

PİSTON ARIZALARININ ANALİZİ

Ayhan UYAROĞLU^a, Hüseyin Serdar YÜCESU^b, Ramazan ÇITAK^c

^a Endüstri Meslek Lisesi, Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı, Karaman

^bGazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara

^cGazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara

Özet

Günümüzde içten yanmalı motorlar yüksek hızlı, yüksek sıkıştırma oranlı, kısa kurslu ve geniş silindir çaplı yapıldıkları için mükemmel ısı transferi yapabilen hafif metallere yapılmaları gerekmektedir. Bu yüzden motor pistonları alüminyum alaşımlarından yapılmaktadır. Emisyon değerlerinin azaltılması ve motor performansının artırılması sonucunda motor parçaları daha ağır şartlarda çalışmaktadır. Bu çalışma içten yanmalı motorlarda kullanılan pistonların arızalanmasına sebep olan nedenlerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Piston, piston malzemeleri, piston arızaları, piston kalıntıları.

THE FAILURES ANALYSIS OF PISTON

Abstract

In today's world, because of the fact that internal combustion engines have been made with high velocity, high compression rates, short stroke wide cylinder diameter, internal combustion engines must be made of light metals which can do excellent heat

transfer. For this reason, engines are made of aluminium alloy. As a result of the reducing of emission levels and the raising of engine performance, engine parts work in harder conditions. This work has been done with the aim of determining the reasons that cause disorders in pistons used in internal combustion engines.

Keywords: Piston, piston materials, piston failures, piston deposits.

1.Giriş

Pistonlar içten yanmalı motorlarda silindir kapağı ile birlikte yanma odasını meydana getirir. Pistonun yanma odasını segmanlar yardımıyla gaz kaçırmayacak şekilde kapatması gerekir. Piston, üzerine gelen gaz ve kendi kütlelerinden doğan atalet kuvvetlerini krank miline iletir. Gazlar tarafından piston yüzeyine verilen ısının büyük bir kısmı segman bölgesinde segmanlar üzerinden silindir yüzeylerine ve oradan da soğutucu akışkana geçer. Bu ısı akışı sırasında yüksek sıcaklıklar ve sıcaklık farkları dolayısıyla büyük gerilmeler meydana gelmemelidir.

Pistonlar önceleri dökme demirden yapılmıştır. Bu malzeme düşük hızlı uzun kurslu motorlar için yeterli olmaktadır. Bununla beraber modern yüksek hızlı, yüksek sıkıştırma oranlı kısa kurslu geniş silindir çaplı motorlar için yüksek ısı iletimi yeteneğine sahip hafif metaller gereklidir. Bu yüzden neredeyse tüm içten yanmalı motorlarda alüminyum alaşımlı pistonlar kullanılır. Piston üreticileri bu standart alaşımlarda kendi üretim süreçlerine uygun veya özel özellikler elde etmek için değişiklikler yapabilir [1]. Saf alüminyum piston malzemesi olarak kullanmak için yeteri kadar sert değildir. Oda sıcaklığında $92-124 \text{ N/mm}^2$ gibi düşük gerilme dayanımı vardır. Sıcaklık $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de iken bu sıcaklık piston başının merkezindeki çalışma sıcaklığıdır ve gerilme dayanımı 31 N/mm^2 'ye düşmektedir [2]. Bu yüzden piston malzemesi olarak alüminyum alaşımları kullanılır. Alüminyuma silisyum, demir, bakır, mangan, manganez, nikel, çinko, titanyum, krom ve kurşun gibi madenler ilave edilir. Bu madenlerin değişik oranlarda alüminyuma ilave edilmesiyle alüminyumun darbelere, ısıya, korozyona ve aşınmaya karşı dayanımı artırılmış olur.

Dwivedi ve ark. [3] piston alaşımlarının mekanik özellikleri ve silisyumun etkisi ile ilgili olarak yaptıkları araştırmada; silisyum taneciklerinin inceltilmesinin plastik deformasyon direncini artırdığını, primer silisyum taneciklerinin fosfor ilavesiyle inceltilmesinin sağlandığını belirtmişlerdir. Haque ve Sharif [4] ısıtılma işlem görmüş alüminyum-silisyum piston alaşımlarının yüksek dayanım, sertlik ve aşınma direnci özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir. Isıtılma işlem görmüş pistonda aşınma yüzeyinde kaba aşınma gözlemlerken, ısıtılma işlem görmemiş örnekte plastik deformasyonla adhesif aşınma gözlemlenmiştir. T6 solüsyon ısıtılma işlemi dayanımı %30'a kadar artırır [5]. T6 ısıtılma işlemi çözündürülme ve yapay yaşlandırma işlemleri yapılır [6]. Mn ve Ni yüksek sıcaklıklarda dayanımı arttırmak için katılır. Bakır (%4,5) oda sıcaklığında dayanımı arttırmak için ve silisyum sertlik ve aşınma direncini arttırmak için katılır [7].

Pistonlarda karşılaşılan arızalar; sürtünme aşınması, erken ateşleme arızası, vuruntu arızası, piston kilit pimi arızaları, etek kırılması, yorulma aşınmasıdır. Sürtünme aşınması; sürtünme, aşırı ısınmış motor, kirli yağ, uygun olmayan piston tasarımı, çarpılmış silindirden kaynaklanan yetersiz boşluktan dolayı silindir duvarıyla piston arasındaki yağ filminin kaybolmasından oluşur [1,8]. Erken ateşleme yanma odasındaki yakıtın buji kıvılcımından önce sıcak bir nokta tarafından ateşlenmesidir. Sıcak nokta, aşırı ısınmış egzoz supabı, buji veya yanma odasındaki keskin bir köşe olabilir. Erken ateşleme sebepleri vuruntu oluşumu için de geçerlidir. Ancak erken ateşleme ile vuruntu arasında fark vardır. Erken ateşleme, bujiden kıvılcım çakmadan önce yanma olayının başlaması, vuruntu ise yanma olayı başladıktan sonra başka bir alev cephesinin daha oluşup iki alev cephesinin birbiri ile karşılaşması sonucu ortaya çıkan metal sesi olarak algılanmaktadır. Vuruntulu yanmada alev hızı normal yanmadan 10-15 kat daha fazla olabilir. Kilit segmanları yuvaları konsantrik taşlanmaları durumunda yuvalarından çıkabilir. Bu yüzden bir tarafın üzerinde yüzeyde olur veya yuvalar derin açılmışsa segmanlar gevşek olur. Düzensiz yuva boşluğu piston pimine yeterli boşluğu sağlayamaz ve arızaya sebep olur. Çok genel bir kilit segmanı arızası, aşırı sıkıştırılmış veya bükülmüş segmanlardır [1]. Pistonlar bazen etekte veya pim yuvaları yakınlarında kırılır. Böyle kırıklar aşırı yüklenmeden, yüksek kilometre veya düzensiz tasarımdan kaynaklanabilir [8]. Pistonda mekanik yorulmadan dolayı kritik gerilmeli bölgelerde kırılma küçük bir noktadan başlayıp ilerlemektedir. Gerilmeler

pistonun üzerine dışarıdan uygulanan yüklerden kaynaklanmaktadır. Pistonun üzerindeki gerilmeler piston geometrisiyle ve motor basıncıyla değişmektedir [9]. Zhiwei ve ark. [10] dizel piston pimi arızaları üzerine yaptıkları çalışmada piston piminin karbürizasyon teknolojisinin hatalı olduğunu, piston piminin birkaç parçaya ayrılarak kırıldığını kırıkların iç delik yüzeyinden dışa doğru olduğunu ve yorulma kırığının en önemli kırık sebebi olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada piston arızalarına bir örnek olan ve dizel motorlarında standart dışı yakıt (10 numara madeni yağ) kullanımından kaynaklanan, iki farklı arızalı motordan elde edilmiş pistonların muhtemel arıza sebepleri incelenmiştir. Bu çalışma esnasında yapılan literatür araştırmasında standart dışı yakıt kullanımından kaynaklanan piston arızaları ile ilgili çalışmanın olmadığı fakat çeşitli motor aksamlarında meydana gelen mekanik arızalar ile ilgili (krank mili ve biyel kolları vb.) çalışmaların olduğu görülmüştür. Bu yüzden bu çalışmanın sonuçları yorumlanırken, 10 numara madeni yağa benzer özelliklere sahip olan bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıt ile ilgili çalışmalardan yararlanılmıştır. Çelik ve ark. yaptıkları çalışmada dizel motorlarda ham bitkisel yağların kullanılmasının motorlarda çeşitli sorunlara yol açabileceğini, bu yağların yüksek viskozite ve düşük uçuculuğunun motorda aşırı kalıntı, enjektör tıkanmasına ve piston segmanı yapışmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir [11]. Martinez de Vedia keten yağı ve dizel yakıtı karışımı yakıt ile çalışan motorun yanma odasındaki karbon kalıntılarının dizel yakıt ile çalışan motora göre önemli miktarda fazla olduğunu belirtmiştir [12]. Araştırmacılar farklı ham ve rafine edilmiş yağları test etmişler ve ham biyodizelin yakıt olarak yeterli bir sonuç göstermediğini, enjektörlerde tıkanma ve piston segmanı yapışmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. [13]. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır [14].

2. Materyal ve Metot

Çeşitli atölye ve servislerden sıkıştırma ile ateşlemeli ve buji ile ateşlemeli motorlara ait 15 arızalı piston temin edilmiştir. Bu çalışma için 10 numara madeni yağ kullanımından dolayı arızalandığı servis yetkililerince belirtilen iki farklı dizel motoruna ait piston kullanılmıştır. Pistonların ilk önce fiziksel incelenmesi yapılmış ve fotoğrafları çekilmiştir. Pistonların arızalı kısımları kesilerek alaşım yüzdelerini öğrenmek için spektro analizi yapılmıştır. Spektro analiz, KOSGEB laboratuvarında Spectrolab marka M5 model analiz cihazında yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir. Her iki pistonun malzemelerinin özelliklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Her iki pistonda silisyum oranı %12 civarında olduğu için ötektik piston alaşımıdır.

Tablo 1. Arızalı pistonların alaşım yüzdeleri.

Alaşım yüzdeleri (%)											
	Si	Mn	Ni	Fe	Mg	Cr	Ti	Cu	Zn	Pb	Al
1. piston	12,52	0,167	0,766	0,487	0,963	0,0132	0,0842	1.060	0,128	0,00339	Kalan
2. piston	12,71	0,116	1,090	0,907	0,920	0,0112	0,0252	1,330	0,106	0,00855	Kalan

2.1.Yakıt olarak Kullanılan 10 Numara Yağlara Ait Çeşitli Tespitler

Yağlar mineral ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır. Mineral yağlar petrolden elde edilirler. Sentetik yağlar ise kimyasal yollarla elde edilirler. Mineral yağlarla bitkisel ve hayvansal yağlar arasındaki fark, bitkisel ve hayvansal yağların yapılarında bir oksijen köprüsü bulunmasıdır. Mineral esaslı yağlar alifatik, aromatik ve karışık (alifatik ve aromatik) olmak üzere üç gruba ayrılır. Alifatik yapıda olan mineral esaslı

yağlar uzun karbon ve hidrojen atom zincirlerinden yapılmışlardır [15]. Karbon zincir uzunluğu (karbon atom sayısı) ve doyma derecesinin artmasıyla viskozite artar [16]. Alifatik yapıda olan mineral esaslı yağlar parafinik ve naftanik olmak üzere ikiye ayrılır. Aromatik yapıda olan mineral esaslı yağlar benzen halkası oluşturur. Parafinik ve aromatiklerin karbon kalıntısı yüksek, naftaniklerin karbon kalıntısı düşüktür. Parafinik ve aromatiklerin alevlenme noktası yüksektir, naftaniklerin alevlenme noktası düşüktür [15]. Mineral yağ olan 10 numara yağa ait özellikler ile dizel ve biyodizel yakıt özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir. 10 numara yağın viskozitesi dizel yakıtı viskozitesinin yaklaşık 12 katı, biyodizel yakıtı viskozitesinin ise yaklaşık 10 katı olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 10 numara yağ, dizel ve biyodizel yakıt özellikleri [17, 18, 19].

	SAE 10	Dizel	Biyodizel
Özgül yoğunluk 15°C	0,8708	0,82-0,86	0,87-0,88
Viskozite cSt 40°C (ASTM D-445)	36-42,5	2,5-3,5	4,3
Viskozite cSt 100°C (ASTM D-445)	5,5-6,5	-	-
Tutuşma noktası °C (ASTM D-92)	215,5	>55	>100
Hacimsel ısı değeri MJ/L	40,2	35,5	32,6

Tablo 3’te piyasada dizel yakıtı yerine kullanılmak üzere satılan ürünlerden alınan 16 farklı 10 numara yağın içerikleri ve alev alma noktaları gösterilmiştir. Bu numunelerin içeriklerinin her birinin farklı olduğu, özellikle tutuşma sıcaklıklarının

(T.S.) standart dizel yakıtı tutuşma sıcaklığından (Tablo 2) çok yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 10 numara yağ içerikleri ve alev alma noktaları [20].

Örnek	T.S. °C	İçeriği
1	116	Mineral yağ oranı içerisindeki motorinden dolayı belirlenememiştir.
2	174	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
3	134	Mineral yağ oranı içerisindeki motorinden dolayı belirlenememiştir.
4	200	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
5	192	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
6	178	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
7	62	Ağırlıkça %88,7 oranında mineral yağ ve ağırlıkça %11,3 oranında white spirit ve motorin karışımından oluşmuştur.
8	58	Ağırlıkça %88,8 oranında mineral yağ ve ağırlıkça %11,2 oranında çözücü (alifatik-aromatik hidrokarbon karışımı) içermektedir.
9	49	Ağırlıkça %72,3 oranında mineral yağ ve ağırlıkça %27,7 oranında çözücü (alifatik-aromatik hidrokarbon karışımı) içermektedir
10	58	Ağırlıkça %88,8 oranında mineral yağ ve ağırlıkça %11,2 oranında çözücü (alifatik-aromatik hidrokarbon karışımı) içermektedir
11	168	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
12	198	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.

13	162	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
14	178	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
15	178	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.
16	194	Mineral yağ olup organik çözücü içermemektedir.

10 numara yağ, esasen toplam yıllık tüketimi 10-15.000 ton/yıl olan, oldukça düşük viskoziteye sahip bir tür madeni yağdır. Teknik özellikleri itibarı ile motorin ile karıştırılmaya uygun olan baz yağ veya madeni yağ türlerinin piyasa fiyatlarının vergilendirilmiş motorin fiyatlarının altında olması nedeni ile motorin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle spindle veya light neutral olarak bilinen düşük viskoziteli yağların bu amaçla kullanılması ve satılması ile başlayan bu uygulama giderek atık yağlar, kaçak akaryakıt ve diğer başka maddelerin de kullanılmaya başlanması ile yayılmıştır. Özellikle 2007 yılının ikinci yarısından itibaren piyasada tenekeler içinde 10 numara yağ adı altında başlayan bu faaliyet giderek yayılmış ve bugün ülkenin hemen her yerinde yaygın bir şekilde yapılır hale gelmiştir [21]. Tablo 4'te 2005, 2006 ve 2007 yıllarındaki yağ tüketim değerleri görülmektedir. 2006 yılındaki tüketim 2005'e göre yaklaşık 60 bin ton artış göstermektedir. 2007 yılındaki tüketim ise 2006 yılına göre yaklaşık 116 bin ton artmıştır. 2007 yılındaki tüketim 2005 yılına göre yaklaşık 177 bin ton artmıştır [21].

Tablo 4. Yıllara göre yağ tüketimi [21].

	2005	2006	2007
Baz yağ İthalat izni (Ton/Yıl)	319.694	480.587	685.899
Kullanılan Baz yağ ithalat izni (Ton/Yıl)	213.514	307.402	421.917
Rafineri Baz Yağ Üretimi (Ton/Yıl)	339.149	305.811	307.683
TOPLAM Baz Yağ Tüketimi (Ton/Yıl)	552.663	613.213	729.600

2.2. Arızalı Pistonların İncelenmesi

Birinci arızalı pistonun ait resimler Şekil 1 ve 2’de gösterilmiştir. Şekil 1’de pistonun baş kısmının yandığı görülmektedir. Bu kısımda yüksek sıcaklıktan dolayı erimelerin ve kopmaların olduğu görülmektedir. 10 numara yağların standart dizel yakıtına göre daha yüksek tutuşma sıcaklığına sahip oldukları Tablo 3’ten görülmektedir. Yüksek tutuşma sıcaklığı, tutuşma gecikmesi süresini uzatarak dizel vuruntusunu artırmakta, bu ise piston üzerinde deformasyon oluşturmaktadır. Buna ilave olarak yüksek viskozite enjektörden yakıtın püskürtülürken iri tanecikler halinde hava içerisine girmesine sebep olur. İri zerrelere kinetik enerjileri yüksek olacağından dolayı tamamı buharlaşıp hava ile karışmadan piston ve silindir duvarlarına ulaşır ve buralara yapışır. Silindir duvarındaki yakıt zerrelere pistonun hareketi esnasında segman bölgesine ulaşarak segmanların arasına dolar yanma esnasında yüksek sıcaklıktan dolayı kısmen oksitlenerek segmanların yuvalarında sıkışmalarına sebep olur ve bir süre sonra segman sıkışmasından dolayı segmanlar silindir duvarını kazımaya başlar. Piston üzerinde birikenler ise piston tepesinde sürekli alev oluşumuna neden olarak pistonun aşırı ısınmasına ve yuvasında sıkışmasına sebep olur. Piston tepesinde biriken yakıt yanma zamanında meydana gelen alev ile birlikte tutuşur. Egzoz zamanında mevcut hava fazlalığı sebebiyle yanmasını sürdürür, emme zamanında taze hava girişi ile yanması devam eder, bu işlem sıkıştırma zamanında da devam ederek nihayet

enjektörden yakıtın püskürtülmesi ile kuvvetlenerek devam eder. Yüksek viskozite enjektör ucunda yakıtın damla oluşturmaya ve yanma esnasında bu damlanın oksitlenerek uç kısmında karbon birikintisi oluşumuna sebep olarak püskürtme esnasında yakıtın hüzmeye biçiminin bozulmasına ve dolayısıyla enjeksiyonun bozulmasına, uç kısmında yakıtın birikerek damlamasına sebep olur. Enjektörlerin damlama yapmasından kaynaklanan aşırı yakıt birikmesi ve bu yakıtın egzoz zamanında da yanmaya devam etmesi sonucunda yakıtın damladığı noktalarda piston malzemesinin yerel olarak yumuşamasına neden olur. Atalet kuvvetleri ve yanmış egzoz gazlarının dışarı çıkış hızı ile piston yüzeyinden parçaları yolarak koparır. Bu arada meydana gelen yüksek ısı, piston ile silindir arasındaki boşluğun ortadan kalkmasına ve dolayısıyla yağ filminin yırtılmasına sebep olarak pistonun silindire sürtünmesine sebep olur. Bunun yanında segmanların maruz kaldığı yüksek ısı ve karbon birikintisinden dolayı yuvasında sıkışması sonucunda silindir, segman ve piston yüzeylerindeki sürtünme izlerinin artmasına sebep olmaktadır. Kalam ve Masjuki [22] ön ısıtmaya tabi tutulmuş palm yağı kullanarak dizel motor emisyon ve kalıntıları üzerine yaptıkları çalışmada; içten yanmalı motorlarda karbon kalıntısının yakıtın tam yanmaması ve yağlama yağının ısı parçalanması sonucunda oluştuğunu ve ayrıca yanma odası duvarlarında alevin sönmeye meydana geldiğini belirtmişlerdir. Yakıtın moleküler yapısı içindeki doymamış bağların artmasıyla kalıntı oluşumu da artmaktadır. Yanma odasındaki bu kalıntılar NO_x emisyonunun artmasına da sebep olmaktadır. Özellikle kül gibi uçucu olmayan kalıntıların düşük ısı iletkenliğinden dolayı silindir içindeki sıcaklık artar, bu da NO_x emisyonunu artırır. Aşırı kalıntı oluşumu motor performansını azaltarak motorun arızalanmasına sebep olur.

Ayrıca yüksek ısıdan dolayı kopan ve/veya eriyen parçacıkların da pistonla silindirin arasına girmesi de yine bu sürtünme izlerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Sürtünme izlerinin pistonun her tarafında olduğu, özellikle piston pimi civarında bu çiziklerin çoğaldığı ve derinleştiği görülmektedir. Pistonun birinci ve ikinci segmanları yüksek ısıdan dolayı yuvalarında sıkışmıştır. Piston başındaki sürtünme izlerinin etekteki sürtünme izlerine göre daha fazla olması piston başı ile etek arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır.

Pistonun tepesine üstten bakıldığında (Şekil 1) eriyen parçacıkların soğuyarak pistonun üzerine kaynadığı görülmektedir. Eriyen parçacıkların piston baş bölgesinden aşağıya inmesine önemli ölçüde segmanlar engel olmaktadır. Ancak bir süre sonra segmanlarda ısıdan dolayı yuvalarına sıkıştığı için bir miktar parçacığın aşağıya inmesine engel olamamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 1. Birinci arızalı pistonun: (a) üstten, (b) önden görünüşü.

Şekil 2.a'da piston başının erimiş kısmının alt taraflarında sürtme izlerinin olduğu eteğin diğer taraflarında bu izlerin oluşmadığı görülmektedir. Şekil 2.b'de sürtme izlerinin yüksek sıcaklıktan dolayı segman bölgesinde daha derin olduğu görülmektedir.



(a)



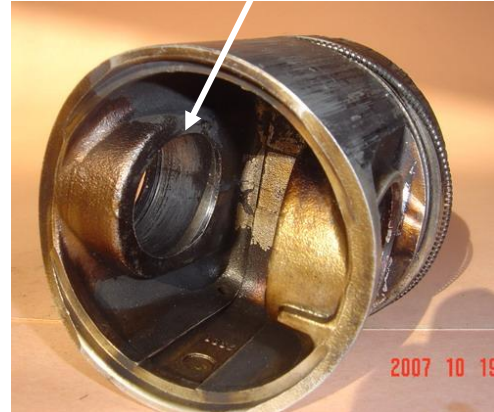
(b)

Şekil 2. Birinci arızalı pistonun: (a), (b) önden görünüşleri.

Şekil 3, 4 ve 5 arızalı ikinci pistonu aittir. Şekil 3-a'da görülen piston başındaki delik, Şekil 4-a'da görüldüğü gibi piston pim yuvası üzerinde ikinci kompresyon segmanı ile yağ segmanı yuvaları arasında sonlanmakta, oluşan çatlak piston pim yuvası boyunca devam etmektedir (Şekil 3-b, Şekil 4-a). Tablo 3'te 10 numara yağların tutuşma sıcaklıkları incelendiğinde çeşitlilik arz ettiği, fakat genellikle standart dizel yakıtının tutuşma sıcaklığının çok üzerinde olduğu görülmektedir. Yüksek tutuşma sıcaklığı tutuşma gecikmesi süresini uzatmakta, yanma odasında enjeksiyon devam ettiği için yakıt birikmesine sebep olmakta, ani yanma safhasında meydana gelen basınç artış oranı normalin üzerine çıkarak dizel vuruntusunun artmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda enjektörden yakıtın damlaması sonucunda yakıtın piston çukurunda birikerek yanması da pistonun ısınmasına sebep olarak hasarın oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Yanma odasında oluşan vuruntunun şiddetine bağlı olarak piston üzerinde ve yanma odasında hasar oluşabilir. Piston malzemesi genellikle bu bölgede vuruntuya karşı en zayıf malzemedir ve piston tepesinin delinmesine sebep olan en önemli faktördür.



(a)



(b)

Şekil 3. İkinci arızalı pistonun: (a) üstten, (b) alttan görünüşleri.

Şekil 4 ve 5'te vuruntudan kaynaklanan yüksek ısıdan dolayı piston ile silindir arasında boşluğun ortadan kalkması ve yağ filminin kaybolması sonucunda pistonun

silindire sürtünerek üzerinde derin çizgilerin oluştuğu görülmektedir. Piston başının sıcaklığının piston eteğine göre fazla olmasından dolayı piston başındaki sürtünme izlerinin daha derindir ve kısmen kopmalar görülmektedir. Bu olaylar, aynı zamanda segmanların yuvalarında sıkışmalarına sebep olmakta ve sürecin çok daha kısa sürede büyük bir hasarla sonuçlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu pistondaki sürtme izleri, piston pimi etrafı boşaltıldığı için (Şekil 4.a) pistonun piston pimi ekseninde silindir yüzeyine temas alanı az olmasıyla birinci pistondan farklı olarak piston pimine dik olan yaslanma yüzeylerinde meydana gelmiştir. Ayrıca piston piminin büyük kuvvetlere maruz kalmasından dolayı piston pim yuvası daha kalın yapılmaktadır. Dolayısıyla piston nispeten ince olduğu etek tarafına doğru genişlemektedir. Yakıt olarak kullanılan 10 numara madeni yağın ısı değeri dizel yakıtına göre daha yüksektir (Tablo 2), bundan dolayı her enjeksiyon başına silindire giren enerji miktarı aynı hacimdeki standart dizel yakıtına göre daha yüksektir. Bunun yanı sıra 10 numara yağın viskozitesi de dizel yakıtına göre oldukça yüksektir. 10 numara yakıtın ısı değerinin yüksek oluşu yanma sıcaklığının yükselmesine, viskozitesinin de yüksek olması enjektörden püskürtülen yakıt zerreciklerinin büyük olmasına ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresinin artmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak silindir içinde oluşan yanma ısısı; 10 numara yağın yüksek ısı değeri ve atomizasyonun kötü olması sonucunda yanmanın gecikmesi ve egzoz zamanına sarkmasıyla daha da artmıştır. Moron-Villarreyes ve ark. [23] yakıt olarak biyodizel kullanan motorun enjektörlerinin birikintisi üzerinde bir çalışma yapmışlar ve yakıt içindeki biyodizel miktarının artması ile enjektörlerdeki birikinti ve karbon kalıntısının meydana geldiğini ve yakıtın atomizasyon kalitesinin kötüleştiğini belirlemişlerdir. Agarwal ve ark. [24] yaptıkları çalışmada; katkısız bitkisel yağlar ve onun dizel yakıtıyla karışımlarının sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda çeşitli problemlere sebep olduğunu, bu problemlerin de zayıf atomizasyon karakteristikleri, segman yapışması, enjektörün kurum bağlaması, enjektör kalıntısı, enjektör pompa arızası ve yağlama yağının karter gazlarıyla polimerizasyonu ile incilmesi şeklinde meydana gelebileceğini belirtmişlerdir. Kısa süreli motor çalışmasında bu problemlerle genelde karşılaşılmadığını belirtmişlerdir.



(a)



(b)

Şekil 4. İkinci arızalı pistonun önden görüşleri.

Şekil 5.a ve b'de segmanların yuvalarında sıkışmış olduğu görülmektedir. Şekil 5.b'de piston eteğindeki sürtme izlerinin daha derin olduğu görülmektedir.



(a)

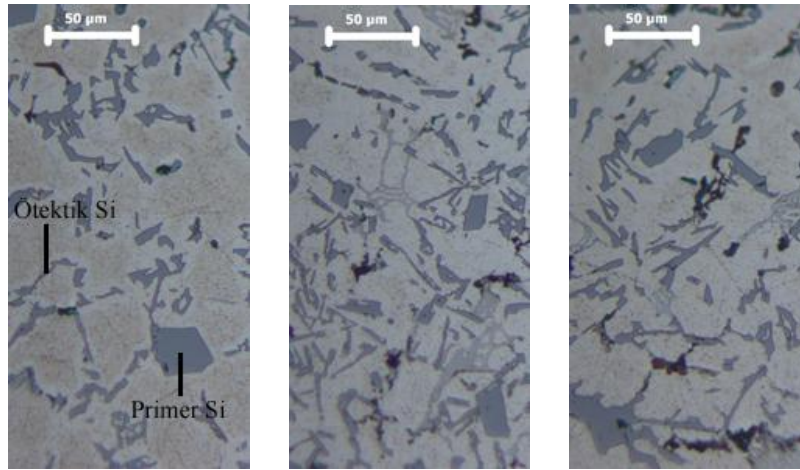


(b)

Şekil 5. İkinci arızalı pistonun önden görüşleri.

2.3. Metalografik Muayene

Numuneler standart metalografik yöntemlerle (Zımparalama ve Polisaj) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Dağlayıcı olarak % 0,5'lik hidroflorik asit (0,5 HF ve 99,5 Saf su) çözeltisi kullanılmıştır. Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM 4000 M marka optik mikroskop kullanılmıştır. Optik mikroskop ile her iki pistonun mikro yapılarını gösteren fotoğraflar çekilmiştir. Birinci arızalı pistonunun birisi arıza bölgesi olmak üzere farklı kesitlerinden alınan ve mikro yapıları gösteren fotoğraflar Şekil 6'da, gösterilmiştir. Mikro yapıları gösteren fotoğraflar incelendiğinde pistonlarda meydana gelen arızanın mikro yapıyı değiştirmedeği görülmüştür. Buradan aynı zamanda hasarın malzemedeki kaynaklanmadığı anlaşılmaktadır. Pistonların arızalı kısımlarından kesilen dikdörtgen biçimindeki küçük parçaları 3 ayrı bölgeye ayrılmış olup her bir bölgeden bir noktayı referans alarak o noktanın mikro yapısı incelenmiştir.



a) Birinci nokta

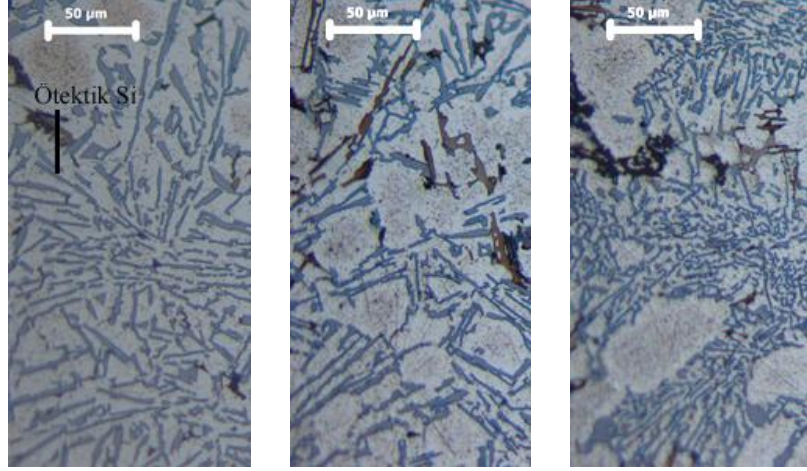
b) İkinci nokta

c) Üçüncü nokta

Şekil 6. Birinci arızalı pistonun 50 µm ölçeğindeki mikro fotoğrafları.

Birinci arızalı pistonun mikroyapısı incelendiğinde silisyumun primer silisyum ve ötektik silisyum şeklinde olduğu görülmektedir.

İkinci pistonu ait mikro yapıları gösteren fotoğraflar Şekil 7'de gösterilmiştir. İkinci arızalı pistonun mikroyapısı incelendiğinde ötektik silisyum şeklinde olduğu görülmektedir.



a) Birinci nokta

b) İkinci nokta

c) Üçüncü nokta

Şekil 7. İkinci arızalı pistonun 50 µm ölçeğindeki mikro fotoğrafları.

Resimlerde piston malzemelerinin mikro yapıları tamamı ile homojen görünmekte ve bozulan bölgelerde sıcaklığa bağlı herhangi bir değişime rastlanmamaktadır. Pistonların erimiş gibi görünen veya delinmiş bölgesinin sıcaklığa bağlı olarak bozulmuş olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bozulma erozyon görüntüsü vermektedir. Burada oluşan bozulma muhtemelen çok küçük bir bölgede meydana gelen yüksek sıcaklığa bağlı erozyondan kaynaklanmaktadır. Gagg ve ark. [25] vuruntu basıncının piston metalinin yerel erozyonuna sebep olduğunu, erozyon arızasının yanlış yakıt enjeksiyonu ve enjeksiyon zamanlamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

3. Sonuç

Yakıt olarak 10 numara yağ kullanımından kaynaklanan piston arızalarına ait örnek bir çalışma yapılmış ve bu çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

Piyasada yakıt olarak satılan 10 numara yağların özellikleri farklılık göstermekte ve herhangi bir standarda uymamaktadır. Satın alınan her tenekede farklı içerikte yağ ile karşılaşmaktadır (Tablo 3). Yakıt olarak kullanılan 10 numara yağın tutuşma noktasını

ve viskozitesini düşürmek için yağın içine değişik oranlarda motorin, gaz yağı, solvent (white spirit) vb. çözücüler katılmaktadır. Bu yüzden bunların motor üzerindeki etkileri de farklı olmaktadır.

Arızalı pistonların her ikisinin de arıza sebebi 10 numara yağ kullanımı olmakla birlikte sonuçları farklı olmuştur. Yani vuruntu bir pistonun başının delinmesine diğer pistonda ise piston başının yanmasına sebep olmuştur. İkinci arızalı pistona dikkat edilirse delinme pistonun yanma odasını oluşturan çukur kısmında kesitin en ince yerinde meydana gelmiştir. Birinci arızalı pistonda ise yanma odası çukuru piston merkezinden kaçık olduğu için piston başındaki yanma odasının kenara yakın bölgesinde hasar meydana geldiği görülmektedir. Her iki motorun farklı piston yapısından dolayı arızaları da farklılık gösterebilmektedir.

Yapılan çalışmanın sonucunda;

10 numara madeni yağın viskozitesi motorinin viskozitesinin yaklaşık 10 katıdır (Tablo 2). Bu yüzden 10 numara yağ püskürtüldüğünde yakıt zerrecikleri daha büyük olmaktadır. İri yakıt zerreciklerinin sahip oldukları kinetik enerjiden dolayı tamamı buharlaşmadan silindir ve/veya piston yüzeyine yapışmaktadır.

Yüksek viskoziteli yakıt kullanımında enjektörlerde kurum ve karbon birikintisi olmaktadır. Benzer özelliğe sahip 10 numara madeni yağ yakıldığında enjektörlerde, standart dizel yakıtına göre daha fazla kurum ve karbon birikintisi meydana getirir. Enjektörlerin tıkanmasına ve püskürtme karakteristiklerinin bozulmasına sebep olur. Enjeksiyon karakteristiklerinin bozulması başlıca iki durum meydana getirebilir. Bunlardan birincisinde; iyi atomize olamayan yakıt yanma odasında birikerek egzoz, emme ve sıkıştırma zamanlarında da yanmaya devam ederek pistonun aşırı ısınmasına ve erimesine sebep olur. İkincisinde ise yakıtın iyi atomize olamamasından dolayı tutuşma gecikmesi süresi uzar. Bu ise hızlı basınç artış oranına sebep olarak dizel vuruntusunu artırır. Dolayısıyla pistonda delinme veya yanmaya sebep olur. Piyasada yakıt olarak satılan 10 numara yağın özellikleri standart olmadığı için (Tablo 2) her motorda sebep oldukları hasarda farklı olmaktadır.

Yapılan malzeme analizlerinde pistonlarda herhangi bir malzeme hatasına rastlanmamıştır. Bu nedenle meydana gelen arızalar malzemeden kaynaklanmamaktadır.

10 numara yağın birim hacimdeki enerji miktarının dizel yakıtından fazla olması silindir içerisine her enjeksiyon periyodunda daha fazla enerji sürülmesine ve dolayısıyla yanma esnasında daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına sebep olacaktır, sıcaklık artışının malzeme dayanımını olumsuz etkilediği bilinmektedir.

10 numara yağ kullanımının olumsuz etkisini azaltmak için taşıt sahipleri periyodik bakım aralığını daha kısa tuttuklarını belirtmektedirler. Periyodik bakım sürelerinin kısalması araçların işletme masraflarını artırmaktadır.

10 numara madeni yağ yakıt olarak kullanıldığında maliyeti düşüktür. Ancak kalite olarak dizel yakıtı standartlarını karşılamamaktadır. Bu ise yakıt sisteminde çeşitli sorunlara sebep olmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Crouse WH. Automotive Engine Design. New York: Mc Graw Hill; 1970.
- [2] Heisler, H. Vehicle And Engine Techoology 2nd ed. London: SAE International; 1999.
- [3] Dwivedi, DK, Sharma, A, Rajan, TV. Influence Of Silicon Morphology And Mechanical Properties Of Piston Alloys. Materials and Manufacturing Processes, 2005; 20: 777-791.
- [4] Haque MM, Sharif A. Study on wear properties of aluminium–silicon piston alloy, Journal of Materials Processing Technology 2001; 118: 69–73.
- [5] Gagg CR, Lewis PR. Wear As A Product Failure Mechanism-Overview And Case Studies, Engineering Failure Analysis 2007; 14: 1618-1640.

- [6] Askeland DR, The Science And Engineering Materials 3rd ed., cilt 1,2, Erdoğan M, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 269-270, 656-657 (1998).
- [7] Park JO, Kim KJ, Kang DY, Lee YS, Kim, YH. An Experimental Study On The Powder Forging Process Parameters For An Aluminum-Alloy Piston, Journal of Materials Processing Technology 2001; 113: 486-492.
- [8] Hughes JG. Automotive Engine Rebuilding 2nd ed. New Jersey: Printice Hall; 2003.
- [9] Silva FS. Fatigue On Engine Pistons – A Compendium Of Case Studies, Engineering Failure Analysis 2006; 13: 480-492.
- [10] Zhiwei Y, Xiaolei X, Hongxin D. Failure analysis of a diesel engine piston-pin, Engineering Failure Analysis 2007; 14: 110–117.
- [11] Çelik İ, Şensöğüt C and Aydın O. Usage of Biodiesel as Fuel and Examining Its Effects on an Engine, Energy Sources 2009; Part A, 31: 1857–1865.
- [12] Graboski MS and McCormick RI, Combustion Of Fat And Vegetable Oil Derived Fuels In Diesel Engines, Progress in Energy and Combustion Science 1998;24: 125-164.
- [13] Shahid EM and Jamal Y, A Review Of Biodiesel As Vehicular Fuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008;12: 2484-2494.
- [14] Öğüt H ve Oğuz H, Biyodizel Üçüncü Milenyum Yakıtı. Ankara: Nobel Yayın;2006.
- [15] Hani İ. Madeni Yağlar Ve Petrol Ofisi Ürünleri 4. Baskı. İstanbul: Petrol Ofisi A.Ş. Madeni Yağ Direktörlüğü; 2002.

- [16] Dzida M, Prusakiewicz. P. The Effect Of Temperature And Pressure On The Physicochemical Properties Of Petroleum Diesel Oil And Biodiesel, *Fuel* 2008;87: 1941-1948.
- [17] Schaeffer Manufacturing Company, Technical Data, Missouri 2008; 1-3.
- [18] The Energy Conversation Center, Japan Energy Conservation Handbook 2008
<http://www.eccj.or.jp/databook/2008e/pdf/all.pdf>
- [19] Ulusoy Y, Alıbaş K. Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik Ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2002; 16: 37-50.
- [20] İnan YT, Yıldız E. Kimyasal İçerik Analizi, TÜBİTAK MAM Kimya ve Çevre Enstitüsü B.02.1.TBT.5.01.12.00-181.06.03 Gebze-Kocaeli 2007; 1-13.
- [21] Petrol Sanayi Derneği, Akaryakıt Piyasasında 10 Numara Yağ Sorunu ve Çözüm Önerileri. <http://www.petder.org.tr/Yayinlar/files/pdf/10numarayagsorunu.pdf>
- [22] Kalam MA, Maşjuki HH. Emissions And Deposit Characteristics Of A Small Diesel Engine When Operated On Preheated Crude Palm Oil, Biomass and Bioenergy 2004; 27: 289-297.
- [23] Moron-Villarreyes, JA, Soldi C, De Amorim AM, Pizzolatti MG, De Mendonca AP, D'oca M G M. Diesel/Diodiesel Proportion For By-Compression Ignition Engines, *Fuel* 2007; 86: 1977-1982.
- [24] Agarwal AK, Bijwe J, Das LM. Effect Of Biodiesel Utilization Of Wear Of Vital Parts In Compression Ignition Engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 2003; 125: 604-611.
- [25] Gagg CR, Lewis PR. Wear As A Product Failure Mechanism-Overview And Case Studies, *Engineering Failure Analysis* 2007; 14: 1618-1640.