

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİTKİSEL YAĞLARIN BENZİNLİ MOTORLARDA YAĞLAMA
YAĞI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mirze DEDEBEY

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz ÖNER

ELAZIĞ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTKİSEL YAĞLARIN BENZİNLİ MOTORLARDA YAĞLAMA YAĞI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mirze DEDEBEY

(092119106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07 Nisan 2017

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cengiz ÖNER

Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Rosim Behcet
Doç. Dr. Cemalet İLKILIK

NİSAN-2017

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamda başta danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Cengiz ÖNER'e çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KOÇ'a, Makine Mühendisliği öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Salih ÖZER'e, Muş Alparslan Üniversitesi TBMYO öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr.Selçuk SAĞIR'a, Öğr. Gör. Emin AĞRALI' ya, Öğr. Gör. Ferdi AVCI'ya, F.Ü. Teknoloji Fakültesi Otomotiv Atölyesi teknisyenlerine ve beni destekleyen aileme özellikle eşime teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Mirze DEDEBEY

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. GENEL BİLGİLER.....	10
3.1. İki Zamanlı Motorlar.....	10
3.1.1. İki Zamanlı Motorlarda Yağlama.....	11
3.2. Yağlayıcı Maddeler	12
3.2.1 Mineral Yağlar	12
3.2.1.1. Alifatik Yapıdaki Mineral Yağlar	13
3.2.1.2. Aromatik Yapıdaki Mineral Yağlar	15
3.2.1.3. Karışık (Alifatik ve Aromatik) Yapıdaki Mineral Yağlar	15
3.2.2 Sentetik Yağlar.....	16
3.2.3. Yarı Sentetik Yağlar.....	17
3.2.4. Bitkisel Yağlar	17
3.3. Taşıt Yağları ve Taşıtlarda Yağlama.....	20
3.3.1. Taşıt Yağlarının Genel Özellikleri	20
3.3.1.1. Viskozite	20
3.3.1.2. Viskozite İndeksi.....	21
3.3.1.3. Akma Noktası	21
3.3.1.4. Oksidasyon.....	21
3.3.1.5. Köpürme Karşı Mukavemet.....	22
3.3.1.6. Çok Yüksek Basınçlara Dayanım	22
3.3.1.7. Sıvanma Özelliği.....	22
3.3.1.8. Alevlenme Noktası.....	23
3.3.1.9. Bozulmaya Karşı Direnç	23

3.3.1.10. Dağıtma Özelliği	23
3.3.1.11. Nötralizasyon Sayısı	23
3.3.1.12. Korozyon Önleme	24
3.3.1.13. Kül Miktarı.....	24
3.4. Bitkisel Yağların Yağlama Yağı Olarak Kullanımı	24
3.4.1. Kolza (Kanola) Yağının Motor Yağı Olarak Kullanımı	26
3.4.2. Ayçiçeği Yağının Motor Yağı Olarak Kullanımı.....	28
3.5. Aşınmayı Önlemede Etkili Yöntemler.....	29
3.5.1. Bor Kaplamalar (Borlama).....	30
3.5.1.1. Fiziksel Buhar Çökertme Yöntemi (PVD) İle Bor Kaplama	33
3.6. Aşınma	41
3.6.1. Adhezif (Adhezyon) Aşınması.....	43
3.6.2. Abrasiv (Abrazyon) Aşınması.....	44
3.6.3. Yorulma Aşınması (Pitting)	45
3.6.4. Mekanik Korozyon.....	45
4. MATERYAL VE METOD	47
4.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri	47
4.2. Deneylerde Kullanılan Yağlar.....	48
4.3. Hassas Teraziler	49
4.4. Segmanların Bor ile Kaplanması	49
5. BULGULAR.....	51
5.1. Gözleme Dayalı Veriler	51
5.2. Piston ve Segmanlarda Kütle Kaybına Bağlı Aşınma Davranışı	57
5.3. Segmanlarda SEM Analizleri ile Aşınma Davranışı Tespiti	61
6. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÖZET

Günümüzde hızla artan çevre sorunları, petrol kökenli yakıtların tükenme endişesi ve dışa bağımlılığı azaltma çabaları enerji alanında yeni arayışları beraberinde getirmiştir. Bu arayışlardan biride petrol kökenli mineral yağların yerine çevreyi daha az kirleten bitkisel kökenli yağların yağlama yağı olarak motorlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Çalışmada tek silindirli iki zamanlı bir benzinli motorda, yağlama yağı olarak 25 lt benzin içerisine 1lt bitkisel yağ veya mineral esaslı yağlama yağı karıştırılarak deneyler yapılmıştır.

Deneyde mineral motor yağı ve bitkisel yağların (kanola ve ayçiçeği yağı) motor çalışması, motor elemanları üzerindeki kurum oluşumu ile bu yağların tribolojik performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca segmanların SEM fotoğrafları çekilerek kullanılan farklı yağların mikro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla iki zamanlı motorun segmanları kaplanmadan mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Daha sonra motorun segmanları bor ile PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi kullanılarak kaplanmış ve mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan çalışmada sadece kaplanmış segmanlar ile deney gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için kullanılan motor gerçek çalışma şartlarında yüklenerek her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Daha sonra motor her seferinde sökülerek kurum oluşumu ile piston ve segmandaki aşınmalar incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yağlama yağı olarak mineral yağ yerine, bitkisel yağ kullanıldığında piston - segman yüzeylerinde daha fazla aşınmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca piston ve segmanlar üzerinde fazla miktarda kurum birikintisinin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bitkisel yemeklik yağların iki zamanlı bir motorda yağlayıcı olarak kullanımının iyi sonuçlar vermediği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: İki zamanlı motor, Triboloji, Bitkisel yağlar.

SUMMARY

EXAMINATION OF USABILITY OF VEGETABLE OILS AS LUBRICANTS OIL IN GASOLINE ENGINES

Today, the fast-increasing environmental problems, the concerns on the termination of fossil-based fuels, and the struggles for decreasing the dependency on foreign sources brought with them new searches in the field of energy. One of them is the search for using plant-based lubricating oils, which pollute the environment less, instead of the petroleum-based mineral oils in engines. In this study, 1 liter plant-based oil or 1 liter mineral-based lubrication oil were added to 25 liter gasoline in a 1 cylinder and 2-stroke engine to perform the experiments.

The effects of using mineral engine oil and plant-based oils (canola and sunflower oil) on the running of the engine, the soot formation and the tribological performance of the engine were assessed in the study. In addition, the SEM photographs of the segments were taken and the effects of the different oils used in the study on micro structure were investigated. For this purpose, the segments of the 2-stroke engine were operated with mineral engine oil without coating. Then, the segments of the engine were coated with boron by using PVD (Physical Vapor Deposition) method and the engine was operated again. In the experiment in which the plant-based oils were used, the experiment was performed with the segments that were coated. The engine used in the experiments was operated under real working conditions with loads for 100 hours for each experiment. The engine was removed each time, and the soot formation, the pistons and segments were examined in terms of corrosion, and the results were compared.

When plant-based oil was used as lubrication oil instead of mineral-based engine oil, it was determined that more corrosion occurred on the surfaces of the pistons and segments. In addition, it was also observed that there was more soot formation on the pistons and segments. As a conclusion, it may be claimed that the use of plant-based oils in two-stroke engine as lubricant does not yield good results.

Keywords: Two-stroke engine, Tribology, Plant-based Oils.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. İki zamanlı benzinli bir motorun çalışmasının şematik gösterimi.....	11
Şekil 3.2. Trigliseritlerin yapısı	19
Şekil 3.3. Modern Yüzey İşlemleri	30
Şekil 3.4. Buharın oluşturulma şekillerine göre PVD yöntemleri	35
Şekil 3.5. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi	36
Şekil 3.6. Elektron tabancası ile buharlaştırmanın sağlandığı PVD sistemi.....	37
Şekil 3.7. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi	37
Şekil 3.8. Katodik ark FBB sistemi	38
Şekil 3.9. Diyot sıçratma mekanizması.....	39
Şekil 3.10. Triyot sıçratma mekanizması.....	40
Şekil 3.11. Manyetik sıçratma mekanizması	41
Şekil 3.12. Aşınma zaman ilişkisi.....	42
Şekil 4.1. Deney motoru ve çalışma ortamı.....	48
Şekil 4.2. Radwag AS 220/C/2 hassas terazi	49
Şekil 5.1. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun üstten görüntüsü.....	51
Şekil 5.2. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun yandan görüntüsü.....	52
Şekil 5.3. Deney motorunun benzin-ayçiçek yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun üstten görüntüsü.....	53
Şekil 5.4. Deney motorunun benzin-ayçiçek yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun yandan görüntüsü.....	54
Şekil 5.5. Deney motorunun benzin-kanola yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü	55
Şekil 5.6. Deney motorunun benzin-kanola yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü	55
Şekil 5.7. Deney motorunda çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda piston ve segmanlardaki kurum miktarı.....	57
Şekil 5.8. Kompresyon segmanı bor ile kaplanmış ve kaplanmamış olarak mineral yağ ile yapılan deneysel çalışmada kütle kaybı.....	58

Şekil 5.9. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda pistonda meydana gelen aşınma miktarları.....	59
Şekil 5.10. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda kompresyon segmanında meydana gelen aşınma miktarları	59
Şekil 5.11. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda yağ segmanında meydana gelen aşınma miktarları	60
Şekil 5.12. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmamış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	62
Şekil 5.13. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	63
Şekil 5.14. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmamış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	64
Şekil 5.15. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	64
Şekil 5.16. Ayçiçek yağı ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	65
Şekil 5.17. Kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	66
Şekil 5.18. Ayçiçek yağı ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	67
Şekil 5.19. Kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları	67

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Sentetik yağların uzun ve kısa süre kullanımda sıcaklık sınırları	17
Tablo 3.2. Çeşitli bitkisel ve madeni yağların karşılaştırılması	25
Tablo 3.3. Çeşitli yağların biyolojik olarak ayrışabilirliği	26
Tablo 3.4. Bor ürünlerinin kullanım sektörleri.....	32



SEMBOLLER LİSTESİ

A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
Ag	: Gümüş
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
Al₂O₃-TiO₃	: Alüminyum Oksit – Titanyum Oksit
AME	: Aspir Metil Esteri
API	: American Petroleum Institute
AYME	: Ayçiçeği Yağı Metil Esteri
C₆H₆	: Benzen
Cl	: Klor
CO	: Karbon Monoksit
CrN	: Krom Nitrür
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
DAB	: Alkil Benzol
DLC	: Diamont-Like-Carbon
EDS	: Energy Dispersive Spectrograph
HFFR	: Yüksek Frekanslı İleri Geri Hareket Testi
ICP	: Inductively Coupled Plasma
KME	: Kanola Metil Esteri
KOLZA-00	: Kanola
MoN	: Molibden Nitrür
NO_x	: Azot Oksit
P	: Fosfor
PAO	: Polialfaolefin
Pb	: Kurşun
PİB	: Poliizobuten
POME	: Palmiye Yağı Metil Esteri
PTFE	: Politetrafloretillen
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
S	: Kükürt
SEM	: Scanning Electron Microscopy

SKM	: Seramik Kaplamalı Motor
SME	: Soya Metil Esteri
STD	: Standart Dizel Motor
TİN	: Titanyum Nitrür
TTYME	: Tütün Tohumu Yağı Metil Esteri
TÜMOSAN	: Türk Motor Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Ü.Ö.N	: Üst Ölü Nokta
VI	: Viskozite İndeksi



1. GİRİŞ

Motorlu taşıtlar sektörü, ekonomiyi teşkil eden diğer sektörlerle sıkı bir ilişki içerisinde. Bu sektör demir-çelik, petrokimya, lastik, elektrik-elektronik gibi sektörlerdeki teknolojik gelişmelerin sürükleyicisi konumundadır. Ayrıca turizm, alt yapı, inşaat, ulaştırma ve tarım sektörlerinin gereksinim duyduğu her türlü motorlu araç bu sektörün ürünleriyle sağlanmaktadır. Ekonomiyi teşkil eden diğer sektörlerle sıkı bir ilişki içinde olan motorlu taşıtların büyük bir kısmı petrol kökenli yakıtlarla çalışmakta ve oluşan masrafların büyük bir kısmını yakıt oluşturmaktadır. Dünyada petrol kökenli yakıtların tükeniyor olması, alternatif enerji arayışlarını da beraberinde getirmektedir.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak artan taşıt sayısı ile enerji kullanımındaki artış ve enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi motor üreticilerini yeni çalışmalara yönlendirmiştir. Motorlu taşıtlarda, yakıt olarak sisteme verilen toplam enerjinin en faydalı hale dönüştürme çalışmaları kapsamında performansı artırıcı tasarımlar, daha az çevre kirliliği, düşük yakıt tüketimi ve motorlarda mekanik kayıpları azaltıcı çalışmalar yer almaktadır (Çakır ve Akçay, 2011).

İçten yanmalı motorların efektif verimini mekanik kayıplar, termik kayıplar, sürtünme kayıpları, pompalama kayıpları, püskürtme kayıpları etkilemektedir. Bu kayıplar piston kursunun silindir çapına oranı, silindir büyüklüğü, silindir sayısı, sıkıştırma oranı, motor devri, motor yükü, soğutma suyu sıcaklığı, yağ viskozitesi, segman sayısı sürtünme kayıpları gibi fiziksel ve geometrik parametrelere bağlıdır. Sürtünme kayıplarının büyük bir kısmını ise piston segman düzeneği oluşturmaktadır (Mistry ve Bhatt, 2011).

Motor tribolojisi, tüm hareketli parçaları etkili bir şekilde yağlamayı gerektirir. Bu; sürtünme ve aşınmanın çevre üzerindeki etkilerini minimuma indirmek için gereklidir. Bu görev hız, yük ve motor sıcaklığı gibi çalışma koşullarında çok zordur. Tribolojideki gelişmeler motor performansı açısından birçok fayda sağlar. Bunlar; düşük yakıt ve yağ tüketimi, artan motor gücü, daha az çevre kirliliği, dayanıklı, güvenilir, uzun ömürlü, daha az bakım gerektiren motor gibi faydaları sağlar (Tung ve McMillan, 2004).

İçten yanmalı motorlarda yakıttan elde edilen ısı enerjinin % 30- 40'ı faydalı işe, geri kalan enerjinin % 20-30'u egzoz gazına, % 30-35'i soğutma suyu ve diğer kayıplara harcanmaktadır. Yaklaşık olarak yakıt enerjisinin % 60-70 gibi kısmı kullanılmadan atılmaktadır (Kaynaklı vd., 2003). Motorlarda kayıp enerjinin büyük bir bölümünü

sürtünme kayıpları oluşturmaktadır. Sürtünme kayıpları toplam indike gücün tam yük durumunda % 10'una, denk gelmektedir. Sürtünme kayıplarının büyük bir bölümünü piston grubu elemanları arasındaki sürtünmeler oluşturmaktadır. Piston grubunun sürtünme kayıplarının azaltılması için tasarım parametreleri, yağ özellikleri ve katkı maddeleri, silindir-segman kaplamaları, yüzey pürüzlülüğü ve alternatif honlama yöntemleri incelenmelidir (Akalin, 2010).

Petrol kaynaklarının tükenme tehlikesi ve bu kaynakların kullanımları sırasında atıkların çevreye bırakılması gibi olumsuz etkiler, bitkisel yağların kullanımını gerektirmiş ve tribolojistlerin araştırma konuları arasında yerini almıştır. Bitkisel yağların doğaya bırakıldıklarında çevreyi kirletmemeleri, bir tarım ülkesi olmamız nedeniyle çok önemlidir. Ayrıca ülkemizde hammadde kaynağının kolaylıkla karşılanabilme imkânları yeni istihdam olanakları doğuracaktır (Salman ve Durak, 2011).

Bu çalışmada tek silindirli iki zamanlı bir benzinli motorda kullanılan mineral yağlama yağı değiştirilerek yerine bitkisel kökenli yağlama yağları kullanılmıştır. Deneyde mineral motor yağı ve bitkisel yağların (kanola ve ayçiçeği yağı) motorlarda piston ve segmanlar üzerinde biriktirdiği kurum değerlendirilmiş bu yağların triboloji üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca segmanların SEM fotoğrafları çekilerek mikro yapıdaki değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla iki zamanlı motor segmanlarının her ikisi kaplanmadan mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Daha sonra motorun her iki segmanı bor ile PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi kullanılarak kaplanmış ve mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan çalışmada ise kaplanmış segmanlar ile deney gerçekleştirilmiştir. Yakıt içerisine yağlama yağı olarak 25lt benzin içerisine 1lt bitkisel yağ veya mineral esaslı yağlama yağı karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılan motor gerçek çalışma şartlarında yüklenerek her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Daha sonra motor her seferinde sökülerek kurum oluşumu ile piston ve segmandaki aşınmalar incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Motorlarda meydana gelen mekanik kayıpları azaltma çalışmaları arasında piston-segman silindir arasındaki sürtünme kayıpları önemli yer tutar. Motor parçalarının kaplanması, farklı özellikteki yağların kullanımı ile sürtünme katsayısının düşürülmesi sonucunda mekanik kayıpların azaltılması amaçlanmaktadır. Literatürde, motorda meydana gelen kayıpların nedenleri ve bu kayıpları azaltmak amacıyla yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Hazar ve Öner (2005), dizel motoru silindir yüzeyinin aşınma davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla dört zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunu 200 saat farklı yük ve hızlarda test etmişlerdir. Silindir yüzeylerinde oluşan aşınmaları incelemek amacıyla silindirin karşılıklı bölgelerinden numuneler kesilmiş ve bu numuneler üzerinde SEM (Scanning Electron Microscopy) ve yüzey pürüzlülük analizlerini yapmışlardır. Deneylerde silindir yüzeyinin Ü.Ö.N'ya (üst ölü nokta) yakın bölgelerinde yüzey pürüzlülüğünün orta ve alt bölgelere oranla daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Pürüzlü yüzeylerde yağ filminin yırtılmasının abrasiv aşınmaya sebep olduğu ve yağ filminin yırtılmasının sürtünme katsayısı üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Rejowski ve ark. (2012)'de, ağır hizmet tipi bir aracın üst segmanına CrN (krom nitrür) kaplaması, silindir yüzeyine ise DLC (Diamont-like-carbon) kaplama uygulayarak meydana gelen aşınmayı incelemişler. İnceleme neticesinde sürtünme kayıplarının %19 azaldığı, kaplanmamış silindir yüzeyine göre DLC kaplı yüzeyin aşınma direncinin daha yüksek olduğunu ve özgül yakıt tüketiminde %2,5 azalma gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Hazar (2004), tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motoru silindir yüzeyini CrN kaplayarak aşınma davranışını deneysel olarak incelemiştir. Deneyde kullanılan motor silindiri önce kaplanmış olarak belirli yük ve devir sayılarında 200 saat test edilerek performans değerleri ölçülmüştür. Aynı deneysel çalışma normal motor içinde yapılmış ve her iki motora ait performans değerleri karşılaştırılmıştır. Silindirde meydana gelen aşınma etkilerinin belirlenmesi için kaplanmış ve kaplanmamış silindirlerin karşılıklı olarak aynı bölgelerinden numuneler SEM, EDS, X- Ray, yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik analizleri ile motor silindirlerinin mukayesesi yapılmıştır. Deneyler sonucunda CrN kaplı silindirde aşınmanın az ve aşınma çizgileri derinliğinin kaplanmamış silindire göre daha düşük olduğunu tespit etmiştir. CrN kaplı silindirde mikro çatlakların olduğu bunun

kaplama aşamasında oluşan iç gerilimlere bağlı olduğu sonucuna varmıştır. Kaplanmış yüzeyin aşınma direncinin yüksek, sürtünme katsayısının düşük olması aşınmayı azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Deneyde özgül yakıt tüketiminde %2'lik bir azalmanın olduğu tespit edilmiş bu azalmanın kaplama neticesinde oluşan kısmi termal bariyer etkisiyle oluştuğu ifade edilmiştir. Kaplanmış motorda yanma sonu sıcaklığının artması birim yakıttan daha fazla verim elde edilmesiyle efektif gücün bir miktar yükseldiği tespit edilmiştir. Kaplanmış motorda yanma odası sıcaklığının CO emisyonu üzerinde etkili olduğu bu nedenle CO emisyonunun düşük çıktığı belirtilmiştir. Kaplamanın ince oluşu sebebiyle yanma odası sıcaklığı üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı, bu nedenle NOx konsantrasyonuna etkisinin pek olmadığı sonucuna varılmıştır.

Jayadas vd. (2007), iki zamanlı motorlarda yağlayıcı olarak kullanılan mineral esaslı 2T yağının motor aşınmasını arttırması nedeniyle, hindistan cevizi yağının kullanılabilirliğini araştırmışlar. Ayrıca aşınma önleyici / yüksek basınç (AG / EP) katkı maddelerinin hindistan cevizi yağı, tribolojik performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada özel iki zamanlı motorlarda aşınma testi ile dört bilyeli aşınma setini kullanmışlardır. Hindistan cevizi yağı yüksek sürtünme katsayısı açısından değerlendirildiğinde sınır yüzeylerinin yağlanmasında iyi bir yağlayıcıdır. Buna rağmen, ticari yağlayıcılarla karşılaştırıldığında 2T yağı olarak modifiye edilmemiş formda kullanılması önerilmemiştir. Bir otomobil yağlayıcısı olarak hindistan cevizi yağının düşük sıcaklık özellikleri de dâhil olmak üzere oksidatif, termal, hidrolik kararlılık, akma noktası vb birçok özelliklerinin modifiye edilmesi gerektiğini vurgulamışlar. Ancak AW / EP katkı eklenmesi ile aşınma miktarında önemli derecede bir azalma meydana geldiği ve 2T yağı olarak hindistan cevizi yağının kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Cesur (2008), segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınmayı incelemek amacıyla bir aşınma cihazının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Aşınma cihazında yağlayıcı olarak % 100 yağ, % 100 dizel, % 50 dizel + % 50 yağ, % 100 TTYME (tütün tohumu yağı metil esteri) ve % 100 AYME' nin (ayçiçeği yağı metil esteri) kullanılmasının segman-silindir çifti arasındaki, yük ve devir değişimlerine bağlı olarak sürtünme ve aşınmaya olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyde en düşük sürtünme katsayısını dizel motorlarda kullanılan 15 W 40 dizel yağı (%100 yağ), en yüksek sürtünme katsayısını %100 dizelin verdiğini tespit etmiştir. İki farklı biyodizel ile %100 dizel karşılaştırıldığında biyodizellerin sürtünme katsayısının daha düşük olduğu ve yağlama özelliğinin daha iyi olduğunu tespit etmiştir. %100 AYME ile %100 TTYME

karşılaştırıldığında ise sürtünme katsayılarının yaklaşık aynı olduğu fakat %100 AYME de daha az sürtünme katsayısı değeri elde etmiştir.

Ekem (2011), Renault marka ıslak gömlekli içten yanmalı motor silindir gömleklerinden alınan numunelerin bir kısmına plazma ile azot kaplama işlemini gerçekleştirmiştir. Daha sonra kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin sürtünme kuvvetlerini ölçerek sürtünme katsayılarını hesaplamıştır. Deneyde kaplanmış silindir gömleği numunesinin sürtünme katsayısı % 10,5 düşürülebilmektedir. Sürtünme katsayısındaki bu azalmanın malzemede sürtünmeye karşı bir iyileşmenin gerçekleştiği şeklinde yorumlanmış ve iyileştirme olayının yeterliliği, iyileşmenin atırılmasının yapılacak yeni araştırma, geliştirme çalışmalarına bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Masjuki ve Maleque (1996)'da, palmye yağı metil esteri (POME) ile yağlama yağını karıştırıp iki zamanlı benzinli motorda kullanarak yaptığı çalışmada, yağlama yağına katılan POME'nin etkisini incelemişlerdir. POME katkı maddesi ilave edilen yağlama yağının, saf petrol yağına nazaran daha iyi bir aşınma direnci ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir.

Mert (2007)'de, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda bazı parametrelerin motor sürtünme gücüne etkilerini inceleyerek motorda sürtünmeye harcanan enerjinin düşürülmesini amaçlamıştır. Bu amaçla, segmanlar düşük sürtünmeli katı yağlayıcı materyal olan bor nitrür ile kaplanmıştır. Kaplama tekniğinden kaynaklanan problemlerden dolayı yeterli kaplama kalınlığının elde edilemediği buna rağmen motor sürtünme kayıplarında bir miktar azalmanın olduğunu tespit etmiştir. Deneyler sonucunda sürtünme kaybının artan motor hızı ve sıkıştırma oranı ile yükseldiğini tespit etmiştir. Artan yağ sıcaklığı ile sürtünme kaybının azaldığı fakat yağ sıcaklığının 70 °C'nin üzerine çıktığında yağın viskozitesinin düşmesi sonucu sürtünme kaybının yeniden arttığını tespit etmiştir.

Koç (2009)'da, yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri inceleyerek HFFR (Yüksek Frekanslı İleri Geri Hareket Testi) metodu ve Pin-On-Disk aşınma cihazı ile keten tohumu, kavun ve karpuz çekirdeklerinden üretilmiş biyodizelin yağlayıcılık özelliğini incelemiştir. Bu amaçla dizel yakıtı ile hacimsel olarak %4, %20 ve %50 oranında biyodizel karıştırarak çalışmasını gerçekleştirmiştir. Genel olarak en iyi yağlayıcılık değerlerini %50 biyodizel-dizel karışımlarından elde etmiştir. Dizel yakıtı biyodizel ilavesi ile yağlayıcılık özelliklerinde %45 iyileşme olduğunu tespit etmiştir. Motor enjeksiyon sistemi sadece yakıt ile yağlandığından dizel yakıtlara düşük oranlarda bile biyodizel eklenmesi yağlayıcılık özelliklerini önemli oranda artırır. Koç,

bunun dizel yakıt sistemi açısından önemli olduğunu tespit etmiştir.

Husnawan ve ark. (2007)'de, yağlama yağı olarak palmiye yağının yağlayıcılık özelliklerini belirlemek için dört bilye aşınma setinde testler yapmışlardır. Bu amaçla mineral baz yağ ile aşınma önleyici amine fosfat katkıları içeren palmiye yağını testlerde kullanmışlar. Testlerde kullanılan yağların malzeme yüzeyindeki aşınma izlerini de incelemişler. Çalışmada palmiye yağının aşınma performansının mineral yağla kıyasla daha iyi olduğunu saptamışlardır. Ayrıca palmiye yağına aşınma önleyici katkı maddesinin katılması durumunda ise aşınma izlerinin küçülerek daha iyi yağlama yapıldığını gözlemlemişlerdir.

Özçelik (2011)'de, aspirden elde edilen biyodizel yakıtı motorinle %2 (B2) ve %20 (B20) oranında karıştırmıştır. Karışımlar sonucunda elde edilen B2, B20, B100 ve motorin yakıtlarıyla dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direk püskürtmeli yakıt sistemine sahip bir dizel motorda performans ve emisyon değerlerini belirlemiştir. Motoru her bir yakıt türü için, kısmi yük altında 100 saat çalıştırmış ve belirli saatlerde motor yağlama yağından numuneler almıştır. Motor yağlama yağından alınan bu numunelerin, aşınma elementleri olan demir, alüminyum, kurşun, bakır ve krom durumlarına bakmıştır. ICP (Inductively Coupled Plasma) yağ analizleri sonuçlarını incelediğinde motordaki aşınma ürünlerinde biyodizel ve karışımlarının kullanılmasının motorin yakıtına nazaran daha fazla arttığı, ancak yine de kabul edilebilir limit değerler içerisinde kaldığı sonucuna ulaşmıştır.

Castro ve ark. (2006)'da soya yağı, yüksek oleik içeren soya yağı ve epokside olmuş soya yağının etkilerini mikro oksidasyon ve dört bilye testleri ile katkı maddesi olmadan incelenmişlerdir. En iyi aşınma özelliğine yüksek oleik asit içeren soya yağının, en iyi oksidatif kararlılığa ise epokside olmuş soya yağının sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca biyolojik olarak parçalanabilen çevre dostu bitkisel yağların kullanımının giderek arttığını ifade etmişlerdir. Ancak bu yağların oksidatif kararlılık ve düşük sıcaklık performans özellikleri konusunda çekincelerin olduğunu vurgulamıştır. Bu özelliklerinin iyileştirilmesinin kimyasal veya genetik yolla mümkün olabileceği ifadesine yer verilmiştir.

Ezirmik ve Ürgen (2010)'da, PVD yöntemini kullanarak yüksek hız takım çeliği üzerine, farklı Ag içeriğine sahip (%1.4, %8, %24Ag) MoN-Ag kaplamalarına karşı Al_2O_3 malzeme kullanarak atmosferik koşullardaki sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca, aşınma deneylerinde katkısız MoN kaplamalarla birlikte değişik

oranlarda Ag içeriğine sahip kaplamalarla sürtünme ve aşınma deneylerini yapmışlardır. Deneyler sonucunda yüksek Ag içeren kaplamalarda aşınmanın fazla olduğu, diğer kaplamalarda ise önemli bir aşınmanın söz konusu olmadığı belirlenmiştir. Ag'ın en önemli faydasının %8 Ag içeren MoN-Ag kaplamalarda olduğunu tespit etmişlerdir.

Hazar ve Öztürk (2009)'da, deneysel çalışmalarını 4 zamanlı tek silindirli hava soğutmalı bir dizel motor üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla yanma odası elamanlarından piston ve supapları plazma sprej yöntemi kullanarak $Al_2O_3-TiO_3$ (%87-13) seramik kompozit tabakayla kaplamışlardır. Kaplanan ve kaplanmayan yüzeyleri aynı şartlar altında test etmişler. Daha sonra kaplanmış ve kaplanmamış malzemelerin mikro yapısı ve yüzey davranışlarını incelemek için SEM ve optik mikroskop analizleri yapmışlardır. Yapılan deneyler kaplanan yüzeyin çalışma sonrasında büyük oranda muhafaza edildiği, kaplamanın çalışmayı etkileyecek bir duruma sebep olmadığı, kaplama işlemiyle malzemelerin termal dirençlerinin artması dolayısıyla mekanik ömürlerinin arttığı ve parçaların çalışma şartları düşünüldüğünde plazma sprej kaplama yönteminin uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Durak (2010)'da, bir proje çalışmasıyla, makinelerde kullanılan mineral esaslı yağlama yağı yerine yağlayıcı ve yağ katkı maddesi olarak bitkisel Aspir Metil Ester (AME), Kanola Metil Ester (KME) ve Soya Metil Ester'in (SME) sürtünme katsayılarını deneysel olarak incelemiştir. Deney için % 100 Mineral baz yağ, %2.5 ME+%97.5 baz yağ, % 5 ME+%95 baz yağ, %10 ME+ %90 baz yağ ve % 100 ME şeklinde test numunelerini kullanmıştır. Genel olarak, hem SME, KME ve AME yağlayıcı olarak kullanıldığında, hem de katkı maddesi olarak kullanıldığında daha düşük sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Bu yağlayıcı ve yağ katkı maddeleri içinde genel olarak % 100 SME'nin en iyi neticeyi verdiği, özellikle % 10 SME konsantrasyonunun en iyi performansı gerçekleştirdiğini görmüştür.

Ciniviz ve ark. (2008)'de, deneysel çalışmaları için bir dizel motorunun yanma odası yüzeylerini seramikle kaplamanın ısı kayıplarına ve motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla motor silindir kapağı ve supaplarını $Y_2O_3-ZrO_2$ (yitriyum ile stabilize zirkonya) ile kaplamışlardır. Deney sonucunda tam yükteki motor gücü değerleri, seramik kaplamalı motorda (SKM) standart dizel motora (STD) göre %1-3 arasında ve motor momenti değerlerinde ise %1,5-2,5 arasında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Seramik kaplamalı motorlarda motor performansının belirgin bir şekilde artmasının volümetrik verimdeki artıştan kaynaklandığı belirtmişlerdir. Ayrıca seramik kaplamalı

motorlarda soğutma suyuna kaybedilen ısı enerjisinin %19 daha az olduğu görülmüştür. Bu durumun soğutma sisteminin küçültülmesine imkan sağlayarak soğutma sistemine olan ihtiyacı daha alt seviyelere indireceği ve toplam motor ağırlığının azalmasına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Ancak seramik kaplama sonucu, egzoz gaz sıcaklıklarının bütün çalışma şartlarında %7-20 arasında arttığı gözlenmiştir. Egzozdan kaybedilen bu ısıнын turbo kombine ile sisteme kazandırılması durumunda motor performansında daha da artışa neden olacağı ifade edilmiştir.

Keven (2013)'te, tek silindirli iki zamanlı benzinli bir motorda mineral yağ ve bitkisel yağları yağlama yağı olarak kullanıp, yağların tribolojik fonksiyonunu incelemiştir. Yağlama yağlarının tribolojik fonksiyonlarını araştırmak için hem deney motoru hem de simülasyon test cihazını kullanmıştır. Bu deneysel çalışmada yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı ve fındık yağı metil esterini kullanmıştır. Deney motorunu, seçilen her bir yağ için 100 saat çalıştırmıştır. Silindir yüzeyindeki aşınmayı tespit etmek için numuneler hazırlayıp SEM ve EDS analizlerini yapmıştır. Gerçekleştirdiği analiz çalışması sonuçlarına göre fındık yağı ve fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda silindir yüzeyindeki aşınmaların arttığını gözlemlemiştir. Deney motorundaki çalışmaya ek olarak simülasyon test cihazında yağlama yağı olarak mineral yağ, fındık yağı, fındık yağı metil esteri ve kanola yağı kullanılarak silindir numunesi aşındırılmıştır. Çalışmada numune olarak dökme demir ile CrN ve TiN kaplı silindir örneklerini kullanılmıştır. Simülasyon test cihazı, her bir numune ve yağlama yağı için 40'ar saat ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Çalışmalar neticesinde yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre dökme demir silindir numunesinin, CrN ve TiN kaplamaya göre daha fazla aşındığı tespit edilmiştir.

Acaroğlu ve ark. (2001)'de, TÜMOSAN'ın (Türk Motor Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi) katkıları ile Konya da yapılan bir çalışmada kolza-00 (kanola) yağını motor yağı olarak 3 silindirli 34 Kw'lık bir dizel motorda kullanmış ve bu yağın motor yağı olarak kullanımının mümkün olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Shashidhara ve Jayaram (2010)'da, metal kesme ve şekillendirme sanayinde kullanılan bitkisel yağlar ile ilgili literatür çalışması yapmışlardır. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçları açıklamışlardır. Bu anlamdaki çalışmaların çoğunun soya, ayçiçeği ve kolza yağı üzerine yoğunlaştığı ve bu yağların bir metal işleme sıvısı olarak ilgili özellikleri barındırdığı vurgulanmıştır.

Lawal vd. (2011)'de, bitkisel yağ bazlı metal işleme sıvılarının uygulanabilirliğini araştırmışlar. Metal işleme akışkanlarının avantajları ve onların kesim gücü performansları,

iş parçasının yüzey bitimi, takım aşınımı ve kesim bölgesindeki sıcaklık açısından değerlendirilmiştir. Bitkisel kaynaklı yağların metal işleme sıvısı olarak mineral yağlarla elde edilen sonuçlara benzer performans ile işleme sağladığı ve bitkisel yağların metal işlemenin çevre dostu bir modu olabileceğini vurgulamışlardır.



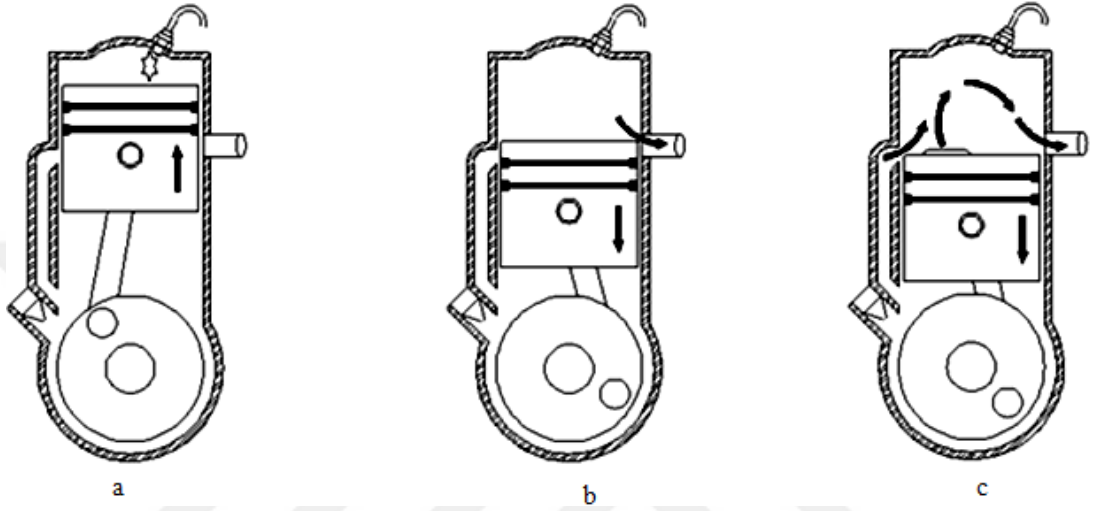
3. GENEL BİLGİLER

3.1. İki Zamanlı Motorlar

İki zamanlı motorlarda krank milinin her devrinde (iki strokta) bir iş çevrimi tamamlandığından bu motorlara iki zamanlı motorlar denilmektedir. Bu motorlarda pistonun ölü noktalar arasındaki bir hareketinde iki zaman ardışık olarak meydana gelmektedir. İki zamanlı motorlarda iş-egzoz zamanları piston Ü.Ö.N'dan A.Ö.N'ya inerken, emme-sıkıştırma zamanları ise A.Ö.N' dan Ü.Ö.N'ya çıkarken meydana gelmektedir. İki zamanlı motorlarda genellikle supap yoktur. Bu motorlara karterden doldurmalı veya süpürmeli motorlar denir. Çalışma dolgusu silindirler içerisine emme portu adı verilen kanallar aracılığı ile girer. Yanmış gazlar ise egzoz portlarından dışarıya atılır. Portların açılıp kapanması pistonun ölü noktalar arasındaki hareketi ile olmaktadır. İki zamanlı motorlar tarımsal amaçlı araçlarda, deniz taşıtlarında ve iş makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yardım, 2008; Borat ve ark. ,1994; Özdamar ve Yelken, 1987; Staudt, 2000).

İki zamanlı motorlarda piston A.Ö.N.'dan Ü.Ö.N.'ya doğru hareket ederken emme-sıkıştırma zamanlarını gerçekleştirirken önce emme portunu daha sonra egzoz portunu kapatır. Pistonun Ü.Ö.N.'ya hareketiyle dizel motorlarda taze havayı, benzinli motorlarda hava-yakıt karışımını kartere alırken, bir yandan da silindire daha önceden alınmış olan dolguyu sıkıştırır. Pistonun üst tarafı sıkıştırma yaparken alt tarafı karter boşluğu ve vakum oluşturur. Piston ÜÖN'ya yaklaştığında reed valften kartere yakıt hava karışımı veya hava dolar. Piston Ü.Ö.N'ya ulaşmadan biraz önce sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artan taze hava içerisine dizel motorlarda yakıt püskürtülerek, benzinli motorlarda ise karışım buji ile ateşlenerek yanmaya başlar. Yanma çok kısa bir sürede gerçekleştiğinden piston çok az hareket ettiği için yanmanın yaklaşık olarak sabit hacimde gerçekleştiği kabul edilebilir. Yanma sonucu basınç ve sıcaklık birdenbire artar. Meydana gelen basınç pistonu hızla A.Ö.N'ya iter ve politropik genişleme olur. Krank milinden alınan döndürme momenti ile yararlı iş elde edilir. Bu sırada pistonun alt yüzü, kartere daha önceden dolmuş olan yakıt-hava karışımını veya havayı biraz sıkıştırır. Piston AÖN'ya yaklaştığında, önce egzoz portları açılır ve yanmış gazlar egzoz kanalından hızla dışarıya boşalmaya başlar ve basınç hızlı bir şekilde düşer. Daha sonra emme portlarının açılması ile karterde sıkıştırılmış olan

hava veya taze karışım emme portundan silindire girerek, atık egzoz gazlarını süpürür ve dışarı atılmasına yardımcı olur (Şekil 3.1). Süpürme işlemi esnasında benzinli motorlarda karışımın bir kısmı egzoz gazları ile dışarıya atılır. Bu iki zamanlı motorlarda verim kaybının sebeplerindendir. Böylece pistonun iki hareketi veya krank milinin bir tam turu (360^0) sonunda bir iş çevrimi tamamlanmış olur (Kaya, 2010; Okur ve Çetinkaya, 2004).



Şekil 3.1. İki zamanlı benzinli bir motorun çalışmasının şematik gösterimi

a) Sıkıştırma, Kartere emme **b)** Genişleme, Karterde sıkıştırma **c)** Süpürme (Kaya, 2010).

3.1.1. İki Zamanlı Motorlarda Yağlama

Endüstriyel otomotiv ve el aletlerinde kullanımı giderek artan iki zamanlı motorlar 19. yüzyılın çeyreğinde icat edildikten sonra geliştirilerek günümüze kadar gelmişlerdir. İki zamanlı motorlar hafiflikleri, basit tasarımları, düşük maliyetleri, yüksek güçleri sebebiyle yaygın kullanım alanı bulabilmişlerdir. Bu motorlardan küçük boyutlu olanlarda yağlama, yakıt içerisine belirli oranlarda yağ katılarak ($1/20-1/25$) yapılır. Yağlama yağı yakıt ile birlikte yandığından yüksek sıcaklıkta yağlama görevini yerine getirmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca yanan yağ, yanmayı kötüleştirdiği gibi yağın çevreye kalıntı (is, kurum... vs.), ve zararlı emisyonları bırakması önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Yağlamanın yakıt içerisine katılan yağ ile sağlandığı iki zamanlı motorlarda dört zamanlı motorlardan farklı olarak yağlayıcının yakıtla birlikte yanması sebebiyle fazla kirlenici olmaları, çevre dostu yağlayıcıların geliştirilmesini gerekli kılmıştır. İyi bir yağlayıcı motorlarda sürtünmeleri azaltması sebebiyle çıkış gücünü artırırken, yakıt

tüketimini, yağ tüketimini ve zararlı emisyonları da düşürür (Keven, 2013).

3.2. Yağlayıcı Maddeler

Yağlayıcılar, birbirleriyle temas halinde olan fakat farklı hızlarda veya biri hareketsiz diğeri hareketli iki yüzey arasında meydana gelen sürtünmeden kaynaklı enerji kayıplarını en aza indirmek için eskiden beri kullanılmışlardır. Yağlayıcılar kullanılarak iki farklı yüzey arasında bir film tabakası oluşturulur ve sürtünme kayıpları mümkün olduğu derecede yok edilmeye çalışılır (Babalık ve ark., 2012).

Yağlayıcı olarak kullanabilen maddeler fiziksel özelliklerine göre; katı, sıvı, yarı sıvı (gres yağlar), ve gaz yağlayıcılar olarak sınıflandırılabilir.

Katı yağlayıcılar, grafit, molibden disülfid ve politetrafloretillen (PTFE) en çok kullanılanlarıdır. Sıvı yağlarla, gres yağlarla veya tek başlarına kullanılabilirler (Akkurt, 2011).

Sıvı yağlayıcılar, genelde petrol ürünlerinin işlenmesinden elde edilir ve en geniş yağlayıcı grubunu teşkil eder. Organik yağlar (bitkisel ve hayvansal yağlar), sentetik yağlar ve petrol kökenli yağlar (mineral yağlar) olmak üzere ham maddesine göre sınıflandırılırlar (Cürgül, 2011).

Gres yağlayıcılar, genelde 20⁰C’ de katı halde bulunan, düşük hız ve kuvvetlerde kullanılan sıvı yağ ve katılaştırıcı maddeden oluşan yağlayıcılardır. Katılaştırıcı olarak kalsiyum, sodyum, alüminyum, lityum gibi maddeler kullanılır ve gresler bu maddelere göre adlandırılır. Gres yağlara yüksek basınçlara ve kayma hızlarına karşı dayanıklı olmaları için bazı katkı maddeleri (grafit, molibden disülfid ve PTFE) ilave edilir (Akkurt, 2011).

Gaz yağlayıcılar, düşük yük, yüksek hız gerektiren ve küçük boyutlu kaymalı yataklarda kullanılır. Genelde gıda ve ilaç sektöründe gaz yağlayıcılar kullanılır. Hava, hidrojen ve azot gibi gazlardan oluşur (Akkurt, 2011; Babalık ve Çavdar 2011).

3.2.1 Mineral Yağlar

Günümüzde mevcut yağlayıcılar içerisinde en çok kullanılan yağlayıcı mineral yağlayıcılardır. Bu yağlayıcıların tercih sebeplerini şu şekilde açıklayabiliriz.

a) Yüzeyler arasında kolayca hareket edebilmeleri,

- b) Akışın olması durumunda ısıyı dışarı taşıyabilmeleri,
- c) Ucuz olmaları,
- d) Depolama ve taşıma işlemlerinin kolay oluşu,
- e) Metaller üzerinde oksitleyici etkileri olmayışı,
- f) Basit sistemlerle temizlenmiş ve soğutulmuş olarak sistemde dolaşımlarının mümkün oluşu (Akkurt, 2011; Özçelik, 2011).

Ham petrolden damıtma yoluyla elde edilen ürünlerin ikinci bir distilasyona tabi tutulması ile elde edilen mineral yağların yağlayıcılık özellikleri düşüktür bu sebeple basit yağlama işlerinde kullanılırlar. Bu yağların daha üstün özelliklere sahip olabilmeleri amacıyla damıtma işleminden sonra rafine işlemine tabi tutulurlar. Rafine yağları da denilen bu yağların bazı özelliklerini iyileştirmek için bu yağlara katkı maddeleri ilave edilir. Aditifli yağlar olarak adlandırılan bu yağların geliştirilen özelliklerine bağlı olarak yapışma kabiliyetini arttıran yüksek basınçlı yağlar, korozyona dayanıklı anti korozif yağlar, viskoziteleri sıcaklıkla çok az değişen dört mevsim yağlar olarak isimlendirilmektedirler (Akkurt, 2011).

Minarel yağlar kimyasal yapı bakımından üç temel gruba ayrılırlar.

1. Alifatik yapıdaki madeni yağlar:
 - a) Parafinik yapıdaki madeni yağlar.
 - b) Naftanik yapıdaki madeni yağlar.
2. Aromatik yapıdaki madeni yağlar.
3. Karışık (Alifatik ve Aromatik) yapıdaki madeni yağlar (Yardım, 2008; Özçelik, 2011; Altıparmak, 2007).

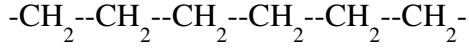
3.2.1.1. Alifatik Yapıdaki Mineral Yağlar

Bu yağlar çok sayıda karbon atomunun hidrojenle birleşmesi sonucu meydana gelmiş doymuş hidrokarbonlardır. Bu yağlar yapılarına göre parafinik ve naftanik olmak üzere iki önemli grup olarak bulunurlar (Yardım, 2008).

Parafinik Yağlar

Ham petrolün yapısında bulunan parafinik hidrokarbonlar, düz veya dallanmış zincir

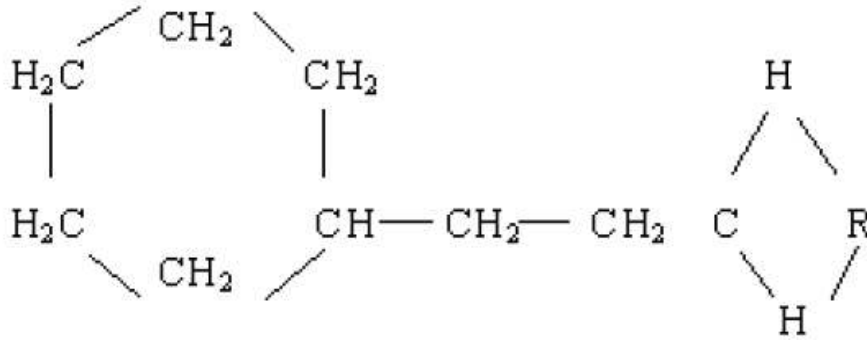
şeklinde doymuş hidrokarbon moleküllerinden meydana gelmiş olup C_nH_{2n+2} şeklinde formüle edilir. Parafinik yapıdaki mineral yağların yapısı şu şekildedir.



Parafin yapındaki yağların viskozite indeksleri, akma noktası, alevlenme noktası, API (American Petroleum Institute) dereceleri yüksek, soğukta fazla koyulaşmakta ve yüksek sıcaklıkta stabildirler. Oksitlenmeye karşı dayanıklı oldukları için oksidasyon stabilitesinin önemli olduğu makine yağlarının üretiminde ana hammadde olarak kullanılmaktadır (Yardım, 2008; Cürgül, 2011; Özçelik, 2011; Altıparmak, 2007).

Naftanik Yağlar

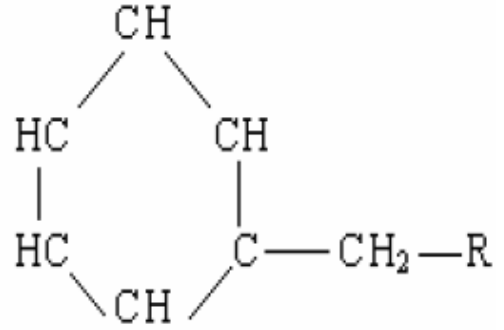
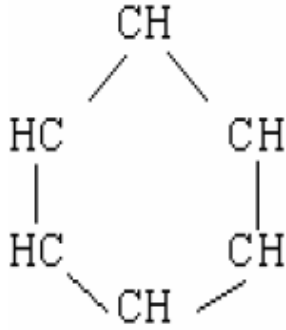
Ham petrolün yapısında bulunan naftanik hidrokarbonlar ise halka şeklindeki doymuş hidrokarbon molekülleri olup C_nH_{2n} şeklinde formüle edilirler. Parafinik yapıdaki mineral yağların yapısı şu şekildedir (Altıparmak, 2007).



Naftanik yapıdaki yağların viskozite indeksleri, akma noktası, alevlenme noktası, API dereceleri düşük, soğukta fazla koyulaşmamakta ve yüksek sıcaklıkta stabil değildirler. Oksitlenmeye karşı dayanırlıkları parafinik yağlara göre düşüktür ve çok düşük sıcaklık şartlarında kullanılacak bazı özel yağların üretimlerinde kullanılırlar (Yardım, 2008; Cürgül, 2011; Özçelik, 2011; Altıparmak, 2007).

3.2.1.2. Aromatik Yapıdaki Mineral Yağlar

Bu hidrokarbonlar halka şeklinde, çift bağlar içeren doymamış hidrokarbon moleküllerinden olup C_nH_n şeklinde formüle edilir ve bu yağların esasını benzen (C_6H_6) ve türevleri olarak tanımlanmıştır. Aromatik ifadesi bu gruptaki bileşiklerin hoş kokulu olmalarından kaynaklanmaktadır. Aromatik sınıfın, alifatik sınıfına nazaran üstünlüğü, alifatik hidrokarbonlardan yalnız alifatik bileşikler yapılmasına rağmen, aromatik hidrokarbonlardan bir çok sınıf türeyebilir. Aromatik hidrokarbonlar, benzen halkalarının durumuna göre yapılarındaki değişken tek ve çift bağlara göre karakterize edilir. Tek ve çift bağlar sürekli titreşim yaparak benzen halkasındaki karbon atomlarının yerlerini sürekli değiştirir. Çok çabuk oksitlenerek yağın kalitesini kısa sürede bozarlar. Viskozite indeksi ve akma noktaları molekül yapılarına bağlı olarak düşüktür (Yardım, 2008; Özçelik, 2011; Altıparmak, 2007).



3.2.1.3. Karışık (Alifatik ve Aromatik) Yapıdaki Mineral Yağlar

Her iki grubun özelliklerini taşıdığından doymuş ve doymamış hidrokarbonlardan meydana gelirler. Karışık yapıdaki mineral yağlar hidrokarbonların yapılarına göre yüksek viskozite indeksi, oksidasyon stabilitesi ve akma noktası olarak özetlenebilir (Yardım, 2008; Özçelik, 2011).

3.2.2 Sentetik Yağlar

II. Dünya savaşında ve sonrasında hızla gelişen havacılık ve silah sanayinin ihtiyaçları doğrultusunda madensel yağların yetersiz kalması sentetik yağların gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca son yıllarda petrol üretiminin azalması, petrol fiyatlarındaki artış, günümüzün gelişen teknolojisine uygun daha zor şartlarda çalışabilecek yağlayıcılara gereksinim duyulması sentetik yağlayıcıların kullanımını arttırmıştır. Fakat mineral yağlara kıyasla yüksek olan maliyetleri sentetik yağların otomotiv sektöründe kullanımını olumsuz etkilemiştir. Teknolojinin hızla gelişmesiyle daha yüksek performans, gelişen çevre bilinci ve üretim teknolojisindeki gelişmelerin maliyetleri düşürmesi, sentetik yağların otomobillerde kullanımını hızlandırmıştır. Katkılı mineral yağlarda beklenen özellikler (termik dayanım, zor oksitlenme, çok düşük ve yüksek sıcaklıklarda uygun viskozite, zor tutuşma vb.) elde edilmediği takdirde sentetik yağlar kullanılabilmektedir (Babalık ve Çavdar 2011; Müjdeci, 2009; Salman, 2011).

Sentetik motor yağları düşük sürtünme kuvveti, sıcaklıkla pek değişmeyen viskozitesi sayesinde motorun performansını arttırdığı, soğukta ilk hareketi kolaylaştırdığı ve yakıt tüketimini de düşürdüğü bilinmektedir. Ayrıca sentetik yağlar mineral yağlara kıyasla daha düşük/ yüksek sıcaklıklara ve yüksek basınca dayanıklıdır (Yardım, 2008; Salman, 2011). Sentetik yağların kullanım sıcaklıkları mineral yağlar ve mineral süper rafine yağlarla karşılaştırmalı olarak Tablo 3.1 de görülmektedir.

Tablo 3.1. Sentetik yağların uzun ve kısa süre kullanımda sıcaklık sınırları (Babalık ve Çavdar, 2011).

Yağ Cinsi	Kullanım Sıcaklığı [°C]	
	Uzun Süre Kullanım	Kısa Süre Kullanım
Sentetik hidrokarbonlar	170-230	310-340
Poliglikol	160-170	200-220
Polifenileter	310-370	420-480
Fosforasiti akril esterleri	90-120	120-150
Polisiloksan	180-220	260-280
Silikon	220-260	310-340
Perflorkarbonhidratı	280-340	400-450
Perflorpoliglikol	230-260	280-340
Madeni yağlar	90-120	130-150
Madeni süper rafineler	170-230	310-340

Sentetik yağlar petrol esaslı olmayıp laboratuvar şartlarında kimyasal sentez yöntemiyle elde edilen ve özel alanlarda kullanılan kaliteli ancak pahalı yağlardır. Bu yağlar kimyasal olarak hidrokarbonlar (yalnız H ve C ihtiva eder) ve sentetik sıvılar olarak iki gruba ayrılırlar. Sentetik hidrokarbonlar; alkil benzol (DAB), polialfaolefin (PAO), poliizobuten (PIB). Sentetik sıvılar ise; polifenileter, polifloralkileter, silikon yağ ve fosfor asiti esteridir (Babalık ve Çavdar, 2011).

3.2.3. Yarı Sentetik Yağlar

Genel olarak yarı sentetik yağlar, mineral yağa %20-30 oranında karıştırılmak suretiyle elde edilirler. Hem ekonomik açıdan, hem de performans açısından mineral ve sentetik yağların arasında yer alırlar (Özçelik, 2011).

3.2.4. Bitkisel Yağlar

Yaklaşık 1900'lü yıllara kadar yağlayıcı olarak bitkisel ve hayvansal yağlar kullanılmaktaydı. Bu yağlar daha çok iki tekerlekli araçlarda kullanılmaktaydı. 1900'lü yıllara yaklaşıldığında ve sonrasında petrol türevi yağların kullanımı giderek hız kazanmış

bitkisel yağların kullanımı ise azalma eğilimi göstermiştir. Fakat yakın geçmişte ve günümüzde çevresel duyarlılığın ön plana çıkması, teknolojinin hızla gelişmesi, yeni enerji kaynağı arayışları bitkisel yağlara olan yönelimi tekrar hızlandırmıştır (Özçelik, 2011).

Dünyada ister yabani ister kültürel olarak yetiştirilen tek ve çok yıllık bitkilerin meyve kısımları veya tohumları değişik oranlarda yağ içermektedir. Tek yıllık bitkilerden Ayçiçeği, Çiğit, Yerfıstığı, Kolza, Susam, Soya, Hintyağı, Aspir ve Haşhaş gibi diğer tüm yağlı tohumlu bitkiler ülkemizde yetiştirilebilmektedir. Çok yıllık bitkilerden olan Zeytin ülkemizde yetişme alanı bulurken, Hindistan cevizi ve Hurma tropik kökenli bitkilerden olduğu için ülkemizde yetişmemektedir (URL 1).

Bitkisel yağlar, yağlı bitkilerin tohumlarından veya meyvelerinden elde edilir. Yağın bitkilerden elde edilmesi iki aşamada gerçekleşir:

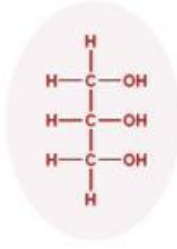
- a) Yağlı tohum veya meyveler makineler de ezilerek ham yağ ve posası elde edilir.
- b) Elde edilen ham yağın arıtılması için bir takım işlemlerden geçmesi (nötürleştirme, renk giderme, süzme ve koku giderme). Bu süreçlerden sonra yağlar kullanıma hazır hale gelir (Acaroğlu, 2007).

Bitkilerin yapısındaki yağ asidi bileşimi, biyolojik özellikleri ve yetiştirildiği çevresel faktörlere bağlı olarak bitkilerden çeşitli miktarlarda yağ elde edilmektedir. Genelde hasattan sonra böcek türleri ve bazı kimyasal reaksiyonlar sonucunda bitkilerin meyve veya tohumlarında ki yağ oranı azalmaktadır. Ayrıca bitkinin genetik değişikliklere uğratılması sebebiyle yağ asidi bileşimindeki değişikliklerin araştırılması çalışmaları da yapılmaktadır (Özçelik, 2011).

“Bitkisel yağlar petrol kökenli yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinik ve aromatiklerden oluşmasına karşılık bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserid adı verilir (Acaroğlu, 2007).”

“Bitkisel yağların büyük çoğunluğunu triaçilgliseritler (Trigliseritler) oluşturur (Şekil 3. 2). Triaçilgliseritler, gliserol moleküllerinin hidroksil gruplarına ester bağlarıyla bağlı üç uzun zincir yağ asitinden meydana gelen bir yapıdır. Yağ asitleri genelde, uzun alifatik kuyruklu bir karboksilik asittir. Bitkisel yağlarda bulunan yağ asitleri genellikle 14-22 karbon uzunluğundadır ve değişik doymamışlık seviyelerine sahiptirler. Trigliceriti oluşturan yağ asitlerinin üçü aynı, üçü farklı ya da ikisi aynı biri farklı olabilir. Doğal yağ asitlerinin çoğu çift sayıda karbon atomu içerir, çünkü bunların biyolojik sentezlerinde iki karbon atomlu asetat kullanılır” (Rüzgar, 2010).

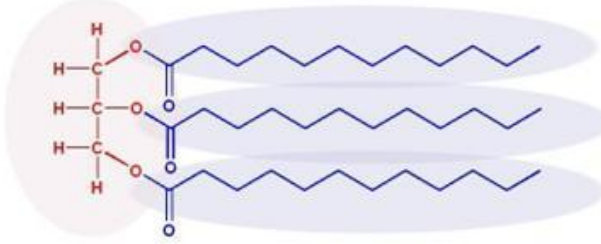
Gliserol



Serbest yağ asiti



Trigliserit (Trigliserol)



Şekil 3.2. Trigliseritlerin yapısı (Acaroğlu, 2007).

Ülkemizin iklim ve toprak yapısı her tür yağ hammaddesi tarımına elverişlidir. Ülkemizde farklı amaçlarla da olsa ayçiçeği, pamuk tohumu (çiğit), susam, haşhaş, kolza, keten, soya, ,ceviz, badem, ceviz, fındık ve mısır gibi ekonomik değerleri farklı yağ bitkilerinin üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ağırlıklı olarak işlenen ekonomik değeri yüksek olan yağlı tohumlar ayçiçeği ve pamuk tohumudur (Kayahan, 2004).

Bitkisel yağ üretimimizin 500 bin tonu yerli kaynaklardan temin edilmekte, bunun 280 bin tonu ayçiçeği yağı, 199 bin tonu pamuk yağı, geri kalanı soya, mısır ve kanola olmak üzere diğer bitkilerden elde edilmektedir. Yaklaşık olarak 1,2 milyon ton olan bitkisel yağ açığımız ithalatla karşılanmaktadır. Ülkemiz yağlı tohum ihtiyacını karşılamada yeterli bir konumda değil petrolden sonra en büyük ithalat kalemini oluşturmaktadır. Bitkisel yağlar gıda sanayinde yem sanayi, sabun sanayi, boya sanayi, oleo kimyasal sanayinin dışında da biyodizel ve biyogaz enerji üretiminde de kullanılabilmektedir (URL 2).

3.3. Taşıt Yağları ve Taşıtlarda Yağlama

Bir parçanın yüzeyi ne kadar hassas bir işlem görerek işlenirse işlensin, tamamen pürüzsüz bir yüzey elde etmek mümkün değildir. Birbirine temas ederek hareket eden bu pürüzlü yüzeyler hareketi zorlaştırır. Harekete karşı yapılan bu direnç sürtünme olarak adlandırılır. Sürtünme sonucunda parçalarda aşınma ve ısınma meydana gelir. Isınma parçaların genleşmesi ve mekanik dayanımlarının azalmasına neden olur. Yağlama işlemi ile birbirlerine temas eden parçalar arasındaki bu sürtünme en aza indirilmeye çalışılır (Özlü, 1994).

Yağlamadaki amaç birbiri ile temas halindeki parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltarak iş için gerekli olan enerji kayıplarını minimuma indirmektir.

Motorlu taşıtlarda kullanılan yağların görevlerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- a) Parçalar arasındaki kuru sürtünmeyi sıvı sürtünmeye çevirerek aşınma ve enerji kaybını engellemek.
- b) Soğutucu akışkanın ulaşamadığı piston, yataklar vb. parçalara soğuk yağ partiküllerini taşıyarak soğutma işlemini gerçekleştirmek.
- c) Piston, segman ve silindir arasında conta görevi yaparak kompresyon kaçaklarını engellemek.
- d) Tamamen ortadan kaldırılamayan sürtünme neticesinde aşınarak kopan parçaları kartere taşıyarak parçaların temizlenmesine yardımcı olmak.
- e) Motorda oluşan darbeleri ve meydana gelen sesleri sönmülemeye yardımcı olmak.
- f) Yüzeyler arasında yağ filmi oluşturarak korozyonu önlemek (Yardım, 2008).

3.3.1. Taşıt Yağlarının Genel Özellikleri

3.3.1.1. Viskozite

Viskozite yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Viskozite yağların ise en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Düşük viskoziteye sahip bir yağ daha akıcı, yüksek viskoziteye sahip yağ ise daha az akıcıdır. Viskozite, motor yağlarının parçalara yapışma özelliği, yağ filmi kalınlığı, sıcaklık karşısındaki davranışı, aşınma, sızdırmazlık, yağ sarfiyatı, sürtünme sebebiyle meydana gelen güç kaybı gibi konularla yakından ilgilidir. Ayrıca motorlarda ilk hareketin zorluğu, ilk harekette yetersiz

yağlama ve yakıt tüketiminin artmasında da etkili bir parametredir (Yardım, 2008; Özdamar ve Yelken, 1987; Acaroğlu, 2007).

3.3.1.2. Viskozite İndeksi

Motor yağlarında sıcaklıktaki değişime bağlı olarak viskozitelerinde meydana gelen değişimlere, viskozite indeksi (VI) denir. Sıcaklık azaldıkça viskozitelerinin artmasına yani akıcılıklarının azalmasına sebep olur. Viskozite indeksine göre yağlar;

- ✓ Alçak viskoziteli indeksli yağlar ($VI = 40$ 'dan küçük)
- ✓ Orta viskoziteli indeksli yağlar ($VI = 40-80$ arasında)
- ✓ Yüksek viskozite indeksli yağlar ($VI = 80-100$ arasında)
- ✓ Multigrade viskozite indeksli yağlar ($V = 100$ 'den büyük),

“Multigrade yağlar” sıcaklıktan çabuk etkilenmedikleri için dört mevsim kullanılabilen ve en çok tercih edilen yağlardır (Acaroğlu, 2007).

3.3.1.3. Akma Noktası

Bir tüp içerisine soğumaya bırakılmış yağın hareketliliğinin kalmadığı sıcaklık derecesi akma noktası olarak tarif edilir. Sıcaklık azaldıkça yağların viskoziteleri artar ve yağlar kalınlaşırlar. Ayrıca yağ içerisindeki vaks (mum) kristalleşerek ayrılma eğilimine girer. Sıcaklığın giderek daha da düşmesiyle kristaller birleşerek yağ zerrecikleri çevrelerler böylece yağ akıcılığını kaybeder (Yardım, 2008; Acaroğlu, 2007).

3.3.1.4. Oksidasyon

Yağların hava içerisindeki oksijenle temas etmesi neticesinde bir yanma olayı meydana gelir. Yanma neticesinde bazı yağ asitleri meydana gelir. Meydana gelen asitler metal yüzeylere temas edince bu yüzeyleri aşındırır. Ayrıca oksitlenen yağın viskozitesi artar, rengi değişir, yağda çamurumsu bir tabaka ortaya çıkar ve yağ görevini yapamaz hale gelir. Yağlara oksidasyon önleyici katkıları katılarak oksitlenme önlenmeye çalışılır. Bu katkıları hidrokarbonlardansa oksijenle birleşmeye daha yatkın oldukları için yağa karışan

oksijenle birleşerek yağın oksitlenmesini engel olurlar (Yardım, 2008; Acaroğlu, 2007; Cürgül, 2011).

3.3.1.5. Köpürmeye Karşı Mukavemet

Motorun çalışması ve hareket etmesi sırasında çalkalanan yağ, hava ile karışarak köpük oluşturur. Köpük oluşumu yağlamanın kötüleşmesi, yağ basıncında düşme ve yük taşınmasını düşürücü yönde etki eder. Bunu önlemek için yağa köpük önleyici katkılar ilave edilir (Acaroğlu, 2007; Müjdecı, 2009).

Aşağıda listelenen katkılar yağlarda köpük önleyici olarak kullanılmaktadır

- ✓ Dimetilsiloksan polimerleri
- ✓ Alkilmetakrilat polimerleri
- ✓ Alkilakrilat kopolimerleri

Bu katkılar hava balonunun ara yüzündeki yüzey gerilimini düşürerek balonun daha kolay patlamasına sebep olur (Bulgurcu, 2001).

3.3.1.6. Çok Yüksek Basınlara Dayanım

Aşırı yük durumunda yağlar, yüksek sıvanma özelliklerine rağmen birbirine temas eden yüzeyler arasında yağ filmi meydana getiremezler. Aşırı yük durumlarında dahi yağ filmi kaybetmemesi için yağın içerisine klor (Cl), kükürt (S), fosfor (P) ve kurşun (Pb) gibi katkılar ilave edilir (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.3.1.7. Sıvanma Özelliği

Parçalar üzerine sıvanan yağın yüzeye yapışması ve burayı terk etmemesi istenir. Yani bu yağlara polar özelliği koruması için polar molekülleri fazla olan katkılar ilave edilerek bu özellik sağlanır (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.3.1.8. Alevlenme Noktası

Standart bir kap içerisinde sıcaklığı yükseltilen yağa açık bir alev tutulduğunda yağ üzerinde biriken yağ buharı-hava karışımını ateşlemeye yeterli olan sıcaklık derecesidir. Sürekli bir yanmanın başladığı sıcaklık derecesidir (Yardım, 2008; Cürgül, 2011).

3.3.1.9. Bozulmaya Karşı Direnç

Bazı metaller yağda erimek süretiyle yağın ömrünü kısaltır. Örneğin yağın içerisinde milyonda bir ölçüsünde bakırın bulunması yağın ömrünü yarı yarıya kısaltır. Bu sebeple yağa önceden bu duruma engel olucu katkıları ilave edilmektedir (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.3.1.10. Dağıtma Özelliği

Motorlarda meydana gelen yanmış karbon zerrecikleri bir araya gelerek büyük parçacıklar meydana getirirse, yağ kanallarının tıkanması, silindir gömlekleri ve yataklarının çizilmesine sebep olabilirler. Bu durumu önlemek amacıyla özel katkıları kullanılarak karbon zerreciklerinin etrafı sarılır ve birleşerek büyük parçaların oluşması engellenir (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.3.1.11. Nötralizasyon Sayısı

Yağlar elde edilirken asitle işleme tabii tutulmaktadırlar, bu asitlerin bir kısmı ise yağ içerisinde kalabilmektedirler. Buda yağlama esnasında metal yüzeylere zarar vereceğinden bu yağlar kostik soda ile nötralizasyon işlemine tabii tutulurlar. Buna rağmen yağ içerisinde asit kalabilir bunu tespiti için nötralizasyon deneyi yapılır. İşte oda sıcaklığında 1gr yağı nötralizasyon etmek için gerekli potasyum hidroksitinin mgr (mg KOH/gr) olarak miktarına “nötralizasyon sayısı” denir. Yağın içinde çalışma sonucu oluşan eskime ürünlerini ve buna bağlı olarak yağın değişme zamanının tespitinde de nötralizasyon sayısı kullanılır (Yardım, 2008; Acaroğlu, 2007; Cürgül, 2011).

3.3.1.12. Korozyon Önleme

Yağın hava ile reaksiyonu sonucunda oluşan yağ asitlerinin metal yüzeylerle temasını önlemek amacıyla kullanılır. Yağ asitlerini etkisizleştiren veya yüzeylere yapışarak asitlerin yüzeye temasını engelleyerek korozyonu önlemektedir (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.3.1.13. Kül Miktarı

Yakılan belirli bir miktardaki yağın geri kalan yanma artığıdır. İçten yanmalı motorlar için önemli bir husus olup kül miktarının sıfır olması istenir (Acaroğlu, 2007; Bulgurcu, 2001).

3.4. Bitkisel Yağların Yağlama Yağı Olarak Kullanımı

Günümüzde kullanılan mineral yağların petrol kökenli olması ve çevre bilincinin artmasıyla birlikte, çevreye daha duyarlı motor yağı ve yağ katkı maddeleri elde etme çalışmaları yeni çalışma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma alanlarından birisi de bitkisel yağlardır. Ülkemiz gibi tarım ülkesi olan ülkeler açısından da yeni bir iş imkânı, hem dışa bağımlılığı azaltma hem de doğanın korunması açısından önem arz etmektedir (Salman ve Durak, 2011).

Ülkeler, çevre sorunlarına yönelik duyarlılığın artması sebebiyle çevreye dost ürünlerin kullanımı için yasalar çıkarmıştır. Almanya orman bölgelerinde sadece hızlı biyolojik ayrışabilir yağla çalışan ekipmanların kullanımına izin vermiştir. Bitkisel yağların kullanım alanlarını bu başlıklar altında toplayabiliriz (Acaroğlu, 2007).

- a) Ağaç kesmede kullanılan zincirli testerelerin devir-daimsiz yağlanması.
- b) Süt sağım makineleri ve devir-daimsiz tarım makinelerinde.
- c) Kendi yürüyen ormancılık makinelerinde
- d) İşletme içinde çalışan devir-daimsiz yağlama ile çalışan makinelerde.
- e) Traktörlerin hidrolik sistemlerin de.
- f) Kendi yürür hasat makinelerinin hidrolik sistemlerinde
- g) Kavramalarda kullanılmaktadır.

Bitkisel yağların trigliserit yapısı yağlayıcılık performansı için istenen özellikleri

sağlayarak bu sayede, sürtünme ve aşınmaları azaltırken, molekül içi güçlü etkileşimler, viskozite indeksini artırır. Bu özellikleri sayesinde yağ asitleri, yağlayıcılarda hammadde olarak kullanılabileceği gibi baz yağ olarak da yer alabilmektedir (Rüzgar, 2010).

Bitkisel yağ asitlerinin yapısındaki doymamış çift bağlar bitkisel yağların oksidasyon kararlılığını düşürerek yağlayıcılık özelliklerini kısıtlamaktadır. İşte bitkisel yağların en temel zayıf noktası düşük oksidasyon kararlılığıdır. Bu yağlardaki yapı benzerliği nedeniyle sınırlı viskozite aralığında bulunmaları, molekül içi güçlü yapılar kararlı bir yağ filmini oluştururken, düşük sıcaklık özelliklerini negatif yönde etkiler (Rüzgar, 2010).

Bitkisel yağların kimyasal yapı ve yağ asidi içerikleri yağlayıcılık özellikleri üzerinde etkilidir. Örneğin yağ asitlerindeki yüksek dallanma düşük sıcaklıktaki akışkanlık özelliklerini iyileştirir ve hidrolitik kararlılığı arttırırken, viskozite indeksi düşürür. Düz (doğrusal) zincirler ise düşük sıcaklık performansını azaltır ancak yüksek viskozite indeksi sağlar (Rüzgar, 2010). Tablo 3.2 de çeşitli bitkisel ve madeni yağların bazı özellikleri karşılaştırılmıştır. Bitkisel yağlar, mineral ve sentetik yağlara kıyasla düşük oksitlenme direnci, termik denge, hidrolik denge ve düşük ısıda azalmış performans gibi olumsuzluklara sahiptir (Acaroğlu, 2007).

Tablo 3.2. Çeşitli bitkisel ve madeni yağların karşılaştırılması (Acaroğlu, 2007).

Yağlama Yağları	Viskozite (cSt) (40 – 100) °C	Viskozite İndeksi (VI)	Akma Noktası (°C)	Alevlenme Noktası (°C)
Madeni Yağ	20.47 - 4.03	89	-9	189
Düşük Erüik Asitli Kolza Yağı	36.21 - 8.19	211	-18	346
Yüksek Oleik Asitli Ayçiçeği yağı	39.95 - 8.65	206	-12	252
Çok Yüksek Oleik Asitli Ayçiçeği Yağı	40.15 - 8.65	202	-18	271
Soya Yağı	28.86 - 7.55	246	-9	325

Laboratuar araştırmaları katık içermeyen bitkisel yağların, aşınma, sürtünme, yük taşıma kapasitesi ve dayanım gibi yağlayıcılık özelliklerinin mineral esaslı yağlara göre üstünlük sağladığı belirtilmiştir. Bitkisel yağlardaki çoklu doymamış yağ asitlerinin yüksek sıcaklık ve yüklerde, daha az doymamış benzerlerine göre daha iyi yağlayıcılık özelliklerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Düşük doymuşluk seviyesi, düşük sıcaklıktaki akıcılığı geliştirirken, oksidasyon kararlılığını olumsuz yönde etkiler. Yüksek

doymuşluk seviyesinde ise düşük doymuşluk seviyesindeki tersi bir durum söz konusudur (Rüzgar, 2010).

Bitkisel yağların çevreye daha duyarlı olmaları, düşük kükürt içermeleri, tarımsal kaynaklı olması nedeniyle yenilenebilir olması, ekonomik olması, yüksek alevlenme noktasına, düşük uçuculuk gibi özellikleri barındırmaları bu yağları yağlama yağı olarak kullanımını cazip hale getirmiştir. Bitkisel yağların korozyon testinde de olumlu sonuçlar verdiği en iyi sonucun yüksek oleik içeren ayçiçeği yağının verdiğini yapılan çalışmalar göstermiştir (Salman ve Durak, 2011).

Bitkisel yağlar hem doğal olarak elde edilebilmektedir hem de maliyetlerinde önemli düşüşler söz konusudur. Ayrıca bitkisel ve sentetik yağlar, mineral yağlardan daha kolay biyolojik olarak bozunabilmektedir. Bu çevreyi koruma açısından çok büyük önem arz etmektedir. Tablo 3.3 de çeşitli yağların biyolojik olarak ayrışabilirliği verilmiştir (Acaroğlu, 2007).

Tablo 3.3. Çeşitli yağların biyolojik olarak ayrışabilirliği (Acaroğlu, 2007).

Yağlar	Biyolojik Ayrışabilirlik
PAOS (Polialfaolefin)	%5-30
Mineral yağ	%15-35
Gres yağı	%25-45
Poliglikol	%50-80
Sentetik esterler	%70-95
Bitkisel yağ	%75-98

Bitkisel yağların yaygın bir şekilde kullanımı enerji de dışa bağımlılığı azaltacak ve enerji maliyetlerini düşürecektir. Bitkisel kaynaklı yağlayıcıların kimyasal ve fiziksel özellikleri yapılacak akademik ve bilimsel çalışmalarla geliştirilmesi bitkisel yağların kullanımını yaygınlaştıracaktır. Bu nedenle bu yöndeki çalışmalar desteklenmeli ve farklı disiplinler arası çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır (Salman, 2011; URL 2).

3.4.1. Kolza (Kanola) Yağının Motor Yağı Olarak Kullanımı

Kolza tohumu % 38~50 yağ ve % 16~24 protein ile önemli bir yağ bitkisidir. Islah edilen kolzanın yağı zeytinyağına yakın yağ kalitesi ile dünyada insan beslenmesinde önemli bir paya sahiptir. Yağı çıkarıldıktan sonra küspesi hayvan yemi olarak

kullanılmaktadır (Avcioğlu, vd., 2011). Islah edilmemiş çeşitlerin yağları ise sanayi, elektrik trafolarında, biyo-dizel olarak Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Bir kilogram tohumdan 450 gram yağ presleme ile elde edilir. Bu yağ metanol ile reaksiyona sokularak 450 gram biyo-dizel üretimi yapılabilir. Kanola biyo-dizel dışında hidrolik yağı olarakta en çok üzerinde emek harcanan yağlardandır. Üstün yağlama özelliği, uygun sıcaklık- viskozite ilişkisi, antikorozyon, sızdırmazlık elemanları ile uyum, petrol kökenli yağlarla iyi karışım oluşturma ve bitkisel olması sebebiyle yüksek bozunurluk, bu yağın artı yönleri olarak sıralanabilir. Negatif yönleri ise hava, ışık ve sıcaklık etkisine çok duyarlı olması bu sebeple yağın özelliğini kaybederek reçineleşme ve viskozitesinin artmasıdır (Durak, 2010).

Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı her bir akışkanın fiziksel özelliklerinin farklı kılınmasına neden olur. Kolza da %58 monodoymamış, %36 poli doymamış, %6 doymuş zincirlere sahip bir yağ özelliği taşır. Monodoymamış zincirler, polidoymamış zincirlere göre daha iyi oksitlenme direnci verir. Ancak doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklığa karşı direnci çok azdır. Bu nedenle daha çok monodoymamış, poli doymamış ve az doymuş zincirlere sahip yağ olarak kanola uygun görülmektedir. Bu özellikler kolza yağına kabul edilebilir bir seviyede oksitlenme direnci ve düşük sıcaklık özelliğinde iyileştirme sağlar. Yüksek oleik asitli, ayçiçeği yağı gibi bir yağ oksitlenme direncini arttırmak için kullanılabilir (Acaroğlu, 2007).

Kolza dünyada çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji kaynağı olarak petrol kökenli yakıtların yerine kullanılmaktadır. Bugün biyo-dizelin %80'i kolza yağından üretilmektedir. Bunda en büyük etken motorine benzer kimyasal bileşimlere sahip olmasıdır (URL 1).

Kolza yağının yakıt olarak kullanılması durumunda yüksek viskozitesi sebebiyle püskürtme sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmayı kötüleştirdiği ve yüksek karbon içermesi sebebiyle motor parçalarında is ve kurum oluşturduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu is ve kurumun çok zor temizlenebildiği hatta uzun kullanımlarda supap ve segman yapışmasının görülebildiği belirtilmiştir (Altun, ve Gür, 2005). İki zamanlı motorlarda kolzanın yağlama yağı olarak kullanılması durumunda yağın yakıt ile birlikte yakıldığı düşünülürse yüksek viskozitenin yanmayı kötüleştirmesi ve yüksek karbon içeriği motor parçalarında is ve kurum oluşumunu hızlandırabilir.

Kanola yağı bir traktörde motor yağı olarak denenmiş bu deneme neticesinde kanola yağının motor yağı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. (Acaroğlu, 2007).

3.4.2. Ayçiçeği Yağının Motor Yağı Olarak Kullanımı

Tek yıllık bir bitki olan ayçiçeği ülkemizin hemen her bölgesinde kuru ve sulu olarak tarımı yapılabilmektedir. Tohumları %40-50 yağ içerdiğinden insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Küspesi ise %40-45 oranında proteine sahip olduğundan hayvan beslenmesinde önemli bir yem kaynağıdır (Avcıoğlu, 2011). Yemeklik yağ dışındaki yağlar, sabun ve boya sanayinde kullanılmaktadır (Salman, 2011).

Ülkemizde daha çok Linoleik tip ayçiçeği üretimi yapılmakta fakat ABD ve Avrupa ülkeleri başta olmak hem kızartmalık için uygun, daha sağlıklı, hem de biyo-dizel için uygun Oleik tip ayçiçeği üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye’de de Oleik tip ayçiçeği üretimi yaygınlaştırılması için çalışmaların yapılması gerekmektedir (URL 3). Yüksek oleik asitli ayçiçeği yağı yüksek oksitlenme direncine sahiptir (Acaroğlu, 2007). Ayçiçeği yağının ve kolza yağının yüksek oksitlenme direnci diğer yağlara göre daha iyi olduğundan bitkisel yağ esaslı yağlayıcıların geliştirilmesinde bu yağlar başı çekmektedir. Bitkisel yağlara yönelik yapılan korozyon testleri olumlu sonuçlarla neticelenmiş olup en iyi korozyon özelliği yüksek oleik asitli ayçiçeği yağında olduğu tespit edilmiştir. Ayçiçeği yağının mineral esaslı baz yağa katkı maddesi olarak ilave edilmesi durumunda sürtünme azaltıcı etkisinin olduğu belirlenmiştir (Salman ve Durak, 2011).

Ayçiçeği, pamuk ve kanola yağının sürtünme özellikleri ile ilgili yapılan çalışma sonucu bu yağların alternatif bir yağlayıcı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Metal kesme sanayinde soya, ayçiçeği ve kanola yağı metal kesme sıvısı olarak kullanılmış ve bu bitkisel yağların kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır (Durak, 2010).

Bitkisel yağlar; biyolojik ayrışabilirlik, materyal uygunluğu, sıcaklık sınırı, farklı yağlarla karışım yapabilme yeteneği ve viskozite gibi özelliklerin çoğunu yaklaşık olarak sağlayabilmektedir. Fakat bitkisel yağların farklı nitelikleri dolayısıyla mineral yağlarla karıştırılması durumunda sıcaklığın etkisine bağlı olarak yağın özelliğini hızla bozabilmektedir. Bitkisel yağlara su karışması durumunda yağın özelliği hemen bozulabilmektedir (Acaroğlu, 2007).

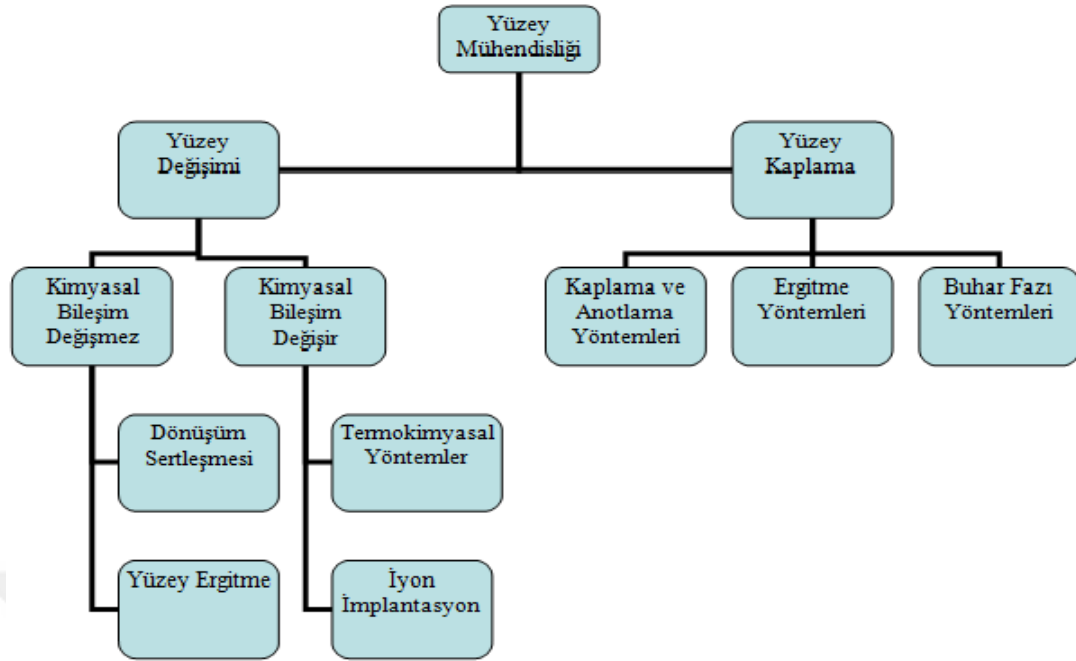
Mineral yağlar yerine bitkisel yağlayıcı, yağ katkı maddesi ve bitkisel metil esterler kullanılarak pim disk aşınma ve sabit yüklü radyal kaymalı yatak test düzeneklerinde

yapılan çalışmalarda, iyi tribolojik özelliklere sahip bitkisel yağlar ve ürünlerinin değişik çalışma alanlarında kullanılan taşıtlarda, tarım sektöründe yağlama yağı ve hidrolik yağı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Bitkisel yağlama yağı adaylarının yüksek hız, yük, sıcaklık ve dinamik yüklerde farklı malzeme çiftleri ile farklı çalışma koşullarında tribolojik özelliklerinin hem model test cihazlarında hem de gerçek çalışma sistemlerinde araştırılması halinde daha net sonuçlara ulaşılabileceği vurgulanmıştır. Aynı çalışmalar düşük sıcaklıklardaki akış özellikleri, oksidasyon özellikleri, yüksek sıcaklıkta bozunma, mikroorganizma üremesi, vb. mineral yağlara nazaran kötü performans özellikleri sergileyen bu gibi konularda da önerilebilir. Bu amaçla bitkisel yağ ve ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi için metalürji, malzeme, kimya ve otomotiv mühendisleri gibi farklı disiplinler arası çalışmalar büyük önem arz etmektedir (Salman, Ö., 2011; Durak, 2010).

3.5. Aşınmayı Önlemede Etkili Yöntemler

Makine parçalarının kullanılamaz hale gelmesinin en önemli sebeplerinden biri aşınmadır. Malzemelerin kullanım ömrünü arttırmak ve enerji kayıplarını en aza indirmek için; malzemelerin aşınma davranışlarının iyileştirilmesi, yüzey kalitelerinin artırılması ve sürtünme katsayılarının düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla sürtünme kayıplarının azaltılması için kullanılan yöntemlerin başında, yağlama ve yağlama tekniklerine yönelik çalışmalar her geçen gün gelişerek sürdürülmektedir. Ancak aşınma sadece yağlamaya bağlı bir faktör olmadığı için, yağlamanın yanında malzeme bilimi de büyük önem kazanmaktadır (Hazar ve Öner, 2007).

Mühendislikte malzemenin aşınması ile ilgili mücadelede iki amaç hedeflenmektedir. Bunlar; malzeme yüzeyinin aşınma direncini arttırmak, malzeme yüzeyinin sürtünme davranışını iyileştirmektir. Malzemenin kimyasal bileşimi değiştirilmeden sadece mikro yapısı değiştirmek için dönüşüm sertleşmesi ve erime sonrası hızlı soğuma işlemi gerçekleştirilebilir. Difüzyon işlemleri ile de kimyasal bileşim ve mikro yapı her ikisi de değiştirilebilir. Ancak bu işlemlerle kimyasal bileşim ve mikro yapıdaki kimyasal değişiklikler sınırlı olabilmektedir. İstenilen amaçlar için tamamen farklı malzemelerden kaplama çalışmaları da yapılabilmektedir (Şekil3.3) (Sarı, vd., 1997).



Şekil 3.3. Modern Yüzey İşlemleri (Sarı, vd., 1997).

- ✓ **Dönüşüm sertleşmesi yöntemleri:** Alev ile sertleştirme, yüksek frekans elektrik endüksiyon ısıtma (endüksiyon sertleştirme), lazer ışını sertleştirme ve elektron ışını sertleştirme;
- ✓ **Yüzey eritme yöntemleri:** Lazer ve elektron ışını ile yüzey eritme,
- ✓ **Termokimyasal yöntemler:** Karburizasyon, karbonitrürasyon, nitrürasyon, nitrokarburizasyon, borlama ve krom kaplama,
- ✓ **Kaplama ve Anotlama Yöntemi:** Elektrolitik kaplama;
- ✓ **Eritme Yöntemleri:** Kaynak ve ısı püskürtme;
- ✓ **Buhar Fazı Yöntemleri:** CVD ve PVD yöntemleridir (Sarı, vd., 1997).

Yüzey mühendisliği malzemelerin korozyon direncini, aşınma direncini, yorulma mukavemetini, estetik görünümünü, fiziksel özelliklerini vb. kullanım amacına uygun olarak iyileştirmek için kullanılır. Ayrıca yüzey mühendisliği, bir kaplama ve istenilen yüzey özelliklerini kazandırmanın yanında imalat ve parça tasarımını da içermektedir (Sarı, vd., 1997).

3.5.1. Bor Kaplamalar (Borlama)

Bor; 2190 °C eriyebilen, atom ağırlığı 10,81, atom numarası 5, periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer alan ve simgesi (B) olan bir elementtir. Bor amorf durumda

iken siyah ve kahverengi; kristal iken siyah renkli, gevrek, sert ve katı durumdadır. Bor doğada serbest olarak bulunmaz. Doğada yüz elliden fazla mineralin yapısında yer almaktadır. Ancak ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikleri halinde teşekkül etmiş olarak bulunur. Tinkal (Boraks), Kolemanit, Üleksit, Probertit, Borasit, Pandermit, Szyabelit, Hidroborasit ve Kernit bor minerallerinden ticari değere sahip olanlarıdır (Güyağüler, 2001).

Ülkemiz dünya bor rezervinin %63'üne sahip olmasına rağmen dünya bor pazarındaki payı %25'te kalmaktadır. Ülkemizde işletilmekte olan başlıca bor rezervleri; Kırka (Eskişehir), Emet (Kütahya), Bigadiç (Balıkesir), ve Kestelek'de (Bursa) bulunmaktadır (Güyağüler, 2001).

Bor ve bileşiklerinden faydalanılarak üretilen ürünlerle günlük hayatın hemen her noktasında karşılaşmak mümkün olmaktadır (Tablo 3. 4).

Tablo 3.4. Bor ürünlerinin kullanım sektörleri (Güyağüler, 2001).

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları vb.
Cam Sanayi	Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikro Chipler, LCD Ekranlar, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yan iletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Laser Printer tonerleri vb
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb
Fotoğrafçılık ve Görüş Sist.	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makineleri, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb
İletişim Araçlarında	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat-Çimento Sektöründe	Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Beyazlatıcı Olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayi	Naylon vb Plastik Malzemeler vb.
Kimya Sanayi	Bazı Kimyasalların indirgenmesi, Elektrolitik işlemler, Flotasyon ilaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak-, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyicileri, Dezenfektan Sıvılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Parlatıcılar Mumyalama vb
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve Vernik Kurutucularında vb.
Makine Sanayi	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler, vb.
Metalürji	Kaplama Sanayimde Elektrolit Olarak, Paslanmaz ve Alaşımli Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalürjik Flaks, Refrakterler, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Nükleer Sanayi	Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak,
Otomobil Sanayi	Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamalarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler vb
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.
Seramik Sanayi	Emaye, Sır, Fayans, Porselen Boyaları vb
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Balık Oltaları, Golf Sopaları, Darbe Koruyucular vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyalan Deri Renklendiricileri, Suni İpek, Parlatma Malzemeleri, vb.
Tıp	Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde, Menopoz Tedavisinde BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kanserlerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında vb
Uzay ve Havacılık Sanayi	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar vb

Bor, metalürji alanında kaplama malzemesi, sürtünme – aşınmaya dirençli malzeme üretimi, kesiciler, zımpara ve aşındırıcıların yapımında vb amaçlarla kullanılmaktadır. Yüzey mühendisliği, kaplama işlemleri ile malzemelere istenilen özellikleri kazandırmayı amaçlamaktadır. Borlama (bor kaplama) yöntemi özellikle son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmekte ve bu konuda oldukça yoğun ve ilginç araştırmalar yapılmaktadır. Borlama, bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlem demir ve bor atomlarının sıcaklığın etkisi ile kimyasal bileşik oluşturarak yüzeyde FeB ve Fe₂B tabakalarının her ikisinin veya birinin metal yüzeyine termokimyasal olarak yayılarak, çok sert bir bor tabakası oluşması sağlanır. Bu yöntem, değişik ortamlarda (katı, sıvı, gaz veya plazma) alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demirlere, demir dışı metal (Ni, Co, Mo, Ti) ve alaşımlarına, bu alaşımların toz metalürjisi yöntemiyle üretilen tozlarına, bazı süper alaşımlar ile sermetler gibi birçok malzeme grubuna yaklaşık 900-1100 °C sıcaklıkta, uygulanabilir. Bu uygulama ile oluşan tabakalar malzemeye birçok yeni özellikler kazandırmaktadır (Baştürk ve Erten 2006; Islak ve Uzun, 2009).

Genel olarak borlama işleminin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- a) Borlanmış tabakaların sertliği nitrürleme ile karşılaştırıldığında yüksek sıcaklıklarda da korunmaktadır. Borlanmış çelikler yüksek sertliklerinden dolayı abrasif aşınmaya karşı çok iyi direnç gösterirler.
- b) Bütün demir-karbon esaslı malzemeler (yapı çelikleri, sementasyon çelikleri, ıslah çelikleri, takım çelikleri, çelik döküm, gri dökme demir) dışında gerek toz, gerekse diğer yöntemlerle üretilen bütün ferro alaşımlara uygulanabilmektedir. Bu yöntemle çok geniş bir aralıktaki çelikler borlanabilmektedir.
- c) 850 °C 'ye kadar oksitlenme direncine sahiptirler.
- d) Oksitlenme ve korozyon ortamı altında yüksek yorulma dayanımı ve servis ömrüne sahiptir.
- e) Borlanmış tabakaların adhezif aşınma mukavemeti, diğer yöntemlerden oldukça üstündür (Baştürk ve Erten 2006; Islak ve Uzun, 1997).

3.5.1.1. Fiziksel Buhar Çökertme Yöntemi (PVD) İle Bor Kaplama

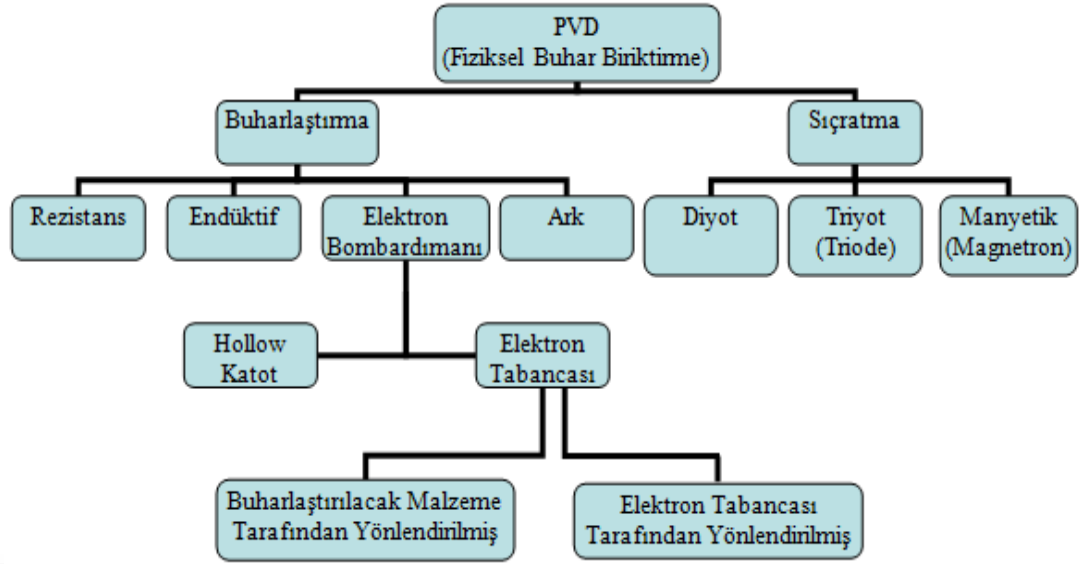
Bu yöntem en basit haliyle vakum altında bulundurulmuş katı haldeki bir malzemenin buharlaştırılarak veya sıçratılarak atomların yüzeyden kopartılması ile kaplanacak olan ana

malzeme üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanabilir (Gündüz, 2004; Hazar, 2004). PVD yöntemi ile farklı tip yüzey kaplama yapıları elde etmek mümkündür. Bu nedenle metal ve plastik endüstrisi gibi birçok alanda kullanımı söz konusudur. PVD yönteminin de uygulanan işlem sırası; kaplama malzemesinin buharlaştırılması, buharın kaplanacak malzeme yüzeyine taşınması ve kaplanacak yüzeyde istenilen kalınlıkta ince film oluşturacak şekilde buharın çökertilmesi işlemleridir. Bu işlemlerin tümü bir vakum odasında gerçekleştirilebilmektedir (Hazar, 2004).

PVD kaplamalar bazı üstün özellikleri sebebiyle kaplama teknolojisinde önem arz etmektedir. Bu özellikleri şu şekilde sıralamamız mümkündür:

- a) Kaplanan yüzeyler söküldükten sonra tekrar kaplanabilir.
- b) Yüksek saflıkta birikimler elde edilebilmektedir.
- c) Çok ince kaplamalar yapılabilir ve tolerans sınırları korunabilir.
- d) Hemen her kaplama her taban malzeme üzerine uygulanabilmektedir (metal, alaşım, seramik ve polimer).
- e) Kaplamalar yüzeylerde homojen olmaktadır.
- f) Taban malzeme ile kaplanan malzeme arasında yüzey pürüzlülüğü açısından hemen hiç fark olmadığı için kaplama sonrası zımparalama ve parlatma gibi ek işlemlere gerek duyulmamaktadır.
- g) Bileme işlemi sonrası tekrar kaplama yapabilmektedir.
- h) Çevreye zararlı zehirli atık oluşturmaz.
- i) Keskin uç, kenar ve köşeler şekil korunarak kaplanabilir.
- j) Isıl işlem görmüş takım çelikleri de sertliklerini muhafaza ederek kaplanabilir.
- k) Kaplamalar yüzeye iyi yapışıyor ve pul pul dökülmüyor.
- l) Kaplama yüzeylerinin sık dokulu kristal bir yapısının olması.
- m) Biriktirme hız aralığının geniş olması sebebiyle yüksek hızda üretim yapılabilir (Gündüz, 2004; Hazar, 2004).

PVD yöntemini buharın oluşturma şekline bağlı olarak buharlaştırma ve sıçratma gibi iki ana gruba ayırmak mümkündür. (Şekil 3. 4)

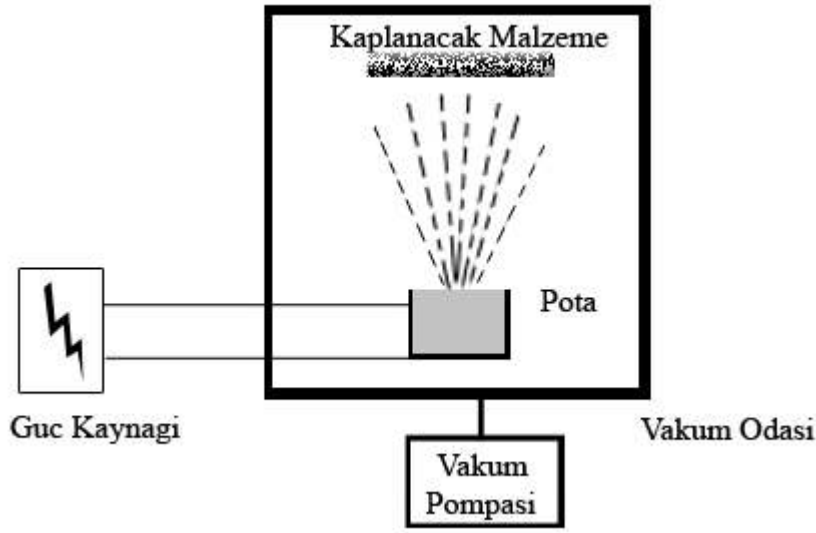


Şekil 3.4. Buharın oluşturulma şekillerine göre PVD yöntemleri (Gündüz, 2004).

Buharlaştırma Yöntemi

Bu yöntemde malzeme termal bir ısı kaynağı kullanılarak buhar haline getirilir. Sıvı veya katı fazda bulunan kaplanacak malzeme buharlaştırmanın yapıldığı şekle göre gruplara ayrılmaktadır. Buhar fazı, rezistansla, indüksiyonla, elektron bombardımanı ve katodik ark buharlaştırma yöntemleriyle elde edilir (Gündüz,2004; Şafak, 2008; Türküz, 2006).

Rezistans ve endüktif buharlaştırma yöntemlerinde kaplama malzemesi yüksek sıcaklıklara dayanıklı potalar içine yerleştirilir. Eğer buharlaştırma rezistansla sağlanıyorsa pota veya potalar etrafına sarılmış rezistans telleri yardımı ile pota içerisinde bulunan malzeme ısıtılır (Şekil 3. 5). Fakat buharlaştırma için gerekli ısı indüksiyon ile sağlanacaksa su soğutmalı bakır tel sarılmış potalara radyo frekansı akımı uygulanır (Gündüz,2004; Şafak, 2008).



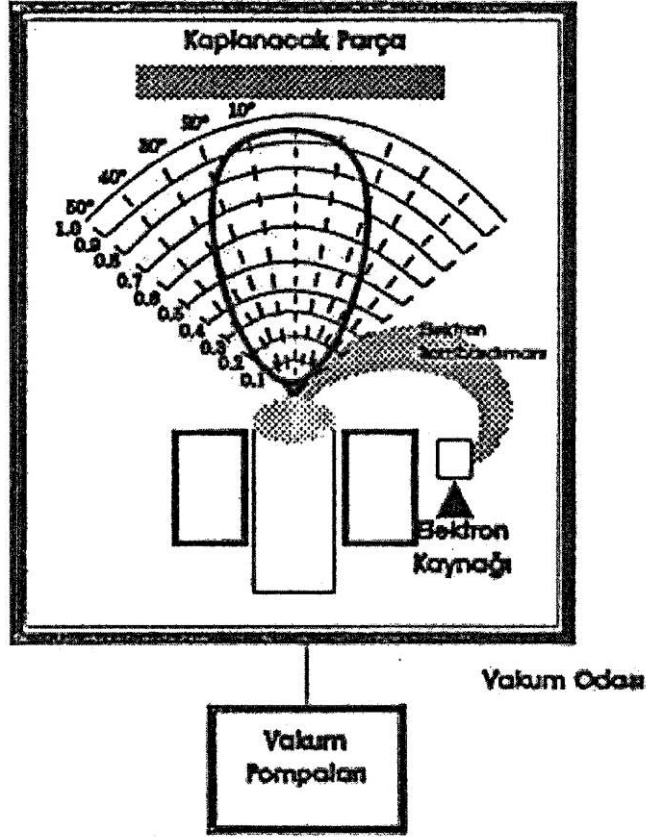
Şekil 3.5. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi (Şafak, 2008).

Bu yöntem düşük buharlaşma sıcaklığına sahip metallerle kaplamanın yapılabilmesi, her türlü malzemeye uygulanabilmesi, kaplama kalınlığının düşük buharlaşma hızı nedeniyle kolay kontrol edilmesi, düşük yatırım ve işletim maliyeti gibi avantajları mevcuttur. Ancak geometrik faktörler sebebiyle büyük çaplı üretimlerin mümkün olmaması, bileşik elementlerin eşit oranda buharlaştırılamaması, potanın da buharlaşarak kaplamaya karışma riski ve sadece düşük buharlaşma sıcaklığına sahip malzemeler için kullanılabilmesi gibi dezavantajlı durumlar bu yöntemin popülarlığını yitirmiştir (Gündüz,2004; Şafak, 2008).

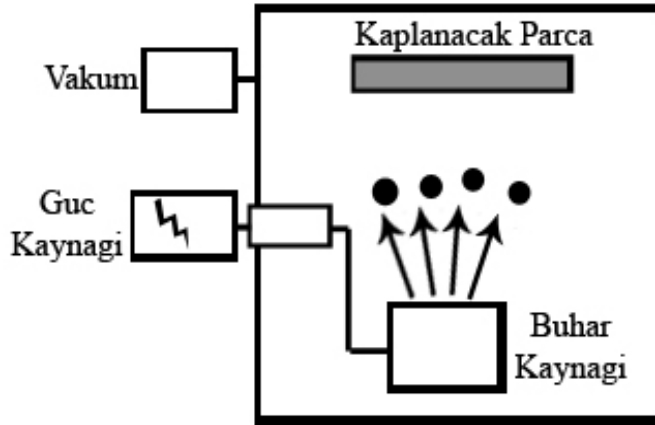
Elektron demeti ile buharlaştırma yönteminde buharlaştırma, bir elektron kaynağı tarafından sağlanan elektronların kaplama malzemesi üzerine bombardıman edilmesi ile sağlanır. Bu yöntemin en büyük avantajı malzemelerin ergitme sıcaklığının yüksek veya düşük olmasına bakılmaksızın buharlaştırmanın kolaylıkla yapılabilmesidir. Bu özellik bu yöntemin gün geçtikçe daha yaygın hale gelmesinde etkili olmuştur. Elektron demeti ile buharlaştırma da elektronların yönlendirilmesi kolay olduğundan daha homojen bir buharlaşma sağlayan bombardımanın yapılması mümkündür Bu yöntemde elektronlar iki şekilde üretilmektedir. Bunlar; elektron tabancası veya oyuk (Hollow) katot yöntemleri ile üretimdir (Gündüz,2004; Şafak, 2008; Türküz, 2006).

Elektron tabancası yönteminde ince ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bir flaman tel üzerinden akımın geçirilmesi ve bu şekilde telin ısıtılması neticesinde elektronun yayılmasının sağlanmasıdır. Elektronları hızlandırmak için 6-10 kV civarında bir

potansiyel kullanılır (Şekil 3. 6). Oyuk katot yönteminde (Şekil 3. 7) buharlaşma ise, inert gazların kullanımıyla oluşturulan plazma yardımıyla gerçekleştirilir (Gündüz,2004; Şafak, 2008; Türküz, 2006).

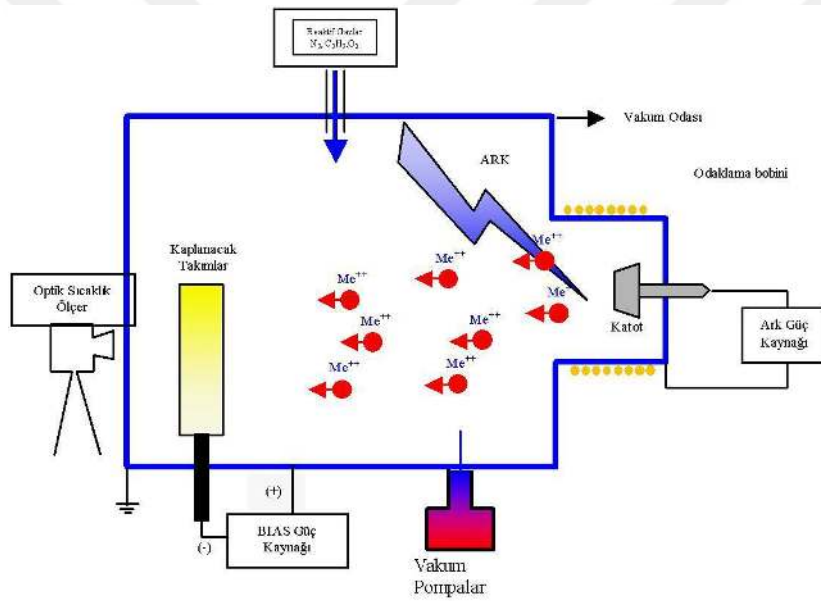


Şekil 3.6. Elektron tabancası ile buharlaştırmanın sağlandığı PVD sistemi (Gündüz, 2004).



Şekil 3.7. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi (Şafak, 2008)

Katodik ark buharlaştırma tekniği sert ve aşınmaya dirençli kaplamaların üretimin de başarılı sonuçlar vermektedir. Bu yöntem malzemenin vakum altında ark etkisi ile buharlaştırılması tekniğine dayanır. Bu yöntemde kaplama malzemesi vakum odasına katot olarak, kaplanacak malzeme ise anot olarak asılır. Sisteme uygulanan düşük voltaj ve yüksek akım etkisiyle katot yüzeylerinde ark meydana getirilir. Katot yüzeylerinde arkın meydana geldiği noktalarda sıcaklık çok yüksek (yaklaşık 2500 °C) değerlere ulaşır. Sıcaklığın yüksek değerlere ulaşması ile bu yüzeylerde ergime ve buharlaşma meydana gelir. Elde edilen buhar fazı, katot önünde meydana gelen yüksek elektron yoğunluğu sebebiyle iyonize olurlar. Oluşan iyonlar anot üzerine taşınırlar (Gündüz,2004; Şafak, 2008; Türküz, 2006). Katodik ark yönteminin şematik gösterimi Şekil 3. 8. de verilmiştir.



Şekil 3.8. Katodik ark FBB sistemi (Türküz, 2006).

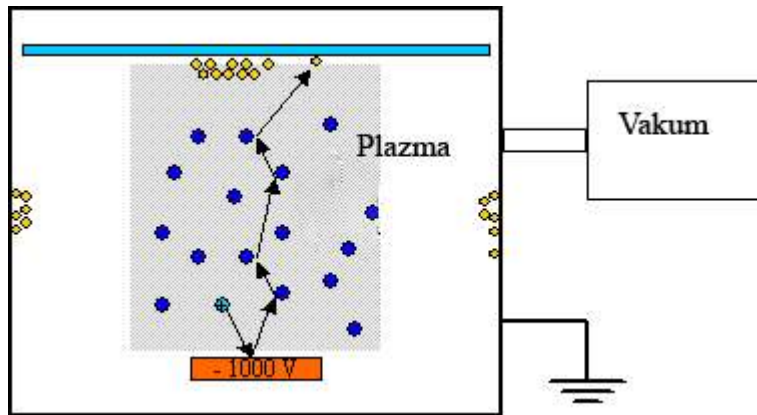
Katodik ark buharlaştırma tekniği; basit ve maliyetinin düşük olması, homojen bir kaplamanın yapılabilmesi, iletken malzemelerde yüksek buharlaşma verimi, katodun uzun ömürlü olması, buharlaştırma kabininin istenilen şekilde konumlandırılabilmesi, büyük kaplama hacimlerine uygulanabilirliği ve aşınmaya dirençli malzemeler de başarılı sonuçlar vermesi sistemin avantajları olarak sıralanabilir. Bu yöntem de film yapısında makropartiküllerin oluşması, sadece iletken malzemelerin buharlaştırılabilmesi ve optik amaçlı kaplamalarda kaplama hızı dolayısıyla kaplama kalınlığının kontrollündeki zorluk dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Gündüz, 2004; Türküz, 2006).

Sıçratma Yöntemi

Sıçratma yönteminde kaplama malzemesinin yüzeyi yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek atomların yüzeyinden kopartılması sağlanır. Vakum ortamında gerçekleştirilen bu işlemde kopartılan atomlar buhar fazına geçer ve kaplanacak malzeme üzerinde biriktirilir. PVD kaplama yöntemleri arasında sıçratma ile kaplama sıkça kullanılan yöntemlerden biridir (Şafak, 2008; Türküz, 2006).

Sıçratma yönteminde iyon kaynağı olarak kullanılan plazma ortamında, birçok negatif, pozitif yüklü, yüksüz parçacıklar, x-ışınları ve bunların çarpışmaları söz konusudur. Sıçratma tekniğini 3 ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar; diyot, triyot ve manyetik sıçratma teknikleridir (Türküz, 2006).

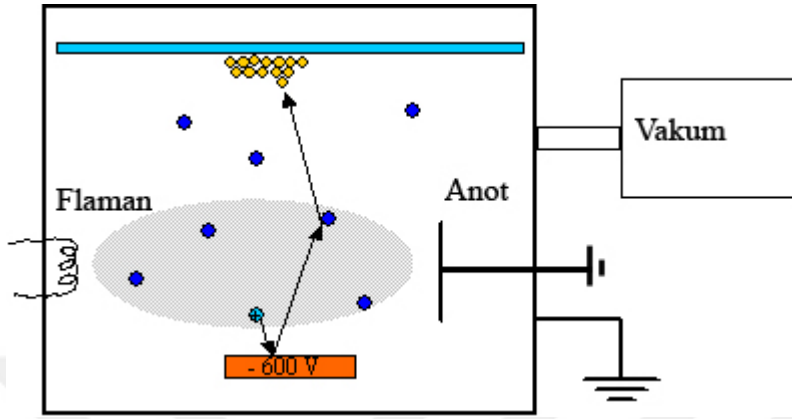
Diyot sıçratma yönteminde temel mantık, sıçratmanın meydana gelmesi için hedef yüzey ile kaplanacak taban yüzey arasına potansiyel uygulanır bu sayede elektron akışı sağlanır. Eğer bu orta inert gaz verilirse yoğun atom elektron çarpışmaları gerçekleşir. Bu çarpışmalar sırasında eğer elektronlar malzeme yüzeyinden bir atom kopartırsa, atom artık iyon haline geçmiştir. Atomların malzeme yüzeyinden kopartılması ile sıçratma olayı gerçekleşmiş olur (Şekil.3. 9). Bu yöntemde sıçratma etkisi zayıf olduğundan çok kullanılmamaktadır (Gündüz, 2004; Şafak, 2008).



Şekil 3.9. Diyot sıçratma mekanizması (Şafak, 2008).

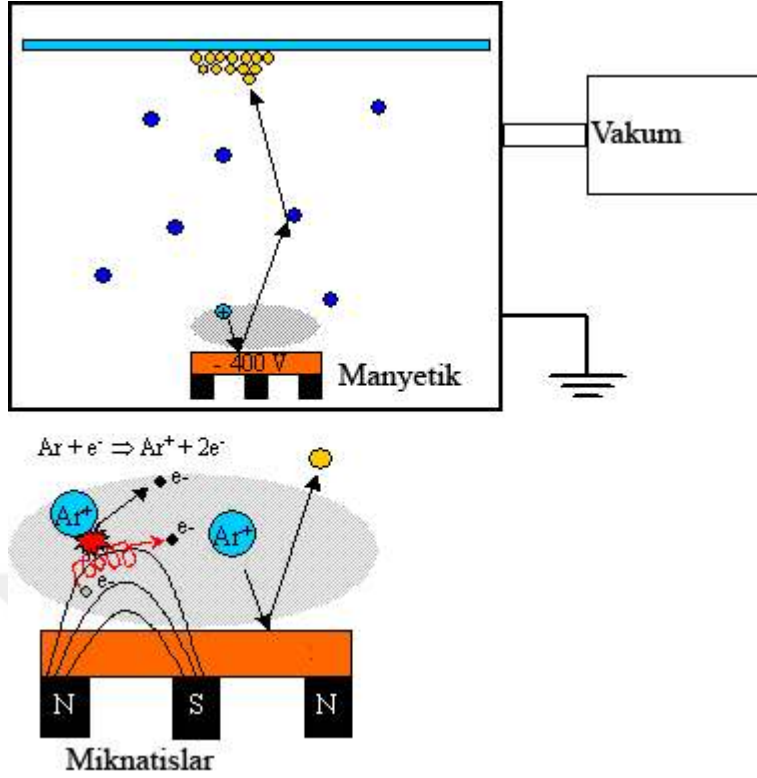
Triyot sıçratma yönteminde diyot sıçratma yönteminden farklı olarak anot ve katot arasına elektron yayan ince bir tel (flaman) ve elektron toplayıcı ilave edilmiştir (Şekil 3.10). Bu sayede plazmanın iyon yoğunluğu artırılarak Argon'un iyonlaşma olasılığı

arttırılmış ve basıncı düşürülmüştür. Sistemdeki elektron miktarına bağlı olarak uygulama potansiyeli düşürülebilmektedir. Uygulama potansiyelinin düşmesi ile radyasyondan kaynaklı hatalarda azalma olmuştur (Şafak, 2008; Türküz, 2006).



Şekil 3.10. Triyot sıçratma mekanizması (Şafak, 2008).

Manyetik sıçratma yönteminde ise su soğutmalı mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine hedef malzeme yerleştirilir. Hedefin merkezi mıknatısın bir kutbunu, zıt kutbu ise hedefin kenarlarına yerleştirilen mıknatıslarla halka şeklinde oluşturulur (Şekil 3.11). Katot olarak yerleştirilen hedef malzemenin arkasına yerleştirilen mıknatıs veya elektromıknatısların sayesinde oluşturulan manyetik alan elektronların yollarını değiştirmekte ve çarpışmanın daha çok katot yüzeyine yakın bölgelerde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi sonucunda oluşan manyetik alan, iyon bombardımanı ile katot yüzeyinden yayınan ikincil elektronların, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olur. İyonizasyon etkisinin artması, daha düşük çalışma basınçlarında plazma oluşturabilen manyetik alanlar meydana getirir. Elektronların verimli kullanılması uygulama potansiyelini de düşürmektedir (Gündüz, 2004; Şafak, 2008).



Şekil 3.11. Manyetik sıçratma mekanizması (Şafak, 2008).

3.6. Aşınma

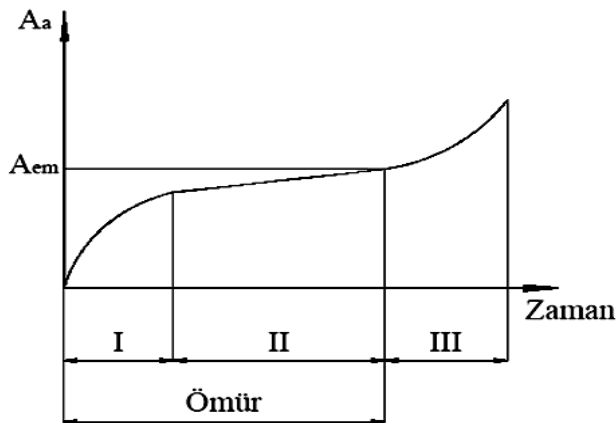
Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin, çeşitli mekanik etkilerle cisimlerin yüzeylerinden koparılaraq ayrılması sonucu yaşanan malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Aşınma dış etkiler altında temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucu meydana gelir. Böylece malzeme yüzeyleri ilk şekillerini kaybeder, parçalar arasındaki boşluklar artar ve istenen fonksiyonu yerine getiremez. Kimyasal ve fiziksel değişmelerin çok oluşu sebebiyle buna bağlı olarak bir aşınma durumu değil birçok aşınma durumu mevcuttur. Bunlar; adezyon, abrazyon, yorulma aşınması (pitting) ve mekanik korozyon olmak üzere dört grupta toplanabilir. Bu sınıflandırmalar yapılırken aşınmış yüzeye gelen yük, aşındırıcı parçacığın boyutu ve türü, temas geometrisi ve şekli dikkate alınmaktadır (Akkurt, M., 2011; Salman, Ö., 2011).

Bir sistemde birden çok aşınmaya sebep olan etkenler; yük, hareket, sürtünme elemanları, ara madde ve çevre şartları (ortam) olarak tanımlanabilir. Aşınma türleri bu beş etkenin değişebilen farklı durumlarının bir araya gelmesi neticesinde ortaya çıkar. Sürtünme elemanları aşınan malzeme ve aşındırılan malzemelerden oluşur. Buna aşınma

çifti, aşınma çiftinin ara malzeme ile birlikteliğine aşınma kombinasyonu denilmektedir. Ara malzeme sıvı, gaz, buhar ve sert taneli de olabilmektedir. Aşınma neticesinde oluşan parçacıklar ara malzeme gibi davranarak aşınma olayına dâhil olurlar (Cesur, 2008).

Aşınmayı pratik olarak zamana bağlı aşınma ve aniden meydana gelen aşınma olarak ikiye ayırabiliriz. Zamana bağlı aşınma üç aşamada incelenebilir. Şekil 3.12’de gösterilen I. aşama da (Rodaj aşaması) çok hızlı bir aşınma söz konusudur. Bu aşama da temas eden yüzeyler birbirlerine alışır ve başlangıçta çok pürüzlü olan yüzeyler daha az pürüzlü hale gelir. Bu alıştırma daha çok yüksüz ve düşük hızlarda kontrollü olarak yapılır. Sıfır bir aracın ilk kullanılmaya başlama aşamasında belirli bir süre belirli bir hız-yük korunarak motor parçalarının birbirlerine alışması buna örnek olarak verilebilir. II. Aşama da aşınma hızı az ve sabit olarak gerçekleşir. Bu aşama aslında makine parçasının çalışma ömrünü ifade eder. Fakat geçen zamanla birlikte aşınma hızlanır ve belirli bir süreden sonra şiddetli aşınma aşaması olan III. Aşamaya geçilir. Bu aşmada makine parçası bozulur ve sisteme zarar verecek duruma gelir. Bu nedenle aşırı aşınma aşamasına gelmeden önce tamir veya parçanın değiştirilmesi ekonomik olarak önem arz etmektedir (Akkurt, M., 2011; Cesur, 2008).

Aşınmaya zorlanan malzemeye çalışma şartları göz önüne alınarak bir aşınma sınırı (A_{em}) belirlenirse aşınma zaman diyagramından parçanın ömrü tayin edilebilir. Bundan sonraki aşama onarım veya parça değişimi gerektirmektedir (Akkurt, M., 2011; Cesur, 2008).



Şekil 3.12. Aşınma zaman ilişkisi (Akkurt, M., 2011; Cesur, 2008).

Genel olarak aniden meydana gelen aşınma eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan, yanlış montaj, soğutma veya yağlamanın yetersiz olmasından kaynaklanır. Bu durumda parçalar iş göremez hale gelir. Büyük ekonomik kayıplar söz konusu olabilir (Akkurt, M., 2011; Cesur, 2008).

Aşınma miktarı değişik etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bunlar; malzemenin türü, sürtünen malzemelerin yüzey kalitesi - şekli, sürtünme şartları ve çevrenin kimyasal etkileridir. Aşınmaya neden olan faktörlerin ise en önemlileri yorulma, darbe, yüksek çalışma sıcaklığı ve korozyon veya diğer çevresel koşullar altında çalışma zorluğudur. Pistonlu motor parçalarından olan segmanlar, silindirler ve pistonlar ağır çalışma ve çevre şartları altında görevlerini yapmaktadırlar. Yağlama yağları ile piston, silindir ve segman arasında yağ filmi oluşturularak, metal –metal teması önleme bu sayede aşınma ve sürtünme sebebiyle oluşan güç kaybının önlenmesi amaçlanmaktadır. Fakat bu çaba aşınmayı tamamen ortadan kaldıramaz (Hazar, 2004; Cesur, 2008).

3.6.1. Adhezyon (Adhezyon) Aşınması

Adezyon kuvveti, birbiriyle çok yakın temasta bulunan iki farklı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvvetine denir. Birbirlerine yakın olan, karışabilen ve birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan metal – metal malzemelerin yüzeyleri arasında adezyon kuvvetleri neticesinde maddelerin birbirine yapışması (kaynama bağı) söz konusudur. Herhangi bir dış kuvvet etkisiyle yapışmış bu iki malzemenin yüzeyleri üzerindeki pürüzlü tepelikler akma sınırının aşılması ile plastik deformasyona uğrar, temas yüzeyleri birbirlerine göre bağıl hareket ederse bu bağlar kırılarak malzeme kaybını meydana getirmektedir (Salman, 2011; Ekem, 2011).

Yapışma aşınması da denilen adezyon aşınması özellikle metaller arasında kayma sürtünmesi neticesinde ortaya çıkar ve aşınma parçaları yumuşak yapıdaki metalden kopar. Metallerin sertlik dereceleri aynı ise her iki yüzeyde de aşınma gerçekleşir. Karşılıklı temas eden yüzeylerde absorbe edilmiş bulunan gaz, sıvı molekülleri ve oksit tabakaları basınç etkisiyle parçalanır metal – metal teması gerçekleşerek kaynak bağları oluşur bu kaynak bağlarının oluşturduğu malzeme kaybı adezyon aşınmasını meydana getirir. Adezyon aşınmasını azaltmak için yağlama, aşırı ısınmayı engelleme, yüzeylerin yeterince pürüzsüz olması, birbiri içerisinde çözünmeyen metallerin kullanımı, malzemenin sertliğinin artırılması ve yükün azaltılması faydalı sonuçlar verir. Ayrıca adezyon aşınması benzer

veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında kolay bir şekilde meydana geldiğinden malzeme çiftlerinin seçiminde biri sert (çelik gibi) diğeri ise yumuşak (bronz, alüminyum gibi) seçilmesi aşınmayı azaltır. Kullanılan uygun kaplamalar (fosfat kaplama) yağın daha aktif çalışmasını sağlayarak metal – metal teması önleyerek aşınmayı önleyemese de aşınma süresini uzatır (Keven, 2013; Salman, 2011; Hazar, 2004; Cesur, 2008; Kayalı, vd., 1997).

Adhezif aşınma dizel ve benzinli motorlar için aynı şekilde geçerlidir. Adhezif aşınma yüksek hız, yük ve sıcaklıklarda ortaya çıkar. Özellikle yağ filminin beraber çalışan iki yüzeyi ayıramadığı durumlarda metal – metal teması sonucunda meydana gelir. Dizel ve benzinli motorlarda segman-piston-silindir gömleği bölgesi, sürekli ve etkili yağlamanın en zor oluşturulabileceği bölgelerdir. Mükemmel bir hidrodinamik yağlamanın gerçekleşmesi zordur. Bu nedenle adhezif aşınmanın A.Ö.N. ile Ü.Ö.N. da gerçekleştiği kabul edilebilir. Ayrıca üst segman, üst ölü nokta ile alt ölü nokta arasındaki sürtünme yüzeyi, basınç ve sıcaklık farkları sebebiyle daha çok aşınır(Cesur, 2008).

3.6.2. Abrasiv (Abrazyon) Aşınması

Abrasiv aşınma birbirleriyle temas halinde bulunan karşılıklı yüzeylere, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle daha sert olan cismin yüzeyindeki pürüzler veya tanecikler vasıtası ile daha yumuşak olan malzeme yüzeyinden çizerek talaş kaldırma yöntemidir. Bu aşınma şekli beraber çalışan malzemelerden sert olanın yumuşak malzemeyi törpülemesi veya dışarıdan yüzeyler arasına giren toz, talaş veya bizzat eş çalışan malzemelere ait oksitlerin girmesi ile bir zımpara etkisi göstererek yüzeyi aşındırması işlemidir. Bu nedenle abrasiv aşınma iki veya üç elamanlı olabilmektedir. İki elamanlı aşınmada aşınan ve aşındırıcı malzeme söz konusu iken üç elamanlıda bunlara ek olarak dışarıdan giren toz, talaş gibi sert parçacıklar veya iki yüzey arasında sürtünme sonucu kopan parçacıklar üçüncü elaman olarak sistemde yer alır (Akkurt, 2011; Cürgöl, 2011; Salman, 2011; Ekem, 2011).

Talaşlı imalat yöntemleri ve metal şekillendirme abrasiv aşınmaya dayalı olarak yapılır. Sert kalem uçlarının (aşındırıcı malzemenin) metale batması ve yüzey üzerinden parça koparması bu tür aşınmadır. Ayrıca motordaki yanma ürünlerinin segman- silindir, piston – silindir arasına girerek aşınmaya yol açması örnek olabilir (Ekem, 2011).

Motorlarda meydana gelen aşınmanın azımsanmayacak bir kısmını bu tür aşınma kapsar. Motorlarda yağlayıcılarla taşınmış aşındırıcı zerreler veya adhezif aşınma sonucu sertleşmiş ve okside olmuş partiküller gibi yabancı maddeler abrasiv aşınmaya yol açabilir (Akkurt, 2011; Hazar, 2004)

Abrasiv aşınmanın olabilmesi için karşılıklı temas eden yüzeylerden birinin diğerine göre daha yumuşak malzemeden olması gerekir. Abrasiv aşınmayı önlemek için; yüzeylerin sertleştirilmesi, sızdırmazlığın sağlanması, iyi bir filtreleme ve makinelerin talaş ve pisliklerden temizlenmesi gerekir (Akkurt, 2011; Cürgül, 2011; Salman, 2011).

3.6.3. Yorulma Aşınması (Pitting)

Bu aşınma; değişken, tekrarlı yüklemeler, daha çok yuvarlama sürtünmesi etkisindeki ve temas yüzeyleri çok küçük olan yüzey çiftlerinde meydana gelir. Sonuç olarak malzeme yüzeylerinde çatlaklar oluşur ve bu çatlaklar sebebiyle yüzeyden parçaların ayrılması çukur ve oyukların oluşmasına sebep olur. Aslında bu olay bir malzeme yorulması neticesinde ortaya çıkmaktadır. Hasar yüzeyde veya yüzeyin altında görülebilir. Kayma gerilmelerinin maksimum olduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak küçük boşluklar meydana gelir. Sertliği fazla olan çelikler yorulma aşınması yönünden, yumuşak malzemeye göre daha hassastırlar. Bu aşınma nokta ve çizgisel temaslı yüzeylerden büyük yüklerin taşınması ile görülmektedir. Özellikle yuvarlanma hareketi yapan rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında kendini gösterir. Motorlarda yorulma aşınması olarak yüzey çatlakları kam ve supaplarda ve rulmanlı yataklarda görülür. Yorulma aşınmasının önlenmesi için yüzeylerin iyi biçimde sertleştirilmesi gerekir (Akkurt, 2011; Cürgül, 2011; Cesur, 2008; Kayalı, vd., 1997).

3.6.4. Mekanik Korozyon

Metal yüzeylerinin oksitlenme ya da yağlayıcılarda bulunan kimyasal maddelerin etkileriyle ile aşınmasına denir. Demirin paslanması, alüminyumun oksitlenmesi en çok karşılaşılan örneklerdir. Kimyasal ortamda çalışan makine parçalarında bu aşınma şekli görülmektedir. Makine parçalarının yüzeyleri ortamda bulunan kimyasal maddelerle veya hava ile reaksiyona girerek yüzeylerde çok ince bir korozyon tabakası meydana getirir.

Çalışma esnasında bu korozyon tabakası kırılır ve yüzeyden ayrılır. Bu olaylar tekrar ederek korozyon aşınmasını devam ettirir. Motorların farklı çalışma koşulları altında yakıt içerisindeki sülfür, yağlama yağının oksijenle reaksiyona girmesi sonucu asit ürünlerinin oluşumu korozyon oluşumunu hızlandırır. Motorlarda farklı sıcaklık değerlerinde çalışan segmanlar, silindirler, pistonlar ve supaplar bu anlamda kritik parçalardır. Korozyon aşınmasını önlemek için yüzeylere kaplama ve paslanmaya karşı antikorozif yağlar kullanılabilir. Motorlarda yakıt içindeki sülfür gibi korozyonu hızlandıran maddelerin yok edilmesi de etkili olabilir (Akkurt, 2011; Cesur, 2008; Ekem, 2011).



4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada tek silindirli iki zamanlı bir benzinli motorda kullanılan mineral yağlama yağı değiştirilerek yerine bitkisel kökenli yağlama yağları kullanılmıştır. Deneyde mineral motor yağı ve bitkisel yağların (kanola ve ayçiçeği yağı) motorlarda piston ve segmanlar üzerinde biriktirdiği kurum değerlendirilmiş bu yağların triboloji üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca segmanların SEM fotoğrafları çekilerek mikro yapıdaki değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla iki zamanlı motor segmanlarının her ikisi öncelikle kaplanmadan mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Daha sonra motorun her iki segmanı bor ile PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi kullanılarak kaplanmış ve mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan çalışmada ise sadece kaplanmış segmanlar ile deney gerçekleştirilmiştir. Yakıt içerisine yağlama yağı olarak 25lt benzin içerisine 1lt bitkisel yağ veya mineral esaslı yağlama yağı karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılan motor gerçek çalışma şartlarında yüklenerek her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Daha sonra motor her seferinde sökülerek kurum oluşumu ile piston ve segmandaki aşınmalar incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan deney motoru benzinli, tek silindirli ve iki zamanlı bir su motordur. Benzinli motor 98,2 cc hacminde olup 3,4 HP gücündedir. Motor pompasının toplam ağırlığı 14,2 kg'dır. Motorla bağlantılı bir su pompası bulunmaktadır. Su pompasının su giriş/çıkış borusu çapı 2 inç, su emme derinliği düşey olarak 7,5 metre, basma yüksekliği ise 40 metredir.

Deneyde kullanılan su motorunu yük altında çalıştırabilmek amacıyla gerçek çalışma şartları sağlanmıştır. Motor bir su kuyusuna bağlanmıştır. Motor pompası suyu kuyudan çekip dışarıya basmaktadır. Motor ve çalışma ortamı Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney motoru ve çalışma ortamı

4.2. Deneylerde Kullanılan Yağlar

Deneylerde mineral yağ olarak 10W-40 numaralı birleşik yağ (dört mevsim yağ) kullanılmıştır. Bitkisel yağ olarak ise yemeklik olarak işlenmiş ayçiçeği ve kanola yağları yağlama yağı olarak kullanılmıştır. Bu yağlar ayrı ayrı benzine 1/25 oranında katılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.3. Hassas Terazi

Çalışmalar sonunda alınan numunelerin aşınmasını belirlemek için Şekil 4. 2' de görülen hassas terazi kullanılmıştır. Kullanılan bu terazi maksimum 220 g kapasite ve 0,0001 g (0,1 mg) hassasiyetine sahiptir. Aşınma miktarı ölçülecek olan numune terazide tartılmadan önce asetonla temizlenip kurutulmuştur.



Şekil 4.2. Radwag AS 220/C/2 hassas terazi

4.4. Segmanların Bor ile Kaplanması

İçten yanmalı motorlarda bulunan kompresyon ve yağ segmanları motor tribolojisi üzerinde etkilidir. Çünkü segmanların yüzey özellikleri ve dizaynı; yağ tüketimi, aşınma, gürültü ve soğutma üzerinde etkilidir. Yapılan araştırmalar segmanların motorun toplam

mekanik kayıpları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Segmanlardaki bu mekanik kayıpları azaltmak amacıyla kullanılan yöntemlerden biride kaplama teknolojisidir. Bu yöntemle kullanılan ana malzemede bulunmayan yüzey özellikleri kaplama ile elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan iki zamanlı benzinli bir motorun kompresyon ve yağ segmanlarının ikisi de $1,8 \pm 0,2 \mu\text{m}$ kalınlığında fiziksel buhar çökertme yöntemi (PVD) kullanılarak bor ile kaplanmıştır. Bura yöntemle segmanların tribolojik özelliklerini iyileştirerek motordaki mekanik kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.



5. BULGULAR

5.1. Gözleme Dayalı Veriler

Deneylerde kullanılan iki zamanlı motorda yağlama işlemi benzine yağ karıştırılarak yapılmaktadır. Bu amaçla mineral veya bitkisel yağlar benzin içerisine 25:1 oranında katılmıştır. Piston ve segmanlar motor çalıştırılmadan önce ayrı ayrı hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Piston ve segmanların montajı yapıp, benzin-mineral yağ karışımı ile 100 saat yük altında çalıştırılmıştır. Çalışma sonrası piston ve segmanlar motordan sökülerek kirli durumda hassas terazi ile tartılıp, motoru çalıştırma öncesinde belirlenen ağırlık dikkate alınarak kurum miktarları belirlenmiştir. Piston ve segmanlar temizlenip hassas terazide tekrar tartılmış ve ilk ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak aşınma miktarları belirlenmiştir. Şekil 5.1’ de pistonun benzin-mineral yağ karışımı ile çalışması sonrası yukarıdan çekilmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun üstten görüntüsü.

Mineral yağ ile çalışmada pistonun tepesinin komple kurum bağlamadığı, bazı bölgelerin tertemiz olduğu görülmüştür. Kurum oluşumunun pistonun emme portu tarafında daha çok olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma emme portu tarafında egzoz portu tarafına nazaran sıcaklığın daha düşük olması sebebiyle yanmayı kötüleştirmesinin neden olduğu düşünülmüştür.

Şekil 5.2’ de pistonun benzin-mineral yağ karışımı ile çalışması sonrası yandan çekilmiş görüntüsü verilmiştir. Yandan görünüşte pistonun genel durumunun iyi olduğu ve kurum oluşumunun az olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.2. Deney motorunun benzin-mineral yağ karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun yandan görüntüsü

Temizlenmiş ve tartılmış piston ve segmanların montajı tekrar yapılmıştır. Deneyler yağlama yağı olarak benzin içerisine katılan ayçiçeği yağı ve kanola yağı kullanılarak tekrarlanmıştır.

Benzin içerisine yağlama yağı olarak sadece ayçiçeği yağının katılması ile yapılan 100 saatlik çalışmanın sonlarına doğru motorun çok fazla ısındığı görüldü. Ayçiçek yağı kullanılarak yapılan bu çalışmada deneyin sonlarına doğru sıcaklığın çok fazla yükselmesi nedeniyle segman kaynaması meydana gelmiş ve piston silindir içerisine sıkışarak motor kitlenmiş ve durmuştur. Motorun soğuması için bir süre bekledikten sonra tekrar çalışabildiği, ancak yük altında 15 dakika süre ile çalışabildiği görüldü. Piston yüzeyi incelendiğinde yüzeyin tümünün kuru bir kurum ile kaplandığı tespit edilmiştir. Pistonun üstten ve yandan görüntülerin de kurum oluşumunun arttığı, piston ve segmanlarda derin çiziklerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum ayçiçek yağının mineral yağa kıyasla yağlama özelliğini ve yanmayı kötüleştirdiğini kanıtlamıştır. Şekil 5.3. ve Şekil 5.4. de deney motorunun benzin-ayçiçek yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun üstten ve yandan görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney motorunun benzin-ayçiçek yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun üstten görüntüsü



Şekil 5.4. Deney motorunun benzin-ayçiçek yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu pistonun yandan görüntüsü

Kanola yağı ile yapılan çalışmada da 100 saatlik bir deney süresi amaçlanmıştır. Ancak 41 saatlik çalışma sonrasında sıcaklığın çok fazla yükselmesi sonucu segman kaynaması oluşmuş ve piston silindir içerisinde sıkışmış bu nedenle motor kilitlenerek durmuştur. Motorun soğuması için bir süre bekledikten sonra tekrar çalışabilmiş, ancak yük altında 15 dakika süre ile çalışabildiği görülmüştür. Şekil 5.5. ve Şekil 5.6. da pistonun benzin- kanola yağı karışımı ile çalışması sonrası sırası ile üstten ve yandan görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney motorunun benzin-kanola yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü



Şekil 5.6. Deney motorunun benzin-kanola yağı karışımı ile çalıştırılması sonucu piston görüntüsü

Kanola yağı ile yapılan çalışmada mineral ve ayçiçeği yağı ile yapılan çalışmaya kıyasla çok daha kısa süre içerisinde piston yüzeyinin sert, kömür karası bir kurum ile kaplandığı gözlemlenmiştir. Pistonun yan yüzeylerinde derin çiziklerin olduğu ve kurumun fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kanola yağının yağlama özelliğini ve yanmayı kötüleştirdiğini göstermiştir.

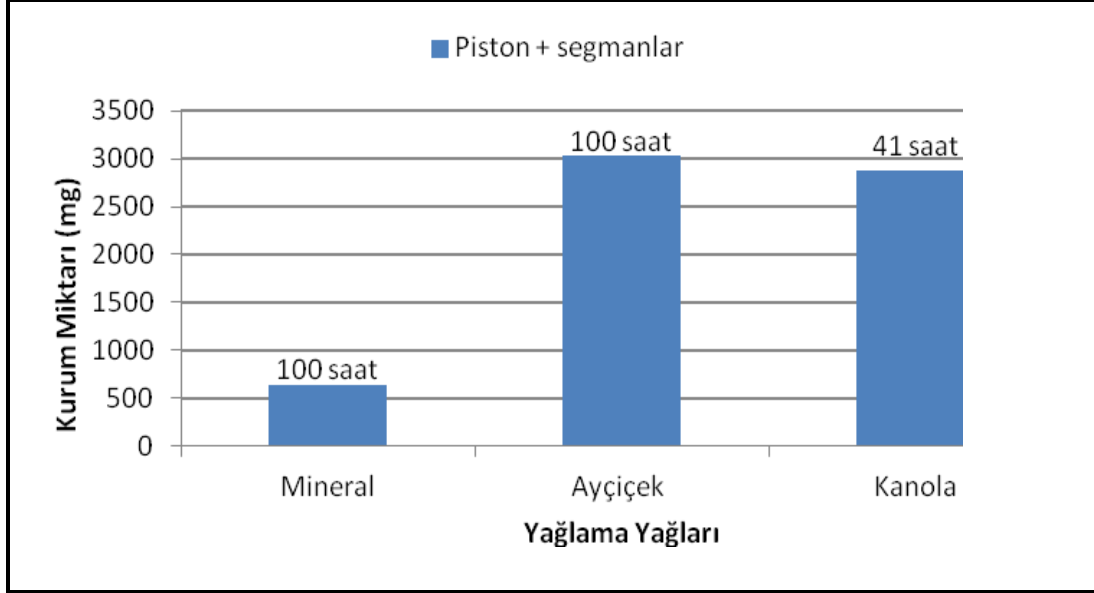
Deneyssel çalışmalarda bitkisel yağların kullanımının piston ve segmanlarda aşınmayı ve kurum miktarını önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Bu durumda bitkisel yağların yanmayı kötüleştirdiği söylenebilir. Ayrıca bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar esnasında motorda çalışma sesinin farklılaştığı net olarak fark edilmiştir. Bu farklılık motor sesinin daha sert ve çınlama şeklinde vuruntu şeklinde ortaya çıkması ile kendini göstermiştir. Bu durumun bitkisel yağlardaki setan sayısının yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü setan sayısının artması yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğini arttırmaktadır.

Vuruntulu çalışma ile motor elamanları termik ve mekanik olarak aşırı yüklenmelere maruz kalır. Bu durum ısının aşırı derecede artarak piston ve segmanlarda genleşmelere sebep olur. Ayrıca ısının artması ile yağ filmi bozulur bu durumda kuru sürtünme artar. Kuru sürtünme ile daha fazla ısının açığa çıkması piston - segman yüzeylerinde erimelere, piston-segman kaynamasına ve pistonun silindir yüzeyine kaynaklanmasına neden olur. Bu olayların bu şekilde tekrarlanması motor elamanlarında tahribatın artmasına ve motor gücünün azalmasına neden olmaktadır (İlkılıç vd. 1997).

Deneyssel çalışmanın bitkisel yağlarla yapılması sırasında motorda vuruntulu çalışma sesi duyulmuş ve motorun kanola yağı ile çalışmasından 41 saat sonra aniden durduğu görülmüştür. Motorun durması ayçiçeği yağında ise hedeflenen 100 saatlik çalışmanın sonuna doğru gerçekleşmiştir. Motor söküldüğünde segmanların piston yüzeyine kaydığı tespit edilmiştir. Bu durum bitkisel yağların düşük viskoziteye sahip olmaları ile açıklanabilir. Çünkü yağ yağlama görevini iyi yapamadığı takdirde motor parçalarında sürtünme artacak ve sürtünme sonucu sıcaklığın yükselmesi ile segman - pistonu kaynayacak ve ısı etkisiyle genleşen piston silindir içerisinde sıkışarak motorun durmasına neden olmuştur.

Mineral yağ ile gerçekleştirilen çalışmada ise piston ve segmanlarda aşınmanın normal olduğu ve vuruntulu bir çalışmanın söz konusu olmadığı görülmüştür. Mineral yağın yağlama yağı olarak bitkisel yağlara oranla yağlama görevini daha iyi gerçekleştirdiği gözlem sonuçları ile tespit edilmiştir.

Her bir yağ için piston ve segmanlar çalışma öncesi temizlenmiş, hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra piston ve segmanlar her yağ için çalışma sonrası tekrar tartılmıştır. Piston ve segmanların çalışma öncesi ve sonrası ağırlıkları kıyaslanarak kurum miktarları tespit edilmiştir. Deney motorunda çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda piston ve segmanlardaki kurum miktarı Şekil 5.7 de verilmiştir.



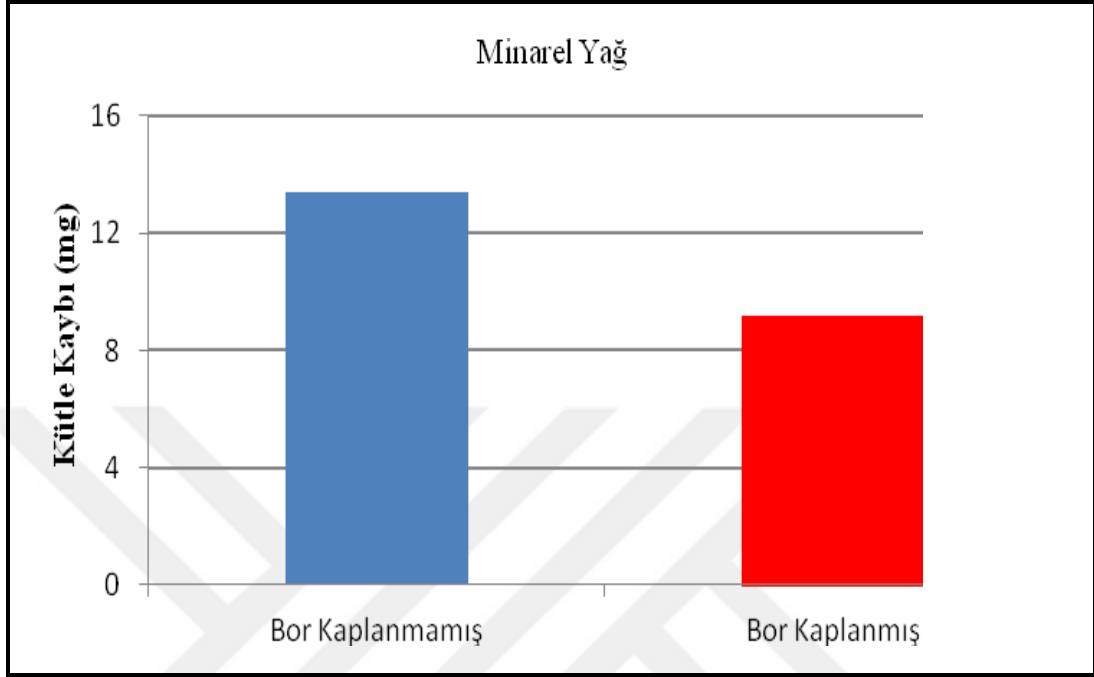
Şekil 5.7. Deney motorunda çeşitli yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda piston ve segmanlardaki kurum miktarı

Mineral yağ, ayçiçeği yağı ve kanola yağlarını iki zamanlı motorlarda yağlama yağı olarak kullanılmasıyla yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında en az kurum bağlama mineral yağda görülmüştür. Ayçiçeği yağında ise kurum miktarının kanola yağına oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada çıkan bu sonuçların nedeni kanola ve ayçiçeği yağındaki karbon artığı miktarının fazla olması veya benzine bitkisel yağ ilavesinin yanmayı kötüleştirmesidir.

5.2. Piston ve Segmanlarda Kütle Kaybına Bağlı Aşınma Davranışı

Deney de kullanılan iki zamanlı benzin motorunda iki segman bulunmaktadır. Pistonun üst kısmında kompresyon segmanı, alt kısmında yer alan segman ise yağ segmanıdır. Benzin- mineral yağ karışımı ile yapılan çalışma da her iki segman bor ile kaplanmış ve kaplanmamış olarak iki farklı deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de

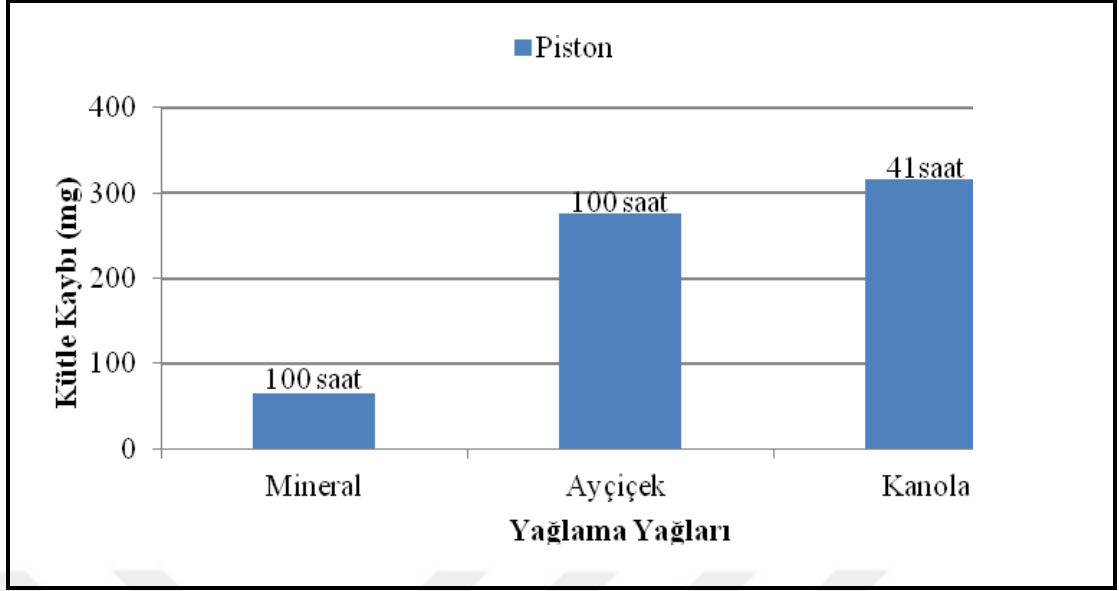
kompresyon segmanı bor ile kaplanmış ve kaplanmamış olarak mineral yağ ile yapılan deneysel çalışma da meydana gelen aşınma miktarı görülmektedir.



Şekil 5.8. Kompresyon segmanı bor ile kaplanmış ve kaplanmamış olarak mineral yağ ile yapılan deneysel çalışmada kütle kaybı

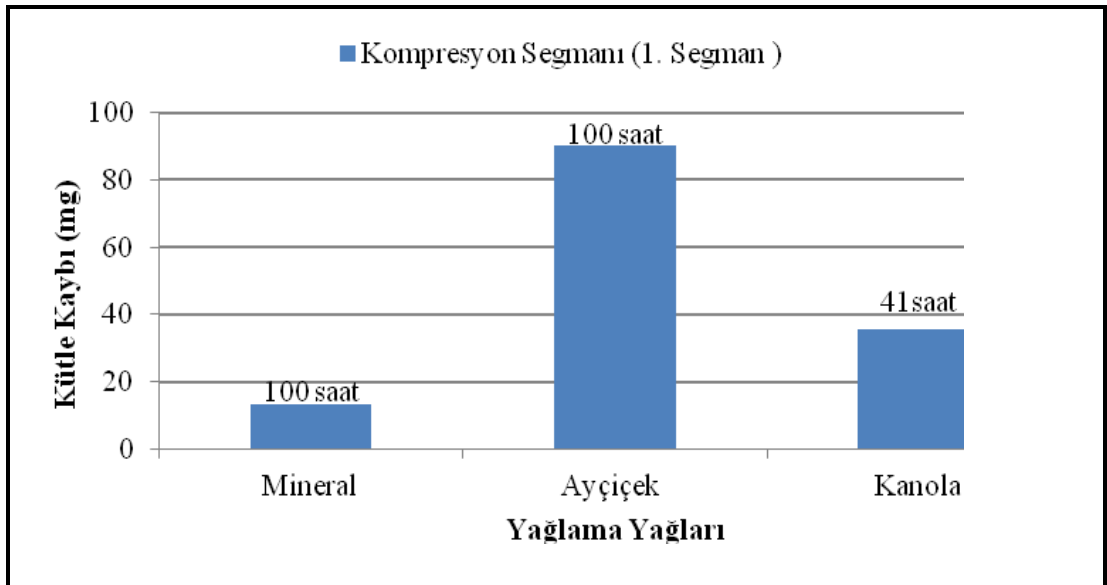
Kompresyon segmanı kaplanmamış ve kompresyon segmanı kaplanmış segmanlar kıyaslandığında kaplanmış segmanda aşınmanın daha az olduğu ölçüm sonuçları ile tespit edilmiştir. Bu durum bor kaplamanın aşınmaya karşı etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Çünkü bor kaplama ile çok sert, düşük sürtünme katsayısına sahip ve yüksek sıcaklığa dayanan bir yüzey elde etmek mümkündür (Islak ve Uzun, 2009; Baştürk ve Erten 2006.).

Deneysel çalışma ayçiçeği veya kanola yağı benzine karıştırılarak iki zamanlı motorda tekrarlanmıştır. Bu çalışmalarda segmanların her ikisine de kaplama işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.9, Şekil 5.10' ve Şekil 5.11'de sırasıyla çeşitli yağlarla yapılan çalışma sonucu piston, kompresyon segmanı ve yağ segmanında meydana gelen kütle kayıpları verilmiştir.



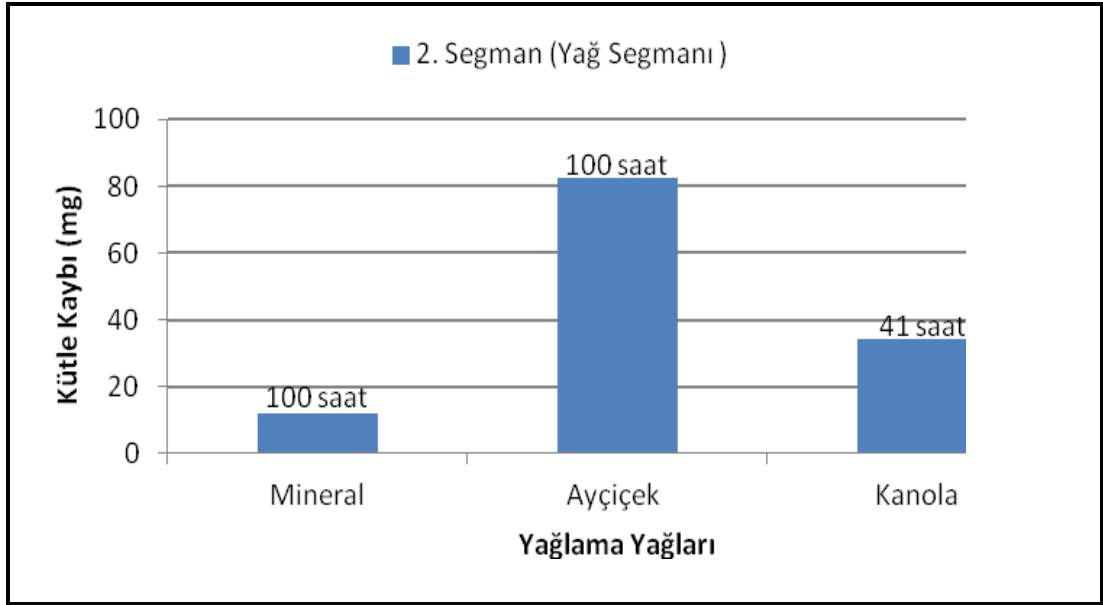
Şekil 5.9. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda pistonda meydana gelen aşınma miktarları

Deneysel çalışmanın farklı yağlarla yapılması neticesinde şekiller analiz edildiğinde piston ve segmanlarda meydana gelen aşınma en düşük mineral yağda gerçekleşmiştir. Bitkisel yağ kullanımı ise aşınmayı artırmıştır. En kötü sonuç kanola yağı ile yapılan çalışmada elde edilmiştir. Nitekim kanola yağı ile motorun 100 saat çalıştırılması düşünülürken ancak 41 saat çalıştırılabildiği görülmüştür.



Şekil 5.10. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda kompresyon segmanında meydana gelen aşınma miktarları

Bitkisel yağların iki zamanlı motorlarda yağlama yağı olarak kullanımı kütle kaybına bağlı aşınma noktasında ele alındığında iyi bir netice vermediği görülmektedir. Bu durum bitkisel yağların setan sayısının yüksek olması ile yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğini artırması ile açıklanabilir. Çünkü benzinin setan sayısı çok düşüktür, bu değer ayçiçeğinde 36, kanola da ise 37 olarak görülmektedir. Bitkisel yağ benzine 25/1 oranında karıştırıldığında setan sayısı artmış ve böylelikle vuruntulu yanmaya sebep teşkil etmiştir. Bu durum yanma sırasında aşırı sıcaklık ve basınç dalgalanmalarını ortaya çıkarmıştır. Bu sıcaklık piston ve segmanların aşırı genleşmesine, basınç dalgalanmaları ise piston ve segmanlarda sürtünme etkisinin artmasına neden olmuştur. Böylelikle kütle kaybına bağlı aşınmalar da artmıştır.



Şekil 5.11. Mineral ve bitkisel yağlarla yapılan çalışmalar sonucunda yağ segmanında meydana gelen aşınma miktarları

Bitkisel yağlar ile yapılan deneysel çalışmalarda aşınmaların fazla oluşmasında bitkisel yağlardaki karbon fazlalığı da etkili olmuş olabilir. Karbon sayısının fazlalığı yanma sonucu artıklara karbon birikintilerine sebep olabilir. Bu durum bitkisel yağlarla yapılan çalışma sonucunda piston ve segmanlarda biriken fazla miktardaki kurum ile de kendi göstermiştir. Bu karbon birikintisi, efektif sıkıştırma hacmini azaltmanın yanında düşük ısı iletkenlikleri sebebiyle soğutma verimini düşürür, böylece akkor hale gelerek yakıtın kendi kendine tutuşmasına neden olur. Bu üç durumda motorda vuruntuya sebep

olarak motor elamanlarının aşınmasına sebep olur.

Bitkisel yağların viskozitelerinin mineral yağa oranla daha düşük olması motor elamanları arasında yağ filmi oluşturmada yetersiz kalmıştır. Bu durum madeni teması arttırarak, sürtünme ve buna bağlı olarak sıcaklığı yükseltmiştir. Sürtünme ve sıcaklığın artması motor elamanlarında aşınmayı hızlandırmıştır.

Piston ve segmanlardaki kayıplar incelendiğinde yağlama yağı olarak bitkisel yağın kullanımı aşınmayı arttırmıştır. Ayçiçeği yağı kullanımı, sadece mineral yağ kullanımına kıyasla daha fazla aşınmaya neden olmuştur.

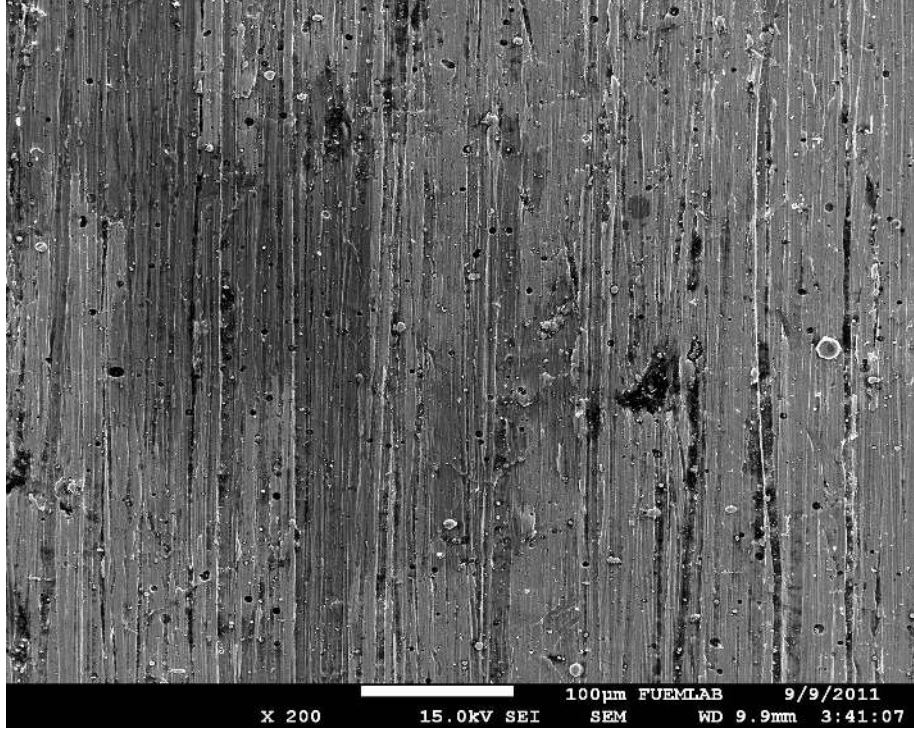
Şekiller incelendiğinde bütün yağ çeşitlerinde kompresyon segmanı dediğimiz birinci segmanda yağ segmanına oranla aşınmanın daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum çalışma şartları düşünüldüğünde olması gerekeni doğrular nitelikte bir sonuç ortaya çıkardığı söylenebilir. Çünkü kompresyon segmanı yanma odasına daha yakın olduğundan yüksek sıcaklık ve basınçlara maruz kalır. Ayrıca silindir yüzeyi ve segman arasındaki yağlamanın üst ölü noktaya doğru gidildikçe sıcaklığın viskoziteyi olumsuz etkilemesi sebebiyle yetersiz kalması aşınma miktarında artışa sebep olabilmektedir.

5.3. Segmanlarda SEM Analizleri ile Aşınma Davranışı Tespiti

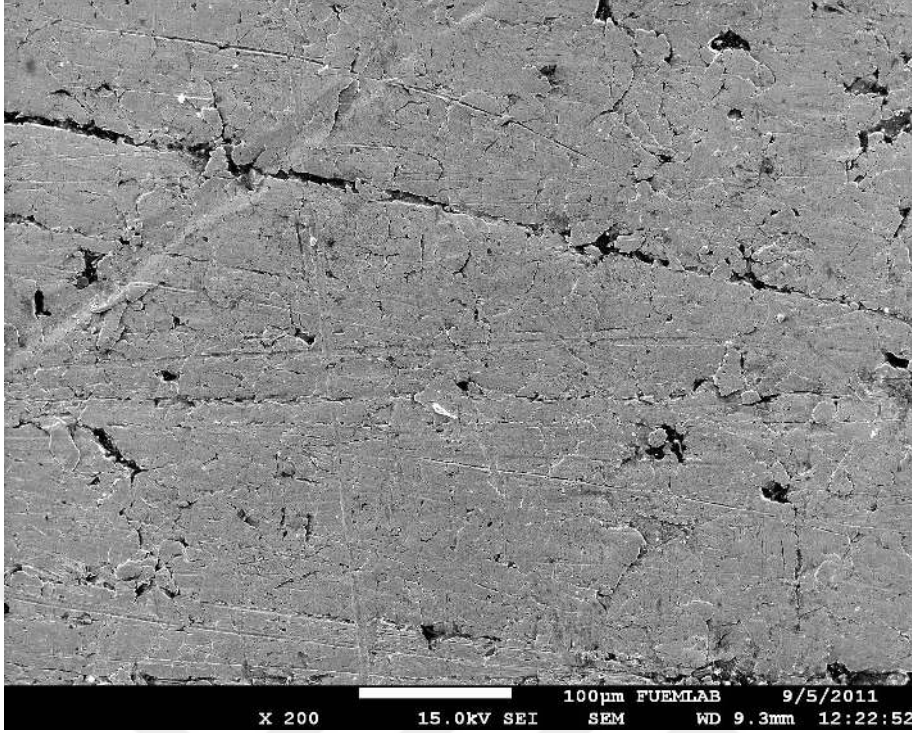
Deney motorunda piston çevresinde iki segman bulunmaktadır. Bunlardan pistonun üst kısmında bulunan kompresyon segmanı, alt kısmında bulunan segman ise yağ segmanıdır. Mineral ve bitkisel yağlar ile yapılan deneysel çalışmalar sonrasında kompresyon segmanları ve yağ segmanları sökölerek aşınma davranışlarını incelemek amacıyla SEM analizleri yapılmıştır.

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanlarının kaplanmamış ve kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Deneysel çalışmalarda kaplanmamış ve kaplanmış kompresyon segmanlarının aşınma davranışları SEM analizleri doğrultusunda kıyaslandığında kaplanmış segmanlarda aşınmanın daha az olduğu görülmüştür. Bu sonuç bor kaplamanın aşınma direncini arttırdığını göstermektedir. Çünkü bor kaplama işlemi ile yüksek aşınma direnci özelliği ve daha düşük sürtünme katsayısını sağlayan yüzey elde etmek mümkündür. Ayrıca bor kaplı malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti ve aşınmaya gösterdiği direnç sebebi ile çok az yağlayıcı veya yağlayıcı kullanılmadan çalışmaya olanak sağlayacağından çevreye de olumlu katkısı söz konusudur. Borun oksijene olan ilgisi ise yüzeyde koruyucu

bir oksit tabakası meydana getirerek sürtünmeli anmalarda sürtünme katsayısını drmekte ve yüzeylerin birbirine kaynamasını önlemektedir (Islak ve Uzun, 2009; Batrk ve Erten 2006).



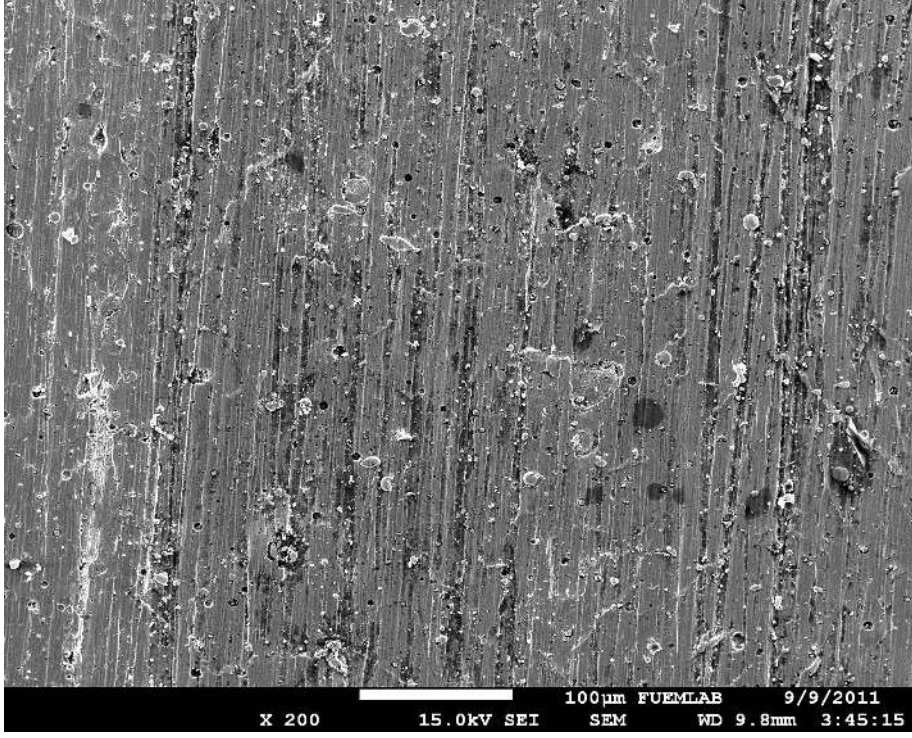
Şekil 5.12. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmamış yüzeylerinin SEM fotoğrafları



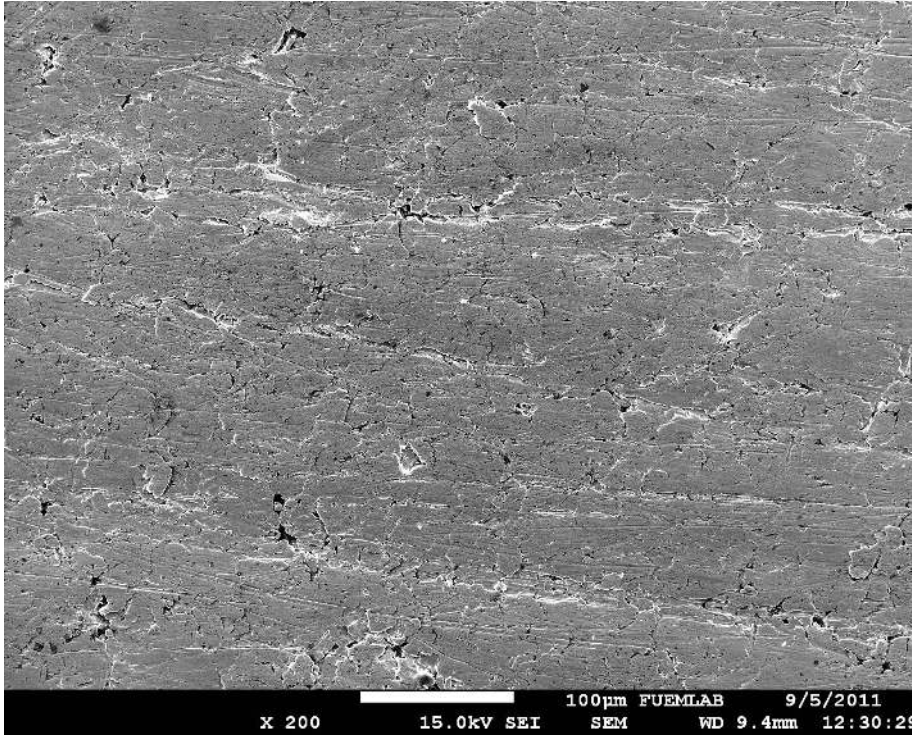
Şekil 5.13. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanlarının kaplanmış ve kaplanmamış yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Mineral yağ ile yapılan çalışmada bor ile kaplanmış ve kaplanmamış yağ segmanların aşınma davranışları incelendiğinde kaplanmış yağ segmanında aşınmanın daha az olduğu görülmüştür. Bu duruma bor kaplamanın yukarıda ifade edilen özelliklerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Mineral yağ ile yapılan çalışmada kompresyon ve yağ segmanları kaplanmış ve kaplanmamış olarak çalıştırılmıştır. Her iki deneysel çalışmada da kompresyon ve yağ segmanlarının aşınma davranışları SEM analizleri doğrultusunda kıyaslandığında kompresyon segmanlarında aşınmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum kompresyon segmanının ve yağ segmanın çalışma şartları göz önüne alındığında beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. Çünkü kompresyon segmanı yanma odasına yakın olması sebebiyle daha yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışmaktadır. Basıncın yüksek olması segmanı silindir yüzeyine daha kuvveli bir şekilde bastırarak sürtünme sonucu aşınma miktarını artırırken, sıcaklığın viskozite üzerindeki olumsuz etkisi yağlamayı kötüleştirmekte ve bu nedenle aşınmayı arttırmaktadır.

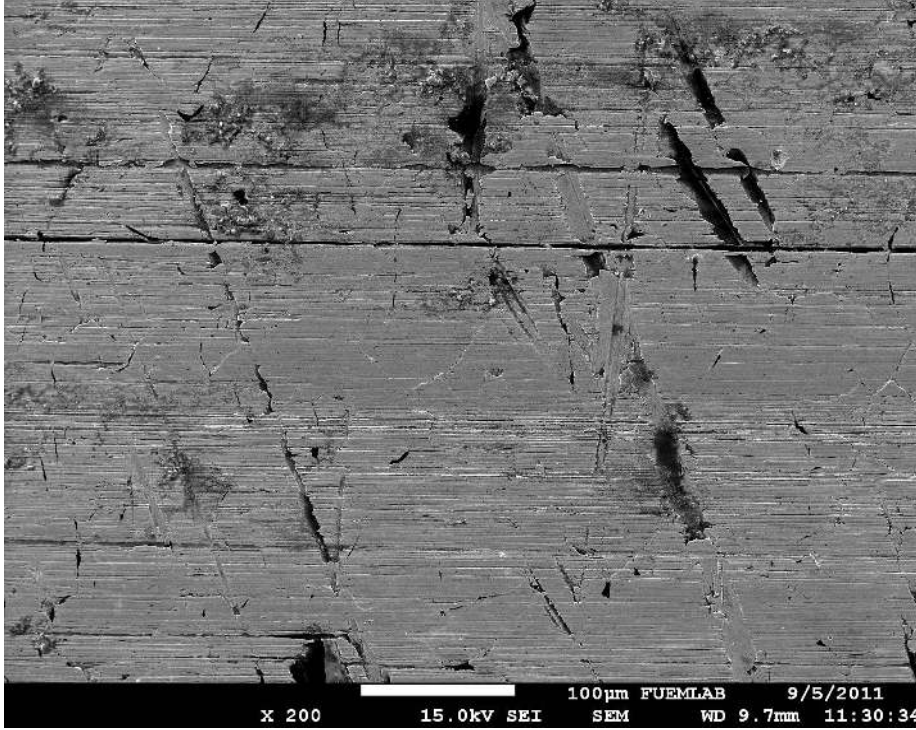


Şekil 5.14. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmamış yüzeylerinin SEM fotoğrafları



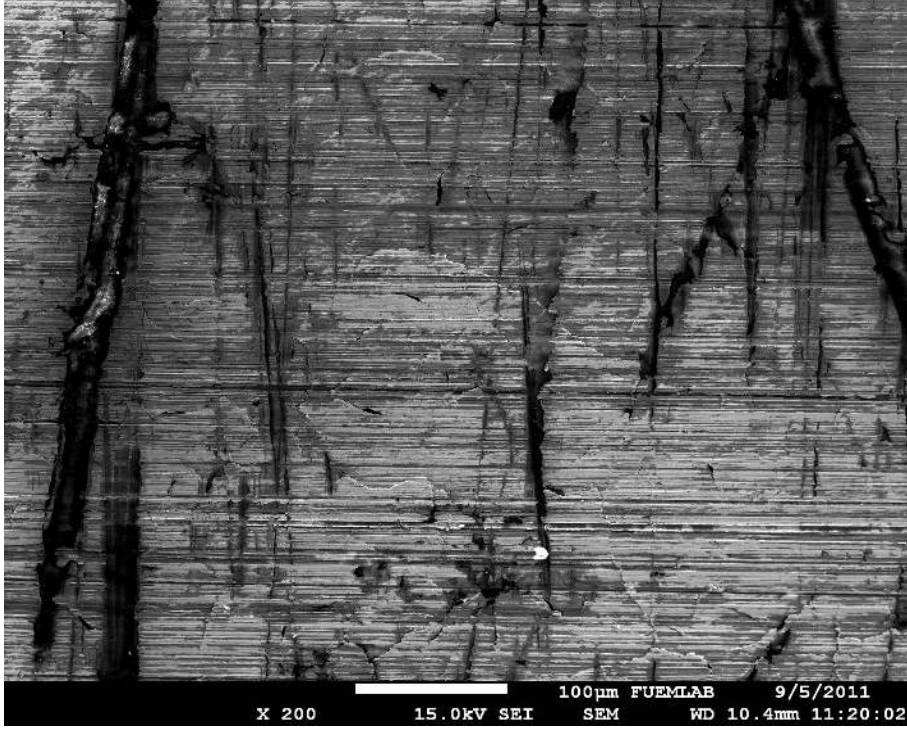
Şekil 5.15. Mineral yağ ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları

Deneysel çalışmalar kompresyon ve yağ segmanları bor ile kaplanmış olarak ayçiçeği ve kanola yağları ile de gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda SEM analizleri yapılarak aşınma davranışları incelenmiştir. Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de ayçiçeği yağı ve kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanlarının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.16. Ayçiçek yağı ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları

Ayçiçeği yağı ve kanola yağı ile yapılan çalışma sonrası kompresyon segmanlarının SEM analizleri incelendiğinde mineral yağa kıyasla aşınmanın çok olduğu görülmüştür. Segman yüzeyinde derin çizikler ve parça kopmalarının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yağlama yağı olarak mineral yağ yerine ayçiçeği yağı veya kanola yağının kullanımının iyi bir tercih olmadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

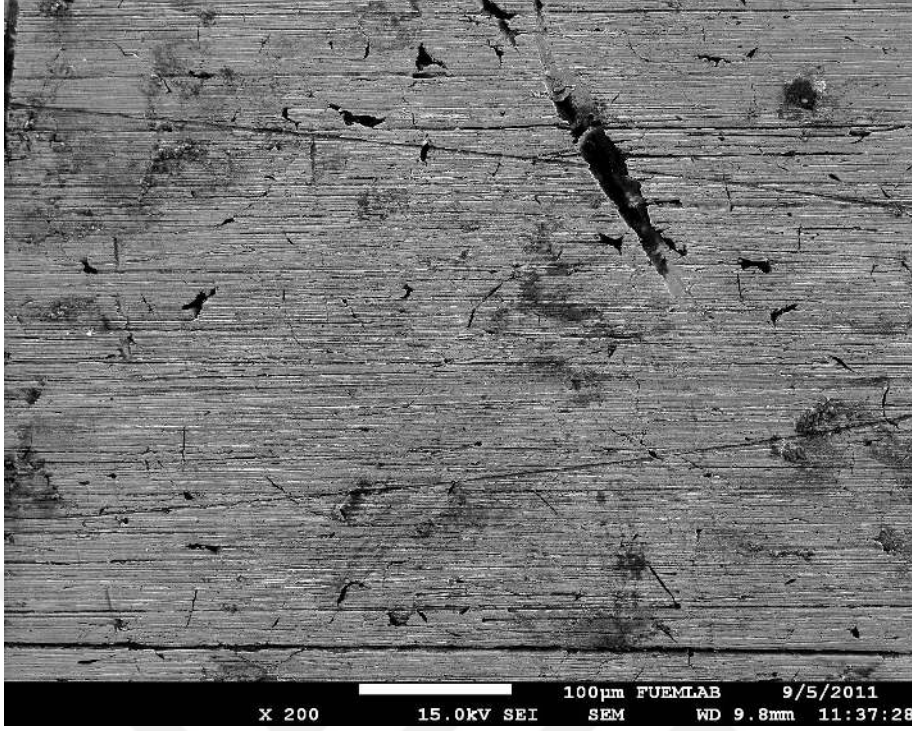


Şekil 5.17. Kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda kompresyon segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları

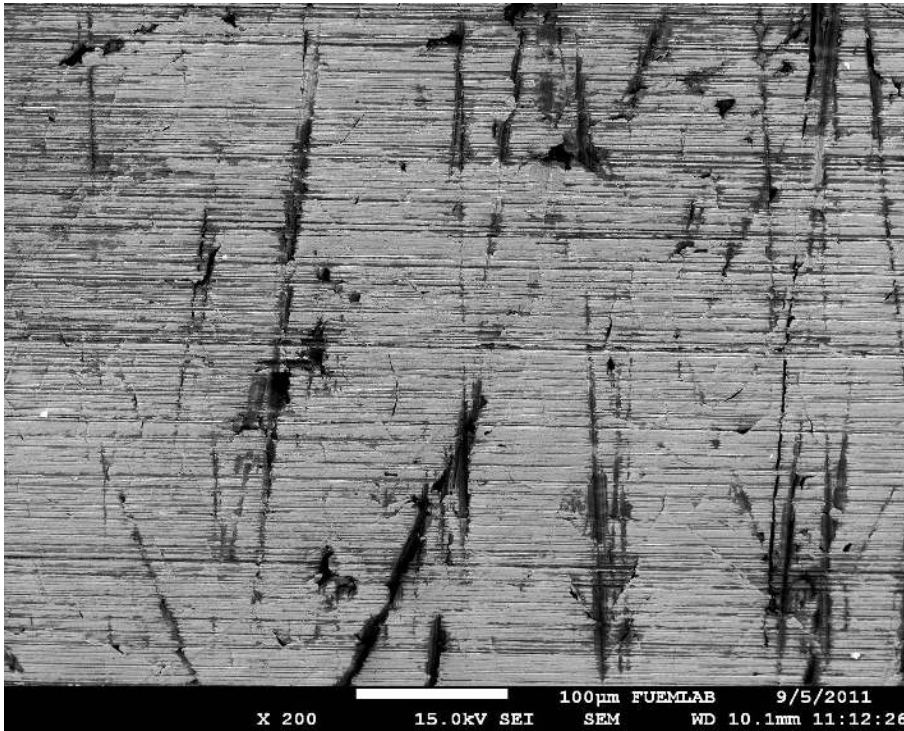
Kanola yağı ile yapılan çalışma sonrasında kaplanmış segmanların SEM fotoğrafları incelendiğinde daha belirgin bir aşınmanın olduğu dikkat çekmektedir. Mineral ve ayçiçeği yağına kıyasla çiziklerin ve parça kopmalarının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum kanola yağının yağlama görevini yerine iyi getiremediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca analizlerde segman yüzeylerinde karbon birikintilerinin olduğu gözle çarpılmaktadır. Bu duruma kanola yağının yanmayı kötüleştirmesinin sebep olduğu düşünülmüştür.

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da ayçiçeği yağı ve kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanlarının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Her iki yağla yapılan çalışma sonrası yağ segmanlarının SEM fotoğrafları analiz edildiğinde mineral yağa kıyasla segman yüzeyinde daha fazla aşınmalar ve parça kopmaları mevcuttur. Bu durum kanola yağında daha belirgin olarak kendini göstermektedir.

Ayçiçek yağı ve kanola yağı ile yapılan çalışmalarda da yağ segmanlarında aşınmanın kompresyon segmanlarına nazaran daha az olduğu görülmüştür. Bu durumun daha önceden de izah edildiği gibi çalışma şartlarının farklılığından kaynaklandığı düşünülmüştür.



Şekil 5.18. Ayçiçek yağı ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları



Şekil 5.19. Kanola yağı ile yapılan çalışma sonucunda yağ segmanının kaplanmış yüzeylerinin SEM fotoğrafları

Deneysel çalışmada mineral yağ, ayçiçeği yağı ve kanola yağı ile çalışma sonrası segmanların SEM görüntüleri karşılaştırıldığında kanola yağı ile yapılan çalışmada segman yüzeyinin daha fazla deformasyona uğradığı görülmektedir. Segman yüzeyindeki bu derin aşınmaların nedeni benzine katılan bitkisel yağların setan sayısını yükselterek vuruntuya sebep olması olabilir. Çünkü vuruntulu çalışma sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklıklar silindir, piston ve segman gibi motor elamanlarını termal gerilme ve şoklara maruz bırakmaktadır. Bu durum motor elamanlarının normalin üstünde bir yük altında çalışmalarına neden olmaktadır. Böylece piston ve segmanlar silindir yüzeyine daha yüksek bir kuvvetle itilmiş olacaktır. Kısaca basıncının yüksek olması segmanın silindir yüzeyine uyguladığı sürtünme kuvvetini arttırmış ve sıcaklığın etkisiyle birleşince segman yüzeyinde derin çiziklere neden olduğu söylenebilir.

Bitkisel yağların kullanımı SEM fotoğrafları incelendiğinde motor elamanlarında aşınmaları arttırmıştır. Bunun nedenlerinden bir diğeri daha önce kütle kaybına bağlı aşınmalar kısmında anlatıldığı gibi yemeklik bitkisel yağların viskozitelerinin düşük olmasından kaynaklanabilir. Düşük viskozite, sıcaklığın artması ve dengesiz basınçlar parçalar arasında yağ filmi oluşumunu engelleyerek aşınmaları arttırmış olabilir.

6. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tek silindirli iki zamanlı bir benzinli motorda kullanılan mineral yağlama yağı değiştirilerek yerine bitkisel kökenli yağlama yağları kullanılmıştır. Deneyde mineral motor yağı ve bitkisel yağların (kanola ve ayçiçeği yağı) motorlarda piston ve segmanlar üzerinde biriktirdiği kurum değerlendirilmiş bu yağların triboloji üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca segmanların SEM fotoğrafları çekilerek mikro yapıdaki değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla iki zamanlı motor segmanlarının her ikisi kaplanmadan mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Daha sonra motorun her iki segmanı bor ile PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi kullanılarak kaplanmış ve mineral yağ ile çalıştırılmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan çalışmada ise kaplanmış segmanlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Yakıt içerisine yağlama yağı olarak 25lt benzin içerisine 1lt bitkisel yağ veya mineral esaslı yağlama yağı karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılan motor gerçek çalışma şartlarında yüklenerek her bir yağ için 100 saat çalıştırılmıştır. Daha sonra motor her seferinde sökülerek kurum oluşumu ile piston ve segmandaki aşınmalar incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İki zamanlı deney motorun da yağlama yağı olarak mineral yağ yerine, bitkisel yağ ve benzin karışımları ile çalıştırıldığında piston ve segmanların yüzeylerinde daha fazla aşınmanın meydana geldiği ve daha fazla kurum birikintisinin olduğu gözlemlenmiş ve ölçümlerle de tespit edilmiştir. Aşınmanın en çok kanola yağı ile yapılan çalışmada daha sonra ise ayçiçeği yağıyla yapılan çalışmada olduğu ölçümlerle ortaya konulmuştur. Bu durum ya bitkisel yağ karışımının yanmayı kötüleştirilmesi ya da karbon içeriğinin fazla olması ile düşünülebilir. Yanmanın kötüleşmesi bitkisel yağların setan sayısının dizel yakıta yakın olmasıyla da açıklanabilir. Bu da benzinli motorlarda kendi kendine tutuşmaya sebep olarak vuruntulu çalışmaya ve aşınmaların artmasına neden olmuştur.

Çalışmada yağlama yağı olarak bitkisel yağ kullanıldığında, bu yağlardan kanola yağında motorun daha kısa sürede durduğu, ayçiçeği yağında ise motorun daha uzun bir süre sonra durduğu gözlemlenmiştir. Motor söküldüğünde ise segmanların silindir yüzeyine kaydığı görülmüştür. Bu duruma bitkisel yağların viskozitelerinin mineral yağa oranla düşük olması sebebiyle yağ filmi oluşturamamış olmasından kaynaklandığı sonucuna varılabilir. Çünkü yağ filminin oluşturulamamış olması sürtünmelerin artmasını

ve buna bağlı olarak sıcaklığın artmasıyla segmanların pistona kaynamasına neden olduğu söylenebilir.

Mineral yağ ile yapılan çalışmalar bitkisel yağ ile yapılan çalışmalarla kıyaslandığında benzinli motorda duyulan vuruntu sesleri oluşmamakta ve aşınmanın da daha az olduğu görülmektedir. Bu da mineral yağın iki zamanlı motorda yağlama yağı olarak kullanıma daha uygun olduğunu göstermektedir.

Bitkisel yağlar ve mineral yağ ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları incelendiğinde bitkisel yağlar ile yapılan çalışmada segmanların daha fazla aşındığı, derin çizikler oluştuğu, yüzeylerde çatlaklar ve yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir. Bunların en önemli sebebi düşük viskozite ve yanma sırasında meydana gelen vuruntu sonucunda ortaya çıkan aşırı sıcaklık ve yüksek basınç olduğu düşünülebilir.

Mineral yağ – benzin karışımı ile yapılan iki farklı çalışmanın birinde segmanlar bor ile kaplanmış diğerinde ise kaplanmamıştır. Deney sonucunda bor ile kaplanan segmanlar, kaplanmamış segmanlarla karşılaştırıldığında kaplanmış segmanda aşınmanın daha az olduğu ölçümlerle tespit edilmiştir. Bor kaplamanın daha sert ve pürüzsüz bir yüzey sağlayarak aşınmayı azalttığı söylenebilir.

Bu deneysel çalışmada, yemeklik yağ olarak işlenmiş bitkisel yağların iki zamanlı bir motorda yağlayıcı olarak kullanımının iyi sonuçlar vermediği görülmüştür. Ancak bu çalışmada kullanılan bitkisel yağlar yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir. Bu bitkilerden elde edilen yağların kimyasal özellikleri üzerinde yapılacak bilimsel çalışmalar ile evre dostu bu yağların içten yanmalı motorlarda ve makine sistemlerinde yağlayıcı olarak kullanılabilir duruma getirilmesi mümkün olabilir. Bu durum tarım ülkesi olan ülkemiz için yeni istihdam alanları, enerji maliyetlerinde düşüş, enerjide dışa bağımlılığı azaltma gibi büyük faydalar sağlayabilir. Bu ancak farklı bilim dallarının (malzeme, otomotiv, metalürji, kimya gibi) işbirliği içinde yapacakları çalışmalar ile mümkündür.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M.**, 2007. Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayınları, Ankara.
- Acaroğlu, M., Oğuz H. ve Ögüt H.**, 2001. An Investigation of the Use of Rapeseed Oil in Agricultural Tractors as Engine Oil., *Energy Sources*, 23, 9, 823-830, DOI: 10.1080/009083101316931898.
- Akalın, Ö.**, 2010. İçten Yanmalı Motorlarda Piston Grubu Sürtünme Kayıplarının Azaltılması, Proje No: 104M274
- Akkurt, M.**, 2011. Makine Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Altıparmak, A.**, 2007. Madeni Atık Yağların Fraksiyonlarına Ayrılarak Bertarafı Ve Yeni Ürünlerin Geri Kazanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Altun, Ş. ve Gür M. A.**, 2005. Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması., *HR.Ü.Z.F.Dergisi*, 9, 3, 35-42.
- Arioğlu, H. H., Kolsarıcı, Ö., Göksu, A. T., Güllüoğlu, L., Arslan, M., Çalışkan, S., Söğüt, T., Avcıoğlu, A. O., Türker U., Atasoy Z. D., Koçtürk D.**, 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler- Biyoyakıtlar, Nobel Yayınları, Ankara.
- Babalık F. C. ve Çavdar K.**, 2011. Makine Bilimi ve Elemanları, Dora Yayınları, Bursa.
- Babalık, F. C., Çavdar, K., Gerger, N., Karpat, F., Kıraç, N.**, 2012. Makine Elemanları Çözümlü Problem Kitabı, Dora Yayınları, Bursa.
- Baştürk S., Erten M.**, 2006. Borlama İle Yüzey Sertleştirme Çalışmaları, *Mühendis ve Makina*, 47,563,57.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A.**, 1994. İçten Yanmalı Motorlar,Teknik Eğitim Vakfı Yayınları - 2, Ankara.
- Bulgurcu, H.**, 2001. Enerji Makinaları, MEB Yayınları, Ankara.
- Cesur, İ.**, 2008. Farklı Yakıt Karışımlarının Segman-Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme Ve Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Örs, İ., Salman, M. S.,** 2008. Bir Dizel Motorunda Seramik Kaplamanın Motor Performans Ve Isı Kayıplarına Etkisi, e-Journal of New World Sciences Academy, 3, 4.
- Cürgül, İ.,** 2011. Makine Elemanları ve Çözümlü Problemleri Cilt -2, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Çakır, M. ve Akçay, İ. H.,** 2011. İçten Yanmalı Motorlarda Segman-Gömlek Sürtünmesinin Motor Performansı İle İlişkisi Üzerine Bir İnceleme, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2, 16.
- Durak, E.,** 2010. Çevre Dostu Yağlama Yağı Adayı Bitkisel Yağı Metil Esterinin Sürtünme Performansının İncelenmesi., Proje No:108M627.
- Ekem, Ö. S.,** 2011. İçten Yanmalı Motorlarda Sürtünen ve Yuvarlanan Parçaların Plazma Yöntemi ile Kaplanarak Aşınma Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ezirmik, K. V. ve Ürgen, M.,** 2010. Mon-Ag Nanokompozit Kaplamaların Tribolojik Özellikleri, İtÜdergisi/d Mühendislik,9, 2, 123-134.
- Gündüz, O.,** 2004. Ark Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemiyle ZrN Kaplamaların Farklı Bias Voltajlarında Üretimi ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güyağüler, T.,** 2001. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.
- Hazar, H. ve Öner C.,** 2007, CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi, Mühendis ve Makine Dergisi, 48, 575.
- Hazar, H. ve Öner, C.,** 2005. Bir Dizel Motoru Silindir Gömleğinin Aşınması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları,146 - 149.
- Hazar, H. ve Öztürk, U.,** 2009. Bir Dizel Motorda Al₂O₃-TiO₂ Kaplanmış Piston Ve Supapların Yüzey Mikro Yapılarının İncelenmesi., Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 1, 11-16.
- Hazar, H.,** 2004. Bir Dizel Motoru Silindir Yüzeyinin Seramik Malzeme İle Kaplanarak Aşınma Davranışının Deneysel İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
<http://www.bysd.org.tr/Istatistikler.aspx> (erişim 22.08.2014,saat :15:40)

- Husnawan M., Saifullah M.G., Masjuki H.H.,** 2007. Development of friction force model for mineral oil basestock containing palm olein and antiwear additive. *Tribology International*, 40 (1), 74-81.
- Islak S., Uzun A.,** 2009. Aşınmayı Önlemede Termokimyasal İşlem Olarak Borlamanın Kullanılması., *Metal İşleme Teknolojileri Tanıtım ve Pazarlama Dergisi*,
- İlkılıç, C., Bayındır, H., Öner, C.,** 1997. Dizel motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Ayçiçek Yağının Kullanılması, *Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Jayadas N.H., Nair K P., Ajithkumar G.,** 2007. Tribological evaluation of coconut oil as an environment-friendly lubricant. *Tribology International*, 40 (2), 350- 354.
- Kaya, G.,** 2010. İki Zamanlı Benzinli Bir Motorun Performansının Bilgisayar Simülasyonu Yardımı İle Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kayahan, M.,** 2004. Yağlı Tohumlardan Ham Yağ Üretim Teknolojisi, TMMOB (Gıda Mühendisleri Odası), Ankara.
- Kayalı E. S., Eruslu N., Ürgen M., Taptık Y., Çimenoglu H.,** 1997. Hasar Analizi Seminer Notları, TMMOB (Metalurji Mühendisliği Odası), İstanbul.
- Kaynaklı, Ö., Horuz, İ. Ve Karamangil, İhsan.,** 2003. İçten Yanmalı Motorlarda Enerji Dağılımı Ve Kullanılabilirliği, *Teknoloji*, 6, 1-2, 25-34.
- Keven, A.,** 2013, Fındık Yağı Ve Fındık Yağı Metil Esterinin Tribolojik Performansının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Koç, E. Ö.,** 2009. Biyodizel Yakıtların Yağlayıcılık Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Lawal, S.A., Choudhury, I.A., Nukman, Y.,** 2012. Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals – A review, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 52, 1, 1–12
- Mert, Z.,** 2007. Tek Silindirli Bir Motorda Sürtünmeye Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi ve Sürtünme Gücünün Azaltılması, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- Mistry, H. R. and Bhatt, D. V.,** 2011. Study Of Tribological Parameters On Sı Engine – A Case Study, International Journal Of Advances In Engineering & Technology,1, 3, 111 – 117.
- Müjdeci, S.,** 2009. İçten Yanmalı Motorda Ticari Yağ Katkı Maddelerinin Sürtünme, Aşınma Ve Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Doktora Tezi*,Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Okur, M., Çetinkaya, S.,** 2004. İki Zamanlı ve İki Silindirli Bir Model Uçak Motorunun Tasarımı ve İmali, Teknoloji, 7, 1, 129-137.
- Özçelik, A. E.,** 2011, Aspir Biyodizelinin Ve Motorinle Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yağlama Yağına Etkilerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özdamar, İ. ve Yelken, B.,** 1987. Benzin Motorları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Özlü, İ.,** 1994. Meslek Bilgisi, Yargı Basım Basımevi, Ankara.
- Rejowski, E., Mordente Sr, P., Pillis, M., Casserly, T.,** 2012. Aplication of DLC Coating in Cylinder Liners for Friction Reduction, SAE Tecnical Paper, 01,1329. DOI:10.4271/2012-01-1329.
- Rüzgar, H. T.,** 2010. Bitkisel Kaynaklı Yağların Yağlayıcılık Özelliği Daha Yüksek Türevlerine Dönüştürülmesi Ve Bu Türevlerin Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Mineral Kaynaklı Yağlayıcılarla Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Salman, Ö. ve Durak, E.,** 2011. Çevre Dostu Bitkisel Yağ Esaslı Yağlama Yağları, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi: Sigma, 29, 412-421.
- Salman, Ö.,** 2011. Yağlama Yağı İçin Bitkisel Yağların Ve Esterlerinin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sarı N. Y., Akay S., Kaluç, E.,** 1997. Aşınmayı Önlemede Etkili Yöntemler : Bölüm - II : Plazma (İyon) Nitrürleme., Mühendis ve Makine, 38, 450.
- Shashidhara Y.M., Jayaram S.R.,** 2010. Vegetable oils as a potential cutting fluid- an evolution. Tribology International, 43, 1073–1081.
- Staudt, W.,** 2000. Motorlu Taşıt Tekniği, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Şafak H. E.,** 2008. Yüzeyi Pvd Yöntemiyle Kaplanmış Metallerde Tribolojik

Özelliklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Tung, S. C. And Mcmillan, M. L., 2004. Automotive Tribology Overview Of Current Advances And Challenges, Tribology International, **37**, 517–536.

Türküz, M. Cenk., 2006. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi İle Yapılan Zirkonyum Nitrid İnce Film Kaplamanın Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi Ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yardım, M. H., 2008. Motor Teknolojisi, Nobel Yayınevi, Ankara.

URL 1: Arioglu, H. H., Kolsarıcı, Ö., Göksu, A. T., Güllüoğlu, L., Arslan, M., Çalışkan, S., Söğüt, T., Kurt, C., Arslanoğlu F., Yağ Bitkilerinin Üretiminin

Arttırılması olanakları, http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/0d3973ad100ad83_ek.pdf) Erişim tarihi: 15.10.2014

URL 2: T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2010). Bitkisel Atık Yağların Yönetimi, (<http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr>), Erişim tarihi: 16.10.2014

URL 3: T.C. Gümrük Ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü., 2013. 2012 Yılı Ayçiçeği Raporu, (<http://koop.gtb.gov.tr/data/533199e9487c8eb1e43d7284/2012%20Y%C4%B1%C4%B1%20Ay%C3%A7i%C3%A7e%C4%9Fi%20Raporu.pdf>), Erişim tarihi: 16.10.2014

ÖZGEÇMİŞ

10 Şubat 1979 tarihinde Muş'ta doğdum. Lise öğrenimimi Muş Teknik Lise de tamamladım. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği bölümünden mezun oldum.

