

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORUNDA GÜÇ SİLİNDİRİ TASARIMININ
YAĞ TÜKETİMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh. Selçuk ÇOBANOĞLU**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: Otomotiv**

HAZİRAN 2008

**BİR DİZEL MOTORUNDA GÜÇ SİLİNDİRİ TASARIMININ
YAĞ TÜKETİMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh. Selçuk ÇOBANOĞLU
(503061719)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Nisan 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Özgen AKALIN
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Metin ERGENEMAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mustafa ÜRGEN (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yürütülmesine imkan sağlayan, tezimin her aşamasında beni değerli bilgileri ile yönlendiren ve katkılarını esirgemeyen, danışmanım Sn. Yrd.Doç.Dr. Özgen Akalın'a gösterdiği ilgiden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans öğrenimim boyunca gösterdiğim başarıyı karşılıksız bırakmayan ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca maddi yardımı ile bana destek olan TÜBİTAK'a, bu tezin yapılmasında çok önemli katkıları olan Ford Otosan A.Ş.'den Sn. Gökten Kurnaz, Sn. Ömer Rüştü Ergen ve Sn. Nedim Güngör Soydemir'e de çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca önemli katkıları olan proje arkadaşlarım Sn. Özcan Gül'e, Sn. Ahu Toygar'a ve Sn. Osman Taha Şen'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Bunun yanında deney çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen başta Sn. Emrah Özgümiş olmak üzere tüm OTAM çalışanlarına teşekkür ederim.

Son ama en önemli olarak, tüm hayatım boyunca beni her yönden ve her konuda destekleyen Aileme ve bu yıl hayata gelecek olan yeğenim Sn.Yozgatlıya çok teşekkür ederim.

Mayıs, 2008

Selçuk ÇOBANOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Gerekliliği	1
1.2 Yağlama Rejimleri	3
1.2.1 Hidrodinamik Sıvı Film Yağlama	4
1.2.2 Karma Yağlama	4
1.2.3 Sınır Yağlama	5
1.3 Güç Silindiri Elemanlarında Yağ Geçiş Mekanizmaları	5
1.3.1 Piston – Segman – Silindir Mekanizmasında Yağ Geçişine Etki Eden Mekanizmalar	6
1.3.1.1 Mekanik Hareket	6
1.3.1.2 Atalet Kuvvetleri	6
1.3.1.3 Basınç Gradyanı	7
1.3.1.4 Gaz Akışı	7
1.3.2 Piston – Segman – Silindir Mekanizmasında Yağın Transfer Yolları	7
1.3.2.1 Silindir Yüzeyi ve Piston Yüzeyleri Arasından Yağ Geçiş	8
1.3.2.2 Segman Yuvalarındaki Yağ Geçiş	10
1.3.2.3 Segman Aralığından Yağ Geçiş	13
1.4 İçten Yanmalı Bir Motorun Yağ Tüketim Yolları	14
1.4.1 Piston – Segman – Silindir Sisteminde Yağ Tüketimi	14
1.4.1.1 Üstünden Atma	15
1.4.1.2 Ters Gaz Akışı	17
1.4.1.3 Buharlaşma	17
1.4.1.4 Piston Üst Yüzeyi Tarafından Kazınan Yağ	17
1.4.2 Karter Havalandırması	18
1.4.3 Valf Yataklarındaki Kaçaklar	19
1.4.4 Türbo Kompresör	19

1.5	İçten Yanmalı Motorlarda Yağ Tüketimi Ölçüm Yöntemleri	20
1.5.1	Geleneksel Yağ Tüketimi Ölçüm Yöntemleri	20
1.5.1.1	Ağırlık Beslemeli Yöntem	20
1.5.1.2	Yağ Seviyesi Değişimini Belirleme Yöntemi	21
1.5.1.3	Yağ Pompalı Yöntem	22
1.5.1.4	Doldur Boşalt Yöntemi	24
1.5.1.5	Daldırmalı Ölçü Çubuğu Yöntemi	24
1.5.1.6	AVL 4001 Yağ Tüketimi Ölçme Cihazı	24
1.5.1.7	Cummins Yağ Tüketimi Ölçüm Cihazı	25
1.5.2	İzleme Yöntemleri	26
1.5.2.1	Kükürt (S) İzleme Yöntemi	27
1.5.2.2	Radyoaktif İzleme Yöntemi	28
2.	LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	30
2.1	Güç Silindiri Tasarımının Yağ Geçişi ve Tüketimine Etkilerini İnceleyen Çalışmalar	30
2.2	Silindir Yüzey Pürüzlülüğünün Yağ Tüketimine Etkisini İnceleyen Çalışmalar	36
2.3	Gerçek Zamanlı Yağ Tüketimi Ölçümü İle İlgili Çalışmalar	39
2.4	Amaç	44
3.	YÜZEY PARAMETRELERİ	45
3.1	Genel Parametreler	45
3.2	Pürüzlülük Parametreleri	46
3.3	Dalgallılık Parametreleri	50
3.4	Aralık Parametreleri	50
3.5	Karma Parametreler	51
4.	DENEYSEL YÖNTEM	53
4.1	Ölçüm Yöntemi Seçimi ve Sistem Gereksinimleri	53
4.1.1	Motor Yağı	55
4.1.2	Deney Yakıtı	56
4.1.3	Kütle Spektrometresi	56
4.1.3.1	Kütle Spektrometresinin Teknik Özellikleri	59
4.1.4	Örnekleme Hattı	59
4.1.5	Oksidasyon Fırını	59
4.1.6	Motor Dinamometresi	60
4.1.7	Deney Motorunun Özellikleri	60
4.1.8	Kalibrasyon Gazları	61
4.2	Kabuller	62

4.3	Ölçüm Yöntemi Prosedürü	62
4.4	Hesap Yöntemi	65
4.4.1	Kütle Spektrometresi İle Egzoz Gazı İçerisindeki SO ₂ Oranının Belirlenmesi	65
4.4.2	Egzoz Gazı İçerisindeki Yakıt Kaynaklı SO ₂ Oranının Hesaplanması	66
4.4.3	Egzoz Gazı İçerisindeki Yağlayıcı Kaynaklı SO ₂ Oranının Hesaplanması	66
4.4.4	Yağ Tüketiminin Hesaplanması	66
4.4.5	Egzoz Gazının Molekül Kütlesinin Hesaplanması	67
5.	SONUÇLAR	68
5.1	Karşılaşılan Problemler	68
5.2	Sonuçlar ve Tartışma	69
6.	DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	78
	KAYNAKLAR	80
	EKLER	85
	EK A. MOTOR A'DA KULLANILAN YAĞIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU	86
	EK B. MOTOR B'DE KULLANILAN YAĞIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU	87
	EK C. MOTOR A'DA KULLANILAN YAKITIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU	88
	EK D. MOTOR B'DE KULLANILAN YAKITIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU	89
	EK E. MOTOR A'NIN AYRINTILI TEST SONUÇLARI	90
	EK F. MOTOR B'NİN AYRINTILI TEST SONUÇLARI	91
	ÖZGEÇMİŞ	92

KISALTMALAR

S	: Kükürt
SO₂	: Kükürt Dioksit
DPF	: Dizel Partikül Filtresi
CO	: Karbon Monoksit
HC	: Hidrokarbon
PM	: Partuculate Matter
g/kWh	: Gram bölü KiloWatt-Saat
d/d	: Devir bölü Dakika
mg/kWh	: Miligram bölü KiloWatt-Saat
g/h	: Gram bölü Saat
g/mol	: Gram bölü Mol
KMA	: Krank Mili Açısı
ppm	: Particulate per Million
PID	: Proportional–Integral–Derivative Controller
C₁₆H₁₀	: Piren
C	: Karbon
Mg	: Magnezyum
Ge	: Germanyum
Zn	: Çinko
I	: İyot
Br	: Brom
LIF	: Laser Induced Fluorence
ppb	: Particulate per Billion
SWRI	: Sounthwest Resarch Institute
SAE	: Society of Automotive Engineers
N	: Azot
Ca	: Kalsiyum
P	: Fosfor
Xe	: Ksenon
Kr	: Kripton
Hg	: Civa
amu	: Atomic Mass Unit
OTAM	: Otomotiv Teknoloji Araştırma Geliştirme Merkezi
PCV	: Positive Crankcase Ventilation
eV	: Elektron Volt
MS	: Mass Spectrometer
ms	: Milisaniye

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 : Standartlara Göre Egzoz Emisyon Değerleri (Dieselnet, İnternet).....	1
Tablo 4.1 : Kütle spektrometresinin teknik özellikleri	59
Tablo 4.2 : Deney Motorunun Özellikleri.....	61
Tablo 4.3 : Silindirleri Farklı Honlanmış Motorun(motor B) Yüzey Pürüzlülük Değerleri	61
Tablo 4.4 : Motor A İçin Test Matrisi.....	64
Tablo 4.5 : Motor B İçin Test Matrisi.....	64
Tablo 5.1 : Motor A'nın Yağ Tüketimleri	69
Tablo 5.2 : Motor A'nın Egzoz Gazındaki Kükürt dioksitin (ppm) Değerleri	70
Tablo 5.3 : Motor B'nin Yağ Tüketimleri.....	72
Tablo 5.4 : Motor B'nin Özgül Yağ Tüketimleri	76
Tablo E.1 : Motor A'nın Ayrıntılı Test Sonuçları	90
Tablo F.1 : Motor B'nin Ayrıntılı Test Sonuçları.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: Yağ Tüketim Yollarının Toplam Yağ Tüketimine Etkisi (Froelund ve Yılmaz, 2004)	3
Şekil 1.2	: Stribeck Eğrisi (Comfort, 2003)	4
Şekil 1.3	: Yağlama Rejimleri (Hamrock, 1994).....	5
Şekil 1.4	: Piston Yüzeyi Bölgeleri ve Piston Eteği (Vokac ve Tian, 2004)	6
Şekil 1.5	: Piston – Segman – Silindir Yüzeyi Sisteminde Yağın Transfer Yolları (Thirouard ve Tian, 2003a).....	8
Şekil 1.6	: Segman Kazıması (Thirouard ve Tian, 2003a).....	9
Şekil 1.7	: Silindir Yüzeyine Yağ Bırakma (Thirouard ve Tian, 2003a).....	10
Şekil 1.8	: Pistonun İkincil Hareketi Nedeniyle Segman İle Yuvası Arasındaki Boşluğa Giren Yağ (Thirouard ve Tian, 2003a).....	11
Şekil 1.9	: Segman Yuvası Şeklinin Yağ Geçişine Etkisi (Thirouard ve Tian, 2003a).....	12
Şekil 1.10	: Segman Geometrisinin Yağ Geçişine Etkisi (Thirouard ve Tian, 2003a).....	12
Şekil 1.11	: Segman Yuvasındaki Net Yağ Akışı (Thirouard ve Tian, 2003a).....	13
Şekil 1.12	: İçten Yanmalı Bir Motorun Yağ Tüketim Yolları (Froelund ve Yılmaz, 2004)	15
Şekil 1.13	: Piston – Segman – Silindir Sisteminde Yağ Tüketimi Yolları (Froelund ve Yılmaz, (a,b,c) 2004; AVL Glide Piston – Segman Dinamiği ve Yağ Tüketimi kullanıcı el kitabı,(d) 2004).....	16
Şekil 1.14	: Yağın Gaz Akışı ile Sürüklenmesi (Yılmaz ve diğ., 2004).....	18
Şekil 1.15	: Valf Yataklarındaki Kaçaklar (Yılmaz ve diğ., 2004)	19
Şekil 1.16	: Türbo Kompresör Yağlama Sistemi (Manni ve diğ., 2002).....	20
Şekil 1.17	: Ağırlık Beslemeli Yağ Tüketimi Ölçme Yöntemi (Weng ve Richardson, 2000)	21
Şekil 1.18	: Yağ Seviyesi Değişimini Belirleme Yöntemi (Weng ve Richardson, 2000)	22
Şekil 1.19	: Yağ Pompalı Yöntem (Weng ve Richardson, 2000).....	23
Şekil 1.20	: AVL 4001 Yağ Tüketimi Ölçme Cihazı (Manni ve diğ., 2002).....	25
Şekil 1.21	: Smart Yağ Tüketimi Ölçüm Cihazı (Weng ve Richardson, 2000)	26
Şekil 1.22	: Radyoaktif İzleme Yöntemi Deney Şeması (Delvigne ve diğ., 2005)	28
Şekil 2.1	: İki Boyutlu Lazerli Florışma Tekniği (Thirouard ve diğ., 1998)	31
Şekil 2.2	: Güç Silindiri Bölgesine Yerleştirilen Sensörlerin Yerleri (Chen ve Richardson, 2000)	32
Şekil 2.3	: Segman – Silindir Yüzeyi Uyumluluğu Ölçme Yöntemi (Basaki ve diğ., 2000).....	33
Şekil 2.4	: Kükürt izleme yöntemi test şeması (Hanaoka ve diğ., 1979).....	39
Şekil 3.1	: Genel Yüzey Pürüzlülük Parametreleri (ASME B46.1-2002)	45
Şekil 3.2	: Değerlendirme ve Örnekleme Boyu (ASME B46.1-2002)	46
Şekil 3.3	: H Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)	46

Şekil 3.4	: ISO Düzlüğünün Tanımı (Zygo İnternet, 2005).....	47
Şekil 3.5	: R _{3z} Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005).....	47
Şekil 3.6	: R _{3z} ISO Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)	48
Şekil 3.7	: Ra Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005).....	48
Şekil 3.8	: Rp, Rv ve Rt Parametrelerinin Tanımı (ASME B46.1-2002)	49
Şekil 3.9	: Rz Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)	49
Şekil 3.10	: Wa Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005).....	50
Şekil 3.11	: Sm Parametresinin Tanımı (ASME B46.1-2002).....	51
Şekil 3.12	: n _p Parametresinin Tanımı (ASME B46.1-2002).....	51
Şekil 3.13	: Rk, Rpk ve Rvk Parametrelerinin Tanımı (TS EN ISO 13565-2)	52
Şekil 4.1	: Test Sistemi Şeması	55
Şekil 4.2	: Elektron Etki İyonlaşması (MS ₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005).....	57
Şekil 4.3	: Twin – MS Çalışma Prensibinin Şematik Gösterimi (MS ₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005)	58
Şekil 4.4	: Dört Kutuplu Ayırıcı (MS ₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005)	58
Şekil 4.5	: Yeni Üretilen Motorun Rodajı Sırasında Yağ Emisyonunun Zamanla Değişimi (Appel ve diğ., 2006)	63
Şekil 5.1	: Motor A'nın %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Yağ Tüketimleri	71
Şekil 5.2	: Motor A'nın 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri.....	71
Şekil 5.3	: Motor A'nın 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ tüketimleri	72
Şekil 5.4	: Motor B'nin %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Yağ Tüketimleri	73
Şekil 5.5	: Motor B'nin 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri	75
Şekil 5.6	: Motor B'nin 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri	75
Şekil 5.7	: Motor B'nin %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Özgül Yağ Tüketimleri	76
Şekil 5.8	: Motor B'nin 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Özgül Yağ Tüketimleri.....	77
Şekil 5.9	: Motor B'nin 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Özgül Yağ Tüketimleri.....	77

SEMBOL LİSTESİ

f_I	: Atalet kuvveti
ρ_{oil}	: Yağın yoğunluğu
a_p	: Pistonun ivmesi
L	: Değerlendirme boyu
b_n	: Profil tepelerini keserek elde edilen kesit uzunlukları
n_p	: Profil taşıyıcı uzunluğu
t_p	: Malzeme oranı
ΔGw	: Segman aralığı uzunluğu
Δr	: Segman ile silindir yüzeyi arası mesafe
$\dot{m}_E$	: Egzoz gazı debisi
$\dot{m}_H$	: Hava debisi
$\dot{m}_Y$	: Yakıt debisi
$\dot{n}_E$	: Molar egzoz gazı debisi
M_E	: Egzoz gazının molekül kütlesi
$\dot{m}_{SO_2E}$	: Egzoz gazı debisindeki SO_2 miktarı
M_{SO_2}	: SO_2 'nin molekül kütlesi
SO_{2E}	: Egzoz gazındaki hacimsel SO_2 oranı
$\dot{m}_{S,Y}$	: Egzoz gazında yakıttan gelen kükürt debisi
S_Y	: Yakıttaki kütleli kükürt oranı
$\dot{m}_{SO_2Y}$	: Egzoz gazında yakıttan gelen kükürt dioksit debisi
$\dot{m}_{SO_2YAĞ}$	: Egzoz gazında yağdan gelen kükürt dioksit debisi
$\dot{m}_{S,YAĞ}$	: Egzoz gazında yağdan gelen kükürt debisi
$\dot{m}_{YAĞ}$	: Yağ tüketimi
$S_{YAĞ}$	: Yağdaki kütleli kükürt oranı
λ	: Bağlı hava yakıt oranı

BİR DİZEL MOTORUNDA GÜÇ SİLİNDİRİ TASARIMININ YAĞ TÜKETİMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Özellikle gelecek yıllarda yürürlüğe girecek olan katı egzoz emisyon standartları motor üreticilerini egzoz emisyonlarını olabildiğince düşürmeye zorlayacaktır ve bu durumda üreticilerin egzoz emisyonlarına katkısı olan bütün kaynakları dikkate almaları zorunluluğu ortaya çıkacaktır. Egzoz emisyonlarının en önemli bileşenlerinden olan motorun yağ tüketimi ise egzoz gazındaki partikül ve hidrokarbon emisyonlarını olumsuz yönde etkilemekte ve özellikle katalitik konvertör veriminin erken düşmesine neden olmaktadır. Bunun yanında motor yağının fazla tüketilmesi yağın yeniden doldurulması konusunda müşteri memnuniyetini azaltmaktadır.

Bu açıklamalar ışığında motorun yağ tüketimini kontrol edip, yağ tüketimini oluşturan mekanizmaların tanımlanması ve test edilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Yağ tüketimini gerçek zamanlı olarak bir motorun farklı silindirlerine göre ölçmek karmaşık ve zor bir iştir.

Bu tezde yağ tüketiminin en önemli kaynağı olan güç silindiri bileşenlerinden silindir yüzey pürüzlülüğünün yağ tüketimine etkisini incelemek amacı ile 6 silindirli bir motorun üçer silindirleri farklı yüzey kalitesinde işlenmiş ve motorun orijinal egzoz manifoldunda gerekli değişiklikler yapılarak, egzoz gazında kükürt izleme yöntemi ile bu farklılığın yağ tüketimine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde egzoz gazındaki kükürt dioksit miktarını belirlemek amacı ile dört kutuplu tip kütle spektrometresi kullanılmıştır. İlk olarak tüm silindirleri aynı hassasiyetle işlenmiş bir motorun 3-3 silindirlerinin yağ tüketimleri ölçülmüş daha sonra bu ölçümler referans alınarak 3-3 silindirleri farklı olarak işlenmiş motorun yağ tüketimi testi yapılmıştır.

Ortaya çıkan sonuçlardan, yağ tutma hacmi daha fazla olan kaba yüzey pürüzlülüğüne sahip silindir grubunun özellikle artan yük ve hız şartlarında, yağ tüketimlerinin, daha hassas olarak işlenmiş silindir grubundan kayda değer ölçüde fazla olduğu belirlenmiştir.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF POWER CYLINDER DESIGN ON LUBE OIL CONSUMPTION OF A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Because of the aggressive exhaust emission limits that will be introduced especially in near future, engine producers will be forced to reduce the emissions and they must consider all contributors of these emissions. Also, engine lube oil consumption is one of the important sources that increases the particulate matter and hydrocarbon emissions in exhaust gas and also diminishes the performance of catalysts significantly. Furthermore, the excessive lube oil consumption brings about the customer dissatisfaction for the issue of refill intervals.

According to these explanations controlling the lube oil consumption and understanding the consumption mechanisms become vitally important topics. On the other hand, real time measurement of lube oil consumption of individual engine cylinder groups is very complicated and difficult task.

In this study, in order to investigate the effects of the cylinder surface texture on lube oil consumption that is the major parts of the power cylinder components which are the most important source of oil consumption, an in-line six-cylinder diesel engine was modified as the individual three cylinder groups has different honing pattern. After the suitable modifications were made on the original exhaust manifold the S tracer technique was used on the modified engine to investigate those effects. A quadrupol mass spectrometer was employed to analyze the sulfur dioxide concentration of the exhaust gas. Firstly, a standard in-line six-cylinder engine's individual three cylinder groups were tested and then according the standard engine test results the modified engine's first three cylinders and last three cylinders were tested.

Considering the results of two different tests, the first three cylinder group of the modified engine that have coarse plateau honing pattern, which has more oil retention volume than standard honing pattern, reveals higher lube oil consumption than the last three cylinder group that have standard plateau honing pattern especially with increasing running speed and load.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Gerekliliği

Kamyon motorları için ekim 2005’de yürürlüğe girmiş olan Euro 4 emisyon standardı partikül emisyonlarını Tablo 1.1’e göre 0,1 g/kWh’den 0,02 g/kWh’e, 2013’de yürürlüğe girmesi beklenen Euro 6 standardı ise 0,01 g/kWh’e düşürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu standartlar, motorun egzoz çıkışından önce egzoz gazındaki partikülleri tutan dizel partikül filtresi (DPF) gibi donanımların kullanılması ihtiyacını doğurmuştur (Froelund ve Yılmaz, 2004).

Tablo 1.1: Standartlara Göre Egzoz Emisyon Değerleri

Standart	Tarih	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	İs (m ⁻¹)
Euro I	1992, < 85 kW	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, > 85 kW	4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10	4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10	4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
					0.13 ^a	
Euro IV	2005.10	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro VI†	2013.04 ^b	1.5	0.13	0.4	0.01	
† Teklifi (2007/12/21)						
a - Silindir başına hacmi 0,75 dm ³ 'den daha az ve maksimum güç devir sayısı 3000 (d/d)'dan daha fazla olan motorlar						
b - 2014.10'da bütün modeller						

Ancak kullanılan dizel partikül filtresinin performansı, yağlayıcının tüketilmesi ile ortaya çıkan yağlayıcı içindeki metal katkı maddeleri tarafından etkilenmektedir. Dizel partikül filtresi özellikle kalsiyum ve magnezyum içerikli katkı maddelerinden gelen ise karşı çok hassastır. Yağlayıcının tüketilmesiyle ortaya çıkan bu durum, sonunda filtreyi tıkamakta ve motorun normal çalışmasına engel olmaktadır. Egzoz donanımında bulunan katalizörlerin gerekli tepkimelerin olduğu bölgeleri de yağlayıcı tarafından çinko ve fosfor gibi, isle gelen metallere karşı hassastır ve bu

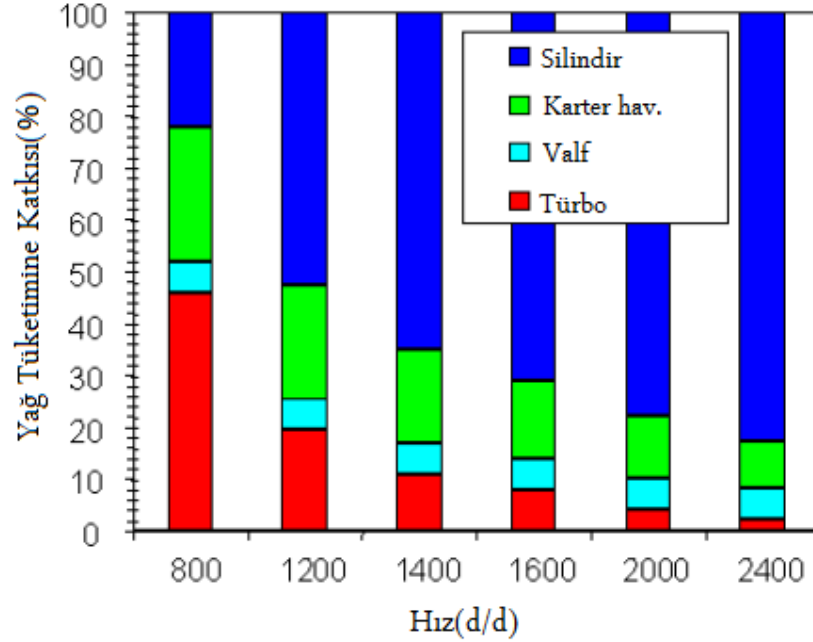
bölgelerde gerek fiziksel gerek kimyasal etkisizleştirmeler oluşmaktadır (Froelund ve Yılmaz, 2004).

Avrupa'da üretilen motorların, yağ tüketimlerinin partikül emisyonlarına katkısı 1,5 – 3 mg/kWh yani Euro 4/5 standartlarındaki partikül emisyon değerlerinin % 8 – 15'dir. Gelinmesi gereken nokta ise 0,5 mg/kWh yani Euro 4/5 toplam partikül emisyonunun % 2,5'i olarak hedeflenmiştir. Bu hedef altında, sırf dizel partikül filtresi kullanmak dayanıklılık problemi yüzünden yeterli çözüm olmayacaktır. Yapılması gereken asıl iş yağ tüketimini ve buna bağlı olarak yağ kaynaklı is emisyonlarını kontrol etmek ve azaltmaktır (Froelund ve Yılmaz, 2004).

Colvin ve diğ. (1992) göre yüksek yağ tüketimi egzoz hattındaki katalitik konvertörlerin ve oksijen sensörlerinin performanslarının erken düşmesine ve yüksek hidrokarbon emisyonlarına neden olmaktadır. Ariga ve diğ. (1992) göre ise iyi tasarlanmış ve düşük emisyon değerlerine sahip bir motorda partikül emisyonlarının %20'si yağlayıcı tarafından gelmektedir. Bunun yanında Thirouard ve Tian'a (2003a) göre motordaki yağ tüketimini azaltmak, hidrokarbon emisyonlarını optimize etmek, is oluşumunu engelleyerek çevre sağlığına katkıda bulunmak ve servis maliyeti yönünden müşteriye memnun etmek açısından çok önemlidir. Araştırmalar motordaki yağ tüketiminin %40 – 80 arasında piston-segman-silindir sisteminden kaynaklandığını göstermektedir. Bu açıdan yağlayıcının piston-silindir arasındaki hareketini incelemek yağ tüketimini azaltmak için hayati öneme sahiptir.

Bailey ve Ariga'ya (1990) göre motor üreticileri konvansiyonel yöntemden daha hızlı olan ve motorun kararsız haldeki emisyon ölçümleri süresince gerçek zamanlı olarak yağ tüketiminin ölçülmesine olanak sağlayacak bir ölçme tekniğine ihtiyaç duymaktadırlar.

2004 yılında Froelund ve Yılmaz yaptıkları araştırmada, Navistar motoru ile yapılan deneyden ve diğer literatürlerden aldıkları bilgileri toplayarak tam yükte ve değişik motor hızlarında motordaki yağ tüketim yollarının toplam yağ tüketimine ne oranda etki ettiklerini Şekil 1.1'de göstermişlerdir.



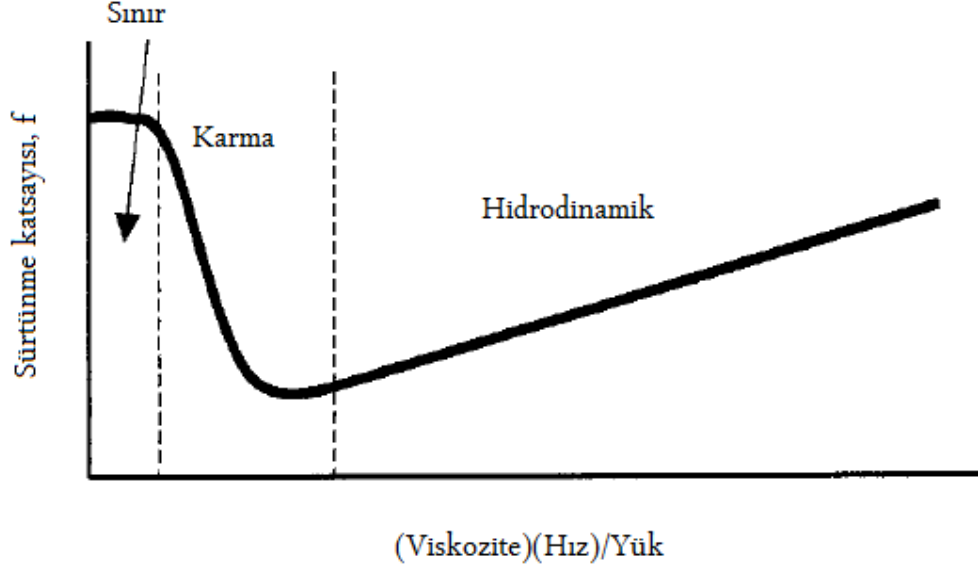
Şekil 1.1: Yağ Tüketime Yollarının Toplam Yağ Tüketime Etkisi (Froelund ve Yılmaz, 2004)

Buna göre tam yükte ve düşük motor hızlarında g   silindiri parçalarının toplam yağ tüketime etkisi % 20 civarlarında olmakta, motor hızı arttığında ise g   silindiri tasarımının etkisi giderek artarak maksimum hızlarda % 80'e ulaşmaktadır (Froelund ve Yılmaz, 2004).

Yapılan literatür araştırmaları ışığında motorun yağ tüketime gerçek zamanlı olarak    erek kontrol etmenin çok önemli olduğu ve g   silindiri tasarımının motorun yağ tüketime ne kadar etkili olduğu görülmüştür.

1.2 Ya lama Rejimleri

 ki yüzey arasındaki yağlama mekanizması, yağın viskozitesi, hız ve temas yüküne bağlı olarak temelde üç farklı yağlama rejimine girebilir. Alman mühendis Richard Stribeck'in kaymalı yataklar üzerine yaptığı çalışmalar neticesinde bulunduğu Stribeck eğrisi,  ekil 1.2'de iki yüzey arasındaki sürtünme katsayısının viskozite, hız ve temas yükü ile nasıl de i ti ini göstermektedir.



Şekil 1.2: Stribeck Eğrisi (Comfot, 2003)

1.2.1 Hidrodinamik Sıvı Film Yağlama

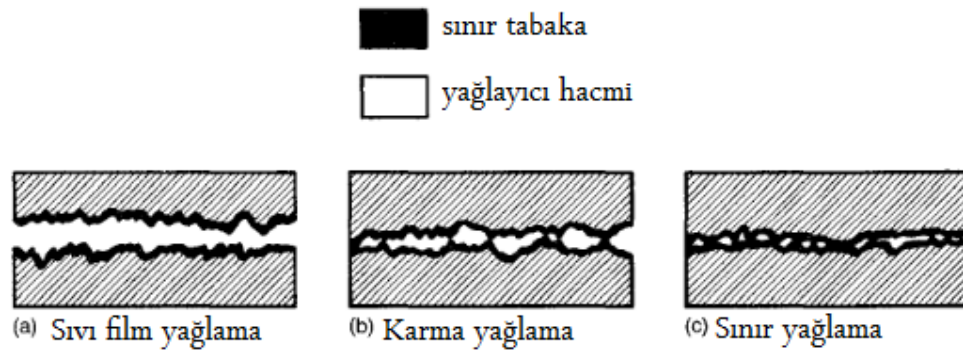
Şekil 1.2'nin en sağ tarafındaki bölge olan hidrodinamik yağlamada iki yüzey arası tamamen yağ ile doludur ve sürtünme yağın viskozitesine bağlı olan kesme kuvvetlerinden kaynaklanır. Buna göre hızın artmasıyla sınır yağlamadan karma yağlama rejimine geçen sistemin sürtünme katsayısı düşer. Ancak hız çok arttığında yağ film kalınlığı içindeki kesme kuvvetleri de çok artacağından belirli bir bölgeden sonra sürtünme katsayısı artmaya başlar. Hidrodinamik sıvı film yağlamada iki yüzey arasındaki yükün tamamı yağ filmi tarafından karşılanır.

1.2.2 Karma Yağlama

Şekil 1.3'de gösterilen karma yağlamada ise iki yüzey arası kısmen yağ ile doludur. Yüzeyler üzerindeki metal tepeleri birbirine temas halinde iken vadiler yağ ile doludur. Yükün arttığı ya da hızın düştüğü durumlarda yağ film kalınlığı azalarak sistem hidrodinamik yağlama rejiminden karma yağlama rejimine geçer. Bu durumda belli bir noktadan sonra sürtünme katsayısı hızla artar ve bu sürtünmeyi ortaya çıkaran baskın etken metal metale temasın oluşmasıdır. İki yüzey arasındaki yükün bir kısmı yağlayıcı tarafından karşılanırken bir kısmı da temas halindeki metal yüzeyler tarafından karşılanır.

1.2.3 Sınır Yağlama

Sınır yağlama rejimi yükün çok fazla ya da hızın çok düşük olduğu şartlarda ortaya çıkar. İki yüzey birbirine temas etmekle beraber aralarında molekül düzeyinde çok ince bir yağ filmi vardır. Şekil 1.3c’de gösterilen bu durumda yağın viskozitesi sürtünme mekanizmasında belirleyici etken olmaktan çıkarken, yağa eklenen katkı maddeleri performans açısından önemli rol oynar (Taylor, 1998). Sınır yağlamada temas yükünün tamamı yüzey pürüzlülükleri tarafından karşılanır.

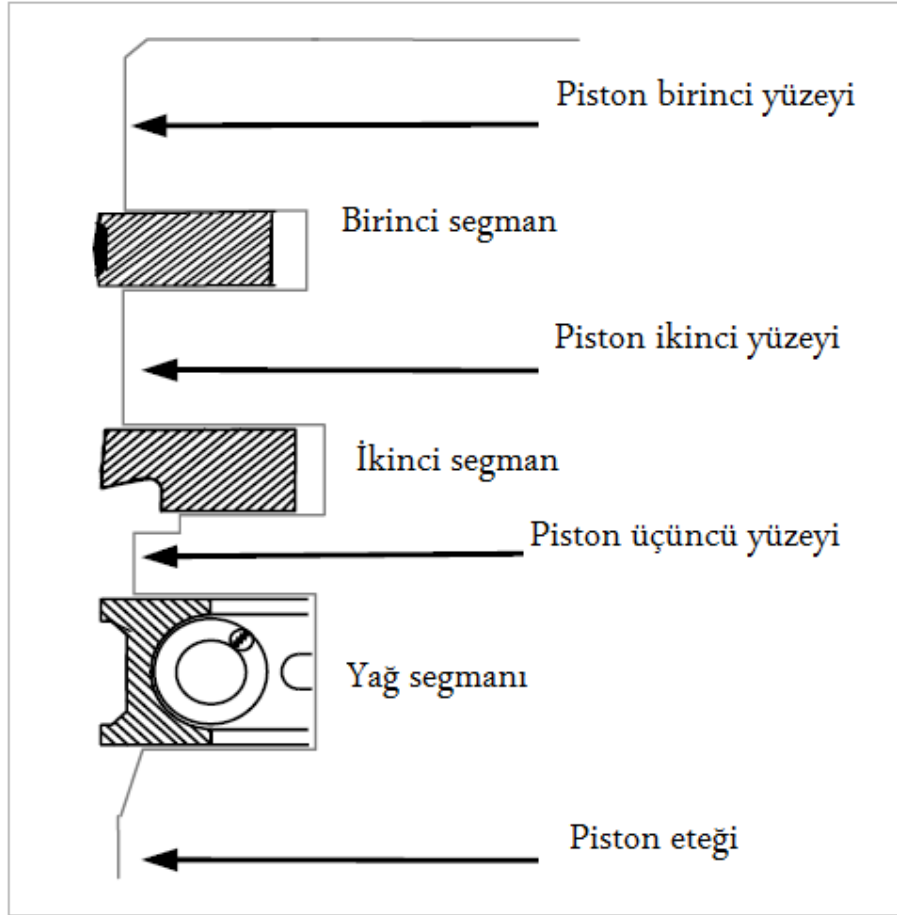


Şekil 1.3: Yağlama Rejimleri (Hamrock, 1994)

1.3 Güç Silindiri Elemanlarında Yağ Geçiş Mekanizmaları

Motorun güç silindiri elemanlarında yağ geçiş bölgeleri Şekil 1.4’de gösterildiği gibi genel olarak dört bölüme ayrılmıştır. Bunlar;

- Birinci segmanın üst tarafını temsil eden ve yağ tüketimine direk olarak etki eden piston birinci yüzeyi bölgesi (Thirouard ve Tian, 2003b)
- İkinci segman ile birinci segman arasında kalan, birinci segman yuvasına yağ geçişini kontrol eden ve piston üçüncü yüzeyi bölgesine yağ geçişini sağlayan piston ikinci yüzeyi bölgesi (Thirouard ve Tian, 2003b)
- Birinci segmanın çalıştığı yüzeydeki yağ film kalınlığını kontrol eden ve ikinci bölgeye yağ geçişini sağlayan piston üçüncü yüzeyi bölgesi (Thirouard ve Tian, 2003b)
- Piston eteği bölgesidir (Ito ve diğ., 2005).



Şekil 1.4: Piston Yüzeyi Bölgeleri ve Piston Eteği (Vokac ve Tian, 2004)

1.3.1 Piston – Segman – Silindir Mekanizmasında Yağ Geçişine Etki Eden Mekanizmalar

1.3.1.1 Mekanik Hareket

Yağlayıcı, pistonun silindir içindeki ve segmanların segman yuvaları içindeki hareketleri ile karterden yanma odasına ve silindir yüzeyinden kartere taşınır (Vokac ve Tian, 2004).

1.3.1.2 Atalet Kuvvetleri

Pistonun silindir içindeki gidip-gelme hareketinden dolayı oluşan atalet kuvveti piston ve segmanların üzerindeki yağlayıcının hareketine etki eder. Bu kuvvet piston hızının bir fonksiyonudur ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$f_I = -\rho_{oil} \cdot a_p \quad (1.1)$$

ρ_{oil} = yağın yoğunluğu (kg/m³)

$$a_p = \text{pistonun ivmesi} \quad (\text{m/s}^2)$$

Thirouard ve Tian'ın (2003a) yaptıkları çalışmaya göre atalet kuvveti aşağı yönde olduğunda yağı aşağı yöne, yukarı yönde olduğunda yağı yukarı doğru yönlendirir ve motor hızının artması atalet kuvvetinin büyüklüğünü karesi ile arttırarak, yağ transfer mekanizmasının zamanlamasını, olayları hızlandıracak şekilde değiştirir. Ayrıca atalet kuvvetinin artmasının segmandan ayrılan yağ damlacığının formunu küçültecek şekilde değiştirdiği, bununla beraber atalet kuvveti arttığında yağlayıcının piston yüzeyleri üzerinde daha fazla yol alacağı belirtilmiştir.

1.3.1.3 Basınç Gradyanı

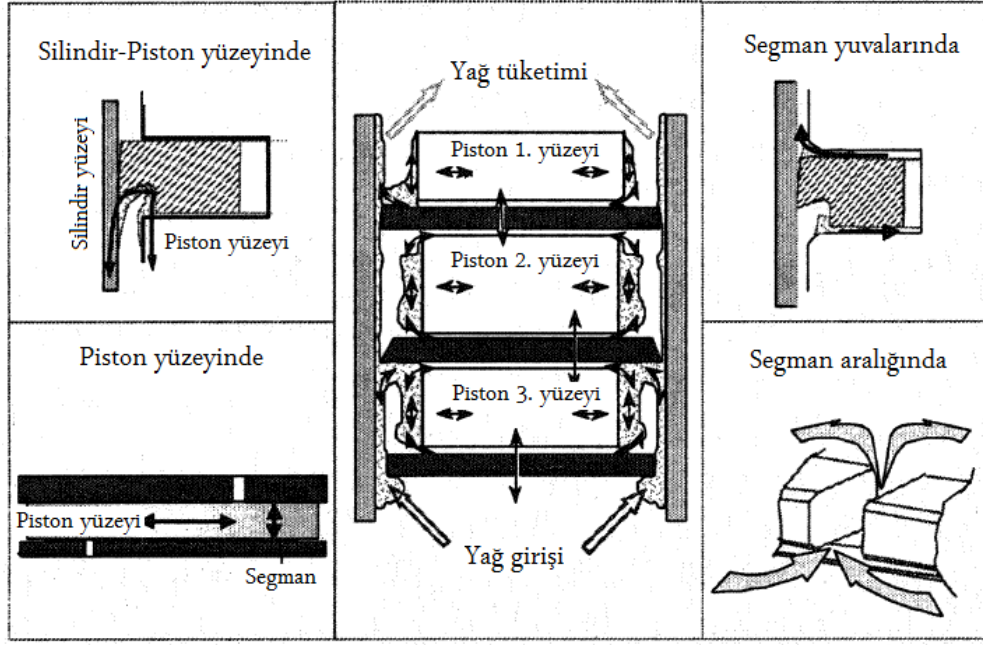
Vokac ve Tian'a (2004) göre karter ile yanma odası arasında önemli derecede yüksek bir basınç farkı vardır. Bu basınç farkı segmanlar arasında farklı basınçların oluşmasına ve yağlayıcının segmanlar ve segman yuvaları arasında taşınmasına neden olur.

1.3.1.4 Gaz Akışı

Motor çalışırken piston-segman-silindir bölgeleri arasında sürekli olarak yanma odasından kartere doğru ya da karterden yanma odasına doğru gaz akışı olur. Gaz akışı genişleme stroğunda yanma odasından kartere doğru, emme strokunda da karterden yukarı doğru gerçekleşir. Vokac ve Tian'a (2004) göre bu akış nedeniyle yağlayıcı yüzeyi ile gaz arasında kayma gerilmesi oluşur ve gaz akışı böylece yağı hem eksenel yönde sürükler hem de çevresel yönde hareket ettirir. Thirouard ve Tian (2003a) yağın çevresel yönde hareketine etki eden en önemli iki parametrenin, segman aralıklarının pozisyonu ve gaz akışının yönü ve debisi olduğunu belirtmişlerdir. Vokac ve Tian'ın 2004 yılındaki çalışmalarında ayrıca motor yükü arttırıldığında gaz akışı ve gaz basınçları arttırılarak yağın, segman yuvalarına doğru hareket etmeye zorlandığı ve yüksek yüklerde segman yuvalarında kalan bu yağın gaz akışı ile kartere gönderildiği, sonuç olarak segman eksenel hareketini yaptığında daha az yağı piston yüzeylerine aktardığı açıklanmıştır.

1.3.2 Piston – Segman – Silindir Mekanizmasında Yağın Transfer Yolları

Güç silindiri elemanlarında yağın transferi genel olarak Thirouard ve Tian (2003a) tarafından Şekil 1.5'de gösterildiği gibi, silindir yüzeyi ve piston yüzeyleri arasında, segman yuvalarında ve segman aralığında gerçekleşmektedir.



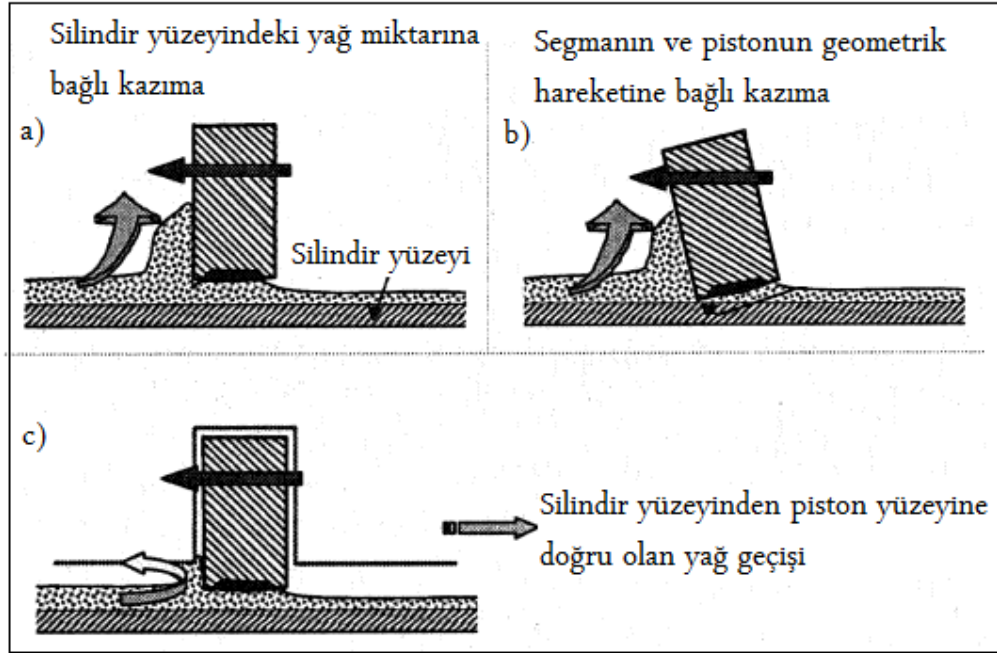
Şekil 1.5: Piston – Segman – Silindir Yüzeyi Sisteminde Yağın Transfer Yolları
(Thirouard ve Tian, 2003a)

1.3.2.1 Silindir Yüzeyi ve Piston Yüzeyleri Arasından Yağ Geçişi

Thirouard ve Tian'a (2003a) göre silindir yüzeyi ve piston yüzeyleri arasındaki yağ geçişi, bazı durumlarda segman kazıması şeklinde bazı durumlarda da silindir yüzeyine yağ bırakma şeklinde ortaya çıkmaktadır .

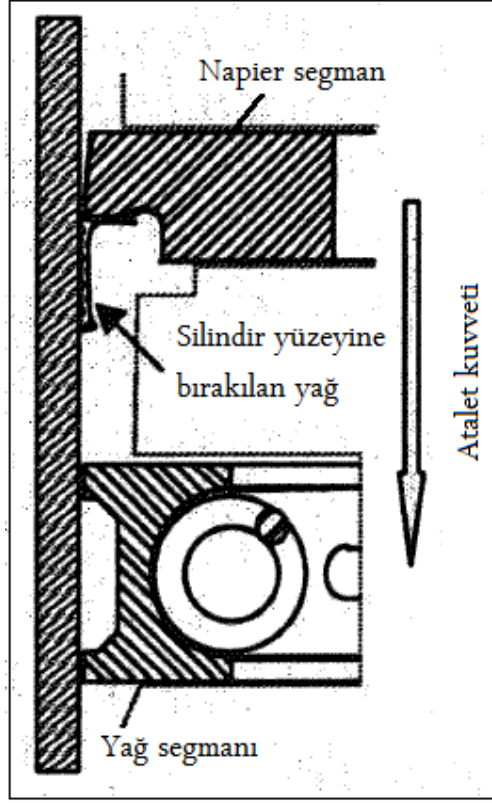
Segman kazıması: Yazarlara göre silindir yüzeyi ile segman yüzeyi arasındaki yağ, segman üzerinde birikerek bir diğer bölgeye taşınır ve Şekil 1.6(a)'da gösterilen, segmanın yağı silindir yüzeyinden kazıyabilmesi için yeterli miktardaki yağ, bir önceki segman tarafından silindir yüzeyinde bırakılmıştır. Bu noktada tek istisnanın birinci segmanın alt ölü noktadan çıkıp üst ölü noktaya doğru ilerlerken kendi bıraktığı yağı kazıması olduğu belirtilmektedir ve Thirouard ve Tian'a (2003a) göre segman kazımasına etki eden diğer faktörler; gaz basıncı, segmana uygulanan teğetsel kuvvet ve silindir çapı düzgünlüğünün bozulmasıdır. Bunun dışında Şekil 1.6(b)'de gösterildiği gibi motorun bazı çevrim noktalarında pistonun silindir yüzeyine göre ikincil hareketi ve segmanın yuvası içindeki açısall hareketi nedeniyle segmanın bir köşesinin silindir yüzeyine yaklaşması durumunda silindir üzerindeki yağı kazıyarak kendi üst yüzeyinde biriktireceği söylenmiştir. Yazarlara göre burada önemli olan silindir yüzeyindeki yağın miktarı değil segmanın geometrik konumu ve

hareketidir. Sonuç olarak segman üzerinde biriken bu yağın piston yüzeyine taşındığı ve taşınan bu yağın piston üst ölü noktadan döndüğünde atalet kuvvetlerinin etkisi ile birinci segman üzerinden piston birinci yüzeyine ve yanma odasına, ikinci segman üzerinden piston ikinci yüzeyine ve yağ segmanı üzerinden piston üçüncü yüzeyine fırlatıldığı, ayrıca piston alt ölü noktadan döndüğünde ise atalet kuvvetleri aşağı doğru olduğu ve biriken yağın ağırlığının da etkisi ile tam tersi bir fırlatma gerçekleşeceği belirtilmiştir (Thirouard ve Tian, 2003a).



Şekil 1.6: Segman Kazıması (Thirouard ve Tian, 2003a)

Silindir Yüzeyine Yağ Bırakma: Thirouard ve Tian'a (2003a) göre bazı durumlarda segman yüzeyinden silindir yüzeyine de yağ taşınımı gerçekleşebilir. Şekil 1.7'de gösterilen alt kısmı kanca şeklindeki ikinci segman (Napier segman) genişleme stroğunun sonlarında ve egzoz stroğunun başlarında kanca bölgesinde biriktirdiği yağı aşağı doğru olan atalet kuvvetinin etkisi ile silindir yüzeyine bırakmaktadır.



Şekil 1.7: Silindir Yüzeyine Yağ Bırakma (Thirouard ve Tian, 2003a)

1.3.2.2 Segman Yuvalarındaki Yağ Geçişi

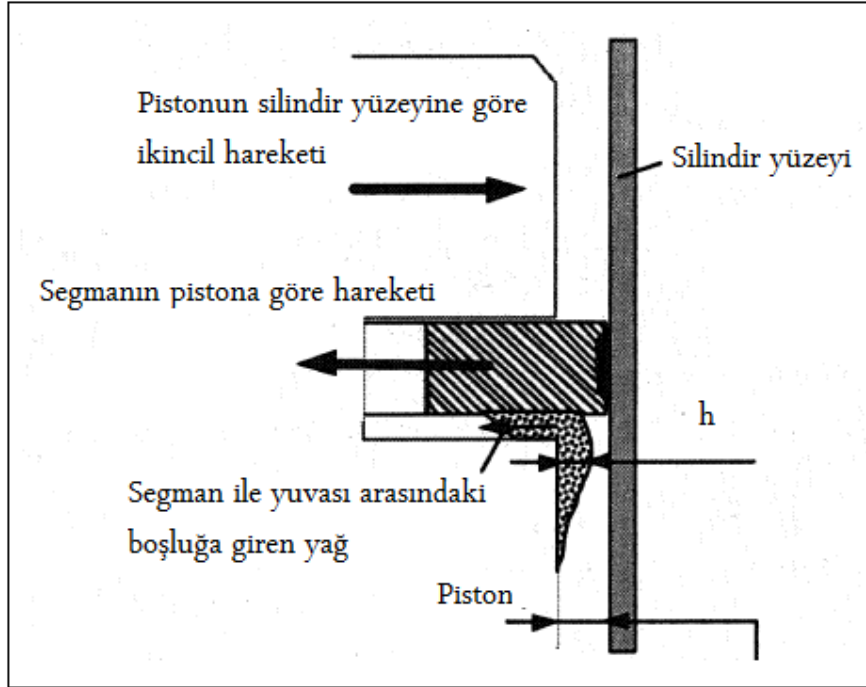
Yağın ilk önce piston yüzeylerinden segman ile segman yuvası arasındaki boşluğa taşındığı, daha sonra segmanın arkasından geçerek karşı yüzeydeki boşluğa gönderildiği ve buradan da segmanı takip eden piston yüzeyine aktarıldığı açıklanmıştır (Thirouard ve Tian, 2003a).

Thirouard ve Tian'a (2003a) göre yağı piston yüzeyinden segman ile segman yuvası arasındaki boşluğa taşıyan üç mekanizma vardır. Bunlar; segmanın mekanik pompalama hareketi, piston yüzeylerindeki gaz akışı ve pistonun ikincil hareketi nedeniyle ortaya çıkan kayma gerilmesidir.

Segmanın mekanik pompalama hareketi: Segmanın yuvası içindeki yukarı aşağı hareketi ve yuvasına göre yaptığı yanıl hareketi nedeniyle segman, segman yuvası üst ve alt kısımlarında biriken yağı yuvasına doğru ya da piston yüzeyine doğru atalet kuvvetinin de etkisiyle pompalayacağı belirtilmiştir. Yazarlara göre pompalanan bu yağın miktarı segmanın geometrik hareketinin genliğine ve segman yuvası girişi civarında biriken yağ miktarına bağlıdır.

Piston yüzeylerindeki gaz akışı: Piston yüzeylerindeki gaz akışı nedeniyle yağ yüzeylerden segman yuvalarına ya da segman yuvalarından yüzeylere geçer. Ancak bu etki yağın bu aksel hareketine çok az etki eder. Bununla beraber segmanın hızlı titreme hareketi ile bu etki artabilir (Thirouard ve Tian, 2003a).

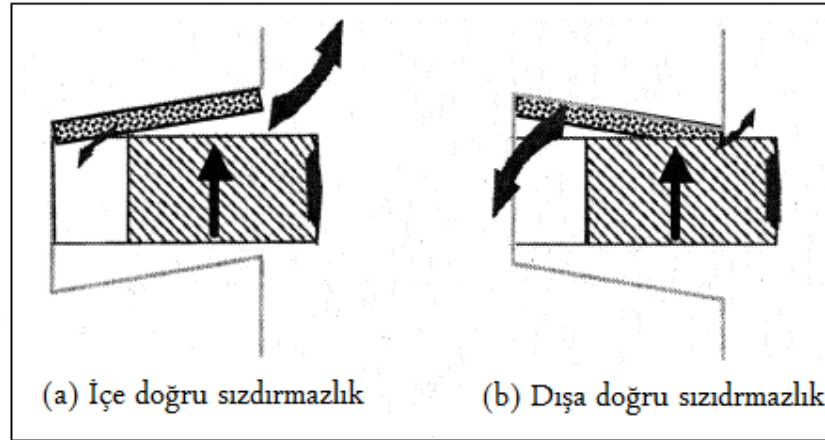
Pistonun ikincil hareketi nedeniyle ortaya çıkan kayma gerilmesi: Pistonun ikincil hareketi nedeni ile ortaya çıkan kayma gerilmesi ile yağın piston yüzeyinden segman yuvasına doğru taşınabileceği belirtilmiştir. Bu durum Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Buna göre piston ikincil hareketini yaptığı esnada atalet kuvvetlerinin etkisi ile yağ segmandan ayrılmışsa veya yağ daha segmana ulaşmamışsa segman yuvasına bir yağ geçişi olmaz. Thirouard ve Tian’a (2003a) göre piston ikincil hareketini yaptığı anda segman yuvası civarında yeterli miktarda yağ birikmişse, bu yağın bir kısmı segman ile yuvası arasındaki boşluğa gönderilir. Bu boşluğa gönderilen yağ miktarının ise piston yüzeyinde birikmiş olan yağ film kalınlığına, pistonun ikincil hareketinin genliğine ve segmanın yuvası içindeki konumuna bağlı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1.8: Pistonun İkincil Hareketi Nedeniyle Segman İle Yuvası Arasındaki Boşluğa Giren Yağ (Thirouard ve Tian, 2003a)

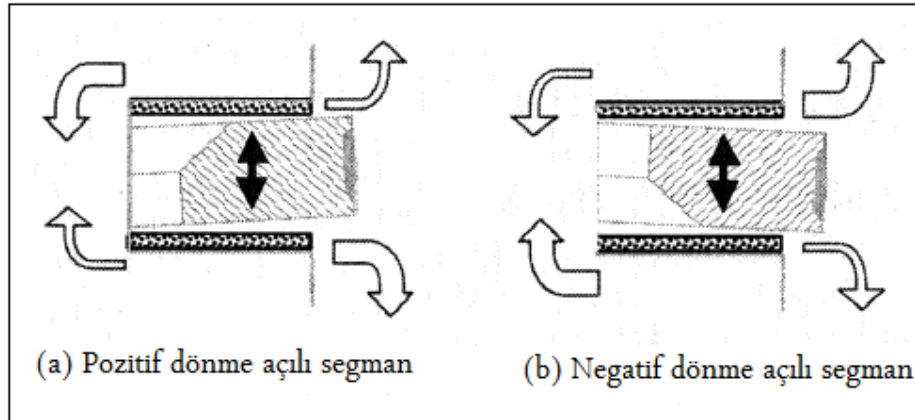
Thirouard ve Tian’a (2003a) göre yağı segman yuvasından piston yüzeylerine taşıyan iki mekanizma vardır;

Segmanın yağı sıkıştırma hareketi: Segman yuvasının bir yüzeyine doğru hareket ederse, yuvası ile arasındaki yağı sıkıştırarak piston yüzeyine ya da yuvası içine doğru yönlendirir. Thirouard ve Tian'a (2003a) göre piston yüzeyine aktarılan bu yağ segman yuvasından yüzeye gönderilen yağın ana kaynağıdır ve sıkıştırılarak taşınan yağın miktarı ve taşınma yönü, segman yuvasının geometrisi ve segmanın yanıl dönme açısına bağlıdır. Şekil 1.9(a)'da segman yuvasından dışarıya gönderilecek yağ miktarı segmanın arka tarafına gönderilecek yağ miktarından fazladır. Şekil 1.9(b)'de ise tam tersidir.



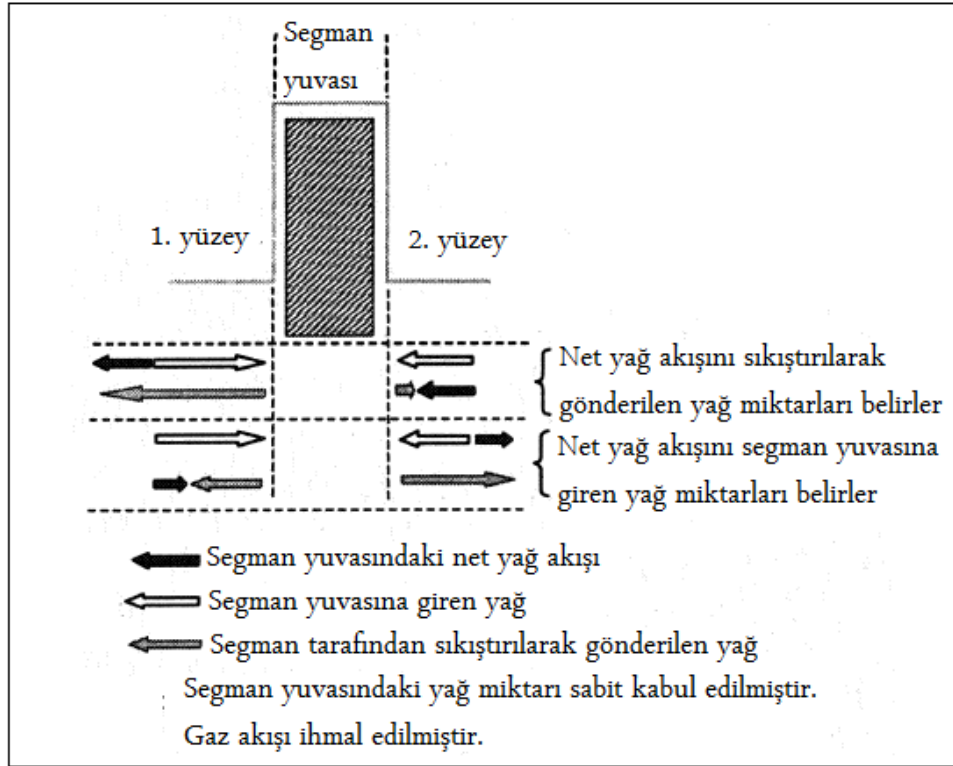
Şekil 1.9: Segman Yuvası Şeklinin Yağ Geçişine Etkisi (Thirouard ve Tian, 2003a)

Şekilde 1.10'da dikdörtgen bir segman yuvasında statik segman geometrisinin yağ transferine olan etkisi gösterilmiştir. Şekil 1.10(a)'da pozitif açılı segman yuvası içerisinde dış tarafından yukarı çapraz olarak daha fazla hareket edebilir. Bu nedenle segman yuvasının alt tarafında üst tarafına göre yağ geçişi dışarıya doğru daha fazladır. Şekil 1.10(b)'de ise durum tersinedir (Thirouard ve Tian, 2003a).



Şekil 1.10: Segman Geometrisinin Yağ Geçişine Etkisi (Thirouard ve Tian, 2003a)

Segman ve segman yuvası geometrisi segman yuvası içindeki yağ geçişinde önemli olmakla birlikte, tek başına yağın hangi yönde akacağına karar veremeyebilir. Yağın hangi yöne doğru gideceğine yuva içindeki bütün akışların toplamı etki etmektedir ve bu durum Şekil 1.11’de gösterilmiştir. Thirouard ve Tian’a (2003a) göre örneğin segman yuvası sadece segman alt yüzeyinden besleniyorsa, pozitif dönme açılı bir segmanda olsa, net yağ akışı alt yüzeyden üst yüzeye doğru olacaktır.



Şekil 1.11: Segman Yuvasındaki Net Yağ Akışı (Thirouard ve Tian, 2003a)

Segman ve segman yuvası arasındaki gaz akışı: Segman yuvasında gaz akış ile gerçekleşen yağ taşınımı genellikle segman tarafından sıkıştırılarak taşınandan daha azdır. Ancak bir segman hızlı titreme hareketine girdiğinde gaz akışı etkisi artar (Thirouard ve Tian, 2003a).

1.3.2.3 Segman Aralığından Yağ Geçiş

Thirouard ve Tian’a (2003a) göre özellikle birinci ve ikinci segman aralıkları yanma odasındaki yüksek basınçlı gazların kartere doğru akmasına imkan verir.

Segman aralığından gaz akışı ile yağ geçiş: Yanma odasından kartere doğru ya da karterden yanma odasına doğru olan gaz akışının yağ film tabakası üzerinde kayma

gerilmesi oluşturarak yağı hareket etmeye zorladığı ve gazın segman aralıklarından geçerken piston yüzeyinde birikmiş olan yağı buhar fazında diğer yüzeye taşıdığı söylenmiştir. Daha yüksek basınç altında olan birinci ve ikinci segman aralıkları civarında ise sıvı yağ filminin buhar fazına geçmesi olayının yağ kontrol segmanına göre daha fazla olacağı, ayrıca segman yüzeyi civarındaki gaz akışının segman aralığına yaklaştıkça laminar den türbülanslı akışa geçmekte olduğu ve bu noktada kayma gerilmesi hızla arttığı yazarlar tarafından belirtilmiştir. Buna göre segman yüzeyinden segman aralığına doğru yaklaştıkça yağ filmi inceler ve segman aralığında yağ filmi birikmez (Thirouard ve Tian, 2003a).

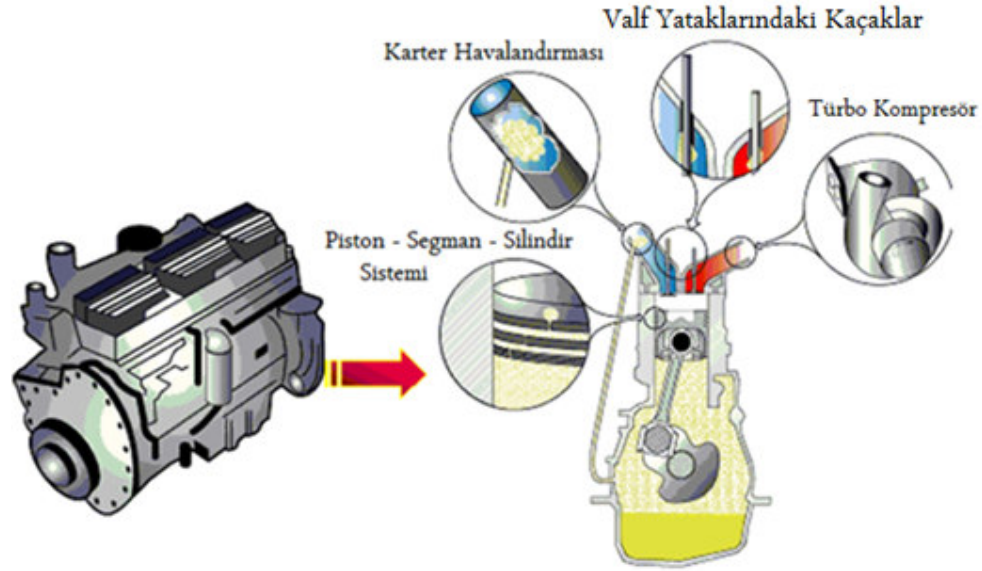
Segman aralığından atalet kuvveti ile yağ geçişi: Thirouard ve Tian'a (2003a) göre yağ segmanının alt bölgesi çoğunlukla yağ ile kaplıdır. Atalet kuvveti yukarı yönde olduğunda bu kısımdaki yağ yağ segmanı aralığından piston üçüncü yüzeyine doğru geçer. Bu geçişin olabilmesi için segman aralığı civarında yeteri kadar yağın birikmiş olması gerektiği ve bu sebeple gaz akışı segman aralığı civarındaki yağı süpürecek kadar etkili ise orada yeterli yağ birikmeyeceği ve atalet kuvveti ile segman aralığından yağ geçişinin olmayacağı belirtilmiştir.

1.4 İçten Yanmalı Bir Motorun Yağ Tüketim Yolları

Froelund ve Yılmaz (2004) yayımladıkları makalede yağ tüketim yollarını dörde ayırmışlardır. Bunlar Şekil 1.12'de gösterilen piston – segman – silindir yüzeyi sistemi, karter havalandırması, valf yataklarındaki kaçaklar ve türbo kompresördür.

1.4.1 Piston – Segman – Silindir Sisteminde Yağ Tüketimi

Piston – segman – silindir sistemindeki yağ tüketimi temel olarak dört grupta toplanabilir. Bunlar üstünden atma, ters gaz akışı, buharlaşma ve piston üst yüzeyi tarafından kazınan yağdır (Froelund ve Yılmaz, 2004; AVL Glide Piston – Segman Dinamiği ve Yağ Tüketimi kullanıcı el kitabı, 2004).



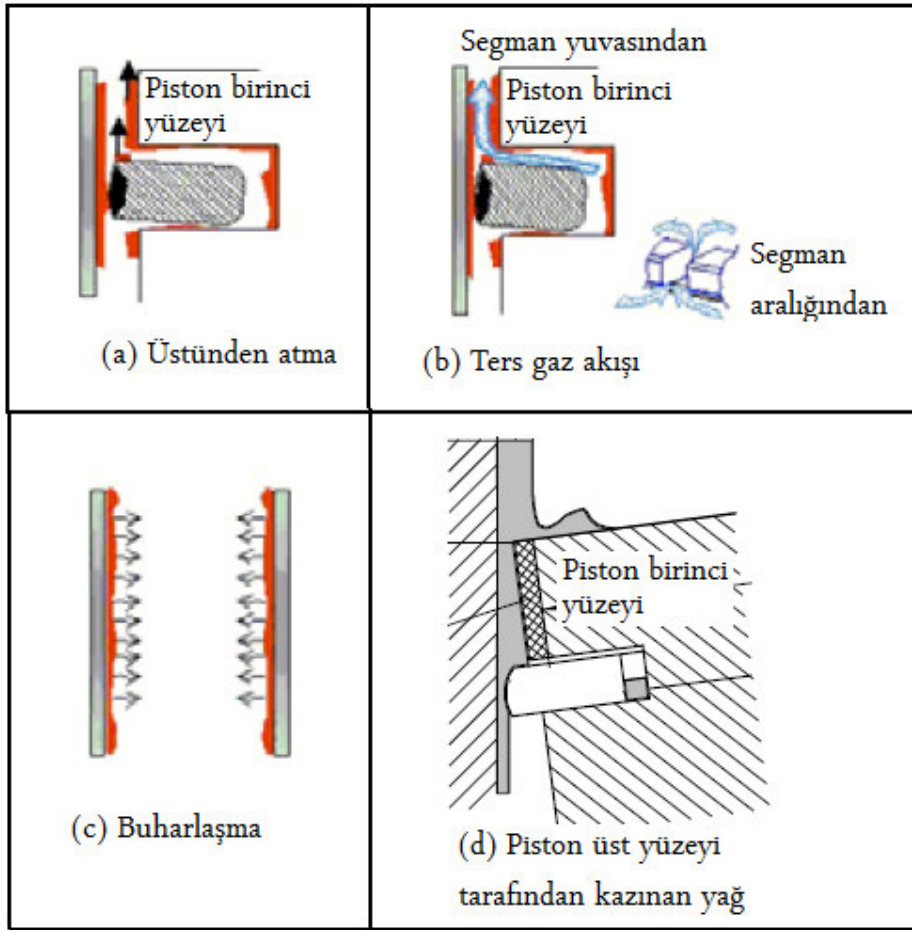
Şekil 1.12: İçten Yanmalı Bir Motorun Yağ Tüketim Yolları (Froelund ve Yılmaz, 2004)

1.4.1.1 Üstünden Atma

Birinci segmanın silindir yüzeyinden kazıyıp piston birinci yüzeyinde biriktirdiği yağın, pistonun ani hızlanma ve yavaşlamasından dolayı ortaya çıkan atalet kuvvetleri nedeniyle piston üst ölü noktadan döndüğü esnada pistonu takip edememesi ve yanma odasında kalıp yanmaya dahil olmasıdır. Bu durum şematik olarak Şekil 1.13(a)'da gösterilmiştir.

Herbst ve Priebisch'e (2000) göre birinci segmanın piston birinci yüzeyinde biriktirdiği yağın miktarına etki eden üç mekanizma vardır. Bunlar;

Birinci Segmanın Kazıdığı Yağ Miktarı: Birinci segmanın kazıdığı yağ miktarı, birinci segmanın piston alt ölü noktaya doğru giderken silindir yüzeyinde bıraktığı yağ film kalınlığı ile piston üst ölü noktaya giderken bıraktığı film kalınlığının farkı olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.13: Piston – Segman – Silindir Sisteminde Yağ Tüketimi Yolları (Froelund ve Yılmaz, (a,b,c) 2004; AVL Glide Piston – Segman Dinamiği ve Yağ Tüketimi kullanıcı el kitabı,(d) 2004)

Segman ve Segman Yuvasından Yağ Geçişi: Herbst ve Priebsch (2000) bu durumu birinci segmanın yuvasının üst yüzeyine doğru ya da yuvasının arka yüzeyine doğru hareket ederek bu bölgelerdeki yağı sıkıştırıp piston birinci yüzeyine yağ aktarılması olarak tanımlamışlardır. Ayrıca birinci segmanın üstünde oluşan basınç farkı da yağ geçişine neden olduğu belirtilmiştir.

Birinci Segman Üzerindeki Yağın Piston İkinci Yüzeyine Geçişi: Pozitif basınç farkından dolayı birinci segman üzerinde biriken yağın piston ikinci yüzeyine geçeceği, böylece birinci segman tarafından yanma odasına atılan yağ miktarının azalacağı belirtilmiştir.

1.4.1.2 Ters Gaz Akışı

Yılmaz ve diğ. (2004) göre motor çevriminin bazı evrelerinde piston ikinci yüzeyi bölgesindeki basınç yanma odasındaki basıncın üstüne çıkar. Bu durumda Şekil 1.13(b)'de piston ikinci bölgesindeki yağın, sıvı yada gaz halde birinci segman aralığından yada birinci segmanın kararlılığını kaybetmesinden ötürü birinci segman yuvasından gaz ile beraber yanma odasına geçeceği belirtilmiştir.

1.4.1.3 Buharlaşma

Motorun özellikle ağır termal şartlar altında çalıştığı yüksek yüklerde Şekil 1.13(c)'de gösterilen buharlaşma toplam yağ tüketimine önemli derecede etki eder. Yüksek yüklerde artan silindir ve piston yüzeyleri sıcaklıkları ile silindir yüzeyinde ve piston üst yüzeyinde buharlaşan yağ egzoz gazına yada gaz akışı ile kartere taşınır (Yılmaz ve diğ., 2004).

Yılmaz ve diğ. 2002 yılında yaptıkları çalışmada, ısı iletim katsayısı sabit tutulduğunda buharlaşan yağ miktarına etki eden iki faktörün; yağın uçuculuğu ve piston – segman – silindir sistemindeki sıcak yüzeylere gelen termal yük olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre yapılan deneyde uçuculuğu fazla olan yağın özellikle yüksek silindir yüzeyi sıcaklıklarında daha fazla buharlaştığı, bunun yanında artan motor hızı ile piston – segman – silindir sistemi parçalarının maruz kaldığı termal yükün artması ve oluşan yüksek derecedeki türbülans ile ısı iletim katsayısının artmasının yağın buharlaşmasını kolaylaştırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca motor hızı ve yükü arttıkça yağın uçuculuğunun yağ tüketimine etkisinin de arttığı gösterilmiştir.

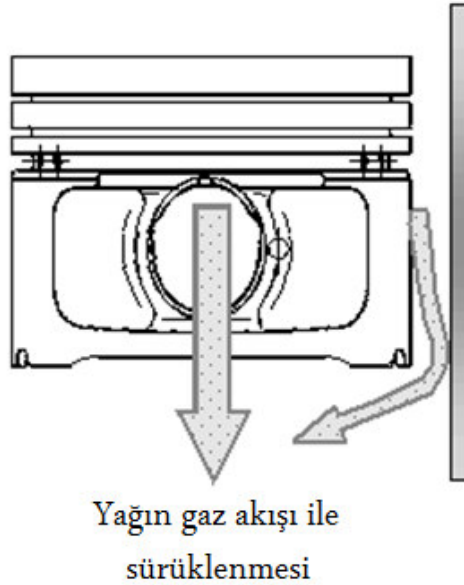
1.4.1.4 Piston Üst Yüzeyi Tarafından Kazınan Yağ

Piston ile silindir yüzeyi arasındaki boşluk motorun değişik çalışma şartlarında sabit durumdakinden daha azdır. Pistonun ikincil hareketini yapmasıyla piston üst yüzeyinin dış kenarı silindir yüzeyi ile temas ederek Şekil 1.13(d)'de gösterildiği gibi üst ölü noktaya doğru olan evrelerde yüzeydeki yağı kazıyarak üst yüzeyinde biriktirir. Biriken bu yağ ya direk olarak yanmaya katılır ya da piston üst ölü noktadan döndüğü esnada atalet kuvveti nedeniyle yanma odasına atılır. Kaybedilen yağın miktarı, bu bölgedeki yağ film kalınlığına ve piston üst yüzeyinin geometrik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında Herbst ve Pribsch'e (2000) göre motor uzun süre

kötü bir yanma ile çalışırsa piston – silindir yüzeyi boşluğunda (0,01 – 0,02 mm) kurum birikerek bu etkinin daha da artmasına neden olur.

1.4.2 Karter Havalandırması

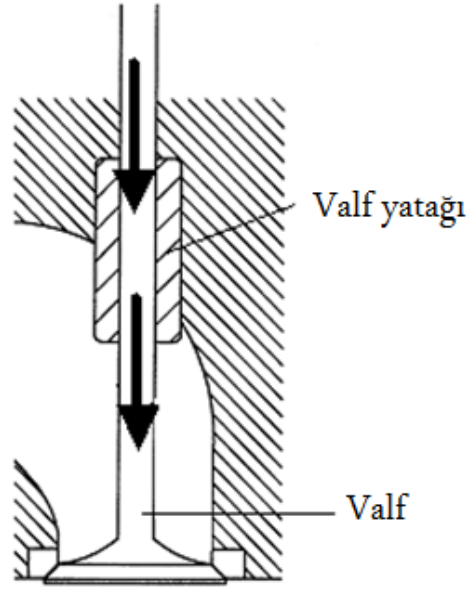
Yılmaz ve diğ. 2004 yılında yaptıkları çalışmaya göre silindir içerisinde özellikle yanma odası basıncı pistonun segman yuvası ve piston yüzeylerindeki basınçtan yüksek olduğu durumda gaz ile beraber buharlaşmış haldeki yağ ya da sıvı haldeki yağ segman aralıklarından, segman yuvası boşluğundan ve segman yüzeyleri ile silindir yüzeyi arasından kartere doğru yönelir. Bu durum Şekil 1.14’de gösterilmiştir. Yazarlara göre ayrıca piston – segman silindir sistemindeki hareketli parçalardan sıçrayan yağda karterde toplanır. Karterde birikmiş olan ve içinde yağ buharı ihtiva eden gazlar bir ayırıcıdan geçirildikten sonra emme kanalına gönderilir. Ayırıcının görevi gaz içerisindeki yağı tutup kartere geri göndermektir. Ancak bütün yağ zerreciklerinin bu ayırıcıda filtre edilemeyeceği ve emme kanalından yanma odasına geçerek toplam yağ tüketimine katılacağı belirtilmiştir. Burada önemli olan etkenlerin yağın yanma odası civarından kartere sürüklenmesini sağlayan mekanizmalar ve filtrenin performansı olduğu açıklanmıştır.



Şekil 1.14: Yağın Gaz Akışı ile Sürüklenmesi (Yılmaz ve diğ., 2004)

1.4.3 Valf Yataklarındaki Kaçaklar

İlk kullanılan içten yanmalı motorlarda Şekil 1.15’de gösterilen valf yataklarındaki kaçaklardan kaynaklanan yağ tüketimi toplam yağ tüketiminde önemli derecede etkili olduğu Yılmaz ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada söylenmiştir. Yazarlara göre atmosferik basınç emme manifoldu basıncından yüksek olduğu durumda silindir kafası tarafından emme havasına yağ geçişi olmakta ve bu durum toplam yağ tüketimine etki etmektedir. Ancak çalışmada yeni nesil içten yanmalı motorlarda ise kullanılan valf sızdırmazlık contaları ile bu etkinin çok aza indirildiği belirtilmiştir.

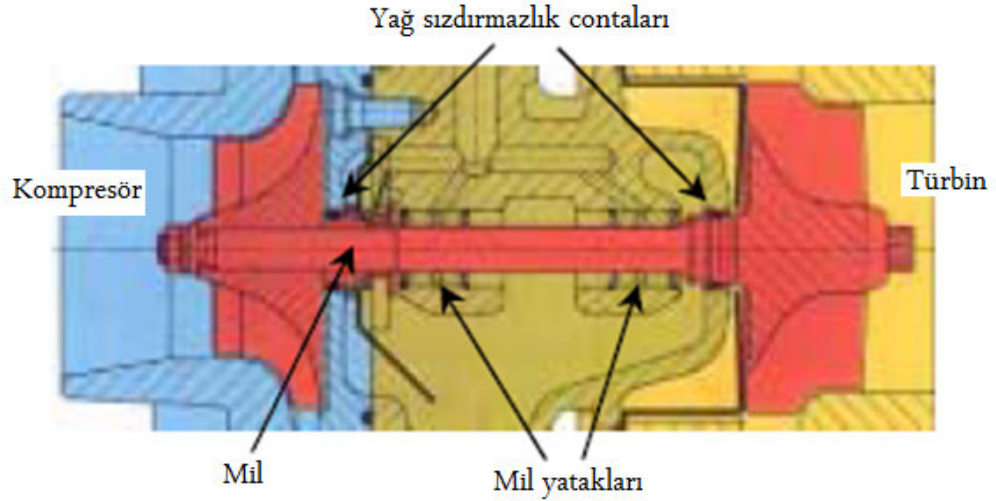


Şekil 1.15: Valf Yataklarındaki Kaçaklar (Yılmaz ve diğ., 2004)

1.4.4 Türbo Kompresör

Türbo kompresör sistemi motoru ile aynı yağlama tankından beslenir. Bunun nedeni sistemin ucuzluğu, basitliği ve bakımının kolay olmasıdır. Manni ve diğ. (2002) göre bu nedenle türbo kompresör tarafından tüketilen yağın motorun toplam yağ tüketimine dahil edilmesi gereklidir.

Türbo kompresör sisteminin elemanları Şekil 1.16’da gösterilen, ana mili taşıyan ve kılavuzluk eden iki yatak, yağ sızdırmazlık contaları, türbin ve emme havasının basıncını arttıran kompresördür.



Şekil 1.16: Türbo Kompresör Yağlama Sistemi (Manni ve diğ., 2002)

Manni ve diğ. (2002) göre türbo kompresör yağ sızdırmazlık contalarının çeşitli durumlarda gerekli sızdırmazlığı sağlayamaması sonucu bir miktar yağ kompresör tarafından emilir ve yanma odasına gönderilir. Diğer bir mekanizmada ise, türbo kompresör yağ besleme geri dönüş hattının sıcaklığı çok yükselirse, bu hattaki basınç yükselir ve sızdırmazlık ortadan kalkar. Contalardan kaçan yağ emme havasına karışır ve yanma odasında yanmaya karışır.

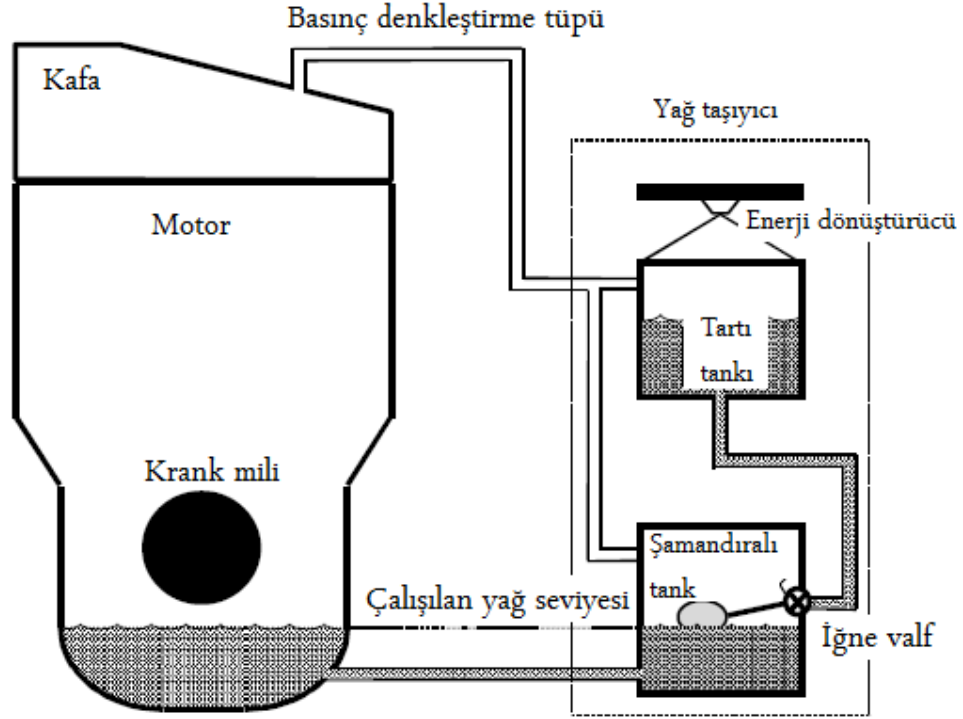
1.5 İçten Yanmalı Motorlarda Yağ Tüketimi Ölçüm Yöntemleri

1.5.1 Geleneksel Yağ Tüketimi Ölçüm Yöntemleri

1.5.1.1 Ağırlık Beslemeli Yöntem

Weng ve Richardson (2000) tarafından tanımlanan ağırlık beslemeli yöntemde motorun karteri ile dışarıdaki şamandıralı yağ tankı bir tüp ile birbirine bağlanmıştır. Şekil 1.17'deki şamandıralı yağ tankının üzerinde tartıya bağlanmış bir besleme tankı bulunmaktadır. Eşit basınçlara maruz kalmaları için basınç denkleştirici bir boru ile üç yağ haznesi birbirine ilişkilendirilmiştir. Bu şekilde karterdeki ve şamandıralı yağ tankındaki yağ seviyesi eşit tutulmaktadır. Motor yağ tüketip karterdeki yağ miktarı azaldığında, seviyeyi eşitlemek için şamandıralı yağ tankındaki yağ miktarında azalır. Azalan bu yağ miktarı nedeniyle şamandıra iğne valfi açar ve besleme tankından şamandıralı tanka yağ akışı olur. Yağ seviyesi eski haline geldiğinde

şamandıra iğne valfi kapatır. Besleme tankından şamandıralı tanka geçen yağın miktarı ise tankın üzerindeki tartıdan okunabilmektedir.



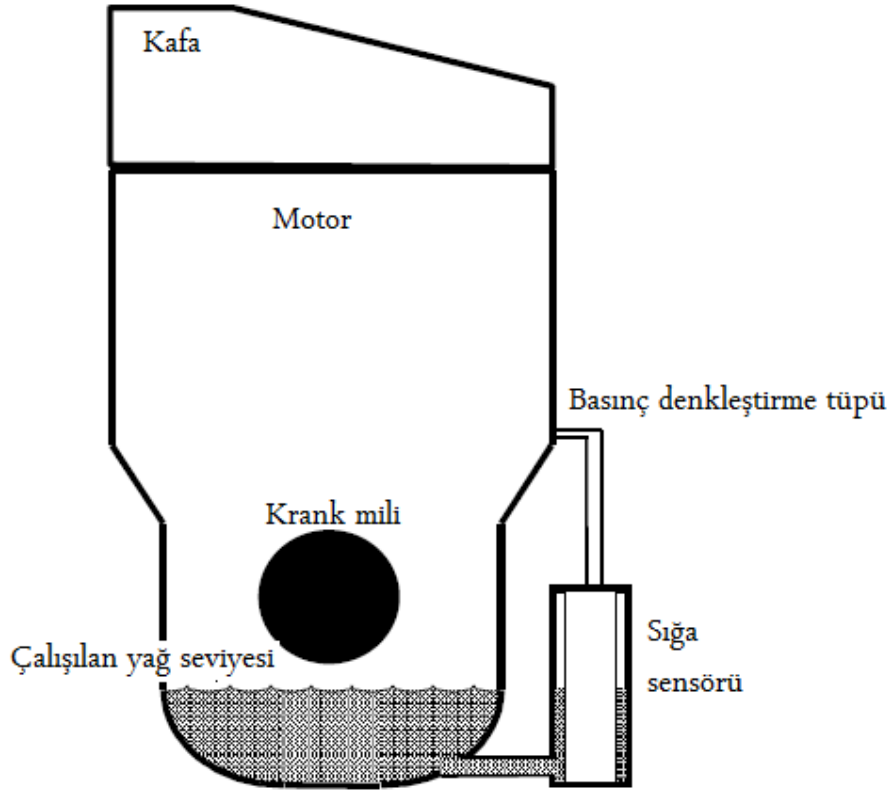
Şekil 1.17: Ağırlık Beslemeli Yağ Tüketimi Ölçme Yöntemi (Weng ve Richardson, 2000)

Basitliği, kalibrasyonun kolay oluşu ve ucuz maliyeti yöntemin avantajları arasında gösterilebilir. Uzun zaman gerektirmesi, yağ kaçaqlarının yağ tüketimine katılması, motorun farklı yük ve hız noktalarında farklı yağ tüketimi değerleri oluşacağından yükü ve hızı değişen motorda yağ tüketimi değerinin hatalı oluşabilmesi ve ilk kurulumunun ve yağ seviyelerin çok dikkatli oluşturulması gerekliliğinden ötürü sonuçların operatörün dikkatine çok bağlı olması yöntemin dezavantajlarıdır (Weng ve Richardson, 2000).

1.5.1.2 Yağ Seviyesi Değişimini Belirleme Yöntemi

Karter ve içinde sığa sensörü bulunan ve Şekil 1.18’de gösterilen yağ tankı içerisindeki yağ seviyesini eşitlemek amacı ile iki tank birbirine alttan bir tüp ile bağlanmış ve basınç denkleştirici boru yardımı ile maruz bırakıldıkları basınç eşitlenmiştir. Sistemin kalibrasyonu için kartere miktarı bilinen yağlayıcı karter içerisine konulur ve bu esnada yağ tankındaki yağ seviyesi sığa sensörü ile kaydedilir. Motor çalışıp yağ tüketmeye başlayınca karterde ve aynı zamanda yağ

tankındaki yağ miktarı azalır. Azalan bu yağ seviyesi sensörde belirlenir ve kalibrasyon yardımı ile miktarı hesaplanır (Weng ve Richardson, 2000).



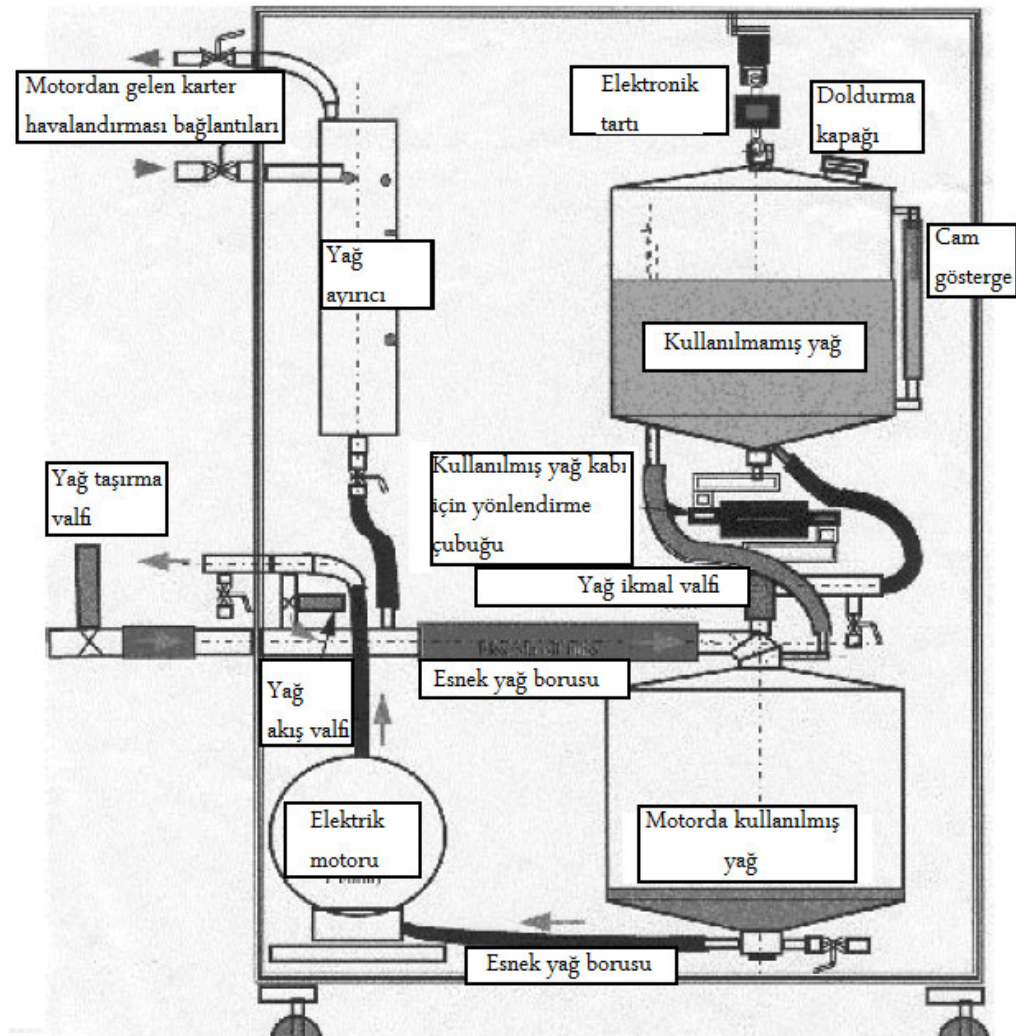
Şekil 1.18: Yağ Seviyesi Değişimini Belirleme Yöntemi (Weng ve Richardson, 2000)

Basitliği, kolay kullanımı, kalibrasyonunun kolay olması ve kısa sürede kararlı hale gelmesi yöntemin avantajlarındandır. Bunun yanında karterin geometrik şekli kalibrasyonun lineer olmasını engelleyebilmesi, yağ kaçaqlarının yağ tüketimine dahil edilmesi ve değişik motor çalışma şartlarında karterdeki yağın, farklı sıcaklık, is ve havalandırma gibi koşullarda sonuca nasıl etki edeceğinin bilinmemesi gibi sorunlar mevcuttur (Weng ve Richardson, 2000).

1.5.1.3 Yağ Pompalı Yöntem

Federal – Mogul tarafından kullanılan ve Şekil 1.19’de gösterilen yağ pompalı doldur – boşalt yöntemi şu şekilde çalışmaktadır; karterin önceden belirlenmiş bir kısmına bağlanan yağ akış borusu aynı zamanda kullanılmış yağın birikildiği bir tanka yağ akışını sağlar. Weng ve Richardson’a (2000) göre tankta biriken bu kullanılmış yağ motora yeniden pompalanır ve yağın motor ve yağ tankı arasında dolaştırılmasıyla, yağ akış borusundaki yağ seviyesi sabit tutulmuş olur. Kullanılmış

Motor ve yağ arasındaki basınç farkı etkisinin diğer yöntemler kadar kritik olmaması ve sadece yağ akış borusundaki yağ seviyesinin sabit tutulması yöntemin avantajlarıdır. Bunun yanında çok karmaşık bir mekanizmaya sahip olması, nispeten boyutunun büyük olması ve yağ kaçaqlarının da yağ tüketimine dahil edilmesi yöntemin dezavantajlarıdır (Weng ve Richardson, 2000).



Şekil 1.19: Yağ Pompalı Yöntem (Weng ve Richardson, 2000)

1.5.1.4 Doldur Boşalt Yöntemi

Miktarı bilinen yağ motora doldurulur. Motor belirli bir süre çalıştırıldıktan sonra motordaki bütün yağ boşaltılıp tartılır. İlk ölçülen değerle son ölçülen değer arasındaki fark yağ tüketimini verir.

Basitliği ve ucuzluğu yöntemin avantajlarından. Ancak doğru sonuçlar alabilmek için çok uzun süre test yapılması gerekliliği, yağ kaçaklarının ölçüme dahil edilmesi ve sonuçların deneyi yapan operatöre çok bağlı olması yöntemin olumsuz özellikleridir (Weng ve Richardson, 2000).

1.5.1.5 Daldırmalı Ölçü Çubuğu Yöntemi

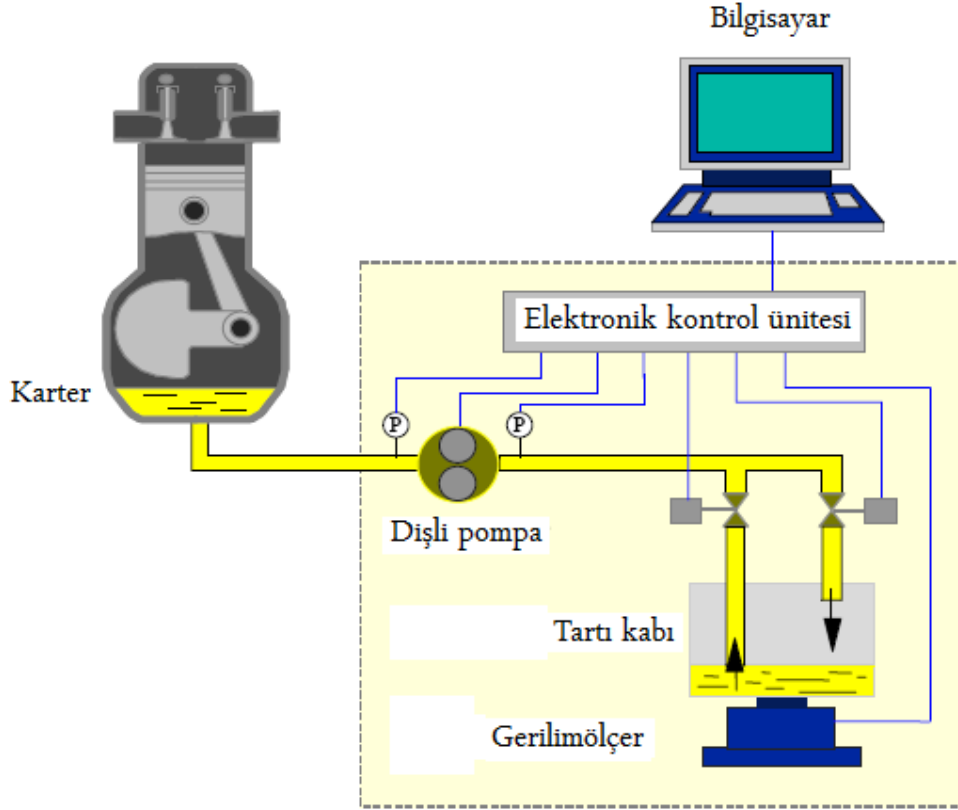
Weng ve Richardson'a (2000) göre yöntemler arasında en basit olanıdır. Ancak sonucun doğruluğu düşüktür. Motora belirli miktarda yağ konularak ölçü çubuğu ile seviyesi kontrol edilir. Motor çalıştırılıp, yağ tüketmesi sağlandıktan sonra kapatılıp soğutulmaya bırakılır. Soğuyan motorun yağ seviyesi ölçü çubuğu ile yeniden ölçülerek motora, ilk yağ seviyesine ulaşıncaya kadar yağ takviyesi yapılır. Takviye yapılan yağ miktarı çalışılan süre içinde tüketilen yağ miktarını vermektedir (Weng ve Richardson, 2000).

Yöntemin avantajları; basit olması ve yağ tüketimi ölçümü için fazladan donanım ihtiyacı olmamasıdır. Dezavantajları ise; doğru sonuçlar için çok uzun çalışma sürelerine ihtiyaç duyulması, sonuçların doğruluğunun ölçüm çubuğu ile seviyelerin belirlenmesine ve eklenen yağ miktarına bağlı olması, sonuçların doğruluğunun deneyi yapan operatöre çok bağlı olması, motorda karter dışında kalan yağın sonucu etkilemesi ve yağ kaçaklarının sonuca dahil edilmesi şeklinde sıralanabilir (Weng ve Richardson, 2000).

1.5.1.6 AVL 4001 Yağ Tüketimi Ölçme Cihazı

2002 yılında Manni ve diğ. motorun türbo kompresörünün yağ tüketimini incelemek amacıyla yaptıkları bir çalışmada dört silindirli dizel motorun yağ tüketimini AVL 4001 cihazı ile ölçmüşlerdir. Şekil 1.20'de gösterilen cihazın temel prensibinin ağırlık ölçme yöntemine dayandığı söylenmiştir. İki adet basınç hassasiyetli anahtar, çift taraflı kullanılabilir dişli pompayı kontrol eder. Yöntemde ayrıca bir bilgisayar, tartı kabı ve gerilimölçer de bulunmaktadır. Dişli pompa karterdeki yağı beş dakika içinde tartı kabına boşaltır ve ölçülen miktar bilgisayar tarafından kaydedilir. Ancak

ölçüm süresince karterde yağ olmayacağından motor kapatılması gereklidir (Manni ve diğ., 2002).

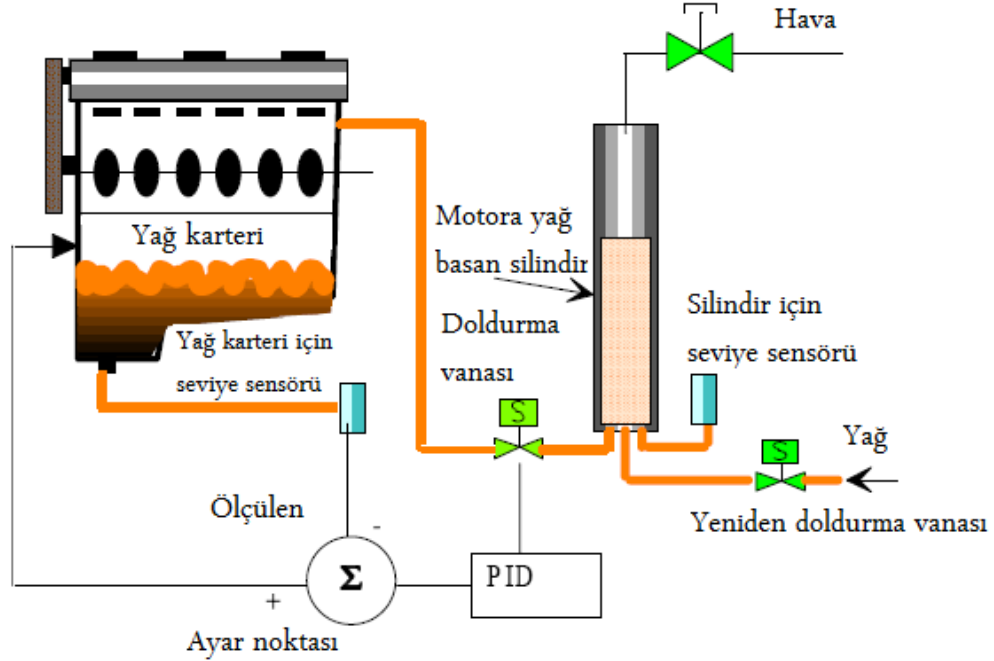


Şekil 1.20: AVL 4001 Yağ Tüketimi Ölçme Cihazı (Manni ve diğ., 2002)

1.5.1.7 Cummins Yağ Tüketimi Ölçüm Cihazı

Cummins motor şirketinden Weng ve Richardson (2000) Smart yağ tüketimi ölçüm cihazı adı verdikleri yeni bir cihaz geliştirmişlerdir. Yazarlara göre bu yöntem geleneksel yöntemlerden ağırlık beslemeli ve yağ seviyesinin değişimi belirleme yöntemlerini kullansa da basit kurulumu ve motorun farklı yük ve hızlarını kapsayan bir çevrimin yağ tüketimini ölçebilme kabiliyeti yönünden diğer geleneksel ölçüm yöntemlerinden ayrılır. Şekil 1.21’de gösterilen Smart yağ tüketimi ölçme cihazı, motorda tüketilen yağı karterdeki yağ seviyesi sabit kalacak şekilde temiz yağ ile takviye eder ve takviye edilen bu temiz yağın debisi o çevrim için motorun yağ tüketimini verir. Yağ karterindeki ve yağı motora basan silindirdeki yağ seviyeleri seviye sensörleri ile belirlenir. Yağı motora basan silindirdeki yağ seviyesinin belirlenme amacı motora gönderilen yağ miktarını belirlemektir. Bu miktar hat

üzerindeki oransal integral türevsel (PID) kontrollü bir vana ile kontrol edilir (Weng ve Richardson, 2000).



Şekil 1.21: Smart Yağ Tüketimi Ölçüm Cihazı (Weng ve Richardson, 2000)

Sistemin kalibrasyonu, motora yağ basan silindir tamamen doldurulup yağ karteri içindeki ve silindir içindeki yağ seviyesi belirlenerek yapılır. Silindirin geometrik şekli uygun olduğundan kalibrasyon lineerdir. Kalibrasyonunun kolay olması, yağ seviyelerinin otomatik olarak kontrol edilmesi, bir çevrim boyunca yağ tüketimi ölçümüne imkan tanınması ve diğer geleneksel yöntemlerden daha az zaman alması yöntemin avantajlarıdır. Ancak yağ kaçaklarının yağ tüketimine dahil edilmesi ve izleme tekniklerinden çok daha fazla zaman alması yöntemin olumsuz yönleridir (Weng ve Richardson, 2000).

1.5.2 İzleme Yöntemleri

Motor yağ tüketiminin gerçek zamanlı olarak, değişik hız ve yük şartlarında ölçülebilmesine imkan veren yöntemlerdir. Yöntemde yağ içerisine sonradan karıştırılan ya da doğal olarak yağ içerisinde bulunan bir madde, egzoz gazında izlenip miktarı belirlenerek, yağ tüketimi giren hava debisi ve yakıt debisi yardımı ile kütle dengesinden matematiksel bir formül ile hesaplanmaya çalışılır. Bu noktada

önemli olan husus izlenecek maddenin yağ ile beraber homojen olarak buharlaşıp yanabilmesidir. Bazı izleme yöntemlerinde yakıt içerisinde, izlenecek maddeden hiç olmaması ya da çok az olması istenir. İzleme tekniklerinden en çok kullanılan başlıcaları, kükürt ve radyoaktif izleme teknikleridir. Bunun yanında Püffel ve diğ. (1999) piren($C_{16}H_{10}$) bileşiğini, Min ve diğ. (1998) hidrojen yakıtla karbon(C) elementini ve Bajpai ve diğ. (1999) magnezyum(Mg) elementini izlenen madde olarak kullanmışlardır.

1.5.2.1 Kükürt (S) İzleme Yöntemi

İzleme teknikleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Yöntemde egzoz gazında izlenecek madde olarak yağ içerisinde doğal olarak bulunan kükürt kullanılır. Yanma odasında yağın ve yakıtın buharlaşıp yanmasıyla ortaya çıkan kükürdün çoğu oksijenle birleşerek SO_2 'ye geri kalanı da diğer kükürt bileşiklerine dönüşür. Yöntemde egzoz gazındaki kükürt yağ tüketimini temsil ettiğinden, sonucun doğruluğunu ve hassasiyetini arttırmak için yakıt tarafından egzoz gazına hiç kükürt karışmaması yada çok az kükürt karışması istenir. Egzoz hattından sonra genellikle bir oksidasyon fırını kullanılarak egzoz gazındaki tüm kükürtlü bileşikler SO_2 'ye dönüştürülür. Oksidasyon fırınından çıkan egzoz gazındaki SO_2 konsantrasyonu bir analizör yardımıyla belirlenir. Yakıt ve yağda bulunan S içeriği, egzoz gazındaki SO_2 içeriği, motora giren hava debisi ve yakıt debisi değerleri ile kütle dengesi kurularak motorun o andaki yağ tüketimi hesaplanır.

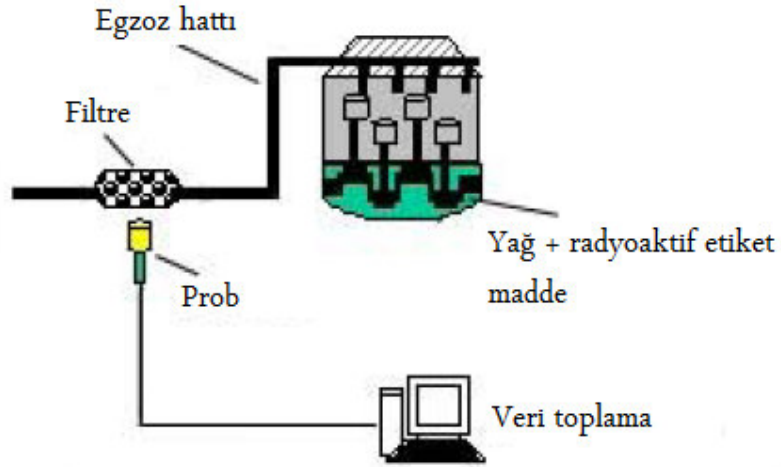
Yöntemin avantajları olarak; sonucun klasik yöntemlerden çok daha kısa sürede ve yüksek doğrulukta elde edilebilmesi, motorun kararlı ve kararsız hallerinde gerçek zamanlı olarak yağ tüketiminin ölçülebilmesi, her bir silindirin yağ tüketimlerinin ölçülebilmesi ve bu yönde karşılaştırılma yapılabilmesi, kükürt yağın içerisinde doğal olarak bulunduğundan, yağ içerisine başka bir madde eklenmediği için yağın kimyasal özelliklerinin ve motor içerisindeki doğal davranışının bozulmaması ve yağ kaçaklarının yağ tüketimine dahil edilmemesi gösterilebilir.

Bunun yanında, sıfır ya da düşük kükürtlü özel yakıt gereksimi, bazı durumlarda çok yüksek kükürtlü yağ kullanıldığında kükürdün yağdan önce buharlaşıp yanması, güvenli ve yoğunlaşmaya imkan vermeyecek bir örneklem hattı zorunluluğu, egzoz gazındaki SO_2 miktarını hassas olarak belirleyebilecek bir analizör ihtiyacı, anlık

olarak motora giren hava ve yakıt debisini ölçme gerekliliği ve yağ tüketimi hesabının karmaşık olması yöntemin önemli dezavantajlarıdır.

1.5.2.2 Radyoaktif İzleme Yöntemi

Radyoaktif izleme tekniğinde yağlayıcı içerisine önceden karıştırılan radyoaktif bir element, yağ ile birlikte yanıp egzoz gazına karışarak egzoz hattında Şekil 1.22’de gösterilen bir filtrede tutulur ve yaydığı radyoaktif ışınlar belirlenip kalibre edilerek yağ tüketimi hesaplanır. Etiket madde olarak kullanılan radyoaktif element, yağın tüketimini temsil edebilecek ve yağ ile beraber buharlaşan yağ içindeki organik bileşiklere yapıştırılır. Bu yöntemle motorun gerçek zamanlı olarak yağ tüketimi yüksek doğrulukla ve yüksek hassasiyetle her bir silindir için hesaplanabilir. Yöntemin en önemli avantajı, etiket madde sadece yağ içerisinde bulunduğundan özel bir yakıta ihtiyaç duyulmamasıdır. Ancak yöntemde radyoaktif elementler kullanıldığından özel güvenlik tedbirleri alınması gerekliliği, yağa eklenen radyoaktif maddenin yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek yağın farklı bir yağlama karakteristiğine sahip olabilme ihtimali ve etiket maddenin pahalı olması ve radyoaktif kirliliğe neden olması yöntemin bazı dezavantajlarıdır.



Şekil 1.22: Radyoaktif İzleme Yöntemi Deney Şeması (Delvigne ve diğ., 2005)

Radyoaktif teknikle yağ tüketim sonuçları göreceli olarak elde edildiğinden motorun tek bir test noktasında yeterli süre çalışarak doldur-boşalt yöntemi ile radyoaktif tekniğin kalibrasyonunun yapılması gerekir (Gilles ve diğ., 2007). Bunun yanında radyoaktif teknikle farklı yağlayıcılar karşılaştırıldığında, radyoaktif elementin yarı

ömrünün kısa olması sebebiyle(Ge-69 39 saat) test öncesi yağlayıcıdan numune alınarak yağlayıcının özgül aktivitesi referans olarak belirlenir ve test sonrası alınan numune ile de radyoaktif maddenin yağ ile ayrı bir fiziksel yada kimyasal reaksiyona girip girmediği kontrol edilir. Ayrıca radyoaktif teknikte egzoz çıkışına monte edilen radyasyon sondası, motordan direk olarak gelebilecek radyasyondan en az seviyede etkilenmesi için kurşun kalkan içerisine gömülmüş olarak yerleştirilir (Gilles ve diğ., 2007).

2005 yılında Delvigne ve diğ. radyoaktif etiket olarak, yağın yağlayıcı özelliklerini değiştirmemesi, kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radyoaktif atığının olmaması ve radyoaktivite açısından zararının çoğu Avrupa ülkesinde kabul edilebilir sınırlar içinde olmasından dolayı Germanyum(⁶⁹Ge) elementini kullanmışlardır.

Yağ tüketimi ölçümü için radyoaktif etiket olarak madde gama ışını yayan çinko(⁶⁵Zn), iyot(¹³¹I) ve brom(⁸²Br) elementleri de kullanılmıştır. Ancak bu maddelerin kullanılmalarında, yağ tüketimini iyi temsil edememeleri, egzoz gazında tutulmaları için teferruatlı ekipmanlara ihtiyaç duyulması ve uzun yarı ömürleri dolayısıyla radyoaktif atıklara neden olmaları gibi birtakım sakıncalar vardır. Bunun yanında radyoaktif izleme yöntemi olarak trityum izleme yöntemi ile çok hassas sonuçlar elde edilmesine karşın ağır hidrojenli sulu yoğunlaştırıcı gibi teferruatlı ekipmanlara ve yağı etiketlemek için radyokimya konusunda uzman personele ihtiyaç duyulması açısından dezavantajlıdır (Delvigne ve diğ., 2005).

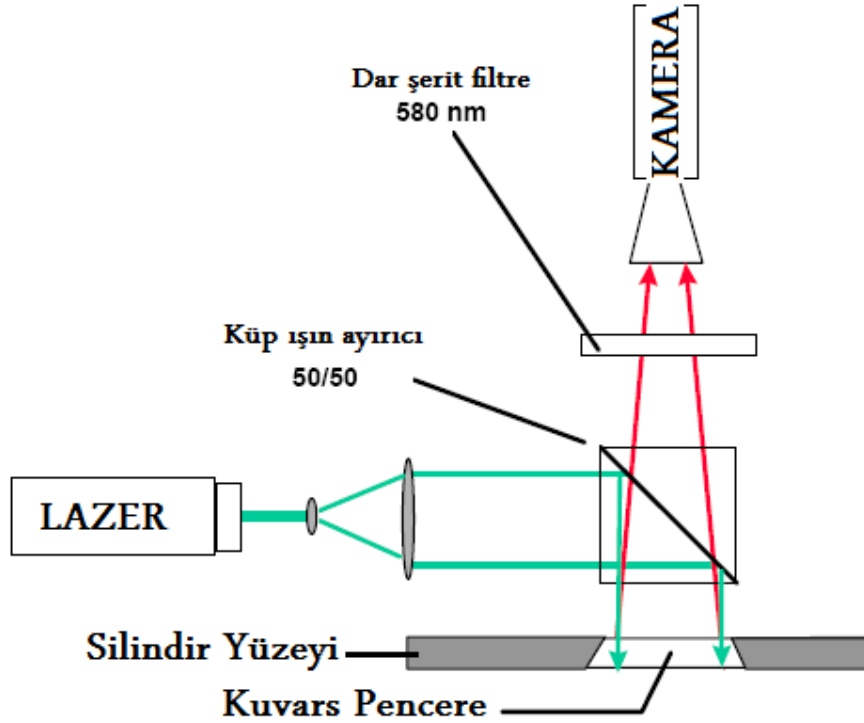
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak güç silindiri tasarımının yağ geçişine ve tüketimine etkilerini konu alan literatür araştırmasın özeti verilecek, sonra silindir yüzey pürüzlülüğünün yağ tüketimine etkisini inceleyen makaleler özetlenecek ardından gerçek zamanlı yağ tüketimi ölçümü ile ilgili çalışmalar kısaca anlatılacak ve son olarak tezin amacı açıklanacaktır.

2.1 Güç Silindiri Tasarımının Yağ Geçışı ve Tüketimine Etkilerini İnceleyen Çalışmalar

Thirouard ve diğ. (1998) iki boyutlu lazerli florışma(LIF) tekniğini kullanarak tek silindirli bir dizel motorunun piston-segman-silindir yüzeyindeki yağ dağılım mekanizmasını, Şekil 2.1’de gösterilen silindirde oluşturdukları kuvars penceresi(üst ölü nokta ile alt ölü nokta arasına 88 KMA’lık bir bölgeye) kanalıyla incelemişlerdir. Bu teknikle piston tacı ve ikinci yüzeyindeki farklı yağ transfer mekanizmaları, belirli motor çalışma noktalarında incelenmiş ve son olarak segmanın yuvası içinde dönmesinin yağ transfer mekanizmalarına etkisi araştırılmıştır. Yağı pistonun üst yüzeyine(piston tacına) taşıyan iki mekanizma tanımlamışlardır: tüm motor çalışma şartlarında ikinci segman yüzeyi ve yuvasından birinci segman yüzeyi ve yuvasına oradan da birinci segmanın emme stroğunda segman yuvasının üst yüzeyine doğru hareketi ile yağın sıkışarak piston tacına doğru taşınması, ikinci ve en önemli mekanizma yüksek motor hızlarında ve düşük yüklerde birinci segmanın silindir yüzeyinden yağı kazımasıdır. İkinci segman yüzeyindeki yağ hareketlerinin ise birinci ve ikici segman açıklıklarının yerlerine bağlı olduğu belirtilmiştir. Yüksek motor hızlarında atalet kuvvetleri ile taşınan yağın baskın olduğu, düşük motor hızı ve yükünde ise ikinci segman yüzeyindeki yağ birikiminin temel kaynağının birinci segmanın yağı geri kazması olduğu gösterilmiştir. Düşük hız ve yüklerde, yağ segmanı tarafından silindir yüzeyinde tutulan yağ birinci segman tarafından ters yönde kazınarak ikici segman yüzeyine taşındığı ve ikinci segman yüzeyinde biriken

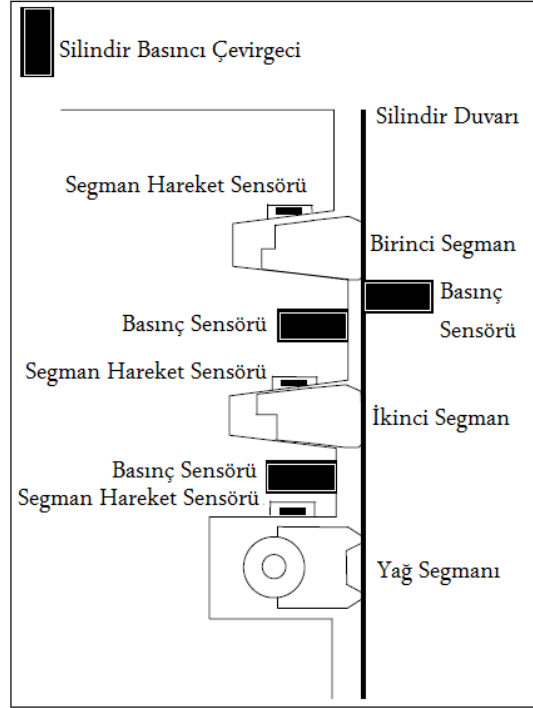
bu yağ segman yuvasından sıvı olarak ya da buhar halinde birinci segman açıklığından piston tacına taşındığı belirtilmiştir.



Şekil 2.1: İki Boyutlu Lazerli Florışma Tekniği (Thirouard ve diğ., 1998)

Chen ve Richardson (2000) motorun belirli çalışma noktalarında 8 farklı segman paketi grubunun performanslarını, modelleyerek ve aynı zamanda ölçüm yaparak karşılaştırmışlardır. Şekil 2.2’de gösterilen test sistemini kartere gaz akışı değerini, birinci ve ikinci segmanlar arası basıncı, birinci, ikinci ve yağ segmanların hareketlerini ve silindir içi basıncı ölçebilecek şekilde tasarlamışlardır. Dinamik matematiksel modellemenin yapılabilmesi için; piston ve segman yuvası ölçüleri, segman ölçüleri, silindir içi gaz basınçları ve sıcaklıkları, piston ve segman sıcaklıkları, malzeme ve yüzey özellikleri, yağlayıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi bilgiler teknik resimlerden, malzeme şartnamelerinden, motor test sonuçlarından ve mantıklı tahminlerden belirlemişlerdir. Modelleme yapılırken kalibrasyon değerleri ilk önce varsayılan şekilde bırakılmış, sonraki analizlerde ise motor testi sonuçları referans alınarak geliştirilmiştir. Deney sonrasında kartere gaz akışı değeri açısından deneysel ve dinamik modelleme sonuçları arasında iyi bir uyum gözlemlenmiştir. Ancak motor testi sonuçları referans alınarak yapılan modellemelerin daha doğru sonuç verdiği söylenmektedir. Birinci ve ikinci segman

arası basınçların dinamik modelde ve deneysel yöntemde hemen hemen uyumlu olduğu ancak dinamik modelin, segmanların aksel hareketini bazı bölgelerde doğru olarak yakalayabildiyse de, gerçekte oluşan hızlı titreme hareketini simüle etmede zorlandığı belirtilmiştir.

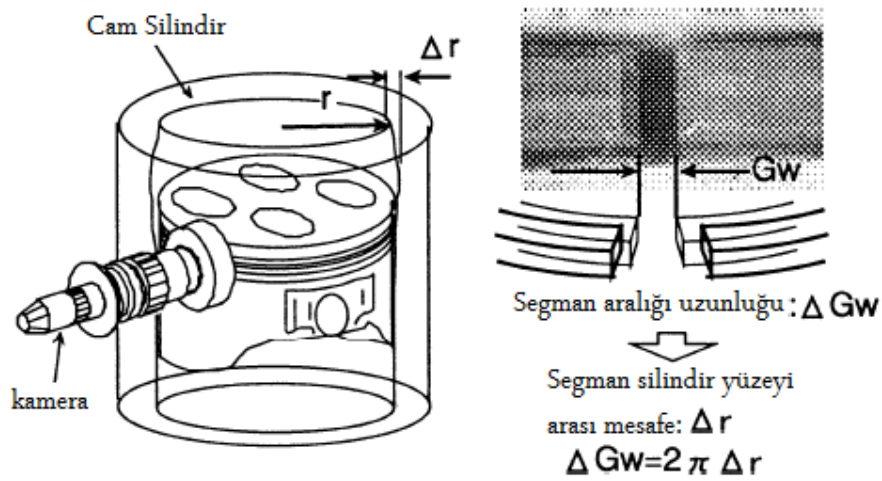


Şekil 2.2: Güç Silindiri Bölgesine Yerleştirilen Sensörlerin Yerleri (Chen ve Richardson, 2000)

Richardson ve Krause (2000) silindir yüzeyi, segman yüzeyi ve segman yan yüzeyi aşınmalarının piston – segman – silindir sistemi içindeki gaz akışı ve yağ tüketimi üzerine etkilerini araştırmak için dinamik bir model kullanmışlardır. Bu modelle segman hareketlerini, segmanlar arası gaz basıncını ve gaz akışını tahmin etmişlerdir. Silindir yüzeyindeki aşınmaları temsil edebilmek için, gerçek bir silindir yüzeyinin aşınma değerlerini referans alarak modelde gerekli yerlere farklı değerlerde aşınma derinliği oluşturmuşlardır. Aynı aşınma değerlerini segman yüzeyi ve segman yan yüzeyi içinde kullanmışlardır. Simülasyonda iki farklı model motor oluşturulmuştur. Birincisinde aşınma derinliği piston üst ölü noktada iken sadece birinci segman civarına kadar ikincisinde ise aşınma derinliği ikinci segman yuvasının alt tarafına kadar modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarından birinci motor modelinde, silindir ve birinci segman yüzeyi fazla aşınmış motorda segmanlar arası gaz basıncının çevrimin büyük kısmında silindir basıncından büyük olduğu ve bu gaz basıncının gaz akışını

arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca segmanlar arasındaki yüksek gaz basıncının piston ikinci yüzeyi bölgesindeki gazla beraber bu bölgedeki yağı yanma odasına göndererek yağ tüketimini arttırdığı söylenmiştir. Aşınmanın olmadığı ya da çok az olduğu silindir – segman sisteminde ise üst ölü noktadan 90° sonra segmanlar arası basıncın silindir basıncını izlediği ve bu sebeple aşağı yöndeki gaz akışının ve yanma odasına doğru gaz ile beraber yağ geçişinin fazla aşınmış motora göre daha az olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber birinci segmanın yüzeyindeki aşınmanın, segman – silindir dinamiğinin değişimi açısından silindir yüzeyi aşınmasından daha önemli olduğu vurgulanmıştır. İkinci motor modelinde ise ikinci segman yeterli sızdırmazlığı sağlayamadığından segmanlar arası basıncın düşük ve aşağı doğru gaz akışının birinci motordan yüksek olduğu, ayrıca segmanlar arası basıncın düşük olmasından dolayı yağ tüketiminde de önemli bir değişikliğin olmayacağı söylenmiştir.

Basaki ve diğ. (2000) piston – segman – silindir sisteminde, silindir yüzeyi deformasyonu ve yağ kontrol segmanının ön geriliminin yağ tüketimine etkisini araştırmak amacı ile dört silindirli bir motorun birinci silindirini Şekil 2.3’de gösterildiği gibi camdan yaparak silindir duvarından segman aralığı – silindir yüzeyi bölgesini motorda yanma olmadan 6000 d/d’ya kadar gözlemlemişlerdir. Segmanların silindir yüzeyinden ayrıldıklarında segman aralıklarının daralması silindir yüzeyine yaklaştığında ise segman aralıklarının açılması prensibi ile segman – silindir yüzeyi uyumluluğunu yüksek motor hızlarında inceleyebilmişlerdir.



Şekil 2.3: Segman – Silindir Yüzeyi Uyumluluğu Ölçme Yöntemi (Basaki ve diğ., 2000)

Deneyde biri deforme olmamış biri deforme olmuş iki adet cam silindir kullanılmış ve segman aralığının yerinin değişmemesi için segmanlar pistona sabitlenmiştir. Deney sonrasında birinci ve ikinci segmanlar açısından, motor hızı arttığında deforme silindir yüzeyinde emme stroğunda daha belirgin olmak üzere uyumluluğun bozulduğu ve düşük ön gerilmeli segmanlarda bu bozulmanın daha düşük motor hızlarında başladığını gözlemlemişlerdir.

Panelli ve Ferrarese (2002), teğetsel yükünü artırmadan radyal yüzeyi daha esnek olabilen ve temas basıncını azaltmadan teğetsel yükün düşürülebildiği iki paçalı bir yağ segmanı tasarlamışlardır. Standart iki parçalı segmanın dış tarafında iki temas yüzeyi ve arada bir kanal olmak üzere üç bölümden oluşur. Yeni tasarlanan yağ segmanında ise dış tarafta tek bir temas yüzeyi mevcuttur. Yağ segmanı tasarımında yağ tüketimi açısından önemli olan faktörler, segman yüzeyinin silindir yüzeyi üzerinde sızdırmazlığı sağlayacak ve kazıma olayını engelleyecek şekilde silindir yüzeyi deformasyonuna uyum sağlayarak çalışması ve iki yüzey arasındaki temas basıncıdır. Yüzeyler arası birlikte çalışma uyumluluğu yani segmanın silindir yüzeyi üzerindeki bozulmalara uyum sağlayarak sızdırmazlığı devam ettirmesi arttıkça yağ tüketimi azalacaktır. Teğetsel kuvvet azaltıldığı halde uyumluluğun değişmemesi için segmanın atalet momenti azaltılmalıdır. Yeni tasarlanan yağ segmanında atalet momentini azaltmak amacı ile iç yüzeyine kanallar açılmıştır. Temas basıncı arttığında ise yağ tüketimi yine azalır. Ancak temas basıncı segmanın teğetsel kuvveti arttırılarak sağlanırsa sürtünmeler artar. Teğetsel kuvvet arttırılmadan temas basıncını arttırmanın yolu temas genişliğini azaltmaktır. Yapılan analiz ve yüz saat yapılan doldur-boşalt motor testi sonuçlarında; yeni tasarlanan yağ segmanının atalet momentinin düşük olması sebebiyle segman-silindir yüzeyi uyumluluğunun yüksek olduğu, yağ tüketimi performansının ise temas basıncı düşük olduğunda bile yeterli derece yüksek olduğu görülmüştür.

Thirouard ve Tian (2003) 2 boyutlu lazerli florışma (LIF) tekniğini kullanarak tek silindirli dizel ve benzinli motorda farklı yük ve hızlarda piston – segman – silindir sistemini resimleyerek bu sistem içindeki yağ film kalınlığını belirlemişler ve yağın geçiş mekanizmalarını, eksenel ve çevresel hareketini, segman yuvası ve segman aralıklarındaki yağ akışını tanımlamışlardır. Buna göre piston yüzeylerinde yağın eksenel ve çevresel olarak taşındığı ve eksenel taşınımın atalet kuvvetinin, çevresel yöndeki taşınım ise gaz akışının etkisi altında olduğu vurgulanmıştır. Pistonun

birincil hareketleri sebebiyle ortaya çıkan segmanın pompalama hareketinin ve segman ile yuvası arasında biriken yağda pistonun ikincil hareketi sebebiyle meydana gelen kesme kuvvetinin geçen yağ miktarı açısından etkili olduğu, ayrıca bir segmanın hızlı titreme hareketi yaptığında gaz akışı ile gerçekleşen yağ geçişinin arttığı belirtilmiştir.

Vokac ve Tian (2004) iki boyutlu lazerli florışma (LIF) tekniğini kullanarak tek silindirli bir motorda piston üçüncü yüzeyindeki yağ transferinin değişik yük ve hız noktalarında ve farklı yağ segmanları için nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Silindir yüzeyi ile aynı ısıl genişlemeye sahip olduğu ve tüm motor stroğunun görüntülenebilmesi için bütün strok boyunca silindir yüzeyine safir pencere yerleştirilmişlerdir. Silindir yüzeyi ve safir pencerenin Ra numarasını $0.3 - 0.48 \mu\text{m}$ olarak ölçmüşlerdir. Safir silindir yüzeyi penceresinden çekilen resimlerden piston üçüncü yüzeyinde tekrarlanabilir bir yağ dağılımı ve geçişi elde etmişlerdir. Yağ geçişinin özellikle atalet kuvvetinin etkisi altında olduğu, motor hızı arttıkça bu etkinin arttığı ve yağ geçişinin hızlandığı söylenmiştir. Ayrıca denenen iki farklı yağ segmanında segman aralığının piston ikinci yüzeyine geçen yağ miktarında önemli etken olduğu vurgulanmıştır.

Ito ve diğ. (2005) piston eteği uzunluğunun yağ tüketimi üzerine etkisini araştırmak üzere, hava kompresörü ile tahrik edilen tek silindirli bir mekanizmanın dökme demir silindir gömleğini cam silindir gömleği ile değiştirerek yağlayıcı içerisine karıştırılmış farklı renkte florışı yayan bir maddeyi kamerada izleyerek piston eteği bölgesindeki yağ film kalınlığını farklı krank mili açılarında incelemişlerdir. Buna göre piston üst ölü noktada iken piston eteğinin altında kalan silindir yüzeyi bölgesindeki yağ filminin krank mili tarafından sıçratılan yağ nedeniyle kalın olduğunu ve piston alt ölü noktaya doğru ilerledikçe bu kalın yağ filminin piston eteğine yayıldığını gözlemlemişlerdir. Kullanılan iki farklı uzunluktaki piston eteklerinden, motor yüksüz durumda iken, uzun olanın yağ segmanının piston alt ölü noktaya doğru giderken kalın yağ filmi ile daha geç karşılaştığı belirtilmiştir. Ayrıca üç farklı boydaki piston eteğini tek silindirli bir dizel motora monte ederek SO_2 izleme yöntemi ile yağ tüketimlerini karşılaştırmışlar ve uzun piston eteğine sahip motorun daha az yağ tükettiğini gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni olarak uzun piston etekli yağ segmanın kalın yağ filmi içerisinde diğerlerinden daha kısa süre kaldığı gösterilmiştir. Son olarak piston eteği üzerindeki kalın yağ filminin üst sınırının

sadece piston eteği boyuna değil motorun çalışma şartlarına da bağlı olduğu belirtilmiştir.

2.2 Silindir Yüzey Pürüzlülüğünün Yağ Tüketimine Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Hill (1995) gerçek zamanlı olarak radyoaktif trityum izleme tekniğiyle dört silindirli bir benzinli motorda silindir yüzey pürüzlülüğünün yağ tüketimi üzerine etkisini ölçmüşler, ayrıca deney sonuçlarına göre bir matematik model oluşturarak bu etkiyi tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneylerde plato ve tepe özellikli yüzeyler kaba, orta kabalıkta ve hassas işlenerek kullanılmıştır. Matematik model oluşturulurken deney sonuçlarına göre yağ tüketimi değişimine en fazla ilinti gösteren yüzey pürüzlülük parametreleri olan V_o , R_a , M_r1 ve R_{pk} 'yı kullanmışlardır. V_o yüzeyde yağ tutan hacim olup R_{vk} ve M_r2 parametrelerinden elde edilmektedir ve yağ tüketimi değişimi ile en fazla ilintiyi gösterdiği söylenmiştir. M_r1 ile R_{pk} yüzeydeki tepe alanını gösteren parametre olup yağ tüketimi değişimi ile en az ilintiye sahip olduğu belirtilmiştir. Plato honlama ile işlenmiş yüzeylerde R_a numarasının artması ile yağ tüketiminin arttığı ve bu etkinin yüksek R_a değerlerinde daha etkili olduğu, aynı R_a numarasına sahip tepeli ve plato özellikli yüzeylerden tepeli özellikte olanın daha az yağ tükettiği iddia edilmiştir. Ayrıca makalede yağ tüketiminin V_o , R_a ve R_{pk} değerlerini düşürerek ve M_r1 değerini yükselterek düşürülebileceğini ancak sınırlama olarak aşınmanın, segman – silindir yüzeyi yapışmasının, sürtünmenin ve kartere gaz akışı miktarının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Tian ve diğ. (1996) tek silindirli bir dizel motorunda piston – segman – silindir yüzeyi arasındaki yağ film kalınlığını ve sürtünmeyi tahmin etmek amacıyla tek boyutlu sınır, karma ve hidrodinamik yağlama modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde yüzey pürüzlülüğünün hidrodinamik ve sınır yağlama üzerine etkilerinin de incelendiği belirtilmiştir. Bunun yanında tek silindirli bir dizel motorunda yağ film kalınlıklarının lazerli florışma tekniği ile ölçüldüğü ve model sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğu söylenmiştir. Modelleme sonuçlarına göre daha yüksek silindir yüzeyi sıcaklığına sahip motorda sınır yağlamanın daha şiddetli olduğu, yağ viskozitesinin azaldığı ve sürtünme ile oluşan güç kaybının azaldığı belirtilmiştir. Silindir yüzeyi ve segman yüzeyleri daha pürüzlü işlendiğinde,

sürtünme ile oluşan güç kaybının, metal metale temas kuvvetinin ve hidrodinamik sürtünmenin arttığı ayrıca yüzeyin daha fazla yağ taşıdığı iddia edilmiştir.

Hill (2001) radyoaktif izleme tekniğini kullanarak bir benzinli ve dizel motorda silindir yüzey pürüzlülüğünün yağ tüketimine etkisini incelemiştir. Test öncesi yaptıkları yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinden yüzeyleri R_k/R_{vk} oranına göre plato ya da tepe özellikli diye sınıflandırmışlardır. Buna göre R_k/R_{vk} oranı 1,3 mikrondan büyük olanlar tepeli özelliğe, 1 mikrondan küçük olanlar plato özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Deney sonuçlarından yağ tüketimini kontrol eden en önemli parametrenin V_o yağ tutan hacim olduğu gösterilmektedir. R_{3z} yüzey pürüzlülük değerinin silindir yüzeyi üreticileri açısından önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca yağ tüketiminin azaltılması için R_a değerinin, V_o hacminin ve yüzey honlama açısının azaltılması tavsiye edilmiştir. Bunun yanında yüzey parametrelerinin hepsini motor ve yağlama performansını arttıracak yönde değiştirmek, parametreler birbirleri ile bağlantılı olduklarından çok zor olduğu ve bir parametre olumlu yönde değiştirildiğinde diğer parametrenin negatif yönde değişebileceği belirtilmiştir. Motor üreticilerinin bilmeleri gerekenin yağ tüketimini kontrol eden yüzey parametresi olduğu vurgulanmıştır.

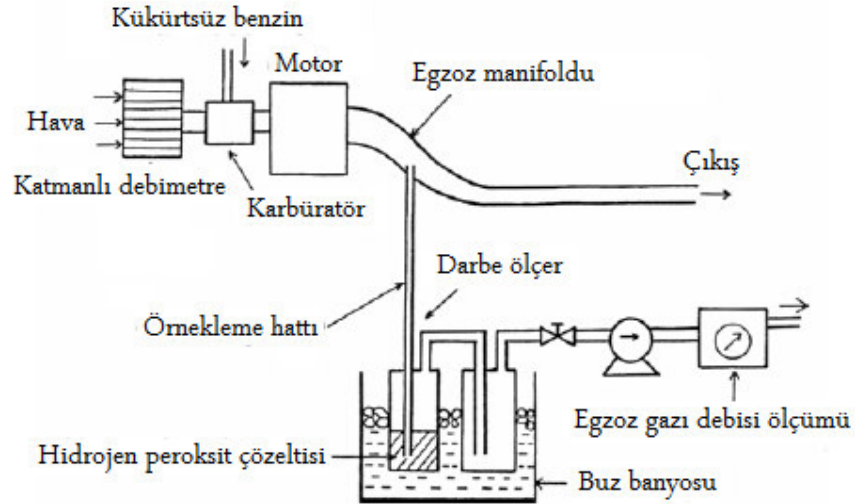
Srivastava ve Agarval (2004) yanma olmadan tek silindirli piston – segman – silindir yüzeyi simülasyonunu 1 beygirlik elektrik motoru ile tahrik ederek farklı malzemedeki silindir yüzeyleri ve segmanlar için motor bir süre çalıştırıldıktan sonra yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimini ve aşınmayı araştırmışlardır. Simülatörde ikisi kompresyon, biri ikinci segman ve ikisi yağ segmanı olmak üzere bir pistonda beş adet segman kullanmışlar ve motorun gerçek koşullarını sağlamak amacı ile pistona yük vermişlerdir. Motor simülatörünü 1500 d/d'da ve 60 N yükte otuz saat çalıştırmışlardır. Test öncesi ve sonrası yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerine göre üst ölü nokta civarında aşınmanın orta strok ve alt ölü noktaya göre daha fazla olduğu belirtilmiştir. Orta strok civarında ise aşınmanın alt ölü nokta civarından daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Üst ölü nokta civarında oluşan yüksek sıcaklıklar, yüksek temas basıncı kuvveti ve düşük yağ film kalınlığı nedeniyle bu bölge sınır yağlama rejiminde çalışarak aşınmaya maruz kalacağı ayrıca üst ölü nokta civarında piston hızı sıfıra yaklaştığından yağ filminde kopmalar olacağı anlatılmıştır. Maksimum yağ film kalınlığı orta strokta, piston hızının yüksek olması ve hidrodinamik yağlama rejimine geçilmesi ile oluşacağı ve dolayısıyla piston –

segman – silindir yüzeyi sisteminin hem sınır hem de hidrodinamik yağlama rejimlerinde çalışacağı açıklanmıştır. Bunun yanında cilalanmış silindir yüzeyinin yağ tutma kapasitesi olmadığından yetersiz bir yağlamaya sebep olacağı ve yetersiz yağlanan piston – segman – silindir yüzeyi sisteminde metal metale temas meydana gelebileceği ve sonuç olarak segman yüzeylerinin silindir yüzeyine yapışabileceği belirtilmiştir. Pürüzlü silindir yüzeylerinde ise sürtünme kuvvetinin ve aşınmanın fazla olduğu söylenmiştir. Bu nedenle pürüzlü ve pürüzsüz silindir yüzeyi üretimi hem aşınmayı engelleyip motor ömrünü uzatacak hem de iyi bir yağlama rejimi oluşturacak şekilde dengelenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Sato ve diğ. (2004) tek silindirli bir dizel motorunun piston sürtünme kuvvetlerini yüzer silindir yöntemi ile ölçerek, farklı silindir yüzeyi pürüzlülüklerinde sürtünme kaybının ve yağlama mekanizmasının nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Motor çalıştıktan hemen sonra, bir saat sonra ve 30 saat sonra ölçüm yapmışlardır. Motor çalıştıktan hemen sonra sürtünme kuvvetinin alt ve üst ölü noktalar civarında keskin tepeler oluşturduğunu ve bu anda yağlama rejiminin sınır yağlama olduğunu, bir saat sonra ise keskin tepelerin kaybolduğunu ve rejimin hidrodinamik yağlamaya geçtiğini söylemişlerdir. Ayrıca yaptıkları Rpk değeri ölçümlerinden ilk bir saatte Rpk değerinin hızla düştüğünü gözlemlemişlerdir. Buna göre Rpk değerinin azaltılmasının yağlama rejiminin değişimine ve sürtünme kuvvetinin keskin tepelerinin oluşmamasına önemli etki yaptığı belirtilmiştir. Plato honlama ile işlenen silindir yüzeylerinin Rpk değerlerinin standart honlamaya oranla daha düşük olduğu, bu yüzden plato honlama ile yapılan silindir bloklarının rodaj sürelerinin daha kısa olduğu ancak rodaj yapıldıktan sonra her iki yöntemle işlenen silindir bloklarının yağlama performanslarının ve sürtünme kuvvetlerinin benzer olacağı söylenmiştir. Standart honlama ile işlenmiş 0,5 μm Rz değerine sahip silindir bloğu, Rz değeri 2 μm olan plato honlama ile işlenmiş bloğa göre hidrodinamik yağlama özelliğini daha iyi gösterdiği belirtilmiştir. Buna karşı yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ile silindir yüzeyinde boyuna çatlakların ve yüzeyde kusurların olduğu bunda yağ tüketimini arttıran ve segman-silindir yüzeyi yapışmasını ortaya çıkaran bir etken olduğu ayrıca standart honlama ile yüzey pürüzlülüğü azaltıldığında yüzeyin yağ tutma özelliğinin azaldığı söylenmektedir. Düşük yüzey pürüzlülüklerinde yüzeyi elmas – gibi karbon kaplama yaparak yüzeyin sertliğini arttırmışlar böylece boyuna çatlakların azaldığını ve sürtünmenin %10 düştüğünü gözlemlemişlerdir.

2.3 Gerçek Zamanlı Yağ Tüketimi Ölçümü İle İlgili Çalışmalar

Hanaoka ve diğ. (1979) yeni bir yöntem olarak yağlayıcı içerisinde doğal olarak bulunan kükürdü(S) egzoz gazında izleyerek 20 dakikadan daha kısa bir sürede benzinli bir motorun yağ tüketimini ölçmüşlerdir. Ölçümde sadece yağdan gelen kükürdün izlenebilmesi için yakıtın yanması ile egzoz gazına kükürt karışmaması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle kükürtsüz benzin olarak n-heksan, izooktan ve tolüen karışımı bir yakıtı kullanmışlardır. Şekil 2.4’de gösterilen egzoz hattından bir miktar egzoz gazı alınıp %3’lük hidrojen peroksit çözeltisinden geçirilerek, yağlayıcının yanması ile egzoz gazında ortaya çıkan kükürtdioksitin sülfata dönüştürüldüğü ve elde edilen bu sülfat miktarının fotometrik baryum – thorin titrasyon yöntemi ile ölçüldüğü belirtilmiştir. Egzoz gazındaki kükürt kaynağının sadece yağlayıcı olması avantajı ile, ölçülen sülfat miktarı, motora giren hava debisi, yağdaki sülfür oranı ve hidrojen peroksit çözeltisinden geçen egzoz gazı hacminden, matematiksel bir formülle motorun yağ tüketimini hesaplamışlardır. Yazarlar, örnekleme hattında kükürtdioksitin yoğunlaşmaması için hattın sıcaklığının 100 °C’nin üstünde tutulması gerektiğini söylemişlerdir. Örnekleme hattının sonuna yani çözeltinin girişine konulan bir oksidasyon fırınının 400 – 1000 °C arasında çalıştırıldığı ve yağ tüketim değerinde bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir. Sistemin tekrarlanabilirliğinin iyi olduğu ve gerek doldur – boşalt gerekse radyometrik yağ tüketimi ölçme yöntemleri ile uyumlu sonuçlar verdiği söylenmiştir.



Şekil 2.4: Kükürt izleme yöntemi test şeması (Hanaoka ve diğ., 1979)

Bailey ve Ariga (1990) egzoz gazında SO₂ izleme tekniğini kullanarak dört silindirli bir dizel motorunun kararlı ve kararsız hallerinde, yağ tüketimini gerçek zamanlı olarak ölçmüşlerdir. Deneyde kullanılan kükürt içeriği kütleli olarak 22000 ppm olan dizel motor yağı, 50 – 400 ° F arasında ısıtılarak kükürt içeriğinin bu sıcaklıklar arasında sabit kaldığı belirlenmiş ve karterdeki yağın kükürt içeriğinin yüksek sıcaklıklarda da sabit kalmasının yağ tüketimi açısından iyi bir temsiliyet göstereceği söylenmiştir. Yağdan gelen kükürdün etkisiz bırakılmaması için egzoz gazındaki kükürdün bir diğer kaynağı olan yakıtın çok düşük kükürt içeriğine sahip olması gerektiği belirtilmiş ve bu amaçla kütleli olarak 10 ppm kükürt içeren yakıt kullanılmıştır. Deneyde egzoz manifoldundan bir sonda yardımı ile alınan egzoz gazı örneğini sıcaklığı 600 – 1000 °C olan bir oksidasyon fırından geçirerek içerisindeki tüm kükürt bileşenlerinin SO₂'ye dönüşmesini sağlamışlardır. Ayrıca örnekleme hattının sıcaklığını yoğunlaşmayı engellemek için 100 °C'nin üzerinde tutmuşlardır. Son olarak fırından çıkan örnek gazını florışı detektörüne göndererek içerisindeki SO₂ miktarını belirlemişlerdir. Belirlenen bu SO₂ miktarını, yağ ve yakıttaki kükürt miktarlarını ve hava ve yakıt debisi değerlerini kullanarak matematiksel bir formülle yağ tüketimini kütleli olarak hesaplamışlardır.

Colvin ve diğ. (1992) SO₂ izleme tekniğinde kükürtdioksit analizörü olarak yük ölçümsel bir yöntem izlemişlerdir. Yük ölçümsel yöntem basitleştirilerek bir bilgisayar yardımıyla otomatik kullanılır hale getirilmiş ve bu sayede cihazın kontrolü, bilgi toplanması ve yağ tüketim raporlarının elde edilmesi kolaylaştırılmıştır. Yöntemde elektrokimyasal bir hücreden geçen egzoz gazı içindeki SO₂'nin iyot ile reaksiyona girerek hücre içindeki detektöre, miktarını belli ettiği söylenmiştir. Deneyde kükürt içeriği kütleli olarak 5000 ppm olan motor yağı ile kükürt içeriği 2 ppm olan yakıt kullanılmıştır. Egzoz gazı içerisindeki tüm S bileşenlerini SO₂'ye dönüştürmek için örnek gazın elektrokimyasal hücreye girmeden önce 1000 C'lik bir oksidasyon katalizöründen geçirildiği belirtilmiştir. Yöntemin SO₂ ölçme hassasiyetinin 4 ppb ve yük ölçer cihazın cevap süresinin 4 saniye olduğu ve matematiksel bir formülle gram bölü saat olarak yağ tüketimine geçilebildiği gösterilmiştir.

Ariga ve diğ. (1992) geliştirilmiş SO₂ izleme tekniğini kullanarak altı silindirli bir dizel kamyon motorunun kararlı ve kararsız hallerinde, yanmış ve yanmamış yağ tüketimini kükürt içeriği kütleli olarak 10700 ppm olan yüksek kükürtlü yağ, kükürt

içeriği 1 ppm olan çok düşük kükürtlü yakıt ve florışma tekniğini kullanan SO₂ analizörü yardımı ile ölçmüşlerdir. Detektör ölçüm yaparken bazı cisimlerin ışık ve röntgen ışınlarına arz edilince kendiliklerinden çeşitli renklerde ışıklar saçma yeteneğini kullanır. Ölçüm ilk olarak örnek egzoz gazının ultraviyole ışınlarına maruz bırakılmasıyla başlar ve bunun sonucu olarak örnekteki SO₂ gazı spesifik dalga boylarında flüorışı yayar, bu ışıma parlaklık ölçücü veya foton çarpan- sayıcı olarak adlandırılan foto toplayıcı tüp tarafından belirlenir ve SO₂ kütsel olarak analiz edilir. Kullanılan test düzeneğinde her bir silindirin egzoz çıkışları, türbo kompresör öncesi ve motorun egzoz çıkışı olmak üzere sekiz farklı yerden örnekleme yapıldığı belirtilmiştir. Örnek gaz analizöre gönderilmeden önce bir oksidasyon fırınına gönderilerek tüm S bileşenlerinin SO₂'ye dönüştürülmesi sağlanmıştır. Yapılan deneyde yanmamış yağın egzoz hattında filtre edilebildiği kabul edilerek, ilk önce örnek gaz filtre edilmeden oksidasyon fırınına gönderilmiş ve yağ tüketimi kütle dengesinden matematiksel bir formül ile hesaplanmış daha sonra örnek gaz filtre edilerek oksidasyon fırınına gönderilmiş ve yağ tüketimi hesaplanmış sonuçta bu iki değer arasındaki farkın yanmamış yağ tüketimine eşit olduğu söylenmiştir. Bu şekilde motorun kararlı ve kararsız halde yanmış ve yanmamış yağ tüketimi ölçümlerinin yapıldığı, buna göre kararlı haldeki yağ tüketiminin genel olarak artan yük ve hız ile arttığı ve kararsız haldeki yağ tüketimin ise motor hızı ve yük değişimlerinden etkilendiği vurgulanmıştır.

Ariga (1996) motorun kararsız çalışma koşulunda yani hız ve yük değişimlerinde yağ tüketimini SO₂ izleme yöntemi ölçmüştür. Aynı esnada piston – segman – silindir yüzeyi mekanizması dinamiklerinden olan segmanlar arası gaz basıncı ve sıcaklığı, segman hareketleri ve piston ikincil hareketini piston üzerine ve silindir içine yerleştirilen sensörler yardımıyla ölçmüş ve bu değişkenlerin motorun kararsız çalışma koşulunda yağ tüketimi üzerine etkisini incelemiştir. Piston üzerinde basınç, yer değiştirme ve sıcaklık olmak üzere toplam 21 ölçüm yapılmıştır. Deneyde kullanılan motor altı silindirli, aşırı doldurmalı dizel kamyon motorudur. Yaptığı deneyde, motorun bir çalışma noktasından başka bir çalışma noktasına geçtiğinde yağ tüketiminin ani olarak arttığını ancak belirli bir zaman bekleyip motor kararlı hale ulaşınca yağ tüketiminin de kararlı değerine doğru azaldığını söylemiştir. Bunun yanında motorun kararsız haldeki yağ tüketiminin yüksüz durumda tam yüklü duruma göre daha az olduğu belirtilmiştir. Yüksüz durumda birinci segmanı geçen

yağın düşük enerji nedeniyle yanamadığı ve silindir üzerindeki çatlaklarda biriktiği, biriken bu yağın da silindir içine sokulan yakıtın artırılması ile ortaya çıkan yüksek sıcaklıkla birlikte yandığı ve bu esnada yağ tüketiminin ani olarak arttığı vurgulanmıştır. Ayrıca artan sıcaklığın yağın viskozitesini azaltarak birinci segman üzerinde biriken yağın atalet kuvvetlerinin etkisi ile yanma odasına fırlatılmasını kolaylaştırdığı ve bu etkininde yağ tüketimi arttırdığı söylenmiştir. Son olarak yağ viskozitesinin düşmesi ile yağ segmanının ideal görevini yerine getirebildiğini ve böylece iyi bir sıyırma yaparak üst tarafa yağ akışının azaltması beklendiği üzerinde durulmuştur.

Püffel ve diğ. (1999) motorun yağ tüketimini, yağ içerisine etiket madde ekleyip çıkan egzoz gazı içerisinde bu maddeyi ppb seviyesinde lazer kütle spektrometresi ile analiz ederek gerçek zamanlı olarak ölçmüşlerdir. Çalışmada etiket madde olarak yağın tribolojik özelliğini değiştirmedeği, egzoz gazı içerisinde tek olarak bulunabildiği ve yağ tüketimini temsil edebildiği söylenen piren($C_{16}H_{10}$) bileşiği kullanılmıştır. Egzoz gazındaki piren konsantrasyonunu belirleyerek yağ tüketimine geçilebilmesi için, motorun yağ tüketiminin bilindiği bir çalışma noktasında egzoz gazındaki piren miktarının ölçülmesi ve buna göre kalibrasyon yapılması yada toplanan lazer sinyalinin diğer motor parametreleri ile bağlantılı olarak kalibre edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca yöntemin tekrarlanabilirliğinin %5 olduğu ve değişken motor çalışma şartlarında da yağ tüketimi ölçümü yapılabildiği iddia edilmiştir.

Froelund (1999) 2L buji ile ateşlemeli 4 silindirli bir motorun yağ tüketimini SO_2 izleme yöntemi ile Southwest Araştırma Enstitüsünde (SWRI) geliştirilen yeni kuşak SO_2 analizörünü kullanarak ölçmüştür. Deneyde hem tüm motorun yağ tüketiminin hem de her bir silindirin yağ tüketimlerinin kararlı çalışma koşulunda ölçülebildiği belirtilmiştir. Motor kükürt içeriği 10000 ppm'lik bir yağ ve kütleli olarak 0.02 ppm'lik bir yakıtla kararlı halde çalışırken, hava debisi, yakıt debisi ve egzoz gazındaki SO_2 miktarı belirlenmiş ve matematiksel bir formülle kütle dengesinden yağ tüketimine geçilmiştir. Bunun yanında özel yağ ve yakıt gereksiniminin zorunlu olmadığı istenildiği durumda piyasada satılan düşük kükürtlü bir yakıt ve normal bir yağ ile deneyin yapılıp, yağ tüketimi değerinin otomatik olarak, yazılan program sayesinde düzeltilebildiği söylenmiştir. Motorun ve her bir silindirinin yağ tüketimleri 800 d/d'dan 6000 d/d'ya kadar farklı yüklerde ölçülmüştür. Ayrıca belirli

bir çalışma noktasındaki yağ tüketiminin o an ki yakıt tüketimine bölünmesi ile bağlı yağ tüketim değerleri elde edilmiş ve bu değerler farklı motorların yağ tüketimlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Son olarak motorun 4000 d/d tam yükteki yağ tüketimi geleneksel yağ tüketimi ölçme yöntemi ile belirlenmiş ve SO₂ izleme tekniği ile arasında % 8 gibi kabul edilebilir bir farkın olduğu belirtilmiştir.

Delvigne ve diğ. (2005) radyoaktif izleme yönteminde yeni bir metot geliştirmişler ve etiket madde olarak Germanyum 69 kullanmışlardır. Yağ içerisine önceden ilave edilen ve yağ ile birlikte buharlaşabildiği iddia edilen Germanyum 69 egzoz gazında bir filtre ile tutularak yaydığı gama ışınları sinyali saptanmış ve belirlenen bu sinyal yağ tüketimine çevrilmiştir. Yağın yağlayıcı özelliklerini değiştirmemesi, kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radyoaktif atığının olmaması ve radyoaktivite açısından zararının çoğu Avrupa ülkesinde kabul edilebilir sınırlar içinde olmasından dolayı Germanyum'un seçildiği belirtilmiştir. Yöntemin kullanımı ile motorun yağ tüketiminin gerçek zamanlı olarak ölçülebildiği ve daha güçlü radyoaktif elementler kullanıldığında kararsız halde de ölçüm yapılabileceği söylenmiştir. Yazarlar ayrıca radyoaktif yöntemin doğruluğunu ispatlamak için, yakıtın içine de radyoaktif madde karıştırmışlar ve bu yolla ölçtükleri yakıt tüketimi değeri ile hacimsel yöntemle ölçtükleri değeri karşılaştırıp, iki değer birbirini ile uyumluluğu olduğunu belirtmişlerdir.

Gilles ve diğ. (2007) yağlayıcının kimyasal formülünün yağ tüketimi üzerine etkisini incelemek için radyonükleid izleme tekniğini kullanmışlardır. Bu teknikte önceden yağlayıcı içerisine Germayum-69 radyoaktif elementi katılmış ve çıkan egzoz gazı içerisinde bu elementi izleyerek yağ tüketimini ölçmüşlerdir. Radyoaktif teknikle kısa bir sürede ve iyi bir tekrarlanabilirlikle motorun yağ tüketimi farklı viskozite, farklı uçuculuk ve farklı şekillerde Ge katılarak oluşturulan 10 farklı yağlayıcı ayrı ayrı incelenmiştir. Ancak radyoaktif teknikle yağ tüketim sonuçları göreceli olarak elde edildiğinden motorun tek bir test noktasında 24 saat çalışarak doldur-boşalt yöntemi ile radyoaktif tekniğin kalibrasyonu yapılmıştır. İki yağlayıcı için aynı motor çalışma noktalarında yapılan 3 test sonucunda %95'lik bir tekrarlanabilirlik elde edilmiştir. Kalibrasyon için 4000 d/d'da ve tam yükte 24 saat motor çalıştırılmış bu esnada hem doldur-boşalt yöntemi ile yağ tüketimi ölçülmüş hem de dizel partikül filtresinden sonda yardımı ile radyoaktif sinyaller toplanmıştır. Sonuç olarak SAE 5W-30 ve 5W 40 yağlayıcıları ile yapılan deneylerde; yağ tüketiminin esas olarak

uçuculuğa ve viskozite cinsine bağlı olduğu, kinematik viskozitenin ise yağ tüketimi üzerinde çok az etkili olduğu ve Noack uçuculuğu ile yağ tüketimi arasında tutarlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Buna ek olarak baz yağ sisteminin yağ tüketimi için anahtar parametre olduğu tespit edilmiştir.

2.4 Amaç

Literatür araştırması ve giriş bölümündeki bilgiler ışığında içten yanmalı motorların yağ tüketimlerinin doğru bir şekilde ve kısa sürede ölçülmesinin, yürürlüğe girecek olan egzoz emisyonlarının katılığı, motor tasarımı ve karakteristiğinin iyileştirilmesi ve müşteri memnuniyeti açısından ne kadar önemli olduğu görülmüştür. Bunun yanında motorun toplam yağ tüketiminde etkin parametrenin güç silindiri parçalarının tasarımı olduğu anlaşılmış ve bu parçalarda yapılacak herhangi bir iyileştirmenin yağ tüketimine nasıl etki ettiğinin gözlenebilmesi için, motorun farklı silindirlerinin farklı devir ve yüklerde tek başlarına ne kadar yağ tükettiğinin bilinmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Buna karşın bir motorun farklı günlerde yapılan testlerinin yağ tüketim sonuçlarının tekrarlanabilirliğinin istenildiği kadar iyi değildir. Bu nedenle motorun farklı silindirleri yağ tüketimi açısından karşılaştırılmak istendiğinde, motor kapatılmadan aynı şartlar altında ölçüm yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Klasik yöntemlerle ise bu işi yapmak, motorda bir tane yağ karteri olduğundan çok zor olacaktır. Bunun yanında bir motorun farklı silindirleri farklı hız ve yük durumlarında karşılaştırmak, yağ tüketiminin gerçek zamanlı olarak ölçülmesini zorunlu kılmaktadır.

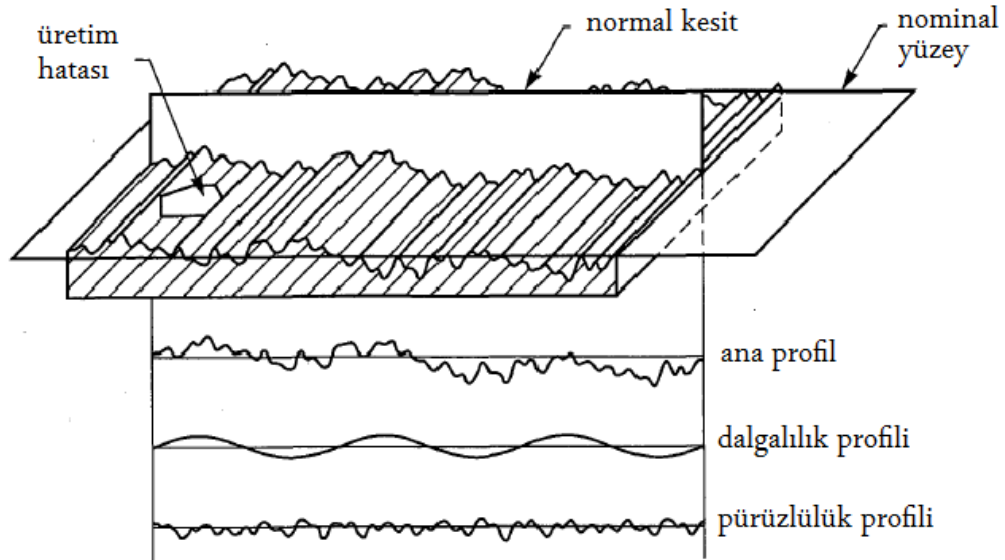
Bu tezin amacı bir motorun farklı silindirlerinin yağ tüketimlerini farklı yük ve hızlarda kontrollü olarak ölçebilen bir test düzeneği hazırlamak ve geliştirilen bu yöntemle güç silindiri tasarımında önemli bir bileşen olan silindir yüzey pürüzlülüğünün yağ tüketimine etkisini bu test düzeneği ile deneysel olarak belirlemektir.

3. YÜZEY PARAMETRELERİ

3.1 Genel Parametreler

Pürüzlülük: Yüzey işleme sürecinde işleme karakteristiğinden kaynaklanan, yüzey üzerindeki profil düzgünsüzlükleridir.

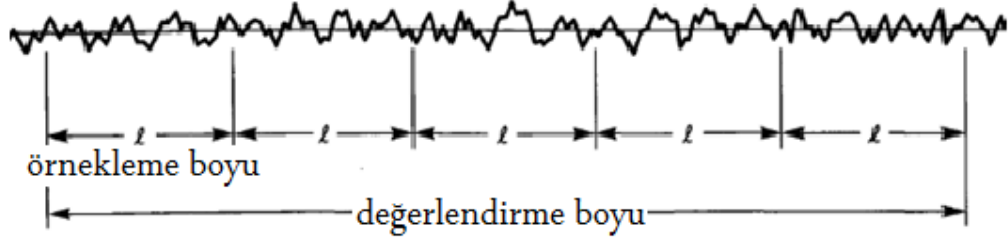
Dalgalık: Yüzey işleme sürecinde işleyen takımın sapmalarından, titreşimden, malzemedeki hatalardan ve dış etkilerle ortaya çıkabilen, yüzey pürüzlülüklerinin üst üste gelmesiyle oluşan yüzey düzgünsüzlüğüdür. Dalgalık profili Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Genel Yüzey Pürüzlülük Parametreleri (ASME B46.1-2002)

Değerlendirme boyu: İncelenecek yüzeyle ilgili bilgilerin toplanacağı tüm yüzey özelliklerini içeren üç boyutlu yüzey ya da iki boyutlu uzunluktur.

Örnekleme boyu: Değerlendirme boyu pürüzlülüğünü temsil edebilecek uzunlukta ve gereksiz detayları içermeyecek kısalıkta bir uzunluktur. Şekil 3.2’de örnekleme ve değerlendirme boyları görülmektedir.

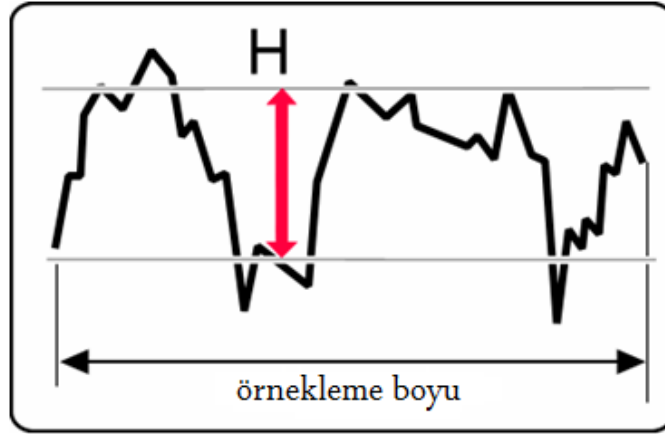


Şekil 3.2: Değerlendirme ve Örnekleme Boyu (ASME B46.1-2002)

Ortalama Çizgi: Ortalama çizgi en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır ve bu çizginin altındaki alanla üstündeki alan birbirine eşittir.

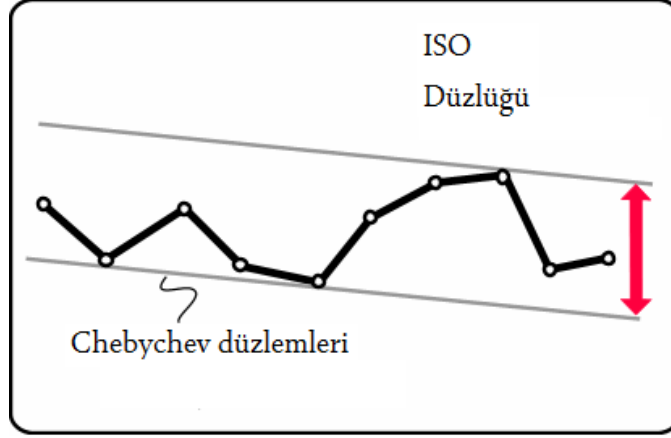
3.2 Pürüzlülük Parametreleri

H: Önceden tanımlanan iki referans doğrusu arasındaki pürüzlülüktür. Şekil 3.3’de gösterilen H, profil ve yüzey bilgisi için kullanılır.



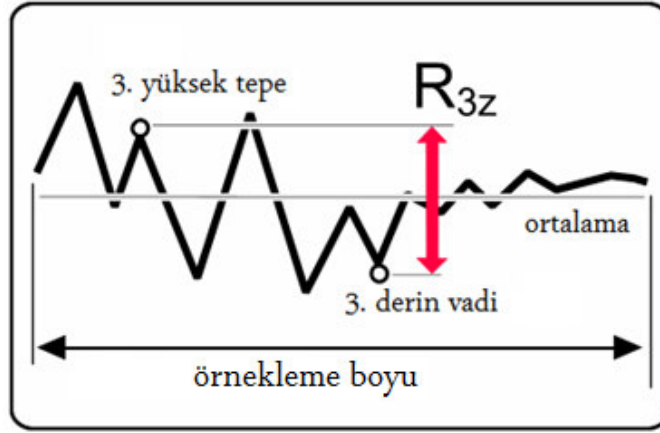
Şekil 3.3: H Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

ISO düzlüğü: Yüzeysel düzlük sapmasıdır. Tam düzlükten olan yüzeysel sapmanın ölçüsüdür. Chebychev kuralı ile hesaplanan iki paralel düzlem arasındaki mesafedir. Chebychev kuralı ile matematiksel olarak, bir yüzeydeki iki düzlem arası mesafe mümkün olduğu kadar azaltılır. ISO düzlüğü Şekil 3.4’da gösterilmiştir.



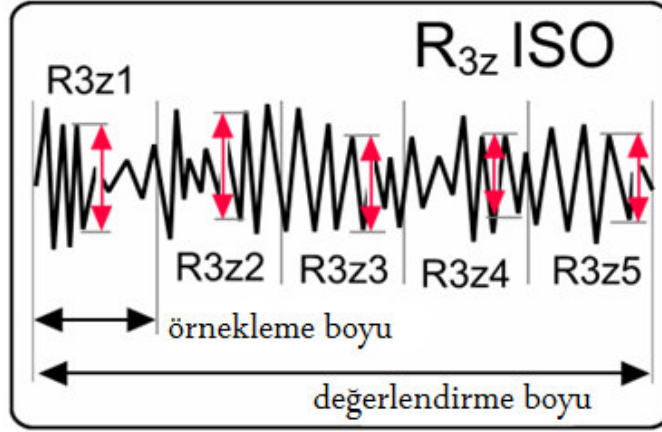
Şekil 3.4: ISO Düzlüğü'nün Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

R_{3z}: Şekil 3.5’de gösterilen bir örnekleme boyunda orta çizgi referans alınarak, üçüncü en yüksek tepe ile üçüncü en derin vadi arasındaki mesafedir.



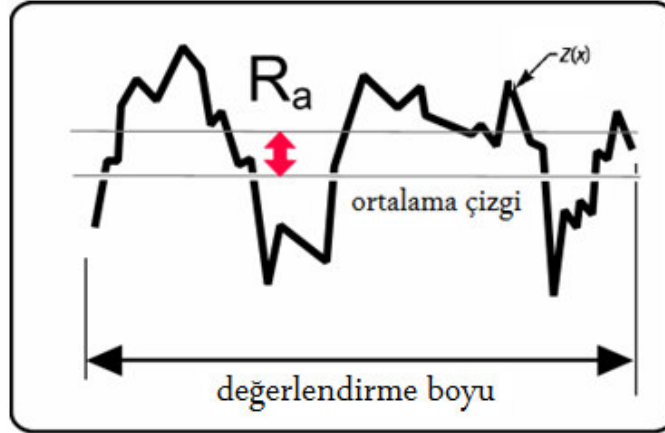
Şekil 3.5: R_{3z} Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

R_{3z} ISO: Her bir örnekleme boyundaki üçüncü en yüksek tepe ile üçüncü en derin vadi arasındaki mesafedir. Şekil 3.6’de gösterilen R_{3z} ISO değeri beş örnekleme boyundan elde edilen değerlerin ortalamasıdır.



Şekil 3.6: R_{3z} ISO Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

Ra: Ortalama çizgi referans alınarak profil sapmalarının aritmetik ortalaması, değerlendirme boyu içerisinde profil sapmaları mutlak değerinin aritmetik ortalamasıdır. Ra Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Ra Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

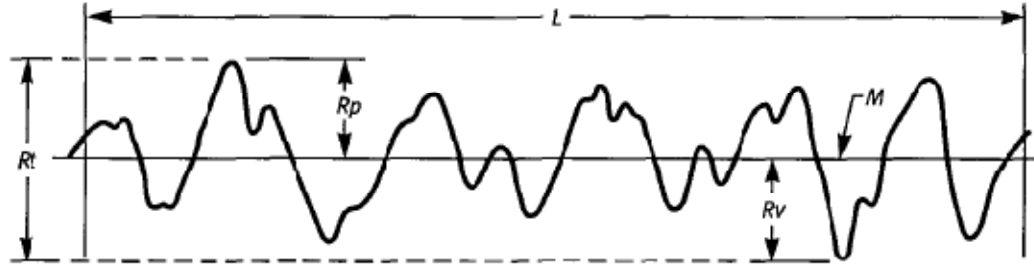
$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (3.1)$$

Rp: Bir örnekleme boyunda, ortalama çizgi ile tepe arasındaki en yüksek uzunluktur.

Rpm ISO: Bir değerlendirme boyunda Rp değerlerinin ortalamasıdır.

Rv: Şekil 3.8’deki bir örnekleme boyunda, ortalama çizgi ile vadi arasındaki en derin derinliktir.

Rvm ISO: Bir değerlendirme boyunda Rv değerlerinin ortalamasıdır.



Şekil 3.8: Rp, Rv ve Rt Parametrelerinin Tanımı (ASME B46.1-2002)

Rt: Şekil 3.8’deki bir değerlendirme boyunda en yüksek tepe ile en derin vadi arasındaki mesafedir.

Rti: Bir örnekleme boyunda en yüksek tepe ile en derin vadi arasındaki mesafedir.

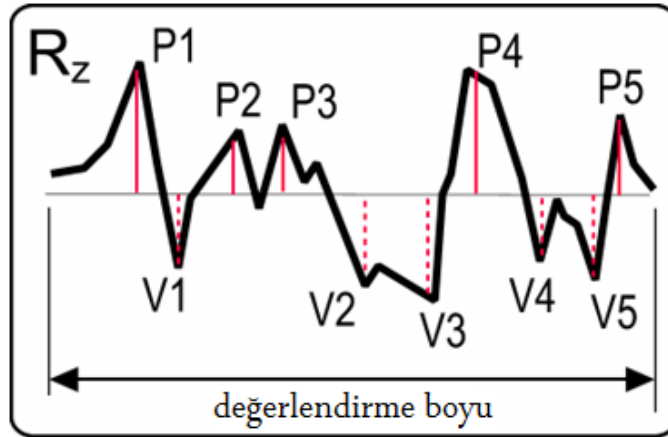
Rtm: Bir değerlendirme boyunda Rti değerlerinin ortalamasıdır.

Ry(Rmax): Bir değerlendirme boyunda en büyük Rti değeridir.

Rq(r.m.s): Ortalama çizgi referans alınarak profil sapmalarının karelerinin ortalamalarının kare köküdür.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2(x) dx} \quad (3.2)$$

Rz: On nokta yüksekliğidir. Şekil 3.9’deki değerlendirme boyunda en derin beş vadi ile en yüksek beş tepenin ortalamasıdır.



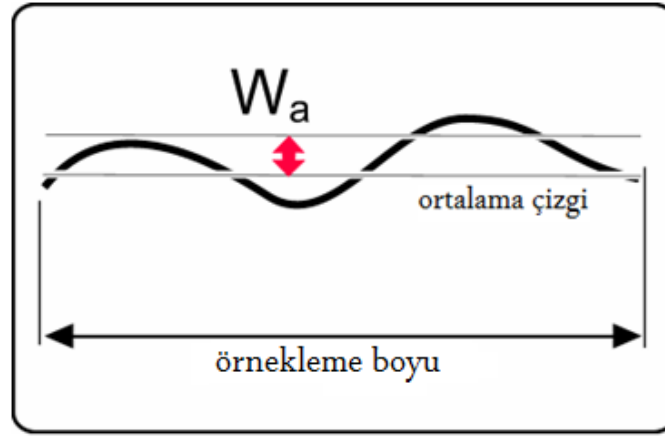
Şekil 3.9: Rz Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

$$R_z = \frac{(P1+P2+\dots+P5)-(V1+V2+\dots+V5)}{5} \quad (3.3)$$

Rsk: Değerlendirilen profilin çarpıklığı, örnekleme boyu içinde $z(x)$ değerinin üçüncü kuvvetinin ortalamasının R_q değerinin üçüncü kuvvetine bölünmesi ile bulunur.

3.3 Dalgalılık Parametreleri

Wa: Ortalama çizgi referans alınarak dalgalılık sapmalarının aritmetik ortalamasıdır. Wa Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Wa Parametresinin Tanımı (Zygo İnternet, 2005)

$$W_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (3.4)$$

Wq: Ortalama çizgi referans alınarak dalgalılık sapmalarının karelerinin ortalamalarının kareköküdür.

$$W_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2(x) dx} \quad (3.5)$$

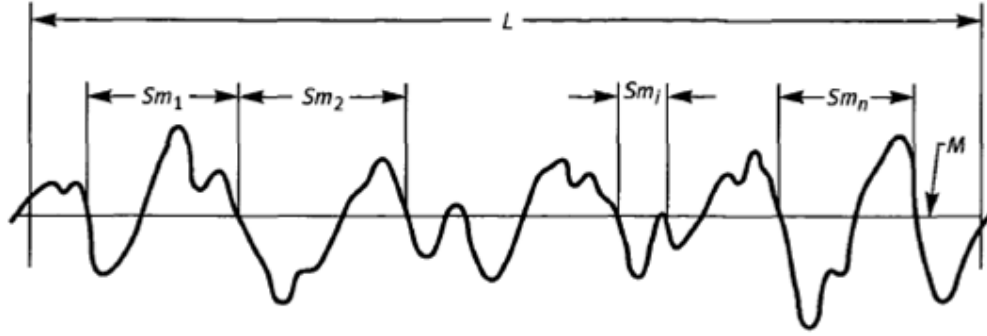
3.4 Aralık Parametreleri

S: Bir değerlendirme boyunda yerel profil tepeleri aralığının ortalama değeridir.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (3.6)$$

Sm: Şekil 3.11'deki ortalama çizgi referans alınarak profil düzensizliklerinin ortalama aralığıdır.

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (3.7)$$

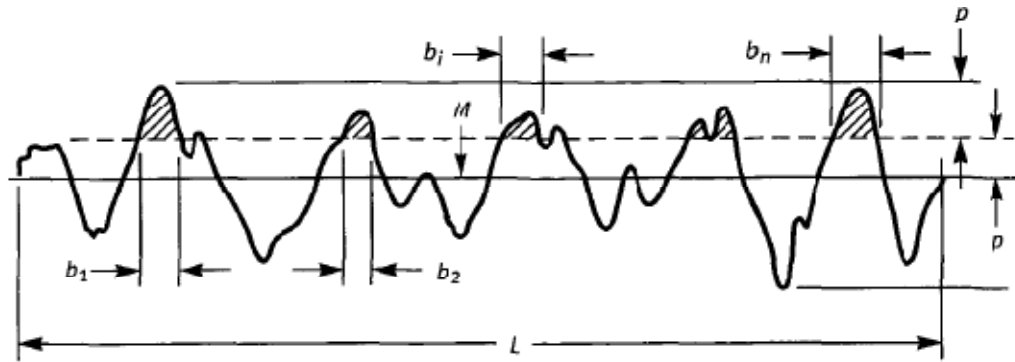


Şekil 3.11: Sm Parametresinin Tanımı (ASME B46.1-2002)

3.5 Karma Parametreler

n_p : Profil taşıyıcı uzunluğu, verilen herhangi bir seviyede ve değerlendirme boyunda en küçük kareler ortalama çizgisine paralel çizilen bir çizgiyle profil tepelerini keserek elde edilen kesit uzunluklarının toplamıdır. n_p Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

$$n_p = b_1 + b_2 + \dots + b_n \quad (3.8)$$



Şekil 3.12: n_p Parametresinin Tanımı (Asme B46.1-2002)

t_p : Malzeme oranı, profil taşıyıcı uzunluğunun değerlendirme boyuna bölümüdür. Genellikle yüzde olarak verilir.

$$t_p = \frac{n_p}{L} \times 100 \quad (3.9)$$

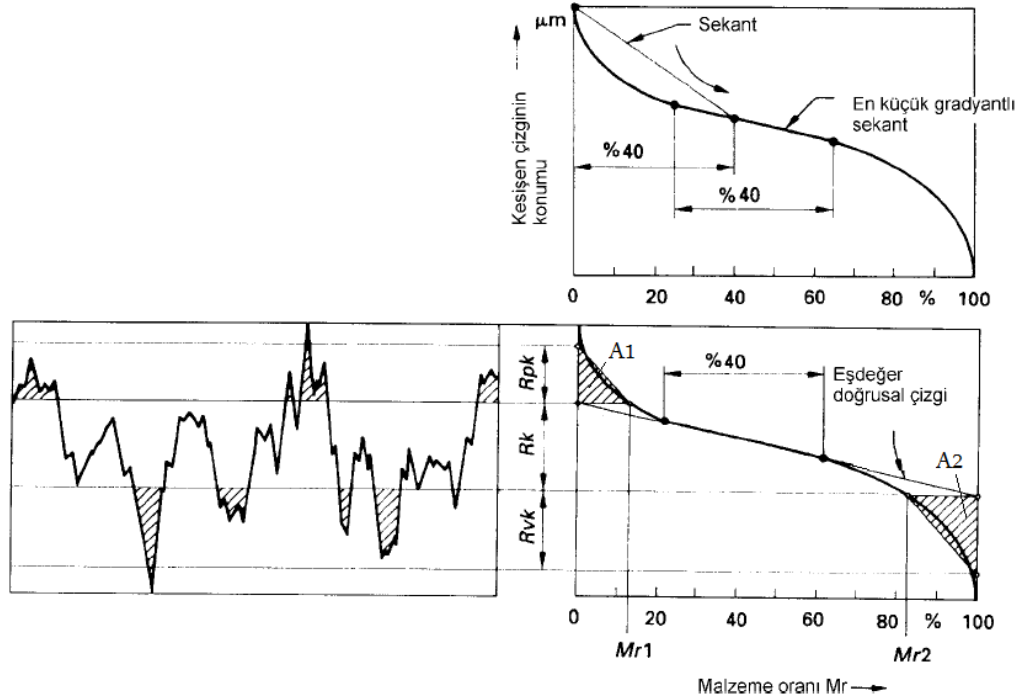
Rk: Referans yüzeyin diğer yüzey ile çalışacak kısmıdır. İlk çalışma süresinden(rodaj) sonra yükü taşıyan, malzemenin ömrünü ve performansını belirleyen orta tabaka yüzey pürüzlülük derinliğidir.

Rpk: Orta tabaka yüzey pürüzlülük profilinin üzerinde tepelerin olduğu üst kısımdır. İlk çalışma süresinden sonra aşınarak kaybolur.

Rvk: Orta tabaka yüzey pürüzlülük profilinin altında vadilerin olduğu en alt kısımdır, yağlayıcıyı tutan bölgedir.

Mr1: Rpk ve Rk değerlerinin kesiştiği ve orta tabaka yüzey pürüzlülük profilinin üst limiti olan malzeme oranıdır.

Mr2: Rvk ve Rk değerlerinin kesiştiği ve orta tabaka yüzey pürüzlülük profilinin alt limiti olan malzeme oranıdır.



Şekil 3.13: Rk, Rpk ve Rvk Parametrelerinin Tanımı (TS EN ISO 13565-2)

Eşdeğer doğrusal çizginin belirlenmesi: Şekil 3.13’de gösterildiği gibi Mr1 % 0’den başlayarak çizilen % 40 sekant çizgisi malzeme oranı eğrisi boyunca en küçük gradyana sahip bölgeye ulaşıncaya kadar kaydırılır. Ulaşılan bu merkezi bölgedeki % 40 sekant çizgisi referans alınarak doğrusal bir çizgi belirlenir.

Çizilen bu eşdeğer doğrusal eğri Mr % 0’da ve Mr % 100’de apsisi keser. Kesişme noktalarından x-eksenine paralel çizilen çizgilerle Rk belirlenmiş olur.

A1: Yüksekliği Rpk olan dik üçgenin alanı, tepe alanıdır. Bu alan malzeme çalıştıkça aşınır ve kaybolur.

A2(Vo): Yüksekliği Rvk olan dik üçgenin alanıdır. Bu çukur alanı malzeme yüzeyinde yağlayıcıyı tutan bölgedir.

4. DENEYSEL YÖNTEM

4.1 Ölçüm Yöntemi Seçimi ve Sistem Gereksinimleri

Güç silindiri tasarımının yağ tüketimine etkisi araştırılmak istendiğinde, tek bir motorda yapılan tasarım değişikliklerinin etkisini, geleneksel yağ tüketimi ölçüm tekniklerini kullanarak görmek çok zordur. Çünkü motorda bir tane yağ karteri vardır ve tüm güç silindiri parçaları bu yağ deposundan beslenirler. Dolayısıyla klasik yöntemlerle farklı motorlar karşılaştırılabilir ancak bir motorun farklı güç silindiri tasarımları karşılaştırılmaz. Bunun yanında farklı yük ve hız şartlarında güç silindiri tasarımının etkisini hızlı bir şekilde görebilmek için yağ tüketiminin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi gereklidir. Aksi halde klasik yöntemlerle her hız ve yük noktasında yağ tüketimi ölçmek çok zahmetli ve uzun zaman alan bir iş olacaktır. Bu çalışmanın amacı olan altı silindirli bir dizel motorunun ilk üç silindirini kaba yüzey pürüzlülüğünde son üç silindirini de hassas yüzey pürüzlülüğünde honlayıp, bu farkın farklı hız ve yük koşulları altında yağ tüketimine etkisini görebilmek için yağ tüketiminin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi yani izleme yöntemlerinden birinin kullanılması zorunludur.

Bu noktada hangi izleme yönteminin bu amaç için uygun olacağı yapılan literatür araştırmaları ışığında belirlenmiştir.

Hanaoka ve diğ.(1979) göre egzoz gazında izlenecek madde olarak yağ içerisine sonradan eklenen bir element seçildiğinde yağlayıcının yağlama karakteristiği bozulabilir. Bu nedenle izlenecek maddenin yağlayıcı içerisinde doğal olarak bulunması gerekli görülmüştür. Buna göre Hanaoka ve diğ.(1979) izlenecek maddeleri kükürt(S), azot(N), kalsiyum(Ca), magnezyum(Mg), fosfor(P) ve çinko(Zn) olarak sınırlandırmışlardır. Ayrıca radyoaktif izleme tekniğinde radyoaktif elementler kullanıldığından özel güvenlik tedbirleri alınması gerekliliği, yağa eklenen radyoaktif maddenin yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek yağın farklı bir yağlama karakteristiğine sahip olabilme ihtimali ve etiket maddenin

pahalı olması ve radyoaktif kirliliğe neden olması bu yöntemin dezavantajları olarak giriş bölümünde belirtilmiştir.

Eğer yanma ürünleri olan izleyici maddeler egzoz gazında sıvı ya da katı fazda kalırlarsa bu maddeler yanma odasında veya egzoz hattında birikebilirler ve egzoz gazında izlenmeleri güçleşir. Bu nedenle metalik elementler olan Ca, Mg ve Zn izleyici olarak kullanılamaz. Azot hava içerisinde bulunup yanma esnasında oksijen ile birleşerek NOx'leri oluşturduğundan ve fosforunda yanma ürünü olarak yanma sırasındaki davranışı net olmadığından bu iki elementinde izleyici olarak kullanılmaları uygun görülmemiştir (Hanaoka ve diğ., 1979).

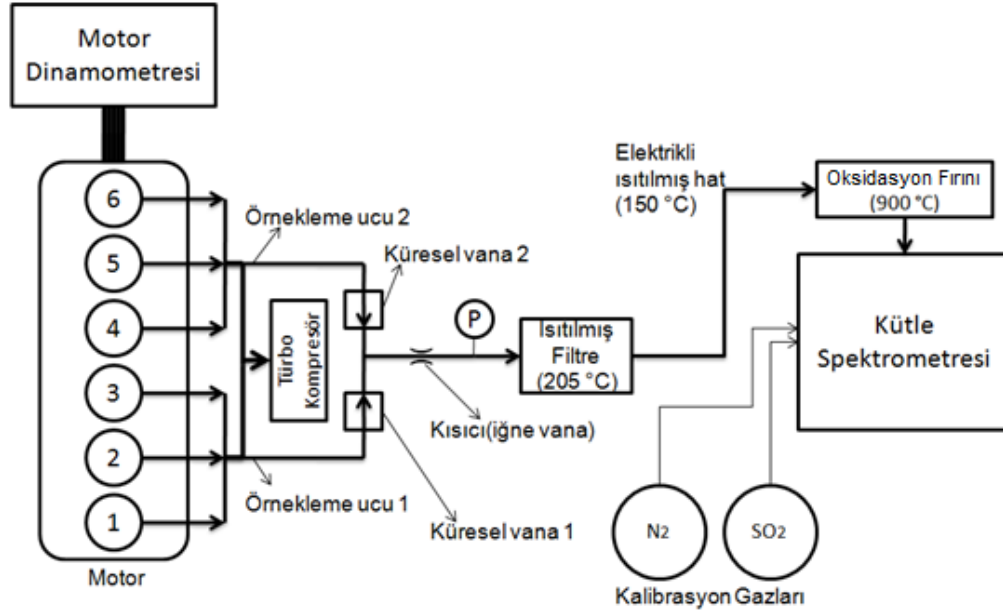
Yapılan değerlendirmeler ışığında izlenen madde olarak yağ içerisinde doğal olarak bulunan ve yağ ile beraber buharlaşıp yanabilen kükürt seçilmiştir. Ayrıca kükürdün yandıktan sonra SO₂'ye dönüşmesi de egzoz gazında izlenebilirliği açısından avantajlıdır.

Bunun yanında yapılan deneyler, aynı motorun farklı günlerde yapılan testlerinin yağ tüketim sonuçlarının tekrarlanabilirliğinin istenildiği kadar iyi olmadığını göstermiştir.

Gilles ve diğ. (2007) göre modern dizel motorlarında yağ tüketiminin aynı noktalarda tekrarlanabilirliği, motorun karmaşık sistemleri nedeniyle düşüktür. Ayrıca motorun belirli bir çalışma noktasında yağ tüketimi ölçümü yapılırken motorun kararlılığa ulaşması için yeterli süre beklenilmediğinde bu noktadaki yağ tüketimi bir önceki çalışma noktasından etkilenebilir. Örneğin motor uzun süre düşük yük ve hızda çalışılıp sonra yüksek güçlere çıkıldığında birkaç dakika motorun yağ tüketimi kararlı halden yüksek gözükebilir. Bunun nedeni düşük yükteki düşük sıcaklıklarda yağın segman yuvalarında, yanma odasında ya da egzoz manifoldu çeperinde birikerek yüksek sıcaklığa maruz kaldığında birden buharlaşması olabilir. Bu nedenle yüksek bir tekrarlanabilirlik için aynı şartlarda ve şekilde test yapılmalı ve istenen çalışma noktasına gelindiğinde birkaç dakika beklenilmelidir.

Bunun üzerine silindir yüzey pürüzlülüğü farkının yağ tüketimine etkisini görebilmek için altı silindirli tek bir motorun üç silindiri farklı işlenip bu üç silindirin egzoz gazı numunesi ayrı diğer üç silindirin egzoz gazı numunesi ayrı bir şekilde alınmıştır. Bu şekilde aynı çalışma koşullarında her iki üçlünün de yağ tüketimi

ölçülebilinmiş ve hatalar en aza indirilmiştir. Aşağıda test sistemi Şekil 4.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Test Sistemi Şeması

4.1.1 Motor Yağı

Motorun yağ tüketimi ölçümünde izleme yöntemlerinden kükürt izleme tekniği kullanıldığında sonucun yüksek doğrulukta olabilmesi için özel yüksek kükürtlü motor yağına ihtiyaç vardır. Egzoz gazındaki SO₂ miktarı yağ tüketimini temsil ettiğinden yağ içerisinde olabildiğince fazla kükürt olmalı ancak bu kükürt yağ içerisinde homojen dağılmış olmalı ve yağ ile beraber buharlaşmalıdır. Kükürt yağ içerisinde homojen olarak dağılmamışsa ya da yağ ihtiva edebileceği miktardan daha fazla kükürde sahipse ölçümde bazı hatalar ortaya çıkabilir. Örneğin sülfür içeren bileşenler yağ tüketilmediği halde yağlayıcıdan buharlaşarak ayrılabilirler ve böylece egzoz gazı örneğinde belirlenen SO₂ miktarı yağ tüketim miktarını doğru bir şekilde temsil edemez (Ariga ve diğ., 1992). Ayrıca yağ içerisindeki kükürt konsantrasyonunun yağın tribolojik özelliklerini değiştirmemesi ve deney süresinde sabit kalması gerekmektedir (Gül, 2007).

Bu bilgiler ışığında deneylerde kullanılacak yağın, içerisinde sonradan kükürt katılarak oluşturulmuş ya da firmadan özel olarak talep edilmiş bir yağ olması durumunda sonuçları etkileyeceği düşünülmüş ve piyasada satılan yağlardan uygun olanının seçilmesine karar verilmiştir.

Deneylerde piyasada bulunabilen Opet Turbo Premium X5 15W 40 marka kütleli olarak 10000 ve 13000 ppm kükürt içeren yağlar kullanılmıştır. Yağların kükürt analizleri Ford Otosan laboratuvarında yapılmış ve Ek A ve B’de analiz sonuçları verilmiştir.

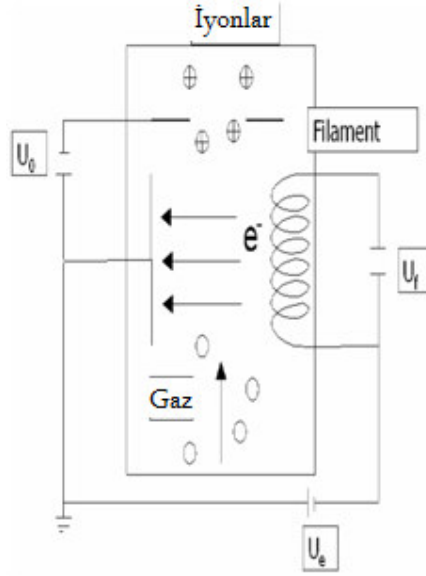
4.1.2 Deney Yakıtı

Yağ tüketim ölçümünde iz bırakan madde olarak kükürdün kullanılması egzoz gazının bir diğer kaynağı olan yakıtın seçilebilecek en düşük sülfür içeriğine sahip olması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun için en düşük kükürt içerikli yakıt ve buna ek olarak diğer yakıtlarla aynı özelliğe sahip bir yakıt seçilmesi gerekmektedir (Ariga ve diğ., 1992).

Deneylerde ilk olarak Ford Otosan’dan getirtilen çok düşük kükürtlü sentetik yakıtlar kullanılmıştır. Ancak bu yakıtların uzun süre bekletilmelerinden ya da başka bir nedenden dolayı bozuldukları anlaşılmıştır. Daha sonra yine kütleli olarak 0,5 ve 0,6 ppm’lik kükürt içeren test yakıtları Ford Otosan’dan getirtilmiş ve nihai testlerde bu yakıtlar kullanılmıştır. Yakıtların kükürt analiz sonuçları Ek C ve D’de verilmiştir.

4.1.3 Kütle Spektrometresi

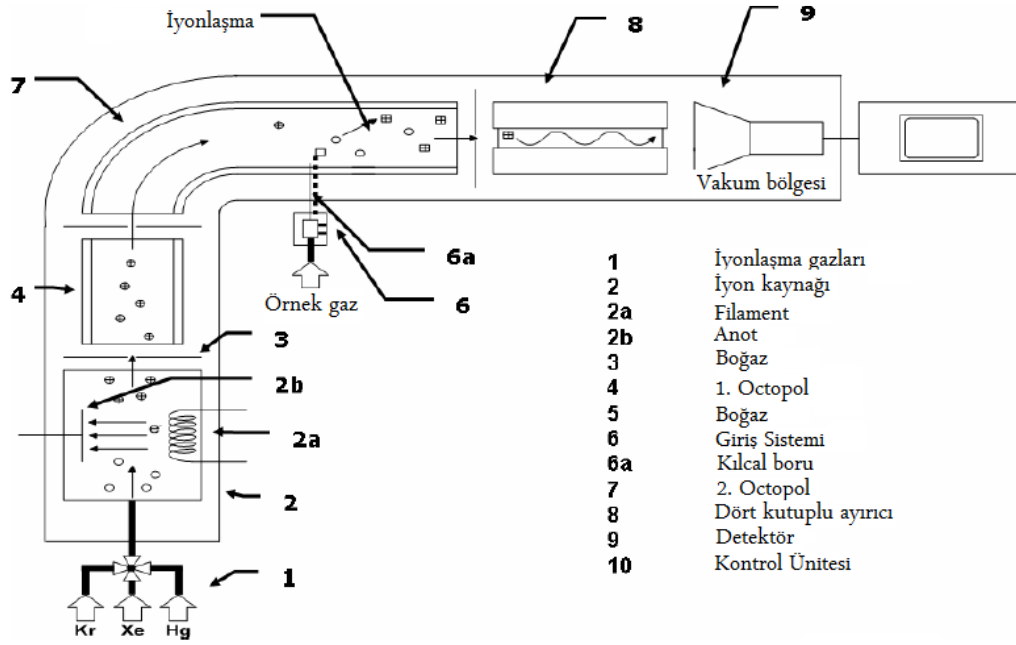
Deneylerde V&F Twin – MS marka kütle spektrometresi kullanılmıştır. Kütle spektrometresi, konsantrasyonu belirlenecek molekülün ağırlığına göre, iyonizasyon gazı ile iyonize eden ve elde ettiği iyonların enerjilerini belirleyip bu bilgiyi miktara dönüştüren bir cihazdır. Her molekülün kütlelerine göre farklı iyonlaşma enerjileri olması prensibine göre örnek gazdaki miktarı belirlenmesi istenen molekül uygun bir iyonizasyon gazı ile iyonize edilerek özellikli bir enerji yüklenmiş olur. Twin – MS iyonizasyon gazları olarak ksenon (Xe), kripton (Kr) ve cıvayı (Hg) kullanmaktadır. SO₂ için uygun olan iyonizasyon gazı ise ksenondur. Kütle spektrometresinde ilk olarak iyonizasyon gazı filamentten geçerek Şekil 4.2’de gösterilen 70 (eV)’luk elektronlarla iyonize olur. Örnek gaz doğrudan elektron etki iyonizasyonuna maruz bırakılmaz çünkü bu tip iyonlaşmada moleküllerin parçalanma olasılığı vardır.



Şekil 4.2: Elektron Etki İyonlaşması (MS₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005)

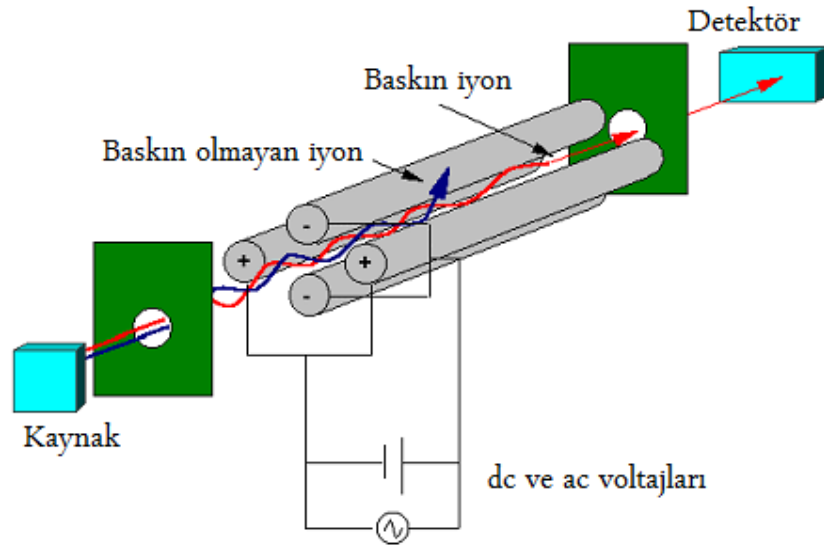
İyonize olan Xe (12 – 13 eV) gazı birinci Octopol'den geçirilerek hızlandırılır. Örnek gaz ise ikinci Octopol'ün ortasında, iyonlaşmış olan Xe ile doğal kimyasal tepkimeye girerek uygun iyonlaşma enerjisindeki molekülleri iyonize olur. Bu tür iyonlaşmaya iyon molekül reaksiyonu ya da doğal iyonlaşma denir. Bu sayede moleküller düşük enerjili iyonizasyon gazlarına maruz bırakılarak parçalanma olasılıkları ortadan kaldırılır. Twin – MS çalışma prensibi Şekil 4.3'de şematik olarak gösterilmiştir.

İyonize olan örnek gaz molekülleri ikinci Octopol'de hızlandırılarak dört kutuplu bir ayırıcıya gönderilir. Bu iki artı ve iki eksi dört kutuplu ayırıcıdaki manyetik alan yardımı ile seçilmiş olan istenilen moleküller ayrılır ve detektöre gönderilirler.



Şekil 4.3: Twin – MS Çalışma Prensiplerinin Şematik Gösterimi (MS₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005)

Şekil 4.4’de gösterilen dört kutuplu ayırıcı seçilmiş iyonları z ekseninde yönlendirir ve iyonlaşma enerjileri uygun olmayan diğer tüm iyonlar bu yoldan saptırılır. Detektöre ulaşan iyonize moleküller yüklendikleri enerjilerine göre bir elektrik sinyali meydana getirirler ve bu sinyal kontrol ünitesinde miktara dönüştürülür.



Şekil 4.4: Dört Kutuplu Ayırıcı (MS₄ Ford Otosan Eğitimi, 2005)

4.1.3.1 Kütle Spektrometresinin Teknik Özellikleri

Kütle spektrometresinin teknik özellikleri aşağıdaki Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1: Kütle spektrometresinin teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	0 – 500 amu (atomik kütleli birim)
Ölçüm süresi	10 – 6500 ms/amu
En düşük ölçüm limiti	< 1 ppb benzen
Doğruluk	< ± %2 1 ppm benzen için
Tekrarlanabilirlik	< ± %3 1 ppm benzen için
Çalışma sıcaklığı	20 – 40 °C
Gaz giriş sıcaklığı	80 – 190 °C
Gaz tüketimi	30 – 250 ml/d (ayarlanabilir)
Nem	% 80 maksimum
Gerekli güç	220 V / 50 Hz, 1250 W
Boyutları	590×650×1000 mm
Ağırlığı	125 kg

4.1.4 Örnekleme Hattı

Hanoka ve diğ. (1979) göre 100 °C’nin altında kalan örnekleme hattı sıcaklıklarında SO₂’nin, yoğunlaşan su içerisinde çözüneceği belirtilmiş ve bu nedenle motordan analizöre kadar olan hattın sıcaklığının 100 °C’nin üstünde olması gerekliliği doğmuştur. Bu amaç için hattın sıcaklığını 150 °C’de tutabilen elektrikli bir ısıtma hattı kullanılmıştır.

Ayrıca egzoz gazındaki is partiküllerinin örnekleme hattına ve analizöre zarar vermemesi için egzoz manifoldunun çıkışında egzoz gazı deneyler süresince 205 °C’ye ısıtılmış filtreden geçirilmiştir.

4.1.5 Oksidasyon Fırını

Egzoz gazındaki SO₂ miktarı tüketilen yağı temsil ettiğinden, doğru bir ölçüm için egzoz manifoldundan çıkan bütün kükürlü bileşiklerin SO₂’ya dönüştürülmesi gereklidir.

Bunun yanında Ariga ve diğ. (1992) göre motor çevriminde %98 oranındaki sülfür SO_2 'ye, % 1'i SO_3 'e ve geri kalan %1'lik kısımda is oluşumuna katılır. Bu yüzden ölçümdeki SO_3 ve SO_4 'ün etkisi önemsizdir.

Ancak incelenen diğer makaleler ışığında egzoz gazındaki tüm kükürtlü bileşikler (SO_3 , SO_4 ve H_2S) SO_2 'ye dönüştürerek ölçüm hatasını en aza indirmek için, örnek gazı 900 °C'ye ısıtan A Measurement Technologies Model 1000 marka termal oksidasyon fırını kullanılmıştır.

4.1.6 Motor Dinamometresi

Yakıt ve yağ analiz testleri hariç bu tez için yapılan bütün deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi, Motorlar Taşıtlar Laboratuvarı, Otomotiv Teknoloji Araştırma Geliştirme Merkezi egzoz emisyonu ölçme odasında yapılmıştır. Odadaki motor dinamometresi Antriebstechnik Sachsen marka, 530 kW güç, 2000 Nm tork ve hızı 6000 d/d'ya kadar olan motorları test edebilmektedir. Motora ve uygun yerlere monte edilen sensörler yardımı ile motor gücü, dönme sayısı, torku, giren hava debisi, yakıt debisi, motor yağı sıcaklığı, motor suyu sıcaklığı, ara soğutucu giriş ve çıkış sıcaklıkları, emme havası basıncı gibi değerler dinamometre odasının yanında bulunan kontrol odasındaki bilgisayarlardan takip edilip kayıt altına alınabilmektedir.

4.1.7 Deney Motorunun Özellikleri

Yapılan deneylerde 9 l, türbo kompresörlü ve ara soğutuculu Ford ECOTORQ ağır hizmet motoru kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Altı silindirli motorun orijinal egzoz manifoldu değiştirilerek, ilk üç ve son üç silindir gruplarının egzoz gazlarını örnekleyebilecek hale getirilmiştir. Bu şekilde ilk üç ve son üç silindir gruplarının egzoz gazları motorun türbo kompresöründe karışmadan önce örneklenebilmiştir. Bir adet tüm silindirleri ince plato honlama ile işlenmiş silindir bloğu (Motor A) ile ilk üç silindiri kaba son üç silindiri ince plato honlama ile işlenmiş (Motor B) motorlar test edilmiştir.

Tablo 4.2: Deney Motorunun Özellikleri

Motor Konfigürasyonu	6 sıra silindir
Yakıt Sistemi	Common Rail DI Dizel (1800 bar)
Egzoz Sistemi	Türbo kompresörlü, ara soğutuculu
Çap	115 mm
Strok	144 mm
Toplam Strok Hacmi	8.9741
Maksimum Basınç	190 bar
Efektif Güç	295 kW (395 Hp) 2200 d/d
Maksimum Tork	1600 Nm 1300 d/d
İşlevsel Maksimum Devir Sayısı	2200 d/d
Maksimum Devir Sayısı	3100 d/d
Valf Sistemi	Silindir başına dört valf

Aşağıda Tablo 4.3’de ilk üç ve son üç silindirleri farklı şekilde honlanmış olan motorun silindir bloğunun yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3: Silindirleri Farklı Honlanmış Motorun (Motor B) Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Silindir No	Ra (µm)	Rz (µm)	Rpk (µm)	Rk (µm)	Rvk (µm)	Mr ₁ (%)	Mr ₂ (%)
1	1,00	6,84	0,44	1,70	3,19	5,74	72,48
2	1,15	7,24	0,31	1,73	3,43	4,56	69,53
3	1,10	7,23	0,35	1,71	3,43	5,34	71,41
Ortalama	1,08	7,10	0,37	1,71	3,35	5,21	71,14
4	0,46	4,36	0,32	0,62	1,85	10,43	75,59
5	0,30	3,25	0,27	0,40	1,37	11,14	77,09
6	0,45	4,55	0,37	0,54	1,95	10,75	76,07
Ortalama	0,40	4,05	0,32	0,52	1,72	10,77	76,25

4.1.8 Kalibrasyon Gazları

Kütle spektrometresinin kalibrasyonu amacı ile sıfır kükürtlü gaz olarak azot ve örnek gaz olarak 2.1 ppm’lik(hacimsel) kükürt içeren azot – kükürt karışımı kullanılmıştır.

4.2 Kabuller

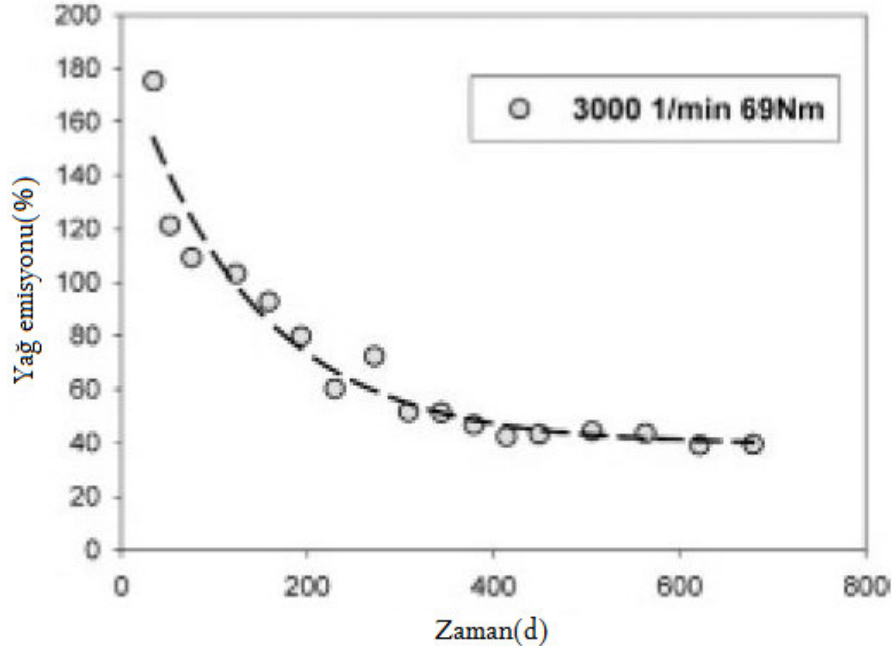
Ölçümler ve hesaplamalar sırasında şu kabuller yapılmıştır.

- Kükürt yağlayıcı içerisinde homojen olarak dağılmıştır.
- Deney boyunca yağ içerisindeki kükürt konsantrasyonu sabittir.
- Örnek gazdaki bütün kükürt bileşikleri, oksidasyon fırınında SO_2 'ye dönüşür.
- Motorun Common Rail yakıt sistemi tüm silindirlere eşit miktarda yakıt gönderir.
- Deney yapılan ortam havasındaki kükürt miktarı sıfırdır.

4.3 Ölçüm Yöntemi Prosedürü

Deneyde motor A ve motor B'nin her üç silindirinin yağ tüketimi ölçümleri yapılmıştır. İlk önce tüm silindirleri aynı hassaslıkta işlenmiş motor A'nın ilk üç ve son üç silindirinin yağ tüketimleri aynı çalışma şartlarında ölçülmüştür. Motor A'dan elde edilen bu değerler, motor B deneyi için referans kabul edilmiştir. Örneğin motor B'de iki üçlü silindir grubu arasında görülen yağ tüketim farkı, aynı koşullarda motor A'da görülen farktan büyükse, motor B'nin bu iki grubu arasında yağ tüketimleri açısından fark vardır denilmiştir.

Motorlar Ford Otosan İnönü Tesislerinde toplanıp rodajları yapıldıktan sonra İtü OTAM Otomotiv Teknoloji Araştırma Geliştirme Merkezine getirilmiş ve motor emisyon laboratuvarındaki dinamometrede testleri yapılmıştır. Asıl testlere başlanılmadan önce OTAM dinamometresinde motor A farklı testlerde kullanılmış ve 75 saat çalıştırılmıştır, motor B ise fabrikadaki rodajından başka OTAM dinamometresinde 5 saat çalıştırılmıştır. Appel ve diğ (2006) yaptıkları çalışmada yeni üretilen bir motorun yaklaşık 6 saat sonunda(Şekil 4.5) rodajının tamamlandığını belirtmişlerdir. Rodajı tamamlanan motorlar yağları ve yağ filtreleri değiştirildikten sonra bir saat kadar daha çalıştırılmışlardır. Motorun yağ sıcaklığı 90 °C'ye geldikten sonra ölçüm alınmaya başlanmıştır.



Şekil 4.5: Yeni Üretilen Motorun Rodajı Sırasında Yağ Emisyonunun Zamanla Değişimi (Appel ve diğ., 2006)

Ölçüm alınmaya başlanılmadan önce kütle spektrometresi sıfır gazı ve 2.1 ppm'lik örnek gaz ile otomatik olarak kalibre edilmiştir. Daha sonra test matrisinde yükün ve devirin değiştiği her noktada örnek gaz ile kalibrasyon tekrarlanmıştır. Ancak bir yük ve devir noktasında silindir 1 – 3'den silindir 4 – 6'ya geçerken kalibrasyon değiştirilmemiştir. Bir yük ve devir noktasına gelindiğinde 1,5 dakika motorun bu noktada kararlılığa ulaşması için beklenilmiş daha sonra bir üçlü silindir grubundan 1 dakika boyunca kütle spektrometresi ile egzoz gazı numunesindeki SO₂ miktarı ve aynı anda motordaki sensörler yardımı ile yakıt debisi, hava debisi ve motor gücü ve torku bilgisayara kaydedilmiştir. Vana pozisyonları değiştirildikten sonra yarım dakika daha beklenilmiş ve diğer üçlü grubundan da 1 dakika ölçüm alınmıştır. Bu şekilde bir noktadaki ölçüm süresi yaklaşık 5 dakikadır. Ölçüm alınırken bir kısıcı iğne vana ve basınç sensörü ile örnekleme hattındaki rölatif basıncın 300 milibar civarında kalması sağlanmıştır. Rölatif basıncın 300 milibarin üzerine çıktığı durumlarda oksidasyon fırınının veriminin düştüğü ve kütle spektrometresinin giriş valflerinin bu basınçtan olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Ayrıca motorlar sadece güç silindiri tasarımı yönünden karşılaştırıldığından, farklı silindir gruplarından kaynaklanan gaz akışı miktarının sonuçları etkilememesi için pozitif karter havalandırması (PCV) kanalı emme havasına gönderilmemiştir.

Motor A için test matrisi Tablo 4.4’de ve Motor B için test matrisi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Motor A İçin Test Matrisi

Test No	Vana Pozisyonu	Hız (d/d)	Yük(%)
1	Silindir 1 – 3	1000	50
2	Silindir 4 – 6	1000	50
3	Silindir 4 – 6	1600	100
4	Silindir 1 – 3	1600	100
5	Silindir 1 – 3	1600	50
6	Silindir 4 – 6	1600	50
7	Silindir 4 – 6	2200	100
8	Silindir 1 – 3	2200	100
9	Silindir 1 – 3	2200	50
10	Silindir 4 – 6	2200	50

Tablo 4.5: Motor B İçin Test Matrisi

Test No	Vana Pozisyonu	Hız (d/d)	Yük(%)
1	Silindir 1 – 3	1000	50
2	Silindir 4 – 6	1000	50
3	Silindir 4 – 6	1600	100
4	Silindir 1 – 3	1600	100
5	Silindir 1 – 3	1600	75
6	Silindir 4 – 6	1600	75
7	Silindir 4 – 6	1600	50
8	Silindir 1 – 3	1600	50
9	Silindir 1 – 3	2200	100
10	Silindir 4 – 6	2200	100
11	Silindir 4 – 6	2200	75
12	Silindir 1 – 3	2200	75
13	Silindir 1 – 3	2200	50
14	Silindir 4 – 6	2200	50

4.4 Hesap Yöntemi

İstenilen motor hızı ve yük noktalarında ölçüm alındıktan sonra bu değerler g/h olarak yağ tüketimi değerine çevrilmiştir. Kütle spektrometresinden ppm olarak okunan egzoz gazındaki hacimsel SO₂ oranı (SO_{2E}) aşağıda anlatılan 4 adımla yağ tüketim değerine çevrilmiştir (Gül, 2007). İlk önce egzoz gazı debisindeki SO₂ miktarı g/h olarak hesaplanmış, sonra egzoz gazı içerisindeki yakıt kaynaklı SO₂ oranı hesaplanmış, daha sonra bu iki değer birbirinden çıkarılarak egzoz gazı içerisindeki yağlayıcı kaynaklı SO₂ oranı hesaplanmıştır. Son olarak da yağ içerisindeki kükürt oranı ve egzoz gazı içerisindeki yağlayıcı kaynaklı SO₂ oranı kullanılarak yağ tüketimine geçilmiştir. Motorun Common Rail yakıt sisteminin her bir silindire eşit miktarda yakıt gönderdiği kabulü ile son bulunan yağ tüketim değeri de ikiye bölünerek her üç silindirin yağ tüketimleri bulunmuştur.

4.4.1 Kütle Spektrometresi İle Egzoz Gazı İçerisindeki SO₂ Oranının Belirlenmesi

$$\dot{m}_E = \dot{m}_H + \dot{m}_Y \quad (4.1a)$$

$$\dot{n}_E = \frac{\dot{m}_E \times 1000}{M_E} \quad (4.1b)$$

$$\dot{m}_{SO_{2E}} = \dot{n}_E \times M_{SO_2} \times S_E \times 10^{-6} \quad (4.1c)$$

Yukarıdaki formüllerde;

$$\dot{m}_E = \text{Egzoz gazı debisi} \quad (\text{kg/h})$$

$$\dot{m}_H = \text{Hava debisi} \quad (\text{kg/h})$$

$$\dot{m}_Y = \text{Yakıt debisi} \quad (\text{kg/h})$$

$$\dot{n}_E = \text{Molar egzoz gazı debisi} \quad (\text{mol/h})$$

$$M_E = \text{Egzoz gazının molekül kütlesi} \quad (\text{g/mol})$$

$$\dot{m}_{SO_{2E}} = \text{Egzoz gazı debisindeki SO}_2 \text{ miktarı} \quad (\text{g/h})$$

$$M_{SO_2} = \text{SO}_2 \text{'nin molekül kütlesi} \quad (\text{g/mol})$$

$$SO_{2E} = \text{Egzoz gazındaki hacimsel SO}_2 \text{ oranı} \quad (\text{ppm})$$

belirtmektedir.

4.4.2 Egzoz Gazı İçerisindeki Yakıt Kaynaklı SO₂ Oranının Hesaplanması

$$\dot{m}_{S,Y} = \dot{m}_Y \times 1000 \times S_Y \times 10^{-6} \quad (4.2a)$$

$$\dot{m}_{SO_2Y} = 2 \times \dot{m}_{S,Y} \quad (4.2b)$$

$\dot{m}_{S,Y}$ = Egzoz gazında yakıttan gelen kükürt debisi (g/h)

S_Y = Yakıttaki kütleli kükürt oranı (ppm)

$\dot{m}_{SO_2Y}$ = Egzoz gazında yakıttan gelen kükürt dioksit debisi (g/h)

4.4.3 Egzoz Gazı İçerisindeki Yağlayıcı Kaynaklı SO₂ Oranının Hesaplanması

$$\dot{m}_{SO_2YAĞ} = \dot{m}_{SO_2E} - \dot{m}_{SO_2Y} \quad (4.3a)$$

$$\dot{m}_{S,YAĞ} = \frac{\dot{m}_{SO_2YAĞ}}{2} \quad (4.3b)$$

$\dot{m}_{SO_2YAĞ}$ = Egzoz gazında yağdan gelen kükürt dioksit debisi (g/h)

$\dot{m}_{S,YAĞ}$ = Egzoz gazında yağdan gelen kükürt debisi (g/h)

4.4.4 Yağ Tüketiminin Hesaplanması

$$\dot{m}_{YAĞ} = \frac{\dot{m}_{S,YAĞ}}{S_{YAĞ} \times 10^{-6}} \quad (4.4a)$$

$\dot{m}_{YAĞ}$ = Yağ tüketimi (g/h)

$S_{YAĞ}$ = Yağdaki kütleli kükürt oranı (ppm)

Yukarıdaki formüller şu şekilde kısaltılabilir;

$$\dot{m}_{YAĞ} = \left[\frac{32 \times (\dot{m}_H + \dot{m}_Y) \times S_E}{M_E \times S_{YAĞ}} - \frac{\dot{m}_Y \times S_Y}{S_{YAĞ}} \right] \times 1000 \quad (4.4b)$$

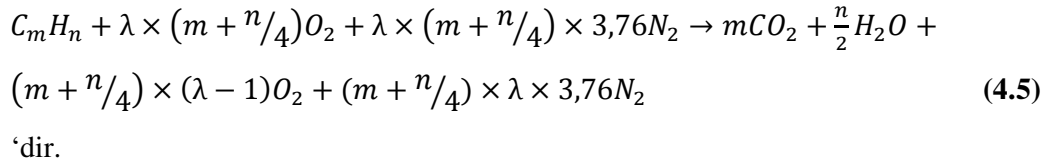
$$\dot{m}_{YAĞ3silindir} = \dot{m}_{YAĞ} / 2 \quad (4.4c)$$

$\dot{m}_{YAĞ3silindir}$ = Her üç silindirin yağ tüketimleri (g/h)

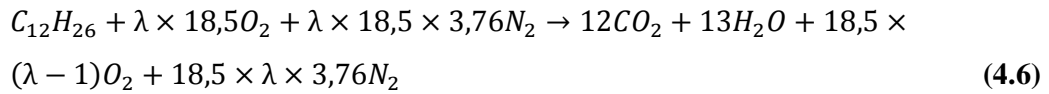
4.4.5 Egzoz Gazının Molekül Kütlesinin Hesaplanması

Egzoz gazındaki SO₂ miktarı kütle spektrometresi ile hacimsel olarak ölçüldüğünden, formül (3.1b)'den anlaşılabacağı gibi egzoz gazının molekül kütlesinin hesaplanması gerekmektedir. Ancak motordaki bağıl hava yakıt oranı(λ) sabit olmadığından egzoz gazının molekül kütlesi de sabit değildir (Gül, 2007). Buna göre motorun en düşük ve en yüksek hava yakıt oranına göre M_E aşağıdaki formüller yardımı ile 28,82 (g/mol) ve 28,7 olarak hesaplanmış ve bu iki değerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca bu iki değer arasındaki farkın yağ tüketim sonuçlarını kayda değer ölçüde etkilemediği görülmüş ve M_E 28,77 (g/mol) olarak kabul edilmiştir.

Gül (2007)'ye göre genel kimyasal yanma denklemi;



Formülde λ bağıl hava yakıt oranı, gerçek hava yakıt oranının teorik hava yakıt oranına bölünmesi ile elde edilir. Dizel yakıt formülü C₁₀H₂₂ ila C₁₅H₃₂ arasında değişmekle beraber, genel olarak kullanılan C₁₂H₂₆ dizel yakıt olarak kabul edilmiştir (Gül, 2007).



Bu formül ışığında egzoz gazı ürünlerinin molekül kütleleri toplanmış ve ürünlerin toplam mol sayısına bölünerek M_E egzoz gazının molekül kütlesi hesaplanmıştır (Gül, 2007).

$$M_E = \frac{12 \times 44 + 13 \times 18 + 18,5 \times (\lambda - 1) \times 32 + 18,5 \times \lambda \times 3,76 \times 28}{12 + 13 + 18,5 \times (\lambda - 1) + 18,5 \times \lambda \times 3,76} \quad (4.7)$$

5. SONUÇLAR

Bu bölümde deney esnasında karşılaşılan problemler, sonuçlar ve sonuçların değerlendirmesi konularına yer verilecektir.

5.1 Karşılaşılan Problemler

Motor A'nın yağ tüketimi deneyleri ilk önce Ford Otosan'dan getirtilen kütleli olarak 0,2 ppm'lik kükürt içeren sentetik yakıtlarla yapılmaya çalışılmış ancak bu yakıtların uzun süre beklemelerinden ya da başka bir sebepten ötürü bozulduğu ve üzerlerinde su tabakası oluştuğu anlaşılmıştır. Bu bozuk yakıtlar motor A'nın yakıt sisteminde tıkanıklıklara yol açmış ve yakıt sistemi değiştirilmek üzere Ford Otosan İnönü tesislerine geri gönderilmiştir. Bundan sonra hem motor A'nın hem de motor B'nin yağ tüketimi deneyleri tekrar Ford Otosan'dan getirtilen kütleli olarak 0,5 ve 0,6 ppm'lik kükürt içeren dizel test yakıtları ile yapılmıştır.

Motorun yağ tüketimi ölçümü türbo kompresörden sonra örnek alınarak yapıldığında örnekleme hattındaki basınç atmosfer basıncı civarlarında olmuş ve bu durum termal oksidasyon fırınına ve kütle spektrometresine zarar vermemiştir. Ancak motorun her üç silindirinin yağ tüketimlerini ayrı olarak görmek istendiğinde, egzoz gazı numunesinin türbo kompresörden önce alınması gerekliliği doğmuştur. Çünkü her üçlü silindir grubundan çıkan egzoz gazları türbo kompresörün içerisinde karışmaktadır. Egzoz gazı numunesi türbo kompresörden önce alındığında ise örnekleme hattındaki basınç çok yükselmiş ve hem oksidasyon fırınının verimini düşürmüş hem de kütle spektrometresinin valflarına zarar vermiştir. Bu nedenle örnekleme hattı basıncı bir basınç sensörü ile izlenmiş ve Şekil 4.1'de gösterilen kısıcı(iğne vana) yardımıyla hattın basıncının bağlı olarak 300 mbar'da kalması sağlanmıştır. 300 mbar civarında hem oksidasyon fırının veriminin düşmediği hem de kütle spektrometresi valflarının zarar görmediği görülmüştür. Bu noktada ortaya çıkan bir diğer sorun motor yüksek hız ve yüklerde çalışırken motor odasına girerek her test noktasında hattın basınç ayarının yapılmasıdır. Bu nedenle motorların test noktaları optimum sayıda sınırlandırılmıştır.

Her üç silindir grubunun yağ tüketimleri Şekil 4.1’de görülen küresel vanalar kullanılmadan yapıldığında, örnekleme ucu bir üçlü silindir grubu egzoz çıkışına bağlanıp bir noktada test yapıldıktan sonra motor kapatılıp soğuması beklenmiş ve örnekleme ucu diğer üçlü silindir grubunun egzoz çıkışına bağlanarak aynı noktanın testi yapılmıştır. Ancak bu durumda motorun yağ tüketiminin bu açıp kapamalardan ve sıcaklık değişimlerinden etkilendiği ve tekrarlanabilirliğin düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle Şekil 4.1’de görülen küresel vanalar kullanılmış ve bu sayede her üçlü silindir grubunun yağ tüketimlerinin motorun çalışma şartları değiştirilmeden ölçülmesi sağlanmıştır.

5.2 Sonuçlar ve Tartışma

Deneyin ilk aşamasında hazırlanan ölçüm sistemin hatalarının görülmesi ve diğer deneye referans olması açısından, tüm silindirleri standart plato honlama ile işlenmiş Motor A’nın ilk üç ve son üç silindirlerinin yağ tüketimleri bölüm 4’de anlatılan yöntemle gerçek zamanlı olarak ölçülmüştür. Bu noktada beklenen sonuç tabii ki aynı yüzey işleme özelliklerine sahip olan silindir gruplarının eşit miktarda yağ tüketmesidir. Motor A’nın yağ tüketimi sonuçları Tablo 5.1’de, Şekil 5.1’de, Şekil 5.2’de, Şekil 5.3’de ve ayrıntılı olarak Ek E’de gösterilmiştir. Ayrıca egzoz gazında kütle spektrometresi yardımıyla görülen SO₂’nin ppm olarak miktarları da Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Motor A’nın Yağ Tüketimleri

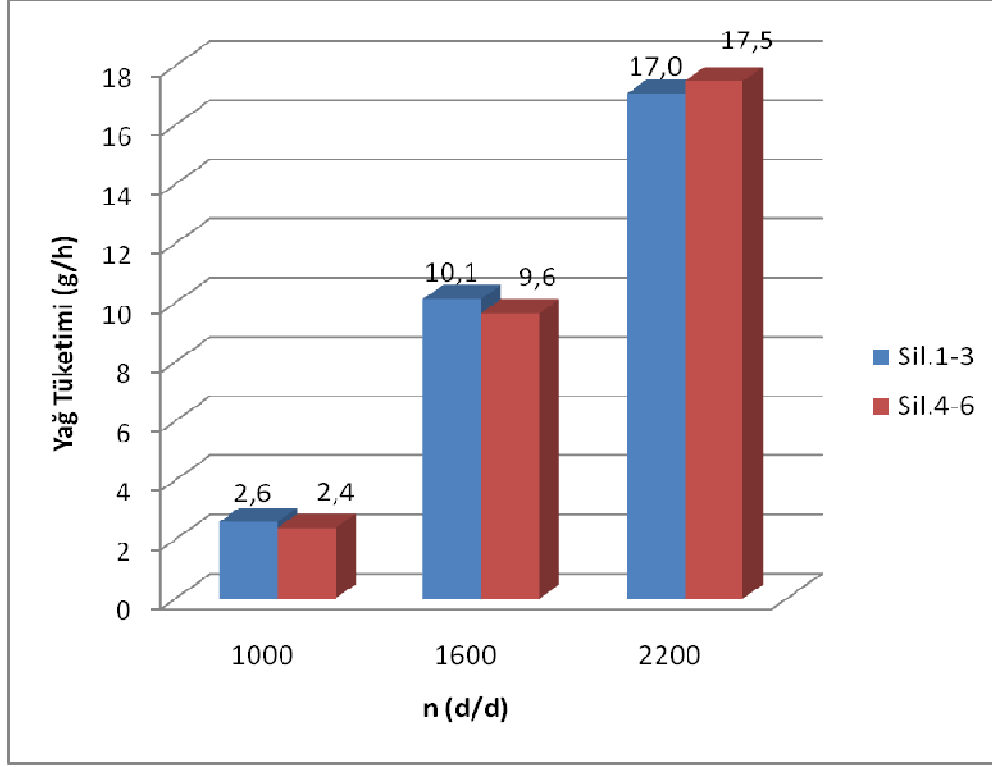
Hız	Yük	Yağ Tüketimi (g/h)		
(d/d)	[%]	Sil. 1-3	Sil. 4-6	Toplam
1000	50	2,6	2,4	5,0
1600	50	10,1	9,6	19,8
1600	100	19,0	18,0	37,0
2200	50	17,0	17,5	34,5
2200	100	34,8	38,2	73,0

Tablo 5.1’den görüleceği üzere Motor A’nın ilk üç ve son üç silindirleri arasındaki yağ tüketim farkı 2200 (d/d) % 100 yük hariç, 1 g/h ve altındadır. 2200 (d/d) maksimum yük noktasında ise ilk üç silindirin son üç silindirden 3,4 (g/h) daha az yağ tükettiği görülmektedir. Bu etkinin motorun su soğutma sisteminden

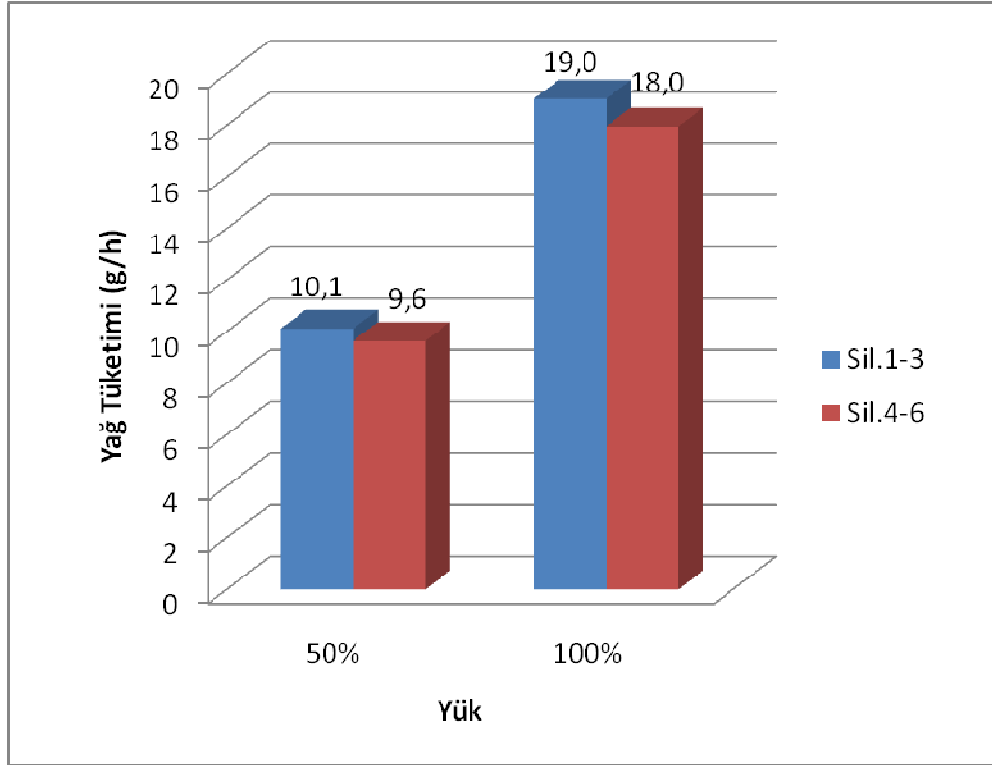
kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Çünkü soğutma suyu motora 1 – 2 silindirleri ve 2 – 3 silindirleri arasından girmektedir. 1600 (d/d) tam yük noktasında ilk üç silindir 1 (g/h) fazla yağ tüketirken motor hızı 2200 (d/d)'ya ulaşp soğutma suyu hızı ve debisi arttığında ilk üç silindirin son üç silindirden daha iyi soğuyabileceği ve bu nedenle silindir yüzeyinden buharlaşan yağ miktarının azalabileceği yorumu yapılmıştır. Tablo 5.2'deki 0,046 ppm'lik SO₂ farkına bakıldığında bu iki silindir grubunun egzoz gazına bıraktığı kükürt dioksit miktarının birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Ancak bu fark yağ tüketimi değerine 3,4 (g/h) olarak yansımıştır. Yüzdesel olarak bakıldığında 1000 (d/d) %50 yükte toplam yağ tüketimi 5 (g/h) iken iki grup arasındaki fark 0,2 (g/h)'dir, bu ise 5 (g/h)'in % 4'üdür. Diğer yandan 2200 (d/d) tam yük noktasındaki toplam yağ tüketimi 73 (g/h) olup 3,4 (g/h) bu miktarın % 4,9'udur. Her şeye rağmen test noktalarındaki fark beklenen değerlere çok yakındır ve bu sistemle, yüzeyleri farklı işlenmiş iki üçlü silindir grubunun yağ tüketimlerinin sağlıklı olarak karşılaştırılabileceği kararına varılmıştır.

Tablo 5.2: Motor A'nın Egzoz Gazındaki Kükürt dioksitin (ppm) Değerleri

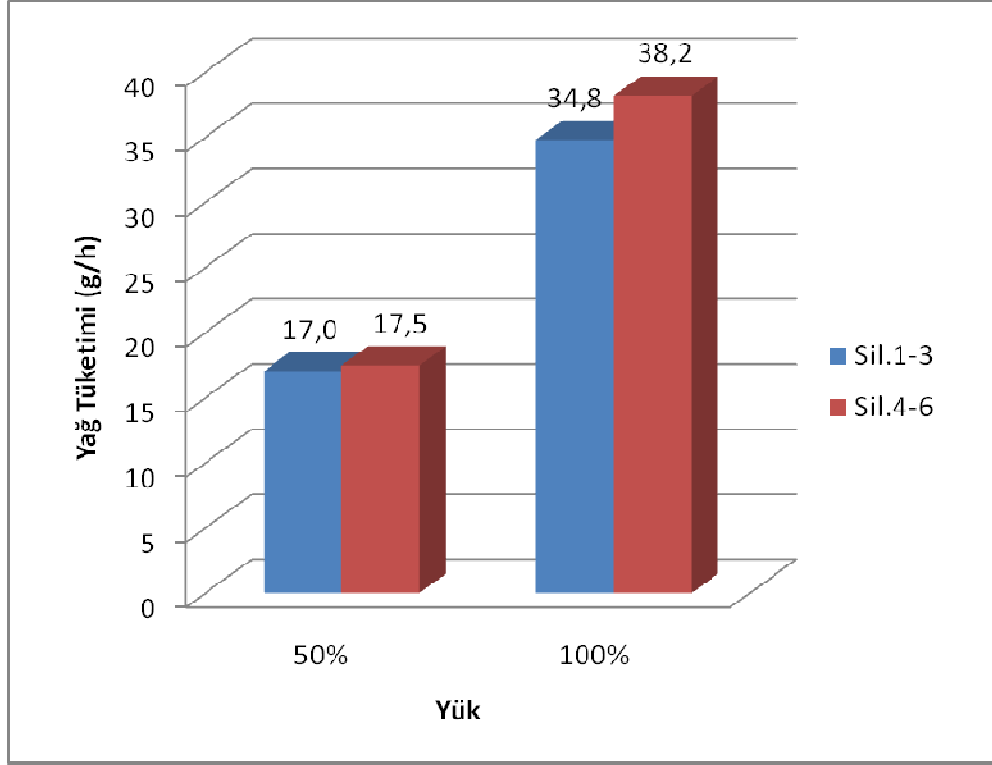
Hız	Yük	Egzoz [ppm]	
(d/d)	[%]	Sil. 1-3	Sil. 4-6
1000	50	0,189	0,175
1600	50	0,286	0,273
1600	100	0,375	0,354
2200	50	0,292	0,299
2200	100	0,511	0,557



Şekil 5.1: Motor A'nın %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Yağ Tüketimleri



Şekil 5.2: Motor A'nın 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri



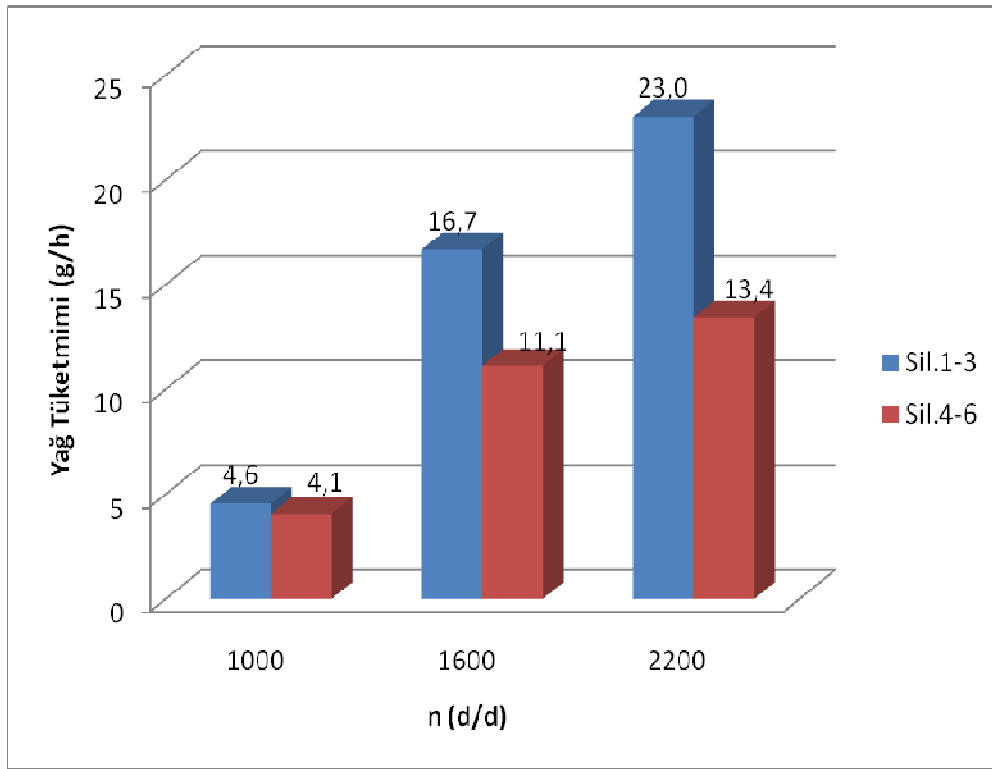
Şekil 5.3: Motor A'nın 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ tüketimleri

Tablo 4.3'de gösterilen yüzey pürüzlülüğü farklarına sahip Motor B'nin yağ tüketim sonuçları da Tablo 5.3'de, Şekil 5.4'de, Şekil 5.5'de, Şekil 5.6'da ve ayrıntılı olarak Ek F'de gösterilmiştir. Tablo 5.3'de görüleceği üzere motorun yağ tüketimi genellikle devir sayısı ve yük arttıkça artmaktadır. Buna rağmen 1000 (d/d) %50 yük durumu göz ardı edildiğinde motorun en düşük yağ tüketimi 1600 (d/d) %75 yük durumunda gözlenmiştir. Bunun yanında bütün test noktalarında kaba yüzey pürüzlülük değerine sahip 1 – 3 silindirlerinin standart 4 – 6 silindirlerinden daha fazla yağ tükettiği görülmektedir.

Tablo 5.3: Motor B'nin Yağ Tüketimleri

Hız (d/d)	Yük [%]	Yağ Tüketimi (g/h)	
		Sil.1-3	Sil.4-6
1000	50	4,56	4,08
1600	50	16,70	11,14
1600	75	15,10	9,81
1600	100	40,81	26,36
2200	50	23,03	13,45
2200	75	38,09	16,57
2200	100	60,63	30,39

Şekil 5.4’de %50 yükte devir sayısına bağlı yağ tüketimleri gösterilmiştir. Buna göre sabit yükte devir sayısı arttıkça hem yağ tüketiminin hem de iki silindir grubu arasındaki yağ tüketimi farkının arttığı görülmektedir. Motorun devir sayısı arttığında güç silindiri bölgesinden yanma odasına geçen yağ miktarı artmakta ve bu nedenle yağ tüketimi de artmaktadır. Kaba yüzey pürüzlülük değerlerine sahip 1 – 3 silindir grubunun yağ tutan bölgesi olarak tanımlanan R_{vk} ve Mr_2 değerleri 4 – 6 silindir grubunun değerlerinden daha yüksektir. Bu nedenle devir sayısı arttığında 1 – 3 silindir grubunun yanma odasında yağ tutma kapasitesi daha fazla olacağından aradaki fark da artmıştır. Ayrıca kaba yüzeye sahip 1 – 3 silindir grubunun metal metale temas bölgesi daha fazla olduğundan sürtünme ile ortaya çıkan ısı 4 – 6 grubununkinden daha fazladır. Bu etki devir sayısı arttığında daha fazla hissedileceğinden iki grup arasındaki farkın devir sayısı ile artması beklenebilir (Akalin ve diğ., 2008).



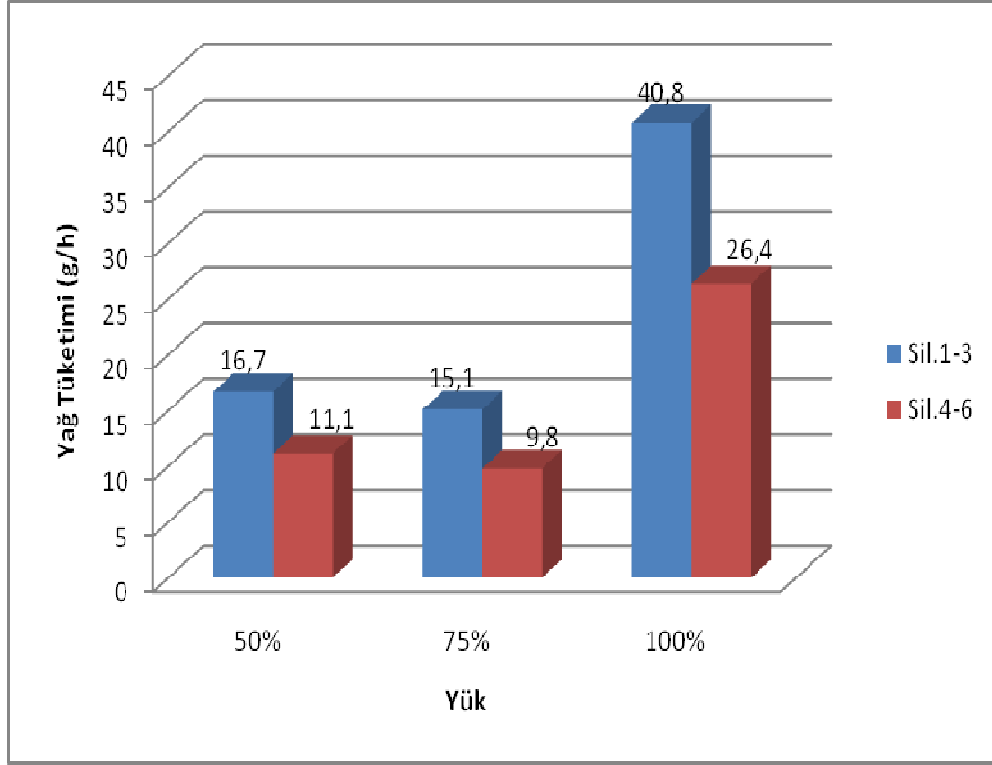
Şekil 5.4: Motor B’nin %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Yağ Tüketimleri

Şekil 5.5’de 1600 (d/d)’da iki silindir grubunun yağ tüketimi farkları gösterilmiştir. Buna göre % 75 yükte en düşük yağ tüketimi değeri elde edilmiştir. Ancak motor tam yüke geldiğinde hem yağ tüketimi artmış hem de iki grup arasındaki yağ tüketim farkı artmıştır. Motor yükü artırıldığında yağ sıcaklığı artar ve böylece yağın

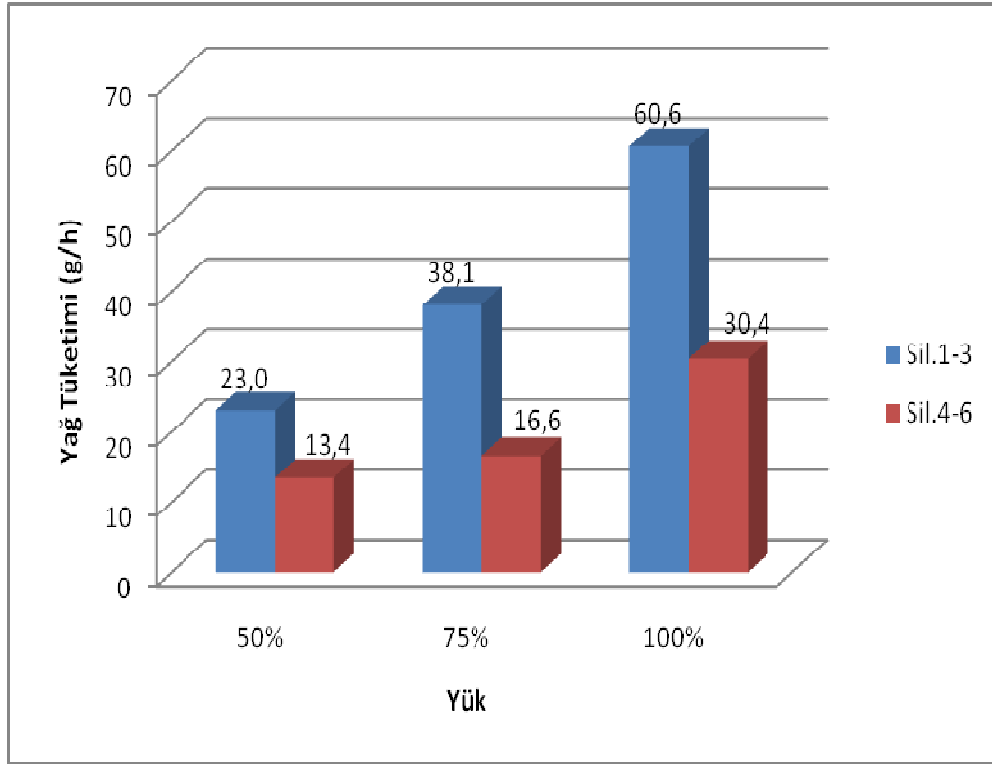
buharlaşması kolaylaşır. Ayrıca yanma odasında daha yüksek sıcaklıklara maruz kalan yağ kolayca yanabilir. Bunun yanında iki silindir grubu karşılaştırıldığında, kaba yüzey işlemeye sahip 1 – 3 silindir grubunda Ra numarasının fazla olmasından dolayı yağın buharlaşabileceği yüzey alanının fazla olduğu, ayrıca R_{pk} ve Mr_2 değerleri ile tanımlı yağ tutan hacminde fazla olmasıyla artan yük ile birlikte standart plato honlanmış 4 – 6 silindir grubuna göre daha fazla yağ tükettiği görülmektedir.

İki silindir grubu arasındaki en yüksek farkın ise %130 olarak Şekil 5.6'da gösterilen 2200 (d/d) %75 yükte gözlenmiştir. Bunun nedeninin ise Motor B'nin %75 yüklerde beklenenden daha az tüketmesi olduğu düşünülmüştür. Vokac ve Tian'a (2004) göre motor yükü arttırıldığında gaz akışı ve gaz basınçları arttırılarak yağ segman yuvalarına doğru hareket etmeye zorlanır ve yüksek yüklerde segman yuvalarında kalan bu yağ gaz akışı ile kartere gönderilir, böylece segman eksenel hareketini yaptığı daha az yağı piston yüzeylerine aktarır. Bu görüş motorun neden 1600 (d/d)'da %75 yükte %50 yükten daha az yağ tükettiğini açıklayabilir. Ancak bu görüşe göre motor tam yüke çıktığında da %75 yük durumundan daha az yağ tüketmesi beklenir. Bu noktada tam yük durumunda ortaya çıkan ısının ve artan sıcaklığın yağ tüketiminde baskın rol oynadığı ve yağın segman yuvalarına geçemediği yorumu yapılabilir.

1600 (d/d)'da %75 yük durumunda en düşük yağ tüketimi gözlenmiştir. Ancak 2200 (d/d)'da bu durum gözlenememiştir. Yine Vokac ve Tian'ın (2004) makalelerinden, genişleme stroğunun başlangıcında kartere doğru olan gaz akışının yağı segman aralıklarından aşağı doğru sürükleyebilmesi için o andaki yukarıya doğru olan atalet kuvvetinden büyük olması gerekir ve bu durum düşük hızlarda kolayca sağlanabilirken, yüksek hızlara çıkıldıkça artan atalet kuvvetini yenmek için daha fazla yüke ihtiyaç vardır yorumu ile açıklanabilir.



Şekil 5.5: Motor B'nin 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri

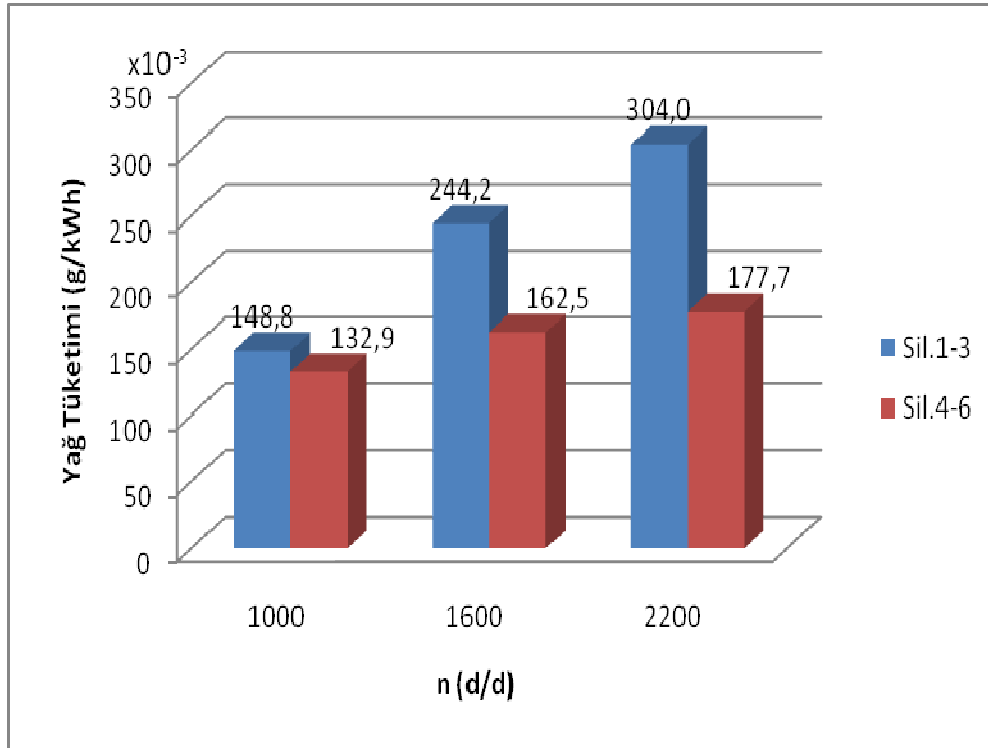


Şekil 5.6: Motor B'nin 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Yağ Tüketimleri

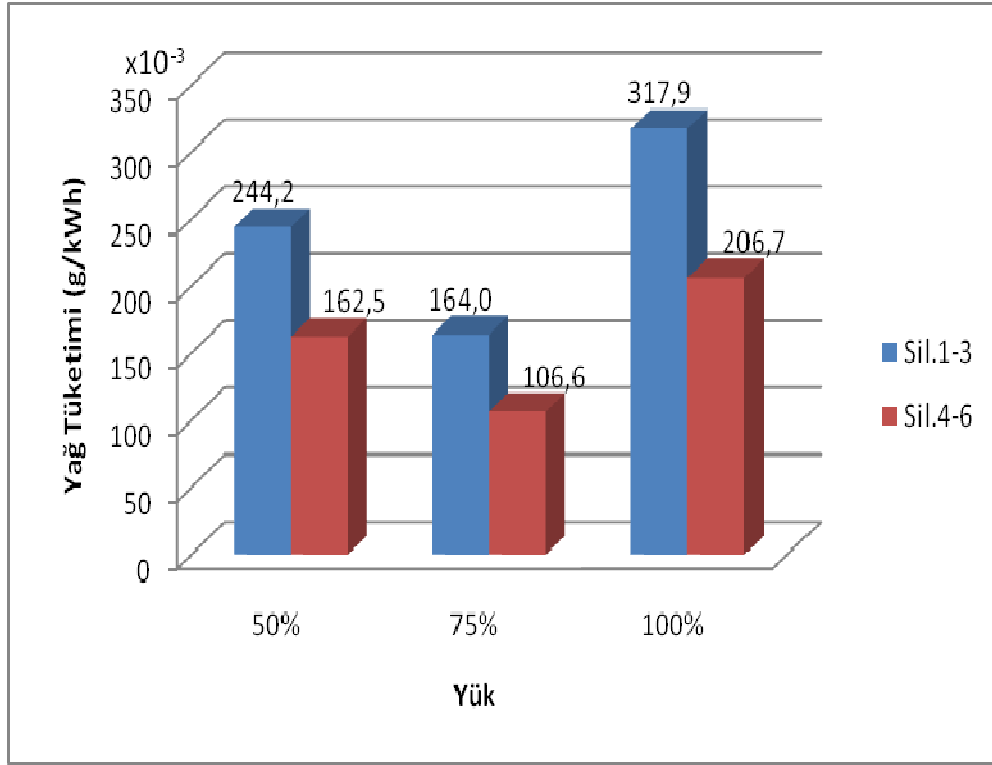
Motor B'nin (g/kWh) cinsinden özgül yağ tüketimleri de Tablo 5.4'de, Şekil 5.7'de, Şekil 5.8'de ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Bu değer hesaplanırken motorun tüm silindirlerinin aynı gücü ürettiği kabulü yapılmıştır. Tablo 5.4'e göre Motor B'nin standart tarafı göz önüne alındığında en düşük yağ tüketimi 1600 (d/d) %75 yükte elde edilmiştir. Özgül yağ tüketimlerinde de her noktada 1 – 3 silindir grubunun yağ tüketimi 4 – 6 silindir grubunun yağ tüketiminden daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4: Motor B'nin Özgül Yağ Tüketimleri

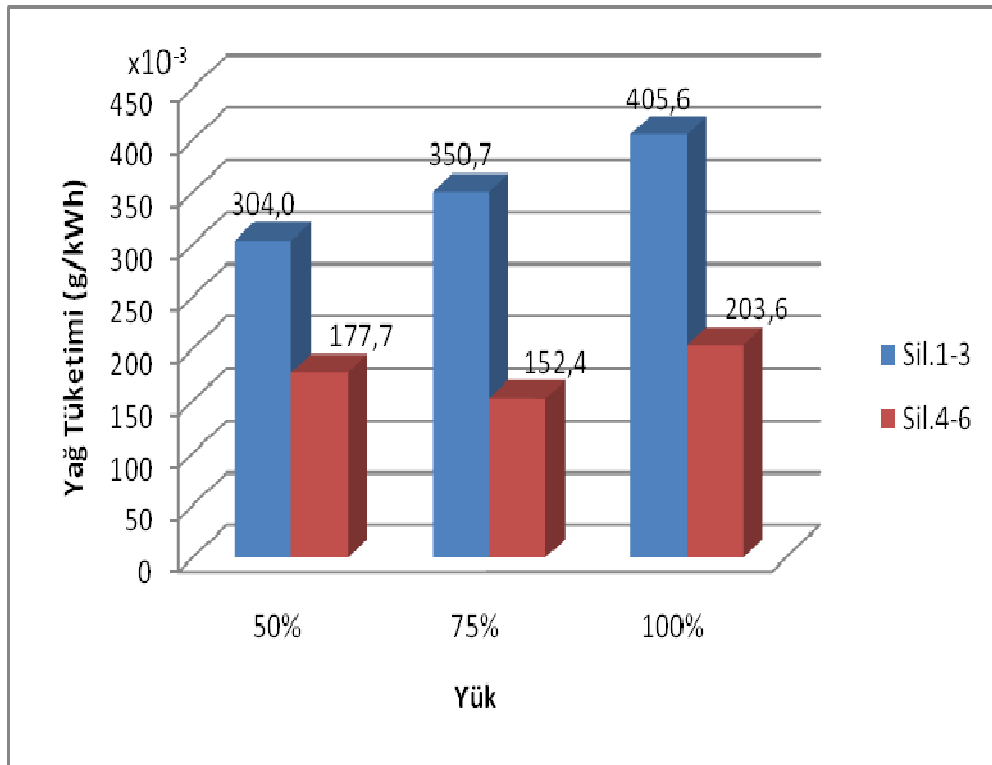
Hız (d/d)	Yük [%]	Yağ Tük. (g/kWh)	
		Sil.1-3	Sil.4-6
1000	50%	148,81	132,93
1600	50%	244,16	162,52
1600	75%	164,02	106,63
1600	100%	317,88	206,67
2200	50%	303,96	177,66
2200	75%	350,70	152,42
2200	100%	405,64	203,65



Şekil 5.7: Motor B'nin %50 Yükte Devir Sayısına Bağlı Özgül Yağ Tüketimleri



Şekil 5.8: Motor B'nin 1600 (d/d)'da Yüke Bağlı Özgöl Yağ Tüketimleri



Şekil 5.9: Motor B'nin 2200 (d/d)'da Yüke Bağlı Özgöl Yağ Tüketimleri

6. DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Sonuç olarak bir motorun güç silindiri tasarımının yağ tüketimine etkisini doğru bir şekilde inceleyebilecek, yağ tüketimini S izleme tekniği ile gerçek zamanlı olarak ölçebilen bir yöntem geliştirilmiştir. Tüm silindirleri benzer şekilde honlanan Motor A'nın deney sonuçları bu yöntemin motorun çalışma şartlarını değiştirmeden farklı güç silindiri tasarımlarının karşılaştırılabileceğini göstermiştir. Bu tezde güç silindiri tasarımında önemli bir parametre olan silindir yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir. Ancak geliştirilen bu yöntemi kullanarak, güç silindiri tasarımında yağ tüketimi iyileştirecek şekilde yapılan geliştirmelerin ne derece etkili olduğu gözlemlenebilir. Örneğin motorun ilk üç silindirinde piston – segman sisteminde bir değişiklik yapılabilir ve standart olarak bırakılan son üç silindir ile karşılaştırılarak bu değişikliğin etkisi görülebilir. Yöntem ayrıca aynı motorda ve aynı çalışma koşullarında silindir gruplarının yağ tüketimlerinin karşılaştırılmasına imkan verdiğinden farklı motorların yağ tüketimi ölçümünde yapılabilecek ölçüm hataları en az seviyeye indirilmiş durumdadır.

Yapılan deneyler boyunca örnekleme hattının ısı yalıtımının çok önemli olduğu görülmüştür. Isı yalıtımının yetersiz olduğu örnekleme hatlarında suyun yoğunlaştığı gözle görülmüş ve bu etkininde yağ tüketimini olduğundan az gösterdiği anlaşılmıştır. Bunun üzerine her iki örnekleme hattı da seramik yalıtım malzemesi ile izole edilmiştir.

Bölüm 2'de özetlenen yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yayınlardan ve bu tezin sonuçlarından anlaşıldığı üzere, silindir yüzey pürüzlülüğü motorun yağ tüketiminde çok önemli bir tasarım aşamasıdır. Silindir yüzey pürüzlülüğünde ise yağ tüketimi için anahtar parametrenin yağlayıcıyı tutan bölge olan ve Bölüm 3'de bahsedilen $A_2(V_o)$ alanı ve bu alanı oluşturan R_{vk} ve Mr_2 değerleri olduğu anlaşılmıştır.

Gelecekte deney sistemi otomatik hale dönüştürülebilir. Bu sayede hem ölçüm süresi kısaltılmış olur hem de motor çalışırken motor odasına girme zorunluluğu ortadan kaldırılır. Bunun yanında deney sırasında silindirlerin soğutma suyu sıcaklığını ölçmek silindirler arası yağ tüketim farkını açıklamada yardımcı olabilir.

Literatürde kullanılan bazı yağ tüketim modellerine yüzey pürüzlülüğünün etkisini de gösterebilecek şekilde geliştirmeler yapılabilir. Ayrıca R_{vk} , R_{pk} , Mr_1 ve Mr_2 gibi yüzey pürüzlülük parametrelerinin de, yüzeyin kontrollü şekilde işlenebilmesi halinde teker teker yağ tüketimine etkileri incelenebilir.

Gelecekte deneysel olarak ayrıca T/C yağ tüketimi ölçümü, motordan bağımsız bir besleme hattı kullanılarak yapılabilir ve PCV karter havalandırmasının yağ tüketimine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akalin, O., Cobanoglu, S., Toygar, A., Gul, O., Kurnaz, G. and Ergen, R.O.,** 2008. The Effects Of Power Cylinder Desing Parameters On Lube Oil Consumption Of A Heavy Duty Diesel Engine, *Internal Combustion Engines Spring Technical Conference ICES08* ,Chicago, Illionis, USA, April 27-30, ICES2008-1661.
- Appel, N., Gohl, M. and Robota, A.,** 2006. Comparative Investigations of Oil Consumption and Oil Emissions on a Spark Ignition Engine, *MTZ*, **67**, 360 – 367.
- Ariga, S., Sui, P.C. and Shahed, S.M.,** 1992. Instantaneous Unburned Oil Consumption Measurement in a Diesel Engine Using SO₂ Tracer Technique, *SAE Technical Paper Series*, 922196.
- Ariga, S.,** 1996. Observation of Transient Oil Consumption with In-Cylinder Variables, *International Fall Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, SAE Technical Paper Series*, San Antonio, Texas, October 14-17, 961910.
- ASME B46.1-2002,** 2003. Surface Texture(Surface Roughness, Waviness and Lay), *The American Society Of Mechanical Engineers*, New York.
- AVL Glide User's Manual,** 2004. Piston Ring Dynamics and Lube Oil Consumption, *AVL LIST GmbH*.
- Bailey, B.K. and Ariga, S.,** 1990. On-Line Diesel Engine Oil Consumption Measurement, *SAE Technical Paper Series*, 902113.
- Bajpai, S., Logan, M.R., Stanley, R.M., and Sundaram, S.,** 1999. Measurement of Lubricating Oil Consumption Using Mg Tracer in a Medium-Speed Diesel Engine, *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-3572.
- Basaki, M., Saito, K., Nakashima, T. and Suzuki T.,** 2000. Analysis of Oil Consumption at High Engine Speed by Visualization of the Piston Ring Behaviors, *International Fall Fuels & Lubricants Conference &*

Exposition, SAE Technical Paper Series, Baltimore, Maryland, October 16-19, 2000-01-2877.

Colvin, A.D., Carduner, K.R., Leong, D.Y., Ames, R. and Bissell, H., 1992. An Advanced Instrument for the Real Time Measurement of Engine Oil Economy, *SAE Technical Paper Series*, 920655.

Comfort, A., 2003. An Introduction to Heavy-Duty Diesel Engine Frictional Losses And Lubricant Properties Affecting Fuel Economy – Part I, *SAE Technical Paper Series*, 2003-01-3225.

Delvigne, T., Deconninck, B., Obiols, J., China, P. and Carlier, P., 2005. A New Methodology for On Line Lubricant Consumption Measurement, *SAE Technical Paper Series*, 2005-01-2172.

Froelund, K. and Yilmaz, E., 2004. Impact Of Engine Oil Consumption on Particulate Emissions, *International Conference on Automotive Technologies*, İstanbul, Turkey, <http://www.osd.org.tr/17.pdf>.

Froelund, K., 1999. Real-Time Steady-State Oil Consumption Measurement on Commercial SI-Engine, *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-3461.

Gilles, A.E., Pidol, L., Delvigne, T., Courtois, O. and Deconninck, B., 2007. Influence of Lubricant Formulations on Engine Oil Consumption using Radionuclide Technique, *SAE Technical Paper Series*, 2007-01-1981.

Gül, Ö., 2007. Real Time Oil Consumption Measurement of a Heavy Duty Diesel Engine, M.Sc. Thesis, İ.T.Ü. Institute of Science and Technology, İstanbul.

Hamrock, B.J., 1994. Fundamentals of Fluid Film Lubrication, McGraw-Hill, New York.

Hanaoka, M., Ise, A., Nagasaka, N., Osawa, H., Arakawa, Y. and Obata, T., 1979. New Method for Measurement of Engine Oil Consumption(S-Trace Method), *SAE Technical Paper Series*, 790936.

Herbst, H.M., and Pribsch, H.H., 2000. Simulation of Piston Ring Dynamics and Their Effect on Oil Consumption, *SAE Technical Paper Series*, 2000-01-1909.

- Hill, S.H., Kantola, T.C., Brown, J.R. and Hamelink, J.C.,** 1995. An Experimental Study of the Effect of Cylinder Bore Finish on Engine Oil Consumption, *International Congress and Exposition, SAE Technical Paper Series*, Detroit, Michigan, February 27 - March 2, 950938.
- Hill, S.H.,** 2001. Cylinder Bore Finishes and Their Effect on Oil Consumption, *SAE 2002 World Congress, SAE Technical Paper Series*, Detroit, Michigan, March 4-7, 2001-01-3550.
- Ito, A., Shirakawa, H., Nakamura, M., Yoshida, K. and Akiyama, H.,** 2005. A Study on the Mechanism of Lubricating Oil Consumption of Diesel Engines-1st report: The Effect of the Design of Piston Skirt on Lubricating Oil Consumption, *SAE Technical Paper Series*, 2005-01-2169.
- Manni, M., Carriero, M., and Roselli, A.,** 2002. A Study of Oil Consumption on a Diesel Engine with Independently Lubricated Turbocharger, *SAE Technical Paper Series*, 2002-01-2730.
- Min, B.S, Kim, J.S, Oh, D.Y., Choi, J.K., and Jin J.H.,** 1998. Dynamic Characteristics of Oil Consumption-Relationship between the Instantaneous Oil Consumption and the Location of Piston Ring Gap, *International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, SAE Technical Paper Series*, San Francisco, California, October 19-22, 982442.
- MS₄ Ford Otosan Eğitimi,** 2005. Training on Process Gas Mass Spectrometer, Ford Otosan, 3.3.2005, 1.3.
- Panelli, R. and Ferrarese, A.,** 2002. A New Two-Piece Oil Control Ring with Enhanced Conformability, *11th International Mobility Technology Congress and Exhibition, SAE Technical Paper Series*, Sao Paulo, Brasil, November 19-21, 2002-01-3371.
- Püffel, P.K., Thiel, W., and Boesl, U.,** 1999. Application of a New Method for On-Line Oil Consumption Measurement, *International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, SAE Technical Paper Series*, Toronto, Ontario, Canada, October 25-28, 1999-01-3460.

- Richardson, D.E. and Krause, S.A.,** 2000. Predicted Effects of Cylinder Kit Wear on Blowby and Oil Consumption for Two Diesel Engines, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Transactions of the ASME*, **122**, 520 – 525.
- Sato, O., Takiguchi, M., Aihara, T., Seki, Y., Fujimura, K. and Tateishi, Y.,** 2004. Improvement of Piston Lubrication in a Diesel Engine by Means of Cylinder Surface Roughness, *2004 SAE World Congress, SAE Technical Paper Series*, Detroit, Michigan, March 8-11, 2004-01-0604.
- Srivastava, D.K. and Agarwal, A.K.,** 2004. Experimental Investigations on the Effect of Liner Surface Properties on Wear in Non-Firing Engine Simulator, *2004 SAE World Congress, SAE Technical Paper Series*, Detroit, Michigan, March 8-11, 2004-01-0605.
- Taylor, C.M.,** 1998. Automobile Engine Tribology – Design Considerations for Efficiency and Durability, *Elsevier, Wear*, **221**, 1-8.
- Thirouard, B., Tian, T. and Hart, D.P.,** 1998. Investigation of Oil Transport Mechanisms in the Piston Ring Pack of a Single Cylinder Diesel Engine, Using Two Dimensional Laser Induced Fluorescence, *International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, SAE Technical Paper Series*, San Francisco, California, October 19-22, 982658.
- Thirouard, B., Tian, T.,** 2003a. Oil Transport in the Piston Ring Pack (Part I): Identification and Characterization of the Main Oil Transport Routes and Mechanisms, *2003 JSAE/SAE International Spring Fuels & Lubricants Meeting*, Yokohama, Japan, May 19-22, 2003-01-1952.
- Thirouard, B., Tian, T.,** 2003b. Oil Transport in the Piston Ring Pack (Part II): Zone Analysis and Macro Oil Transport Model, *2003 JSAE/SAE International Spring Fuels & Lubricants Meeting*, Yokohama, Japan, May 19-22, 2003-01-1953.
- Tian, T., Wong, V.W. and Heywood, J.B.,** 1996. A Piston Ring-Pack Film Thickness and Friction Model for Multigrade Oils and Rough Surfaces, *International Fall Fuels & Lubricants Meeting &*

Exposition, SAE Technical Paper Series, San Antonio, Texas, October 14-17, 962032.

TS EN ISO 13565-2, 2003. Geometrik Mamul Özellikleri (GMÖ) – Yüzey Yapısı: Profil Metodu – Tabakalı, Fonksiyonel Özelliklere Sahip Yüzeyler - Bölüm 2: Doğrusal Malzeme Oranı Eğrisini Kullanarak Yükseklik Karakterlerinin Belirlenmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Vokac, A. and Tian, T., 2004. An Experimental Study of Oil Transport on the Piston Third Land and the Effects of Piston and Ring Designs, *SAE Technical Paper Series*, 2004-01-1934.

Wend, W., and Richardson, D.E., 2000. Cummins Smart Oil Consumption Measuring System, *SAE 2000 World Congress, SAE Technical Paper Series*, Detroit, Michigan, March 6-9, 2000-01-0927.

Yilmaz, E., Tian, T., Wong, V.W., and Heywood, J.B., 2002. An Experimental and Theoretical Study of the Contribution of Oil Evaporation to Oil Consumption, *Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, SAE Technical Paper Series*, San Diego, California, USA, October 21-24, 2002-01-2684.

Yilmaz, E., Tian, T., Wong, V.W., and Heywood, J.B., 2004. The Contribution of Different Oil Consumption Sources to Total Oil Consumption in a Spark Ignition Engine, *Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, SAE Technical Paper Series*, Tampa, Florida, USA, October 25-28, 2004-01-2909.

Zygo Internet, 2005. MetroPro™ Surface Texture Parameters, <<http://www.zygo.com/library/papers/SurfText.pdf>>.

EKLER

EK A. MOTOR A'DA KULLANILAN YAĞIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU

Preset Sample Data

Sample Name:	32 NOLU NUMUNE_ITU	Dilution Material:	
Description:		Sample Mass (g):	4.0000
Method:	Tql-7742	Dilution Mass (g):	0.0000
Job Number:	GOKTAN KURNAZ	Dilution Factor:	1.0000
Sample State:	Cuvette, 25 mm	Sample rotation:	No
Sample Type:	Cuvette (liquid)	Date of Receipt:	01/17/2008
Sample Status:	AAAXXX	Date of Evaluation:	01/17/2008

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
12	Mg	Magnesium	> 0.1335 %	0.0033 %
13	Al	Aluminum	0.02571 %	0.00068 %
14	Si	Silicon	0.00810 %	0.00032 %
15	P	Phosphorus	0.1556 %	0.0006 %
16	S	Sulfur	1.335 %	0.001 %
17	Cl	Chlorine	0.01619 %	0.00008 %
19	K	Potassium	< 0.00051 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	> 0.4021 %	0.0013 %
22	Ti	Titanium	< 0.00039 %	(0.0) %
23	V	Vanadium	< 0.00012 %	(0.0) %
24	Cr	Chromium	0.00040 %	0.00013 %
25	Mn	Manganese	< 0.00025 %	(0.0) %
26	Fe	Iron	0.00091 %	0.00005 %
27	Co	Cobalt	< 0.00014 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.00003 %	0.00003 %
29	Cu	Copper	0.00090 %	0.00005 %
30	Zn	Zinc	> 0.1330 %	0.0003 %
33	As	Arsenic	< 0.00002 %	(0.0) %
35	Br	Bromine	0.00004 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	< 0.00026 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	< 0.00029 %	(0.00018) %
50	Sn	Tin	0.00153 %	0.00020 %
51	Sb	Antimony	0.00074 %	0.00030 %
52	Te	Tellurium	< 0.00037 %	(0.00047) %
53	I	Iodine	0.00179 %	0.00071 %
56	Ba	Barium	0.00563 %	0.00090 %
80	Hg	Mercury	< 0.00008 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.00010 %	0.00003 %
82	Pb	Lead	0.00021 %	0.00003 %
83	Bi	Bismuth	< 0.00004 %	(0.00003) %

EK B. MOTOR B'DE KULLANILAN YAĞIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU

Preset Sample Data

Sample Name: **3_3 FARKLI HONLANMIS** Dilution Material:
Description: Sample Mass (g): 4.0000
Method: Tql-7742 Dilution Mass (g): 0.0000
Job Number: GOKTAN KURNAZ Dilution Factor: 1.0000
Sample State: Cuvette, 25 mm Sample rotation: No
Sample Type: Cuvette (liquid) Date of Receipt: 02/04/2008
Sample Status: AAAXXX Date of Evaluation: 02/04/2008

NOT : 18.01.2008 3_3 FARKLI HONLANMIS MOTOR TESTİ SONRASINDA ALINAN YAĞ NUMUNESİ

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
12	Mg	Magnesium	0.0420 %	0.0013 %
13	Al	Aluminum	0.00614 %	0.00021 %
14	Si	Silicon	0.00312 %	0.00015 %
15	P	Phosphorus	0.1183 %	0.0005 %
16	S	Sulfur	0.9950 %	0.0011 %
17	Cl	Chlorine	0.01259 %	0.00007 %
19	K	Potassium	< 0.00040 %	(0.00017) %
20	Ca	Calcium	> 0.3881 %	0.0011 %
22	Ti	Titanium	< 0.00030 %	(0.0) %
23	V	Vanadium	0.00029 %	0.00007 %
24	Cr	Chromium	< 0.00033 %	(0.00024) %
25	Mn	Manganese	< 0.00021 %	(0.0) %
26	Fe	Iron	0.00075 %	0.00004 %
27	Co	Cobalt	< 0.00013 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	< 0.00007 %	(0.00002) %
29	Cu	Copper	0.00061 %	0.00004 %
30	Zn	Zinc	> 0.1227 %	0.0002 %
33	As	Arsenic	< 0.00002 %	(0.0) %
35	Br	Bromine	0.00011 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	< 0.00026 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	< 0.00028 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	0.00148 %	0.00027 %
51	Sb	Antimony	0.00090 %	0.00029 %
52	Te	Tellurium	0.00074 %	0.00036 %
53	I	Iodine	0.00185 %	0.00071 %
56	Ba	Barium	< 0.0028 %	(0.0016) %
80	Hg	Mercury	< 0.00008 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.00008 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	0.00023 %	0.00003 %
83	Bi	Bismuth	0.00005 %	0.00002 %

EK C. MOTOR A'DA KULLANILAN YAKITIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU

Preset Sample Data

Sample Name:	10.01.08 3-3 TESTI_1	Dilution Material:	
Description:		Sample Mass (g):	2.0000
Method:	Sulfur	Dilution Mass (g):	0.0000
Job Number:	GOKTAN KURNAZ	Dilution Factor:	1.0000
Sample State:	Cuvette, 24 mm	Sample rotation:	No
Sample Type:	Cuvette (liquid)	Date of Receipt:	01/15/2008
Sample Status:	AXXXXX	Date of Evaluation:	01/15/2008

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Norm.	No. of Impulses	Concentration
16	S	Sulfur	64.755	63.0 mg/kg	0.6 mg/kg

EK D. MOTOR B'DE KULLANILAN YAKITIN KÜKÜRT ANALİZ RAPORU

Preset Sample Data

Sample Name:	3_3 FARKLI HONLANMIS	Dilution Material:	
Description:		Sample Mass (g):	2.0000
Method:	Sulfur	Dilution Mass (g):	0.0000
Job Number:	GOKTAN KURNAZ	Dilution Factor:	1.0000
Sample State:	Cuvette, 24 mm	Sample rotation:	No
Sample Type:	Cuvette (liquid)	Date of Receipt:	02/04/2008
Sample Status:	XXXXXX	Date of Evaluation:	02/04/2008

NOT : 18.01.2008 3_3 FARKLI HONLANMIS MOTOR TESTİ SONRASINDA ALINAN YAKIT NUMUNESİ

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Norm.	No. of Impulses	Concentration
16	S	Sulfur	36.175	33.5 mg/kg	0.5 mg/kg

Tablo E.1 Motor A'nın Ayrıntılı Test Sonuçları

Test No	Vana Pozisyonu	Hız (d/d)	Yük (%)	Tork (Nm)	Güç (kW)	Yakıt Tük. (kg/h)	Hava Debisi (kg/h)	Yağ Tük. (g/h)	Özgül Yağ Tük. (g/kWh)
1	Silindir 1 - 3	1000	50	606,9	63,8	12,72	343,29	2,6	0,0810
2	Silindir 4 - 6	1000	50	607,4	63,8	12,73	343,72	2,4	0,0746
3	Silindir 4 - 6	1600	100	1555,4	261,2	50,47	1213,39	18,0	0,1375
4	Silindir 1 - 3	1600	100	1550,5	260,4	50,57	1207,51	19,0	0,1462
5	Silindir 1 - 3	1600	50	801,4	134,6	25,83	849,84	10,1	0,1503
6	Silindir 4 - 6	1600	50	801,6	134,6	25,26	850,27	9,6	0,1432
7	Silindir 4 - 6	2200	100	1316,6	303,9	63,56	1602,25	38,2	0,2513
8	Silindir 1 - 3	2200	100	1314,5	303,4	63,55	1594,87	34,8	0,2294
9	Silindir 1 - 3	2200	50	663,0	153,1	34,02	1391,85	17,0	0,2228
10	Silindir 4 - 6	2200	50	663,1	153,1	34,05	1393,01	17,5	0,2284

EK F. MOTOR B'NİN AYRINTILI TEST SONUÇLARI

Tablo F.1 Motor B'nin Ayrıntılı Test Sonuçları

Test No	Vana Pozisyonu	Hız (d/d)	Yük (%)	Tork (Nm)	Güç (kW)	Yakıt Tük. (kg/h)	Hava Debisi (kg/h)	Yağ Tük. (g/h)	Özgül Yağ Tük. (g/kWh)
1	Silindir 1 - 3	1000	50	583,2	61,3	12,29	342,71	4,6	0,1488
2	Silindir 4 - 6	1000	50	583,6	61,3	12,29	343,81	4,1	0,1329
3	Silindir 4 - 6	1600	100	1519,0	255,1	48,90	1203,42	26,4	0,2067
4	Silindir 1 - 3	1600	100	1529,3	256,8	49,30	1206,60	40,8	0,3179
5	Silindir 1 - 3	1600	75	1096,1	184,1	34,63	1006,93	15,1	0,1640
6	Silindir 4 - 6	1600	75	1095,7	184,0	34,61	1005,07	9,8	0,1066
7	Silindir 4 - 6	1600	50	816,4	137,1	26,12	854,63	11,1	0,1625
8	Silindir 1 - 3	1600	50	814,5	136,8	26,01	854,16	16,7	0,2442
9	Silindir 1 - 3	2200	100	1295,1	298,9	62,69	1590,54	60,6	0,4056
10	Silindir 4 - 6	2200	100	1292,9	298,4	62,77	1594,50	30,4	0,2036
11	Silindir 4 - 6	2200	75	941,6	217,4	45,69	1485,19	16,6	0,1524
12	Silindir 1 - 3	2200	75	941,0	217,2	45,68	1484,94	38,1	0,3507
13	Silindir 1 - 3	2200	50	656,4	151,5	33,42	1276,15	23,0	0,3040
14	Silindir 4 - 6	2200	50	655,8	151,4	33,46	1285,34	13,4	0,1777

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk Çobanoğlu, 1983 yılında İstanbul'da doğdu. 2001 yılında Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi. 2006 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak İ.T.Ü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Otomotiv Programına girmeye hak kazandı. Halen bu programda yüksek lisans öğrencisi olup, 2007 yılının Temmuz ayından beri İ.T.Ü. ve Ford Otosan A.Ş. ortaklığınca devam eden 'Power Cylinder Design for Optimized Lube Oil Consumption of a Heavy Duty Diesel Engine' projesinde proje asistanlığı yapmaktadır. Bu tez çalışmasının bir bölümü 2008 yılının Nisan ayında Chicago'da ASME Internal Combustion Engine Division 2008 Spring Technical konferansında yayımlanmıştır.