



**DİZEL MOTOR EGZOZ SUPABINDA
TERMOMEKANİK GERİLMELERİN
MODELLENMESİ VE HASARLI
SUPAPLARIN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rüstem DÖKMECİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Osman ASİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Temmuz 2019**

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL MOTOR EGZOZ SUPABINDA TERMOMEKANİK GERİLMELERİN
MODELLENMESİ VE HASARLI SUPAPLARIN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rüstem DÖKMECİ

**TEMMUZ 2019
UŞAK**

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL MOTOR EGZOZ SUPABINDA TERMOMEKANİK GERİLMELERİN
MODELLENMESİ VE HASARLI SUPAPLARIN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rüstem DÖKMECİ

UŞAK 2019

Rüstem DÖKMECİ tarafından hazırlanan DİZEL MOTOR EGZOZ SUPABINDA TERMOMEKANİK GERİLMELERİN MODELLENMESİ VE HASARLI SUPAPLARIN ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Osman ASİ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman ASİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih: 01/07/ 2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Rüstem DÖKMECİ



DİZEL MOTOR EGZOZ SUPABINDA TERMOMEKANİK GERİLMELERİN MODELLENMESİ VE HASARLI SUPAPLARIN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Rüstem DÖKMECİ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2019

ÖZET

Ülkemizde demiryolu sektöründe çalışan dizel motorlu lokomotiflerde son yıllarda çok fazla supap arızasından dolayı çeşitli motor arızaları, malzeme ve işçilik masraflarının meydana geldiği görülmüştür. Enerji dönüşümünün gerçekleştiği dizel ve benzinli motorlarda yanma odası ve elemanları yüksek sıcaklık ve basınca uğramaktadırlar. Yanma işlemi sonucu oluşan termal şok, basınç ve yanmış gazların olumsuz etkileri supaplarda deformasyona ve aşınmaya sebep olacağı açıktır. Bu aşınmalar nedeniyle bir süre sonra malzemenin mekanik ömrü azalacağından, motorda yakıt tüketimi artışı, yavaş yavaş performans düşüklüğü, ve emisyon değerlerinde kötüleşme görülür. Bu çalışmada, bir lokomotifin dizel motoruna ait kritik bir parçası olan egzoz supabında oluşan termo mekanik gerilmeler modellenerek gerilme analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmalardan alınan hasar analizi verileri karşılaştırılarak parçada meydana gelen hasarın erozyon korozyon aşınmasından olduğu tespit edilmiştir. Varılan sonuca göre hasar oluşumunu önlemek veya geciktirmek için alternatif çözüm önerileri sunulmuştur.

Bilim Kodu : 625.02.01

Anahtar Kelimeler : Supap, Egzoz Valfi, Hasar Analizi, Dizel Lokomotif

Sayfa Adedi : 70

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Osman ASİ

**FAİLURE AND THERMO-MECHANİCAL STRESS ANALYSİS OF
THE FAİLED EXHAUST VALVE OF DİESEL ENİNE**

(M.Sc. Thesis)

Rüstem DÖKMECİ

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

It has been observed that diesel engine locomotives working in the railway sector in our country have caused various engine failures, material and labor costs due to too many valve failures in recent years. In diesel and gasoline engines, the combustion chamber and its components where the energy cycle takes place are exposed to high temperature and pressure. It is obvious that the negative effects of thermal shock, pressure and burnt gases resulting from the combustion reaction will cause wear and deformation of the valves. Since these abrasions will decrease the mechanical life of the material after a period of time, it causes gradual performance decrease in the engine, increase in fuel consumption and deterioration in emission values. In this study, thermo mechanical stresses in exhaust valve which is a critical part of a locomotive diesel engine are modeled and stress analyzes are performed. The results obtained were compared with the failure analysis data obtained from the experimental studies and it was found that the failure occurred in the part was due to erosion corrosion wear. Alternative solutions to prevent or delay damage are presented.

Science Code : 625.02.01

Keywords : Exhaust Valve, Failure Analysis, Diesel Lokomotive

Number of Pages: 70

Adviser : Prof. Dr. Osman ASİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin ders döneminde ve tez çalışmalarında bilgi, düşünce ve tecrübesini esirgmeden beni yönlendiren, destekleyen ve çalışmamın sonuca ulaşmasını sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman ASİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Lokomotiflerde Hasar Analizi konusunda beni araştırmaya sevk eden ve bu hasarların önlenmesi ya da daha büyük hasarların önüne geçebilme imkânlarını bulabilmem için beni araştırmaya teşvik eden çalışmış olduğum Lokobakım Atölyesi ve değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugüne kadar hiçbir şeyi esirgmeden yanımda olan ve beni daima destekleyen anneme, babama, kardeşime ve rahmetli dedeme en içten minnet duygularımı ve teşekkürü borç bilirim.

Rüstem DÖKMECİ

(Makine Mühendisi, İş Güvenliği Uzmanı)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. SUPAPLAR.....	8
3.1. Supaplar veya Valfler	8
3.2. Supap Malzemesi.....	12
3.3. Supap Yuvaları veya Bagaları	13
3.4. Supaplarda Yapılan Kontroller	15
3.4.1 Supap Sapı Aşınma Kontrolü	15
3.4.2 Supap Tablası Et Kalınlığı Kontrolü	16
3.4.3 Supap Yuvalarında Yapılan Kontroller	16
3.5. Supap Gaydları veya Klavuzları	17
3.6. Supap Yayları	18
3.6.1 Yay Dalgalanması.....	20
3.6.2 Supap Yaylarında Serbest Boy ve Basınç Kontrolü.....	20
3.6.3 Supap Yaylarında Eğiklik Kontrolü	21
3.7. Supap Yay Tablası	21
3.8. Supap Tırnakları	22

3.9.	Supap Boşluğu ve Supap Ayarı	22
3.10.	İçten Yanmalı Motorlarda Supap Tertibatı	23
3.11.	Supap Mekanizması	26
3.12.	Egzoz Supapları.....	27
3.13.	Egzoz Supaplarında Görülen Hasar Türleri	31
3.13.1	Supap Yanma Hasarı	31
3.13.2	Supap Kırılması Hasarı.....	32
3.13.3	Yüksek Sıcaklık Korozyonu.....	34
3.13.4	Erozyon Korozyonu.....	36
3.14.	Yağın Ve Partikül Akışının Aşınma Mekanizması Üzerindeki Etkisi.....	37
4.	MATERYAL ve METOT	40
4.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler	40
4.2.	DeneySEL Çalışmalar	42
4.3.	Deney Numunelerinin Hazırlanması	42
4.4.	Kimyasal Analiz Deneyi	43
4.5.	Mikro Sertlik Ölçümü Deneyi	44
4.6.	Optik Mikroskop Görüntü İncelemesi	45
4.7.	Sonlu Elemanlar Analizi	45
5.	ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	52
5.1.	Kimyasal Analiz Deneyi Sonuçları.....	52
5.2.	Mikro Sertlik Ölçümü ve Sonuçları.....	54
5.3.	Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları	55
5.4.	Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları.....	59
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	64
	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Supaplarda yapılan özel işlemler.....	12
Çizelge 3.2. Nikel alaşımlarda oksitlenmenin artmaya başlayacağı sıcaklıklar.....	35
Çizelge 4.1. DE 33000 tipi lokomotifin katalog verileri	47
Çizelge 4.2. Egzoz supabı teknik ölçüleri	48
Çizelge 4.3. Supap yayı teknik ölçüleri	49
Çizelge 5.1. Supabın kimyasal bileşimi	52
Çizelge 5.2. Inconel X 750 alaşımının kimyasal bileşim aralığı	53
Çizelge 5.3. Supabın muhtelif kısımlarından alınan sertlik ölçüm değerleri	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. a-b-c-d) Erozyon-Korozyon Modeli.....	5
Şekil 2.2. Karbon kaplanmış egzoz supabı sıcaklık dağılım grafiği	7
Şekil 3.1. Supabın bölümleri a) Supap görüntüsü b) Supap modellemesi	9
Şekil 3.2. Egzoz supabı çalışma şeması	10
Şekil 3.3. Supap lastiği	11
Şekil 3.4. Supap ısı transferi.....	11
Şekil 3.5. Supap yuvasının açıları	14
Şekil 3.6. Supap tabla çeşitleri	16
Şekil 3.7. Supap kılavuzu aşınma kontrolü	18
Şekil 3.8. Yay kontrolü.....	21
Şekil 3.9. Yay eğiklik kontrolü.....	21
Şekil 3.10. Döner supap yay tablası	22
Şekil 3.11. Supap tırnakları ve yay tablası	22
Şekil 3.12. a-b)İki ve dört zamanlı dizel ve benzinli motor supap tertibatı	24
Şekil 3.13. a-b) 45° Oturma yüzeyi açılı egzoz supabının akış karakteristiği	25
Şekil 3.14. Dört zamanlı dizel motor çevrimi	25
Şekil 3.15. I tipi motor.....	26
Şekil 3.16. Benzinli motor egzoz supabında ısı akışı.....	27
Şekil 3.17. Dizel egzoz supabı sıcaklık dağılımı.....	28
Şekil 3.18. Sıcaklığın PbO korozyonuna etkisi	29
Şekil 3.19. İnconel X-750 sıcaklık- gerilme grafiği	29
Şekil 3.20. Supap bölümleri ve istenilen özellikler	30
Şekil 3.21. Supap oturma yüzeyi aşınma modları	38
Şekil 3.22. Yanma gazlarının supap yüzeyinde meydana getirdiği hasar	39
Şekil 4.1. Hasar analizi iş akış şeması	42
Şekil 4.2. Egzoz Supabı ve бага kesiti modeli.....	46
Şekil 4.3. Supaba etki eden kuvvetler.....	50
Şekil 4.4. Egzoz supabı katı modelinin mesh görüntüsü.....	51

Şekil 5.1. İki farklı malzemedenden oluşan supabın bölümleri	53
Şekil 5.2. Sertlik ölçümü yapılan kısımların gösterimi	54
Şekil 5.3. Etki eden kuvvetler sonucu hasara uğrayan supaptaki Von-Mises gerilmesi	60
Şekil 5.4. Supap tablasında oluşan gerilmeler	61
Şekil 5.5. Supaba yükleme sonucundaki maksimum elastik yer değiştirme	62
Şekil 5.6. Supaba yükleme sonucundaki eşdeğer gerilme	63



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Baga.....	13
Resim 3.2. Mikrometre ile çap lümü	16
Resim 3.3. Gayd	17
Resim 3.4. Supap yayları.....	19
Resim 3.5. Supap oturma yüzeyi distorsiyonu nedeniyle yanma hasarı	31
Resim 3.6. Tam kapanmama nedeniyle supap kaçağı	32
Resim 3.7. Karbon birikintileri nedeniyle supapta oluklaşma.....	32
Resim 3.8. Supap sapı yorulma hasarı.....	33
Resim 3.9. Supap kafası hasarı.....	33
Resim 3.10. Supap darbe hasarı	33
Resim 3.11. Termal yorulma nedeniyle supap hasarı.....	34
Resim 4.1. DE 33000 tipi lokomotif.....	40
Resim 4.2. Silindir başlığı ve hasarlı egzoz supapları.....	41
Resim 4.3. a) Hasarlı egzoz supapları b) Supap erimesi olan bölge.....	41
Resim 4.4. a) Hasar analizi için seçilen supap b) Hasarlı bölgeden kesitler çıkarılması... 43	
Resim 4.5. Kesilen supap parçalarının numaralandırılması	43
Resim 4.6. Kimyasal analiz cihazı	44
Resim 4.7. Sertlik lüm cihazı.....	44
Resim 4.8. Optik mikroskop cihazı	45
Resim 5.1. Kimyasal analiz yapılan supap parçaları (A-Sap bölümü, B-Tabla bölümü)....	52
Resim 5.2. Bakalite alınan numuneler	55
Resim 5.3. Supap st sap kısmı mikro yapı görüntüsü.....	56
Resim 5.4. a-b-c-d) Supap alt tabla kısmı mikro yapı görüntüsü	57
Resim 5.5. a-b-c-d-e-f-g-h) Supap tabla kısmı büyük parçanın mikro yapı görüntüsü.....	58
Resim 5.6. a-b-c-d-e-f) Supap tabla kısmı küçük parçanın mikro yapı görüntüsü.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
µm	Mikrometre
°C	Santigrat derece
Hz	Hertz
Rpm	Devir/Dakika
R_{max}	Maksimum pürüzlülük
Mpa	Mega paskal
N	Newton
γ	Östenit
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
St	Stellite
%	Yüzde
PbO	Kurşun oksit
°F	Fahrenhayt
ksi	Basınç birimi iks
HP	Beygir Gücü
kW	Kilovat
Ne	Motor Beygir Gücü Fren Değeri
in	İnç
V_t	Motorun toplam kurs hacmi
Lt	Litre
BG	Beygir Gücü

d/d	Devir/Dakika
P_{mi}	İndike iç basınç
F_i	Toplam iç kuvvet
kgf	Kilo gram kuvvet
cm²	Santimetrekare
F_{yay}	Supap yay kuvveti
F_T	Toplam kuvvet
HRC	Rockwell sertlik değeri
HRA	Rockwell sertlik değeri
HCl	Hidroklorik asit
HNO₃	Nitrik asit
H₂O	Saf Su
H₂O₂	Hidrojen peroksit

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM	Amerikan Standardı
ANSYS	Sonlu elemanlar analiz programı
ANSYS-CFX	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı
DE	Dizel Elektrik
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
EMD	Elektro Motive Dizel
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
OEM	Orijinal Ürün Üreticisi
SI	Uluslararası Ölçü Standardı
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

1. GİRİŞ

Ülkemizde demiryolu sektöründe çalışan dizel motorlu lokomotiflerde son yıllarda çok fazla egzoz supabı hasarına bağlı çeşitli motor arızaları görülmüştür. Supaplar çalışma sırasında yüksek düzeyde sıcaklık etkisi, mekanik ve ısıl zorlamalarla karşılaşmaktadır. Emme supapları 500-600 °C'lere varan sıcaklıklarda çalışırken egzoz supapları 800-900 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Ayrıca supap sapında, supap ucunda ve supap oturma yüzeyinde sürtünmeler nedeniyle aşınmalar oluşur. Supap mekanizmasında meydana gelen arızalarda genellikle ilk belirtiler motorun güç kaybetmesi olarak görülür. Supap oturma yüzeyi ve supap yuvası arasındaki çalışma yüzeyi bozukluğu nedeniyle tam kapanmazsa silindir içindeki kompresyon basıncını kaçırmaya başlar. Özellikle bu durum soğuk motorlarda çalışmanın daha düzensiz ve sarsıntılı olması ile gözlenir.

Enerji dönüşümünün gerçekleştiği dizel ve benzinli motorlarda yanma odası ve elemanları yüksek sıcaklık ve basınca uğramaktadırlar. Yanma işlemi sonucu oluşan termal şok, basınç ve yanmış gazların olumsuz etkileri supaplarda deformasyona ve aşınmaya sebep olacağı açıktır. Bu aşınmalar nedeniyle bir süre sonra malzemenin mekanik ömrü azalacağından, motorda yakıt tüketimi artışı, yavaş yavaş performans düşüklüğü, ve emisyon değerlerinde kötüleşme görülür. Yüksek sıcaklık, basınç ve yanma olayı esnasındaki tüm bu olumsuz koşullar Solidworks programında modellenerek sayısal analiz yapılmıştır. Ayrıca hasarlı bir egzoz supabı alınarak deneysel incelemeler yapılmıştır.

Bu tezin amacı, ülkemizde demiryolu sektöründe çalışan DE 33000 tipi dizel motorlu lokomotiflerde son yıllarda çok fazla supap arızasından dolayı meydana gelen çeşitli motor arızası, malzeme ve işçilik masraflarını azaltmaya yönelik bir hasar analizi incelemesidir. Bu çalışma sayesinde, dizel motorlu bir lokomotifte kompresyon kaçakları olmadan daha verimli bir güç kullanımı ve bakıma ihtiyaç duymadan daha uzun bir servis zamanı hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Chun ve arkadaşları [1] çalışmalarında LPG'li bir motordaki egzoz supabı ve oturma yüzeylerinin 350 derece sıcaklığa ulaştığını ve kimyasal reaksiyon sonucu supap üzerinde çatlaklar olduğunu ve ayrıca oturma yerlerinin üst üste bindiği fark ettiler. Motor çevrim sayıları arttıkça, supabın ve başasının oturma yüzeylerinin maksimum pürüzlülüğü (R_{max}) artmış ve aşınma oranı da Hz' e (RPM) bağlı olarak önemli ölçüde artmıştır. Supap ve başanın aşınma mekanizması, tribokimyasal tepkimeyle incelenmiştir. Çevrim sayısı artarken, supap ve başanın oturma yüzeylerinin ortalama R_{max} 'ı doğrusal olarak arttı. Test Hz (test cihazı RPM veya supap kapanma hızı), ortalama R_{max} 'ı, döngü sayısından (kilometre) daha fazla etkiledi. Çevrim sayısı veya test Hz'inden bağımsız olarak, supap ve başanın oturma yüzeylerinde tribokimyasal reaksiyon gözlemlendi. Tribokimyasal reaksiyonun kompozisyon analizi sonucu ürün, supabın tabla metaline ve oturma aralığına ek olarak O, C, S, V ve Al tespit edildiğini belirtti. Oturma yüzeyinde biriktirilen tribokimyasal reaksiyon ürünü, ortalama R_{max} 'ı artırır ve supap kapatıldığında eşit olmayan temas neden olur. Bu, silindirin gaz sızdırmazlığını bozabilir. Supap ve başa parçası arasında malzeme aktarımı olduğu görülmüştür. Tribokimyasal reaksiyon ürünü, supap ve başa oturma yüzeyleri üzerindeki aşınmayı önlenmesi etkisini yaratmıştır [1].

Witek [2] çalışmasında hasar görmüş bir egzoz supabını inceledi. Hasarlı supabın görsel incelemesi, motorun çalışması sırasında supapta iki yorulma çatlağının başlatıldığını gösterdi. Supabın erken kırılmasının nedenini açıklamak için supap, oturma yüzeyi ve kılavuzdan oluşan sonlu elemanlar modeli tanımlandı. Doğrusal olmayan analiz sonucunda farklı yük durumlarda egzoz supabında maksimum ana gerilme dağılımları elde edilmiştir. Supabın sayısal analizinde supap yayınının kuvvetini ve üniform olmayan termal yüklerin oluşturduğu basınç kuvvetini kullandı. Hasar görmüş supaptan başka bir (arızasız) supabın incelenmesi, supap yüzeyinde düzensiz karbon birikintisinin bulunduğunu göstermiştir. Karbon birikintili supap için yapılan gerilme analizi sonuçları, supap gövdesinde yüksek bir bükülme gerilmesi meydana geldiğini göstermiştir. Karbonun supabın oturma yüzeyinde düzensiz olarak birikmesi, supap gövdesinde büyük bir bükülme stresinin

oluşmasına neden olmuştur. İncelenen supaptaki biriken karbon deposunun supaptaki bükülme stres genliğinin ve erken yorulma hasarının başlıca nedeni olarak tespit etmişlerdir [2].

Kumar ve arkadaşları [3] çalışmasında egzoz supaplarının değişken sıcaklık ve yükler altında farklı metal alaşımları kullanılarak ANSYS' de yorulma analizlerini yapmışlardır. Magnezyum alaşımlı supapların alüminyum ve normal alaşımlı supaplara göre yorulma dayanım ömürlerinin daha uzun olduğunu göstermişlerdir [3].

Yadav ve arkadaşları [4] çalışmasında yolcu araçlarında kullanılan hasarlı dizel motor egzoz supabının modellemesini yapıp ANSYS' de bükülme analizi yapmışlardır. Sonuçlar, maksimum gerilmenin, pistonun basınç etkisinden dolayı egzoz supabı kafasının yakınında meydana geldiğini ve ardından deformasyonun gerçekleştiğini göstermişlerdir. Gerilme analizi, supap pistonu düşüğünde supap kafasının yanında maksimum gerilmenin geliştiği görülür ve malzeme analizi, malzemenin dekarburizasyonuna bağlı olarak supabın dayanımının azaldığını ve bunun sonucunda supabın büküldüğünü gösterir. Hasarın temel nedeni ise, supapların açılma süresini yanlış yapan supap zamanlama kayışının arızalanmasından dolayı piston etkisi olarak bulmuşlardır [4].

Cerdoun ve arkadaşları [5] bu çalışmasında, bir motor çalışmasının gerçek koşullarını göz önüne alarak giriş ve çıkış supaplarının sıcaklık haritalarının tahmin edilmesine bir katkı sunmuşlardır. ANSYS-CFX' de sonlu elemanlar metoduyla sınır şartları belirlenmiş ve supabın termal haritası çıkarılmıştır. Bu termal harita sayesinde maksimum sıcaklık ve ısı akış bölgeleri tespit edilmiştir. Dağılım ve maksimum sıcaklığın değeri, tam olarak 192 saniye boyunca yaklaşık 8000 motor devrinden sonra stabilize olma eğiliminde olduğu görülmüştür. Termal akış yoğunluğu vektörlerinin, supaptan ısıyı sürekli olarak çıkarmak ve böylece egzoz supabı zarar görmemesi için oturma bölgesine yönlendirildiği gösterilmiştir [5].

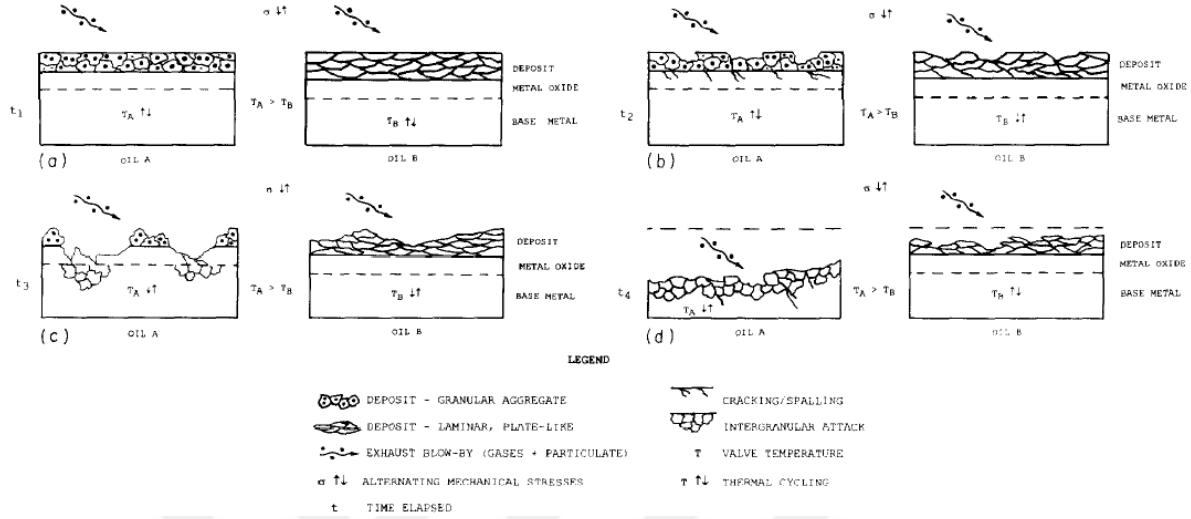
Deng ve arkadaşları [6] çalışmasında hafifletilmiş egzoz supabı tasarımı ve termo-mekanik gerilme analizi yapmışlardır. 12,4 Mpa iç basınç oluşan bir silindirde supap oturma yüzeyine 2000 N' luk bir kuvvet düşmektedir. 725 °C' de 255 Mpa' lık bir akma dayanımı olan supap malzemesi numerik analiz yapılmıştır. İçi boş supapların duvar kalınlığı ile gerilme değerlerini karşılaştırmışlardır. Malzeme dayanım sınırlarını bozmadan içi

boşaltılarak hafifletilmiş supaplarda supap oturma yüzeylerinde normal kalınlıktaki supaplara göre daha fazla gerilim kuvveti oluşmuşsa da bu değerin malzeme akma dayanımının altında olduğunu ve yeterli dayanımı sağladığını göstermişlerdir. Ayrıca malzeme ağırlığının azalmasıyla bir takım avantaj sağlanacağını belirtmişlerdir [6].

Scott ve arkadaşları [7] yağlama yağı katkı maddelerinin, 2 zamanlı dizel motorun nikel alaşımlı egzoz supaplarındaki hasar üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bununla birlikte, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve gözlemler, supap oluşunun yağlama maddesi katkı maddesi türevli supap birikintilerinin özelliklerinin genel egzoz supap arızası hızını ve seviyesini etkileyebileceği bir aşınma işlemi olarak modellenebileceğini göstermektedir. Yağlayıcı katkı maddelerinin egzoz supabı üzerinde kalıntı oluşumuna etkisi ve supap yüzeyi kalıntılarının morfolojisi ve bileşiminin supap yatağı oturma yüzeylerinin erozyon-korozyonuna etkisini incelemişlerdir. Yanmış yağ kalıntılarının etkisini incelemek için deneysel olarak tüm kalsiyum ve magnezyum formasyonlarını incelemişlerdir. Kalsiyum içeren bir motor yağı ile yapılan testler, kalsiyum sülfat (CaSO) açısından zengin birikintilerin oluşmasına ve çeşitli egzoz supaplarının yıkıcı hasarlarına neden olmuştur. Magnezyum içeren bir yağ ile test edilen supaplarda daha fazla tortu birikimi görülmesine rağmen, supap yuvası yüzeylerinin erozyon-korozyonu olmamıştır. İkinci testten elde edilen tortular, ana bileşen olarak magnezyum çinko fosfat ((MgZn₂) PO₄)₂) içermiştir. Bu çalışma, egzoz supaplarının erozyon korozyonunun sadece supap yuvası yataklarındaki kalıntının kalınlığı ile ilgili olmadığını gösteren bazı ilk kanıtları sunar. Yağ katkı maddesi metallerinin etkisi, kalıntıların ısı transferi ve ısıl genleşme özelliklerini etkileyerek supap hasarında rol oynamış olabilir. Kalsiyum sülfat içeren birikinti tabakasının dağılması ve supap alaşımının hızlandırılmış oksidasyonu, sıcak egzoz gazlarının sızmasına ve ardından supap yuvası yüzeylerinin ciddi şekilde aşınmasına neden olmuştur. Bu nedenle, motorun çalışması sırasında gelişen tortu tipinin supap ömrünü belirlemede önemli bir rol oynadığı görülmektedir.

Egzoz supabı oluşu hasarı erozyon korozyon aşınma mekanizması olarak modellenmiştir. Korozyon, supap alaşımının yüksek sıcaklıklarda hızlandırılmış oksidasyonundan oluşmaktadır. Supap yüzeyinde yanma üflemleri gaz sızıntısına cevaben, zayıflamış malzemenin erozyonu ve uzaklaştırılması meydana geldi. Erozyon ve zayıflayan malzemelerin supap yüzeyinden kopması sonucu supap yüzeyinden gaz üflemesine ve

yanma basınç kayıplarına neden olmuştur. Yağ katkı maddesinin kimyasal yapısı, ilgili test koşulları altında supap erozyonu korozyonunu ve hasarını etkilemiştir [7].



Şekil 2.1. Erozyon-Korozyyon Modeli a) Supap oturma yüzeyi-hasar öncesi b) Yüzey kalıntılarının pullanması ve dağılması c) Yeni başlayan oluklanma (erozyon + korozyon).

A Yağı için d) Hasar oluşturan oluklanma = erozyon-korozyon. A Yağı için [8]:

Kalıntı(tortu-katman): Tanecikli agrega; Çatlama / Dağılma;

Kalıntı: tabakalı, plaka gibi; Taneler arası aşındırma;

Egzoz kaçacağı (gazlar + partikül); Supap sıcaklığı;

Alternatif mekanik gerilmeler; Termal çevrim.

Zaman,

Khan ve arkadaşları [8] ağır hizmet tipi bir doğal gaz motorunun egzoz supabının hasar analizini yapmışlardır. Artan basınç ve sıcaklık sistemin dayanıklılığını zorlamaktadır. Bu değişen koşulların bir sonucu eski koruyucu film oluşturulmuş olan kurum üretimi seviyelerinde bir azalmadır. Bununla mücadeleye yardımcı olmak için nikel bazlı süper alaşımlar yüksek sıcaklıkta güç gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hasar, ilk devreye alınmasından yaklaşık 5000 saat sonra meydana gelirken, supapların standart beklenen kullanım ömrü 20.000 saattir. Supabın düzgün oturtulmasında, özellikle daha ince kısımlarda istenmeyen aşırı ısınmadan sorumlu olan mekanik bir sapma olduğu

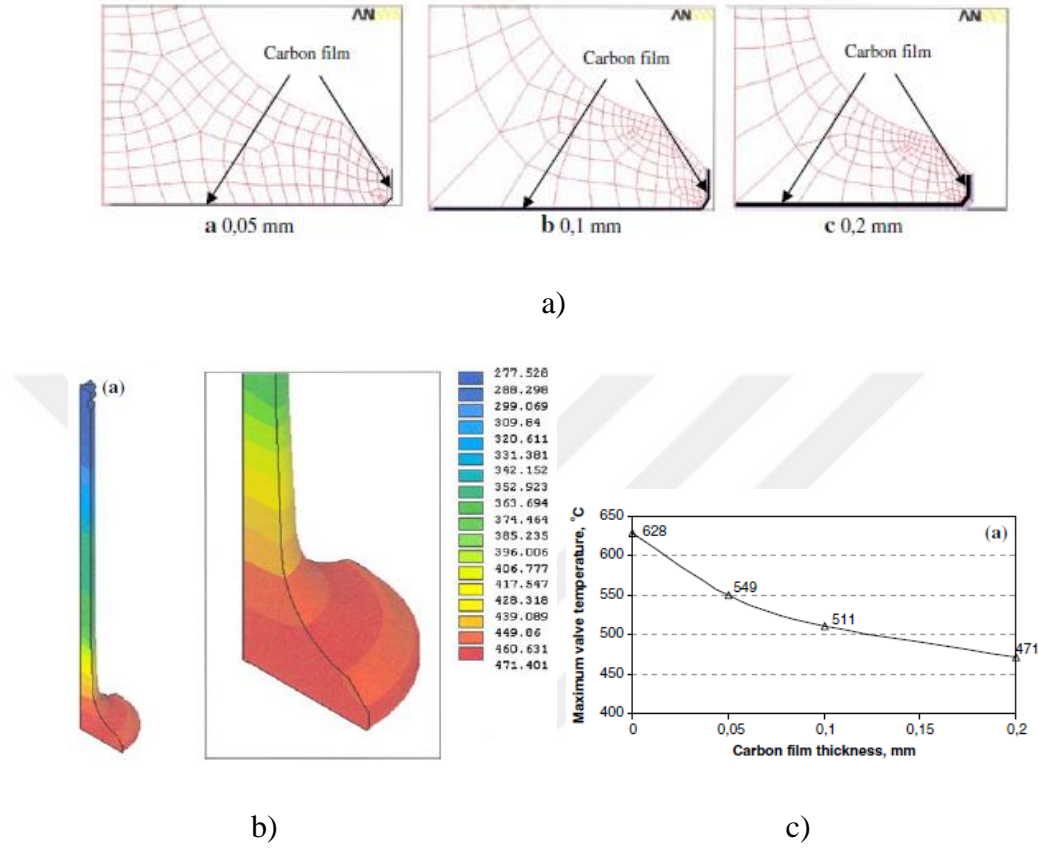
tespit edildi. Mikro yapı incelemeleri aşırı ısınmanın tanecik sınırlarında istenmeyen bileşenlerin çökmesinin sonucunda bir sürünme kopmasının sorumlu olduğunu ortaya çıkarmıştır. Supap hasarı muhtemelen aşırı ısınmadan kaynaklanmaktadır. Aşırı ısınmanın olası nedeni, oturma yüzeyinde hafif oturma ve karbon birikmesi ile sonuçlanan itici boşluk eksikliğidir. Her iki faktör soğutucuya supap yatağı içinden supap yüzüne termal ısı yolu çıkışının bozulmasına yol açmaktadır. Bu durum özellikle supap yuvası alanında, supap başının sıcaklığında önemli bir artışa neden olabilir. Sonunda, koşullar malzemenin sıcak korozyon veya yanmaya karşı dayanım direncini aşıyor. Lokalize gaz kaçağı arttıkça, oluşan boşluk boyunca yanma etki eder, en sonunda karakteristik oluk oluşur.

Alaşımın önemli ölçüde uzaması, daha sonra sertliğin azalmasıyla sonuçlanan partikül kalınlaşmasına neden olmuştur. Supap yüzeyindeki çökeltilerde, tanecik sınırlarına saldıran sıcak tuz korozyonuna neden olabilecek bazı düşük erime noktalı bileşik izleri vardır. Tanecik sınırı korozyonu var ve aynı zamanda γ ' nin intraganüler çökeltileri özellikle tanecik sınırlarının yakınında kaba ve homojen olmayan bir şekilde dağılmış durumda. Hasarlı supap içindeki tane büyüklüğü, yapılan ısıl işlemin optimum sürünme direnci amacına ulaşmadığını gösterir. Muhtemelen, mikro yapı optimum yorulma direncine ulaşmak için ayarlanmıştır. Hasarlı supabın mikro yapısı sürünme tipi kırılma türü (tanecik sınırları boyunca boşlukların birleşmesi) olduğunu hiç kuşkusuz göstermektedir.

Bu araştırmanın sonuçlarına dayanarak, supap arızasının başlıca nedenleri, supap yuvasının bozulması, supap üzerinde birikintiler ve küçük itici açıklığıdır. Bu nedenle, bir doğal gaz motorunun egzoz supapı arızasının önlenmesine ilişkin gelecekteki operasyonel ve tasarım endişeleri için aşağıdaki hususlar göz önüne alınabilir. Bu öneriler kapsamlı bir liste olarak tanımlanmamıştır, ancak doğal gaz motorlarının güvenli çalışması için kısmi rehberlik sağlayabilir [8]:

- Boşlukları, OEM servis kılavuzunda belirtildiği gibi düzenli aralıklarla veya ceket suyu sıcaklığındaki anormal bir artış olduğunda kontrol edin.
- Nikel bazlı süper alaşımdan yapılmış egzoz supap sistemindeki tanecikli korozyonu önlemek için, Mg bazlı katkı maddeleri içeren motor yağı önerilir.

Karamangil ve arkadaşları [9] çalışmalarında, farklı karbon film kalınlığına bağlı olarak egzoz supabı üzerindeki gerilme dağılımları ve sıcaklık profillerini elde etmişlerdir. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Karbon kaplanmış egzoz supabı sıcaklık dağılım grafiği

- 0,05 mm, 0,1 mm, 0,2 mm karbon film kalınlıkları
- Supap ısı dağılım modeli
- Farklı karbon kalınlıklarının sıcaklık düşmesine etkisi

Supap kafası yüzeyindeki karbon filmin varlığı ek bir termal direnç oluşturduğundan supaplar daha az ısınır ve termal gerilmeler için daha güvenli hale gelirler. Karbon filmi kalınlığının artırılması, supaptaki sıcaklık farklarını azaltır. Örneğin, supap kafası merkezi ve uç noktaları arasındaki sıcaklık farkı 50 µm karbon film kalınlığında 5 ° C iken 0,1 mm karbon film varlığında 1 ° C'ye düşer. Karbon filmi kalınlıkları zamanla artarak ısı kayıplarını ve supap sıcaklıklarının azaltır, supap yüzeylerinin daha az termal şoklara maruz kaldığı sonucuna varmışlardır [9].

3. SUPAPLAR

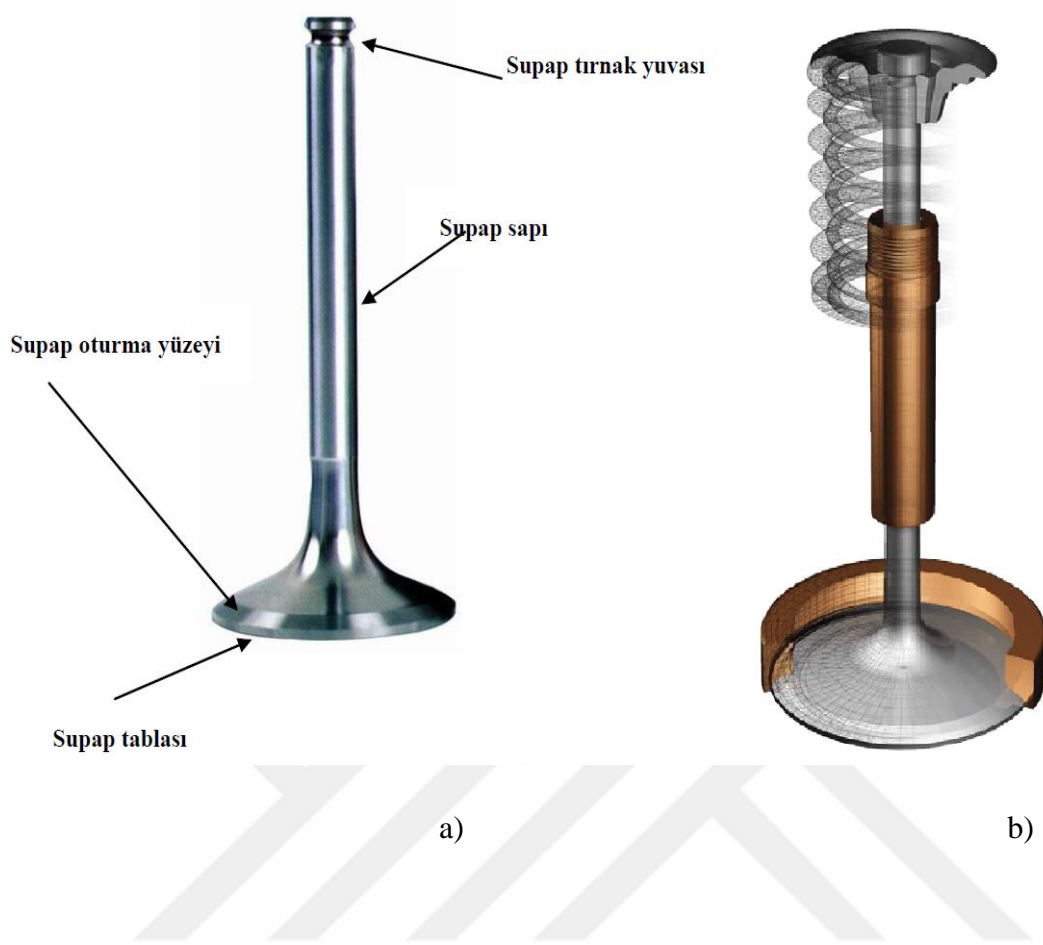
3.1. Supaplar veya Valfler

Mekanik sistemlerde sıvıların veya gazların bir ortamdan farklı bir ortama geçişini kontrol etmek için açılıp kapanan elemanlara supap denir. Motorlarda ise silindir ile atmosfer arasında gaz geçişini sağlayan parçalara supap denilmektedir [10].

- Emme supapları emme zamanında açık kalarak benzinli motorlarda benzin hava karışımının, dizel motorlarda ise sadece havanın silindire geçişini sağlar.
- Egzoz supapları egzoz zamanında açık kalarak yanmış egzoz gazlarının yanma odasından dış havaya geçişini sağlar.
- Motorun sıkıştırma ve yanma zamanında her iki supap da kapatılarak silindir içinde basıncın oluşmasını sağlar.
- Supap bindirmesinde ise her iki supap açık kalarak egzoz gazlarının bir kısmının silindirde kalmasını sağlamaktadır[10].

Supaplar devamlı yüksek sıcaklık ve mekanik zorlamaya maruz kalarak çalışır. Supaplar kapalı olduğunda supap yayları vasıtasıyla supap oturma yüzeyine sürekli baskı kuvveti uygular. Supaplar açılırken ise yay kuvvetine karşılık eksantrik mili kamı supap başına bir itme kuvveti uygular. İş zamanında yakıtın yanmasıyla meydana gelen yanmadan esnasında sürekli yüksek ısıyla temasta kalarak çalışır (Şekil 3.1).

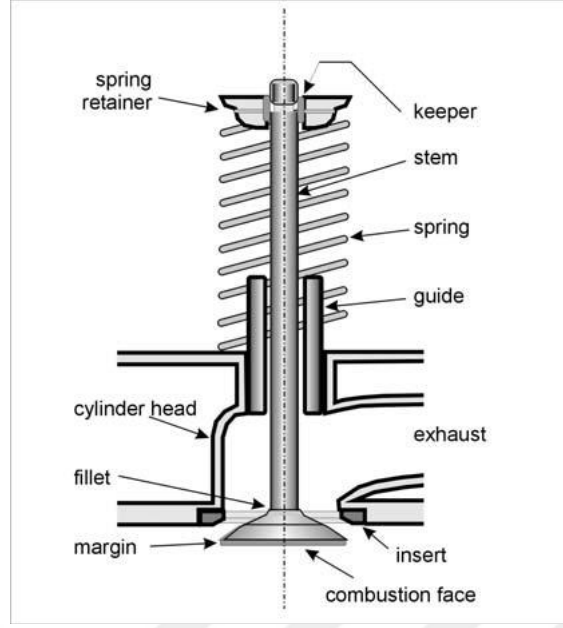
Yukarıdaki zor koşullar altında supapların arıza yapmadan çalışabilmeleri için özel çelik alaşımlı malzemelerden yapılırlar.



Şekil 3.1. Supabın bölümleri a) Supap görüntüsü [10] b) Supap modellemesi [11]

Supaplar, supap tablası ve supap sapı olmak üzere iki kısımdan oluşur (Şekil 3.1).

Supap sapının en uç kısmında supabın yay tablasını tutmak için tırnak yuvaları vardır. Supap tablasında ise sızdırmazlığın sağlandığı supap oturma yüzeyi vardır. Genelde oturma yüzeyleri supap yuvasına göre bir derece farklı açıyla taşlanır. Eğer yuva açısı 45 derece olursa supap oturma yüzeyi 44 derece taşlanır. Böylece supap yayının uyguladığı baskı kuvvetinin ince bir yüzeye uygulanmasını sağlayarak supabın sızdırmazlık özelliğini artırmaktır [10].



Şekil 3.2. Egzoz supabı çalışma şeması [12]

İçten yanmalı motorlarda, motor tipleri arasında değişiklik gösteren çeşitli supap tipleri kullanılmaktadır. Supapların farklı parçaları farklı temas durumlarına maruz kalır. Bundan dolayı, supaplar genellikle birkaç farklı malzemeden oluşur. Üst ve gövde, sıcak yanma gazlarıyla doğrudan temas halinde olan supap disk kafasından çok daha soğuktur, ana supap parçaları ve geometrileri Şekil 3.2' de gösterilmiştir.

Supaplar, yüksek düzeyde sıcaklık etkisinde, mekanik ve ısıl zorlamalarla karşı karşıya kalmaktadır. Emme supapları 500-600 °C'lere kadar çıkabilen sıcaklıklarda çalışırken egzoz supapları 800-900 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Ayrıca supap ucunda, supap sapında ve supap oturma yüzeyinde sürtünmeler nedeniyle aşınmalar oluşur [10].

Supap malzemelerinin yüksek sıcaklık ve korozyona karşı yüksek dayanıma sahip olmaları istenir. Genellikle emme supapları krom silisyum (CrSi) içeren çelik alaşımdan, sap yüzeyleri sertleştirilmiş ve supap tablası stellite (krom, kobalt ve tungsten alaşımı) ile kaplanarak dayanımları artırılmış halde tek parça olarak üretilmektedir.

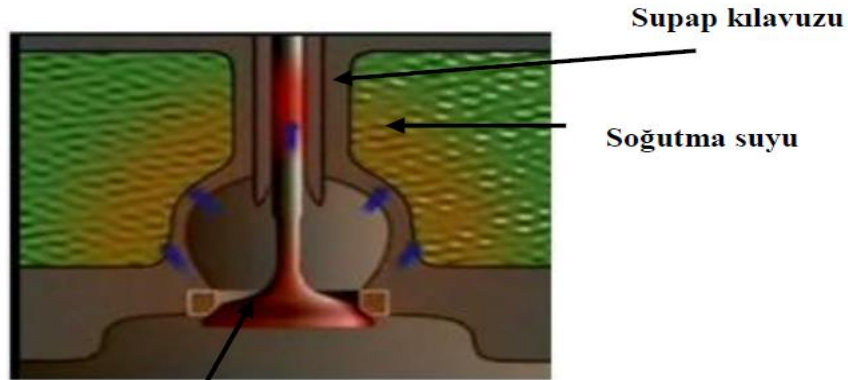
Supaplar çalışırken supap sapı ve kılavuzu arası motor yağlama yağı ile yağlanır. Motor yağlama yağının kılavuz ile sap arasından silindir içine sızmasını önlemek için supap lastikleri kullanılır. Supap lastikleri motorun aşırı hararet yapması sonucunda sertleşme olur. Motor yağı silindir içine sızar ve motor yağı azalır (Şekil 3.3) [10].



Şekil 3.3. Supap lastiği [10]

Egzoz supapları ısıya dayanımlı olarak yapılır. Tabla bölümü, krom mangan (CrMn) alaşımlı çeliklerden yapılırken sap bölümü krom silisyum (CrSi) alaşımlı çeliklerden üretilmektedir. Egzoz supap yuvaları stellite çelik alaşımları ile kaplanarak dayanımları artırılmıştır.

Ayrıca çok yüksek sıcaklıklarda çalışan özel tasarım motorlarda içi boşaltılmış supaplar da kullanılmaktadır. Bu supapların iç kısmı boşaltılarak 100 °C' de eriyebilen kristalize sodyumla doldurulmuştur. Supabın hareketi esnasında metalik sodyum hareket ederek sıcaklığın supap tablasından supabın tamamına dağılmasını sağlar. Supaplar üzerindeki ısı supap yuvasından ve baya üzerinden Şekil 3.4'deki gibi soğutma suyuna aktarılır [10].



Şekil 3.4. Supap ısı transferi [10]

3.2. Supap Malzemesi

Çizelge 3.1' de supap malzemelerine uygulanan dayanım artırıcı yöntemler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Supaplarda yapılan özel işlemler [13]

Cr	Krom kaplı supaplar	Supap sapını sert krom ile kaplamak korozyona karşı korur ve sapın aşınmasını önler.
F	Fosfat kaplı supaplar	Supap sapı fosfatlanarak yağ tutuculuk özelliğini artar ve korozyondan korunur.
Ni	Nitrürlenmiş supaplar	Supap sapına nitrürasyon yapılarak yorulma mukavemeti, korozyon dayanıklılığı ve aşınma mukavemeti artar.
Na	Sodyum dolgulu supaplar	Çok yüksek sıcaklıklarda çalışan supapların içi sodyum ile doldurularak supap kafasının sıcaklığını düşürülür ve böylece çatlak, korozyon ve distorsiyon hasarları azalır.
St	Stellitli supaplar	Sap uçları ve egzoz supaplarının supap oturma yüzeyleri stelit dolgu yapılarak aşınma mukavemeti ve korozyon dayanıklılığı artırılır.
Y	Oturma yüzeyi sertleştirilmiş supaplar	Özellikle emme supaplarında indüksiyonla sertleştirme yapılarak supap oturma yüzeyinin aşınmasını önlenir.
S/A	İki parçalı supaplar	Sap kısmı ise iyi bir aşınma dayanımına sahip olan martenzitik çelikten; baş kısmı ise korozyona, mekanik zorlanmalara ve ısıya dayanıklı olan östenitik çelikten üretilir. Genellikle egzoz supaplarında maliyeti düşürür.

Egzoz valfi kafası, yanma sırasında yanan gazın tüm ısısına maruz bırakılır ve sıcak gazlar silindirden salındığında, egzoz valfi kafasından geçer. Egzoz valfi motorun en sıcak kısmıdır ve tam güç koşulları altında yaklaşık 700 ° C sıcaklığa ulaştığı tahmin edilmektedir [14].

Egzoz valfinin uzun süre boyunca arızalanmadan çalışması için özel bir yüksek çekme dayanımlı çelik malzeme olması gerekir; çeşitli kullanım alanları için manganez, silikon, nikel ve krom içeren alaşımlarda geliştirilmiştir. Egzoz valfi ısıyı iki yönde geçirerek soğutulur:

- 1- Supap sapı ve kılavuzundan silindir başlığına doğru.
- 2- Supap kapalıyken oturma yuvasından doğrudan silindir başlığına doğru.

Aşırı sıcak çalışma koşulları için valf gövdesi bazen içi boş yapılır ve içine kısmen erime noktası 98 °C olan çok yumuşak bir metal olan sodyum ile doldurulur. Motor çalışma koşullarında, sodyum erimiş hale gelir ve supap tablasından aldığı ısıyı supap sapına doğru ileterek ısının transferine yardımcı olur. Bu, pahalı bir valf yapısı şeklidir ve yalnızca gerekli olduğu durumlarda kullanılır.

Bazı supaplar, oturma yuvasından ısı geçişini iyileştirmek ve ayrıca supap oturma yuvasında paslanmayı önlemek için alüminyum ile kaplanmıştır. ‘Alüminize valfler’ tekrar kullanılamazlar çünkü yüzey kaplamaları incedir [14].

3.3. Supap Yuvaları veya Bagaları

Supapların silindir kapağında oturdukları yere supap yuvası veya бага denir. Supaplarla birlikte karşılıklı olarak iyi bir sızdırmazlığı sağlama görevi görürler (Resim 3.1).



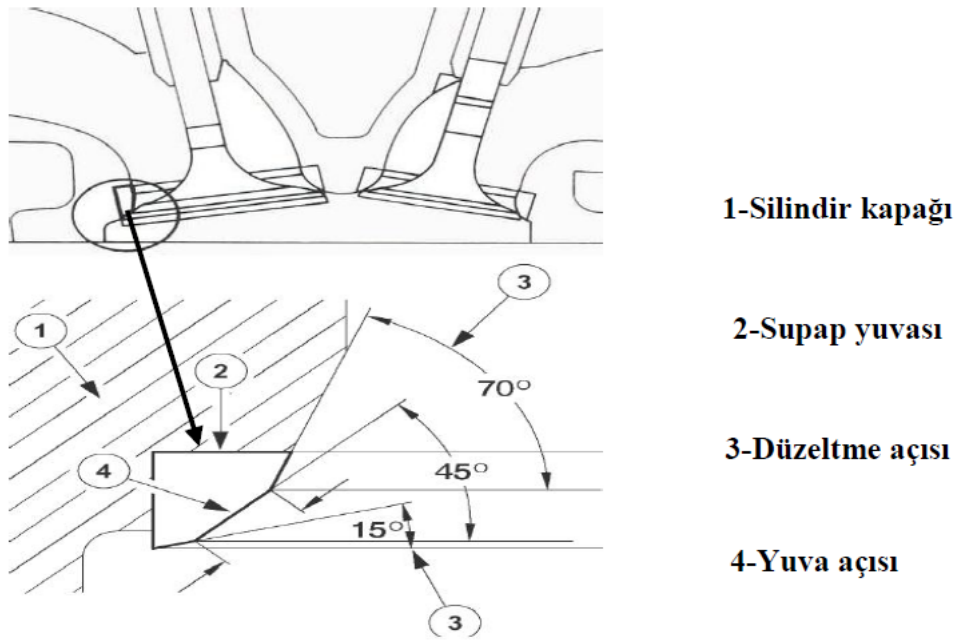
Resim 3.1. Baga [15]

Supap oturma yuvası olarak da adlandırılan, motorun çalışması esnasında emme veya egzoz supabının kapalı konumda olması ile temas ettiği, sızdırmazlık temin eden motor parçalarıdır. Bagalar kritik bir öneme sahiptir, zira üretim sırasında hatalı şekillendirildikleri veya motor silindiri içerisine uygun bir biçimde yerleştirilmedikleri

takdirde supapların sızdırmasına yol açmakta ve bu da motor sıkıştırma oranına, motor verimliliğine ve performansına olumsuz etkiler yapmaktadır [14].

Bağalar, kapanan supabın darbesine dayanabilecek, aşınmaya ve korozyona karşı mukavemetli, motorun çalışması sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklara dirençli malzemelerden üretilmelidirler [14].

Dökme demir alaşımlarından yapılan silindir kapaklarının bazılarında supap yuvaları doğrudan kapak üzerinde oluşturulur. Bazılarında ise supap yuvaları sürekli yüksek sıcaklık ve basınç altında çalıştıklarından daha dayanıklı olmaları için çelik alaşımlarından ayrı bir parça olarak yapılırlar. Yapılan bu parça yani бага dökme demirden ve alüminyum alaşımlarından yapılan silindir kapaklarına supap yuvaları olarak sonradan presle takılır. Yuvalar kapaktaki yerlerine takıldıktan sonra taşlanır. Şekil 3.5’de supap yuvasının yapısı gösterilmiştir [10].



Şekil 3.5. Supap yuvasının açılımları [10]

Kızgın yanma ürünleri sebebiyle supap yuvaları çabuk yumuşamaya ve supapların sürekli vuruntuları nedeniyle çok hızlı aşınmaya başlarlar. Bu durumu önlemek ve ömürlerini uzatmak için yüksek sıcaklıklara dayanabilecek özel alaşım olan “stellite, stelayt” bağalar

kullanılmaktadır. Stelayt: %2,5 karbon, %30 krom, %48 kobalt, %12 volfram, ve %7,5 demirden oluşan özel bir alaşımdır [16].

Stelayt bagalar silindir kapağındaki yuvalarından çıkmaması için бага çapı yuva çapından büyük yapılır. Bu durumda kendi çapından küçük bir yuvaya bağayı rahatça oturtabilmek için silindir kapağı ısıtılır veya бага -80°C olan kuru buz ile soğutulur. Daha sonra oda sıcaklığına ulaşıldığında silindir başlığı bağayı sıkıca yerinde tutar [16].

Stelayt alaşımların diğer alaşımlara göre üstün tarafı, silindir başlığının dökme demir malzemesi ile genleşme katsayılarının aynı olması sayesinde tüm sıcaklık değişimlerinde yuvasından çıkmazlar. Kullanım ömürleri diğerlerine göre daha uzun supap yuvası oluştururlar. Arızalanması durumunda değiştirilebilirler. Ancak darbeye dayanıklı ve çok sert olmaları sebebiyle supapların hasarlanmasına neden olurlar. Ayrıca ısı iletimleri düşük olduğundan bu бага ile karşılıklı çalışan supaplar 40-95°C kadar daha yüksek sıcaklıkta olurlar. Gelişen teknoloji ile egzoz supaplarının yüzeyleri stelayt gibi dayanıklı alaşımlarla kaplamak ve bagaların ısılarını düşürmek için de başlıktan bagaya uzanan bir soğutma kanalı açmak suretiyle bu sorunlara çözüm bulunmuştur [16].

3.4. Supaplarda Yapılan Kontroller

Supaplar yüksek sıcaklık ve basınç altında sürtünerek çalışan parçalar olduğundan supaplarda aşınmalar olmaktadır. Silindir kapağı söküldüğünde mutlaka supaplar kontrol edilmelidir. Supaplarda değiştirme olamayacağını düşünerek supaplar sökülürken mutlaka hangi silindirden söküldüğü işaretlenmelidir [10].

3.4.1 Supap Sapı Aşınma Kontrolü

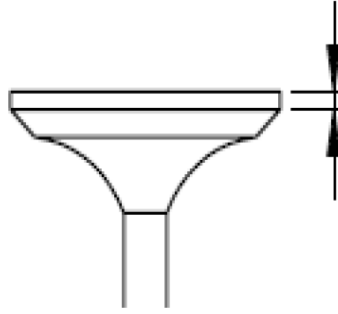
Supap sapı Resim 3.2'de görüldüğü gibi mikrometre ile ölçülür. Alınan ölçü standart çaptan çıkarılır aşınma miktarı katalog değeri ile karşılaştırılır. Gerekirse supaplar değiştirilir [10].



Resim 3.2. Mikrometre ile çap ölçümü [10]

3.4.2 Supap Tablası Et Kalınlığı Kontrolü

Supap tablası et kalınlığının genellikle 0,8-1 mm'nin altına düşmemesi gerekir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ölçümü yapılır. [10]



Şekil 3.6. Supap tabla çeşitleri [10]

3.4.3 Supap Yuvalarında Yapılan Kontroller

- Supap ve yuvalarında derin çizikler, çatlaklar oluşmamalıdır.
- Supaplar uzun süre çalıştıktan sonra, supaplar ve yuvalar aşınır yuva genişlikleri artar. Standart değerlerden geniş bir supap yuvası, supap kapandıktan sonra birim alana düşen yay basıncı azalacağı için supabın sızdırmazlık görevini yerine getirmesini engeller ve bu da kompresyon kaçağına neden olur. Kompresyon kaçağı sırasında, sıcak gazlar supap ve yuvasını yakar. Supap yuvaların genişliği kumpas ile ölçülür. Supap yuvaları katalog değerlerinden farklı ise taşlanır veya yuva değiştirilir [10].

3.5. Supap Gaydları veya Klavuzları

Supabın, çalışması sırasında hareketini düzgünce yapabilmesi için ona kılavuzluk eden, iç kısmı boş, silindir şeklindeki motor parçalarıdır (Resim 3.3). Gayd ile supap gövdesi arasında çalışma boşluğu olarak adlandırılan çok küçük bir boşluk vardır. Bu boşluk, gaydın uygun bir şekilde yağlanabilmesini sağlar ve supabın gayd içerisinde sıkışıp çalışmaması olasılığının önüne geçer [14].

Gaydların görevi supaplara yataklık yapmak ve supapta biriken ısıyı soğutma suyuna taşımaktır. Genelde supap sapı ile gayd arasında kuru kaygan sürtünme ortamı ve değişken ısı dağılımı görülür.



Resim 3.3. Gayd [15]

Supap kılavuzları, supapların kendi eksenleri içerisinde çalışmasını sağlayan silindirik parçalardır. Dökme demirden imal edilirler ve silindir başlığına pres ile takılırlar [10].

Gaydlar motor tasarımına bağlı olarak bazen kısa veya uzun olarak yapılırlar. Egzoz supabı gaydları kızgın egzoz gazlarına karşı koruma sağlamak ve egzoz subap yüzey alanını daha çok sararak soğutmaya yardımcı olmak için uzun olmaları istenir [16].

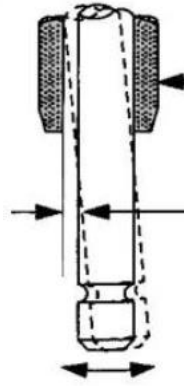
Emme supabı gaydlarının yağ contası bağlanarak kullanıma sunulması çok yaygın bir uygulamadır. Bu contalar, emme zamanında yanma odasında oluşan vakum nedeni ile fazla yağın supap gövdesi ve gayd arasından sızıntı yapma olasılığının önüne geçerler. Yanma odasına olası bir yağ girişi egzozdan çevreyi tahrip eden mavi duman çıkışına sebebiyet verir. Yağ contası, egzoz supabı gaydlarında da kullanılmaktadır ancak bu çok sık karşılaşılan bir uygulama değildir. Çünkü egzoz zamanında yanma odası içerisindeki basınç daha yüksektir ve bu basınç, yağın gaydten aşağı sızarak yanma odasına ulaşmasını engeller [14].

Yağlamanın yetersiz olması durumunda supap sapı gayddan daha fazla aşınır. Aşınma hem sap hem de gaydda oluyorsa, aralarında malzeme uyumsuzluğu olduğu söylenebilir. Baga-
gayd aksenal kaçıklığının olduğu başlıklarda, tek taraflı ve normalden fazla sap aşınmaları olduğu görülür [17].

Supap tabla bölümünden supap sapına doğru akan ısı, gaydlar ile soğutma suyuna aktarılır. Sap ile gayd arasındaki boşluk bu nedenle önem kazanmaktadır. Aradaki boşluk fazla ise ısı transferi az olacağından supaplar sıcakta çalışır ve deforme olurlar; boşluk az ise, malzemelerin genleşme farkları sebebiyle supap sapı gayda sarar. Üretici firmalar tarafından bu boşluk ölçüleri verilmektedir. Bakım ve montaj sırasında boşluğun orijinal katalog değerine uyup uymadığının kontrolleri bakımcı tarafından yapılmalıdır [17].

Supap kılavuzlarında aşınma kontrolü aşağıdaki gibi yapılır:

Yeni supap Şekil 3.7’de görüldüğü gibi supap kılavuzu içine konur. Komparatör supap tablasına temas edilerek sağa sola hareket ettirilir. Aşınma miktarı komparatörde okunur. Katalog değeri ile karşılaştırılır. Toleranslar dışındaysa kılavuzlar yenileri takılır [10].



Şekil 3.7. Supap kılavuzu aşınma kontrolü [10]

3.6. Supap Yayları

Kam mili tarafından açılan supaplar supap yayları ile tekrar geri sızdırmazlık sağlayacak şekilde yuvasında kapanmaları sağlanır ve kam mili tarafından tekrar açılıncaya kadar kapalı tutulurlar (Resim 3.4).

Supap yaylarının görevleri şunlardır:

- Supapların kapalı kalmasını temin etmek
- Supabın açılması esnasında sistemde oluşan atalet kuvvetini karşılamak için yeterli kuvveti sağlamak
- Supap hareket mekanizmasının geri sıçramamasını sağlamaktır [16].

Supap yayları yüksek sıcaklıklarda basınçlarını koruyabilmeleri için yay çeliğinden helezon şeklinde sarılarak imal edilirler. Silindir başlığındaki yuvalarına düzgün oturtulabilmesi için yayların uçları taşlama tezgâhında taşlanarak düzleştirilmiştir. Bazı motorlarda supapları denetlemek üzere küçük çaplı yaylardan iki veya üç adet aynı merkezli veya konsantrik yaylardan kullanılır [10,16].

Valf yayları, yaklaşık % 0.6 ila % 0.7 karbon içeren ve genellikle az miktarda silikon, manganez ve vanadyum içeren yay çeliğinden yapılmıştır [14].

Motorun çalışması esnasında silindir kapağındaki sıcaklıktan supap yayları etkilenir. Supap yayların genliği sıcaklıktan olumsuz etkilenir. Yayların silindir başlığındaki sıcaklıktan etkilenip genliklerini yitirmemeleri için yayların bir tarafı daha sık sarılmıştır. Montaj yapılırken sık sarımlı tarafı silindir başlığına gelecek şekilde takılır.



Resim 3.4. Supap yayları [18]

Büyük supaplar dayanımı daha fazla çelikten imal edilerek supabı hızlı ve sızdırmazlık sağlayacak şekilde kapatabilmeleri sağlanır. Ancak bu durumda da supabı çok hızlı kapattıkları için supap yuvalarında aşınma görülür. Bu durumu önlemek için birbirine ters sarımlı iki adet yay kullanılarak aşınma azaltılmaya çalışılır. Supabın kapanması sırasında vuruntuyu azaltmak için yayların iç tarafındaki biraz yumuşak malzemeden yapılır [10].

Supap yaylarında yapılan kontroller şunlardır:

Yay malzemesi zamanla yorularak yay basıncı azalır ve supaplar kam milinin hareketini tam olarak takip yapamaz. Yaylar supapları yuvasında tam sıkıştıramadığından kompresyon kaçakları görülür. Motorun supap diyagramı bozulur ve verimi düşer. Supap yaylarının bu nedenle kontrol edilmesi önemlidir [10].

3.6.1 Yay Dalgalanması

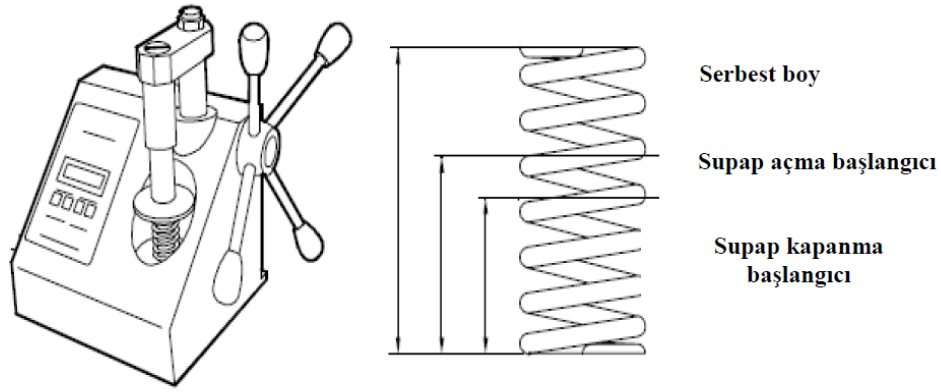
Kam mili tarafından supap yayının her hareket ettirilişinde yayda bir titreşim oluşur. Bu titreşimlerin tekrarlı olarak artmasıyla yayda bir rezonans oluşur ve yay helisleri birbirine dokunurlar. Bu olaya “yay dalgalanması” adı verilmektedir. Yay dalgalanması sırasında yayın faydalı kuvveti azalarak supap mekanizmasında sıçramalar meydana gelir. Ayrıca sarsıntılı çalışma nedeniyle yayın alt ucu birbirlerine dokunarak yayda kırılma olayı oluşur.

Bir yay ile yeterli frekans sağlanamadığı takdirde daha fazla yay iç içe kullanılarak istenilen frekans sağlanarak yay dalgalanması durdurulur. Böylece yaylardan herhangi biri kırılırsa diğeri çalışmaya devam edecektir [16].

3.6.2 Supap Yaylarında Serbest Boy ve Basınç Kontrolü

Supap yayının boyu yay ölçme aparatı ile Şekil 3.8’ deki gibi, serbest boy, supap açma başlangıç boyu ve kapanma başlangıç boyları ölçülerek katalog değerleri ile kıyaslanır. Gerekirse yayların yenileri takılır.

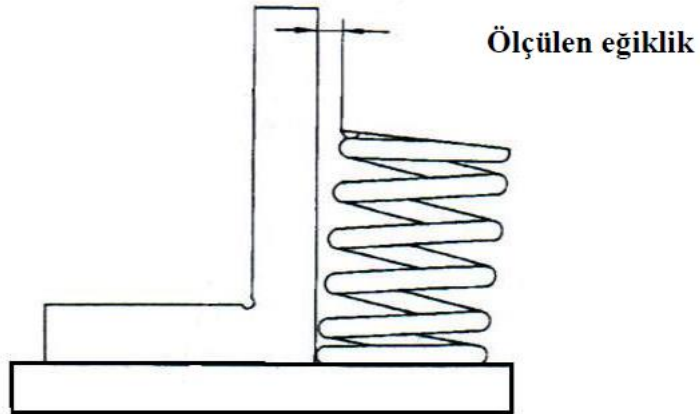
Yine bu cihazda yay basıncını ölçmek için katalogunda verilen değer kadar kuvvet uygulanarak yay boyu ölçülerek katalog değeri ile karşılaştırılır. Gerekirse yaylar yenisiyle değiştirilir [10].



Şekil 3.8. Yay kontrolü [10]

3.6.3 Supap Yaylarında Eğiklik Kontrolü

Kontrol edilecek olan yay düz bir pleyt üzerine koyulur. Gönye ile birlikte Şekil 3.9’ da gösterildiği gibi dik tutulur. Yay gönyeye yaslanmış şekilde kendi eksenine etrafında bir tur çevrilir. Yayın döndürülmesi sırasında gönye ile yay arasındaki açıklık sentil ile kontrol edilerek katalog değeri ile karşılaştırılır ve gerekli görülürse yay yenisiyle değiştirilir [10].

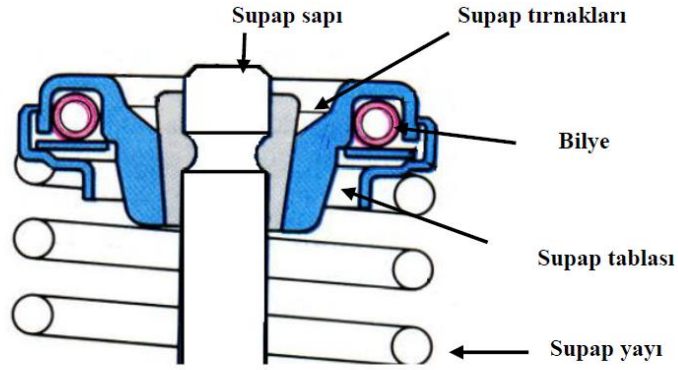


Şekil 3.9. Yay eğiklik kontrolü [10]

3.7. Supap Yay Tablası

Supap yay tablası ile yayların supap sapına bağlanması sağlanır. Yay tablasının supap tırnakları ile beraber yayın üst kısmına montajı yapılır. Yay tablaları supap yayını supap sapı ile aynı ekseninde tutarak supap yayının eğilmesini engeller.

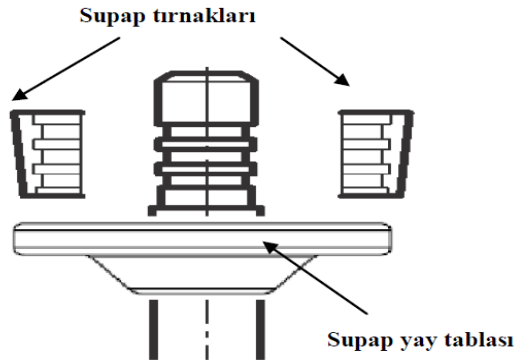
Supapların yuvalarında dönerek çalışması istenirse yay tablaları Şekil 3.10'daki gibi bilyeli olarak tasarlanır [10].



Şekil 3.10. Döner supap yay tablası [10]

3.8. Supap Tırnakları

Supap tırnakları supap tablası ile birlikte Şekil 3.11' de gösterildiği gibi supap yayını supap sapına bağlarlar. Çoğunlukla supap tırnakları konik olarak tek setli veya çift setli olarak üretilirler. Supap tırnakları motorun yapısına göre çok parçalı yapılabilirler. Yay basıncı ile tırnaklar yerinde tutulmakta ve kilitlenmesi sağlanmaktadır.[10,16].



Şekil 3.11. Supap tırnakları ve yay tablası [10]

3.9. Supap Boşluğu ve Supap Ayarı

Külbütör baskı manivelası veya kam ile supap sap başı arasındaki boşluğa supap boşluğu denir. Yüksek sıcaklık etkisinde çalışmaya bağlı olarak supap sapı ve supap mekanizması

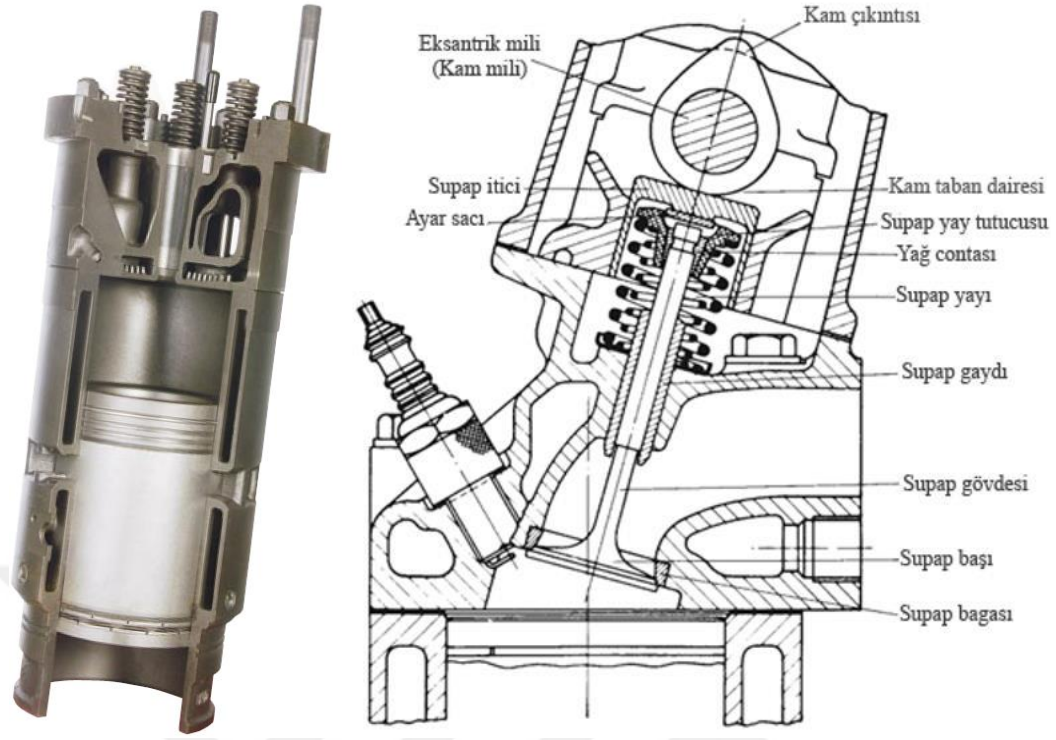
ısınarak genişler supapları yuvasından açmaya zorlar. Bu durumu önlemek için kam ile supap başı arasına bir boşluk konulur. Supap boşluk ayarı supap zamanlamasına direk etki ettiği için motor gücünü ve performansını doğrudan etkiler. Bu yüzden supap boşluk ayarı çok kazanmaktadır. Supap boşluğun fazla olması motorun gürültülü çalışmasına, aşınmanın artmasına ve supap zamanlamasının bozulmasına neden olur. Boşluğun az olması ise, supabın yuvasına tam oturamamasına dolayısıyla sızdırarak gerekli kompresyonun sağlanamamasına ve yüzeylerin yanmasına sebep olur [10,16].

Supap boşluğu baskı manivelası üzerinde bulunan ayar civatası veya kontra somunlar ile ayarlanabilmektedir. Ayarlama değerleri makine sıcak ve soğuk iken farklı ölçülerde olup bu değerler işletme kitaplarında bulunmaktadır.

Supapların açılması sırasında havaların soğuk veya sıcak olmasına bağlı şoku önlemek ve sabit bir temas yüzeyi sağlamak için otomatik boşluk düzenleyiciler kullanılır. Bunlar aynı zamanda supap mekanizmasındaki aşınmaları önlemek için el ile yapılan boşluk ayarlarına da ihtiyaçları yoktur [16].

3.10. İçten Yanmalı Motorlarda Supap Tertibatı

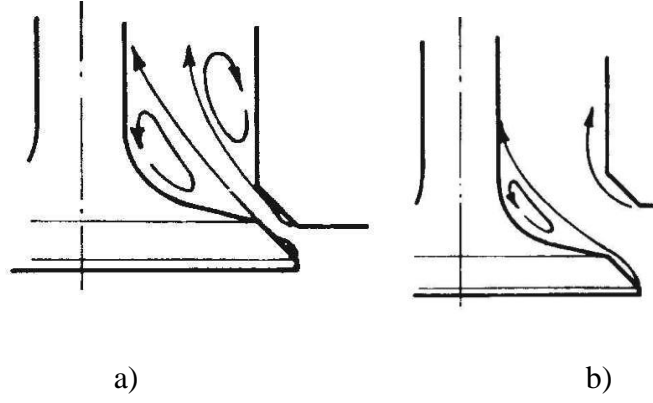
İçten yanmalı motorlar birçok uygulamada kullanılmaktadır. En yaygın kullanım, dünyadaki araçların büyük çoğunluğunu oluşturdukları taşımacılık sektöründedir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı yanma gazlarının genişmesini bir silindirin içine yerleştirilmiş bir pistonun yer değiştirmesi yoluyla mekanik enerjiye dönüştürerek çalışırlar. Piston, yer değiştirmeyi dönme hareketine dönüştüren bir krank miline bağlanmıştır. Bir motor genellikle daha küçük olanlar hariç aynı krank miline bağlı birkaç silindirden oluşur. Yanma zamanlamalarını ayarlayarak yumuşak bir tork sunarlar. Bir silindirde ihtiyaç duyulan gaz değişimini kontrol etmek için, bir supap seti - tipik olarak iki giriş ve iki egzoz supabı - piston kafasının üzerine silindir kafasına yerleştirilir. Yüksek yanma basıncı ve sıcak gazlarla doğrudan temaslarından dolayı, ağır koşullar altında çalışırlar [19].



Şekil 3.12. a) İki zamanlı dizel motor silindiri [20] b)Dört zamanlı benzinli motor supap tertibatı [21]

Supap tertibatı temel olarak supap, supap gaydı, supap bagası ve supap yayı olmak üzere dört parçadan oluşur. Bunların yanında eksantrik mili (kam mili) sistemin doğal bir parçası olarak kabul edilir. Eksantrik mili merkez dışında bulunan motorlarda supaplar külbütör aracılığı ile işletilir. Eksantrik mili merkezde bulunan motorlarda ise supapların çalışması supap itici parça yardımı ile olmaktadır. Bu tür motorlarda supap itici parça ile supap arası açıklık bir ayar sacı vasıtası ile ayarlanır. Şekil 3.12' de içten yanmalı motorların supap tertibatı şematik olarak gösterilmektedir [21].

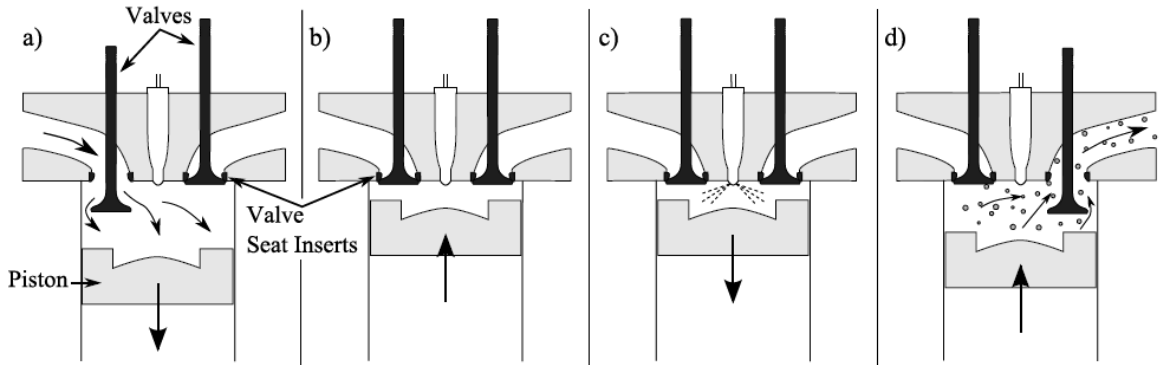
Yanma sonu oluşan gazların egzoz supabı oturma yüzeyi açısına göre bu alandan geçerken supap açıklığının az veya çok oluşuna göre oluşturduğu akış karakteristiği Şekil 3.13' te görülmektedir [21].



Şekil 3.13. 45° Oturma yüzeyi açılı egzoz supabının akış karakteristiği a) Düşük açıklık
b) Yüksek açıklık [21]

Emme ve egzoz zamanları sırasında supapların hızlı bir şekilde açılması ve yüksek bir gaz akışı için optimize edilmesi gerekir (Şekil 3.14).

Sızdırmazlık ara yüzündeki aşınma supabın kaçırmasına yol açar, bu da kompresyonu engeller ve dolayısıyla silindirin etkin çıktısını azaltır [19].



Şekil 3.14. Dört zamanlı dizel motor çevrimi[19]

Sıkıştırma ve ateşleme sırasında supaplar, oturma yüzeyleri sayesinde silindirin içinde oluşan yüksek basınçlara ve sıcaklıklara karşı etkili bir şekilde sızdırmazlığı sağlamalıdır. Bu zamanlar sırasında sızıntı olursa, gücün büyük bir kısmı kaybolur ve bu da silindiri işe yaramaz hale getirir [19].

Hem supap hem de supap yuvası yüksek çevrim temas gerilmelerine ve yanma sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Ayrıca, egzoz zamanında, yüzeyleri sıcak egzoz gazları ve parçacıkları ile temas eder. Supaplara etki eden yanma basıncı 200 barın

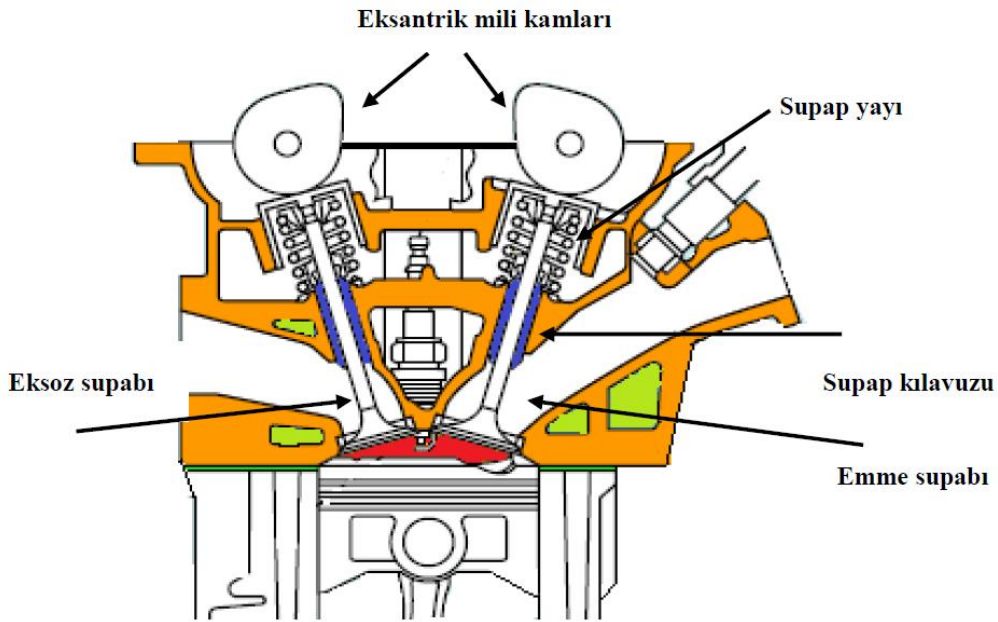
üzerine çıkacak ve egzoz supabının sızdırmazlık ara yüzü tam yük altında 700 ° C'yi aşan bir çalışma sıcaklığına sahipken, soğuk çalıştırma sırasında sıfırın altında bir sıcaklıkla karşılaşacaktır [19].

3.11. Supap Mekanizması

Supap mekanizmasının görevi, silindir içindeki pistonun konumuna göre zaman ayar mekanizması ile birlikte supapların açılıp kapanma zamanlamasını yapmaktır [10].

Büyük güç isteyen iki zamanlı ve diğer dört zamanlı içten yanmalı motorların bir silindirinde emme ve egzoz olmak üzere iki supap bulunur [10].

Supap mekanizması bileşenleri Şekil 3.15'te verilmiştir. Eksantrik mili üstündeki kamlar sayesinde supaplar açılır. Supap sapında bulunan yayın geri çekme kuvvetiyle de kapanır. Gelişen teknolojiyle beraber supap mekanizmasını oluşturan parçaların neredeyse tamamı silindir kapağı üzerinde toplanmıştır [10].



Şekil 3.15. I tipi motor [10]

Supap mekanizmasının arızaları ve belirtileri şunlardır:

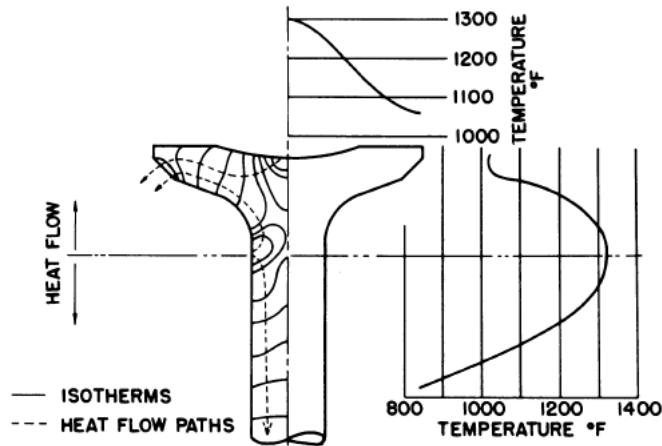
- Supap mekanizmasında meydana gelen arızalarda ilk belirtiler çoğunlukla motorda güç kaybı olarak görülür. Yüzey hasarı nedeniyle supap oturma yüzey alanı ile

supap yuvası arası tam kapanmazsa silindir içindeki kompresyon basıncı dışarı kaçar. Özellikle motor soğuk iken çalışması daha düzensiz ve sarsıntılı olur.

- Supap yaylarındaki hasar nedeni ile yay basıncı azalırse supaplar geç kapanır ve yanma zamanları değişeceği için motorda güç kaybı görülür.
- Supap yayları yüksek sıcaklık nedeniyle basıncını kaybederse supaplar yuvaya tam oturamaz ve kompresyon kaçağına sebep olur.
- Supap lastiklerinde sertleşme görülürse supap sapındaki yağlama yağı kılavuzla sap arasından yanma odasına kaçmaya başlar ve motor yağı azalır. Egzozda grimsi renkte duman gözlenir.
- Boşluk ayarları bozulursa supap tam açılmaz veya tam kapanmaz, supap sesi gelmeye başlar.
- Motorun yüksek devirlerde çalışması sonucu supap yuvalarında, supaplarda yanma görülür, sızdırmazlık sağlanamaz [10].

3.12. Egzoz Supapları

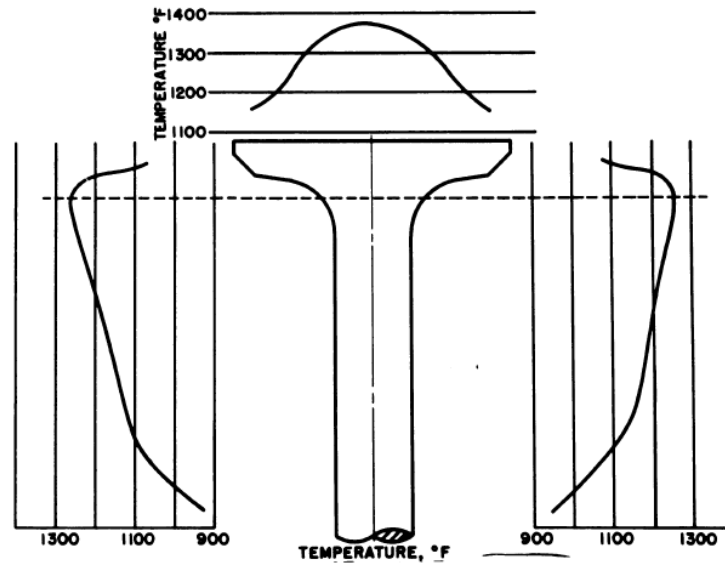
En yüksek sıcaklık supap tablasının altındaki içe yuvarlatılmış alanın ortasında, supap oturma yüzeyinde ve tabla kısmındaki radyusun bittiği sap başlangıcı kısmında oluşur (Şekil 3.16). Yanma gazları bu kısımlara yüksek hızla çarptığından bu alanların sıcaklığı daha yüksektir [22].



Şekil 3.16. Benzinli motor egzoz supabında ısı akışı [22]

Supabın tam ortasında yüksek sıcaklık alanı oluşması, supabın alt tabla kısmından başlayarak azalması gereken ısı dağılımını bozmaktadır. Supabın kafa kısmındaki tek ısı akış noktası supap oturma yüzey alanıdır. Supap ve yatak yuvası arasındaki dik temastan ve başın üstündeki sıcaklık derecesinden dolayı, oturma yüzeyinin en etkili ısı transfer bölgesi olduğu açıktır. Soğutma oranının % 75 veya daha fazla bir kısmının oturma yüzeyi boyunca gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Geri kalan ısı transferi ise sap ile gayd arasındaki temas bölgesinden olmaktadır [22].

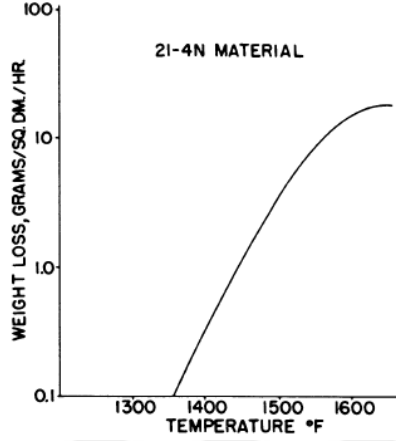
Dizel egzoz supaplarında (Şekil 3.17), supap kafasının merkezinde meydana gelen maksimum sıcaklık ile biraz farklı bir sıcaklık dağılımı gösterir. Supabın alt yüzeyindeki sıcaklık, başın üst kısmından daha düşüktür. En yüksek sıcaklık ise, kafa radyus merkezinin üzerindeki bir noktada meydana gelir. Düşük sıcaklık gradyanları gaz veya benzinli motorlardan daha az şiddetlidir [22].



Şekil 3.17. Dizel egzoz supabı sıcaklık dağılımı [22]

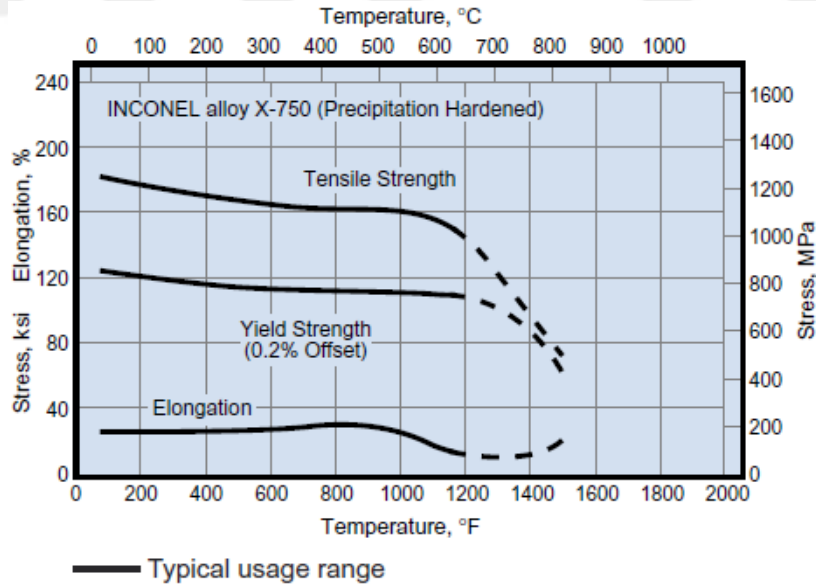
Tüm supap malzemelerinin hem mekanik dayanımı hem de korozyon direnci sıcaklık arttıkça düşer. Örneğin, Şekil 3.18' de, yaygın olarak kullanılan bir egzoz supabı malzemesi için PbO korozyon hızlarını sıcaklığa karşı karşılaştırmaktadır. 1350 F'lık bir test sıcaklığında, 0.1 gr / dm² / saat ağırlık kaybı gözlenmiştir. Sıcaklıktaki 25 F derecelik bir artış, 0.22 gr'a oranla iki katından fazla bir korozyon hızı ile sonuçlanır. 1400 F' da ise

kütle kaybı 0,45 gramdır. 1350 F'dan 1400 F' a çıktığında kütle kaybı 4,5 katına çıkmıştır [22].



Şekil 3.18. Sıcaklığın PbO korozyonuna etkisi [22]

50 F derecelik bir sıcaklık artışı, hasar oranını düşük bir seviyeden kabul edilemez bir değere yükseltebilir. Bu nedenle, sıcaklıktaki küçük düşüşler, korozyon hasarını azaltmak açısından büyük gelişmeler sağlayabilir [22].

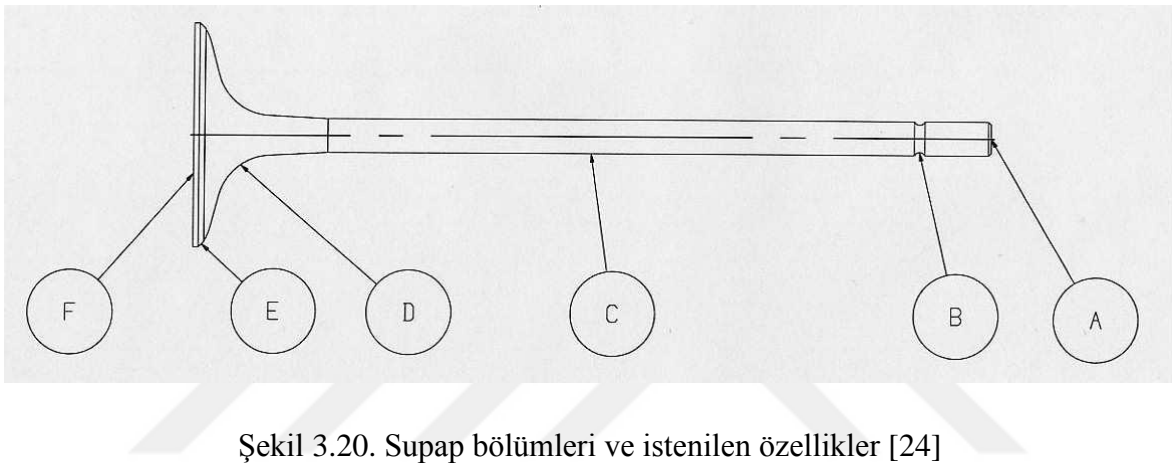


Şekil 3.19. İnconel X-750 sıcaklık- gerilme grafiği [23]

Korozyon etkilerine ek olarak, malzemelerdeki mekanik özellikler de sıcaklığa bağlıdır. Şekil 3.19' de İnconel X-750 malzemesi için sıcaklık-gerilme özelliklerinin bir grafiğini

göstermektedir. 650 °C' de 470 MPa gerilme dayanımı sağlanırken, 730 °C' de 260 MPa gerilim dayanımına düşmektedir. Sıcaklıktaki 80 derecelik bir artışla, kopma gerilimi, sıcak gücünde % 55' lik bir düşüş olmaktadır. Daha az dayanımı olan diğer malzemeler daha da olumsuz etkilenirler. Burada yine, küçük bir sıcaklık artışına, supabın alt kısmındaki uzama, oyulma veya kırılma nedeniyle oluşan bir malzeme kaybı eşlik edebilir [23].

Yüksek performanslı motorlardaki supaplar için olması istenilen özellikler Şekil 3.20' de görülen supabın bölümlerine göre değişmektedir [24].



Şekil 3.20. Supap bölümleri ve istenilen özellikler [24]

A. Supap ucu

Tribolojik temas basınçları (2000 Mpa'ya kadar), 150 °C sıcaklıkta (Maks.)

B. Tırnak yuvası

150 °C sıcaklıklarda düşük aşınma.

C. Supap gövdesi

150 ila 300 ° C arasındaki sıcaklıklarda supap kılavuzlarıyla temasta aşınma direnci.

D. Supap tablası üstü (Sap / Boyun)

(Emme supabı 600 ° C) / (Egzoz supabı 850-950 ° C) ile oksitleyici / aşındırıcı bir ortamda değişen sıcaklıklarda yeterli yorulma dayanımı.

E. Supap yuvası

Yüksek yüzey basınçlarında, (Emme supabı 400 °C) / (Egzoz supabı 700 °C) ile oksitleyici / aşındırıcı bir ortamda değişen sıcaklıklarda valf yuvalarıyla temasta aşınma direnci.

F. Supap tablası altı - (Emme supabı 600 ° C) / (Egzoz supabı 850-950 ° C) arasında değişen sıcaklıklarda oksitleyici / aşındırıcı bir ortama karşı direnç.

3.13. Egzoz Supaplarında Görülen Hasar Türleri

Bir motorda kompresyon kaçaqları görülmeye başlandıysa supaplarda hasar başlamış demektir. Şu durumlarda supapların tam kapanma sağlayamayarak kaçırmaya başladığı anlaşılır [17]:

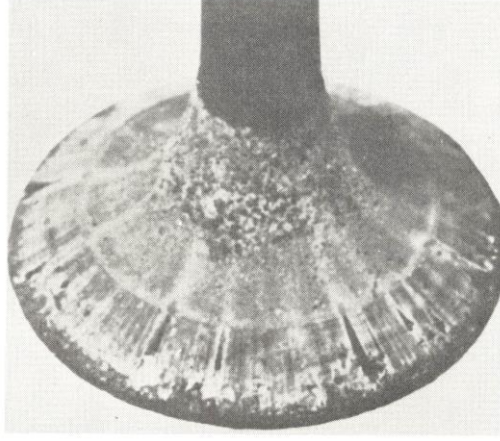
- Egzozdan mavi duman çıkar
- Yağ sarfiyatı artar
- Motor ilk çalışmayı ya hiç yapmaz, yada rölanti devrinde düzensiz çalışır
- Emme manifoldunda geri ateşleme meydana gelir
- Motor gürültülü çalışır ve çekiş düşer

3.13.1 Supap Yanma Hasarı

Supap yanması birçok sebepten kaynaklanabilir, bu nedenle problemin ana sebebinin fark edilmesi önemlidir. En sık rastlanan nedenler oturma yüzeyi hasarı ve karbon birikimidir. Bununla birlikte, hızlandırılmış supap yüzey aşınması, çatlama, ısıl gerilmeler ve hatalı supap boşluğu gibi diğer faktörler egzoz supabı yanma hasarına neden olabilir (Resim 3.5, Resim 3.6, Resim 3.7) [22].



Resim 3.5. Supap oturma yüzeyi distorsiyonu nedeniyle yanma hasarı



Resim 3.6. Tam kapanmama nedeniyle supap kaçağı [22]



Resim 3.7. Karbon birikintileri nedeniyle supapta oluklaşma [22]

3.13.2 Supap Kırılması Hasarı

Yanma tipi hasarı kadar yaygın olmasa da, bazen supap kırılması ciddi motor hasarlarına yol açar. Bu tür bir kırılma genellikle üç nedenden birine bağlanabilir [22]:

1. Oturma yüzeyinin bozulması sonucu eğilme gerilmeleri (Resim 3.8, Resim 3.9).
2. Uygun olmayan külbütör kolu dinamiğinden kaynaklanan darbe gerilmeleri (Resim 3.10).
3. Supap kafasındaki yüksek sıcaklık geçişlerinden kaynaklanan termal gerilmeler (Resim 3.11).

Benzinli motorlarda, maksimum sıcaklık noktası normal olarak supap yüzeyine paralel olarak meydana gelir ve bu da gövde kırılmalarına neden olur. Dizel egzoz supaplarında

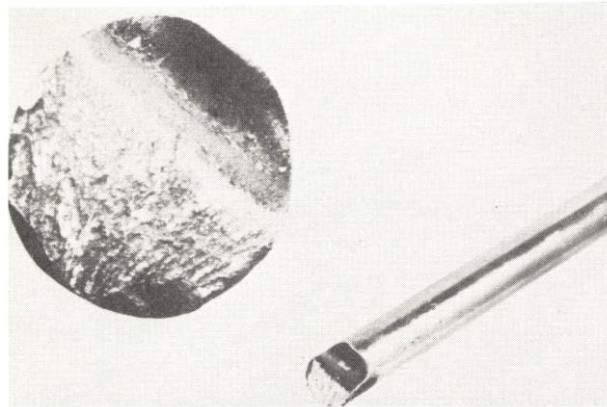
normalde maksimum eğilme gerilmesi en yüksek sıcaklığın olduğu kafa radyusunun üst tarafına yakın bölgede görülür. Bu durumda, supap başının bir kısmı, bir kırış yorulma kırılması sonucu kopar. Resim 3.9 bu şekilde kopan bir dizel egzoz supabını göstermektedir.



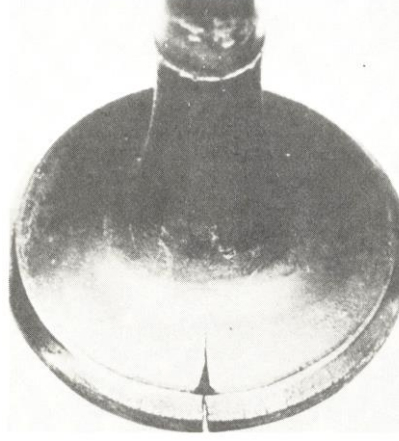
Resim 3.8. Supap sapı yorulma hasarı [22]



Resim 3.9. Supap kafası hasarı



Resim 3.10. Supap darbe hasarı [22]



Resim 3.11. Termal yorulma nedeniyle supap hasarı [22]

3.13.3 Yüksek Sıcaklık Korozyonu

Normal koşullarda metaller ve alaşımlar üzerinde korozif etkisi olmayan bazı kimyasal maddeler, yüksek sıcaklıklarda aşırı korozif etki gösterebilirler. Isınan metal malzeme üzerinde bir kabuk tabakası kalın bir tufal tabakası oluşur. Oluşan bu tabaka malzemede çözünme, çatlama, gevreklik veya zayıflık yapabilir. Atmosfer sıcaklığında oksijenin çelik üzerinde korozif etkisi, rutubetin olmadığı durumda, çok azdır. Yüksek sıcaklıklarda yüksek korozif etki gösterirler. Bu sıcaklıklarda, başka bileşenlere gerek duymadan demir ile kendiliğinden reaksiyona girerler. Çelik alaşımlı malzemeyi zayıf ve kırılğan demir oksit kütesine çeviriler[25].

3.13.3.1 Oksijen

Oksijen yüksek sıcaklıkta çelikle reaksiyona girerek kabuklaşmaya neden olur. Havada oksitlenme oranı metal sıcaklığı yükseldikçe artar. Malzeme alaşımının krom içeriği çoğaldıkça azalır.

Oksijen yüksek sıcaklıklarda nikel alaşımları ile de reaksiyona girerek kabuklaşmaya neden olur. Oluşan bu kabuğun yüzeyden kabarıp kalkması ile oksitlenme hızı kazanır. Kabuğun kabarma hızı ısıl genişlemeye, sıcaklık değişimlerine ve oluşan oksitlerin içeriğine bağlıdır. Nikel alaşımlarının kükürtsüz bir atmosferde oksijen ile reaksiyona girmeye başlayacağı sıcaklıklar aşağıda Çizelge 3.2' de tablo halinde verilmiştir [25].

Çizelge 3.2. Nikel alaşımlarda oksitlenmenin artmaya başlayacağı sıcaklıklar [25]

Malzemeler	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°F)
Monel	538	1000
Hastelloy A, B, D	760	1400
Hastelloy C	982	1800
Nikel	1038	1900
İnconel	1093	2000
İncoloy	1093	2000
Hastelloy X	1093+	2000+

3.13.3.2 Vanadyum Oksit (VO)

Yakıtların bazıları ham petrolden üretildiği için vanadyum içerir. Yakıt yanma sırasında içindeki vanadyum elementi kimyasal reaksiyon sonrası vanadyum pentaoksit (V₂O₅) veya çeşitli vanadyum oksitlerine dönüşürerek çelik yüzeylerde ergime sıcaklığı düşük bir cüruf katmanı meydana getirirler [25].

3.13.3.3 Kükürt Dioksit (SO₂) ve Hidrojen Sülfür(H₂S)

Yanma sonu ürünlerinde kükürt dioksitin olması durumunda çeliğin yüksek sıcaklıklardaki tufallaşma hızı artar. Kızgın yanma gazları bu koşulların olduğu bir ortamdır. Bu oluşan ortamda demir oksit ve demir sülfür bileşikleride ergime derecesi düşük bir karışım meydana getirerek çelik yüzeyindeki asıl koruyucu film tabakasının oluşumlarını önler. Hidrojen sülfürde malzemede aynı etkiyi gösterir.

Yüksek sıcaklıktaki kükürt bileşiklerinin çelik malzeme üzerindeki korozyonun etkisi; ortamın bileşimine, sıcaklığına ve oksitlene bilirlğine bağlıdır. Yanma gazları içindeki çok az oranlardaki sodyum klorür tuz oranı korozyon hızlandırıcı etkiye sahiptir. Diğer tuzlar da aynı türde etki ederler. Sodyum bu koşullarda düşük ergime sıcaklığındaki sodyum

sülfata (Na_2SO_4) dönüşerek kükürt dioksitin veya hidrojen sülfürün korozyon hızını artırır.

Kükürt her türlü, nikel alaşımlar üzerinde çok aşındırıcı etki göstermektedir. Kükürt bu alaşımlara tane sınırları boyunca etki eder ve bu alanlarda nikel sülfür karışımı oluşturur. Oluşan bu karışım serttir ve dolayısıyla çatlak başlangıcını hazırlar. Ayrıca 643°C gibi düşük ergime sıcaklığında ergiyip tane sınırlarının derinliklerine nüfuz ederek malzemenin bozulmasına yol açar.

Nikel sülfür oksitleyici atmosferlerde nikel okside dönüşür. Bu oksit malzeme yüzeyinde yarı koruyucu bir örtü meydana getirerek korozyonu bir ölçüde yavaşlatır ama indirgeyici atmosferde sülfür oluşumu ve onun oluşturduğu korozyon devamlılık kazanır.

Kükürt etkisine karşı nikel alaşımları içine krom, magnezyum ve demir katılması alaşımın dayanımını yükseltir. Ayrıca alaşımın içindeki krom oranı artırılıp nikel oranı azaltılarak yüksek sıcaklıklarda da bu direncin olması sağlanır.

Nikel alaşımlar, kaynak işlemi sırasında da kırılabilirlik gösterebilirler. Kaynak olurken yüksek sıcaklığa çıkan nikel alaşımlı malzemeler sadece kükürtle değil fosforla, kurşunla ya da diğer bileşenlerle de reaksiyona girebilir. Ortamda bulunan katkılı yakıt, yağ, makine sıvıları da istenmeyen maddelerden birini içeriyor olabilir [25].

3.13.3.4 Korozyon Yapıcı Kızgın Gazların Dökme Demir Üzerine Etkisi

Korozif gazların dökme demirin içine nüfus etmeleri bir tür iç tufallaşma meydana getirir. %14 veya daha fazla nikel, yaklaşık %5 bakır, %1-4 krom içeren ostenitik dökme demirler 816°C ' ye kadar büyüme ve oksitlenmeye karşı iyi bir direnç gösterir [25].

3.13.4 Erozyon Korozyonu

Supapların yanma odasından gelen basınçlı gazlar tarafından fiziksel olarak aşındırılmasıdır. Gaz akışı içinde katı parçacıkların da geldiği durumlarda erozyon ciddi boyutlara ulaşır. Erozyonla karşılaşılacak başlıca yerler şunlardır:

- Akışın kesitin daraldığı bölgeden geçmesi veya yön değiştirdiği konumlar
- Gaz akışının az miktarlarda da olsa katıyı ve sıvı sürüklediği durumlar ve türbülansın gözlemlendiği yerler

➤ Supap oturma yüzeyleri

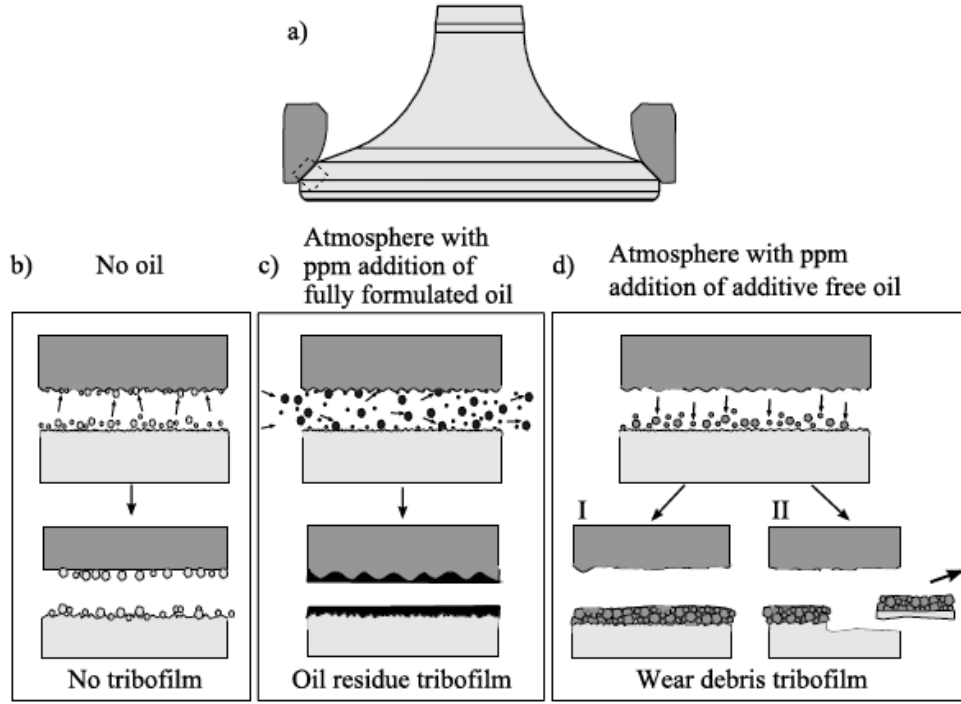
Erozyon koşullarına, korozyon etkinliğinin de eklenmesi ile malzemede metal kaybı ciddi oranda artabilir. Metal yüzeyindeki koruyucu oksit filmi erozyonla aşındırıldığından, çıplak metal yüzeyi korozyona karşı tam korumasız hale gelir. Erozyon, parçalarda genellikle çabuk bir aşınma nedeni değildir; ancak bunun tek istisnası katıların sürüklendiği akıntılar olabilir. Bu ortamlarda erozyon hızı yüksektir. Erozyonu etkileyen faktörler şunlardır:

- Hız: Erozyon hızı akış hızının küpü ile doğru orantılı artar.
- Çarpma açısı: En yüksek tahribat 20° – 30° 'lik çarpma açıları oluşturur.
- Akışkanın sürüklediği katı: Katı miktarı yükseldikçe erozyon hızlanır.
- Sıcaklık: Yüksek sıcaklığa çıkıldıkça çeliğin erozyon direnci genelde azalır.

Yanma ürünü sonucu ortaya çıkan gazlar ve partiküller supap oturma yuvasından geçerken karbon kalıntıları nedeniyle bu yüzeylerdeki küçük çatlaklardan ve deliklerden yüksek hızlarla sızması büyük bir erozyon aşınması oluşturur. Bu durumda çatlak ve delik hızlı bir şekilde büyüyerek zamanla supaplarda hasar oluştururlar. [25].

3.14. Yağın Ve Partikül Akışının Aşınma Mekanizması Üzerindeki Etkisi

Hava akımına ilave edilen az miktarda yağ bileşimi ile bile, Şekil 3.21' da özetlendiği gibi çok farklı aşınma mekanizmalarının tetiklendiği sonucuna varılabilir [19].



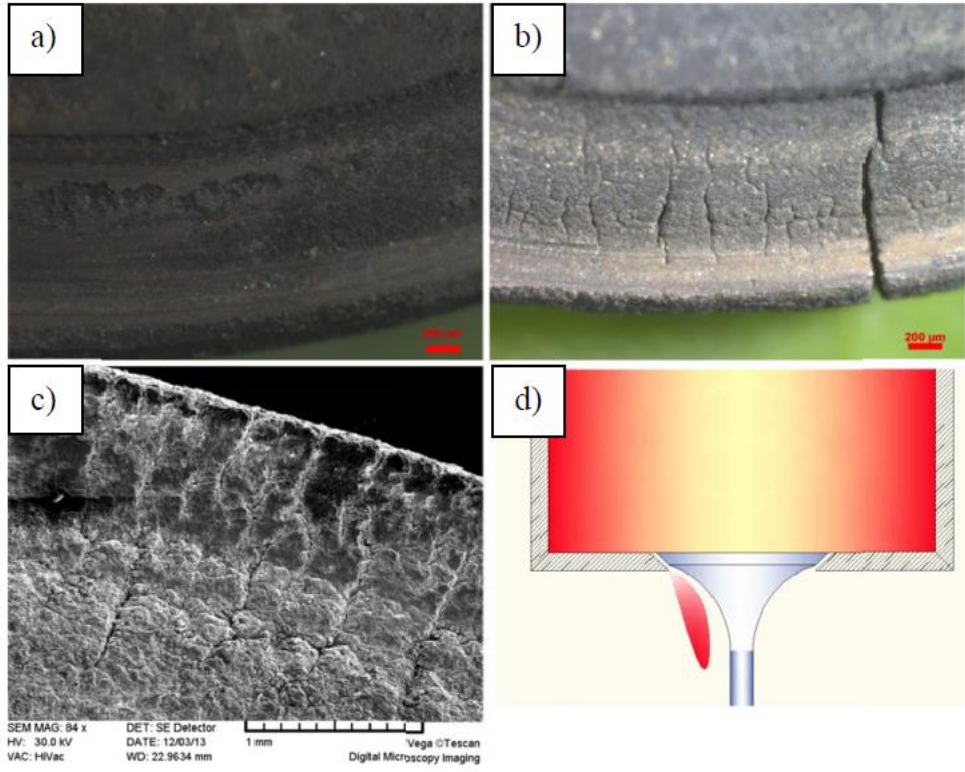
Şekil 3.21. Supap oturma yüzeyi aşınma modları [19]

a) Belirtilen çalışma ara yüzü ile supap ve supap yuvası temas geometrisi.

b) “En kuru” durumda meydana gelen aşınma mekanizması, yani referans hava akışına herhangi bir yağ ilavesi olmadan test edilmiştir. Öncelikle supap yüzeyinden kaynaklanan aşınma parçacıkları aşınma temas yüzeylerinin her tarafına yayılmış olarak bulunur.

c) Tamamen formüle edilmiş yağların aşınma mekanizması, yüksek akış durumunda, yüzeylerdeki çatlakları etkin bir şekilde doldurmak için yeterli yağ bazlı parçacık kalıntıları ekleyerek düzgün bir koruma kalıntısı tribofilmi yaratır.

d) Katkısız yağların aşınma mekanizması, supap yuvasından gelen aşınma parçacıklarının birikmesiyle supap üzerinde yumuşak bir aşınma kalıntısı tribofilminin oluşumunu içerir. Bu tribofilm, özellikle düşük akış durumunda aşınmayı azaltmıştır. Bununla birlikte, hasar görmüş bir yüzey yapısı bırakarak, ayrılmaya ve kesilmeye meyillidir. Bu delaminasyon davranışı yüksek akış hızı için daha belirgindir ve yüzeyleri korumak yerine aşınmayı hızlandırmıştır.



Şekil 3.22. Yanma gazlarının supap yüzeyinde meydana getirdiği hasar [26]

- a) Hasarlı supap b) Diğer hasarlı supap c) Hasarlı supap oturma yüzeyinin elektron mikroskop görüntüsü d) Yanma odası şematik diyagramı

Yüksek sıcaklık ve basınçtaki yanma ürünü gazlar kesitin daraldığı supap açıklığından geçerken hızları artar ve çarpma etkisi göstererek yüzeylerde erozif aşınma meydana getirirler (Şekil 3.22) [26].

4. MATERYAL ve METOT

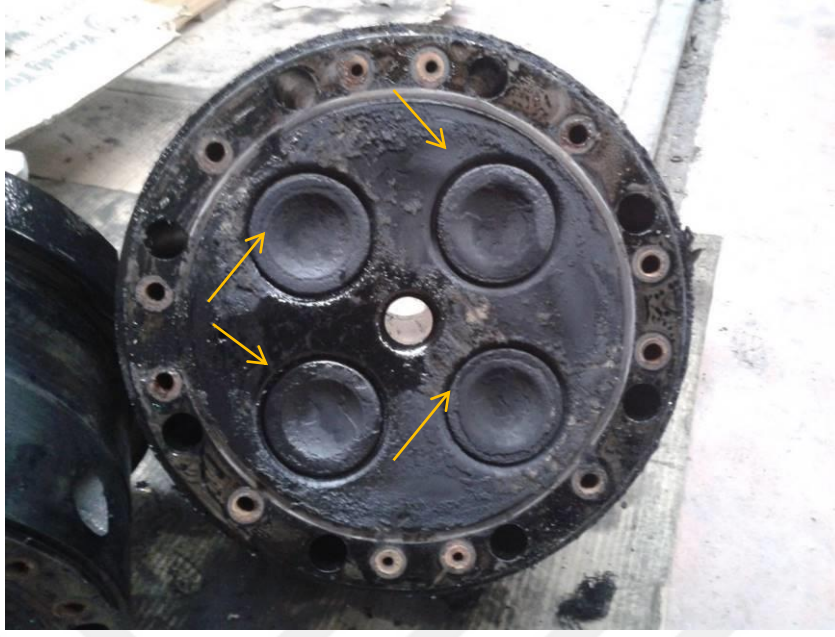
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, ülkemiz demiryolu taşımacılığında faaliyet gösteren TCDD TAŞIMACILIK A.Ş.'nin yolcu ve yük taşımacılığında kullandığı DE 33000 (General Motors – EMD GT26CW-2) tipi lokomotiflere ait GM16-645E3C Türbo şarjlı - 2 zamanlı dizel motorlarında kullanılan supabın hasar analizi yapılmıştır. Resim 4.1' de DE33000 tipi lokomotif görülmektedir.



Resim 4.1. DE 33000 tipi lokomotif

Doğru bir hasar analizi yapabilmek için numune seçimi çok önemlidir. Numunenin nereden ve nasıl alınacağı hasar analizini belirlemede kritik bir seçimdir. Bu çalışmada dizel motorun çalışması esnasında çıkarmış olduğu sestən supap kaçağı olduğu şüphesine varılmıştır. Bunun üzerine lokomotifin dizel motorunun her bir silindirine basınç testi uygulanarak kompresyon kaçağı olan silindir tespit edilmiş ve lokomotif bakıma alınmıştır. Bakımda supap kaçağı tespit edilen silindir başlığı ve supaplar Resim 4.2' de görülmektedir.



Resim 4.2. Silindir başlığı ve hasarlı egzoz supapları

Bakımda lokomotifin kritik parçası konumunda bulunan egzoz supabının silindir içerisinde çalışma esnasında yüksek basınç ve sıcaklık yüzünden hasara uğrayarak kullanılamaz duruma geldiği görülmüştür. Silindir başlığı üzerinden supaplar söküldüğünde supaplardaki hasarlar Resim 4.3'te gözle görülmektedir.

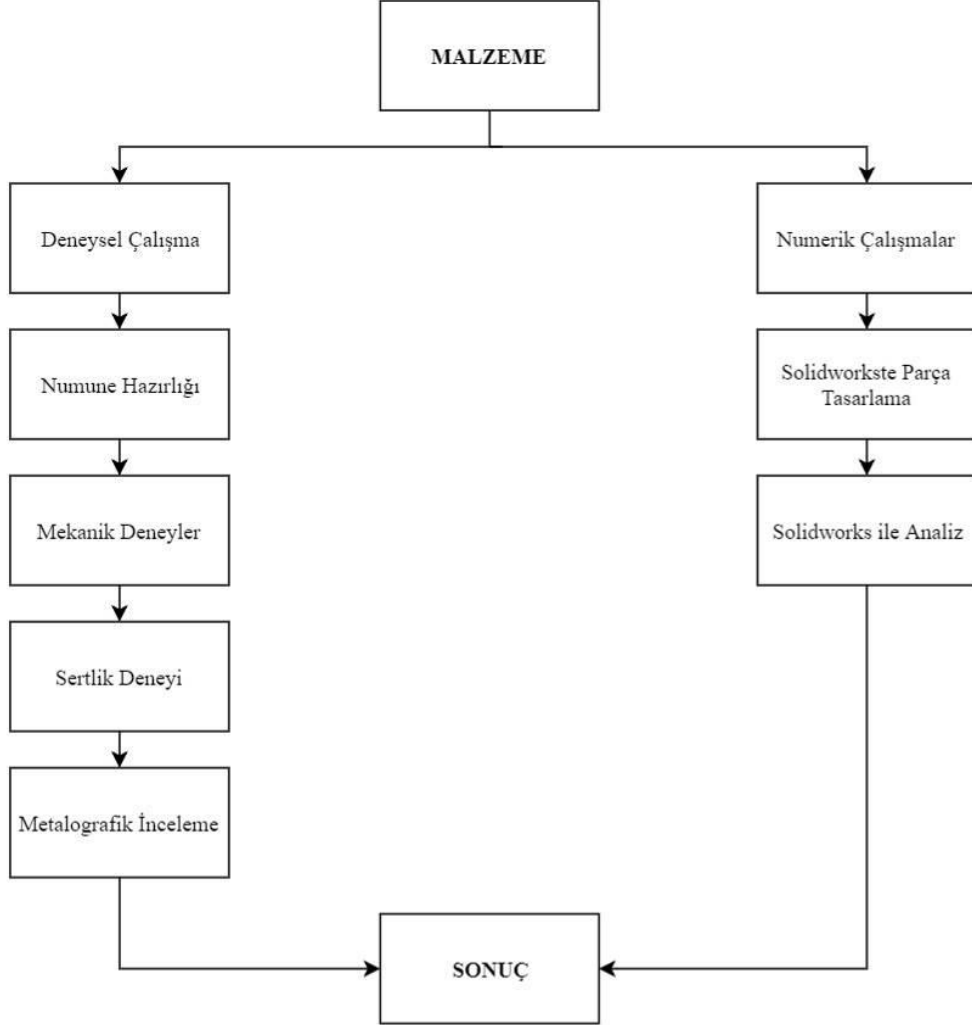


Resim 4.3. a) Hasarlı egzoz supapları

b) Supap erimesi olan bölge

4.2. Deneysel Çalışmalar

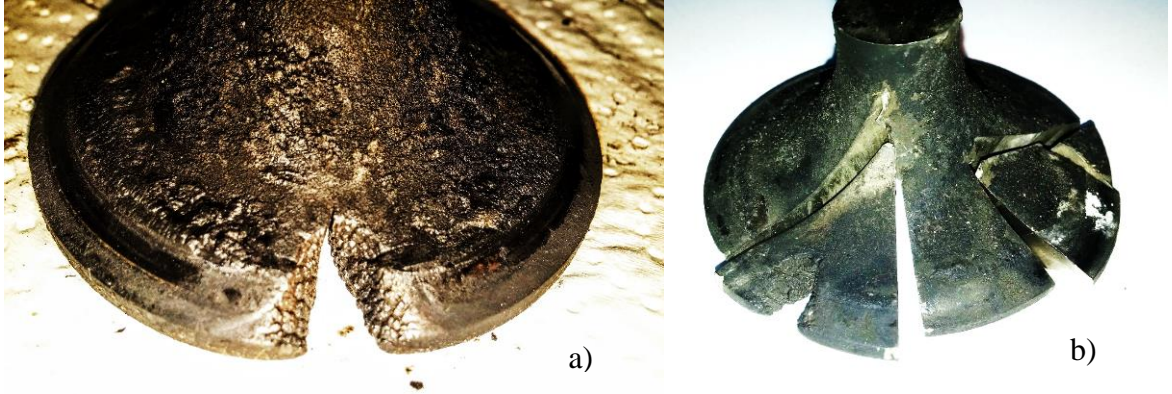
Deneysel çalışmaların yapılma sıraları ve iş akış şeması Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



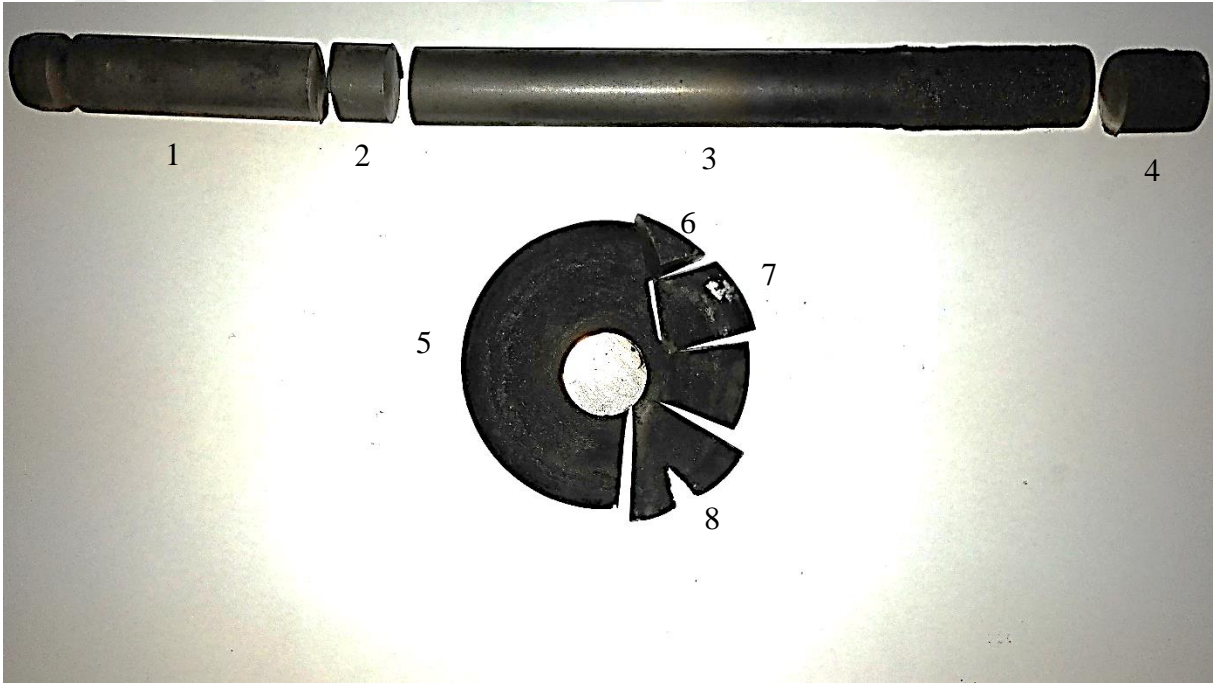
Şekil 4.1. Hasar analizi iş akış şeması

4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Resim 4.4' te silindir başlığından egzoz supaplarının sökülmesi sonucu hasarın gözle görüldüğü supap deney numunesi olarak seçilmiştir. Resim 4.5' te supap daha sonra hassas kesimle 8 parçaya bölünerek analiz için farklı kesitler elde edilmiştir.



Resim 4.4. a) Hasar analizi için seçilen supap b) Hasarlı bölgeden kesitler çıkarılması



Resim 4.5. Kesilen supap parçalarının numaralandırılması

4.4. Kimyasal Analiz Deneyi

Kimyasal analiz deneyi için Ankara Demiryolu Fabrikası laboratuvarındaki SPECTROMAX-AMATEK marka spektrometre cihazı kullanılmıştır (Resim 4.6).



Resim 4.6. Kimyasal analiz cihazı

4.5. Mikro Sertlik Ölçümü Deneyi

Hasarlı supaba farklı noktalardan uygulanmış sertlik ölçüm deneyi Ankara Demiryolu Fabrikası laboratuvarındaki GNEHM 160 RODİ marka Rockwell sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Rockwell sertlik ölçüm cihazı Resim 4.7' de gösterilmiştir.



Resim 4.7. Sertlik ölçüm cihazı

Sertlik ölçümleri oda sıcaklığında laboratuvar şartlarında yapılmıştır. Üç farklı parçanın üzer farklı bölgesinden sertlik ölçümü yapılarak ortalama sertlik değeri belirlenmiştir.

4.6. Optik Mikroskop Görüntü İncelemesi

Optik mikroskop görüntü incelemesi için metalografik işlemler sonucunda parça hazır hale gelmiştir. Bu inceleme ile supap sapı, supap alt tabla sapı ve supap tabla bölümlerinden çıkarılan kesitlerin görüntüleri araştırılmıştır. Bu deney, Uşak Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde bulunan NİKON Eclipse MA100 marka model optik mikroskop ile yapılmıştır. Optik mikroskop Resim 4.8' de görülmektedir.



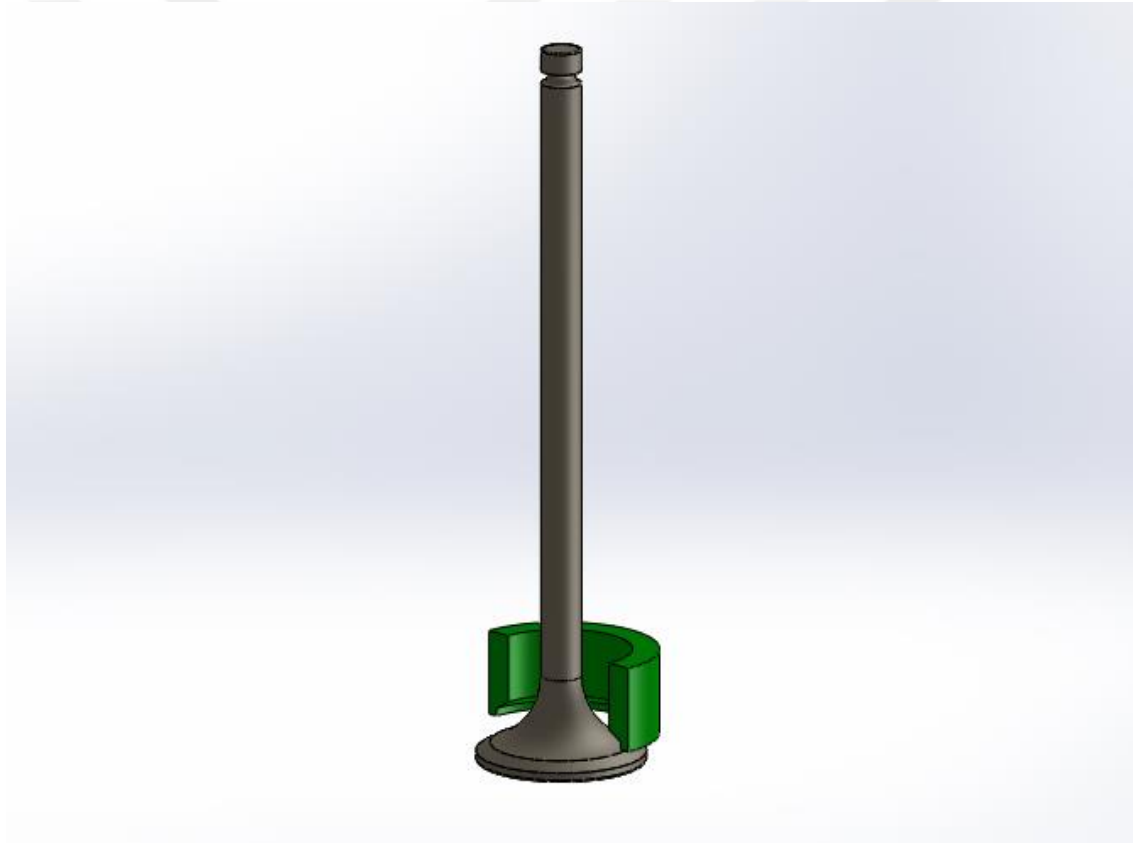
Resim 4.8. Optik mikroskop cihazı

4.7. Sonlu Elemanlar Analizi

Çalışmanın ana konusu olan dizel lokomotifin hasara uğrayan egzoz supabının gerçek yükleme şartlarında ortaya çıkan gerilme ve şekil değiştirme miktarlarının belirlenmesi amacıyla SOLIDWORKS programı kullanılarak analiz yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada dizel lokomotif egzoz supabının belirlenen çalışma koşulları altında hesaplanan indike iç basınç kuvvet değerleri kullanılarak statik analizleri yapılmıştır. Burada hesaplanan

değerler iki zamanlı dört egzoz supaplı dizel motorda mevcut ve hâlihazırda kullanılan supap için yapılmış olup modelleme işi SolidWorks 2016 yazılımında ve analiz işlemi SolidWorks Simulation yazılımında yapılmıştır.

Lokomotifin güç verilerine ait değerlere orijinal üretici kataloğundan ulaşılmıştır (Çizelge 4.1). Ayrıca hâlihazırda kullanımda olan orijinal supaplar üzerinden teknik resim oluşturulmuş ve daha sonra Solidworks programında modellemesi yapılmıştır (Şekil 4.2). Analiz aşamasında iç indike güç verileri hesaplanmış ve program kütüphanesindeki malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analizlerde SI birim sistemi esas alınmıştır.



Şekil 4.2. Egzoz Supabı ve бага kesiti modeli

Çizelge 4.1. DE 33000 tipi lokomotifin katalog verileri

LOKOMOTİF	TÜLOMSAŞ DE 33000
Model	GT26CW-2
Tip	(C-C) 0660
İtibari Cer HP (Beygir Gücü) Değeri	2 238kW (3000 HP)
İtibari Fren HP Değeri – (N _e)	2 462 kW (3300 HP)
MOTOR	EMD Model 16-645E3C
Tip	2-Vurus Türbo Kompresörlü Dizel
Silindir Sayısı – (Z)	16
Silindir Düzenlemesi	45 derece “V”
Silindir Çapı - (D)	230.19 mm (9 1/16 in)
Silindir Vurusu – (L)	254 mm (10 in)
Çalışma Prensibi	2 Vuruş Dönüştü
Tam Devir – (n)	904 RPM
Düşük Rölanti Devir	235 RPM
Rölanti Devir	300 RPM

Yukarıdaki Çizelge 4.1’ den;

D=230 mm

L=254 mm

Z=16 silindir olarak değerleri alınırsa:

Motorun toplam kurs hacmi [27]:

$$V_t = \pi * D^2 * L * Z / 4 \quad (\text{cm}^3) \quad \text{Eşitlik (4.1.)}$$

$$V_t = \pi * 23^2 * 25,4 * 16 / 4 = \underline{169 \text{ Lt}} \text{ olarak bulunur.}$$

Yukarıdaki Çizelge 4.1’ den;

N_e=3300 BG

n=904 d/d olarak değerleri alınırsa:

İndike iç basınç formülünden [27];

$$P_{mi} = 450 * N_e / (n * V_t) \quad \text{Eşitlik (4.2.)}$$

$$P_{mi} = 450 * 3300 / (904 * 169) = \mathbf{9.7 \text{ MPa}}$$

değeri bulunur.

Çizelge 4.2. Egzoz supabı teknik ölçüleri

Egzoz Supabı Teknik Ölçüleri	
Sap çapı	15.786 – 15.812 mm (.6215”-.6225”)
Başlık çapı – (d)	63.50 mm (2.500”)
Supap yüzeyi açısı	30°00’-29°45’
Supap yuvası salgısı – maks.	0.05 mm (.002”)
Supap çerçevesi kalınlığı – min. (dış çaptan ölçülen)	2.77 mm (.109”)
Supap yüzeyi genişliği – maks.	8.71 mm (.343”)
Supap yükselmesi	17.48.mm (.688”)

Supap taban alanı formülünden;

$$A = \pi * d^2 / 4 \quad \text{Eşitlik (4.3.)}$$

Şeklinde Çizelge 4.2’ deki üretici kataloğundaki verilerle bulunabilir. Fakat taban alanı ve kenar pahını da hesap edecek şekilde Solidworks üzerinde parçayı tasarladıktan sonra program aracılığı ile aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Supabın Solidworks’ ten alınan hassas ölçüm değerine göre;

Bir adet egzoz supabının taban alanı:

$A = 3529 \text{ mm}^2$ dir.

Supap taban alanına etkiyen toplam kuvvet ise;

$$F_i = P_{mi} * \text{Alan} = 9.7 * 35.3 = \underline{3424 \text{ N}} \text{ olarak bulunmuştur.} \quad \text{Eşitlik (4.4.)}$$

Çizelge 4.3. Supap yayı teknik ölçüleri

Supap Yayı Teknik Ölçüleri	
Serbest haldeki boy	104.78 mm
Boy- supap açık	66.28 mm
Boy- supap kapalı	85.72 mm
Yayı 68,25 mm boyunda sıkıştırmak için gerekli kuvvet	96.6 – 102.1 kg
Supap yayı yuvası kalınlığı	3.68 mm

Çizelge 4.3' deki supap yayı üretici katalog verilerine göre; supap üzerinde supabı devamlı kapanmaya zorlayan maksimum 102.1 kg' lık F_{Yay} kuvveti etki etmektedir.

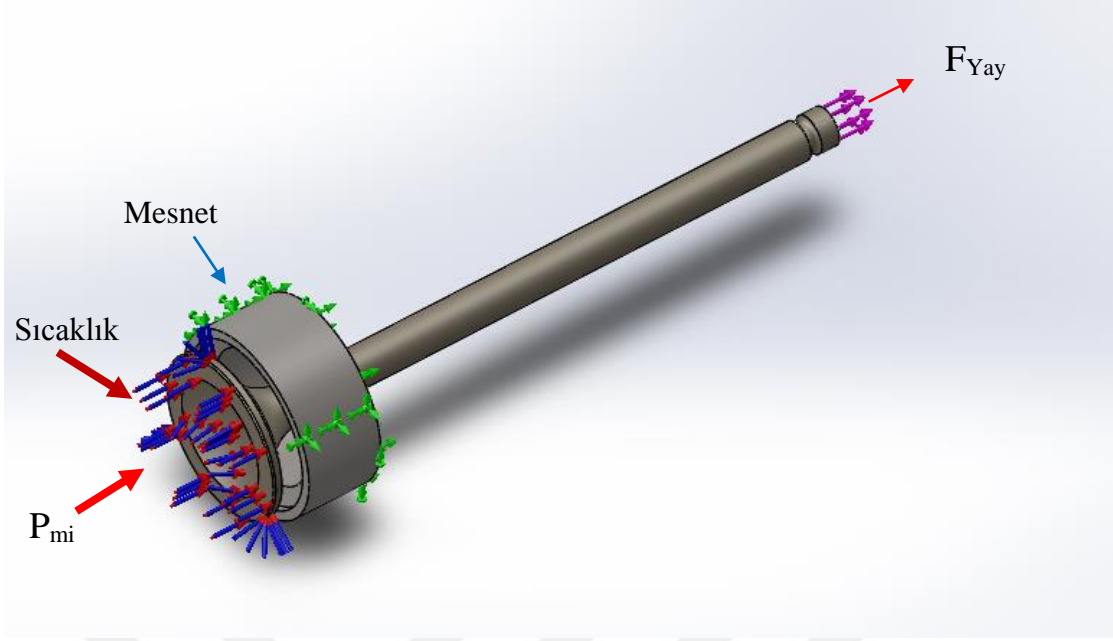
$F_{Yay} = 1021 \text{ N}$ olarak hesaplanır.

Supaba etkiyen kuvvetler toplamı, indike basınç ve yay kuvvetlerinin toplamına eşit olur.

$$F_T = F_i + F_{Yay} \quad \text{Eşitlik (4.5.)}$$

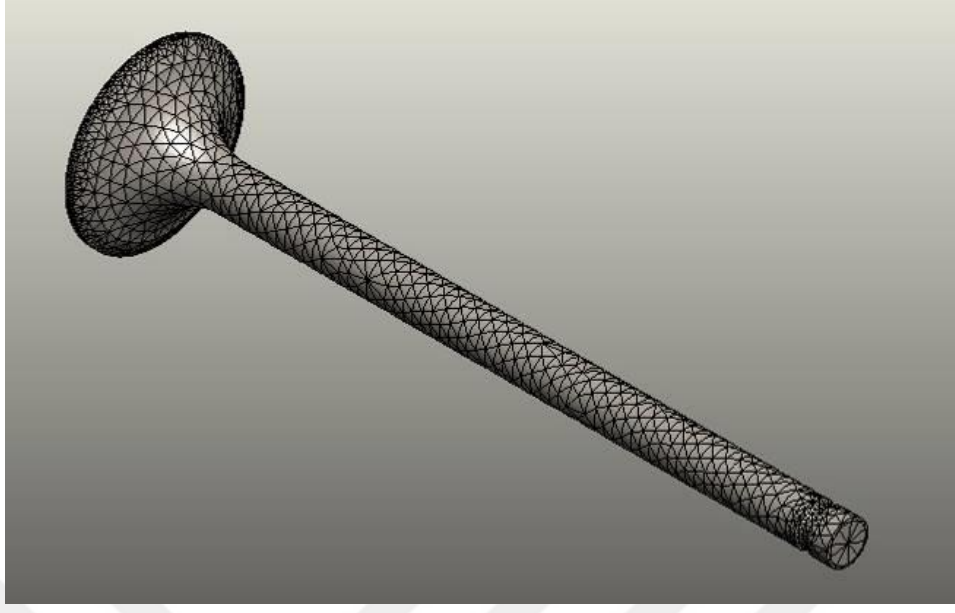
$F_T = 4445 \text{ N}$ olarak bulunur.

Hasara uğrayan egzoz supabının katı modeli Solidworks ile oluşturularak hesaplanan kuvvetler ve uygulama yerleri model üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Supaba etki eden kuvvetler

Sonlu elemanlar metodu, çözümü çok zor olan mühendislik problemlerinin kolay şekilde çözümünü sağlayan nümerik bir metottur. Özellikle karmaşık olan problemlerin kolay ve kısa bir sürede çözülmesi bu metodun önemini arttırmıştır. Sonlu elemanlar metodu karmaşık olan mühendislik problemlerini kendi içerisinde daha basit alt bölümlere ayırarak çözümü bu bölümler içerisinde gerçekleştirmektedir. Alt bölümlerin çokluğu problemin sonucunu kesine yaklaştırdığı kadar işlemin zamanını da uzatmaktadır.



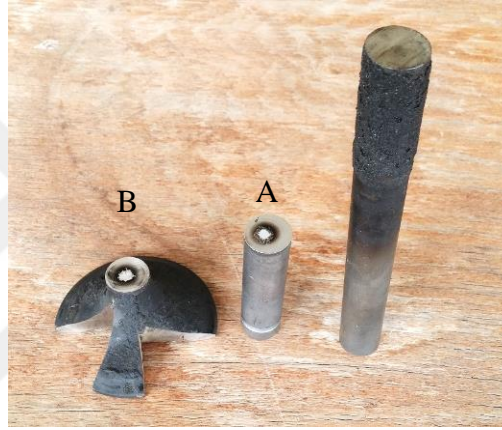
Şekil 4.4. Egzoz supabı katı modelinin mesh görüntüsü

Parçanın gerçek çalışma şartları analiz edilerek, program yardımıyla gerekli mesnetler ve yüklemeler tanımlanmıştır. Supabın tabla kısmının altından etki eden indike iç basınç kuvveti olarak 9,7 MPa'lık ve supap sap kısmından etki eden aynı yönlü 1021 N 'luk bir yay kuvveti ile 700°C' de yükleme yapılmıştır. Şekil 4.4'te bu supabın katı modelinin mesh görüntüsü verilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

5.1. Kimyasal Analiz Deneyi Sonuçları

Hasar analizi için öncelikle hasara uğrayan parçanın kimyasal analizi yapılmıştır (Resim 5.1). Supabın sap kısmı ve en alttaki tabla bölümleri üzerinde yapılan kimyasal kompozisyon analiz sonucu aşağıda Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Resim 5.1 Kimyasal analiz yapılan supap parçaları (A-Sap bölümü, B-Tabla bölümü)

Çizelge 5.1. Supabın kimyasal bileşimi

Malzeme	Alaşım Elementi (%Ağırlık)						
	Fe	C	Ni	Si	Mn	P	S
Supap sap kısmı-A	97,2	0,391	0,0432	0,239	0,867	0,0185	0,0112
	Cr	Mo	Al	Ti	Mg	V	Co
	0,961	0,662	0,0212	2,795	-	0,0014	<0,0010
Supap tabla kısmı-B	Fe	C	Ni	Si	Mn	P	S
	5,09	0,0551	81,85	0,500	0,15	0,0021	0,0044
	Cr	Mo	Al	Ti	Mg	V	Co
	7,43	-	1,32	2,795	0,03	0,662	0,0809

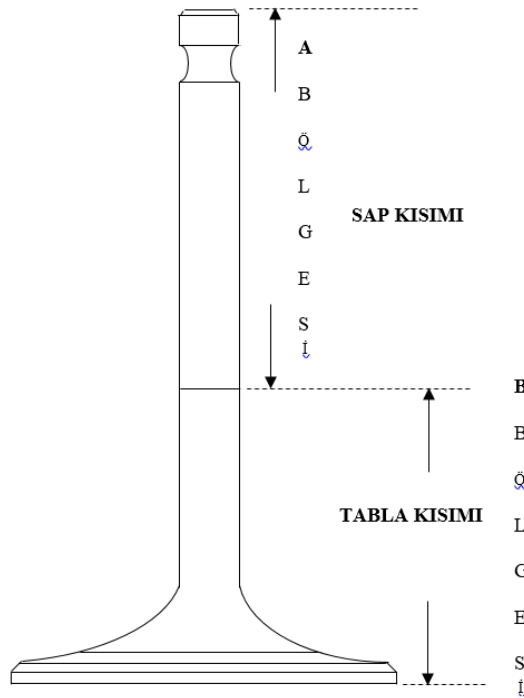
Çizelge 5.1’deki kimyasal analiz sonucuna göre, supap alt tabla kısmı ve üst sap kısmı olmak üzere iki farklı kimyasal malzemeden yapıldığı tespit edilmiştir. Yukarıdaki

analizden de anlaşılacağı gibi malzeme analizi yaklaşık Inconel X750 rumuzu ile bilinen nikel alaşımıdır (Çizelge 5.2' ye bakınız) ve DIN 2.4669 NiCr15Fe7TiAl veya ASTM B637'ye yaklaşık eşdeğerdir.

Çizelge 5.2. Inconel X 750 alaşımının kimyasal bileşim aralığı

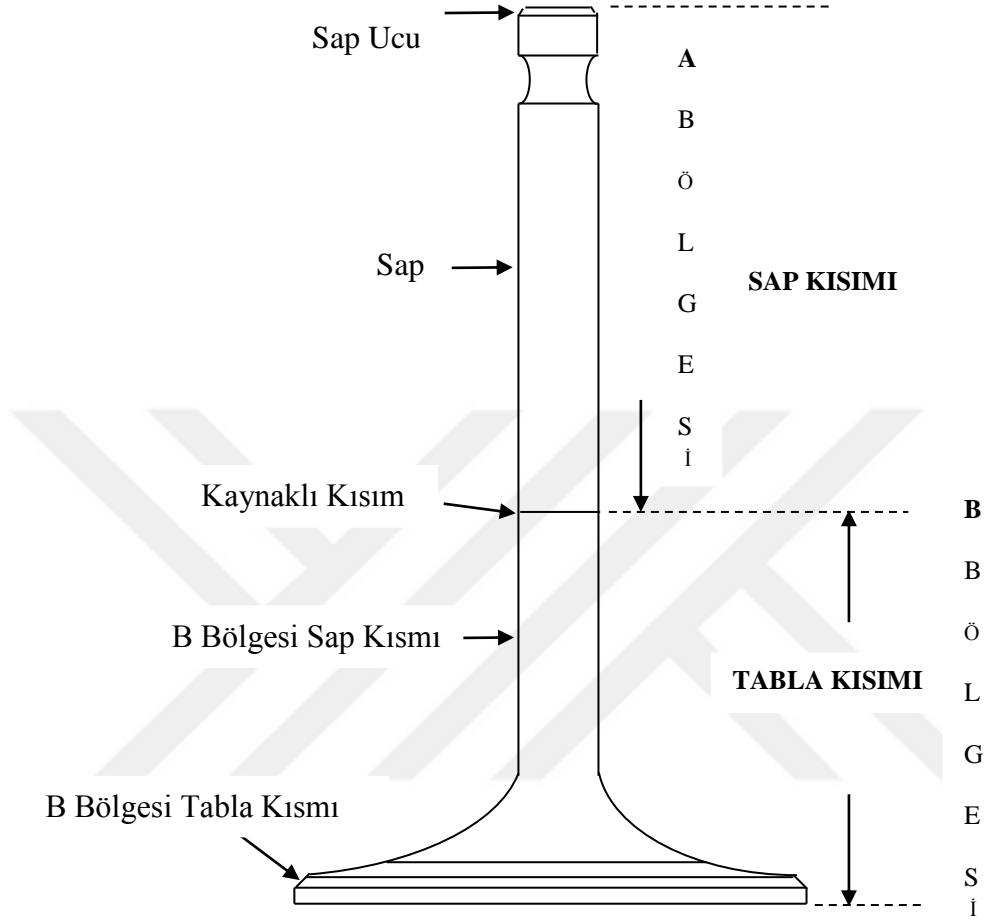
Malzeme	Alaşım Elementi (%Ağırlık)										
	C	Mn	Si	S	Cr	Fe	Al	Ti	Cu	Cb (Nb) + Ta	Ni + Co
En Az	--	--	--	--	14.0	5.00	0.40	2.25	--	0.70	70.0 en az
En Fazla	0.08	0.30	0.50	0.01	17.0	9.00	1.00	2.70	0.50	1.20	

İki farklı malzemeden oluşan egzoz supabının şematik gösterimi Şekil 5.1' deki gibidir.



Şekil 5.1. İki farklı malzemeden oluşan supabın bölümleri

5.2. Mikro Sertlik Ölçümü ve Sonuçları



Şekil 5.2. Sertlik ölçümü yapılan kısımların gösterimi

Hasara uğrayan egzoz supabına ait mikro sertlik ölçümü yapılan kısımlar Şekil 5.2' de ve sertlik deneyi sonuçları ise Çizelge 5.3' de verilmiştir.

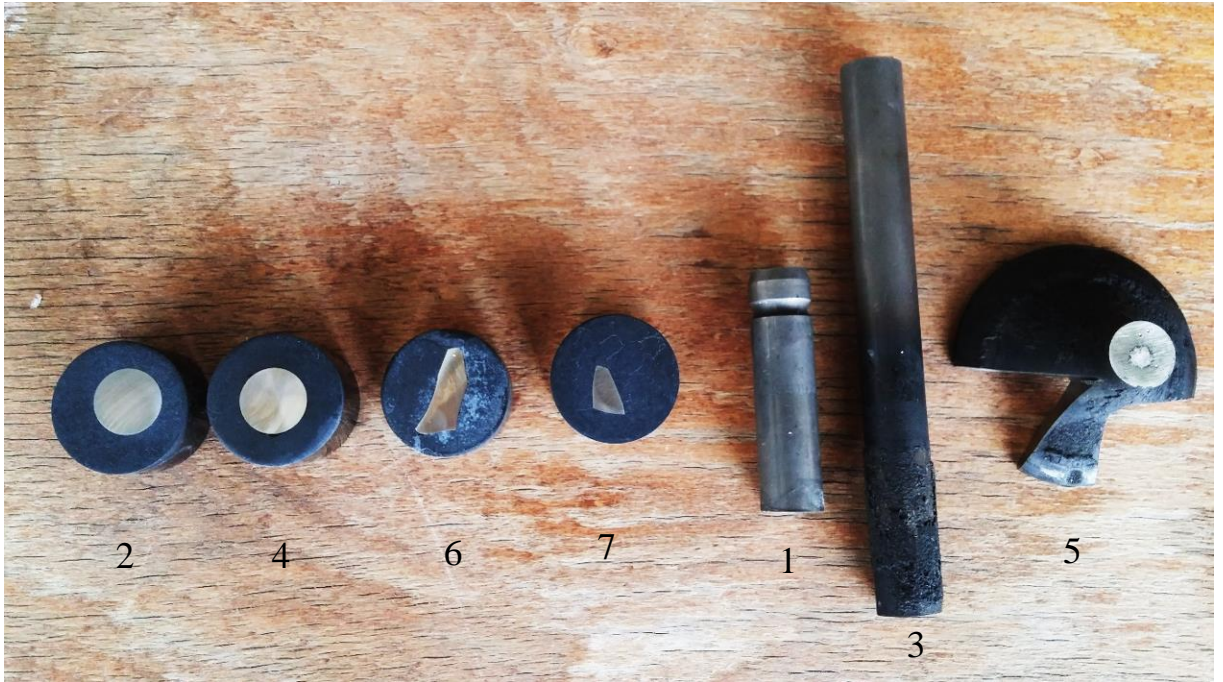
Çizelge 5.3. Supabın muhtelif kısımlarından alınan sertlik ölçüm değerleri

Sertlik Ölçümü Yapılan Bölüm	Sertlik Değeri
Sap Ucu Kısım	54-55 HRC / 78-80 HRA
Sap Kısım	28-29 HRC
Kaynaklı Kısım	35-37 HRC
B Bölgesi Sap Kısım	37-38 HRC
B Bölgesi Tabla Kısım	38-39 HRC

5.3. Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları

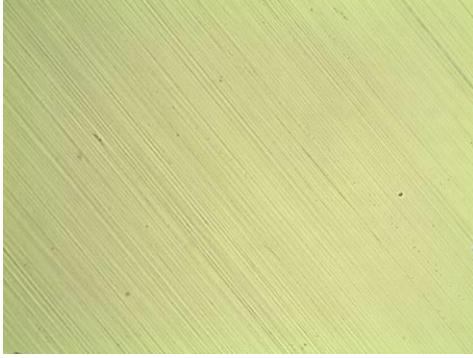
Mikroyapı, malzemelerin mekanik ve aşınma özellikleri için en belirleyici faktörlerin başında gelmektedir. Mikroyapı incelemesi için yüzey temizleme ve parlatma işlemi yapılan numuneler bagalite alınarak dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama sayesinde genel yapı ve tane sınırları daha belirgin hale gelmiştir. Supap sap bölümü için dağlama solüsyonu olarak %2 nital çözeltisi kullanılmış ve ortalama üç saniye kadar dağlamaya tabi tutulmuştur. Supap tabla bölümü için ise özel olarak 20 ml HCl, 10ml HNO₃, 20 ml H₂O ve 10 ml H₂O₂ 'den oluşan solüsyon hazırlanmıştır. Dağlama solüsyonunda numunelerin tek yüzü ortalama 10 sn kadar tutulmuştur.

İki farklı malzemeden oluştuğu tespit edilen egzoz supabının her iki tarafından da numuneler kesilerek bagalite alınmıştır (Resim 5.2). Hasarın daha fazla görüldüğü alt tabla kısmından daha fazla numune bagalite alınarak iç yapı incelemesine tabi tutulmuştur.

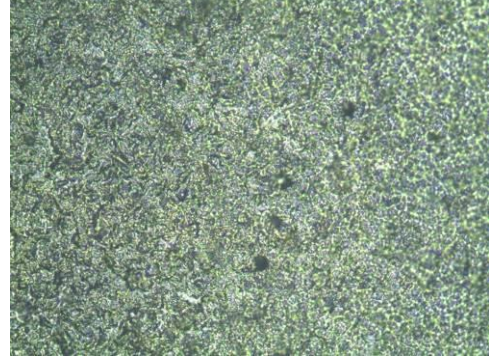


Resim 5.2. Bakalite alınan numuneler

2 Numaralı Numune: supap üst sap kısmı



(a)



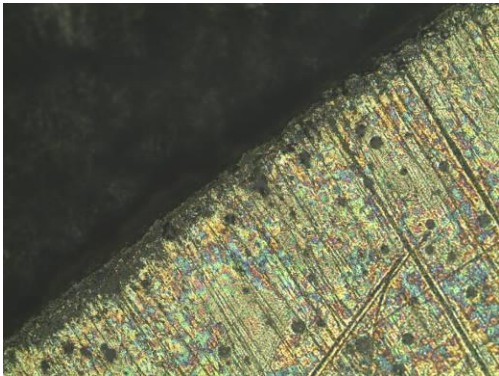
(b)

Resim 5.3. Supap üst sap kısmı mikro yapı görüntüsü

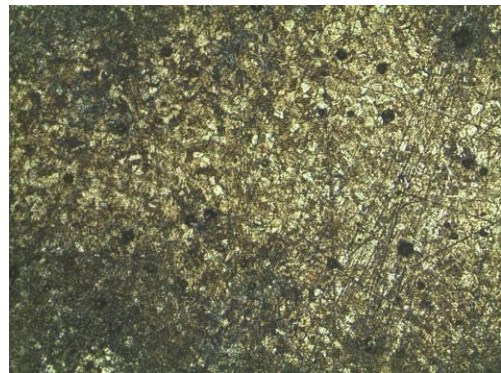
a) Dağlanmadan önce: Hadde yönünde uzamış oksit kalıntıları

b) Dağlanmadan sonra: Çelik sap ucu sertleştirilmiş bölge; yapı tamamen menevişli martenzitik

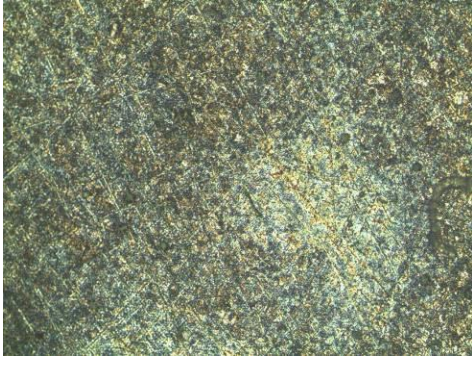
4 Numaralı Numune: supap alt tabla sap kısmı



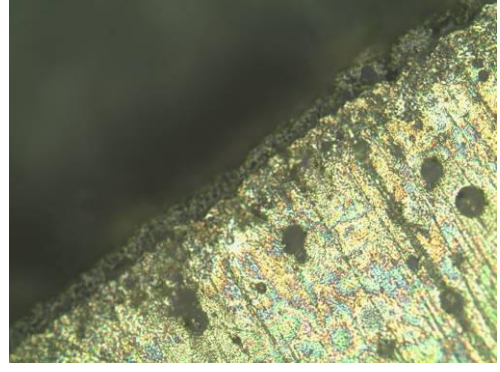
(a)



(b)



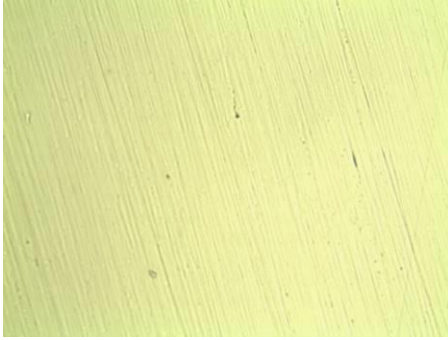
(c)



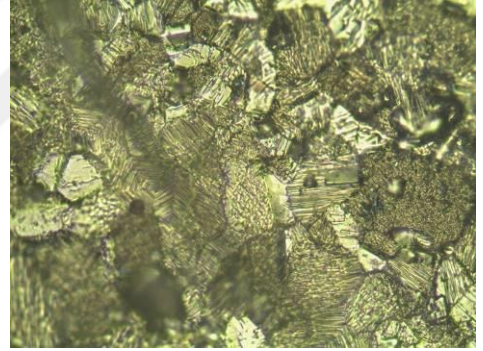
(d)

Resim 5.4 a-b-c-d) Supap alt tabla kısmı mikro yapı görüntüsü

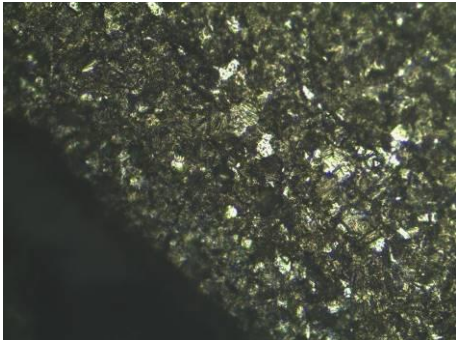
6 Numaralı Numune: Supap tabla kısmı



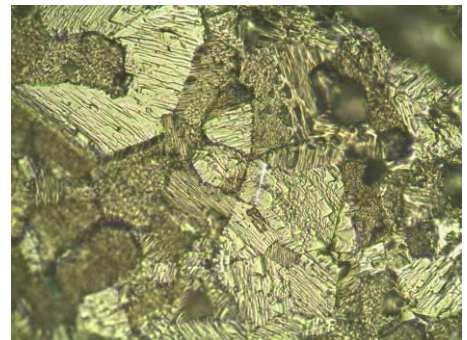
(a)



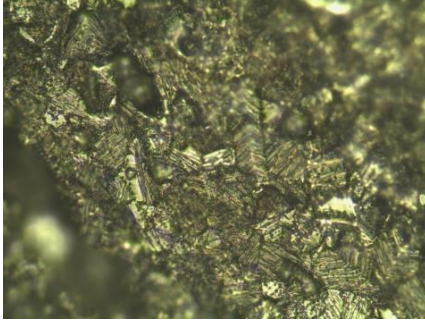
(b)



(c)



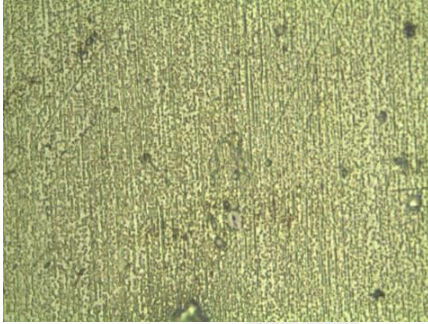
(d)



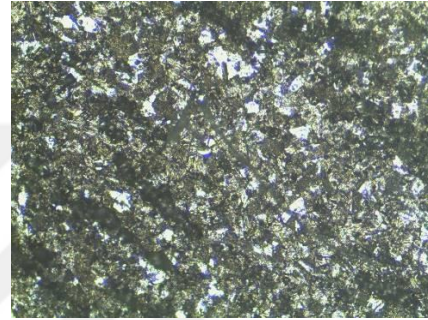
(e)



(f)



(g)

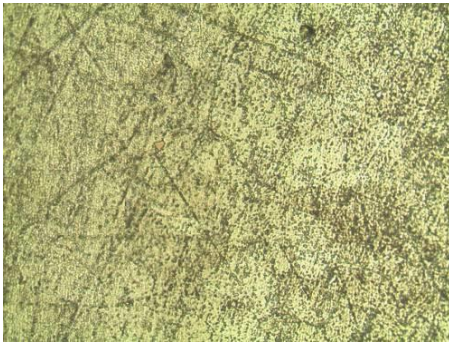


(h)

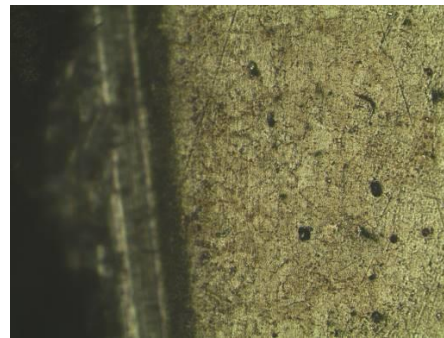
Resim 5.5. a-b-c-d-e-f-g-h) Supap tabla kısmı büyük parçanın mikro yapı görüntüsü

Numune solüsyonla dağlamadan önce yapılan incelemede, içyapıda herhangi bir kalıntıya ve süreksizliğe rastlanmamıştır. Solüsyonla dağlamadan sonra Resim 5.5.' teki 100X, 200X, 400X ve 1000X'lerdeki incelemelerinde; ana yapının γ olduğu ve yapıya çökelmiş γ' $\{Ni_3[Al,Ti]\}$ fazlarının olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tabla bölgesinde çok miktarda ikizlemenin olduğu gözlenmiştir.

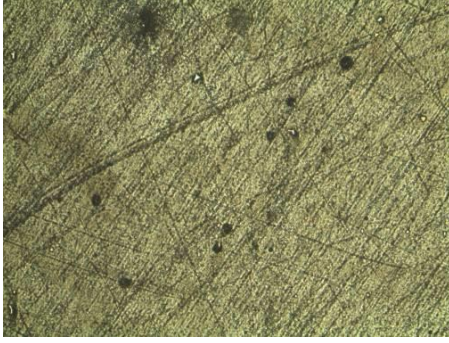
7 Numaralı Numune: Supap tabla kısmı



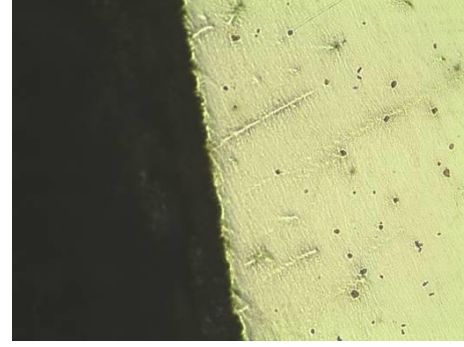
(a)



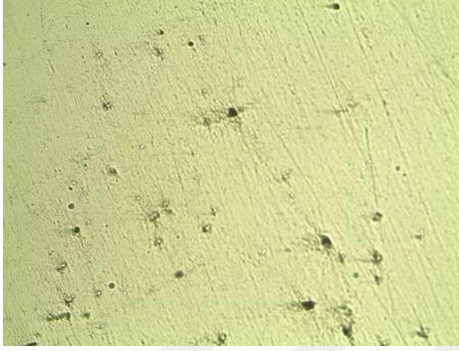
(b)



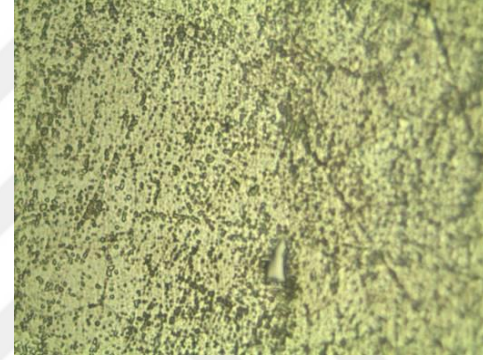
(c)



(d)



(e)



(f)

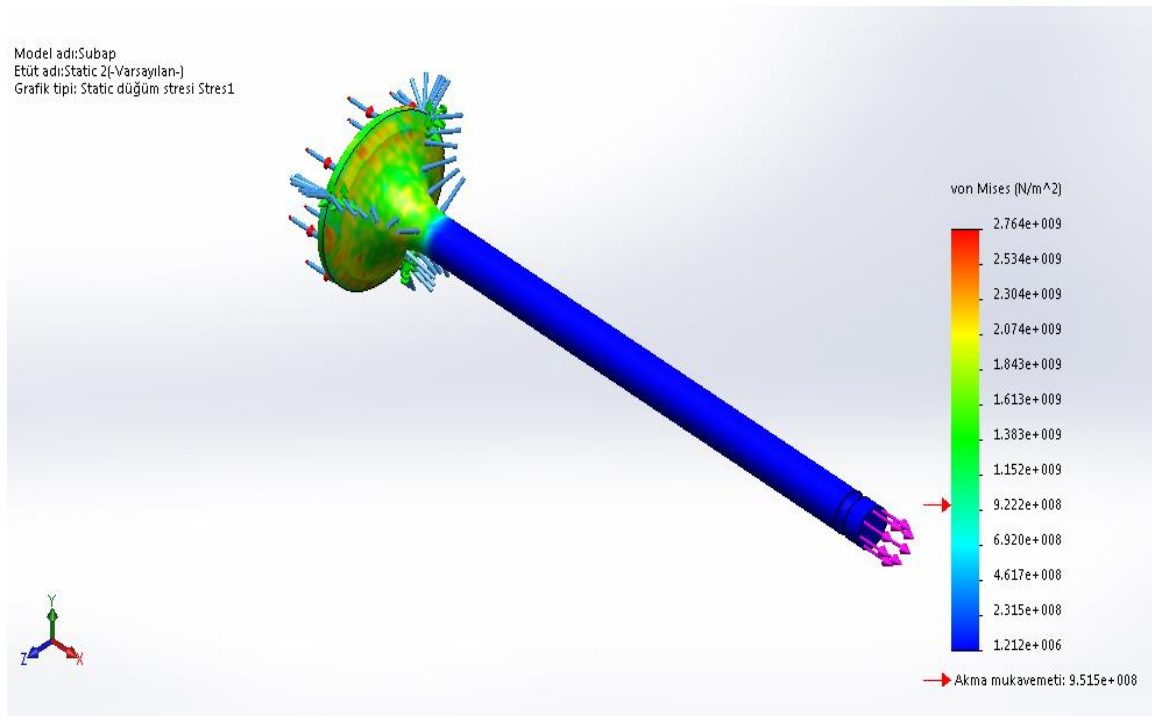
Resim 5.6. a-b-c-d-e-f) Supap tabla kısmı küçük parçanın mikro yapı görüntüsü

Numune solüsyonla dağlamadan önce yapılan incelemede, içyapıda herhangi bir kalıntıya ve süreksizliğe rastlanmamıştır. Solüsyonla dağlamadan sonra Resim 5.6' daki 100X, 200X, 400X ve 1000X'lerdeki incelemelerinde; ana yapının östenitik(γ) olduğu ve yapıya çökelmiş γ' Ni, Al, Ti elementlerinin alaşımlarından oluştuğu düşünülen kübik ve küre şeklinde fazlarının olduğu gözlemlenmiştir.

5.4. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

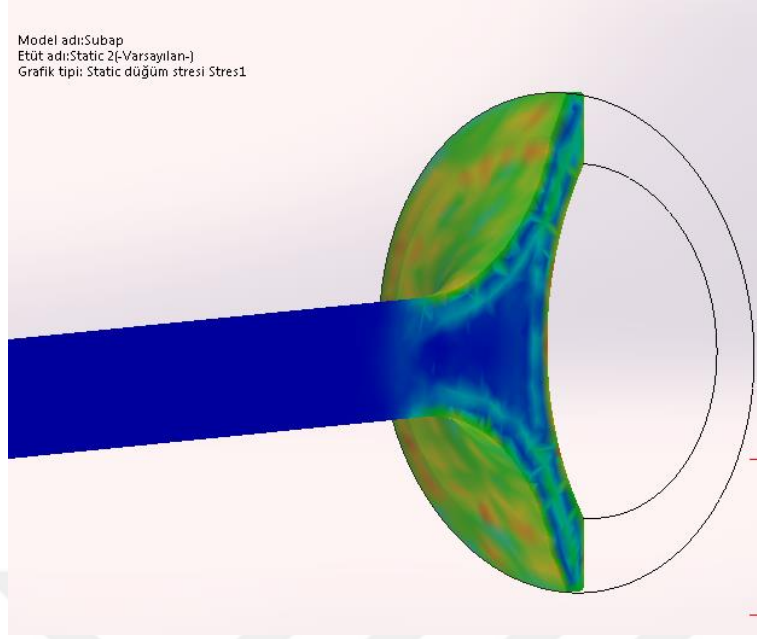
İçten yanmalı motorlarda kimyasal enerjinin mekanik enerjiye çevrildiği silindir içerisindeki en kritik parça supaplardır. Silindir içerisinde oluşan indike basınç kuvveti supabın tabla alt yüzeyine çarparak supap oturma yüzeyi üzerinde bir yük oluşturmaktadır. Solidworks Simulation analizinde bu basınç değerleri ve program kütüphanesinden Inconel

X-750 malzeme özellikleri girilerek kullanılmıştır. Analizlerde SI birim sistemi esas alınmıştır. Supabın girilen malzemeye göre oda sıcaklığında akma dayanımı 951 Mpa olarak bulunmuştur. Supabın sayısal analizinde supap yayınının kuvvetini ve üniform olmayan termal yüklerin oluşturduğu basınç kuvveti kullanılmıştır. 9,7 Mpa toplam iç basıncın supap tablası alt yüzeyine isabet eden kısmı 3424 N' dur. Yay kuvveti ise 1021 N olarak alınmıştır. Toplamda 4445 N' luk bir kuvvet 700 °C' de uygulanmıştır. Analiz sonucunda egzoz supabında meydana gelen toplam gerilme (Von Misses) değerleri Şekil 5.3'de, yer değiştirme değerleri Şekil 5.5'de, eşdeğer gerinim değerleri Şekil 5.6' da verilmektedir.



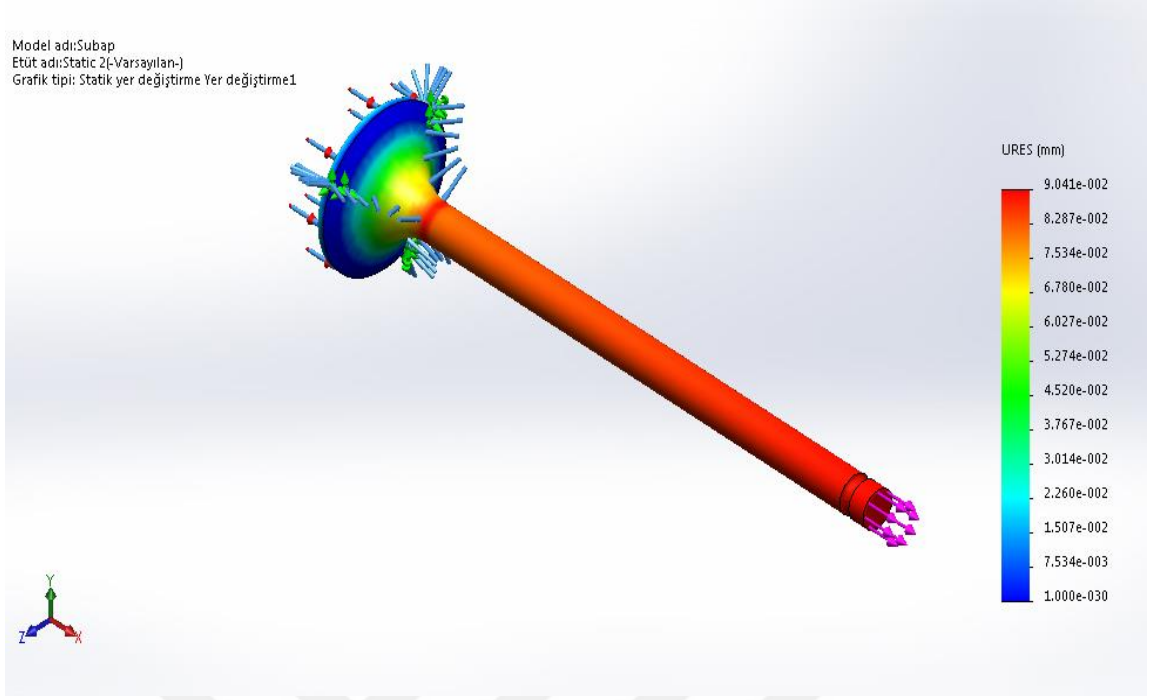
Şekil 5.3. Etki eden kuvvetler sonucu hasara uğrayan supaptaki Von-Mises gerilmesi

Şekil 5.3' de hasara uğrayan supabın yapılan yükleme sonucundaki Von-Mises gerilmesi verilmiştir. Von-Mises gerilmesi, supabın hasara uğradığı supap yüzeyi oturma alanındaki kısımda 2764 MPa' lık maksimum değerini almıştır.



Şekil 5.4. Supap tablasında oluşan gerilmeler

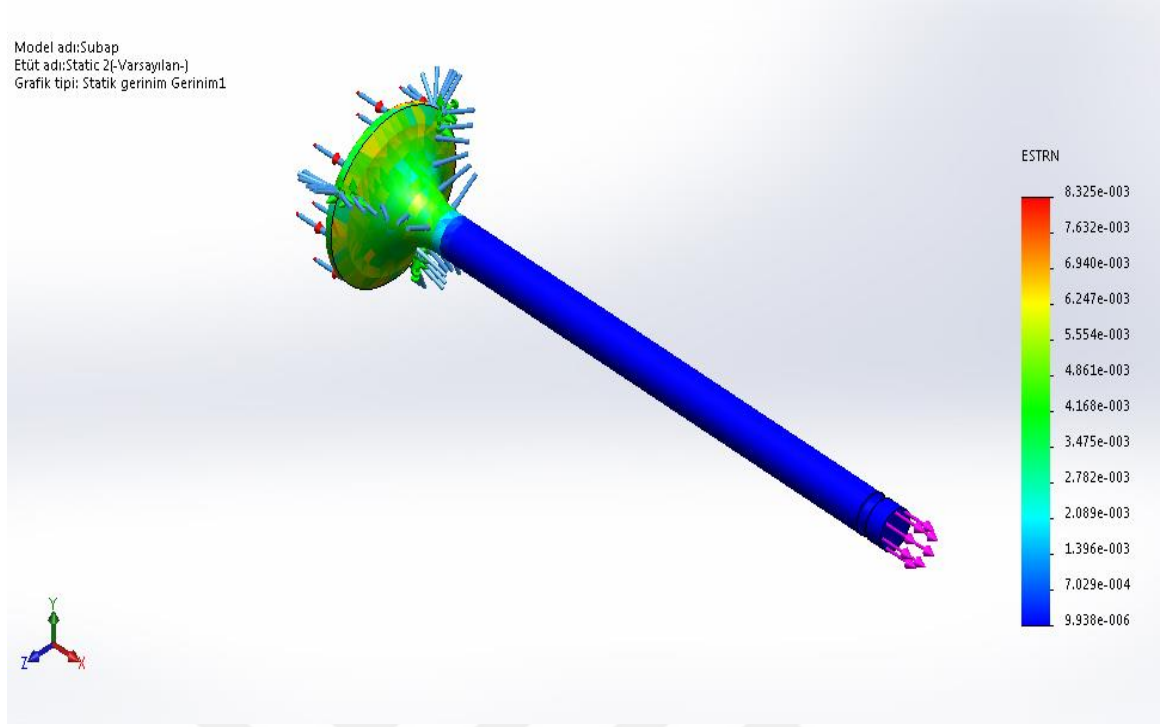
Supabın çalışma esnasında maruz kaldığı yüklemelerden dolayı farklı noktalarında değişik deformasyon değerleri ve gerilme değerleri ortaya çıkmaktadır. Hasar, beklenildiği gibi supabın silindir başlığındaki oturma yüzey alanıyla olan temas noktasında gerçekleşmiştir. Bu noktada Von-Mises gerilmesi maksimum değerdedir (Şekil 5.4).



şekil 5.5. Supaba yükleme sonucundaki maksimum elastik yer değiştirme

şekil 5.5’da hasara uğrayan supabın yapılan yükleme sonucundaki maksimum elastik şekil değiştirmesi verilmiştir. $9,041 \times 10^{-2}$ mm’ lik maksimum değere sahiptir.

Supap oturma yüzeyleri mesnet noktası olarak alındığında en fazla yer değiştirmenin supap sap kısmının en uç noktasında oluştuğu görülmektedir. Supap zamanlamasının bozulmaması için supabın üst kısmında bırakılan supap boşluğunun önemi burada daha net görülmektedir.



Şekil 5.6. Supaba yükleme sonucundaki eşdeğer gerilme

Şekil 5.6' da hasara uğrayan supabın eşdeğer gerinim değeri $8,325 \times 10^{-3}$ olarak bulunmuştur. Yapılan analizlerde supap üzerinde en fazla gerilim ve gerinim değerlerinin supap tablasındaki oturma yüzeylerinde meydana geldiği görülmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, dizel motor egzoz supabının hasar analizi yapılarak çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Çalışma nümerik ve deneysel olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Nümerik çalışmada, Solidworks programında egzoz supabı katı modellemesi yapılarak aynı program içerisindeki Simulation eklentisinde çalışma şartlarına göre termo mekanik gerilme analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmada ise, servis bakımı sırasında hasarlı olduğu tespit edilen egzoz supabı, dizel motor üzerinden sökülerek hasar tipini ve gerçekleşme sebebini tayin etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Supap malzemesinin belirlenmesi için kimyasal analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucu supabın iki farklı malzemedan meydana geldiği görülmüştür. Supap alt tabla kısmının Inconel X-750 nikel alaşımlı çelikten, üst sap kısmının ise 42CrMo4 alaşım çeliğinden olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, supabın alt kısmında yüksek sıcaklık mukavemeti, üst kısmında ise yüksek aşınma dayanımı istendiği için supabın iki malzemeli olarak üretilmesine ve maliyetin düşürülmesine yol açmıştır.

Rockwell sertlik ölçüm yöntemine göre supap tabla kısmı ortalama 38 HRC, sap kısmı 28 HRC, sap ucu kafası ise 55 HRC sertlik değerini vermiştir. Supap sap kısmının sertliğinin daha düşüktür. Fakat sap ucu bölümünün sertleştirme işlemi yapılarak ezilme ve aşınma dayanımını artırılmıştır. Hasarlı supabın özellikle hasarın görüldüğü supap tabla kısmı orijinal malzemesinin 34-44 HRC aralığındaki sertlik değerlerini koruduğu çalışma ortamından kaynaklı sertlik değerinde herhangi bir olumsuzluk olmadığı görülmüştür.

Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde elde edilen görüntülere göre, genel olarak supap mikro yapısında düzensizliklere rastlanılmamıştır. Supap sap kısmı tamamen menevişli martensitik içyapısındadır. Supap tabla kısmının ise ana yapısı östenitik olduğu ve yapıya çökelmiş Ni, Al, Ti elementlerinin alaşımlarından oluştuğu gözlemlenmiştir.

Sonlu eleman analizinde, hasara uğrayan egzoz supabının çalışma koşulları belirlenmiş ve programa gerekli sınır şartları tanımlandıktan sonra yükleme yapılmıştır. Yükleme yapıldıktan sonra maksimum gerilmenin meydana geldiği noktalar tespit edilmiş ve buna

göre hasarın meydana gelebileceği yerler belirlenmiştir. Analizi yapılan hasarlı supap gerçek çalışma şartlarına paralel bir yüklemeye tabi tutulduğunda Von Mises gerilmesinin, hasarın gerçekleştiği supap oturma yüzeyi bölgesinde maksimum değerini aldığı görülmüştür. Supabın gerçek çalışma şartlarında hasara uğradığı bölge ile sonlu eleman analizinde gerilmenin maksimum değerinin elde edildiği bölgenin aynı olduğu görülmüş ve çalışma bu şekilde nümerik olarak da desteklenmiştir.

700°C sıcaklıkta supap malzemesinin dayanım değerleri çok düşmektedir. Üzerinde oluşan kuvvetlerin etkisine mukavemet göstermekte çok zorlandığı, bu duruma supap üzerinde biriken karbon birikintilerinin eşlik etmesiyle supap hasarının görülmeye başladığı düşünülmektedir. Hasarlı supaplar üzerinde görsel inceleme yapıldığında hasarın yüksek sıcaklıktaki yanma gazlarının erozyon ve korozyonu nedeniyle oluşan aşınma hasarı olduğu görülmüştür.

Motor yağlamasının yetersiz oluşu ve yağdaki pislikler aşınmanın en önemli sebebidir. Bunlar toz, kum, küçük taş kırıntıları, pas, sert karbon ve metal parçacıkları gibi zararlı birikintilerdir. Hava filtresi ile bu birikintiler motora emilmeden önce tutulamazlarsa aşınmayı meydana getirirler.

Motorda kullanılan kalitesiz yağlar veya uzun zaman boyunca değiştirilemeyen artık okside olmuş karter yağları yağlama özelliğini kaybeder. Motorun çalışan yüzeylerinden kopan metal parçacıkları yağa karışarak aşınmayı hızlandırır.

Krank yatak boşluklarının artmış olması, yağ filtresinin tıkanmış veya hasarlı olması, düşük yağ pompası basıncı gibi nedenlerle motor yağ basıncının düşmesi sonucu yağ ince yağlama kanallarından geçemeyeceğinden supap mekanizması yağsız kalır.

Supapların döndürülmesi durumunda ömürleri uzayacaktır. Dengeli bir oturma yüzeyi ısınması, ısı birikimlerinin engellenmesi, bu bölgedeki olası karbon yapışmalarının önlenmesi, montaj sırasında oluşacak hataların en aza indirgenmesi, sap ve sap ucunda homojen aşınma sağlanması supabın döndürülmesi ile ortadan kaldırılabilir. Supapların dönmesi işlemi, döndürücü aparat takılmayan supaplarda supap yayının her stroğunda supabı bir miktar döndürmesi ve motorun doğal titreşimi ile olur. Yayların zayıflamış olması supabın dönmesini engeller. Döndürücü aparat takılan supaplar daha uzun süre arıza yapmadan çalışırlar.

Supap kafası yüzeyindeki karbon filmin varlığı ek bir termal direnç oluşturduğundan supaplar daha az ısınır ve termal gerilmeler için daha güvenli hale gelirler. Ayrıca, yüksek dirençli ve düşük iletkenliğe sahip supap kaplamalarının supap ömrünü arttıracığı ve ısı kayıplarını azaltacağı kolayca söylenebilir.

Supabın açılıp kapanma hareketi sırasında atalet kuvvetlerinin oluşturduğu gerilme değerleri meydana gelir. Bu kuvvetler supap kütlesini azaltarak düşürülebilir. Motorlarda benzer çalışma koşullarında meydana gelen mekanik yüklerin etkisindeki gerilmeler, termal yüklerde meydana gelen gerilmelerden daha büyüktür. Bu sebeple basınç ve atalet kuvvetlerinin etkisi önemli olarak kabul edilir.

Bir egzoz supabının performansındaki en önemli faktör, çalışma sıcaklığıdır. Sıcaklığın önemi, supap malzemesinin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisiyle en iyi şekilde anlaşılabilir. Supap gövdesindeki büyük sıcaklık değişimleri termal gerilmelerden sorumludur. Sonuç olarak, optimum supap çalışma sıcaklığının öngörülmesi ve buna uygun malzeme seçimi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] 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: 1147–1157.
- [2] Witek, L., 2016, “Failure and thermo-mechanical stress analysis of the exhaust valve of diesel engine”, *Engineering Failure Analysis*, 66: 154–165.
- [3] Kumar, G. U., Mamilla, V. R., 2014, “Failure analysis of internal combustion engine valves by using ansys”, *International Association of Scientific Innovation and Research (IASIR)*, 14: 169-173.
- [4] Yadav, M. K., Mittal V. K., Angra, S., 2014, “Failure analysis of diesel engine exhaust valve by using ansys software”, *Applied Mechanics and Materials*, 592-594: 1070-1074.
- [5] Cerdoun, M., Carcasci. C., Ghenaiet, A., 2016, “An approach for the thermal analysis of internal combustion engines exhaust valves”, *Applied Thermal Engineering*, 102: 1095–1108.
- [6] Deng, Z., Lan, F., Huang, W., Guo, H., Chen, P., 2015, “The research on thermal-mechanical coupled analysis and the lightweight design of engine exhaust valve”, *Applied Mechanics and Materials*, 729: 143-148.
- [7] Scott, C. G., Riga, A. T., Hong, H., 1995, “The erosion-corrosion of nickel-base diesel engine exhaust valves”, *Wear*, 181-183:485-494.
- [8] Khana, M. I., Khanb, M. A., Shakoorb, A., 2018, “A failure analysis of the exhaust valve from a heavy duty natural gas engine”, *Engineering Failure Analysis*, 85:77–88.

- [9] Karamangil, M. I., Avcı, A., Bilal, H., 2008, “Investigation of the effect of different carbon film thickness on the exhaust valve”, *Heat Mass Transfer*, 44:587–598.
- [10] Megep, 2011, “Motorlu araçlar teknolojisi, Supap sistemleri”, *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, Ankara, Türkiye.
- [11] İnternet: Del West Engineering İnc., 2019, “Titanium valves and lightweight valve train components”, (http://delwestengineering.com/documents/Del_West_RTS_Catalog.pdf).
- [12] Blau, P. J., 2009, “A wear model for diesel engine exhaust valves”, Materials Science and Technology Division, *Oak Ridge National Laboratory*, TM/259.
- [13] İnternet: Supar Supap ve Parça Sanayi Tic. A.Ş., 2019, Ürün Kataloğu, (<http://www.supar.com.tr/katalog/>).
- [14] Hillier, V.A.W., Coombes, P., 2004, “Hillier’s Fundamentals of Motor Vehicle Technology Book 1, 5th Edition”, *Nelson Thornes Ltd*, Cheltenham, United Kingdom, 68-70.
- [15] İnternet: Elzem Otomotiv San. ve Tic. Ltd. Şti., 2019, Ürünler: ¹Baga – ²Gayd, ¹(http://www.elzemwax.com/productdetail_daf-2800-3300-12v-in_1640_3_tr.html), ²(http://www.elzemwax.com/productdetail_190-200-200e-m102_202_2_tr.html).
- [16] Küçükşahin, F., 2000, “Dizel motorları”, *Güven Kitap Yayın Dağıtım*, İstanbul, 304-328
- [17] Alp, M. Ş., 2019, “Assembling engine valves and causes of valve failures”, *SUPAR*, Konya, (http://www.supar.com.tr/Upload/valve_failures.pdf).
- [18] İnternet: Supap yayı, 2019, (<https://www.yayimalati.web.tr/subap-yayi>).

- [19] Forsberg, P., 2013, "Combustion Valve Wear: A Tribological Study of Combustion Valve Sealing Interfaces", *Acta Universitatis Upsaliensis, Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*, 1058:1-57.
- [20] İnternet: GE Transportation, 2018, "Strength in numbers, Reliable EMD power assemblies", (<http://www.getransportation.com/>).
- [21] Stone, R., 2012, "Introduction to Internal Combustion Engines, Fourth Edition", *Palgrave Macmillan Press*, England, 220-224.
- [22] Giles, W. S., 1967, "Fundamentals of valve design and material selection", *SAE Transactions*, 75(3): 36-56.
- [23] İnternet: Special Metals, 2019, İnconel alloy X-750-751, (http://new.bibus.cz/pdf/Special_Metals/Nikl/prehled/inconel-alloy_X_750_751.pdf).
- [24] İnternet: G&S VALVES LTD, 2019, "Technical Information", England, (<http://www.gsvalves.co.uk/assets/g-s-technical-infomation.pdf>).
- [25] Megep, 2007, "Kimya Teknolojisi, Yüksek sıcaklık ve erozyon korozyonu", *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, Ankara, Türkiye.
- [26] Feng, Y., Tang, H., Li, C., Ma, X., Xie, M., 2015, "Failure analysis of internal combustion exhaust valve", *International Conference on Applied Science and Engineering Innovation*, 228-231.
- [27] Yelbay, H., 2019, "Motorlarda güç ve verim", Türkiye, (https://www.academia.edu/32581248/MOTORLARDA_G%C3%9C%C3%87_VE_VER%C4%B0M).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DÖKMECİ, Rüstem

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri :1988 - Uşak

Medeni hali : Bekar

e-mail : rustemdkmc@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Rumeli Üniversitesi / İş Sağlığı ve Güvenliği	Halen
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/ Makine Müh.	Halen
Lisans	Süleyman Demirel Üniv./ Makine Müh.	2009
Lise	Uşak İzzettin Çalışlar Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	TCDD Taşımacılık AŞ Ankara	Makine Mühendisi
2011-2017	TCDD Ankara	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce - B2

Yayımlar

-

Hobiler

Dalgıçlık, Kayak yapma, Kampçılık, Doğa sporları