

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORDA ÜST ÖLÜ NOKTADA MEYDANA GELEN
AŞINMA MEKANİZMALARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

SELMAN DEMİRTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HAKAN KALELİ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI MOTORDA ÜST ÖLÜ NOKTADA MEYDANA GELEN
AŞINMA MEKANİZMALARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Selman DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 06.02.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hakan KALELİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hakan KALELİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Levent YÜKSEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. O. Akın KUTLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu tez 2510 – TÜBİTAK (Türkiye) - MHESR (Tunus) ikili işbirliği uluslararası proje çerçevesinde kabul edilen “İçten Yanmalı Motorlarda Aşınma ve Sürtünmenin Azaltılması için Segmanların Yeni Geliştirilmiş Grafen Kaplama Yöntemi ile İncelenmesi” başlıklı 114M833 Nolu TÜBİTAK proje desteği ile hazırlanmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmada, Honda GX 270 motorunu 75 saat boyunca çalıştırıp üst ölü noktada meydana gelen aşınma mekanizmalarını S.E.M., EDX ve A.F.M. yardımıyla detaylı şekilde inceledim.

Bu çalışmamda benden desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Sayın Hakan KALELİ'ye, testler esnasında yardımcı olan ve engin tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Sayın Levent YÜKSEK'e teşekkür ederim.

Şubat, 2017

Selman DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
AŞINMA	7
2.1 Aşınma	7
2.1.1 Adhezyon Aşınması	8
2.1.2 Kazıma Aşınması (Scuffing)	9
2.1.3 Abrasyon Aşınması.....	10
2.1.4 Erozyon aşınması	11
2.1.5 Yorulma Aşınması	12
2.1.6 Korozyon Aşınması.....	13
2.1.7 Difüzyon Aşınması.....	15
2.1.8 Fretting (Kazımalı) Aşınma	15
2.1.9 Bore Polishing (Cidar Parlatma) Aşınması.....	15
2.1.10 Delaminasyon (Katman Ayırma) Aşınması.....	17

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
3.1 Motor Deneyleri Test Düzenegi	18
3.2 Testlerde Kullanılan Donanımlar Ve Özellikleri	19
3.2.1 Deney Motoru	19
3.2.2 Dinamometre	20
3.2.3 Takometre	21
3.2.6 Loadcell (Yük hücresi)	22
3.3 Deney Öncesi Yapılan İşlemler	24
3.3.1 Segman Kaplamalarının Kaldırılması	24
3.3.2 Deney Motoru Silindirinin Optik İncelemesi	30
3.3.3 Nitrürleme İşlemi	31
3.3.4 Motor Rodajı	35
3.3.5 Performans Testi	35
3.3.6 Motor Ömür Testleri	36
3.4 Motor Deneyleri	37
3.4.1 Kaplamasız Segman (Kaplama Asit Yoluyla Kaldırılmış Segman) ile Yapılan Motor Testi (75h)	37
3.4.1.1 Kaplaması Kaldırılmış 2. Segmana Ait Yüzey Analizleri	37
3.4.1.2 Kaplaması Kaldırılmış 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri	41
3.4.2 Çinkofosfat Kaplı Segman ile Yapılan Motor Testi (75h)	47
3.4.2.1 Çinkofosfat Kaplı 2. Segman Yüzey Analizleri	47
3.4.2.2 Çinkofosfat Kaplı 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri	50
3.4.3 Grafen Nanopartiküllerin (TEGO Grade-1) Shell Helix Ultra 5W-40 Tam Sentetik Ticari Motor Yağına Katılması ile Yapılan Motor Testi (75h)	53
3.4.3.1 Grafen Nanopartiküllü (TEGO Grade-1) Yağ İçeren Motordaki 2. Segman Yüzey Analizleri	53
3.4.3.2 Grafen Nanopartiküllü (TEGO Grade-1) Yağ İçeren Motordaki 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri	56
3.4.4 Nitrürlenmiş Segman ile Yapılan Motor Testi (75h)	59
3.4.4.1 Nitrürlenmiş 2. Segman Yüzey Analizleri	59
3.4.4.2 Nitrürlenmiş 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri	62

BÖLÜM 4

TARTIŞMA ve SONUÇLAR	66
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGE LİSTESİ

BG	Beygir gücü
F	Kayma kuvveti
fm	Femtometre
nm	Nanometre
Ra	Roughness Average
Rm, Rv	Maximum Profile Valley Depth
Rp	Maximum Profile Peak Height
Rq	Root Mean Square (RMS) Roughness
Ry	Maximum Height of the Profile
W	Yüzeğe uygulanan yük
μ	Sürtünme katsayısı
μm	Mikrometre

KISALTMA LİSTESİ

A.Ö.N.	Alt Ölü Nokta
A.F.M.	Atomic-Force Microscope
ASTM	American Society for Testing Materials
B.C.C.	Body-Centered Cubic
E.D.X	Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy
F.C.C.	Face-Centered Cubic
ISO	International Organization for Standardization
S.E.M.	Scanning Electron Microscope
TEGO	Termal Olarak Sıyırılmış Grafen Oksit
Ü.Ö.N.	Üst Ölü Nokta

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Adhezif aşınma; (a) kaymaya başlamadan önce yüzeylerin birbirine yapışması (b) kayma sonrası yüzeyde oluşan yapışmadan sonra meydana gelen plastik deformasyon sonucu malzeme kaybı [13].....	8
Şekil 2.2 Adhezif aşınma S.E.M. fotoğrafları [14].....	9
Şekil 2.3 Scuffing S.E.M. fotoğrafları [16], [17]	10
Şekil 2.4 (a) iki elemanlı ve (b) üç elemanlı abrazif aşınma oluşum şekilleri [19]	10
Şekil 2.5 Abrasif aşınma S.E.M. fotoğrafları [20], [21]	11
Şekil 2.6 Erozyon aşınması [23].....	12
Şekil 2.7 Belirli bir çevrim altındaki bir yüzeyde meydana gelen çatlak oluşumları [11]	13
Şekil 2.8 Yorulma aşınması S.E.M. fotoğrafları [26].....	13
Şekil 2.9 Tribo Oksidasyon Aşınması [29]	14
Şekil 2.10 Korozyon aşınması S.E.M. fotoğrafı [30]	14
Şekil 2.11 Bore polishing aşınması [31]	16
Şekil 2.12 Bore polishing S.E.M. fotoğrafları [16], [32].....	16
Şekil 2.13 Motorda meydana gelen delaminasyon [34]	17
Şekil 3.1 Motor test düzeneğinin genel çizimi	18
Şekil 3.2 Motor test düzeneği	19
Şekil 3.3 Tek silindirli Honda GX-270 deney motoru	19
Şekil 3.4 FEMSAN dinamometre	21
Şekil 3.5 EMKO ERM-3770 dijital takometre	21
Şekil 3.6 Loadcell (S Tipi).....	22
Şekil 3.7 Grafen nanopartikülün üretim aşamaları.....	23
Şekil 3.8 Spiral yapı S.E.M. görüntüsü	24
Şekil 3.9 TEGO Grade-1'in Raman Spektroskopisi	24
Şekil 3.10 (a) ZnP kaplı segman, (b) Ba kaplı segman ve (c) ZnP kaplaması kaldırılmış segman.....	25
Şekil 3.11 ZnP (çinko fosfat kaplı 2. segman) (a) Optik mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M. ve (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	25
Şekil 3.12 ZnP kaplamalı segmanın A.F.M. analizinin; a) üstten görünüşü b) yandan görünüşü c) topografya haritası.....	26
Şekil 3.13 Ba (baryum) kaplı 2. segman (a) Optik mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M. ve (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	27

Şekil 3.14 Çinko fosfat kaplaması (veya magnezyum alaşımlı Baryum (Ba) kaplaması) asit yöntemiyle kaldırılmış 2. yağ segmanı; (a) Optik Mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M, (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.	28
Şekil 3.15 Kaplamasız segmanın A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	29
Şekil 3.16 Honda GX-270 motoruna ait silindir kesimi sonrası yüzey analizleri; (a) Optik Mikroskop, (b) ve (c) S.E.M., (d) ve (e) X-Ray analizi, (f) ve (g) 3D yüzey topografyası ve pürüzlülüğü.	30
Şekil 3.17 (a) Kaplaması kaldırılmış 2. segman (b), kaplaması kaldırılmış 2. segmanın nitrürle kaplanmış hali	31
Şekil 3.18 Nitrürleme aşamaları.....	31
Şekil 3.19 Nitrürle kaplanmış 2. segmanın; (a) Optik Mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M, (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	33
Şekil 3.20 Nitrürlü segmanın A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	34
Şekil 3.21 Honda GX-270 motoru performans testi eğrileri	36
Şekil 3.22 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M, (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	37
Şekil 3.23 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası	39
Şekil 3.24 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası yüzeyde oluşan “pitting” teşekkülü; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d) X-Ray analizi	39
Şekil 3.25 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizlerinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası	40
Şekil 3.26 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi	41
Şekil 3.27 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN’nin 3D yüzey topografyası	43
Şekil 3.28 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN’nin; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	44
Şekil 3.29 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN’nin 3D yüzey topografyası.....	45
Şekil 3.30 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası	46
Şekil 3.31 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi.....	47
Şekil 3.32 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası	48

Şekil 3.33 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	49
Şekil 3.34 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi	50
Şekil 3.35 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası	51
Şekil 3.36 ZnP kaplı 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	52
Şekil 3.37 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi.	53
Şekil 3.38 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası.....	54
Şekil 3.39 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası	55
Şekil 3.40 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ içeren motordaki 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.	56
Şekil 3.41 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ içeren motordaki 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası.....	58
Şekil 3.42 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası	58
Şekil 3.43 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi	59
Şekil 3.44 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası sonrası 3D yüzey topografyası	61
Şekil 3.45 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	61
Şekil 3.46 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.....	62
Şekil 3.47 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası	64
Şekil 3.48 Nitrülenmiş 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Honda GX-270 motorunun genel özellikleri	20
Çizelge 3.2 Shell Helix Ultra 5W-40 Tam sentetik ticari motor yağı özellikleri	22
Çizelge 3.3 ZnP kaplamalı segmanın pürüzlülük değerleri	26
Çizelge 3.4 Kaplamasız segmanın pürüzlülük değerleri	29
Çizelge 3.5 Fe-N sisteminin aşamaları	32
Çizelge 3.6 Nitrürlü segmanın pürüzlülük değerleri	34
Çizelge 3.7 Şekil 3.18'deki X-Ray analizi verileri	37
Çizelge 3.8 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizlerinin pürüzlülük değerleri	40
Çizelge 3.9 Şekil 3.22'deki X-Ray analizi verileri	42
Çizelge 3.10 Şekil 3.24'deki X-Ray analizi verileri	45
Çizelge 3.11 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	46
Çizelge 3.12 Şekil 3.27'deki X-Ray analizi verileri	48
Çizelge 3.13 ZnP kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	49
Çizelge 3.14 Şekil 3.30'deki X-Ray analizi verileri	51
Çizelge 3.15 ZnP kaplı 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	52
Çizelge 3.16 Şekil 3.33'deki X-Ray analizi verileri	54
Çizelge 3.17 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	55
Çizelge 3.18 Şekil 3.36'deki X-Ray analizi verileri	57
Çizelge 3.19 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	59
Çizelge 3.20 Şekil 3.39'deki X-Ray analizi verileri	60
Çizelge 3.21 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	62
Çizelge 3.22 Şekil 3.42'deki X-Ray analizi verileri	63
Çizelge 3.23 Nitrülenmiş 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri	65

İÇTEN YANMALI MOTORDA ÜST ÖLÜ NOKTADA MEYDANA GELEN AŞINMA MEKANİZMALARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Selman DEMİRTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan KALELİ

Aşınma, birbiriyle temas halinde olan elemanlar arasında sürtünme nedeni ile oluşan malzeme kaybı veya yüzey değişikliğidir. Yapılan araştırmalara göre günümüzde makine hasarlarının %70'i aşınma kaynaklıdır. Bu bağlamda, aşınma ileri derecede zararlı olup malzeme kaybı içerir ve yüzeyler arasındaki temasa bağlı olarak yüzeylerde meydana gelir. Bu yüzden aşınma daima önlenmelidir.

Aşınma türleri genel olarak adhezif aşınma, abrazyon aşınma, yorulma aşınması ve korozyon aşınma olarak gruplanabilir. Motorun çalışması boyunca farklı aşınma mekanizmaları meydana gelebilir. Literatür çalışmalarına göre özellikle silindir ve segmanda meydana gelen aşınma mekanizmaları, abrazyon, adhezif, scuffing (kazıma aşınması), korozyon, bore polishing (cidar parlatma) ve delaminasyon (katman ayırma)'dır. Motorlardaki en kritik tribolojik alanlardan biri de silindir-segman çiftinde meydana gelen aşınmalardır. Silindir-segman aşınmasının içten yanmalı motorlarda dayanıklılık, performans, emisyon ve yakıt ekonomisi konularında temel rol aldığı bilinmektedir.

Motor silindirinde meydana gelen aşınma, en üst seviyesine birinci kompresyon segmanın alt yüzeyinde ulaşır. Segman hareketine bağlı olarak üst ölü noktada meydana gelen aşınma; yüksek temas basıncı, düşük kayma hızına bağlı zayıf yağ filmi ve yüksek gaz basıncı nedeniyle oldukça yüksektir.

Bu tezin amacı, 75 saat boyunca çalıştırılan tek silindirli, benzinli, ticari motor yağı kullanılan Honda GX 270 motoruna ait (kaplamalı ve kaplamasız) çeşitli segmanlar ile yapılan testlerde segman ve silindir Üst Ölü Noktasında meydana gelen aşınma mekanizmalarının tespit edilmesidir. Testler sonucunda segman ve silindir uygun ölçülerde yüzeye zarar vermeden kuru kesim yöntemiyle kesilerek sürtünen yüzeylerde mikro ve nano analizler yapılarak literatüre uygun şekilde değişik aşınma mekanizmaları ve yüzeyde oluşan koruyucu katkı maddeleri tabakaları araştırılmıştır.

Üst ölü noktalardan alınan kesitlerin optik mikroskop, S.E.M., EDX ve A.F.M. analizleri daha önceden yapılan literatür araştırmalarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde üst ölü noktada meydana gelen aşınma türü belirlenip, kaplamalı segmanın aşınmayı önlemedeki rolü irdelenmiştir.

Deneyler sonucunda motor silindiri yüzeylerinde sadece üst ölü nokta civarında oldukça yoğun katkı maddelerine rastlanılırken, bu durum segmanın sürtünen yüzeylerinde oluşmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma mekanizmaları, üst ölü nokta, S.E.M., EDX, A.F.M.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE WEAR MECHANISMS AT TOP DEAD CENTER IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Selman DEMİRTAŞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hakan KALELİ

The conceptual definition of wear is expressed as the removal (or displacement) of material from one body when subjected to contact and relative motion with another body.

The main reason of approximately 70% of the machine parts that becomes unusable is due to wear. So, wear is progressive damage, involving material loss, occurs on the surface as a result of relative motion between the surfaces. Therefore, it is tried to be prevented all over the time.

The most common wear types at the industry can be listed as adhesive, abrasive, corrosive and fatigue wear. Different wear mechanisms occur during engine operation. According to the literature survey; especially, wear in the cylinder bore and on the piston ring is caused by abrasion, adhesion, scuffing, corrosion, bore polishing and delamination. One of the most critical tribological areas in an engine is the cylinder-ring interface. Cylinder-ring wear has been known to play a major role in internal combustion engine durability, performance, emissions and fuel economy. Wear in an engine cylinder liner reaches its maximum at the top ring reversal point. Wear at the top dead center (TDC) of the piston ring travel is heavy because of the high contact pressure, the thin lubricant film due to the low sliding velocity and high gas temperature.

The aim of this thesis is to present wear mechanisms occurred on the surface of diverse piston rings (even coated and uncoated) and cylinder liner using single cylinder spark ignition Honda GX 270 test engine for 75 hours using commercial lubricating oil. Accommodating and confirming to literature survey, protective additives layer and different wear mechanisms were identified using micro and nano analysis.

EDX, A.F.M. analysis of the parts from TDC have been compared with literature surveys. Wear mechanisms at the TDC has been detected according to these compares and the role of the coated piston ring on preventing the wear has been examined.

Additive layers were only detected at the TDC of cylinder liner of engine tests. Any additive protective layers were detected on the piston ring of engine tests.

Keywords: Wear Mechanisms, Top Dead Center, S.E.M., EDX, A.F.M..

1.1 Literatür Özeti

Ma vd. [1] yaptıkları bu çalışmada silindir gömleği aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü tek silindirli, hava soğutmalı, benzinli bir motorun rodajda çalıştırılması ile elde etmiştir. Ek olarak, motorun anlık sürtünme torku belirlenip, aşınma oranı ve yüzey pürüzlülüğüyle ilişkisi irdelenmiştir. Sürtünme, gömlek yüzey pürüzlülüğü ve aşınma rodajın ilk safhasında en büyük değerine ulaşmıştır. Aşınma oranı, ilk bir saat boyunca ani bir şekilde düşmüş sonrasında ise daha düşük bir oranda sabit kalmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve sürtünmenin sabit bir değere ulaşması aşınmaya oranla daha uzun sürmüştür. Sürtünmedeki değişimler üç farklı biçimde olmuştur. İlki bir saat sürmüştür ve bu süre zarfında aşınma oranında keskin; sürtünmede ise küçük bir düşüş olmuştur. İkincisi ise üçüncü kısma geçiş safhasıdır ve 2,5 saat sürmüştür. Üçüncü aşama ise son 20 saati kapsar ve bu safhada hem pürüzlülükte hem de sürtünmede bir düşüş meydana gelir. Aşınma çok fazla değişime uğramaz. Üçüncü safhadan sonra sürtünme ve yüzey pürüzlülüğü sabit oranda değişir. Toplam test 28 saat sürmüştür. Aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme arasındaki ilişki, tüm test boyunca sürtünmenin yüzey pürüzlülüğünün lineer bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Ma vd. [2] çalışmalarında rodaj boyunca meydana gelen aşınma mekanizmaları ve yüzey özelliklerindeki değişimi incelenmek istemiştir. Testlerde kullanılan motor dört stroklu, yüksek hızlı, tek silindirli, hava soğutmalı benzinli bir motordur. Motor yağ sıcaklığı 85 °C'dir. Kullanılan yağ 10W-30'dur. Silindir gömleği dökme demirden yapılmış olup

kompresyon segmanı ise krom kaplıdır. Testler 28 saat sürmüş olup test boyunca motor hızı 1600 d/d'dan 3000 d/d'ya, yük ise %10'dan %100 tam yüke çıkarılmıştır.

Bu çalışmada kompresyon segmanı üst ölü noktadayken silindir gömleğindeki karşıt bölgesine aşınma algılayıcı yerleştirilmiştir. Bu algılayıcı tamamen silindir gömleği ile aynı malzemeden yapılmış olup silindir çapının ölçülerini bozmayacak şekilde monte edilmiştir.

Rodaj safhasında gerçekleştirilen deneyler bittikten sonra aşınma algılayıcısı S.E.M. ve optik mikroskopla incelenmiş ve şu sonuçlara ulaşılmıştır: Ü.Ö.N'da rodaj boyunca meydana gelen temel aşınma mekanizması abrazif aşınmadır. Abrazif aşınmanın honlama çizgilerini aşındırması sebebiyle yüzey "cılalanmış" gibi görünmektedir. Yüzey boyunca birçok aşınma çizgisi görülmüştür. Bu çizgilerin çoğu piston hareketiyle aynı yöndedir. Honlama çizgileri ve abrazif aşınma çizgileri üzerinde birçok plastik deformasyon noktası görülmüştür. Bu noktalar honlama çizgilerinden çok abrazif aşınma izleri üzerinde görülmüştür. Bu durum, lokal yüksek sıcaklıklara aşınma çizgilerinin çizilmeyi gerçekleştirdiği esnada ulaşılmasıyla açıklanabilir.

Honlama yarıkları, aşınma prosesinde karışık bir fonksiyon üstlenmiştir. Aşınma partikülleri için depo vazifesi görüp aşınmayı önleyebildikleri gibi, aşınma partiküllerinin yarıkları terketmesiyle uçlarında aşınmaya da yol açabilir.

Sreenath ve Venkatesh [3] bu çalışmalarında, dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı ve yüksek hızlı dizel motorda aşınma testleri gerçekleştirmişlerdir. İstenen değerleri ölçebilmek için motor uzun süre çalıştırılmıştır. Tüm çalışmalar sabit hız, sabit yük, sabit gömlek sıcaklığı, sabit yağlama yağ sıcaklığı vs. ile gerçekleştirilmiştir. Tüm testler sonunda aşınma; ağırlık değişimi veya lineer boyut değişim yöntemi ile ölçülmüştür. Bu çalışmada, krank mili yağı olarak maden yağı veya katkı maddeli yağ kullanılmasına rağmen segman aşınmasının ortalama efektif basınç ile lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir. Fakat katkı maddeli yağ kullanıldığında aşınma oranı daha düşüktür. Ayrıca kompresyon segmandaki aşınmanın diğer segmanlara oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, kompresyonun segmanın maksimum gaz basıncına ve maksimum sıcaklığa maruz kalmasıdır.

Çalışmada değişken yükün, sabit tam yükte çalışmaya oranla segmanlara daha zararlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu, çevrim sıcaklıklarının düşük olması ve bu durumun silindirdeki asidik buharların yoğunlaşmasına olumlu olarak katkıda bulunması sebebiyle kısmi yükte çalışırken artış gösteren korozyon aşınmadan kaynaklanmaktadır.

Biyel yatağı aşınması ilk olarak ortalama efektif basıncın artmasıyla artar fakat belirli bir limite ulaşıncaya azalır. Biyel yatağı aşınması yağ kalitesinin artmasıyla azalma göstermiştir.

Papadopoulos vd. [4] bu çalışmada gerçek bir motordan kesilen segman ve gömlek numunelerini kullanarak hafif ve şiddetli aşınma mekanizmalarını incelemiştir. Çalışma yüksek frekanslı Plint TE77 sürtünme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Metrolojik analizler profilometre, metalurjik analizler ise JOEL JSM-6400 S.E.M. kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada eski ve artık kullanılmayan bir kaplama çeşidi olan molibden kaplı küresel grafitli dökme demir ve nispeten daha yeni olan Federal Mogul CKS-36TM kompresyon segmanlar gri dökme demir silindir gömlekleri ile test edilmiştir. Testler 90 °C ve 140 °C yağ sıcaklıkları, 3,9 MPa ve 6,5 MPa basınç ve iki farklı yağlayıcı (SAE 0W20 ve SAE 15W40) kullanılarak yapılmıştır. Aşınmaya ek olarak, karışık ve sınır yağlama arasındaki geçişleri görmek amacıyla tüm segman-silindir gömleği çiftleri için sürtünme katsayıları tespit edilmiştir.

Testler sonucunda Federal Mogul segmanların Mo kaplı segmanlara göre aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, Federal Mogul segmanın yüzey pürüzlülüğünün düşük ve sertliğinin yüksek olması ile açıklanabilir. Molibden kaplı segmanla yapılan testlerde silindir gömleğindeki en baskın olan aşınma türü abrazyon aşınma olarak gözlemlenmiştir. Gözlemlenen abrazyon aşınma izlerinin çoğu piston segman hareketinin yönüyle aynı yöndedir. Honlama çizgileri ve abrazyon aşınma çizgileri üzerinde birçok plastik deformasyon noktası görülmüştür. Bu noktalar honlama çizgilerinden çok abrazyon aşınma izleri üzerinde görülmüştür. Bu durum, lokal yüksek sıcaklıklara aşınma çizgilerinin çizilmeyi gerçekleştirdiği esnada ulaşılmasıyla açıklanabilir. Hiçbir segmanda plastik deformasyon veya abrazyon aşınması gözlemlenememiştir. Sadece Mo kaplı segman çatlama belirtisi göstermiştir.

Shuster vd. [5] çalışmalarında, motorda ve test düzeneğinde denenmiş, sert ve yumuşak silindirler ile farklı malzemelerle kaplanmış piston kaplamalarının sürtünmesi sonucu oluşan aşınmaları incelemiştir.

Detaylı metalurjik analizler, çeşitli piston kaplamaları ve demir silindir gömlekleri arasındaki yağlama mekanizmalarını tanımlar. Bu çalışmada, scuffing aşınmasının başlangıcının, özellikle de sertleştirilmiş ağır iş demir dizel silindir gömleklerindeki üst ölü noktadaki yağsızlık veya eksik yağlama olduğu ispat edilmiştir.

Motor testlerinden sonra, silindir gömleğindeki demir parçalarının, molibden ağırlıklı plazma spreylere kaplanmalı segmana geçtiği gözlemlenmiştir. Bu şiddetli scuffing aşınması sert ve yumuşak silindir gömleklerinde (daha çok sert olanlarında) “taze” martenzit görünüşünü de beraberinde getirir.

Metalurjik ve metrolojik yüzey parametreleri silindir gömleği-segman aşınmasındaki scuffing olayını açıklamak için seçilmiştir. Bu deneyler 100 N/mm yüklü, 250 °C üstündeki sınırlı yağ hacimli ve sınırlı şekilde yağlanan hızlandırılmış LS9 makinesinde tekrarlanarak yapılmıştır.

Kendinden yağlamalı kaplamaya sahip segmanlar geleneksel krom ve plazma püskürtme kaplamalı segmanlara oranla ciddi ölçüde yüksek bir scuffing aşınma direnci ve düşük bir aşınma meydana getirmiştir. Bunun sebebinin grafit, fosfor ve diğer kendinden yağlama elementlerinin kaplamasız karşıt bölgelere transferi olduğu tahmin edilmektedir.

Truhan vd. [6] bu çalışmada bir segman ve dökme demirden yapılmış silindir gömleğini aşınma cihazı düzeneği ile test etmiştir. Yağlama koşullarını test etmek amacıyla Jet A uçak yağı, madeni yağ ve 15W40’tan oluşan yağlar kullanılmıştır. Deney sıcaklıkları 25 °C ve 100 °C arasında değişmektedir. Çeşitli yağlarla yapılan bu deneyler sonucunda en yüksek aşınmayı Jet A uçak yağı göstermiştir. Buradaki aşınma madeni yağa göre 3-4 kat daha fazladır. Aşınma sıralaması yüksekten düşüğe sırasıyla Jet A, madeni yağ, kullanılmamış 15W40 ve kullanılmış 15W40 şeklindedir. En düşük aşınma daha önce kullanılıp hazır duruma geldiği için kullanılmış 15W40 yağında görülmüştür. Testler sonucunda silindirdeki ağırlık kaybı segmandan daha fazladır. Bunun sebebi ise segman yüzeyindeki küçük temas yüzeyine oranla silindirde daha büyük bir aşınma izi meydana gelmesidir. Ayrıca silindir yüzeyi, krom kaplı segmana göre daha yumuşaktır.

Motor deneylerinde maksimum aşınma, yükün en fazla olduğu kompresyon segmenti civarında meydana gelir. Bununla beraber, bu bölgede hız en düşük seviyededir ve yağ kalınlığını düşürmektedir.

Cavalieri vd. [7] çalışmalarında sayısal ve deneysel teknikler kullanılarak içten yanmalı bir motorun valflerinde meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemiştir. Bu çalışmada, aşınma test cihazı kullanılarak subap ve subap oturma yuvalarındaki aşınmalar incelenmiştir. Yapılan testlerde 13 L'lik dizel motorun subapı kullanılmıştır. Subap ve subap yuvası arasındaki temas yüzeyinde 1.2°'lik açı meydana gelmiştir. Normalde motor subaplarında kullanılmayan bu açı, olumsuz koşullarda meydana gelebilecek aşınma mekanizmalarını incelemek amacıyla oluşturulmuştur.

Testlerin tutarlılığını doğrulamak için testler üçer kez tekrarlanmıştır. Her test 72 saat boyunca, yaklaşık 20 Hz frekansta ve 5.184×10^6 çevrim ile yapılmıştır. Subaplara uygulanan maksimum temas kuvveti 27 kN'dur. Bu 13 L'lik Diesel motorlar için tipik bir değerdir.

S.E.M. kullanarak temas yüzeylerinde meydana gelen aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Temas yüzeylerinin S.E.M. ile elde edilen detaylı görüntülerinde parlak ve karanlık bölgeler gözlemlenmiştir. Karanlık bölgeler yanmanın sebep olduğu karbon artıklarını gösterirken parlak noktalar ise aşınma bölgelerini temsil etmektedir. Subap ve subap yuvası arasında kopmuş materyallerin oluşturduğu eliptik şekilli birçok oyuk gözlemlenmiştir. Tüm bu faktörler radyal kaymanın sebep olduğu bir adhezif aşınmayı işaret etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Aşınma, en basit haliyle, hareketli parçalarda meydana gelen sürtünmeden kaynaklı malzeme kaybıdır. Endüstride meydana gelen makine hasarlarının yaklaşık olarak %70'i aşınma kaynaklıdır. Ekonomide milyarlarca liralık kayba yol açan aşınma, tamamen önlenemeyeceği kesin olsa bile minimuma indirilmelidir. Bu yüzden, aşınmayı önlemek için geliştirilen yöntemler mühendislerin üzerinde sıklıkla durduğu başlıca konulardan biridir.

Bu tez ile motorda sürtünmenin ve anmaların en fazla meydana geldiği üst ölü nokta bölgesinde sürtünen segman-silindir yüzeyleri incelenmiştir. Bu bölgede basıncın ve anmanın en yoğun olduğu nokta olan üst ölü noktada meydana gelen anma türleri tespit edilip, kaplamalı ve kaplamasız segmanların anma mekanizmaları çeşitlerine etkileri irdelenmiştir.

1.3 Hipotez

Makine, teknoloji dediğimiz olgunun en temel talarından biridir. Günümüz modern insanların refah bir şekilde yaşamalarının ilk adımlarından olan Sanayi Devrimi tamamen makine odaklı bir süreçti. Sanayi Devrimi ile balayan makine çağının insan yaşamını kökten değiştiren en önemli buluşlarından biri de içten yanmalı motorlardır.

Kefedildiği günden bu yana içten yanmalı motorların verimliliği ve ömrü ile ilgili çalışmalar da durmadan devam etmektedir. Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda verimi ve ömrü etkileyen en önemli parametrelerden biri olan anma detaylı olarak irdelenecektir.

BÖLÜM 2

AŞINMA

2.1 Aşınma

Sürtünme ve aşınma bir yüzeyin başka bir yüzeye değmesiyle oluşan, yüzeylerin mekanik etkisi ve birbiri üzerindeki hareketi sonucu meydana gelen karmaşık ve mikroskobik bir etkileşimdir. Bu etkileşim sonucu oluşan malzeme yüzeylerinin geometrik ve topografik karakteristikleri, her iki yüzeye etki eden kuvvetler, sıcaklık, kayma hızı, yüzeylerin durumları (ıslak, kuru) ve atmosferin şartları gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir [8]. Aşınma olgusu, sürtünmenin neden olduğu bir mekanik etki ile malzemenin üst katmanından başlayan pul pul dökülmelere verilen isimdir. Sürtünme, iki yüzeyin birbiri ile mekanik etkileşimidir [9].

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir fakat kesinlikle önlenemez [10].

Aşınma kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için sürtünme ve sürtünme kuvveti tanımı üzerinde durulmalıdır. İki malzeme yüzeyi birbiri ile temas ettiğinde meydana gelen kayma esnasında uygulanan kayma kuvveti F , uygulanan yük ise W ile ifade edilirse bu ikisi arasındaki doğru orantılı bağıntı şöyle ifade edilebilir [11]:

$$F=\mu W \quad (2.1)$$

Formüldeki μ , sürtünme katsayısı olarak ifade edilir. Uygulanan kayma kuvveti yüzeye ve uygulanan yüke dik olursa sürtünme kuvveti bir olarak alınır:

$$F=W \quad (2.2)$$

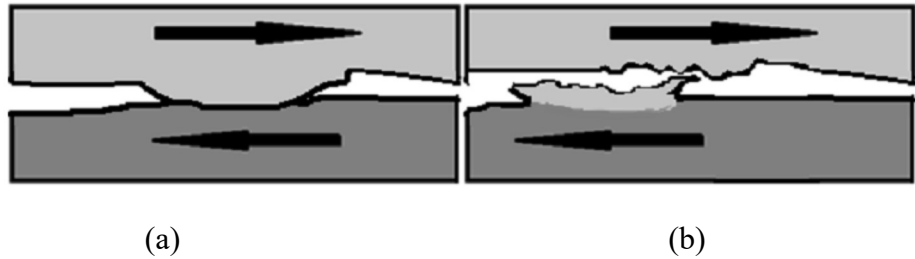
Sürtünme kayan yüzeyler arasındaki enerji dağılımı olarak tanımlanabilir. Da Vinci ve Amonton tarafından dört temel deneysel sürtünme kanunu şöyle açıklanabilir [11]:

- Kayan yüzeylerdeki maksimum tanjant kuvveti ve hareketsiz yüzeydeki normal kuvvet arasındaki oran, tanjant kuvvetinin artmasına bağlı olarak değişir.
- Sürtünme kuvveti, kayma kuvveti ve normal kuvvet ile orantılıdır.
- Sürtünme kuvveti temas alanından bağımsızdır.
- Sürtünme kuvveti kayma hızından bağımsızdır.

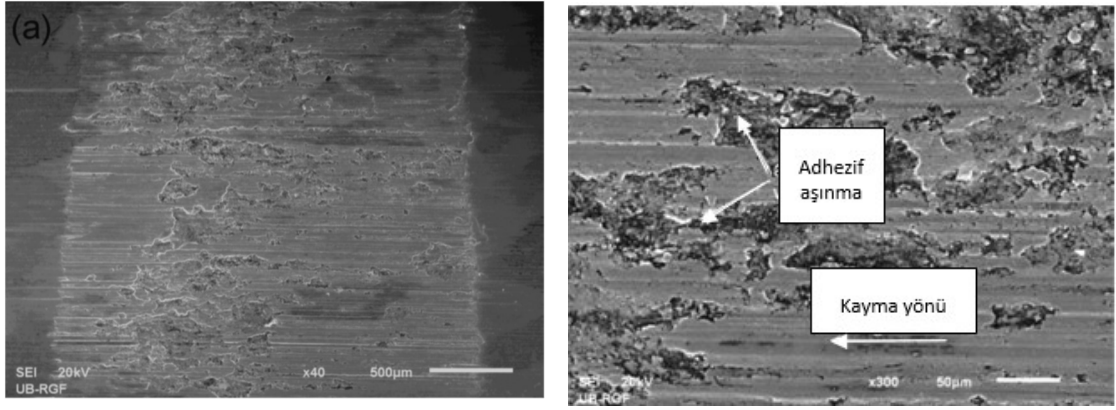
2.1.1 Adhezyon Aşınması

Yapışma aşınması olarak adlandırılan adhezif aşınma, bir metal yüzeyin bir başka metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında, birbirine kaynamış (veya yapışmış) yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar.

Uygulamada adhezif aşınma, özellikle metaller arasında kayma sürtünmesi nedeniyle meydana gelir ve aşınma parçaları yumuşak olan metalden kopar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise, aşınma her iki yüzeyde de oluşur. Metaller arasındaki yağlamanın mükemmel olması, meydana gelen tribosistemin aşırı ısınmasının engellenmesi, temas eden malzeme yüzeylerinin parlak olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin arttırılması ile adhezif aşınma azaltılabilir [12].



Şekil 2.1 Adhezif aşınma; (a) kaymaya başlamadan önce yüzeylerin birbirine yapışması
(b) kayma sonrası yüzeyde oluşan yapışmadan sonra meydana gelen plastik deformasyon sonucu malzeme kaybı [13]



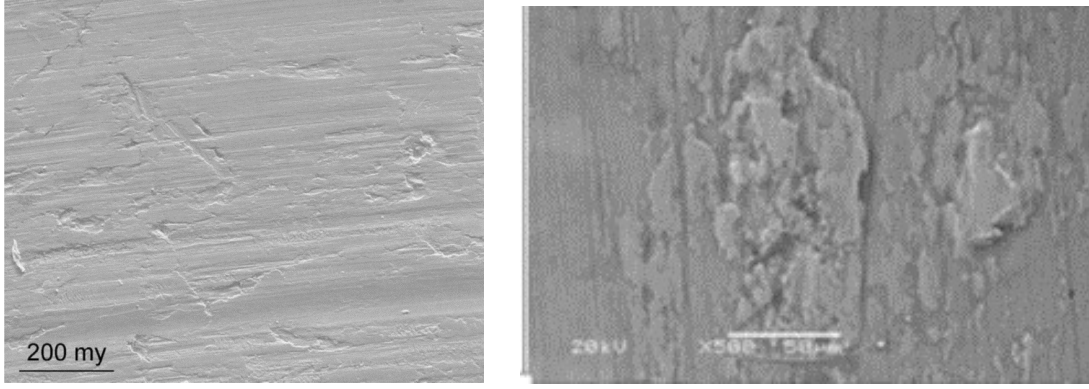
Şekil 2.2 Adhezif aşınma S.E.M. fotoğrafları [14]

Adhezif aşınma, en sık rastlanan aşınma türlerinden biri olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. [10].

2.1.2 Kazıma Aşınması (Scuffing)

ASTM standartlarına göre scuffing, yetersiz yağlamanın olduğu tribosistemlerde meydana gelen ve malzemenin yapısında hareket yönüne bağlı olarak makro düzeyde değişiklikler meydana getiren bir aşınma çeşididir. Yağlamadaki herhangi bir sorun silindirlerde scuffing aşınmasını artırır. Bununla beraber, fazla sayıda silindir kullanımının da scuffing problemine yol açtığı gözlemlenmiştir. Scuffing mekanizması hakkında birçok araştırma yapılmasına rağmen bilimadamları arasında bu mekanizmanın neden oluştuğuna dair kesin bir fikir birliği yoktur. Scuffing mekanizmasına yol açan faktörler şu şekilde sıralanabilir:

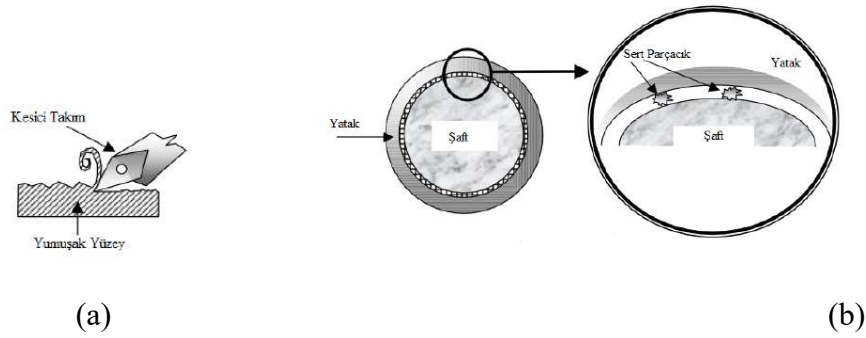
- Yağlama eksikliği
- Hasar birikimi
- Plastik yorulma
- Adyabatik kayma kararsızlığı (adiabatic shear instability) [15]



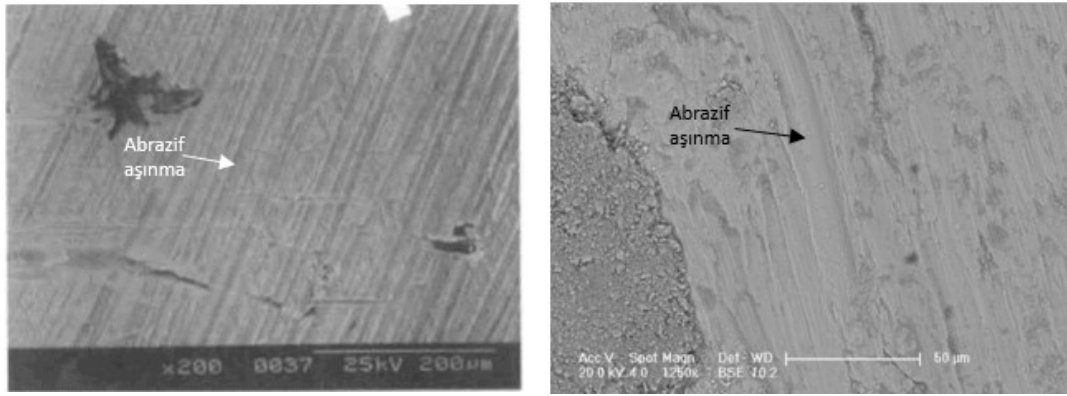
Şekil 2.3 Scuffing S.E.M. fotoğrafları [16], [17]

2.1.3 Abrazyon Aşınması

Abrazif aşınma; bir yüzeyin temas halinde bulunduğu diğer yüzeyden daha sert olduğu durumlarda veya temas bölgesinde sert taneciklerin bulunduğu durumlarda meydana gelir. Sert yüzeyin yüzey pürüzlülükleri yumuşak yüzeye bastırıldığı zaman yumuşak malzemede plastik akma meydana gelir. Şayet sert yüzey teğetsel olarak hareket ettirilirse delme meydana gelir ve yumuşak malzemenin yüzeyinde kanallar ve çizikler meydana gelir. Sert yüzeyin geometrisine ve nüfuziyet derecesine bağlı olarak yüzeyden malzeme uzaklaştırır. Abrazif aşınmanın iki cisimli ve üç cisimli olmak üzere iki temel tipi vardır [18].



Şekil 2.4 (a) İki elemanlı ve (b) üç elemanlı abrazyon aşınma oluşum şekilleri [19]



Şekil 2.5 Abrazif aşınma S.E.M. fotoğrafları [20], [21]

İki elemanlı abrazif aşınma bir yüzeyin diğer bir yüzeyden çok daha sert olmasıyla meydana gelir. Bu aşınma kesme ve taşlama işlemlerinde gerçekleşir (Şekil 2.4 a). Üç elemanlı abrazif aşınmada ise iki yüzey arasına girmiş ve her iki yüzeyden de sert bir kütle (aşındırıcı kum, toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale geçen mikro talaşlar veya parçalanmış oksit tabakaları vs.) sürtünen yüzeylerin biri ya da her ikisini aşındırmasıyla meydana gelir (Şekil 2.4 b). Yüzeylerdeki sürtünmeyi azaltmak için hidrodinamik ya da elasto hidrodinamik yağlayıcılar kullanılabilir [19]

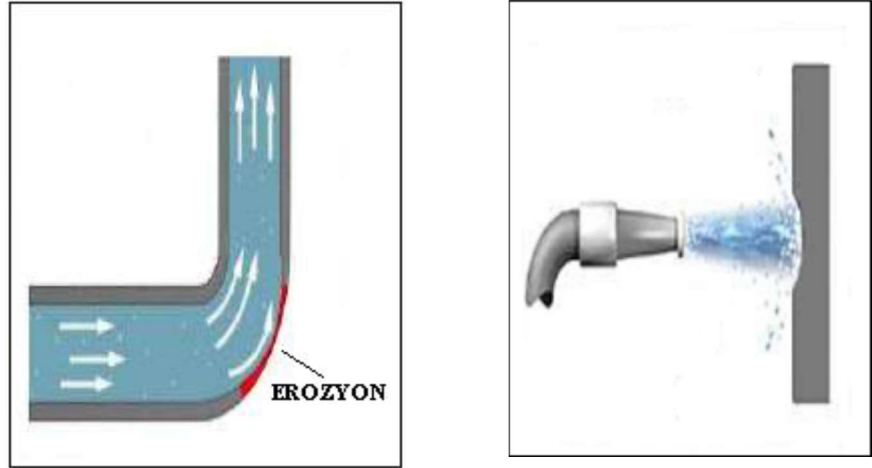
Abrazif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır.

Malzeme açısından abrazif aşınmayı azaltmak için verilen tavsiyeler şunlardır [19];

- Daha sert alaşım kullanmak,
- Sertlik arttırmak amacıyla ısıtılma işlemi uygulamak,
- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,

2.1.4 Erozyon aşınması

Bir cismin yüzeyine karşı katı veya sıvı partiküllerin çarpması sonucu meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Erozyon aşınması gaz türbin kanatlarının zarar görmesi, uçakların uçuşu esnasında toz bulutu tarafından aşınması, pompa kompresör çarkının aşınması gibi çok geniş aralıkta meydana gelmektedir. [22]



Şekil 2.6 Erozyon aşınması [23]

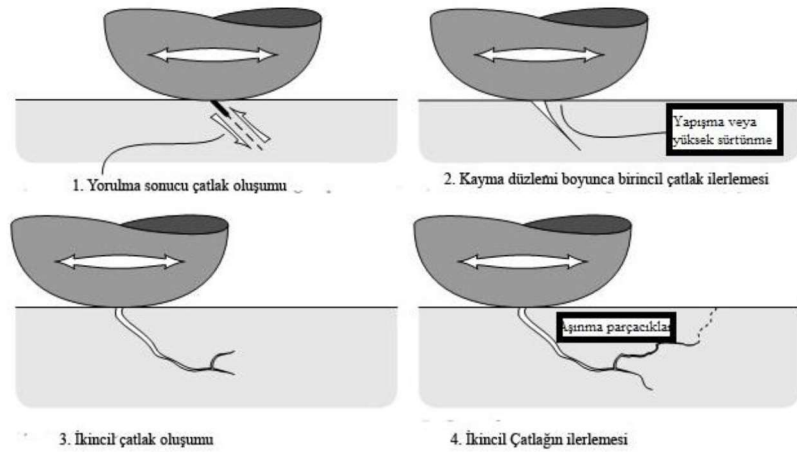
Erozyon aşınması birkaç farklı şekilde meydana gelebilir:

- Akışkan ortamdaki partiküllerin yüksek hızlarla katı yüzeye çarpması,
- Hareket halindeki sıvı damlaların, yüksek hızlarla katı yüzeye çarparak şok dalgasıyla tahribat etmesi,
- Yüksek hızlı hareket halindeki katının, kendinden daha yavaş su damlalarına tekrarlı çarpması
- Gaz kabarcıklarının yüksek basınçla malzeme yüzeyine çarpması [24].

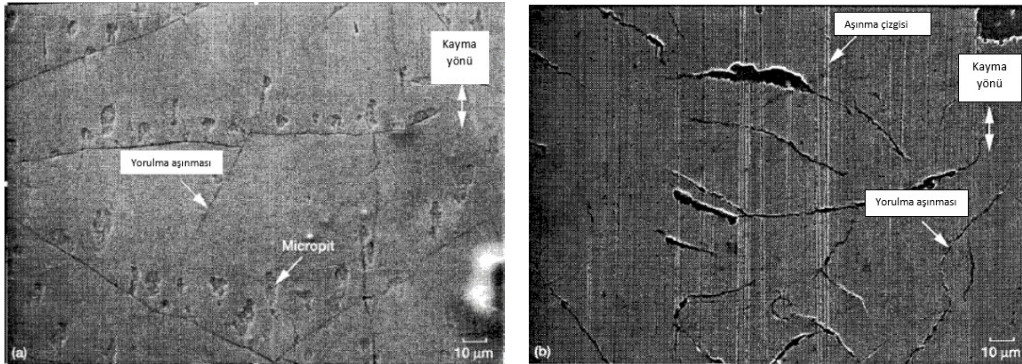
2.1.5 Yorulma Aşınması

Makine parçalarında tekrarlanan yüklerden veya titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle, yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu mikroçatlaklar zamanla yüzeye doğru ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden parçaların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya “yorulma aşınması” denir. Yorulma aşınması yuvarlama hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizması gibi yüzeylerde oluşur [25]. Hacimsel yorulmadan farklı olarak sürtünme yorulması sadece yüzey ve alt yüzey bölgelerinde sınırlıdır. Sürtünme yorulmasından dolayı katı yüzeylerden malzeme kaybı yorulma aşınması olarak ifade edilir. Gerilme geriniminin meydana geldiği veya maksimum teğetsel gerilimin olduğu noktalarda yorulma çatlaklarının başladığı

bilinmektedir. Teorik ve deneysel çalışmalar gösteriyor ki kontak yüklemesi altında maksimum teğetsel gerilimin konumu sürtünme katsayısına bağlıdır. Düşük sürtünme katsayısına sahip olunması durumunda maksimum kayma geriliminin noktası yüzeyin altına yerleşir. ($\mu < 0.3$). Sürtünme katsayısı arttığı zaman maksimum kayma mukavemetinin noktası yüzeyde ortaya çıkar ($\mu > 0.3$). Diğer bir yandan, bir cisim dik ve teğetsel yüklemeye maruz kalırsa gerilim gerinimi yüzey ve alt yüzey bölgelerinde görünür. Bu yüzden, çatlaklar yüzey ve/veya üstünde çekirdeklenir. [22]



Şekil 2.7 Belirli bir çevrim altındaki bir yüzeyde meydana gelen çatlak oluşumları [11]



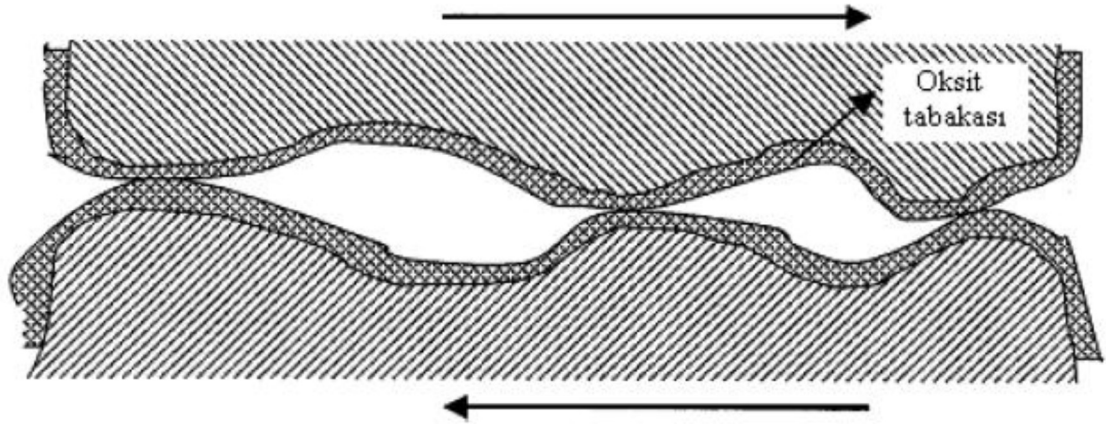
Şekil 2.8 Yorulma aşınması S.E.M. fotoğrafları [26]

2.1.6 Korozyon Aşınması

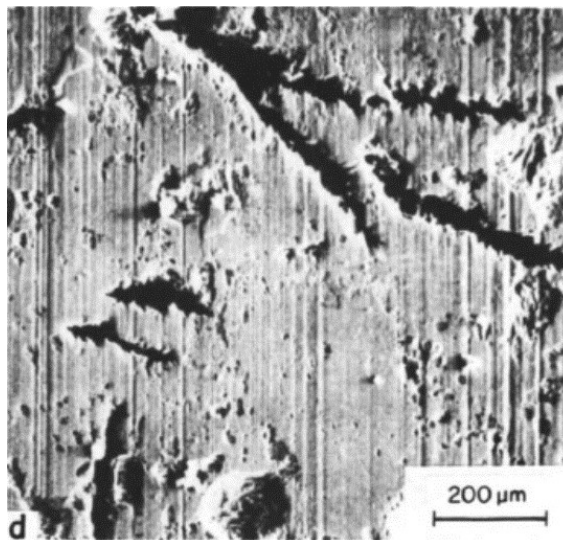
Aşınmaya uğramış yüzeylerde buna ek olarak kimyasal reaksiyonlar meydana gelmesiyle oluşan malzeme kaybına korozyon aşınması denir. Kimyasal aşınma tek başına ya da diğer aşınma türleri ile beraber görülebilir. Yüzeylerin korunabilmesi için kullanılan filmlerin (tabaka) hasar alması sonucu, malzeme yapısıyla kimyasal afinitesi yüksek olan başta

asitler ve oksijen gibi elementler reaksiyona girerek yüzeyde bileşikler yapar. Koroziif aşınma genellikle malzeme yapısına verdiği zarar sebebiyle metal kullanılan endüstrilerde milyarlarca dolarlık zarara neden olmaktadır [27]. Kimyasal korozyon, kaymanın oluştuğu kimyasal ve aşındırıcı bir ortamda meydana gelir. En baskın koroziif ortam oksijendir. Bu nedenle havadaki kimyasal aşınma genellikle oksidatifdir. Korozyon ilk etapta yüzeyde ince bir film oluşturarak malzeme kaybını azaltıcı bir etki yapar. Ancak bunun ardından yüzeye uygulanan kayma gerilimleri ile birlikte çok fazla malzeme kaybı olur [28].

Koroziif aşınmanın başlıca özellikleri; ana malzeme içinde herhangi bir kırılma yoktur, sürtünme boyunca üretilen ince yüzey tabakalarının içinde kırılma belirir. Mekanik ve kimyasal proseslerin dinamik dengesi sonucu oksit filmler oluşur ve sonra kırılır. [22]



Şekil 2.9 Tribo Oksidasyon Aşınması [29]



Şekil 2.10 Korozyon aşınması S.E.M. fotoğrafı [30]

2.1.7 Difüzyon Aşınması

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklık artışı kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket difüzyona neden olur. Sürtünme esnasında, uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte, temas noktalarında akma ve sürünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalarak temas alanları artar. Böylece yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek, dayanımı düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve bağıl hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya “difüzyon aşınması” denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgahlarında görülür [25].

2.1.8 Fretting (Kazımalı) Aşınma

Fretting terimi kontak halindeki iki katı yüzey arasındaki küçük salınım hareketi olarak ifade edilir. Bu salınımın miktarı 1 ile 100 µm arasındadır. Bu hareket sonucu meydana gelen aşınma türüne fretting aşınma denir.

Fretting aşınma makine bileşenleri arasında meydana gelir. Bu aşınma genellikle sabit kontak halinde tekrarlı gerilime maruz kalan veya titreşen mekanizmanın çalışmasıyla birlikte oluşur.

Fretting aşınmayı azaltmak için, mikro yer değiştirme miktarını azaltma, kontak çiftlinin abrasyon direncini artırma, ortam şartlarına karşı korozyon direncinin artırılması, titreşim önleyici özel cihazlar kullanma gibi yöntemlere başvurulabilir [22]

2.1.9 Bore Polishing (Cidar Parlatma) Aşınması

Silindir yüzeyinin üst bölümünde ateş bölgesi etkisinde kalan bölümünde parlaklıklar oluşmuştur. Bunun sebebi düzensiz yanma nedeniyle oluşan sert kalıntılar, kötü kaliteli yağ kullanımı, motorun sık olarak rölantide veya kısmi yük altında çalışması nedeniyle oluşan düşük yanma sıcaklıklarıdır. Yağ karbon tabakası silindir duvarında aşınma, yağ

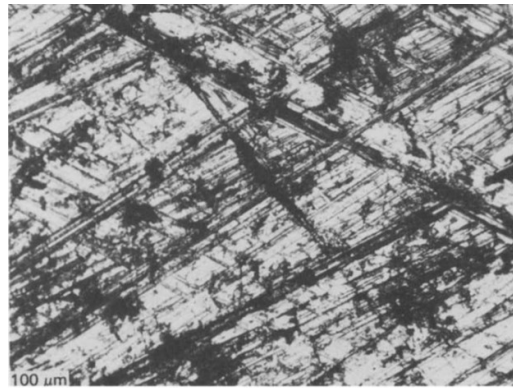
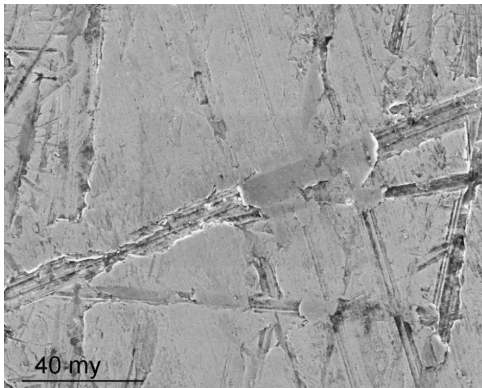
filminin zarar görmesi, sürtünme, yüksek segman aşınması ve bunların sonucu olarak yüksek yağ sarfiyatına sebep olur. Önlenmesi için;

- Motorun talimatlarda açıklandığı şekilde işletimi
- Öngörülen yağ kalitesinin kullanımı
- Markalı yakıt kullanımı
- Enjeksiyon sisteminin talimatlara uygun bakımı, kontrolü ve ayarının yapılması gerekir.

[31]



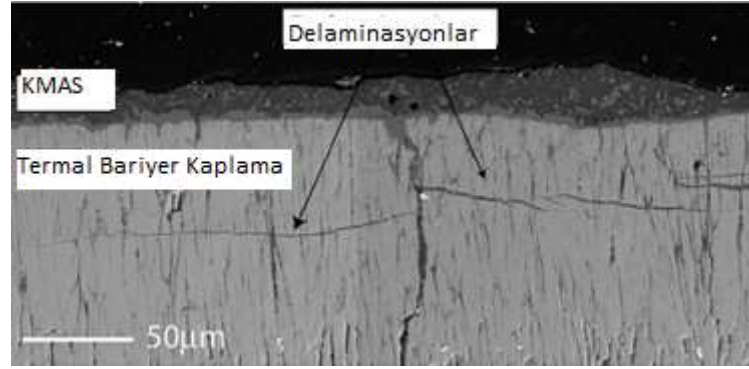
Şekil 2.11 Bore polishing aşınması [31]



Şekil 2.12 Bore polishing S.E.M. fotoğrafları [16], [32]

2.1.10 Delaminasyon (Katman Ayırma) Aşınması

Bir nesnenin başka bir nesne üzerine uyguladığı yükün yüzey altında oluşturduğu gerilmeler o nesnenin gerilme direncinin üzerine çıkarak yüzey altında çatlaklar oluştururlar. Bu çatlaklar yüzey altında ilerleyip yüzeye ulaştıklarında yüzeydeki parçacıklar kavkırma görünümünde serbest kalırlar. Bu aşınma yöntemi "delaminasyon" (katman ayırma) olarak bilinir. [33]

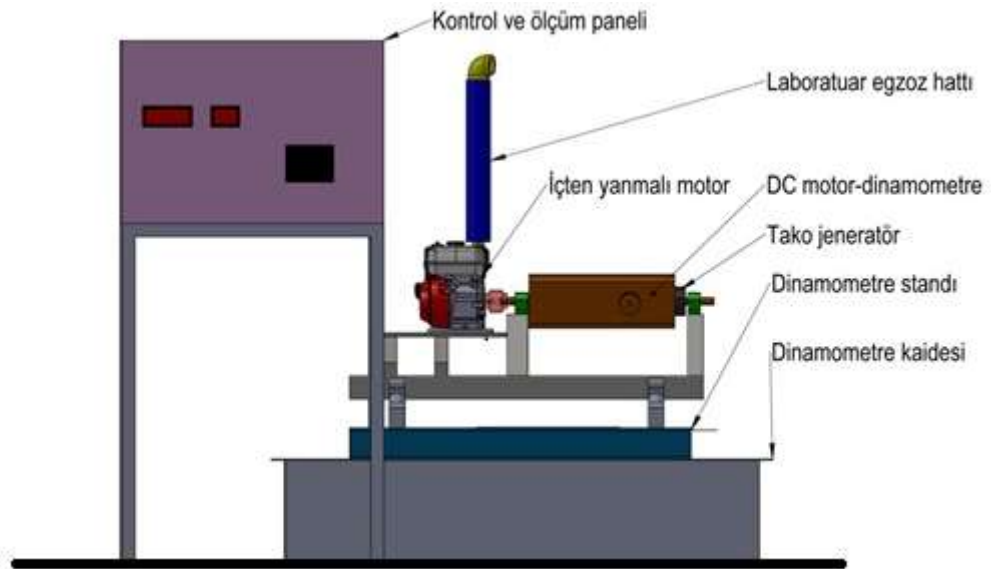


Şekil 2.13 Motorda meydana gelen delaminasyon [34]

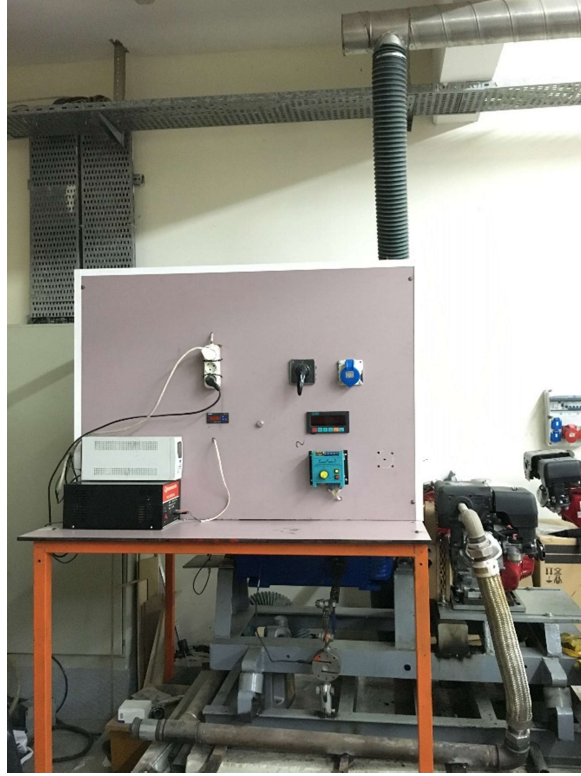
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Motor Deneyleri Test Düzeneği

Motor testleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Otomotiv A.B.D. laboratuvarında, Şekil 3.1’de genel düzeneği verilen test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir



Şekil 3.1 Motor test düzeneğinin genel çizimi



Şekil 3.2 Motor test düzeneği

3.2 Testlerde Kullanılan Donanımlar Ve Özellikleri

3.2.1 Deney Motoru

Tüm testler boyunca genel özellikleri Tablo 3.1’de verilen 270 cm³ silindir hacimli, 8.2 BG’ne sahip, Honda GX-270 motoru kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Tek silindirli Honda GX-270 deney motoru

Çizelge 3. 1 Honda GX-270 motorunun genel özellikleri

Motor tipi	4 zamanlı-üstten valfli-tek silindirli-yatay şaft
Çap x strok	77 x 58 mm
Silindir hacmi	270 cm ³
Sıkıştırma oranı	8.2:1
Max.çıkış gücü	9BG /3600d/d
Net çıkış gücü	8.2 BG
Max.tork	1.95kg-m@2500d/dk
Ateşleme sistemi	Elektronik ateşlemeli
Çalıştırma sistemi	Otomatik mekanizmalı
Hava filtresi	Yarı kuru-yağ banyolu- çift elemanlı-siklonik filtre
Yakıt kapasitesi	6 litre
Yakıt cinsi	Kurşunsuz Benzin
Özgül yakıt tüketimi	230 gr/BG-h
Yağ kapasitesi	1.1 litre
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Boş ağırlık	25 kg

3.2.2 Dinamometre

Dinametreler (yük makineleri), elektrik makinelerinin ve araç motorlarının test edilmesinde, endüstride ve araştırma merkezlerinde oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Bu uygulamalarda genellikle makineler veya motorlar, kalıcı durum şartları veya çok yavaş değişen şartlar altında test edilirler [1]. Başka bir deyişle, testler dinamometrenin sağladığı sabit yük momentleri veya sürtünmelerle yapılır. Testlerde kullanılan FEMSAN marka dinamometre, 15 kW güç , 4000 dv/dk devir hızına sahiptir.



Şekil 3.4 FEMSAN dinamometre

3.2.3 Takometre

Döner makinelerin devir sayısını ölçmede kullanılan ağıtlara takometre (turmetre) denir. Sanıldığı gibi aksine hızı ölçmez, dakikadaki devir (tur) sayısını ölçer. Makine miline değerek veya temas etmeden devir sayısı ölçen takometreler yaygın olarak kullanılan devir ölçme ağıtıdır. [2]

Testlerde EMKO ERM-3770 dijital takometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.5 EMKO ERM-3770 dijital takometre

3.2.6 Loadcell (Yük hücresi)

Loadcell, üzerine uygulanan basıncı gerinim ölçerler (strain gage) sayesinde elektrik sinyalleri şeklinde veren cihazdır. Loadceller, basıncı elektrik sinyallerine Wheatstone köprüsü prensibi ile çevirirler.

Testlerde ESİT TB 500 loadcell kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Loadcell (S Tipi)

3.2.7 Motor Yağı

Kullanılan yağ, Shell Türkiye A.Ş. tarafından temin edilen Shell Helix Ultra 5W-40 tam sentetik ticari motor yağıdır. Shell Helix Ultra 5W-40 Tam sentetik motor yağıdır ve özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Shell Helix Ultra 5W-40’ın spesifikasyonları şunlardır:

API SN/CF; ACEA A3/B3, A3/B4; BMW LL-01; MB onayı 229.5, 226.5; VW 502.00/505.00; Porsche A40; Renault RN0700, RN0710; PSA B71 2296, Ferrari; Fiat 9.55535-Z2 ve Chrysler MS-10725 gereksinimlerine uygundur.

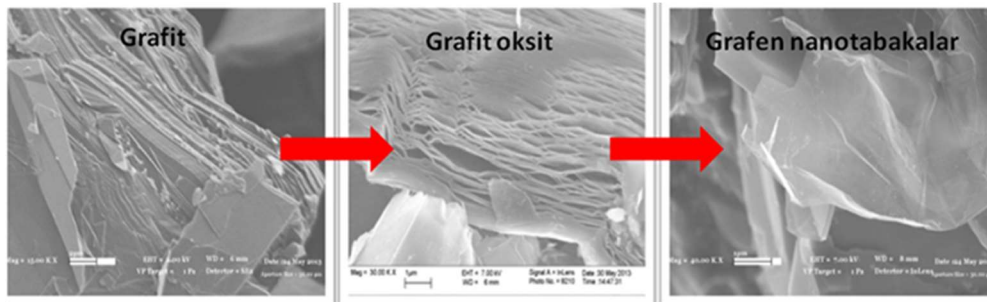
Çizelge 3.2 Shell Helix Ultra 5W-40 Tam sentetik ticari motor yağı özellikleri

Calcium	2640 ppm
Zinc	1090 ppm
Fosfor	940 ppm
Kükürt	905.10 ppm
Magnezyum	15.76 ppm
Molibden	56 ppm
TBN	11.28 mgKOH/gr
Parlama Noktası	217 °C
Viskozite @100 °C	13.59 cSt
Viskozite @40 °C	84.27 cSt

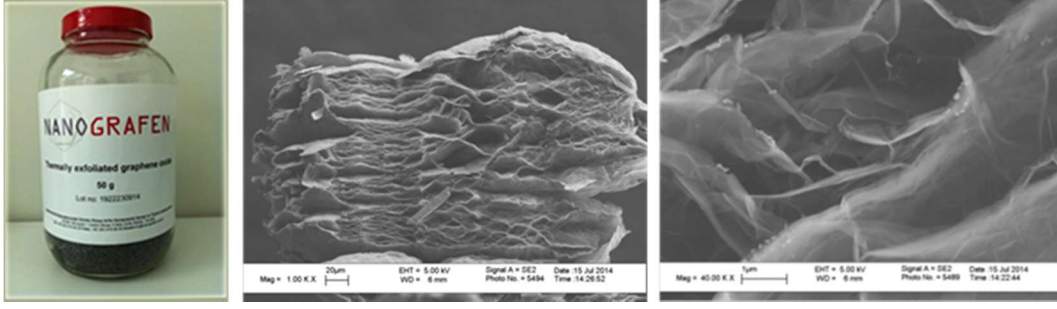
Deneylerde motor yağı olarak tam sentetik motor yağı dışında TEGO grafenli motor yağı da kullanılmıştır. Sabancı Üniversitesi, Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde görev yapan ve aynı zamanda NANOGRAFEN (Nano Teknolojik Ürünler Kimya ArGe Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi) sahibi Yrd. Doç. Dr. Burcu Saner Okan vasıtası ile yağı grafen katığı ile Termal Olarak Sıyrılmış Grafen Oksit (TEGO) nanopartiküllerinin homojen dispersiyon çalışması başarı ile yapılmış, motorda test edilmiştir. Dispersiyon yoluyla Grafen nanopartikülün (TEGO grade-1), Shell Helix Ultra 5W-40 tam sentetik ticari motor yağına katılması sağlanmıştır.

Grafen nanopartikülü (TEGO grade-1)'in özellikleri:

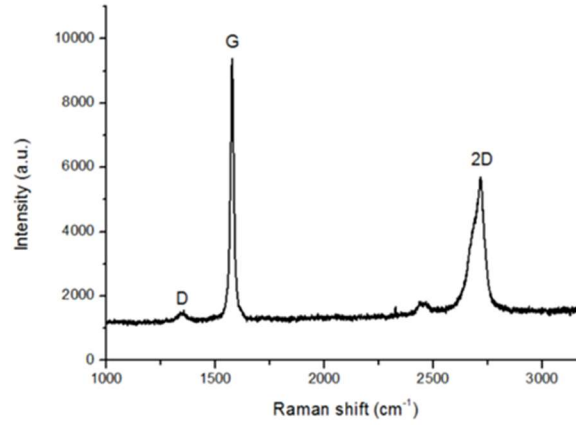
- TEGO Konsantrasyonu: 0.5 %wt
- Görünüm: Koyu gri,
- Yoğunluk: 0,022 g/mL
- Tabakaların ortalama sayısı: 27
- Çözünürlük: kısmi olarak suda çözülebilir, DMF (N,N-dimethyl Formamide), ve diğer organik polar solventler ile (karışım yöntemi kullanarak) homojen dağılım.
- Oksijen Miktarı: % 4,1



Şekil 3.7 Grafen nanopartikülün üretim aşamaları



Şekil 3.8 Spiral yapılı S.E.M. görüntüsü



Şekil 3.9 TEGO Grade-1'in Raman Spectroskopisi

Şekil 3.7 Grafen nanopartikülün üretim aşamalarını, Şekil 3.8 Bu nanopartikülün spiral yapılı S.E.M. görüntüsünü, Şekil 3.9 ise grafen nanopartikül TEGO Grade-1'in Raman Spectroskopisini göstermektedir. Burada TEGO Grade-1'in 532 nm dalga boyunda yeşil lazerle analiz edilmiştir. 1581 ve 1582 cm^{-1} bandlarındaki Raman pikleri ve 2D pikinin ise 2700 cm^{-1} bandında Raman Spektroskopisi grafeni Nanografen tarafından onaylanmıştır.

3.3 Deney Öncesi Yapılan İşlemler

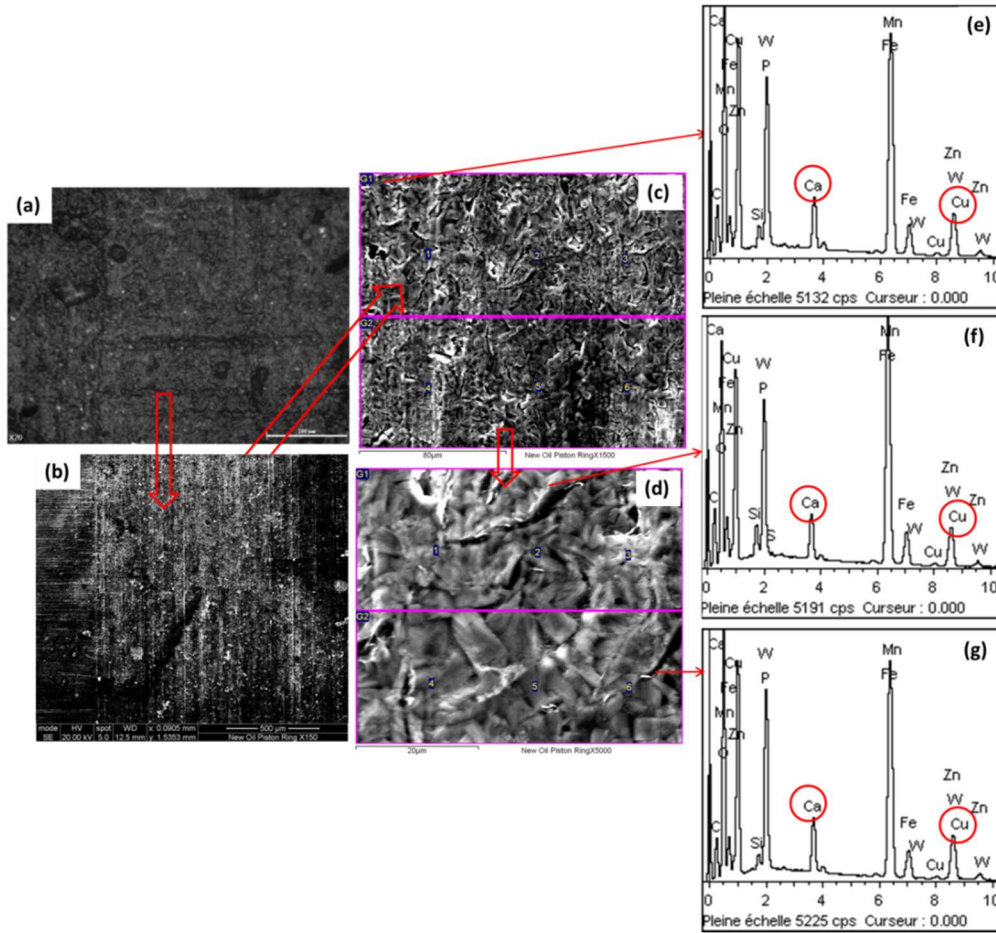
3.3.1 Segman Kaplamalarının Kaldırılması

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Motorlar Laboratuvarında bulunan yükleme düzeneğinde test edilmek üzere satın alınan Honda GX-270 motorunun kendi üzerindeki 2. segmanı ZnP (çinko fosfat) kaplamalı; bu yetkili firmadan orijinal yedek parça olarak satın alınan 2. segmanın daha farklı renkte olduğu

ve korozyona karşı raf ömrünü arttırmak için magnezyum alaşımlı Baryum (Ba) ile kaplandığı belirlenmiştir.

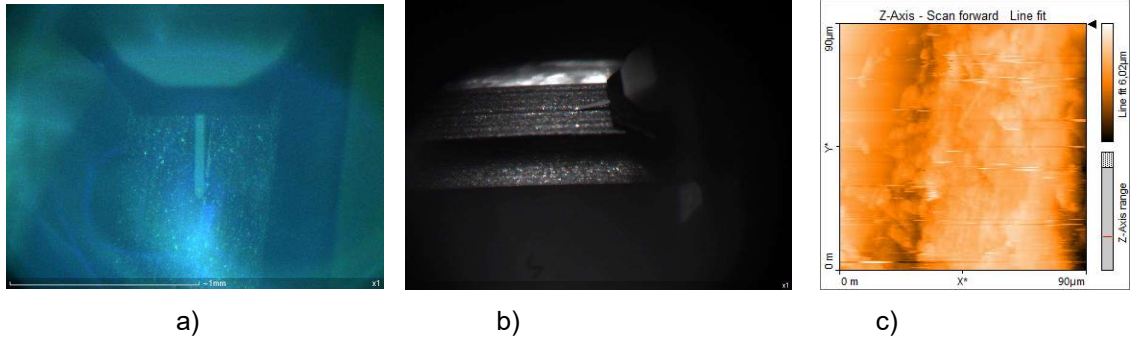


Şekil 3.10 (a) ZnP kaplı segman, (b) Ba kaplı segman ve (c) ZnP kaplaması kaldırılmış segman



Şekil 3.11 ZnP (çinko fosfat kaplı 2. segman) (a) Optik mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M. ve (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

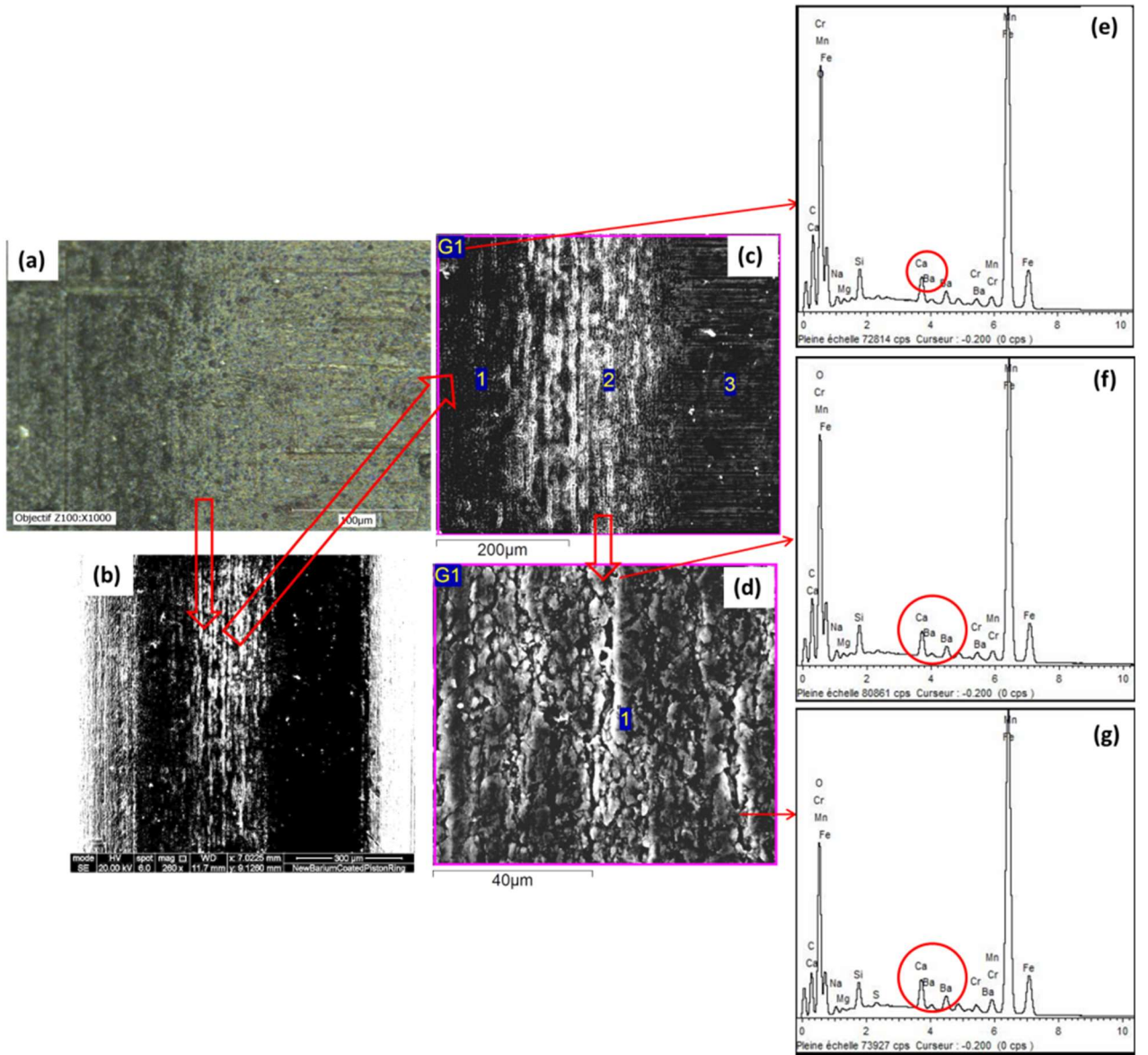
Şekil 3.11 ZnP kaplı segmanı detaylı göstermektedir. Küresel grafitli dökme demir yapısında Fe, C, Mn, Si ile birlikte Ca, Zn, Cu, P ve S tespit edilmiştir.



Şekil 3.12 ZnP kaplamalı segmanın A.F.M. analizinin; a) üstten görünüşü b) yandan görünüşü c) topografya haritası

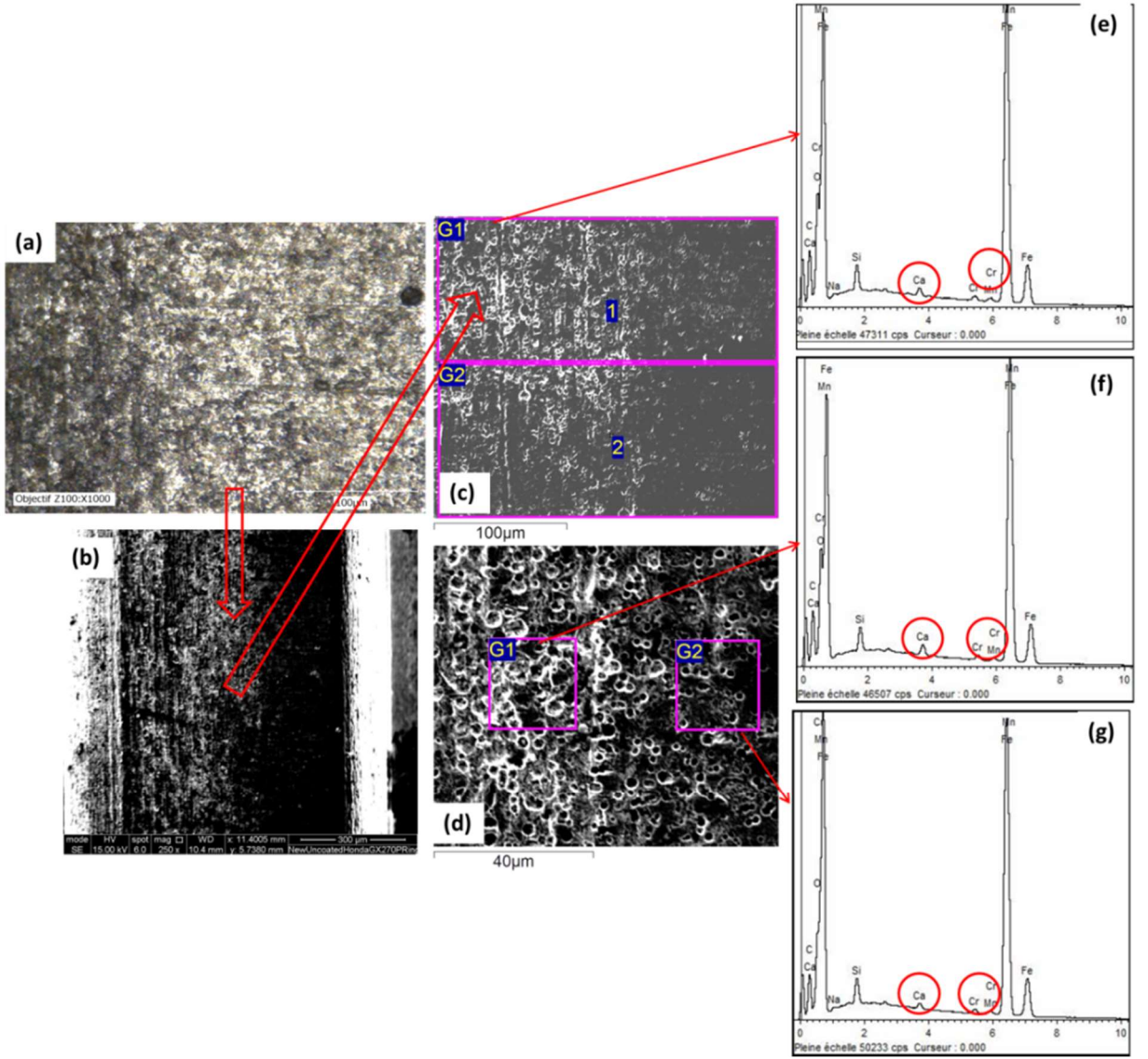
Çizelge 3.3 ZnP kaplamalı segmanın pürüzlülük değerleri

Ra	436,37 nm
Rq	523,89 nm
Ry	2686,1 nm
Rp	1138,4 nm
Rv	-1547,7 nm
Rm	-15,316 fm



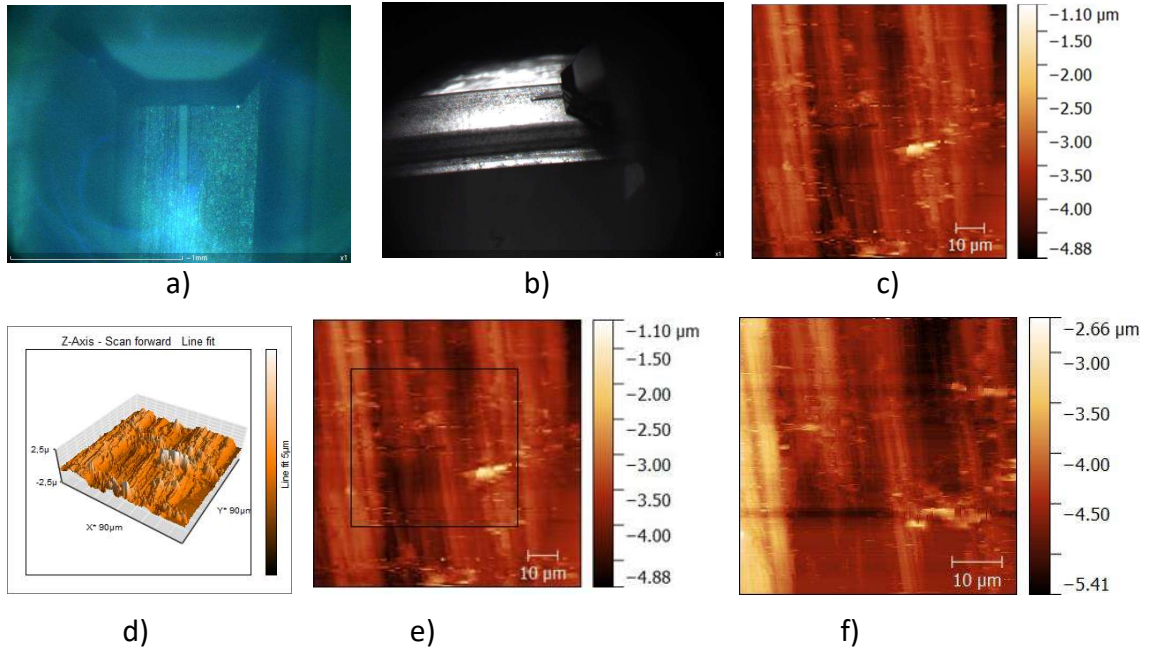
Şekil 3.13 Ba (baryum) kaplı 2. segman (a) Optik mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M. ve (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.

Şekil 3.13 Ba (baryum) kaplı segmanı detaylı göstermektedir. Küresel grafitli dökme demir yapısında Fe, C, Mn, Si ile birlikte Ca, Ba, Mg, Cr tespit edilmiştir.



Şekil 3.14 Çinko fosfat kaplaması (veya magnezyum alaşımlı Baryum (Ba) kaplaması) asit yöntemiyle kaldırılmış 2. yağ segmanı; (a) Optik Mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.

Şekil 3.14 Çinko fosfat kaplaması (veya magnezyum Baryum (Ba) kaplaması) asit yöntemiyle kaldırılmış 2. yağ segmanını göstermektedir. Orijinal yüzey formunun korunduğu, küresel grafitli dökme demir yapısında Fe, C, Mn, Si ile birlikte Ca ve Cr tespit edilmiştir. Zn, P, S, Ba, Mg ve Cu tamamen kaldırılmıştır. Yapılan motor testlerinde bu segman kullanılmıştır.



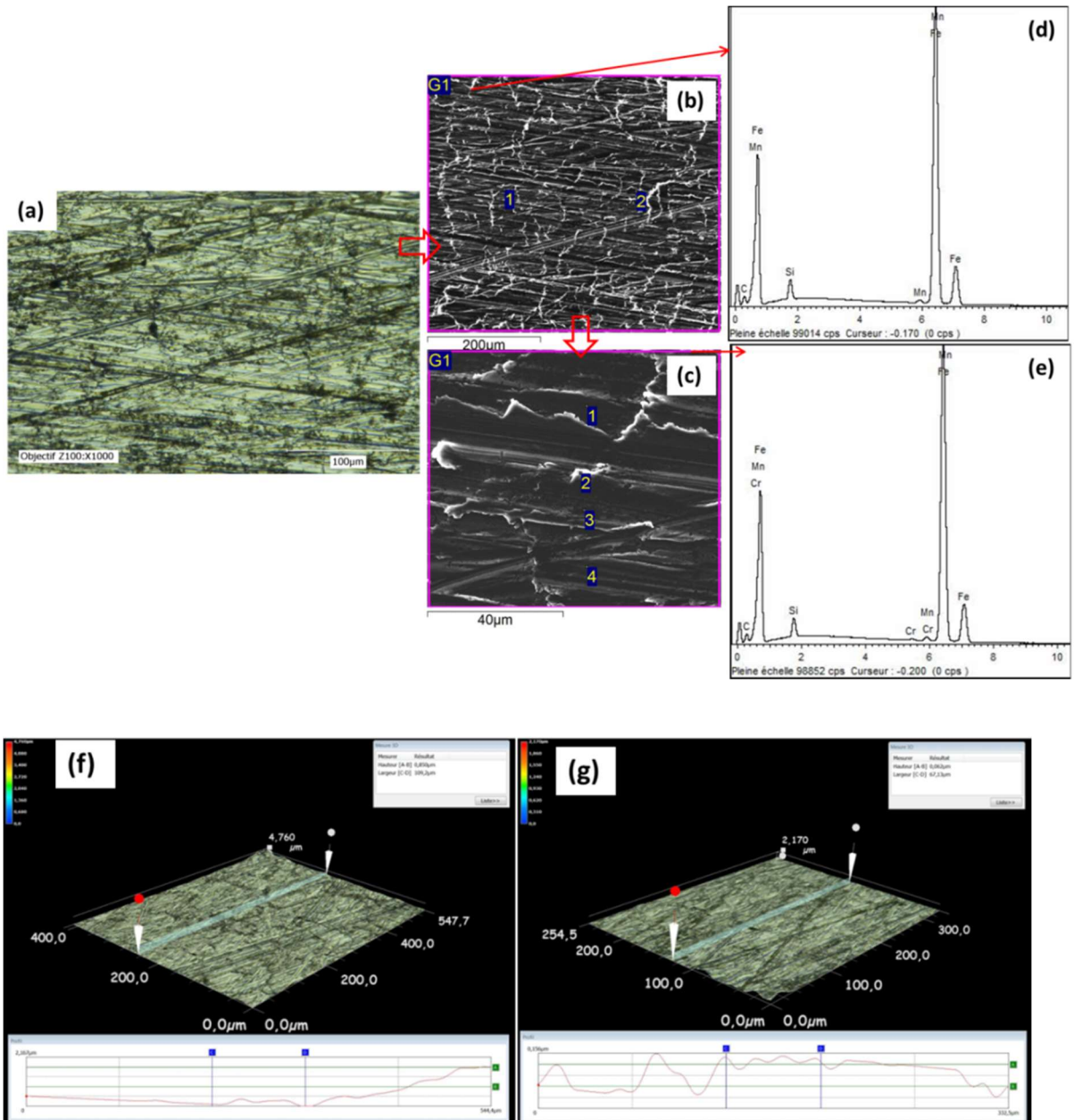
Şekil 3.15 Kaplamasız segmanın A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü
c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f)
Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.4 Kaplamasız segmanın pürüzlülük değerleri

Ra	264,23 nm
Rq	318,33 nm
Ry	1545,5 nm
Rp	990,33 nm
Rv	-555,13 nm
Rm	-18,626 fm

3.3.2 Deney Motoru Silindirinin Optik İncelemesi

Şekil 3.16, Honda GX-270 motoruna ait motor bloğundan kuru kesim yöntemi ile kesilen silindir numunesinin Optik, S.E.M., X-Ray analizi ve 3D yüzey topografyası ve pürüzlülüğünü göstermekte olup Gri Dökme Demir özelliklerini taşımaktadır. Yüzeyde honlama çizgileri belirgin bir şekilde görülmektedir. Yüzey pürüzlülük derinliği 0.156 μm ile 2.167 μm arasında değişmektedir.

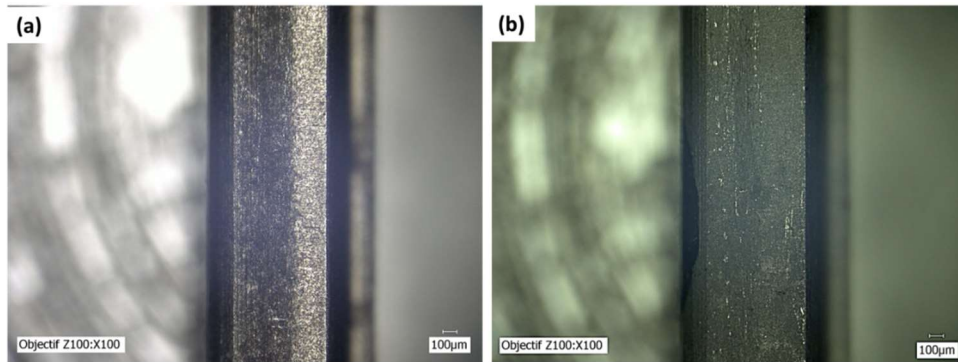


Şekil 3.16 Honda GX-270 motoruna ait silindir kesimi sonrası yüzey analizleri; (a) Optik Mikroskop, (b) ve (c) S.E.M., (d) ve (e) X-Ray analizi, (f) ve (g) 3D yüzey topografyası ve pürüzlülüğü.

3.3.3 Nitrürleme İşlemi

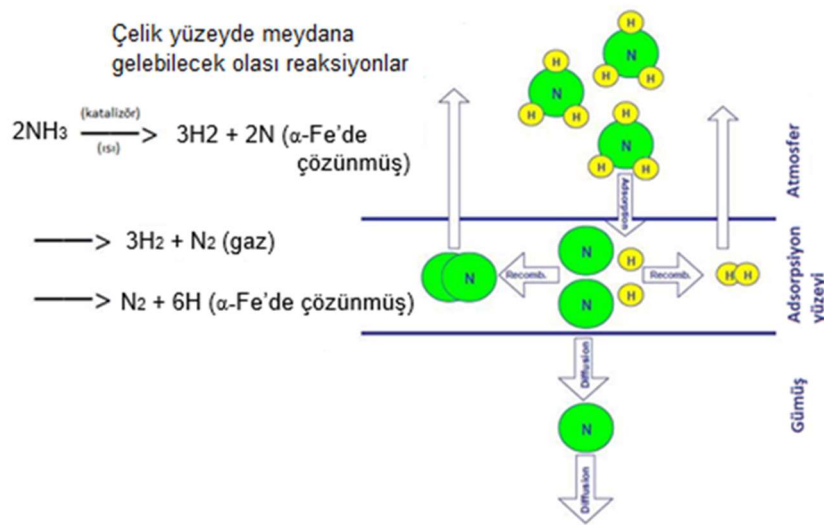
Nitrürle kaplama şu şekildedir:

- Amonyak, yüksek sıcaklıkta kontrollü atmosfer odasına alınır,
- NH_3 nitrit formunda elementler içeren çelik yüzey üzerine çöktürülür,
- Difüzyon bölgeleri meydana gelir,
- Hacim merkezli kübik demirin nitrojen gazıyla kararlı dengede olması sebebiyle yüzey üzerinde bileşik ("beyaz") tabaka oluşabilir.



Şekil 3.17 (a) Kaplaması kaldırılmış 2. segman (b), kaplaması kaldırılmış 2. segmanın nitrürle kaplanmış hali

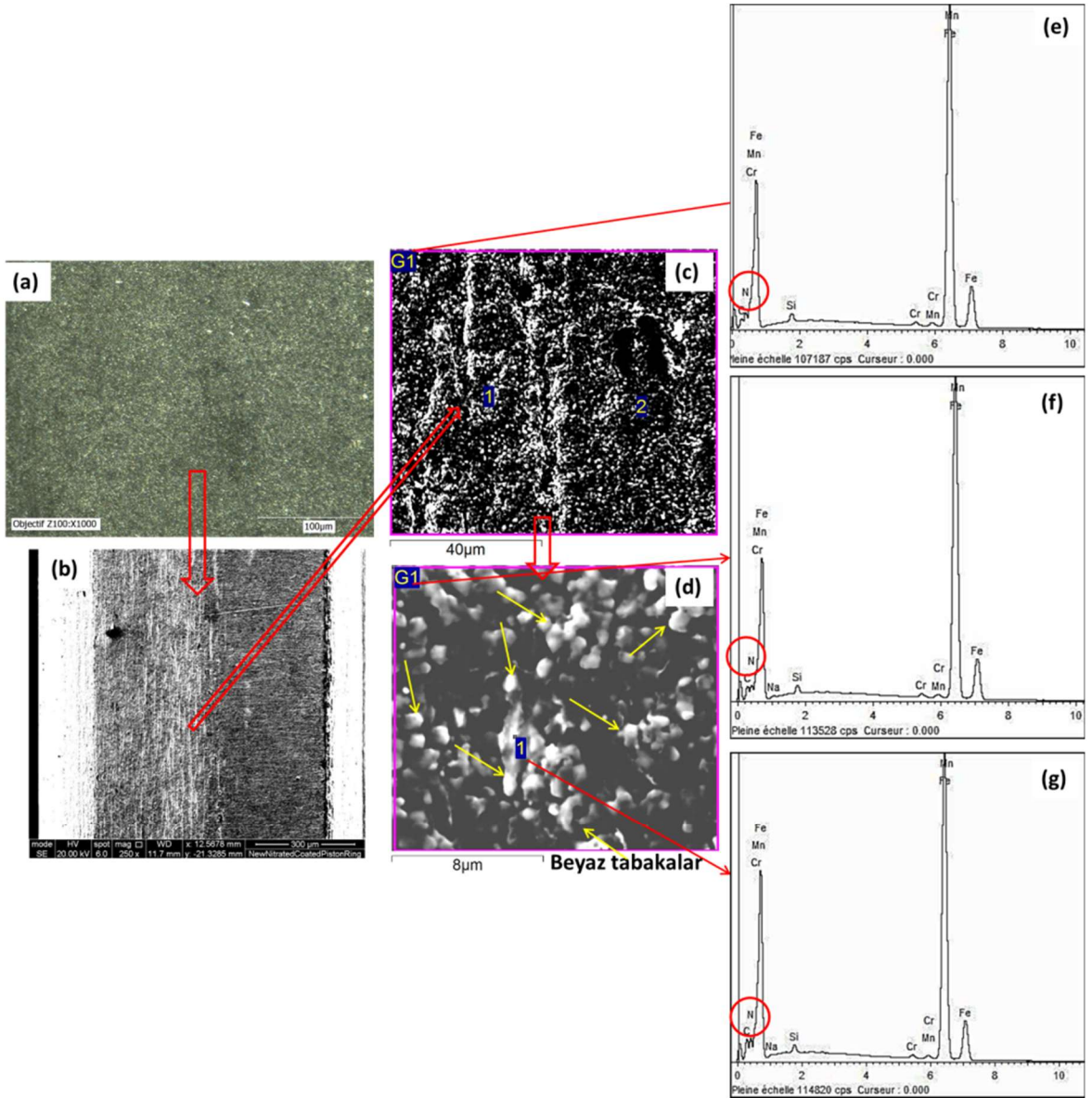
Şekil 3.17 a) kaplaması kaldırılmış 2. segmanı; b) ise bu segmanın nitrürle kaplanmış halinin dijital optik mikroskobunu göstermektedir.



Şekil 3.18 Nitrürleme aşamaları

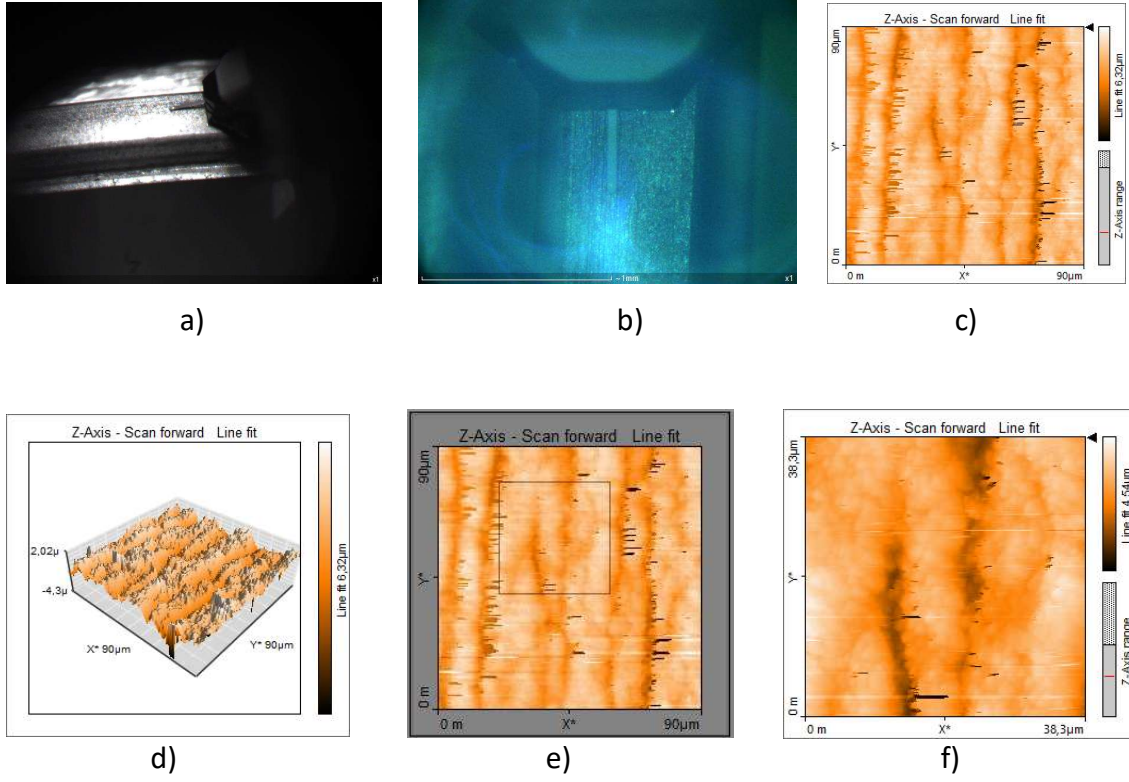
Çizelge 3.5 Fe-N sisteminin aşamaları

Aşamalar	Bileşim	Wt. % (At. %) N	Her 100 Fe atomu için Arayer atomu	Bravais Kafesi
Ferit (α)	Fe	0,10 (0,40)	-	B.c.c.
Östenit (γ)	Fe	2,8 (11)	12,4	F.c.c
Martensit (α')	Fe	2,6 (10)	11,1	B.c.tetrag.
γ'	Fe_4N	5,9 (20)	25	Kübik
ϵ	$\text{Fe}_2\text{N}_{1-x}$	4,5-11,0 (18-32)	22 – 49,3	Hekzagonal
ζ	Fe_2N	11,4 (33,3)	50	Ortorombik



Şekil 3.19 Nitrürle kaplanmış 2. segmanın; (a) Optik Mikroskop, (b), (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi.

Şekil 3.19 Nitrürle kaplanmış 2. segmanı detaylı göstermektedir. Küresel grafitli dökme demirin yapısında Fe, C, Mn, Si ile birlikte Cr, kırmızı halkalar işe gösterilen azot (N) pikleri tespit edilmiştir. Yüzeyde sarı oklarla gösterilen dairesel beyaz tabakalar oluşmuş, küresel grafiti kaplanmış.



Şekil 3.20 Nitrürlü segmanın A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgesinin topografya haritası

Çizelge 3.6 Nitrürlü segmanın pürüzlülük değerleri

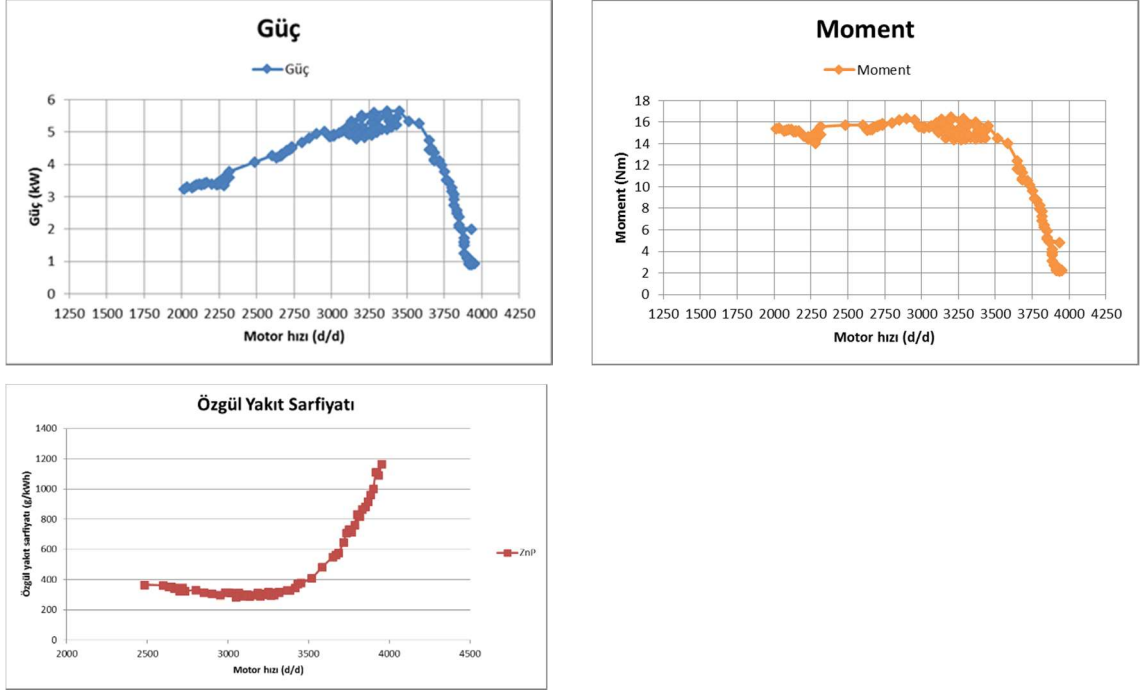
Ra	512,55 nm
Rq	623,01 nm
Ry	2841,4 nm
Rp	1288,1 nm
Rv	-1553,3 nm
Rm	-17,499 fm

3.3.4 Motor Rodajı

Motor rodajı yeni üretilmiş motorlarda sürtünen yüzeylerin birbirine alışması için geçmesi gereken süre olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte motor aşınmaları yüksek değerlerde olduğu için aşınma testlerinden önce motorların rodajlarının tamamlanmış olması önem arz etmektedir. Günümüzde etkin rodaj süresi için kabul edilmiş bir standart olmamakla birlikte, rodajın hangi hız ve yük şartında uygulanacağına dair kesin bir yöntem tanımlaması da mevcut değildir. Bu bağlamda üreticilerin tecrübeye dayalı önerileri göz önünde bulundurulmaktadır.

3.3.5 Performans Testi

Performans testleri motorun fren gücünün, fren momentinin ve fren özgül yakıt sarfiyatının motor işletme hız aralığında belirlenmesi için uygulanmıştır. Performans testleri ile farklı segman kaplamalarının motor çıktılarına olan etkisinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Testler öncesinde motorlar rejim sıcaklıklarına kadar ısıtılmıştır. Motorların performansı belirlenirken yüksüz şartta tam gaz pozisyonu ile ölçüm alınmaya başlanarak kademeli olarak motor yükü arttırılmış ve minimum devire gelindiğinde ölçüm bitirilmiştir. Her motor için performans testleri üçer kez tekrarlanmış ve sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Tüm deneylerde kullanılan Honda GX-270 deney motorunun performans testi sonuçları Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21 Honda GX-270 motoru performans testi eğrileri

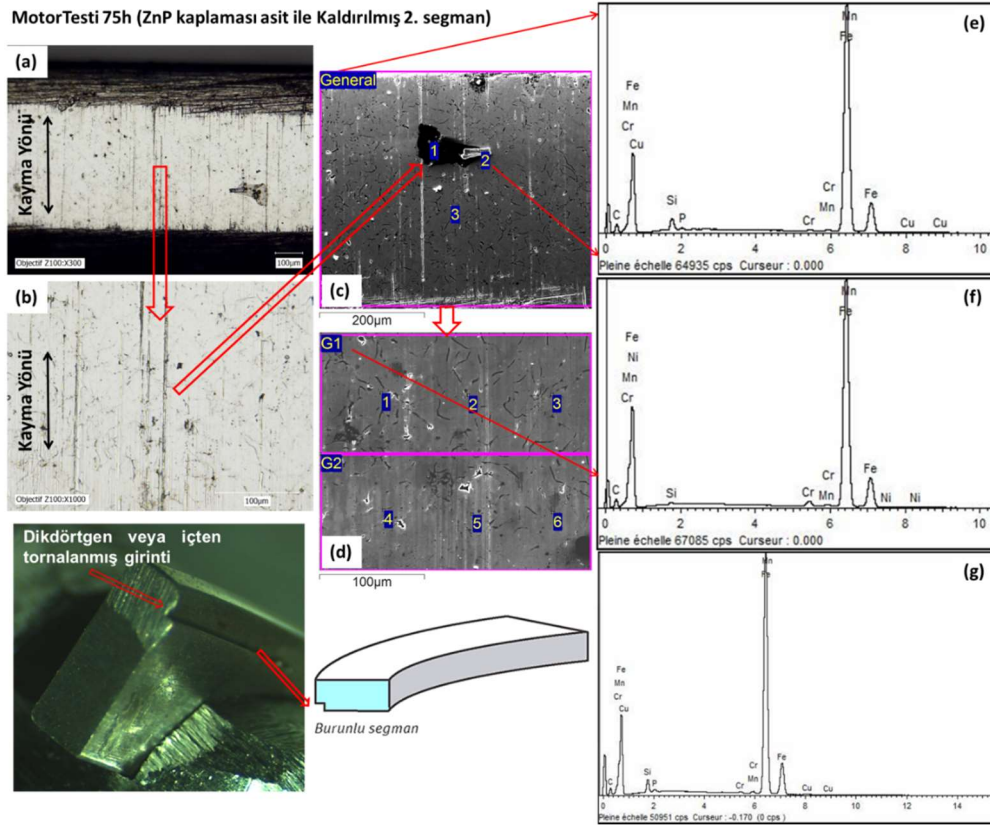
3.3.6 Motor Ömür Testleri

Yaşlandırma veya ömür testi olarak bilinen testlerin uygulanmasında motorlar sabit yük altında hedeflenen süre çalıştırılırlar. Yaşlandırma uygulamasında amaç motorun aşınma açısından performansını değerlendirebilecek test verileri elde edebilmektir. Test esnasında önceden belirlenmiş aralıklar ile yağ numuneleri alınarak aşınma elementlerinin ve yağ katkılarının durumu incelenmek üzere laboratuvara gönderilir. Ömür testlerinde uygulanacak olan test yükleri için performans testi yapılmış olup, bu test yükleri ISO 8178-4 standardında tanımlanan şekilde seçilerek, devir hızı 2500 d/d, güç ise 2 kW olacak şekilde uygulanmıştır. Farklı segman uygulamaları için her motorun 100 saat teste tabi tutulması ve aynı zamanda sırasıyla 25, 50, 75 ve 100. saatte yağ numuneleri alınarak elementel analize tabi tutulması planlanmıştır. Ancak test esnasında motorların beklenen mertebeden fazla yağ eksiltmeleri nedeniyle testler 75 saat ile sınırlandırılarak uygulanmıştır. Testler esnasında planlandığı gibi 25, 50 ve 75. saatlerde yağlama yağlarından numune alınarak aşınma elementleri, toplam asit sayısı, toplam baz sayısı, viskozite ve katkı maddeleri miktarları ölçülmüştür.

3.4 Motor Deneyleri

3.4.1 Kaplamasız Segman (Kaplaması Asit Yoluyla Kaldırılmış Segman) ile Yapılan Motor Testi (75h)

3.4.1.1 Kaplaması Kaldırılmış 2. Segmana Ait Yüzey Analizleri



Şekil 3.21 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

Çizelge 3.7 Şekil 3.22'deki X-Ray analizi verileri

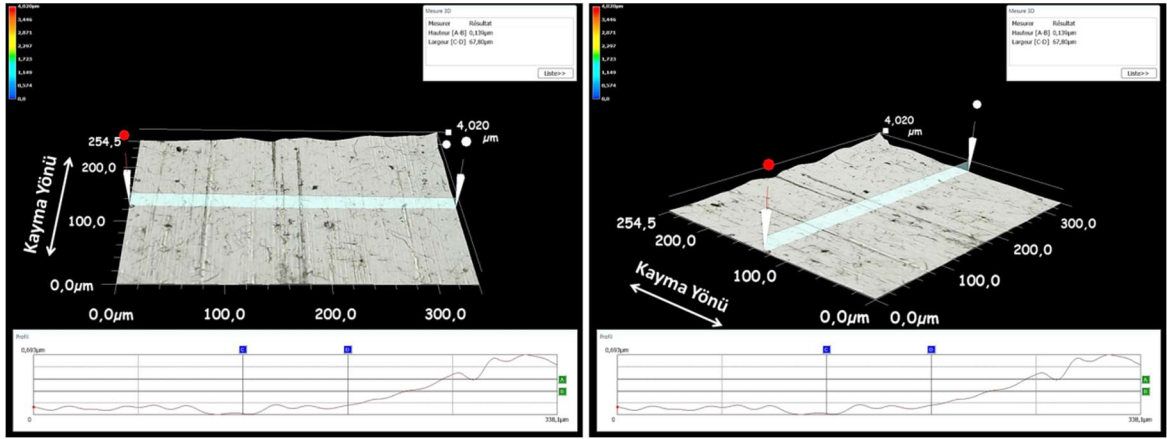
(e) Genel			(f) 2			(g) G1		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	15.45	45.19	C	14.78	44.48	C	12.81	39.84
Si	2.36	2.95	Si	0.47	0.61	Si	2.45	3.26
P	0.37	0.42	Cr	1.04	0.72	P	0.47	0.56
Cr	0.3	0.2	Mn	0.33	0.22	Cr	0.3	0.22
Mn	0.53	0.34	Fe	83.26	53.9	Mn	0.58	0.4
Fe	80.44	50.59	Ni	0.12	0.08	Fe	82.85	55.41
Cu	0.56	0.31	Total	100		Cu	0.53	0.31
Total	100					Total	100	

Çizelge 3.7, Şekil 3.22'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütleli ve atomik olarak Fe, Mn, Si Cr gibi segman malzemesindeki elementler tespit edilmiştir.

Honda GX-270 motoruna ait kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segman motordaki ZnP (çinko fosfat) kaplı segmanla yer değiştirilerek 75 saat süreyle ömür testi deneyine tabi tutulmuştur. Bu segman burunlu segman tipi olup yağ sıyırma fonksiyonlu 2. kompresyon segmanıdır. Bu tip segmanlar çift fonksiyona sahiptir. Gaz sızdırmazlığı sağlanırken kompresyon segmanını ve yağ filmi ayarlanırken yağ sıyırma segmanını desteklerler. Burunlu segmanda segmanın çalışma yüzeyinin alt kenarı, gaz sızdırmazlığının yanında yağ sıyırma etkisine de sahip olan dikdörtgen veya içten tornalanmış girinti ile donatılmıştır. Girinti, sıyrılan yağın yağ karterine geri gitmeden önce içinde toplanabildiği belli bir hacmi oluşturur. Burunlu segman birçok motor modelinde ikinci kompresyon segmanı olarak kullanılmaktadır.

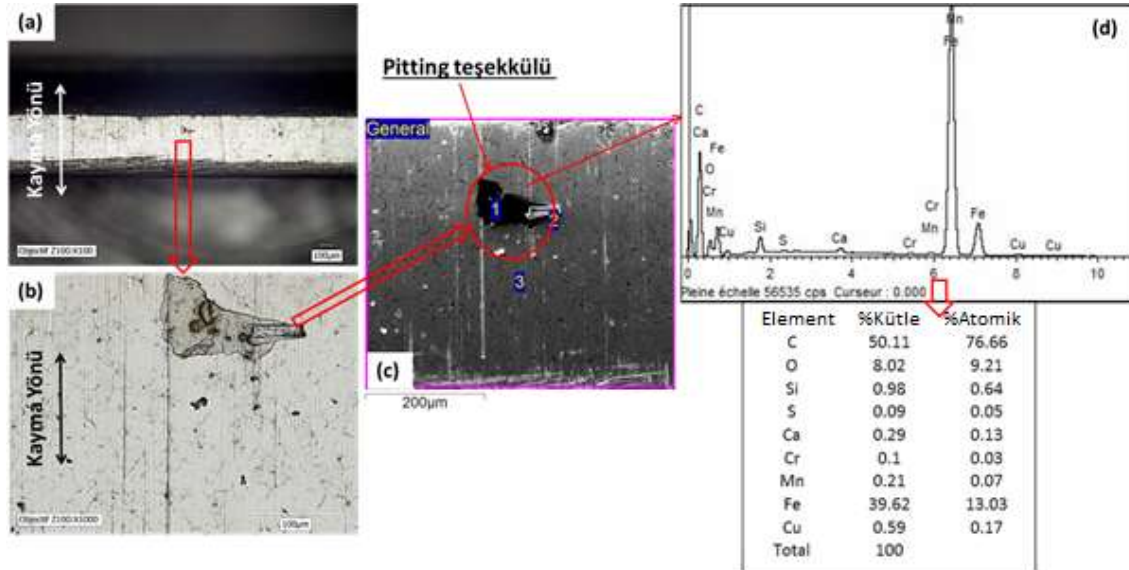
Şekil 3.22 (a) ve (b) sürtünen alanın optik mikroskoptaki görüntüsüdür. Renkli görüntü yoktur ve katkı maddelerinin koruyucu film tabakası oluşmamıştır. Şekil 3.22 (c) ve (d) ise segmanın S.E.M. görüntüleri olup kayma yönünde birbirine paralel abrazyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir. S.E.M. görüntülerine bağlı Şekil 3.22 (e), (f) ve (g)'de katkı maddeleri tespit edilmemiştir. Bunun anlamı sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmamış, abrazyon aşınmasının (abrazif çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlamadığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmamıştır.

S.E.M. analizi esnasında ve aynı anda X-Ray speklerinde tanımlanan G (genel), 1, 2, 3, 4 gibi rakamlar ise noktasal X-Ray'dir. Ayrıca G (genel) G1, G2 gibi farklı alanları çerçeve içine alarak yüzeydeki elementleri belirlemektedir.



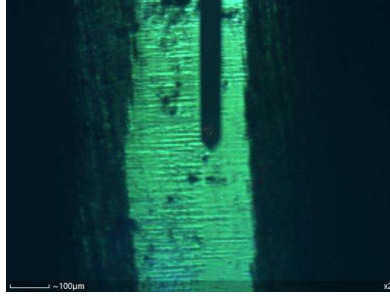
Şekil 3.22 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası

Şekil 3.23 kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $0.693/2 = 0.346 \mu\text{m}$ mertebesinde.

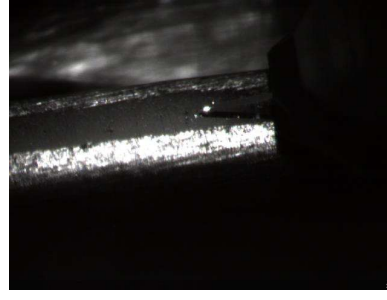


Şekil 3.23 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası yüzeyde oluşan “pitting” teşekkülü; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d) X-Ray analizi

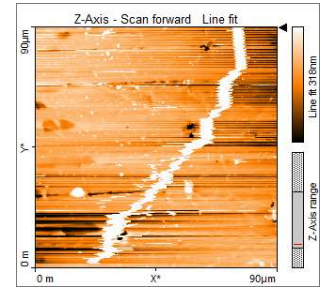
Şekil 3.24 (a), (b) ve (c)’de “pitting” oluşumu görülmektedir.



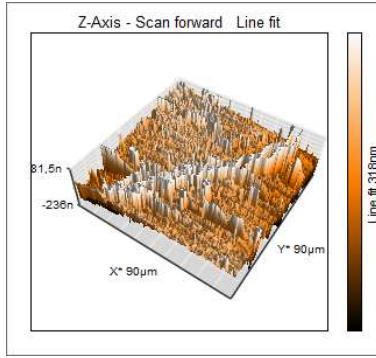
a)



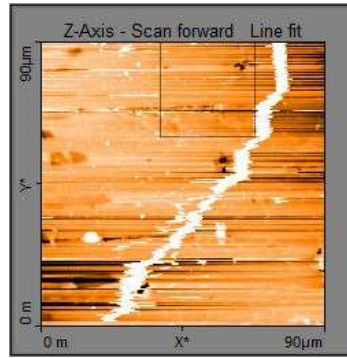
b)



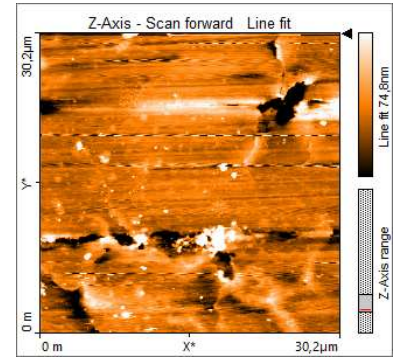
c)



d)



e)



f)

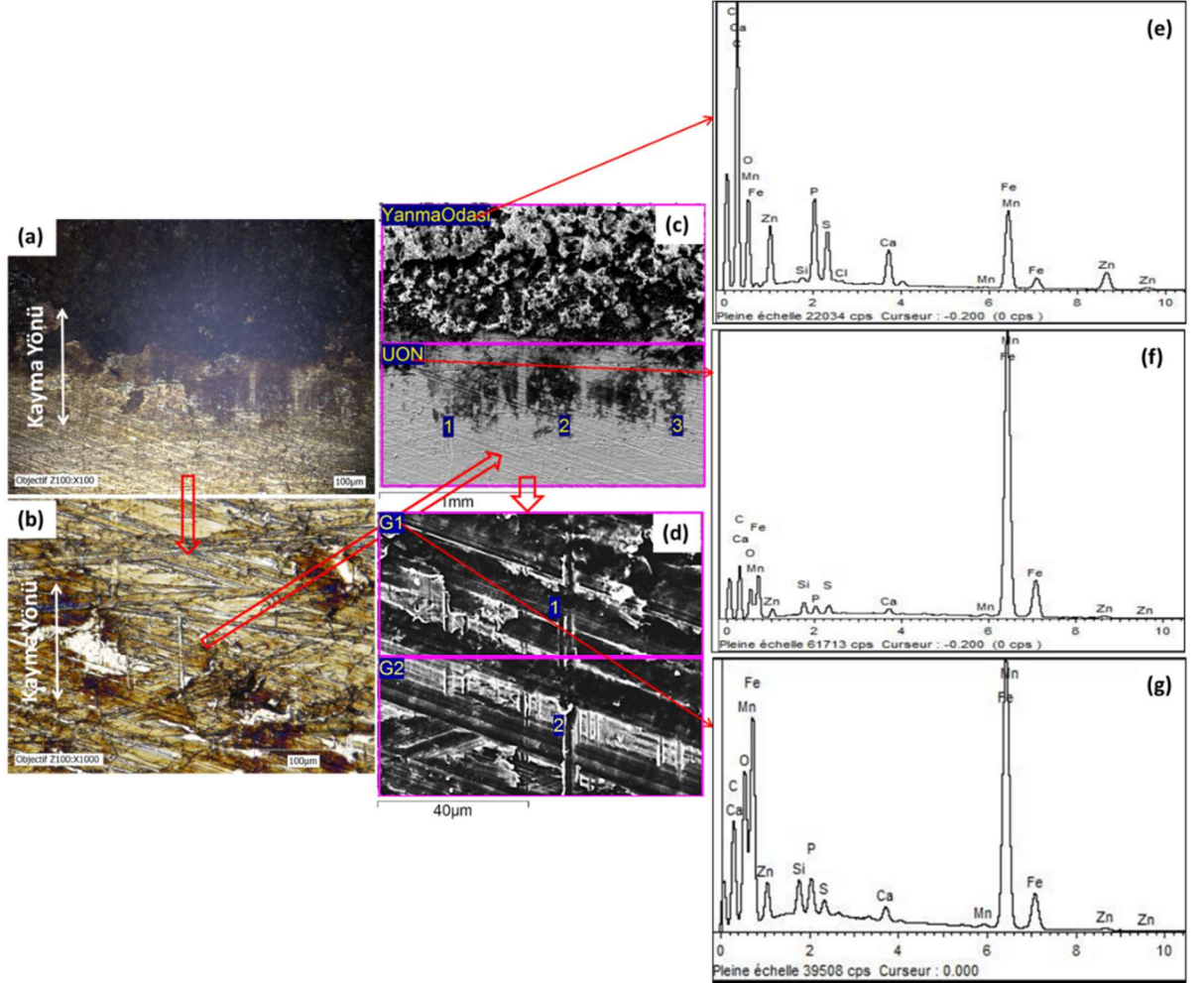
Şekil 3.24 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizlerinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.8 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizlerinin pürüzlülük değerleri

Ra	73,014 nm
Rq	161,05 nm
Ry	969,53 nm
Rp	864,79 nm
Rv	-104,74 nm
Rm	-18,626 fm

3.4.1.2 Kaplaması Kaldırılmış 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri

Üst Ölü Nokta (ÜÖN) 2 defa incelenmiştir.



Şekil 3.25 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

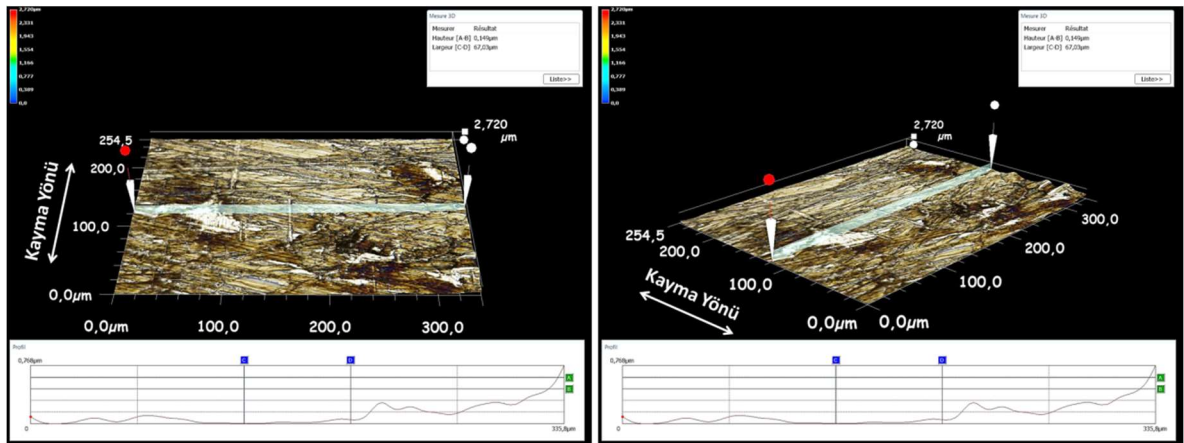
Şekil 3.26 (a) ve (c)'de üst koyu renkli kısım yanma odası, alt kısım ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Motorda yanma sonucu oluşan karbon birikintileri kalsiyum başta olmak üzere, kalsiyum sülfat, kurum, oksidasyon sonucu reçine ve lak (vernik) teşekkülü, kalsiyum karbonat ve çeşitli katkı maddeleri yanma odasında ve piston üzerinde birikmektedir. Şekil 3.26 (e) spektrasında Zn, P, S, Ca ve Cl pikleri yüksek mertebededir.

Motorlarda en fazla sürtünme-aşınma sıkıştırma stroku sonunda yanma başlangıcında Üst Ölü Noktada piston, segman ile silindir cidarı arasında meydana geldiği bilinmektedir. Burada sızdırmazlığın sağlanması sınır yağlama koşullarında oluşmaktadır. Şekil 3.26 (b) ve (d) ise ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Silindir yüzeyi kayma yönünde kırmızı okların gösterdiği alanda abrazif izlerle honlama işleme çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri yüzeyi korumuştur. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazif çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmuştur.

Çizelge 3.9 Şekil 3.26'daki X-Ray analizi verileri

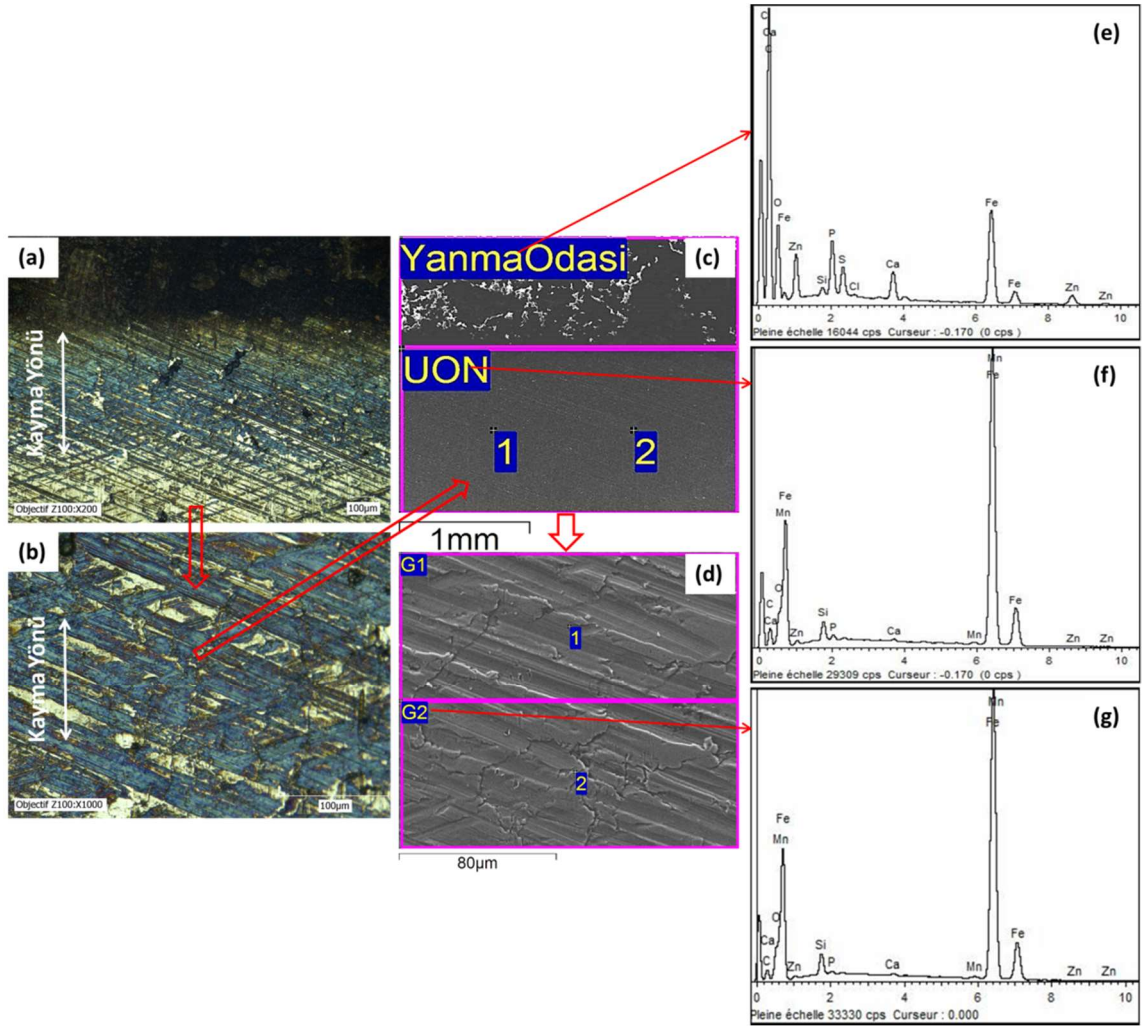
(e) Yanma Odası			(f) ÜÖN			(g) G1		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	60.59	72.99	C	34.34	62.49	C	19.64	44.27
O	24.78	22.41	O	11.34	15.49	O	12.84	21.74
Si	0.1	0.05	Si	0.93	0.73	Si	1.26	1.21
P	2.37	1.11	P	0.65	0.46	P	1.54	1.35
S	1.39	0.63	S	0.55	0.38	S	0.64	0.54
Cl	0.08	0.03	Ca	0.39	0.21	Ca	0.83	0.56
Ca	1.21	0.44	Mn	0.34	0.13	Mn	0.48	0.24
Mn	0.08	0.02	Fe	50.81	19.89	Fe	58.07	28.15
Fe	6.34	1.64	Zn	0.65	0.22	Zn	4.7	1.95
Zn	3.06	0.68						
Total	100		Total	100		Total	100	

Çizelge 3.9, Şekil 3.26'daki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütle ve atomik olarak Zn, P, S ve Ca gibi yağ katkı elementlerinin tespiti yüzeyde yoğun tribofilm tabakasının oluştuğunu göstermektedir. Şekil 3.26 (f) ve (g) speklerindeki Zn, P oranları oldukça yüksektir.



Şekil 3.26 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası

Şekil 3.27, kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $0.768/2=0.384\mu\text{m}$ mertebesinde.



Şekil 3.27 Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

Aynı motorda kesilen bir başka silindir aynı koşullarda analiz edilmiştir. Şekil 3.28 (a) ve (c)'de üst koyu renkli kısım yanma odası, alt kısım ÜÖN'nın optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Yanma odası incelendiğinde Şekil 3.28 (e) spektrasında Zn, P, S, Ca ve Cl pikleri yüksek mertebededir.

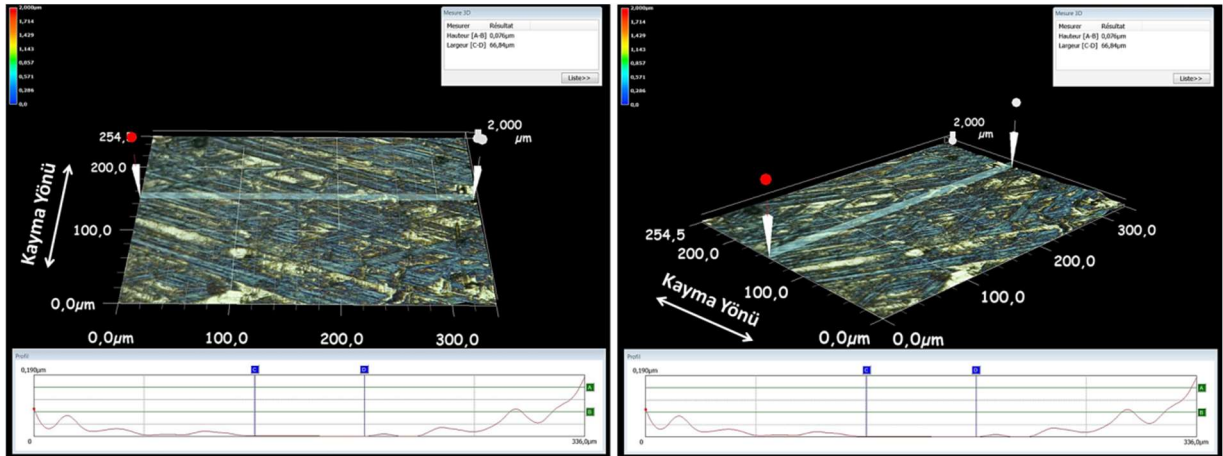
Şekil 3.28 (b) ve (d) ise ÜÖN'nın optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Silindir yüzeyi kayma yönünde kırmızı okların gösterdiği alanda abrazyon izlerle honlama işleme çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri yüzeyi korumuştur. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazyon çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı

tabakası veya tribofilm oluşmuştur. Şekil 3.28 (d)'de yüksek büyütmede S.E.M. elektron mikroskopunda, sıcaklığın yüksek olmasından dolayı korozif aşınma görülmüş ve ilerleyen çatlakları oluşturan delaminasyon tabakaları oluştuğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.10 Şekil 3.28'deki X-Ray analizi verileri

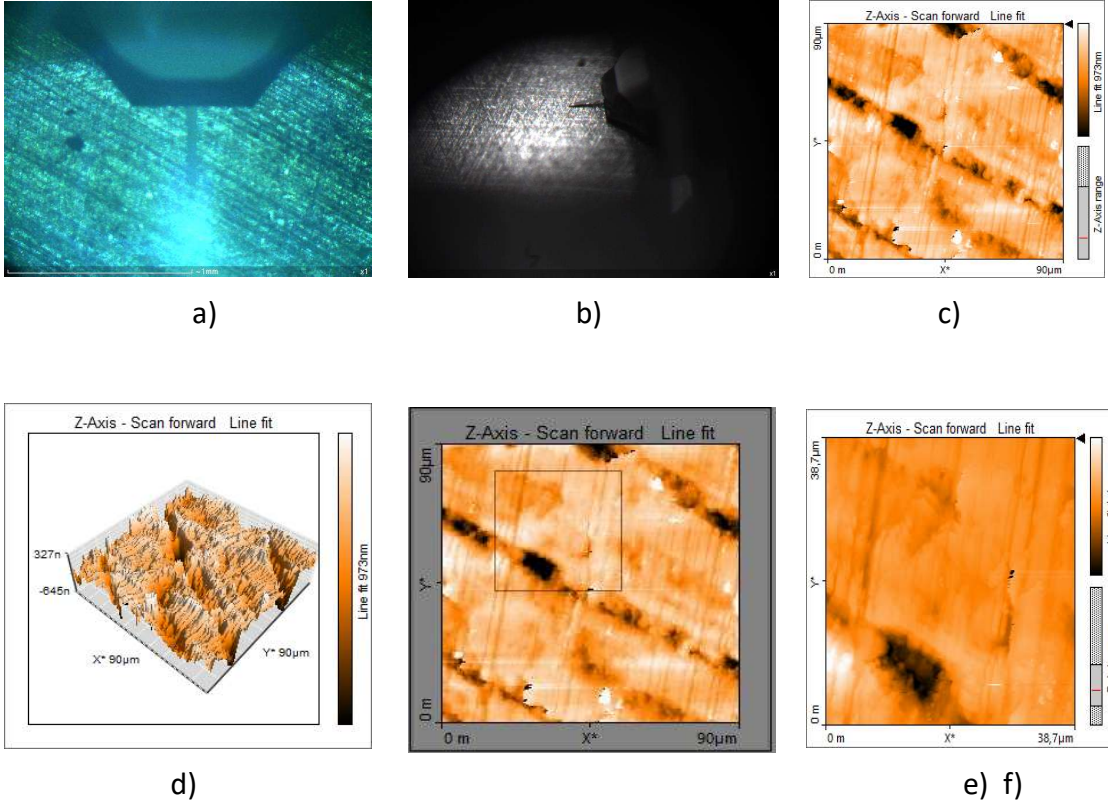
(e) Yanma Odası			(f) ÜÖN			(g) G1		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	58.77	74.29	C	12.36	34.96	C	8.34	25.89
O	20.2	19.17	O	6.84	14.52	O	6.81	15.86
Si	0.29	0.16	Si	1.83	2.22	Si	2.14	2.85
P	2.12	1.04	P	0.54	0.59	P	0.33	0.39
S	1.12	0.53	Ca	0.21	0.18	Ca	0.18	0.16
Cl	0.1	0.04	Mn	0.45	0.28	Mn	0.39	0.26
Ca	1.42	0.54	Fe	77.42	47.08	Fe	81.65	54.49
Fe	13.05	3.55	Zn	0.35	0.18	Zn	0.16	0.09
Zn	2.93	0.68						
Total	100		Total	100		Total	100	

Çizelge 3.10, Şekil 3.28'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütsel ve atomik olarak Zn, P, S ve Ca gibi yağ katkı elementlerinin tespiti yüzeyde yoğun tribofilm tabakasının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 3.28 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin 3D yüzey topografyası

Şekil 3.29 kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $0.190/2=0.095\mu\text{m}$ mertebesindedir.



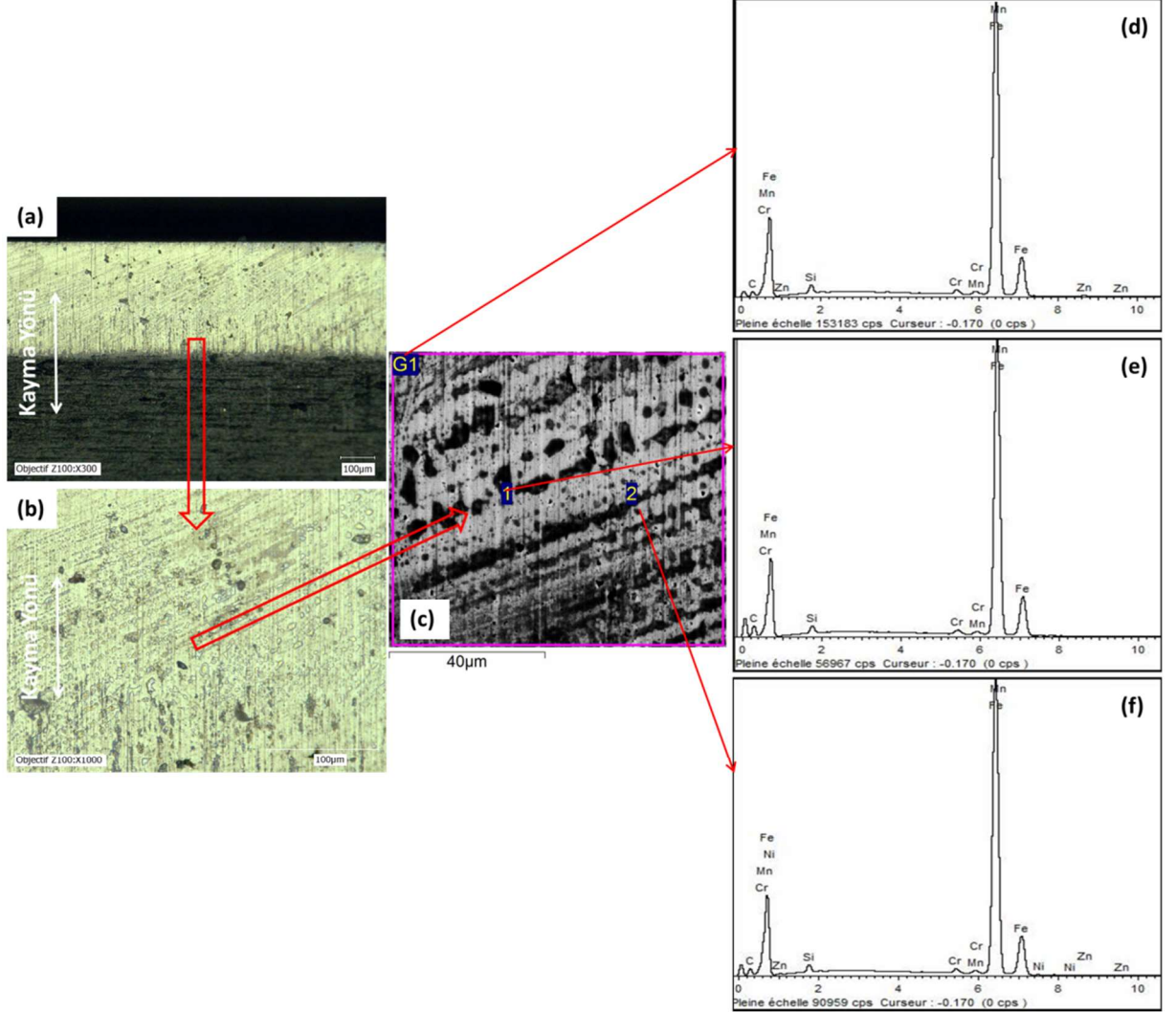
Şekil 3.29 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.11 Kaplaması kaldırılmış 2. segman ile çalışan motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	103,29 nm
Rq	132,16 nm
Ry	664,36 nm
Rp	303,61 nm
Rv	-360,76 nm
Rm	-18,626 fm

3.4.2 Çinkofosfat Kaplı Segman ile Yapılan Motor Testi (75h)

3.4.2.1 Çinkofosfat Kaplı 2. Segman Yüzey Analizleri



Şekil 3.30 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi

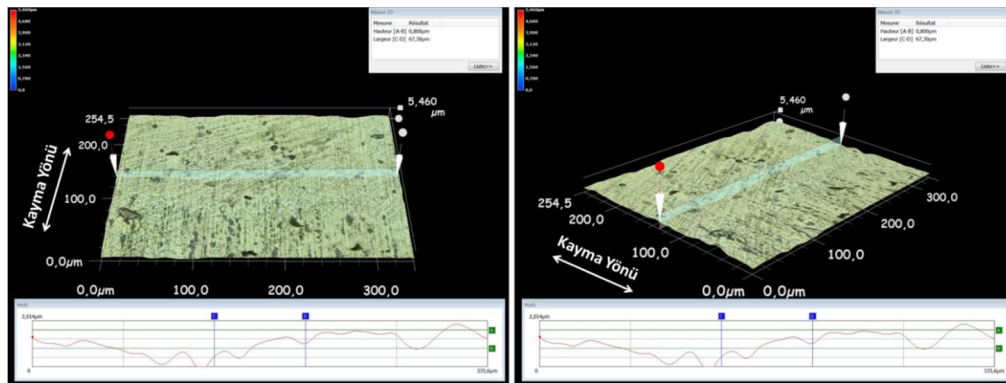
Şekil 3.31 (a) ve (b) sürtünen alanın optik mikroskoptaki görüntüsüdür. Renkli görüntü yoktur ve katkı maddelerinin koruyucu film tabakası oluşmamıştır. Şekil 3.31 (c) ise segmanın S.E.M. görüntüsü olup kayma yönünde birbirine paralel belirgin abrazyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir. S.E.M. görüntüsüne bağlı Şekil 3.31 (d), (e) ve (f)'de katkı maddeleri tespit edilmemiştir. Bunun anlamı sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmamış, abrazyon aşınmasının (abrazif çizgilerin) pürüzsüz

ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlamadığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmamıştır. Şekil 3.31 (b)'deki S.E.M. elektron mikroskobu yüksek büyütmede yüzeyde siyah koyu renkli çukurcukların yüzey yorulması sonucu "Pitting" teşekkülü oluşturduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.12 Şekil 3.31'deki X-Ray analizi verileri

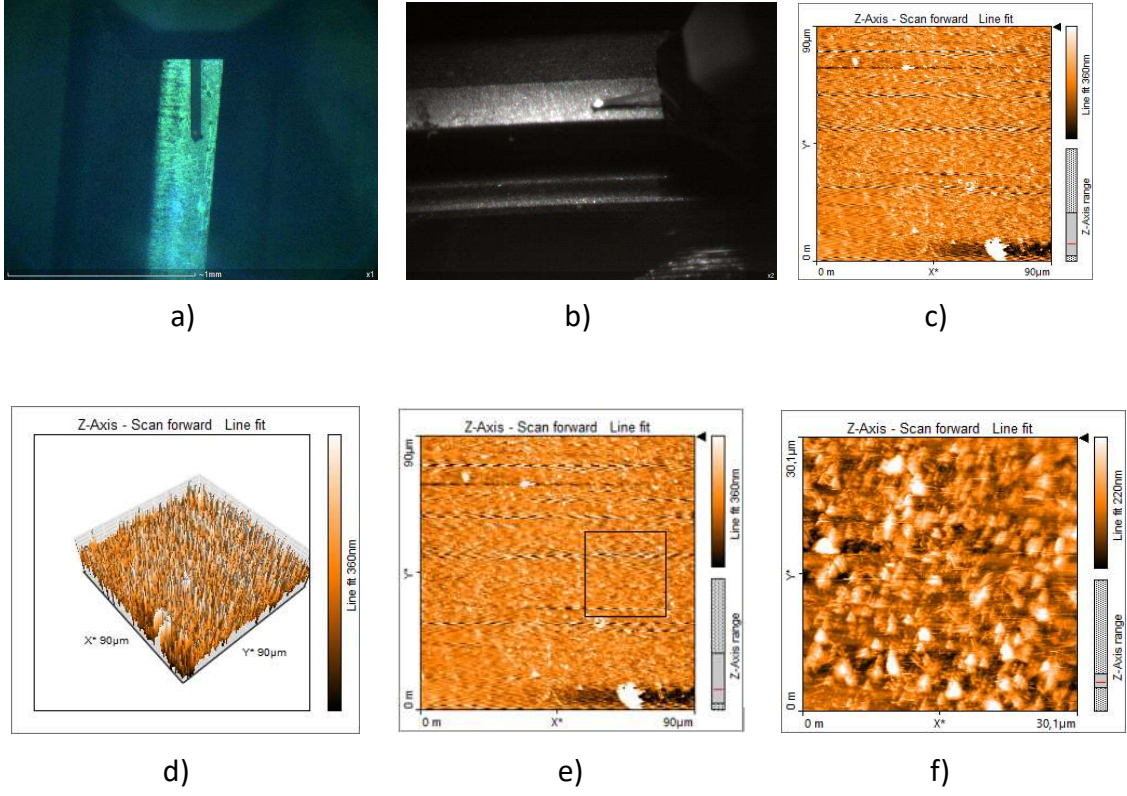
(e) Genel			(f) 1			(g) 2		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	8.43	29.63	C	17.02	48.43	C	11.14	36.47
Si	1.57	2.36	Si	1.24	1.51	Si	1.36	1.91
Cr	0.7	0.57	Cr	0.64	0.42	Cr	0.64	0.48
Mn	0.64	0.49	Mn	0.6	0.37	Mn	0.64	0.46
Fe	88.37	66.77	Fe	80.49	49.26	Fe	86.01	60.55
Zn	0.28	0.18				Ni	0.11	0.07
						Zn	0.1	0.06
Total	100		Total	100		Total	100	

Çizelge 3.12 Şekil 3.31'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütsel ve atomik olarak Fe, Mn, Si, Cr ve doğal olarak Zn gibi segman malzemesindeki elementler tespit edilmiştir.



Şekil 3.31 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası

Şekil 3.32 çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $2.014/2 = 1.007 \mu\text{m}$ mertebesinde.

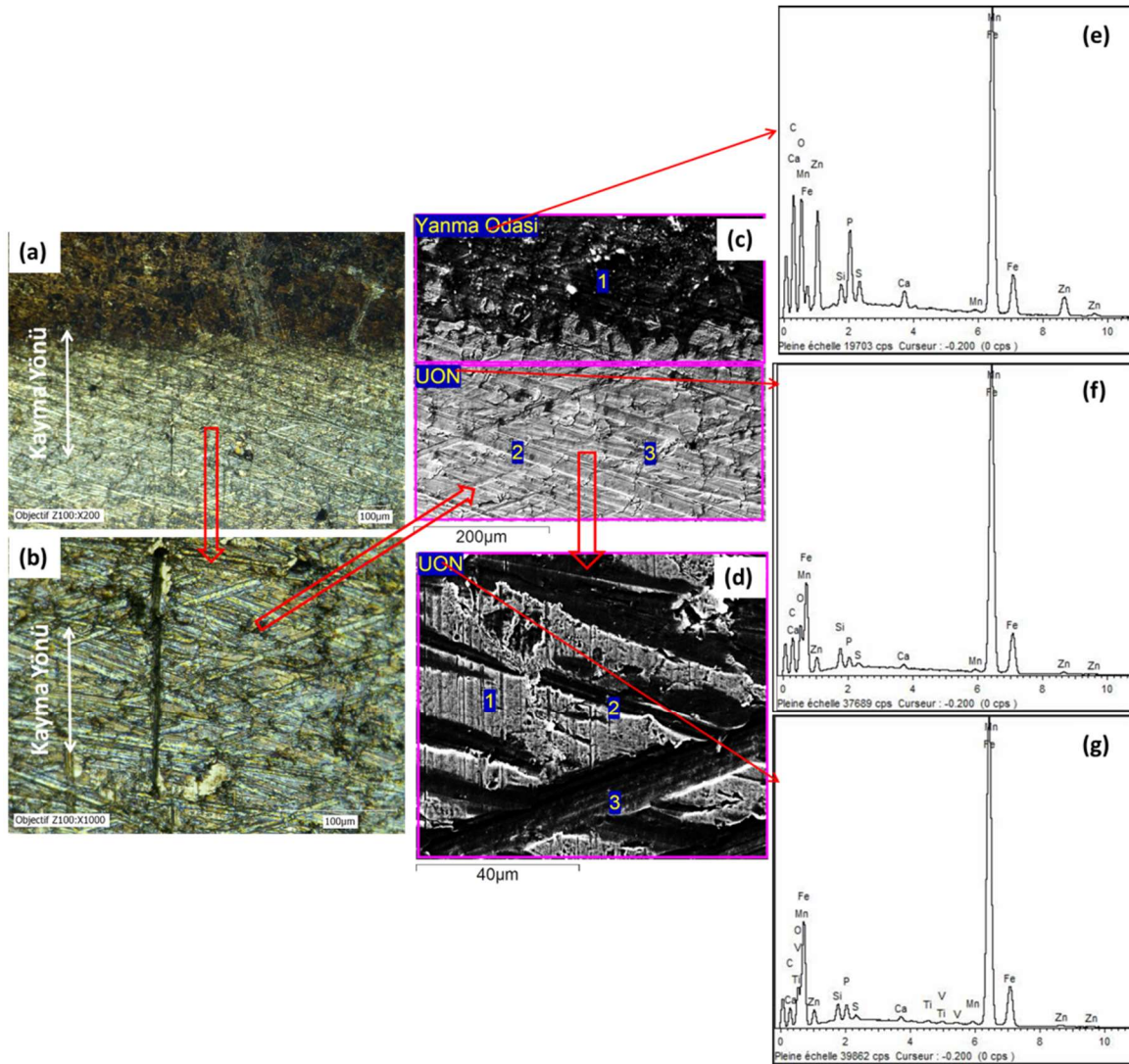


Şekil 3.32 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.13 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	30,26 nm
Rq	39,971 nm
Ry	232,09 nm
Rp	152,85 nm
Rv	-79,243 nm
Rm	-18,626 fm

3.4.2.2 Çinkofosfat Kaplı 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri



Şekil 3.33 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

Şekil 3.34 (a) ve (c)'de üst koyu renkli kısım yanma odası, alt kısım ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Yanma odası incelendiğinde Şekil 3.34 (e) spektrasında Zn, P, S, Ca pikleri yüksek mertebededir.

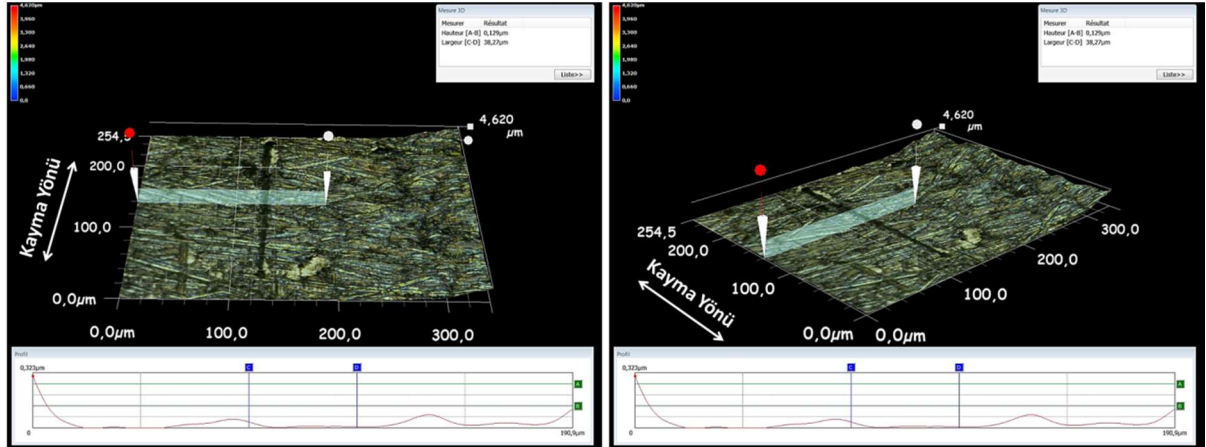
Şekil 3.34 (b) ve (d) ise ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Silindir yüzeyi kayma yönünde kırmızı okların gösterdiği alanda abrazyon izleri honlama işleme çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri yüzeyi korumuştur. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazyon çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları

için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmuştur. Aynı zamanda yüzeydeki renkli tabakalar korozyon aşınmanın varlığını göstermektedir.

Çizelge 3.14 Şekil 3.34'deki X-Ray analizi verileri

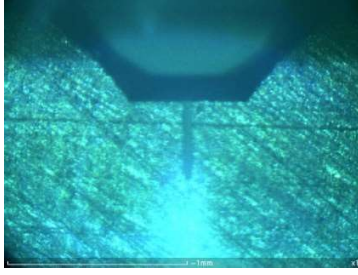
(e) Yanma Odası			(f) ÜÖN			(g) ÜÖN		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	32.44	56.46	C	19.11	45.21	C	12.44	34.05
O	18.24	23.83	O	9.88	17.55	O	8.7	17.89
Si	0.79	0.59	Si	1.39	1.41	Si	1.4	1.64
P	3.02	2.04	P	0.78	0.72	P	1.34	1.42
S	0.87	0.57	S	0.29	0.25	S	0.33	0.34
Ca	0.78	0.41	Ca	0.32	0.23	Ca	0.37	0.31
Mn	0.26	0.1	Mn	0.41	0.21	Ti	0.2	0.14
Fe	37.9	14.19	Fe	66.82	33.99	V	0.27	0.17
Zn	5.7	1.82	Zn	0.99	0.43	Mn	0.57	0.34
Total	100		Total	100		Fe	73.21	43.11
						Zn	1.17	0.59
						Total	100	

Çizelge 3.14, Şekil 3.34'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütsel ve atomik olarak Zn, P (yüksek miktarda), S ve Ca gibi yağ katkı elementlerinin tespiti yüzeyde yoğun tribofilm tabakasının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 3.34 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası

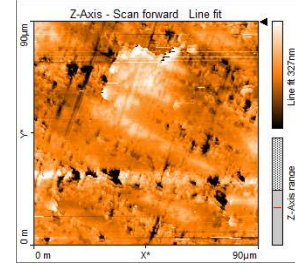
Şekil 3.35 Çinkofosfat kaplı 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $0.323/2=0.161\mu\text{m}$ mertebesindedir.



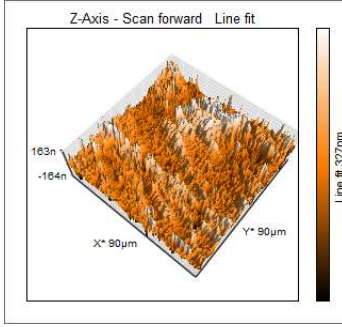
a)



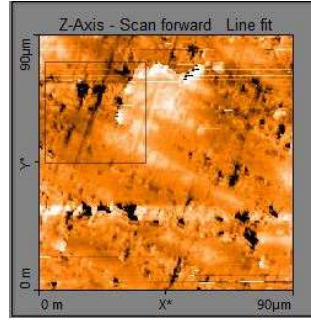
b)



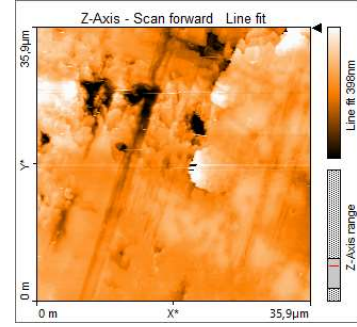
c)



d)



e)



f)

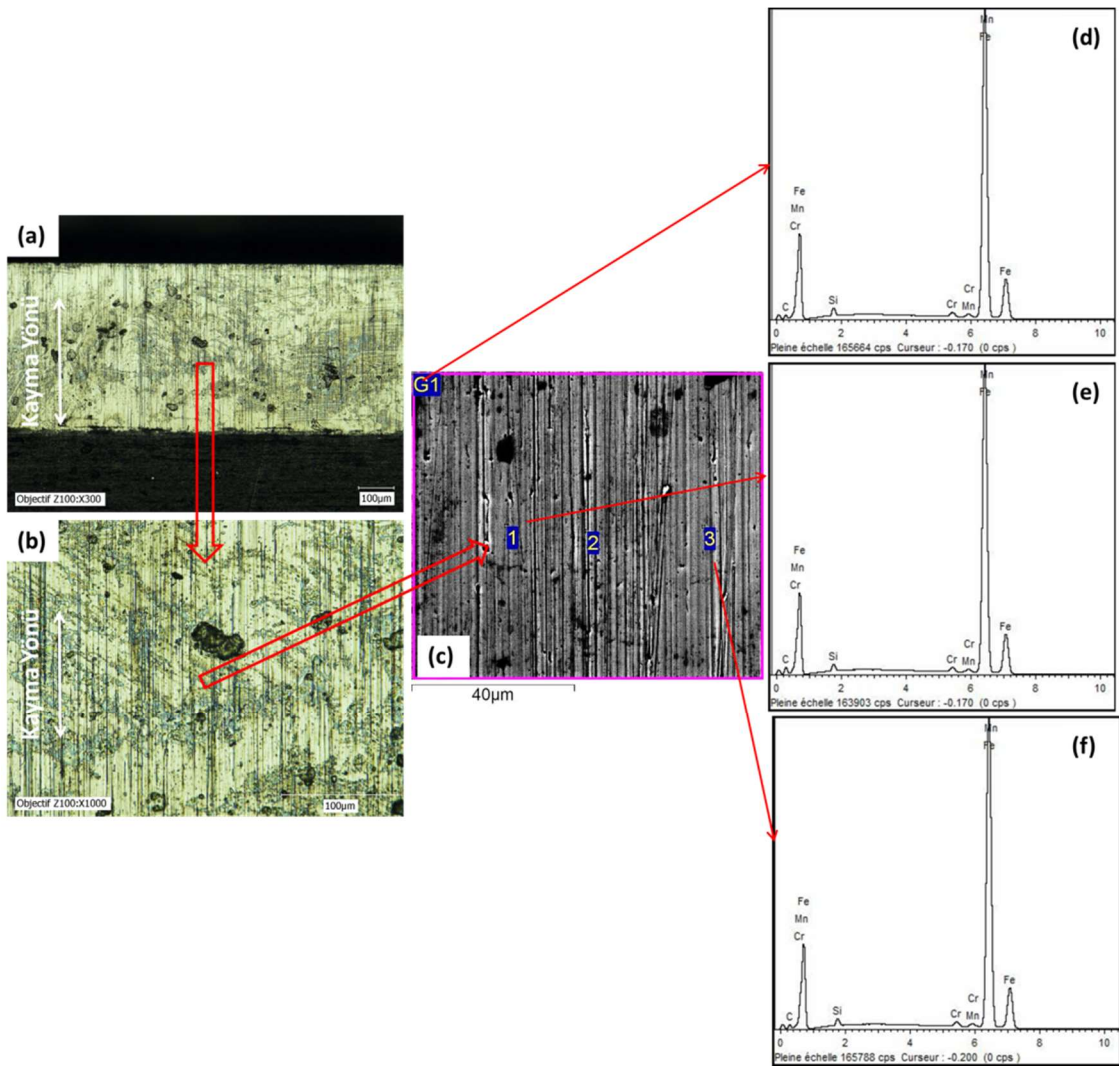
Şekil 3.35 ZnP kaplı 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.15 ZnP kaplı 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	27,921nm
Rq	37,361nm
Ry	188,23nm
Rp	105,37nm
Rv	-82,861nm
Rm	-18,626fm

3.4.3 Grafen Nanopartiküllerin (TEGO Grade-1) Shell Helix Ultra 5W-40 Tam Sentetik Ticari Motor Yağına Katılması ile Yapılan Motor Testi (75h)

3.4.3.1 Grafen Nanopartiküllü (TEGO Grade-1) Yağ İçeren Motordaki 2. Segman Yüzey Analizleri



Şekil 3.36 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi

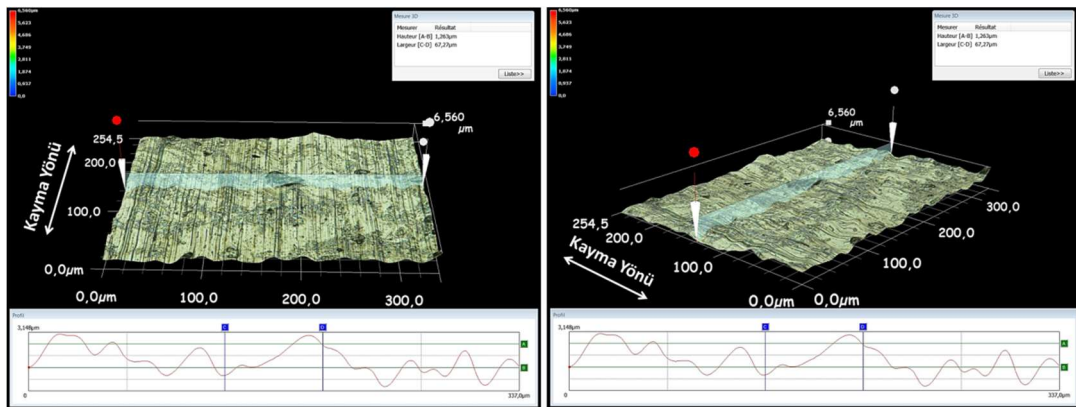
Şekil 3.37 (a) ve (b) sürtünen alanın optik mikroskoptaki görüntüsüdür. Renkli görüntü yoktur ve katkı maddelerinin koruyucu film tabakası oluşmamıştır. Testin bitiminde grafen nanopartikül ile çalışmış numuneler iso-propanol ile yıkanarak kurutulmuş ve

yüzey analizi yapılmıştır. Bu numunelerin heptan veya hegzan ile yıkanması sakıncalı olup yüzey hasarına neden olmaktadır. Yüzey ultrasonik temizleme cihazında iso-propanol ile yıkanıp kurutulmasına rağmen Grafen nanopartikülleri yapışık bir şekilde kalmaktadır. 3.37 (c) ise segmanın S.E.M. görüntüsü olup kayma yönünde birbirine paralel belirgin abrazyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir. S.E.M. görüntüsüne bağlı Şekil 3.37 (d), (e) ve (f)'de katkı maddeleri tespit edilmemiştir. Bunun anlamı sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmamış, abrazyon aşınmasının (abrazif çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlamadığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmamıştır.

Çizelge 3.16 Şekil 3.37'deki X-Ray analizi verileri

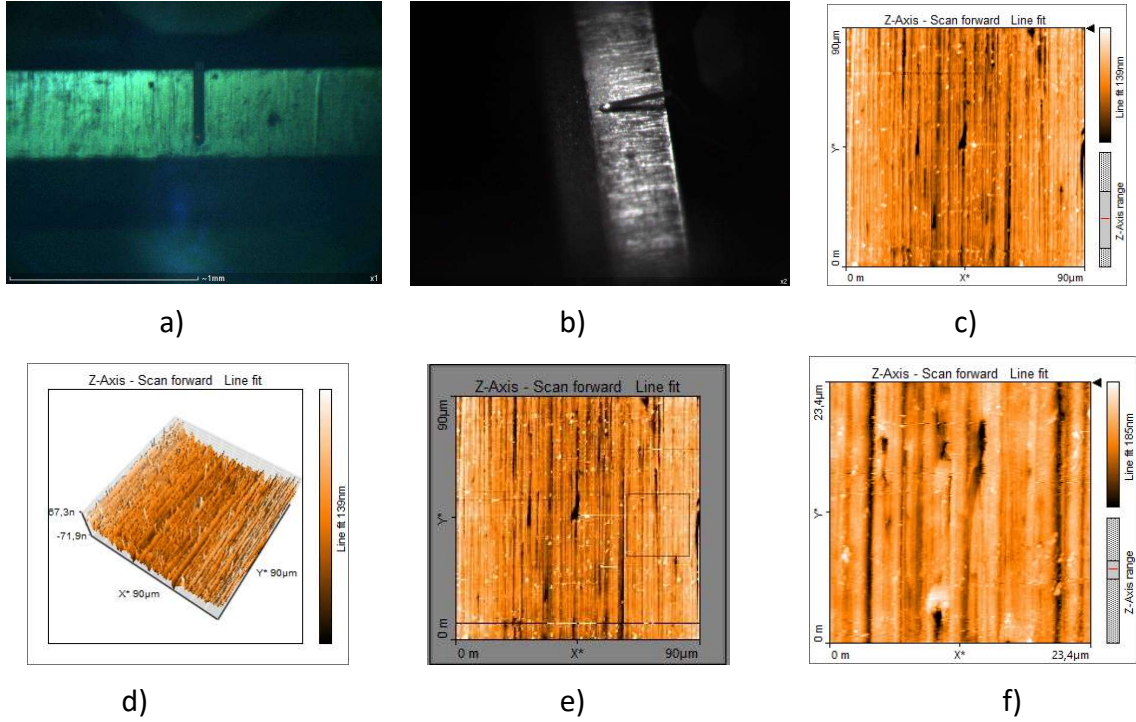
(d) G1			(e) 1			(f) 3		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	6.94	25.43	C	11.14	36.49	C	7.17	26.14
Si	1.49	2.33	Si	1.27	1.78	Si	1.35	2.1
Cr	0.71	0.6	Cr	0.67	0.51	Cr	0.77	0.65
Mn	0.68	0.55	Mn	0.63	0.45	Mn	0.72	0.57
Fe	90.18	71.09	Fe	86.28	60.77	Fe	89.99	70.54
Total	100		Total	100		Total	100	

Çizelge 3.16, Şekil 3.37'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütsel ve atomik olarak Fe, Mn, Si, Cr ve doğal olarak C gibi segman malzemesindeki elementler tespit edilmiştir.



Şekil 3.37 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyası

Şekil 3.38 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü 3.148 μm mertebesinde dir.

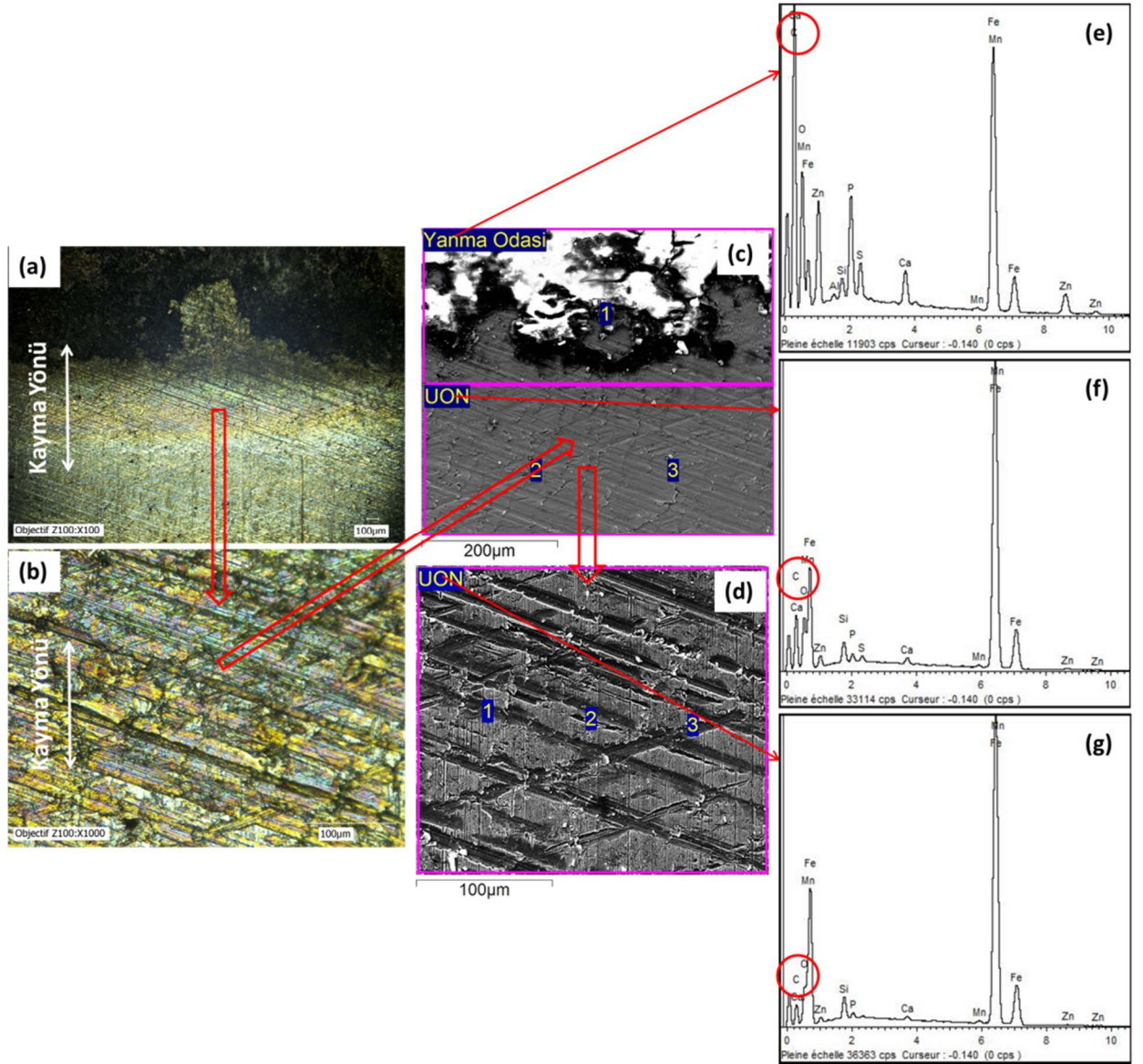


Şekil 3.38 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.17 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	21,529 nm
Rq	33,606 nm
Ry	246,98 nm
Rp	88,908 nm
Rv	-158,08 nm
Rm	-15,825fm

3.4.3.2 Grafen Nanopartiküllü (TEGO Grade-1) Yağ İçeren Motordaki 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri



Şekil 3.39 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ içeren motordaki 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

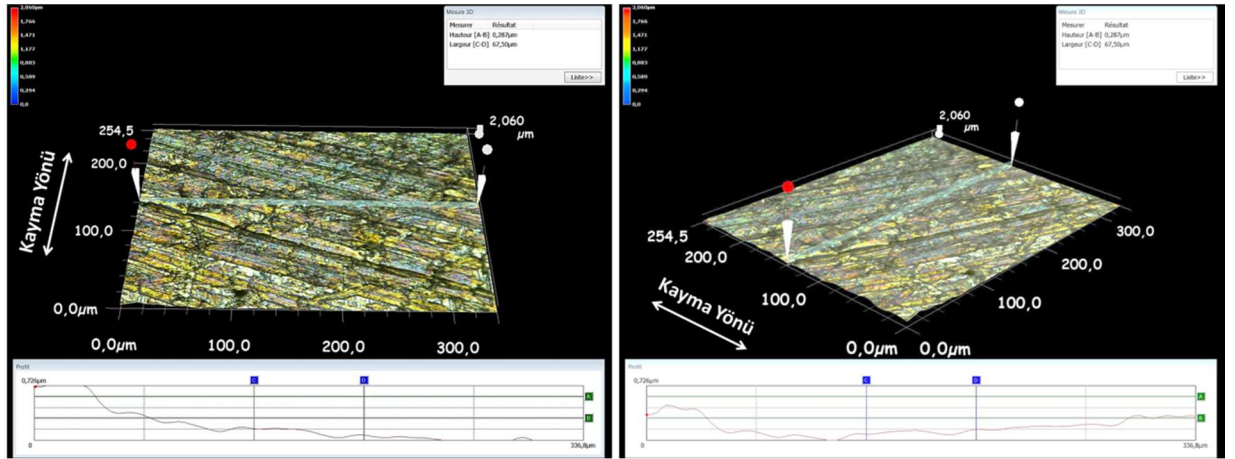
Şekil 3.40 (a) ve (c)'de üst koyu renkli kısım yanma odası, alt kısım ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Yanma odası incelendiğinde Şekil 3.40 (e) spektrasında Zn, P, S, Ca ve bilhassa kırmızı halkalar ile gösterilen C pikleri yüksek mertebededir.

Şekil 3.40 (b) ve (d) ise ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Sürtünen alanın optik mikroskoptaki görüntüsü renklidir. Renkler katıklardan kaynaklanmakta, yeterli yüzey bozunması sayesinde katkı maddelerinin sürtünen yüzeylerinde koruyucu film tabakası oluştuğunu göstermektedir. Silindir yüzeyi kayma yönünde kırmızı okların gösterdiği alanda abrazyon izlerle honlama işleme çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri yüzeyi korumuştur. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazyon çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya Tribofilm oluşmuştur. Yüzeydeki renkli tabakalar korozyon aşınmanın varlığını göstermektedir.

Çizelge 3.18 Şekil 3.40'daki X-Ray analizi verileri

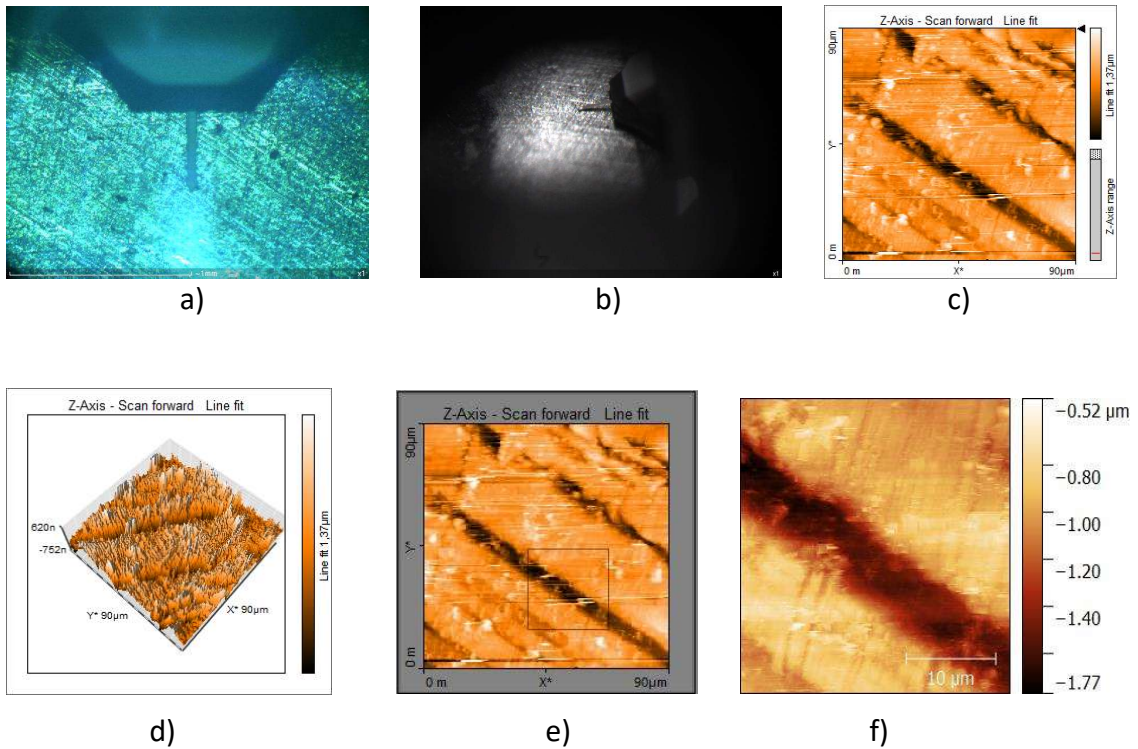
(e) Yanma Odası			(f) ÜÖN			(g) ÜÖN		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	47.4	67.98	C	24.41	52.15	C	13.24	36.5
O	19.19	20.66	O	10.61	17.02	O	7.22	14.94
Al	0.14	0.09	Si	1.37	1.26	Si	1.94	2.29
Si	0.5	0.31	P	0.53	0.44	P	0.48	0.51
P	2.8	1.55	S	0.36	0.29	Ca	0.32	0.27
S	0.96	0.52	Ca	0.45	0.29	Mn	0.46	0.28
Ca	1.11	0.48	Mn	0.42	0.2	Fe	75.87	44.98
Mn	0.16	0.05	Fe	61.13	28.09	Zn	0.47	0.24
Fe	23.47	7.24	Zn	0.71	0.28	Total	100	
Zn	4.27	1.12	Total	100				
Total	100							

Çizelge 3.18 Şekil 3.40'daki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütle ve atomik olarak C, Zn, P (yüksek miktarda), S ve Ca gibi yağ katkı elementlerinin tespiti yüzeyde yoğun tribofilm tabakasının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 3.40 Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ içeren motordaki 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin 3D yüzey topografyası

Şekil 3.41 grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $0.726/2=0.363\mu\text{m}$ mertebesinde.



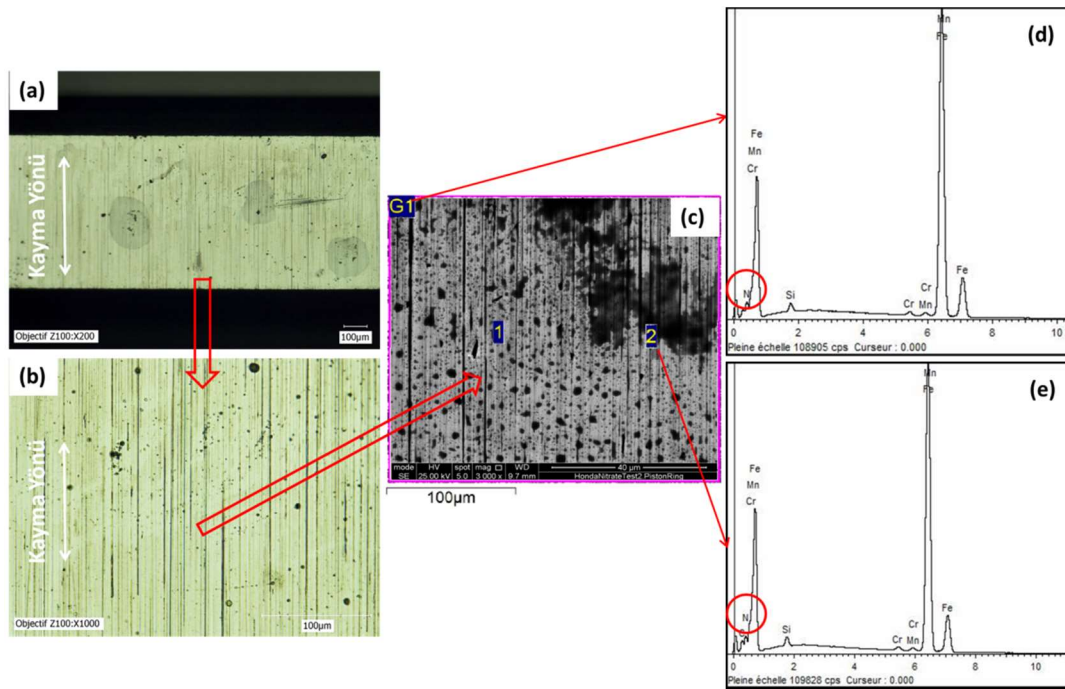
Şekil 3.41 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nin A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.19 Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren yağ ile çalışan 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	181,91nm
Rq	249,8nm
Ry	1059,5nm
Rp	382,21nm
Rv	-677,3nm
Rm	-18,626fm

3.4.4 Nitrülenmiş Segman ile Yapılan Motor Testi (75h)

3.4.4.1 Nitrülenmiş 2. Segman Yüzey Analizleri



Şekil 3.42 Nitrülenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) S.E.M., (d), (e) ve (f) X-Ray analizi

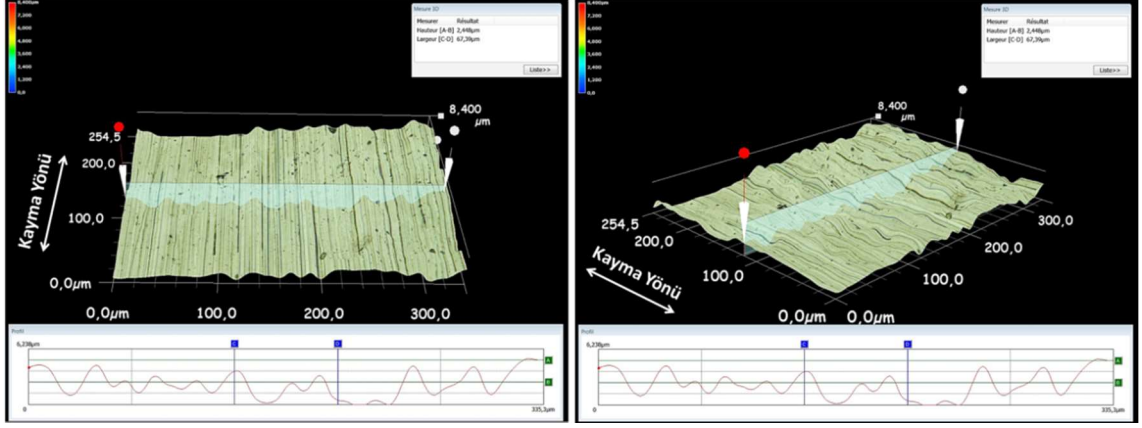
Şekil 3.43 (a) ve (b) sürtünen alanın optik mikroskoptaki görüntüsüdür. Renkli görüntü yoktur ve katkı maddelerinin koruyucu film tabakası oluşmamıştır. Motorlarda en fazla sürtünme-aşınma sıkıştırma stroku sonunda yanma başlangıcında Üst Ölü Noktada

piston, segman ile silindir cidarı arasında meydana geldiği bilinmektedir. Burada sızdırmazlığın sağlanması sınır yağlama koşullarında oluşmaktadır. Şekil 3.43 (c) ise segmanın S.E.M. görüntüsü olup kayma yönünde birbirine paralel belirgin abrazyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir. S.E.M. görüntüsüne bağlı Şekil 3.43 (d) ve (e) X-Ray'lerinde katkı maddeleri tespit edilmemiş olup kırmızı halkalarda gösterilen malzemeye bağlı azot piki belirlenmiştir. Bunun anlamı sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmamış, abrazyon aşınmasının (abrazif çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlamadığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya Tribofilm oluşmamıştır. Literatür bilgisine göre direkt temasta ve yağ açlığından dolayı oluşması gereken Tribofilm tabakaları yerel yüksek basınç ve sıcaklık altında sıyrılıp atılarak yüzeyden kazınmıştır.

Çizelge 3.20 Şekil 3.43'deki X-Ray analizi verileri

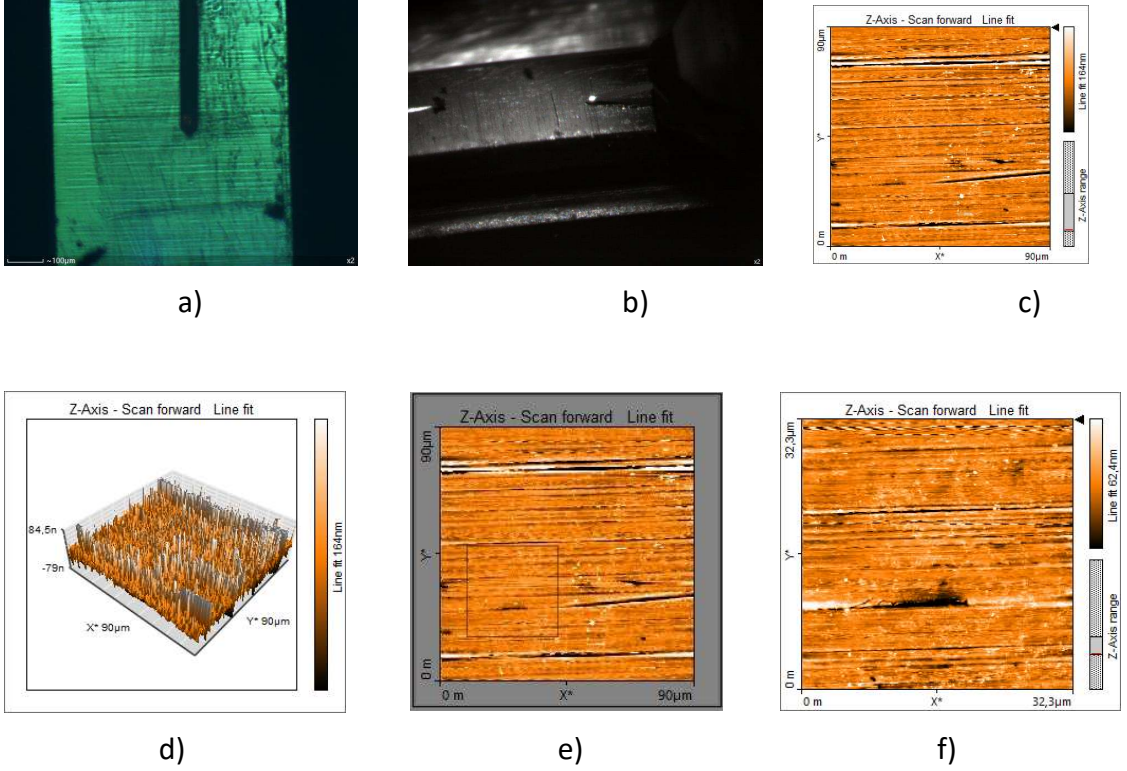
(d) G1			(e) 2		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
N	5.59	18.94	C	8.4	23.99
Si	0.96	1.62	N	10.47	25.62
Cr	0.6	0.55	Si	0.92	1.12
Mn	0.71	0.61	Cr	0.53	0.35
Fe	92.14	78.28	Mn	0.64	0.4
Total	100		Fe	79.05	48.53
			Total	100	

Çizelge 3.20, Şekil 3.43'deki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütle ve atomik olarak Fe, Mn, Si Cr ve doğal olarak N gibi segman malzemesindeki elementler tespit edilmiştir.



Şekil 3.43 Nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası sonrası 3D yüzey topografyası

Şekil 3.44 nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası sonrası 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $6.238/2 = 3.119 \mu\text{m}$ mertebesindedir.

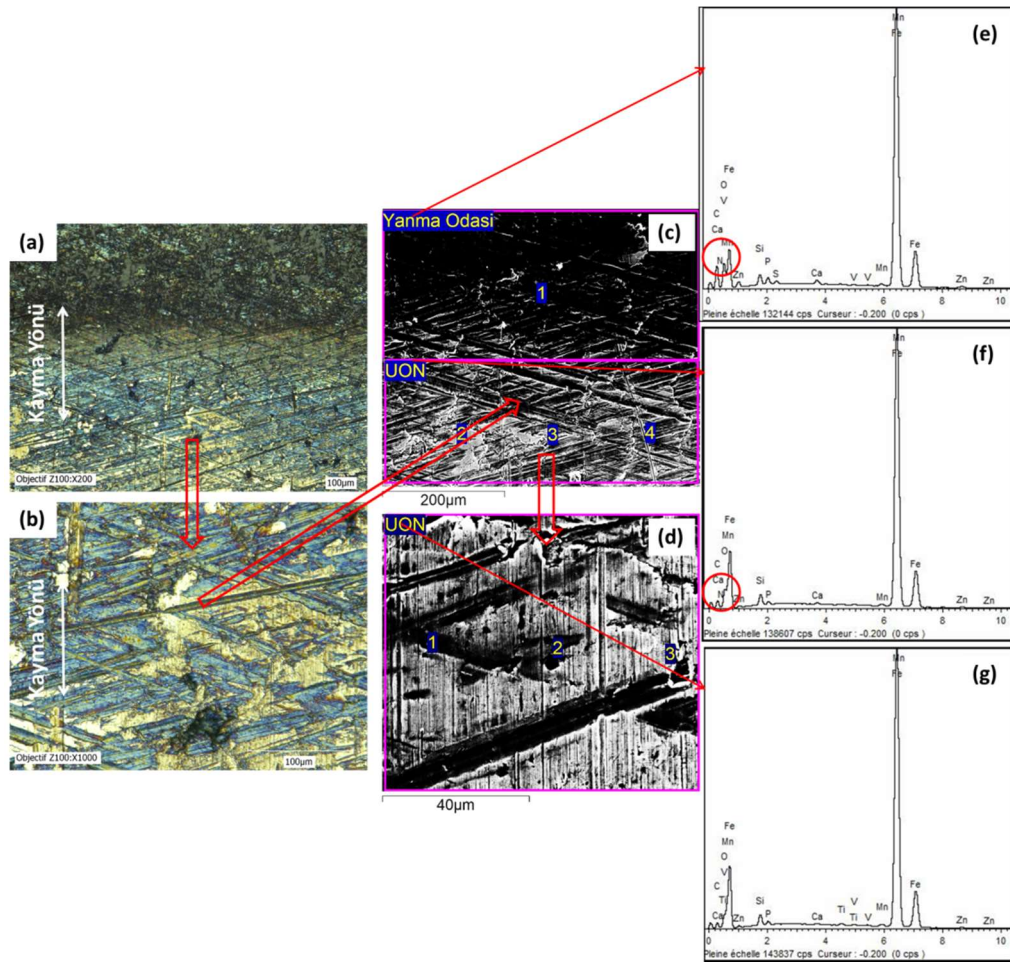


Şekil 3.44 Nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.21 Nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	13,868 nm
Rq	18,046 nm
Ry	160,18 nm
Rp	116,9 nm
Rv	-43,279 nm
Rm	-18,626 fm

3.4.4.2 Nitrürlenmiş 2. Segman ile Çalışan Silindir Yüzey Analizleri



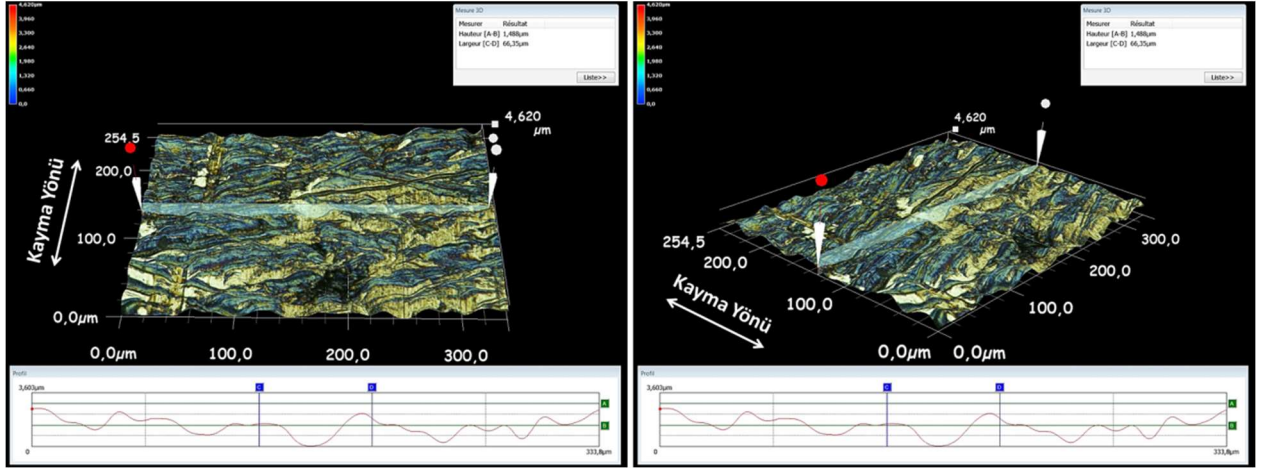
Şekil 3.45 Nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN; (a), (b) Optik Mikroskop, (c) ve (d) S.E.M., (e), (f) ve (g) X-Ray analizi

Şekil 3.46 (a) ve (c)'de üst koyu renkli kısım yanma odası, alt kısım ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. Yanma odası incelendiğinde Şekil 3.46 (e) spektrasında Zn, P, S, Ca pikleri yüksek mertebededir. Ayrıca N da tespit edilmiştir. Şekil 3.46 (b) ve (d) ise ÜÖN'nin optik ve S.E.M. görüntülerini vermektedir. S.E.M. görüntüsüne bağlı Şekil 3.46 (e) ve (f) X-Ray'lerinde kırmızı halkalarda gösterilen malzemeye bağlı azot piki belirlenmiştir. Silindir yüzeyi kayma yönünde kırmızı okların gösterdiği alanda abrazyon izlerle honlama işleme çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri yüzeyi korumuştur. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazyon çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya Tribofilm oluşmuştur. Yüzeydeki renkli tabakalar korozif aşınmanın varlığını göstermektedir.

Çizelge 3.22 Şekil 3.46'daki X-Ray analizi verileri

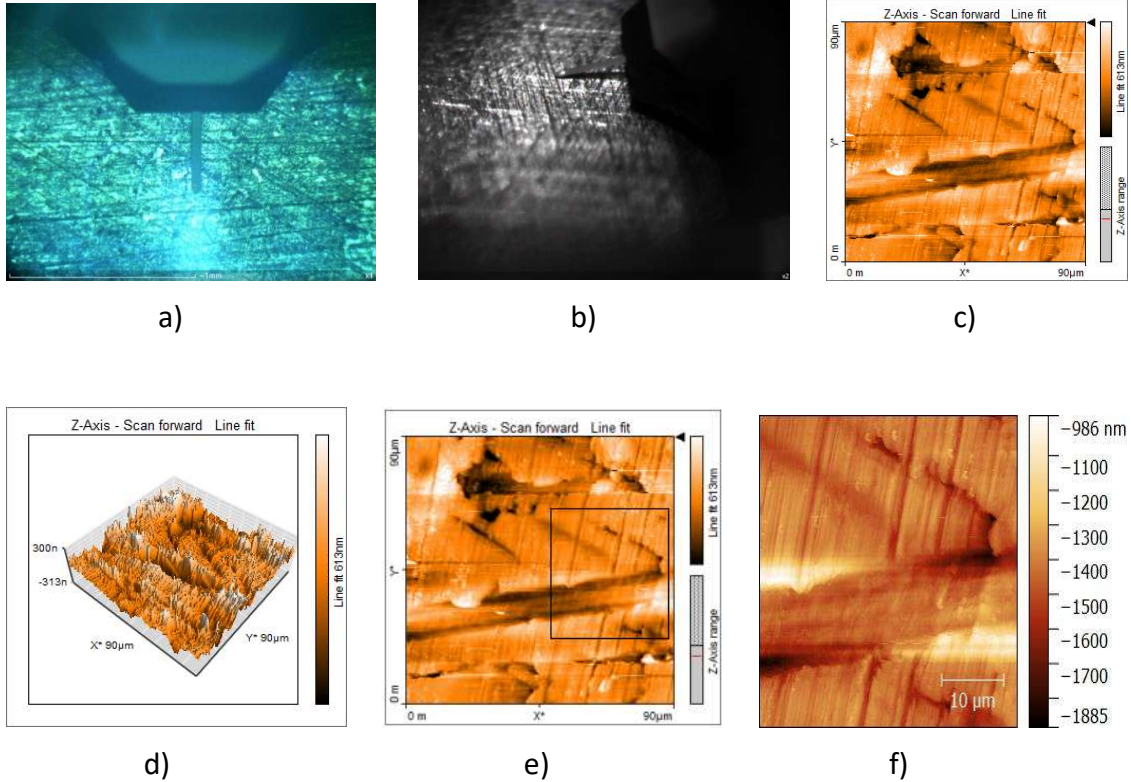
(e) Yanma Odası			(f) ÜÖN			(g) ÜÖN		
Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik	Element	%Kütle	%Atomik
C	23.1	49.23	C	11.29	31.6	C	8.88	27.44
N	0.97	1.77	N	0.82	1.96	O	6.31	14.63
O	11.61	18.57	O	8.19	17.21	Si	1.85	2.45
Si	1.18	1.08	Si	1.67	2	P	0.6	0.72
P	0.74	0.61	P	0.44	0.48	Ca	0.16	0.15
S	0.28	0.23	Ca	0.17	0.15	Ti	0.26	0.2
Ca	0.39	0.25	Mn	0.46	0.28	V	0.18	0.13
V	0.14	0.07	Fe	76.75	46.22	Mn	0.5	0.34
Mn	0.38	0.18	Zn	0.22	0.11	Fe	80.98	53.79
Fe	60.63	27.79	Total	100		Zn	0.26	0.15
Zn	0.58	0.23				Total	100	
Total	100							

Çizelge 3.22, Şekil 3.46'daki X-Ray analizi verilerini göstermektedir. Temas ettiği alanda sürtünme sonucunda % kütleli ve atomik olarak Zn, Ca, S ve P gibi yağ katkı elementlerinin yanında N ile tespiti yüzeyde yoğun tribofilm tabakasının oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 3.46 Nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyası

Şekil 3.43 nitrürlenmiş 2. segmanın motor testi (75h) sonrası silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyasını göstermektedir. 3D yüzey pürüzlülüğü $3.603/2=1.803\mu\text{m}$ mertebesinde dir.



Şekil 3.47 Nitrürlenmiş 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası A.F.M. analizinin; a) Üstten görünüşü b) Yan görünüşü c) Topografya haritası d) 3 boyutlu topografya haritası e) Yakınlaştırma bölgesi f) Yakınlaştırılmış bölgenin topografya haritası

Çizelge 3.23 Nitr rl nmiş 2. segman ile çalışan silindirin motor testi (75h) sonrası
A.F.M. analizinin pürüzlülük değerleri

Ra	41,846 nm
Rq	64,399 nm
Ry	568,37 nm
Rp	349,88 nm
Rv	-218,49 nm
Rm	-18,626 fm

BÖLÜM 4

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Motorlarda sürtünme-aşınmanın en fazla, sıkıştırma stroku sonunda yanma başlangıcında üst ölü noktada piston, segman ile silindir cidarı arasında meydana geldiği bilinmektedir. Burada sızdırmazlığın sağlanması sınır yağlama koşullarında oluşmaktadır. Bu tezde Honda GX-270 motoruna ait 2. segmanlar çeşitli materyallerle kaplanıp 75 saat süreyle ömür testi deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerin ilk safhası ve aşınmanın en fazla olduğu safha olan rodaj kısmında, alınan yağ numunelerinin incelenmesi vasıtasıyla aşınmanın yüksek oranda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca rodaj safhasında silindirde meydana gelen en belirgin aşınma türü abrazif aşınmadır. Bu sonuç, literatürde Ma, Z. 'nin [1], [2] yaptığı deneyler ile bağdaşmaktadır.

Honda GX-270 deney motoru ile yapılan 75 saatlik ömür testleri sonucunda kuru kesim yöntemiyle kesilen ve optik mikroskop, S.E.M., X-Ray analizi ve A.F.M. ile incelenen tüm silindirlerin üst ölü noktalarında yüzeyi koruyan tribofilm veya katkı tabakasına rastlanılmıştır. Bu sonuçlar literatürle bağdaşmaktadır. Koruyucu tabakanın oluşmasının sebebi sınır yağlama şartları altında düzgün yüzey bozunmasıdır. Bu bozunma, yüzeyi aktif hale getirerek mekaniksel ve kimyasal yolla katıkların yüzey ile reaksiyon yapmasına neden olmuştur [35]. Üst Ölü Noktalarda görülen en belirgin aşınma mekanizmaları abrazif ve korozyif aşınmalardır. Bu sonuçlar literatürde Papadopoulos, P. [4]'nin elde ettiği bulgularla örtüşmektedir. Bunun yanında kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin yüzeyinde delaminasyon aşınmasına rastlanmıştır. Delaminasyon aşınması esnasında oluşan çatlaklar yüzey altında ilerleyip yüzeye

ulaştıklarında yüzeydeki parçacıkların kavkırma görünümünde serbest kaldığını göstermiştir. Bu sonuç [33] no'lu literatürle örtüşmektedir.

Deney motoru ile yapılan 75 saatlik ömür testleri sonucunda 2. kompresyon segmanları optik mikroskop, S.E.M., X-Ray analizi ve A.F.M. ile incelenmek üzere kesilmiştir. Yapılan detaylı incelemeler sonucunda segman yüzeylerinde abrazif aşınma ve pitting teşekkülünün olduğu gözlemlenmiş, yüzeyi koruyucu etki yapan tribofilm veya katkı tabakasına rastlanılmamıştır. Bu sonuçlar literatürle bağdaşmaktadır.

Yapılan tüm deneyler neticesinde segman ve silindir yüzeylerinde gözlemlenen genel durumlar şu şekildedir:

1- Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segmanın 75 saatlik ömür testi sonunda optik mikroskop, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri incelendiğinde segman yüzeyinde abrazyon, kazıma, pitting ve delaminasyon aşınmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sınır yağlama şartları altında gerekli koşullar oluşmayıp yeterli yüzey bozunması sağlanamadığından, segman yüzeyini koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmamıştır. Segman yüzeyinin 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 0.346 μm olarak ölçülmüştür.

2- Kaplaması asit yoluyla kaldırılmış 2. segman ile çalışan silindirin 75 saatlik ömür testi sonunda yanma odasında ve piston üzerinde karbon, kalsiyum, reçine, kurum ve çeşitli katkı maddeleri birikmiştir. Silindirin ÜÖN'ın optik, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri detaylı incelendiğinde silindir yüzeyinde abrazif izlerle honlama çizgilerinin çapraz karşılaştığı ve aradaki katkı maddelerinin yüzeyi koruduğu gözlemlenmiştir. Dolayısı ile silindir yüzeyinde gerekli reaksiyon koşullarının olduğu, sınır yağlama şartları altında abrazif çizgilerin pürüzsüz ve düzgün, uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağladığı ve bu sayede yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilmin olduğu söylenebilir. Silindir yüzeyinin 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 0.384 μm olarak ölçülmüştür. Aynı motordan kesilen başka bir silindir incelendiğinde ise abrazyon aşınmasına ek olarak koroziyon aşınma ve delaminasyon aşınması da gözlemlenmiştir. Bu silindir yüzeyinde de katkı tabakası veya tribofilm meydana gelmiştir.

3- Çinkofosfat kaplı segmanın 75 saatlik ömür testi sonrası yapılan optik mikroskop, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizlerinde katkı maddesi veya tribofilm tabakası gözlemlenememiştir. Analizlerin incelenmesi sonucunda segman yüzeyinde yoğun şekilde abrazyon aşınması ve pitting teşekkülü gözlemlenmiştir. Segman yüzeyinin 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 1.007 μm olarak ölçülmüştür.

4- Çinkofosfat kaplı 2. segman ile çalışan silindirin 75 saatlik ömür testi sonunda silindirin ÜÖN'ın optik, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri detaylı incelendiğinde silindir yüzeyinde abrazif izlerle honlama çizgilerinin çapraz karşılaştığı ve aradaki katkı maddelerinin yüzeyi koruduğu gözlemlenmiştir. Yüzeyde abrazyon aşınmasına ek olarak korozyon aşınma da gözlemlenmiştir. Dolayısı ile silindir yüzeyinde gerekli reaksiyon koşullarının olduğu, sınır yağlama şartları altında abrazif çizgilerin pürüzsüz ve düzgün, uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağladığı ve bu sayede yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilmin olduğu söylenebilir. Silindirin ÜÖN'nın X-Ray analiz verileri incelendiğinde Zn, P, S ve Ca gibi yağ katkı maddelerinin tespit edilmesi yüzeyde yoğun tribofilm tabakası oluştuğunu göstermektedir. Silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 0.161 μm olarak ölçülmüştür.

5- Grafen nanopartikül (TEGO grade-1) içeren motor yağı ile çalışan 2. segmanın 75 saatlik ömür testi sonrası optik mikroskop, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizlerinde katkı maddesi veya tribofilm tabakası gözlemlenememiştir. Segman yüzeyinde birbirine paralel ve kayma yönündeki abrazyon çizgileri belirgin şekilde görülmektedir. Segmanın 75 saatlik ömür testi sonrası 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 3.148 μm olarak ölçülmüştür.

6- Grafen nanopartiküllü (TEGO grade-1) motor yağı içeren 2. segman ile çalışan silindirin 75 saatlik ömür testi sonrası ÜÖN'nın optik mikroskop, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri yapılmıştır. ÜÖN'nın optik mikroskop görüntüleri renkli çıkmıştır. Renkler, yüzeyde katkı maddelerinin film tabakası oluşturduğunu göstermektedir. Silindir yüzeyinde abrazif çizgilerle honlama çizgileri çapraz karşılaşılarak aralarında katkı maddeleri oluşmuş ve yüzey korunmuştur. Silindir yüzeyinde abrazif aşınma dışında korozyon aşınma da tespit edilmiştir. Silindir ÜÖN'nın 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 0.363 μm olarak ölçülmüştür.

7- Nitr rl nmiş 2. segmanın 75 saatlik ömür testi sonrası optik mikroskop, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda sürtünen yüzeylerde tribofilm veya katkı maddesi gözlemlenememiştir. Segman yüzeyinin S.E.M. analizleri neticesinde kayma yönünde birbirine paralel abrazyon çizgileri tespit edilmiştir. Literatür bilgisine göre direkt temasta ve yağ açlığından dolayı oluşması gereken Tribofilm tabakaları yerel yüksek basınç ve sıcaklık altında sıyrılıp atılarak yüzeyden kazanmıştır. Segmanın 75 saatlik ömür testi sonrası 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 3.119  m olarak ölçülmüştür.

8- Nitr rl nmiş 2. segman ile çalışan silindirin 75 saatlik ömür testi sonunda silindirin    N'ın optik, S.E.M., X-Ray ve A.F.M. analizleri detaylı incelendiğinde silindir yüzeyinde abrazyon izleriyle honlama çizgilerinin çapraz karşılaştığı ve aradaki katkı maddelerinin yüzeyi koruduğu gözlemlenmiştir. Dolayısı ile sınır yağlama şartları altında gerekli reaksiyon koşulları oluşmuş, abrazyon aşınmasının (abrazyon çizgilerin) pürüzsüz ve düzgün, mükemmel aktive edilmiş uygun yüzey koşulları için yeterli yüzey bozunması sağlandığından sürtünen yüzeyi koruyan ve kaplayan katkı tabakası veya tribofilm oluşmuştur. Yüzeyde abrazyon dışında korozyon aşınma da gözlemlenmiştir. Silindir    N'nın 3D yüzey topografyasında yüzey pürüzlülüğü 1.803  m olarak ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Ma, Z. , Henein, N.A., Bryzik, W. ve Glidewell, J. (1998). "Break-In Liner Wear and Piston Ring Assembly Friction in a Spark-Ignited Engine", Tribology Transactions, 41:4, 497-504.
- [2] Ma, Z. , Henein, N.A., Bryzik, W. ve Glidewell, J. (2002). "Cylinder Liner Surface Analysis During SI Engine Break-In", Tribology Transactions, 45: 3, 397-403.
- [3] Sreenath, A.V. ve Venkatesh, S., "Experimental Studies On The Wear Of Engine Components", Department of I.C.E., Indian Institute of Science, BangaloreIndia.
- [4] Papadopoulos, P., Priest, M. ve Rainforth, W.M., (2007). "Investigation Of Fundamental Wear Mechanisms At The Piston Ring And Cylinder Wall Interface In Internal Combustion Engines" , 7 February 2007, DOI: 10.1243/13506501JET254.
- [5] Shuster, M., Stong, T., Deis, M. ve Burke, D., (1999). "Piston Ring Cylinder Liner Scuffing Phenomenon: Investigation, Simulation and Prevention," SAE Technical Paper 1999-01-1219, 1999, DOI:10.4271/1999-01-1219.
- [6] Truhan J.J., Qu, J. ve Blau, P.J, (2005). "A Rig Test To Measure Friction And Wear Of Heavy Duty Diesel Engine Piston Rings And Cylinder Liners Using Realistic Lubricants", Tribology International, 38(3):211-218.
- [7] Cavalieri F.J., Zenklusen F. ve Cardona A., (2016). "Determination Of Wear In Internal Combustion Engine Valves Using The Finite Element Method And Experimental Tests", Mechanism and Machine Theory, 104:81-99.
- [8] Axén, N. H. S. ve Jacobson, S. (2001). Modern Tribology Handbook, Friction and Wear Measurement Techniques. Crc Press, London.
- [9] Japanese Industrial Standard (JIS), Method of Wear Resistance Test For Metallic Coatings, University of Washington 2007, USA.
- [10] Kato, K., ve Adachi, K., (2001). "Wear mechanisms", in Modern Tribology Handbook, , CRC Press, Florida.

- [11] Stachowiak, G. W. ve Batchelor, A. W. (2013). "Friction-Induced Vibrations and Self-Organization: Mechanics and Non Equilibrium Thermodynamics of Sliding", Engineering Tribology, Butterworth Heinman, UK, 1-73.
- [12] Bhusman, B. ve Gupta, B.K., (1991). Handbook of Tribology, Mc Graw Hill Inc., s. (15.1-15.71,9.1-9.60).
- [13] Tylczak, J.H. ve Oregon, A. (1992). Friction, Lubrication and Wear Technology. ASM Metal Handbook, ASM International, USA, 18: 640-655.
- [14] Stojanovic B., Babic M., Miloradovic N. ve Mitrovic S. (2015). "Tribological Behaviour Of A356/10SiC/3Gr Hybrid Composite In Dry-Sliding Conditions", Materials and Technology 49 (2015) 1, 117-121.
- [15] Olander P. ve Jacobson S. (2015). "Scuffing Resistance Testing Of Piston Ring Materials For Marine.
- [16] Jensen M. F., Bøttiger J., Reitz H.H. ve Benzon M.E. (2002). "Simulation Of Wear Characteristics Of Engine Cylinders", Wear 253 (2002), 1044–1056.
- [17] Wan S., Li D., Zhang G., Tieu A. ve Zhang B. (2017). "Comparison Of The Scuffing Behaviour And Wear Resistance Of Candidate Engineered Coatings For Automotive Piston Rings", Tribology International 106 (2017), 10–22.
- [18] Halling, J., (1975). Principles of Tribology, MacMillan Press, London 214- 219
- [19] Stokes, J., (2008). "The Theory and Application of the HVOF Thermal Spray Process", Dublin City University, Dublin.
- [20] Ma Z., Henein, N. A. , Bryzik W. ve Glidewell J. (2002). "Cylinder Liner Surface Analysis During SI Engine Break-In", Tribology Transactions, 45(3): 397 – 403.
- [21] Yaman O., (2009). "Assessment Of The Nitriding Process Paramaters To Improve The Wear Resistance Of Selected Steels", Graduate Program in Mechanical Engineering Boğaziçi University, İstanbul.
- [22] Kurgun, S., (2014) Molibden Kaplı Piston Segmanlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.
- [23] Ay. İ, (2012). Aşınma Hasarları, Hasar Analizi Ders Notları (yayımlanmamış), Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 43.
- [24] Sarıkaya, Ö., (2007). Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri, Birinci Baskı, Sakarya, 1-90.
- [25] Büyükkelleci, Ü., (2008). Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- [26] Radil C. K., (1996). "Test Method To Evaluate Cylinder Liner-Piston Ring Coatings For Advanced Heat Engines", 51 st Annual Meetings Sponsored by the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Cincinnati, Ohio, May 19-23, 1996.

- [27] Oğuz, B., (1993). Aşınma Sorunları ve Kaynak Dolguları, Oerlikon Yayını, İstanbul.
- [28] Bhushan, B., (2013). Principles and Applications of Tribology, A John Wiley & Sons Ltd. Publication, USA.
- [29] Kayalı, E.S., "Aşınma Ve Kaplı Takımların Aşınması", Nato-TU PVD Kaplamaları Projesi, İ.T.Ü. Kimya-Metalürjisi Fakültesi, İstanbul, pp. 5-18, (1996).
- [30] Eyre T. S., Dutta K. K. ve Davis F. A. (1990), "Characterization And Simulation Of Wear Occurring In The Cylinder Bore Of The Internal Combustion Engine" Tribology International, 23(1): 11-16.
- [31] MS Motorservice International GmbH, (2015). İçten Yanmalı Motorlar İçin Piston Segmanları, 3. Baskı.
- [32] Al-Khalidi G. F. ve Eyre T.S., "Bore Polishing – Identification And Simulation", Tribology International, 20(1): 18-24.
- [33] Vikipedi, Aşınma, tr.wikipedia.org, 22.09.2016.
- [34] Evans A.G. ve Hutchinson J.W., (2007), The Mechanics Of Coating Delamination In Thermal Gradients, Surface & Coatings Technology 201 (2007), 7905–7916.
- [35] Kodali P., Truhan J. J. ve Richardson D., (1999), "A Study of Cylinder Liner Wear", Proceedings of the Third International Filtration Conference, p. 68.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Selman DEMİRTAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.04.1988 / BATMAN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : demirtasselman@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Batman Y.D.A.L	2006