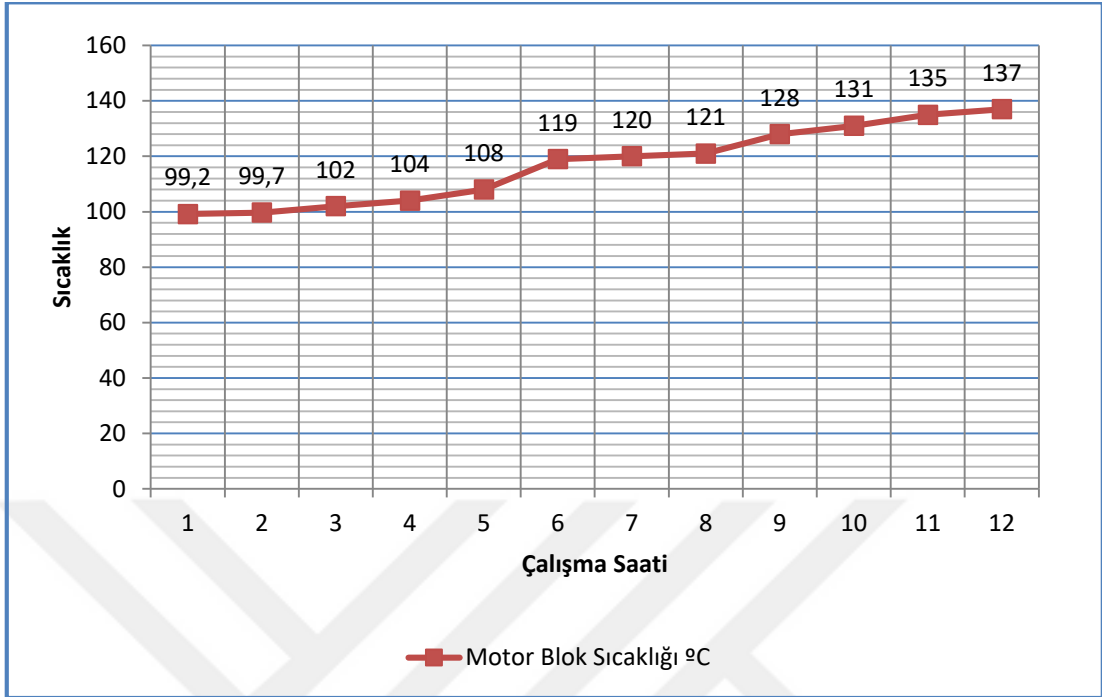
Deneyde motor titreşim ve vuruntu gibi olumsuz durumların engellenmesi için optimal kararlı çalışma devrine getirilmeye çalışılmıştır. Devamlı yük altında yüksek termal gerilmelere maruz kalan piston üst yüzeyi termal iletkenliği düşük malzeme ile kaplandığında yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisi ile meydana gelen sıcaklıkları piston üzerinden soğutma yağına ve segmanlar üzerinden motor bloğuna aktarmaya çalışacaktır. Soğutma yağına aktarabileceği ısı enerjisi azalacağından yanma odasındaki ısı enerjisi artışı petrodizele göre parlama noktası yüksek ve ısı kapasitesi düşük biyodizelin daha iyi yanmasını sağlanabilmektedir.

Hazar ve Öztürk, (2009), Hazar v.d. (2017) değindiği gibi düşük ısı kayıplı motorların egzoz emisyonlarından(HC, CO) düşük ve sıcaklık değerleri ve NO_x emisyonun standart motora göre yüksek çıktığın gösteren literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır.

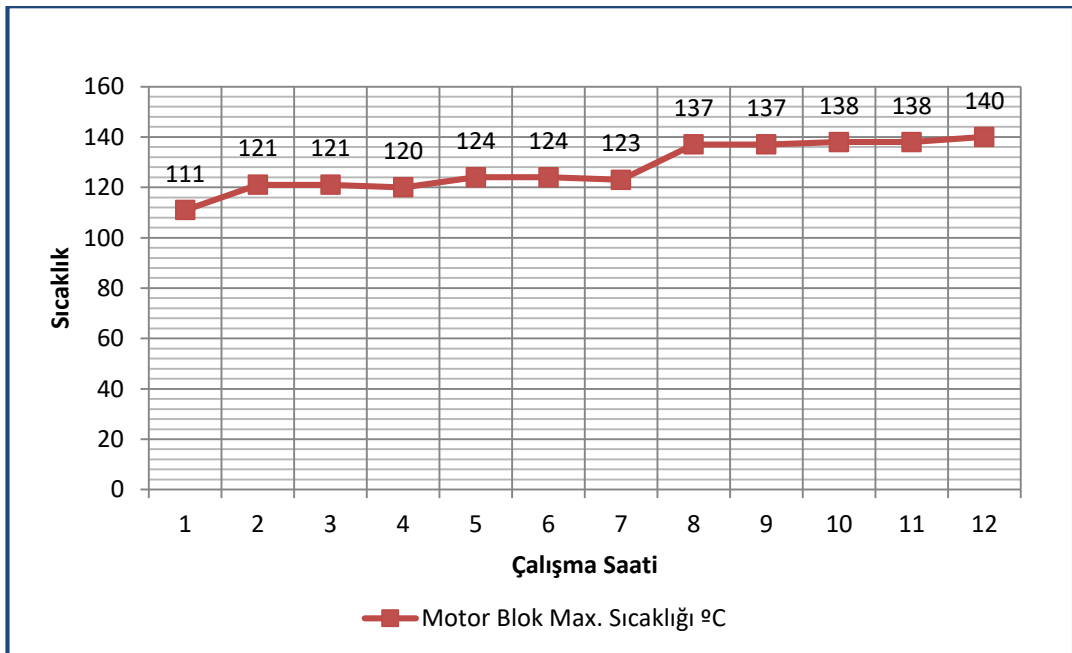


Şekil 6.11. Termal kamera ile sıcaklık ölçümleri (a) Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 seramik kaplamalı piston (b) Ni-Cr ara bağlayıcı Al_2O_3 seramik kaplamalı piston (c) ZrO_2 seramik kaplamalı piston (d) kaplamasız piston.

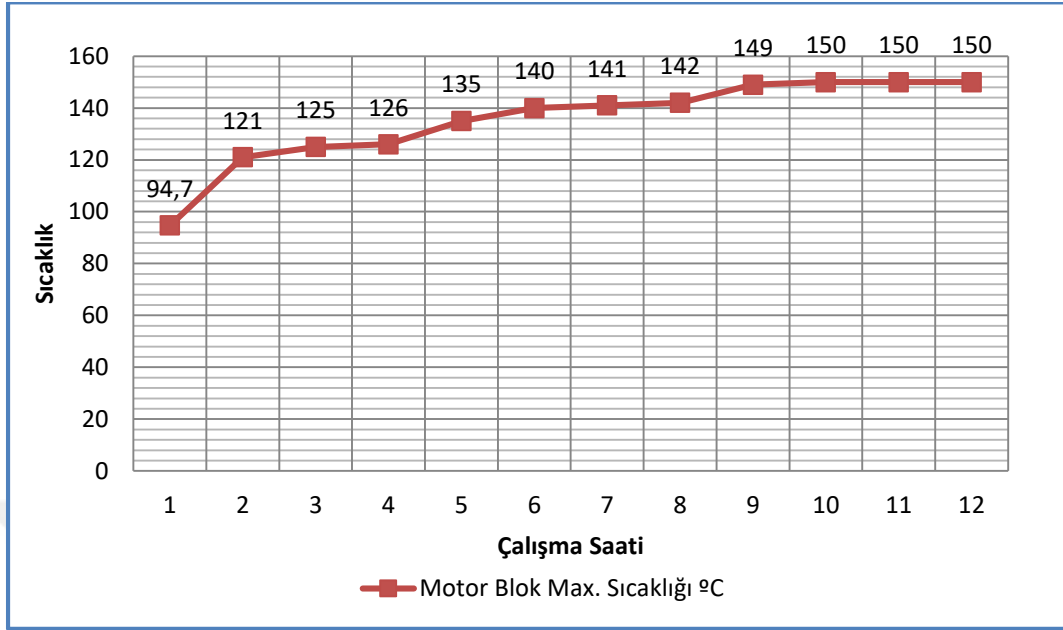
Şekil 6.11. de gösterilen termal kamera çekimleri sabit uzaklıkta fakat değişik kaplama malzemesi için farklı günlerde çekimler yapılmıştır. Bu günlerde, mevsimsel değişiklikler (sıcaklık, rüzgar, güneşlenme vb.) olduğu için termal kamera çekimlerinde sıcaklık farklılıkları gözlemlenmiştir. Çalışmada bu işleme ek olarak motor bloğunun her pistonu için sabit noktadan yüzey sıcaklık ölçüm cihazı değerler alınmış aşağıdaki şekil ve çizelgeler derlenmiştir.



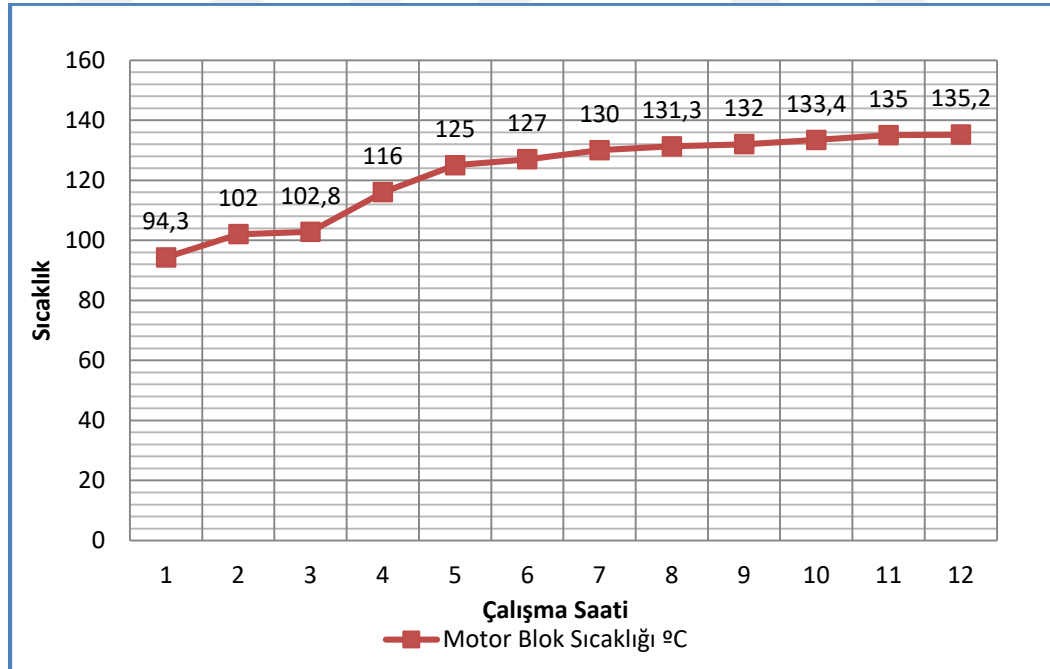
Şekil 6.12. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklıklarının değişimi.



Şekil 6.13. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklıklarının değişimi



Şekil 6.14. ZrO₂ kaplanmış piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklıklarının değişimi.



Şekil 6.15. Kaplamasız piston kullanılan motorun termal kamera ile çekilen blok sıcaklıklarının değişimi.

Deneylerde motor titreşim ve vuruntu gibi olumsuz durumların engellenmesi için motor optimal kararlı çalışma devrine getirilmeye çalışılmıştır. Şekil 6.12., Şekil 6.13., Şekil 6.14., Şekil 6.15. te belirtilen kaplamalı piston ve kaplamasız piston kullanılan motorun sabit devirde sıcaklık değerlerine çalışmaları incelenmiştir. Motor devir değerleri nispeten birbirlerine yakın çıkmış olmasına rağmen yakıt sarfiyatlarında bir miktar değişiklikler gözlemlenmiştir. ZrO_2 kaplamalı piston kullanılan motor kaplamasız piston kullanılan motora göre daha düşük devirde kararlı halde çalışmıştır.

Termal kamera ile yapılan çekimlerde motorun görüntüsünün kamera skalasında bulunan maksimum değerler alınmıştır. Değerler kaplamalı piston ve supaplarda birbirine yakın kaplamasız pistonda sıcaklık düşük çıkmıştır.

Biyodizel yakıtın çevresel etki avantajları olduğu gibi motor yanma odasındaki parçalarda kurum, egzoz emisyonlarındaki azotoksitler (NO_x) gibi kirleticilerde artış olduğunu gösteren literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yüzey sıcaklık ölçüm cihazı ile motor bloğunun sabit bir noktasından sıcaklık ölçümü alınmıştır.



Şekil 6.16. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı subapların biyodizel yakıt çalışmış görüntüsü.



Şekil 6.17. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı subapların biyodizel yakıt ile çalışmış görüntüsü.



Şekil 6.18. Enjektörün biyodizel yakıt ile çalışma sonrası görüntüsü.

Deneylerde biyodizel ile çalışmış motorun yanma odası elemanlarının (subap - silindir kapağı - piston) gözlemsel durumları belirlenmiştir. Şekil 6.16., Şekil 6.17., Şekil 6.18. de görüldüğü gibi biyodizel çalışmış bir dizel motorunun enjektör ucunun ve supap etraflarının çok fazla miktarda kurum ile kaplanmış olduğu görülmüştür.

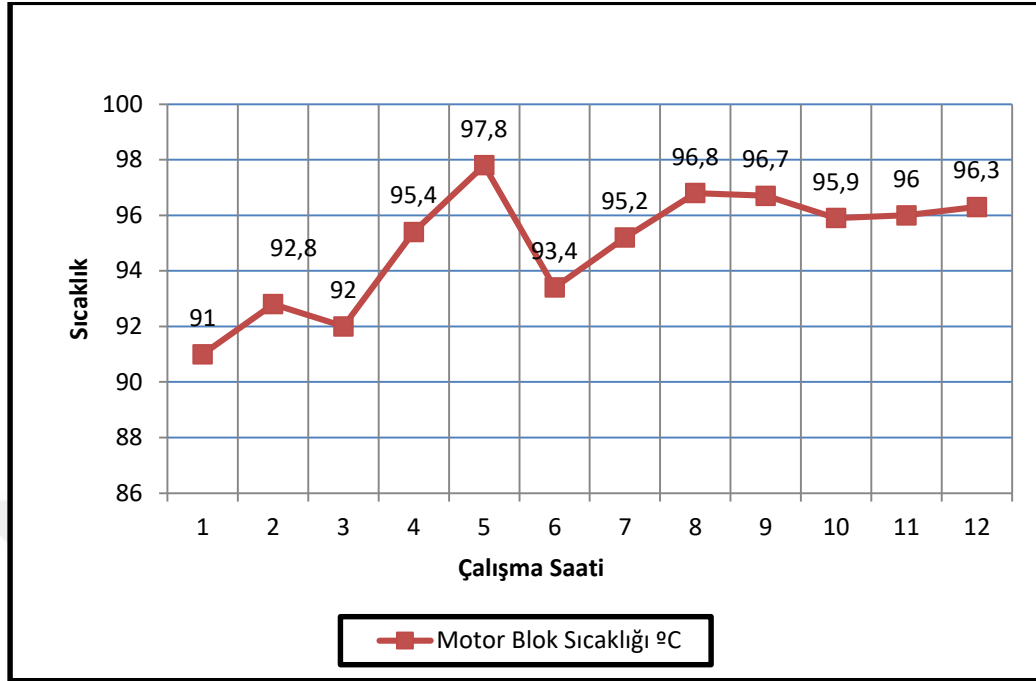
Çalışmanın bu safhasında motor bloğundan sabit bir noktadan yüzey sıcaklık ölçüm cihazı ile saatlik sıcaklık değerleri alınmıştır.



Şekil 6.19. Yüzey sıcaklık ölçüm cihazı ile sıcaklık ölçümü.

Çizelge 6.1. Ni-Al ara bağalyıcılı Al_2O_3 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü ($^{\circ}C$).

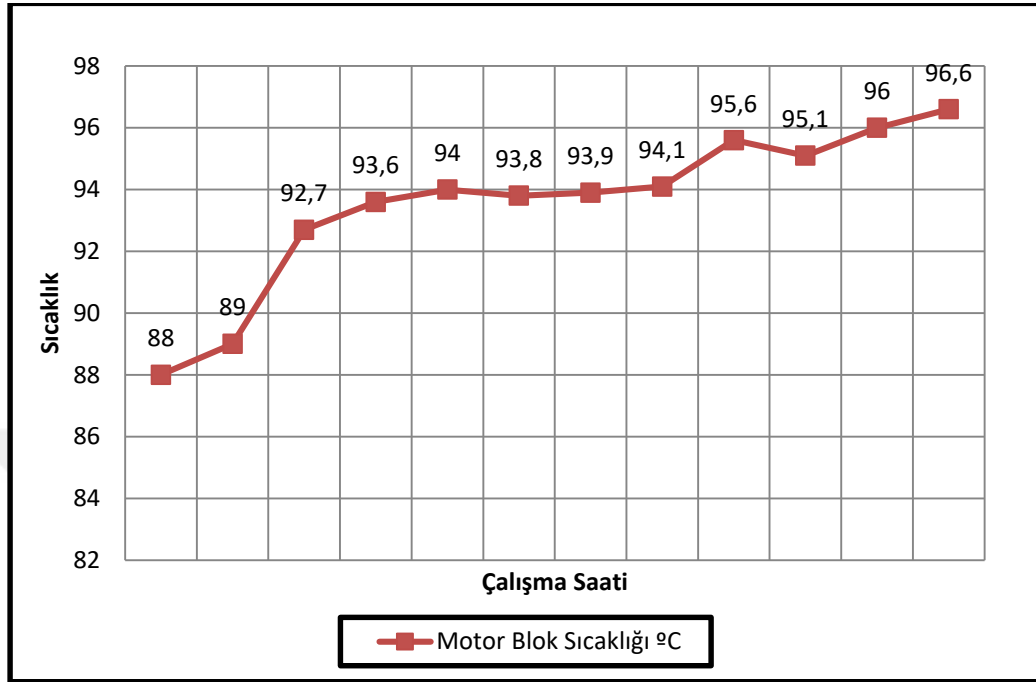
Sıra No	Çalışma Zaman Aralığı (Saat)	Motor Blok Sıcaklığı $^{\circ}C$
1	1	91
2	2	92,8
3	3	92
4	4	95,4
5	5	97,8
6	6	93,4
7	7	95,2
8	8	96,8
9	9	96,7
10	10	95,9
11	11	96
12	12	96,3



Şekil 6.20. Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.

Çizelge 6.2. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü (°C).

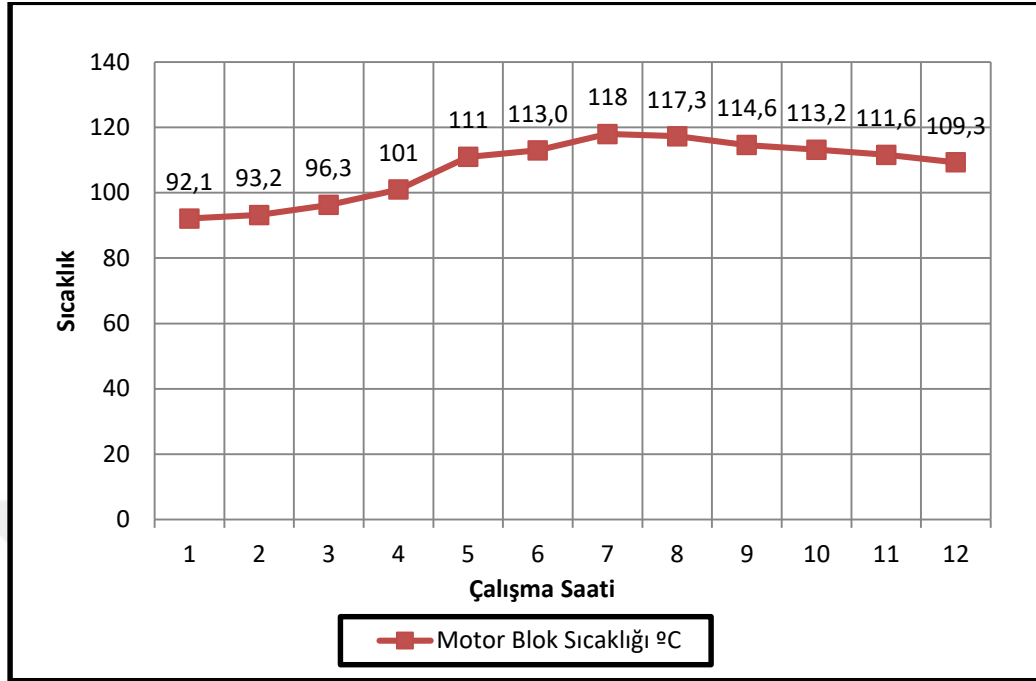
Sıra No	Çalışma Zaman Aralığı (Saat)	Motor Blok Sıcaklığı °C
1	1	88
2	2	89
3	3	92,7
4	4	93,6
5	5	94
6	6	93,8
7	7	93,9
8	8	94,1
9	9	95,6
10	10	95,1
11	11	96
12	12	96,6



Şekil 6.21. Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.

Çizelge 6.3. ZrO_2 kaplamalı Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü (°C).

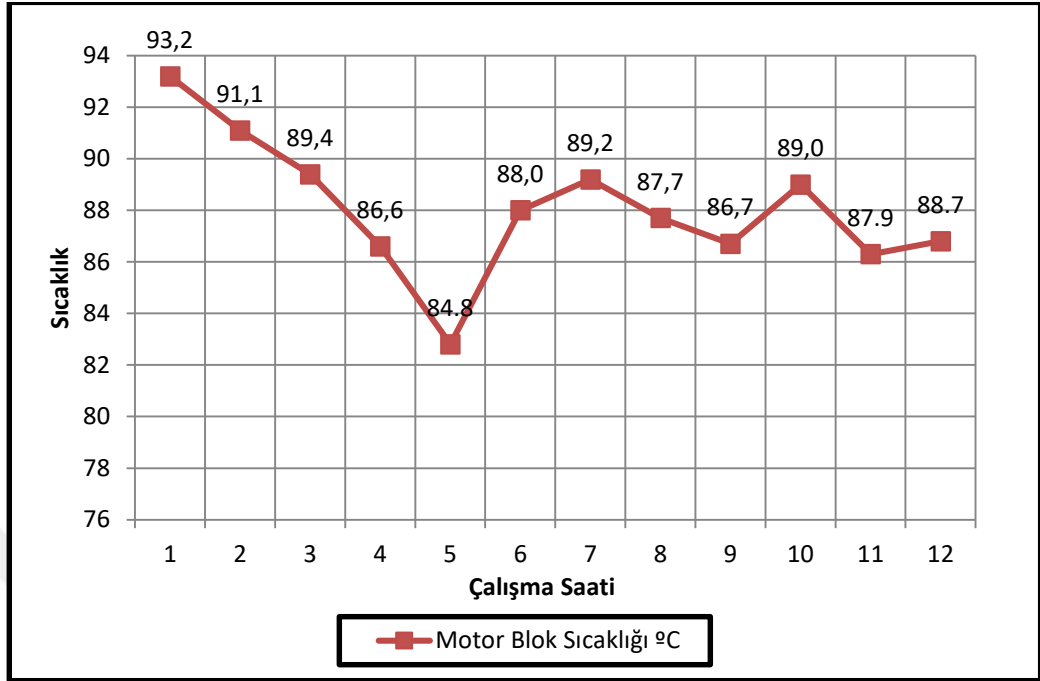
Sıra No	Çalışma Zaman Aralığı (Saat)	Motor Blok Sıcaklığı °C
1	1	92,1
2	2	93,2
3	3	96,3
4	4	101
5	5	111
6	6	113,0
7	7	118
8	8	117,3
9	9	114,6
10	10	113,2
11	11	111,6
12	12	109,3



Şekil 6.22. ZrO₂ kaplamalı pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.

Çizelge 6.4. Kaplamasız Pistonun kullanıldığı motor bloğunun sıcaklık ölçümü (°C).

Sıra No	Çalışma Zaman Aralığı (Saat)	Motor Blok Sıcaklığı °C
1	1	93,2
2	2	91,1
3	3	89,4
4	4	86,6
5	5	84,8
6	6	88
7	7	89,2
8	8	87,7
9	9	86,7
10	10	89
11	11	87,9
12	12	88,7



Şekil 6.23. Kaplamasız pistonun kullanıldığı motorun bloğundan sıcaklık yüzey ölçüm cihazı kullanılarak alınan değerler.

Çizelge 6.1., Çizelge 6.2., Çizelge 6.3., Çizelge 6.4. ve Şekil 6.20., Şekil 6.21., Şekil 6.22., Şekil 6.23. te derlenerek gösterilmiştir.

Çalışmada Termal Kamera ile yapılan çekimleri doğrular derecesinde duyargalı termometre ile yapılan motor bloğu sıcaklık ölçümlerin de sıcaklıkların birbirine yakın değerlerde çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.20., Şekil 6.21.' e baktığımızda Ni-Al ve Ni-Cr ara bağlayıcı Al_2O_3 kaplamanın kullanıldığı motor bloğu sıcaklıklarının hemen hemen aynı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 6.22.' de ise ZrO_2 kaplamanın çalışmada en yüksek motor bloğu sıcaklık değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Kaplamasız piston ise en düşük sıcaklık Şekil 6.23. değerindedir. Ancak motor bloğunun sıcaklık değerleri üzerinde günün mevsimsel şartlarının etkili olduğu unutulmamalıdır.

6.6. ICP Cihazı ile Yapılan Motor Yağı Analiz Sonuçları

Motor karterinden alınan yağ numunelerinin analiz edilmesi ve motorun parçalarının aşınma durumu hakkında bilgiler verdiği için yağ analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.5. ICP cihazı ile yapılan yağ analizi sonuçları.

Analiz Edilecek Parametre (mg/kg)	Zirkonyum Kaplamalı Piston	Ni-CrAra Bağ Al ₂ O ₃ Kap. Piston	Ni-Al Ara Bağ Al ₂ O ₃ Kap. Piston	Kaplamasız Piston
Gümüş (Ag)	5,189	-	-	26,751
Alüminyum (Al)	7,056	-	2,884	9,93
Bor (B)	1,681	0,061	21,707	4,631
Kalsiyum (Ca)	445,616	840,08	312,73	797,213
Kadmiyum (Cd)	1,824	0,925	1,242	1,9343
Krom (Cr)	2,149	1,231	1,508	3,783
Bakır (Cu)	5,258	0,994	2,775	6,007
Demir (Fe)	21,269	20,134	24,692	36,733
Magnezyum (Mg)	-	74,601	46,515	-
Mangan (Mn)	-	-	7,907	-
Molibden (Mo)	-	-	-	-
Sodyum (Na)	30,054	11,803	14,988	17,49
Nikel (Ni)	-	-	-	2,514
Kurşun (Pb)	-	-	-	-
Titanyum (Ti)	-	-	-	-
Vanadyum(V)	-	0,068	0,0788	-
Çinko (Zn)	98,888	333,31	66,013	146,54
Berilyum (Be)	2,317	0,0035	-	2,314
Baryum (Ba)	-	-	21,7	-
Silisyum (Si)	12,7655	9,129	41,068	20,4080

Çizelge 6.5.'de verilen yağ elementel analizlerinde görüldüğü gibi termal kaplamalı pistonla ve subapların bulunduğu motorda krom (Cr) ve demir (Fe) element oranlarının kaplamasız pistonlu motora göre daha az olduğu görülmektedir. Nikel krom (Ni-Cr) ara bağlayıcılı alüminyumoksit (Al₂O₃) kaplamalı pistonlu motorun yağında alüminyum (Al) elementine rastlanılmamıştır. Ayrıca krom (Cr) elementinin diğer kaplamalı ve kaplamasız pistonlu motor yağı değerlerine göre daha az çıktığı görülmüştür. Kalsiyum (Ca) ve çinko (Zn) elementlerinin (Ni-Cr) ara bağlayıcılı alüminyumoksit (Al₂O₃) kaplamalı pistonlu motor yağında diğer numunelere göre yüksek değerler çıkmıştır. Piston yüzeyinden alınan kesitle yapılan EDX analizleri yağ analizini destekler niteliktedir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İçten yanmalı motorlarda biyodizel kullanımı yağlayıcılık özelliği ve motor performansına etkisinden dolayı yoğun olarak araştırılan konulardan birisidir. Bu çalışmadaki amaç, motor parçalarının seramik kaplamalarının parça aşınmasına olan etkisini araştırmaktır. Özellikle %100 biyodizel yakıtı kullanılan bir dizel motorunda piston ve subaplarda termal bariyer (ZrO_2 , Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 , Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3) olarak seramik kaplamalar tercih edilmiştir.

Motor parçalarının kaplanması plazma püskürtme yöntemi kullanılarak farklı seramik kaplamalarının karşılaştırılması olarak tek silindirli bir dizel motor üzerinde deneysel olarak yapılmıştır. Motor belli bir süre çalıştırılarak, termal kamera ile yüzey sıcaklık ölçümü, parçaların yüzey ve kesitene ait SEM/EDX analizleri, ile yağ analizleri incelenmiştir.

Termal kamera ile motor bloğundan yapılan sıcaklık ölçümleri kaplamalı pistonların kullanıldığı motorun bloğunda sıcaklıkların kaplamasız pistonla göre arttığını göstermiştir.

Farklı seramik kaplamalı motorların yağ analizleri değerlendirildiğinde kaplamasız motorun yağ içindeki elementlerinin kaplamalı motora göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kaplamalı parçalara sahip motorlar ise kendi aralarında karşılaştırıldığında; Ni-Cr ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı motorun, Zirkonyum ve Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı motora göre aşınma elementlerinin daha az olduğu tespit edilmiştir. Yağ analizleri pistonların ve subapların seramik malzeme ile kaplamasının aşınma direnci üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermiştir.

Kaplamalı pistonlara ait SEM, EDX ve motor yağı (ICP) analizleri incelendiğinde; Nikel-Krom (Ni -Cr) ara bağlayıcılı alüminyumoksit (Al_2O_3) kaplamanın alüminyum (Al), demir (Fe), krom (Cr) gibi aşınma sonucu ortaya çıkan elementlerin diğer kaplamalı pistonlara göre az miktarda olduğu görülmüştür. Nikel krom (Ni -Cr) ara bağlayıcılı alüminyumoksit (Al_2O_3) kaplamanın diğer kaplamalara göre yüzeyde daha iyi bir mekanik tutunmasının olduğu görülmektedir.

Ni-Al ara bağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı parçalara sahip motorların ise kaplamasız parçalara sahip motora göre aşınma açısından daha dirençli oldukları fakat ZrO_2 ve Ni-Cr arabağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı parçalara sahip motorlara göre daha zayıf dirençli oldukları deneysel çalışmalarda görülmüştür. Ni-Al arabağlayıcılı Al_2O_3 kaplamalı piston ile çalışan motorun yağ analiz değerlerinde elde edilen sonuçlar kaplamanın istenilen düzeyde olmadığını

göstermektedir. Kaplamasız piston ile çalışan motorda SEM/EDX analizlerinde ciddi manada bir aşınmanın olduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak %100 biyodizel yakıtlı bir dizel motorda piston ve subap kaplamasının aşınma direncine olumlu bir katkı sağlayacağı belirlenmiştir. İleriki çalışmalarda da motor parçalarının seramik kaplanması farklı karışım oranlarındaki biyodizel uygulamalarının; motor performans etkilerine olan ilgileri seramik kaplama ile birlikte yapılması önerilmektedir. Bu kapsamda optimum motor performansının belirlenmesi için; biyodizel çeşidinden - karışım oranına, kaplama yönteminden - kaplama kalınlığına kadar bir çok parameterinin birlikte irdelenmesi faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Albayrak, S. (2014). Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorunun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Avcı, A. (2009). Bir kargo firmasına ait 6 adet dizel aracın optimum yağ değişim süreçlerinin ekonomik etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Büyükkaya, E. (1994). Bir dizel motorunda seramik kaplama uygulamaları ve performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İşcan, B. (2016). Application of ceramic coating for improving the usage of cottonseed oil in a diesel engine. Journal of the Energy Institute, 89(1), 150-157.
- Canvar, U. (2011). Dizel motor pistonunun sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal ve termal analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ma, C., Cheng D., Zhu, X., Yan, Z., Fu, J., Yu, J., Liu, Z., Yu, G., ve Zheng, S. (2018). Investigation of a self-lubricating coating for diesel engine pistons, as produced by combined microarc oxidation and electrophoresis. Wear, 394/395, 109-112.
- Cesur, İ. (2016). Termal bariyer kaplı bir buji ateşlemeli motora su enjeksiyonunun motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkilerinin incelenmesi. Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(13), 31-40.
- Çakır, U. (2007). Seramik kaplı bir dizel motor yanma odasının termal analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çelik, H.A. (1991). Bir dizel motorda seramik kaplamanın performansa etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çevik, İ. (1992). Zirkonya esaslı seramik kaplamanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Evcin, A., Kepekçi, D.B., Barut İ. (2009). Hidroksiapatit tozlarının plazma sprey yöntemiyle paslanmaz çelik üzerine kaplanması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- Gürbüz, H., Gökkaya, H. (2014). Termal bariyer kaplamanın motor yakıt sarfiyatı egzoz sıcaklığı ve emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 15-19.
- Gürbüz, Ö. (2013). Piston ve supapları ZrO₂ kaplanmış bir dizel motorunda bitkisel yağın kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Haşımoğlu, C. (2005). Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Hazar, H., Öztürk, U. (2009). Bir dizel motorda Al_2O_3 - TiO_2 kaplanmış piston ve supapların yüzey mikroyapılarının incelenmesi. Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(1), 11-16.

Hazar, H., Öztürk, U. (2009). Fındık yağı ve D2 yakıtı karışımının performans ve emisyonuna seramik kaplamanın etkileri. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu , 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

Hazar, H., Şap, S., Şap E. (2017). Bir dizel motorda dışı plazma sprey yöntemiyle Cr_3C_2 kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi, Tr. Doğa ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(1), 11-17.

<http://www.albiobir.org.tr>.

<https://www.anadolumotor.com/antor-3-ld-510>

İşler, A., Karaosmanoğlu F. (2007), Yakıt alkölü: Mevcut durumu ve geleceği. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu, 12 -13 Aralık 2007, 123-132, Ankara.

Kafadar, B.A. (2010). Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Kaleli, H., ve Yavaşlıol, İ. (1997). Oil ageing-drain period in a petrol engine. Industrial Lubrication and Tribology, 49, 120-126.

Kara, F. (2007). Hatz E-673 marka yükleme düzenekli dizel motorunda (Megapower Mp-3 System) biyodizel'in kullanılması, performans testleri ve motorine göre kıyaslayarak yağlama yağına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, İstanbul.

Karthikayana S., Ganesan S., Vasanthakumar P., Sankaranarayanan G., ve Dinakare M.. (2017). Innovative research trends in the application of thermal barrier metal coating in internal combustion engines. Materialstoday Proceeding, 4(8), 9004-9012.

Kaya, Ö.,A., Çakır, K., Bozkurt, Y. (2017). Plazma püskürtme yöntemiyle çelik levha üzerine farklı alaşımların kaplanması", Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9(3), 36-42.

Koç, M. (2011). Biyodizel üretimine uygun türkiye'de yetişen ve yetiştirebilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koç, Ö. (2010), Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motora etkilerinin dizel yakıtı ile deneysel karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Köse R., Urtekin L., Ceylan A., Salman S., ve Fındık F.. (2005). Three types of ceramic coating applicability in automotive industry for wear resistance purpose. *Industrial Lubrication and Tribology*, 57(4), 140-144.

Müjdeci, S. (2009). İçten yanmalı motorda ticari yağ katkı maddelerinin sürtünme, aşınma ve motor performansına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öğüt H., Oğuz, H. (2006). Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 75 -136.

Örs, A. (2016). Biyodizel bütanol karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Karabük.

Özel, S. (2013). Yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan ısı püskürtme yöntemleri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 88-97.

Öztürk, U. (2010). Seramik kaplanmış bir dizel motorunda biyodizel kullanımının deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

He, P.F., Ma, G.Z., Wang, H.D., Yong, Q.S., Chen, S.Y., ve Xu, B.S. (2016). Tribological behaviors of internal plasma sprayed TiO₂-based ceramic coating on engine cylinder under lubricated conditions. *Tribology International*, 102, 407-418.

Raghavendra P.M., Krishnamurthy K.N., ve Akashdeep B.N. (2014). Performance and emission characteristics of Zirconia coating on I. C. engine using callophyllum biodiesel as a fuel for varying injection pressure. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 3(4), 113- 121.

Salman S., Köse R., Urtekin L., ve Fındık F.. (2006). An investigation of different ceramic coating thermal properties. *Materials and Design*, 27 (2006), 585–590.

Uluengin, M.B. (2007). Sizde Evinizde Biyodizel Üretebilirsiniz. Birsen Yayınevi Ltd. Şti, İstanbul. 12.

Urtekin, L. (2001). Otomotivde kullanılan dökme demirler ve aınma dirençlerinin artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Üstel, F., Yüksek, E., Altuncu, E. (2006). Plazma sprej kaplama uygulamaları ve teknolojik uygulamaları", *Galvanoteknik Dergisi*, 2006(6), 44-49.

Vural, E., Özel, S., Özdalyan B. (2015). Piston malzemesi (AlSi₁₂CuNi) yüzeyine uygulanmış oksit kaplamaların termal şok deneylerinin incelenmesi. *Bitlis Erenoğlu Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 83-92.

Yaşar, F. (2016). Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yaşar, H. (1997). Termal bariyer kaplamanın turbo doldurmalı bir dizel motorunun performansına etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yeşildal, R., Günay, Y.Z. (2007). Plazma sprej yöntemi ile kaplama ve sprej karakteristiklerinin incelenmesi. DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1), 59-76.

Yılmaz, İ.T. (2015). Düşük ısı kayıplı bir dizel motorda çift yakıtlı (Biyodizel - Dizel) kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

