



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YAKIT HARMANLARININ DİZEL ENJEKTÖR
NOZULLARI ÜZERİNDE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Onur AL
Yüksek Lisans Tezi

Yrd.Doç.Dr.Hasan YAMIK
Tez Danışmanı

BİLECİK 2014
Ref.No:10048404



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YAKIT HARMANLARININ DİZEL ENJEKTÖR
NOZULLARI ÜZERİNDE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Onur AL
Yüksek Lisans Tezi

Yrd.Doç.Dr.Hasan YAMIK
Tez Danışmanı

BİLECİK 2014



BILECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

**Graduate School of Sciences
Department of Mechanical and Manufacturing Engineering**

**AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF EFFECT OF FUEL
BLENDS ON DIESEL INJECTOR NOZZLE**

Onur AL

Master of Science Thesis

**Yrd.Doç.Dr.Hasan YAMIK
Thesis Advisor**

BİLECİK 2014



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...~~12.6.2014~~... tarih ve~~26~~..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ...~~26.6.2014~~... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Onur AL'ın "Yakıt Harmanlarını Dizel Enjektör Nozulları Üzerinde Etkisinin Deneysel İncelenmesi" başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

**ÜYE : Yrd. Doç. D. Hasan YAMIK
(TEZ DANIŞMANI)**

ÜYE : Prof. Dr. Şennur CANDAN

ÜYE : Yrd.Doç. Dr. Şenol AVCI

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Dizel motorlar yüksek basınçlı yakıtın piston içinde sıkışmış olan havanın içine püskürtülmesiyle meydana gelen yanma prensibiyle çalışır. Bir pompa vasıtasıyla yakıt sıkıştırılarak yüksek basınca çıkartılır. Piston içerisine alınan hava ise pistonun üst ölü noktaya hareketi sırasında sıkıştırılır. Piston hareketi üst ölü noktadan alt ölü noktaya hareket etmeye başladığı anda yakıt enjektörü vasıtasıyla piston içerisine yakıt püskürtülür ve sıkışmış havayla karşılaşan basınçlı yakıt tutuşarak yanmayı başlatır. Piston içerisinde artan basınç hızla pistonu alt ölü noktaya doğru iter ve hareketi krank miline aktarır.

Gelişen teknoloji ile birlikte dizel motorlar çoğu alanda yerini yeni nesil dizel motorlara bırakmıştır. Bu motor teknolojisine CRDI (Common-Rail Direct Injection) denir. Yeni sistemde yakıt püskürtme basıncının artması ve yakıtın püskürtmesinin kontrolü ile motorun verimi artmış ve yakıt ekonomisi iyileşmiştir. Dizel yakıtın püskürtülme basıncının yanında enjektör uçlarındaki deliklerin standartlara uygun olması işletme ömrünün uzun olması sistemin verimi açısından önem taşımaktadır. Enjektörlerin uçlarındaki deliklerde meydana gelen hasar verimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle yakıtın iyi olması sistemin maksimum fayda sağlaması için yeterli olmadığı gibi sistem elemanlarının da iyi düzeyde olması bakımından incelendiğinde enjektörün en önemli parçalardan biri olduğu görülmektedir. Enjektördeki hasar durumu doğrudan yanmanın kalitesini ve verimi etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motor, CRDI (Common-Rail Direct Injection), Enjektör

ABSTRACT

Diesel engines having high pressure fuel trapped within the piston by injection of air into the combustion occurring works on the principle. Is removed via a pump high pressure fuel by compression. The air taken into the piston top dead point during the movement of the piston is compressed. Piston stroke bottom dead point to top dead point begins to move as soon as the fuel is injected into the piston through the fuel injector and air trapped experiencing pressure fuel combustion starts holding. Rapidly increasing pressure within the piston pushes the piston bottom dead point and the movement is transferred to the crankshaft .

With the developing technology of diesel engines replaced in many areas have been replaced by a new generation of diesel engines. This engine technology CRDI (Common Rail Direct Injection) is called. In the new system of the fuel injection pressure is increased and the fuel injection control of the efficiency of the engine is increased and fuel economy improved. Besides blowing pressure diesel fuel injector holes in the ends to conform to the standards of business longevity is important in terms of efficiency of the system. Damage to the ends of the through holes of the injector significantly affect yield. Therefore fuel is good enough to provide the maximum benefit of the system such as whether the system is to be notable elements assayed is one of the most important parts when the syringe is considered. The damage in the injector directly affects the quality and yield of combustion.

Key words: Diesel Engine, CRDI (Common Rail Direct Injection), Injector

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her konuda bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan YAMIK ‘a çok teşekkür ederim.

Bilecik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine proje desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Onur AL, 2014

İÇİNDEKİLER

JURİ ONAY SAYFASI	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. DİZEL MOTOR	3
2.1. Enjeksiyon Tipleri.....	4
2.2. Yeni Nesil Dizel Motorlar (CRDI-Common-Rail Direct Injection).....	5
2.3. Yeni Nesil Dizel Motorların (CRDI-Common-Rail Direct Injection) Sağladığı Teknik Avantajlar	7
3. KOROZYON	8
3.1. Enjektörde Hasar Meydana Getiren Korozyon Türleri.....	9
3.1.1. Erozyonlu Korozyonu.....	9
3.1.2. Kavitasyon	10
3.1.3. Kazımalı Korozyon (Fretaj).....	11
3.1.4. Gerilme Korozyonu	11
3.1.5. Yorulma Korozyonu	11
3.2. Korozyonun Etkileri.....	12
3.2.1. Korozyonun Malzemeye Olan Etkisi.....	12
3.2.2. Korozyonun CRDI (Common-Rail Direct Injection) Sistemine Olan Etkisi.....	12
3.3. Literatür Taraması	13
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	17
4.1. Kullanılmamış (Yeni) Enjektör	19
4.2. Dizel Yakıt	21
4.3. Dizel ve Etanol Karışımı.....	25

4.4. Dizel ve Jet A1 Karışımı.....	27
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	32
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	37
EK-1: Kullanılmamış (yeni) enjektör SEM görüntüleri.....	39
EK-2: Dizel yakıt ile deney yapılan birinci enjektör SEM görüntüleri.....	40
EK-3: % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile deney yapılan üçüncü enjektör SEM görüntüleri.....	42
EK-4: Enjektörlerin EDX analizlerinin sıralanmış tablosu.....	44
ÖZGEÇMİŞ	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1: Üç farklı nozul tipine göre ateşleme zamanı ve yerini, sıvı uzunluğu ve alev başlama uzunluğunu gösterir çizelge (Soma vd. 2010).....	13
Çizelge 4.1: Yakıt tipleri ve çalıştırma süresi çizelgesi.....	17
Çizelge 4.2: Deneyde kullanılan motora ait bilgiler.....	17
Çizelge 4.3: Yakıtların kimyasal özellikleri.....	18

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1:	Dizel motor piston içi ve yanma olayı (S.Buruk ve U.Özçelik,2007).....3
Şekil 2.2:	Dizel motor..... 4
Şekil 2.3:	Direkt enjeksiyon ve endirekt enjeksiyon.....5
Şekil 2.4:	Comman rail sistemin diğer sistemlerle karşılaştırılması (S.Buruk ve U.Özçelik,2007)..... 6
Şekil 2.5:	Yeni nesil dizel motor (CRDI-Common-Rail Direct Injection) sistemi (S.Buruk ve U.Özçelik,2007).....6
Şekil 3.1:	Evlerdeki sıcak su boruları ve erozyon korozyonu.....9
Şekil 3.2:	Bir boru içindeki erozyon korozyonu..... 9
Şekil 3.3:	Hasara uğramış enjektörün SEM görüntüleri (Yu vd., 2008)..... 14
Şekil 4.1:	DLL 160 S 503 W numaralı enjektör17
Şekil 4.2:	Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.19
Şekil 4.3:	Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği...20
Şekil 4.4:	Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.20
Şekil 4.5:	Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği...21
Şekil 4.6:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey..... 22
Şekil 4.7:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği..... 22
Şekil 4.8:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey..... 23
Şekil 4.9:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği..... 23
Şekil 4.10:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey..... 24
Şekil 4.11:	Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği..... 24

Şekil 4.12:	%90 dizel ve %10 etanol karışımı yakıt ile deney yapılan ikinci enjektör SEM görüntüleri.....	25
Şekil 4.13:	%90 dizel ve %10 etanol karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.....	26
Şekil 4.14:	%90 dizel ve %10 etanol karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.....	26
Şekil 4.15:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.....	27
Şekil 4.16:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.....	28
Şekil 4.17:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.....	28
Şekil 4.18:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.....	29
Şekil 4.19:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.....	30
Şekil 4.20:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.....	30
Şekil 4.21:	%90 dizel ve %10 jet-al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.....	31
Şekil 5.1:	Enjektörün uç kısmı.....	32
Şekil 5.2:	110 saatlik çalıştırılma sonucu çıkan enjektör ucu.....	32
Şekil 5.3:	110 saatlik çalıştırılma sonucu çıkan enjektörlerin 85X ve 500X görüntüleri.....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DP	: Direkt püskürtmeli
CO ₂	: Karbondioksit
HC	: Hidrokarbon
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDX	: Enerji ayırmalı spektrometre
CRDI	: Common-rail diesel injection
38CrMoAl	: %0,38 Karbonlu molibdenli nikelli çelik
18CrNi8	: %0,18 Karbonlu %0,08 kromlu nikelli çelik
EGR	: Eksoz gazı resirkülasyonu
µg	: Miligram
°C	: Santigrat derece
H ₂	: Hidrojen
Fe	: Demir
C	: Karbon
Mn	: Manganez
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
Ca	: Kalsiyum
Si	: Silisyum
S	: Kükürt
Cl	: Klor
Zn	: Çinko

1.GİRİŞ

Dizel motorlarının tarihi otomobilin doğduğu yıllara kadar dayanmaktadır. 1800'lü yılların sonlarına doğru Rudolf Diesel tarafından bulunan bu motor yıllar sonra gemi ve trenlerde kullanılmaya başlanmıştır. Dizel motorlar zamanla iş makinesi, ticari araçlar ve binek araçlarda gündeme gelmiştir.

Günümüzde taşıtların tahrikinde kullanılmakta olan benzin ve dizel motorları yüz yılı aşan bir geçmişe sahiptir. Bu süreç içerisinde benzin motorlarının sağladığı yüksek performans özelliklerini, dizel motorlarının özellikle kısmi yüklerdeki yüksek verim özellikleri ile bir araya getirebilecek bir motor tasarımının gerçekleştirilmesi motor üreticilerinin üzerinde durduğu bir konu olmuştur. Taşıtların yakıt tüketiminin azaltılması ve çevre kirliliğine neden olan yanma ürünlerinin kontrol altına alınabilmesi konusundaki güncel çabalar, motor teknolojisinde yenilik arayışlarını son dönemde daha da hızlandırmıştır (Çanakçı ve Özsezen, Mühendis ve Makina - Cilt: 45 Sayı: 531). Alışıla gelmiş benzin motorlarındaki yakıtın emme kanalına püskürtülmesi uygulaması yerine, benzinin emme zamanında veya sıkıştırma zamanında direkt olarak silindir içerisine püskürtülmesi şeklindeki uygulama direkt püskürtmeli (DP) benzin motorlarının temel yapısını oluşturmaktadır. Kademeli dolgulu bu motorlar, dizel motoru çalışma prensibine benzer şekilde, motorun yük durumuna göre hava-yakıt karışım oranını ayarlamaktadır. Dolayısı ile kısmi yüklerde aşırı fakir karışım oranlarında (hava fazlalık katsayısı, $l > 1$) çalışılmakta, tam yükte ise oldukça homojen dağılıma sahip stokiometrik karışım hazırlanmaktadır ($l = 1$). Bu uygulamada, özgül yakıt tüketiminde %25 düzeyine varan azalma sağlamak mümkün olmaktadır. Ayrıca motorda ilk hareket kolaylığı, motorun hızlı cevap verme yeteneğinin sağlanması, düşük CO₂ emisyonları, vurunu direncinin artması, yüksek volümetrik verim gibi üstünlükler sağlanmaktadır. Ancak yanma olayının ve püskürtme zamanının gereken hassasiyette kontrolü, gelişmiş kontrol sistemleri ve hassas püskürtme donanımı ile gerçekleştirilebilmektedir. Kısmi yüklerde yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarındaki artış ve genelde azot oksit (NO_x) emisyonlarının yüksek oluşu direkt püskürtmeli benzin motorlarının geliştirilmeye açık olan sorunları arasında yer almaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte dizel motorlarda ki gelişim 1990 lı yıllarda tekrar atılım yaparak günümüzdeki yeni nesil motorların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Malzeme bilimindeki ve malzemenin işlenebilme kalitesindeki artış doğru orantılı olarak her alanda olduğu gibi dizel motor teknolojisine de kuşak atlatmıştır. Dizel motorun çalışma prensibine bakıldığında yakıt direkt olarak içinde sıkıştırılmış hava bulunan pistonu püskürtülmekte ateşleme sırası pompadan ayarlanmaktadır. Ancak yeni nesil CRDI (Common-Rail Diesel Injection) dizel motorlar da ise ateşleme zamanı pompadan değil enjektörlerdeki manyetik supapların açılıp kapanmasıyla sağlanmaktadır. Sistemde hali hazırda yüksek basınçta sürekli bir yakıt bulundurulmaktadır. Ve bu yakıtın bulunduğu bölüme ortak yol denilmektedir. Common-rail ifadesi bu anlama gelmektedir.

Sistemin verimine bakıldığında yeni nesil dizel motorun tercih edilme nedenleri açıkça görülmektedir. Bu faydalarına bakıldığında torkun ve motor gücünün artması, yakıt tüketiminin azalması, kirliliğe sebep olan emisyonların azalması, motordan gelen toplam sesin azalması, taşıtın sürüş konforunun iyileştirilmesi olarak sıralayabiliriz.

Günümüzde tasarruflu araçların kullanılma oranında ciddi bir artış olmuştur. Hibrit arabaların maliyetinin ve benzinli araçlardaki yakıt tüketiminin yüksek oluşu dizel araçları tercih edilebilmesi nedeni olarak gösterilebilir.

Dizel motor enjektörleri incelendiğinde yakıtın geçtiği deliklerin çok küçük olduğunu görmekteyiz. Püskürtmenin kalitesi ve miktarı piston içinde oluşan yanmanın formunu ve elde edilen enerjinin verimini doğrudan etkilemektedir. Yüksek basınç enjektörleri olarak da adlandırdığımız bu enjektörler zamanla hasara uğramakta ve enjektör meme ucundaki deliklerde zamana bağlı olarak veya yakıtın kötü oluşundan kaynaklı genişlemeler meydana gelmektedir. Bu olumsuzluk verim kaybına güç kaybına neden olmakta, yakıt tüketimini arttırmakta, emisyon değerlerinin de kötüleşmesine yol açmaktadır.

Yapılan çalışmada yakıt özelliklerinin enjektör uçlarında meydana getirdiği hasar incelenmiştir. Yakıt ve yakıtlara eklenen katkıları ile hasar oluşumundaki değişim gözlenmiştir. Hasar analizini yapmak için, üç ayrı yakıtla 110'ar saat çalıştırılan üç ayrı enjektör numunesi, kullanılmamış bir başka enjektörle ve birbirleriyle karşılaştırılarak meydana gelen hasar incelenmiştir. Bu incelemede SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDX (Enerji Ayrımlı Spektrometre) analizi kullanılmıştır.

2. DİZEL MOTOR

İçten yanmalı motor tipidir. Dizel motor havanın sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan bir motordur.

1892'de Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınmış bu süreç diesel çevrimi olarak bilinir.

Gaz sıkıştırıldığında, sıcaklığı yükselir, dizel motorunda, gazın bu özelliğinden dolayı yakıt kendiliğinden ateşlenir. Hava, dizel motorunun silindiri içine çekilir ve bir piston tarafından, kıvılcım ateşlemeli (benzinli) motorlardakinden çok daha yüksek (bir oranda sıkıştırılır. Hava sıcaklığı 500 - 700 °C'a ulaşır. Piston hareketinin en tepe noktasında, dizel yakıt yüksek basınçla memeden geçerek yanma odasının içine püskürtülür, burada sıcak ve yüksek basınçlı hava ile karışır. Bu karışım hızla tutuşur ve yanar. Hızlı sıcaklık artışı ile yanma odası içindeki gaz genişler, artan basınç, pistonu aşağı doğru hareket ettirir. Biyel (piston) kolu vasıtasıyla oluşan bu itme krank miline iletilip, krank milinden de dönme momenti elde edilir.



Şekil 2.1. Dizel motor piston içi ve yanma olayı (S.Buruk ve U.Özçelik,2007).

Motorun süpürmesinde, egzoz gazını silindirin dışına atma ve taze hava çekme işlemi, kapakçıklar (valf) veya giriş ve çıkış kanalları aracılığıyla yapılır. Dizel motorun kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesi için içeriye alınan havayı sıkıştırabilecek aşırı

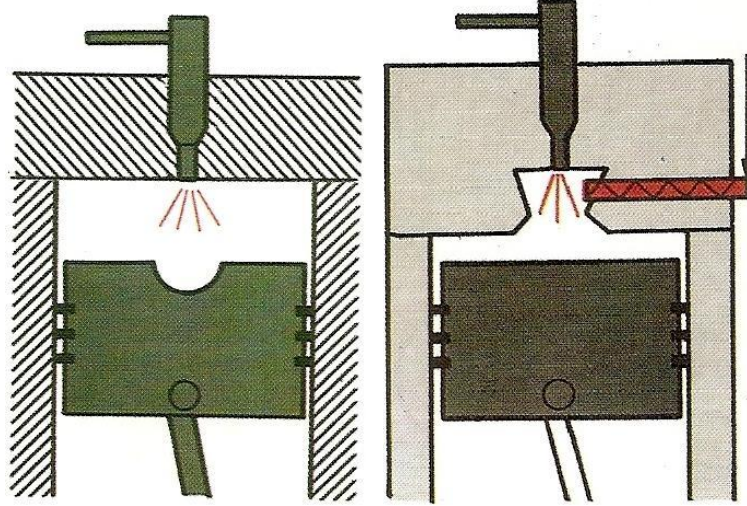
doldurma kullanılması gerekir; aşırı doldurma ile havanın piston içinde sıkıştırılmasından önce bir ara soğutucu ile içeri alınan havanın miktarı arttırılarak ayrıca verimde arttırılır.



Şekil 2.2. Dizel motor.

2.1. Enjeksiyon Tipleri

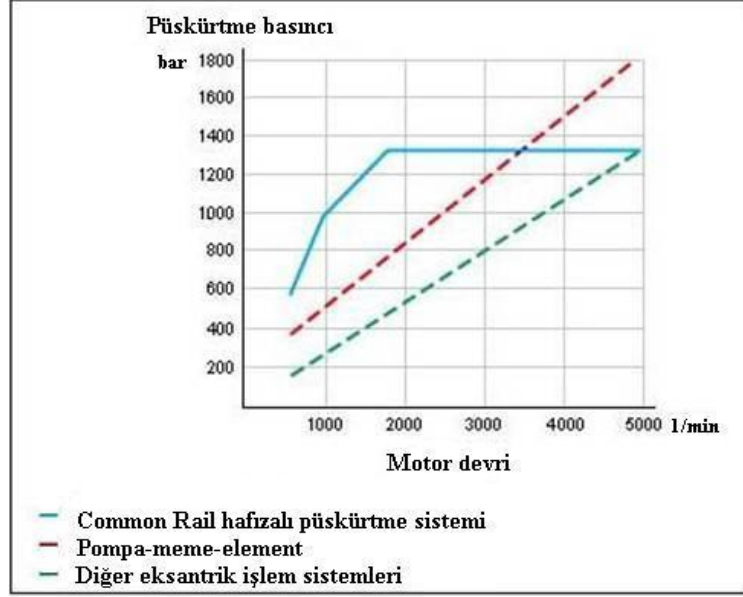
Dizel motorlarda yakıt enjeksiyonu, endirekt ve direkt ifade olarak iki tiptir. Endirekt enjeksiyonda yakıt, dizel motorda yanma odası dışında, ön oda olarak adlandırılan yere verilir. Yanma başladığında yanma odasının içine yayılır. Bu tipte motordaki aşırı gürültü ve titreşim düşürülür, fakat ısı kaybı artar ve motor verimi düşük olur. Direkt enjeksiyon ise modern dizel motorlarda kullanılır. Burada motordaki yanma odasına yakıt doğrudan püskürtülür.



Şekil 2.3. Direkt enjeksiyon ve endirekt enjeksiyon.

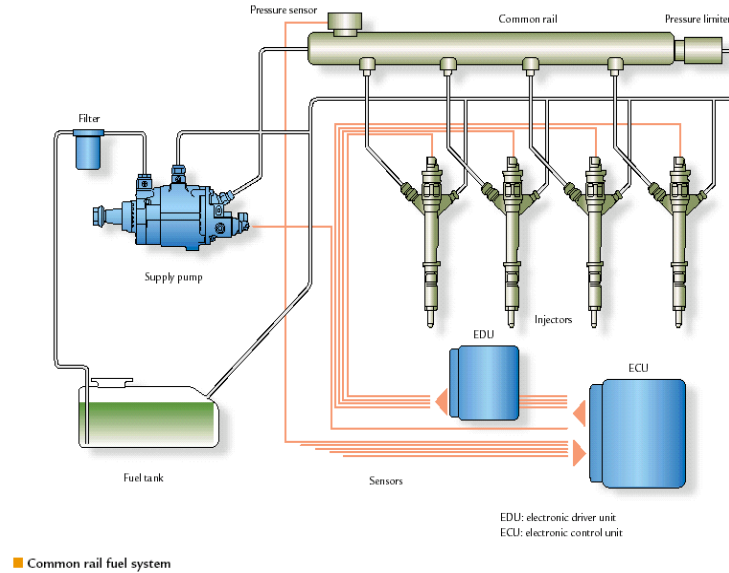
2.2. Yeni Nesil Dizel Motorlar (CRDI-Common-Rail Direct Injection)

Common-Rail sistemi yeni geliştirilen bir dizel direkt püskürtme sistemidir. Bu yeni geliştirilen sistemin, bugüne kadar kullanılan aynı türdeki sistemlere göre yakıt sarfiyatı konusunda bazı avantajları olmakla birlikte egzoz gazı emisyonu, çalışma sistemi ve gürültü oluşumunda da net bir şekilde daha üstün olduğu görülmüştür. Gelecek vaat eden bu tekniğin anahtar kelimeleri “tutuculu püskürtme” veya “ortak boru” anlamına gelen “Common-Rail”dir. Direkt tahrik edilen blok veya tek pompalı sistemlerden farklı olarak Common-Rail’de basınç oluşumu ve püskürtme ayrılmaktadır. Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık 900 bar’lık basınç ile çalışırken, Common-Rail Sistemi, yakıtı 1350 bar’a kadar yükselen bir basınç ile ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtır. Elektronik motor kontrolü, bu yüksek basıncı, motorun devir sayısına ve yüküne bağlı olarak ayarlar.



Şekil 2.4. Comman rail sistemin diğer sistemlerle karşılaştırılması (S.Buruk ve U.Özçelik,2007).

Püskürtmeyi, enjektörler üzerinde bulunan ve elektronik kontrollü manyetik supaplar sağlamaktadır. Bu da yine püskürtme olayının şekillendirilmesi, püskürtme miktarının ölçülmesi ve yakıt püskürtmesi bakımından yeni imkânlar sağlamaktadır. Ayrıca yine bu imkânlar sayesinde yeni sistemin mükemmel bir avantajı olan Pilot (ön) Püskürtme ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.5. Yeni nesil dizel motor (CRDI-Common-Rail Direct Injection) sistemi (S.Buruk ve U.Özçelik,2007).

Pilot püskürtme, ana püskürtmeden önce oluşarak yakıtın yanmasına ilişkin çıkış oranlarını yüksek derecede iyileştirmektedir. Ön veya çoklu püskürtme, süratli manyetik supaplarına hızlı kontrol edilmesi ile oluşturulur. Böylece hem zararlı madde ve gürültü emisyonu hem de dizel motorlarının yakıt ekonomisi iyileşmektedir. Common-Rail sistemi, motorda önemli değişiklikler yapılmadan, kullanılan püskürtme sisteminin yerini alabilmektedir.

2.3. Yeni Nesil Dizel Motorların (CRDI-Common-Rail Direct Injection) Sağladığı Teknik Avantajlar

- Hava-yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir,
- Enjeksiyon basıncı, geniş limitler içerisinde serbestçe seçilebilir,
- Yakıt enjeksiyonunun başlangıcı ve enjekte edilen yakıt miktarı da serbestçe belirlenebilir,
- Çalışma koşullarının değiştiği durumlarda ve özellikle de soğukta daha esnektir,
- Yanma ekolojiktir ve ekonomiktir,
- Çalışması için daha az motor gücüne ihtiyaç duyulur,
- Daha basit bir sistemdir,
- Modüler bir sistemdir,
- Düşük maliyet ile daha iyi performans sağlar.

3. KOROZYON

Metaller doğada bileşik halinde bulunurlar. Bu metallere dışarıdan enerji vererek kararlı durumlarından çıkarılarak metal veya alaşım elde edilir. Yapılan bu işlemde sonra işlenebilir kullanılabilir metal veya alaşım ortaya çıkar. Ancak ne yapılsa yapılsa metallerin kararlı hale dönme eğilimleri durdurulamayan bir süreçtir. Doğada bulunan bu metal kararlı haline dönmeye çalışır. Bu eğiliminden dolayı kimyasal değişime ve bozunuma uğrarlar. Meydana gelen bu olaya genel anlamda korozyon denir. Başka bir şekilde ifadeyle korozyon metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla elektrokimyasal reaksiyona girmeleri sonucu hariçten enerji vermeye gerek olmadan, metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Korozyon metallerde hasara neden olur. Korozyona uğrayan metal reaksiyona girer ve bu reaksiyonun hem hızını ise metalin bulunduğu ortam ve dış çevresel etkenler belirler. Tuzlu bir ortam, deniz suyu, ısı değişimleri, yüksek ısı olan bölgeler bu ortamlara örnek verilebilir.

Korozyonun meydana getirdiği zarar önemli israf kaynaklarından birini oluşturur. Çevremize baktığımızda değişik metal türlerinin her yerde her alanda kullanıldığını görürüz. Atmosfer etkisinde kalan bütün çelik yapılar, köprüler, korkuluklar, direkler, raylar, depolar, tarım makineleri taşıt araçları vb. su ve yeraltında bulunan çelik yapılar, akaryakıt ve su boruları, kablolar, tanklar, iskele ayakları, baraj kapakları, cebri borular, gemiler, dubalar, buhar kazanları, radyatörler, betonarme demirleri vb. metalik yapılar beklenenden daha kısa süreler içinde korozyon nedeni ile kullanılamaz hale gelebilir.

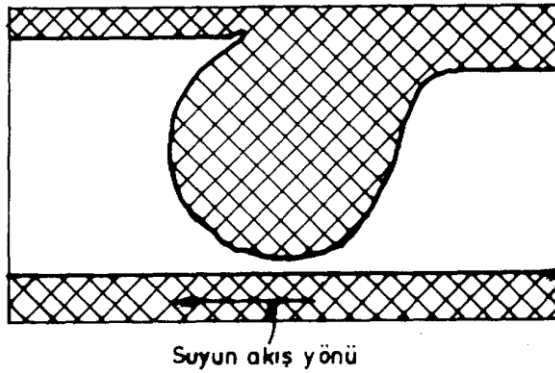
Bu nedenle korozyon olayını tam olarak durdurmak mümkün olmamakla beraber korozyona karşı alınacak önlemler, korozyon hızının azaltılmasına ve böylece metalin ömrünün belirli süre artırılmasına yöneliktir.

Diğer taraftan korozyon, malzeme ve işçilik gibi en önemli ulusal kaynakların yok olmasına neden olur. Bu açıdan bakıldığında korozyon, endüstrinin verimini azaltan, ekonomik kalkınmayı engelleyen ve milli gelirden önemli kayıplara neden olan ekonomik bir olay olarak nitelendirilmelidir.

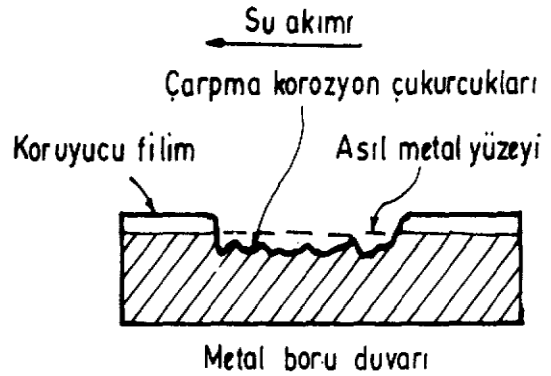
3.1. Enjektörde Hasar Meydana Getiren Korozyon Türleri

3.1.1. Erozyonlu korozyonu

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde görülen bozunma türüdür. Erozyonlu korozyonun durağan koşullara oranla metal kaybı hızının önemli ölçüde artması ile kendini hissettirir. Örneğin hızlı aşınma ile iç basıncı tutamayacak ölçüde incelenen borular ulaştığı sistemlerde görülen bozunma türüdür. Erozyonlu korozyon durağan borular çatlayarak görev yapamayacak duruma gelirler (Şekil 3.1 ve şekil 3.2).



Şekil 3.1. Evlerdeki sıcak su boruları ve erozyon korozyonu



Şekil 3.2. Bir boru içindeki erozyon korozyonu

Metal kaybı metalin iyonlarına dönüşmesi veya yüzeyde oluşan oksit tabakalarının uzaklaştırılarak ortama karışması ile gerçekleşir. Bozunan yüzeylerin görünümü akım doğrultusuna yönelik yumuşak engebelerden oluşur. Akan sıvı ile değmekte olan her çeşit ekipman erozyon korozyonuna uğrayabilir.

Erozyonlu korozyonun rastlandığı haller hayli yaygın gaz ve sıvıların pompalanması ve uzak mesafelere taşınmasında kullanılan teçhizat ve boru hatları, örneğin kömür ve madenlerin cevherlerinin toz halinde su ile karıştırılarak uzak mesafelere pompalandığı boru hatları, sıcak su ve buhar hazırlama tesisleri verilebilecek örneklerdir. Pompa gövdesi ve kanatları valfler ve valf yuvaları, kazan ve kondenser boruları, türbin kanatları erozyonlu korozyona terk edilmiş olarak görev yapan parçalardır.

3.1.2. Kavitasyon

Su türbinleri ve pompa kanatları, gemi uskurları ve benzeri sistemlerde rastlanan bozunma türüdür. Hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıkları giderek büyür ve patlarlar. Böylece başlatılan şok dalgaları yüzeye çarparak malzeme içinde yüksek gerilimlerin oluşmasını sağlarlar. Gözlemler bu gerilimlerin malzemenin plastik deformasyonuna yol açacak düzeye ulaşabildiklerini göstermektedir. Şok dalgalarının yüzeye çarpması sırasında malzeme yüzeyini örten tabaka yer yer yara alarak koruyucu özelliğini kaybeder. Bu bölgeler aktif tutuma geçerek çözünürler. Bundan da öteye alçak basınç kabarcıklarının oluşması ve patlaması için elverişli noktalar olarak ayrıca önem taşırlar. Bu koşullar aşınmanın yerel yoğunlaşmasına ve malzeme yüzeyinin yer yer delinmesine yol açarlar. Kabarcıkların oluşumu, büyümeleri ve patlamaları çok kısa sürelerle tekrarlandığından bozunma hızı genellikle çok yüksektir. Çukurcukların çoğalması ile gelişen yüzey kabalaşması türbülansı ve bu nedenle de kavitasyon hızını artırıcı bir etmendir.

Kavitasyon hızı ortamın saldırganlığı ile artar. Ancak bu artış çukurcuk korozyonuna yol açabilen ortamlarda daha belirgindir. Ortamda bulunan çözünmüş oksijen ve katı parçacıklar kavitasyonun hızını artırıcı diğer etmenlerdir. Kavitasyon hızı sıcaklıkla artarak 45 °C yakınında en yüksek değerine ulaşır. Daha yüksek sıcaklıklarda kavitasyon hızının azaldığı görülür.

Kavitasyona karşı alınabilecek önlemlerin başında malzeme seçimi gelir. Örneğin krom ve krom – nikel paslanmaz çelikler düşük alaşımlı çelikler ve bakır alaşımlarına (pirinç ve bronz) oranla daha dayançlıdırlar. Ayrıca sert ve korozyona dayançlı yüzey kaplamaları ve astarlar da başarı ile kullanılabilir. Malzemenin yüzey düzgünlüğü önemlidir. Çünkü yüzey düzgünlüğü geliştirilerek kabarcıkların oluşumuna elverişli noktaların sayısı minimum düzeye indirgenebilir. Şok dalgalarını söndürücü özellikte malzeme veya yüzey kaplamaları (örneğin lastik, elastomer vb.) kullanmak yarar sağlar. Kabarcıkların oluşumuna yol açıcı basınç düşmesi ve türbülans uygun tasarım yolu ile önemli ölçüde azaltılabilir.

3.1.3. Kazımalı korozyon (Fretaj)

Yeterli yük altında birbirleri üzerinde ileri geri hareket eden metal yüzeylerde görülen bozunma türüdür. Bozunan yüzeylerin görünümü çok sayıda oksit parçaları ile çevrelemiş çukurculardan oluşur. Olaya korozyonla desteklenen aşınma olarak bakılabilir. Başlangıçta parçaların teması yüzeylerin çıkıntılı kısımlarının birbirlerine değmesi ile sağlanır. Yüksek gerilim altında birbirleriyle kaynayan sivri uçlar parçaların kayma hareketi sırasında kazanırlar ve ara yüzeye giren havanın oksijeni ile oksitlenirler. Böylece oluşan oksit parçacıklarını ara yüzeyden uzaklaştırma olanağı yoktur. Bunlar genellikle serttir ve kazıyıcı ortam olarak etkilidirler. Olay kazınan parçaların oksitlenmesi ile tekrarlanarak sürdürülür.

Kazımalı korozyon için gerekli olan bağıl kayma miktarı çok düşüktür (yaklaşık 10^{-6} cm). Metal kaybı bağıl kayma büyüklüğü ve çevrim sayısı ile doğrusal artış gösterir. Çevrim frekansı arttıkça metal kaybında azalma olur. Ancak frekansın belirli bir minimum değerinden sonra metal kaybının sabit kaldığı yani frekans değişiminden etkilenmediği görülür. Kazımalı korozyona ilişkin ilginç bir gözlem metal kaybının artan havadaki nem miktarı ve sıcaklık ile azalmasıdır. Bu kazımalı korozyonun elektrokimyasal bir mekanizma ile oluşmadığını gösterir niteliktedir.

Kazımalı korozyon dar toleranslarla işlenmiş makine parçalarının bu özelliklerini kısa zamanda yitirerek işlevlerini sürdürmeyecek ölçüde bozunmalarına yol açabilir. Ayrıca metal yüzeyinde oluşturulan çukurculuklar yorulma çatlaklarının başlatıldığı yerler olarak önem taşırlar. Çatlak oluşum döneminin böylece kısaltılmış olması makine parçalarının ömrünü büyük ölçüde kısaltabilir.

3.1.4. Gerilme korozyonu

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise metalin çatlayarak kırılması çabuklaşır. Metal yüzeyinde bulunan bir çukur veya çatlak gerilim altında duyarlı hale gelerek korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Bu korozyon çekme gerilmesinde görülür basma gerilmesinde oluşmaz.

3.1.5. Yorulma korozyonu

Periyodik olarak yükleme ve boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulan metal, normalden daha küçük gerilmelerin

etkisiyle çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur.

3.2. Korozyonun Etkileri

3.2.1. Korozyonun malzemeye olan etkisi

Korozyon malzeme yapısını bozucu bir etkiye sahiptir. Korozyonun çeşitli türleri malzeme üzerinde çeşitli etkilere neden olabilmektedir. Bazı korozyon türleri malzeme yapısını bozarken bazı korozyon türleri malzeme kaybına neden olmaktadır. Bir gerilmeye maruz kalan parçada korozyon etkisi kırılmaya ve çatlamaya yardımcı olur.

Kırılma, tane sınırlarından ve taneleri keserek oluş şekline göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

1.Taneler Arası Kırılma (İntergranüler Kırılma): Çok taneli malzemelerde tane sınırlarındaki kohezyonun çeşitli sebeplerle az olması halinde, malzemenin kırılması tane sınırları yüzeylerinden tanelerin birbirinden ayrılması şeklinde meydana gelir, bu kırılmaya taneler arası kırılma veya intergranüler kırılma adı verilir.

2.Taneleri Keserek Kırılma (Transgranüler Kırılma): Taneleri keserek meydana gelen kırılma şeklidir. Transgranüler kırılma, kayma gerilmelerinin etkisiyle tanelerin kayma kırılması şeklinde kopmasıyla meydana gelmişse buna transgranüler kayma kırılması adı verilir. Tanelerin klivaj düzlemleri (Klivaj düzlemleri en düşük yüzey enerjisine sahip düzlemlerdir) boyunca kırılması şeklinde ise buna da transgranüler klivaj kırılması denir. Malzemenin yüklenme şekli, yani gerilme şekil değişimi ile ortam şartları meydana gelecek kırılmanın ne tip olacağını belirler.

3.2.2. Korozyonun CRDI (common-rail direct injection) sistemine olan etkisi

Memede meydana gelen korozyonun enjektör deliklerinde meydana getirdiği hasar püskürtülen yakıtın geometrisinin değişmesine neden olmaktadır. Bu değişim yanma odasında (piston içi) meydana gelen yakıtın püskürtülmesi ile başlayan ateşlemenin ve yanmanın kalitesini etkilemektedir. Motorun performansının maksimum olması için yanmanın iyi olması değişilmez parametrelerdendir. Meydana gelen enjektör deliklerindeki hasar verimin düşmesinde ve motordan istenilen gücün elde edilememesine neden olur.

3.3. Literatür Taraması

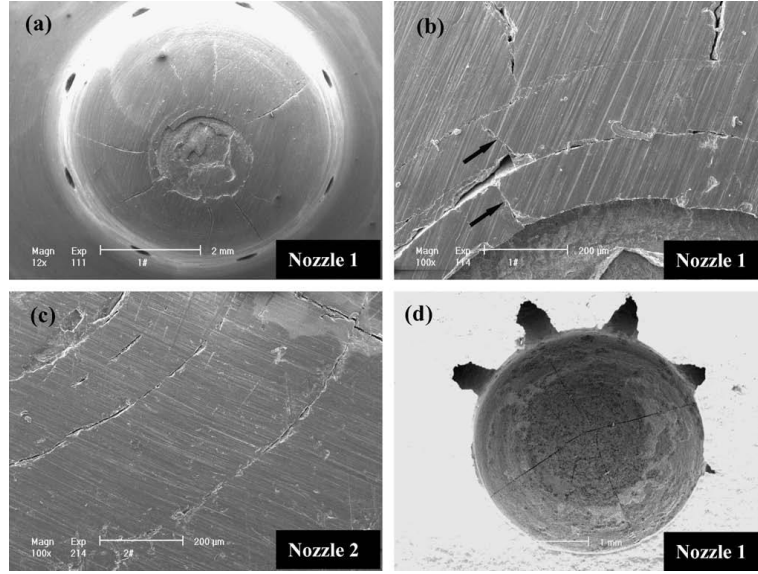
Aleiferis vd. tarafından yapılan çalışmada farklı sıcaklıktaki yakıtlar, farklı basınçta ve farklı delik çaplarında püskürtme testi uygulanmıştır. Meydana gelen püskürtme geometrisinin içten yanmalı motorlardaki etkilerini incelemişler ve bu geometrinin verimi etkilediği sonucuna varmışlardır. Püskürtme basıncı ile birlikte yakıtın sıcaklığı artırıldığında meydana gelen geometrinin asimetrik olduğu görülmüştür ve yakıtın delik içerisindeki kavitasyonunu incelemişlerdir (Aleiferis vd., 2010).

Soma vd. dizel motordaki püskürmeye, yanmaya ve emisyon karakteristiklerine nozul ağız geometrisinin etkisini yaptıkları çalışmalarında incelemişlerdir. Üç farklı nozul ağızında yaptıkları deneylerde yakıt püskürtme formlarındaki değişimle birlikte birinci nozul ağızına ($K=0$, $r/R=0$) kıyasla konik nozul ağızında ($K=2$, $r/R=0$) daha fazla kurum oluştuğu, hydroground ($K=0$, $r/R=0.014$) nozul ağızında ise daha fazla NO_x emisyonlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir (Soma vd., 2010).

Çizelge 3.1. Üç farklı nozul tipine göre ateşleme zamanı ve yerini, sıvı uzunluğu ve alev başlama uzunluğunu gösterir çizelge (Soma vd., 2010).

Nozul Tipi	Ateşleme Zamanı (ms)	Ateşleme Yeri (mm)	Sıvı Uzunluğu (mm)	Alev Başlama Uzunluğu(mm)
Temel (Base) [$K=0$, $r/R=0$]	0.42	47.2	25.1	19.3
Konik [$K=2$, $r/R=0$]	0.44	48.8	26.9	7.9
Hydroground [$K=0$, $r/R=0.014$]	0.45	49.2	27.2	20.6

Yu vd., 38CrMoAl çelik alaşımı (nitrizasyon ile sertleştirilmiş) enjektörde meydana gelen çatlama hasarını incelemiş, yakıt veya malzemeye bağlı olmadığı iğne vuruşlarından dolayı bu hasarın meydana geldiği sonucuna varmışlardır. Yaptıkları çalışmada hasarlı enjektörün vickers sertlik ölçme yöntemi ile sertliği değişik noktalarda ölçülmüş, nitrizasyon tabakasının belirtilen derecelere karşılık gelmesine rağmen yapılan çatlak incelemesinde hasarın metalurjik kusurlardan meydana gelmediği anlaşılmıştır (Yu vd., 2008).



Şekil 3.3. Hasara uğramış enjektörün SEM görüntüleri (Yu vd., 2008).

Asi çalışmasında, kavitasyon zararından meydana gelen dizel motor enjektöründeki (18CrNi8 çelik alaşım) hasarı incelemiştir. Bu çalışma bir kamyonunda kullanılmış olan dizel motor enjektörlerinin uçlarında oluşan hasarı kapsamaktadır. Spektrum analizi ve mikro sertlik ölçümlerinin sonuçları enjektör memesinin malzemesini karbürleşmiş 18CrNi8 çeliği olarak göstermektedir. Kompozisyonu, mikro yapı sertlik değerleri ve hasar derinliği özellikleri tatmin edici bulunmuştur. Bu olayda Martenzit ve Östenit matristen enjektör memesinin hasarının mikro yapısı oluşur. SEM mikroskobu incelemesinde hasarlı enjektör ucundaki pürüzlülük, mikroskobik kraterler, lokal plastik deformasyon ve çukurlar incelenen bölgenin yüzeyinde ortaya çıkarılmıştır. Hasarlı enjektör memesinin yüzeyindeki hasarlar kavitasyon hasarının karakteristiği göstermektedir. Çatlak kavitasyon, hasar bölgesinde başlar ve yorulma çatlakları olarak yayılır. Sonuç olarak, enjektör ucu hasarının sebebi kavitasyon hasarıdır. Bu nedenle, dizel motor enjektör memesi normal kullanım ömründen daha kısa sürede hasara uğramıştır (Asi, 2005).

Yusuf, makalesinde dizel yakıtı içerisindeki sülfür (kükürt) bileşiğinin korozyona olan etkilerine incelenmiştir. Motor içerisindeki piston segman ve enjektör memesinin üç kısmına yapışan sülfürün, bu bölgelerde korozyona ve ciddi hasarlara yol açtığı sonucuna varmışlardır (Yusuf, 1995).

L.Popa-Simil vd.'nin yaptıkları çalışmada , fuel oil yanma ürünlerinin sebep olduğu korozyon erozyonunu önlemek amacıyla kullanılan farklı çeşitlerdeki metallerin sınıflandırmasını yapmıştır (L.Popa-Simil vd., 1997).

Miller ve Srivastava tarafından yapılan çalışmada magnezyum kaynaklı katkı maddelerinin yakıt depolama güvenilirliğini arttırmak ve yüksek sıcaklık korozyonunu en aza indirmek için kullanılabileceğini tespit etmişlerdir (Miller ve Srivastava, 2000).

Etanolün korozif özelliğinin kalitesine bağlı olduğunu Hansen vd. tarafından yapılan çalışmada rapor edilmiştir (Hansen vd., 2005).

Farklı yakıt türlerinin özellikle etanolün yakıt pompası aşınmalarına ve korozyonuna olan etkisi Rovai tarafından yapılan çalışmada araştırılmıştır. Taramalı elektron mikroskopu araştırmaları pürüzlülük testleri gibi araştırmalar yakıt pompası dişlilerinin analizi için kullanılmıştır. Tespit edilen aşınmalar ve/veya diğer aşınma mekanizmaları genellikle sürtünme ve korozyondan kaynaklanmaktadır (Rovai, 2005).

Diğer bir araştırmada Kass vd. yüksek çözünürlüklü korozyon uçlarına ağır vasıta dizel motorlarının EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyonu) valfinin hava kanalına yerleştirmiştir. Yumuşak çelik ucun korozyon miktarı yakıttaki sülfür miktarına, nemliliğe, EGR partiküllerine ve de çiğ noktası sınırına bağlı olarak değişmektedir. 15 ppm sülfür kullanılan dizel yakıtının kullanıldığı motorlarda herhangi bir korozyon oluşumuna rastlanılmazken 350 ppm sülfür kullanılan motorların EGR kanallarında ortam su buharlarının yoğunlaşması ile birlikte korozyon oluşumları tespit edilmiştir. Bileşikteki sülfat miktarının artması ile yumuşak çelik elementinin korozyon miktarında artışlar meydana gelmiştir (Kass vd, 2005).

Lim vd., çalışmalarında yüksek yanma sıcaklıklarında, yakıt içerisindeki sülfür gaz halindeki sülfite dönüşür. Sülfite de yakıt içerisindeki elementlerle ve de yağlayıcılarla reaksiyona girerek metallerin üzerinde bileşik oluşturur. Eğer bu bileşikler yanma odası içerisinde birikinti olarak kalırsa motorun korozyona uğramasına ve de aşınmasına sebep olabilir. Ayrıca motor içerisinde yayılarak aşınmaların olabileceği görülmüştür (Lim vd., 2007).

Lundberg yaptığı çalışmada soğuk iklimlerde yakıt sistemindeki malzemelere dikkat edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Yüksek sıcaklık değişkenliği korozyon oluşumunu tetikleyen su oluşumlarına sebep olabilmektedir. Yakıtların bazı katkı

maddeleri ile kullanılması ve dikkatli bir şekilde taşınması ile bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir (Lundberg, 2008).

Yüksek basınçlı püskürtme sistemlerine sahip motorlarda etanol yakıtının kullanılması düşük siyah duman, NO_x ve hidrokarbon emisyonlarının düşük olması gibi dikkat çekici özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Etanolün direkt püskürtmeli motorlarda kullanılması bu sistemi geliştirenler tarafından verimlilikleri, çalışma mekanizması, egzoz emisyonları ve maliyet konularında incelemeler yapmalarından sonra mümkün olmuştur. 1 milyon km'nin üzerindeki araç testi sonrasında iyi bir yakıt ekonomisi, düşük motor aşınmaları tespit edilmesine karşın bu yakıtın korozyon problemlerine sebep olduğu tespit edilmiştir (Hardenberg ve Schaefer, 2008).

Son yıllarda biodizel yakıtı olan ilgi giderek artmış ve biodizel üretimi için alternatif maddeler araştırılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada kabak çekirdeği yağı incelenerek elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapılmıştır. Yakıtların su ile kirletilmesinden dolayı motorlarda korozyon meydana gelebilmekte veya yağ asidi metal esterlerinin yağ asidine dönüşmesi neticesinde filtrelerin tıkanması ile karşı karşıya gelinmektedir. Bu nedenle, EN 14214 normları biodizel içerisinde maksimum 500 µg g-1 su bileşenine izin vermektedir. Üretilen metal esterlerin kurutulması sağlanmıştır. Bu sayede kabak çekirdeği yağı metil esterindeki su bileşeni istenilen limitlerin altında elde edilmiştir (Schinas vd, 2009).

Çanakçı ve Özsezen tarafından yapılan çalışmada, dizel motorların yakıt sistemlerindeki gelişmeleri incelenmiş ve son yıllarda meydana gelen teknolojik ilerlemeyle daha iyi çalışan sistemlerin ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır (Çanakçı ve Özsezen, 2004).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada enjektörlerde ve yakıt sistemindeki korozif etkinin yakıttan kaynaklı olan kısımları incelenmiştir ve meydana gelen hasarın analizi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada yakıtın ve farkı yakıt karışımlarının dizel motor enjektöründeki yaratmış olduğu korozif etkilerini incelemek amacıyla DLL 160 S 503 W numaralı 3 adet enjektör 3 farklı yakıt tipiyle her biri, tek silindirli dizel motorda, 1600 devir/dakika sabit devirle 110 saat çalıştırılmıştır (Çizelge 4.1). Sonrasında korozif etkinin tespiti için SEM mikroskobunda bakılmıştır. Bakılan yüzeyde EDX analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Yakıt tipleri ve çalıştırma süresi çizelgesi.

S.Nu.	Yakıt ve Yakıt Karışımları	Çalışma Saati	Motor Tipi
1	Dizel	110 SAAT	Tek Silindirli Dizel Motor
2	%90 Dizel + % 10 Etanol Karışımı	110 SAAT	
3	%90 Dizel + % 10 JET A1 Karışımı	110 SAAT	



Şekil 4.1. DLL 160 S 503 W numaralı enjektör.

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan motora ait bilgiler.

Motorun Markası ve Modeli	Lombardini 6 LD 360
Tipi	Dizel
Piston Sayısı	1
Enjektör Sayısı	1
Motor Tipi	2 zamanlı
Devir Sayısı	1600 devir / dakika

Enjektörler 3 farklı yakıt tipiyle çalıştırılırken yapılan deneysel çalışmada 3 aşamada tamamlanmıştır. Çalışmaya başlamadan önce motorun yağ değişimi ve yakıt filtre değişimi yapılmıştır. Daha sonra yeni dizel yakıt enjektörü takılarak dizel yakıt için ilk aşama olarak çalışmaya başlanmıştır. Birinci enjektör 110 saat çalıştırdıktan sonra enjektör sökülerek yakıt filtresi ve motor yağı değişimi yapılmıştır. Daha sonra ikinci enjektör motora takılmıştır. Motora takılan ikinci enjektörden sonra %90 dizel - %10 etanol karışımı ile 110 saatlik teste başlanmıştır. 110 saatin sonunda bu yakıt karışımı ile çalıştırılan dizel motorun bakımı yapılarak enjektörü değiştirilmiş son olarak %90 dizel-%10 Jet A1 karışımı yeni bir enjektör takılarak aynı teste tabi tutulmuştur. 110 saatin sonunda bu enjektörde motordan çıkarılmıştır.

3 ayrı yakıt tipiyle yapılan deneysel çalışmada elde edilen 3 adet numunemiz bulunmaktadır. Ayrıca karşılaştırma yapmak için bir adet yeni hiç kullanılmamış enjektörle beraber 4 adet numune bulunmaktadır. Numunelerin incelenmesi için enjektörlerin boyutları kesilerek, incelenmek üzere SEM numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 4.3.Yakıtların Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	Dizel	Jet A-1	Etanol
Fiziksel Durum	Sıvı	Sıvı	Sıvı
Renk	Sarı	Renksiz	Renksiz
Yoğunluk	820-845 kg/m ³ (15 C°)	775-840 kg/m ³ (15 C°)	791 kg/m ³ (20 C°)
Kükürt	% 0,001 max (ağ)	% 0,3 max (hacim)	-
Aromatikler	% 8 max (ağ)	% 25 max (hacim)	-
Formül	C14H30		C2H5OH

Yapılan çalışmada amaç enjektör ucundaki yakıt çıkışının olduğu deliklerin içindeki korozif etkiyi incelemektir. Bu kapsamda yapılan enjektörlerin uç kısımları hassas kesimle kesilerek yakıt delikleri ortaya çıkarılmıştır. Metalografik yöntemle parlatma cihazında enjektör uçları parlatılmıştır. Ve sonrasında mikroskopta incelenmiştir.

Deneysel çalışma yapılan işlem sırası;

1. Enjektörler her yakıt karışımından sonra yenisi takılarak değiştirilmiştir.
2. Motorun devir sayısı düzenli olarak kontrol edilmiştir.

3. Enjektör değişimi yapılırken yakıt filtresi değiştirilmiş ve depo içi tamamen temizlenmiştir.

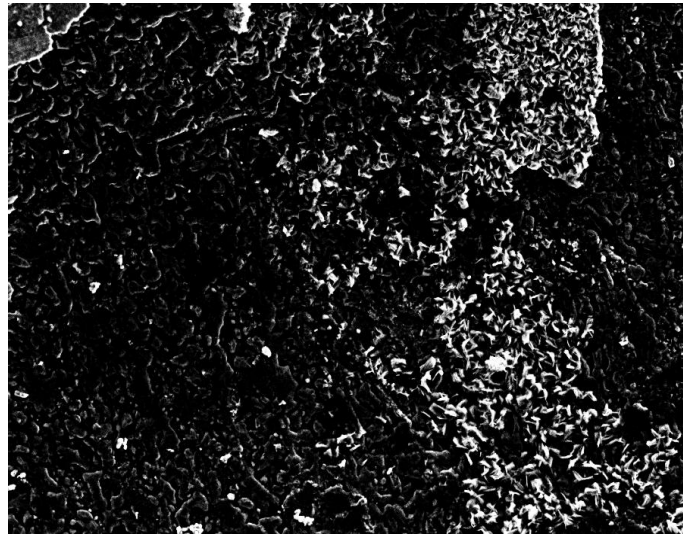
4. Elde edilen numuneler (4 adet) uç kısmından kesilmiştir.

5. Enjektör deliklerinin olduğu bۆlüm hassas kesim ile kesilerek delikler ortaya çıkarılmıştır.

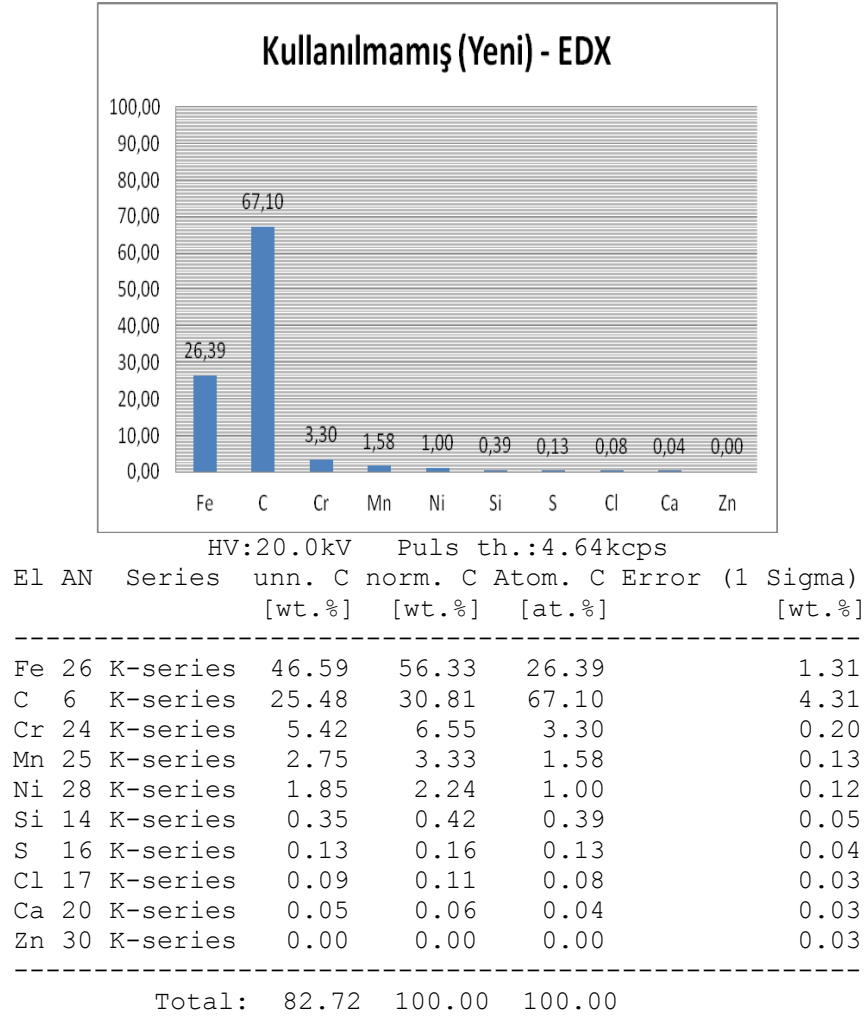
6. Boyutları ve incelenmek istenen enjektörler delikleri ortaya çıkarılan numunelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) de görüntüleri alınmıştır.

4.1. Kullanılmamış (Yeni) Enjektör

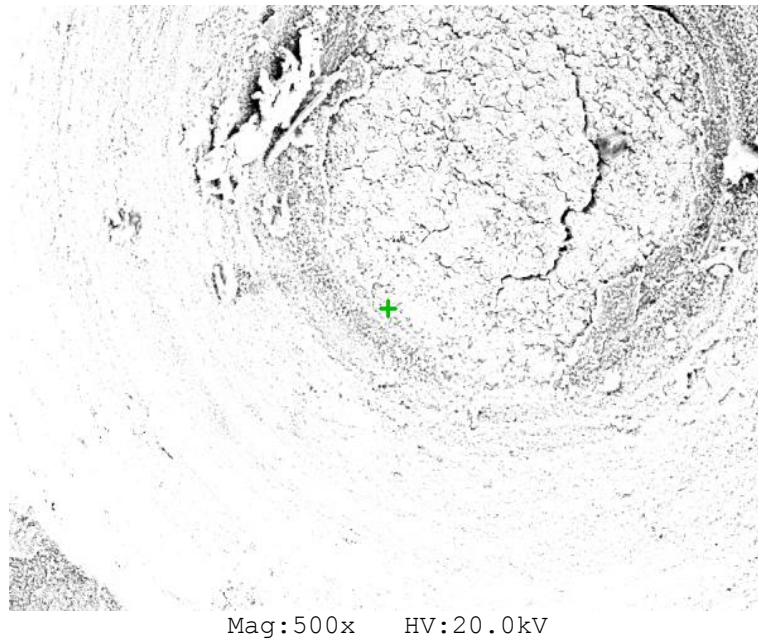
Kullanılmamış enjektör işlem sırası olarak önce SEM’de görüntülenmek için uygun boyuta getirilmiştir. Daha sonra Hassas kesimle kesilerek enjektör delikleri ortaya çıkarıldı ve metalografik yöntemle parlatma cihazında enjektör uçları parlatılmıştır. Belirlenen noktaların EDX analizi yapılarak element yapısı tespit edilmiş ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri EK-1’de verilmiştir.



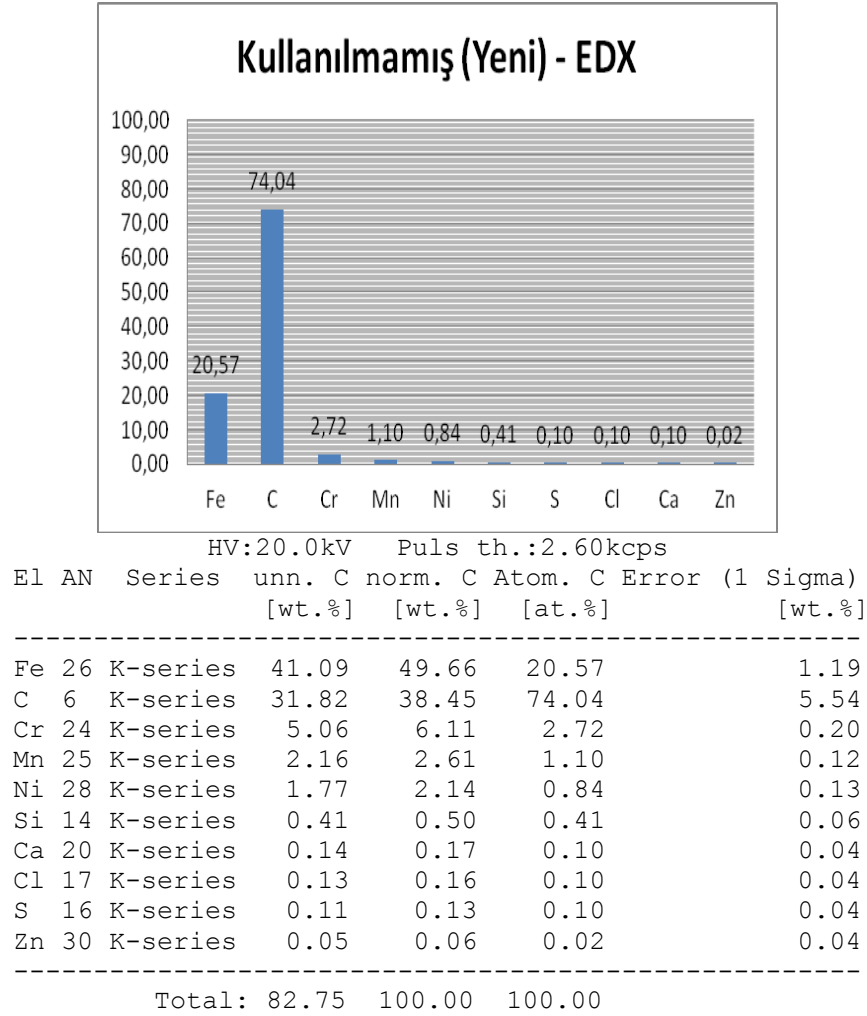
şekil 4.2. Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



Şekil 4.3. Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.



Şekil 4.4. Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



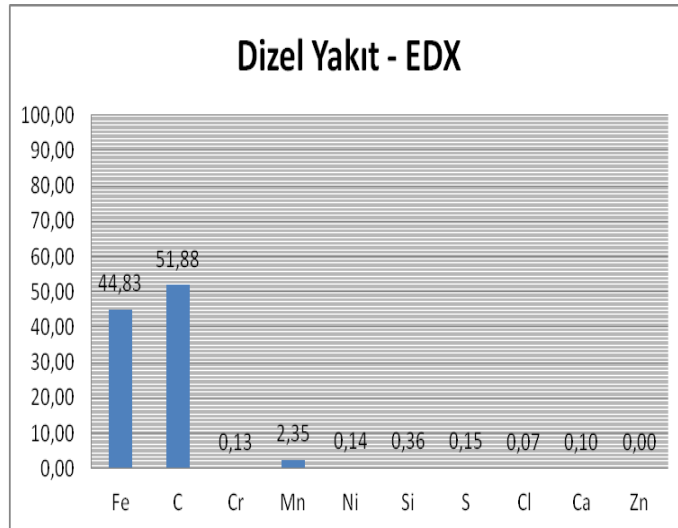
Şekil 4.5. Kullanılmamış (yeni) enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.

4.2. Dizel Yakıt

Dizel yakıt ile 110 saat çalıştırılan enjektör söküldükten sonra işlem sırası olarak önce SEM’de görüntülenmek için uygun boyuta getirilmiştir. Daha sonra Hassas kesimle kesilerek enjektör delikleri ortaya çıkarıldı ve metalografik yöntemle parlatma cihazında enjektör uçları parlatılmıştır. Alınan görüntülerden bazılarında EDX analizi yapılarak belirlenen noktanın element yapısında hangi metallerin olduğu belirlenerek malzemenin yapısında ve yakıttan kaynaklı oluşan korozyon hasarının varlığının tespitine çalışıldı. Alınan SEM görüntüleri EK-2’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.

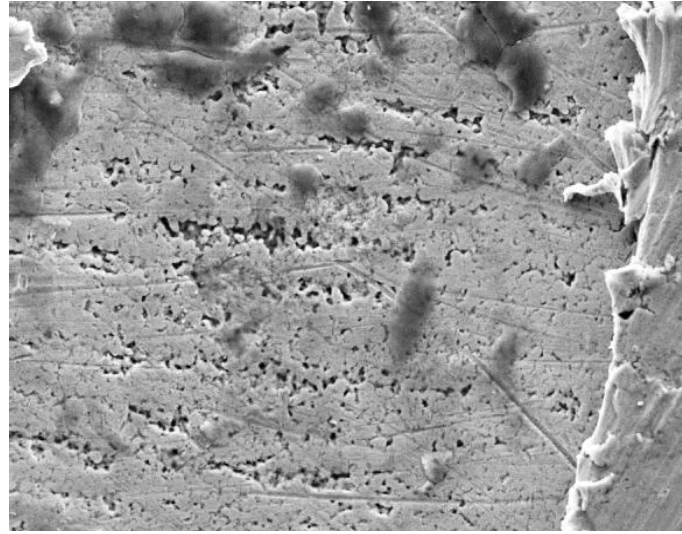


HV:20.0kV Puls th.:2.06kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	79.22	76.06	44.83	2.22
C	6	K-series	19.72	18.93	51.88	4.38
Mn	25	K-series	4.08	3.91	2.35	0.19
Si	14	K-series	0.32	0.31	0.36	0.06
Ni	28	K-series	0.25	0.24	0.14	0.07
Cr	24	K-series	0.22	0.21	0.13	0.05
S	16	K-series	0.15	0.15	0.15	0.04
Ca	20	K-series	0.12	0.12	0.10	0.04
Cl	17	K-series	0.08	0.07	0.07	0.04
Zn	30	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

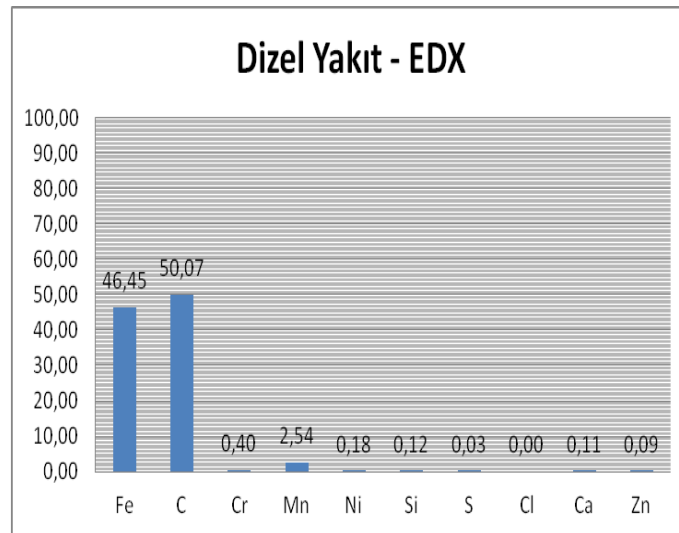
Total: 104.16 100.00 100.00

Şekil 4.7. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği.



Mag:2000x HV:20.0kV

Şekil 4.8. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



HV:20.0kV Puls th.:21.04kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Error (1 Sigma)
[wt.] [wt.] [at.] [wt.]

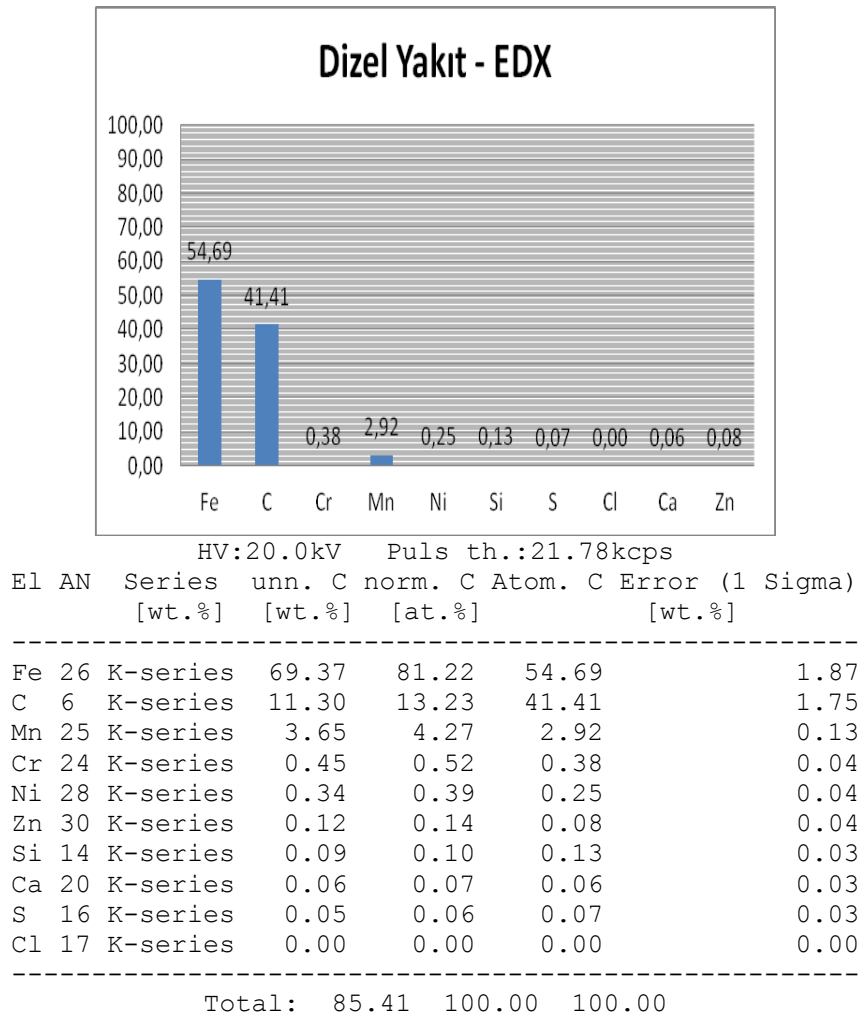
Fe	26	K-series	66.70	76.71	46.45	1.80
C	6	K-series	15.46	17.78	50.07	2.26
Mn	25	K-series	3.59	4.12	2.54	0.13
Cr	24	K-series	0.54	0.62	0.40	0.04
Ni	28	K-series	0.28	0.32	0.18	0.04
Zn	30	K-series	0.15	0.18	0.09	0.04
Ca	20	K-series	0.12	0.13	0.11	0.03
Si	14	K-series	0.09	0.10	0.12	0.03
S	16	K-series	0.03	0.03	0.03	0.03
Cl	17	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 86.95 100.00 100.00

Şekil 4.9. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği.



Şekil 4.10. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.

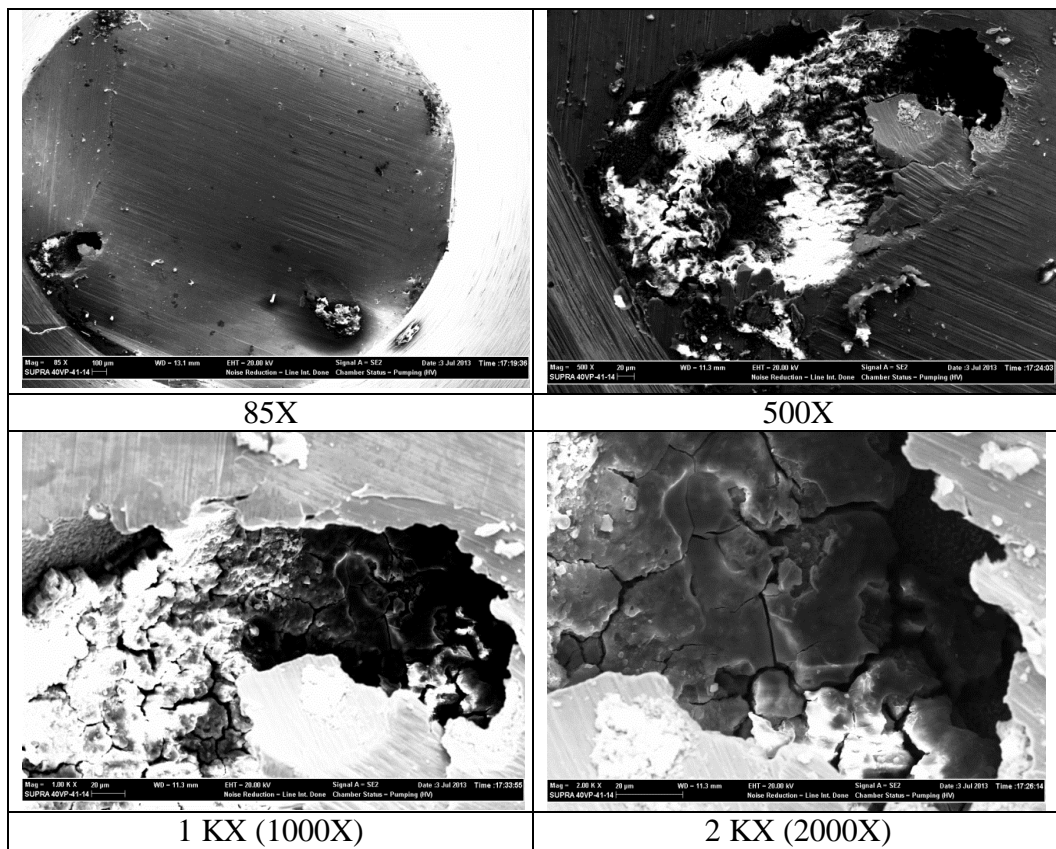


Şekil 4.11. Dizel yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analiz sonuç grafiği.

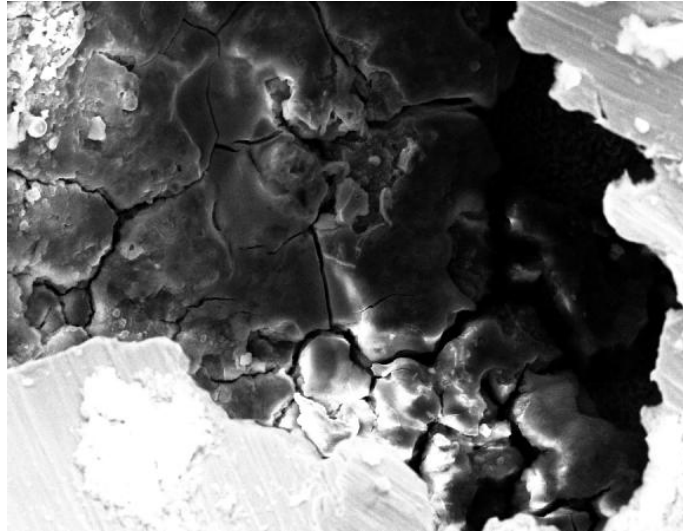
Korozyon oluşumu, metal yüzeyde oluşmuştur. Şekil 4.3 de çalışma sonucunda uçda meydana gelen hasar (1000x) büyütmede gözlenmektedir. (2000x)'de ise püskürtme deliğinin geometrik olarak bozulduğu görülmüştür.

4.3. Dizel ve Etanol Karışımı

%90 Dizel- %10 Etanol Karışımı yakıt ile 110 saat çalıştırılan ikinci enjektör bir önceki numuneye yapılan işlemlerden geçirilerek SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınmış EDX analizi yapılmıştır.

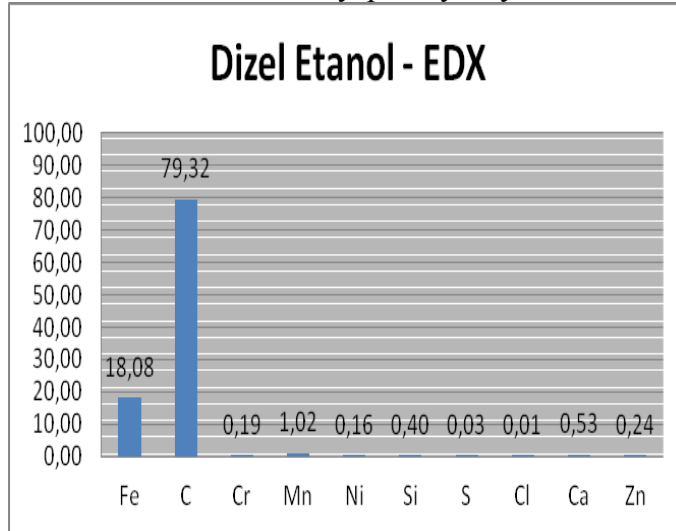


Şekil 4.12. % 90 dizel ve % 10 etanol karışımı yakıt ile deney yapılan ikinci enjektör SEM görüntüleri



Mag:2000x HV:20.0kV

Şekil 4.13. % 90 dizel ve % 10 etanol karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



HV:20.0kV Puls th.:6.99kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
----	----	--------	---------------	----------------	----------------	------------------------

Fe	26	K-series	65.20	78.16	48.67	1.78
C	6	K-series	13.79	16.53	47.85	2.49
Mn	25	K-series	3.11	3.73	2.36	0.13
Ni	28	K-series	0.76	0.91	0.54	0.07
Cr	24	K-series	0.28	0.33	0.22	0.04
S	16	K-series	0.11	0.14	0.15	0.03
Ca	20	K-series	0.11	0.13	0.12	0.03
Si	14	K-series	0.06	0.07	0.09	0.03
Zn	30	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	17	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00

Total: 83.42 100.00 100.00

Şekil 4.14. % 90 dizel ve % 10 etanol karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.

4.4. Dizel ve Jet A1 Karışımı

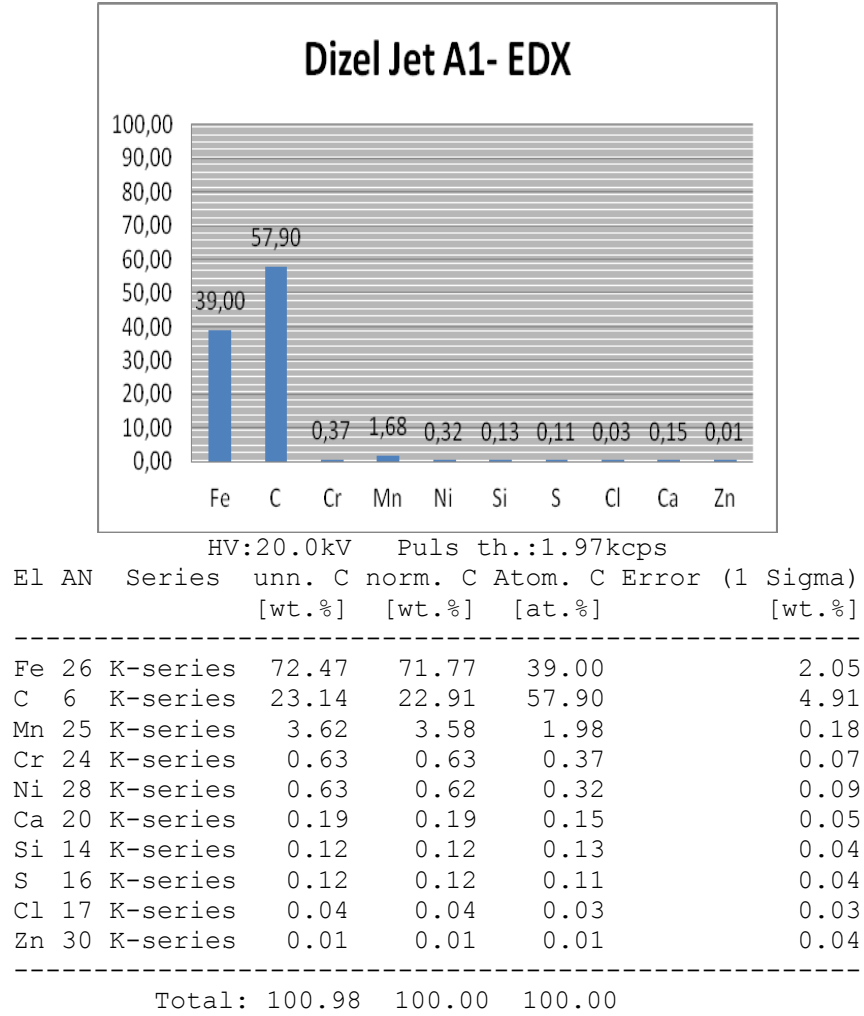
%90 Dizel- %10 JET-A1 Karışımı yakıt ile 110 saat çalıştırılan üçüncü enjektör işleminden geçirilerek SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınmış EDX analizi yapılmıştır. SEM görüntüleri EK-3'de verilmiştir.

Yakıtta Jet A-1 eklenmesi sonucunda etanol eklenmesi ile oluşan birikintilerin benzerleri oluşmuştur.

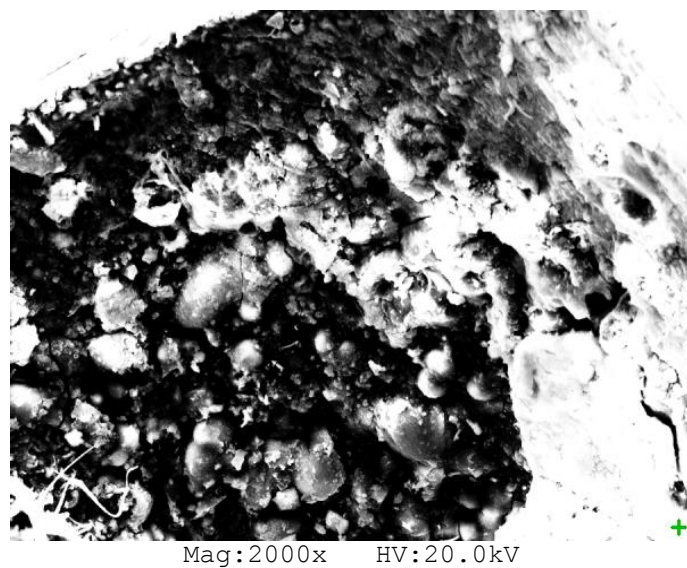


Mag:2000x HV:20.0kV

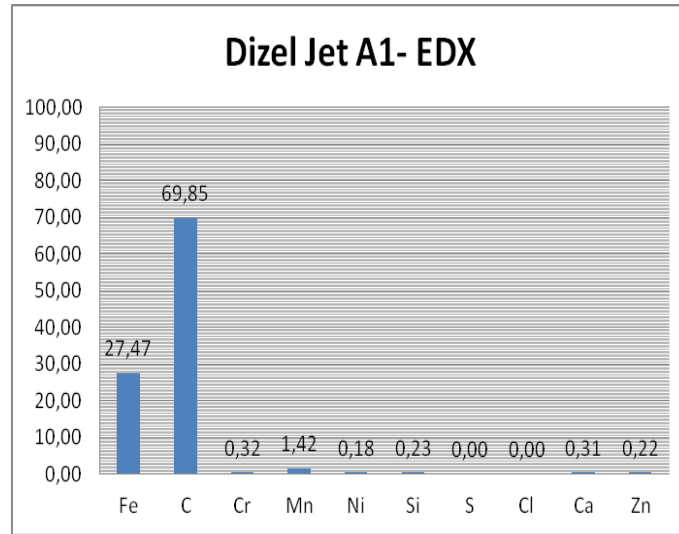
Şekil 4.15. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



Şekil 4.16. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.



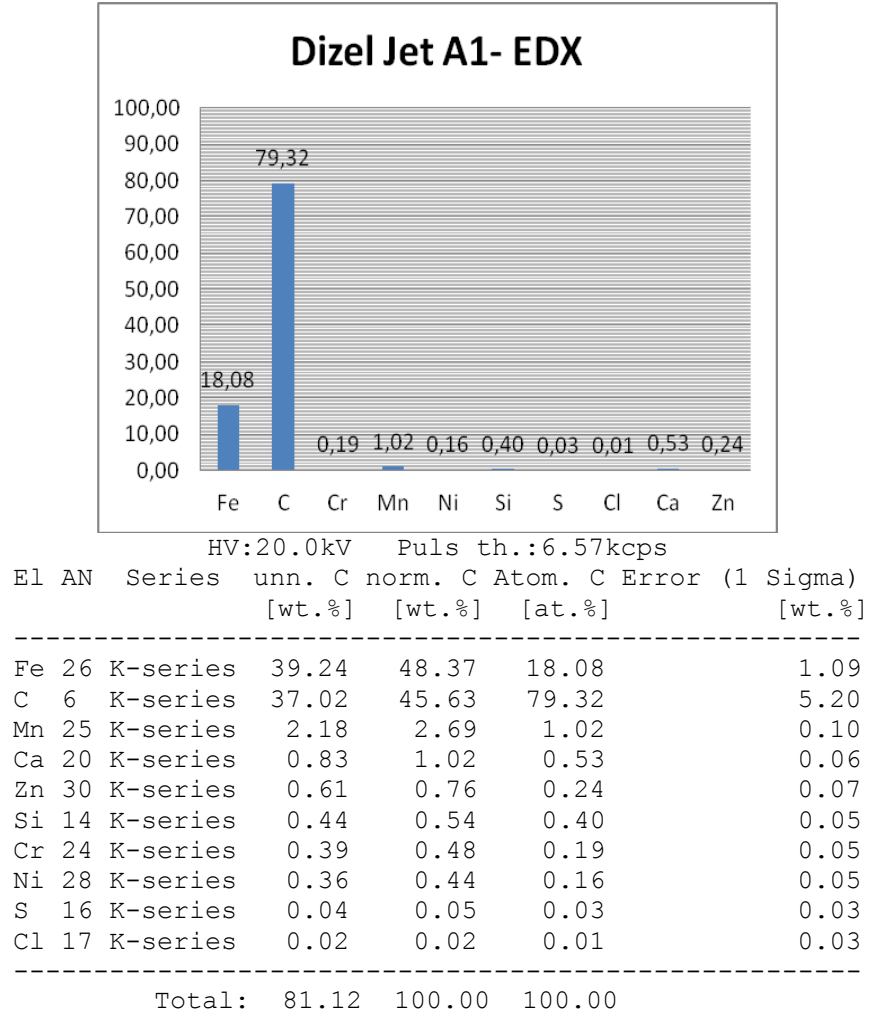
Şekil 4.17. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



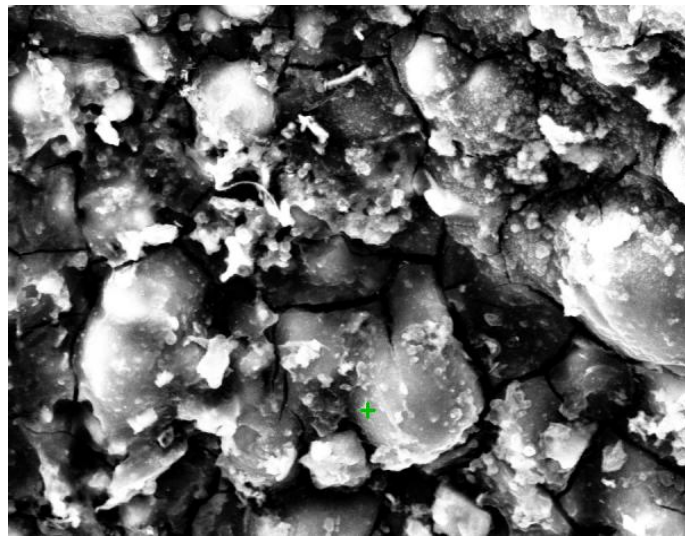
HV:20.0kV Puls th.:3.97kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	53.12	61.08	27.47	1.47
C	6	K-series	29.05	33.41	69.85	4.69
Mn	25	K-series	2.71	3.11	1.42	0.13
Cr	24	K-series	0.58	0.66	0.32	0.06
Zn	30	K-series	0.50	0.57	0.22	0.07
Ca	20	K-series	0.43	0.49	0.31	0.05
Ni	28	K-series	0.36	0.42	0.18	0.06
Si	14	K-series	0.22	0.26	0.23	0.04
S	16	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	17	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			86.97	100.00	100.00	

Şekil 4.18. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.

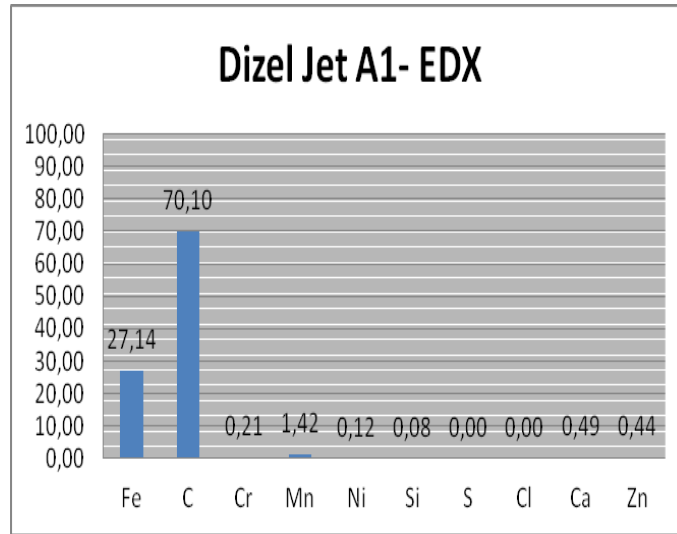


Şekil 4.19. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.



Mag:5000x HV:20.0kV

Şekil 4.20. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi yapılan yüzey.



HV:20.0kV Puls th.:3.13kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	48.69	60.52	27.14	1.36
C	6	K-series	27.05	33.62	70.10	4.54
Mn	25	K-series	2.51	3.12	1.42	0.12
Zn	30	K-series	0.92	1.15	0.44	0.10
Ca	20	K-series	0.64	0.79	0.49	0.06
Cr	24	K-series	0.36	0.44	0.21	0.05
Ni	28	K-series	0.22	0.28	0.12	0.05
Si	14	K-series	0.07	0.09	0.08	0.03
S	16	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	17	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			80.46	100.00	100.00	

Şekil 4.21. % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile çalıştırılan enjektör kanalındaki EDX analizi sonuç grafiği.

5.DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME



Şekil 5.1. Enjektörün uç kısmı.

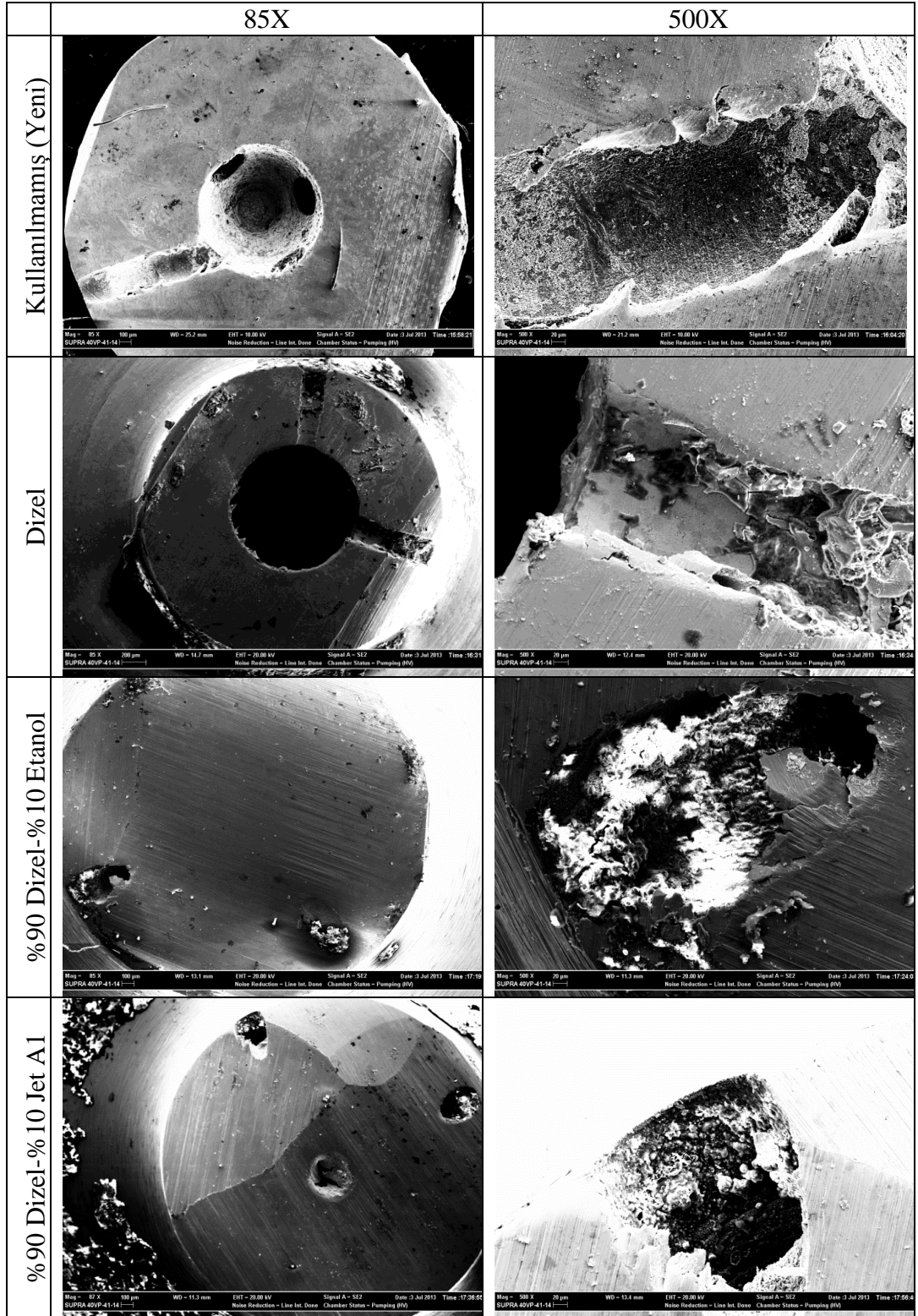


Şekil 5.2. 110 saatlik çalıştırılma sonucu çıkan enjektör ucu.

Kullanılmayan enjektör ile diğer enjektörler karşılaştırıldığında, püskürtme kanallarında meydana gelen hasar görülmektedir. Püskürtme delikleri giriş kısımlarında meydana gelen farklılıklar, yüksek basınçtaki yakıtın etkisi ve yanma sonu oluşan sıcaklıklardan kaynaklanmaktadır. Basınç yüksekliğine rağmen deneyde kullanılan enjektörlerde kurum birikintileri oluşmuştur.

4 ayrı numunenin EK-4'te EDX sonuçlarının sıralanmış tablosu verilmiştir. Buradaki sonuçlar incelendiğinde dizel yakıtına etanol eklenmesi ile püskürtme kanalı içerisindeki birikinti artmıştır. Kanal içerisinde yüzey düzensizlikleri oluşmuştur.

Kurum oluşumu yanmanın daha kalitesiz olduğunu göstermektedir. Yakıt içerisine katılan Jet A1 ve Etanolün yanmayı iyileştirmediği, yanma kalitesini olumsuz etkilediği oluşan kurum tabakasından anlaşılmaktadır.



Şekil 5.3. 110 saatlik çalıştırılma sonucu çıkan enjektörlerin 85X ve 500X görüntüleri.

Korozyonun birçok olumsuz etkisi vardır. Araçlarda özellikle dizel motora sahip araçların yakıt sistemlerindeki meydana gelen hasarlar ve korozyon hasarları aracın performansını ve motorun verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Dizel yakıt sistemlerin kalbi olarak kabul edilen pompası ve asıl yanmayı sağlayan yüksek basınç enjektörleri en önemli parçalarıdır. Özellikle dizel yakıt enjektörlerinde meydana gelen hasar aracın çalışmamasına performans düşüşüne ve yakıt ekonomisinin olumsuz etkilenmesinin neden olmaktadır.

Dizel sistemlerde yakıtın durumu ve temiz olması, içerisinde katkı maddesinin bulunması sistemin ömrü, çalışma performansı verimi bakımından çok büyük önem taşımaktadır. Bilindiği üzere katkı maddeleri dizel motorların yüksek basınç sistemine zarar verebilmektedir. Enjektör deliklerinde meydana gelen hasar püskürtme formunu etkileyeceğinden yanmanın performans değişimine ve emisyon değerlerinin artmasına sebep olmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada üç farklı yakıt tipiyle denenilen enjektörlerin üzerinde yapılan inceleme neticesinde, enjektör deliklerinde meydana gelen hasarın yapılan karışımlarda aynı olduğu oluşturduğu kurum tabakasının yakıt enjektör deliklerine zarar verdiği sonucu çıkarılmıştır.

Korozyon tanımından da anlaşılacağı üzere malzeme yapısını bozucu bir etkiye sahiptir. Korozyonun çeşitli türleri malzeme üzerinde çeşitli etkilere sebep olabilmektedir. Bazı korozyon türleri malzeme kaybına sebep olurken bazı korozyon türleri malzeme yapısını bozmaktadır. Kırıklar ve çatlaklar hem malzeme kaybının meydana geldiği bölgelerde hem de içyapının bozulduğu bölgelerde meydana gelebilmektedir. Enjektör memesinin kırılması ve çatlaması içinde bir gerilmeye maruz kalması gerekmektedir. Bir gerilmeye maruz kalındığında korozyon etkisi kırılmaya ve çatlamaya yardımcı olur.

Yakıt içerisindeki sülfür, asidik bir etki meydana getirmekte bu da korozyon oluşumunu tetiklemektedir. Etanol karışımında ise, etanolün yanma sonucunda ortamdaki gazlar ile tepkimeye girmesi korozyonun meydana gelmesinde etkili olabilir.

Ayrıca genel olarak yakıt içerisindeki su korozyon oluşumunda etkilidir.

Yanma odasında meydana gelen yanma olayında yüksek basınç ve sıcaklık ortaya çıkar. Dolayısıyla motor parçalarının dayanımları çok önemlidir. Bu yüksek basınç ve sıcaklığa dayanımının yüksek olması kadar korozyona karşı dayanımının da

iyi olması gerekir. Basınç ve sıcaklık piston içindeki enjektörleri etkiler. Yanma odasında bulunan gazlar meme ucundan geçerek memenin iğnesine ulaşır. Burada enjektör iğnesinin temas ettiği dip noktada tepkime meydana gelir ve enjektör iğnesi korozyona uğrar. Bu meydana kimyasal tepkimeyle oluşan hasar sonrasında enjektör iğnesi görevini yapamayacak düzeyde hasara uğrayacağından püskürtme yakıt miktarının ayarlanması ve püskürtme debisi etkileneceğinden motorun veriminin düşmesine neden olur.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Püskürtme deliği içerisinde meydana gelen hasardan dolayı püskürtme geometrisi bozulmakta ve bu da yakıtın demetinin doğrultusu ile boyutlarını etkilemektedir.

Yakıt içerisine karıştırılan Jet A1 ve Etanol'un etkilerine bakıldığında enjektör deliklerinde hasar meydana geldiği görülmektedir. Yakıtın içerisine karıştırılan oranın % 10 olduğu göz önüne alındığında herhangi bir aracın dizel yakıtına konulan ilave katkı maddesi çok daha büyük tahribata ve hasara neden olacaktır. Dizel yakıtın içerisindeki katkı maddesi aynı zamanda dizel yakıtın yüksek basınçla püskürtülmesiyle oluşan erozyon korozyonun da etkisinin artmasına ve daha da şiddetlenmesine neden olmaktadır.

Motor yükünün değiştirilmesi ile püskürtme değişeceğinden yüke bağlı korozyon incelemesi yapılmalıdır.

Değişken devirde aynı yakıt tipleri ve karışım oranlarıyla birlikte hasar analizi yapılabilir.

Sonuç olarak enjektör deliklerindeki oluşabilecek hasar motorun veriminin düşmesine, emisyon değerlerinin artması ile çevreye daha fazla zararlı gaz salınmasına neden olmaktadır. Verimin düşmesi yakıt ekonomisinin kötüleşmesi anlamına gelmektedir.

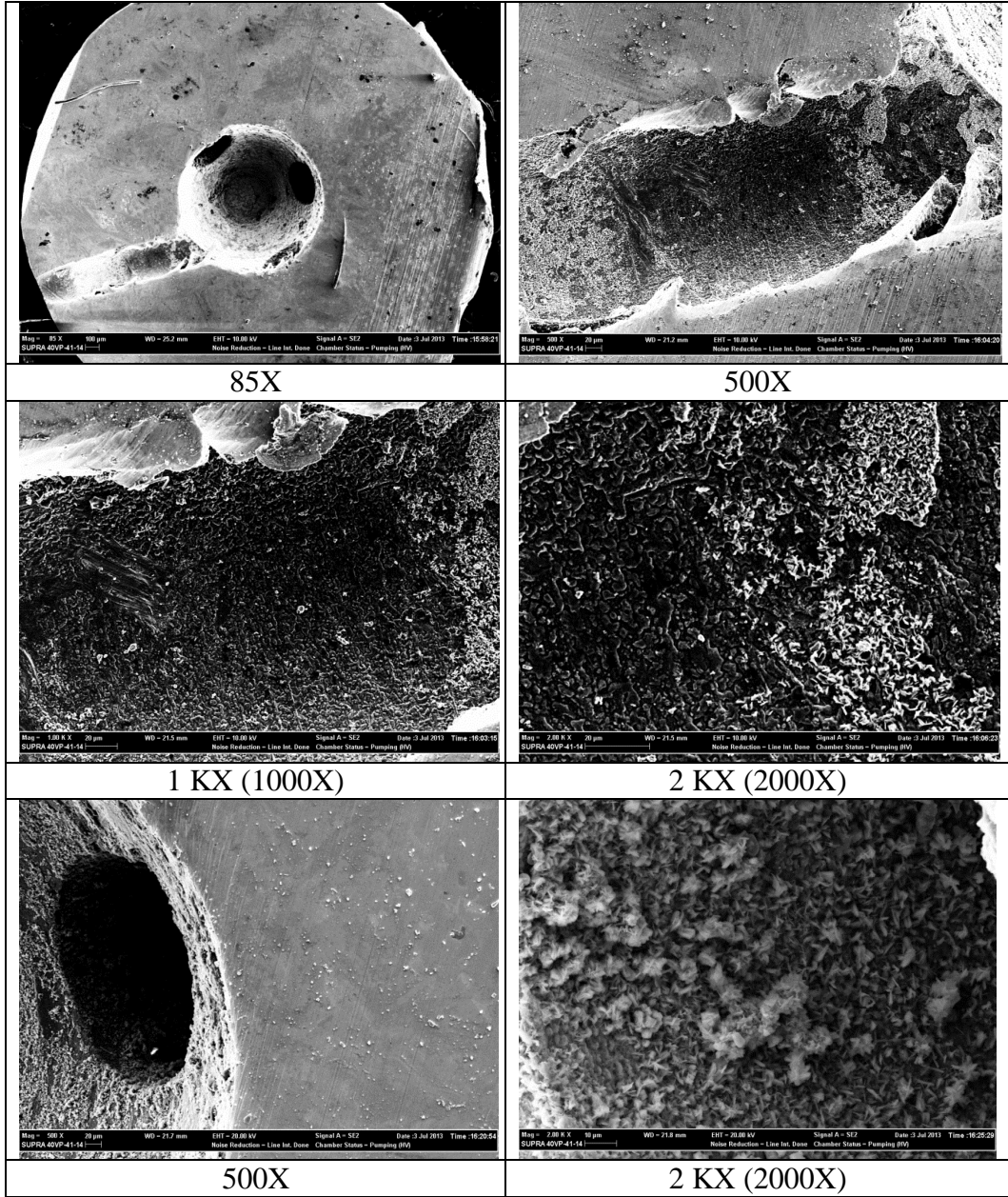
KAYNAKLAR

- Aleiferis, P.G, Serras-Pereira, J., Augoye, A., Davies, T.J., Cracknell, R.F., Richardson D., "Effect of fuel temperature on in-nozzle cavitation and spray formation of liquid hydrocarbons and alcohols from a real-size optical injector for direct-injection spark-ignition engines", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53: 4588–4606(2010).
- Buruk,S.,Özçelik, U., “Common-Rail Direkt Enjeksiyon Sistemi” konulu sunumu,2007.
- Çanakçı, M., Özsezen, A.N.,"Dizel Motorlar Yakıt Enjeksiyon Sistemlerindeki Gelişmeler", *Mühendis ve Makina*, 45(531):35-41(2004)
- Hansen, A.C., Zhang,Q., Lyne,P.W.L., "Ethanol-diesel fuel blends-a review", *Bioresource Technology*,96 (3): 277-85(2005).
- Hardenberg, H.O., Schaefer,A.J., "The use of ethanol as a fuel for compression ignition engines" *SAE Technical Paper*, 811211(2008).
- Kass,M.D., Thomas J.F., Wilson,D.F.,Lewis,S.A.,Sarles A., "Assessment of Corrosivity Associated With Exhaust Gas Recirculation in a Heavy-duty Diesel Engine" *SAE Technical Paper*, 010657(2005)
- Lim, M.C.H., Ayoko,G.A., Morawska,L., Ristovski,Z.D., Jayaratne,E.D., "The Effects of Fuel Characteristics and Engine Operating Conditions on the Elemental Composition of Emissions From Heavy Duty Diesel Buses", *Fuel*,86:1831-39 (2007).
- Lundberg, M., "Development of Cold Operability of Diesel Fuels and Vehicles", *SAE Technical Paper*, 845012 (2008).
- Miller, C.A., Srivastava, R. K., "The Combustion of Orimulsion and Its Generation of Air Pollutants" *Progress in Energy and Combustion Science*, 26,456-62(2000).
- Osman Asi, "Failure of a diesel engine injector nozzle by cavitation damage" *Engineering Failure Analysis*, 13: 1126–1133 (2006).
- Popa-Simil, L., Clapon V., Racolta, P.M., Alexandreanu B., Rosu I., "Corrosion control of steel componenets exposed to termal cycling using radioactive tracers" *Applied Radiation and Isotopes*, 48: 150-61(2012).
- Rovai, F.F., "Wear and Corrosion evaluation of Electric Fuel Pumps with Ethanol/Gasoline Blends." *SAE Technical Paper*, 012196 (2005).

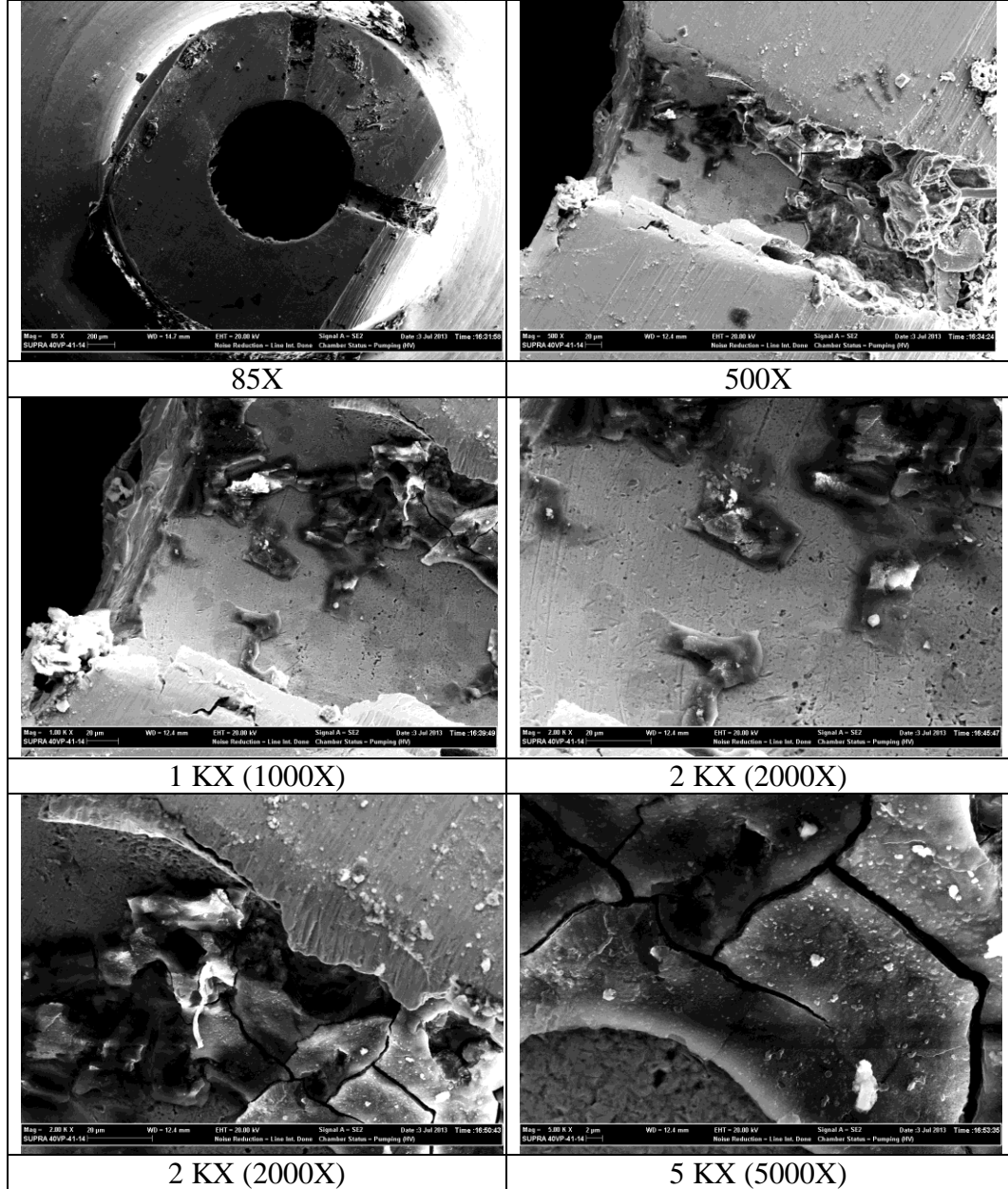
KAYNAKLAR(Devam Ediyor.)

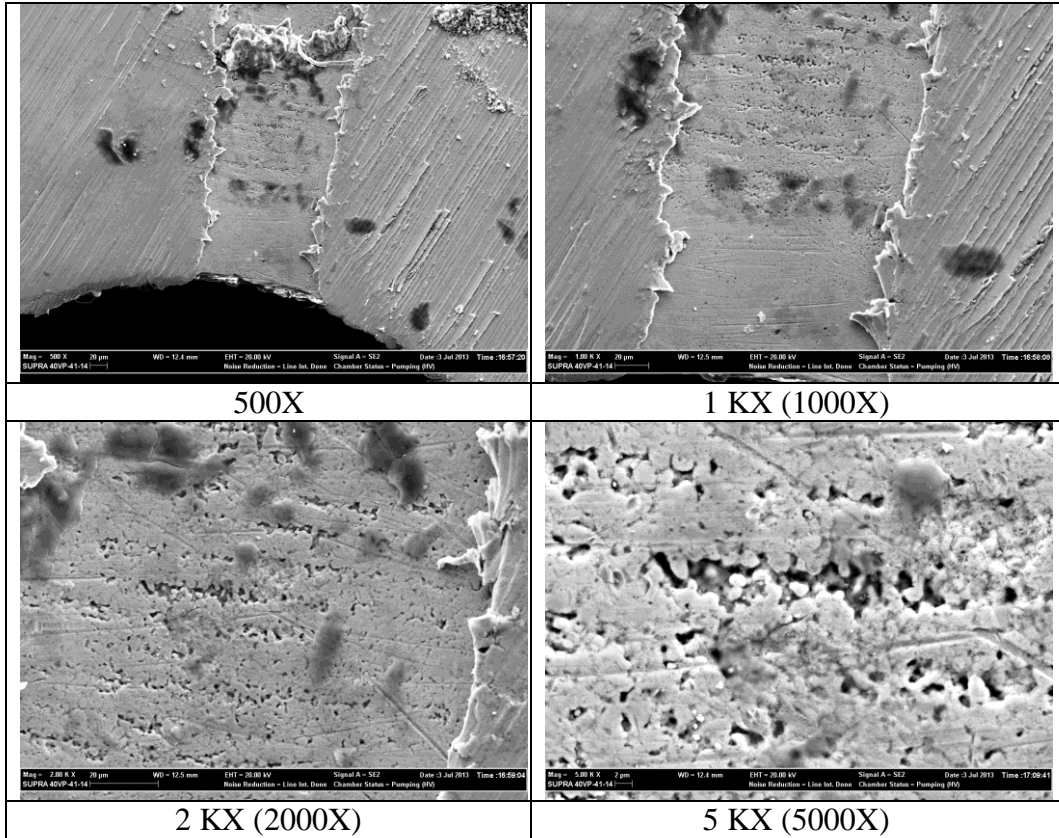
- Schinas,P., Karavalakis,G., Davaris,C., Anastopoulos,G., Karonis,D., Zannikos,F., Stournas,S.,Lois,E.,"Pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed oil as an alternative feedstock for the production of biodiesel in Greece" , *Biomass and Bioenergy*, 33(1): 44-49(2009).
- Som, S., Ramirez A.I., Longman, D.E., Aggarwal, S.K., "Effect of nozzle orifice geometry on spray, combustion, and emission characteristics under diesel engine conditions", *Fuel*, 90: 1267–1276 (2011).
- Tekkim Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti Güvenlik Bilgi Formu, Etil Alkol,(CAS NO :64-17-5, EC NO : 603-002-00-5, GBF No : 0103, Yayın Tar. : 08/03/2005, Rev. Tar. : - Rev. No : 00, Sayfa No : 1/5)
- Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (Tüpraş) Ürün Güvenlik Bilgi Formu Motorin Dizel, Mazot, (Dok. No :TPR.ÜPM.GBF.0403, Yayın Tarihi : 18.01.2005, Rev. No : 7, Rev.Tarihi : 14.07.2011, Sayfa No : 4/6)
- Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (Tüpraş) Ürün Güvenlik Bilgi Formu Jet A-1, (Dok. No :TPR.ÜPM.GBF.0300, Yayın Tarihi : 30.07.1999, Rev. No : 7, Rev.Tarihi : 15.07.2011, Sayfa No : 4/6)
- Yu, Z.W., ve Xu, X. "Cracking damage of diesel engine injector nozzles", *Engineering Failure Analysis*, 16: 112–118 (2009).
- Yusuf, A, "Beef tallow as a biodiesel fuel", **Doktora tezi, Ph.D.The University of Nebraska, Nebraska**,1995.

EK-1: Kullanılmamış (yeni) enjektör SEM görüntüleri.

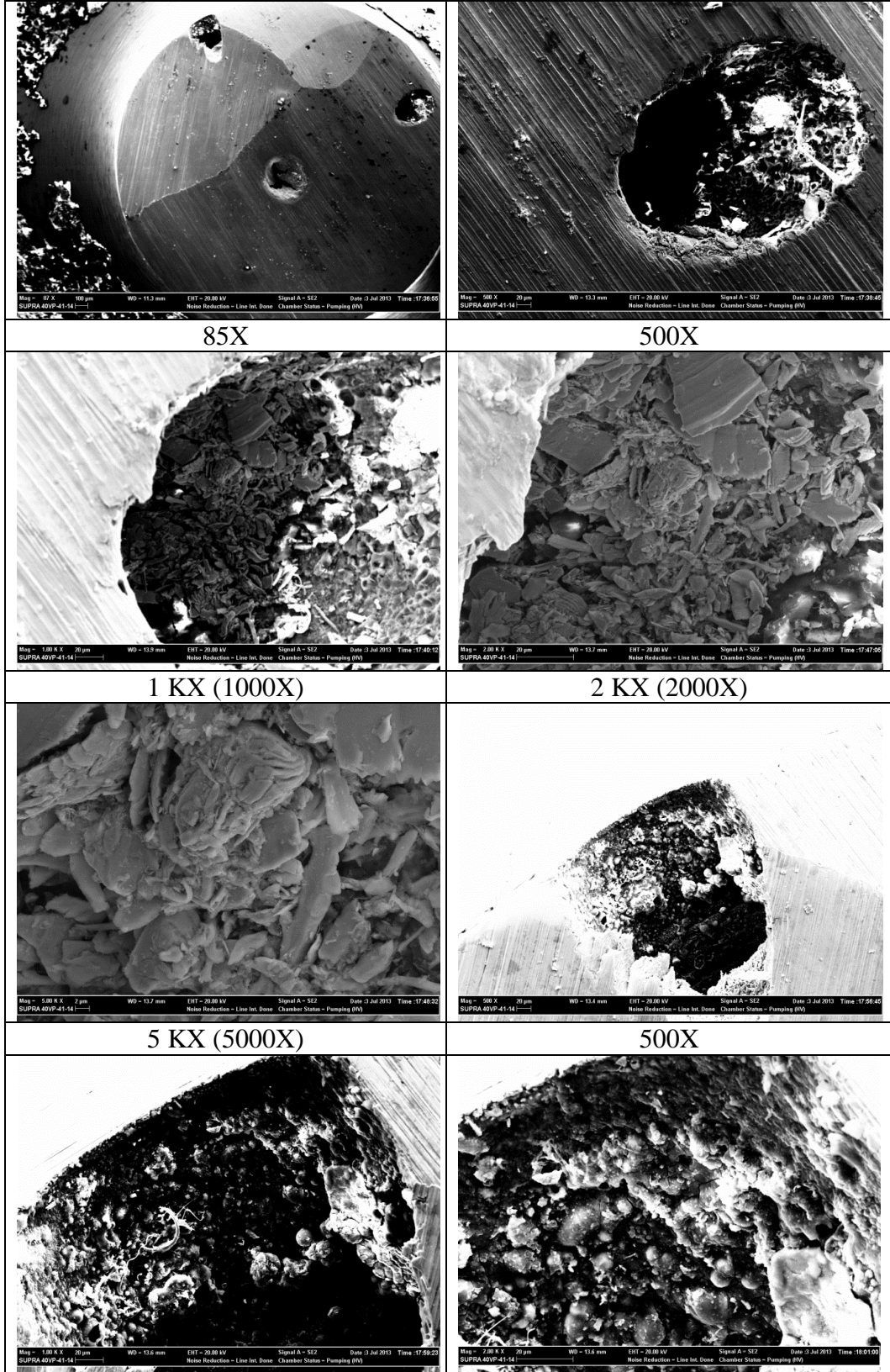


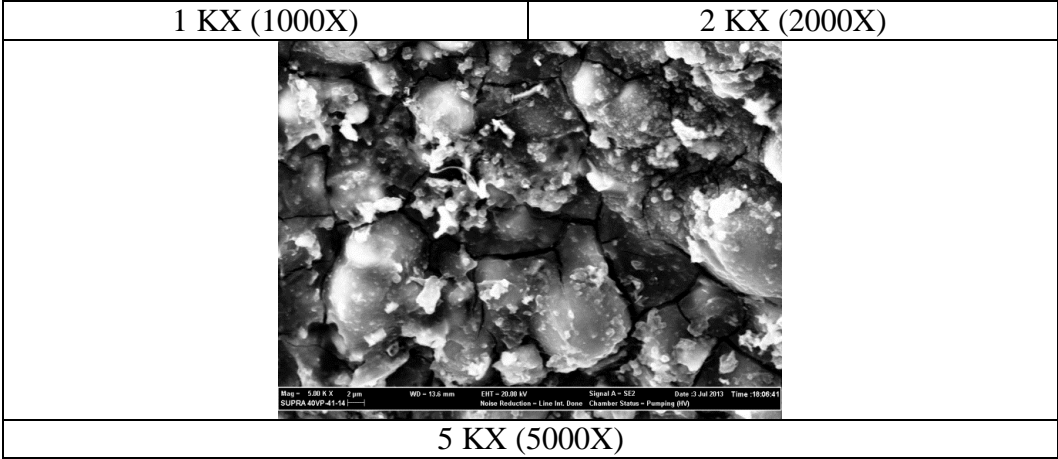
EK-2: Dizel yakıt ile deney yapılan birinci enjektör SEM görüntüleri.



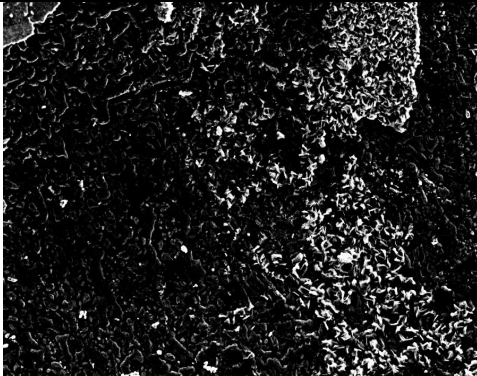
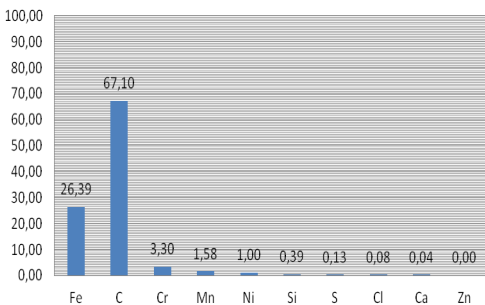
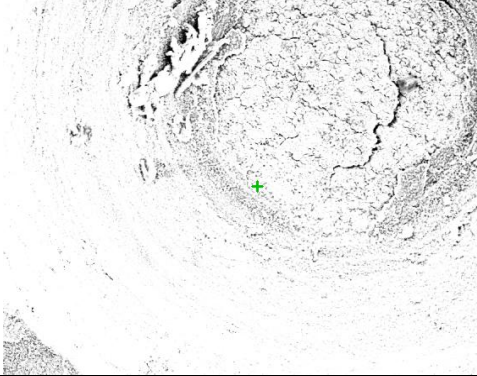
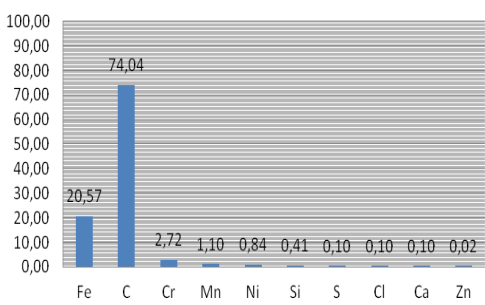

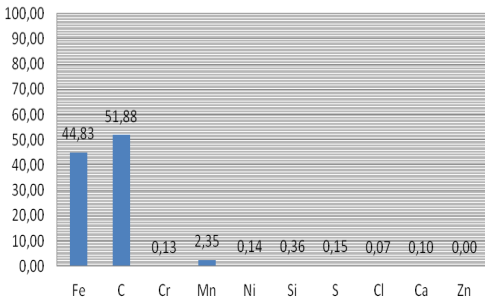
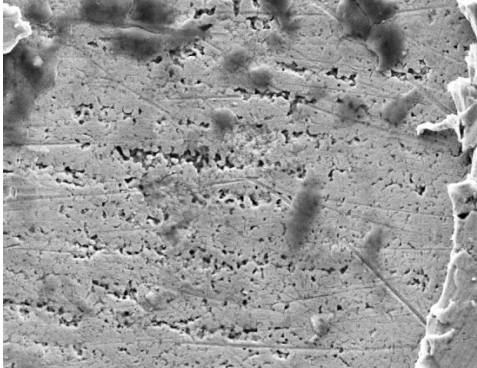
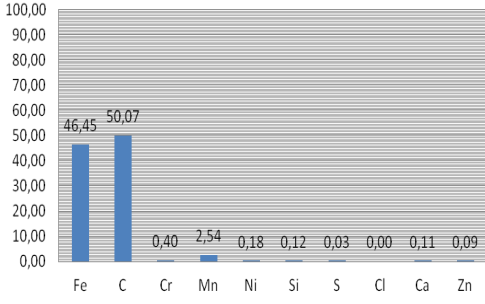


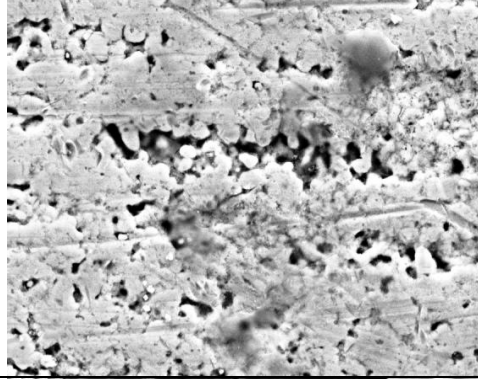
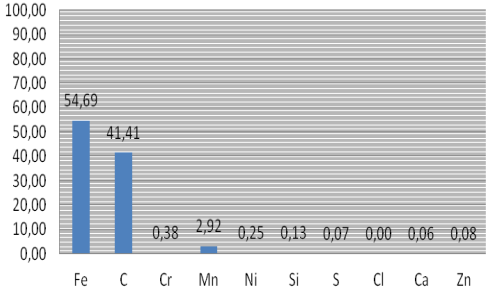
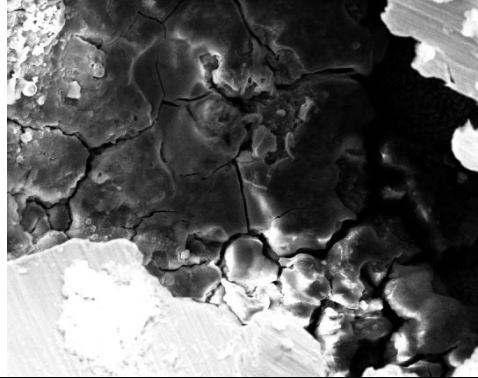
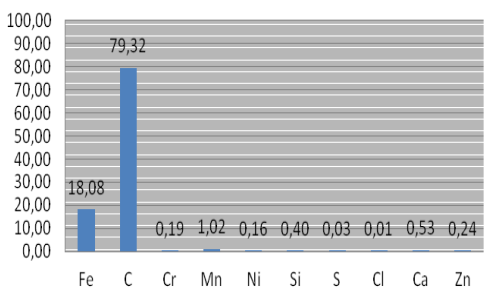

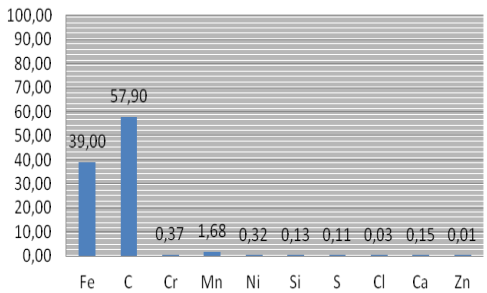
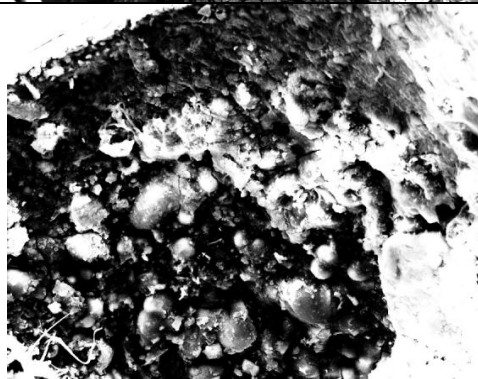
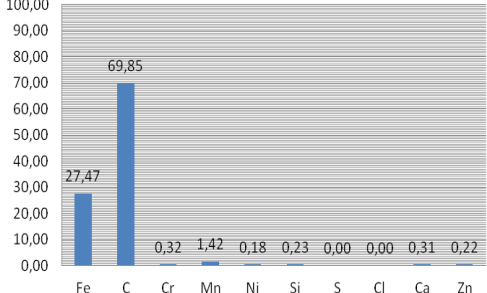
EK-3: % 90 dizel ve % 10 jet - al karışımı yakıt ile deney yapılan üçüncü enjektör SEM görüntüleri.

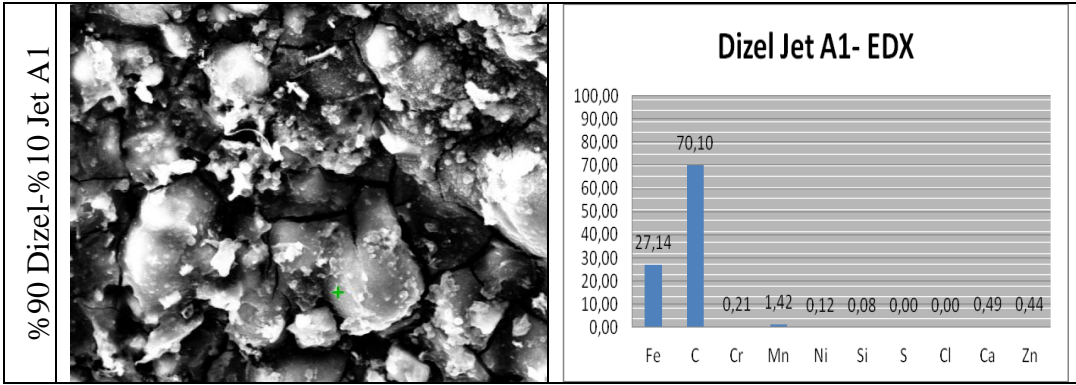




EK-4: Enjektörlerin EDX analizlerinin sıralanmış tablosu.

	EDX Yüzeyi	Analiz Sonuç Grafiği																						
Kullanılmamış (Yeni)		<p>Kullanılmamış (Yeni) - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>26,39</td></tr> <tr><td>C</td><td>67,10</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>3,30</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>1,58</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,04</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	Element	Value	Fe	26,39	C	67,10	Cr	3,30	Mn	1,58	Ni	1,00	Si	0,39	S	0,13	Cl	0,08	Ca	0,04	Zn	0,00
Element	Value																							
Fe	26,39																							
C	67,10																							
Cr	3,30																							
Mn	1,58																							
Ni	1,00																							
Si	0,39																							
S	0,13																							
Cl	0,08																							
Ca	0,04																							
Zn	0,00																							
Kullanılmamış (Yeni)		<p>Kullanılmamış (Yeni) - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>20,57</td></tr> <tr><td>C</td><td>74,04</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>2,72</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>1,10</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,84</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,41</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,02</td></tr> </tbody> </table>	Element	Value	Fe	20,57	C	74,04	Cr	2,72	Mn	1,10	Ni	0,84	Si	0,41	S	0,10	Cl	0,10	Ca	0,10	Zn	0,02
Element	Value																							
Fe	20,57																							
C	74,04																							
Cr	2,72																							
Mn	1,10																							
Ni	0,84																							
Si	0,41																							
S	0,10																							
Cl	0,10																							
Ca	0,10																							
Zn	0,02																							
Dizel		<p>Dizel Yakıt - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>44,83</td></tr> <tr><td>C</td><td>51,88</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>2,35</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,36</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,07</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	Element	Value	Fe	44,83	C	51,88	Cr	0,13	Mn	2,35	Ni	0,14	Si	0,36	S	0,15	Cl	0,07	Ca	0,10	Zn	0,00
Element	Value																							
Fe	44,83																							
C	51,88																							
Cr	0,13																							
Mn	2,35																							
Ni	0,14																							
Si	0,36																							
S	0,15																							
Cl	0,07																							
Ca	0,10																							
Zn	0,00																							
Dizel		<p>Dizel Yakıt - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>46,45</td></tr> <tr><td>C</td><td>50,07</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>2,54</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,12</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,09</td></tr> </tbody> </table>	Element	Value	Fe	46,45	C	50,07	Cr	0,40	Mn	2,54	Ni	0,18	Si	0,12	S	0,03	Cl	0,00	Ca	0,11	Zn	0,09
Element	Value																							
Fe	46,45																							
C	50,07																							
Cr	0,40																							
Mn	2,54																							
Ni	0,18																							
Si	0,12																							
S	0,03																							
Cl	0,00																							
Ca	0,11																							
Zn	0,09																							

<p>Dizel</p>		<p>Dizel Yakıt - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Percentage (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>54,69</td></tr> <tr><td>C</td><td>41,41</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,38</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>2,92</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,07</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,06</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,08</td></tr> </tbody> </table>	Element	Percentage (%)	Fe	54,69	C	41,41	Cr	0,38	Mn	2,92	Ni	0,25	Si	0,13	S	0,07	Cl	0,00	Ca	0,06	Zn	0,08
Element	Percentage (%)																							
Fe	54,69																							
C	41,41																							
Cr	0,38																							
Mn	2,92																							
Ni	0,25																							
Si	0,13																							
S	0,07																							
Cl	0,00																							
Ca	0,06																							
Zn	0,08																							
<p>%90 Dizel-%10 Etanol</p>		<p>Dizel Etanol - EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Percentage (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>18,08</td></tr> <tr><td>C</td><td>79,32</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,19</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>1,02</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,01</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,53</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,24</td></tr> </tbody> </table>	Element	Percentage (%)	Fe	18,08	C	79,32	Cr	0,19	Mn	1,02	Ni	0,16	Si	0,40	S	0,03	Cl	0,01	Ca	0,53	Zn	0,24
Element	Percentage (%)																							
Fe	18,08																							
C	79,32																							
Cr	0,19																							
Mn	1,02																							
Ni	0,16																							
Si	0,40																							
S	0,03																							
Cl	0,01																							
Ca	0,53																							
Zn	0,24																							
<p>%90 Dizel-%10 Jet A1</p>		<p>Dizel Jet A1- EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Percentage (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>39,00</td></tr> <tr><td>C</td><td>57,90</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,37</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>1,68</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,01</td></tr> </tbody> </table>	Element	Percentage (%)	Fe	39,00	C	57,90	Cr	0,37	Mn	1,68	Ni	0,32	Si	0,13	S	0,11	Cl	0,03	Ca	0,15	Zn	0,01
Element	Percentage (%)																							
Fe	39,00																							
C	57,90																							
Cr	0,37																							
Mn	1,68																							
Ni	0,32																							
Si	0,13																							
S	0,11																							
Cl	0,03																							
Ca	0,15																							
Zn	0,01																							
<p>%90 Dizel-%10 Jet A1</p>		<p>Dizel Jet A1- EDX</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Percentage (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fe</td><td>27,47</td></tr> <tr><td>C</td><td>69,85</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>1,42</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0,23</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0,31</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0,22</td></tr> </tbody> </table>	Element	Percentage (%)	Fe	27,47	C	69,85	Cr	0,32	Mn	1,42	Ni	0,18	Si	0,23	S	0,00	Cl	0,00	Ca	0,31	Zn	0,22
Element	Percentage (%)																							
Fe	27,47																							
C	69,85																							
Cr	0,32																							
Mn	1,42																							
Ni	0,18																							
Si	0,23																							
S	0,00																							
Cl	0,00																							
Ca	0,31																							
Zn	0,22																							



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur AL
Doğum Yeri ve Tarihi : Vakfıkebir-17.07.1985

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kara Harp Okulu-Sistem Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : Kara Harp Okulu Mezuniyet Stajı (4 Hafta -
4-29 Haziran 2007),
Bakım Okulu ve Eğitim Merkez Komutanlığı
Subay Temel Kursu (17 Eylül 2007- 20 Haziran
2008)
Jandarma Lojistik Komutanlığında 1 yıl süreyle
Lojistik Birimlerde Staj (07 Temmuz 2008 – 26
Haziran 2009)

Çalıştığı Kurum : Jandarma Genel Komutanlığı

İletişim

Adres : Lice 1'inci J.Komd.A.K.lığı Lice /
DİYARBAKIR
Tel : 05544287941
E-Posta Adresi : onur5024@hotmail.com

Tarih:

İmza