

**DİZEL LOKOMOTİFLERDE KULLANILAN
EGZOS SUPAP BİLGİSİNDE
OLUŞAN HASARIN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gökhan KANDEMİR

Eskişehir 2023

**DİZEL LOKOMOTİFLERDE KULLANILAN EGZOZ SUPAP BAGASINDA
OLUŞAN HASARIN İNCELENMESİ**

GÖKHAN KANDEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi YALÇIN ÖZDEMİR

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi SEYİD FEHMİ DİLTEMİZ)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kasım 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

GÖKHAN KANDEMİR'in DİZEL LOKOMOTİFLERDE KULLANILAN EGZOZ SUPAP BAGASINDA OLUŞAN HASARIN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 14/11/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÖZDEMİR

Üye

: Doç. Dr. Selim GÜRGEN

Üye

: Doç. Dr. İrfan KAYA

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

14/11/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi GÖKHAN KANDEMİR, DİZEL LOKOMOTİFLERDE KULLANILAN EGZOZ SUPAP BAGASINDA OLUşAN HASARIN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı
Dr. Öğr. Üyesi YALÇIN ÖZDEMİR

ÖZET

DİZEL LOKOMOTİFLERDE KULLANILAN EGZoz SUPAP BAGASINDA OLUŞAN HASARIN İNCELENMESİ

GÖKHAN KANDEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kasım 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi YALÇIN ÖZDEMİR

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi SEYİD FEHMİ DİLTEMİZ)

Egzoz supap bagası, içten yanmalı motorda silindir başlığında bulunan motor bileşenidir. Egzoz supabıyla birlikte temas halinde çalışarak sızdırmazlığı sağlar. Egzoz supap bagası; yüksek sıcaklıkta, yanma sonucu oluşan gazların bulunduğu ve supaptan gelen tekrarlı yüklerin etkisinde çalışmaktadır. Egzoz supap bagasında ortaya çıkan bir hasar, motorun veriminde ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkilere neden olur.

Bu çalışmada TLM16V185 ağır hizmet dizel motorunda kullanılan egzoz supap bagaları üzerinde çalışılmıştır. Oluşan hasarın boyutları belirlenmiş ve hasara neden olan aşınma mekanizmaları araştırılmıştır. Supapla baganın tasarımında verilen kavrama açısının, бага üzerindeki etkisi sonlu elemanlar analiziyle incelenmiştir.

Çalışma sonucunda; egzoz supap bagasında kavrama açısından kaynaklanan çok küçük bir alanda yüksek gerilim tespit edilmiştir. Malzeme kaybı ve geometri değişimi gözlemlenmiştir. Oksidasyon, darbeli aşınma, abrasif aşınma, adhesif aşınma ve korozyon tespit edilmiştir. Bu aşınma mekanizmalarının sonucu hasarın ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Baga, Ağır hizmet dizel motoru, Supap, Hasar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EXHAUST VALVE SEAT INSERT DAMAGES OF DIESEL LOCOMOTIVE HEAVY DUTY ENGINE

GÖKHAN KANDEMİR

Department of Mechanical Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, November 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. YALÇIN ÖZDEMİR

(Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. SEYİD FEHMİ DİLTEMİZ)

The exhaust valve seat insert is an engine component located in the cylinder head of an internal combustion engine. It fulfils sealing through operating in contact with the exhaust valve. The exhaust seat insert operates at high temperature, in the presence of gases as a result of combustion and under the influence of repetitive loads coming from the valve. Damage on the exhaust seat insert causes negative effects on engine efficiency and exhaust emissions.

In this study, exhaust valve seat inserts in TLM16V185 were examined. The extent of the damage was determined and wear mechanisms causing the damage were investigated. The effect of the designed angle between the valve and the seat insert was determined by finite element analysis on the seat insert.

As a result of this investigation, high stress was detected in a small area on the seat insert due to the angle between valve and seat insert. Material loss and geometry change were observed. Oxidation, impact wear, abrasive wear, adhesive wear and corrosion were detected. It was concluded that the damage occurred as a result of these wear mechanisms.

Keywords: Seat insert, Heavy duty diesel engine, Valve, Damage

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÖZDEMİR ve Dr. Öğr. Üyesi Fehmi DİLTEMİZ'e teşekkür ederim

Desteklerinden ötürü Lokomotif ve Yük Araçları Mühendislik Daire Başkanı İbrahim ERŞAHİN'e, Lokomotif ve Mekanik Sistemler Şube Müdürü Tuba N. EROĞLU'na ve Alaattin BARITCI'ya teşekkürü borç bilirim

Aileme, çıktığım her yolda yanımda oldukları için minnettar olduğumu belirtmek isterim

GÖKHAN KANDEMİR

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

GÖKHAN KANDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
2. TCDD DE 24000 DİZEL ELEKTRİK LOKOMOTİFİ.....	6
3. DİZEL MOTOR	7
3.1. Dört Stroklu Dizel Motorda Çevrim	9
3.2. Motor Bloğu.....	11
3.3. Krank Mili ve Kam Mili	11
3.4. Silindir Başlığı	12
3.4.1. Supap ve bagalar	14
4. EGZOZ SUPAP VE BAGASINDA GÖRÜLEN HASAR.....	21
4.1. Egzoz Supabında Hasar	21
4.2. Egzoz Supap Bagasında Hasar	22
5. MATERYAL METOT	24

5.1. Egzoz Supap Bagasının Kütle Kaybı ve Deformasyon Kontrolü	24
5.2. Sertlik Ölçümü	25
5.3. Kimyasal Analiz	26
5.4. Supap Yayları Üzerinde Yapılan Kontroller ve Yay Katsayısının Belirlenmesi	28
5.5. Metalografik İnceleme	29
5.7. Sonlu Elemanlar Analizi.....	30
5.7. Temas Noktalarının Kontrolü.....	31
6. BULGU VE ARAŞTIRMA	33
6.1. Malzeme Kaybının Belirlenmesi.....	33
6.2. Baga ile Supap Arasındaki Temas Yüzeyinin Kontrolü.....	35
6.3. Hasarın Numune Sertlik Değerine Etkisi	37
6.4. Hasarlı ve Kullanılmamış Baganın Malzeme Kompozisyonu.....	38
6.5. Supap Yayları Üzerinde Yapılan İncelemeler	38
6.6. Hasarlı Baganın Mikro Yapı Sonuçları	40
6.7. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu	42
6.8. Supap ile Kam Arasındaki Hareket İletim Elemanlarının Kontrolü.....	43
7. SONUÇ	46
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. DE 24000 ana karakteristikleri	6
Tablo 3.1. 90'lı yıllara kadar supap için kullanılan malzemeler	18
Tablo 6.1. Tartım sonucu elde edilen sonuçlar	35
Tablo 6.2. Baga yüzeyü ile supap tabanı arasındaki mesafe	35
Tablo 6.3. Sertlik değerleri (Rockwell C)	37
Tablo 6.4. Başlık düzeni	38
Tablo 6.5. İç supap yayına uygulanan kuvvetler ve deplasman değerleri	39
Tablo 6.6. Dış supap yayına uygulanan kuvvetler ve deplasman değerleri	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bakıma alınan DE 24406	6
Şekil 3.1. Milyon varil başına petrol tüketim tahmini	8
Şekil 3.2. TCDD hatlarındaki çeken araçların mevcudu	9
Şekil 3.3. Dört stroklu dizel motorda çevrim	10
Şekil 3.4. Dört stroklu dizel motorda ideal P-V ve T-s diyagramları	11
Şekil 3.5. Ağır hizmet dizel motorun kesit görünümü	12
Şekil 3.6. Genel anlamda piston çeşitleri	14
Şekil 3.7. İçten yanmalı motorların supap konumuna göre sınıflandırılması	15
Şekil 3.8. Mantar başlı supap kısımları ve бага	16
Şekil 3.9. Supap-baga temas yüzeyine açı verilmesi (Kavrama açısı)	17
Şekil 3.10. Karakteristik supap türleri	17
Şekil 3.11. Ağır hizmet dizel motorlarında kullanılan supapların yaklaşık kullanım süreleri	19
Şekil 3.12. Egzoz supap bagası	19
Şekil 4.1. Dizel motor egzoz supap hasarı	21
Şekil 5.1. Elektronik tartım cihazı	24
Şekil 5.2. Kumpas.....	25
Şekil 5.3. Sertlik ölçüm cihazı.....	26
Şekil 5.4. Spektrometre	27
Şekil 5.5. Kimyasal analiz için kullanılan numuneler	27
Şekil 5.6. Numune hazırlama için kullanılan cihazlar, a) kesme cihazı, b) zımparalama ve parlatma cihazı.....	28
Şekil 5.7. Basma çekme cihazı	29
Şekil 5.8. Optik mikroskop (sol), SEM (sağ)	30
Şekil 5.9. Baganın silindir başlığındaki konumuna göre mesnetleri (sol) ve temas tipi (sağ)	30
Şekil 5.10. Ağ örgüsü	31
Şekil 5.11. Supap tabanına etkiyen basınç	31
Şekil 5.12. Temas yüzey açıları.....	32
Şekil 6.1. Baga aşınmasının şematik gösterimi	33
Şekil 6.2. Kullanılmamış ve hasarlı baganın sırayla supapla ilişkisi.....	34

Şekil 6.3. Supap tabanı ile baganın yüzeyi arasındaki mesafe	34
Şekil 6.4. Hasarlı yüzey	36
Şekil 6.5. Hasarlı бага ile kullılmamış baganın yüzeyleri (6X)	36
Şekil 6.6. Hasarlı bagada aşınan bölge (15X)	37
Şekil 6.7. Supap yayları	39
Şekil 6.8. İç ve dış supap yaylarına uygulanan kuvvetler	40
Şekil 6.9. Hasarlı baganın aşınma yüzeyi (500X)	41
Şekil 6.10. Oksidasyon ve çukurcuklanma (900X)	41
Şekil 6.11. Metal sıvanması (150X)	42
Şekil 6.12. (a) Eşdeğer gerilim, (b) Toplam deformasyon sonuçları	43
Şekil 6.13. Supap-kam arasındaki hareket iletim elemanları	44
Şekil 6.14. Sente ayarı	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Santigrat derece
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
K	: Kelvin
LPG	: Likit Petrol Gaz
m	: Metre
MPa	: Megapaskal
mm	: Milimetre
N	: Newton
P	: Basınç
RPM	: Dakikadaki Devir Sayısı
s	: Entropi
T	: Sıcaklık
V	: Hacim

1. GİRİŞ

Günümüzde dizel motorların, karayolundan raylı sistemlere ve denizcilik (marin) uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Ülkemizde de raylı sistemler kapsamında, TCDD bünyesinde DE 22000, DE 24000, DE 36000 gibi lokomotiflerde ağır hizmet dizel motorları kullanılmaktadır.

Tez kapsamında, DE 24000 dizel elektrikli lokomotifte kullanılan ağır hizmet dizel motorunun egzoz supap bagasındaki hasar incelenmiştir.

Egzoz supap bagası hasarının incelenmesinde, ilk olarak aşınmadan kaynaklı malzeme kaybı incelenmiştir. İkinci aşamada kullanılmamış ve hasarlı baganın sertlik değeri elde edilmiş ve kimyasal analizi yapılmıştır. Hasarlı baganın mikro yapısı üzerinde çalışma yapılmıştır. Hasarlı baganın mikro yapı farklılıkları yorumlanmıştır.

Son olarak sonlu elemanlar metoduyla statik olarak bagadaki gerilim dağılımı incelenmiştir. Yanma sonucu oluşan basınç, egzoz supabı tabanına uygulanmıştır. Temas halindeki egzoz supap ve bagasının arasındaki kavrama açısının, бага üzerinde oluşturduğu gerilim dağılımının etkisi gözlemlenmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde çevreye duyarlı teknolojilerin gelişmesi teşvik edilmektedir. Fosil yakıt tüketmeyen elektrikli motorlar ve batarya teknolojileri yaygınlaşmaktadır. Bununla beraber, fosil yakıt tüketen motorlarda da bu amaca yönelik gelişmeler yaşanmaktadır.

Fosil yakıt tüketen içten yanmalı motorların daha yüksek verimli olması, yani daha az yakıt tüketirken daha çok efektif (faydalı) güç üretmesi beklenmektedir. Aynı zamanda çevreye olan olumsuz etkilerinin minimize edilmesi için, egzoz emisyonlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, yanma odasının sızdırmazlığını sağlayan, bu nedenle sıkıştırma basıncı ve motor verimliliğinde doğrudan etkisi bulunan supap бага ikilisi konu edilmiştir. Бага üzerine yoğunlaştırılmıştır. Бага (supap yuvası) içten yanmalı motorlarda bulunan, supap tablasındaki oturma yüzeyiyle temas ederek sızdırmazlık sağlayan motor parçasıdır. İçten yanmalı motor zamanlarında (emme, sıkıştırma, yanma, egzoz) supabın silindir içindeki gaz hareketlerini kontrol etmesi için bagayla uyumlu çalışması gerekmektedir. Supap бага ikilisi; sıkıştırma anında içerdeki gazları tamamen hapsetmesi, emme ve egzoz zamanlarında akışı engellememesi gerekmektedir. Aksi

halde, yanma odasında meydana gelen sızma sıkıştırma basıncında ve motor verimliliğinde düşüşe neden olmaktadır.

Tez kapsamında DE 24000 lokomotifte kullanılan hasarlı egzoz supap bagası kullanılmıştır. Hasar ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Statik olarak yapılan sonlu elamanlar analiziyle, bagada gerilimin yoğunlaştığı alanlar bulunmuştur.

Bu tezde amaçlanan, egzoz supap bagasındaki aşınma mekanizmalarını incelemek, hasarı analiz etmek ve mevcut durumun gözlemlenmesidir.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde çoğunlukla supaplar tek başına veya supap бага ikilisi birlikte incelenmiştir. Aşınma mekanizmaları, aşınmaya yol açan çalışma şartları ve parametreler, supap ve бага için kullanılan malzemelerin aşınmaya karşı direnci üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu konuda yapılan araştırmaları genel olarak ikiye ayırabiliriz. İlki belirlenen çalışma koşullarına ve aşınma üzerindeki etkisi incelenmek istenen parametrelere göre kurulan test düzeneklerinde yapılan araştırmalardır. İkinci olarak da farklı tip ve çalışma koşullarına sahip motorlardan toplanan supap ve bagalar üzerinde yapılan araştırmalardır.

Wang vd. (1996) çalışmasında [1] test düzeneği kullanarak ağır hizmet motorunun emme supabı (Silcrome 1) ve bagasındaki (Silcrome XB) aşınmayı incelemiştir. Test düzeneğinde parametre olarak sıcaklık (180 - 650 °C), çevrim sayısı (150000 - 3420000) ve supaba gelen yük (6615 – 24255 N) kullanılmıştır. Testler sırasında oluşan oksit filmin aşınmadaki rolü vurgulanmıştır. Sıcaklık arttıkça aşınmanın azalmasının nedeninin bu durumdan kaynaklandığını ortaya konmuştur. Oksit filmin doğrudan metal temasını engelleyebildiğini, sürtünme katsayısını ve adhesif aşınmayı azalttığı belirtilmiştir. Çevrim sayısı arttıkça, aşınmanın da arttığı fakat temas gerilimi zamanla azaldığı için aşınma hızının da düştüğü belirtilmiştir. Farklı yüklerde yapılan testlerde, düşük yüklerde adhesif aşınmanın; yükün arttıkça kesme gerinimi kaynaklı aşınmanın daha baskın olduğu açıklanmıştır. Zhao vd. (1997) çalışmasında [2] kullandığı test düzeneğinde supap ve бага merkezleri arasında 0,76 mm kaçıklık, aşınmanın hızlandırılması için oluşturulmuştur. Dört farklı malzemeye sahip egzoz supabı (23-8N, 21-4N Mod, Pyromet 31 ve Stellite 6), Sil XB bagayla 538 °C'de; sonrasında üç farklı malzemeye sahip egzoz supabı (23-8N, 21-4N Mod ve Pyromet 31) Eatonite 6 bagayla 649 °C'de test edilmiştir. İki bagada da en büyük aşınma direncini Pyromet 31 malzemeye sahip supabın gösterdiği

belirtilmiştir. Baga malzemesinin Sil XB'den Eatonite 6'ya çevrildiğinde tüm supapların aşınma direncinin önemli oranda arttığı ve bu nedenle supap бага malzeme seçiminde uyumlu malzemelerin seçimi öneminin altı çizilmiştir. Lewis ve Dwyer-Joyce (2001) çalışmasında [3] iki farklı test düzeneği kullanılmıştır. Hidrolik test düzeneğinde, gerçek supap ve bagası kullanılmıştır. İkinci düzenekte tahrik verilmiş bir düzenekte sadece silindir başlığı kullanılarak supap kapanma darbesi incelenmiştir. Sonuçların doğrulaması için, 1.8 L dizel motor kullanılan dinamometre motor test düzeneği kullanılmıştır. Çalışmada бага seçiminde dikkat edilmesi gereken hususların sertlik ve kırılma tokluğu olduğu belirtilmiştir. Ando vd. (2005) çalışmasında [4] içten yanmalı motorların daha çevre dostu olması ve egzoz gazındaki karbondioksit emisyonlarının düşürülmesi için kullanılan farklı yakıtların egzoz supap ve bagasındaki aşınmaya etkisini incelemiştir. Çalışmada kullanılan test düzeneğinde; supap, supap kılavuzu, supap yayı ve бага bulunmaktadır. Düzenekte dışardan yanmış LPG ve hava karışımı supap tablasına etkimektedir. Bagadaki sıcaklık 623 K ve supap kapanma hızı 0,81 m/s, test süresi 8 saat olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda benzin yerine kullanılan CNG ve LPG yakıtların adhesif aşınmada artışa neden olduğu açıklanmıştır. Nedeni olarak, oksit membran oluşumunun benzin kullanıldığında daha fazla oluşması olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucu egzoz supabı için sert kaplama alaşımları ve бага için sinterlenmiş malzemeler geliştirilmiştir. Chun vd. (2007) çalışmasında [5] çevrim sayısının egzoz supap ve bagasındaki aşınmaya etkisini incelemiştir. 1200 ve 3000 RPM ve sırasıyla 40 ve 100 mm/s supap kapanma hızında, 1960 N yük, 350 °C sıcaklıkta; 2×10^6 , 4×10^6 , 6×10^6 ve 8×10^6 çevrim sayılarında testler yapmıştır. Aşınma değerlendirmesi için R_{max} değeri, ölçülen yüzeylerdeki minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar olarak bulunmuştur. Aşınma derinliği yerine yüzey pürüzlülüğü (R_{max}) kullanılmasının nedenini, çalışmada yüzeylerin farklı kısımlarında farklı aşınma değerlerinin bulunması olarak açıklamıştır. Çalışma sonucu supap kapanma hızı, RPM parametrelerinin çevrim sayısına kıyasla daha büyük etkisi olduğunu belirtmiştir. Çevrim sayısına bakılmaksızın supap ve бага arasında tribokimyasal reaksiyon sonucu oksijen, karbon, kükürt, vanadyum ve alüminyum bulunduğunu, malzeme transferi sonucu gözlemlenebilecek bu durumun R_{max} değerlerini arttırdığı belirtmiştir. Hong vd. (2012) çalışmasında [6], LPG ve benzinin egzoz supabı ve bagasındaki aşınmaya olan etkisini incelemiştir. Kurulan düzenekte 1960 N yük, 350 °C sıcaklık ve 2×10^6 çevrim sayısında testler yapılmıştır. Aşınmanın değerlendirilmesinde maksimum aşınma derinliği (D_{max}) kullanılmıştır.

Testler sonucu egzoz supabında; yakıt olarak LPG kullanıldığında oksijen ve kükürt, yakıt olarak benzin kullanıldığında oksijen, fosfor ve kalsiyum tespit edilmiştir. Kullanılan yakıtta bakılmaksızın egzoz supap bağasında bakır ve molibden tespit edilmiştir. Egzoz supabından bagaya malzeme geçişi (silisyum ve mangan) de çalışmada gözlenen sonuçlardandır. Çalışma sonucunda benzinin yanma sonucu oluşan atıklarının supap ve бага arasındaki metal metal temasını azaltan bir etkisinin olduğu belirtilmiştir. LPG kullanıldığında oluşan atıkların ise bu etkisinin benzine göre daha az olduğu, supap ve bagada bu nedenle abrasif aşınmanın gözlemlendiği ve Dmax değerlerinin daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir.

Çalışmalarda test düzeneklerinin yerine, hasar analizi için gerçek çalışma ortamında kullanılmış supap ve bagalar da kullanılmıştır. Forsberg vd. (2011) çalışmasında [7] aynı malzeme ve tasarım parametrelerine sahip 3 çift supap ve bagadaki hasarı farklı çalışma koşullarına göre incelemiştir. Çalışmada, ilk supap бага çifti görece çok zor olmayan çalışma koşullarına sahip, otoyolda kullanılan 440 000 km yapmış bir kamyonundan alınmıştır. İkinci çift, ilkinin göre daha az kilometrede (210 460 km) kullanılmış ama daha fazla yüklere maruz kalmış bir kamyon motorundan ve üçüncüsü test edilen bir motordan temin edilmiştir. Test motorunun 723 saat kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmada abrasif aşınmaya rastlanmadığı, yanma sonucu oluşan atıkların supap бага arasında koruyucu tabaka oluşturmada yetersiz olduğu ve bunun malzeme transferi ile daha pürüzlü yüzeylere yol açtığı gözlemlenmiştir. Kamyonundan alınan örneklerde, ölçülebilir hasar veya plastik deformasyona rastlanılmadığını fakat testte supap tabla köşelerinin yuvarlaklaştığı belirtilmiştir. Bu durumun nedeninin, test koşullarından mı yoksa yüksek basınç sonucu oluşan yüklerden mi kaynaklandığının cevabının verilmesinin zor olduğu açıklanmıştır. Dissel vd. (1989) çalışmasında [8] dizel ve benzinli motorlardan toplanan 46 supap ve sınırlı sayıda бага kullanmıştır. Numuneler, içinde farklı tip motorlardan toplanan emme ve egzoz supapları ile bagalarından oluşmuştur. Çalışmada bu numunelerin çalışma ortamının 3,5 ile 18 MPa, 210 ile 700 °C, çalışma süresinin 20 saat ile 300 000 mil arasında değiştiği belirtilmiştir. Çalışmada tam olarak aynı çalışma koşulları, parametreleri ve malzemeye sahip numunelerin toplanamadığı belirtilmiştir. Bu nedenle farklı aşınma türleri ve miktarı gösteren sonuçların elde edildiği ifade edilmiştir. Бага çökmesinin, supapla temas eden yüzeyinden sistematik malzeme kaybından kaynaklandığı belirtilmiştir. Supaptaki hasarda ise supap бага arasındaki kaçıklığın büyük rolü olduğu ifade edilmiştir. Wang

vd. (1995) alışmasında [9] 47 motordan 164 supap ve belli sayıda бага kullanmıştır. Yakıt olarak benzin, dizel ve LPG kullanan motorlardan emme ve egzoz supapları ile bagalarını numune olarak almıştır. Çalışma koşullarının 8,3 ile 16,5 MPa, 310 ile 700 °C, 26 saat ile 7000 saat (14484 ile 627900 km) arasında olduğu fakat bu parametrelerin birçok numune için kesin olarak belirlenemediği ifade edilmiştir. Çalışma sonucu supap ve бага için en çok karşılaşılan aşınma türlerinin; adhesif, abrasif, korozyon ve kesme gerinimi olarak gözlemlenmiştir. Supaplar için yıkıcı aşınmada birincil sorumlu olarak yorulma gösterilmiştir.



2. TCDD DE 24000 DİZEL ELEKTRİK LOKOMOTİFİ

1971 senesinde Traction Export ile lokomotif ve Chantiers de L'Atlantique ile motor lisans anlaşması yapılmıştır. 1985 senesine kadar bu anlaşmalar kapsamında TÜRASAŞ Eskişehir'de 431 adet, dizel elektrikli ana hat lokomotifi DE 24000 üretilmiştir (http-1). DE 24000'in ana karakteristikleri Tablo 2.1'de, bakıma alınan DE 24406 Şekil 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. DE 24000 ana karakteristikleri (http-2)

Düzey	Biçim
Lokomotif Ağırlığı	113 t
Aks Tertibatı	Co – Co (6 akslı)
Hız	119 km/h
Ray Açıklığı	1435 mm
Tahrik Sistemi	Dizel Motor / Alternatör / Redresöz / Cer Motoru
Dizel Motor Tipi	TLM 16V 185



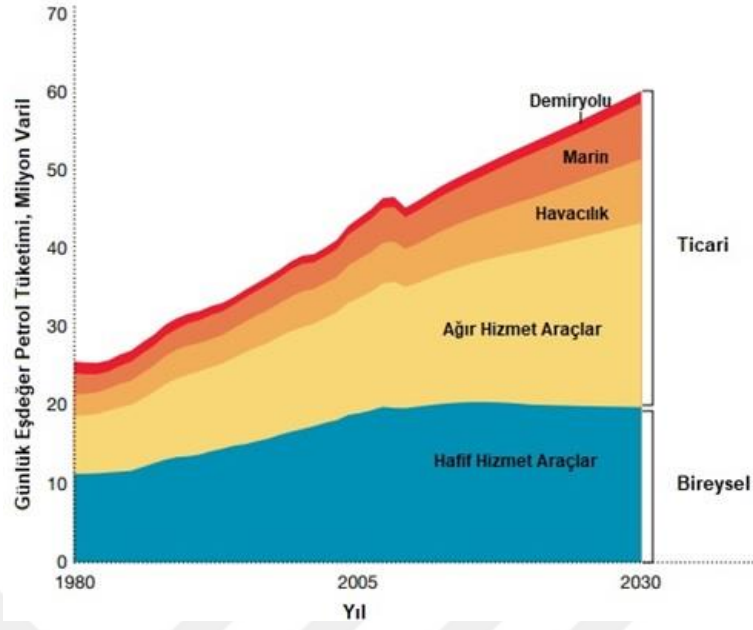
Şekil 2.1. Bakıma alınan DE 24406

3. DİZEL MOTOR

Dizel motor, 1892 yılında Rudolph Diesel tarafından icat edilmiştir. Diesel, 1897 yılında %26,2 verimliliğe sahip motorunu test etmiştir. Bu motorun verimi, döneminin çok kullanılan buharlı motorlarına göre %10 daha fazladır (http-3). Hâlihazırda kara, deniz ve demiryollarında; yük taşımacılığından iş makineleri ve tarımda kullanılan taşıtlara uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

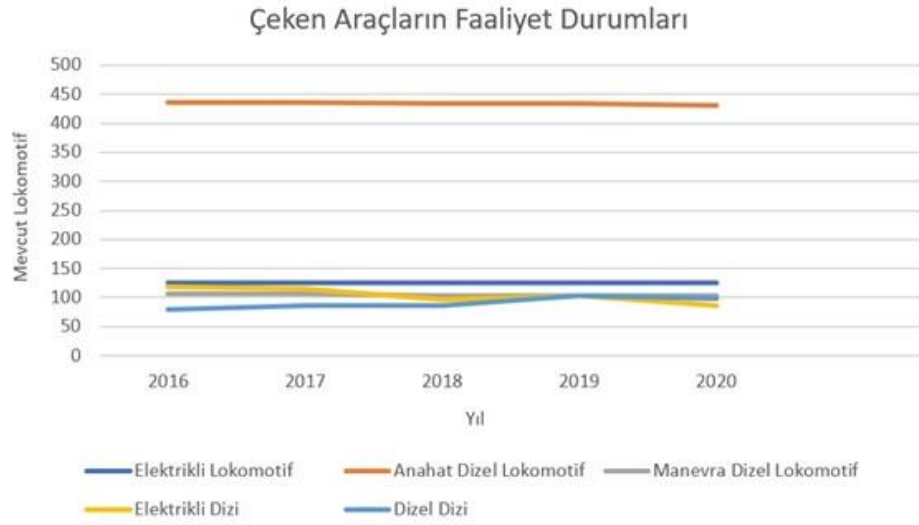
Kullanım amaçlarına göre hafif hizmet dizel motorlar ve ağır hizmet dizel motorlar olarak ayırmak mümkündür. Hafif hizmet dizel motorları; genellikle yolda, kısa mesafede, yolcu taşımak veya kişisel kullanım için kullanılmaktadır. Ağır hizmet motorları; hem yolda hem de arazide, daha çok yük taşımak için veya iş ve tarım araçlarında kullanılmaktadır.

Günümüzde elektrik motorları ve bataryalar gittikçe daha fazla yaygınlaşmakta ve fosil yakıtlı araçlara alternatif oluşturmaktadır. Buna rağmen ağır hizmet dizel motorları; lokomotiflerde, denizcilik (marin) uygulamalarında, otobüs ile tırlarda yolcu ve yük taşınması için hâlâ tercih edilmektedir. 2021 yılında 212,4 milyon dolara ulaşan dizel motor pazarının 2027 yılına kadar 266,3 milyon dolara ulaşması beklenmektedir [10]. Uçucu olmayan ve bir anda alev almayan dizel yakıtların kullanıldığı motorlarda, yüksek sıkıştırma oranlarının elde edilebilmesi ve düşük motor devirlerinde yüksek torkların elde edilebilmesi bu motorların tercih edilmesinin sebebi olarak gösterilebilir. 2030'a kadar hafif hizmet motorların kullanıldığı araçlara talep eğrisinin düzleşeceğini, ağır hizmet motorların kullanıldığı araçlara talebin artacağı tahmin edilmektedir. Fosil yakıt tüketen araçların 2030 yılındaki payları Şekil 3.1'de verilmiştir [11].



Şekil 3.1. Milyon varil başına petrol tüketim tahmini [11]

Türkiye’de dizel motorların kullanıldığı lokomotifler demir yollarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. 2020 yılında ana hatta kullanılan dizel elektrikli lokomotifleri; DE 18000, DE 18100, DE 22000, DE 24000, DE 33000, DE 36000 olarak sıralayabiliriz. Bahsedilen 431 dizel elektrikli ana hat lokomotiflerinin %82’si faal durumdadır. DE 24000 özelinde, 232 aracın %83’ünün faal durumda olduğu belirtilmiştir. Bu yıl içinde ana hat elektrikli lokomotif sayısının 125 olduğu düşünülürse, demir yolunda dizel elektrikli lokomotiflerin önemi daha iyi anlaşılabilir. Yıllara göre TCDD hatlarında kullanılan lokomotifler Şekil 3.2’de gösterilmiştir (<http-4>).



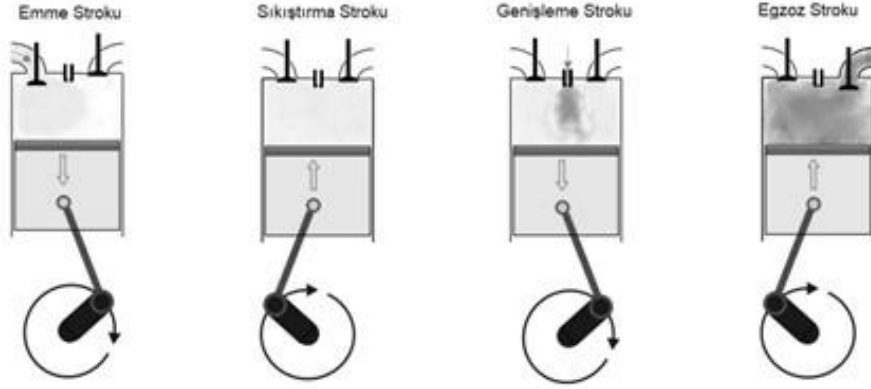
Şekil 3.2. TCDD hatlarındaki çeken araçların mevcudu (http-4)

3.1. Dört Stroklu DizeL Motorda Çevrim

DizeL yakıt (motorin) molekül ağırlığı ve fiziksel özellikler bakımından geniş bir aralıkta bulunabilmektedir. Fiziksel özellikleri bakımından; akışkanlığı, yanma noktası, akma noktası, setan sayısı, sulfur içeriği gibi değişkenlere göre sınıflandırılmaktadır. Molekül ağırlığı rafine edilmesi bağlı olarak azaltılabilmekte, viskozitesi düşürülmekte ve bu durum da maliyeti arttırmaktadır. Molekül ağırlığı daha yüksek yakıtlar ise çoğunlukla hane ısıtılması ve endüstriyel fırınlarda kullanılmaktadır. Kompresyonla ateşlenen dizeL motorlarda genellikle düşük molekül ağırlığına sahip yakıt kullanılmaktadır.

Krank milinin 360 derecelik açısında yani bir tam devrinde iş çevrimi oluşturan motorlara iki stroklu, krank milinin 720 derecelik açısında yani iki devird iş çevrimi oluşturan motorlara dört stroklu motor denir. Dört stroklu dizeL motorda, iş çevrimini aşağıda verildiği şekilde dört maddede özetleyebiliriz. Şekil 3.3'te çevrimler gösterilmiştir.

1. Temiz havanın silindire alınması.
2. Bu havanın sıkıştırılması sonucu basıncın ve sıcaklığın silindir içinde yükseltilmesi.
3. Yakıtın püskürtülmesiyle yanma olayının gerçekleştirilmesi. Bu sayede iş strokunun meydana gelmesi.
4. İş sonucu oluşan gazın tahliye edilmesi ve basınç ile sıcaklığın silindir içine düşmesi [12].



Şekil 3.3. Dört stroklu dizel motorda çevrim [13]

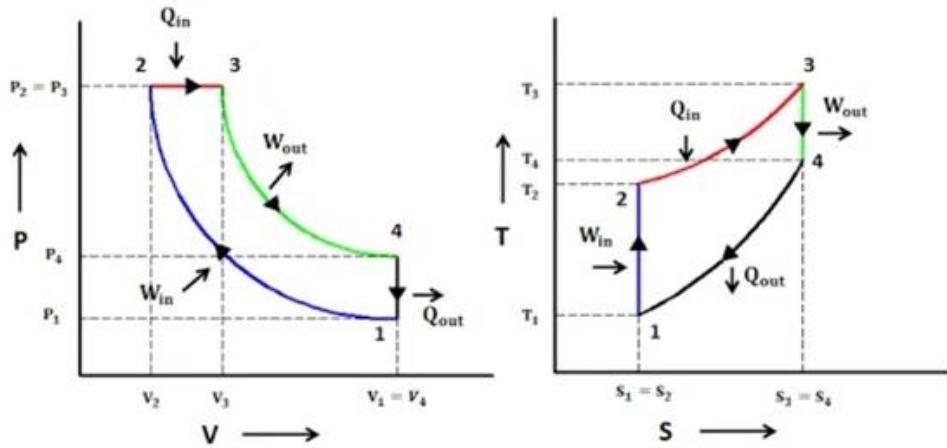
Çevrim emme stroku ile başlar. Pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya inişiyle, açılan emme supabıyla silindire hava akışı sağlanır. Bu süreçte egzoz supabı kapalıdır. Yanma odası hava ile doldurulur. Süreç pistonun alt ölü noktaya gelmesiyle sonlanır. Bu süreçte motor enerji üretmez. Krank mili motorun hareketli parçalarının ataletiyle döner.

Sıkıştırma strokunda, piston alt ölü noktadan başlar. Sıkıştırma sürecinde emme ve egzoz supapları kapalı haldedir. Piston üst ölü noktaya doğru hareket ederek silindir içindeki hava sıkışır ve maksimum basınca ulaşır. Piston üst ölü noktaya ulaşmadan, yakıt sıkışan havaya püskürtülür. Bu süreçte de motor enerji üretmez. Krank mili motorun hareketli parçalarının ataletiyle döner.

Genişleme stroku üst ölü noktadan başlar. Emme ve egzoz supapları hâlâ kapalıdır. Sıkıştırılan havaya yakıtın püskürtülmesiyle yanma başlar. Silindir içinde basınç hızla artar. Oluşan basınçla piston alt ölü noktaya itilir. Sadece genişleme strokunda motor enerji üretir.

Egzoz stroku genişleme strokundan sonra başlar. Piston alt ölü noktadadır. Bu süreçte egzoz supabı açıktır. Piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya giderken yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının çoğu silindirden atılır. Bu süreçte motor enerji üretmez. Krank mili motorun hareketli parçalarının ataletiyle döner.

Dizel çevriminde silindir içindeki basınç - özgül hacim ve sıcaklık - entropi değişkenleri, Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu iki ideal diyagram ile iş sürecindeki P-V ve T-S ilişkisi daha net görülmektedir.



Şekil 3.4. Dört stroklu dizel motorda ideal P-V ve T-s diyagramları (http-5)

Basınç hacim ve sıcaklık entropi diyagramlarında;

0-1'de emme stroku ve 1-0'da egzoz stroku gerçekleşmektedir. 1-2 sıkıştırma (izentropik) strokunda basınç ve sıcaklık artmaktadır. Sıkıştırma strokunda, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya hareket eder. 2-3'te yakıt sıkıştırılmış havaya püskürtülür. Sabit basınçta ısı artışı meydana gelir. Hacim ve sıcaklık artar. 3-4'te yanma sonucu genişleme (izentropik) meydana gelir, iş strokudur. Piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya gider. 4-1'de piston alt ölü noktadadır. Soğutucu akışkan sıcaklığı düşürür. Sabit hacimde basınç, sıcaklık ve entropi düşer.

3.2. Motor Bloğu

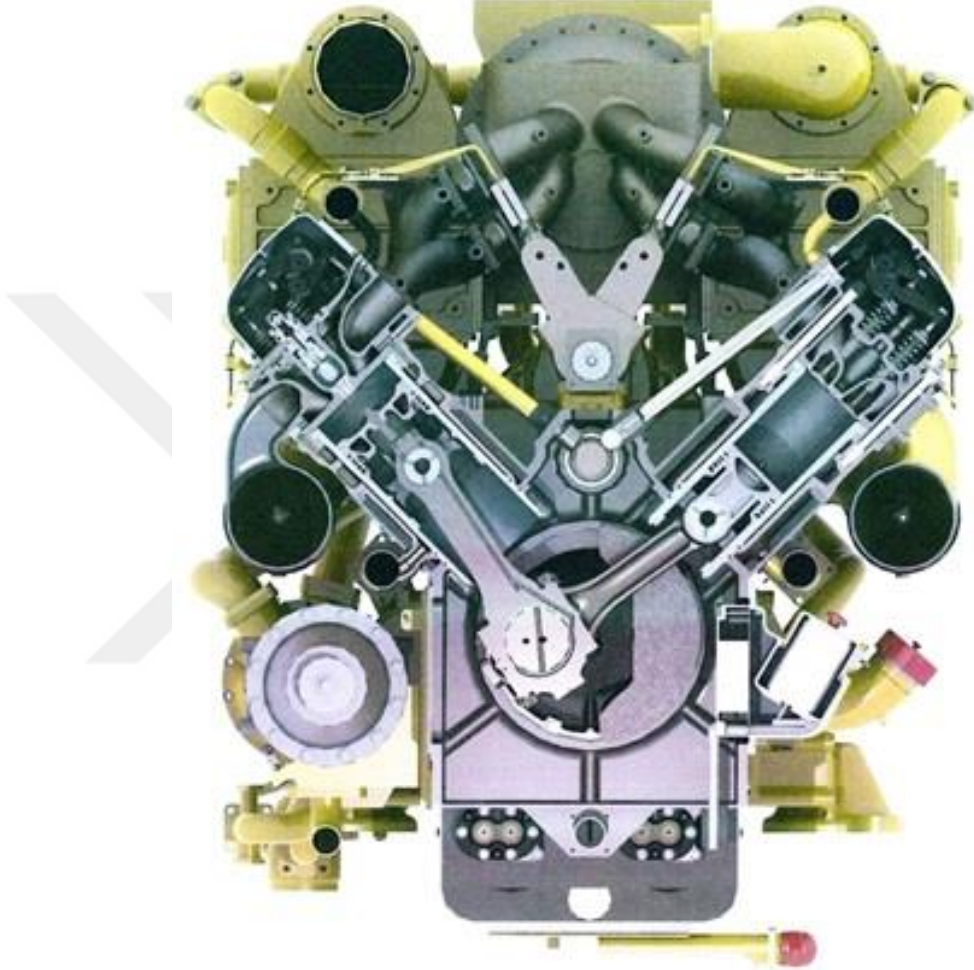
Motor bloğu; silindir başlığı, kam mili ve krank mili gibi parçaların montajının yapıldığı motorun en ağır ve büyük parçasıdır. Araştırmada incelenen ağır hizmet dizel motor bloğuna 16 silindir başlığı bulunmaktadır. Ek olarak, silindir başlığının maruz kaldığı kadar büyük termal yüklere maruz kalmazlar.

3.3. Krank Mili ve Kam Mili

Genişleme strokuyla ortaya çıkan enerji, piston ile harekete dönüşür ve tahrik biyeline iletilir. Aktarılan doğrusal hareket, krank milinde dönme hareketine çevrilir. Kam mili (eksantrik mil) üzerindeki kamlarla supapların zamanında ve gerektiği kadar açılıp kapanmasını sağlar. Bununla beraber helis dişli yardımıyla distribütör, yağ pompası gibi bileşenleri çalıştıran kam milleri de vardır.

3.4. Silindir Başığı

Şekil 3.5'te, ağır hizmet dizel motorun kesit görünümü verilmiştir. Enjektör, supap, supap yayı ve bagaların silindir başlığındaki konumları; su ceketı, yanma sonucu hareket kazanan piston ve tahrik biyeli görölmektedir.



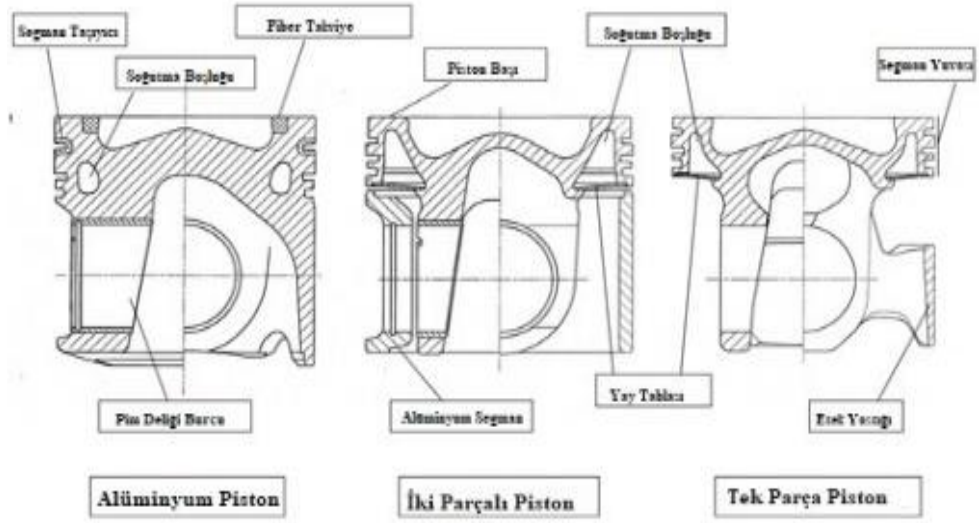
Şekil 3.5. Ağır hizmet dizel motorun kesit görünümü (http-8)

Ağır hizmet dizel motoru, diğer içten yanmalı motorlara kıyasla en yükek silindir içi basınca sahiptir. Gelişmeler sonucu verim ve elde edilen güce paralel olarak, yanma sonucu oluşan sıcaklık ve basınç da artmaktadır. Bu durum silindir başlığıının maruz kaldığı mekanik ve termal yükleri de arttırmaktadır. 1970'lerden 2000'lere kadar yapılan çalışmalar sonucu silindir içi basınç 200 bar civarına ulaşmıştır. Silindir başlıkları muhtelif ihtiyaçlara cevap vermek için kompleks geometrili, birçok ağza sahip (emme, egzoz vb.), mekanik ve termal yüklere dayanacak malzemelerden üretilirler. Bu nedenle imalat sırasında birçok işleminden geçmektedir. 10-15 L hacmindeki silindir başlıkları

çoğunlukla gri dökme demirden imal edilir. Verim ve elde edilen gücün artması için gelecekte silindir başlıkları için yeni tasarım ve malzemelerin kullanılacağı düşünülmektedir [14,15].

Yanma sonucu oluşan ısının piston, silindir başlığı ve silindir bloğu gibi komponentlerden giderilmesi su ceketinin temel işlevidir. İyi tasarlanmış bir soğutma sistemi ve çalışma sıcaklığı aralığı ile düzgün yanma, motor yağlama sisteminin doğru çalışması gibi konularda destek sağlanabilir. Su ceketlerindeki karmaşık geometri ve akış yolundan dolayı deneysel olarak su ceketindeki davranışı araştırmak zordur. Fakat hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve bilgisayar destekli mühendislik programları ile son yıllarda bu alandaki zorluklar önemli ölçüde aşılmıştır. Bu sayede tüm motor bloğundaki sıcaklık dağılımını öngörme fırsatı elde edilmiştir. Ek olarak kavitasyon ve kabarcıklı kaynama gibi olayların araştırılmasında da yardımcı olmaktadır [16].

Piston, içten yanmalı motorda alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasındaki strok mesafesinde hareket etmektedir. Bu hareketi sonucu dört stroklu dizel motorda emme, sıkıştırma, genişleme ve egzoz strokları meydana gelir. Genişleme strokunda maruz kaldığı basınç, tahrik biyeli ve krank mili aracılığıyla işe çevrilir. Motor enerji üretir. Şekil 3.6'da alüminyum piston, iki parçalı piston ve monoterm piston gösterilmiştir. Alüminyum pistonlarda mekanik ve termal yüklere dayanması için; soğutma kanalları, fiber takviyeler, pim delikleri bulunmaktadır. 1980'lerin sonunda kullanıma giren iki parçalı pistonlarda piston başında kullanılan dövme çelik sayesinde bir milyon mile kadar mukavimliğini koruyabilmektedir. 2000'lerde kullanıma giren Monotherm piston yekpare çelikten üretilmiştir. İki parçalı pistona göre daha hafiftir [17].



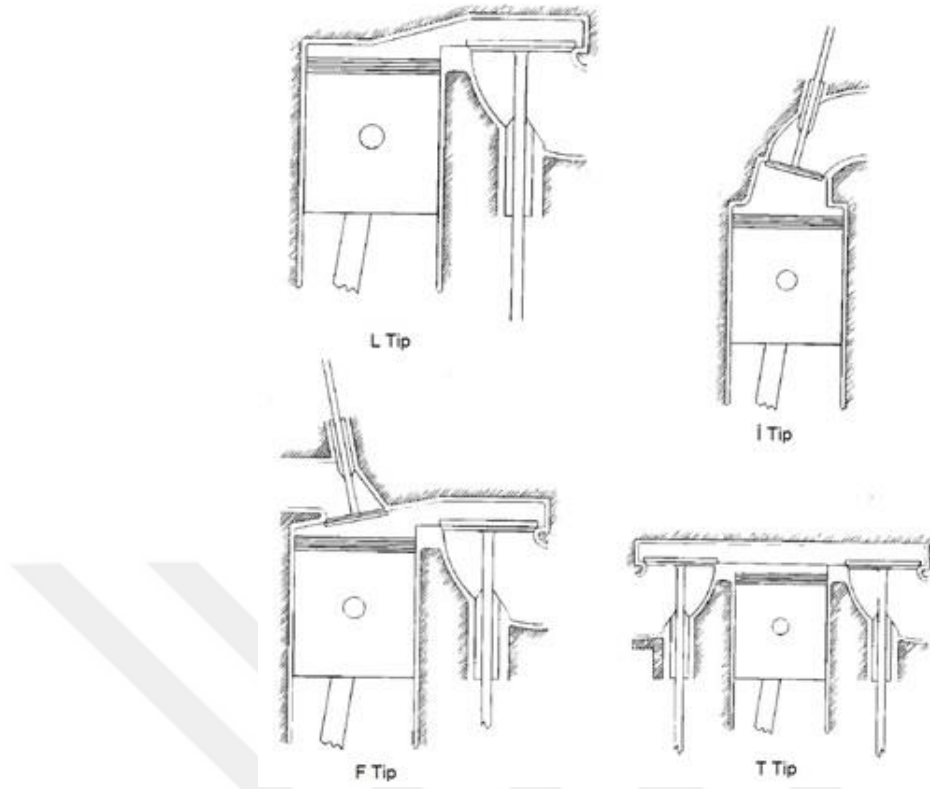
Şekil 3.6. Genel anlamda piston çeşitleri [17]

Yakıt enjeksiyonun temel amacı kısa sürede buharlaştırdığı yakıtı hava ile karıştırmaktır. Kam miliyle harekete geçen yakıt enjeksiyon sistemlerinde, yakıt basıncı motor devrine bağlıdır. Common Rail yakıt enjeksiyon sistemiyle bu bağımlılık aşılmıştır. Bu sistemle enjeksiyon basıncı ve zamanlama geniş ölçüde değiştirilebilmektedir [18].

3.4.1. Supap ve bagalar

Dizel motorda supaplar temelde ikiye ayrılır; egzoz supapları ve emme supapları. Egzoz supabı, yanma sonucu oluşan gazların dışarı atılmasını; emme supabı ise taze havanın silindire alınması sağlar. Bunun yanında genişleme ve sıkıştırma stroklarında sızdırmazlık sağlarlar.

İçten yanmalı motordaki supapların silindir başlığı ve motor bloğundaki konumlarına göre üçe ayırmak mümkündür. Supabın silindirin sütünde olması (İ Tip), supabın silindir içinde olması (L ve T Tip), bir supabın silindir üstünde bir supabın silindir içinde olması (F Tip) durumudur (Bkz. Şekil 3.7) [19].



Şekil 3.7. İçten yanmalı motorların supap konumuna göre sınıflandırılması [19]

Supap tertibatı temel olarak; supap, supap bagası, supap gaydı (supap kılavuzu), supap yayından (susta) meydana gelir. Bu tertibat araştırmada incelenen motorda kam mili tarafından tahrik edilir.

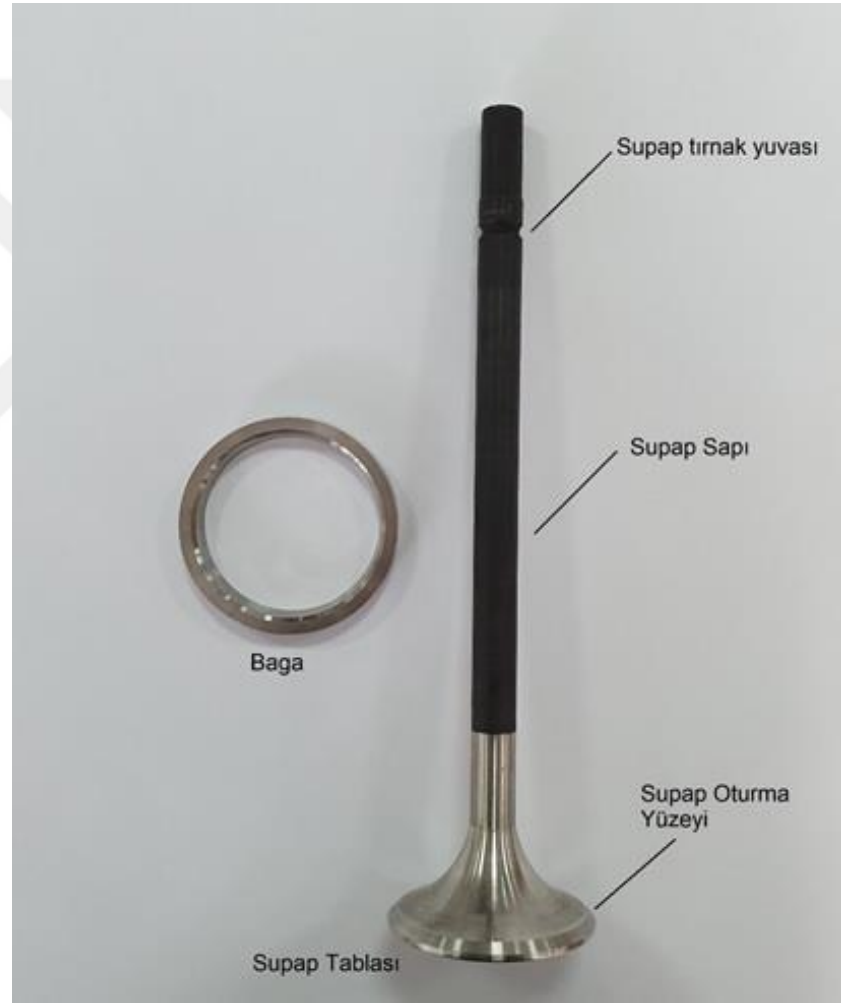
Supap gaydı, supabın belirli eksen doğrultusunda hareket etmesini sağlar. Silindir başlığına presle geçen veya direkt motor bloğuna açılmış tipleri vardır. Supapların açılma zamanları dışında sızdırmazlık sağlayacak şekilde kapalı kalması, supap yaylarının görevidir. Isı ve darbelere dayanıklı olacak şekilde imal edilirler. İç içe iki yayın kullanıldığı tasarımlar bulunmaktadır.

En yaygın kullanılan supap, mantar başlı supaptır. Bu tezde supap olarak mantar başlı supap kastedilmiştir. Isıyı silindir başlığına iletmesi, ucuz olması ve gaz akışını kolaylaştıran yapısı gibi özellikleri tercih sebebidir. Supap diski ve rotatif (döner) supap örnekleriyle hâlâ karşılaşılmaya rağmen, ısı transferi ve açıklık gibi dezavantajları kullanım alanını azaltmaktadır [20].

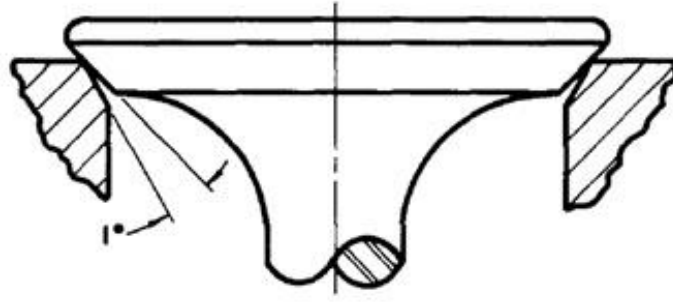
Supap, supap sapı ve tablasından oluşur. Supap sapında bulunan tırnak yuvası, yay tablasını tutar. Supap tablasında supap oturma yüzeyi diye adlandırılan kısım, supap

kapandığında бага ile temas ederek sızdırmazlığın sağlandığı yüzeydir [21]. Şekil 3.8’de ağır hizmet dizel motorda kullanılan supap ve бага gösterilmiştir.

Supap ve баганın temas yüzeylerine genellikle 45 derecelik açı verilir. Bu şekilde supap ve бага sızdırmazlık için kapandığında yüzey teması sağlanır. Supap баганın temas yüzeylerinin açı farkı oluşacak şekilde işlendiği uygulamalar da vardır. Bu yolla supap ve бага kapandığında hem daha iyi sızdırmazlık sağlar hem de montaj sırasında meydana gelebilecek kaçıklıkların olumsuz etkisi azaltılır [22, 23]. Şekil 3.9’da supap ve баганın temas yüzeylerine işlenerek verilen açı gösterilmiştir.

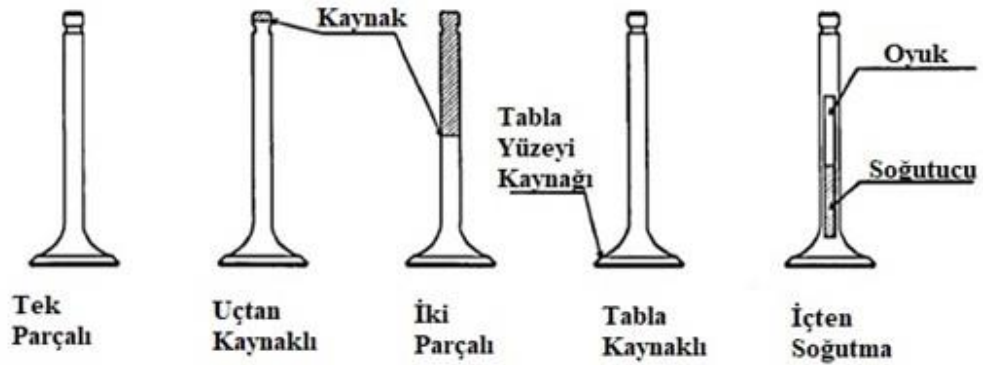


Şekil 3.8. Mantar başlı supap kısımları ve бага



Şekil 3.9. Supap-baga temas yüzeyine açi verilmesi (Kavrama açısı) [22]

Farklı maliyette ve ihtiyaçlara göre mantar başlı supap tasarımları vardır. Tek parçalı supaplar; uygun maliyetlidir. Yolcu araçlarında yaygın olarak kullanılır. Uçtan kaynaklı supaplar; supap tırnak yuvası ile supap sapı ucundaki aşınmayı engellemek için kullanılır. Kaynakta sertleştirilmiş martenzitik çelik kullanılan uygulamalar vardır. Tablaya kaynak yapılan uygulamalar; supap tablasında özellikle de supap бага temas yüzeylerinde aşınma direncini arttırmak için yüzey sertleştirme alaşımlarının gaz örtülü ark kaynağı veya korumalı ark kaynağı kullanılarak uygulanmasıdır. İki parçalı supaplar; östenitik supap tablası ile sertleştirilmiş martenzitik supap sapı kaynak ile birleştirilir. İçten soğutmalı supaplar; supap içindeki oyukta ısıyı supap tablasından supap sapına ve oradan da silindir başına iletmek için genellikle sodyum kullanılan uygulamalardır. Supap sıcaklığını etkin bir şekilde düşürmeye yardımcı olur [24]. Şekil 3.10'da karakteristik supaplar gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Karakteristik supap türleri [24]

Emme supaplarının imalatında genellikle tek parçalı tasarımlar kullanılırken, egzoz supaplarında iki parçalı tasarımlar kullanılmaktadır. 90'lı yıllar boyunca emme

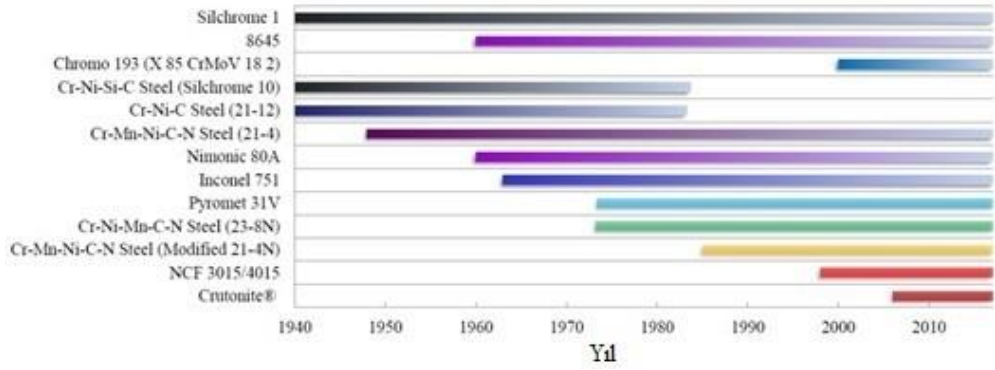
supapları çoğulukla sertleştirilmiş martenzitik düşük alaşımlı çelikten üretilmiştir. Bu malzeme ile aşınma direnci, iyi mukavemet ve oksidasyon direnci sağlanır. Egzoz supapları yüksek sıcaklığa, termal yüklere ve korozyif gazlara maruz kalır. Malzeme seçiminde bu etkiler göz önüne alınır [24]. Doksanlı yıllarda kullanılan supap ve bagaların Tablo 3.1’de malzeme kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 3.1. 90’lı yıllara kadar supap için kullanılan malzemeler [25]

Malzeme	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	Ni	Diğer
Martenzitik									
X45CrSi9 3 (1.4718)	0,40- 0,50	2,7- 3,3	0,8 max.	0,040	0,030	8-10			
X40CrSiMo10 2 (1.4731)	0,35- 0,45	2-3	0,8 max.	0,040	0,030	9-11	0,8- 1,3		
X85CrMoV18 2 (1.4748)	0,80- 0,90	1 max.	1,5 max.	0,040	0,030	16,5- 18,5	2-2,5		V
Östenitik									
X45CrNiW18 9 (1.4873)	0,40- 0,50	2-3	0,8- 1,5	0,045	0,030	17-19		8-10	W
X55CrMnNiN 20 8 (1.4875)	0,50- 0,60	0,25 max.	7-10	0,050	0,030	19,5- 21,5		2- 2,75	N
X53CrMnNiN 21 9 (1.4871)	0,48- 0,58	0,25 max.	7-10	0,050	0,030	20-22		3,25- 4,5	N
X50CrMnNiNbN 21 9 (1.4882)	0,45- 0,55	0,45 max.	8-10	0,050	0,030	20-22		3,5-5	W, Nb + Ta
X60CrMnMoVNbN 21 10 (1.4785)	0,57- 0,65	0,25 max.	9,5- 11,5	0,050	0,025	20-22	0,75- 1,25	1,50 max.	Nb,V,N

Silindir içi basınç 1970’lerden 2000 ortalarına kadar düzenli şekilde artmış ve 200 bara ulaşmıştır [15]. Bu duruma paralel olarak ağır hizmet dizel motorlarındaki supap ve bagalar yüksek gerilime, egzoz gazlarına ve 700°C’yi aşan sıcaklıklara maruz kalmaktadır [26]. Bu nedenle bu şartlara dayanacak malzeme arayışı hâlâ sürmektedir.

1940’lardan günümüze ağır hizmet dizel motorlarda kullanılan malzeme kompozisyonları Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Ağır hizmet dizel motorlarında kullanılan supapların yaklaşık kullanım süreleri [27]

Çoğu alüminyum silindir başlığında бага kullanılır. Бага supap ile birlikte yanma odasında sızdırmazlığı sağlar. Sızdırmazlık sayesinde yanma sonucu gerekli basınç elde edilir. Temiz yanma, egzoz emisyonlarının azaltılması ve verimli çalışan bir motor için supap ve baganın uyumlu çalışması elzemdir. Bagadan kapanma sırasında supabın çarpma etkisine, yüksek sıcaklığa, yanmış gazların korozyif etkisine dayanmasının yanında kolay işlenebilirlik ve optimum maliyet beklenir [28]. Şekil 3.12’de ağır hizmet dizel motorda kullanılan egzoz supap bagası gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Egzoz supap bagası

Baga imalinde malzeme standardizasyonuna gidilmemiş ve gerekli ihtiyaçlara göre alaşımlar kullanılmıştır. Kullanılan malzemeleri temelde döküm alaşımlar ve toz metalurjisi kullanılanlar olarak ikiye ayırabiliriz [28].

Döküm alaşımlar; dökme (pik) demir, martenzitik dökme çelik ve demir dışı dökme alaşımları kapsar. Dökme demir uygulamasında, düşük alaşımlı gri dökme demir ve östenit dökme demir kullanılmaktadır. Martenzitik dökme çelik uygulamasında, takım çeliği ve paslanmaz martenzitik çelik kullanılır. Korozyon direncini arttırmak için krom kullanılır. Demir dışı dökme alaşım uygulamasında, yüksek oranda nikel ve kobalt bulunur. Bu şekilde yüksek dayanım elde edilirken; artan maliyet, düşük ısı iletimi ve zor işlenebilirlik gibi dezavantajlar ortaya çıkmaktadır [28].

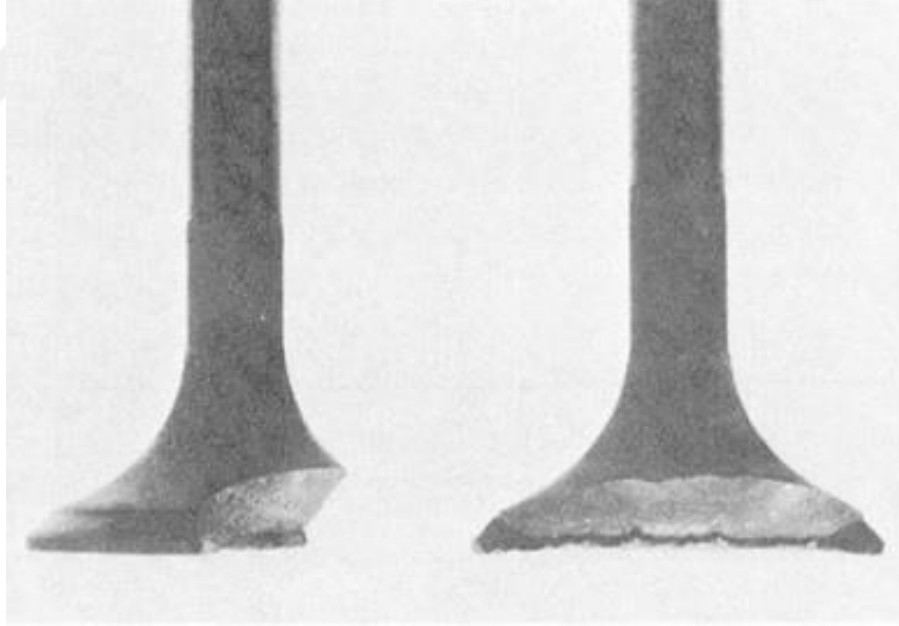
Toz metalurjisi kullanılan imalatatta; düşük alaşımlı çelikler, orta alaşımlı çelikler, yüksek alaşımlı çelikler ve demir dışı alaşımlar kullanılır. Düşük alaşımlı çelikler daha çok benzinli motorlardaki emme supap bagalarında kullanılır. Alaşım temelde demir, bakır ve karbon temellidir. Aşınma direnci nikel ve molibden eklenerek arttırılır. Alaşım elementleri toplamı %5'in altındadır. Orta alaşımlı çelikler genelde benzinli motorların egzoz supap bagaları ile dizel motorların emme ve egzoz komponentlerinde kullanılır. En yaygın kullanılanları; intermetalik fazların da olduğu martenzitik çelikler, Cr, W, V, Mo ya da Si alaşımlı yüksek hız çelikleridir. Yüksek alaşımlı çelikler martenzitik ve östenit malzemeleri kapsar. Yüksek sıcaklıkta oksidasyon ve korozyona dayanım sağlar. Ni, Cr, Co gibi alaşım elementleri kullanılır [28].

4. EGZOZ SUPAP VE BAGASINDA GÖRÜLEN HASAR

4.1. Egzoz Supabında Hasar

Yüksek sıcaklık korozyonu, sülfidasyon tarafından hızlandırılmış oksidasyon olayıdır. Yüksek sıcaklık korozyonunun meydana gelmesinde genelde üç durum etkili olmaktadır. Bunlar; yüksek sıcaklıkta meydana gelen oksidasyon (760 °C ve üstü), sülfür varlığı ve kül formunda bileşenlerdir. Dizel motorun egzoz supap ve bagası da bu üç etmene maruz kalmaktadır. Hem demir bazlı hem de nikel bazlı alaşımlarda yüksek sıcaklık korozyonu görülmektedir [29].

Supap kırılması, supap yanma hasarı kadar sık görülen bir hasar değildir. Yine de meydana geldiğinde ciddi bir hasar ortaya çıkmaktadır. Supap kırılma nedenlerini; бага veya supap tablası distorsiyonu nedeniyle eğilme gerilimi, uygun olmayan supap mekanizmasından kaynaklanan çarpma gerilmesi, supap tablasında yüksek ısıdan kaynaklanan termal gerilmeler olarak sıralayabiliriz [30]. Şekil 4.1’de supap tablasındaki hasar gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Dizel motor egzoz supap hasarı [30]

Erozyon korozyonu, korozif bir akışkanın metal yüzeyindeki hızından veya hızındaki değişimden kaynaklanır. Genelde bu hız yüksektir. Mekanik ve abrasif aşınmada meydana gelir. Mekanik malzeme kaybını korozyon aşınması izler [31]. Scott C.G. (1995) vd. çalışmasında [32] dizel nikel temelli egzoz supaplarındaki erozyon

korozyonunu incelenmiştir. Erozyon korozyonu aşınması kaynaklı supap oyulmasında; korozyonun yükselen sıcaklıktaki hızlanmış oksidasyondan oluştuğu belirtmiştir. Zayıflayan malzemedeki erozyon sonucu supapta sızdırmanın ortaya çıktığı açıklanmıştır.

Supap yanma hasarındaki en yaygın sebep, supap oturma distorsiyonu ve yanma veya yağlama sonucu oluşan tortu birikimidir. Bunun yanında supapta çatlaklar, termal yükler, yanlış supap açıklığı ve supabın бага ile temas yüzeyindeki aşınma da hasar sebeplerinden biri olabilir. Bu nedenle hasara neden olan ana sebebin belirlenmesi önemlidir. Supap oturma distorsiyonunda, supap бага temas yüzeyinde yanan alan ortaya çıkar [30].

4.2. Egzoz Supap Bagasında Hasar

Bagada görülen aşınma mekanizmaları korozyon, adhezyon, oksidasyon ve abrasyon kapsamında incelenebilir. Korozyon oluşumunda, yüksek nikelli alaşımların nikel sülfür ötektiği oluşumu rol alır. Malzemenin ergime noktasını düşürür. Bu koroziif olay sonucu malzeme kaybı ortaya çıkar. Adhezyon oluşumunda, mikro kaynakları takip eden çatlaklar ortaya çıkar. Supap бага arasında malzeme transferi ortaya çıkar. Çukurcuklanma ortaya çıkabilir. Oksidasyon sonucu malzeme gevrekleşir. Gerilim altında malzeme yüzeyinden kayıp yaşanır. Abrasyonda, mikro düzeyde mekanik aşınma ortaya çıkar. Sertliği daha yüksek supap бага ikilisinden biri diğerinden mikro düzeyde parka kaldırır. Malzeme transferi sınırlı orandadır [28].

Wang Y.S. (1995) vd. çalışmasında [9] adhesif aşınma, abrasif aşınma, oksidasyon ve korozyonun yanında hasar mekanizmasında kesme (kayma) geriniminin de önemli etmenlerden biri olduğunu belirtmiştir. Supap бага arasındaki sürtünme katsayısının düşürülmesiyle; adhesif, abrasif ve kesme (kayma) gerinimi kaynaklı hasarın da ciddi oranda düşürülebileceğini ifade etmiştir. Bu nedenle kendinden yağlamalı malzemelerin supap ve бага için daha önemli olacağını öngörmüştür.

Çalışma ortamından dolayı бага imalinde seçilecek malzeme, bu aşınma mekanizmalarına tasarımcının belirleyeceği süre boyunca dayanmalıdır.

Dayanımı arttırabilmek için, bagada kullanılacak malzeme seçimi çok önemlidir. Yanma sonrası ortaya çıkan sıcak egzoz gazlarının tahliyesinde görev aldığı için, sıcak sertlik değeri önemli bir parametredir. Çalışma sıcaklığındaki sertlik değeri, бага malzemesi seçilirken göz önünde bulundurulmalıdır. Kobalt bazlı alaşımların, 600 °C'ye

kadar sertlik değerini 70 HRA üzerinde tutabilir. Nikel bazlı alaşımlar 600 °C'yi geçince 70 HRA altına düşerken, demir bazlı alaşımlarda 600 °C'ye varmadan sertlik değeri ciddi anlamda düşer [28].

Baga, silindir başlığına pres geçme ile yerleştirilir. Bu nedenle silindir başlığı ile бага arasında benzer ısı genleşme katsayısının olması istenir. Aksi halde, artan sıcaklıkla birlikte бага silindir başlığında gevşer, hatta düşebilir. Baga malzeme seçiminde, demir döküm veya alüminyum silindir başlığının kullanılması önemli bir parametredir. Supabın sıcaklığının düşürülmesinde бага önemli bir rol üstlenir. Yüksek sıcaklıktaki supabın sıcaklığı бага üzerinden silindir başlığına iletilir. Bagadaki gerilimi mümkün olduğu miktarda düşük tutabilmek için, yükek yoğunluklu malzeme seçilmelidir. Özellikle supap бага temas yüzeyinde yüksek gerilim değerleri ortaya çıkar [28].

Tüm bunların yanı sıra, baganın imalinde kolay işlenebilirlik ve maliyet de üreticiler tarafından göz önünde bulundurulur.

5. MATERYAL METOT

5.1. Egzoz Supap Bagasının Kütle Kaybı ve Deformasyon Kontrolü

Numunelerin kütle ölçümü yapılmıştır. Ölçümler esnasında aşağıdaki görselde paylaşılan cihaz (Bkz. şekil 5.1) kullanılmıştır. Hasarlı ve hasarsız numunelerden 0,01 g toleransta    ölçüm alınmıştır.



şekil 5.1. Elektronik tartım cihazı

Numunelerdeki çökmelerin kumpas yardımıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Deformasyon boyutu geometrik olarak incelenmiştir. Ölçümler esnasında kumpas (Bkz. şekil 5.2) kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Kumpas

5.2. Sertlik Ölçümü

Numunelerin yüzeyinden Şekil 5.3'te gösterilen QNess 250M cihazıyla Rockwell C değeri üzerinden 5 noktadan sertlik değeri bulunmuştur. Deney TS EN ISO 6508-1 Metalik Malzemeler – Rockwell Sertlik Deneyi standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümde iki бага üzerinden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3. Sertlik ölçüm cihazı

5.3. Kimyasal Analiz

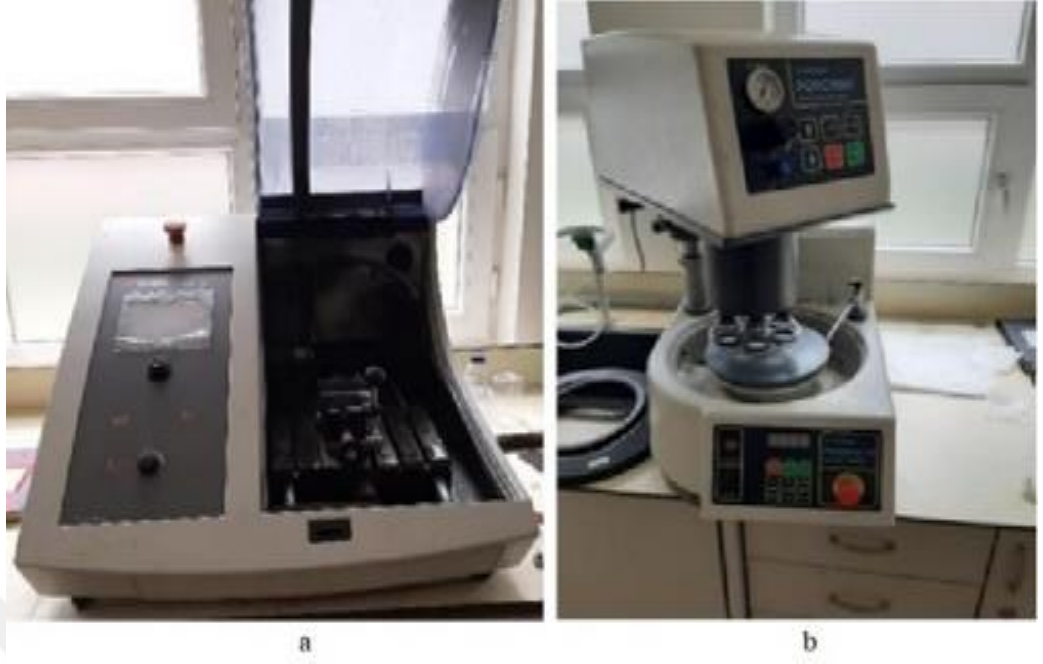
Hasarlı ve kullanılmamış baganın malzeme kompozisyonu Thermo Fisher Scientific Arl İspark Synoptics cihazı ile (Bkz. Şekil 5.4) bulunmuştur. Deneyde hasarlı baganın, supapla temas eden kısmı testere ile kesilmiş, taşlanmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Kullanılmamış baganın dışı taşlanmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.5'te kimyasal analiz için hazırlanan numuneler ve Şekil 5.6'da numune hazırlanırken kullanılan kesme cihazı (Struers Secotom-15) ve zımparalama parlatma cihazı (Metkon/Forcipol 1V) verilmiştir.



Şekil 5.4. Spektrometre



Şekil 5.5. Kimyasal analiz için kullanılan numuneler



Şekil 5.6. Numune hazırlama için kullanılan cihazlar, a) kesme cihazı, b) zımparalama ve parlatma cihazı.

5.4. Supap Yayları Üzerinde Yapılan Kontroller ve Yay Katsayısının Belirlenmesi

BESMAK BMT-300E basma çekme cihazında (Bkz. Şekil 5.7) 5 s gecikmeli, 10 N/s yük kontrol hızında iç ve dış supap yayları için esneklik katsayısı bulunmuştur



Şekil 5.7. Basma çekme cihazı

5.5. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme için Nikon Eclipse E200 optik mikroskop ve Supra 50VP SEM cihazı (Bkz. Şekil 5.8) kullanılmıştır. Mikroyapı incelemesi için numunede yüzey temizleme ve parlatma işlemi yapılmıştır. Dağlama sonucu optik mikroskop için numune hazır hale getirilmiştir.

Numuneler Al_2O_3 disk ile kesilmiştir. Zımparada SiC zımpara kağıdı, 240-320-600-1200 gritle kullanılmıştır. Her grit boyutunda, 300 RPM’de iki dakika su soğutmalı işlem yapılmıştır. Parlatma işlemi Al_2O_3 ile 150 RPM’de yapılmıştır. Dağlama işlemi %2 Nital çözeltisinde 30 saniye uygulanmıştır.

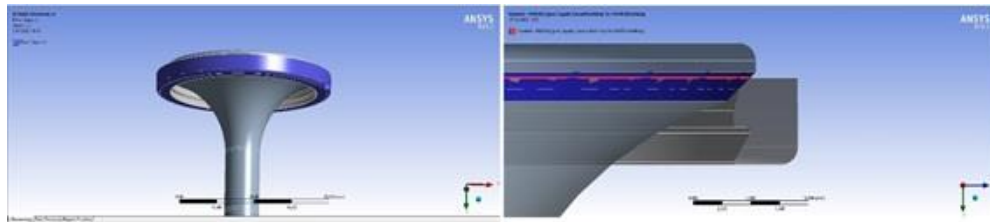


Şekil 5.8. Optik mikroskop (sol), SEM (sağ)

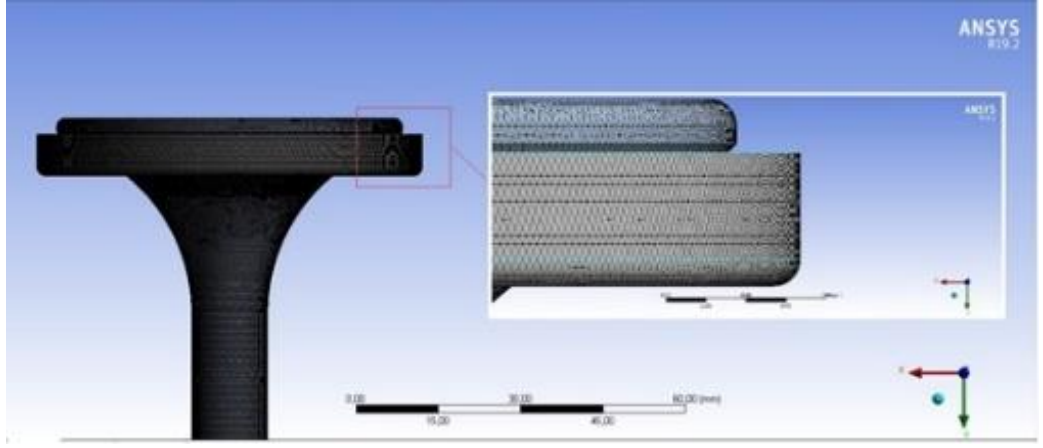
5.7. Sonlu Elemanlar Analizi

Araştırma kapsamında sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Nümerik çözümlemede ANSYS programı kullanılmıştır. Baga üzerindeki yük ANSYS 19.2 Mechanical (http-6) ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada statik olarak, silindir içindeki maksimum iç basınçta, kavrama açısının bagada oluşturduğu gerilimi gözlemlemek amaçlanmıştır.

Baganın motordaki montajına uygun şekilde sabit mesnetler ve ağ örgüsü (mesh yapısı) oluşturulmuştur. Baganın oturma yüzeyleri sabitlenmiştir. Supap ve baganın kavrama açısına uygun temas etmesi sağlanmış ve bağlı (bonded) temas tipi seçilmiştir. Şekil 5.9’da mesnetler ve temas tipi verilmiştir. Şekil 5.10’da elde edilen ağ örgüsü (mesh yapısı) gösterilmiştir.

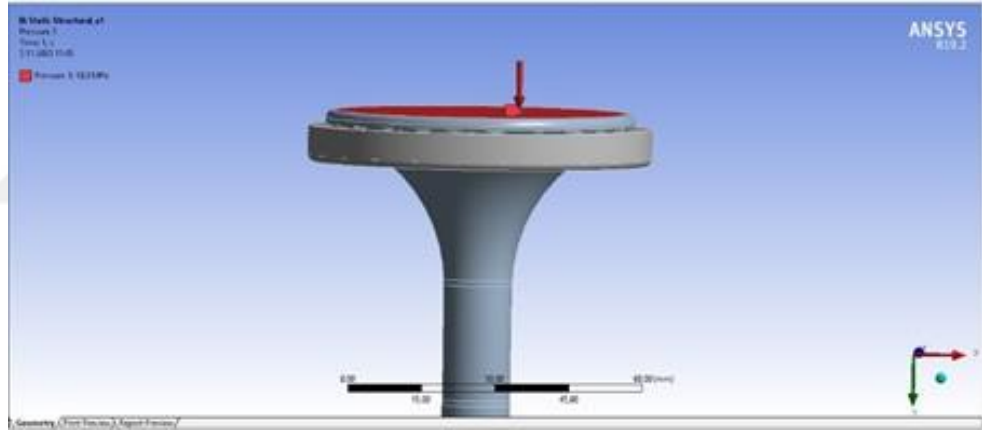


Şekil 5.9. Baganın silindir başlığındaki konumuna göre mesnetleri (sol) ve temas tipi (sağ)



Şekil 5.10. Ağ örgüsü

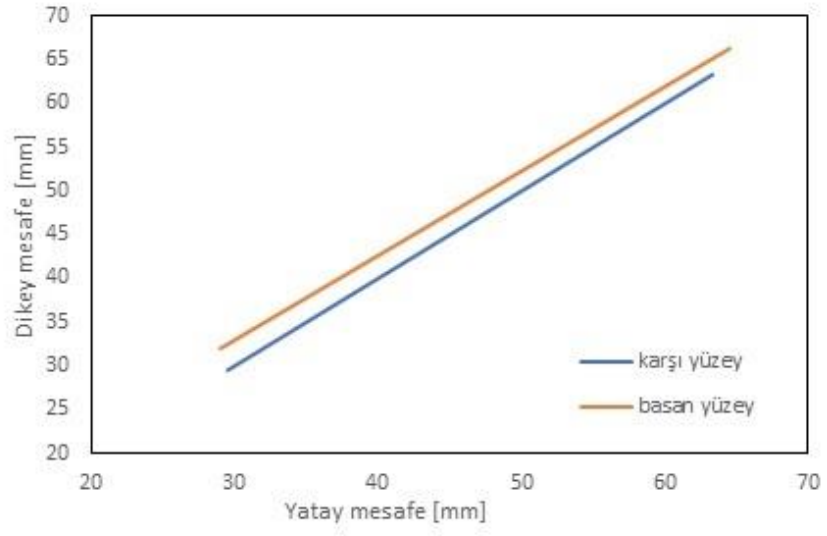
Supap tablası tabanına, ağır hizmet dizel motor katoloğunda belirtilen maksimum iç basınç 10,8 MPa (<http-8>) (Bkz. Şekil 5.11) uygulanmıştır.



Şekil 5.11. Supap tabanına etkiyen basınç

5.7. Temas Noktalarının Kontrolü

Temas noktalarının belirlenmesinde grafik metodu kullanılmıştır. İlk temasın başladığı noktalar belirlenmiştir. Temas yüzeyleri eğim açıları kullanılarak eğriler çizdirilmiştir. İki eğri arasındaki yükseklik ele alınmıştır. Şekil 5.12’de eğim açıları verilmiştir.



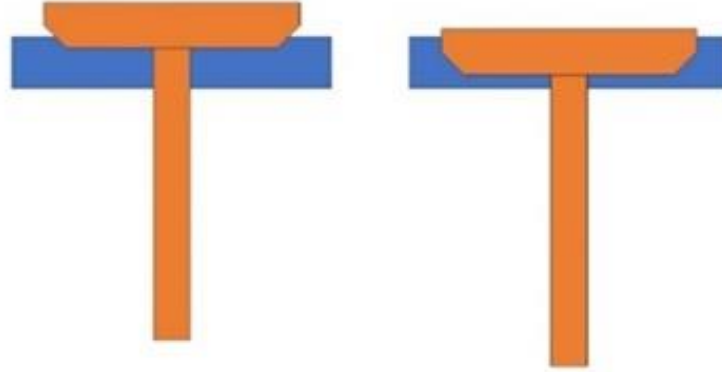
Şekil 5.12. *Temas yüzey açıları*

6. BULGU VE ARAŞTIRMA

Çalışma kapsamında ağır hizmet dizel motordan alınan hasarlı bir egzoz supap bagası kullanılmıştır. İncelenen egzoz supap bagası, AISI H13 (X40CrMoV5-1) sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. AISI H13 yüksek krom içerikli, mühendislik uygulamalarında geniş kullanım alanına sahip bir malzemedir. Karakteristik olarak, iyi mukavemet ve süneklik değerlerine sahiptir. Ekstrüzyon kalıplarında, bakır alaşımlarına sıcak pres yapılan cihazlarda kullanılır. Bu zorlu koşullarda kullanılan malzeme, görece uygun fiyatlıdır [33]. Tüm bu özelliklerine rağmen egzoz supap bagasında, zorlu çalışma koşullarından dolayı hasar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu tez kapsamında bagada meydana gelen hasar incelenmiştir.

6.1. Malzeme Kaybının Belirlenmesi

Görsel muayene sonucu hasarlı бага üzerinde ciddi miktarda malzeme kaybı gözlemlenmiştir. Şekil 6.1’de malzeme kaybı sonucu bagadaki aşınmanın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.1. Baga aşınmasının şematik gösterimi

Malzeme kaybının belirlenmesi için; kullanılmamış бага ile dizel elektrikli lokomotif ağır hizmet motorun silindir başlığından alınan hasarlı bir egzoz supap bagası karşılaştırılmıştır.

Hasarlı baganın supapla olan konumunu bakım sırasında motor üzerinde ölçmek, fabrika şartlarından dolayı mümkün olmamıştır. Bu nedenle supap tablası tabanı ile

baganın motordaki konumuna uygun halde, motor dışında kumpasla 0,01 mm toleransla üç ölçüm alınmıştır. Şekil 6.2’de kullanılmamış бага ile hasarlı baganın sırasıyla supapla olan konumu gösterilmiştir. Supap tablası ile baganın üst yüzeyi (silindir başlığına çakılan yüzey) arasındaki mesafenin ölçümü Şekil 6.3’te gösterilmektedir.



Şekil 6.2. *Kullanılmamış ve hasarlı baganın sırasıyla supapla ilişkisi*



Şekil 6.3. *Supap tabanı ile baganın yüzeyi arasındaki mesafe*

Tartım sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. *Tartım sonucu elde edilen sonuçlar*

Ölçüm Sayısı	Kullanılmamış Baga (gr)	Hasarlı Baga (gr)	Yüzde Kütle Kaybı
1.	58,84	52,73	%10
2.	58,84	52,73	
3.	58,84	52,73	

Hasarlı бага ile kullanılmamış бага arasında 6,11 gr fark bulunmuştur. Aşınma mekanizmaları sonucu baganın kütlece %10’u geçen kütle kaybına uğradığı tespit edilmiştir.

Baganın silindir başlığı tarafında kalan yüzeyinden supap tablası arasında kalan mesafenin tespiti için alınan üç ölçüm Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. *Baga yüzeyü ile supap tabanı arasındaki mesafe*

Ölçüm Sayısı	Kullanılmamış Baga (mm)	Hasarlı Baga (mm)
1.	11,33	9,47
2.	11,32	9,46
3.	11,33	9,48

Aşınma sonucu supabın бага içine ortalama 1,86 mm gömüldüğü bulunmuştur.

6.2. Baga ile Supap Arasındaki Temas Yüzeyinin Kontrolü

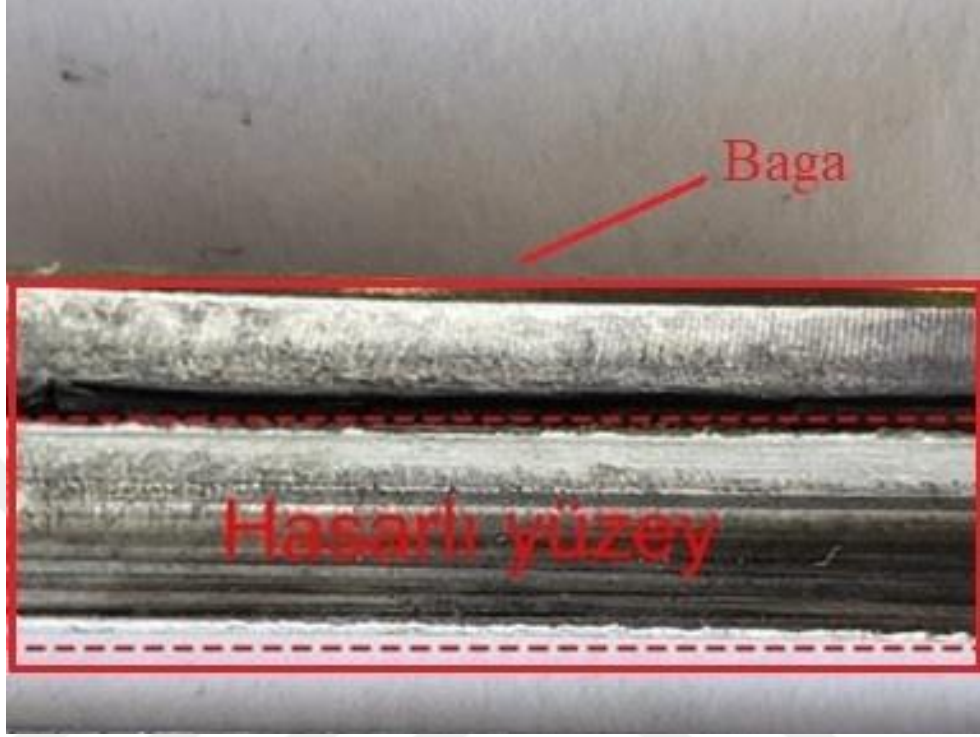
Supap tablası ile baganın en küçük alana sahip yüzeyde temas etmesi istenir. Genelde bu durum için temas eden yüzeyler arasında kavrama açısının bulunduğu tasarımlar mevcuttur.

Tavsiye edilen supap ve бага arasındaki kavrama açısı $\frac{1}{2}$ - 1 derecedir [34]. Bu sayede olabildiğine küçük bir yüzeye büyük gerilim uygulanması sağlanarak sızdırmazlık sağlanır. Bu çalışmada kullanılan supap ile baganın temas eden yüzeylerinin arasında bir derecelik fark bulunmaktadır.

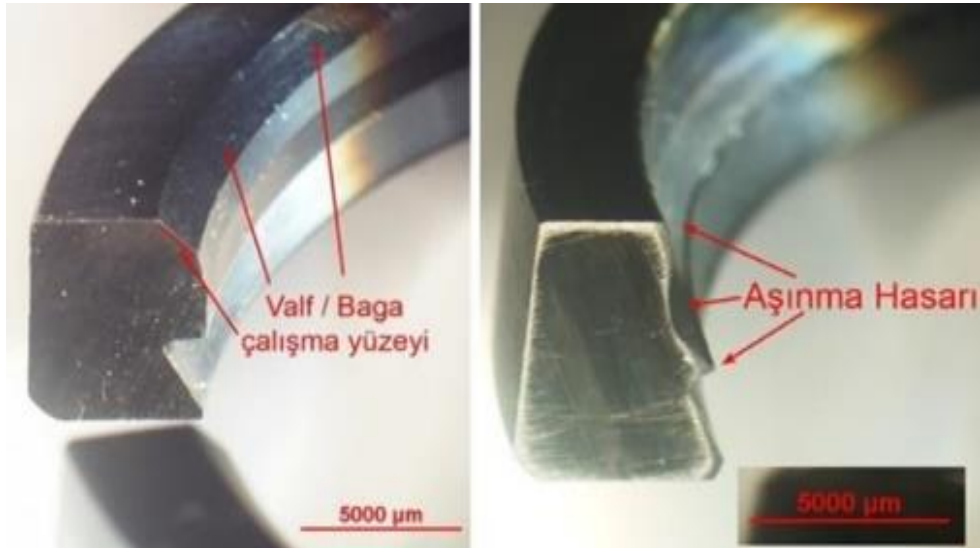
İncelenen ağır hizmet dizel motorunda kullanılan egzoz supap bagasının supap ile temas eden yüzeyi 45° ve malzemesi x40CrMoV5-1, egzoz supabının bagayla temas eden yüzeyi 44° ve malzemesi X53CrMnNiN21-9’dur. Supabın бага ile temas eden oturma yüzeyi Stellite 6 alaşımıdır.

Yüzeydeki aşınmanın anlaşılması kapsamında radyal kesitler alınmış ve incelenmiştir. Şekil 6.4’te hasarlı yüzey verilmiştir. Aşınan yüzey Şekil 6.5’te 6X

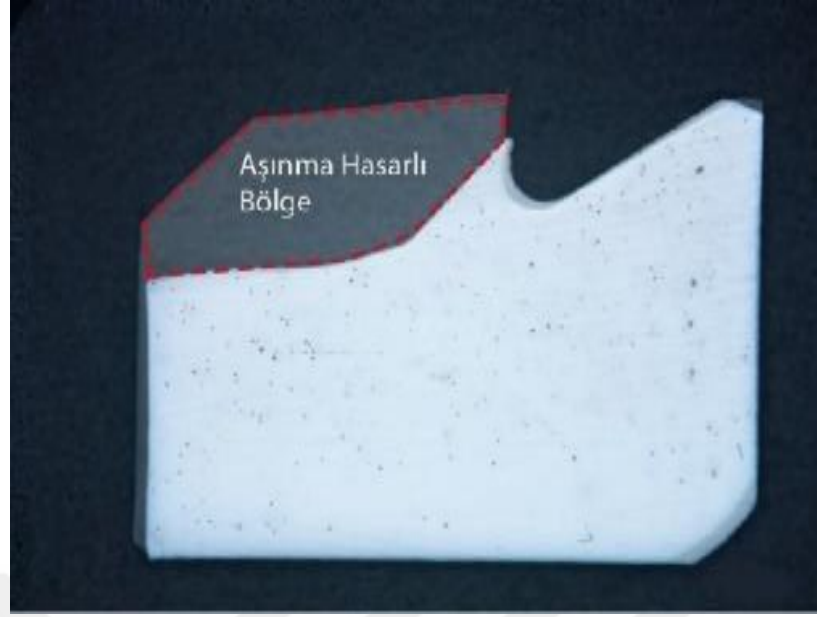
büyütülerek kullanılmamış бага ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.6’da hasar sonucu deforme olan yüzeyin alanı gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Hasarlı yüzey [35]



Şekil 6.5. Hasarlı бага ile kullanılmamış baganın yüzeyleri (6X) [35]



Şekil 6.6. Hasarlı bagada aşınan bölge (15X) [35]

Hasarlı ve kullanılmamış бага üzerinde yapılan karşılaştırmalar sonucu, bagadaki malzeme kaybının; supap eksenine paralel doğrultuda 3,5 mm ve malzeme kaybının 400 mm³ civarında olduğu görülmüştür [35].

6.3. Hasarın Numune Sertlik Değerine Etkisi

Rockwell C üzerinden, TS EN ISO 6508-1 Metalik Malzemeler – Rockwell Sertlik Deneyi standardına uygun şekilde 5 noktada bulunan sertlik değerleri Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Sertlik değerleri (Rockwell C)

Ölçüm	Kullanılmamış Baga	Hasarlı Baga
1.	45	45
2.	45	44
3.	46	45
4.	45	45
5.	45	45

Her iki bagada da Rockwell C üzerinden aynı değerler elde edilmiştir. Hasar sonu bagada sertlik değerinin değişmediği görülmüştür.

6.4. Hasarlı ve Kullanılmamış Baganın Malzeme Kompozisyonu

Hasarlı ve kullanılmamış baganın malzeme kompozisyonu incelenmiştir. Numuneler kesilmiş, taşlanmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Tablo 6.4'te hasarlı бага ve kullanılmamış baganın kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.4. *Başlık düzeni*

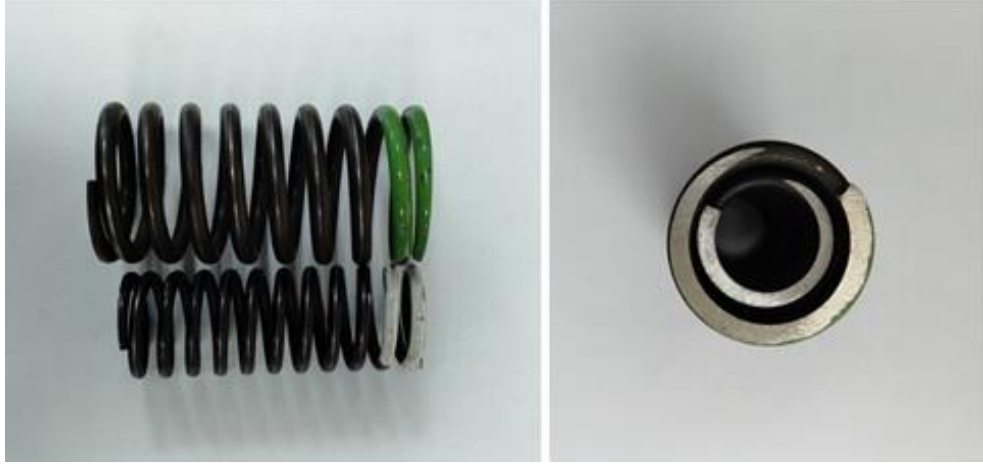
Element (%)	Kullanılmamış Baga	Hasarlı Baga
C	0,38	0,37
Si	0,86	0,71
Mn	0,37	0,18
P	0,012	0,023
S	0,001	0,052
Cr	4,96	4,55
Ni	0,17	0,30
Mo	0,99	1,23
V	0,66	0,63

Kullanılmamış бага ile hasarlı бага arasında herhangi bir uyumsuzluk görülmemiştir. Bulunan malzeme kompozisyonu teknik resimde verilen malzeme ile uyumludur.

6.5. Supap Yayları Üzerinde Yapılan İncelemeler

Supap yayları, emme ve egzoz supaplarını açılma zamanları dışında kapalı tutarlar. Yüksek sıcaklıkta özelliklerini koruyabilmeleri için helezon şeklinde sarılırlar. Motor çalışırken silindir kapağındaki yüksek sıcaklıktan etkilendikleri için, yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımları daha sık sarılır. Supabı çok hızlı kapattığında bagada hasara neden olabileceği için ters sarımlı, iç içe iki supap yayının kullanıldığı uygulamalar vardır. Bu tür uygulamalarda, iç taraftaki supap yayının esneklik katsayısı dış taraftakinden daha düşük seçilir (http-7). Araştırma kapsamında ele alınan motorda supaplar için iç içe iki supap yayı kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında iç ve dış supap yayları incelenmiştir. VDCrV malzemeden üretilmiş Şekil 6.7'deki supap yayları için ele alınan kontroller sırasıyla; sarım yönleri, yay uçlarının taşlanması, sarım sıklığı, esneklik katsayısı kontrolüdür.



Şekil 6.7. *Supap yayları*

Birbirine ters sarımlı, iç içe iki supap yayının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Dıştaki yayın supabı çok hızlı kapaması, bagada aşınmaya neden olabilmektedir. İçteki yay, bu durumu önlemek için kullanılmaktadır.

Supap yayının her iki ucunun da taşlandığı gözlemlenmiştir. Aksi durumda, silindir başlığındaki yuvalarına düzgün yerleşmeme ihtimalleri ortaya çıkmaktadır.

İç ve dış supap yaylarında, silindir başlığındaki daha sıcak tarafta daha sık sarımla karşılaşılmasıdır. Bu durum, yüksek sıcaklık sonucu genliklerini kaybetmeleri ihtimalini ortaya çıkarmaktadır.

Deney öncesi, iç supap yayının serbest haldeki boyu 92,3 mm, dış supap yayının serbest haldeki ölçüsü 97 mm ölçülmüştür.

İç içe iki yay kullanıldığı için her iki yayın da esneklik katsayıları, basma çekme cihazında; 5 s gecikmeli, 10 N/s yük kontrol hızında belirlenmiştir. Tablo 6.5'te iç supap yayı ve Tablo 6.6'da dış supap yayının esneklik katsayısının belirlenmesi için kullanılan kuvvet ve yayların deplasmanı verilmiştir.

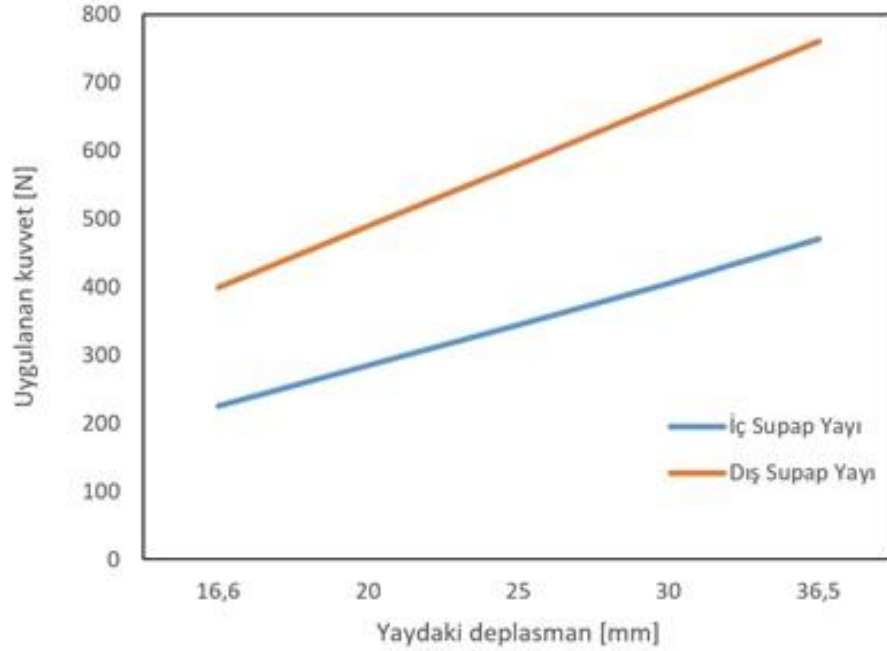
Tablo 6.5. *İç supap yayına uygulanan kuvvetler ve deplasman değerleri*

İç Supap Yayı	
Kuvvet (N)	Deplasman (mm)
225	16,591
3285	21,263
4345	26,129
405	30,732
470	35,991

Tablo 6.6. *Dış supap yayına uygulanan kuvvetler ve deplasman değerleri*

Dış Supap Yayısı	
Kuvvet (N)	Deplasman (mm)
400	19,511
490	24,059
580	28,078
670	32,461
760	36,455

Elde edilen veriler ile grafik çizilmiş (Bkz. Şekil 6.8) ve esneklik katsayıları bulunmuştur. Dış supap yayı için 20602 N/m, iç supap yayı için 13281 N/m değerleri bulunmuştur. Tasarımda istenen şekilde, iç supap yayının esneklik katsayısının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.8. *İç ve dış supap yaylarına uygulanan kuvvetler*

6.6. Hasarlı Baganın Mikro Yapı Sonuçları

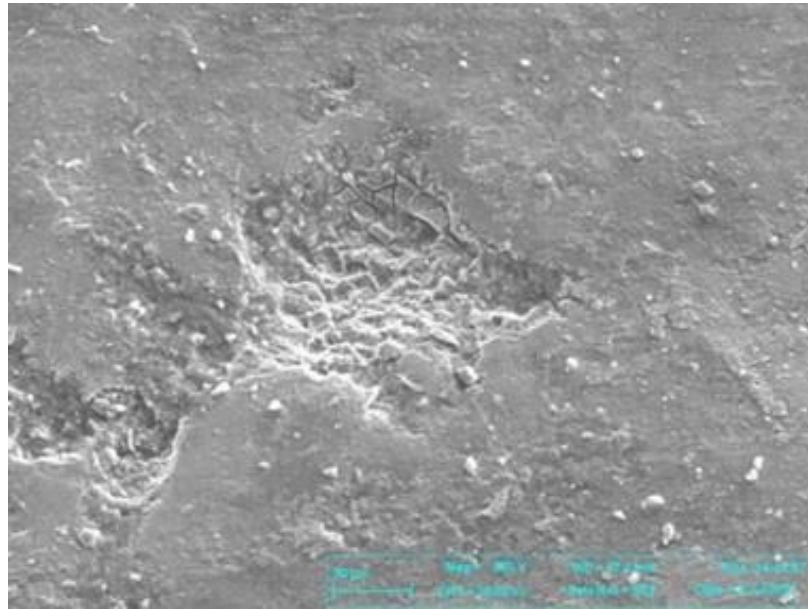
Hasarlı bagadan alınan numunenin 500x büyültme ile incelenmesi sonucu aşınan yüzey, Şekil 6.9'da verilmiştir. İki numunenin de ASTM Nr. G10 boyutlu, ince taneli ve homojen mikro yapıda olduğu bulunmuştur. Hasarlı bagada kılcal çatlaklarla karşılaşılmamıştır. Plastik deformasyon, oksidasyon hasarı ve çukurcuklanma tespit edilmiştir.



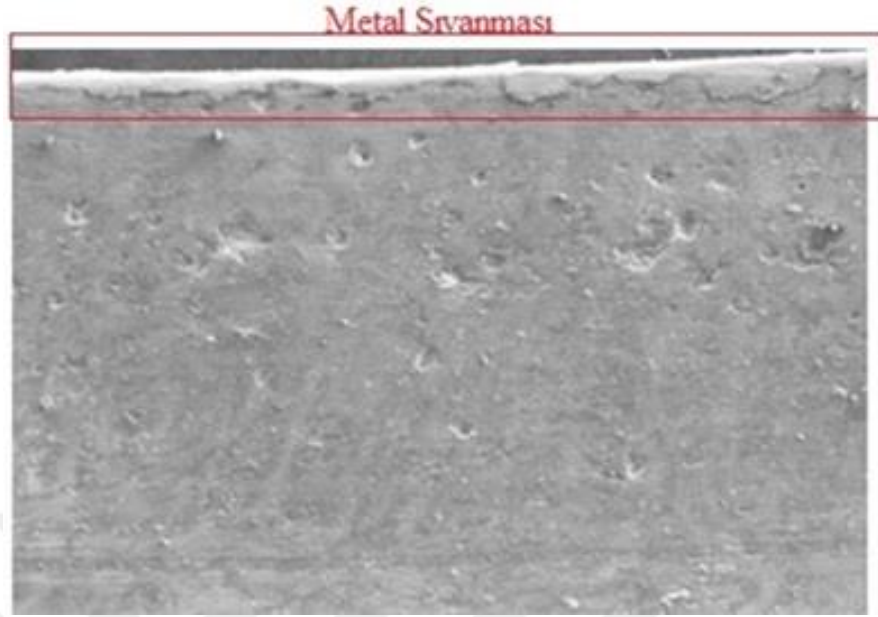
Şekil 6.9. Hasarlı baganın aşınma yüzeyi (500X) [35]

Hasarlı baganın Taramalı Elektron Mikroskobu ve stereo mikroskop ile incelenmesiyle Şekil 6.10 ve 6.11’de elde edilen sonuçlarla aşağıda sıralanan aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir.

- 1 Yanma sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve egzoz gazları sonucu oksidasyon
- 1 Ezilme şeklinde meydana gelen plastik deformasyon
- 1 Basma ve kesme yüklerinin neden olduğu çapaklanma
- 1 Basma yükleri ve korozyif ortamın neden olduğu çukurcuklanma
- 1 Çeşitli derinliklerde meydana gelmiş çizilme



Şekil 6.10. Oksidasyon ve çukurcuklanma (900X) [35]

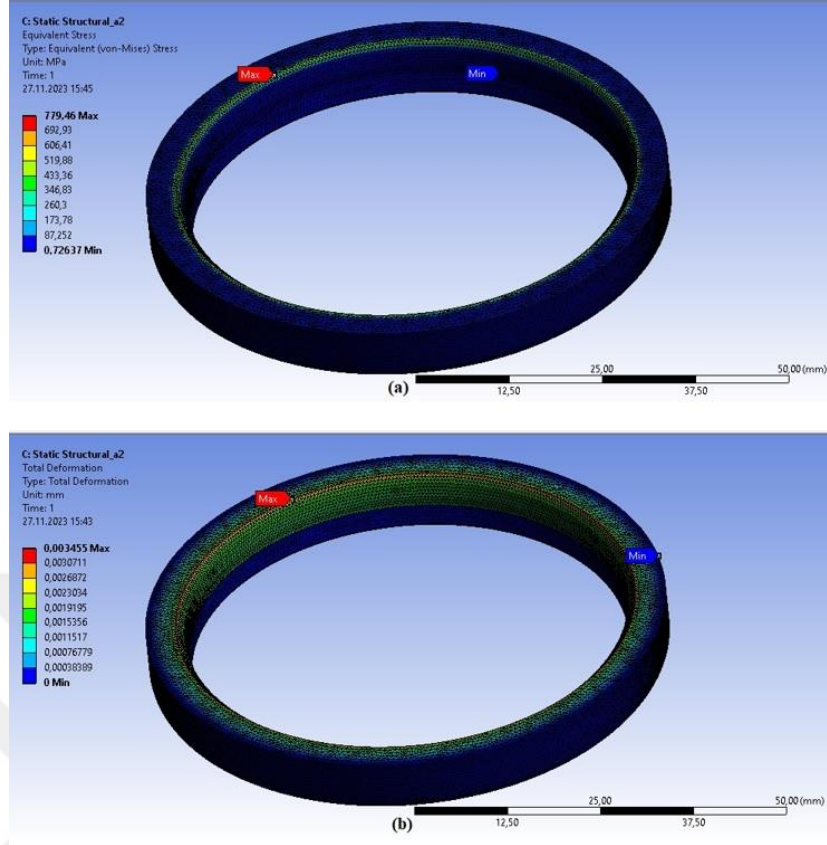


Şekil 6.11. *Metal sıvanması (150X) [35]*

6.7. Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu

Supap ve baganın katı modelleri teknik resimlerine uygun şekilde oluşturulmuştur. Silindir başlığındaki konumlarına göre ilişki verilmiştir. Elde edilen montaj verisi, ANSYS 19.2 Mecahnical programında kullanılmıştır. 2 152 335 node ve 1 460 054 element ile ortalama 0,83 kalitede ağ örgüsü (mesh) elde edilmiştir.

Supap tablası tabanına motor katoloğunda belirtilen maksimum iç basınç 10,8 MPa ([http-8](http://8)) uygulanmıştır. Şekil 6.12’de eşdeğer gerilim ve toplam deformasyon verilmiştir.



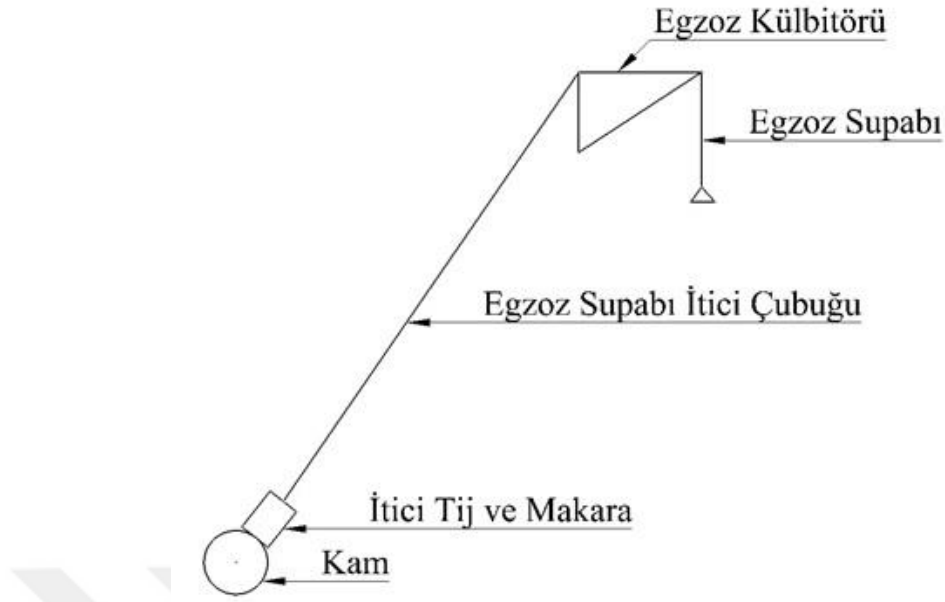
Şekil 6.12. (a) Eşdeğer gerilim, (b) Toplam deformasyon sonuçları

Beklenildiği üzere supap ile baganın temas ettiği ve kavrama açısından dolayı çok küçük bir alan olan бага yüzeyinde gerilim yoğunlaşmıştır. Hasarlı bagaların geometrik deformasyonu ile bu sonuçlar tutarlıdır.

6.8. Supap ile Kam Arasındaki Hareket İletim Elemanlarının Kontrolü

Son olarak supap ile kam mili arasındaki hareket iletim elemanlarının hasar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Supabın bagadaki malzeme kaybına paralel olarak temas etmeyi sürdürüp sürdürmediği araştırılmıştır. Montaj sırasında karşılaşılabilecek sorunların, bagadaki hasara etkisi araştırılmıştır.

Şekil 6.13'te kamdan başlayarak supaba kadarki hareket iletim elemanları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Supap-kam arasındaki hareket iletim elemanları

Kam mili ile tahrik sağladığı egzoz supabı arasındaki hareket iletim elemanları; kam, itici tij ve makara, egzoz supabı itici çubuğu, egzoz külbitörü ve egzoz supabıdır. Bu elemanların herhangi birindeki geometrik bozulma, supap ayarını bozmakta ve бага ile olan konum ilişkisini değiştirmektedir. Fabrikada yapılan çalışmalar sonucu, bu hareket iletim elemanlarından herhangi birinde hasarla karşılaşılmamıştır.

Bu nedenle, supaptan başlayarak hareketini aldığı kam mili arasındaki açıklıklara odaklanılmıştır. Bu hareket iletiminde belirlenen açıklıklar; Şekil 6.13'te şematik olarak gösterilen elemanlar arasındadır.

Fabrikada yapılan çalışmalar sonucu öncelikle itici tijdeki makara ile kam arasındaki uyumsuzluğa odaklanılmıştır. Bu sorunla ilgili fabrika içinde herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Sonrasında egzoz külbitörü üzerinde yapılan ayar sonucu bazı kaçıklıkların olabileceği düşünülmüştür. Şekil 6.14'te gösterildiği üzere, sente ayarı (açıklık) oda sıcaklığında yapılmaktadır. Bu ayarın motor test edildikten sonra tekrar yapıldığı öğrenilmiştir. Bu işlemin tamamlanmasından sonra herhangi bir nedenden dolayı bozulması, supabın бага ile konum ilişkisini bozabilmektedir. Hasarlı bagalardaki yoğun oyulmanın nedenlerinden birinin, yukarıda bahsedilen ayardaki kaçıklıktan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.14. *Sente ayarı*

7. SONUÇ

Supap ve baganın tasarımında verilen kavrama açısından dolayı bagaya çizgisel yük geldiği görülmüştür. Bu durumun бага üzerindeki etkisi ANSYS 19.2 Mechanical ile supap tabanına 10,8 MPa olan maksimum iç basınç değeri uygulanarak statik olarak incelenmiştir.

Tasarımda verilen kavrama açısı, bagada çizgisel gözüken yüksek gerilim değerine neden olmuştur. Kavrama açısı, sızdırmazlık ve eksen kaçıklığı gibi sorunlara çözüm getirmektedir. Bununla beraber bagada küçük bir alanda oluşan yüksek gerilim, yüksek sıcaklık, egzoz gazları ve supabın çarpma etkisiyle birlikte zamanla hasara varacak sonuçlara neden olabilmektedir.

Egzoz supap bagası üstünde görsel muayene sonucu belirlenen malzeme kaybının boyutları tespit edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Hasarlı ve kullanılmamış бага arasında ortalama 6,11 gr fark bulunmuştur. Kütle kaybının %10'u aştığı tespit edilmiştir. Bu sonuç yoğun malzeme kaybını göstermektedir.

Malzeme kaybının boyutsal yansıması da araştırılmıştır. Motorda kompresyonun sağlanması için, supapla baganın tasarımdaki halde çalışması gerekmektedir. Baganın aşınması sonucu, supap tabanından baganın silindir başlığına temas eden yüzeyi arasında kumpasla ölçüm sonucu ortalama 1,86 mm kayıp gözlemlenmiştir. Bu durum supabın tam kapanması ve bu andaki sızdırmazlığı olumsuz anlamda etkilemektedir.

Alınan radyal kesitler üzerinde çalışma yapılmıştır. 6X büyültme sonucu hasarlı bagadaki temas yüzeyi ile kullanılmamış бага karşılaştırılmıştır. 15X büyültme ile aşınan hasarlı bölge görsel olarak belirlenmiştir. Bu yöntem sonucu, supap eksenine paralel doğrultuda 3,5 mm kayıp gözlemlenmiştir. Toplamda 400 mm³ hacimde malzeme kaybı tespit edilmiştir.

Baganın metalografik ve sertlik değerleri araştırılmıştır. İki baganın 5 noktadan sertlik değerleri elde edilmiştir. TS EN ISO 6508-1 Metalik Malzemeler – Rockwell Sertlik Deneyi standardına uygun olarak gerçekleştirilen deney sonucu iki malzemenin de sertlik değerlerinin ortalama 45 Rockwell C değerinde olduğu tespit edilmiştir. Hasar sonucu bagada sertlik değerinin değişmediği ortaya çıkmıştır. Malzeme kompozisyonu, spektrometre ile bulunmuştur. Kullanılmamış ve hasarlı baganın malzeme kompozisyonu benzer ve teknik resimde belirtilen malzeme ile uyumlu çıkmıştır.

Bagadaki hasar mekanizmaları, optik mikroskop altında incelenmiştir. Hasarlı ve kullanılmamış baganın ASTM Nr. G10 boyutunda, homojen mikro yapıda ve ince taneli

olduğu gözlemlenmiştir. Hasarlı bagada çukurcuklanma, plastik deformasyon ve oksidasyon hasarı gözlemlenmiştir. Kılcal çatlaklarla ise karşılaşılmamıştır. SEM ve optik mikroskop ile hasarlı бага incelenmiştir. Abrasif aşınma, çeşitli derinliklerde çizilme, yüksek sıcaklık ve egzoz gazlarından kaynaklanan oksidasyon, korozyon ortam ve basma yüklerinden kaynaklanan çukurcuklanma, ezilme halindeki plastik deformasyon, basma ve kesme yüklerinin neden olduğu çapaklanma ile karşılaşmıştır.

Supap yayları ve supap ile kam arasındaki hareket iletim elemanlarının, бага üzerindeki hasara etkisi incelenmiştir. İç ve dış supap yaylarının ters sarımlı olduğu, supaplarının uçlarının taşlandığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu iki durumun, supap yaylarının hızlı kapanmasının önlenmesi ve silindir başlığına tam yerleşmesi açısından olumlu durumlardır. Supap yaylarında daha sık sarımla karşılaşılmamıştır. Yüksek sıcaklıkta bu nedenle genliklerini kaybetme ihtimali bulunmaktadır. İç ve dış supap yaylarının esneklik katsayıları, basma çekme cihazıyla 10 N/s yük kontrol hızında 5 s gecikmeli olarak bulunmuştur. İç supap yayının esneklik katsayısının daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu nedenle supabın çarpmasına karşı önlem alındığı tespit edilmiştir.

Supap ve kam arasındaki hareket iletim elemanları incelenmiştir. Bu elemanlar üzerinden, bagada hasara neden olabilecek koşullar araştırılmıştır. Supap ve kam arasında itici tij ve makara, egzoz supabı itici çubuğu ve egzoz külbitörü bulunmaktadır. Bu elemanlardaki herhangi bir geometrik bozulma, supabın bagayla konum ilişkisini de bozacaktır. Fakat fabrikada yapılan çalışmalar sonucu, bagalarda sürekli ortaya çıkan hasarla bu elemanların herhangi bir ilişkisi tespit edilememiştir. Sürekli hasarın ortaya çıktığı bagadaki temel aşınma nedeninin, hareket iletim elemanlarından kaynaklanmadığı düşünülmektedir. İkinci olarak supapla kam arasındaki açıklıklar araştırılmıştır. Özellikle sente ayarı için verilen açıklıktaki bir değişimin, supapla бага arasındaki konum ilişkisinde bozulmaya neden olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Wang, Y. S., Narasimhan, S., Larson, J. M., Larson, J. E., & Barber, G. C. (1996). The effect of operating conditions on heavy duty engine valve seat wear. *Wear*, 201 (1), 15-25.
- [2] Zhao, R., Barber, G. C., Wang, Y. S., & Larson, J. E. (1997). Wear mechanism analysis of engine exhaust valve seats with a laboratory simulator. *Tribology Transactions*, 40 (2), 209-218.
- [3] Lewis, R., & Dwyer-Joyce, R. S. (2001). An experimental approach to solving combustion engine valve and seat wear problems. *Tribology and Interface Engineering Series*, 39, 629-640.
- [4] Ando, K., Manabe, A., & Yasuda, A. (2005). Hardfaced valve and P/M valve seat system for CNG and LPG fuel engines. *SAE Technical Papers*.
- [5] Chun, K. J., Kim, J. H., & Hong, J. S. (2007). A study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers. *Wear*, 263 (7), 1147-1157.
- [6] Hong, J. S., Kim, Y. S., & Chun, K. J. (2012). Study on exhaust valve and seat insert wear depending on fuel type. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13 (2), 253-260.
- [7] Forsberg, P., Hollman, P., & Jacopson, S. (2011). Wear mechanism study of exhaust valve system in modern heavy duty combustion engines. *Wear*, 271 (9), 2477-2484.
- [8] Dissel, R., Barber, G. C., Larson, J. M., & Narasimhan, S. L. (1989). Engine valve seat and insert wear. *SAE Technical Paper* 892146.
- [9] Wang, Y. S., Schaefer, S. K., Bennett, C., & Barber, G. C. (1995). Wear mechanisms of valve seat and insert in heavy duty diesel engine. *SAE Technical Paper* 952476.
- [10] (2023). Diesel Engine Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028. IMARC Services Pvt. Ltd.
- [11] (2008). Outlook for Energy A View to 2030. Exxon Mobil.
- [12] Küçükşahin, F. (2008). *Dizel motorları teorisi*. İstanbul: Birsen Yayınevi
- [13] Kiencke, U., Nielsen, L. (2004). Automotive Control Systems for Engine, Driveline, and Vehicle. (Second edition). Berlin: Springer.
- [14] Seifert, T., Hartrott, P., Boss, K., Wynthein, P. (2017). Lifetime Assessment of Cylinder Heads for Efficient Heavy Duty Engines Part I. *SAE International Journal of Engines*, 10 (2), 359-365.
- [15] Megel, M., Megel, M., Westmoreland, B., Jones, G., Phillips, F., Eberle, D., Tussing, M., Yeomans, N. (2011). Development of a Structurally Optimized

Heavy Duty Diesel Cylinder Head Design Capable of 250 Bar Peak Cylinder Pressure Operation. *SAE International Journal of Engines*, 4 (3), 2736-2755.

- [16] Mulemane, A., and Soman, R. (2007). CFD Based Complete Engine Cooling Jacket Development and Analysis. *SAE Technical Paper Series*.
- [17] MAHLE GmbH. (2016). Pistons and engine testing. (2nd edition). Stuttgart.
- [18] Pischinger, F. F. (1998). The Diesel Engine for Cars—Is There a Future? *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 120 (3), 641.
- [19] Pulkrabek, W.W. (1997). Engineering Fundamentals of Internal Combustion Engine. New Jersey: Prentice Hall.
- [20] Stone, R. (1992). Introduction to Internal Combustion Engines. (2nd edition) London: The Macmillan Press LTD.
- [21] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2011) Motorlu Araçlar Teknolojisi Supap Sistemleri. Ankara.
- [22] Giles, W. S. (1966). Fundamentals of Valve Design and Material Selection. *SAE Technical Paper Series*. 75 (3). 35-56.
- [23] Elo, R. (2018). Protective tribofilms on combustion engine valves. Doctoral Thesis. Uppsala: Uppsala University, Department of Engineering Sciences, Applied Material Sciences.
- [24] Lewis, R. (2000). Wear of diesel engine inlet valves seats. Doctoral Thesis. Sheffield: University of Sheffield, Department of Mechanical Engineering.
- [25] Beddoes, G. N. (1993). Valve materials and design. *Surface Engineering*, 9 (1), 44–50.
- [26] Forsberg, P. (2013). Combustion valve wear. Doctoral Thesis. Uppsala: Uppsala University, Department of Engineering Sciences, Applied Material Sciences.
- [27] Pierce, D., Haynes, A., Hughes, J., Graves, R., Maziasz, P., Muralidharan, G., Amit, S., Wang, B., England, R., Daniel, C. (2018). High temperature materials for heavy duty diesel engines: historical and future trends. *Progress in Materials Science*.
- [28] Krüg, G. (2002). Valve set inserts, state of the art end of 2001. *Technical Paper Series*.
- [29] Chaudhuri, A. (1973). Hot Corrosion Of Diesel Engine Exhaust Valves. *SAE Technical Paper Series*.
- [30] Giles, W. S. (1966). Fundamentals Of Valve Design And Material Selection. *SAE Technical Paper Series*.
- [31] (2020). Corrosion Atlas Case Studies. Amsterdam: Elsevier.

- [32] Scott, C. G., Riga, A. T. and Hong, H. (1995). The erosion-corrosion of nickel-base diesel engine exhaust valves. *Wear*, 181-183, 485-494.
- [33] Taktak, S. (2007). Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials and Design*, 28(6), 1836-1843.
- [34] Şentürk, İ.H. (2014). *Motorlar yapı ve hesabı*. Kocaeli: Umuttepe Yayınları.
- [35] Özdemir, Y., Diltemiz, S.F., Kandemir, G. (2022). Dizel lokomotif ağır hizmet motorunda kullanılan egzoz supap bagası hasarları. *Demiryolu Mühendisliği*, 15, 75-83.

http-1: <https://www.turasas.gov.tr/eskisehir-bolge-mudurlugu-tarihcesi/>
(Erişim Tarihi: 03.11.2022)

http-2: <http://icnn.com.tr/urun/de24000-dizel-elektrikli-lokomotif/>
(Erişim Tarihi: 03.11.2022)

http-3: https://dieselnet.com/tech/diesel_history.php (Erişim Tarihi: 05.11.2022)

http-4: http://www.tcddtasimacilik.gov.tr/uploads/images/Strateji/TCDD-Tasimacilik_2019-2020-istatistik-yilligi.pdf (Erişim tarihi: 05.11.2022)

http-5: <https://www.mechanicalbooster.com/2017/10/diesel-cycle.html> (Erişim Tarihi: 05.12.2022)

http-6: <https://www.ansys.com/> (Erişim Tarihi: 26.08.2023)

http-7: https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Supap%20Sistemleri.pdf (Erişim tarihi: 20.07.2023)

http-8: https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek.tlm16v185_motor_katalogu.pdf
(Erişim tarihi: 20.08.2023)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0001-7377-7089

Ad Soyad : Gökhan Kandemir

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı :

E-Posta :

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2018, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- 27.08.2018 – 26.10.2018, Internship, FAS Hansek GmbH & Co. KG. Steinfurt – Borghorst Almanya.
- 2019, Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayii A.Ş. , ArGe Dairesi Başkanlığı

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Özdemir, Y., Diltemiz, S.F., Kandemir, G. (2022). Dizel Lokomotif Ağır Hizmet Motorunda Kullanılan Egzoz Supap Bagası Hasarları. *Demiryolu Mühendisliği*, 15, 75-83.