

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

**FARKLI DİZEL YAKITLARIN SÜRTÜNME VE
AŞINMAYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz VAPUR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Şubat 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

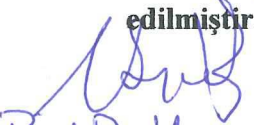
FARKLI DİZEL YAKITLARIN SÜRTÜNME VE
AŞINMAYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz VAPUR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 25/ 02 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Uğur Şen
.....
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ
.....
Üye


Yrd. Doç. Dr. Ferit FLIÇICI
.....
Üye

ÖNSÖZ

Gelişmekte olan ülkelerde görülen hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve buna paralel olarak hızla artan enerji talebi küresel boyutta önemli bir sorun haline gelmiştir ve bu sorunu çözebilmek için yapılan araştırmalar çok önem kazanmıştır. Özellikle ulaşım sektöründe kullanılan taşıtların sayılarında günümüzde büyük artışlar yaşanmaktadır. Bu artışa karşılık, petrol türevi fosil hidrokarbon yakıtlar hızla tükenmekte ve fiyatları hızla artmakta olduğu için alternatif enerji kaynakları ve yakıtlar gündeme gelmiştir. Dizel yakıtının fiyatının diğer yakıtlardan düşük olması nedeniyle dizel yakıtlı araçların sayısında büyük artış görülmeye başlamıştır ve bu nedenle dizel motor yakıtına alternatif olan biyodizel yakıtı üzerine yapılan araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada bitkisel yağdan transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel (yağ asidi metil esteri) üretilmiştir. Dizel yakıtı, su, izopropanol, izobütanol ile span 80 ve tween 80 emülgatörleri kullanılarak 3 fazlı emülsiyon yakıt alternatif yakıt olarak üretilmiş, üretilen bu emülsiyon yakıt, saf biyodizel ve saf dizel yakıtları aşınma deney düzeneğinde farklı hız ve farklı yüklerde test edilmiş, değişik yüklerin ve değişik hızların sürtünme ve aşınma parametrelerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmalarım sırasında büyük desteklerini gördüğüm danışmanım Sn. Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ' a, katkı ve yorumlarından ötürü Sn. Yrd. Doç. Dr. Gökhan ERGEN' e, gerek çalışmalarımındaki katkısı nedeniyle, gerekse bilgi ve tecrübesiyle desteğini eksik etmeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Ferit FIÇICI' ya, çalışmaya desteklerinden ötürü tüm Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyelerine, öğretim elemanlarına ve yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

SÜRTÜNME VE AŞINMA	7
2.1. Sürtünme	7
2.1.1. Sürtünme mekanizmaları	8
2.2. Sürtünme Çeşitleri	9
2.2.1. Kuru sürtünme.....	9
2.2.2. Sınır sürtünme	10
2.2.3. Sıvı sürtünme	12
2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler	13
2.3.1. Yağ film tabakasına sıcaklık, basınç, hız ve viskozitenin etkisi	14
2.4. Aşınma	15
2.5. Aşınma Çeşitleri	16
2.5.1. Adhezif aşınma.....	16
2.5.2. Abrasif aşınma.....	19
2.5.3. Eroziv aşınma	21

2.5.4. Fretting aşınma.....	24
2.5.5. Korozif aşınma.....	26
2.5.6. Yorulma aşınması.....	28
2.6. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	30
2.6.1. Yüzey filmlerinin etkisi.....	30
2.6.1.1. Vakum altında aşınma	30
2.6.1.2. Oksit filmler	30
2.6.1.3. Sınır yağlama	31
2.6.1.4. Katı yağlayıcılar	31
2.6.1.5. Diğer yüzey tabakaları.....	31
2.6.2. Sıcaklığın etkisi	31
2.6.3. Yükün etkisi.....	32
2.6.4. Kirleticilerin etkisi.....	32
BÖLÜM 3	
YAKITLAR	33
3.1. Yakıt Çeşitleri	33
3.2. Fosil Yakıtlar	33
3.2.1. Petrolün kimyasal özellikleri	34
3.2.1.1. Parafinler (alkanlar).....	35
3.2.1.2. Naftenler (siklanlar).....	35
3.2.1.3. Olefinler.....	35
3.2.1.4. Aromatlar	35
3.2.1.5. Asetilen (alkin)	36
3.2.2. Fosil yakıtların özellikleri	36
3.2.2.1. Yakıtların yoğunluğu-özgül ağırlığı	36
3.2.2.2. İyot sayısı.....	37
3.2.2.3. Yakıtların ısı değerleri	37
3.2.2.4. Yakıtların uçuculuğu.....	37
3.2.2.5. Viskozite	38
3.2.2.6. Yakıtların parlama ve tutuşma noktaları.....	39
3.2.2.8. Oktan sayısı	40
3.2.2.7. Bulutlanma (dumanlanma) ve akma noktaları	40

3.2.2.10. Dizel indeksi.....	41
3.2.2.11. Setan sayısı	41
3.2.3. Dizel yakıtı.....	42
3.3. Yenilenebilir Yakıtlar	43
3.3.1. Biyogaz	43
3.3.2. Biyodizel (Metil Esteri)	43
3.4. Biyodizel Üretim ve Modifikasyon Yöntemleri	44
3.4.1. Mikroemülsiyon oluşturma.....	44
3.4.2. Transesterifikasyon (alkoliz).....	45
3.4.3. Piroliz	46
3.4.4. Seyreltme	46
3.5. Kolzadan Biyodizel Üretimi	46
3.6. Biyodizelin Yakıt Özellikleri	47
3.6.1. Viskozite.....	47
3.6.2. Yoğunluk	48
3.6.3. Isıl değer.....	48
3.6.4. Setan sayısı.....	48
3.6.5. Parlama (alevlenme) noktası	49
3.6.6. Düşük sıcaklık akış özellikleri	49
3.6.7. Kükürt tayini	50
3.6.8. İyot sayısı	50
3.6.9. Yağlayıcılık	50
3.6.10. Biyodizelin emisyon özellikleri	51
3.7. Biyodizel Yakıtının Eksik Yönleri ve Bunların İyileştirilmesi	51
3.8. Türkiye Biyodizel Üretim Potansiyeli	52
BÖLÜM 4. EMÜLSİYON	
4.1. Mikroemülsiyon.....	56
4.2. Emülgatör	57
4.2.1. Emülsiyonun HLB Değeri	58
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL MATERYAL VE METOD	61

5.1. Aşınma Deney Düzenegi ve Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	61
5.1.1. Aşınma Test Düzenegi.....	61
5.1.2. Pim (deney numunesi)	62
5.1.3. Disk	63
5.1.4. Load Cell.....	64
5.1.5. Elektrik motoru	64
5.1.6. Elektronik baskül	65
5.1.7. Göstergeler	66
5.1.8. Devir ayarlayıcı.....	66
5.1.9. Diğer malzemeler	66
5.1.10. Deneylerde kullanılan farklı yakıtlar	66
5.1.10.1. Biyodizel.....	67
5.1.10.2. Motorin	67
5.1.10.3. Emülsiyon yakıtlar	67
5.2. Emülsiyonların Özellikleri.....	68
5.3. Emülsiyonun Yapımı Sırasında Kullanılan Düzenek ve Malzemeler ..	68
5.3.1. Emülsiyonun yapılışında kullanılan düzenek	68
5.3.2. Span 80.....	69
5.3.3. Tween 80	70
5.3.4. İzobütanol	70
5.3.5. İzopropanol	71
5.3.6. Deney kapları ve hacimsel ölçü aygıtları.....	71
5.4. Emülsiyonun Yapılışı	72
5.5. Aşınma Deneylerinin Uygulanışı	72
5.6. Mikroyapı İncelemeleri.....	76

BÖLÜM 6.

DENEY SONUÇLARI VE BULGULAR	77
6.1. Aşınma Miktarı	78
6.1.1. Yük Değişimine Göre Aşınma Miktarı	78
6.1.2. Hız Değişimine Göre Aşınma Miktar	82
7.2. Sürtünme Katsayısı	85
6.2.1. Hız Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı.....	86

6.2.2. Yük Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı	89
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR	94
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

° F	: Derece Fahrenhayt
μ	: Dinamik (mutlak) Viskozite
μm	: Mikrometre
Al	: Aliminyum
API	: American Petroleum Institute
As	: Arsenik
ASTM	: American Society for Testing Materials
B20	: %20 Biyodizel İçeren Motorin Biyodizel Karışımı
C	: Karbon
CER	: Kohezif Enerji Oranı
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetre kar
cm^3	: Santimetre küp
Co	: Kobalt
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
cp	: Santipoise
Cr	: Krom
cst	: Centistokes
Cu	: Bakır
Ç 1020	: İmalat Çeliği
d	: Devir
d/d	: Devir/Dakika
DIN	: Alman Standartları
dk	: Dakika
dm^3	: Desimetreküp

EN	: European Norm
Fe	: Demir
F _n	: Normal Kuvvet
F _t	: Teğet Kuvvet
gr	: Gram
H	: Hidrojen
H ₂ SO ₄	: Hidrojensülfür
HC	: Hidrokarbon
HLB	: Hidrofilic Lipofilic Balance
ISO	: International Organization for Standardization
kJ	: Kilojoule
KOH	: Potasyum hidroksit
LPG	: Likit Petrol Gazı
lt	: Litre
m	: Metre
m ³	: Metre küp
mg	: miligram
MJ	: Megajoule
ml	: Mililitre
Mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetre kare
mm ³	: Milimetreküp
Mmol	: Milimolar
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Mol	: Mol
MON	: Motor Oktan Number
N	: Newton
NaOH	: Sodyum hidroksit
Ni	: Nikel
Nm	: Newtonmetre
nm	: Nanometre
NO _x	: Azot oksit

O/W	: Oil-In-Water
O/W/O	: Oil- In-Water-In-Oil
O ₂	: Oksijen
°C	: Santigrad Derece
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
P	: Fosfor
PM	: Partikül Madde
ppm	: Parts Per Million
RON	: Research Oktan Number
S	: Sülfür
sn	: Saniye
SAE	: Society of Automotive Engineers
SFTN	: Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
SO ₂	: Sülfür dioksit
TL	: Türk Lirası
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
V	: Vanadyum
W	: Volfram
W/O	: Water-In-Oil
W/O/W	: Water-In-Oil-in-Water
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
v	: Kinematik Viskozite
ρ	: Yoğunluk

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Ft teğetsel kuvvetin tanımlanması.....	7
Şekil 2.2.	Sürtünme mekanizmaları	8
Şekil 2.3.	Temas halinde gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi.....	9
Şekil 2.4.	Hidrodinamik ve elastohidrodinamik yağlamanın şematik gösterimi.	12
Şekil 2.5.	Gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi	17
Şekil 2.6.	Gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi	18
Şekil 2.7.	Abrasif aşınma elemanlarının şematik gösterimi	20
Şekil 2.8.	Erozif aşınmada oluşabilecek muhtemel aşınma mekanizmaları	23
Şekil 2.9.	Erozif aşınmada partikül çarpma hızı ve açısının şematik gösterimi..	23
Şekil 2.10.	Gevrek ve sünek malzemenin erozif aşınma oranına çarpma açısının etkisi.....	24
Şekil 2.11.	Düz bir zemine doğru bastırılmış kürenin altındaki elastik gerilim dağılımı.....	26
Şekil 2.12.	Yüzeyde meydana gelen korozif aşınma	27
Şekil 2.13.	Aşınma yüzeyindeki yorulma çatlakları	29
Şekil 3.1.	Petrol rafinerisinde ayrımsal damıtma işlemi.....	34
Şekil 3.2.	Benzinin ayrımsal damıtma eğrisi	38
Şekil 3.3.	Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi	44
Şekil 3.4.	Bitkisel yağın metanol ile stokiyometrik transesterifikasyonu.....	45
Şekil 3.5.	Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde işlem akışı	46
Şekil 4.1.	İki fazlı ve üç fazlı emülsiyonlar	55
Şekil 4.2.	Emülsiyon oluşum aşamaları	57
Şekil 4.3.	Emülgatör konsantrasyonu ile stabilitenin değişimi	58
Şekil 5.1.	Aşınma test düzeneği.....	61
Şekil 5.2.	Aşınma test düzeneği fotoğrafı.....	62
Şekil 5.3.	Deneylerde kullanılan pim ve ölçüleri.....	63
Şekil 5.4.	Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki pimin fotoğrafı.....	63

Şekil 5.5.	Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki diskin fotoğrafı.....	64
Şekil 5.6.	Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki yük hücresi.....	64
Şekil 5.7.	Deney düzeneğindeki alternatif akımla çalışan elektrik motoru.....	65
Şekil 5.8.	Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki elektronik baskül.....	65
Şekil 5.9.	Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki devir ayarlayıcı.....	66
Şekil 5.10.	Emülsiyon oluşturmada kullanılan düzenek.....	69
Şekil 5.11.	Span 80 kimyasal formülü.....	69
Şekil 5.12.	Tween 80 molekül formülü.....	70
Şekil 5.13.	Emülsiyon yakıt numunesi hazırlama düzeneği ve çeşitli gereçler....	72
Şekil 5.14.	Aşınma test düzeneği ayrıntısı.....	73
Şekil 5.15.	Aşınma test cihazı ayrıntısı.....	74
Şekil 5.16.	Pim-disk aşınma mekanizmasının moment-kuvvet şeması.....	75
Şekil 5.17.	Nikon Eclipse L150A ışık mikroskobu.....	76
Şekil 6.1.	30 N yük altında 5 m/s sabit disk dönme hızında yol miktarına göre sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	77
Şekil 6.2.	1 m/s sabit hızda yük-aşınma değişimi grafiği.....	78
Şekil 6.3.	3 m/s sabit hızda yük-aşınma değişimi grafiği.....	80
Şekil 6.4.	5 m/s sabit hızda yük-aşınma değişimi grafiği.....	81
Şekil 6.5.	10 N sabit ağırlık için hız değişimine göre aşınma miktarı değişimi..	82
Şekil 6.6.	20 N sabit ağırlık için hız-aşınma miktarı değişimi grafiği.....	83
Şekil 6.7.	30 N sabit ağırlık için hız-aşınma miktarı değişimi grafiği.....	84
Şekil 6.8.	10 N sabit yükde hız-sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	86
Şekil 6.9.	20 N sabit yükde hız-sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	87
Şekil 6.10.	30 N sabit yükde hız-sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	88
Şekil 6.11.	1 m/s sabit disk hızında yük-sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	89
Şekil 6.12.	3 m/s sabit disk hızında yük-sürtünme katsayısı değişimi grafiği.....	90
Şekil 6.13.	5 m/sn sabit disk hızında yük-sürtünme katsayısı değişimi grafiği....	91
Şekil 6.14.	Deneyde kullanılan numunelerin aşınma yüzeyinin farklı dizel yakıt ortamında aşınma testi sonucundaki optik mikroskop görüntüleri (yük 20 N, hız 3 m/s).....	93

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Farklı benzin bileşiklerinin duyarlılıkları	40
Tablo 3.2.	TÜPRAŞ 408 Motorin Premium özellikleri	42
Tablo 3.3.	Motorin, Biyomotorin, 80/20 karışım yakıtın özelliklerinin karşılaştırılması.....	47
Tablo 3.4.	Değişik bitkilerden elde edilen biyodizel yakıtının özellikleri.....	49
Tablo 3.5.	Aralık 2012 TÜİK tahmin (tarım bakanlığı).....	52
Tablo 5.1.	Pimin kimyasal bileşimi	63
Tablo 5.2.	Ostenitik diskin kimyasal bileşimi	63
Tablo 5.3.	Deneyler için hazırlanan yakıt numunelerinin hacimsel bileşimi.....	68
Tablo 5.4.	Yakıtlar için deney şartları	75

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Alternatif Yakıt, Emülsiyon, Aşınma, Sürtünme.

Petrol rezervlerindeki hızlı azalış, petrol fiyatlarının artması, petrol üreten bölgelerdeki istikrarsızlık eğilimi ve çevresel etkiler nedeniyle petrol türevi fosil yakıtlara alternatif yakıtlar geliştirme amaçlı yürütülen çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Motorlu taşıtlar arasında önemli paya dizel motorlu taşıtlar sahip olduğu için dizel yakıtına alternatif yakıtlar üzerindeki çalışmalar ön plana çıkmaktadır.. Özellikle dizel yakıtına benzer özelliklere sahip, bitkisel kaynaklı biyodizel yakıtının alternatif bir yakıt olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, bitkisel yağdan transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretilmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Dizel yakıtı kullanılarak hacimsel olarak %10 su içeren üç fazlı emülsiyon yakıt üretilmiştir. Saf biyodizel, saf dizel ve hacimsel olarak %10 su içeren dizel yakıtı-su emülsiyon yakıtının sürtünme ve aşınma özellikleri test düzeneğinde incelenmiştir. Üç farklı yakıt aşınma test düzeneğinde 10 N, 20 N ve 30 N yüklerinde ve 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s disk dönme hızlarında test edilmiştir. Bulunan sonuçlar karşılaştırmalı olarak grafikler ile verilmiş ve analiz edilmiştir.

Test sonuçlarına göre; her devir ve yükte en düşük sürtünme ve aşınma değerlerinin saf biyodizel yakıtı kullanımı sonucundaki numunelerden elde edildiği anlaşılmıştır. Bunun yanında, motorin kullanılarak hazırlanan ve hacimsel olarak %10 su içeren üç fazlı emülsiyon yakıtın aşınma ve sürtünme değerlerini arttırdığı belirlenmiştir

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT DIESEL FUELS ON FRICTION AND WEAR

SUMMARY

Key Words: Biodiesel, Alternative fuel, Emulsion, Friction, Wear.

Due to rapid decrease of petrol reserves, increase of petrol price, unstability in petrol producing countries and environmental concerns , studies on developing alternative fuels as a substitute for petrol derivatives fuels have become important. Among the vehicles, diesel engine powered ones have a large share, so the investigations on the alternative fuels to diesel fuel have come into prominence. Having some similar properties to diesel fuel, biodiesel which is produced from vegetable oil has been considered as a promising alternative fuel.

In this study, biodiesel was produced using vegetable oil by transesterification method and used in tests. By using diesel fuel, three phase emulsion fuel which have 10% vol. water was prepared. Friction and wear characteristics of biodiesel, diesel fuel and emulsion fuel was experimentally investigated in the test rig. Three different fuels were experimented at 10 N, 20 N, 30 N loads and 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s disk rotation speeds. Obtained results have been given as graphics and they have been analyzed comparatively.

According the test results, lowest friction and wear values were obtained with pure biodiesel for every test velocities and test loads. In addition to this, it has been determined that three phase emulsion which was prepared by adding diesel fuel and %10 water causes increase in wear and friction values.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çağımızda toplumsal düzenin ve refah seviyesinin devamı açısından enerji yaşamsal önemdedir ve makinelerin ekonomi içindeki belirleyiciliğinin artması ile enerjinin insan yaşamındaki etkisi hızla artmaktadır. Ülkelerin kalkınmışlık seviyeleri ile kişi başına düşen enerji tüketim miktarları arasında doğru orantı enerjinin önemine işaret eden önemli bir parametredir. Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin bu ülkelerdeki enerji tüketiminin katlanarak artmasına yol açmakta olması da enerjinin önemini arttıran diğer bir unsurdur.

Kömürün kullanıldığı buhar makinesinin icadı sanayileşmeyi başlatmış ardından petrol türevi motorin ve benzin yakıtlarının kullanıldığı içten yanmalı motorlar icat edilmiş ve buhar makinesine göre daha üstün özelliklere sahip olmaları nedeniyle icatlarından kısa süre sonra hızla yaygınlaşmışlar ve günümüz ekonomisi için önemli bir unsur haline gelmişlerdir. İçten yanmalı motorlar demiryolu dışındaki tüm taşımacılık ve ulaşım sistemlerinin ana güç ünitesi haline gelmişlerdir. Dünya genelinde çok yaygın kullanılmasına rağmen enerji kaynakları ile ilgili sorunlar ve belirsizlikler yanı sıra petrol türevi yakıtların yoğun kullanımı neticesinde oluşan çevre sorunları kullanılan kaynaklar ile ilgili yeni beklentiler doğurmuş, alternatif enerji kaynakları arayışlarını gündeme getirmiştir.

2012 yılında yapılan hesaplamalara göre dünya petrol rezervlerinin dünya petrol tüketimini 48,8 yıl, dünya doğalgaz rezervlerinin dünya tüketimini 57,07 yıl karşılayabileceği anlaşılmıştır [1]. Benzin ve motorin yakıtının petrol türevi yakıtlar olduğu düşünülecek oluştunda oldukça kısa olan rezerv ömrünün ulaşım ve taşımacılık sektörleri için ciddi bir sorun teşkil ettiği sonucuna ulaşılmaktadır. Türkiye ise kendi ihtiyacına bile yetmeyecek kadar düşük petrol ve doğal gaz rezervlerine sahiptir ve bu rezervler yakın zamanda tükenecektir. 2012 yılı yurtiçi

üretilebilir petrol rezervinin 18,5 yıllık, yurtiçi üretilebilir doğal gaz rezervinin 10,3 yıllık bir ömrü bulunmaktadır. 2012 yılında ham petrol talebinin %9'u yerli üretimle karşılanmış, doğal gazda ise bu oran %1,6 olarak gerçekleşmiştir. Verilerden de anlaşılacağı gibi özellikle petrol rezervlerinin kısa ömürlüdür ve bu durum ulusal ekonomi için ciddi sorun teşkil etmektedir [1].

İçten yanmalı motorlar için alternatif yakıt arayışları oldukça kısa ömürlüdür ve 1970 petrol krizinin etkisi ile gündeme gelmiştir. Petrol krizi artından petrol fiyatlarının tekrar makul seviyelere gerilemesi bu eğilimi yavaşlatmış olsa da yakın zamanlarda petrol fiyatlarının artan talebe paralel olarak üretim artışının sağlanamaması, petrol bölgelerindeki siyasi ve toplumsal istikrarsızlıklar ve rezervlerdeki azalmalar nedeniyle tekrar artmasının yanı sıra çevresel sorunlarında belirginleşmeye başlaması nedeni ile ekolojik dengeyi bozmayacak ve ucuz alternatif enerji sistemleri arayışını hızlandırmıştır. Ekolojik düzene zararsız ve ucuz kaynak bulma zorunlulukları alternatif enerji kaynağı arayışındaki imkanları sınırlandırmış ve alternatifleri azaltmıştır. Bu açıdan bakıldığında yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelim zorunluluk haline gelmiş, ekolojik dengeyi bozmayacak enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Bunlara ilave olarak; petrol arzında ani olarak oluşabilecek düşüşlerde, başka yakıtlar kullanılarak talebin hızlıca karşılanabilmesi, yakıt talebindeki hızlı artışın uzun dönemde karşılanabilmesinin garanti edilebilmesi, yenilenebilir olması ve yerel kaynaklardan karşılanabilir olması alternatif yakıtlar alanında yapılan araştırmalarda belirleyici ve sınırlayıcı olan temel parametreler olarak ortaya çıkmaktadır.

Ulusal öncelikler açısından değerlendirildiğinde enerji üretim sisteminin sahip olması gereken temel özellikler ekolojik dengeye uyumluluk, yerel kaynakların kullanılması, ucuzluk, yüksek verimlilik, arz güvenliği ve kaynak çeşitliliğidir. Enerji talebindeki hızlı artış ve fosil enerji kaynakların hızla tükenmesi nedeni ile; yenilenebilir enerji kaynaklarının daha kullanılabilir duruma getirilmesi ve akılcı bir şekilde kullanımı için konuyla ilgili çalışmalara gereken önem verilmelidir. Özellikle enerji politikalarının ekonomik, toplumsal ve teknolojik ilerlemeyi sağlayacak politikalar ile uyumlu olması için; arz güvenliğine sahip, ekonomik, çevreci, kaliteli enerji kaynaklarına yönelerek enerji ihtiyacını karşılamayı hedef alması

gerekmektedir. Dünyanın değişik bölgelerinde farklılaşan yerel şartlar nedeni ile alternatif yakıtlara olan yaklaşımlar da değişmektedir. Örneğin, ABD’ de biyoetanol ve biyodizel üretimini arttırmak amacı ile teşvikler uygulanmakta bunun yanı sıra yoğun doğal gaz rezervleri nedeni ile CNG ve LNG kullanımını arttırıcı projelere destek verilmektedir. AB’de emisyon standartları hızla sıkılaştırılmakta olduğu için motorin ve benzine göre daha çevreci olan LPG ve doğal gaz yakıtlarının kullanımını arttırmaya çalışmaktadır. Bu şartlarda AB’ nin doğal gaz ithalatının hızla artacağı öngörülmektedir [2]. Brezilya ise ekvatorial bölgede olduğu için sahip olduğu iklimsel avantajlardan dolayı güçlü bir tarımsal üretim kapasitesine sahiptir ve bu kapasiteyi biyoetanol üretiminde kullanmaktadır. Brezilya’da üretilen biyoetanol ulusal akaryakıt tüketiminin önemli bir kısmını karşılar hale gelmiştir.

Enerji sorununa çözüm bulmak amaçlı yürütülen çalışmalarda birincil enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar yanında ikincil enerji kaynakları yani enerji taşıyıcı veya depolayıcı maddeler üzerine de yoğun çalışmalar yapılmıştır. Alternatif yakıtlar yanında alternatif enerji depolama sistemleri geliştirmek konusunda da dünya genelinde bir çok çalışma yürütülmektedir. Hibrit araçlar, pilli elektrikli araçlar, yakıt pilli araçlar konusunda yapılan çalışmalar sonucunda seri üretime geçilme aşamasına gelmiş ve satışa sunulmuş modeller bulunmaktadır. Özellikle hibrit araç teknolojisinde önemli ilerlemeler olmuş ve büyük otomobil üreticilerinin önemli bir kısmı hibrit araçları satışa sunmuştur. Özellikle Toyota firmasının piyasaya sürdüğü Pirus modeli toplamda milyon adetten fazla üretilmiştir. Özellikle CO₂ salmayan teknolojiler kullanarak küresel ısınma ile mücadele edilmeye çalışılmaktadır ve bu neden ile pil teknolojisi ile yakıt pilli teknolojileri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. H₂ yakıtı yakıt pillerinde ve içten yanmalı motorlarda kullanıldığında emisyon olarak sadece H₂O oluşmaktadır ve bu neden ile çevre için zararsızdır [3]. Hidrojen-yakıt pilli sistemlerinin olumsuz yönleri ise; yakıt pillerinde çok pahalı bir element olan platinyumun kullanılmasının yakıt pilli fiyatını yükseltmesi, hidrojenin üretilmesi için gereken enerji ve hidrojen kaynağı ile ilgili yetersizlikler, hidrojen üretim altyapısının maliyeti, hidrojen taşımanın maliyeti, hidrojen depolamanın maliyeti ve birincil enerji kaynağı ile son kullanım aşamaları arasındaki verim düşüklüğüdür. Pil teknolojileri de benzer şekilde zararlı emisyon salmamaktadır ve mevcut elektrik sistemi altyapısına kolay adapte edilebilir olduğu

için sistem dönüşüm ve alt yapı yatırımları düşüktür fakat mevcut pil sistemlerinin pahalı oluşu, birim kütledeki enerji miktarlarının düşük olması ve şarj sürelerinin görece uzun olması sistemlerin kullanım maliyetini arttırmakta ve menzil sorunu yaratmakta olduğu için sistemin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Son günlerde geliştirme aşamasında olan alüminyum-oksijen pilleri 1600 km menzil için yeterli olabilecek kütleli enerji yoğunlukları, hızlı mekanik şarj edilebilme özellikleri, ucuzlukları, düşük kendi kendine deşarj yüzdeleri, yüksek geri dönüşüm imkanı ve mevcut üretim altyapısına uygunlukları ile gelecek için umut vaat etmektedirler. Taşıtlarda kullanılmak üzere üzerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam eden alternatif enerji sistemleri ve alternatif yakıtlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

Gaz yakıtlar; hidrojen, biyogaz, LPG, doğalgaz (LNG-CNG) şeklindedir. Sıvı yakıtlar; metanol, etanol, biyodizel olarak sıralanabilir. Elektrik ile ilgili sistemler; lityum iyon pilleri, sodyum iyon pilleri, metal-oksijen pilleri (alüminyum-oksijen pilleri, lityum oksijen pilleri) ve diğer elektrik enerjisi depolama sistemleri olarak sıralanabilir. Hidrojen enerji sistemi ise Fuel-Cell (yakıt pili) sistemleri ile birlikte çalışır [3].

Küresel enerji sistemindeki ihtiyaçlar ve mevcut enerji sistemin özellikleri incelendiğinde kısa dönemdeki acil ihtiyaçların giderilmesi göz önüne alındığında özellikle biyodizel ön plana çıkmaktadır. Alternatif yakıtlar içinde biyodizel motorine yakıtına benzer özelliklere sahip olduğu için motorlarda fazla değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Mevcut sisteme kolay entegre edilebilmesini sağlayan özellikler nedeni ile dizel yakıtına alternatif yakıt olabileceği düşünülmekte ve biyodizel ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Biyodizelin en önemli özelliği yerel kaynaklardan üretilebilmesi ve yenilenebilir bir yakıt olmasıdır. Gerek hayvani yağlardan gerekse de bitkisel yağlardan üretilebilmesi biyodizelin önemli bir avantajıdır. Ülkemizde 2006 yılı itibarıyla 6.6 milyon dekar olan yağlı tohum ekilimi içerisinde kolza 54 bin dekar (%0,8) ekilişe, 2.8 milyon ton yağlı tohum üretiminde ise 12.6 bin ton (%0,45) üretime sahiptir [4]. Birçok yağ çeşidinin yanı sıra atık yağlarda biyodizel üretiminde kullanılabilir. Özellikle atık yağların çevreye olumsuz etkilerinin giderilmesi ihtiyacı, atık olmaları nedeni ile ucuz olmaları ve miktarı da düşünüldüğünde biyodizel üretimi için oldukça uygun oldukları ortaya

çıkılmaktadır. Gıda amaçlı tarım alanlarının biyodizel üretmeye tahsis edilmesinin gıda arzına olumsuz etki edebileceği düşünüldüğü için atık hammaddeden elde edilen biyodizeler dışındaki biyodizellere karşı dünya genelinde olumsuz yaklaşılmaktadır. Türkiye’de en fazla üretilen yağ bitkileri olan mısır, pamuk ve ayçiçeğinde Türkiye’nin net olarak ithalatçı durumda olması, ithalatın birim fiyatının zaman zaman daha ucuz olması, küresel arz ve talebe göre fiyattaki dalgalanmalar, Çin ve Hindistan gibi hızla gelişmekte olan ülkelerin hızlı artan gıda talebinin gıda fiyatlarını arttırıcı etkiye sahip olması, dünya genelinde hızlı nüfus artışının gıda talebini ve fiyatını arttırması gibi etkenler biyodizel üretiminde atık yağın en uygun alternatif kaynak olabileceğini göstermektedir. Bir çok değişik kaynaktan biyodizel üretilebilse de üretilen biyodizel incelendiğinde hepsinin motorine oldukça benzer özellikler göstermelerine rağmen viskozitelerinin motorine göre önemli oranda yüksek olduğu görülmektedir. Biyodizel viskozitesinin motorine göre yüksek oluşu motorda bazı sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle viskozitenin iyileştirilebilmesi ve dizel motorlarda daha etkin olarak kullanılabilmesi için biyodizel, su ve dizel yakıtı kullanılarak üç fazlı emülsiyon yakıtlar oluşturulması sorunun çözümünde uygulanabilecek çözüm yollarından biridir.

Bu çalışma farklı dizel yakıtların oluşturulmasının yanı sıra bu yakıtların sürtünmeye ve aşınmaya etkilerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; fakülte laboratuvarlarında bitkisel yağ ve metil alkol kullanılarak biyodizel yakıtı (yağ asidi metil esteri) üretilmiştir. Ayrıca motorin, su, tween 80 hidrofilik emülgatörü, span 80 lipofilik emülgatörü, izopropanol ve izobütanol kullanılarak hacimsel olarak % 10 su içeren üç fazlı emülsiyon yakıt üretilmiştir. Çalışmamızın ikinci aşamasında ise; üretilen saf biyodizel yakıtı, saf motorin (dizel yakıtı) ve emülsiyon yakıt kullanılarak aşınma deney düzeneğinde 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s hızlarda ve 10 N, 20 N ve 30 N yüklerde deneye tabi tutulmuştur. Bu deneylerde yakıtların aşınma ve sürtünme değerleri tespit edilmiştir.

Çalışma sonunda, farklı devirlerde ve farklı yüklerde deneye tabi tutulan alternatif dizel yakıtlarının değerleri, standart motorinden elde edilen değerler ile

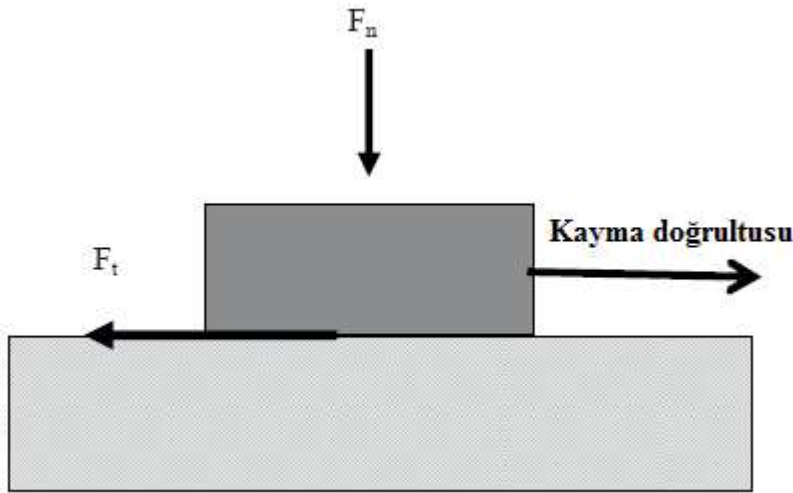
karşılaştırılmıştır. Sonuçlar grafikler halinde gösterilerek ayrıntılı olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2. SÜRTÜNME VE AŞINMA

Sürtünme mekanik aşınmaların ve sonucunda oluşan sistem arızalarının temel sebebidir ve birbirine temas eden yüzeylerde meydana gelen sürtünmenin azaltılabilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

2.1. Sürtünme

Birbiri ile temas eden cisimlerin birbirine göre bağıl hareket etmesi durumunda meydana gelen ve temas noktasında birinin diğerinin üzerinde teğetsel olarak yuvarlanmalı veya kaymalı hareketi sırasında harekete karşı oluşan dirence sürtünme denir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi direnç nedeniyle oluşan teğetsel kuvvetin yönü hareket doğrultusuna ters yöndedir ve sürtünme kuvveti (yer çekimi, kütleli kuvvetler ve işletme kuvvetleri dışında) olarak adlandırılmaktadır [5].



Şekil 2.1. F_t teğetsel kuvvetinin tanımlanması [6]

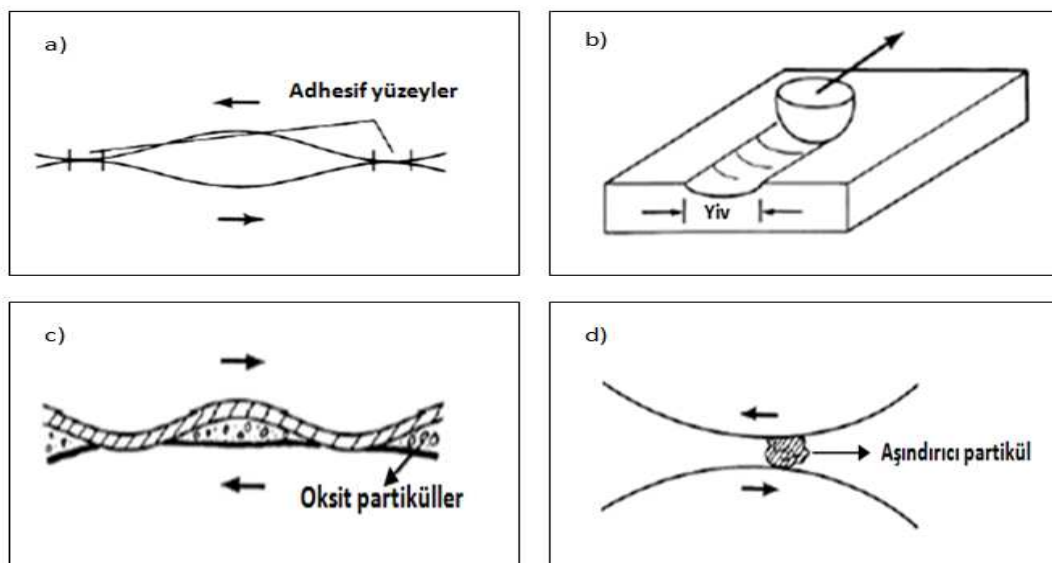
Hareketsiz haldeki cisimlere etki eden sürtünme kuvvetine statik sürtünme kuvveti, hareket halindeki bir cisme etki eden sürtünme kuvvetine ise kinetik (dinamik)

sürtünme kuvveti denir. Birbirine sürtünen cisim çiftleri, bir katı ve bir gaz (aerodinamik sürtünme), bir katı ve bir sıvı (sıvı sürtünme) şeklinde olabilir. Ayrıca sürtünme bir kütle içindeki iç enerji dağılım prosesinden dolayı da olabilir [7]. Bazı özel şartlar altında nadir olarak sifıra çok yakın sürtünme dirençleri oluşsa da sifıra asla ulaşmaz.

2.1.1. Sürtünme mekanizmaları

Sürtünmenin oluşmasına birçok mekanizma neden olmaktadır. Çünkü sürtünme tek bir malzeme özelliği değildir. Sürtünmeye neden olan fiziksel, kimyasal veya malzemelerle ilgili bulgular sürtünmenin temel mekanizmaları olarak adlandırılır. Sürtünme, temas halinde bulunan iki yüzeyin doğal yapısına, yüzey pürüzlülüğü, oksit veya absorbe filmlerinin oluşması, sıcaklık, nem, kayma hızı, kirlilik, yağlama ve malzemenin bileşeni gibi karakteristiklere bağlıdır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi genel sürtünmeyi oluşturan mikro mekanizmalar şunlardır:

- Adhezyon
- Asperitilerin bir yüzeye plowing(iz) yapması
- Yüzey tabakalarının (oksit tabaka) deformasyonu ve/veya kırılması
- Üçüncül cisimlerin araya girmesi, lokal plastik deformasyon ve abrasif aşınma



Şekil 2. 2. Sürtünme mekanizmaları [8]

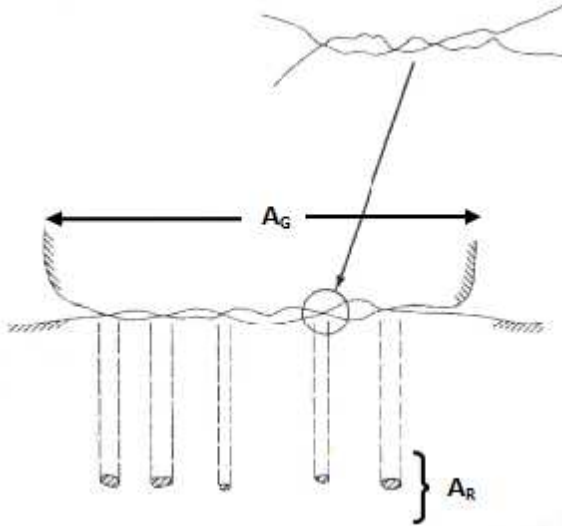
Bağıl hareket yapan yüzeyler arasına bir yağlayıcı madde konulup konulmamasına göre sürtünme kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır. Birbirlerine göre bağıl harekette olan yüzeyler doğrudan doğruya temasta iseler kuru, yüzeyler bir yağlayıcı tarafından ayrılıyorsa sıvı, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır sürtünme meydana gelir.

2.2. Sürtünme Çeşitleri

2.2.1. Kuru sürtünme

Kuru sürtünme, teorik olarak aralarında hiçbir yabancı madde bulunmayan yüzeyler arasında olur. Sürtünme yüzeyleri arasında oluşan adhezyon bağları yüksek sürtünme katsayılarına yol açar. Sürtünme yüzeyleri optik mikroskop altında incelendiğinde çok iyi işlenmiş yüzeylerde bile girinti ve çıkıntıların bulunduğu görülmüştür.

Şekil 2.3'te temas halinde bulunan iki yüzeyin gerçek ve görünen temas alanını şematik olarak göstermektedir [9].



Şekil 2.3. Temas halinde bulunan iki yüzeyin gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi [9]

Yüzeylerin gerçek teması bu tepeliklerin birbirine teması sonucu meydana gelir. Bu bölgelerde yüksek basınçlar oluşmaktadır. Basıncın etkisi ile elastik ve plastik deformasyonların yanı sıra kaynakların oluşması temas alanının büyümesine neden

olmaktadır. Bu kaynak bağlarının cisimlerden birisinin hareketi sonucu kırılması ve temas halindeki tepecikler sürtünme direncini meydana getirmektedir. Kuru sürtünmede kayma hızının artması ile sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir [10].

2.2.2. Sınır sürtünme

Kuru sürtünme ile film sürtünme arasındaki durum olarak tanımlanır. Temas halinde ve birbirine göre hareket eden iki yüzey arasında üçüncü bir maddenin bulunması ve bu maddenin kesintisiz bir film tabakası oluşturmaması durumudur. Sınır sürtünme direncinin üç ana bileşeni adhezif bileşen, deformasyon bileşeni ve yağ filminin kayma direnci şeklinde ortaya çıkmaktadır [11].

İyi işlenmiş yüzeylerde deformasyon bileşeni ihmal edilebilir. Adhezyon direnci yağlayıcı iç direncinden fazladır. Kayma hızı arttıkça adhezif temas alanları küçülmekte ve sürtünme direnci azalmaktadır. Adhezyon direnci ve aşınma, temas noktalarında olur ve bu bölgelerin yağlanması önemlidir. Sınır sürtünme bölgesinde yağlayıcı olarak organik ve mineral yağlar kullanılırlar. Organik yağlar metal yüzeylerine çok iyi tutunurlar. Ancak bu yağların pahalı ve ömürlerinin kısa olması kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır.

Mineral yağlar parafin ve naften gurubu olmak üzere ikiye ayrılırlar. Parafin grubu yağlar uzun zincir molekül yapısına sahiptir. Mineral yağ zinciri ne kadar uzunsa, sınır sürtünme durumundaki koruyucu film oluşturma oranı o ölçüde artar. Ancak bu yağların metalik yüzeyler ile oluşturdukları bağlar zayıftır. Bu nedenle, daha çok belirli sıcaklık aralığında sınır sürtünme durumunu iyileştirmek için mineral yağlara organik yağlar katılarak kullanılmaktadır [11]. Yağlara katılan katkı maddeleri ile tribofilm kalınlığı ve yoğunluğu arttırılmakta ve sınır sürtünmede sürtünme katsayıları ve aşınma miktarları düşürülebilmektedir [12].

Film sürtünme durumunda sürtünme tamamen yağlayıcı madde ara tabakalarının viskozitesi nedeni ile olmaktadır. Düşük hızlarda ve yüksek yüklerde böyle bir film tabakayı oluşturmak imkansızdır. Böyle durumlarda film tabakası yırtılır. Yüzeyde

metal-metal teması oluşur. Yüzeyde kalan yağlayıcı kalınlığı birkaç moleküle kadar düşebilir. Sürtünmeyi yüzeyin özellikleri ile yağlayıcının kimyasal özellikleri belirler. Sınır sürtünmede film etkisi zayıf kalır. Yüzey kaplama yöntemlerinin sürtünme ve aşınmayı önemli orada azalttığı tespit edilmiştir [12, 13].

Sınır sürtünme mühendislik uygulamaları açısından da önemlidir. Çünkü aşınma ve tutma olaylarının çok olduğu bir durumdur. Temiz yüzeye göre oldukça düşük sürtünme katsayısı olsa da film sürtünmeye göre yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Temiz metal yüzeylerde sürtünme katsayısı yaklaşık 1,0 iken sınır sürtünmede yaklaşık olarak 0,05-0,15 arasındadır [13].

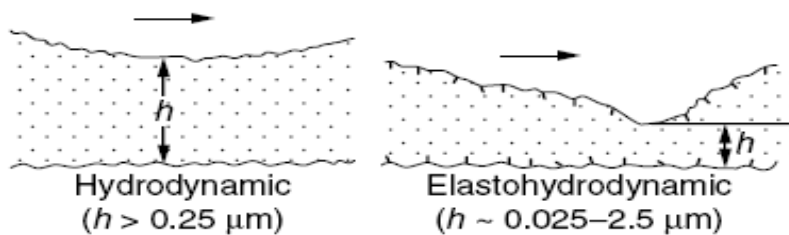
Basıncın çok yüksek olduğu ve hızın çok düşük olduğu durumlar sınır sürtünmenin en çok olduğu durumlardır. Basınç altında viskozite artış gösterir. Hidrodinamik yağlamalı yataklarda viskozite artışı sözkonusudur.

Viskozite sıcaklık tarafından çok fazla etkilenmektedir. Artan sıcaklıkla yağ tabakasının viskozitesini düşer. Örneğin; sıcaklık artışıyla sentetik polimer yapıdaki yağlayıcılarda yağ moleküllerinin kırılarak yırtılma meydana gelmesi yağlayıcının viskozitesinin düşmesine yol açar. Bu etkiyi bertaraf etmek için uzun zincirli organik polimer esaslı katkı maddeleri yağlayıcılara ilave edilir. Silikon içeren sentetik yağlayıcılar viskozite açısından sıcaklığa karşı daha dayanıklıdır. Bunun nedeni içeriklerinde kısa zincirli ve halka yapılı polimer malzemeler bulunmasıdır. Yağlayıcının molekül zinciri uzunluğu arttıkça sürtünme azalmaktadır. Metal yüzeylerini çok ince bir yağ molekülü tabakasının kaplaması metalik temas, metalik adhezyon, metalik kaynak gibi etkileri oldukça azaltır. Fakat yüksek basınç altında temas noktalarında plastik deformasyon olmaya başlar ve yağ tabakası yırtılır. Bu durum metal-metal temasının ve birleşmesinin bazı noktalarda ortaya çıkmasına yol açar. Sınır sürtünmede direncin ana kaynağı bu birleşmeleri kırmak için gereken kuvvettir [13]. Büyük yüklerde daha yüksek aşınma ve sürtünme değerleri elde edilmektedir [12].

2.2.3. Sıvı sürtünme

En az sürtünmenin görüldüğü durum film sürtünme durumudur. İki yüzeyin birbirinden kesintisiz bir yağlayıcı film tabakası ile ayrılması şeklinde gerçekleşir. Film tabakasının kalınlığı maksimum pürüz yükseklikleri kalınlığından fazla ise iki yüzey birbirinden tamamen ayrılmış olur ve hiç metal-metal teması olmaz. Bu ara tabakayı oluşturan yağlayıcının iç sürtünme direncinin düşük olması önemlidir. Çünkü bu durumda sadece iç sürtünme direnci mevcuttur. Bu şartlarda sürtünme direnci, yağlayıcı madde kendi tabakaları veya molekülleri üzerinde kayarken harekete karşı gösterilen direnç kadar olur. Böyle bir ortamda adhezyon ve deformasyon etkileri bağıl hareket yapan yüzeyler arasında oluşmaz. Sürtünme ve aşınmanın kontrolü tamamen yağlayıcının viskozitesine bağlıdır. Yağlayıcının iç sürtünme direncini genel anlamda da viskozitesini etkileyen sıcaklık, yük, hız, katkı maddeleri, yüzeylerin yapısı vb. faktörler film sürtünme direncini de etkilemektedir. Tam film yağlama yüksek basınç altındaki elastohidrodinamik ve düşük basınç altındaki hidrodinamik ve hidrostatik yağlama olmak üzere üçe ayrılır [14].

İki yüzey arasında yer alan yükü taşıyan sıvı film tabakası iki şekilde oluşturulabilir. Eğer iki yüzey arasına pompalar ile yağ basılarak yük dengeleniyorsa buna hidrostatik yağlama denir. Eğer bazı geometrik ve dinamik şartlar yerine getirilir ise yağ filmi kendinden oluşur. Buna hidrodinamik yağlama, yağ filmine de hidrodinamik film denir. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi uyumsuz (sırsıta vermiş) yüzeylerde de oturma alanı çok küçük olduğundan çok yüksek temas basınçlarına ulaşılır. Yağlayıcının viskozitesi basınç artışı ile büyür. Yüzeylerdeki elastik deformasyon ve büyüyen viskozitenin etkisi ile ince bir yağlayıcı film oluşur. Buna elastohidrodinamik yağlama denir [15].



Şekil 2.4. Hidrodinamik ve elastohidrodinamik yağlamanın şematik gösterimi [16]

Sıvı sürtünmede en büyük belirleyici faktör yağlayıcı maddedir. Yağlayıcı maddenin moleküllerinin yüzeye iyi tutunması (yapışması) önemlidir ve kendi molekülleri veya tabakaları birbiri üzerinden kayarken sürtünme direnci küçük olmalıdır. Yağlayıcıların özelliklerini iyileştirmek için çeşitli katıklar eklenerek tribofilm kalınlığı ve yağlayıcı yoğunluğu artırılarak aşınma ve sürtünme azaltılabilmektedir [12]. Oksidasyon önleyiciler, donmaya karşı termal özellikleri iyileştirenler başlıcalarıdır. Madensel yağlar (petrol türevi) yüksek sıcaklık dayanımı nedeni ile yaygın olarak kullanılırlar. Sentetik yağlar ise madensel yağların kullanılmadığı çok yüksek sıcaklıklarda kullanılırlar. Doğal yağlar ise hayvansal ve bitkisel yağlardır. Bunlarda bulunan yağ asitleri metal yüzeyine çok iyi yapışırlar fakat pahalıdırlar ve yüksek sıcaklıklar karşısında kolay oksitlenip bozulurlar. Bu nedenle sınır sürtünme şartlarında sürtünmeyi iyileştirmek için ilave olarak diğer yağlayıcıya katılırlar. Gaz yağlayıcılar ise çok yüksek hızlarda iyi çözüm sağlamaktadır. Uygun yağlayıcı seçiminde ana unsur viskozitedir. Yüksek hız ve düşük basınçta düşük viskozite tercih edilir. Düşük hız ve büyük basınçlarda ise yüksek viskozite tercih edilir. Küçük boşluklar için düşük, büyük boşluklar için yüksek viskozite değerli yağlar uygundur. Sürtünme nedeniyle oluşan ısınma nedeni ile yağlayıcı viskozitesinin zamanla azaldığı bunun ise yağlamaya olumsuz etkisi olduğu saptanmıştır [14, 15].

2.3. Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler

Sınır sürtünme durumunda belli miktarda metal-metal teması söz konusudur ve sürtünmenin ana bileşenidir. Bu açıdan metal-metal temasını azaltıcı etkiler sınır sürtünme açısından önemlidir.

Yağlayıcı moleküllerinin yüzeye sıkı yapışması, yırtılma direncini arttıran molekül zincirleri arasındaki yüksek yanal adhezyon kuvveti metal-metal temasını ve sınır sürtünme miktarını azaltmaktadır. Molekül zincirinin uzunluğunun artması yüksek yanal adhezyon kuvvetlerini sağlamaktadır ve yırtılma sıklığını azaltmaktadır.

Yağlayıcının oda sıcaklığında katı halde bulunması da faydalıdır ve bundan dolayı yüzeyler birbirinden daha etkili olarak ayrılabilir. Yağ asitlerinin yatay adhezyon açısından oldukça iyi değerlere sahip olduğu bilinmektedir. Metalik

yağlayıcıların daha yüksek ergime-yumuşama noktaları, yüksek yatay kohezyon kuvvetleri ve yüzeye yapışma kabiliyetlerinin yüksek olması avantajlı yanlarıdır. Sıcaklık, yük, hız, yağlayıcı tabakası kalınlığı, katkı maddeleri ve kayan yüzeylerin şekli sürtünmeyi belirleyen ana parametrelerdir [13].

2.3.1. Yağ film tabakasına sıcaklık, basınç, hız ve viskozitenin etkisi

Film sürtünmesi durumunda birbirine göre bağlı hareket eden iki yüzey arasında kesintisiz bir sıvı tabakası oluşur. Bu nedenle sürtünmeyi belirleyen faktör yüzeyler arasındaki sıvının özellikleri ve bu sıvının durumunu etkileyen faktörlerdir.

Sıvı sürtünmesi söz konusu olduğunda en temel belirleyici faktör viskozitedir. Bilindiği gibi viskozite sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Yüksek viskozite viskoz sürtünmeye yol açmaktadır. Fakat yüksek viskozite yağ filminin oluşumunu kolaylaştırma ve dayanımını arttırmaktadır. Bu durum ise film yırtılmasını ve metal-metal temasını önleyerek sürtünmeyi azaltıcı etki yapmaktadır. Yüzeyler arası yağlayıcının viskozitesinin arttığı durumlarda viskoz sürtünme artmaktadır [6, 14].

Sıcaklık artışı viskoziteyi azaltır ve sürtünmeye giden enerjiyi belli bir sıcaklığa kadar azaltırken belli bir sıcaklıktan sonra ise oksitlenmeye bağlı bozulma nedeni ile yağlayıcı bozulmakta viskozitenin düşmesi nedeni ile filmde yırtılmalar olabilmekte ve sürtünme artmaktadır. Basınç artışı ise viskoziteyi artırır ve viskoz sürtünme kuvvetini artırır film kalınlığını etkiler. Düşük viskozite yağlayıcı film tabakasının basınca karşı dayanımını azaltmakta, yağ filminin yırtılmasına yol açabilmekte ve sürtünmeyi arttırmaktayken, hız artışı başlangıçta sürtünme kuvvetini ciddi şekilde azaltır fakat bu azalma daha yüksek hızlara çıkıldıkça düşmektedir. Bunun nedeni, belli bir hızdan sonra hidrodinamik yağlama şartlarının oluşması ve belirleyici olmasıdır [14, 17].

Oksidasyon stabilitesinin artması yağlayıcının yüksek sıcaklıklarda çalışma dayanımını attırdığı için yüksek sıcaklıklarda çalışma durumunda sürtünme açısından olumlu etkiye sahiptir. Düşük sıcaklıklarda çalışacak sistemlerde kullanılacak

yağlayıcıların düşük akma noktasına sahip olması sürtünmeyi azaltma açısından önemlidir [17].

Yoğunluğun, yüksek basıncın olduğu elastohidrodinamik yağlama koşullarında etkili olduğu ve yüksek yoğunluğun sıkışmaya direnç ve sürtünme açısından olumlu olduğu söylenebilir yani film kalınlığını ve yağlayıcı yoğunluğunu artırıcı katıkların sürtünme ve aşınmayı azaltıcı etkisi vardır [12, 17]. Özellikle film yırtılma direnci açısından olumlu bir durum olmak ile birlikte viskozite artışı sıvının iç direncini arttırdığı için viskoz sürtünmeyi artırır.

2.4. Aşınma

Aşınma, temas eden elemanlar arasındaki etkileşimler nedeniyle istenmeyen malzeme kaybı şeklinde tanımlanmaktadır. Sürtünme işinin büyük bir kısmı ısı olarak dağılmaktadır fakat belli miktarı da aşınmaya harcanmaktadır. Yüksek hızlı kayma halinde yüzey sıcaklığının artması malzemenin kimyasal yapısını etkilemektedir. Metalik aşınma durumunda, yükselen sıcaklık ile oksit filmlerinin oluşması ve sonra kırılması önemlidir. Yüzey sertliğinin artışının kuru kayma durumunda aşınmayı önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir [18]. Metal yüzeylerinden birini rodyum veya krom gibi sert elementler ile kaplamak da aşınma dayanımını arttırmak açısından önemlidir. Fakat kromu yağlamak oldukça zordur. Bu nedenle iyi yağlama durumunda kromlanmamış yüzeylerde kromlanmış yüzeyden daha az aşınma olabilir. Çok yüksek sıcaklık ve basıncın olduğu ve sınır yağlamanın başarısız olduğu durumlarda uygulanarak aşınmada oldukça tatmin edici azalmalar elde edilebilir. Uygun yağlayıcı ve yağlayıcının kimyasal doğası sorunun çözümünde önemlidir [13]. Aşınmayı meydana getiren tribolojik mekanizmalar genel olarak,

- adhezif aşınma,
- abrasif aşınma,
- erozif aşınma,
- fretting aşınma,
- korozyon aşınma,
- yorulma aşınması.

şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu aşınma mekanizmaları tek başlarına veya birkaç mekanizma birlikte görülebilir. Yüzey çiftlerinin sürtünme katsayıları aynı olsa da aşınma oranları çok farklı olabilir. Benzer durum sertlikle aşınma dayanımı arasında da mevcuttur. Bir doğru orantı söz konusu değildir. Yani sürtünen elemanların sertliğini arttırarak her zaman aşınma dayanımını arttıramayız. Özellikle kimyasal afinitenin daha belirleyici olduğu adhezif aşınma mekanizmasında, sert malzemeler daha fazla aşınabilmektedir. Aşınma dayanımı yüzeyin etkilendiği aşınma türlerine göre yüzey işlemi yapılarak arttırılır [11].

2.5. Aşınma Çeşitleri

2.5.1. Adhezif aşınma

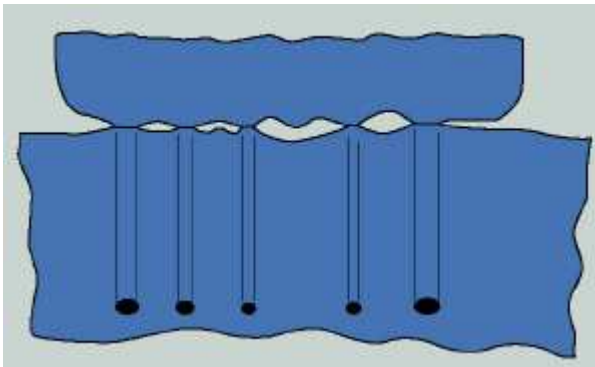
İki malzemenin yüzey atomları arasındaki çekme kuvvetlerinin etkisi ile temas eden iki yüzey arasındaki yapışma eğilimi artar. Eğer iki yüzey bir araya gelir ve normal veya meyilli olarak ayrılır ise bu kuvvetler rol aynamaya başlar. Malzemeyi bir yüzeyden diğer yüzeye çekmeye çalışır. Bu yol ile malzeme kendi orijinal yüzeyinden uzaklaşır ise adhezif aşınma gerçekleşmiş olur. Pratikte kayma geometrisi de önemli bir belirleyicidir. Ayrıca kuru kaymada kayma hızının artması ile aşınmanın azaldığı tespit edilmiştir [10]. Pratik anlamda kuru yüzeylerde daima mevcut olan aşınmadır. Adhezif aşınma büyük oranda yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Ancak aşınma için gereken malzeme kopması kaynak bölgesinde en yumuşak malzemenin olduğu kısımdan olur. Fakat yüzey sertliğinin adhezif aşınmayı her zaman düşürmediği görülmüştür [19].

Yağlanmamış metalik malzemelerin pratik kuru sürtünmesinde oluşan adhezif aşınmanın üç temel nedeni vardır:

- Adhezif aşınma miktarı yük ile doğru orantılıdır.
- Adhezif aşınma miktarı kayma mesafesi ile doğru orantılıdır.
- Adhezif aşınma aşınan yüzeyin sertliği ile ters orantılıdır.

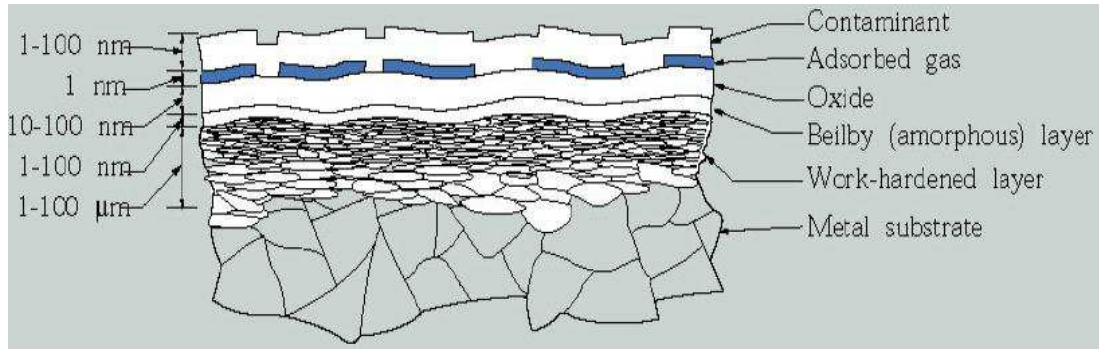
Adhezyonun açıklanmasında kaynak bağlarının kopması açıklaması yapılsa da çoğu durumda oluşan kaynak düşük sıcaklıklarda olduğu için soğuk kaynak deyimi de kullanılmaktadır. Ayrıca bu süreçte interdifüzyon ve tekrar kristalizasyon olmayabilir. Metaller açısından sürtünme direnci ile adhezif aşınma arasında bir doğru orantı var iken metal olmayan malzemelerde aynı durumdan söz edilemez [19].

Temas yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle gerçek temas alanı çok küçüktür (Şekil 2.5). Yük etki ettiğinde birbirine temas eden pürüz tepelerinde aşırı gerilmeler oluşmaktadır. Özellikle akma sınırı aşıldığında küçük kaynak bağlar oluşur (soğuk kaynama-adhezyon). Kayma halinde temas noktalarında yüksek yerel basınçlar ve aşırı sıcaklık yükselmelerinin de bulunması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır (sıcak kaynama-kohezyon). Yük artışı ile aşınma ve sürtünme değerlerinin sınır sürtünmede de arttığı tespit edilmiştir [11, 12].



Şekil 2.5. Gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi [20]

Bu oluşumda yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşimleri (kimyasal afiniteleri) önemli ölçüde rol oynar (Şekil 2.6). Temas yüzeylerinin temizliği arttıkça bağ kuvveti artmaktadır.



Şekil 2.6. Gerçek temas alanının şematik olarak gösterilmesi [20]

Kaymanın başlaması ile temas noktalarına yakın kristal atomlarının, çok sayıdaki karşılıklı etkileşimleri sonucu, belirli bir L kayma mesafesinde, ΔV kadar bir aşınma hacminin, A_r gerçek değme alanı ile orantılı olarak meydana geldiği kabul edildiğinde Denklem 2.1. ve 2.2.'de Holm denklemleri, gerçek değme alanı,

$$A_r = \frac{F_n}{P_{pl}} \quad (2.1.)$$

olmak üzere,

$$\Delta V = K \cdot A_r \cdot L = \frac{K \cdot F_n \cdot L}{P_{pl}} \quad (2.2.)$$

şeklinde. Burada:

K : Her bir etkileşimde yüzeyden ayrılan atom sayısını,

L : Sürtünme mesafesini göstermektedir.

Sürekli aşınma bölgesinde ve adhezif aşınma türünün ağırlıklı olduğu haller ile ilgili aşağıda verilen ampirik bağıntı, deneyler ile doğrulanmıştır. Buna göre, F_n kuvveti etkisiyle temas eden noktalar, önce elastik daha sonra plastik deformasyona uğrarlar. Yumuşak malzemenin akma sınırına ulaşan temas noktalarındaki gerilme nedeniyle ezilme başlar. Gerçek temas alanı yükü taşımaya yeterli oluncaya kadar, bu süreç devam eder ve bu halde temas noktaları, malzemenin plastik akma basıncı P_{pl} veya

yaklaşık Brinell sertliğine eşit bir gerilme altındadır [11]. Denklem 2.3.'de aşınma rejim haline girdikten sonra kopan (aşınan) malzeme hacmi,

$$\Delta V = \frac{K \cdot F_n \cdot L}{P_{pl}} \quad (2.3.)$$

şeklinde dir. Burada, K malzemeye ait bir sabit olarak tanımlanmıştır. Yağlayıcı kullanılarak yapılan çalışmalarda ise K, sürtünen malzemelere, yağlayıcının özelliklerine ve yağlayıcının yüzeylerde oluşturduğu sınır tabakalarının özelliklerine bağlı katsayı şeklinde tanımlanmaktadır. Araştırmalarda aşınma sabitlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır [11]. Bu sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Adhezif aşınma miktarı, uygulanan yük (F_n) ve kayma mesafesi (L) ile doğru, malzemenin plastik akma mukavemeti P_{pl} ile ters orantılıdır,
- Yüksek hız, yüksek sıcaklık ve aşırı yükleme durumlarında, bu bağıntılardan sapmalar olabilir,
- Temas şekli (yüzeysel, çizgisel, noktasal) ve yüklemenin karakteri (statik, dinamik, darbeli, darbesiz) de bağıntıların geçerliliğini sınırlandırmaktadır.

2.5.2. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, aşındırıcı sert partiküllerin birbiri üzerinde kayan yüzeyler arasında bulunması, yüzeylerden birine yapışmış olması, yüzeylerden birinde sert pürüzlerin olması veya yüzeylerden birine aşındırıcı maddenin gömülü olması nedeni ile meydana gelmektedir. Abrasif aşınmada yük, parçacık büyüklüğü, parçacık, karşı yüzey sertliği gibi parametreler etkilidir [21]. Sert partiküller sisteme dışarıdan girebilir veya adhezif aşınma ürünleri olarak sistem içinde meydana gelebilir. Yağlayıcı ve sistem akışkanında sisteme aşındırıcı parçacık getirebilir. Partikül büyüklüğü belli bir kritik değeri aşar ise abrasif aşınma aşındırıcı partikül büyüklüğünden bağımsızdır. Kritik partikül büyüklüğünün altında ise abrasif aşınma miktarı partikül büyüklüğüne bağlıdır. Az miktarda yağlayıcı kullanmak ve havadaki nemin artmasında abrasif aşınmayı arttırmaktadır. Su buharında çelik yüzeyinde zayıf yağlayıcı gibi etki göstermekte abrazyon nedeniyle oluşan aşınma partiküllerini yüzey üzerinden temizlemekte ve abrasif aşınma verimliliğini arttırmaktadır [11].

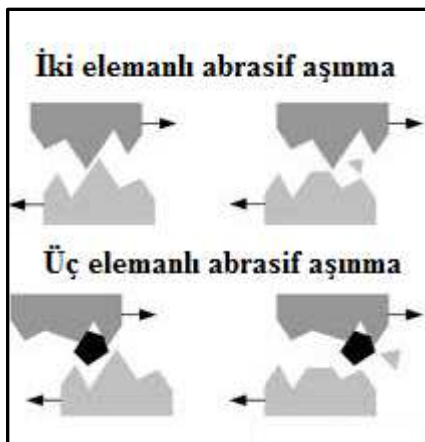
Yüzey sertliğinin artırılması abrasif aşınmayı azaltmaktadır [22]. Yüzey aşındırıcı abrasif partikülden daha sert olmalıdır [19].

Keskinlik de abrasif aşınma açısından önemli bir etkiye sahiptir. Eğer abrasif kırılğan yapılı ise yüksek basınç altında kırıldığında keskin kenarlara sahip olabilir. Bu durum daha çok metal olmayan sert malzemeler için geçerlidir. Bu tip aşındırıcıların etkisini azaltmanın en etkili yolu yüzey sertliğini arttırmaktır. Yüzey kaplama işleminin sınır sürtünme şartlarında aşınmayı azalttığı çalışmalarda tespit edilmiştir [12]. Metallerden daha sert olan silika ile yüzeyi kaplamak etkili bir yöntemdir [19].

Yüzeyler yeterli basınca maruz kalır ise plastik deformasyona uğrayabilir ve kırılmalar oluşabilir. Oluşan bu sert ve keskin çıkıntılar bir araya gelerek oldukça etkili bir abrasif yüzey oluşturabilirler. Abrasif yüzeyler bu özelliklerini keskinliğe, büyüklüğe ve öğelerin dağılımına borçludur. Tüm bu kırılmalar ve yontulmalar ile oluşan yüzey düzensizlikleri ve oluşan malzeme döküntüleri büyük çaplı abrasif etkiye yol açmaktadır [23]. Bu tanıma göre abrasif aşınma,

-İki elemanlı (sürtünen yüzey çiftlerinden sert ve pürüzlü olanın veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert bir partikülün diğer yüzeyi kazınması)

-Üç elemanlı (sürtünen yüzey çiftlerinin dışında üçüncü bir elemanın serbest aşındırıcı olarak yüzeylerin arasında bulunması ve kazıyıcı etki yapması) olarak meydana gelmektedir. Her iki durumun şematik gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Abrasif aşınma elemanlarının şematik gösterimi [24]

Abrasif aşınma mekanizmasının plastik deformasyon veya gevrek kırılma olmak üzere iki şekilde meydana geldiği bilinmektedir. Birinci durumda malzeme kaybı plastik deformasyonlarla (özellikle metaller gibi yüksek kırılma tokluğuna sahip malzemelerde) ortaya çıkmaktadır [11]. Denklem 2.4.'de birinci derecede önemli olan malzeme sertliğidir (H) ve hacimsel malzeme kaybı (ΔV);

$$\Delta V = K \cdot \frac{F_n \cdot L}{H} \quad (2.4.)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. İkinci durumda malzeme kaybı, gevrek kırılma sonucunda (özellikle seramikler gibi düşük kırılma tokluğuna sahip malzemelerde) meydana gelmektedir. Bu olayda birinci derecede öncelikli olan faktör kırılma tokluğudur ve sertliğin etkisi daha azdır [11].

Bowden ve Tabor, Denklem 2.5.'de bir partikülün veya sert malzeme yüzeyindeki pürüzün daha yumuşak karşı malzemeye batması ve bunun üzerinde bir sürtünme hareketi yapması halinde pürüzün her cm kayma hareketi için meydana getirdiği oyuk hacminin (ΔV),

$$\Delta V = F_n / 2P_{pl} \quad (2.5.)$$

ve aşınma direncinin (R) Denklem 2.6.'deki gibi,

$$R = 2P_{pl} / F_n \quad (2.6.)$$

olduğunu göstermişlerdir [11].

2.5.3. Eroziyon aşınma

Eroziyon aşınma sıvı veya katı parçacıkların malzeme yüzeyine çarpması sonucu oluşan malzeme kaybıdır. Uçakların uçuşu esnasında toz bulutu nedeniyle gaz türbin kanatlarının zarar görmesi eroziyon aşınmaya örnektir. Eroziyon partikülünün özellikleri bu aşınma türünü kontrol etmede önemli bir parametredir. Yapılan araştırmalarda

aşınma önleyici kaplamalarda erozif aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden birinin hız olduğu anlaşılmıştır [25].

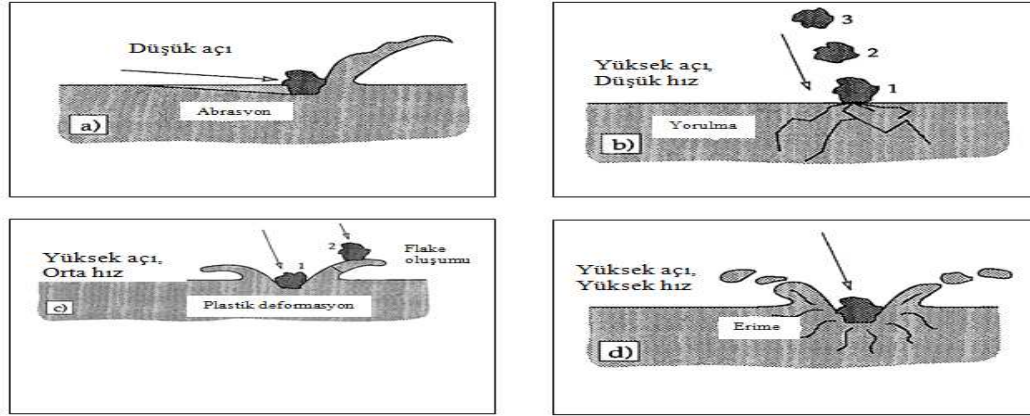
Erozif aşınmanın, üç elemanlı abrasif aşınmadan temel farkı, aşınmanın sert partiküllerin yüzeyi kazımasından ziyade yüzeye çarpması sonucunda oluşmasıdır [11]. Erozif aşınma aşındırıcı partiküllerin taşındığı veya oluştuğu ortama göre genel olarak,

- Katı partiküllerin oluşturduğu erozyon,
- Akışkanların oluşturduğu erozyon,
- Kavitatif erozyon,
- Kıvılcım erozyon şeklinde sınıflandırılmaktadır [26].

Erozif aşınma bir çok mekanizmayı içermektedir ve büyük ölçüde bu mekanizmalar tarafından kontrol edilebilir. Bu mekanizmalar:

- Partikül malzemesi,
- Çarpma açısı,
- Çarpma hızı,
- Partikül boyutu.

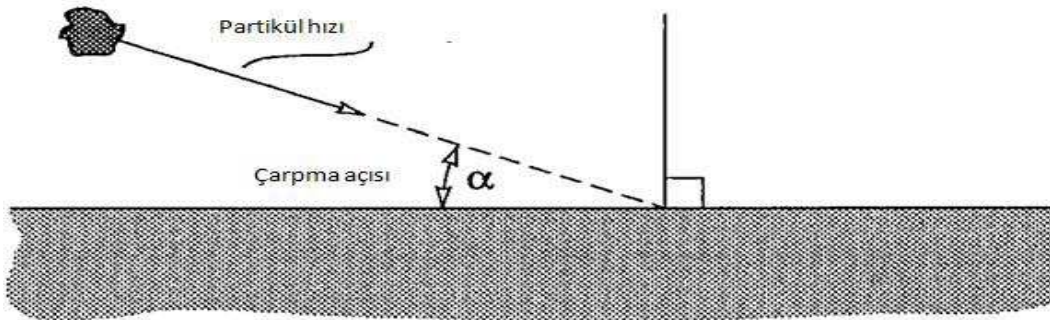
Partikül sert ve katı durumda ise abrasif aşınmaya benzer bir proses meydana gelir. Sıvı partiküllerin aşındırıcı olduğu yerde abrasyon oluşmaz ve aşınma mekanizması tekrarlı gerilimin sonucunda meydana gelir. Şekil 2.8 erozif aşınma mekanizmasını temsili olarak göstermektedir.



Şekil 2.8. Eroziv aşınmada oluşabilecek muhtemel aşınma mekanizmaları [27]

İlk olarak düşük açıyla gelen aşındırıcı partikül katı cisimde aşındırıcı bir etkiye neden olmuştur. (Şekil 2.8a). Yüksek açı ve düşük hızla etki eden partiküller malzemede yorulma etkisi yapmıştır. (Şekil 2.8b). Yüksek açı ve orta hızla gelen partiküller malzemede plastik deformasyona uğrattırırken aynı zamanda flake oluşumuna da neden olmuştur. (Şekil 2.8c). Hem yüksek açı hem de yüksek hızla gelen partiküller katı cisimi erimeye maruz bırakmıştır. (Şekil 2.8d).

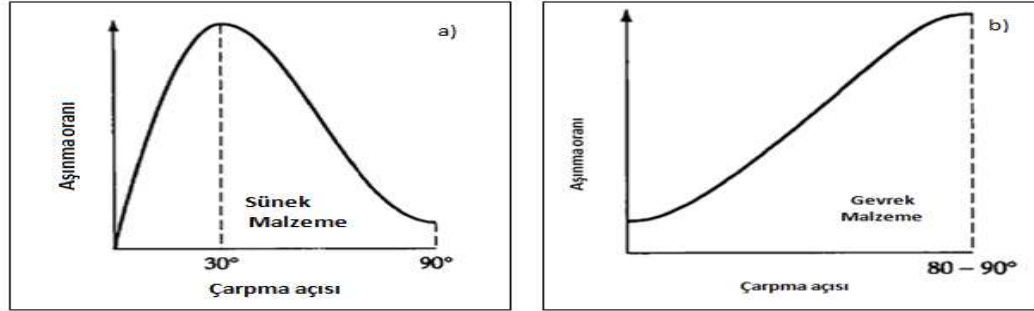
Şekil 2.9 eroziv aşınmada yüzey ile partikül arasındaki partikül çarpma hızı ve partikülün takip ettiği yörüngeyi şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.9. Eroziv aşınmada partikül çarpma hızı ve açısının şematik gösterimi [27]

Partikül çarpma açısı $0-90^{\circ}$ arasında sıralanabilir. Çarpma açısının sıfır derece olduğu zaman aşınma ihmal edilebilir. Çünkü eroziv partiküller yüzeye etki etmez. Yaklaşık olarak 20° kadar nispeten düşük çarpma açısına rağmen şiddetli aşınma olabilir fakat

partikül sert ve yüzey yumuşak olmalıdır. Bu şartlar altında oluşan aşınma abrasif aşınmaya benzerdir. Yüzey kırılğan ise yüzeyin parçalanması ve etki açısının 90^0 'ye yaklaşmasıyla şiddetli aşınma meydana gelir. Sünek ve kırılğan malzemeler için çarpma açısı ve aşınma oranı arasındaki ilişki Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Gevrek ve sünek malzemenin eroziv aşınma oranına çarpma açısının etkisi [27]

Partikül çarpma hızı aşınma prosesi üzerinde çok güçlü bir etkiye sahiptir [25]. Hız çok düşük olursa partikülün yüzeyde meydana getirdiği gerilim yetersiz olacağından plastik deformasyon oluşur ve aşınma prosesi yüzey yorulmasıdır. Hız örneğin 20 m/s'ye arttırıldığı zaman partikülün etki ettiği yüzeyde plastik deformasyon meydana gelir. Bu rejimde çoğu mühendislik bileşenlerinde aşınma genellikle tekrarlı plastik deformasyon yoluyla oluşur. Eğer ki eroziv partikül keskin değil veya küresel şekilli ise aşınan malzemede aşırı derecede plastik deformasyona neden olur. Partiküller keskin şekilli ise aşınma yüzeyinde kesme veya gevrek parçalanmalar meydana gelir. Diğer bir yandan gevrek malzemelerde aşınma altyüzey çatlakları tarafından oluşturulur. Çok yüksek partikül hızında ise aşınma yüzeyinde erimeler meydana gelir. (Şekil 2.8d) [11, 27].

2.5.4. Fretting aşınma

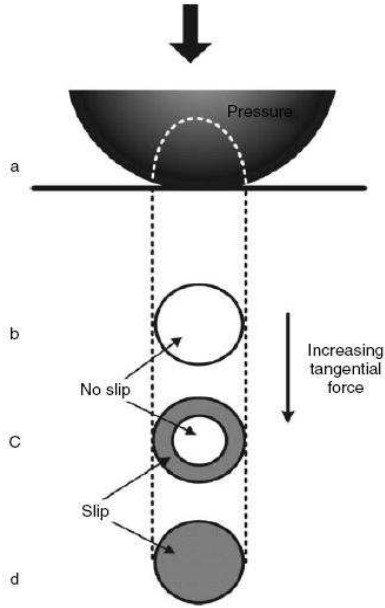
Fretting terimi temas eden iki katı yüzey arasındaki salınım benzeri küçük hareketler anlamına gelmektedir ve bu hareketlerin yol açtığı aşınma fretting aşınmadır. Diğer bir ifadeyle titreşim veya bir yüzeyin dönüşümlü baskısının yarattığı titreşimli ve salınımlı göreceli teğetsel harekete yüzey maruz kaldığında fretting oluşmaktadır [28]. Bu salınımın miktarı 1 ile 100 μm arasındadır. Fretting aşınma makine bileşenleri arasında meydana gelir. Bu aşınma genellikle sabit kontak halinde tekrarlı

gerilime maruz kalan veya titreşen mekanizmanın çalışmasıyla birlikte oluşur. Fretting aşınmanın iki temel tipi vardır ve mekanik ve çevresel faktörlerin yapısına bağlıdır. Yüzey yorulma çatlaklarını başlatan tekrarlı yükleme tarafından fretting hasarı meydana geldiği zaman fretting yorulması ifadesi kullanılır [11].

Kimyasal etkileşimin baskın olduğu proseslerde ise fretting korozyon şeklinde ifade edilir. Çoğunlukla, fretting aşınmanın bu iki türü kendiliğinden oluşur. Metali kaplayan koruyucu film(örneğin; oksit film) mikro yer değiştirmeler sonucu kırılır. Bu kırılma işlemi sonucu ortaya çıkan metal yüzey kolay bir şekilde oksitlenir ve oksidasyon ürünleri abrasif(aşındırıcı) olarak davranarak yüzeyin zarar görmesine neden olur.

Şekil 2.11 fretting yorulmayı tanımlamak için kullanılan flat-on-sphere'yi göstermektedir. Eğer ki temas elastik ve uygulama yükünü taşıyorsa kontak basıncı Hertzian kontak basıncına göre kontak dairesinin merkezinde maksimum dağılır ve sınırdan sıfır bir değerdir. Teğetsel kuvvet kontak yüzey direncini artırır. Sonuç olarak, bir parça yer değiştirme kenarların yakınında olur.

Kontak bölgesi iki kısma ayrılır. Statik sürtünmenin direnci geçtiği kısım olan merkez alan (stick zone). Bu kısımda kayma yoktur. İkinci kısım ise mikro kaymayı içeren dairesel alan (slip zone). Şekil 2.11'deki gölgelenmiş bölge slip alanıdır. Tutma bırakma sınır dairesi kritik kuvvet değeri sıfıra ulaşana kadar artan teğetsel kuvvetle daralır. Bu yüzden, kontak davranışına dört farklı rejimle dikkat çekilebilir: tutmanın tamamlanması, kayma ve mikro kaymanın karışması, yoğun kayma ve son olarak gidip gelmeli kayma [11].



Şekil 2.11. Düz bir zemine doğru bastırılmış kürenin altındaki elastik gerilim dağılımı [29]

En şiddetli fretting yorulması slip alanında meydana gelir ve fretting hareket miktarını da içeren birçok faktör tarafından etkilenir. Fretting yorulma çatlaklarının oluşumuna ve sonradan büyümesine neden olur. Bu yüzden, malzemelerin mikro yapı ve özellikleri ciddi bir şekilde fretting aşınmayı etkiler. Diğer aşınma modlarıyla birlikte ortam ve sıcaklık hem ayrı olarak hem de birlikte fretting'i etkiler. Kimyasal saldırı önemli olduğu zaman fretting korozyonu da içerir. Oksit tabakları oluşumu fretting açısından etkilidir.

Fretting aşınmayı azaltmak için, mikro yer değiştirme miktarını azaltma, kontak çiftinin abrasiyon direncini artırma, ortam şartlarına karşı korozyon direncinin artırılması, titreşim önleyici özel cihazlar kullanma gibi yöntemlere başvurulabilir. Karşı yüzey sertliği artışının fretting aşınmayı azalttığı bazı çalışmalarda tespit edilmiştir [25].

2.5.5. Korozif aşınma

Korozyon ortamla kimyasal veya elektrokimyasal etkileşimden dolayı meydana gelen katı hatası olarak tanımlanır. Şekil 2.12'de korozif aşınma meydana gelen yüzeyi göstermektedir [30].



Şekil 2.12. Yüzeyde meydana gelen korozif aşınma [30]

Korozif aşınma, aşınma davranışına önemli bir etkisi olan sürtünme yüzeylerinde oluşan korozyon ürünlerinin bir sonucu olarak meydana gelir. Korozif aşınma bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar,

- Kontak yüzeylerinin mikro yapısı ve kimyasal kompozisyonu,
- Kontak yüzeylerinin porozite ve rijitliği,
- Tane sınırları,
- Kontak yüzeyinde meydana gelen çalışma sertleşmesinin derecesi,
- Yüzey içinde bulunan gerilimin durumu,
- Kontak yüzeyleri arasındaki elektrik potansiyeli ve akım yolları,
- Kontak bölgesindeki sıcaklık ve basınç.

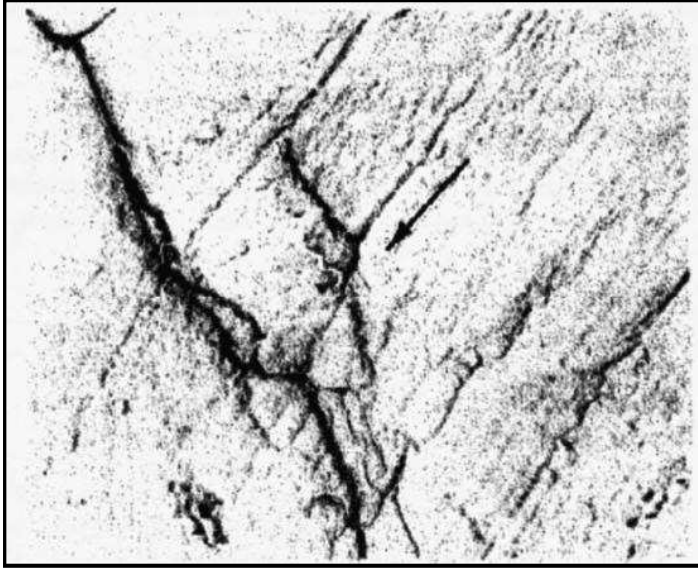
Bu terim, nispeten normal ortamda meydana gelen hafif aşınma için oksidatif aşınma olarak adlandırılmaktadır. Oksidatif aşınma, sürtünme yüzeyinde oksit oluştuğu zaman meydana gelir. Bu oksit film, hava veya sürtünme ve aşınmayı belirgin bir şekilde etkileyen yağlayıcı ile metalik yüzeyin reaksiyonuyla üretilebilir. Diğer yandan, yoğun metal deformasyonu ve yüksek kontak sıcaklığı, oksidasyon oranını belirgin bir şekilde etkileyen sürtünme yoluyla üretilir. Oksit film iki şekilde önemlidir. İlk olarak, bu film sürtünme yüzeyini şiddetli aşınma ve kilitlenmeden korur. Dolayısıyla aşınma prosesini azaltır. İkinci olarak, oksidatif aşınma ürünleri

yüksek sertliğe sahiptir ve abrasif aşınmayı başlatabilir. Oksidatif aşınma deformasyonu süresince, adsorpsiyon ve kimyasal reaksiyonlar kendiliğinden oluşur. Deformasyon en ince yüzey tabakalarını aktif hale getirir ve bu yüzey tabakalarını adsorpsiyon, difüzyon ve kimyasal reaksiyonlarla olan hassasiyetini artırır. Tabaka plastik deformasyonun bir sonucu olarak oluşur. Bu tabaka, yağlayıcı içinde sınırlı miktarda çözünmüş oksijenle etkileşir ve metal ile güçlü bir şekilde bağlanmış düzgün kalınlığa sahip oksit bir filme dönüşür. Oksitlenmenin yanısıra yüzeyler arasındaki bir elektriki potansiyel farkının olması da elektro-kimyasal korozyona yol açmaktadır [11, 15].

Oksidatif aşınmanın başlıca özellikleri: ana malzeme içinde herhangi bir kırılma yoktur, sürtünme boyunca üretilen ince yüzey tabakalarının içinde kırılma belirir. Mekanik ve kimyasal proseslerin dinamik dengesi sonucu oksit filmler oluşur ve sonra kırılır. Pasif film tabakanın korozyon direncini arttırmada nadir elementlerin oldukça faydalı olduğu ve karbon çeliklerin alüminize edilmiş yüzeylerini nanokristalize etme işleminin de korozyon aşınmasını azalttığı saptanmıştır [31, 32].

2.5.6. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması; değişken gerilmelerin eş çalışan yüzeylerde yorulma sonucu yol açtığı kılcal çatlakların ilerleyerek kuşattıkları bir malzeme adacığının koparak yüzeyden uzaklaşmasıdır [15]. Fretting aşınma durumu ile beraber döngüsel yorulma yükleri etki ettiğinde çok tehlikeli kırılma durumları oluşabilmektedir ve bu taşıtlar için kritiktir [33]. Hemen hemen bütün aşınma modlarına eşlik eden sürtünmeli kontakta benzer proses meydana gelir. Sürtünme yüzeyinin her bir asperitisi karşı yüzey asperitileri tarafından bir dizi yüklemeye maruz bırakılır. Sonuç olarak yüzey ve alt yüzey bölgesinde iki değişik gerilim alanı üretilir. Bu alanlarda malzeme yorulduğu için bu bölgelerde aşınma partikülleri üretilir, çatlaklar oluşur ve yayılır. Bu prosese sürtünme yorulması denir [11]. Şekil 2.13'de aşınma yüzeyinde meydana gelen yorulma çatlaklarını göstermektedir.



Şekil 2.13. Aşınma yüzeyindeki yorulma çatlakları [30]

Hacimsel yorulmadan farklı olarak sürtünme yorulması sadece yüzey ve alt yüzey bölgelerinde sınırlanır. Gerilme geriniminin meydana geldiği veya maksimum teğetsel gerilimin olduğu noktalarda yorulma çatlaklarının başladığı bilinmektedir. Düşük sürtünme katsayısına sahip olması durumunda maksimum kayma geriliminin noktası yüzeyin altına yerleşir ($\mu < 0.3$). Sürtünme katsayısı arttığı zaman maksimum kayma geriliminin noktası yüzeyde ortaya çıkar ($\mu > 0.3$). Diğer bir yandan, bir cisim dik ve teğetsel yüklemeye maruz kalırsa gerilim gerinimi yüzey ve alt yüzey bölgelerinde görünür. Bu yüzden, çatlaklar yüzey ve/veya üstünde çekirdeklenir.

Yüzey üzerindeki çizik, çentik, iz ve çukur gibi kusurlar ile alt yüzey bölgesindeki kirlilikler, boşluklar, çukurlar gerilimi toplar ve yorulma çatlaklarını başlatır. Yüzey ve alt yüzey çatlakları tekrarlı gerilimden dolayı kademeli olarak büyüyerek birbirlerine doğru yaklaşır ve yüzeye çıkarlar. Belirli bir yükleme sayısından sonra aşınma partikülleri yüzeyde görünmektedir.

Yorulma aşınması birçok faktörden etkilenir. Bunlar; katı yüzeyin fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özellikleri, yağlayıcı, ortam, yüzey kalitesi ve sıcaklıktır. Örneğin; yorulma çatlağı atmosfer içindeki neme karşı çok duyarlıdır ve bundan dolayı büyürler [11].

2.6. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınma miktarını etkileyen faktörler çok çeşitlidir ve birbirini etkilerler. Örneğin; yüzeylerdeki yüksek sıcaklık, yüksek yük ve hızlarda üretilmektedir. Sıcaklık yüzey filmi şeklini etkiler ve yüzey yapıları ile sertliğinde değişimlere neden olabilir.

2.6.1. Yüzey filmlerinin etkisi

Yüzeyleri kaplayan filmler ana malzemeden farklı sürtünme özelliğine sahip olduğu için sürtünme karakteristiğini ve aşınma davranışını değiştirirler.

2.6.1.1. Vakum altında aşınma

Yüksek vakum altında temas alanı yani kavrama(junction) büyümesi aşınma oranı artırır. Daha büyük temas alanı aşınmayı artırır.

2.6.1.2. Oksit filmler

Çoğu metal oksit bir film tarafından kaplanır. Asperitilerin yaptığı metalik temaslarda bölgesel kaynaklar olabilir ama yükün artmasıyla oksit film intermetalik teması önleyemez. Oksit filmler kavrama miktarındaki büyümeyi önler. Bu olayda hem aşınma hem de sürtünme azalır. Metallerin aşınması iki bölgeye ayrılır. Hafif (mild) aşınma bölgesinde (yani düşük yüklemenin olduğu) kontak direnci yüksektir. Burada aşınma artışı incedir. Buralarda metal oksitler bulunur. Aşırı (severe) aşınma bölgesinde (yüksek yüklemde) kontak direnci düşük ve aşınma ürünleri kaba metalik partikülleri içerir [11].

Adhezif aşınma üzerinde oksit filmler, kimyasal etkilerden dolayı kaba bir etkiye sahiptir. Aşınma koroziv aşınma olarak ifade edilir. Ayrıca oksit filmlerin abrasif aşınma üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü aşınma artışı sert metal oksit partikülleri, abrasif bir etkiye sahiptir. (üç elemanlı abrasif aşınma).

2.6.1.3. Sınır yağlama

Sınır yağlamada yüzey pürüzü temasları olmaktadır. Oksit filmi, metalik temasları ve kavramanın büyümesini önler.

2.6.1.4. Katı yağlayıcılar

Katı yağlayıcılar, yüksek vakum, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç şartlarında kullanılır. Metalik temas sayısını azaltır ve kavrama alanının büyümesini önler [11, 15].

2.6.1.5. Diğer yüzey tabakaları

Metallerin yüzeyleri alt metale göre aşınmaya daha dirençli ince bir tabaka ile kaplanarak aşınma azaltılır.

Radyum ve krom silindir gömleği, krank mili v.b. uygulamalarda kullanılır. Kobalt ve demir üzerine bu metallerin kaplanması iyi ısıl sertlik özellikleri ve yüksek korozyon direnci sağlamaktadır. Sert metaller üzerine indiyum ve kurşun kaplama yapılmaktadır [11].

2.6.2. Sıcaklığın etkisi

Aşınan yüzeylerin sıcaklığı aşınmayı 3 şekilde etkiler. Bunlar;

- Aşınan malzemelerin özellikleri
- Yüzey kirletici filmin şekli
- Yağlayıcı özellikleri

Metallerin sertliği genellikle sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta düşük sertlik olması buna örnek olarak verilebilir. Bu yüzden asperitlerin yapışmaya (adhezyon) karşı isteği ve aşınma oranı, sertliğin azalmasıyla ve artan sıcaklıkla artar. Yataklama

malzemesinin özelliklerinin tamamen değişmesine neden olan sıcaklık-faz değişimi sıcaklığın tamamen farklı bir etkisidir.

Sıcaklığın artması yağın oksidasyona maruz kalmasına ve termal bozunuma neden olmaktadır. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda katı yağlayıcılar kullanılmalıdır. Oksidasyon ve termal bozunum, bir yağın yağlama özelliklerinde tersinmez değişikliklere neden olur. Genellikle sınır yağlama şartları altında yağlayıcı katılaştığı zaman çok büyük koruma sağlar. Eğer bir yağlayıcının sıcaklığı erime noktasının üzerine çıkarsa aşınma oranı artar [11, 15].

2.6.3. Yükün etkisi

Yükteki artış sürtünme kuvvetinin artmasına neden olur. Bu olay ayrıca sıcaklığı artırır. Bu durum aşınmayı arttırabilmektedir. Denklem 2.7.'de yük, temas alanı ve sertlik arasındaki ilişki verilmektedir.

$$\frac{W}{A_a} = \frac{H}{3} \quad (2.7.)$$

Burada;

W=Yük, A_a =Görünen temas alanı, H= Sertlik değerlerini ifade etmektedir.

Hafif aşınmadan şiddetli aşınmaya geçişin, temas eden asperitilerin altında bulunan plastik bölgelerin etkileşiminden kaynaklandığı bilinmektedir. Yük arttığı zaman, plastik bölgeler altyüzey bölgelerinde tamamen plastik hale gelir [11].

2.6.4. Kirleticilerin etkisi

Sınır yağlama veya kuru kayma şartlarda karşılıklı olarak düşük çözünebilen metal çiftleri seçilmelidir. Yataklamada benzer metaller kullanmak aşınmayı arttırmaktadır.

BÖLÜM 3. YAKITLAR

Yakıldığı zaman enerji veren maddelere yakıt denir [34]. Yakıtlar kökenlerine göre doğal ve yapay, faz durumlarına göre katı, sıvı, gaz olmak üzere ayrılırlar. Özellikle sıvı yakıtlar motorlarda kullanılmaktadır fakat son yıllarda daha ucuz olmaları nedeniyle lpg ve doğalgaz kullanımını artmaktadır. Tükenebilir fosil yakıtlar dışında biyoetanol, biyodizel, biyogaz gibi yenilenebilir biyoyakıtlar da mevcuttur. Çevre hassasiyetleri ve fiyat beklentileri nedeni ile günümüzde bu yakıtlara olan talep artmaktadır.

3.1. Yakıt Çeşitleri

İçten yanmalı motorların yakıtlarının temel kaynağı bir fosil yakıt olan petroldür. Petrolün ayrımsal damıtma işlemi ile rafinerilerde ayrıştırılması sonucu lpg, benzin, motorin, gaz yağı, mazot, fuel oil yakıtları elde edilmektedir. Petrol yataklarında da bulunan doğalgaz sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış doğalgaz olarak iki şekilde kullanılmaktadır.

Yenilenebilir yakıtlar tarlalardan elde edilen tarım ürünlerinden üretilebildikleri gibi organik artıkların oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından yıkılmasının yan ürünü olarak üretilmektedirler. Biyoetanol, biyodizel, biyogaz bu çeşit yenilenebilir yakıtlardır.

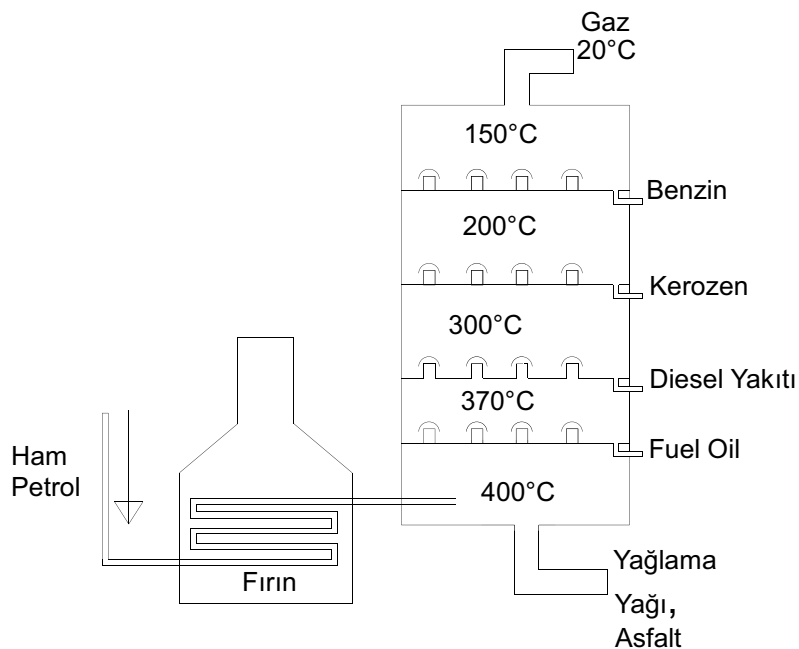
3.2. Fosil Yakıtlar

Fosil yakıtlar kömür, petrol, doğalgazdır. Organik maddelerin çok uzun yıllar boyunca değişik mekanizmalar etkisi ile değişime uğraması sonucu oluşmuşlardır. İçten yanmalı araçlarda kullanılan fosil yakıtların büyük çoğunluğu petrol kökenlidir.

3.2.1. Petrolün kimyasal özellikleri

Ham petrol çeşitli hidrokarbon bileşiklerinden oluşmaktadır ve Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiş petrol rafinerilerinde ayrımsal damıtmaya tabi tutularak kullanılabilir hale getirilmektedir.

Petrol hidrokarbonların bileşiminden oluşmaktadır. Hidrokarbonların genel kimyasal formülü C_nH_m şeklindedir ve 5 karbona kadar gaz fazında, 5 karbondan 17 karbonluya kadar sıvı fazında, 17 ile 22 karbonluya kadar yarı katı halde, 23 karbondan daha büyük olanlar ise katı fazındadırlar [35]. Karbon atomu sayısı arttıkça erime noktası, kaynama noktası, molekül ağırlığı artmaktadır. Tüm karbonları arasında tek bağ olan bileşikler doymuş, diğerleri doymamış olarak isimlendirilmektedir. Hidrokarbonlar alifatik ve aromatik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Alifatik hidrokarbonlar benzen grubu içermemektedir. Alifatikler kendi aralarında karbon atomlarının içerdiği bağ sayılarına göre alkan, alken, alkin olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar [34].



Şekil 3.1. Petrol rafinerisinde ayrımsal damıtma işlemi [36]

3.2.1.1. Parafinler (alkanlar)

Parafinler, doymuş hidrokarbonlardır yani bütün karbon atomları tek bağ yapmıştır. Molekül formülleri C_nH_{2n+2} şeklindedir. Parafin moleküllerindeki karbon atomları, iki ucu açık düz bir zincir yapısı oluştururlar. Düz zincir yapılı n-parafinlerin atom bağ kuvvetleri zayıf olduğu için çözümleri kolaydır ve bu nedenle yanmaya eğilimleri fazladır fakat zincirlerinde çatallar bulunan i-parafinlerin yanmaya eğilimleri, dallanma sayısına ve biçimine bağlı olarak, n-parafinlerden daha azdır ve ısı değerleri yüksektir [37].

3.2.1.2. Naftenler (siklanlar)

Doymuş alifatik hidrokarbonların halka yapısında olanlarına siklo-parafinler (naftenler) denir [34]. Alkanlar grubundadırlar ve iki ucu birleşmiş parafin gibidirler. Kimyasal formülleri C_nH_{2n} şeklindedir. Siklo-parafinler siklik yapıları nedeni ile, parafinlere göre daha karardır yani yüksek oktan sayılıdırlar fakat enerji yoğunlukları daha düşüktür [35].

3.2.1.3. Olefinler

Olefinler doymamış karbon atomu bulunduran hidrokarbonlardır [37]. Olefinin (alkenler) sahip olduğu çift bağ sayısı ismin önüne konulmak süreti ile isimlendirmede kullanılır. Mono-olefinlerin kimyasal formülü C_nH_{2n} , di-olefinlerin ki ise C_nH_{2n-2} dir [35]. Kütleli hidrojen/karbon oranları düşük olduğu için enerji yoğunlukları düşüktür ve özgül ağırlıkları fazladır. Mono-olefinlerin oktan sayısı aynı karbon sayılı alkenlere göre daha yüksektir [35]. Doymamış karbon atomları sakız oluştururlar. Ayrıca di-olefinler duman oluşumuna neden olurlar.

3.2.1.4. Aromatlar

Aromatik hidrokarbonlar ise alifatiklerden tamamen farklı karakterde halka yapılı fakat halka içinde çift bağ içeren sistemlerdir [34]. Molekül formülleri C_nH_{2n-6} şeklindedir. Aromatların çatısını benzen radikalleri oluşturur. Benzenin (C_6H_6)

molekül yapısı heksagonal sikloiktir [35]. Sahip olduğu çift bağlar karbon atomları arasında yer değiştirebilir bu durum molekülün kararlılığını ve vuruntu direncini arttırmaktadır [37]. Benzen çekirdeğine bağlanan radikallerin yeri, oluşan moleküllerin özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Aromatların enerji yoğunlukları düşük, özgül ağırlıkları ise fazladır. Yandıklarında duman oluştururlar ve kanserojendirler.

3.2.1.5. Asetilen (alkin)

Alifatik grubunda bulunan doymamış hidrokarbonlardır. Alkinlerin molekül formülü C_nH_{2n-2} şeklindedir. Karbon atomlarından birinde veya daha fazlasında üçlü bağ bulunan bileşiklere asetilen sınıfı hidrokarbonlar veya alkinler denir [34].

3.2.2. Fosil yakıtların özellikleri

Motor yakıtlarının sahip olması gereken özellikleri saptayan ve bu özelliklerin ölçülmesi ile ilgili standartları belirleyen önemli kuruluşlar ASTM, SAE, API kurumlarıdır. Belirlenen özellikler yakıtlarının işlevlerini sorunsuz yerine getirmeleri için gerekli özelliklerdir.

3.2.2.1. Yakıtların yoğunluğu-özgül ağırlığı

Yoğunluk belli bir sıcaklık ve basınçta ($15\text{ }^\circ\text{C}$ ve $101,325\text{ kPa}$) bir maddenin birim hacminin kütlesidir [34]. Özgül ağırlık (spesifik gravite); sıvı yakıtların yoğunluğunun bir ölçüsüdür ve sıvının $15,6\text{ }^\circ\text{C}$ ($60\text{ }^\circ\text{F}$) sıcaklıktaki birim hacminin ağırlığının aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır [38]. Sıvıların yoğunluğu sıcaklığın artması ile az miktarda düşmektedir. Kaynama sıcaklığı, uçuculuk, ısıl değer, oktan sayısı gibi özellikler özgül ağırlıktan etkilenebilmektedir.

Yakıtın gravitesinin düşük olması yakıt ekonomisi açısından istenen bir durumdur. Ekonomi yüksek özgül ağırlıklı doymuş yakıtlarda elde edilir. Yakıtların özgül ağırlığı $0,8-1$ ($45,3-10\text{ API}$) aralığında iken dizel yakıtlarda özgül ağırlıklar $0,815-0,934\text{g/l}$ arasındadır [34].

3.2.2.2. İyot sayısı

Yakıt içindeki doymamış hidrokarbon (olefinlerin) miktarını tespit eden bir sayıdır. İyot sayısı yüksek ise yakıt içinde daha fazla doymamış hidrokarbon var demektir ve yüksek sıcaklıklarda reçineleşme olması olasılığı artar. Havadaki oksijen ile birleşen doymamış karbonlar reçineyi oluşturmaktadır ve motorda olumsuz etkiler yaratmaktadır.

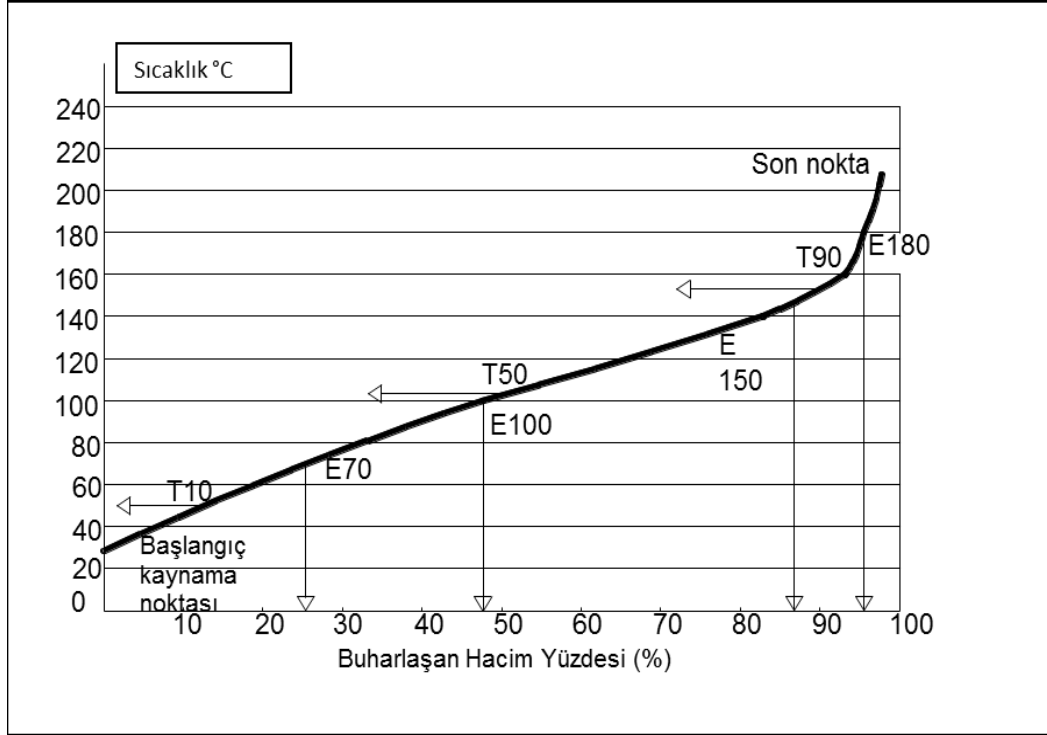
3.2.2.3. Yakıtların ısı değerleri

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesi ile elde edilen ısı (kalorifik) değerdir ve birimi kcal/kg şeklinde gösterilir [39]. Alt ısı değer ve üst ısı değer olarak iki değer tanımlanır. Verim hesaplarında kullanılan yakıtın alt ısı değeri yanma sırasında oluşan suyun buharlaşması için harcanan ısıyı kapsamayan net ısının ifadesidir. Yanma reaksiyonunda ortaya çıkan tüm ısı üst ısı değerdir ve yanma ısı denir. Hidrojen içeri fazla olan yakıtların alt ve üst ısı değerleri arasındaki fark fazla olur. Yakıt içindeki kütlece hidrojen/karbon oranı arttıkça enerji yoğunluğu artmaktadır.

3.2.2.4. Yakıtların uçuculuğu

Uçuculuk yakıtların buharlaşabilme yeteneğini ifade eder [34]. Uçuculuğu fazla olan yakıtlar daha düşük sıcaklıkta buharlaşabilirler ve daha iyi yakıt buharı hava karışımı oluşturabilirler. Dizel motorların ilk hareketi açısından yakıt uçuculuğunun fazla olması istenen bir durumdur. Fakat buharlaşma özelliğinin artması kendi kendine tutuşma özelliğini azaltır ve is oluşum ihtimalini arttırır. Buhar basıncı uçuculuğun belirlenmesinde önemlidir. Kaynama noktası düşük yakıtların buhar basıncı ve uçuculukları yüksektir. Benzer şekilde damıtma eğrisi de yakıtın uçuculuğunu gösteren önemli bir parametredir. Dizel ve benzin yüzlerce değişik hidrokarbondan oluşan bir karışım olduğu için sabit bir kaynama noktası bulunmaz. Isıtıldığında bir hal değişim eğrisi oluşur ve %20 nin buharlaştığı nokta kaynama noktası kabul edilir. Şekil 3.2' de görüldüğü gibi damıtılan yakıtın damıtma eğrisi üzerinde önemli

olan üç nokta; yakıtın %10'unun damıtıldığı T10 noktası, %50'sinin damıtıldığı T50 noktası, %90'ının damıtıldığı T90 noktasıdır.



Şekil 3.2. Benzinin ayrımsal damıtma eğrisi [34]

Benzin motoruna göre daha az önemli olsada dizel yakıtı için de uçuculuk önemlidir. Dizel yakıtı yanma odasında yanmayı sağlayacak kadar uçucu olmalıdır. Fakat çok uçucu olmamalıdır. T 10 sıcaklığının düşük olması dizel motorunun daha kolay çalışmasını, T 50 sıcaklığının düşük olması dizel dumanının ve kokunun azalmasını, T 90 sıcaklığının düşük olması ise karterdeki yağın daha az kirlenmesi sağlar ve yakıt ekonomisini iyileştirir [34]. E sayısı ise T sayısının tersidir. Örneğin E70 noktası 70 °C' de buharlaşan yakıtın hacimsel yüzdesini belirtir.

3.2.2.5. Viskozite

İki sıvı tabakasının izafi hareketinin bu tabakaların öteleme hareketine karşı oluşturduğu bir iç direnç viskozite olarak tanımlanır ve sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak da tarif edilebilir [39, 40]. Akışkanın moleküllerinin birbirini üzerinden kayar iken oluşan sürtünme olduğu için içsel sürtünme de denir. Viskozite

kinematik ve dinamik viskozite olmak üzere ikiye ayrılır. Kinematik viskozite, akışkanın yerçekimi etkisi altında akmaya karşı gösterdiği dirençtir [34]. Dinamik viskozite ise bir sıvıya uygulanan kayma gerilmesi ile sıvının kayma hızı arasındaki orandır ve dinamik viskozite bir sıvının akmaya veya deformasyona direncinin ölçüsüdür [34]. Denklem 3.1' de gösterildiği gibi sıvının kinematik viskozitesi ile yoğunluğunun çarpımı sonucunda sıvının dinamik viskozitesi bulunur [15].

μ : dinamik(mutlak) viskozite (cP- g/s.cm)

ν : kinematik viskozite (cSt-cm²/s)

ρ : yoğunluk (g/cm³)

$$\mu = \nu \times \rho \quad (3.1.)$$

Yakıt düşük sıcaklıkta kolayca akacak kadar düşük viskoziteli, pompa ve enjektör sistemini yağlayacak kadar da yüksek viskoziteli olmalıdır. Dizel motorlarında yakıt çok yüksek basınç ile püskürtüldüğü için viskozite önemlidir. Düşük viskozite yüksek basınç altındaki yakıtın pompadan sızmasına yol açabilir. Ayrıca pompadaki sabit ve hareketli parçalar arasında oluşan yağlayıcı yakıt filminin yırtılmaması ve sıvı sürtünme halinin korunabilmesi için viskozitenin çok düşük olmaması gerekir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü karışım teşkiline, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olur iken aynı zamanda pompalanabilmeyi ve enjektörlerin püskürtmesini de azaltır [41, 39]. Yüksek viskozite yüksek pompalama basıncı gerektirir.

3.2.2.6. Yakıtların parlama ve tutuşma noktaları

Parlama noktası, yakıt ısıtıldığında, yakıt üzerinde oluşan yakıt buharı ile hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir [40, 34]. Tutuşma noktası yakıt buharının hava ile sürekli yanma için gerekli oranda karışım yapabildiği minimum sıcaklıktır. Tutuşma noktası uzun süreli yanmanın meydana geldiği sıcaklığın birkaç derece üzeridir. Tutuşma noktası ve parlama noktalarının motor performansı üzerinde etkisi yoktur. Taşıma ve depolama güvenliği açısından parlama noktasının yüksek olması istenmektedir. Genellikle yanma noktası alevlenme

noktasından 30-40⁰ C daha yüksektir. Kendiliğinden tutuşma noktası yanma noktasının üstündedir ve dizel yakıtı için 350⁰ C'dır [34].

3.2.2.8. Oktan sayısı

Yanma odası içindeki benzinin kendi kendine tutuşması sonucu oluşan ve darbeli çalışmaya yol açan vuruntuya karşı olan direncinin göstergesidir [38]. Oktan sayısının artması vuruntuya karşı direnci artırır. Oktan sayısı özellikle benzin için önemli bir parametredir. Farklı benzin bileşenlerinin oktan sayıları Tablo 3.1' de görülmektedir.

Tablo 3.1. Farklı benzin bileşiklerinin duyarlılıkları [34]

Yakıt bileşeni	RON	MON	Duyarlılık
n-Pentan	62	62	0
İsopentan	92	90	2
Toluen	120	115	5
2,3,4-trimetilpentan	103	96	7
Etilbenzen	107	98	9
İsopropilbenzen	113	99	14
2,4,4-trimetilpentan	106	86	20
1,4-sikloheksadien	75	40	35

3.2.2.7. Bulutlanma (dumanlanma) ve akma noktaları

Bulutlanma noktası, soğuk depolama şartlarında ilk kristal bulutunun gözlemlendiği sıcaklık iken akma noktası, soğuk depolama şartlarında akıcılığın devam ettiği en düşük sıcaklıktır [40]. Doymuş esterlere göre polidoymamış esterlerin moleküller arası etkileşimleri daha zayıf olduğundan daha düşük sıcaklıklarda kristalleşir [40]. Polidoymamış zincirler monodoymamış zincirlerden daha düşük sıcaklıkta kristalleşirler. Bulutlanma noktasına en fazla etki eden parafindir [34].

Mumsu katıların görüldüğü ilk sıcaklık ise mum görünme sıcaklığıdır [34]. Soğuk filtre tıkanma noktası ise yakıtın delik aralığı standartlaştırılmış bir süzgeçten geçirilmesi sırasında akışın durduğu sıcaklıktır [35]. Soğukta filtre tıkanma sıcaklığı soğukta ilk hareket durumunda belirleyici olan özelliklerden biridir.

3.2.2.10. Dizel indeksi

Dizel indeksi yakıttaki parafinik hidrokarbonların miktarını işaret eden bir sayıdır ve dizel indeksi arttıkça yakıtın tutuşma gecikmesi süresi ile dizel vuruntusu azalır [42]. Dizel indeksi yakıtın kendi kendine tutuşabilme özelliğini gösteren ve dizel vuruntusu açısından önemli olan bir parametredir. Parafinik yakıt oranı arttıkça dizel indeksi artmaktadır.

3.2.2.11. Setan sayısı

Dizel yakıtı silindire püskürtülmeye başladıktan sonra yanmaya başlayıncaya kadar geçen süreye gecikme süresi denir [38]. Gecikme süresi ne kadar fazla olursa o kadar çok yakıt aniden yanmaya başlayacağı için oluşan büyük enerji artışından dolayı ani basınç artışı ve darbe etkisi oluşur. Bu duruma dizel vuruntusu denir. Dizel motorunun en hassas noktası olan gecikme süresinin belli bir seviyede olmasını, yani yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren ölçüye 'setan sayısı' denir [38]. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar dizel vuruntusuna daha fazla eğilimlidir. Setan sayısı yanma, kararlılık, gürültü, sürülebilirlik, emisyonlar (CO, HC) ve motor performansını etkiler. Setan sayısı hidrokarbonların uzunluğu, doymuşluğu arttıkça artar, çift bağ sayısı arttıkça azalır [40]. Setan sayısının çok fazla arttırılması istenmeyen bir şeydir çünkü bu durumda gecikme süresi çok fazla kısalmaktadır ve yakıt enjektör memesinin yakınında yandığı için enjektör memesi fazla ısınmakta ve yakıtta kraking yapmaktadır. Böyle bir durumda karbonlaşma olmakta, yanma kötü ve dumanlı olmaktadır. Normal bir dizel yakıtının setan sayısı 45 olmalıdır. Bir dizel yakıtın dizel indeksi arttıkça setan sayısında artar ve kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar [42]. Anilin noktası ve setan sayısı yüksek olan parafinik yakıtlar dizel yakıtı olarak tercih edilmektedir [38].

3.2.3. Dizel yakıtı

Ham petrolün damıtılması sırasında 200-300⁰ C kaynama aralığında alınan üçüncü ürün motorindir [38]. Uçuculuk özelliği düşük bir yakıttır ve daha çok dizel motorlarında kullanılır. Günümüzde küçük ve yüksek devirli dizel motorlarda uygun özelliklere sahip dizel yakıtı kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Tablo 3.2.'de Tüpraş firması tarafından üretilen Tüpraş 408 motorin premium yakıtının özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2. TÜPRAŞ 408 Motorin Premium özellikleri [34]

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Yöntem
Yoğunluk (15 °C' ta)	Kg/m ³	820-845		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% ağırlık	11	En çok	TS EN 12916
Parlama noktası	°C	55	En az	TS EN ISO 2719
Bulutlanma noktası	°C	-10	En çok	TS 2834 EN 23015
Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)	°C			TS EN 116
Kış (a)		-25	En çok	
Yaz(b)		5	En çok	
Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405
250 °C 'ta elde edilen	% hacim	65	En çok	
350 °C 'ta elde edilen	% hacim	85	En az	
% 95'in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık	°C	360	En çok	
Kükürt	mg/kg	10	En çok	TS EN ISO 20846
Karbon Kalıntısı (% 10 damıtma kalıntısında)	% ağırlık	0,3	En çok	TS 6148 EN ISO 10370
Viskozite (40 °C 'ta)	cst	2,0-4,5		TS 1451 EN ISO 3104
Bakır Şerit Korozyon (50 °C 3 saat)		No.1	En çok	TS 2741, EN ISO 2160
Kül	% ağırlık	0,01	En çok	TS 1327 EN ISO 6245
Setan sayısı		51	En az	TS 10317 EN ISO 5165
Setan Indisi	hesapla	46	Enaz	TS 2883 EN ISO 4264
Su	mg/kg	200	En çok	TS 6147 EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	24	En çok	TS EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı	g/m ³	25	En çok	TS EN ISO 12205
Yağlama özelliği (wsd) 60 °C' ta Düzeltilmiş aşınma izi çapı	pm	460	En çok	TS EN ISO 12156-1
(a) 1 Ekim-31 Mart (±15 gün)				

Tablo 3.2. TÜPRAŞ 408 Motorin Premium özellikleri.(Devamı)

(b) 1 Nisan- 30 Eylül (± 15 gün)
Not: Yağ asidi metil esteri (YAME) katılmamaktadır.
(*) Bu ürün İzmit ve Kınkkale Rafinerilerinde satılmaktadır.

3.3. Yenilenebilir Yakıtlar

Yenilenebilir yakıtlar fotosentez ürünü olan organik maddelerin kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla dönüştürülmesi sonucu elde edilir. Biyogaz, biyoethanol, biyodizel olmak üzere üç temel yenilenebilir yakıt mevcuttur. Biyogaz her türlü organik maddenin çürümesi sonucu oluşan metan gazı ağırlıklı yakıt olduğu ve daha basit düzenekler ile üretilebildiği için uygulama alanı daha geniştir.

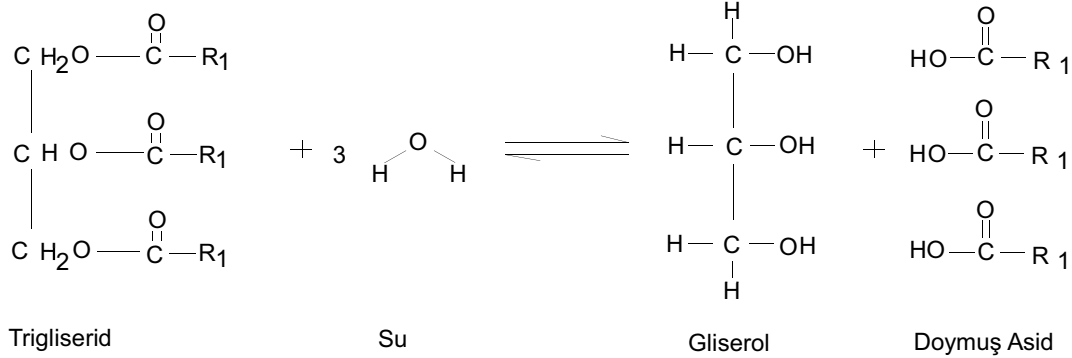
3.3.1. Biyogaz

Biyogaz hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilebilmektedir. Anaerobik fermantasyon (oksijensiz solunum) yapan bakterilerin organik maddeleri yıkması sonucu oluşur ve ağırlıklı olarak metan ve karbondioksitten oluşan gazdır. Biyolojik parçalanma oksijensiz ortamda olmaktadır ve organik maddeler mikrobiyolojik flora tarafından biyogaza dönüştürülmektedir. Metan oluşturan oksijensiz bozunmanın (anaerobik fermantasyon) bu üç aşaması; fermantasyon ve hidroliz, asetik asidin oluşumu, metan gazının oluşumu aşamalarıdır [40]. Biyogaz enerji yoğunluğu yüksek bir gazdır.

3.3.2. Biyodizel (Metil Esteri)

Biyodizel, genellikle bitkisel yağların (kanola, aspir, soya, pamuk, zeytin yağı, ayçiçeği, keten tohumu, yerbıstığı, mısır yağı, susam, aspir, haşhaş, kenevir) bunun yanı sıra evsel atık yağ, endüstriyel atık yağ, tüketimlerden kaynaklanan atık yağların ve hayvansal yağların (balık yağı, tavuk yağı gibi) bir katalizör vasıtasıyla kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) ile tepkimesi ile oluşan yağ asidi metil veya etil esterlerine denir. Transesterifikasyon sırasında asidik veya bazik karakterde katalizörler kullanılabilir. Orta uzunlukta C_{16} - C_{18} yağ asidi zincirlerini içerir.

Şekil 3.3' de görüldüğü gibi bir çeşit alkol olan gliserin molekülü ile yağ asitlerinin esterleşmesi sonucu bitkisel yağlar(trigliserid) oluşur.



Şekil 3.3. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi [43]

3.4. Biyodizel Üretim ve Modifikasyon Yöntemleri

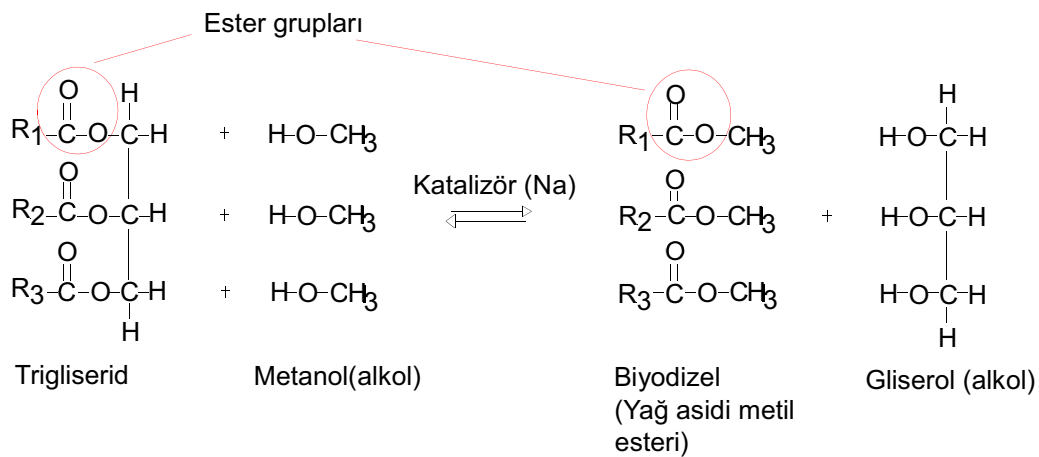
Biyodizel üretiminde en verimli bitki kolzadır (kanola). Kolzadan biyodizel üretim ve yağ modifikasyon yöntemleri seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyondur.

3.4.1. Mikroemülsiyon oluşturma

Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan, optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ve bir ya da daha fazla yüzey aktif maddenin bir araya gelmesi ile oluşur [40]. Yüzey aktif maddenin devamlı faz ile dağılım fazı arasına girmesi ve iki faz arasındaki gerilimi düşürmesi ile oluşur. Yüzey aktif madde mikro damlaçıkların etrafını kaplayarak bunların birbiri ile birleşmesini de önler. Metanol, etanol ve i-bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılarak viskozitesi düşürülmüş emülsiyon oluşturulur. Mikroemülsiyonlar, biyodizel viskozitesini dizel yakıtının viskozitesine çok yakın değerlere kadar (1,9-4,0 mm²/s) düşürebilir [44]. Viskozitede azalma, püskürtme karakteristiğinde iyileşme sağlarlar. Fakat yağa katılan alkol setan sayısını, ısıl değeri ve motor verimini düşürür, ayrıca düşük sıcaklıkta ayrışma eğilimi gösterir [41].

3.4.2. Transesterifikasyon (alkoliz)

Bir esterleştirme reaksiyonu olan transesterifikasyon, 1 mol yağ asiti ve 3 mol alkolün (metanol, etanol) bir katalizör (asidik, bazik ve enzimler) (NaOH, KOH) aracılığıyla reaksiyona sokulması ile yeniden esterleşmesidir [23]. Transesterifikasyon reaksiyonu asit katalizörlü, baz katalizörlü, süperkritik akışkan metanol kullanılarak veya enzim katalizörlüğünde gerçekleştirilebilir. Şekil 3.4' deki reaksiyon denkleminde de anlaşılacağı gibi transesterifikasyon bir ester değişim reaksiyonudur. Transesterifikasyon reaksiyonunda stokiyometrik olarak 1 mol yağ yani trigliserid için 3 mol primer alkol yani metanol kullanılır ve ürün olarak 3 mol alkil ester yani yağ asidi metil esteri (biyodizel) ve 1 mol gliserol oluşur [45, 46, 47, 48]. Primer alkol olarak etanol ve metanol kullanılabilir fakat metanol daha ucuz ve daha verimli olduğu için metanol kullanımı yaygındır [44]. Reaksiyonda yağ asitleri bağlı oldukları trigliseritlerden ayrılıp alkolle yeni esterler oluştururlar ve trigliseritler içindeki gliserol ve alkoldeki alkil radikali yer değiştirmiş olur [41]. Gliserol ve katalizörü biyodizelden ayırmak için 50 °C'de sıcak su kullanılarak yıkama işlemi yapılır. Bu işlemden sonra uygulanan dinlendirme işleminde faz ayrışma gerçekleşir ve üstte biyodizel yakıtı altta ise su, katalizör, gliserol karışımı kalır [45]. Viskozite düşürmede etkili bir yöntemdir.



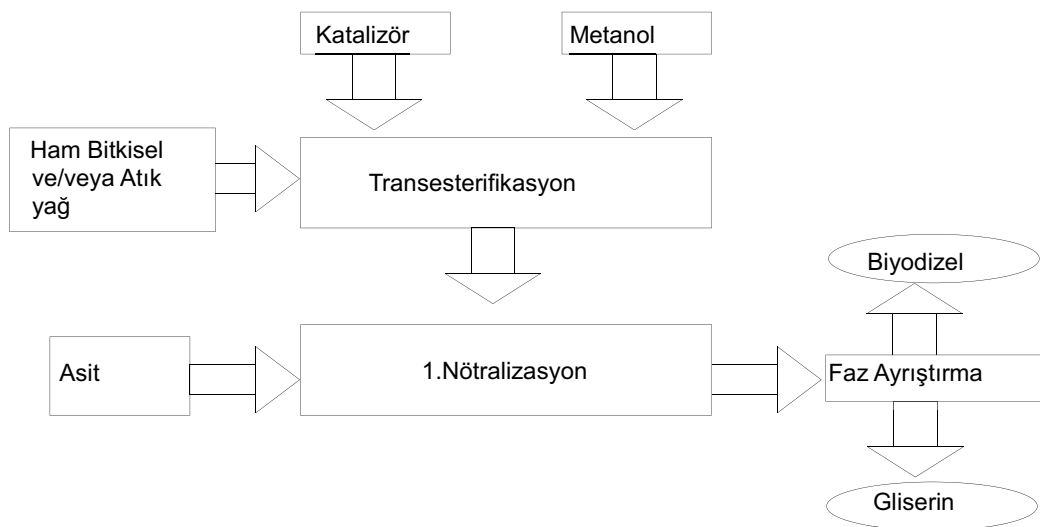
Şekil 3.4. Bitkisel yağın metanol ile stokiyometrik transesterifikasyonu [47]

3.4.3. Piroliz

Oksijensiz, basınçlı, yüksek sıcaklıktaki ortam içinde olan yağ molekülleri kolayca daha küçük moleküllere parçalanabilir [44, 41]. Böylece viskozite düşürülmüş olur fakat pahalı bir işlemdir ve maliyeti arttırır. Bu işlem, C-C veya C-H bağlarda kırılmaların olmasıyla gerçekleşir. Piroliz işlemi; hidro kraking, katalitik kraking ve termal kraking olmak üzere üç kısma ayrılırken, çalışma koşullarına bağlı olarak ise piroliz; geleneksel piroliz, hızlı piroliz, flaş piroliz şeklinde üçe ayrılır [40].

3.4.4. Seyreltme

Bu işlemde yüksek viskoziteli yağ belli oranlarda daha düşük viskoziteli dizel yakıtı ve/veya organik bileşenler (etanol-metanol) ile karıştırılarak seyreltilir. Bu işlem biyodizelin viskozitesini düşürmek için yapılır ve atomizasyonu iyileştirir [44, 41].



Şekil 3.5. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde işlem akışı [40]

3.5. Kolzadan Biyodizel Üretimi

Şekil 3.5’de ana işlem aşamaları verilen transesterifikasyon ile biyodizel üretimi kolza kullanılarak yapılmak istendiğinde 1 hektardan yaklaşık 1000 kg biyodizel üretilmektedir. 1 hektar araziden 2,5-2,75 ton kanola üretilebilmekte, 1 ton kanoladan yaklaşık %33 yağ çıkartılabilmektedir yani 1 ton kanoladan 0,33 ton yağ

elde edilebilmektedir. 1 ton yağa 110 kg metanol eklenerek transesterifikasyon ile 1 ton biyodizel ve 110 kg gliserin üretilmektedir [40]. Yukarıda belirtilen veriler 1 hektar araziden 0,83 ton biyodizel elde edilebileceğini gösterir [49].

3.6. Biyodizelin Yakıt Özellikleri

3.6.1. Viskozite

Biyodizelin viskozitesi 40 °C’ de yaklaşık 3,5–6 mm²/s kadardır ve biyodizel motorinden daha yüksek viskoziteye sahiptir [41, 50, 51, 52]. Hidrokarbonların zincir uzunluğu, safsızlığı, oksidasyon ürünlerinin miktarı arttıkça viskozite artar, çift bağ sayısı arttıkça viskozite azalır [40].

Biyodizelin yağlayıcılığı dizel yakıtından daha iyidir fakat yüksek viskozitesi bazı sorunlara yol açmakta bunun için viskozitesi düşürülmeye çalışılmaktadır. Tablo 3.3’de biyodizel, dizel ve karışım yakıtın viskozite dahil çeşitli özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.3 Motorin, Biyomotorin, 80/20 karışım yakıtın özelliklerinin karşılaştırılması [44]

Özellikler	No: 2-D Motorin	Biyomotorin	80/20 Karışım Yakıt
Ester Değeri, mmol/gr	0.0182	3,2464	0,8879
Asit Değeri	0.46	1,05	0,56
Alevlenme noktası, °C	79	110	89
Özgül ağırlık, kg/m ³	867,2	882,8	867,7
Viskozite, cSt	2,922	4,175	3,339
Nem, ppm	37	582	240
Setan sayısı	44,7	48,7	49,5
Bulutlanma noktası, °C	11	6	4
Akma noktası, °C	19	1	16
Toplam Gliserin, %	0	0	0
Serbest gliserin, %	0	0	0
Karbon, ağırlıkça %	86,55	77,44	83,78
Hidrojen, ağırlıkça %	12,87	12,18	12,55
Azot, ağırlıkça %	0,31	0,28	0,30
Kül, ağırlıkça %	0	0	0

3.6.2. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu, genel olarak 15 °C’ de 880-920 kg/m³ (DIN EN 3675) gelmektedir [41]. Biyodizelin yoğunluğu (860–900 kg/m³, 15 °C, EN 14214) fosil dizel yakıtına göre daha yüksektir (820–845 kg/m³) [51, 52, 53]. Yoğunluk yakıt sarfiyatına ve yanma ısısına etki eder. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar [40]. 0,900 gr/cm³’ den büyük özgül ağırlıklı yakıt dizel motorunda kullanılırsa, hızlı motor aşınması, enjektörlerde kurumlaşma, eksoz emisyonlarında artış ve hatta motorda hasara yol açabilir [44].

3.6.3. Isıl değer

Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 MJ/kg dan (DIN 51900-3) daha büyüktür [41]. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artar. Doymamışlık arttıkça yani hidrojen sayısı azaldıkça ısıl değer azalır.

Biyodizelin alt ısıl değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %10) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür [52, 54]. Isıl değerinin düşüklüğü güçte azalmaya yol açmaktadır. Bu durum daha fazla hacimde yakıt püskürtülerek giderilebilir fakat yakıt sarfiyatı artar. Biyodizelin O₂ içeriği yanma verimini arttırarak pm ve duman oluşumunu azaltmaktadır.

3.6.4. Setan sayısı

Dizel yakıtlarının kendiliğinden tutuşabilme özelliğinin ölçüsüdür [41, 52]. Biyodizelin setan sayısı Tablo 3.4. de görüldüğü gibi yapıldığı maddeye göre 40 ile 49 arasında değişmektedir. Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Oleik asitce zengin yağlar yüksek setan sayısını sağlayabildikleri için biyodizel için tercih edilen yağlardır [41]. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısını arttırır. Biyodizelin setan sayısının klasik dizel yakıtından yüksek olması yanma veriminin yüksek olmasını, soğukta ilk hareketin kolaylaşmasını sağlarken beyaz duman oluşumunu azaltır [40, 55].

Tablo 3.4. Değişik bitkilerden elde edilen biyodizel yakıtının özellikleri [41]

Yakıt	Kalori Değeri (kj/kg)	Yoğun- luk (g/dm ³)	Viskozite (mm ² /s)		Setan Sayısı	Parlama Nok-tası (°C)	Kimyasal formül
			27 °C	75 °C			
Motorin	43350	815	4,3	1,5	47	58	C ₁₆ H ₄₃
Ayçiçek Yağı	39525	918	58	15	37,1	220	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Ayçiçek biyodizeli	40579	878	10	7,5	45-52	85	C ₅₅ H ₁₀₅ O ₆
Pamuk Yağı	39648	912	50	16	48,1	210	C ₅₅ H ₁₀₂ O ₆
Pamuk biyodizeli	40580	874	11	7,2	45-52	70	C ₅₄ H ₁₀₁ O ₆
Soya Yağı	39623	914	65	9	37,9	230	C ₅₆ H ₁₀₂ O ₆
Soya biyodizeli	39760	872	11	4,3	37	69	C ₅₃ H ₁₀₁ O ₆
Mısır yağı	37825	915	46	10,5	37,6	270-295	C ₅₅ H ₁₀₃ O ₆
Haşhaş yağı	38920	921	56	13	-	-	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Kanola yağı	37620	914	39,5	10,5	37,6	275-290	C ₅₇ H ₁₀₅ O ₆

3.6.5. Parlama (alevlenme) noktası

Dizel 74 °C de, bitkisel yağlar 300 °C de, biyodizel 220 °C' de parlamaktadır ve biyodizel bu açıdan diğerlerinden üstündür [41]. Biyodizelin alevlenme noktası dizel yakıtından daha yüksektir ve uçuculuğu dizelin uçuculuğundan daha kötüdür [54, 56]. Parlama noktası yakıtın depolanması ve güvenliği ile ilgilidir ve motor performansı ile yanma karakteristiğini etkilemez.

3.6.6. Düşük sıcaklık akış özellikleri

Bulutlanma noktası, akma noktası ve soğuk filter tıkanma noktası yakıtların kış şartları için en temel akış özellikleridir. Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizelden daha yüksek akma ve bulutlanma noktasına sahiptir ve bu durum düşük sıcaklıklarda sorun yaratmaktadır [51, 52].

Biyodizel-motorin karışımları (B20) 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanarak düşük sıcaklığın olumsuz etkisi azaltılmış olur [57]. Akma ve bulutlanma noktaları uygun katkı maddelerinin (anti-jel) kullanımı ile düzenlenebilmektedir. Dizel yakıtı -

7 °C' de bulutlanır iken ASTM biyodizel için bulutlanma noktasını minimum 3 °C olarak öngörmektedir [41].

3.6.7. Kükürt tayini

Biyodizel yakıtının kükürt miktarı motorine göre oldukça azdır. Biyodizelde sülfürün yok denecek kadar az olması nedeni ile biyodizelin dizel motorunda kullanımında SO₂ emisyonu miktarı dizel yakıtına göre çok az olmaktadır [58, 59, 60, 61].

3.6.8. İyot sayısı

İyot sayısı, yağların doymamışlığının yani çift bağ oranının bir ölçüsüdür [52]. İyot sayısının artması yakıt oksidasyonunu, yanma odasındaki hasar oluşumunu ve enjektörlerdeki tıkanmaları arttırmaktadır [41, 53]. Yağ çeşidi iyot sayısını etkileyen önemli bir parametredir. Ayçiçek ve soyadan elde edilen biyodizel yakıtında doymamışlık fazla olduğu için iyot sayısı yüksektir [40].

3.6.9. Yağlayıcılık

Dizel yakıtlarda çok düşük sülfür miktarından dolayı yakıt yağlayıcılığı çok zayıftır. Bu da enjeksiyon pompalarının ve motorun yaşamını kısaltmaktadır. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği viskozitesinin motorinin viskozitesinin 1,4-1,6 katı olması nedeni ile motorinden daha iyidir [49]. Kolza biyodizelin motor yağına karışması ve yağlama yağını seyreltmesi yağlama yetersizliğine yol açmakta ve bu nedenle sakızlaşma meydana gelmektedir [41]. Sakızlaşma sorunu yağlama yağı değiştirme sıklığını arttırarak çözülebilmektedir. Genel olarak bakıldığında yüksek viskozite yağlayıcılık için iyi bir unsur gibi görünsede yüksek viskozite yağlama yağını çözebilmekte ve olumsuz tesirlere yol açabilmektedir.

3.6.10. Biyodizelin emisyon özellikleri

Yenilenebilir enerji çeşitlerinden biri olması nedeni ile günümüzde yoğun olarak araştırılmakta olan biyodizelin emisyon özellikleri de kullanım açısından önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalarda biyodizelin dizel motorlarında kullanımında CO, CO₂, HC, PM, is emisyonlarında azalmalar olduğu saptanmıştır. NO_x emisyonlarında ise hafifçe artışlar görülmüştür. Biyodizel yakıtının dizel motorinde kullanımında toplam kirli hava kütlesi oluşturma potansiyeli motorine göre önemli oranda daha azdır [62, 63, 64].

Yapılan çeşitli araştırmalarda biyodizel kullanıldığında NO_x emisyonunda artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu artışların sebebinin biyodizel içeriğindeki O₂ olduğu düşünülmektedir. O₂ içeriği yakıtın ısı değerini azaltıp egzoz sıcaklığını düşürse de NO_x oluşumunu olumsuz etkilemektedir [65, 66, 67].

Günümüzün önemli bir problemi olan küresel ısınmanın temel nedeni atmosfere salınan sera gazlarıdır. Bu gazlardan en önemlisi salım miktarının çokluğu nedeni ile CO₂ emisyonudur. Bitkisel yağlar fotosentez ürünüdür ve atmosferdeki CO₂ in emilmesi sonucu oluştuğu için küresel ısınmayı arttırıcı etki göstermezler.

Biyodizel yakıtı bitkisel kökenli olduğu için içeriğinde sülfür bulunmamaktadır ve bu nedenle biyodizel yakıtının dizel motorunda kullanımında SO₂ oluşmamaktadır [68, 69, 70].

3.7. Biyodizel Yakıtının Eksik Yönleri ve Bunların İyileştirilmesi

Bitkisel yağların temel problemi yüksek viskozitedir. Viskoziteyi düşürmek için viskozitesi daha düşük yakıtlar ile karıştırma ve kullanım öncesi ön ısıtma modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Mikroemülsiyonlar oluşturarak, biyodizel viskozitesini dizel yakıtının viskozitesine çok yakın değerlere kadar (1,9-4,0 mm²/s) düşürebilir fakat mikroemülsiyon oluşturma yöntemi oldukça maliyetli bir yöntemdir [44].

3.8. Türkiye' nin Biyodizel Üretim Potansiyeli

Türkiye yıllık yaklaşık 300 bin ton kullanılmış atık yağ potansiyeline sahiptir. Bu durum ciddi bir maliyet düşüşüne yol açtığı gibi aynı zamanda atık yağlardan biyodizel elde edilip kullanılması sonucunda dizel yakıtı göre atmosfere atılan sera etkisine neden olan CO₂ miktarı 900 bin ton civarında azalacaktır [49].

Özellikle Güneydoğu Anadolu Projesi ' nin tamamlanması sonucunda yaklaşık 1.8 milyon hektar tarım alanı sulanabilir tarıma açılacaktır ve bu bölgemizde tarım üretimi ile yağ bitkileri kanola veya soya ekimi ile elde edilecek yağdan yılda 1,5 milyon ton biyodizel üretilebileceği söylenebilir. Kanola tarımı sorunsuz, maliyeti buğday ve ayçiçeğinden az olduğundan; ılıman iklim bölgelerimizde ikinci ürün olarak da ekilebilir [49]. Tablo 3.5.'de 2012 yılına ait Türkiye' nin yağ bitkisi üretim miktarları verilmiştir. 27 Eylül 2011 tarihinde yürürlüğe giren bir tebliğe göre 2014 yılında %1, 2015 yılında %2 ve 2016 yılından sonra da %3 oranında biyodizel dizel yakıtına karıştırılıp satılmak zorunda olacaktır [71].

Tablo 3.5. Aralık 2012 Tük tahmin (tarım bakanlığı) [72]

Bitki(Yağlı Tohumlar)	Ekilen alan (dekar)	Üretim (ton)	Verim(kg/dekar)
soya	315990	122114	386
Yerfıstığı	373881	122780	328
Ayçiçeği(yağlık)	5046160	1200000	238
susam	292063	16221	56
aspir	155918	19945	128
Kolza(kanola)	295421	110000	372
çiğit	-	1373440	281
Keten (Tohum)	180	13	72
Kenevir (tohum)	64	4	63
Haşhaş (tohum)	135106	3844	28

25 Şubat 2011 tarihinde geçerlilik kazanan bakanlar kurulu kararı ile biyodizel yakıtına 0,91 TL/Lt ÖTV uygulaması getirilmiştir. Vergi ile birlikte hammadde maliyeti de hesaba katıldığında üreticiler üretimin maliyeti kurtarmadığını belirtmektedir. Biyodizel üretim sektörü Türkiye' de durmuş haldedir. Üretim yapılamaz hale geldiği için çoğu üretici lisansını iptal ettirmiştir. Ülkemizde sadece bir firma tarafından 20 bin tonluk üretim yapılmaktadır. 2012 yılı itibari ile 34 adet

biyodizel üretimi için işletme lisansı almış tesis bulunmaktadır. Tesislerin biyodizel üretim kapasitelerinin toplamı yıllık 561217 tondur.

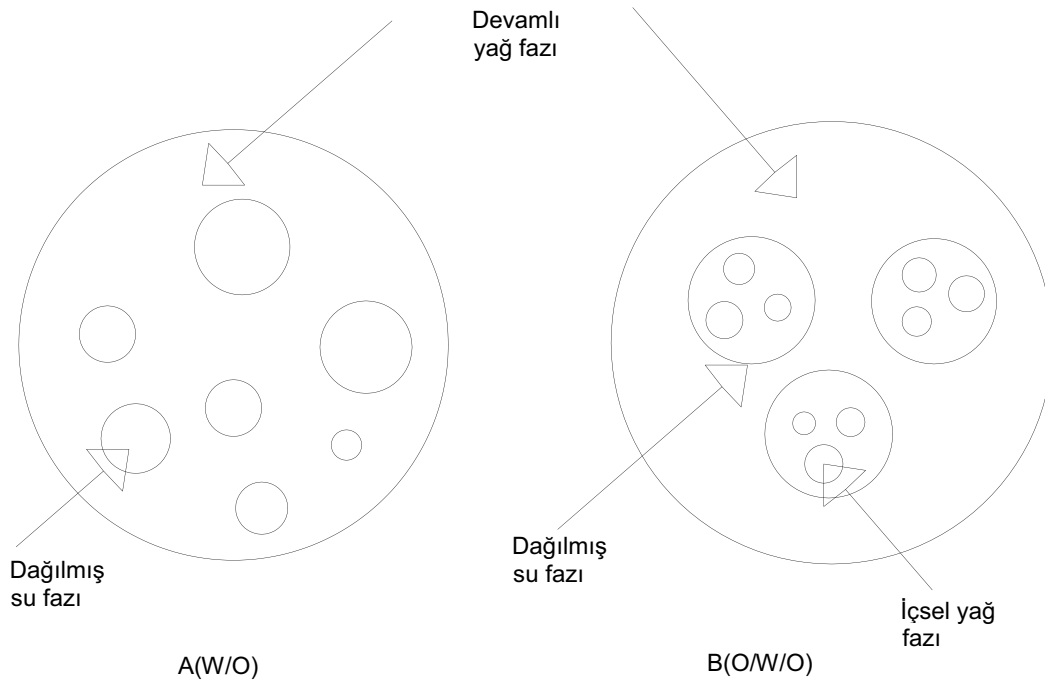
BÖLÜM 4. EMÜLSİYON

Emülsiyon birbiri içinde çözünmeyen iki sıvının karışımıdır. Bir sıvı (dağılan faz), öbürü (dağınilan faz) içinde dağılmış durumdadır. Emülsiyon oluşma sürecine emülsifikasyon denir. Emülsiyonlar, iki fazlı madde sistemlerinden kolloid olarak adlandırılanlarıdır. Emülsiyon genelde hem dağılmış fazın hem de içinde dağınilan fazın sıvı olması durumu için kullanılır.

Gıda ile ilgili emülsiyonların çoğu, yağ/su emülsiyonudur ve yağ içinde su veya su içinde yağ emülsiyonu şeklinde olmaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi emülsiyonlar iki veya üç fazlı olabilmektedir. Örneğin W/O/W (water-in-oil-in-water) emülsiyonu daha büyük yağ damlacıkları içinde dağılmış az miktarda su zerreciklerini, O/W/O (oil-in-water-in oil) ise daha büyük su damlacıkları içinde dağılmış az miktarda yağ zerreciklerini tarif eder. W/O/W emülsiyonunda az miktarda yağ çok miktarda su var iken O/W/O emülsiyonunda çok miktarda yağ az miktarda su bulunur. Benzer şekilde O/W (oil-in-water) su fazı içinde dağılmış yağ damlacıklarını, W/O (water-in-oil) yağ fazı içinde dağılmış etrafı emülgatör ile kaplı su damlacıklarını belirtir [73]. Tereyağ ve margarinde su damlacıkları yağ ile çevrilidir (yağ içinde su emülsiyonu); süt ve kremada yağ damlacıkları su ile çevrilidir (su içinde yağ emülsiyonları). Yağ-su emülsiyonları iki fazlı veya üç fazlı olabilmektedir. Emülsiyonlarda sürekli bir faz durumu mevcuttur. Emülsiyonlarda damlacık büyüklüğü önemli bir parametredir ve zamanla damlacıkların büyümesi ile çökelme süreci oluşur [74]. Çökelme sürecinde en temel etki yerçekimi kuvvetidir. Bu süreç boyunca yoğunluğu fazla olan sıvı molekülleri karışımının dibinde toplanır. Karışımları homojenleştirmede genellikle yüksek hızlı karıştırıcılar kullanılmaktadır.

Emülsiyonlar kararlı değildir ve kendiliklerinden oluşmazlar. Emülsiyon oluşumu için karıştırma, çalkalama, homojenizasyon veya spreyleme gibi bir işlemle karışıma

enerji vermek gerekir. Zaman içinde, emülsiyonu oluşturan fazların ayrılarak kararlı hallerine geri dönme eğilimi vardır ve bu süreci önlemek için emülgatörler kullanılır. Bir emülgatör (emülsifikatör, emülsifiyer veya emüljen olarak da bilinir) bir emülsiyonu kararlı kılan, genelde polimerik sürfaktan özellikli bir maddedir [75] Yüzey etkin bileşikler (sürfaktanlar) emülsiyonların kinetik kararlılığını artırır, öyle ki emülsiyonlar bir kere oluştuğundan sonra yıllar boyunca değişmez. Su-zeytinyağ karışımı sürekli çalkalanmadıkça kısa sürede ayrışır. Bu olgu küçük damlacıkların birleşerek büyük damlacıklar oluşturmasının sonucudur ve kaynaşma olarak adlandırılır. Emülsiyonlarda olabilen bir diğer süreç kremleşme, yani bir fazın öbüründen daha batmaz (buoyant) olması veya santrifügasyon sonucu emülsiyonun üzerine çıkmasıdır. Emülgatörlerin iyonik, noniyonik, biyopolimer emülgatör olmak üzere 3 temel çeşidi bulunmaktadır [74].



Şekil 4.1. İki fazlı ve üç fazlı emülsiyonlar [76]

Emülsiyon kararsızlıklarının üç tipi vardır: flokülasyon olunca tanecikler öbekler oluşturur; kremleşme olunca tanecikler yüzeyde (veya dipte, iki fazın göreceli yoğunluklarına bağlı olarak) ayrışma ve birleşme durumunda tanecikler birleşip bir sıvı tabaka oluştururlar. Bu açıdan bakıldığında emülgatörler homojenizasyon sürecinde iki önemli işleve sahiptir:

-Yağ ve su fazları arasındaki yüzeyler arası gerilmeyi azaltırlar. Böylece damlacıkları bozmak ve dağıtmak için gerekli olan serbest enerji miktarını azaltırlar.

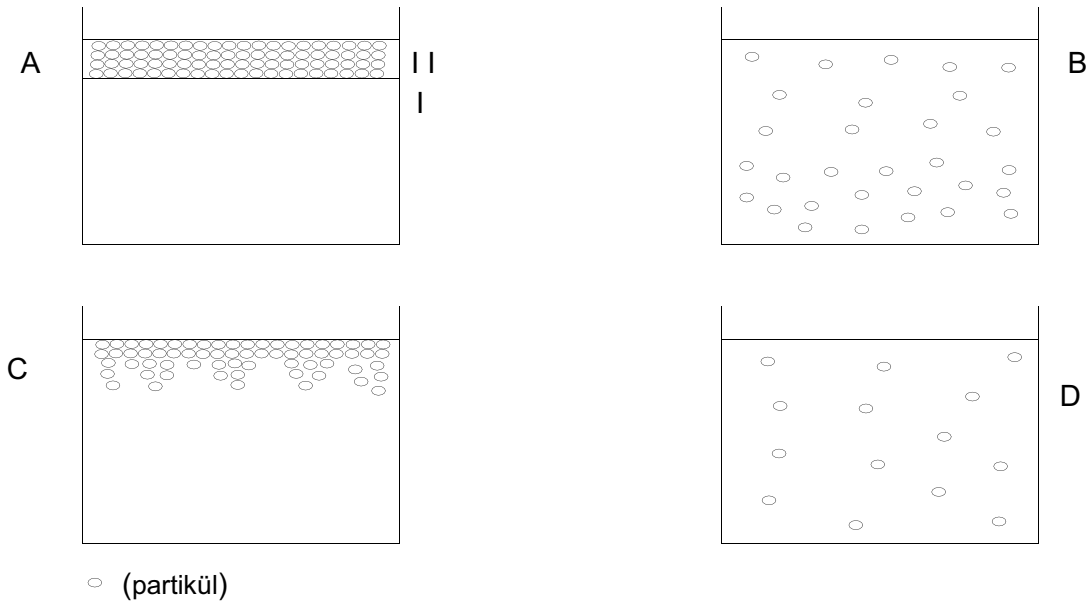
-Damlacıkların etrafında koruyucu bir kaplama oluşturarak bunların birbiri ile kaynaşmasına mani olur [74].

Bir emülsiyonun yağ içinde su tipi bir emülsiyon mu, yoksa su içinde yağ tipi bir emülsiyon mu olacağı, iki fazın hacimlerinin oranına ve emülsifikatör tipine bağlıdır. Genelde Bankroft kuralı geçerlidir: emülsifikatörler ve emülsifiyan tanecikler içinde çözünmedikleri fazın ayrışmasına neden olurlar. Proteinler, suda yağdan daha iyi çözünürler ve bu nedenle su içinde yağ emülsiyonları oluştururlar; yani yağ damlacıklarının yekpare bir su fazında dağılmasına önayak olurlar.

Emülsiyonlar bulanıktır ve genelde rengi beyazdır. Eğer emülsiyon derişik olursa Tyndall etkisi ışığı saçar ve rengin maviye kaymasına neden olur. Eğer yoğun ise, renk sarıya kayar. Mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar ise berrak görünürler çünkü dağılmış fazı oluşturan tanecikler küçük boyutludur.

4.1. Mikroemülsiyon

Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan, optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ve bir ya da daha fazla aktif maddenin bir araya gelmesi ile oluşur [74]. Şekil 4.2 de görüldüğü gibi yüzey aktif maddeler devamlı faz ile dağılım fazı arasındaki arayüz gerilimi düşürürler ve mikroemülsiyon oluşmasına yardımcı olurlar [77]. Bu yöntemle elde edilen yakıtların viskozitelerinde azalmalar ve püskürtme karakteristiklerin de iyileşmeler gibi olumlu sonuçlar kaydedilmiş olmasına rağmen, bu yakıtların bünyelerinde bulundukları alkol nedeni ile setan sayılarında ve ısıl değerlerinde azalmalar olmakta ve dolayısıyla motor verimleri olumsuz yönde etkilenmektedir.



Şekil 4.2. Emülsiyon oluşum aşamaları [78]

A. İki karışmaz sıvı, daha emülsiyonlaşmadan; B. Faz I içinde dağılmış bir Faz II emülsiyonu; C. Kararsız emülsiyon zamanla ayrılır; D. Sürfaktan Faz II ve Faz I arasındaki arayüze yerleşerek emülsiyonu stabilize eder.

4.2. Emülgatör

Bir emülgatör (emülsifikatör, emülsifiyer veya emüljen olarak da bilinir) bir emülsiyonu kararlı kılan, genelde sürfaktan özellikli bir maddedir. Gıda emülgatörünün başlıcaları yumurta sarısında bulunan lesitin, bal ve hardaldır. Proteinler de daha küçük moleküller de emülgatör etkisi gösterebilirler. Bazı durumlarda Pickering stabilizasyonu denen bir mekanizma ile tanecikler de emülsifikasyona neden olabilirler. Deterjanlar bir diğer sürfaktan sınıfıdır ve yağ ile su arasındaki arayüzü stabilize ederler. Deterjanlar yağları sökmede kullanılırlar. Emülgatör mum, setearil alkol, polisorbat 20, setearet 20, tween 80, span 80 yaygın kullanılan emülgatörler arasındadır. Tween 80 su bazlı, span 80 ise yağ bazlı emülgatörlerdir. İyonik değildir ve yüzey aktif ajanlardır [79].

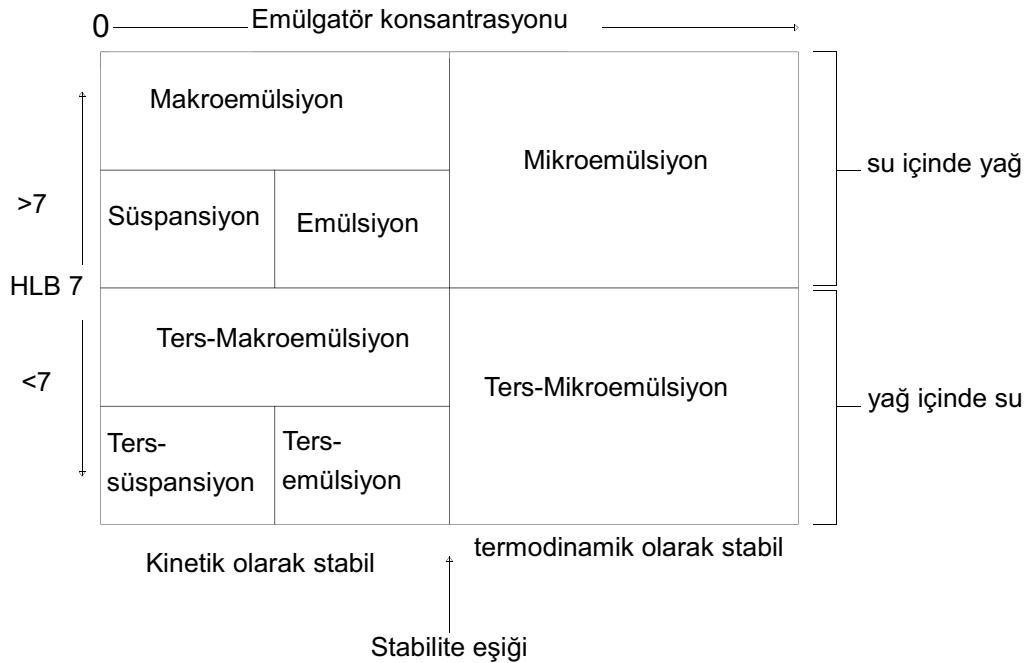
Bazen dahilî fazın kendisi de bir emülgatör olarak etki eder ve bunun sonucu bir nanoemülsiyondur. Dahilî faz nano-boyutlu damlacıklar halinde dış faz içinde

dağılır. Anason içeren alkollü bir içkiye (rakı) su katılmasında bu duruma bir örnektir. Etanolda çözünen anisol bileşikleri suda nano-boyutlu damlacıklar oluştururlar ve suyun içinde emülsiyonlaşırlar. Safra tuzları ise yağ damlacıklarının yüzeyini kaplayarak onları daha küçük damlacıklara parçalanmasını sağlarlar.

Yüzey aktif sürfaktan özellikli moleküller ikiz yapıdadırlar. Baş ve kuyruk denilecek iki kısımları bulunur ve bu iki kısımdan biri apolar özellik gösterir iken diğer kısmı polar özellik göstermektedir. İki ayrı kısmının farklı özellik göstermesi sayesinde apolar madde ile polar madde arasında yerleşebilirler ve stabilizasyon sağlarlar.

4.2.1. Emülsiyonun HLB Değeri

Apolar moleküller yağ fazının içine yerleşmeye meyilli iken, polar moleküller ise su fazının içine yerleşmeye meyillidirler. Yüzey aktif (amphiphilic, amfifilik) moleküller ise her ikisinden farklı olarak arayüzeye yerleşmeye meyillidirler. Emülsiyonda kullanılan su sever (hidrofilik) ve yağ sever (lipofilik) sürfaktanların dengesini gösteren sayıya HLB sayısı denir. Yağ sever veya su sever sürfaktanın emülsiyon içindeki miktarı değiştikçe HLB sayısı da değişir [74].



Şekil 4.3. Emülgatör konsantrasyonu ile stabilitenin değişimi [80]

Şekil 4.3 dağılımın doğasına ait olan önemli anahtar parametreleri göstermektedir. Yatay eksen emülgatörün konsantrasyonunu, dikey eksen ise emülgatörün su sever-yağ sever dengesini (HLB) göstermektedir. Bancroft' un kanununa göre HLB değeri yediden büyük ise oluşan yapı yağ su içinde yapısına meyil eder fakat HLB değeri yediden küçük ise bu durumda su yağ içinde dağılımını üretir. HLB değeri yedi civarında ise faz dönüşüm bölgesine tekabül eden durum söz konusudur. Stablite eşiği kinetik olarak stabil olan mikroemülsiyonun istediği kritik emülgatör konsantrasyonunu belirten bir kavramdır. Bu seviyenin altında ve üstündeki sürfaktan miktarı kararlılığı bozabilir. Emülsiyonlar kendiliğinden oluşmayan yapılar olduğu için bunların oluşması için bir karıştırıcı vasıtası ile bunlara enerji verilmesi gerekmektedir [80].

Yağ içinde su emülsiyonları su içinde yağ emülsiyonlarına göre daha az kararlıdır. Bu durumun nedeni ise organik bileşiklerin dielektrik katsayısının düşük olmasıdır. Düşük dielektrik katsayısı elektrostatik stabilizasyonu etkisizleştirir. Polar yapılı su molekülleri arasındaki moleküler çekim kuvveti çok büyük iken apolar yapılı yağ molekülleri arasındaki çekim kuvveti daha zayıftır. Steric itici kuvvetler bunları dengeleyecek karşı kuvvetleri gerektirir ki bunlar su dışı dağılımlarda önemli olan van der Waals çekim kuvvetleridir ve van der Waals çekim kuvvetinin moleküler büyüklük arttıkça artması nedeniyle büyük parça kopolimeri flakulasyonu önlemek için stabilizer olarak kullanılır veya iyonik olmayan emülgatör sisteme karıştırılır. Emülsiyondaki emülgatör elektrostatik ve sterik stabilizasyonu sağlamaktadır [81]. İyonik olmayan emülgatör yoğunlaşmış bir emülgatör tabakası oluşturarak karışımın arayüzey entropisini maksimize eder [80].

Bir sürfaktanın HLB sayısının hesaplanmasında çokca kullanılan yarı ampirik metod aşağıda Denklem 4.1.'de verilmiştir [74]:

$$HLB = 7 + \sum(\text{su sever grup numarası}) - \sum(\text{yağ sever grup numarası}) \quad (4.1.)$$

Üç fazlı bir emülsiyonun HLB değerinin bulunmasında kullanılan diğer bir yöntem ile hesaplama Denklem 4.2.'de şu şekilde yapılmaktadır [82]:

$$HLB_{AB} = [(H_A + W_A) + (H_B \times W_B)] / (W_A + W_B) \quad (4.2.)$$

A: sürfaktan

B: sürfaktan

H_A: A sürfaktanının HLB değeri

H_B: B sürfaktanının HLB değeri

W_A: A sürfaktanının ağırlığı

W_B: B sürfaktanının ağırlığı

Emülgatörün seçimi emülsiyonun stabilitesi açısından kritik önemdedir. O/W emülsiyonları çoğunlukla yüksek HLB değerine sahiptir [83]. Yağ içinde su emülsiyonları büyük çoğunluk ile HLB 4-6 aralığında olmaktadır. Çok kullanılan yağ sever Span 80 (Sorbitan monooleate) sürfaktanının HLB değeri 4.3 iken su sever Tween 80 (Polyoxyethylene sorbitan monooleate) sürfaktanının HLB değeri 15 dir. Sürfaktanın yağ sever kuyruğu veya su sever başı daha kararlı emülsiyonlar oluşturmada uygun kimyasal eşleşmenin bulunması için önemli parametrelerdir ve sözde kohezif enerji oranını (CER) hesaplamada kullanılırlar böylece çözünebilirlik oranı da hesaplanmış olur [80].

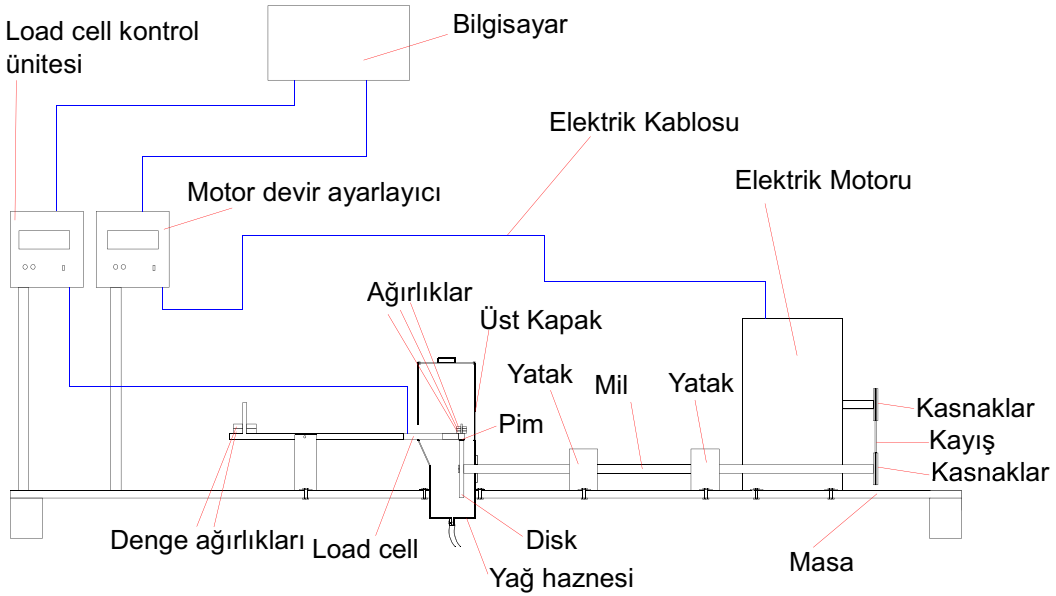
BÖLÜM 5. DENEYSEL MATERYAL VE METOD

Deneyimizde saf dizel, saf biyodizel yakıtlarına ek olarak dizel yakıtı ve su kullanılarak üretilen emülsiyon yakıtın sürtünme ve aşınma özellikleri arasındaki farklar incelenmiştir. Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan çelik malzemeler, saf dizel yakıtı, saf biyodizel yakıtı, saf dizel yakıtı ve suyun belli oranda karıştırılmasıyla oluşturulan emülsiyon yakıt, deney cihazları ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1. Aşınma Deneysel Düzenegi ve Deneysel Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Aşınma Test Düzenegi

Şekil 5.1’de aşınma deneysel düzeneginin şematik çizimi verilmiştir. Düzenek load cell, load cell kontrol ünitesi, elektrik motoru, aşınma diski, elektrik motoru kontrol ünitesi ve bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 5.1. Aşınma test düzenegi

Şekil 5.2.'de verilen deney tesisatının resmi incelendiğinde deney tesisatı bileşenleri ayrıntılı olarak görülebilmektedir.



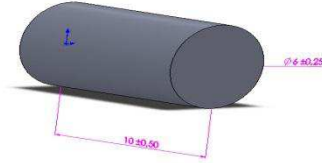
Şekil 5.2. Aşınma test düzeneği fotoğrafı

5.1.2. Pim (deney numunesi)

Ø6 x 10 mm ebatlarında silindirik pim, Ç 1020 düşük karbonlu imalat çeliğinden yapılmıştır. Çakır Çelik firmasından temin edilen malzeme tornada işlenip kesilmiştir. Malzeme makine, civata, somun yapımında kullanılabilir ve ısıl işlem uygulanabilir. Tablo 5.1'de pimin kimyasal bileşimi, Şekil 5.3'de boyutları ve fiziksel görünüşü verilmiştir. Şekil 5.4'de deney düzeneğine monte edilmiş bir deney numunesi pim gözükmektedir.

Tablo 5.1. Pimin kimyasal bileşimi [84]

Ç1020 Kütüce Kimyasal Bileşim (%)						
Madde	C	Si	Mn	P	S	Fe
Kütüce %	0,20	0,25	0,045	0,04	0,04	99+



Şekil 5.3. Deneilerde kullanılan pim ve ölçüleri



Şekil 5.4. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki pimin fotoğrafı

5.1.3. Disk

Deneilerde, ostenitik paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. En iyi paslanmazlık özelliği diğer paslanmaz çeliklere oranla bu çeliklerde görülür. Diskin ebatları ise; 100 mm çapında ve 12 mm kalınlığındadır. Kimyasal bileşimi Tablo 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.5.’de deney düzeneğine monte edilmiş olan aşınma diskinin fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 5.2. Ostenitik diskin kimyasal bileşimi [85]

Fe	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	S	Diğerleri
63,5	0,08	1	2	0,045	18-20	8-11	0,03	---



Şekil 5.5. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki diskin fotoğrafı

5.1.4. Load cell

Load cell uygulanan fiziksel kuvveti ölçmek ve elektronik basküle iletmek üzere kullanılmıştır. Şekil 5.6.'da deney düzeneğine monte edilmiş haldeki load cell (yük hücresi) görülmektedir.



Şekil 5.6. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki yük hücresi

5.1.5. Elektrik motoru

Deneyde elektrik motoru, kayış ve kasnak vasıtasıyla diski döndüren mile bağlıdır. Kullanılan elektrik motoru 220 volt elektrikle çalışıp, 400 Watt güç üretmektedir.

Şekil 5.7.'de deney düzeneğine monte edilmiş haldeki elektrik motoru görülmektedir.



Şekil 5.7. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki alternatif akımla çalışan elektrik motoru

5.1.6. A/d dönüştürücü

Deneyde kullanılan a/d dönüştürücü Delta marka olup Ds serisidir. A/d dönüştürücü, uygulanan fiziksel kuvveti, sürtünme ve aşınma esnasındaki ağırlıkla orantılı değişimi dijital ekranında göstermektedir. Şekil 5.8.'de a/d dönüştürücü görülmektedir.



Şekil 5.8. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki elektronik baskül (gösterge)

5.1.7. Göstergeler

Göstergeler motorun devir sayısını ve load cellin ölçtüğü kuvvet değerini gösteren ekranlar ve bilgisayardır. Şekil 5.8.'de göstergelerden biri verilmektedir.

5.1.8. Devir ayarlayıcı

Devir ayarlayıcı elektrik motorunun devrini ayarlayan cihazdır. Şekil 5.9.'da deney düzeneği üzerinde monte edilmiş haldeki devir ayarlayıcı gözükmektedir.



Şekil 5.9. Deney düzeneğine monte edilmiş haldeki devir ayarlayıcı

5.1.9. Diğer malzemeler

Yataklar, sıvı muhafaza kabı 0,5 ve 1 kg ağırlıklar, kayış ve kasnaklar.

5.1.10. Deneylerde kullanılan farklı yakıtlar

Deneylerde biyodizel, motorin ve motorinin su ile oluşturduğu üç fazlı emülsiyon yakıt kullanılmıştır.

5.1.10.1. Biyodizel

Biyodizel orta uzunlukta C16 - C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Deneylerde kullanılmak için ayçiçek bitkisel yağı kullanılarak üretilen biyodizel yakıtının kinematik viskozitesi 5,78 cst'dur. Biyodizelin yoğunluğu ise 0,89'dür.

5.1.10.2. Motorin

Ham petrolün damıtılması sırasında 200 – 300 °C kaynama aralığında alınan üçüncü ana ürün motorindir. Motorin dizel motoru yakıtıdır. Deneylerde kinematik viskozitesi 3,25 cst (40 °C'da) olan motorin kullanılmıştır. Yakıtın yoğunluğu 15 °C'da 0.84' dür.

5.1.10.3. Emülsiyon yakıtlar

O/W/O tipi üç fazlı emülsiyonlar deney numunesi olarak üretilmiştir. Saf dizel-su, saf biyodizel-su, B20(%20 biyodizel+%80 dizel)-su emülsiyonları oluşturulmuştur. Bu emülsiyonlardan saf dizel-su emülsiyonu stabilitesinin daha iyi olması nedeniyle deney numunesi olarak kullanılmıştır. Sürfaktan özellikli emülgatörlerin yanı sıra izobütanol ve izopropanol alkollerini emülsiyon stabilitesini arttırmak için kullanılmıştır. Yağ içinde dağılmış su zerrecikleri zaman ile birleşir, büyür ve sonunda yağ ve su fazı ayrışır. Emülsiyonun stabilitesini arttırıp ayrışmasını önlemek için yüzey aktif sürfaktan özellikli emülgatörler kullanılmaktadır. Bu maddeler faz aralarına yerleşerek yüzey gerilimini uygun mertebeye getirirler ve etrafını sardıkları yağ zerreciklerinin tekrar birleşmesini önleyerek ayrışmayı durdururlar. İzomer yapılı alkollerin stabilize arttırmak için kullanılmasının temel nedeni bu maddelerin moleküllerinin belli bölgelerde dal yapmış olmasıdır. Böyle bir durum ise apolar olan yağ ile polar olan su arasında yerleşmek için uygun bir durumdur. Bu nedenlerden dolayı tween 80 su sever, span 80 yağ sever emülgatörleri ile izobütanol ve izopropanol alkollerini emülsiyon stabilitesinin artışı için hacimsel olarak %1 oranında kullanılmışlardır.

5.2. Emülsiyonların Özellikleri

Bulanık beyaza yakın renktedir. Yağ içinde su bulduran üç fazlı O/W/O tipi emülsiyondur. Aşağıdaki tablo 5.3’de emülsiyonların hacimsel bileşim yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Deneyler için hazırlanan yakıt numunelerinin hacimsel bileşimi

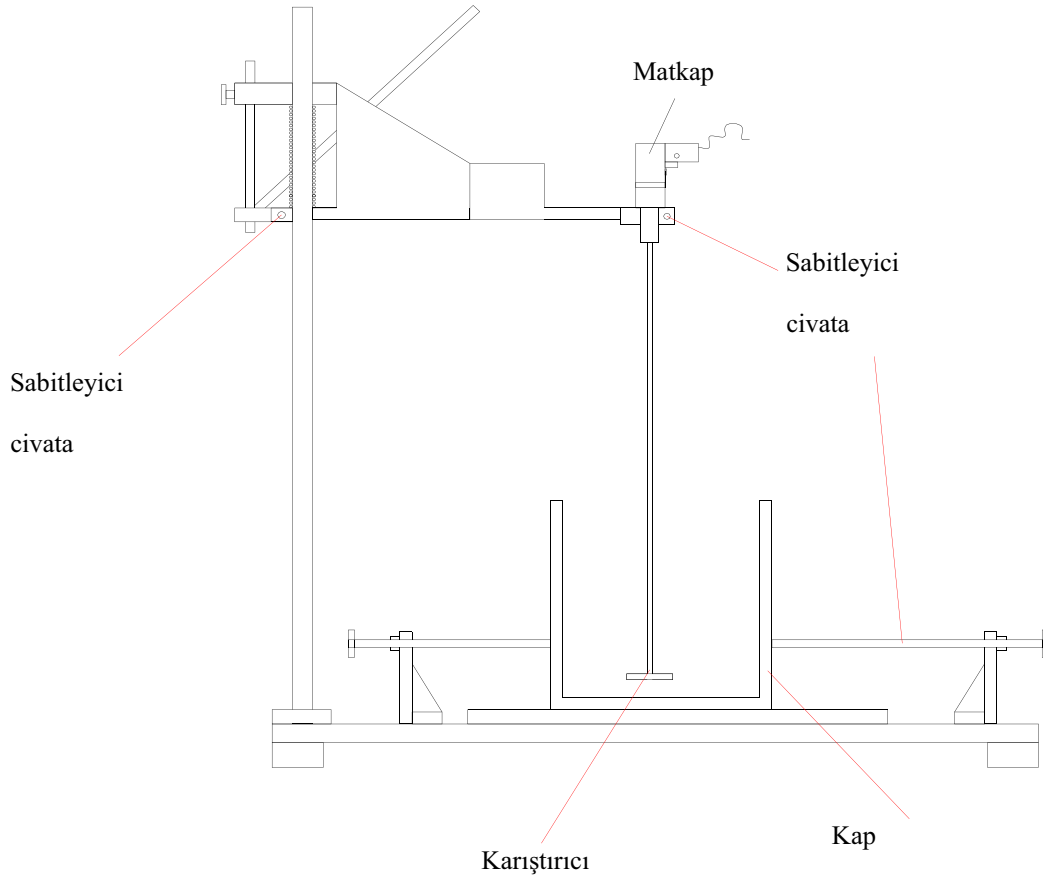
Oluşturulan emülsiyonların hacimsel bileşimi (%)			
Katılan maddeler	Saf dizel yakıtı emülsiyonu	Saf biyodizel emülsiyonu	B20(%20biyodizel+%80 dizel) emülsiyonu
Span80	1%	1%	1%
Tween80	1%	1%	1%
İzobütanol	1%	1%	1%
İzopropanol	1%	1%	1%
Su	5, 10, 15%	5, 10, 15%	5, 10, 15%

5.3. Emülsiyonun Yapımı Sırasında Kullanılan Düzenek ve Malzemeler

İşlemden emülsiyon yapım düzeneği, sıvı maddeler ve ölçüm aletleri kullanılmıştır.

5.3.1. Emülsiyonun yapılışında kullanılan düzenek

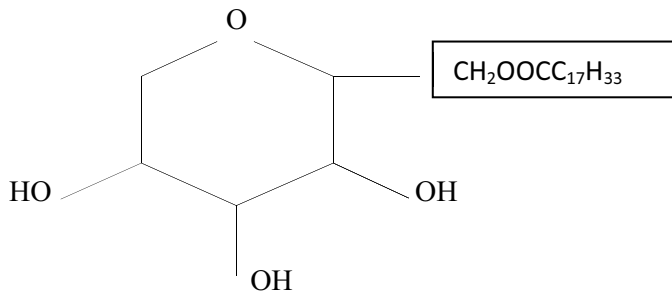
Emülsiyonun hazırlanmasında kullanılan mekanik karıştırıcı düzenek Şekil 5.10’de şematik olarak gösterilmiştir. Düzenek 3000 d/d kapasiteli matkap, karıştırıcı sabitleyici ve kap sabitleyici kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 5.10. Emülsiyon oluşturmada kullanılan düzenek

5.3.2. Span 80

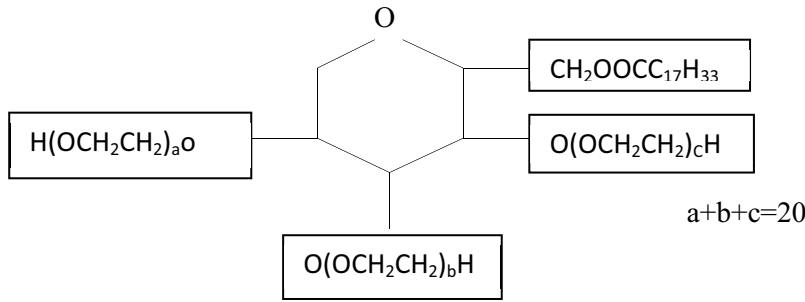
Yağ sever iyonik olmayan sürfaktan özellikli emülgatördür. Şekil 5.11’de görülen span 80 in molekül formülü $C_{24}H_{44}O_6$ dır. 428,6 g/mol molekül ağırlığındadır. Açık sarı renkte yağlı viskoz bir sıvıdır. Suda çözünemez fakat organik çözücülerde çözünebilir. W/O tipi bir emülgatördür ve HLB değeri 4,3 dür. İlaç, tekstil, kozmetik ve boyalarda kullanılır. S60 ve T60 emülgatörleri ile karıştırılabilir [86].



Şekil 5.11. Span 80 kimyasal formülü [58]

5.3.3. Tween 80

Su sever iyonik olmayan sürfaktan özellikli emülgatördür [86]. Şekil 5.12'de görülen tween 80 in molekül formula $C_{64}H_{124}O_{26}$ şeklindedir.



Şekil 5.12. Tween 80 molekül formülü [58]

1310 g/mol molekül ağırlığındadır ve 1,06-1,09 g/ml yoğunluğundadır. Açık sarıdan kehribar rengine doğru kayan bir renktedir. Yağlı viskoz bir sıvıdır ve toksik değildir. Su içinde kolayca çözünebildiği gibi etanol, bitkisel yağ, etil asetat, metanol, içinde de çözünebilir fakat madeni yağlar içinde çözünemez. HLB değeri 15,0 dır.

5.3.4. İzobütanol

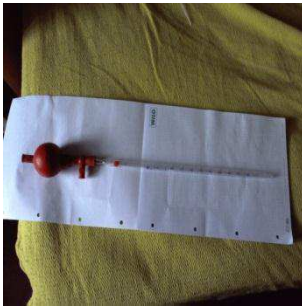
4 karbonlu primer bir alkoldür. Yüksek alkoller ve dallı-zincirli alkoller grubuna girer. Daha çok çözücü olarak, kimyasal reaksiyonlarda ortam olarak ve yakıt olarak kullanılır. Alkol olduğu için toksik özellikler sergiler. Molekül formülü C_4H_9OH dır. Molekül ağırlığı 74,12 g/mol dür. $0,802 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Enerji içeriği yüksektir ve düşük korozif özellik gösterir. Bütanol alkolünün izomeridir ve kimyasal formülü aynı olmak ile birlikte molekülünün şekli dal yapmış farklı yapıdadır. Bir karbon atomu karbon zincirinin dışına doğru yerleşmiş ve dal yapmıştır. Bu farklı molekül şekli kimyasal yapıda ciddi değişmelere yol açmıştır. İzomerlerin kimyasal formülü ve atom sayıları tamamen normal hal ile aynıdır [87].

5.3.5. İzopropanol

Üç karbonlu doymuş alifatik alkoldür. İzopropil alkolün molekül formülü C_3H_8O $[(CH_3)_2CHOH]$ dir. 60.10 g/mol molekül ağırlığına ve $0,786 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Su ve organik çözücülerde çözünebilen bir alkoldür. Propil alkolünün izomeridir zehirlidir ve kimyasal formülü aynı olmak ile birlikte molekülünün şekli dal yapmış farklı yapıdadır. Bir karbon atomu karbon zincirinin dışına doğru yerleşmiş ve dal yapmıştır. Bu farklı molekül şekli kimyasal yapıda ciddi değişmelere yol açmıştır. İzomerlerin kimyasal formülü ve atom sayıları tamamen normal hal ile aynıdır [88].

5.3.6. Deney kapları ve hacimsel ölçü ağıtları

Bunlar üzerlerinde litre cinsinden hacimsel birimlerin bulunduğu ve kimyasal maddelerin hacimlerini doğru belirlemek için kullanılan ağıtlardır. Şekil 5.13'de görülen ağıtlar; 1 ml, 0,5 ml, 0,25 ml hassasiyetli ölçü cihazları ile 1 lt ve 5 lt kapasiteli ölçülü kaplardır.



a)10 ml ölçü aleti



b)1ml ölçü aleti



c)Kap sabitleyiciler



d)5 lt ölçülü kap



e) Karıştırıcı matkap



f) 1 lt ölçülü kap

Şekil 5.13. Emülsiyon yakıt numunesi hazırlama düzeneği ve çeşitli gereçler

5.4. Emülsiyonun Yapılışı

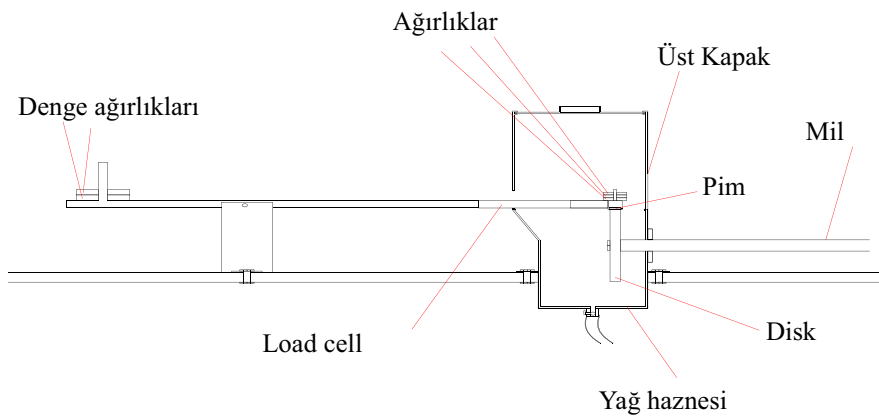
Bir kap içindeki tween 80 ve su karışımı homojen bir karışım oluşturuncaya kadar belirli bir süre boyunca sabit devirde karıştırılır. Bir kap içindeki su-tween 80 homojen karışımının içine belli miktar yağ katılır. Oluşan yağ-su-tween 80 karışımı sabit devirde karıştırıldıktan sonra O/W su içinde yağ iki fazlı emülsiyonu oluşturulmuş olur. Başka bir kaptaki yağ-span 80 karışımı sabit devirde belirli bir süre boyunca karıştırılır. Bu karışım oluşumunda karışım yapılan kabın yer değiştirmemesi önemli bir unsurdur. Bu nedende kap sabitleyiciler kap yerleştirilirken kabı iyi sıkıştırarak şekilde ayarlanır.

Ayrı bir kaptaki bulunan O/W su içinde yağ emülsiyonu diğer kaptaki bulunan yağ-span 80 karışımına katılır. Oluşan son karışım sabit devirde bir müddet karıştırılır. Oluşturulan son karışıma geriye kalan yağ, izobütanol ve izopropanol eklendikten sonra oluşan karışımın belirli bir süre boyunca devirde karıştırılması ile O/W/O üç fazlı emülsiyonu oluşturulmuş olur. Emülsiyon oluşturmada biyodizel-dizel karışımı kullanılır ise bu durumda emülsiyon üretmeye başlamadan önce istenilen hacimsel oranda biyodizel-dizel karışımı üretilir. Yağ olarak bu karışım emülsiyon üretiminde kullanılır.

5.5. Aşınma Deneylerinin Uygulanışı

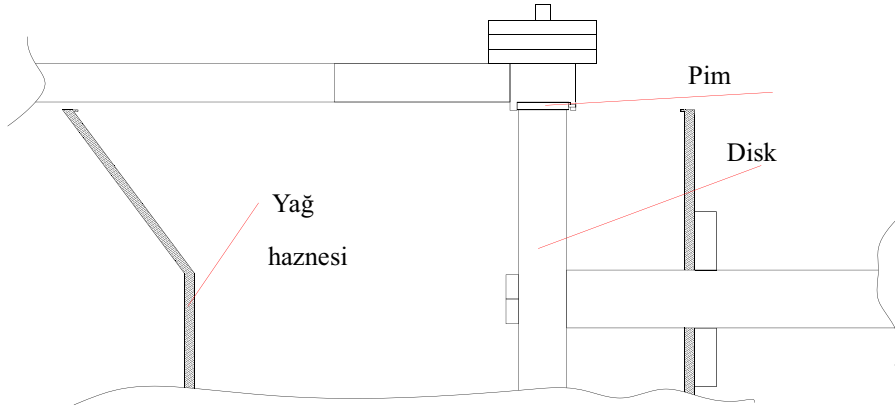
Aşınma deneyleri Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi laboratuvarlarında bulunan, Şekil 5.14. ve 5.15.' da şematik çizimleri verilen aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Her deney öncesi çelik disk aşınma cihazına uygun

şekilde bağlanarak yüzeyleri asetonla temizlenmiştir. Ayrıca pim numunelerinin alın yüzeyleri de asetonla temizlenmiş olup, temizlemenin amacı yüzeylerde gözle görülmeyen toz, yağ lekelerinin giderilmesidir. Deneylede kullanılacak olan pim numunelerinin ilk ağırlıkları 0,0001 gr hassasiyetli elektronik dijital terazi ile ölçülmüştür. Ölçümü yapılan her bir pim numunesi yapılacak deneye uygun şekilde aşınma cihazına bağlanmıştır. Terazi ile kol eğimi sıfırlanmıştır.



Şekil 5.14. Aşınma test düzeneği ayrıntısı

Aşınma cihazı hesaplanan devirde çalıştırılmış ve pimin bağlı olduğu kol, diskin üzerine yavaşça bırakılmış, sürtünme kuvveti verilerinin alımı için sürtünme programı çalıştırılmıştır. Pim numunesinin diske sürtünmesiyle birlikte doğan sürtünme kuvveti load cell hassasiyeti sayesinde bilgisayara iletilmiştir. Deneylede bilgisayara kurulan sürtünme hesaplayıcı program sayesinde iletilen veriler sürtünme katsayısı olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 5.15. Aşınma test cihazı ayrıntısı

Aşınma deneylerinin bitiminde, önce pimi tutan kol kaldırılarak aşınma programları durdurulmuş, daha sonra diski döndüren motor durdurularak disk durdurulmuştur. Pim bağlı olduğu yerden çıkartılarak varsa üzerindeki aşınma partikülleri ve çapakları alınarak son ağırlık için hassas dijital terazide ağırlığı ölçülmüştür. İlk ağırlık ile son ağırlık arasındaki fark hesaplanarak belirlenen şartlar için aşınma miktarının değeri bulunmuştur. Pim-disk aşınma deneyinde diskin devir sayısının hesaplanması işlemi için geleneksel imalat yöntemlerinde kesicilerin devir sayısının hesaplanmasında kullanılan Denklem 5.1.'deki formül kullanılabilir.

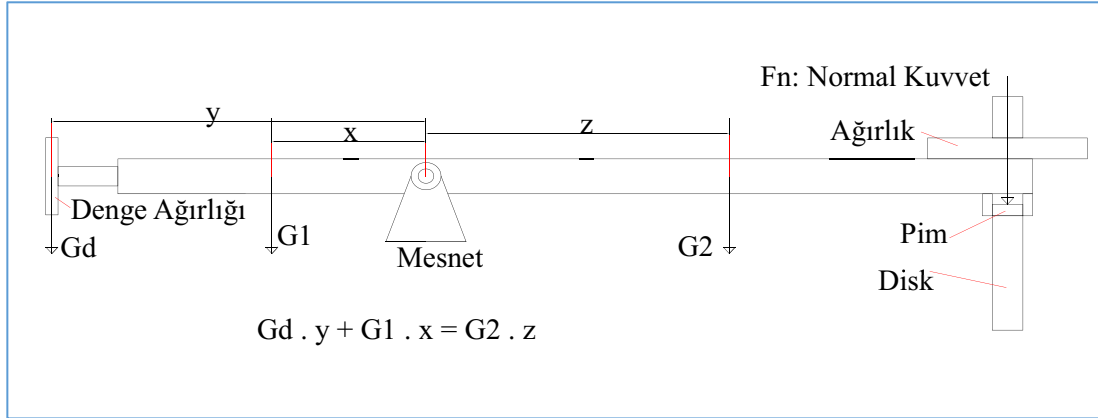
$$n = 60 \times V \times 1000 / \pi \times D \quad (5.1.)$$

V : Kayma hızı, m/s,

D : Pim iz çapı, mm,

n : Diskin devir sayısı, d/d

Normal kuvvet, pim-disk aşınma mekanizmasındaki moment mekanizmasından dolayı Şekil 5.16'da görüldüğü gibi uygulanmaktadır.



Şekil 5.16. Pim-disk aşınma mekanizmasının moment-kuvvet şeması

Yük koluna konulacak ağırlığın hesaplanmasında aşağıda Denklem 5.2. formülü kullanılır.

$$W = F_N / 10 \text{ (Formül kesirli yazılacak)} \quad (5.2.)$$

W : Ağırlık, kg

F_N : Diske uygulanan normal kuvvet, N

Aşınma deneyleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir ve farklı yağlayıcı ortamları için yapılan deney şartları Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Yakıtlar için deney şartları

Yol(m)	Hız(m/s)	Süre(dk)	Süre(sn)	Ağırlık(N)	Yakıt
3000	1	50	3000	10	Hepsi
3000	1	50	3000	20	Hepsi
3000	1	50	3000	30	Hepsi
3000	3	16,66	1000	10	Hepsi
3000	3	16,66	1000	20	Hepsi
3000	3	16,66	1000	30	Hepsi
3000	5	10	600	10	Hepsi
3000	5	10	600	20	Hepsi
3000	5	10	600	30	Hepsi

Yukarıda biyodizel için verilen deney şartlarının tamamı motorin ve emülsiyon yakıtlar içinde aynı şekilde uygulanmıştır.

5.6. Mikroyapı İncelemeleri

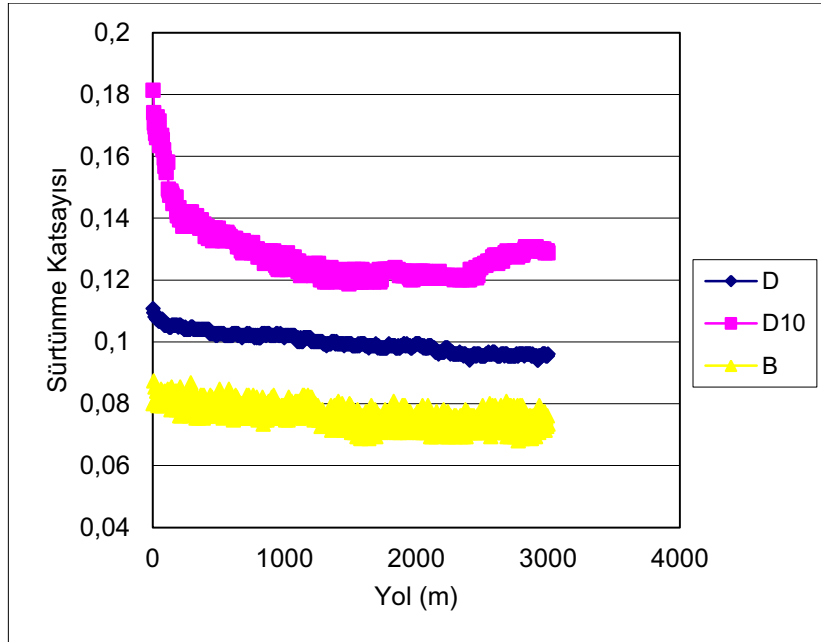
Aşınma testlerinden sonra, ağırlıkları tekrar ölçülmüş olan aşınmış deney numunesi pimlerinin yüzeyleri optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Metalografik olarak hazırlanan deney numunesi yüzeylerinde mikroskobik incelemeler ve aşınma izleri ölçümleri Nikon Eclipse L150A ışık mikroskobu ve buna bağlı çalışan bir Clemex dijital kamera ile alınan görüntüler üzerinden Clemex Vision Lite görüntü analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.17. Nikon Eclipse L150A ışık mikroskobu

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE BULGULAR

Aşınma deney düzeneğinde pim numuneler 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s hızlarında ve 10 N, 20 N, 30 N' luk yüklerde teste tabi tutulmuştur. Deney sırasında B (saf biyodizel), D (saf dizel), D10 (saf dizel-%10 su) yakıtları kullanılmıştır. 3000 m' lik yolun kat edildiği testlerde 1m/s' lik, 3 m/s' lik ve 5 m/s'lik hızlar için veriler alınmıştır. Dijital gösterge, load cell ve bilgisayar vasıtası ile sürtünme katsayısı değerleri tespit edilmiş ve eş zamanlı olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Aşınmaya tabi tutulan pim numuneleri deney öncesi ve deney sonrası aseton ile silinmiş ve ağırlıkları hassas terazi ile ölçülerek aşınma miktarları tespit edilmiştir. Pimin monte edildiği kolun eğiminin 0 olması için kol üzerindeki denge terazisinin kontrolü yapılmış, ardından ağırlıklar yerleştirilmiştir. Hızlar elektronik cihaz vasıtası ile ayarlanmıştır.



Şekil 6.1. 30 N yük altında 5 m/s sabit disk dönme hızında yol miktarına göre sürtünme katsayısı değişimi grafiği

Şekil 6.1.'de 5 m/s sabit disk dönme hızında 30 N yük uygulandığında load cell yük hücresi ile ölçülen anlık sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir. Deneyler

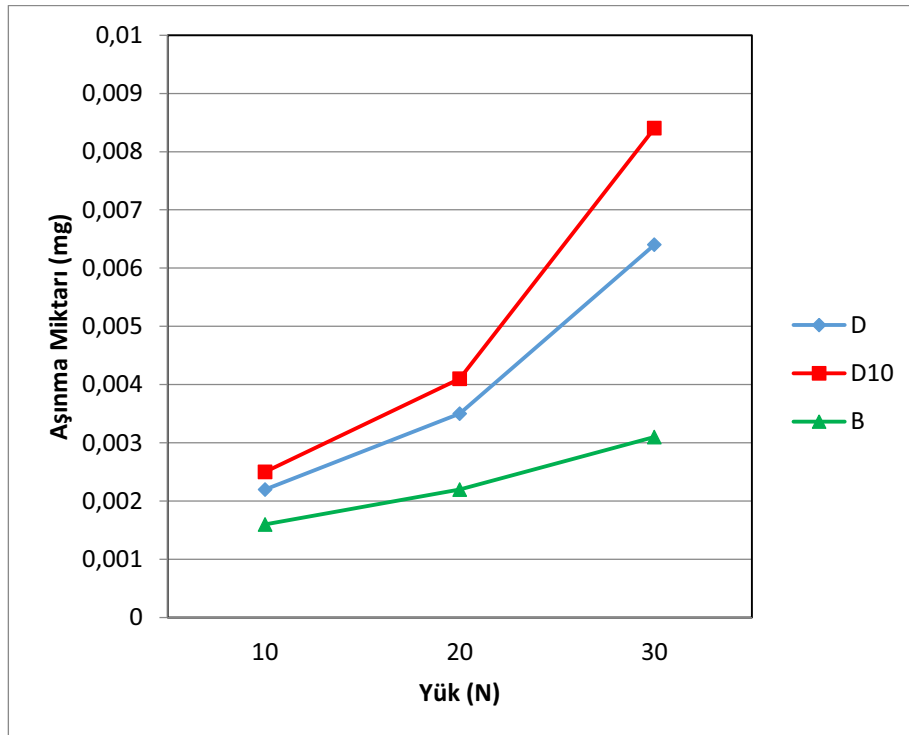
sonucu elde edilen bu grafiklerdeki değerlerin ortalama değerleri alınarak sürtünme katsayısı değişim grafikleri elde edilmiştir. Tüm veriler bilgisayarda kaydedilmiştir.

6.1. Aşınma Miktarı

Deney düzeneğinde hız değişimine ve yük değişimine göre aşınma miktarı değişimi incelenmiştir. 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s sabit disk hızlarında 10 N, 20 N, 30 N yükler için yapılan deneylerde disk ile temas halinde bulunan pim malzemesindeki aşınma miktarı hassas terazi yardımı ile tespit edilmiştir. Pim malzemesi deney düzeneğine bağlanmadan önce aseton ile silinmiş ve hassas terazide ölçülmüştür. Deney sonunda pim ikinci kez ölçülmüş ve deney nedeni oluşan madde kaybının ağırlığı tespit edilmiştir.

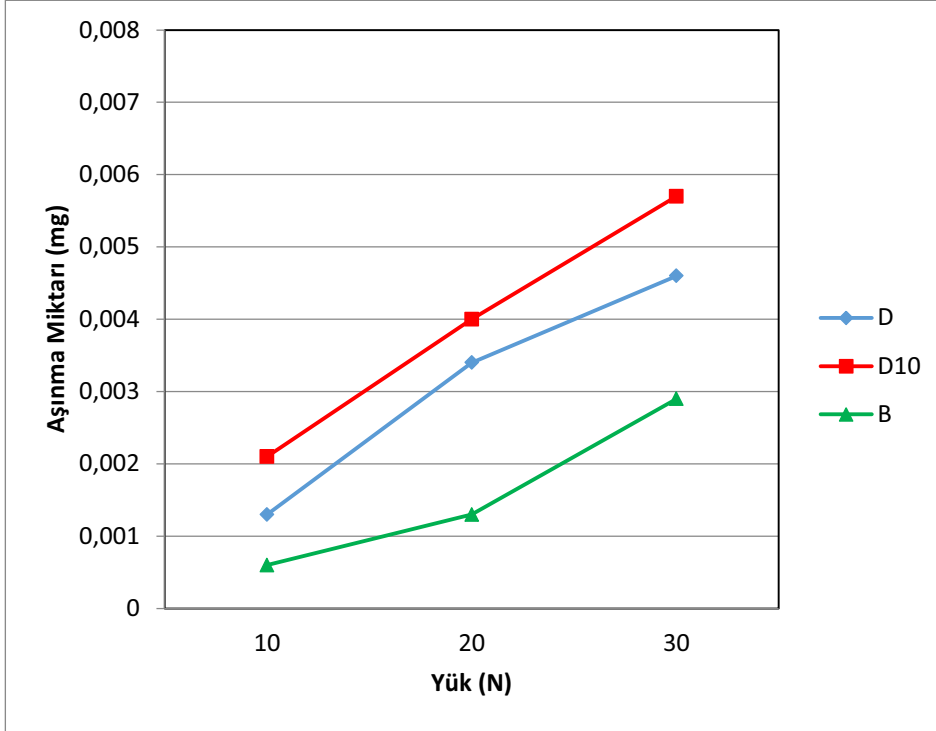
6.1.1. Yük Değişimine Göre Aşınma Miktarı

Yük artışıının kontak bölgelerinde plastik deformasyonları arttırarak temas alanlarını arttırdığı bunun ise aşınma miktarının artışına yol açtığı düşünülmektedir.



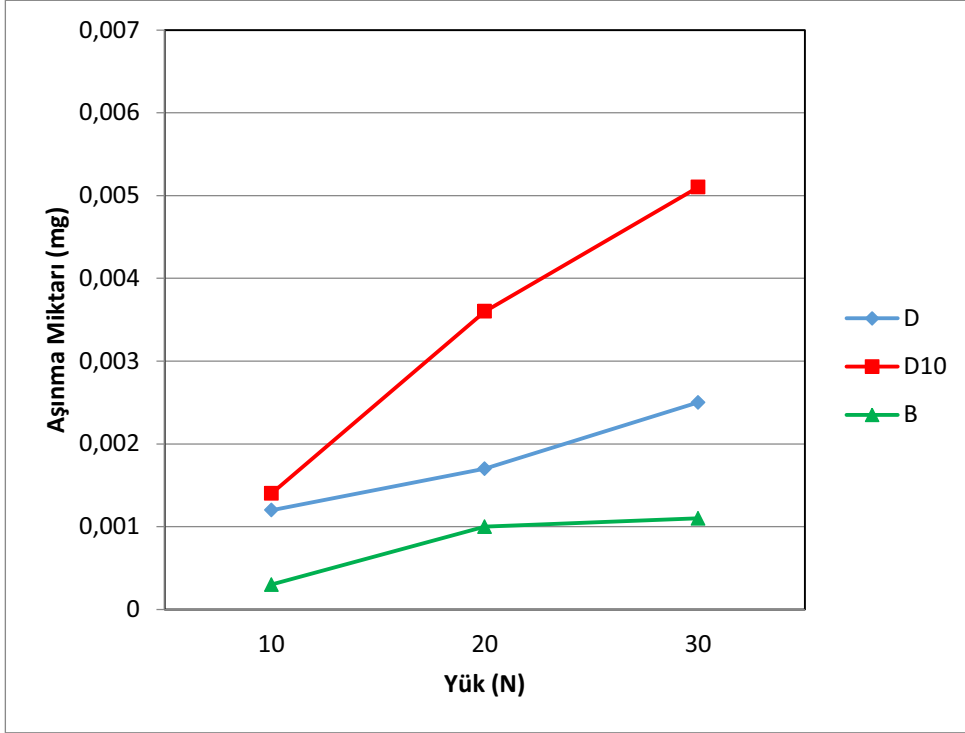
şekil 6.2. 1 m/s sabit hız için ağırlık değişimine göre aşınma değişimi grafiği

Şekil 6.2’de D, D10, B yakıtlarının kullanımı sonucu 1 m/s hızda elde edilen yük değişimine bağlı aşınma değerleri değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde yük arttıkça tüm yakıtlarda aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen aşınma değerlerinde hafif bir artış eğilimi gözlenmiştir. Benzer bilimsel çalışmalarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir [89, 90]. En düşük aşınma değeri 10 N yükte ve biyodizel yakıtıyla elde edilmiştir. En büyük aşınma miktarı 30 N yükte ve D10 yakıtıyla elde edilmiştir. D10 yakıtının aşınma değerleri incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 64, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 104 oranında artmıştır. D yakıtının aşınma değerleri incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 59, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 82 artmıştır. B yakıtının aşınma miktarı incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 37, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 40 artmıştır. 20 N yük değerinden sonra eğimde değişim olmuştur ve aşınma miktarında daha belirgin bir artış görülmektedir. Bu durumun temel nedeninin yük artışı etkisi ile yağ filmi yırtılma miktarının artması ve metal metal teması ile sonucu oluşan adhezyon sürtünmesi nedeni ile oluşan aşınmanın artmasıdır. Ayrıca yük artışının abrasif aşınmaya neden olan yüzeyler arasına aşındırıcı parçacık sıkışması durumunu arttırdığı düşünülebilir. Yakıtlar incelendiğinde özellikle viskozitesi yüksek biyodizel yakıtının yük artışının olumsuz etkisine daha dirençli olduğu görülmektedir. Viskozitenin film sürtünme için temel değişken olduğu anlaşılmaktadır [89, 90].



Şekil 6.3. 3 m/s sabit hız için yük değişimine göre aşınma değişimi grafiği

Şekil 6.3 3 m/s sabit disk hızında 10 N, 20 N, 30 N yükler altında D, D10 ve B yakıtları kullanımında pimdeki aşınma miktarı değişimini veren grafikdir. Yük artışıyla birlikte tüm yakıtlar için aşınma değerlerinde belirgin bir artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [89, 90]. Grafik incelendiğinde en düşük aşınma değerinin 10 N yükte ve biyodizel yakıtıyla elde edildiği görülmektedir. En büyük aşınma değeri 30 N yükte ve D10 yakıtıyla elde edilmiştir. D10 yakıtının aşınma değişimi incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 90, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 42 artmıştır. D yakıtının aşınma değerleri incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 161, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 35 artmıştır. B yakıtının aşınma miktarı incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 116, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 123 artmıştır. D ve D10 yakıtlarının aşınma değerleri değişimleri birbirine daha benzer olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtının viskozitesinin belirgin olarak diğer iki yakıtın viskozitesinden yüksek olmasının bu farka yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır.

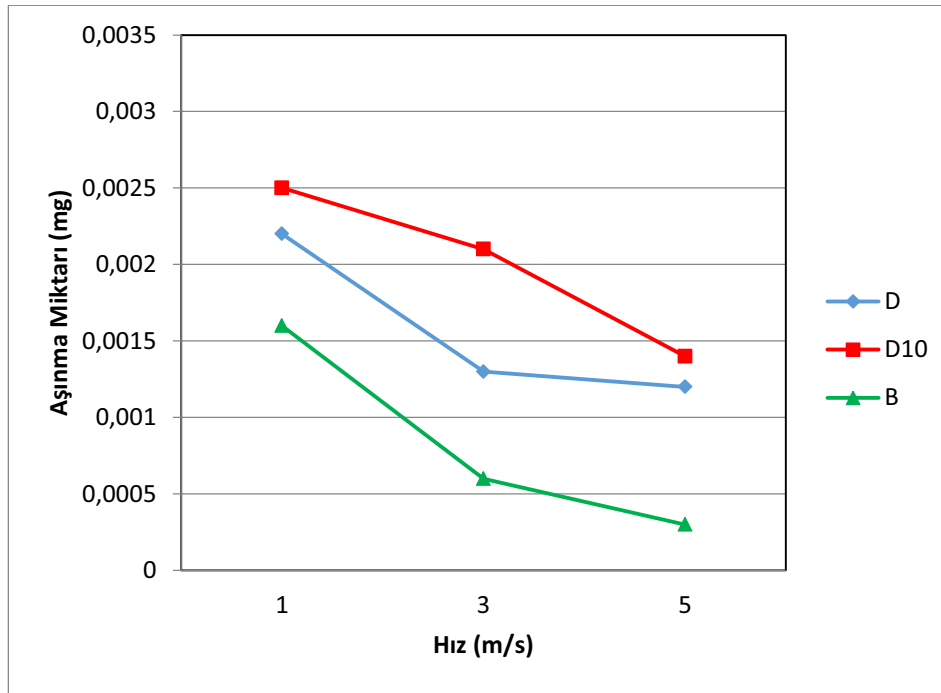


Şekil 6.4. 5 m/s sabit hız için ağırlık değişimine göre aşınma değişimi grafiği

Şekil 6.4 5 m/s disk hızında pim üzerinde oluşan aşınma miktarını veren grafikdir. Veriler incelendiğinde yük artışına paralel olarak aşınma miktarının da bütün yakıtlarda hafifçe artmakta olduğu verilerden tespit edilmiştir. 10 N yükte en yüksek aşınma değeri D10 yakıtında, en düşük aşınma değeri B yakıtında gözlenmiştir. 30 N ağırlıkta en düşük değer B yakıtında, en yüksek değer D10 yakıtında gözlenmektedir. Benzer nitelikli araştırmalarda da ulaşılan sonuçlar birbirine oldukça yakındır [89, 90]. Deney sonucunda en düşük aşınma değeri 10 N yükte ve biyodizel yakıtıyla elde edilmiştir. En yüksek aşınma değeri 30 N yükte ve D10 yakıtında elde edilmiştir. D10 yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkışta aşınma miktarı % 157, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 41 artmıştır. D yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkışta aşınma miktarı % 41, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 47 artmıştır. B yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 10 N yükten 20 N yüke çıkışta aşınma miktarı %233, 20 N yükten 30 N yüke çıkıldığında aşınma miktarı % 10 artmıştır. Aşınma değerleri incelendiğinde viskozitenin film sürtünmede temel parametre olduğu anlaşılmıştır. En yüksek viskoziteye sahip biyodizel yakıtıyla tüm yüklerde en düşük aşınma miktarları elde edilmiştir.

6.1.2. Hız Değişimine Göre Aşınma Miktar

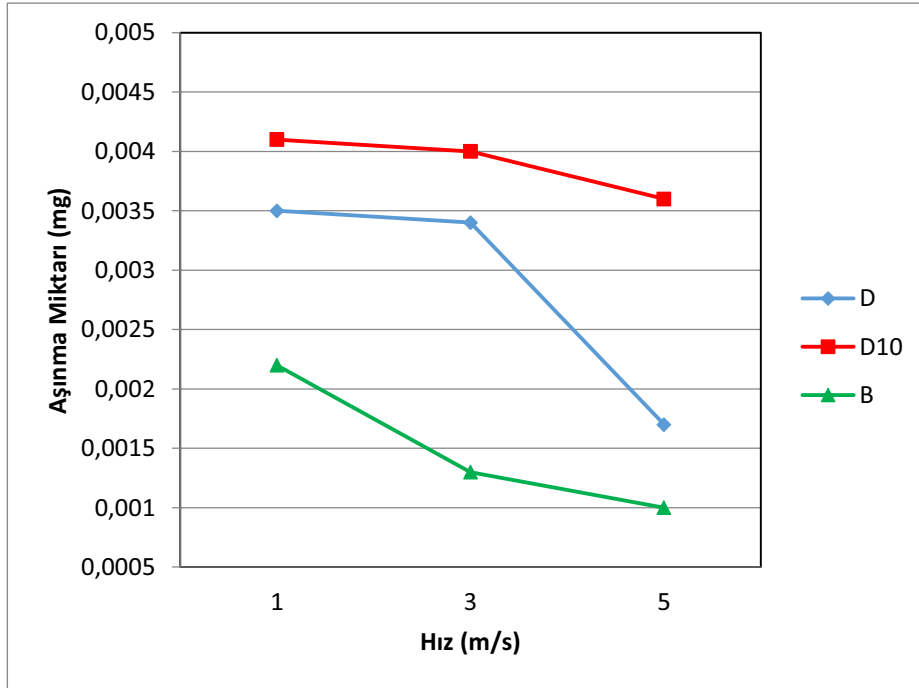
Sıvı film sürtünmesi ve sınır sürtünmesi durumları incelendiğinde malzeme kaybına yol açan temel nedenlerin yağ film tabakasının yırtılması sonucu oluşan metal metal temasına bağlı parçacıkların aşındırıcı olduğu anlaşılmaktadır. Hız artışına göre aşınma grafikleri incelendiğinde bu grafiklerde gözlenen aşınmanın hız artışı ile azalması durumunun temel nedeninin hız artışının film tabakayı kalınlaştırması nedeniyle film yırtılmasının azalması sonucunda adhesyon aşınmasının azalması ve iki metal yüzey arasında abrasif parçacık sıkışmasının azalması nedeniyle abrasif aşınmanın azalmasıdır. Disk dönme hareketinin yarattığı merkezkaç kuvvetinin metal yüzeyler arasına abrasif aşındırıcı parçacık sıkışmasını zorlaştırdığı ve hız artışının bu tip abrasif parçacıkların sürtünme bölgesinden uzaklaşmasını kolaylaştırarak aşınma azalmasına olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir.



Şekil 6.5 10 N sabit ağırlık için hız değişimine göre aşınma miktarı değişimi

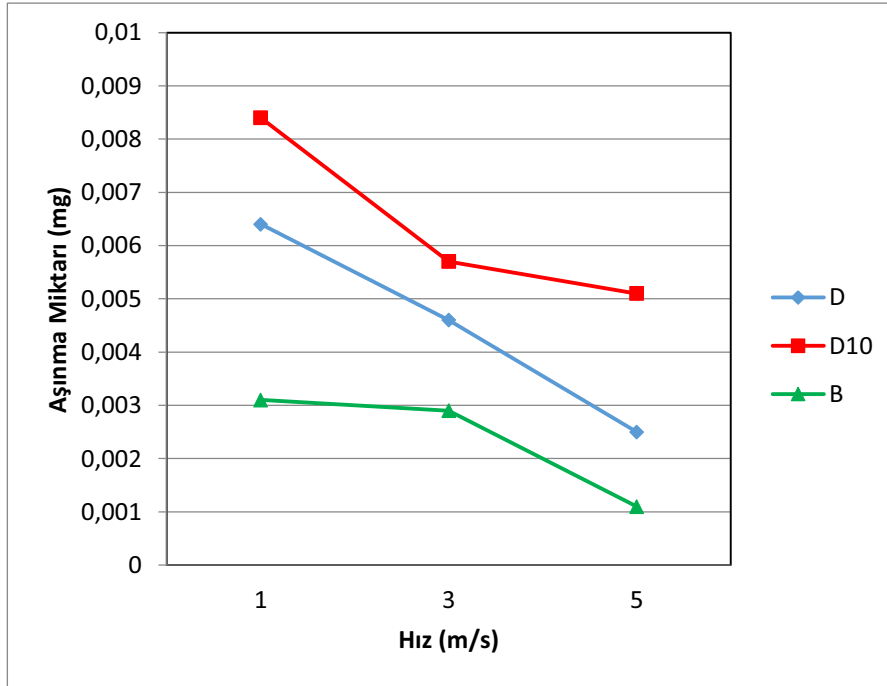
Şekil 6.5' de 10 N yük için hızdaki artışa göre aşınma miktarındaki değişim verilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün yakıtlarda hız arttıkça aşınmanın hafifçe azaldığı görülmektedir. Diğer bazı çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [89, 91, 92]. En fazla aşınmanın 1m/s hızda ve D10 yakıtıyla elde edildiği tespit

edilmiştir. En az aşınmanın 5 m/s hızda biyodizel yakıtı kullanımında elde edildiği gözlenmiştir. 10 N sabit yükte D10 yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 16, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 33 azalmıştır. D yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 40, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 7,69 azalmıştır. B yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 62, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 50 azalmıştır. 3 m/s değerinden sonra aşınma eğiliminde farklılıklar saptanmıştır. Bu durumun muhtemel sebepleri yağ filminin özelliklerinin hız değişiminden olumlu yönde etkilenmesi sonucu film tabakanın kalınlaşması ve film yırtılmasıyla oluşan metal-metal temasının azalması, hız artışı ile kuvvetlenen hidrodinamik yağlamanın film tabakasının kalınlığını arttırması nedeniyle abrasif parçacık sıkışmasının azalması olduğu düşünülmektedir. Kısaca durumun temel sebebinin disk dönme hızı artışının hidrodinamik yağlama filmi oluşumunu iyileştirmesi olduğu düşünülebilir [89, 91, 92]. Yüksek viskozite etkisi nedeniyle her durumda biyodizelin en düşük aşınma miktarına sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.6 20 N sabit ağırlık için hız değişimine göre aşınma miktarı değişimi

Şekil 6.6' de 20 N sabit yük altında aşınma miktarının disk dönme hızına göre değişimi verilmektedir. Grafikteki tüm yakıtların eğrileri benzer eğilime sahiptir ve hız arttıkça aşınma belirgin biçimde azalmaktadır. Yapılan farklı bilimsel çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [89, 91, 92]. Grafik incelendiğinde en yüksek aşınmanın D10 yakıtı için 1 m/s hızda meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük aşınma miktarı 5 m/s hızda biyodizel yakıtıyla elde edilmiştir. 20 N sabit yükte D10 yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 2,4, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 10 azalmıştır. D yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 2,8, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 50 azalmıştır. B yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 40,9, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 23 azalmıştır. 3 m/s hızdan sonra eğimde görülen değişimin hız artışının yağ filmi oluşumuna olan etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. D yakıtıyla elde edilen aşınma değerlerinin 3 m/s hızdan 5 m/s hıza geçişte çok hızlı artmasının nedeninin aniden oluşan kalın film tabakası veya mevcut film tabakasının aniden kalınlaşması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.7 30 N sabit ağırlık için hız değişimine göre aşınma miktarı değişimi

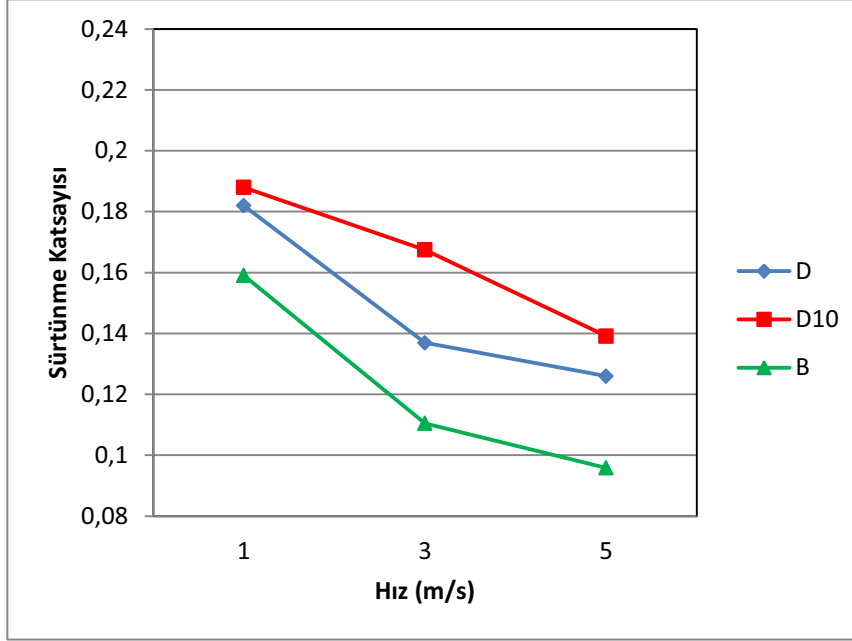
Şekil 6.7 30 N sabit yükte aşınmanın hızla bağlı değişimini veren grafiklerdir. Üç yakıtın grafiklerinin benzer yapıda olduğu görülmektedir. Hız artışı ile bütün yakıtlarda aşınma miktarı belirgin biçimde azalmaktadır. Yapılan farklı bilimsel çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [89, 91, 92]. En büyük aşınma miktarı D10 yakıtında ve 1 m/s hızda elde edilmektedir. En düşük aşınma miktarı 5 m/s hızda biyodizel yakıtında gözlenmektedir. 30 N sabit yükte D10 yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 32, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 10 azalmıştır. D yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 28, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 45 azalmıştır. B yakıtının aşınma davranışı incelendiğinde 1 m/s hızdan 3 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 6,4, 3 m/s hızdan 5 m/s hıza çıkıldığında aşınma miktarı % 62 azalmıştır. D10 ve biyodizel yakıtının grafiklerinin eğiminin 3 m/s hızdan sonra belirgin şekilde değiştiği gözlenmiştir. 3 m/s hız değerinden sonraki değişimin hız artışının yağlayıcı film oluşumuna olan olumlu etkisine bağlı olduğu düşünülmektedir. Viskozitesi yüksek yakıt olan biyodizel yakıtında bütün hız değerlerinde en düşük aşınma miktarının elde edildiği görülmüştür. Düşük viskoziteli yakıtlarda hız artışının aşınmayı azaltmada daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Hız artışının düşük viskoziteli yakıtlarda viskoz sürtünmenin daha az olması nedeniyle film oluşumuna daha olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir.

7.2. Sürtünme Katsayısı

Sürtünme katsayısı ile ilgili olarak; grafikler deneyler sonucu elde edilen bulguların ortalamalarından sağlanan verilere ait grafiklerdir. Yorumlar öncelikle bu ortalama değerlere göre yapılacaktır. Test yakıtlarıyla elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin tamamı, test düzeneğindeki diskin kat ettiği yol dikate alınarak hesaplanmıştır. 3000 m' lik yolun kat edildiği testlerde 1m/s' lik, 3 m/s' lik ve 5 m/s'lik hızlar ve 10 N, 20 N, 30 N yükler için veriler alınmıştır. Grafiklerin daha kolay biçimde açıklanabilmesi ve ortak bir grafik oluşturulabilmesi için elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve değişimler yorumlanmıştır.

6.2.1. Hız Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı

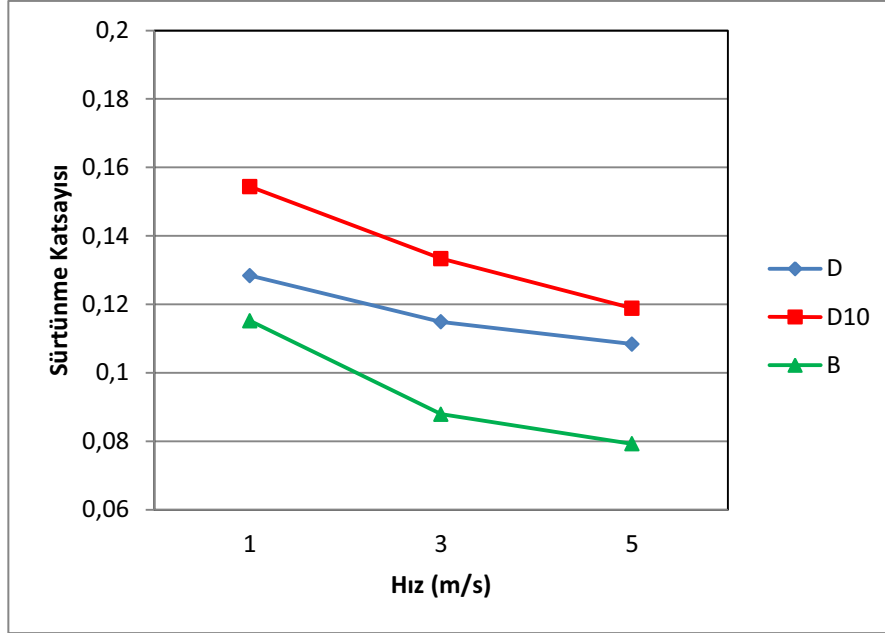
Deney verilerine göre hız artışının hidrodinamik yağlamayı iyileştirerek sürtünme katsayısının düşmesine yol açtığı düşünülmektedir.



Şekil 6.8 10 N yük için hız değişimine bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimi veren grafik

Şekil 6.8' de 10 N yük altında, hızdaki değişime göre sürtünme katsayısındaki değişim verilmiştir. Grafik incelendiğinde üç yakıtın eğilimi benzer özellikler göstermektedir. Hız arttıkça yağ filminin hız artışından olumlu etkilenmesi nedeniyle sürtünme katsayısı hafifçe düşmektedir. Benzer sonuçlar diğer araştırmalarda da elde edilmiştir [91, 93]. Tüm hız değerleri dikkate alındığında en yüksek sürtünme katsayısına D10 yakıtı sahip iken en düşük sürtünme katsayısı değerlerine biyodizel yakıtı sahiptir. B ve D yakıtları eğrileri benzer değişim göstermektedir. Tüm sabit yüklerdeki hıza göre sürtünme katsayısındaki değişim incelendiğinde bütün sabit yük değerlerinde benzer eğilimler görülmektedir. Hız artışı ile birlikte sürtünme katsayısı bütün yakıtlar için hafifce azalmaktadır. Bu durumun temel nedeninin hız artışının hidrodinamik film oluşumuna olumlu katkı yapması olduğu düşünülmektedir. Hidrodinamik yağ filminin kalınlaşması nedeniyle yırtılmasının azalması metal metal temasını azalttığı için sürtünme katsayısının düşmesine yol açmaktadır [91, 93].

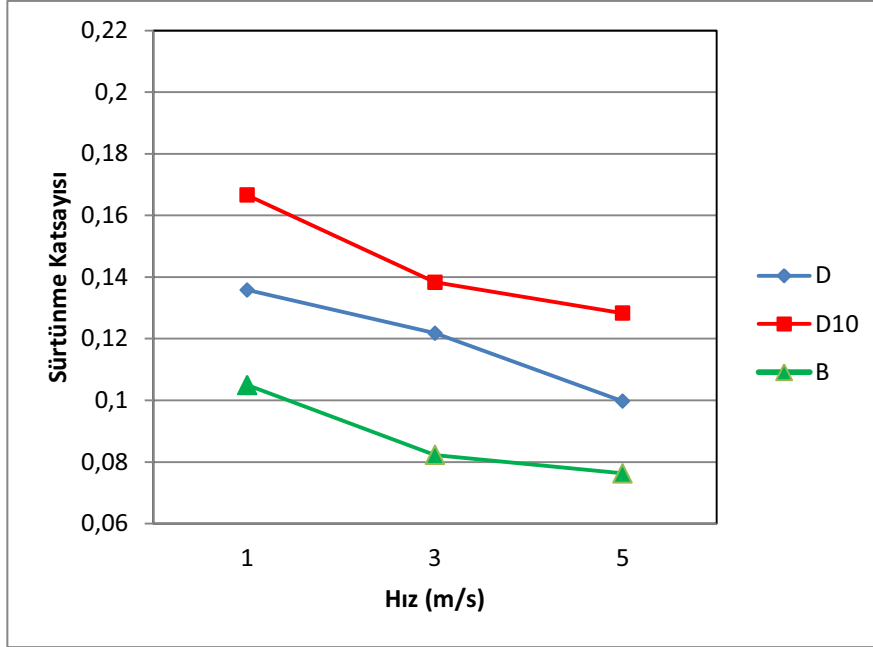
Kalın yağ filminin abrasif parçacık sıkışması olasılığını azaltmasının abrasif aşınmayı azaltıcı yönde tesir ettiği de düşünülmektedir.



Şekil 6.9 20 N yük altında hız değişimine göre sürtünme katsayısı değişimi grafiği

Şekil 6.9' de 20 N sabit yük altında, disk dönme hızındaki değişime göre sürtünme katsayısındaki değişim verilmektedir. Üç yakıtın eğrileri de benzer özelliklere sahiptir. Hız arttıkça yağ filminin etkisi ile sürtünme katsayısı hafifçe düşmektedir. Benzer sonuçlar diğer araştırmalarda da elde edilmiştir [91, 93]. En yüksek sürtünme katsayısı D10 yakıtında ve 1 m/s hız değerinde görülmektedir. En düşük sürtünme katsayısı 5 m/s hız değerinde ve biyodizel yakıtıyla elde edilmiştir. Tüm hız değerlerinde en yüksek sürtünme katsayısına D10 yakıtı sahip iken en düşük sürtünme katsayısı değerlerine biyodizel yakıtı sahiptir. En yüksek viskoziteli biyodizel yakıtının bütün hız değerlerinde en düşük sürtünme katsayısına sahip olması viskozitenin temel parametre olduğunu kanıtlamaktadır. Hız artışı ile hidrodinamik film oluşumu olumlu etkilenmiş ve film kalınlığı artmıştır. Artan film kalınlığı nedeni ile aşınma ürünü abrasif parçacıkların iki yüzey arasına sıkışma miktarı azalmış ve sürtünme katsayısı düşmüştür. Hız artışı ile oluşan merkezkaç etkisi nedeni ile aşındırıcı parçacıklar bölgeden daha kolay uzaklaşmıştır. Yüksek hızın pürüz tepelerinin aşınmasını ve yüzeylerin birbirine alışmasını kolaylaştırarak

adhezyon etkisini ve deformasyon bileşeni etkisini azalttığı ve bu nedenle sürtünme katsayısının azaldığı düşünülmektedir.

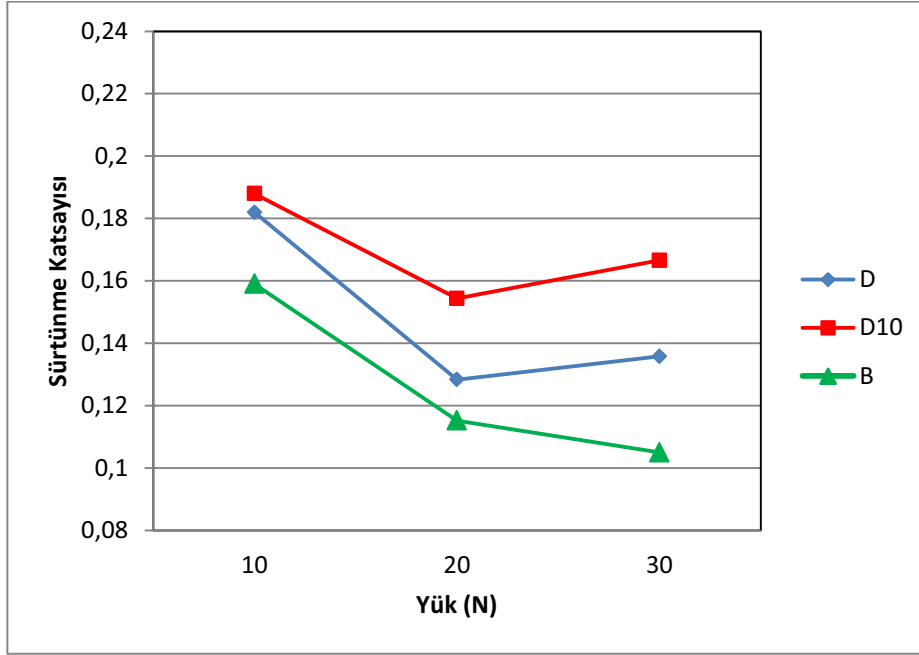


Şekil 6.10 30 N yük altında hız değişimine göre sürtünme katsayısındaki değişimi veren grafik

Şekil 6.10' da aşınma test deney düzeneğinde sabit 30 N yük uygulandığında, disk dönme hızındaki değişime göre sürtünme katsayısındaki değişiminin grafiği verilmiştir. Üç yakıtın eğrileri de benzer özellikler göstermektedir. Hız arttıkça yağ filminin etkisi ile sürtünme katsayısı hafifçe düşmektedir. Benzer sonuçlara diğer araştırmalarda da ulaşılmıştır [91, 93]. En yüksek sürtünme katsayısı D10 yakıtında ve 1 m/s hız değerinde elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 5 m/s hız değerinde ve biyodizel yakıtında elde edilmiştir. Tüm hız değerlerinde en yüksek sürtünme katsayıları D10 yakıtı ile elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değerleri biyodizel yakıtı ile elde edilmiştir. Hız arttıkça sürtünme katsayısının düşmesinin temel nedeni hidrodinamik film oluşumunun iyileşmesi ve yağ film kalınlığının artmasıdır. Viskozitenin yakıtların sürtünmesinde temel belirleyici olduğu anlaşılmıştır. Yüksek viskoziteli biyodizel yakıtının en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu anlaşılmıştır.

6.2.2. Yük Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı

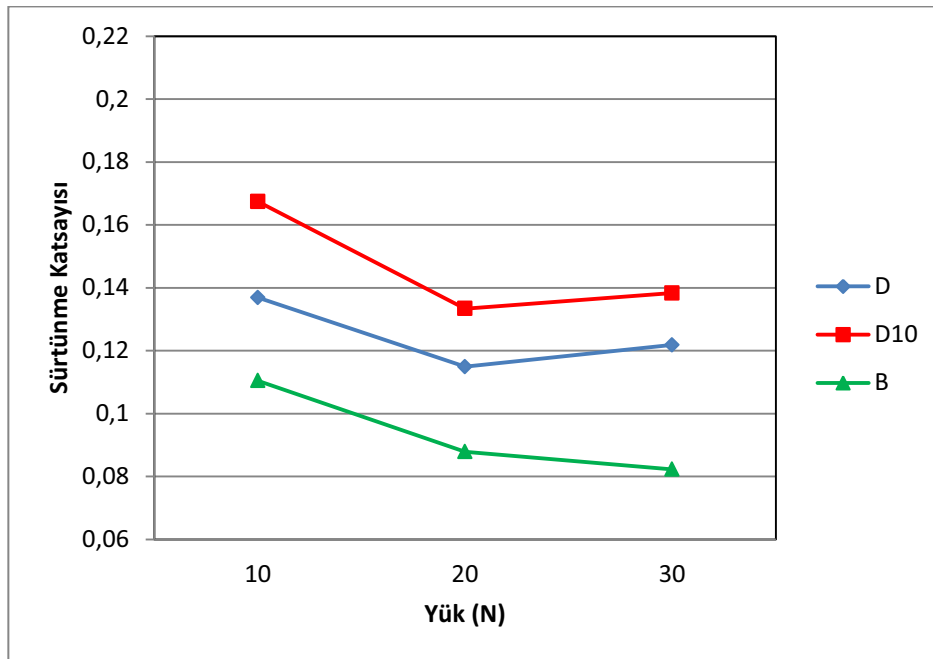
Deney verileri incelendiğinde yük artışı ile oluşan temas alanı artışının ve yük artışının hidrodinamik yağlamaya etkisinin temel parametreler olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.11 1 m/s sabit disk hızında yükteki değişime bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim

Şekil 6.11 1 m/s sabit disk dönme hızında yükteki değişime bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişime ait grafikdir. Grafik incelendiğinde yük arttıkça sürtünme katsayısının hafifce azaldığı tespit edilmektedir ve benzer durum diğer araştırmalarda da gözlenmiştir [94, 95]. D ve D10 yakıtı eğrileri benzer özellik gösterir iken biyodizel yakıtı eğrisi daha farklı bir eğilim göstermiştir. D ve D10 yakıtları 20 N yükte minimum sürtünme katsayısına sahip iken B yakıtı 30 N yükte minimum sürtünme katsayısına sahiptir. D ve D10 yakıtları için en büyük sürtünme katsayısı 10 N yükte elde edilmiştir. Tüm yakıtların sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde en düşük sürtünme katsayısı biyodizel yakıtı için 30 N yükte elde edilmiştir. 1 m/sn sabit hızda yük artışında daha düşük viskoziteli yakıtlar olan D ve D10 yakıtlarında sürtünme katsayısı önce azalmış daha sonra artmış daha yüksek viskoziteli biyodizelde ise sürekli azalmıştır. Düşük viskoziteli yakıtlarda yük artışı öncelikle hidrodinamik kama oluşumuna olumlu tesir etmiş ve sürtünme katsayısını

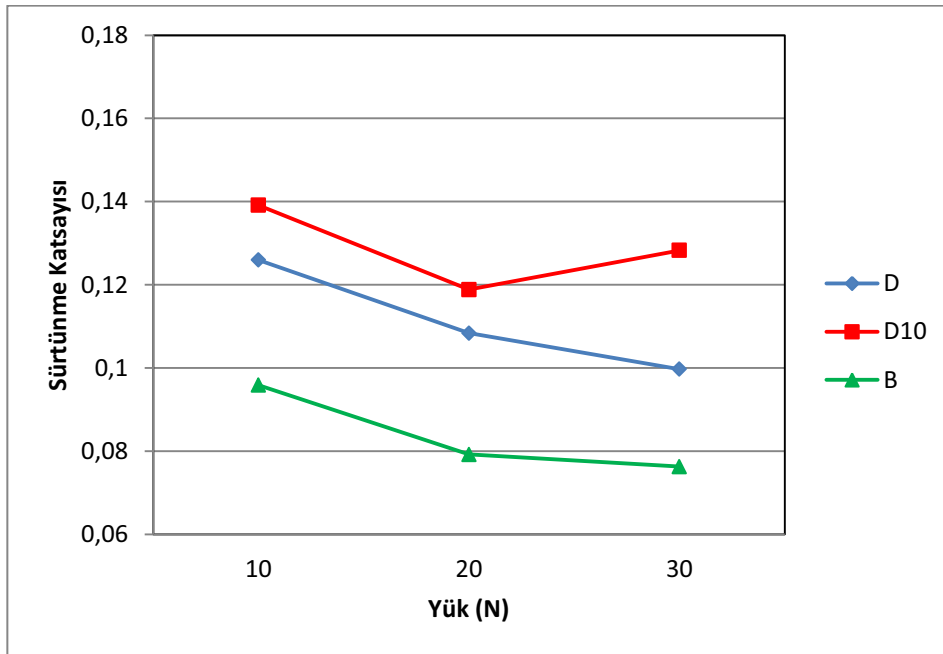
azaltmış iken daha sonra devam eden yük artışı viskozitenin düşüklüğü nedeni ile yağ filmi yırtılmalarını arttırmıştır. 20 N' dan daha büyük yük altındaki metal metal temasında plastik deformasyonlar etkisi ile kontak temas alanı artmış ve sürtünme katsayısı yükselmiştir. Yüksek viskoziteli biyodizel yakıtının yüke dayanımı fazla olduğu için artan yük karşısında hidrodinamik film oluşumu iyileşmiş buna karşılık yük nedeniyle film yırtılmasında belirgin bir artış olmamış ve bu nedenle sürtünme katsayısı sürekli azalmıştır [94, 95]. Yüksek viskoziteli biyodizel yakıtının en düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu ve viskozitenin temel belirleyici parametre olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6.12 3 m/s sabit disk hızı için yükteki değişme bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim

Şekil 6.12 3 m/s sabit disk dönme hızı değeri için yükteki artışa göre sürtünme katsayısındaki değişime aittir. Grafik incelendiğinde yük arttıkça sürtünme katsayısının hafifce azaldığı gözlenmektedir ve benzer durum diğer araştırmalarda da gözlenmiştir [94, 95]. D ve D10 yakıtlarının değişimleri benzer özelliklere sahip iken biyodizel yakıtında daha farklı değişim tespit edilmiştir. D ve D10 yakıtlarında maksimum sürtünme katsayısı 10 N yükte tespit edilmiş iken minimum sürtünme katsayısına 20 N yükte tespit edilmiştir. En büyük sürtünme katsayısı D10 yakıtı için 10 N yükte elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı biyodizel yakıtıyla 30 N yükte elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde hız artışı ile düşük viskoziteli yakıtların

yük artışı karşısındaki sürtünme katsayısı değişimlerinin daha olumlu olduğu söylenebilir. D ve D10 yakıtlarının sürtünme katsayıları yük artışı durumunda öncelikle azalmış fakat belli bir değerden daha fazla yük ile karşılaşmaya başlayınca düşük viskozite nedeniyle yağ filmi yüke dayanamayıp daha fazla yırtılmaya başlamış ve oluşan metal metal teması nedeniyle sürtünme katsayısı yükselmeye başlamıştır [94, 95]. 20 N' dan daha büyük yük altındaki metal metal temasında plastik deformasyonlar etkisi ile kontak temas alanı artmış ve sürtünme katsayısı yükselmiştir. Yük artışı karşısında yüksek viskoziteli biyodizel yakıtı daha düşük sürtünme katsayılarına sahip olmuştur. Viskozitenin sınır sürtünme şartlarında en önemli parametre olduğu anlaşılmıştır.

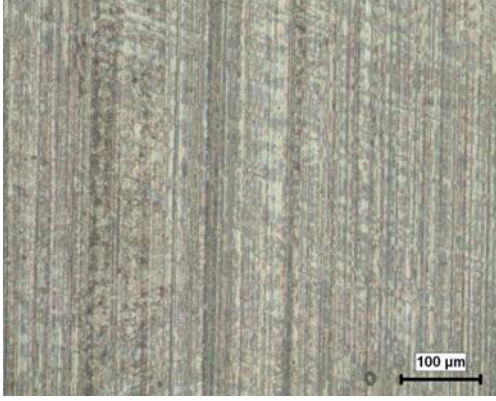


Şekil 6.13 5 m/sn sabit disk hızında yükteki değişime bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim

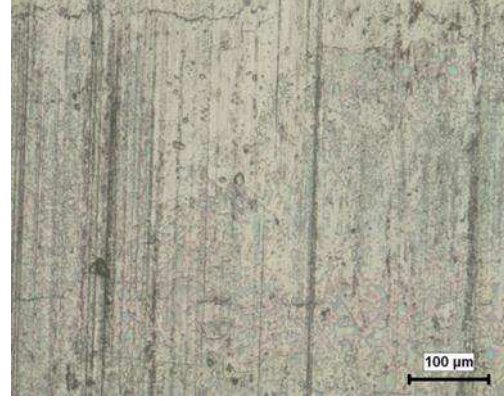
Şekil 6.13 5 m/s sabit disk dönme hız değeri için yükteki artışa göre sürtünme katsayısındaki değişimin grafiğidir. Grafik incelendiğinde yük arttıkça sürtünme katsayısının hafifce azaldığı gözlenmektedir ve benzer durum diğer bazı araştırmalarda da gözlemlenmiştir [94, 95]. D ve biyodizel yakıtlarının sürtünme katsayısı değişimi benzer özelliklere sahip iken D10 yakıtının değerleri farklı değişime sahiptir. En büyük sürtünme katsayısı D10 yakıtı için 10 N yükte tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı biyodizel yakıtı için 30 N yükte gözlenmiştir. D10 yakıtı 20 N da en düşük sürtünme katsayısı değerine sahip iken biyodizel ve D

yakıtları 30 N yükte en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. D ve D10 yakıtlarında en büyük sürtünme katsayısı 10 N yükte elde edilmiştir. D10 yakıtında yük artışı ile önce sürtünme katsayısı düşmüş belli bir değerden sonra ise sürtünme katsayısı yükselmiştir. Başlangıçta hidrodinamik film oluşumuna olumlu katkı yapan yük artışı daha sonra düşük viskoziteli yakıtta film yırtılmasına yol açarak sürtünmeyi arttırmıştır. 20 N' dan daha büyük yük altındaki metal metal temasında plastik deformasyonlar etkisi ile kontak temas alanı artmış ve sürtünme katsayısı yükselmiştir. Biyodizel yakıtında ise yük artışı ile daimi olarak sürtünme katsayısı düşmüştür. Sabit hız değerlerinde yükteki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim incelendiğinde viskozitenin hız ve yük değişimleri durumundaki sürtünme davranışında en etkili parametre olduğu anlaşılmıştır. Hız artışı düşük viskoziteli yakıtlar için daha belirgin faydalı etkiye sahiptir. Çünkü hem viskoz sürtünme daha az olmakta hem de hidrodinamik yağlama şartları iyileşmektedir. Yüksek viskoziteli yakıt olan biyodizel için hız artışının etkisi daha sınırlıdır ve viskoz sürtünmeyi arttırmaktadır. Bu açıdan incelendiğinde yük artışına karşı biyodizelin daha dayanıklı olduğu ve hız artışının olumlu etkisinin yüksek viskoziteli biyodizel yakıtı için daha sınırlı olduğu anlaşılmaktadır [94, 95].

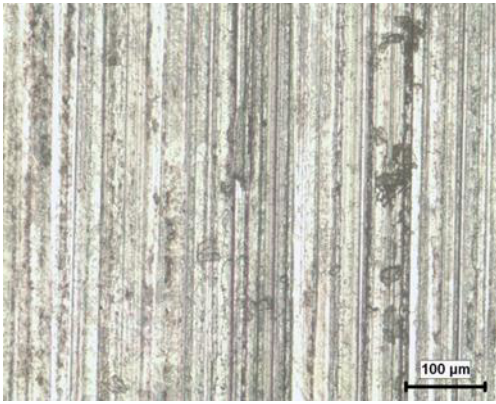
Biyodizel, motorin ve emülsiyon yakıtların kullanılması ile yapılan aşınma testi sonrası numunelerin yüzey mikro yapı görüntüleri Şekil 7.' de görülmektedir.



a-Biyodizel kullanımı



b-Motorin kullanımı



c-Emülsiyon yakıt kullanımı

Şekil 6.14 Deneyde kullanılan numunelerin aşınma yüzeyinin farklı dizel yakıt ortamında aşınma testi sonucundaki optik mikroskop görüntüleri (yük 20 N, hız 3 m/s)

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar üç yakıtın deney numunesi olarak kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Yakıtlar; dizel, su, emülgatör karışımından oluşan emülsiyon yakıt, saf dizel yakıtı ve saf biyodizel yakıtıdır. Deney süresince D, B, D10 yakıtlarının aşınma, sürtünme katsayısı değerleri sabit yük altında 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s hızlarında ve sabit hızlarda 10 N, 20 N, 30 N yükler altında gözlemlenmiştir. Deneyler sırasında load cell vasıtası ile ölçülen değerler kaydedilmiş ve bu değerlerin ortalaması alınarak deney grafikleri elde edilmiştir. Deneyler sırasında aşınma numunesi olarak kullanılan çelik pim numunenin deney öncesi ve deney sonrası ağırlık değerleri ölçülerek aşınma miktarları tespit edilmiştir.

Sabit hızlarda yük artışına göre aşınma miktarı değişim değerleri incelendiğinde bütün sabit hız değerlerinde yük artışı ile bütün yakıtlar için aşınma değerlerinde hafif bir artış olduğu gözlemlenmiştir. En az aşınma miktarı biyodizel yakıtında 5 m/s hızda ve 10 N yükte oluşmuştur. Her durumda en yüksek aşınma miktarı D10 yakıtıyla elde edilmiştir. Bu durumun daha önce yapılan diğer araştırmalar ile de uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Yük artışı ile birlikte oluşan basınç artışının yağ filminin anlık yırtılma sıklığını, metal metal kontağı süresini ve aşınma miktarını arttırdığı anlaşılmıştır.

Hız değişimine göre aşınma miktarı değişimi değerleri ve grafikler incelendiğinde sabit yüklerin hepsinde hız miktarı arttıkça aşınma miktarının hafifçe azaldığı gözlenmektedir. Bilimsel literatür ve daha önce yapılan araştırma sonuçları incelendiğinde benzer sonuçlara ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Yüksek viskoziteli biyodizel yakıtının aşınma miktarlarının diğer yakıtlardan daha az olduğu tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı biyodizel yakıtı için 5 m/s disk hızında ve 30 N yük altında tespit edilmiştir.

Sürtünme katsayısının disk dönme hızı ile değişimi grafiği incelendiğinde bütün sabit yük değerleri için hız artışı ile birlikte sürtünme katsayısında hafif bir düşme olduğu gözlenmektedir. Daha önce yapılan benzer nitelikli bilimsel araştırmalar incelendiğinde sonuçların tespit edilen deney sonuçlarını desteklediği anlaşılmaktadır. Disk dönme hızının artışının olumlu etkisi ile hidrodinamik film oluşumunun iyileştiği tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtının en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu anlaşılmıştır. Her şartta en yüksek sürtünme katsayısına D10 yakıtının sahip olduğu anlaşılmıştır.

Yük değişimine göre sürtünme katsayısında görülen değişimin grafikleri incelendiğinde yük değişimi ile birlikte bütün sabit hız değerlerinde sürtünme katsayısı değişiminin benzer özellik gösterdiği saptanmıştır. İncelenen bazı bilimsel araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Üç yakıt için de yük artışı ile birlikte sürtünme katsayısında görülen hafif azalışın temel nedeninin hidrodinamik yağlama koşullarının yük artışı etkisi ile güçlenmesi olduğu anlaşılmıştır. Biyodizel yakıtının yüksek viskoziteli olması ve yük artışına olan dayanıklılığının fazla olması nedeniyle sürtünme katsayısının yük artışı ile azalmaya devam etmesine sebep olmuştur. Yük artışı düşük viskoziteli yakıtlarda başlangıçta olumlu etki yapmış daha sonra sürtünme katsayısını arttırmıştır. Tüm yakıtların sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde en düşük değerler 5 m/s sabit disk dönme hızında 30 N yükte yüksek viskoziteli biyodizel yakıtında elde edilmiştir.

Üç yakıtın sürtünme özellikleri incelendiğinde viskozitenin temel belirleyici olduğu gözlenmektedir. Yüksek viskoziteli saf biyodizel yakıtının aşınma ve sürtünme değerlerinin ve yüke dayanımının diğer yakıtlardan daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Düşük hız ve yüksek yük durumlarında biyodizelin sürtünme değerlerinin diğer yakıtlara göre daha iyi olduğu gözlenmektedir. Fakat daha yüksek hız daha düşük yük durumlarında düşük viskoziteli yakıtlar daha az viskoz sürtünmeye sahip oldukları için daha olumlu tepki vermektedirler.

Araştırma ile emülsiyon yakıtlar yapmak süreti ile yakıt viskozitelerin değiştirilebileceği ve biyodizel yakıtının yüksek hız düşük yük sürtünme değerlerinin istenilen şekilde değiştirilebileceği gibi biyodizel motorin su karışımı emülsiyon

yakıtlar kullanılarak dizel yakıtının düşük hız yüksek yük durumundaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Motor aşınması, enjektör aşınması, enjektör tıkanması, atomizasyon eksikliği ve yakıt hatları ile ilgili tıkanma ve bozulma problemlerinin çözümünde biyodizel yakıtının ve dizel yakıtının viskozitesinin iyileştirilmesi amacıyla emülsiyon yakıt oluşturmanın faydalı olabileceği ve biyodizel yakıtının yüksek viskozitesi nedeniyle her durumda daha düşük aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] www.tpao.gov.tr - 2012 raporu, Erişim Tarihi. 07.11.2013.
- [2] AKPINAR E., BAŐIBÜYÜK A., “TURKEY (JEOEKONOMİK ÖNEMİ GİDEREK ARTAN BİR ENERJİ KAYNAĞI: DOĞALGAZ)”, Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 6/3, p. 119-136, Summer 2011.
- [3] KOZAK M., KOZAK Ő., “ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ”, SDU International Technologic Science, Vol. 4, No 2, pp. 17-29, November 2012.
- [4] YAŐAR B., “Türkiye’de Biyodizel Üretim Maliyeti Ve Yaşanan Sorunlar”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’ 2008, , İstanbul, , Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Adana., byasar@cu.edu.tr, 17-19 Aralık 2008.
- [5] BRUSHAN B., “Introduction to Tribology”, 1949, John Willey & Sons, Inc., Copy Right 2002.
- [6] TAKADOUM J., “Materials and Surface Engineering in Tribology” Handbook, John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [7] www.astm.org, Erişim Tarihi. 08.11.2013.
- [8] LARSEN,1992; FIÇICI,2012.
- [9] BHUSHAN, 2002; FIÇICI, 2012.
- [10] TANG L., GAO C., HUANG J., ZHANG H., CHANG W., “Dry Sliding Friction And Wear Behaviour Of Hardened A1s1 D2 Tool Steel With Different Hardness Levels”, “Tribology International, Volume 66, October 2013, Pages 165–173”, www.sciencedirect.com, Available online 22 May 2013.
- [11] SOYDAN, Y., ULUKAN, L., “Triboloji”, Tagem Kopisan, 2003.

- [12] PODGORNİK B. , HREN D. , VİZİNTİN J. , JACOBSON S. , STAVLİD N. , HOGMARK S., “Combination Of Dlc Coatings And Ep Additives For Improved Tribological Behaviour Of Boundary Lubricated Surfaces”, “Wear, Volume 261, Issue 1, 20 July 2006, Pages 32–40”, Papers presented at the 11th Nordic Symposium on Tribology, NORDTRIB 2004 11th Nordic Symposium on Tribology, NORDTRIB 2004, www.sciencedirect.com, Available online 10 November 2005.
- [13] BOWDEN, F.P., TABOR, D., “The Friction and Lubrication of Solids”, Clarendon Press, Oxford, 2001.
- [14] SERRATO R., MARU M. M., PADOVESE L. R., “Effect Of Lubricant Viscosity Grade On Mechanical Vibration Of Roller Bearings”, “Tribology International, Volume 40, Issue 8, August 2007, Pages 1270–1275”, , www.sciencedirect.com, Available online 30 March 2007.
- [15] BOZACI, A., “Makine Elemanları Cilt 2”, Çağlayan Kitapevi, Beyoğlu-İstanbul, Birinci Basım 2005.
- [16] DORF, R. C., “The Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press, 2004.
- [17] HAMROCK, J. B., SCHMİD, R. S., JACOBSONB. B., “Fundamentals of Fluid Film Lubrication”, Marcel Dekker, New York, ikinci basım 2004.
- [18] CESCHİNİ L., CHİAVARİ C., MARCONİ A., MARTİNİ C., “Influence Of Thecountermaterial On The Dry Sliding Friction And Wear Behaviour Of Low Temperature Carburized Aıısı316l Steel”, “Tribology International, Volume 67, November 2013, Pages 36–43”, www.sciencedirect.com, Available online 21 June 2013.
- [19] RABİNOWİCZ, E., “Friction and Wear of Materials”, John Wiley, Newyork, 2. Basım 1995.
- [20] AKBULUT, H., Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [21] HAMBLİN M. G., STACHOWİAK G. W., “A Multi-Scale Measure Of Particle Abrasivity, And İts Relation To Two-Body Abrasive Wear”, “Wear, Volume 190, Issue 2, December 1995, Pages 190–196”, www.sciencedirect.com, Received 9 January 1995; accepted 25 April 1995.
- [22] KATO K., “Abrasive Wear Of Metal”, “Tribology International Vol. 30, No. 5, pp. 333-338., 1997 Elsevier Science Ltd”, www.sciencedirect.com, 1997.
- [23] STACHHOWİAK, G. W., “Wear, Materials, Mechanisms and Practice”, Wiley & Sons, Chichester, 2005.
- [24] www.substech.com, Erişim Tarihi. 10.11.2013.

- [25] SAHU, S. P., SATAPATHY, A., PATNAİK A., SREEKUMAR, K.P., ANANTHAPADMANABHAN, P.V., “Development, Characterization And Erosion Wear Response Of Plasma Sprayed Fly Ash–Aluminum Coatings”, “Materials & Design, Volume 31, Issue 3, March 2010, Pages 1165–1173”, www.sciencedirect.com, Available online 24 September 2009.
- [26] SOYDAN Y., “Katı Ortamda Bor Yayınımı İle Sertleştirilen Çelik Yüzeylerinin Kuru Kayma Halinde Sürtünme Ve Aşınma Davranışları”, Doktora tezi, İTÜ, 1996.
- [27] STACHOWIAK G.W., BATCHELOR A.W., “Engineering Tribology” Tribology series24, Handbook, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, London, New York, Tokyo, ISBN: 0- 444-89235-4,1993.
- [28] ANANDKUMAR S., RAMAN S. G. S., NARAYANAN T. S. N. S., GNANAMOORTHY R., “Influence Of Counterbody Material On Fretting Wear Behaviour Of Surface Mechanical Attrition Treated Ti–6al–4v”, “Tribology International, Volume 57, January 2013, Pages 107–114”, www.sciencedirect.com, Available online 3 August 2012.
- [29] HUTCHINGS, I. M., “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, Edward Arnold, London, 1992.
- [30] BHUSHAN B., “Modern Tribology Handbook, Volume Two”, 1949, by CRC PRESS LLC., 2001.
- [31] ZHANG T., LI D. Y., “Improvement In The Resistance Of Aluminum With Yttria Particles To Sliding Wear In Air And In A Corrosive Medium”, “Wear, Volume 251, Issues 1–12, Pages 1250–1256, October 2001.”, 13th International Conference on Wear of Materials, www.sciencedirect.com.
- [32] CHEN C., LI L. Y., SHANG C. J., “Nanocrystallization Of Aluminized Surface Of Carbon Steel For Enhanced Resistances To Corrosion And Corrosive Wear”, “Electrochimica Acta, Volume 55, Issue 1, 15 December 2009, Pages 118–124”, www.sciencedirect.com, Available online 21 August 2009.
- [33] FOUVRY S., K. KUBIAK K., “Development Of A Fretting–Fatigue Mapping Concept: The Effect Of Material Properties And Surface Treatments”, “Wear, Volume 267, Issue 12, 1 December 2009, Pages 2186–2199”, NORDTRIB 2008, www.sciencedirect.com, Available online 30 September 2009.
- [34] ACAROĞLU, M., ÜNALDI, M., AYDOĞAN, H., “Yakıtlar ve Yanma”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Ocak 2010.
- [35] ÖZ, İ. H., BORAT, O., SÜRMEŒEN, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Birsen Yayınevi, Cağaloğlu–İstanbul, 2006.

- [36] www.commons.wikimedia.org, Erişim Tarihi: 12.11.2013.
- [37] SAFGÖNÜL, B., ERGENEMAN, M., ARSLAN, E., SORUŐBAY, C., “İçten Yanmalı Motorlar”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1995.
- [38] “Yakıtlar ve Yağlar”, Petrol Ofisi, 1980.
- [39] BORAT, O., BALCI, M., SÜRMEŒ, A., “İçten Yanmalı Motorlar Cilt”, G.Ü. Teknik Eğitim Fakóltesi Matbaası, İstanbul – Ankara – Bursa, 1995.
- [40] ÖZTÜRK, H., KAYA, D., “Biyoyakıt Üretimi ve Kullanımı”, Yayın no: MMO/593, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 2012.
- [41] ÖĞÜT, H., OĞUZ, H., “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2005.
- [42] “Yakıtlar Yağlama ve Yağlar”, Shell Teknik Servisi Yayınları; no: 2, İstanbul, 1961.
- [43] PİNNARAT, T., SAVAGE, P. E., “Noncatalytic Esterification Of Oleic Acid In Ethanol”, “The Journal of Supercritical Fluids, Volume 53, Issues 1–3, June 2010, Pages 53-59”, www.sciencedirect.com, Available online 6 February 2010.
- [44] ACAROĞLU, M., “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayın Dağıtım, Ankara, 2. Basım 2007.
- [45] ZHANG, X., YAN, S., TYAGİ, R. D., SURAMPALLİ, R. Y., “Energy Balance And Greenhouse Gas Emissions Of Biodiesel Production From Oil Derived From Wastewater And Wastewater Sludge”, “Renewable Energy, Volume 55, July 2013, Pages 392–403”, www.sciencedirect.com, Available online 4 February 2013.
- [46] ATADASHİ, I. M., AROVA, M. K., ABDUL AZİZ, A. R., SULAİMAN, N. M. N., “The Effects Of Water On Biodiesel Production And Refining Technologies: A Review”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, June 2012, Pages 3456-3470”, www.sciencedirect.com, Available online 2 April 2012.
- [47] HELWANİ, Z., OTHMAN, M. R., AZİZ, N., Fernando, W. J. N., Kim, J., “Technologies For Production Of Biodiesel Focusing On Green Catalytic Techniques: A Review”, “Fuel Processing Technology, Volume 90, Issue 12, December 2009, Pages 1502-1514”, www.sciencedirect.com, Available online 25 July 2009.
- [48] LEUNG, D. Y. C., WU, X., LEUNG, M. K. H., “A Review On Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification”, “Applied Energy, Volume 87, Issue 4, April 2010, Pages 1083-1095”, www.sciencedirect.com, Available online 7 November 2009.

- [49] ÇETİN, M., KUŞ, H., “Temiz ve Sürdürülebilir Alternatif Enerji Biyodizel ve Türkiye'nin Biyodizel Enerji Potansiyeli”, V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, MMO, Kayseri, Ağustos 2009.
- [50] ROY, M. M., WANG, W., BUJOLD, J., “Biodiesel Production And Comparison Of Emissions Of A Dı Diesel Engine Fueled By Biodiesel – Diesel And Canola Oil – Diesel Blends At High Idling Operations”, “Applied Energy, Volume 106, June 2013, Pages 198-208”, www.sciencedirect.com, Available online 27 February 2013.
- [51] SİLİTONGA, A. S., MASJUKİ, H. H., MAHLİA, T. M. I., ONG, H. C., CHONG, W. T., BOOSROH, M. H., “Overview Properties Of Biodiesel Diesel Blends From Edible And Non – Edible Feedstock”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 22, June 2013, Pages 346-360”, www.sciencedirect.com, Available online 31 January 2013.
- [52] GİAKOUMİS, E. G., “A Statistical Investigation Of Biodiesel Physical And Chemical Properties, And Their Correlation With The Degree Of Unsaturation”, “Renewable Energy, Volume 50, February 2013, Pages 858-878”, www.sciencedirect.com, Available online 15 September 2012.
- [53] LİN, C. – Y., CHENG, H. – H., “Application Of Mesoporous Catalysts Over Palm – Oil Biodiesel For Adjusting Fuel Properties”, “Energy Conversion and Management, Volume 53, Issue 1, January 2012, Pages 128-134”, www.sciencedirect.com, Available online 29 September 2011.
- [54] HOEKMAN, S. K., BROCH, A., ROBBİNS, C., CENİCEROS, E., NATARAJAN, M., “Review Of Biodiesel Composition, Properties, And Specifications”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 1, January 2012, Pages 143-169”, www.sciencedirect.com, Available online 20 October 2011.
- [55] CHU, J., XU, X., ZHANG, Y., “Production And Properties Of Biodiesel Produced From *Amygdalus Pedunculata* Pall”, “Bioresource Technology, Volume 134, April 2013, Pages 374-376”, www.sciencedirect.com, Available online 20 December 2012.
- [56] LİN, C. – Y., FAN, C. – L., “Fuel Properties Of Biodiesel Produced From *Camellia Oleifera* Abel Oil Through Supercritical – Methanol Transesterification”, “Fuel, Volume 90, Issue 6, June 2011, Pages 2240-2244”, www.sciencedirect.com, Available online 2 March 2011.
- [57] SHARMA, M. P., DWİVEDİ, G., JAİN, S., “Impact Analysis Of Biodiesel On Engine Performance – A Review”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 9, December 2011, Pages 4633-4641”, www.sciencedirect.com, Available online 14 September 2011.

- [58] CORONADO, C. R., VILLELA, A. D. C., Silveira, J. L., “Ecological Efficiency In Chp: Biodiesel Case”, “Applied Thermal Engineering, Volume 30, Issue 5, April 2010, Pages 458-463”, www.sciencedirect.com, Available online 22 November 2009.
- [59] KUMAR, N., VARUN, CHAUHAN, S. R., “Performance And Emissions Characteristics Of Biodiesel From Different Origins: A Review”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 21, May 2013, Pages 633-658”, www.sciencedirect.com, Available online 14 February 2013.
- [60] ENWEREMADU, C. C., RUTTO, H. L., “Combustion, Emissions And Engine Performance Characteristics Of Used Cooking Oil Biodiesel – A Review”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 9, December 2010, Pages 2863-2873”, www.sciencedirect.com, Available online 16 July 2010.
- [61] MOFIJUR, M., ATABANI, A. E., MASJUKI, H. H., KALAM, M. A., MASUM, B. M., “A Study On The Effects Of Promising Edible And Non – Edible Biodiesel Feedstocks On Engine Performance And Emissions Production: A Comparative Evaluation”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 23, July 2013, Pages 391-404”, www.sciencedirect.com, Available online 4 March 2013.
- [62] ROY, M., WANG, W., BUJOLD, J., “Biodiesel Production And Comparison Of Emissions Of A D₁ Diesel Engine Fueled By Biodiesel – Diesel And Canola Oil – Diesel Blends At High Idling Operations”, “Applied Energy, Volume 106, June 2013, Pages 198–208”, www.sciencedirect.com, Available online 27 February 2013.
- [63] KOÇ, A. B., ABDULLAH, M., “Performance And Nox Emissions Of A Diesel Engine Fueled With Biodiesel – Diesel – Water Nanoemulsions”, “Fuel Processing Technology, Volume 109, May 2013, Pages 70–77”, www.sciencedirect.com, Available online 13 October 2012.
- [64] KIM, H., CHOI, B., “The Effect Of Biodiesel And Bioethanol Blended Diesel Fuel On Nanoparticles And Exhaust Emissions From Crd₁ Diesel Engine”, “Renewable Energy, Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 157–163”, www.sciencedirect.com, Available online 15 May 2009.
- [65] HANSEN, A. C., GRIFTT, T. E., XUE, J., “Effect Of Biodiesel On Engine Performances And Emissions”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 2, February 2011, Pages 1098-1116 www.sciencedirect.com, Available online 9 November 2010.

- [66] ZHĪHAO, M., XĪAOYU, Z., JUNFA, D., XĪN, W., BĪN, X., JĪAN, W., "Study On Emissions Of A D₁ Diesel Engine Fuelled With Pistacia Chinensis Bunge Seed Biodiesel – Diesel Blends", "Procedia Environmental Sciences, Volume 11, Part C, 2011, Pages 1078-1083", Elsevier Ltd., Intelligent Information Technology Application Research Association, Zhengzhou, China, 2011.
- [67] SELVAM, D. J. P., VADĪVEL, K., "Performance And Emission Analysis Of D₁ Diesel Engine Fuelled With Methyl Esters Of Beef Tallow And Diesel Blends", "Procedia Engineering, Volume 38, 2012, Pages 342-358", Noorul Islam Centre for Higher Education, Elsevier Ltd., Dindigul, Tamilnadu, India, 2012.
- [68] CORONADO, C. R., DE CARVALHO, JR, J. A., YOSHĪOKA, J. T., SĪLVEĪRA, J. L., "Determination Of Ecological Efficiency In The Internal Combustion Engines: The Use Of Biodiesel", "Applied Thermal Engineering, Volume 29, Issue 10, July 2009, Pages 1887-1892", www.sciencedirect.com, Available online 11 November 2008.
- [69] AYDIN, H., İLKILIÇ, C., "Effect Of Ethanol Blending With Biodiesel On Engine Performance And Exhaust Emissions In A C₁ Engine", "Applied Thermal Engineering, Volume 30, Issue 10, July 2010, Pages 1199-1204", www.sciencedirect.com, Available online 2 February 2010.
- [70] ATABANĪ, A. E., SĪLITONGA, A. S., ONG, H. C., MAHLĪA, T. M. I., MASJUKĪ, H. H., BADRUDDĪN, I. A., FAYAZ, H., "Non-Edible Vegetable Oils: A Critical Evaluation Of Oil Extraction, Fatty Acid Compositions, Biodiesel Production, Characteristics, Engine Performance And Emissions Production", "Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 18, February 2013, Pages 211-245", www.sciencedirect.com, Available online 13 November 2012.
- [71] ÖZENER, O., YÜKSEL, L., ERGENÇ, A. T., ÖZKAN, M., "Effects Of Soybean Biodiesel On A D₁ Diesel Engine Performance, Emission And Combustion Characteristics", "Fuel", www.sciencedirect.com, Available online 3 December 2012.
- [72] www.tüik.gov.tr, Erişim Tarihi. 07.11.2013.
- [73] BORTNOWSKA G., BALEJKO J., TOKARCZYK G., ROMANOWSKA-OSUCH A., KRZEMĪNSKA N., "Effects Of Pregelatinized Waxy Maize Starch On The Physicochemical Properties And Stability Of Model Low-Fat Oil-In-Water Food Emulsions", "Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 97, Issue 1, 10 April 1995, Pages 1–12", www.sciencedirect.com, Received 31 January 1994; accepted 27 November 1994.
- [74] MCCLEMENTS, J. D., "Food Emulsions Principles, Practises and Techniques", CRC Press, Boca Raton, 2nd ed. 2005.

- [75] CARDENAS-VALERA A. E., BAILEY A. I., "Graft Copolymers As Stabilizers For Oil-In-Water Emulsions Part 2. Preparation Of The Emulsions And The Factors Affecting Their Stability", "Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 97, Issue 1, 10 April 1995, Pages 1–12", www.sciencedirect.com, Received 31 January 1994; accepted 27 November 1994.
- [76] LIN, S. A., LIN, C. Y., "Effects Of Emulsification Variables On Fuel Properties Of Two – And Three – Phase Biodiesel Emulsions", "Fuel, Volume 86, Issues 1–2, January 2007, Pages 210–217" www.sciencedirect.com, Available online 10 July 2006.
- [77] OPAWALE F. O., BURGESS D. J., "Influence of Interfacial Properties of Lipophilic Surfactants on Water-in-Oil Emulsion Stability", "Journal of Colloid and Interface Science, Volume 197, Issue 1, 1 January 1998, Pages 142–150", www.sciencedirect.com, Received June 12, 1997; accepted October 9, 1997.
- [78] www.tr.wikipedia.org/wiki/Em%C3%BClasyon, Erişim Tarihi. 16.10.2013.
- [79] GULLAPALLI R. P., SHETH B. B., "Effect Of Methylcellulose On The Stability Of Oil-In-Water Emulsions", "International Journal of Pharmaceutics, Volume 140, Issue 1, 16 August 1996, Pages 97–109", www.sciencedirect.com, Received 19 July 1995; revised 28 March 1996; accepted 13 May 1996 Received 19 July 1995; revised 28 March 1996; accepted 13 May 1996.
- [80] LOVELL, P. A., EL-AASSER, M. S., "Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers", John Wiley & Sons Ltd, New York, 1997.
- [81] PALAZOLO G. G., SOBRAL P. A., WAGNER J. R., "Freeze-Thaw Stability Of Oil-In-Water Emulsions Prepared With Native And Thermally-Denatured Soybean Isolates", "Food Hydrocolloids, Volume 25, Issue 3, May 2011, Pages 398–409", www.sciencedirect.com, Accepted 10 July 2010.
- [82] LIN, C. Y., WANG, K. H., "The Fuel Properties of Three-Phase Emulsions As An Alternative Fuel For Diesel Engines", "Fuel, Volume 82, Issue 11, July 2003, Pages 1367–1375" www.sciencedirect.com, Available online 18 February 2003.
- [83] USHIKUBO F. Y., CUNHA R. L., "Stability Mechanisms Of Liquid Water-In-Oil Emulsions", "Food Hydrocolloids, Volume 34, January 2014, Pages 145–153, Food Colloids 2012: Creation and Breakdown of Structure", www.sciencedirect.com, Accepted 12 November 2012.
- [84] www.globalmetals.com.au/_pdf, Erişim Tarihi. 09.08.2013.

- [85] www.microgroup.com/resources/Composition%20-%20Austenitic.pdf, Erişim Tarihi. 09.08.2013.
- [86] www.irochemical.com/product/Surfactants/Span-80.htm, Erişim Tarihi. 10.08.2013.
- [87] www.en.m.wikipedia.org/wiki/butanol-isobutanol, Erişim Tarihi. 14.04.2013.
- [88] www.pl.m.wikipedia.org/wiki/izopropanol, Erişim Tarihi: 07.07.2013.
- [89] ZOU Q., HUANG P., WHEN S., “Abrasive Wear Model For Lubricated Sliding Contacts”, “Wear, Volume 196, Issues 1–2, , Pages 72–76, August 1996”, www.sciencedirect.com, Received 19 September 1995; accepted 2 November 1995.
- [90] BEHESHTİ A., KHONSARİ M. M., “An Engineering Approach For The Prediction Of Wear In Mixed Lubricated Contacts”, “Wear Volume 308, Issues 1–2, Pages 121–131, 30 November 2013.”, www.sciencedirect.com, Available online 23 October 2013.
- [91] MCCONNELL, C., LENARD, J. G., “Friction In Cold Rolling Of A Low Carbon Steel With Lubricants”, “Journal of Materials Processing Technology, Volume 99, Issues 1–3, Pages 86–93, 1 March 2000.”, www.sciencedirect.com, Accepted 17 September 1999.
- [92] MITROVIĆ, S., ADAMOVIĆ, D., ŽIVIĆ, F., DZUNIĆ, D., PANTIĆ, M., “Friction And Wear Behavior Of Shot Peened Surfaces Of 36crnimo4 And 36nicrmo16 Alloyed Steels Under Dry And Lubricated Contact Conditions”, “Applied Surface Science”, Volume 290, Pages 223–232, 30 January 2014”, www.sciencedirect.com, Available online 21 November 2013.
- [93] VENGUDUSAMY, B., GRAFT, A., NOVOTNY-FARKAS, F., SCHÖFMANN, W., “Comparison Of Frictional Properties Of Gear Oils In Boundary And Mixed Lubricated Rolling–Sliding And Pure Sliding Contacts”, “Tribology International Volume 62, Pages 100–109, June 2013.”, www.sciencedirect.com, Available online 11 February 2013.
- [94] TRUHAN, J. J., QU, J., BLAU, P. J., “A Rig Test To Measure Friction And Wear Of Heavy Duty Diesel Engine Piston Rings And Cylinder Liners Using Realistic Lubricant”, “Tribology International, Volume 38, Issue 3, Pages 211–218, Boundary Lubrication”, www.sciencedirect.com., March 2005.
- [95] LU, Q., WANG, H., YE, C., LIU, W., XUE, Q., “Room Temperature Ionic Liquid 1-Ethyl-3-Hexylimidazoliumbis(Trifluoromethylsulfonyl)-Imide As Lubricant For Steel–Steel Contact”, “Tribology International, Volume 37, Issue 7, Pages 547–552, The New Trends and Frontiers in Tribology”, www.sciencedirect.com., July 2004.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Sakıp Sabancı Lisesi'nden 2001 yılında mezun oldu. Lisans eğitimini 2008 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel bir şirkette çalışmaktadır.