

**DİZEL YAKITI-BALIK YAĞI METİL ESTERİ  
KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA  
PÜSKÜRTME BASINÇ VE AVANSININ  
PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA  
ETKİLERİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Güven DEMİRTAŞ**

**DİZELYAKITI-BALIK YAĞI METİL ESTERİ KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN  
BİR MOTORDA PÜSKÜRTME BASINÇ VE AVANSININ PERFORMANS  
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

**Güven DEMİRTAŞ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Şubat 2012**

Güven DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan “DİZEL YAKITI-BALIK YAĞI METİL ESTERİ KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA PÜSKÜRTME BASINÇ VE AVANSININ PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup SEKMEN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/ 19/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Selhan KARAGÖZ (KBÜ)

...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Güven DEMİRTAŞ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DİZEL YAKITI-BALIK YAĞI METİL ESTERİ KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA PÜSKÜRTME BASINÇ VE AVANSININ PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

**Güven DEMİRTAŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Yakup SEKMEN**

**Şubat 2012, 143 sayfa**

Biyodizel, yapısında oksijen bulunduran, sülfür içermeyen, zehirleyici etkisi olmayan, doğada bozunabilir ve yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Dizel motorlarda herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Yakıt püskürtme zamanlaması ve basıncı motor performansı ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile hem yakıt ekonomisi sağlanırken hem de zararlı egzoz emisyonları azaltılabilmektedir. Bu çalışmada, dizel yakıtı-balık yağı metil esteri karışımının (hacimsel olarak %20) yakıt olarak kullanıldığı bir motorda püskürtme basıncı ve avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri dört zamanlı, tek silindirli bir dizel motorda araştırılmıştır.

Püskürtme basıncı 200, 210, 230 ve 250 bar için tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ile CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme basıncının 230 bar'a artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte artış ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme görülmüştür. Ayrıca, CO, HC ve is emisyonlarında azalma elde edilirken NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar belirlenmiştir. Püskürtme zamanlaması 16, 18, 20 ve 22°KMA için tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ile CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 20°KMA'ya artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte artış ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme görülmüştür. Ayrıca, CO, HC ve is emisyonlarında azalma elde edilirken, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Dizel motor, biyodizel, püskürtme avansı, motor performansı, egzoz emisyonları.

**Bilim Kodu** : 914.3.026

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECTS OF INJECTION PRESSURE AND TIMING ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS IN A DIESEL ENGINE FUELLED WITH DIESEL FUEL-FISH OIL METHYL ESTER BLEND**

**Güven DEMİRTAŞ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Yakup SEKMEN**

**February 2012, 143 pages**

Biodiesel is an oxygenated, sulphur-free, non-toxic, biodegradable and renewable alternative diesel fuel. It is used without any significant setting and modification in diesel engines. Fuel injection timing and pressure are the significant parameters affecting the performance and emissions in diesel engines. By optimising these parameters, improvement in fuel economy as well as reduction in harmful exhaust emissions can be obtained. In this study, the effects of fuel injection pressure and timing on engine performance and exhaust emissions were investigated experimentally in a four-stroke single cylinder direct injection diesel engine fuelled with diesel fuel-fish oil methyl ester blend (20% in volume).

Engine torque, brake power, specific fuel consumption with CO, HC, NO<sub>x</sub> emissions and smoke density were measured for injection pressure of 200, 210, 230 and 250 bar at full load. By increasing injection pressure to 230 bar when running on biodiesel, an improvement in terms of engine torque and brake power with decreasing in specific fuel consumption were observed. In addition, it was also determined that CO, HC and smoke density emissions decreased while NO<sub>x</sub> emissions increased. Engine torque, brake power, specific fuel consumption with CO, HC, NO<sub>x</sub> emissions and smoke density were measured for injection timings of 16, 18, 20 and 22°CA at full load. By increasing injection timing to 20°CA when running on biodiesel, an improvement in terms of engine torque and brake power with decreasing specific fuel consumption were observed. In addition, it was also determined that CO HC and smoke density emissions decreased while NO<sub>x</sub> emissions increased.

**Keywords** : Diesel engine, biodiesel, injection advance, engine performance, exhaust emissions.

**Science Code** : 914.3.026



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde, oluşturulmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmalarımı bilimsel temeller ışığı altında şekillendiren değerli hocalarım Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e ve Y. Doç. Dr. Perihan SEKMEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımın gerçekleşmesi için laboratuvar imkanı sağlayan rektör yardımcısı Prof. Dr. Dilek DADAYLI PAKTAŞ'a ve Doç. Dr. Selhan KARAGÖZ'e, çalışma sırasında yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi İrem OKMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım sırasında gerekli araç ve gereçlerimizin temininde yardımlarını esirgemeyen Y. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ'a ve araştırma görevlisi Oğuzhan DOĞAN'a, deneylerin gerçekleşmesi sırasında bana destek olan Sedat ŞEN'e ve Fatih ATEŞER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	iix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
BÖLÜM 3 .....	19
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KİRLETİCİ EMİSYONLAR.....	19
3.1. DİZEL MOTORLAR .....	19
3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA .....	21
3.2.1. Tutuşma Gecikmesi.....	23
3.2.2. Kontrolsüz Yanma .....	24
3.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma .....	24
3.2.4. Art Yanma .....	25
3.3. DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİNE VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN PARAMETRELER .....	25
3.3.1. Yanmaya Etki Eden Faktörler.....	25
3.3.1.1. Püskürtme Basıncının Etkisi .....	26
3.3.1.2. Püskürtme Avansının Etkisi.....	26
3.3.1.3. Yakıt-Hava Oranının Etkisi.....	28

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.1.4. Giriş Basıncı ve Sıcaklığı.....	30
3.3.1.5. Sıkıştırma Oranı.....	32
3.3.1.6. Yakıt özellikleri (Setan Sayısı).....	34
3.3.1.7. Püskürtülen Yakıt Miktarı.....	36
3.3.1.8. Motor Hızının Etkisi.....	36
3.3.1.9. Soğutucu Akışkan Sıcaklığı.....	37
3.3.1.10. Karışımdaki Oksijen Yüzdesi.....	37
3.3.1.11. Türbülans Oranı.....	37
3.3.1.12. Aşırı Doldurma.....	38
3.4. DİZEL MOTORLARDA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR.....	39
3.4.1. Karbonmonoksit (CO).....	39
3.4.2. Azotoksit (NO <sub>x</sub> ).....	40
3.4.2.1. Zeldovich veya Isıl NO <sub>x</sub> Oluşum Mekanizması.....	42
3.4.2.2. Fenimore veya Ani NO Oluşum Mekanizması.....	42
3.4.2.3. Yakıttan Kaynaklanan NO.....	43
3.4.3. Hidrokarbon Emisyonları (HC).....	45
3.4.4. Partikül Emisyonları (PM).....	45
3.4.5. Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> ).....	46
BÖLÜM 4.....	47
DİZEL YAKITI ÖZELLİKLERİ VE İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANILMASI.....	47
4.1. DİZEL YAKITININ SINIFLANDIRMASI.....	48
4.2. DİZEL YAKITININ TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	48
4.2.1. Yoğunluk.....	49
4.2.2. Viskozite.....	50
4.2.3. Setan Sayısı.....	51
4.2.4. Parlama ve Alevlenme Noktası.....	52
4.2.5. Uçuculuk Noktası (Distilasyon).....	53
4.2.6. Donma Noktası.....	53
4.2.7. Su ve Tortu Miktarı.....	53
4.2.8. Isıl Değer.....	54

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.9. Kül Miktarı .....	54
4.3. BİYODİZELİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	54
4.4. TÜRKİYE’DE BİYODİZEL .....	56
4.5. BİYODİZEL KAYNAKLARI.....	57
4.6. BİYODİZEL EMİSYONLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ .....	58
4.7. BİYODİZELİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	60
4.7.1. Biyodizelin Avantajları .....	60
4.7.2. Biyodizelin Dezavantajları .....	61
4.8. BİYODİZEL STANDARTLARI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	61
4.8.1. Viskozite.....	63
4.8.2. Yoğunluk .....	64
4.8.3. Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği .....	64
4.8.4. Biyodizelin Kararlılığı.....	65
4.8.5. Biyodizelin Enerji Değeri.....	66
4.8.6. Soğukta Akış Özellikleri .....	66
4.8.6.1. Bulutlanma Noktası .....	66
4.8.6.2. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası.....	66
4.8.6.3. Akma noktası.....	67
4.8.7. Setan Sayısı.....	67
4.9. BİTKİSEL VE HAYVANSAL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	67
4.9.1. Seyreltme.....	70
4.9.2. Mikroemülsiyon Oluşturma.....	70
4.9.3. Piroliz .....	71
4.9.4. Transesterifikasyon .....	71
4.9.4.1. Alkol ile Katalizör Karıştırma Basamağı.....	74
4.9.4.2. Reaksiyon Basamağı.....	74
4.9.4.3. Ayırma Basamağı .....	75
4.9.4.4. Alkolün Uzaklaştırılması .....	75
4.9.4.5. Gliserin Nötralleştirme İşlemi .....	76
4.9.4.6. Ester Yıkama Basamağı.....	76
4.9.5. Süper Kritik Yöntem .....	76

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	77
MATERYAL VE YÖNTEM .....	77
5.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ .....	77
5.1.1. Metil Alkol (CH <sub>3</sub> OH).....	78
5.1.2. Sodyum Hidroksit .....	78
5.1.3. Atık Balık Yağından Biyodizel Üretimi.....	78
5.2. MOTOR TEST DÜZENEGİ.....	82
5.2.1. Deney Motoru .....	82
5.2.2. Motor Dinamometresi .....	83
5.2.3. Egzoz Gaz Analizörü ve Duman Ölçer .....	83
5.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği .....	85
5.2.5. Mezürler .....	86
5.2.6. Deney Yakıtı .....	86
5.3. DENEY YÖNTEMİ .....	87
5.4. HESAPLAMALAR.....	88
5.4.1. Motor Momenti ve Gücü.....	88
5.4.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	89
BÖLÜM 6 .....	90
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	90
6.1. MOTOR PERFORMANSI .....	90
6.1.1. Motor Momenti ve Gücü.....	90
6.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	96
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI.....	98
6.2.1. CO Emisyonları .....	99
6.2.2. HC Emisyonları .....	102
6.2.3. NO <sub>x</sub> Emisyonları .....	106
6.2.4. İş Emisyonları .....	109
BÖLÜM 7 .....	113
SONUÇLAR.....	113

	<b><u>Sayfa</u></b>
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	124

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri.....	23
Şekil 3.2. Püskürtme basıncının damlacık çapına etkisi .....	26
Şekil 3.3. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi.....	27
Şekil 3.4. Yakıt/hava oranına bağlı olarak NO <sub>x</sub> ve NO konsantrasyonları.....	29
Şekil 3.5. Hava giriş basıncının TG'ye etkisi.....	30
Şekil 3.6. Hava giriş sıcaklığının TG'ye etkisi.....	31
Şekil 3.7. Emme manifoldu basıncı ve sıcaklığının NO <sub>x</sub> emisyonlarına etkisi.....	32
Şekil 3.8. Dizel motorlarda sıkıştırma oranının TG'ye etkisi .....	33
Şekil 3.9. Sıkıştırma oranının NO emisyonlarına etkisi.....	34
Şekil 3.10. Yakıtın setan sayısının TG'ye etkisi .....	35
Şekil 3.11. Yakıtın setan sayısının NO <sub>x</sub> emisyonlarına etkisi.....	36
Şekil 3.12. Türbülans oranının is, NO <sub>x</sub> , HC ve özgül yakıt tüketimine etkisi.....	38
Şekil 3.13. Dizel motorlarda ani yanma sırasında kirleticilerin oluşumu .....	41
Şekil 3.14. Dizel motorlarda kontrollü yanma sırasında kirleticilerin oluşumu .....	41
Şekil 4.1. Biyokütlenin biyoyakıtlara dönüşümü .....	69
Şekil 4.2. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi .....	71
Şekil 4.3. Yağ asitlerinin transesterifikasyonu .....	73
Şekil 5.1. Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler .....	77
Şekil 5.2. Atık balık yağı içerisindeki suyun buharlaştırılması. ....	78
Şekil 5.3. Atık balık yağı içerisine metoksit karışımının eklenmesi ve transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleşen karışımın ilk 20. dakikadaki görüntüsü.....	79
Şekil 5.4. Biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması.....	80
Şekil 5.5. Biyodizel üretim aşamasının basitleştirilmiş şeması.....	80
Şekil 5.6. Biyodizelin yıkanmış görüntüsü .....	81
Şekil 5.7. Gliserinin alınmasından sonra, biyodizelin kullanımı öncesindeki işlemler .....	81

**Sayfa**

Şekil 5.8. Deneş düzeneğinin Şematik görünümü .....	82
Şekil 5.9. Deneş motorunun genel görünüşü .....	83
Şekil 5.10. Egzoz gaz analizörünün görünüşü .....	84
Şekil 5.11. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı .....	85
Şekil 5.12. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği .....	85
Şekil 5.13. B20 karışımının oluşturulmasında kullanılan mezürler .....	86
Şekil 6.1. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında motor momentine etkisi ...	91
Şekil 6.2. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında motor gücüne etkisi .....	92
Şekil 6.3. B20 yakıtının püskürtme avansına göre motor momentine etkisi.....	93
Şekil 6.4. B20 yakıtının püskürtme avansına göre motor efektif gücüne etkisi.....	93
Şekil 6.5. B100'ün püskürtme avansına göre motor momentine etkisi .....	95
Şekil 6.6. B100'ün püskürtme avansına göre motor efektif gücüne etkisi .....	95
Şekil 6.7. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında özgül yakıt tüketimi.....	96
Şekil 6.8. B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında özgül yakıt tüketimi.....	97
Şekil 6.9. B100'ün püskürtme avansına göre özgül yakıt tüketimi .....	99
Şekil 6.10. B20 yakıtının püskürtme basıncına göre CO emisyonlarına etkisi.....	100
Şekil 6.11. B20 yakıtının püskürtme avansına göre CO emisyonlarına etkisi.....	101
Şekil 6.12. B100 yakıtının değişik püskürtme avanslarında CO emisyonlarına etkisi.....	101
Şekil 6.13. B20 yakıtını değişik püskürtme basınçlarında HC emisyonlarına etkisi.....	103
Şekil 6.14. B20 yakıtının püskürtme avansına göre HC emisyonlarına etkisi.....	104
Şekil 6.15. B100 yakıtının püskürtme avansına göre HC emisyonlarına etkisi.....	105
Şekil 6.16. B20 yakıtının değişik püskürtme basınçlarındaki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	107
Şekil 6.17. B20 yakıtının değişik püskürtme avanslarında NO <sub>x</sub> emisyonlarına etkisi.....	108
Şekil 6.18. B100 yakıtının değişik avanslardaki NO <sub>x</sub> emisyonları.....	109
Şekil 6.19. B20 yakıtının püskürtme basıncına göre is emisyonlarına etkisi.....	110
Şekil 6.20. B20 yakıtının değişik püskürtme avanslarındaki is emisyonlarına etkisi.....	111
Şekil 6.21. B100 yakıtının değişik püskürtme avanslarındaki is emisyonlarına etkisi.....	112



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler .....	48
Çizelge 4.2. ASTM 975-97'ye göre dizel yakıtı standartları .....	49
Çizelge 4.3. Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri ..	52
Çizelge 4.4. Çeşitli ülkelerde uygulanmakta olan dizel ve biyodizel standartları .....	62
Çizelge 4.5. TS EN 14214 Biyodizel standardı .....	62
Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri .....	83
Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri .....	84
Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri .....	86

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\dot{m}_f$	: Yakıt debisi (kg/h)
$dp/dt$	: Basınç artma hızı
$l$	: Moment kolunun uzunluğu (m)
$m$	: Yük hücrelerinden okunan kütle (kg)
$M_e$	: Motor momenti (Nm)
$n$	: Motor hızı (1/min)
$P_e$	: Efektif motor gücü (kW)
$sfc$	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
$V_c$	: Yanma odası hacmi (cm <sup>3</sup> )
$V_h$	: Kurs hacmi (cm <sup>3</sup> )
$\Delta t$	: $\Delta V$ hacimdeki yakıtın harcanma süresi (s)
$\Delta V$	: Ölçekli kaptaki yakıt hacmi (mL)
$\epsilon$	: Sıkıştırma oranı
$\eta$	: Dinamik viskozite (Pa·s)
$\lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
$\nu$	: Kinematik viskozite (mm <sup>2</sup> /s)
$\rho$	: Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\omega$	: Açısal hız (1/s)

## KISALTMALAR

AA	: Ateşleme avansı
AÖN	: Alt ölü nokta
ASTM	: Amerikan test ve materyal
B20	: %20 biyodizel + %80 dizel yakıtı karışımları
BYME	: Balık yağı metil esteri
CO	: Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
EDP	: Endirekt püskürtme
H/Y	: Hava-yakıt oranı
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sülfürik asit
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik asit
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
KMA	: Krank mili açısı
KOH	: Potasyum hidroksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO	: Azotoksit
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon
PKDY	: Petrol kökenli dizel yakıtı
SS	: Setan sayısı
TEP	: Ton eşdeğer petrol
THC	: Toplam hidrokarbon
ÜÖN	: Üst ölü nokta
ÜÖNö	: Üst ölü noktadan önce

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Modern dünyanın önemli ihtiyacı olan fosil kökenli yakıtların sınırlı bir rezerve sahip olması, petrol fiyatlarında yaşanan dalgalanmalar, kullanımı sonrasında meydana gelen emisyonların çevresel etkileri ve kesintisiz bir şekilde temininde yaşanan sıkıntılar sebebiyle alternatif yakıt arayışları artmaktadır (Çelik ve Çolak, 2008; Usta, N., 2005; Caresana, 2011). Araştırmalar dizel yakıtına alternatif yakıt olarak dikkate alınan biyodizel yönündedir. Biyodizel daha çok bitkisel ve hayvansal yağların esterleştirilmesi sonucunda elde edilen bir yakıt türüdür. Biyodizelin, dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılması önemli avantajları arasında yer almaktadır (Yavuz, 2007).

Petrol, kömür ve doğal gaz rezervlerinin bu günkü durumu göz önüne alındığında dünya petrol rezervlerinin yaklaşık 135,4 milyar ton olduğu, kömür rezervlerinin 1041 milyar ton, doğal gaz rezervlerinin ise 124 trilyon m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmekte ve dünyada toplam fosil yakıt rezervinin 900 milyar ton petrol rezervine eşdeğer olduğu belirtilmektedir. Hesaplamalara göre mevcut kaynakların üretimi ve tüketiminin bugünkü seviyelerde sürdürülmesi durumunda, petrol kaynaklarının ortalama 35-40 yıllık bir ömrünün kaldığı tahmin edilmektedir. Bu durumda özellikle motorin ve benzinin hammaddesi olan petrol rezervlerinin dünya ölçeğinde kısa sayılabilecek bir ömre sahip olduğu söylenebilir. Ülkemiz enerji kaynaklarına bakacak olursak, dünya toplam petrol rezervleri içerisinde düşük paylara sahip olduğu görülmektedir (Yavuz, 2007; Ergen, 2006).

Birincil enerji tüketiminin 2006 yılında 98,1 milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olduğu, 2020 yılında 2,3 kat artarak yaklaşık 222,4 milyon TEP değerine yükselmesi beklenmektedir.

Ülkemizin fosil kökenli enerji kaynaklarının oldukça yetersiz olduğu ve bunlardan petrol ve doğal gaz rezervlerinin son derece kısıtlı olduğu, kömür rezervlerinin de miktarının fazla olmasına karşın coğrafi olarak dağınık, düşük kaliteli, üretiminin yüksek maliyetli oluşu ve çevre sorunlu olduğu belirtilmektedir (Akpınar vd, 2008).

Dünya petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle 1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da fiyatının artmasına neden olmuştur.

Enerji ekonominin temel girdisi olduğundan kullanılan enerji kaynaklarının fiyatındaki bu değişimler büyük önem taşımaktadır. Bu durum tarihsel olarak ve öncelikle petrol fiyatlarıyla ilgilidir. Petrol, otomotiv, ulaştırma, petrokimya hatta tarım gibi bir dizi sektörün temel girdisi olmasından dolayı ekonominin kalbi olarak nitelenmektedir. Buna petrolün diğer yakıt türlerinin fiyatları üzerindeki etkisini de ekleyince petrol fiyatları ekonomik ve sosyal yaşamı doğrudan etkileyen çok önemli bir faktör haline gelmektedir.

Petrol fiyatlarının yükselmesinin nedenlerinden biri arzın daralması olarak ifade edilmektedir. Üretim geliştikçe ve petrol rezerv miktarı azalmakta dolayısıyla daha derinlere inmek ve su ile gaz gibi girdileri daha fazla kullanmak gerekmektedir. Bu durumda ekstra enerji harcanması anlamına gelmekte ve belli bir noktadan sonra çıkartılan her bir varil petrolün içerdiği enerjiden daha fazlası, onu çıkarmak için kullanılmaya başlandığı için üretim ekonomik olarak anlamsızlaşmaktadır. Keşif sayısı azaldıkça eskiyen petrol yataklarında üretim maliyetlerinin artması petrol fiyatlarının yükselmesinin bir başka nedeni olarak belirtilmektedir (Kınık, 2009).

Fosil yakıtlar bünyelerinde yüzlerce madde bulundurmaktadır. Yapısında bulunan bileşiklerden en büyük oranı hidrokarbonlar (HC) oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra düşük miktarlarda azot (N) ve kükürt (S) bulunmaktadır. Bu bileşiklerin oksijenle birleşerek yanmasıyla karbondioksit ve su oluşmaktadır. Gerçekte yanma tam olmadığından karbonmonoksit (CO), HC partiküller ve fosil yakıtların bünyelerinde bulunan kükürtten dolayı kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonları oluşmaktadır. Ayrıca

yakıt bünyesinde bulunan ve yanma için gerekli olan havanın içerisinde de büyük bir orana sahip olan azottan dolayı NO<sub>x</sub> emisyonları oluşmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kirletici emisyonların daha çok düşük kaliteli, ucuz ve dikkatsiz kullanım sonucunda meydana gelmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla oluşan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları toprağın verimine ve doğal yaşama olumsuz etkisi olan asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Yanma sonunda oluşan çeşitli partiküller atmosfere karışmakta ve içerdikleri elementlere bağlı olarak üst ve alt solunum sisteminin sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kökenli enerji kaynakları ile mukayese edildiğinde çok büyük çevresel faydalara sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli avantajlarından bir tanesi kirletici emisyonların ve atık ürünlerin yokluğu veya azlığı olarak nitelendirilmektedir. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile hava, su ve toprak kalitesinin korunmasına, canlılar üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasında ve doğal dengenin korunmasına yardımcı olmaktadır (Kaymak, 2009; Yaşar ve Eren, 2008; Arpa vd, 2008).

Fosil kökenli yakıt rezervlerinin tükenme ihtimali, yanmaları sonucunda oluşan kirletici emisyonlar ve bunların neden oldukları çevresel etkenler, dünya üzerindeki canlı çeşitliliği üzerindeki etkileri ve fiyatlarındaki istikrarsızlıklar gibi nedenlerden dolayı araştırmalar yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yoğunlaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük teknik potansiyele sahip olan biyokütle, bitkisel ve hayvansal kökenlidir. Bu kaynaklardan üretilen enerji ise “Biyokütle Enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan üretilen biyodizeldir.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı ilk olarak 1893’te Rudolph Diesel tarafından Almanya’da motorun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898’de Paris Dünya Fuarı’nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir (Akgün vd, 2008; Sekmen ve Aktaş, 2008; Örnek, 2007).

Yüksek viskozite, bitkisel ve hayvansal yağların doğrudan kullanımlarını engelleyen ve kullanımı sonrasında motor yakıt sisteminin ve filtresinin tıkanmasına, enjektör açılma basıncının yükselmesine, kötü atomizasyona ve yanmanın gecikmesi gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Bitkisel ve hayvansal yağların viskoziteleri genellikle yüksek olduğu için enjektörden püskürtülmesi ile tanecik çapları büyük olmakta, dolayısıyla yüksek ataletlere sahip olmaktadır. Bu durumda nüfuz derinliği etkilenmekte ve kötü yanmaya sebebiyet vermekte, bu yüzden istenilen verim elde edilememekte ve kirletici emisyonların artışına neden olmaktadır. Bu nedenlerle bitkisel ve hayvansal yağların öncelikle viskozite problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Viskozite probleminin çözümünde yaygın olarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmaktadır (Demirci vd, 2007; Aktaş ve Sekmen, 2008; Işıklı vd, 2011).

Bu çalışmanın amacı; dizel yakıtlara alternatif olabilecek ve çevre kirliliğine neden olan atık balık yağlarını değerlendirmek, fosil kökenli yakıtların oluşturduğu kirletici emisyonları azaltmaktır.

Hayvansal kaynaklı yağların belirli bir bölümü, özellikle de hayvan kesim yerlerinde kuyruk ve iç yağların doğrudan besin olarak kullanılması halinde insan sağlığına zararlı olması nedeni ile biyodizel yakıtı üretimi için masrafsız yenilenebilir bir hammadde kaynağı olarak görülmektedir. Ayrıca, balık üretim çiftliklerinde balık kafası ve iç organlarından veya talep fazlası, bozulan ve bayatlayan balıklardan elde edilen yağlar biyodizel kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir (Lin and Li, 2009). Atık balık yağlarının bozulması ve oksidasyonu sonucunda, yağ asitleri toksik etkisi meydana gelmekte, oluşan hidroperoksitler, yağda çözünen A, D, E, K vitaminlerinin yararlanabilirliğini düşürmektedir. Bu nedenle bu atıkların biyodizele dönüştürülmesi çevreye olan olumsuz etkilerini önlemiş olmaktadır (Korkut vd, 2007).

18.01.2012 tarihinde yayınlanan “Atık Gıdalar Enerjiye Dönüşüyor” başlıklı habere göre, Avrupa Birliği'nin desteklediği Enerfish projesinin teknik koordinatörü Aulis Ranne, Vietnam'ın güneyinde bulunan Mekong Deltası'ndaki bir su ürünleri fabrikasında her gün 120 ton taze panga işlendiğini ifade etmiştir. Bu balıkların temizlendikten sonra dondurulup Avrupa ve Asya pazarlarına gönderilmek üzere

pakletlendiğini belirtmiştir. Geride kalan 80 ton balık atığının balık yağına dönüştürüldüğünü ve tesisin sürekli çalışması halinde günde ortalama 13 ton biyodizel yakıtı elde edileceğini belirtmiştir.

Aynı zamanda elde edilen biyodizel ile 150 MW/h enerji üretilebileceğini ve tesis için yeterli bir miktar olduğunu ifade etmiştir (<http://ec.europa.eu>, 2012).

Dizel motorlarda püskürtme zamanlaması ve basıncı tüm motor karakteristiklerini büyük oranda etkileyen çok önemli bir parametredir. Optimum püskürtme avansı, motordan maksimum ısı verim alınacak, fakat motorda mekanik ve ısı zorlanmalar olmayacak şekilde belirlenmelidir (Kegl, 2006; Safgönül, 1999). Püskürtme zamanlaması hava-yakıtın karışım kalitesini, dolayısıyla, kirletici emisyonları da kapsayan yanma olayını etkilemektedir. Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NO<sub>x</sub> emisyonları artacaktır. Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşmektedir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NO<sub>x</sub> emisyonları azalmaktadır (Aktaş ve Sekmen, 2008; Topgül, 2000; Stone, 1999).

Hayvansal yağların veya biyodizelin dizel yakıtı olarak kullanılması durumunda yoğunluğunun ve viskozitesinin daha yüksek olmasından dolayı püskürtme basıncı ve zamanlamasında değişiklik yapmak olumlu sonuçlar sağlayabilecektir. Bu çalışmada, balık yağı metil esterinin (BYME) yakıt olarak kullanıldığı bir dizel motorda püskürtme avansı ve basıncının motor performans ve emisyonuna etkileri araştırılmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aktaş ve Sekmen (2008) tarafından yapılan çalışmada, biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Püskürtme zamanlaması 24,9, 26,6 ve 28,5°KMA (krank mili açısı) için tam yükte motor momentini, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 26,6°KMA'ya artırılmasıyla motor momentini ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %8'e kadar iyileşme görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %4-11 arasında değişen artışlar belirlendiği açıklanmıştır. Biyodizel ile çalışmada motor momentini ve efektif güçte bir miktar artış olmasına rağmen, ısıl değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi dizel yakıtından daha yüksektir. Püskürtme avansının 26,6°KMA'dan 28,6°KMA'ya kadar artırılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarını olumsuz etkilediği görülmüştür. Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtına göre daha düşük olarak ölçülmüştür. Bunda biyodizelin oksijen içermesi ve püskürtme başlangıcının öne alınmasının etkisi vardır. En düşük egzoz gaz sıcaklıkları püskürtme avansının 26,6°KMA'ya artırılmasıyla elde edilmiştir. Biyodizel ile avanslı çalışmada egzoz gaz sıcaklıklarının düşük olması püskürtme avansının dizel yakıtına göre bir miktar artırılması gerektiğini göstermiştir (Aktaş ve Sekmen, 2008).

Sekmen ve Aktaş (2008) biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda püskürtme basıncının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Biyodizel ile dizel yakıtının sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, aynı motorda önce dizel yakıtı için tavsiye edilen 19MPa püskürtme basıncında dizel yakıtı ile tam yükte motor momentini, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçmüşlerdir.

Daha sonra, sırası ile 19 ve 21,5MPa püskürtme basıncında biyodizel kullanılarak aynı denemeler yapmışlardır. Biyodizel ile çalışmada dizel yakıtına göre CO, HC emisyonlarında düşüş, NO<sub>x</sub> emisyonunda ise artış gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtın püskürtme basıncının artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %3'e kadar iyileşme tespit etmişlerdir. Ayrıca, CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma belirlemişlerdir (Sekmen ve Aktaş, 2008).

Sekmen ve Aktaş (2008) yaptıkları çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yakıt olarak soya yağı metil esteri kullanılmasının performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışma 1200-2400 d/dak hız aralığında ve tam yükte dizel yakıt no.2 ve soya yağı metil esteri kullanarak yapmışlardır. Biyodizel ile çalışmada, biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtından düşük olması nedeniyle motor efektif gücünde %3,9 azalma belirlemişlerdir. Biyodizelin ısıl değerinin düşük olması nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanılması gerektiğinden özgül yakıt tüketiminde %14 artış olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, biyodizel ile çalışmada, CO, HC, NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarında azalma olduğunu görmüşlerdir (Sekmen ve Aktaş, 2008).

Sekmen (2007) yaptığı çalışmada, karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanımını deneysel olarak araştırmıştır. Bu çalışmada, keten tohumu ve meyvesinden yararlandıktan sonra atılan karpuz çekirdeklerinden biyodizel üretilmiş ve dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 oranında karıştırılarak direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelemiştir. Deneysel çalışma 1400-3400 1/min hız aralığında tam yükte yapılmış ve sonuçları dizel yakıt no.2 ile karşılaştırmalı olarak vermiştir. Biyodizelin ısıl değeri dizel yakıttan düşük olduğundan motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlemiştir. Ayrıca, biyodizel karışımları ile çalışmada, CO, HC ve duman emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise artma gözlemlenmiştir (Sekmen, 2007).

Yiğit (2009) dizel motorlarda kanola yağı metil esteri kullanımının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Kanola yağı metil esteri kullanımının

motor momentinde ve gücünde dizel yakıtına göre düşmelerin meydana geldiğini gözlemlemiş ve bunun sebeplerini de kanola yağı metil esterinin ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olması, viskozitenin yüksek olmasından dolayı enjektörlerden istenilen püskürtmenin yapılamamasına yorumlamıştır. Kanola yağı metil esterinin, ısıl değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketiminde de artışların meydana geldiğini belirlemiştir.

Dizel yakıtına ilave edilen kanola yağı metil esterinin oranı artırıldığında CO emisyonlarında önemli ölçüde düşüşlerin meydana geldiği, dizel yakıtına göre CO emisyonlarında ki bu düşüşlerin sebebi olarak kanola yağı metil esteri içerisindeki O<sub>2</sub> miktarının dizel yakıtına göre yüksek olmasından kaynaklandığı ifade etmiştir. Biyodizel yakıtları bünyesindeki O<sub>2</sub> miktarının dizel yakıtına göre fazla oluşu, karışımın silindir içerisinde yanma sırasında CO emisyonları ile reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> emisyonlarının meydana gelmesinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Karışım içerisine ilave edilen kanola yağı metil esterinin oranı arttıkça karışım içerisindeki O<sub>2</sub> miktarının da artışına sebep olduğunu görmüştür. Karışım içerisinde artan O<sub>2</sub>, HFK'nın yüksek olmasına sebep olmuş ve böylece NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında dizel yakıtına göre düşüşlerin meydana geldiği gözlemlemiştir (Yiğit, 2009).

Şimşek (2010) soya yağı metil esterinin dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisini araştırmıştır. Testleri iki aşamalı olarak yapmıştır. İlk olarak motor; dizel yakıtı, B25, B50, B75 ve B100 yakıtları ile tam yük-sabit hızda gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarına göre performans bakımından en uygun yakıtın B25 yakıtı olduğu belirtmiştir. İkinci aşamada motor, dizel yakıtı ile orijinal püskürme basıncında ve B25 yakıtı ile değişik püskürtme basınçlarında (160, 180, 200, 220, 240 bar) değişik yüklerde karşılaştırma için test etmiştir. B25 yakıtı ile yapılan testler sonucunda, performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncının 220 bar olduğu tespit etmiştir. B25 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncında, dizel yakıtına göre motor gücünde önemli bir düşüşün olmadığı, özgül yakıt tüketiminde %2 oranında bir artışın meydana geldiği kaydetmiştir. Ayrıca HC, CO ve is emisyonlarında dizel

yakıtına göre sırasıyla %33, %9, ve %20 oranlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %12 oranında artışın meydana geldiği belirtmiştir (Şimşek, 2010).

Pireli (2006) tek silindirli bir dizel motorun tam yükte değişik püskürtme basınçlarında (200, 215, ve 230 bar) biyodizelin farklı oranlarda dizel yakıtına ilavesinin (%25, %50 ve %75) motor performansına etkileri araştırmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için motor hem %100 dizel yakıtı hem de %100 biyodizel ile çalışmalara tabi tutmuştur. Çalışmalar sonucunda %25 biydizel + %75 dizel, %50 biyodizel + %50 dizel ve %75 biyodizel + %25 dizel yakıt karışımlarında püskürtme basıncı arttıkça motor moment ve gücünde %100 biyodizel'e göre artış tespit etmiştir. Bunun yanı sıra %25 biyodizel + %75 dizel, %50 biyodizel + %50 dizel ve %75 biyodizel + %25 dizel yakıt karışımlarında püskürtme basıncının artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimlerinde iyileşme olduğunu belirtmiştir. Özgül yakıt tüketimindeki bu iyileşme 200 bar'daki %100 biyodizel'in aynı püskürtme basıncındaki %100 dizel yakıtına göre ortalama %18 olduğunu hesaplamışlardır (Pireli, 2006).

Yamık ve İçingür (2005) ayçiçeği yağı etil esteri dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motorunda kullanılarak motor performansı, duman koyuluğu, avansa bağlı moment değişimi ve ses seviyesini dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada maksimumu motor momentinin ölçüldüğü 2400 1/min de dizel yakıtı ile ayçiçek etil esteri arasındaki tork değeri farkı %8, en yüksek gücün ölçüldüğü 3900 1/min'de iki yakıt arasındaki tork değeri farkı %18 olduğu hesaplamışlardır. Yine aynı devirlerde efektif güç arasındaki fark sırası ile %10 ve %17 olarak hesaplamışlardır. Özgül yakıt tüketiminde ise aynı devirlerde iki yakıt arasında ki farkın çok fazla olduğu, bunun nedeninin ise ayçiçek etil esterinin alt ısı değerini düşük olması sonucunda, birim güç başına tüketilen yakıt miktarının fazla olmasından kaynaklandığı ifade etmişlerdir. Duman koyuluklarına bakıldığında, en yüksek moment ve en yüksek güç devirlerinin ölçüldüğü devirlerde sırası ile %14 ve %22 fark olduğunu ölçmüşlerdir. Ses seviyelerinde ise ayçiçeği etil esteri dizel yakıtından tüm devirlerde daha az ses ürettiğini belirtmişlerdir (Yamık ve İçingür, 2005).

Behçet ve Çakmak (2011), tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı dizel bir motorda yakıt olarak BYME karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Karışım yakıtlarındaki biyodizel miktarı arttıkça dizel yakıtına göre motor momentini ve gücünde düşmenin olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşmenin nedeni, BYME karışımının ısı değerlerinin dizel yakıtından düşük olmasından dolayı olduğu belirtilmiştir. Kullanılan biyodizel'in ısı değerinin düşük olmasından dolayı, aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıt püskürtülmekte ayrıca, biyodizel yoğunluğunun dizel yakıtı yoğunluğundan daha yüksek olması birim hacim başına daha fazla yakıt enjekte edilmesini sağladığından özgül yakıt tüketiminde artışların buna bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Karışım yakıtlar bünyelerinde oksijen bulunduğu için CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Yakıt içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça SO<sub>2</sub> emisyonu azalma meydana gelmiş ve en düşük SO<sub>2</sub> emisyonu B75 yakıtı kullanımıyla gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bu durumun oluşmasında; biyodizelin dizel yakıtına göre çok daha az miktarda kükürt içermesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir (Behçet ve Çakmak, 2011).

Eliçin vd. (2007), fındık yağı metil ve etil esteri ile dizel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir dizel motorda yakıt olarak kullanım olanakları araştırmışlardır. Fındık yağı kullanımı ile motor momentini, gücü ve toplam verimde dizel yakıtına kıyasla azda olsa düşüşlerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yağ asidi metil esteri kullanımı ile moment, güç ve toplam verim fındık yağı ve dizel yakıt karışımlarına oranla daha yüksek olduğu ve dizel yakıtına yakın değerlerde olduğu kaydedilmiştir. Fındık yağı karışımı ile yağ asidi metil esterinin, efektif güç ve moment değerinin dizel yakıtından düşük çıkmasının sebebi ısı değerlerinin düşük olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Ayrıca yüksek viskozitelerinden dolayı, enjektörde püskürtülürken daha iri zerrelilik olmaları, buharlaşma ve yanma sürelerini uzatarak, yanmanın daha çok genişleme periyoduna kayması, motor momentini, gücü ve veriminin düşük olmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Fındık yağı + dizel yakıtı karışımları ile yapılan testlerde duman yoğunluğunun dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, fakat yağ asidi metil esterinin kullanımı ile duman yoğunluğu

karışım yakıtlara oranla daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının fındık yağı kullanıldığında önemli ölçüde azaldığı, yağ asidi metil esteri kullanımında ham fındık yağlarına oranla NO<sub>x</sub> emisyonlarında kısmen artışların olduğunu gözlemlemişlerdir (Eliçin vd, 2007).

Keskin vd. (2007), kağıt fabrikalarında proses esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi ve üretilen biyodizelin dizel yakıtı ile %80 oranındaki karışımının (B80) motor performans ve emisyon değerlerine olan etkileri tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda tam yük şartlarında test etmişlerdir. B80 yakıtının tork ve güç değerlerinde dizel yakıtı değerlerine göre önemli bir değişim görülmezken, ısı değer farkından dolayı özgül yakıt tüketiminde %8,55'e kadar varan artışların olduğunu belirlemişlerdir. CO ve is emisyonlarında sırasıyla %13 ve %30'a varan oranlarda azalmaların olduğu tespit etmişlerdir. NO<sub>x</sub> emisyonları yapılan bütün ölçümlerde dizel yakıtı değerinden daha yüksek olduğunu ölçmüşlerdir (Keskin vd, 2007).

Alpgiray ve Gürhan (2007), yakıt olarak kullanılan kanola yağının tek silindirli bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla, direkt püskürtmeli, 5,5 kW anma gücünde 4 zamanlı bir dizel motor kullanmışlardır. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde kanola yağı dizel yakıtına hacimsel olarak %20, %40, %60, %80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiş, daha sonra emisyon ve motor denemelerini yapmışlardır. İkinci bölümde ise, transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri elde edilmiş, emisyon ve motor denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Denemelerde devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerlerini ölçmüşlerdir. Kanola yağı kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla az da olsa düşüşlerin meydana geldiği, yağ asidi metil esteri kullanımı ile moment ve gücün ham kanola yağına oranla daha yüksek olduğu ve dizel yakıtına daha yakın değerler belirlemişlerdir. Transesterifikasyon yönteminin kanola yağına uygulanması sonucu bitkisel yağların viskozitelerinin ve özgül ağırlıklarının azaldığını belirlemişlerdir. Bu özellikleri ile kanola yağı metil esteri dizel yakıtına daha yakın özellikler gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kanola yağı ile yapılan testlerde duman koyuluğunun dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, fakat

yağ asidi metil esterinin kullanımı ile duman yoğunluğunun seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtlara oranla daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Karışımli ve metil ester yakıtların CO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>2</sub> değerlerini de belirlemişlerdir. Sonuç olarak kanola yağı metil esterinin dizel yakıtına daha yakın değerlere sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Alpgiray ve Gürhan, 2007).

Keskin ve Aydın (2005), kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi ve bunun motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmışlardır. Ham tall yağı ilk olarak distilasyon yöntemi ile reçine ve yağ asitlerine ayırmışlardır. Tall yağı yağ asitlerinden metil ester (Biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Üretilen tall yağı biyodizeli tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında performans ve emisyon testine tabi tutmuşlardır. Dizel yakıtı değerlerine göre, tall yağı biyodizelinin tork ve güç değerlerinde sırasıyla %2,72 ve %2,59'a varan oranlarda azalmalar olduğunu tespit etmişler. Tall yağı biyodizelinin kullanımı CO emisyonlarında %37,27, is emisyonlarında ise %12,5'e varan azalmalar olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonların da %18,98'e varan artışların olduğunu tespit etmişlerdir (Keskin ve Aydın, 2005).

Çelikten ve Arslan (2008), dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin, 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek motor performansı dizel yakıtı ile sağlanmış, daha sonra kanola ve soya yağı metil esterlerinin performansları sıralanmıştır. Motor performanslarının bu şekilde çıkmasının öncelikle yakıtların ısı değerlerinden, yoğunluklarından ve viskozitelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yüksek viskozite ve yoğunluk, yüksek motor devirlerinde pompaya daha az yakıt dolmasına, düşük ısı değer ise yanma sırasında daha az enerji açığa çıkmasına ve sonuçta düşük performansa neden olduğunu belirtmişlerdir. Özgül yakıt tüketimleri dizele göre; kanola yağı metil esterinde %10,5 ve soya yağı metil esterinde %16,2'ye kadar artışların olduğunu belirlemişlerdir. Özgül yakıt tüketimindeki bu artışın temel nedeni; dizel yakıtına göre daha düşük bir ısı değere sahip olmaları sebebiyle birim güç başına tüketilen yakıt miktarının artmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. En düşük duman

dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %20 ve soya yağı metil esterinde ise %34'e kadar azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir. CO emisyonları dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %17 ve soya yağı metil esterinde %35 civarında azalmaların olduğunu hesaplamışlardır. Motorun düşük çalışma devirlerinde kullanılan alternatif yakıtlar dizel yakıtına göre az oranda CO emisyonları üretirken motorun yüksek devirlerinde bu oranın daha da azaldığını ifade etmişlerdir. Ancak, kullanılan alternatif yakıtlardaki NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtına göre; kanola yağı metil esterinde %14 ve soya yağı metil esterinde ise %26 civarında artışların olduğunu tespit etmişlerdir (Çelikten ve Arslan, 2008).

Özsezen (2007) yaptığı çalışmada, palmiye yağı kökenli atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, dört silindirli, doğal emişli, indirekt püskürtmeli (EDP) bir dizel motorda alternatif dizel yakıtı olarak kullanmıştır. Elde edilen motor test sonuçları, petrol kökenli dizel yakıtı (PKDY) ile yapılan ölçüm değerleri referans olarak karşılaştırmıştır. Motor performansı, yanma, püskürtme ve egzoz emisyon karakterlerini belirlemek amacıyla, motor tam yük, 60, 40, 20 Nm sabit yük ve değişik devir testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel sonucunda, biyodizel ve karışımları özgül yakıt tüketiminde artış gösterirken, motor performansında ise PKDY'ye göre hafif bir düşme olduğunu görmüştür. Genellikle, biyodizel ve karışımlarının kullanılması ile silindir gaz basıncının PKDY(petrol kökenli dizel yakıtı)'a göre daha yüksek olduğu ve üst ölü noktaya biraz daha yaklaştığını tespit etmiştir. Bütün test şartlarında, test motorunda biyodizel kullanıldığı zaman, tutuşma gecikmesi kısalmış ve püskürtme başlangıcı PKDY'ye göre daha erken olduğunu belirlemiştir. Deneysel, her bir yakıt için karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), yanmamış hidrokarbon (HC), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve duman koyuluğu değerlerini ölçmüştür. Emisyon testleri sonucunda, biyodizelin oksijen içeriği, HC, CO ve duman koyuluğu emisyonlarında önemli azalmalar sağladığını belirlemiştir. Fakat test motorunda biyodizel ve karışımlarının kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonunda artışların meydana geldiğini görmüştür (Özsezen, 2007).

Mesut (2011) tarafından yapılan çalışmada, atık ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiş, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlenmiş, doğrudan biyodizel (B100) ve %50 oranında dizel yakıtı ile



karıştırarak (B50) numune yakıtlar hazırlamıştır. Dizel yakıtının 40°C'deki viskozitesi tespit etmiş ve bu viskozite değeri referans alınarak B100 ve B50 yakıtları ön ısıtmaya tabi tutmuştur. Dizel yakıtı 40°C'de, B50 yakıtı 40°C ve 50°C'de, B100 yakıtı 40°C, 50°C ve 60°C'de ön ısıtma uygulanarak motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir.

Biyodizele ön ısıtma uygulama sonucunda 60°C'deki B50 yakıtının viskozitesinin 40°C'deki dizel yakıtının viskozitesine eşit olduğu tespit edilmiş. B50 ve B100 yakıtlarına ön ısıtma uygulandığı zaman dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor momenti ve gücünün azaldığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı, CO ve HC emisyonlarının azaldığı, NO<sub>x</sub> emisyonunun ise artış gösterdiğini belirtmiştir. İs emisyonu düşük devirlerde B50 yakıtı için yüksek, B100 yakıtı için düşük; yüksek devirlerde ise B50 ve B100 yakıtlarının her ikisinin de dizel yakıtından düşük çıktığını belirtmiştir (Mesut, 2011).

Karaosmanoğlu vd. (2000), ayçiçeği yağını, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda 50 saat test süresince direkt olarak kullanmışlardır. Testler sonucunda ayçiçeği yağını referans dizel yakıtına göre karşılaştırmışlardır. Performans açısından incelediklerinde ayçiçeği yağı kullanımı ile motor gücü azalırken, özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Enjektörü incelediklerinde enjektör üzerinde bir karbon tabakasına rastlamamışlardır. Egzoz emisyonları açısından incelediklerinde, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında artış olurken sadece is emisyonunda bir azalma olduğunu ifade etmişlerdir. Emisyonlardaki artışı, yağın viskozitesinin çok yüksek olmasından dolayı yeterli oranda atomizasyon sağlanamaması şeklinde yorumlamışlardır. HC emisyonun %60-70 oranında artış göstermesini, ayçiçeği yağının setan sayısının PKDY nazaran düşük olmasına bağlayarak, tam yanma gerçekleşemediğini ifade etmişlerdir (Karaosmanoğlu vd, 2000).

Graboski et al. (1996), %100 soya metil esteri ve %20, %35 ve %65 oranlarında soya yağı metil esteri ile 2 numaralı dizel yakıtı karışımlarının egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Araştırmacılar, yaptıkları testler sonucunda dizel yakıtı içerisindeki biyodizel yüzdesindeki artışla eş orantılı olarak THC (toplam

hidrokarbon), CO ve PM emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonunun ise arttığını ifade etmişlerdir. %100 soya yağı metil esteri testlerinde NO<sub>x</sub> oluşumu, 2 numaralı dizel yakıtına göre %11 artarken, PM %66, CO %47 ve THC %44 azaldığını tespit etmişlerdir (Graboski et al. 1996).

İlkılıç (2008) dört zamanlı, direkt püskürtmeli, tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motorunun değişik enjeksiyon basınçlarının egzoz emisyonlarına etkisi araştırmıştır. Yakıtın enjeksiyon basıncı, yakıtın yanma odasındaki nüfuziyetini, dizel yakıtının atomizasyonu ve dağılmasını, türbülanslı yakıt jetinin tabiatını ve karışımını etkilediğini belirtmiştir. Bu etkileri araştırmak için bir dizel motorunda birçok deney yapmıştır. Dizel emisyon karakteristiklerini sınırlandırmak için tam yük ve değişik enjeksiyon basınçlarında motor testi yapmıştır. Sonuçlar yüksek enjeksiyon basıncını ve yüklerde emisyonları etkilediğini, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının az değişimine karşılık CO emisyonunda düşmelerin olduğunu göstermiştir. Daha yüksek enjeksiyon basıncı ve motor hızında CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının sürekli düştüğünü belirtmiştir (İlkılıç, 2008).

Güven vd. (2010) yaptığı çalışmada, ülkemizde üretilen biyodizelin reolojik özelliklerinden biri olan viskozite değerleri ve bunun yanında motor performans eğrilerine doğrudan etkili olan özelliklerden biri olan özgül ağırlık değerleri saptamışlardır. Bu değerlerin standartlara uygunluğu incelemiştir. Sıcaklığın viskozite değişimleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla 20 ve 40°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta viskozite ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Standartlara uygun şekilde özgül ağırlık değerleri de 15°C'de belirlemiştir. Bu çalışma, piyasadan toplanan ve kullanımda olan 8 adet biyodizel numunesi (4'ü Sanayi Ticaret İl Müdürlüklerine kayıtlı, diğer dördü ise kayıtlı değildir) ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla da bir adet motorin numunesi kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Viskozite ve özgül ağırlık ölçümlerinin yanı sıra farklı marka traktör motorlarında yaygın olarak kullanılan 3 farklı tip enjektör kullanılarak, viskozite ve özgül ağırlık değişimlerinin enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarı üzerine ve püskürtülen yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımına etkilerini de belirlemiştir. Yanma odası içerisindeki yakıt dağılımını saptamak amacıyla traktör motorundaki yanma odası ile aynı ölçülere sahip bir yanma odası modeli oluşturmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre, örneklerin sıcaklık değerlerinin

artmasıyla viskozite değerlerinin oldukça düştüğü saptamışlardır. Kayıtlı olan firmalara ait örnekler de dahil olmak üzere biyodizellerin büyük çoğunluğunda viskozite ve özgül ağırlık değerlerinin standart dışı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek özgül ağırlık ve viskoziteden dolayı püskürtülen yakıt miktarı tüm biyodizel örnekleri ve enjektörler için motorine kıyasla daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yanma odası içerisindeki dağılıma göre en yüksek yakıt miktarı 9 numaralı yüksek viskoziteli biyodizel örneğinde saptamışlardır. Motorin yanma odasında biyodizel örneklerine göre daha uzak bölgelere püskürtülmüş ve dağılımın daha homojen olduğunu tespit etmişlerdir (Güven vd, 2010).

Çengelci vd. (2011), bir dizel motorunda hayvansal yağ metil esteri kullanımının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Hayvansal yağların yiyecek sektöründe kullanılması insan sağlığı açısından zararlı olduğunu ve buna ilaveten hayvansal yağlar atık olduğundan biyodizel üretiminde oldukça ekonomik olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada, hayvansal yağların yüksek serbest yağ asidi içeriğinden dolayı ilk olarak asit katalizörlü ve sonrasında baz katalizörlü olmak üzere iki aşamalı transesterifikasyon yöntemi uygulamışlardır.

Yapılan çalışmada, maksimum motor gücü biyodizel ve dizel yakıtları için 3000 1/min motor devrinde elde etmişlerdir. 3000 1/min motor devrinde, Biyodizel kullanımı ile motor gücünde dizel yakıtına göre %6,27 azalma gözlemlenmiştir. Bu azalmalar biyodizelin düşük ısı değeri ve yüksek viskozitesinden dolayı kaynaklandığını yorumlamışlardır. Özgül yakıt tüketimleri biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre ortalama olarak %16,41 artış olduğunu hesaplamışlardır. Yüksek yoğunluk ve düşük ısı değeri nedeniyle biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketimlerinde artış olduğunu gözlemlenmiştir. Biyodizel kullanımı ile CO emisyonlarında dizel yakıtına göre ortalama olarak %23,98 azalma elde etmişlerdir. Biyodizelin oksijen içermesi sebebiyle NO<sub>x</sub> emisyonlarında dizel yakıtına göre ortalama olarak %10,61 artış gösterdiğini belirlemişlerdir (Çengelci vd, 2011).

Özsezen ve Çanakçı (2009) yaptığı bir çalışmada, atık palmiye yağı kökenli biyodizel ve dizel yakıtı (PKDY) ile karışımlarının, bir dizel motordaki performans ve emisyon karakteristiklerini üç boyutlu haritalar üzerinden analiz etmişlerdir.

biyodizel ve karışımlarının performans ve emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla, motorun tam yük ve değişik devir testlerine tabi tutmuşlardır. Yapılan analiz sonucunda karışımdaki biyodizel oranı arttıkça PKDY'a göre özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, motorun döndürme momentinde ise azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Emisyon analizi sonuçlarında ise, karışımdaki biyodizel oranı ile ilişkili olarak PKDY'a kıyasla HC, CO ve is emisyonlarında iyileşmelerin olduğu, bununla birlikte CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı olarak kararlı bir değişim sergilemediklerini ifade etmişlerdir (Özsezen ve Çanakçı, 2009).

Yücesu vd. (2001), tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak No.2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçeği yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçeği yağı metil esteri, pamuk yağı metil esteri, soya yağı metil esteri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) kullanmışlardır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor tam gaz-değişik hız ve sabit hız-değişik yük deneylerine tabi tutmuşlardır. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans deneylerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlardan daha yüksek, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise No.2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşmeye rastlamışlardır. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu sonucuna varmışlardır (Yücesu vd, 2001).

Çanakçı vd. (2004), biyodizelin oksitlenme kararlılığı üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Biyodizel, yüksek oranlı doymamış yağlardan üretildiğinde, dizel yakıtından çok daha hızlı bir şekilde oksitlendiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, biyodizelin hızlandırılmış oksitlenme test sonuçları sunulmuştur. Bu testler ile zamanın, oksijen akış oranının, sıcaklığın, metallerin ve farklı biyodizel hammaddelerinin, oksitlenme üzerine etkisini göstermişlerdir. Ayrıca üretilen biyodizel yakıtların motorinle karışımı oluşturularak ve antioksidanlar ilave edilerek de incelemişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu, normal dizel motor sıcaklıklarında

antioksidan içermeyen biyodizelin çok daha çabuk bir şekilde oksitlendiğini tespit etmişlerdir. Bu oksitlenme işleminde, peroksit, asit ve viskozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Peroksit yaklaşık 350 meq O<sub>2</sub>/kg (miliequivalent/kg) değerine ulaştıktan sonra sabit kaldığını, asit ve viskozite değerinin ise periyodik olarak arttığını belirtmişlerdir (Çanakçı vd, 2004).

## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KİRLETİCİ EMİSYONLAR

#### 3.1. DİZEL MOTORLAR

Alman mühendis Rudolph Diesel 1892 yılında içten yanmalı ve Otto motorların çalışma prensibinden farklı yöntemle çalışan bir motorun patentini almıştır. Diesel'in bulduğu bu motorda yakıt olarak kömür tozu kullanılıyor ve dört zaman esasına göre çalışıyordu.

Birinci zamanda silindirlere sadece hava emiliyor. İkinci zamanda emilen hava, yüksek oranda sıkıştırılarak silindir içerisindeki havanın sıcaklığı ve basıncı, püskürtülen kömür tozunu tutuşturacak kadar yükseltiyor ve bu şekilde ateşleme sağlanıyordu.

Ancak bu motorlardan da istenen sonuç alınamadı. Diesel kısıtlı olanakları sebebiyle çalışmalarına M.A.N fabrikasını ortak ederek, uzun süren çalışmalarından sonra 1897'de bu günkü dizel motorlarının benzerini yapmıştır. Bu motorda katı yakıt yerine sıvı yakıt kullanılmıştır. Sıvı yakıt, silindirlerdeki basınçlı hava üzerine püskürtülerek sıkıştırma sonu sıcaklığı ile ateşlenmiş ve silindirler su ile soğutulmuştur. Silindirlerdeki yanma sonucu oluşan yüksek miktardaki ısının önemli bir bölümü, termodinamiğin ikinci yasasına uygun bir şekilde işe dönüştürülür. Silindir içerisinde oluşan ısının işe dönüşümü; piston, biyel ve kranktan oluşan bir "Hareket mekanizması" yardımıyla dairesel harekete çevrilerek faydalı işe dönüştürülmüş olur (Küçükşahin, 2008).

Dizel motorları da buji ile ateşlemeli motorlarda olduğu gibi iki ve dört zamanlı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Burada dört zamanlı dizel motorlardan bahsedilecektir. Bu motorlarda iş elde etmek için aşağıdaki dört zamana ihtiyacımız vardır.

- Silindirlere temiz havanın alınması, emme zamanı
- Silindir içerisindeki temiz havanın sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığının yükseltilmesi, sıkıştırma zamanı
- Silindire yakıt püskürtülüp yanmanın gerçekleşmesi ve iş zamanının oluşturulması, güç zamanı
- İş zamanının sonunda basıncı ve sıcaklığı önemli bir şekilde azalan atık gazların silindirden atılması, egzoz zamanı

Yukarıda bahsedilen dört zaman pistonun dört stroku veya 720 derecelik krank açısına aynı zamanda iki tam devrine denk gelmektedir.

Birinci zamanda piston üst ölü noktadan (ÜÖN) aşağıya, alt ölü noktaya (AÖN) hareket etmektedir. Piston ÜÖN'ye varmadan önce emme supabı açılmıştır. Pistonun AÖN'ye hareketi sırasında silindir hacmi giderek büyümekte ve dolayısıyla silindir içerisindeki basınç atmosfer basıncından daha düşük bir değere sahip olmaktadır. Bunun sonucu olarak silindirlerdeki basınçtan yüksek olan dış basınçtaki hava, emme manifoldundan silindirlere dolmaya başlar. Piston AÖN'yi bir miktar geçtikten sonra emme supabı kapanır ve böylece emme zamanı sona ermektedir (Küçükşahin, 2008).

Pistonun ÜÖN'ye hareketi sırasında küçülen silindir hacmi nedeniyle sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığı yükselmeye başlar. Sıkıştırma zamanı sonunda havanın basıncı, sıkıştırma oranına da bağlı olarak 30-40 bar ve sıcaklığı 450-650°C değerine erişir. Piston ÜÖN'ye yaklaştığı bir zamanda, enjektörden yakıt püskürtülür. Böylece emme supabının kapanışıyla, enjektörden yakıt püskürtme işleminin başladığı an arasındaki olaya sıkıştırma zamanı denilmektedir.

Silindir içerisinde sıkıştırılmış olan havanın sıcaklığı, püskürtülen yakıtın tutuşma sıcaklığından yüksek olduğu için yakıt kendiliğinden tutuşmaktadır. Ancak burada

dikkat edilmesi gereken nokta, silindir içerisine püskürtülen yakıtın hemen tutuşmadığıdır. Belli bir zaman tutuşma gecikmesinden sonra yanma gerçekleşmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinde silindir içerisinde püskürtülen yakıt ısınır, ardından buharlaşır, hava ile karışır ve kimyasal n reaksiyonlarla yanmaya hazır hale gelmektedir (Nişancı, 2007). Tutuşma, yanma odasının bir veya birkaç yerinde bir alevle birlikte başlar ve bu alev 25-35 m/s hızla yanma odasına yayılmaktadır. Böylece silindir içerisinde hızlı bir basınç yükselmesi meydana gelmektedir. Yanma sonunda oluşan gazların basıncı 40-80 bar ve sıcaklığı ise 1400-1900°C değerleri arasındadır. Sıcaklığı ve basıncı çok yüksek olan gazlar, N'yi henüz geçmiş bulunan pistonu AN'ye doğru itmektedir. Bu süre içerisinde piston bir yandan iş meydana getirirken bir yandan da silindir içerisindeki hacmi genişlemekte ve böylece yanma ürünü olan gazların basıncı ve sıcaklığı azalmaktadır. İş zamanı, yakıtın tutuşmasıyla başlamakta, piston AN'ye gelmeden egzoz supabının açılmasıyla sona ermektedir. Piston, genişleme zamanı sonuna doğru, AN'ye yaklaştığı zaman, egzoz supabı açılır ve gazlar, basınçlarının yüksek oluşu nedeniyle atmosfere karışmaktadır. Piston AN'den N'ye yn değiştirdiği zaman silindir içerisindeki hacim küçülmeye başlayacağından dolayı önündeki gazları da süpürerek dışarı atmakta ve bu olay piston N'ye varmadan tamamlanmaktadır. Böylece egzoz zamanı da sonlanmaktadır (Kşahin, 2008).

### **3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA**

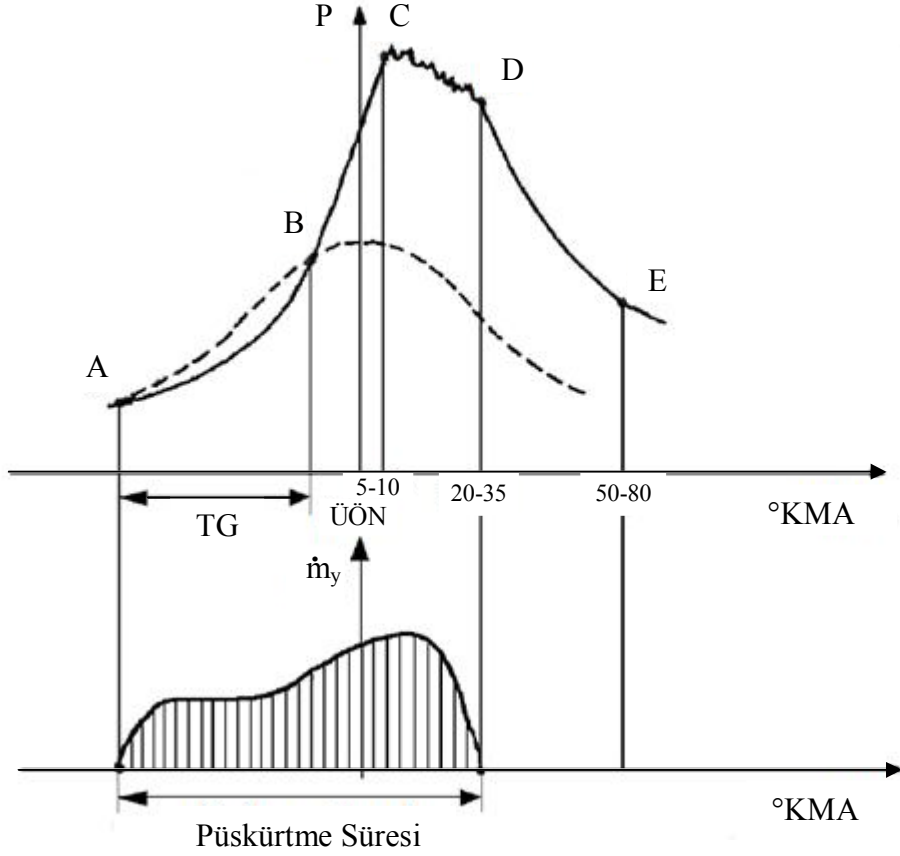
Yanma, yakıtın büyük bir enerji vererek oksitlendiği bir kimyasal tepkimedir. Yanma işleminde, serbest ve kolay elde edilebilmesi gibi nedenlerle, en sık kullanılan oksitleyici havadır. Saf oksijen, kesme ve kaynak gibi, havanın kullanıldığı bazı özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Yanma olayı yakıtın buharlaşarak hava ile karışma koşullarına, kimyasal reaksiyonların hızına ve yanma bölgesindeki ısı ve kütle iletim koşullarına bağlı olarak başlar, gelişir ve tamamlanır (engel ve Boles, 1996).

Dizel motorlarda yanma, yakıtın silindir içerisine püskürtülmesiyle başladığı andan yanma sonucunda oluşan gazların egzozdan atılmaya başladığı ana kadar gerçekleşen fiziksel ve kimyasal reaksiyonların oluşturduğu olaylardır (Keskin, 2005; Topgl, 2000). Dizel motorlarda yanma odası içinde homojen bir karışım yoktur. Yüksek



sıcaklık ve basınçtaki ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır. Ancak başlangıçta, bu reaksiyonların hızları düşük olduğundan, basınçta belirgin bir artış görülmez. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda, yanma odasındaki alev gözlenebilir ve p-V diyagramında basınç artışı belirgin bir şekilde görülür. Dizel motorlarda yanma olayını etkileyen ve yanmayı devam ettiren, yanma bölgesindeki sıcaklık, basınç, karışım oranı ve oksijen miktarını belirleyen yerel koşullardır. Ancak yanmanın gelişimi sadece yerel koşullara bağlı olmayıp, komşu bölgelerden olan ısı ve kütle iletimi ve yanma odasındaki hava hareketleri de bu gelişime tesir etmektedir. Pistonun ÜÖN'ye yakın bir konumda yanma odasına sıvı halinde püskürtülen yakıt demetini oluşturan damlacıklar ısınır ve buharlaşmaya başlar. Havanın karşı basıncı tarafından frenlenen demette, damlacıklar yavaşlar ve küçük damlacıklar demetin dış kısmına doğru yönelir. Tutuşma için gerekli H/Y oranı sağlandığında ilk yanma başlamaktadır (Safgönül vd, 2008). Dizel motorlarındaki yanma olayı Şekil 3.1'de görüldüğü gibi dört faza ayrılarak incelenebilir:

- Tutuşma gecikmesi
- Kontrolsüz yanma (ani yanma)
- Difüzyon kontrollü yanma
- Art yanma



Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri (Ergen, 2006).

### 3.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Yanma odasında ilk yakıt püskürtülmeye başladığı andan itibaren damlacıklara ayrılma, buharlaşma, ufak moleküllere parçalanma ve kimyasal reaksiyonlar başlamaktadır. Ancak kimyasal reaksiyonların başlaması ile ilk görülebilir alevin meydana gelmesi arasında belli bir süre geçmektedir. Püskürtme başlangıcından alevin gözükmesine ve p-V diyagramında basıncın ani olarak artmasına kadar geçen bu süreye tutuşma gecikmesi (TG) adı verilmektedir. Bu süre içerisinde buharlaşan yakıtın silindir ortamından çektiği ısı nedeniyle silindir basıncında bir azalma gözlenmektedir.

Tutuşma gecikmesi sırasında yakıt damlacıklara ayrılmakta, buharlaşmakta ve hava ile karışmaktadır. Bu olaylar fiziksel gecikmeyi oluşturmaktadır. Ayrıca, kimyasal reaksiyonların çok yavaş olması sebebiyle de kimyasal gecikme olur. Bu iki gecikme

çakışan bir şekilde oluşmaktadır. Böylece 1-3 ms kadar süren toplam tutuşma gecikmesi meydana gelmektedir.

Tutuşma gecikmesi süresi büyük olduğunda, püskürtmenin devam ettiği bu zaman içerisinde yanma odasına giren ve buharlaşan yakıt miktarı artar ve bu yakıt daha sonra kontrolsüz olarak yandığında ani bir basınç yükselmesi meydana gelmektedir. Motorun bu şekilde sert çalışması dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Motorun düzgün, yumuşak ve gürültüsüz çalışması için dizel vuruntusunun önlenmesi, yani tutuşma gecikmesi süresinin kısaltılması ve bu süre boyunca yanma odasına gönderilen yakıt miktarının minimum tutulması gerekmektedir (Safgönül vd, 2008).

### **3.2.2. Kontrolsüz Yanma**

Tutuşma gecikmesinden hemen ardından yanma olayı başlamaktadır. Silindir içerisine yakıt püskürtüldüğünde oluşan yakıt demetinin dış kısmında buharlaşma ve hava ile karışma daha iyi bir şekilde gerçekleşmektedir. Yanma genellikle karışımın olduğu bu bölgelerde başlamaktadır. Fakat dizel motorlarda yanma, tutuşmanın oluşabileceği uygun koşulların sağlandığı çeşitli bölgelerden başlayabilir (Safgönül vd, 2008). Yanma başladığı zaman oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içerisindeki basınç artış hızını ( $dp/dt$ ) da belirler. Yüksek bir basınç artış hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük etkisi göstereceğinden, bu parçalarda deformelere neden olmaktadır. Yanmanın bu safhası TG'ye oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı TG süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden TG'dir (Ünal, 2006).

### **3.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma**

Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma safhasına geçilir. Bu safhada yanma hızı, buharlaşma hızı ve yakıt buharlarının hava ile karışma hızı ile belirlenmektedir. Yakıt demetinin kalitesi (ortalama damlacık çapı) hava hareketleri ve HFK'nın yerel olarak birden büyük değere sahip olması bu safha için özellikle önemlidir.

Kontrollü yanma safhasında, yakıtın yanma hızı karışım oluşum hızı ile kontrol edilmektedir. Sıcaklıkların yüksek olduğu ÜÖN'ye yakın konumlarda yanmanın tamamlanmasına çalışılmaktadır. Karışma ve buharlaşma yeterince hızlı değilse yanma genişlemenin ileri aşamalarında tamamlanmış olacaktır. Ancak genişleme sonucu sıcaklıklar düşeceğinden yakıtın tümünün yanması olasılığı da azalmaktadır. Bu yüzden tam yanmamış karbon partikülleri (is) oluşmakta ve motorun verimi düşmektedir (Safgönül vd, 2008).

#### **3.2.4. Art Yanma**

Difüzyon kontrollü yanma safhasının hemen ardından art yanma başlamaktadır. Art yanmada, yanma hızı difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Bu safhada silindir içerisindeki zengin karışımdan dolayı difüzyon kontrollü yanma sonrasında bir miktar yakıt tam yanamaz ya da eksik yanmalarından dolayı art yanma safhasında yanmaktadırlar.

Art yanma safhasının uzaması silindir yüzeylerini, silindir kapağını ve piston tepesinin aşırı ısınmasına, segman yuvalarında karbon birikintisine ve yapışkan kalıntılar oluşmasına neden olmaktadır (Borat vd, 1994).

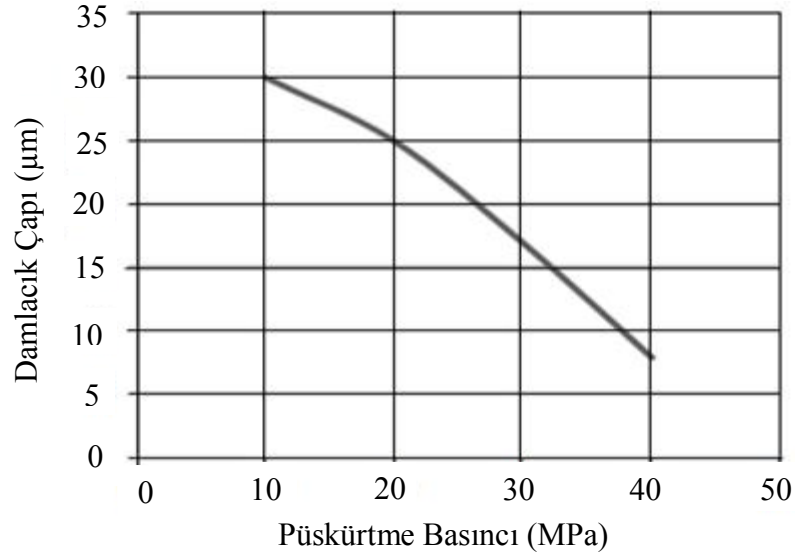
### **3.3. DİZEL MOTORLARDA YANMA İŞLEMİNE VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN PARAMETRELER**

#### **3.3.1. Yanmaya Etki Eden Faktörler**

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi birçok parametreye bağlı olarak etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları da azaltılabilmektedir.

### 3.3.1.1. Püskürtme Basıncının Etkisi

Enjeksiyon basıncının artması veya azalması yakıtın silindir içerisindeki atomizasyonunu etkilemesi sebebiyle karışım oluşumuna da etki etmektedir. Püskürtme basıncının artırılmasıyla yakıtın daha küçük parçalara ayrılması sağlanmaktadır. Bu sebeple damlacık çapı da küçülmektedir. Şekil 3.2’de püskürtme basıncının damlacık çapına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Püskürtme basıncının damlacık çapına etkisi (Oral, 2008).

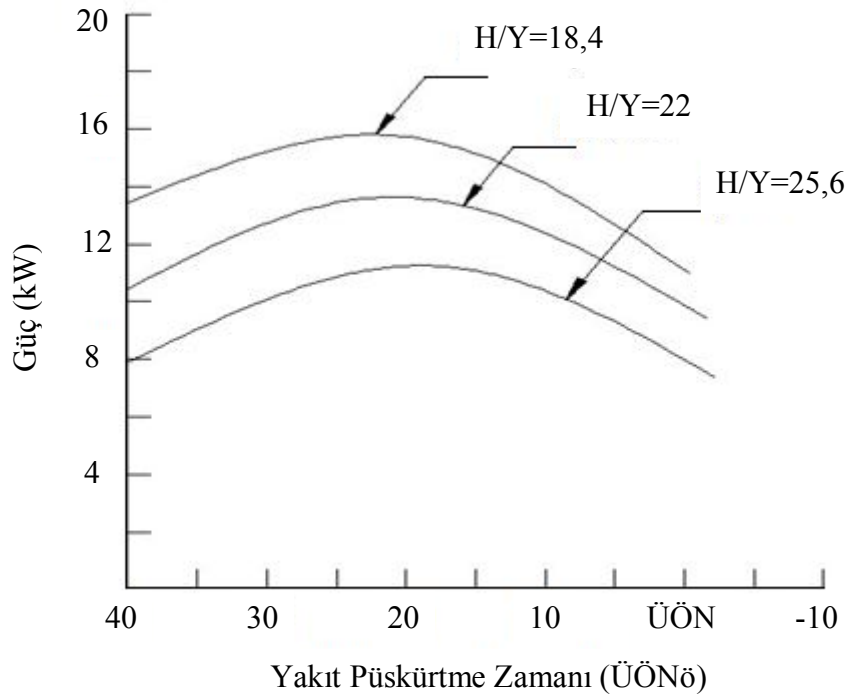
Püskürtme basıncı artırıldığında yakıt damlacık çaplarının küçültülmesi sağlandığından yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak yakıt damlacıklarının çapı küçüldüğünden taneciklerin kütleleri azalmakta, dolayısıyla ataletleri de azalmakta ve bu durumda yakıtın silindir içerisindeki nüfuz derinliği azalmaktadır. Püskürtme basıncının azaltılması yakıt damlacık çaplarının artmasına neden olmaktadır. Bu durumda yakıtın silindir içerisinde buharlaşması zaman alacağından yanma da kötüleşmektedir (Topgül, 2000).

### 3.3.1.2. Püskürtme Avansının Etkisi

Dizel motorlarda yakıt püskürtme avansı, iş zamanı sırasında piston ÜÖN’ye yakın olduğu bir zamanda silindir içerisindeki maksimum basıncın oluşturulabilmesi için

yakıtın sıkıştırma zamanı sonunda silindir içerisine püskürtülmeye başlandığı an ile ÜÖN arasındaki zaman farkına püskürtme avansı denilmektedir (Topgöl, 2000).

Püskürtme avansı dizel motorlarda yanmaya etki eden önemli bir işletme parametresidir. Dizel motorlarda püskürtme avansı, TG, silindir içerisindeki maksimum basıncın oluştuğu bölgeyi ve basınç artma hızını etkilediğinden yanma etkilenmekte, dolayısıyla motor performans ve egzoz emisyonlarını da etkileyen temel parametreler arasında yer almaktadır. Şekil 3.3'te püskürtme avansının motor gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 3.3. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi (Karakuş, 2000).

Yakıt püskürtme avansı belirli sınırlar içerisinde yapılmak zorundadır. Püskürtme avansı değiştikçe yakıtın içerisine püskürtüldüğü havanın fiziki şartları da değişmektedir. Püskürtme avansının belli bir noktaya kadar artması TG'yi kısaltmakta, bir miktar daha artırılması ise TG'nin uzamasına sebep olmaktadır. Böylece optimum püskürtme avansının yapılmasıyla motor performans ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanmaktadır (Karakuş, 2000; Aktaş ve Sekmen, 2008).

Optimum püskürtme avansı; motorun ve yakıt sisteminin tasarımına, silindire içerisine alınan havanın basınç ve sıcaklığına, motor yükü ve devrine göre değişmektedir. Bu sebeple sıkıştırma oranı, yanma odasının şekli ve püskürtme karakteristikleri verilmesi gereken püskürtme avansını etkilemektedir (Topgül, 2000).

Motorun normal değerlerden daha yüksek püskürtme avansı ile çalıştırılması halinde yakıtın püskürtülmeye başladığı anda, silindir içerisindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olacağından yakıtın TG periyodu uzayacaktır. Bu nedenle silindir içerisinde biriken yakıt ani yanma safhasında yanacağından basınç artma oranı yükselmekte, dolayısıyla motor vurunutulu çalışmaya başlamakta ve krank-biyel mekanizmasının zorlanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, yanma sıcaklığı artacağından  $NO_x$  emisyonlarında artış ve HC emisyonlarında da azalma meydana gelmektedir (Topgül, 2000; Murcak vd, 2011). Püskürtme avansının normal değerlerden düşük olması halinde, yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başladığı anda, silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç yüksek olacağından TG süresi de azalacaktır. Bu nedenle motor daha yumuşak çalışmaktadır. Fakat yanmanın önemli bir kısmı difüzyon kontrollü yanma safhasında gerçekleşeceğinden ve pistonun da ÜÖN'den uzaklaşması sebebiyle motor gücünde düşüş meydana gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı silindir içerisindeki sıcaklıklar azalacağından  $NO_x$  emisyonları azalmakta, fakat HC emisyonları artmaktadır (Topgül, 2000).

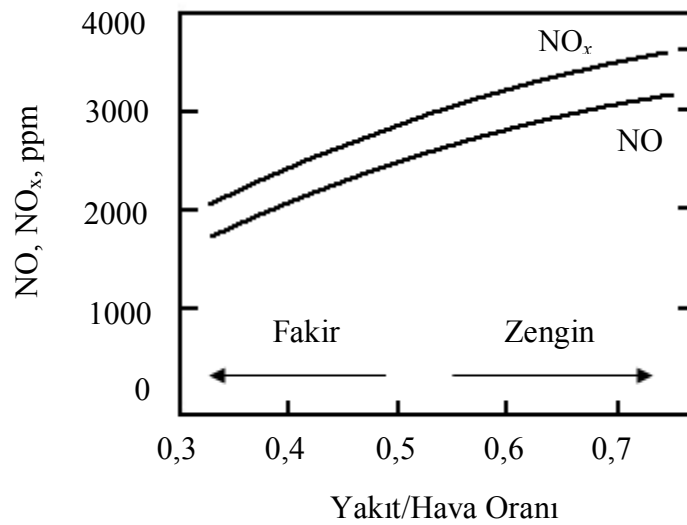
### **3.3.1.3. Yakıt-Hava Oranının Etkisi**

Dizel motorlarda yakıt silindir içerisine sıvı fazda püskürtülmekte ve silindir içerisindeki sıcaklıklar nedeniyle de buharlaşmaktadır. Silindir içerisindeki Y/H oranı her noktada aynı değildir ve bu oran sıfır ile sonsuz arasında değişmektedir. Dolayısıyla, yanma olayı, silindir içerisindeki en uygun H/Y oranına sahip noktadan veya noktalardan başlamaktadır. Bu nedenle püskürtülen yakıt miktarından ziyade, buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Dolayısıyla yakıt-hava oranının TG üzerine doğrudan etkisi yoktur. Yakıt-hava oranının artmasıyla silindir içerisine daha fazla ısı sürüldüğünden maksimum basınç yükselmekte ve TG süresi kısalabilmektedir. Yakıt-hava oranı azaldıkça yanma sonu basınç ve sıcaklığı

azalacağından silindir duvar sıcaklığı da azalmaktadır. Dolayısıyla TG süresi de azalabilmektedir (Sönmez, 2006).

Dizel motorlarda Y/H oranı daha çok egzoz emisyonlarını etkilemektedir. Yakıt-hava oranının belirli bir sınırın üzerine çıkartılması is emisyonlarının artmasına sebep olmakta, dolayısıyla fren özgül yakıt tüketimi bu noktadan itibaren artmaktadır. Çünkü silindir içerisine püskürtülen yakıt tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için yeterli hava bulamamaktadırlar (Topgül ve Salman, 2001). Yine Y/H oranının artmasıyla silindir içerisine yakıt tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için yeterli hava bulamamakta ve eksik yanmalarına neden olmakta dolayısı ile CO emisyonlarının artışına sebep olmaktadır.

Karışım oranı üzerinde yanma yönünden bir sınırlama yoktur. Fakat düşük H/Y oranlarında istenen püskürtme karakteristiğinin tutulabilmesi zordur. Şekil 3.4'te Y/H oranının  $NO_x$  ve NO emisyonlarına etkisi görülmektedir. Yakıt-hava oranı arttıkça ağır yüklerde maksimum basıncın artması karışımın daha geniş bir bölgede, stokiyometrik orana daha yakın bir değerde yanmasını sağlamaktadır. Bu durumda  $NO_x$  oluşumu artmaktadır. Yakıt-hava oranının azaltılması ile  $NO_x$  emisyonu azalmaktadır. Ancak dizel motorlarda yakıtın düzgün püskürtülmemesinden dolayı bu azalma fazla olmamaktadır (Karakuş, 2000).

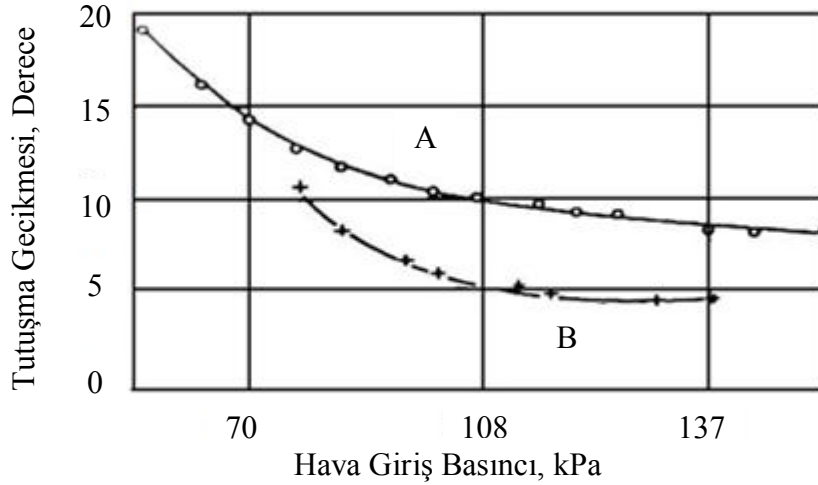


Şekil 3.4. Yakıt/hava oranına bağlı olarak  $NO_x$  ve NO konsantrasyonları (Uymaz 2009).



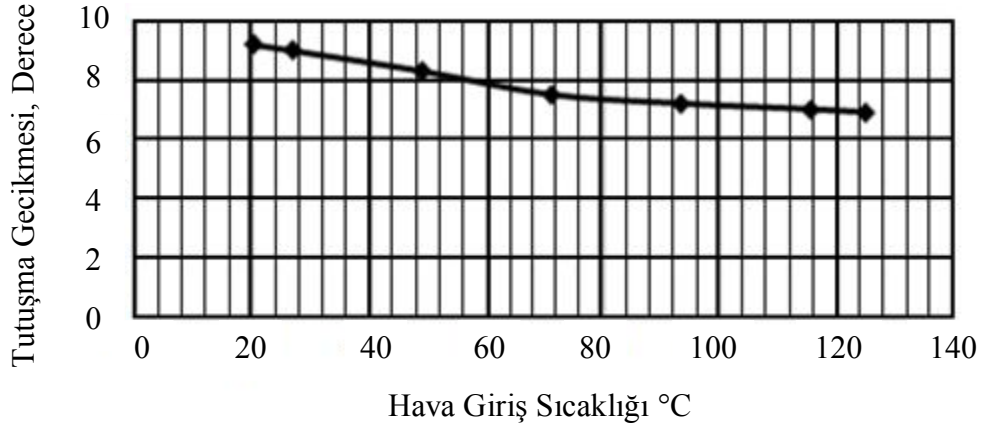
### 3.3.1.4. Giriş Basıncı ve Sıcaklığı

Dizel motorlarda emme zamanında silindir içerisine alınan havanın giriş basıncı arttıkça, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artacağından TG süresi azalmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinin kısalması, yanmanın diğer safhalarını etkilemekte ve buna bağlı olarak yanma sonu sıcaklığı ve basıncını da etkilemektedir. Şekil 3.5'te hava giriş basıncının TG'ye etkisi görülmektedir. Yine, giriş basıncının artmasıyla, silindir içerisine daha fazla hava alındığı için volümetrik verim artmaktadır. Giriş basıncının artmasıyla emilen havanın yoğunluğu artmakta ve silindir içerisine alınan taze havanın miktarı da artmaktadır. Böylece motorun hacimsel verimi iyileşmekte ve motorun gücünde yükselme meydana gelmektedir (Uymaz, 2009).



Şekil 3.5. Hava giriş basıncının TG'ye etkisi (A: Düz yanma odası, B: Bölünmüş yanma odası) (Oral, 2008).

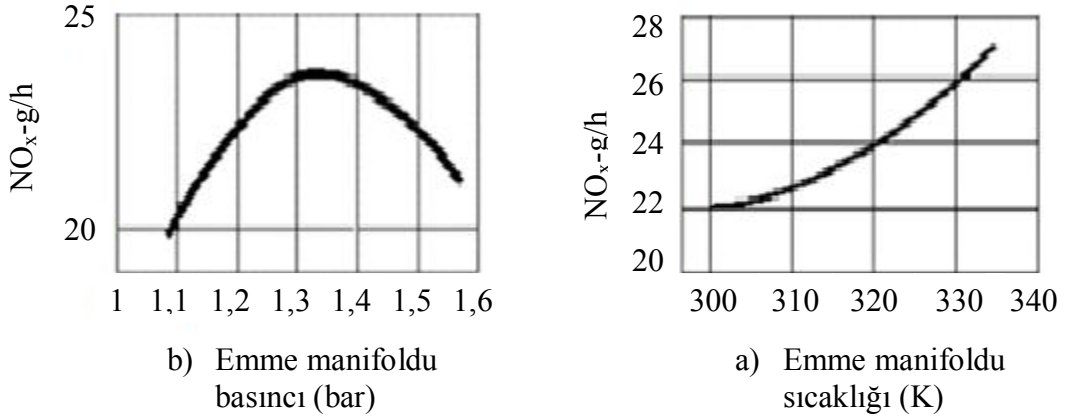
Emme zamanında silindir içerisine alınan havanın giriş sıcaklığının artması TG süresinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 3.6'da hava giriş sıcaklığının TG'ye etkisi görülmektedir. Ayrıca, silindir içerisine yakıt püskürtüldüğünde, parçalanma sonucunda oluşan damlacıkların sıcaklığı, ortamdan damlacıklara olan ısı iletimi nedeniyle artmaktadır. Dolayısıyla, damlacıkların sıcaklığının artışı ile yakıtın buhar basıncı artmakta ve yakıtın buharlaşma hızı artmaktadır (Safgönül vd, 2008). Ancak, giriş sıcaklığı arttıkça emilen havanın yoğunluğunun azalmasıyla birim hacimdeki miktarı da azalacağından volümetrik verim azalmaktadır (Topgül, 2000).



Şekil 3.6. Hava giriş sıcaklığının TG'ye etkisi (Uymaz, 2009).

Dizel motorlarda yanma sonucunda egzoz emisyonları içerisinde  $\text{NO}_x$  oluşmaktadır. Dizel motorların fazla hava ile çalıştırılmaları  $\text{NO}_x$  oluşturma potansiyelini artırmaktadır. Dizel motorlarda meydana gelen  $\text{NO}_x$  emisyonları giriş basıncı ve sıcaklığından oldukça etkilenmektedir. Giriş basıncı ve sıcaklığının artması TG süresini azaltarak, daha yüksek yanma sonu sıcaklığı ve basıncının oluşmasına sebep olmaktadır. Fakat sonuçta  $\text{NO}_x$  emisyonları, yüksek sıcaklıklarda meydana geldiğinden  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artma meydana gelmektedir (Borat vd, 1995).

Şekil 3.7 a'da emme manifoldu basıncının  $\text{NO}_x$  emisyonlarına etkisi görülmektedir. Giriş basıncını artırılmasıyla  $\text{NO}_x$  miktarı önce artmakta, daha sonra düşmektedir. Giriş basıncının artırılmasıyla  $\text{NO}_x$  oluşumunu artıran faktörler; lokal oksijen ve azot miktarının ve yakıt spreyinin sınır tabakalarındaki dağılımının artmasıdır. Bu etki alev alanını artırarak birim zamanda yanan kütle miktarını artırmaktadır. Buna bağlı olarak  $\text{NO}_x$  oluşumu da artmaktadır. Şekil 3.7 b'de ise emme manifoldu sıcaklığının  $\text{NO}_x$  emisyonlarına etkisi görülmektedir. Yakıtın püskürtülmesi sırasında silindir içi sıcaklığının daha fazla olması  $\text{NO}_x$  emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Giriş havasının soğutulması  $\text{NO}_x$  emisyonlarının oluşumunu azaltmaktadır.



Şekil 3.7. Emme manifoldu basıncı ve sıcaklığının NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi (Uymaz, 2009).

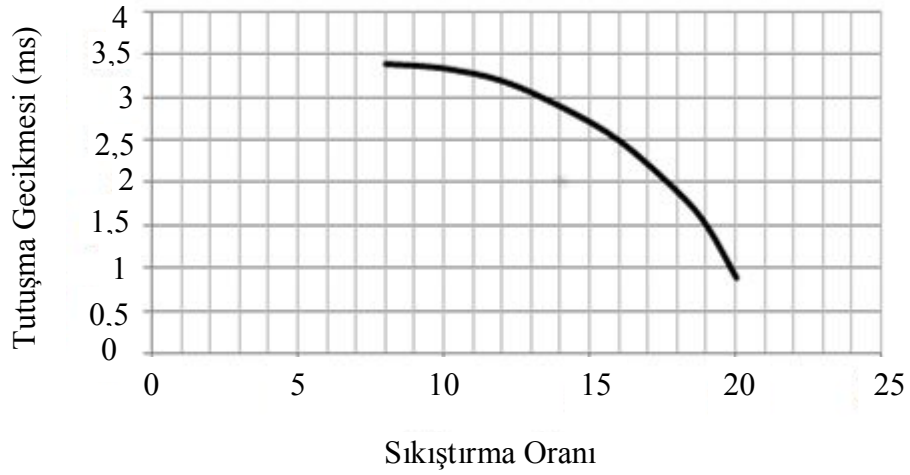
Diğer taraftan giriş basıncı artırılarak sıcaklığının azaltılması ve yoğunluğu fazla olan hava içerisinde yakıt sprey dağılımının azaltılması, yakıt spreyinin karşısındaki lokal H/Y oranlarını azaltacağından NO<sub>x</sub> oluşumunda azalma meydana gelmektedir (Uymaz, 2009).

### 3.3.1.5. Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranının artması silindir içerisinde sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını artırmaktadır. Ancak sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı belli bir sınırdan tutulmak zorundadır. Aksi halde motor parçaları aşırı yüklenme ve zorlanmalara maruz kalmakta ve krank biyel mekanizması deforme olmaktadır (Borat vd, 1994).

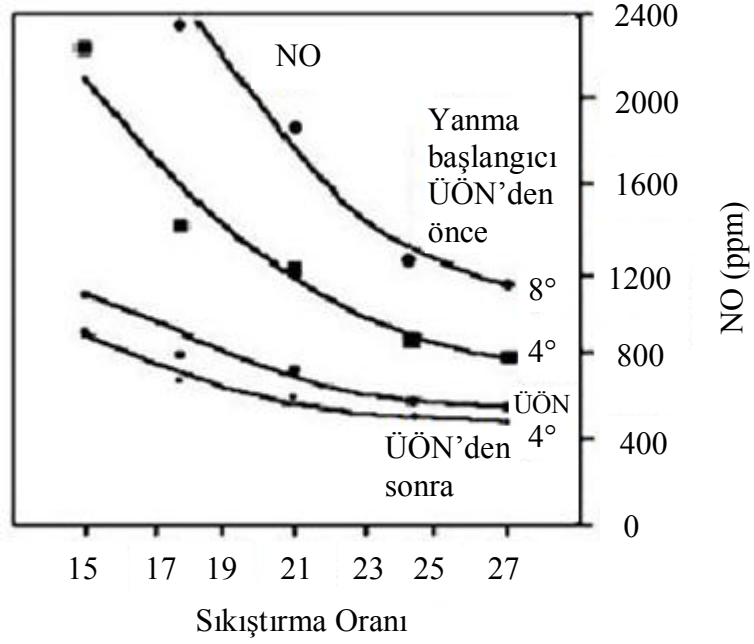
Yine sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının artmasına neden olduğundan efektif basınç artmakta ve fren özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Fakat sıkıştırma oranının belli bir seviyenin üzerine çıkmasıyla kompresyon kaçaklarının artmasına ve mekanik verimin azalmasıyla fren özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Topgül, 2000; Topgül ve Salman, 2001).

Şekil 3.8'de dizel motorlarda sıkıştırma oranının TG üzerine etkisi görülmektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça, artan basınç ve sıcaklıklar nedeniyle TG süresinin kısılmasıyla birlikte basınç artma hızı da küçülmektedir. Böylece motorun çalışması daha yumuşak olmaktadır (Safgönül vd, 2008).



Şekil 3.8. Dizel motorlarda sıkıştırma oranının TG'ye etkisi (Uymaz, 2009).

Sıkıştırma oranı direkt püskürtmeli dizel motorlarında NO oluşumunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Şekil 3.9'da 1400 1/min devirde 15:1-27:1 aralığında değişen sıkıştırma oranının, NO emisyonlarına etkileri görülmektedir. Püskürtme avansının sabit kalması şartıyla, sıkıştırma oranının azaltılması TG süresini artırmaktadır. Dolayısıyla bu süre boyunca püskürtülen yakıt miktarını artıracağından silindir içi maksimum sıcaklık yükselmekte ve buna bağlı olarak NO oluşumu artmaktadır. Sıkıştırma oranının artırılması ile TG süresi kısılacağından NO oluşumu azalmaktadır. Fakat sürtünme işi artacağından çevrim verimi kötüleşmektedir (Uymaz, 2009).



Şekil 3.9. Sıkıştırma oranının NO emisyonlarına etkisi (Oral, 2008).

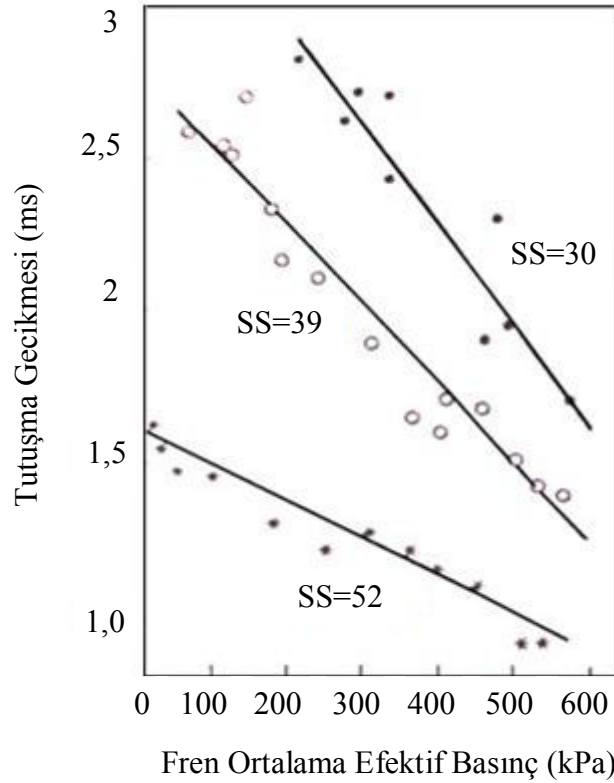
Sıkıştırma oranının artması, yanma odası içerisinde hava akımının azalmasına ve hava-yakıt karışım formasyonunun kötüleşmesine neden olmaktadır. Yakıt hava karışımının kötüleşmesi duman miktarının artmasına neden olmaktadır (Topgül, 2000).

### 3.3.1.6. Yakıt özellikleri (Setan Sayısı)

Dizel yakıtları çeşitli hidrokarbon moleküllerinin bileşiminden meydana gelmektedir. Bu yakıtlarda bulunan parafinik hidrokarbonlar, setan sayısının yükselmesine neden olmaktadır (Topgül, 2000). Bu yakıtların performansı tutuşma kalitesine bağlıdır. Dizel yakıtların ateşleme kolaylığını ve düzenli yanmasını, setan numarası belirlemektedir (Safgönül vd, 2008).

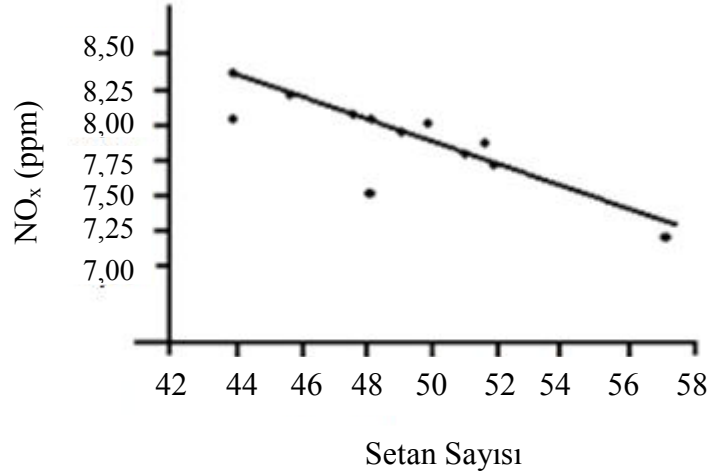
Dizel yakıtların setan sayısı yüksek olduğunda, TG süresi daha kısa olmaktadır. Setan sayısının TG'ye etkisi Şekil 3.10'da görülmektedir. Grafik dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, sıkıştırma oranı 16,5/1 olan bir dizel motorun 1980 1/min motor devrinde farklı setan sayılarına sahip dizel yakıtları ile çalıştırılması sonucu elde edilmiştir (Uymaz, 2009). TG süresinin kısa olması da ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltmaktadır. Yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma safhasında

yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca TG süresinin azalmasıyla, silindir içerisinde yakıt-hava karışımının sağlanması için daha kısa süre gerektirdiğinden ve yakıtın yanma odası içerisinde homojen dağılmaması nedeniyle yanma hızı da azalmaktadır (Topgl, 2000; Maleev, 1983).



şekil 3.10. Yakıtın setan sayısının TG'ye etkisi (Uymaz, 2009).

şekil 3.11'de yakıtın setan sayısının NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi görülmektedir. Setan sayısının yüksek olması TG süresini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç yükselmesine engel olmaktadır. Yakıt daha erken tutuşarak yanmaya başlamaktadır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içerisindeki sıcaklık artmakta ve sıcaklık artışına bağlı olan NO<sub>x</sub> emisyonları da artış göstermektedir. Bu yüzden yanma başlamadan önce daha az yakıt püskürtülmelidir. Bu durumda N civarında yanan yakıt miktarı azalacağından maksimum yanma sıcaklığı da düşmektedir (Ergeneman vd, 1998).



Şekil 3.11. Yakıtın setan sayısının NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi (Uymaz, 2009).

### 3.3.1.7. Püskürtülen Yakıt Miktarı

Püskürtme sistemi tarafından birim zamanda veya birim krank mili açısı başına enjektörden püskürtülen yakıt miktarı püskürtme kanununu belirlemektedir. Püskürtme kanunu TG süresince ve daha sonra yanma odasına püskürtülen yakıt miktarını dolayısıyla yanmayı etkilemektedir (Safgönül, 2008).

Dizel motorlarda sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı yüksek olduğundan püskürtülen yakıt miktarı çok az olsa bile yüksek termik verimle yanabilmektedir. Yakıtın püskürtme hızı yerine, püskürtme süresi değiştirildiği zaman kısa TG süresince daha az yakıt püskürtülmekte ve böylece ani yanma safhasında basınç değişim hızında (dp/dt) bir azalma görülmektedir (Karakuş, 2000).

### 3.3.1.8. Motor Hızının Etkisi

Dizel motorları düşük devirlerde çalıştırıldığında TG süresince silindir içerisinde daha az yakıt birikimi olacağından basınç artış hızıyla birlikte basınçta düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük motor devirlerinde TG süresi aynı olmaktadır. Buna rağmen silindir içerisinde iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceğinden ve aynı süre içerisinde daha iyi bir karışım meydana getireceğinden, daha az türbülans sağlayan motora göre sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı dp/dt oranı daha yüksek olmaktadır (Sönmez 2006).

### **3.3.1.9. Soğutucu Akışkan Sıcaklığı**

Soğutucu akışkan sıcaklığı değıştikçe TG süresi de değışmektedir. Soğutucu akışkanın sıcaklığı artıkça, silindir cidarlarından soğutucu akışkana ısı transferi de azalmaktadır. Ceket sıcaklığı arttıkça püskürtme sırasında yakıt, silindir içerisinde bulunan yüksek sıcaklıktaki hava üzerine püskürtülmekte ve daha kolay buharlaşmaktadır. Buna bağılı olarak TG süresi ve basınç artış oranı azalmaktadır (Topgül, 2000).

### **3.3.1.10. Karışımındaki Oksijen Yüzdesi**

Yanma için gerekli olan hava yerine sadece oksijen kullanımının birim hacim başına açığa çıkan enerji miktarının yaklaşık olarak beş kat arttığı, karışımındaki artan oksijen konsantrasyonu enerji açığa çıkma hızını artırarak TG süresini azaltmaktadır (Borat vd. 1994).

Sönmez (2006) tarafından yapılan deney sonuçlarına göre emme havasını oksijen konsantrasyonunun artırılmasıyla motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yine emme havası içerisindeki oksijen konsantrasyonunun artırılmasıyla CO emisyonlarında ortalama %95,5 azalma, buna karşın CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum yanma olayının iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası içerisindeki oksijen miktarının fazla olması yakıtın daha fazla oksitlenmesine sebep olduğundan HC emisyonlarında da azalma meydana geldiği görülmüştür. Fakat bu durumda yakıt oksijenle daha hızlı reaksiyona girmekte bu da silindir içi sıcaklığı artmaktadır. Bu sebeple NO<sub>x</sub> emisyonlarında ciddi bir artış meydana gelmektedir (Sönmez, 2006).

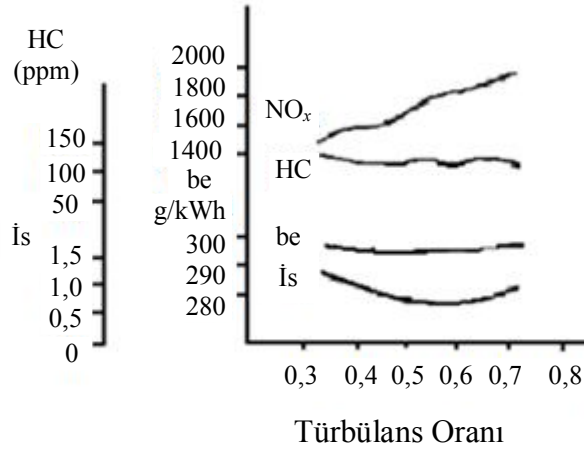
### **3.3.1.11. Türbülans Oranı**

Silindir içerisindeki hava hareketi, yakıtın hava ile karışmasına, böylece yanma işlemine ve emisyonlara doğrudan etki etmektedir. Türbülans oranı arttıkça, TG süresinde herhangi bir değışme olmamaktadır. Fakat maksimum basıncın ve basınç



artma oranı daha yüksek olmaktadır. Ayrıca ortalama efektif basınç ve verimde artmaktadır. Ancak türbülans oranını artırmak genellikle egzoz partiküllerini, HC'leri ve dumanı azalırken, NO<sub>x</sub> miktarını artırmaktadır. Bunun yanı sıra, ortalama efektif basıncın ve verimin artması için türbülans oranına uygun püskürtme karakteristiğinin sağlanması gerekmektedir (Topgül, 2000).

Türbülans oranının is, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarına etkileri Şekil 3.12'de görülmektedir. Silindir içerisine alınan hava hareketlerinin azaltılması püskürtülen yakıtın hava ile karışmasını azaltmaktadır. Yakıt-hava karışımının kötüleşmesi, yanan karışım bölgesindeki yanmamış karışım miktarını artırmaktadır. Bunun yanında yanma işleminin kötüleşmesi sonucu yanma sonucu basıncı ve sıcaklığı azalacağından NO<sub>x</sub> emisyonları azalmaktadır. Fakat yanmamış karışım miktarının artmasından dolayı is emisyonları artmaktadır (Ergeneman vd, 1998).



Şekil 3.12. Türbülans oranının is, NO<sub>x</sub>, HC ve özgül yakıt tüketimine etkisi (Uymaz, 2009).

### 3.3.1.12. Aşırı Doldurma

Motor silindirleri içerisinde yakılan yakıt ve bu yakıtı yakabilmek için gerekli olan hava miktarı ile orantılı bir şekilde içten yanmalı motorlarda güç üretilebilmektedir. Normal emişli motorlarda silindir içerisine emilen hava miktarı, kurs hacmine bağlı olarak değişmektedir. Silindir içerisine alınan hava miktarı genellikle dizel motorlarda egzoz turbo kompresör kullanılarak normal emişli motorlara göre artırılmaktadır. Aşırı doldurma yöntemiyle silindir içerisine daha fazla havanın

gönderilmesiyle daha fazla yakıt sürülerek, fren ortalama efektif basıncı ve motor gücünde artışlar sağlanmaktadır. Aşırı doldurmalı bir dizel motorda, ölçüleri aynı olan doğal emişli motorun hızı artırılmadan daha fazla çıkış gücü elde edilmektedir. Böylece normal emişli bir motor tarafından üretilen güç, aynı boyutlarda aşırı doldurma sistemi bulunan bir motorda, daha düşük devirlerde elde edilebilmektedir (Topgül, 2000).

### **3.4. DİZEL MOTORLARDAKİ KİRLİLETİCİ EMİSYONLAR**

Dizel motorlar ve buji ile ateşlemeli motorlar hava kirliliğinin ana nedenlerinden biridir. Bu motorlardan meydana gelen emisyonlar küresel ısınmaya, asit yağmurlarına, çeşitli kokulara, solunum ve diğer sağlık problemlerine neden olmaktadır. Bu emisyonların temel sebebi eksik yanma ve azotun parçalanması gibi etkenlerdir (Aydoğan, 2008).

Dizel motorlarda silindir içerisine püskürtülen yakıtın homojen bir şekilde dağılmamasından dolayı karışımın farklı bölgelerinde farklı sıcaklık ve basınç bölgeleri oluşmaktadır. Yakıt silindir içerisine püskürtüldüğünde yanma sırasında, NO<sub>x</sub> emisyonları alevin dış kısmı ile iç kısmında oluşmakta ve sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde daha fazla görülmektedir. Dolayısıyla alevin iç kesimlerinde NO<sub>x</sub> emisyonu, sıcaklığın etkisiyle daha fazla olmaktadır. Partikül emisyonu alevin çekirdek bölgelerinde, daha çok yanmamış yakıtın olduğu zengin karışım bölgelerinde görülmektedir. HC emisyonları da yakıtın tam yanmamasından kaynaklanmakta ayrıca, silindir duvarlarında alevin soğuması ile oluşmakta ve alevin dış kısımlarında görülmektedir (Örnek, 2007).

#### **3.4.1. Karbonmonoksit (CO)**

Karbonmonoksit renksiz, kokusuz ve çok zehirli bir gazdır. Solunum sırasında kanın yapısında bulunan hemoglobine tutularak onunla birleşmekte, kandaki hemoglobinin oksijenle birleşmesini önlemektedir. Bu durumda kanda yetersiz oksijen bulunmakta ve zehirlenmelere sebep olmaktadır (Örnek, 2007).

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasındandır. Yanma odasının geneli ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması gibi durumlarda yanma odasının belirli bir konumunda yerel olarak yetersiz olmakta dolayısıyla CO emisyonlarının oluşumuna sebep olmaktadır. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir (Soruşbay, 1999).

Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan,



Eşitliği ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO<sub>2</sub> miktarına oranla daha fazla CO elde edilir. Fakat sıcaklık düştükçe CO'nun CO<sub>2</sub> şekline oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir veya stokiyometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda soğuk egzoz gazları içerisinde bile O<sub>2</sub> yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır.

Yanma sırasında, alev cephesinin iç kısmında ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Fakat gazların daha sonra genişlemesi ve soğuma sırasında, oksidasyonu sonucu CO CO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir. Sıcaklıkların genişleme zamanında daha da düşmesi durumunda denge reaksiyonu sıcaklıktaki düşüşü takip edemediğinden egzoz gazları içerisindeki CO miktarı beklenilenden daha fazla olmaktadır (Soruşbay, 1999).

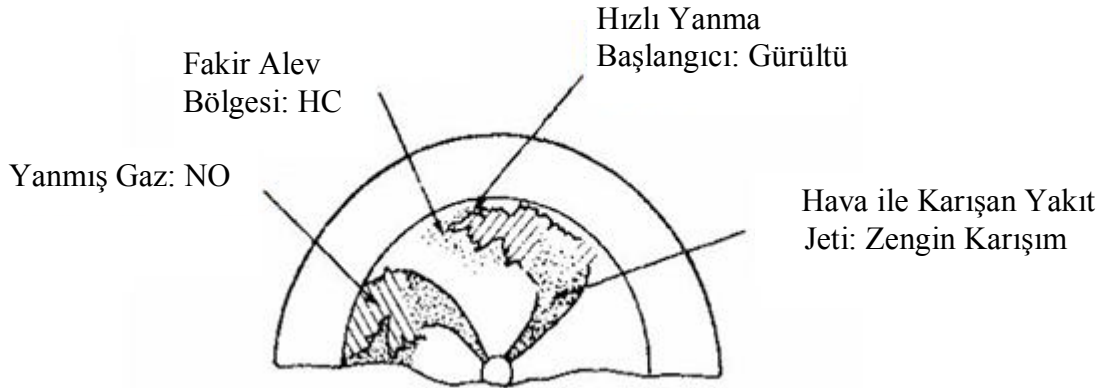
### 3.4.2. Azotoksit (NO<sub>x</sub>)

Havada %79 oranında bulunan azot, azot oksitlerin esas kaynağıdır. Yanma için gerekli olan hava silindir içerisine alındığında havanın bünyesindeki azot molekülleri yanma sırasında parçalanarak oksitlenmekte ve NO<sub>x</sub>'ler oluşmaktadır. Azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) emisyonlarına genel olarak azot oksitler "NO<sub>x</sub>" olarak tanımlanmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının yaklaşık %95'ini NO, kalan kısmını ise diğer azot oksit bileşenleri meydana getirmektedir. Bulduğumuz ortamdaki NO<sub>x</sub>

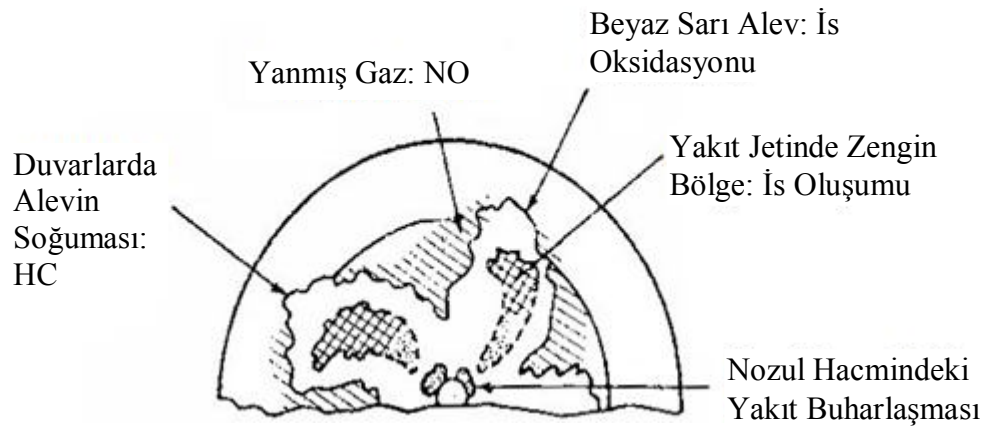
konsantrasyonunun yüksek olması gözlere ve solunum organlarına zarar vermektedir.  $NO_x$ 'ler çok zehirli emisyonlar olup akciğerleri tahrip ederek insan sağlığı açısından çok tehlikelidirler (Örnek, 2007).

$NO$  oluşumu Zeldovich veya ısıl mekanizma, Fenimore veya ani mekanizma ve yakıt  $NO_x$  mekanizması olmak üzere üç mekanizma tanımlanmıştır.

Şekil 3.13'te ani yanma sırasında, 3.14'te ise kontrollü yanma sırasında kirleticilerin oluşum mekanizmaları verilmiştir.



Şekil 3.13. Dizel motorlarda ani yanma sırasında kirleticilerin oluşumu (Örnek, 2007).



Şekil 3.14. Dizel motorlarda kontrollü yanma sırasında kirleticilerin oluşumu (Örnek, 2007).

### 3.4.2.1. Zeldovich veya Isıl NO<sub>x</sub> Oluşum Mekanizması

NO ve NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> emisyonları olarak birlikte kabul edilseler de, NO motor silindiri içerisinde üretilen baskın azot oksittir. Isıl NO<sub>x</sub>'in ana kaynağı atmosferik hava içerisindeki moleküler azotun yüksek sıcaklıklarda oksidasyonudur (Jayashankara and Ganesan, 2010).

Moleküler azottan NO oluşumu (3.2), (3.3) ve (3.4) no'lu denklemlerde verilmiştir.



Zeldovich mekanizmaları için birinci reaksiyonun yüksek aktivasyon enerjisi gereksiniminden ve O<sub>2</sub>'nin ayrılma ihtiyacından dolayı sıcaklık çok önemlidir. NO emisyonu alev önünde ve alev sonrası gazlarda oluşabilmektedir. Motorlarda, yanma yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu nedenle alev reaksiyon bölgesi oldukça incedir (yaklaşık 0,1 mm) ve bu bölgede kalma zamanı kısadır. Ayrıca, silindir basıncı yanma prosesinin büyük bir kısmı boyunca yükselir, bu nedenle yanma prosesinde erken oluşan yanmış gazlar yanmadan sonraki birden ulaşabilecekleri sıcaklıktan daha yüksek sıcaklığa sıkıştırılırlar. Böylece, alev sonrası gazlar genelde her zaman alev öncesi oluşan NO'lara üstündür (Aydoğan, 2008).

### 3.4.2.2. Fenimore veya Ani NO Oluşum Mekanizması

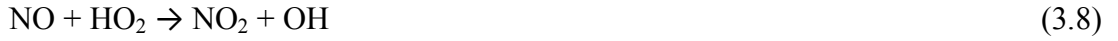
Yakıtın zengin karışım olduğu bölgenin önündeki yanmada NO'nun çabuk oluşmasından dolayı ani NO oluşum mekanizması denilmektedir.

Aşağıda (3.5), (3.6) ve (3.7) denklemlerinde Fenimore oluşum mekanizması görülmektedir.



Ani NO'nun sadece hidrokarbon yanmalarında görüldüğü, çok zayıf şekilde sıcaklığa bağlı olduğu ve eşdeğerlilik oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir.

Dizel motorlarda NO<sub>2</sub> toplam azot oksit emisyonlarının %10-30'u arasında bir değer almaktadır. Alev bölgesinde oluşan NO çok çabuk NO<sub>2</sub>'ye dönüştürülebilir, (3.8) no'lu denklemde NO<sub>2</sub> dönüşüm mekanizması görülmektedir (Aydoğan, 2008).



Sonradan bu NO<sub>2</sub>'nin NO'ya dönüşmesi (3.9) no'lu denklemde gösterilmiştir.



### 3.4.2.3.Yakıttan Kaynaklanan NO

Ağır yakıtların birçoğu organik azot bileşikleri içerebilmektedir. Buradaki azot bileşikleri, NO oluşturmak için reaksiyon göstermektedirler. Yakıttan kaynaklanan NO bölgesel sıcaklığa, stokiyometrik H/Y oranına ve hava-yakıt karışımındaki azot bileşiklerinin seviyesine bağlıdır. Yakıtın bünyesinde bulunan HCN, NH<sub>3</sub>, NH veya CN gibi bileşiklerin bulunması sonucu bunlar NO<sub>x</sub> formunda oksitlenebilmektedirler (Fernando vd, 2006).

Kritik zaman periyodu, silindir basıncının maksimum değere ulaşması ile yanmış gaz sıcaklığının maksimum değere ulaştığı zaman aralığıdır. Yanma ilerlerken ve silindir basıncı yükselirken, yüksek sıcaklığa ulaşılması NO oluşum oranını artırdığından özellikle önemlidir. Yanmış gaz sıcaklığı silindir gazları genişlerken düşmektedir.

Genişlemeye ve yüksek sıcaklık gazlarıyla hava veya soğutucu gaz arasındaki karışıma bağlı olarak düşen sıcaklık  $NO_x$  kimyasını dondurmaktadır.

Püskürtme zamanının ve yükün değiştirilerek yapıldığı çalışmalarda NO oluşumunun büyük çoğunluğunun, yanma başlangıcını izleyen  $20^\circ KMA$  içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Püskürtme zamanı geciktirilirse buna bağlı olarak yanma da gecikmektedir. Ulaşılan maksimum sıcaklık değeri düştükçe NO konsantrasyonu da azalmaktadır. Motor yükü arttıkça, daha yüksek maksimum basınçlar, buna bağlı olarak yüksek sıcaklıklar, yanmış gaz stokiyometriğine yakın daha geniş bölgeler NO seviyelerini yükseltmektedirler. Azot oksit seviyeleri düşen eşdeğerlik oranıyla düşmektedir (Aydoğan, 2008).

Setan Sayısının  $NO_x$  Emisyonlarına Etkisi:

Yakıtın setan sayısı yakıtta bulunan parafinik hidrokarbonlarla artar. Artan setan sayısı TG süresi azalmaktadır. Bu da motorun kararlı ve düzgün çalışmasını sağlamaktadır. Setan sayısı aynı zamanda yanma verimini de artırmaktadır. Setan sayısı normal değerinden yüksek olursa bu TG'nin, yanma odasında yakıtın yayılması için gereken zamandan daha kısa zaman kalacağı anlamına gelmektedir. Bu şekilde motorun yanma verimi düşmekte ve is emisyonu artmaktadır. Setan sayısının normal değerden düşük olması durumunda motorun çalışması zorlaşmakta, geç ve ani tutuşmayla dizel vuruntusuna neden olmaktadır (İçingür ve Altıparmak, 2003).

Enjeksiyon Zamanının  $NO_x$  Emisyonlarına Etkileri:

Enjeksiyon zamanı geciktirilerek alev sıcaklığının düşürülmesiyle  $NO_x$  emisyonları azaltılabilmektedir. Enjeksiyon zamanının artırılması  $NO_x$ 'lerin artmasına sebep olmaktadır. Püskürtme süresinin artırılmasıyla yanma erken başlamakta, bundan dolayı silindir içerisindeki karışımın yanma reaksiyonunun devam süresi artmaktadır. Bu da  $NO_x$  mekanizmalarının gerçekleşmesine izin vermektedir (Aydoğan, 2008).

### 3.4.3. Hidrokarbon Emisyonları (HC)

Dizel motorlarda HC emisyonları genellikle yanmanın tamamlanamaması sonucunda meydana gelmektedir. Yapıları büyük olan HC molekülleri sıcaklığın etkisi ile daha küçük HC moleküllerine dönüşmektedirler. HC moleküllerinin oksijen ile reaksiyonu sonucunda yanma gerçekleşmektedir. Yanma reaksiyonunu çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve yetersiz oksijen, bazı küçük yapıları HC bileşiklerinin yanma reaksiyonunu tamamlayamamalarına sebep olabilmektedirler. Bunlar yanma odasını terk ederek çığ gaz halinde atmosfere karışmaktadırlar. TG süresinde yakıt ile hava karıştıktan sonra bazı bölgelerde fakir veya zengin yanabilir karışım görülmektedir (Örnek, 2007).

Genişleme zamanının sonunda fakir karışimli bölgelerdeki reaksiyonların yavaş olmasından, alev yayılışının olmayışı gibi nedenlerden dolayı tamamlanmamış yanma ürünleri olarak dışarı atılmaktadırlar. Yanabilir karışımlarda hacimde soğuma olan bölgeler tamamlanmamış, diğer bölgeler ise tamamlanmış yanma ürünleri olarak dışarı atılmaktadırlar. Zengin karışımlarda yavaş reaksiyon ve silindir cidarında meydana gelen soğumalardan dolayı tam yanma olmamakta ve HC emisyonları olarak atmosfere atılmaktadırlar

Tutuşma gecikmesi safhasında meydana gelen fakir karışım bölgesi, piston segmanlarında, çatlaklarda kalmış olan yakıt ve silindir hacminin genişlemesi boyunca sönmüş zengin karışım HC emisyonlarına etki eden diğer faktörlerdendir (Örnek, 2007).

### 3.4.4. Partikül Emisyonları (PM)

Dizel motorlarda meydana gelen difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin oksijenle tepkimeye girmesi, karbonla tepkimeye girmesinden daha karardır. Bu durumda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içerisindeki hidrojen molekülleri hızlı bir şekilde oksijenle tepkimeye girmekte ve geriye kalan karbonlar yeterli oksijen bulamadıklarından yanamayıp is partikülleri şeklinde atmosfere atılmaktadır. İS bu tepkimelerin sonucunda meydana gelen katı karbon tanecikleridir.



İs oluşumunu temel nedeni yakıtın silindir içerisinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışmaması ve buharlaşmamasındandır. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir. İis oluşumu genelde dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanmaktadır. Fakat gücü artırmak amacıyla yanma odasına fazla miktarda yakıt püskürtüldüğünde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunmaktadır. (Soruşbay, 1999; Ergeneman vd, 1998).

#### **3.4.5. Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)**

SO<sub>2</sub> emisyonları, yakıtta bulunan kükürttten meydana gelmektedir. Yanma sonunda kükürt, havadaki oksijenle reaksiyona girerek SO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Ardından yanma sonucunda meydana gelen egzoz gazları içerisindeki su buharı ile SO<sub>2</sub>'nin birleşmesi sonucunda da silindir içerisinde ve atmosfere atıldıktan sonra sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) meydana gelmektedir. Oluşan sülfürik asit motor elemanlarında aşınmaya ve korozyona uğramasına neden olmaktadır. SO<sub>2</sub> emisyonları ayrıca doğada asit yağmurlarına sebep olmaktadır (Soruşbay,1999; Ergeneman vd, 1998).

## BÖLÜM 4

### DİZEL YAKITI ÖZELLİKLERİ VE İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANILMASI

Dizel motorlarda bitkisel kökenli yağın yakıt olarak kullanımı Rudolph Diesel'in 10 Ağustos 1900 yılında Paris Fuarında sergilediği ve yer fıstığı ile çalışmakta olan motora kadar dayanmaktadır. O tarihte Rudolph Diesel bitkisel yağların "bitkisel yağlar önemli bir motor yakıtıdır bu gün için önemsiz görünse de ileride önemi anlaşılacaktır" demiştir. Bu fuarda, dizel motor herhangi bir zorlukla karşılaşmadan belirtilen yağla çalıştırılmış ve yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi 240 g/kWh ve yağın ısı değeri 35,98 kJ/kg olarak ölçülmüştür.

Bitkisel yağlar İkinci Dünya Savaşı sırasında bazı ülkeler tarafından acil durum yakıtı olarak kullanılmıştır. Bu yıllarda ikiz yakıt projeleri Ohio State Üniversitesinde pamuk ve mısır yağının petrodizel ile karışımı alanında yoğunluk göstermiştir.

Bitkisel yağların dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanımı bazı zorluklara ve problemlere yol açmış böylece bu alanda yeni arayışlara başlanmıştır. Walton 1939 yılında Chemical Abstracts Dergisinde yayımlanan makalesinde bitkisel yağların yapısındaki trigliserid ve serbest yağ asidi ayırımına dikkat çekmiş ve bünyede bulunan gliserinin motor yakıtı özelliği olmadığına dikkat çekmiştir. Bu ifadeler diğer araştırmacılar tarafından gliserolün bitkisel yağların bünyesinden uzaklaştırılması biçiminde anlaşılmıştır.

#### 4.1. DİZEL YAKITININ SINIFLANDIRMASI

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç değerde sınıflandırılmaktadır.

- No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.
- No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motor yakıtıdır.
- No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motor yakıtıdır.

Çizelge 4.1'de dizel yakıtlarının özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (Anonymous, 2011).

Özellikler	No. 1-D	No.2-D	No.4-D
Setan indeksi	40	40	40
Parlama noktası (°C)	38	52	55
Viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40°C)	1,3-2,4	1,9-4,1	5,5-24,0
Kül, (% kütleli)	0,01	0,02	0,10
Kükürt, (% kütleli)	0,5	0,5	2,00

#### 4.2. DİZEL YAKITININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Motorlarda kullanılan yakıtların güvenlik, çevresel faktörler, motor çeşitliliği gibi birçok sebepten dolayı belirli standartlarda üretilmeleri gerekmektedir. Bu standartlar yakıt türlerine göre farklılıklar göstermektedir. Dizel yakıtı standartları Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2. ASTM 975-97'ye göre dizel yakıtı standartları (Keskin, 2005).

Özellik	Düşük Kükürtlü No. 1-D	Düşük Kükürtlü No. 2-D	No. 1-D	No. 2-D	No. 4-D
Parlama noktası °C, min	38	52	38	52	55
Su ve nemlilik, % hacim, mak.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50
Distilasyon sıcaklığı, °C, %90					
Minimum	--	282	--	282	--
Maksimum	288	338	288	338	--
Kinematik viskozite, 40°C cSt					
Minimum	1,3	1,9	1,3	1,9	5,5
Maksimum	2,4	1,4	2,4	4,1	24,0
% Ramsbottom karbon kalıntısı kütlesel, mak.	0,15	0,15	0,15	0,35	--
% Kül, kütlesel, mak.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
Bakır şerit korozyon testi, 40°C 3 saat, mak.	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3	--
% Kükürt, kütlesel	0,05	0,05	0,50	0,50	2,0
Setan sayısı, min.	40	40	40	40	40
Setan indeksi	40	40	--	--	--
% Aromatikler, hacimsel, mak.	35	35	--	--	--
Bulutlanma noktası °C	Lokal iklim şartları dikkate alınarak belirlenir.				

#### 4.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk, çeşitli yakıt ve yağları birbirinden kolay, aynı zamanda çabuk ayırabilecek özelliklerden biridir. Ham petrolden üretilen yakıtların ve yağların yoğunluklarının tayin edilmesi, bunların tanınması yönünden önem arz etmektedir (Acaroğlu, 2007).

Özgül ağırlık sıvı yakıtların yoğunluğunun bir ölçüsüdür. 15,6°C sıcaklıktaki yakıtın yoğunluğunun, aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranına özgül ağırlık denilmektedir. Suyun yoğunluğu 1kg/L cinsinden kendi yoğunluk derecesine eşittir. Özgül ağırlık ne kadar küçük ise yakıt o kadar kolay tutuşmaktadır (Haşimoğlu, 2005). Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar daha fazla karbon taşıdıklarından yüksek ısı değere sahip olmaktadır ( Nişancı, 2007).

#### 4.2.2. Viskozite

Viskozite, bir akışkanın çekim ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle akma eğilimine karşı gösterdiği iç dirençtir. Dinamik viskozite, bir sıvıya uygulanan kayma gerilmesi ile sıvının kayma hızı arasındaki oranıdır. Daha açık bir şekilde tanımlanırsa birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton cinsinden kuvvetidir. Dinamik viskozite bazen dinamik viskozite kat sayısı olarak veya sadece viskozite olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, dinamik viskozite, bir sıvının akmaya veya deformasyona karşı direncinin bir ölçüsü olarak nitelendirilmektedir (Söyler, 2011; Acaroğlu, 2007).

Kinematik viskozite, bir akışkanın yer çekimi etkisi altında akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Başka bir deyişle, dinamik viskozitenin yoğunluğa oranı olarak ta tanımlanmaktadır. Belirli bir hidrostatik kolon basıncı altında yer çekimiyle akış, sıvının kolon basınç yoğunluğu ( $\rho$ ) ile orantılıdır. Herhangi bir viskozite için, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi ( $\nu$ ) ile doğrudan orantılıdır. Dinamik viskoziteye ( $\eta$ ) bağlı, olarak kinematik viskozite eşitliği aşağıdaki gibidir (Akyarlı vd, 2004). Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden biriside kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın, 1998).

$$\nu = \rho / \eta \quad (4.1)$$

dır.

Dizel motorlarda kullanılan yakıtın viskozitesi enjeksiyon pompasının düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayacak kadar yüksek olmalıdır. Eğer yakıtın viskozitesi çok düşük olursa yakıt kolayca akacağından, pompanın içerisindeki sabit ve hareketli parçalar arasındaki yakıt filmi korunmayacaktır. Eğer viskozite çok yüksek olursa, enjektörler, iyi buharlaşma ve yanmanın sağlanması için yakıtı yeterince küçük damlacıklar haline dönüştürmeyecektir (Acaroğlu, 2007; Dinçbaş, 2007). Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır (Işıklı vd, 2011; Acaroğlu, 2007; Sugözü vd, 2009).

### 4.2.3. Setan Sayısı

Setan sayısı dizel yakıtların kendi kendine tutuşma kabiliyetini yani; yanma kalitesini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonunda kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtların tutuşma meyillerinin, benzinin aksine yüksek olması istenmektedir. Setan sayısının yüksek olması, TG periyodunu kısaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışı önlemektedir. Düşük setan sayılı yakıtlar yanmaya karşı direnci az olduğundan daha erken tutuşarak yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklığı da artmakta ve buna bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonu da artış göstermektedir. Bu nedenle yanma olayı başlamadan silindir içerisine daha az yakıt püskürtülmelidir (Söyler, 2011).

Setan sayısının tayininde iki ayrı özellikte sıvı yakıt kullanılmaktadır. Sıvı yakıtlardan setan (C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) düz zincir yapıda parafin grubundan bir yakıt olup, setan sayısı 100 kabul edilmiştir. Diğer bir sıvı yakıt olan alfa-metil naftalin'in (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>CH<sub>3</sub>) ise setan sayısı 0 olarak kabul edilmiştir. Bu yakıtların değişik oranlarda hacimsel olarak karışımları ile elde edilen yakıt, CFR veya BASF motoru ile TG süresi, numune yakıtın TG süresine eşit olduğunda elde edilen değer o yakıtın setan sayısı olarak belirtilmektedir.

Setan sayısı bir dizel yakıtın ihtiva ettiği hidrokarbon cinsleriyle yakından ilgilidir. Parafinik hidrokarbonlar setan sayısını yükseltmektedir. Naftenik hidrokarbonlar vasat setan sayısını temin etmektedir. Olefinlerin setan sayısına etkisi kesin olarak belirlenememiştir. Aromatik hidrokarbonlar ise düşük setan sayısı temin etmektedir (Öztürk, 2008).

Setan sayısını doğrudan, uygun olarak tayin etmek için deney motorunun bulunmadığı durumlarda, bir yakıtın setan sayısının tahmin edilmesinde veya setan sayısı için yeterli yakıtın bulunmadığı durumlarda setan indeksi kullanılmaktadır. Bir yakıtın setan sayısının önceden tahmin edildiği durumlarda; setan indeksi, yakıt kaynağı ve üretim şekli değişmemek koşuluyla, söz konusu yakıtın bir dizi numunesinin setan sayısının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Setan

indeksi, setan sayısını ifade etmenin alternatif bir yolu değil, sınırlamalar sebebiyle kullanılması gereken yardımcı bir araçtır (Kızıllan, 2008).

#### 4.2.4. Parlama ve Alevlenme Noktası

Parlama noktası; sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilmektedir. Yakıtlar ve yağların, yanma noktasından çok daha düşük bir sıcaklık derecesinde bir alev yaklaştırılınca parladığı görülmektedir. Bunun nedeni içlerinde, yanabilecekleri sıcaklıktan daha düşük sıcaklık derecelerinde gaz fazına geçebilen maddelerin bulunmasıdır. Bunların da parladıkları noktadaki sıcaklık derecesi, o yağ ve yakıtın alev alma tehlikesinin tanınmasına yardımcı olmaktadır.

Taşıma ve depolama için parlama noktasının yüksek olması istenmektedir. Dizel yakıtının parlama noktası 74°C olmasına rağmen; bitkisel yağların parlama noktası 300°C'den daha yüksek, biyodizelin parlama noktası ise 220°C civarındadır (Acaroğlu, 2007).

Alevlenme noktası ise ısıtılan yakıtın üzerinde alev gezdirildiğinde yakıt buharları tutuşmakta ve yanmaya devam ettiği sıcaklık olarak tarif edilmektedir. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir (Öztürk, 2008).

Parlama noktasının minimum uluslararası standartlardaki değerleri Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri (Akyarlı vd, 2004).

ASTM	D6751	min °C 130
DIN	E51606	min °C 100
prEN	14214	min°C 120

#### **4.2.5. Uçuculuk Noktası (Distilasyon)**

Genel olarak sıvıların, sıvı fazından gaz fazına geçme sıcaklığına uçuculuk noktası denilmektedir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı ile ifade edilmektedir. Şöyle ki bir yakıt damıtım sıcaklığına kadar ısıtılırsa miktarının %90'ı buhar haline geçebilmektedir.

Uçuculuk noktası yüksek olan yakıtlar bilhassa küçük dizel motorlarında egzoz sıcaklığını, yakıt tüketimini azaltmaktadır. Ayrıca emisyon değerlerini de düşürmektedir.

Dizel yakıtların uçuculuk özellikleri standart bir aparatta kontrollü ısıtma ile yakıttan alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilmektedir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlı olmaktadır ve bu sebeple viskozite, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkilemektedir (Nişancı, 2007).

#### **4.2.6. Donma Noktası**

Donma noktası yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetini göstermektedir. Belirli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşerse donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıt akışını engellemekte motorun çalışmasında aksaklıklara neden olmaktadır. Bu nedenle yakıtların donma sıcaklığı, bulunulan bölgenin dış hava sıcaklığından 5-10°C daha düşük olmalıdır (Nişancı, 2007).

#### **4.2.7. Su ve Tortu Miktarı**

Yakıtlarda su ve tortu, yakıt pompası ve enjektörlerde aşınma ve paslanmaya yol açmaktadır. Ayrıca yakıt içerisinde su bulunması, yanmanın düzenli olmaması ve ısı değerinin düşük olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Eğer yakıt içerisinde su varsa, soğuğa dayanıklılık azalır. Yakıtların belli bir oranda su içermeleri motor için



bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabilmektedir. Ancak, yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere neden olabilmektedir (Acaroğlu, 2007; Nişancı 2007).

#### **4.2.8. Isıl Değer**

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değer denilmektedir. Yakıtın birim kütesinin sahip olduğu enerji olarak kJ/kg veya kcal/kg şeklinde ifade edilmektedir. Birim kütle ve sahip olduğu enerji söz konusu olduğundan eşdeğer enerjinin, ısı değeri düşük olan yakıtta daha fazla tüketimi gerektirdiğinden, özellikle depolama ve tüketim konusunda önem arz etmektedir (Ergen, 2006).

#### **4.2.9. Kül Miktarı**

Kül, küçük katı parçacıklardan ve yağ ya da yakıtın içerisinde bulunan suda çözünebilir metalik bileşiklerden oluşmaktadır. Bu özellik yanma sonunda yakıtın bıraktığı atıkları ifade etmektedir. Kül miktarı, az miktar yakıt içerisindeki tüm yanıcı maddelerin yanması ile ölçülmektedir. Yanmayan atıklar kül olarak isimlendirilir ve yanmış yakıt örneğinin ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Özellikle dizel yakıtı için önemlidir. Yakıtın kül bırakma oranı %0,01'den fazla olmamalıdır (Nişancı, 2007; Haşimoğlu, 2005).

### **4.3. BİYODİZELİN TARİHSEL GELİŞİMİ**

Biyodizelin tarihi 1892'de Dizel motorun keşfiyle başlamıştır. Buharla çalışan motorların tekeline son vermek üzere makine mühendisi Rudolph Diesel tarafından Dizel motoru geliştirilmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir (Akbaş vd, 2007). Rudolph Diesel 1911'de bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişimine ciddi bir katkısı olacağını ve 1912'de bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde

önemsiz görünebileceğini, ancak bitkisel yağların zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacağını ifade etmiştir.

Fakat petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunabilir olması, motorun bu yakıt ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Biyodizel olarak ise, ilk önce Güney Afrika'da II. Dünya Savaşı'ndan önce büyük ve güçlü motorlarda kullanılmış ve daha sonra çevresel, stratejik ve ekonomik sebeplerden dolayı tüm dünyaya yayılmıştır. Günümüzde 2002 yılı verilerine göre Avrupa Birliği'nin biyodizel üretimi kapasitesi 2 000 000 tona ulaşmıştır (Alpgiray, 2006).

Ortadoğu'dan gelen petrol kaynaklarının azalmasına yol açan 1973 ve 1979 petrol krizleri, petrol fiyatlarının öngörülemez seviyelere yükselmesine neden olmuştur. Özellikle 1973'ten bu yana biyodizel ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu olaylar, bütün ülkelerde dış kaynaklı fosil yakıtlara bağımlı olmanın getirdiği vahim sonuçların görülmesine neden olmuştur. Aynı zamanda 1997'de Kyoto Protokolünün imzalanmasıyla birlikte gelecekte, biyoyakıtların potansiyeli ile ilgili toplumsal bilinç artmıştır. Böylece tarihin ironisi, etanol ve biyodizel gibi biyokütleli yakıtlara ikinci bir şans vermiş ve en başta Rudolph Diesel ile Henry Ford gibi öncülerin sunmak istediği parlak beklentileri yansıtmıştır.

ABD'de bitkisel yağların, dizel yakıtı alternatif olabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor üreticileri tarafından 1981, 1982 yıllarından itibaren süre gelmektedir (Alpgiray, 2006).

Almanya'da 1996 yılından beri piyasaya sürülen tanınmış markalar olan bazı motorlu araçlarda biyodizel kullanımı tamamıyla serbest bırakılmıştır. Ülkede yıllık biyodizel üretimi 450 bin ton civarındadır ve %100 biyodizel içeren taşıt yakıtı 900'ü aşkın benzin istasyonunda hizmete sunulmuştur. 2005 yılı itibarı ile dizel ihtiyacının %2,2'si biyodizel ile karşılanmaktadır. Biyodizelde başarılı ülkelerden Almanya 3 yıl önce 1,8 milyon ton kanola üretirken, biyodizel uygulamasını planlı olarak devreye sokmasıyla 2005 yılında 5,2 milyon ton kanola üretmiştir.

Fransa'da biyodizel üretimi 300 bin ton/yıl civarındadır. Benzin istasyonlarında %5 biyodizel %95 dizel karışımı satılmaktadır ve bu %5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muafır.

Avusturya'da yıllık biyodizel üretimi 300 bin ton civarındadır. Biyodizelin petrol kaynaklı dizel ile %2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir ve biyodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

Avusturya'da 1982'de Tarım ve Orman Bakanlığı'nın desteğiyle yürütülen araştırmalarda, kanola yağı metil esterinin dizel yakıtlara iyi bir alternatif olduğu ortaya konulunca, ülkenin tarımsal fazlasını kanola ve ayçiçeği ekimine yönelterek 2000 yılına kadar hem dizel yakıt alternatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek miktarda bitkisel yağ elde etmesi öngörölmüştür (Alpgiray, 2006).

#### **4.4. TÜRKİYE'DE BİYODİZEL**

Türkiye'de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1936 yılında Atatürk'ün hazırlattığı 2. Beş Yıllık Kalkınma Planında yakıtların ithal yoluyla sağlanmaması, ülkenin hammadde kaynaklarından faydalanılması uygun görölmüştür. Ancak II. Dünya Savaşı'nın ardından Dünya'da ham petrol üretiminin artması, fiyatların düşmesi konunun ilgi görmemesine neden olmuştur. 1973 yılından sonra petrol fiyatlarındaki artış ve enerji krizleri sonucu bu konu çerçevesinde girişimler olmuşsa da dizel motoru yakıt alternatifi olarak bitkisel yağlardan faydalanma konusu ancak çok az sayıdaki bilimsel çalışma ile sınırlı kalmıştır.

Biyodizel, Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda dizel kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri üretimi içinde ise en büyük payı %34 ile dizel yakıtı almaktadır. Biyodizelin kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyodizeli üretmek ve kullanmak için ülkemiz yeterli ve uygun altyapıya sahiptir. 2003 Yılında

Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü biyodizel konusunda çalışmalar başlatmış ve müdürlük arazilerinde biyodizel üretmek amacı ile aspir yetiştirmiştir.

Günümüzde petrol sıkıntıları bitkisel yağların dizel motorları için yakıt alternatifi olabildiğini yeniden gündeme getirmiş ve böylece yağların hangi kimyasal ve fiziksel özellikleri ile dizel motorlarında daha sorunsuz kullanılabileceği konusu araştırılmıştır. Kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağ içeren yağ asidi esterlerinin dizel motorları için uygun yakıt olarak kullanılabileceği, artan doymamışlığın setan sayısını olumsuz yönde etkilediği ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, viskozitenin karbon zincirinin uzunluğu ile orantılı olarak arttığı, yağ asidindeki doymamışlığın artışı ile de azaldığı bilinmektedir. Yüksek oleik ve yüksek linoleik asit içeren bitkisel yağlarının her ikisinin de dizel yakıt alternatifi olabileceğine sahip olduğu görülmektedir (Eliçin, 2005).

#### **4.5. BİYODİZEL KAYNAKLARI**

Bitkisel ve hayvansal yağlar, trigliserid diye adlandırılan bir gliserol molekülüne bağlanmış üç yağ asit moleküllerinin zincirlerinden meydana gelmiş ve birçok yağ asidi içermektedir. Yapılan çalışmalarda, bitkisel yağlarda palmitik ( $C_{16}H_{32}O_2$ ), stearik ( $C_{18}H_{36}O_2$ ), oleik ( $C_{19}H_{34}O_2$ ), linoleik ( $C_{18}H_{30}O_2$ ) ve miristik ( $C_{14}H_{28}O_2$ ) gibi yağ asitlerinin bulunduğu kaydedilmiştir. Araştırmacılar yağ asidinin zincir yapısındaki son karbonunun çıkarılıp yerine metil kokunun eklenmesi ile o yağın metil esterine dönüşebileceğini araştırmışlardır. Bitkisel yağların uzun zincirli yağ asitlerin mono alkil esteri olması bakımından kimyasal olarak yağ asidi metil esteri adıyla tanımlanmaktadır. Bitkisel yağların ya da hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli metil alkol veya etil alkol ile reaksiyona girmesi sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılabilen ürün biyodizel olarak bilinmektedir (Yiğit, 2006).

Biyodizel bir çok farklı biçim ve türlerde bitkilerin yanı sıra hayvansal yağlardan, atıklardan ve geri kazanım yağlarından da elde edilebilmektedir:

- Bitkisel Yağlar: andiroba (tropikal Amerika 'da yetişen bir ağaç türü), babassu, arpa, ketencik (camelina), hindistan cevizi, mısır, mahun cevizi, palm, termiye, pamuk, kenevir, soya, keten, fındık, bezir yağı, bal kabağı, hardal, susam, aspir, ayçiçeği, kakao, yer fıstığı, haşhaş, kanola, zeytin, zencibahar, badem, jajoba, jatropha, defne ağacı, ceviz, cumaru, karpuz çekirdeği, mikroalgler (Demirbaş, 2008; Altınsoy, 2007).
- Geri Kazanım Yağları: bitkisel yağ endüstrisi yan ürünleri
- Şehirselle ve Endüstriyel Atık Kökenli Geri Kazanım Yağları: kahverengi gres, siyah gres
- Hayvansal Yağlar: don yağları, balık yağları, ve kanatlı yağları
- Atık Bitkisel Yağlar: kullanılmış yemeklik yağlar, sarı gres, mayonez

#### 4.6. BİYODİZEL EMİSYONLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Benzin ve dizel motorlarda kullanılan hidrokarbon (HC) kökenli yakıtların, ideal koşullarda hava ile tam yanması sonucu oluşan ürünler arasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve azot bileşikleri NO<sub>x</sub> ) bulunmaktadır. Ancak uygulamada ideal koşulların sağlanamaması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici bileşenler oluşmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam kirleticilerin %7'sini oluşturan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanmamış hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar, CO, NO<sub>x</sub>, kurşun bileşikleri ve partikül maddeler bulunmaktadır. Benzinli motorlarda karbonmonoksit (CO) ve yanmadan kalan hidrokarbonlar (HC), dizel motorlarda ise azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler (PM) en önemli yer tutmaktadır (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

Biyodizelin alternatif yakıt olarak kullanılması durumunda dünyada egzoz gazlarının etkisiyle giderek artan sera etkisi de azaltılabilecektir. Bunun nedeni, biyodizelin yakıt olarak kullanılmasıyla egzozlardan çıkan CO<sub>2</sub> gazları, tekrar biyodizel üretmek için yetiştirilecek olan bitkilerin fotosentezinde kullanılacağı için çevrede kalmayacak böylelikle yaşamsal döngü sağlanacaktır (Alpgiray, 2006).

Biyodizel kullanımında CO emisyonu %50, partikül madde %30 oranında azalmaktadır. Biyodizel kullanımıyla asit yağmurlarının ana nedeni olan egzoz emisyonundaki SO<sub>2</sub> ve sülfatlar tümüyle ortadan kalkmaktadır. Ayrıca biyodizel kullanımında ozon tabakasına olan olumsuz etkiler dizel yakıtına nazaran %50 daha azdır.

Yine insan sağlığı üzerine önemli bir tehdit sayılan aldehit bileşikler dizelere göre %30, yerleşim alanları üzerinde duman oluşumuna neden olan hidrokarbon emisyonları ise %95 azalmaktadır. Ayrıca, aromatik bileşenlerin egzoz emisyonları (poliaromatik hidrokarbon – PAH, nitrat PAH - NPAH) azalmaktadır. Biyodizelin dizelere göre “gen mutasyonu” üzerindeki etkisi önemli oranda azdır (Alpgiray, 2006; Üstün, 2006).

Biyodizel ve dizel - biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM ve SO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında ise artma görülmektedir. Biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera etkisini arttırıcı yönde etkisi yoktur. Biyodizel emisyonları Poli Aromatik Hidrokarbon ve Nitratlı Poli Aromatik Hidrokarbon bileşiklerinin seviyelerinde sırasıyla %80 ve %90 oranlarında bir azalış göstermektedir (Sekmen, 2007; Üstün, 2006).

Biyodizelin olumsuz bir toksik özelliği bulunmamaktadır. Ağızdan alındığında sofratuzu, biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri, biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin sudaki canlılara karşı da herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Buna karşın 1 litre ham petrol, 1 milyon litre suya toksik etkide bulunmaktadır.

Toksik artıklar, ozon tabakasının incilmesi, yeryüzü sularının kirlenmesi, hava kirliliği ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan kelimelerdir. Artan çevre bilinci endüstri ve çevre bilimcilerinin halkı bilinçlendirmesi için faaliyetlerde bulunmasına sevk etmiştir. Dünyada birçok ülke bunu dikkate almış ve bununla ilgili olarak çevre dostu ürünlerin kullanımı için yasa

çıkarmıştır. Örneğin, Almanya’da bölgesel düzenlemeler ile orman bölgelerinde biyolojik ayrışabilir yağ kullanılmadıkça ekipman kullanımı yasaklanmıştır (Alpgiray, 2006).

## **4.7. BİYODİZELİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI**

### **4.7.1. Biyodizelin Avantajları**

- Mevcut motorlarda ve yakıt enjeksiyonlu sistemlerde modifikasyona ihtiyaç duyulmadan ve işletim performansına olumsuz bir etki yapmaksızın kullanılabilir.
- Biyodizel oldukça yüksek bir alev alma noktasına sahip sahiptir ve bu nedenle diğer alternatif yakıtlara göre daha güvenlidir.
- Dizel ile kolaylıkla karışabilir ve bu halde tutulabilir, dolayısıyla dizel yakıtların depolandığı ve satıldığı her yerde depolanabilmektedir.
- Herhangi bir emisyon yaratmayacak şekilde yanmakta ve rafine edilmektedir.
- Üstün yağlama özellikleri sayesinde, motorun ömrünü uzatabilen tek alternatif yakıttır.
- Atmosferde sera gazı bileşenlerinde önemli ölçüde azalma sağlayan tek alternatif yenilenebilir dizel yakıttır. Biyodizel kullanılması; CO, PM, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktadır.
- Biyokütle yenilenebilir bir kaynaktır ve kolaylıkla elde edilebilmektedir.
- Yakıt olarak kullanımı fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltmaktadır.
- Tarımsal ürünlere ikinci bir artı değer kazandırmaktadır.
- Biyokütle çeşitli enerji formlarına dönüştürülebilmektedir.
- Biyokütle bitkileri büyüme esnasında CO<sub>2</sub> kullanırken oksijeni atmosfere vermektedir.
- Atık maddelerden üretilebilmektedirler. Atık maddelerin değerlendirilmesi yeryüzündeki atık miktarını azaltmaktadır.
- Biyodizel, doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunmaktadır.
- Ekim yapılmış alanların, dört yılda bir ekilen şeker pancarı ve kıraç topraklarda yetişebilen aspirin ekilmesi ile değerlendirilmesini sağlamaktadır.

#### **4.7.2. Biyodizelin Dezavantajları**

- Dizel yakıtından daha az akma noktasına sahiptir.
- Soğuk havalarda dizel yakıtından daha yüksek bulutlanma noktasına sahiptir.
- Biyokütle bitkileri topraktaki besin elementlerini tüketebilmektedir.
- Biyokütlenin ikincil ürünü, benzine göre birim hacim başına daha az enerji içermektedir.
- Biyodizel, depolama, taşıma ve motor malzemelerinde doğal ve bütül kauçukları parçalamaktadır.
- Uzun süre depolanamaz.
- Biyodizel yüksek oranlı doymamış yağlardan üretildiğinde, dizel yakıtından çok daha hızlı bir şekilde oksitlenmektedir.

#### **4.8. BİYODİZEL STANDARTLARI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ**

Biyodizel saf ve biyodizel-dizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır.

- B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel  
B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel  
B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel  
B100 : %100 Biyodizel

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan standardı yürürlüktedir. Ülkemizde EN 14214 Standardı temel alınarak TS EN 14214 standardı hazırlanmıştır.

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te çeşitli ülkelerde kullanılmakta olan standartlar ve ülkemiz için hazırlanan standartlar verilmiştir.



Çizelge 4.4. Çeşitli ülkelerde uygulanmakta olan dizel ve biyodizel standartları (Üstün, 2006).

Özellik	Birim	Dizel EN 590	Avusturya (ONORM C1190)	Fransa (ARRETE 20/12/1993)	İtalya (CUNA NC 63501)	Almanya (DIN V 51606)	AB EN 14214
Yoğunluk 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	830-880	870-890		880-900	3,5-5	860-900
Viskozite 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2-4,3			3,3-3	3,5-5	3,5-5
Kükürt İçeriği	kütlese %	≤ 0,05	≤0,02		≤0,01	≤0,01	<0,01
Su İçeriği	mg/kg	≤200		≤200	≤700	≤300	<500
Katı Madde İçeriği	kütlese %	≤24				≤300	<20
Kül İçeriği	kütlese %	≤0,01			≤0,01	≤0,01	≤0,01
Setan Sayısı		≥49	≥48			≥49	≥51
Oksidasyon Kararlılığı	g/m <sup>3</sup>	≤25					<25
Alevlenme Noktası	°C	≥55	≥100		≥100	≥100	≥101
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası	°C	Yaz	≤0			≤20	≤0
		Kış	≤-15				<-15
Nötralleşme Sayısı	mgKOH/g		≤0,80	≤1	≤0,5	≤0,5	<0,5
Metanol İçerği	kütlese %		≤20	≤0,1	≤0,2	≤0,3	<0,2
Ester İçeriği	kütlese %			≥96,5	≥95,0		≥96,5
Monogliserid	kütlese %			≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8
Serbest Gliserin	kütlese %		≤0,02		≤0,05	≤0,02	≤0,02
Bağlı Gliserin	kütlese %		≤0,24	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,25
İyot indisi						≤115	<120
Fosfor	mg/kg		≤0,20	≤10	≤10	≤10	≤10
Alkali Metaller	mg/kg			≤3			≤5

Çizelge 4.5. TS EN 14214 Biyodizel standardı (Üstün, 2006).

Özellik	Birim	Minimum	Maksimum	Test Modu
Yoğunluk 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	120	-	ISO/DIS 3679
Karbon artığı (%10 Damıtma artığı)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Bakır şerit korozyonu (50°C'de 3 saat)	Sınıflama	1.Sınıf		EN ISO 2160
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662

Çizelge 4.5. (devam ediyor).

Oksidasyon kararlılığı, 110°C	Saat	6,0	-	prEN 14112
Setan numarası		51		EN ISO 5165
Asit değeri	mgKOH/g		0,50	prEN 14104
İyot değeri			120	prEN 14111
Kül içeriği	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Metanol içeriği	%(m/m)		0,20	prEN 14110
Sülfür içeriği	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Fosfor içeriği	mg/kg	-	10,0	prEN 14107
Ester içeriği	% (m/m)	96,5		prEN 14103
Linoleik asit metil esteri	% (m/m)		12,0	prEN 14103
Çoklu doymamışlık (en az 4 çift bağlı metil ester)	% (m/m)		1	
Monogliserit içeriği	% (m/m)		0,80	prEN 14105
Diğliserit içeriği	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Trigliserit içeriği	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)		0,02	prEN 14105 prEN 14106
Toplam gliserol	% (m/m)		0,25	prEN 14105
Grup I metaller (Na + K)	mg/kg		5,0	prEN 14108
Grup II metaller (Ca + Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14109 prEN 14538

#### 4.8.1. Viskozite

Bitkisel ve hayvansal yağların motorlarda sürekli kullanılmamasının en önemli nedenlerinden biri yüksek viskozitedir. Yüksek viskozite zayıf yakıt atomizasyonuna sebep olmaktadır. Enjektörlerdeki birikintileri artırmakta, piston segman sıkışmasına sebep olmakta, eksik yanmaya neden olmakta, yakıtı pompalamak için daha fazla güç çekmekte, yakıt pompası elemanlarının ve enjektörlerin aşınmasına sebep olmakta, buna bağlı olarak motorlarda performans kaybına yol açmaktadır (Alptekin ve Çanakçı, 2008; Sekmen ve Aktaş, 2008; Karabulut vd, 2008; Ölçüm, 2006).

#### 4.8.2. Yoğunluk

Standartlarda yoğunluğun 15°C'deki sınır değeri gösterilmektedir. Bununla birlikte, EN ISO 3675 Standardında; piknometre ile 20-60°C arası, altı farklı sıcaklıkta elde edilen düzeltme katsayısı 0,723 olarak belirlenmiştir. Ortalama metil ester örneğinin 15°C'deki yoğunluğu 886,5 kg/m<sup>3</sup>'dür. 20-60°C arası sıcaklıklarda ölçülecek metil ester yoğunluğu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (Kızıllan, 2008).

$$\text{Yoğunluk (15°C'de)} = \text{Yoğunluk (T°C'de)} + 0,723 \times \text{Yoğunluk (T-15)} \quad (4.2)$$

Yoğunluk motorun performans ve karakteristiklerine etki eden önemli faktörlerden bir tanesidir. Yakıt enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel olarak ölçmektedir. Bu yüzden yakıtın yoğunluğunun değişmesi, farklı kütlede yakıt enjekte edilmesine neden olacak ve buda dolayısıyla motor çıkış gücünü etkilemektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2008).

#### 4.8.3. Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği

Biyodizel dizel yakıtından daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahiptir bu da motorun daha rahat çalışmasına yardımcı olmaktadır. Bütün dizel motorlar özel bir dizayn olan enjeksiyon sistemi ile çalışmaktadır. Enjeksiyonlu sistemlerde yakıtın püskürtülmesi için yüksek bir basınca ihtiyaç duyulmaktadır ve bunun içinde sistem parçaları arasındaki sızdırmazlığın sağlanması gerekmektedir. Dolayısı ile bu parçaların çok hassas bir şekilde imal edilmeleri gerekmektedir.

Enjeksiyon sistemi içerisindeki hareketli parçalar bir taraftan motora yüksek basınçta yakıt gönderirken bir taraftan da yakıtın yağlayıcılık özelliğinden faydalanılarak yağlanmaları sağlanmaktadır. Yakıttaki yağlayıcılık özelliğinin yetersizliğinde ya düşük basınca sebep olmakta ya da parçalar arasında aşınmalar meydana gelmektedir. 2010 yılında AB'de kükürt oranınının 10 ppm'in altına düşürülmesi için yapılan uygulamalar partikül emisyonlarının azalmasında etkili olmuştur. Ancak bu işlem yakıtın yağlama özelliğini kötüleştirmektedir ( Sekmen ve Önem, 2009).

Yapılan araştırmalarda kükürt oranı düşürülmüş olan dizel yakıtları içerisine %1 oranında çeşitli bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil ester ilave edilerek, yani biyodizel katkı maddesi olarak kullanılmış ve yakıtın yağlayıcılık özelliği incelenmiştir. İçerisine %1 biyodizel katkı maddesi eklenerek elde edilen yakıtların yağlayıcılık özellikleri dizel yakıtına göre tüm bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil esterlerin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### **4.8.4. Biyodizelin Kararlılığı**

Biyodizelin bazı özellikleri elde edildiği yağ türüne yani hammaddeye bağlı olmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılan yağ asitleri doymuş, tekli ve çoklu doymamış olarak gruplandırılmaktadır. Ancak ideal bir biyodizel tekli doymamış yağ asitlerinden yapılabilir bu nedenle biyodizel üretilecek yağın içerisindeki tekli doymamış yağ oranının yüksek olması istenmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Biyodizelin kararlılığı aslında oksidasyon kararlılığı ve termal kararlılık kavramlarını da kapsamaktadır.

Çanakçı vd (2004) yaptığı bir araştırmaya göre normal dizel motor sıcaklıklarında antioksidan içermeyen biyodizelin çok daha çabuk bir şekilde oksitlendiğini göstermektedir. Bu oksitlenme işleminde, peroksit, asit ve viskozite değerlerinde artış gözlemlenmiş. Peroksit yaklaşık 350 meq O<sub>2</sub>/kg değerine ulaştıktan sonra sabit kalmış, asit ve viskozite değeri ise periyodik olarak arttığı belirlenmiştir (Çanakçı vd, 2004).

Termal kararlılık, kısa bir süreliğine yüksek bir sıcaklık sözkonusu olduğunda yakıttaki ayrışmayı ifade etmektedir. Yakıttaki ayrışma, ejektörlerde kalıntıya yol açmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### **4.8.5. Biyodizelin Enerji Değeri**

Yakıtların ısıı değeri önemli bir faktördür. Çünkü yakıt silindir içerisinde yandığı zaman motorun geliştirebileceği güç miktarı, yakıtın ısıı değerine bağlı olmaktadır. B100 yakıtlarının ısıı değeri dizel yakıtlardan biraz düşüktür. Biyodizelin ısıı değerinin standart bir değeri yoktur çünkü bu değer biyodizel yapılan yağın çeşidine göre değişiklik göstermektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006; Alptekin ve Çanakçı, 2008).

#### **4.8.6. Soğukta Akış Özellikleri**

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizelden daha yüksek akma ve bulutlanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarmaktadır. Eğer dizel motor yakıtı jelleşirse filtreyi tıkayabilir ya da yakıt pompasına yapışabilir. Bu nedenle dizel motor yakıtlarının soğukta akış özellikleri;

- Bulutlanma noktası
- Soğukta filtre tıkanma noktası
- Akma noktası
- Donma noktası

ile belirlenmektedir.

##### **4.8.6.1. Bulutlanma Noktası**

Soğuk iklim şartlarında kalan yakıtta küçük katı parçacıkların görüldüğü andır. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıt sorunsuz kullanılabilir. Eğer sıcaklık bu değerin altına düşerse filtre tıkanmaktadır.

##### **4.8.6.2. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası**

Bulutlanma noktasında oluşan kristallerin sıcaklığın daha da düşmesi ile kristallerin kümeleştiği noktadır. Bu durumda filtre tıkanır soğukta filtre tıkanma noktası dizel yakıtının soğukta akış özelliklerini bulutlanmaya göre daha iyi karakterize etmektedir.

#### **4.8.6.3. Akma noktası**

Kristal kümeleşmesinin daha da büyüdüğü noktadır, yakıt jelleşmiştir ve akamaz duruma gelmiştir. Bu özellik kullanıcılardan daha çok yakıtın pompalanabilmesini ifade eden akaryakıt istasyonları ve dağıtıcıları için anlam taşımaktadır.

Akma ve bulutlanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel-dizel karışımları 4°C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin dizel üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir. Eğer harmanda soğumaya bağlı olarak kristal yapılar oluşursa, harmanın tekrar normal görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerine ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir (Üstün, 2006).

#### **4.8.7. Setan Sayısı**

Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda TG periyodu kısalmakta ve yanma düzenli bir şekilde devam etmektedir. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda TG safhası uzamaktadır. Dolayısı ile bu safhada püskürtülen yakıt miktarı da artmaktadır. Yanmanın başlaması ile birlikte bu safhada püskürtülen yakıtın tamamı bir anda yanma başlamaktadır. Sonuç olarak silindir içerisinde ani bir basınç artışı meydana gelmektedir. Bu ani basınç artışı motor parçalarına etki ederek motorun gürültülü çalışmasına ve yanmanın kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Bu duruma dizel vuruntusu adı verilmektedir. Sonuçta vuruntulu çalışan bir motorda; güç kaybı, ilk harekette zorlanma, karbon birikintisi, motorun geç ısınması, fazla yakıt tüketimi gibi aksaklıklar meydana gelebilmektedir (Aydın, 2007).

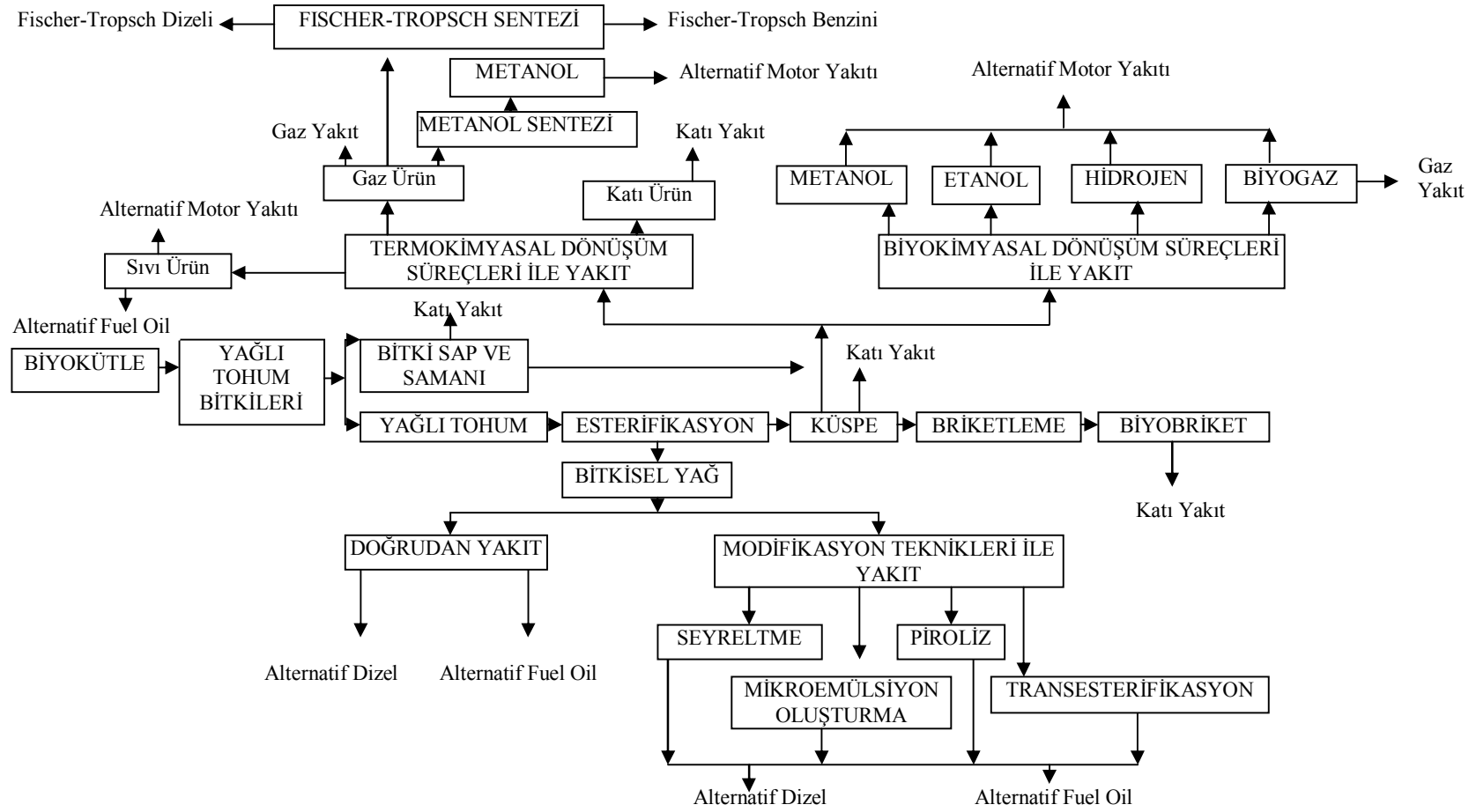
### **4.9. BİTKİSEL VE HAYVANSAL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

Bitkisel ve hayvansal yağların enerji içerikleri, fosil kökenli dizel yakıtların enerji içeriklerine yakın değerlerdedir. Ancak dizel yakıtına göre viskozite değerleri 10-20 kat daha fazladır. Bu yüksek viskozite; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağının

kalınlaşması, soğuk havalarda motorun ilk çalıştırılmasında problem ve motor ömrünün kısılması gibi pek çok olumsuzluklara neden olabilmektedir (Usta vd, 2005).

Direkt püskürtmeli motorlarda, bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanılmasında ana sorun; enjektörler, yanma odası, piston ve supaplarda meydana gelen kalıntılardır. Bu kalıntılar, zamanla motorda güç kaybına ve arızalara sebep olmaktadır. Kalıntıların oluşmasının ana sebebi, bitkisel yağın viskozitesinin ve karbon içeriğinin, petrodizel ve yağ asidi metil esterine göre yüksek olmasındandır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Bu sebeplerden dolayı bitkisel ve hayvansal yağların dizel alternatif yakıtı olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Biyokütleden biyoyakıtlara geçiş şeması Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Biyokütlenin biyoyakıtlara dönüşümü (Ölçüm, 2006).



#### 4.9.1. Seyreltme

Bitkisel yağlar belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte, böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçeği yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağları sayılabilir.

Yapılan bir araştırmaya göre hacimsel olarak %25 ayçiçeği yağı ve %75 dizel yakıtından oluşan karışımın 40°C'deki viskozitesinin 4,88 mm<sup>2</sup>/s olduğu belirlenmiştir. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değeri 40°C için 4,0 mm<sup>2</sup>/s'dir. Bu sebeple hacim olarak %25 ayçiçeği yağı ve %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı tespit edilmiştir (Altın, 1998; Ulusoy, 1999).

Başka bir araştırmaya göre de kolza yağı ağırlıkça %10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana getirmediği gözlemlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan çalışmalardan olumlu sonuçlar alınmış ve egzoz emisyonlarında da iyileşmelerin olduğu saptanmıştır (İlkılıç, 1999).

#### 4.9.2. Mikroemülsiyon Oluşturma

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle, bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite azalmaktadır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu yöntemle dizel yakıtlardan tamamen farklı alternatif dizel yakıtları meydana getirilmektedir. Mikroemülsiyonların hacimsel ısı değerleri, alkol içermelerinde dolayı motorine göre daha düşük olmaktadır. Alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısı da düşük olmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda karışım ayrışma eğilimi göstermektedir. Bu sebeple motor gücünde bir miktar düşmeye yol açmaktadır. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma odasına

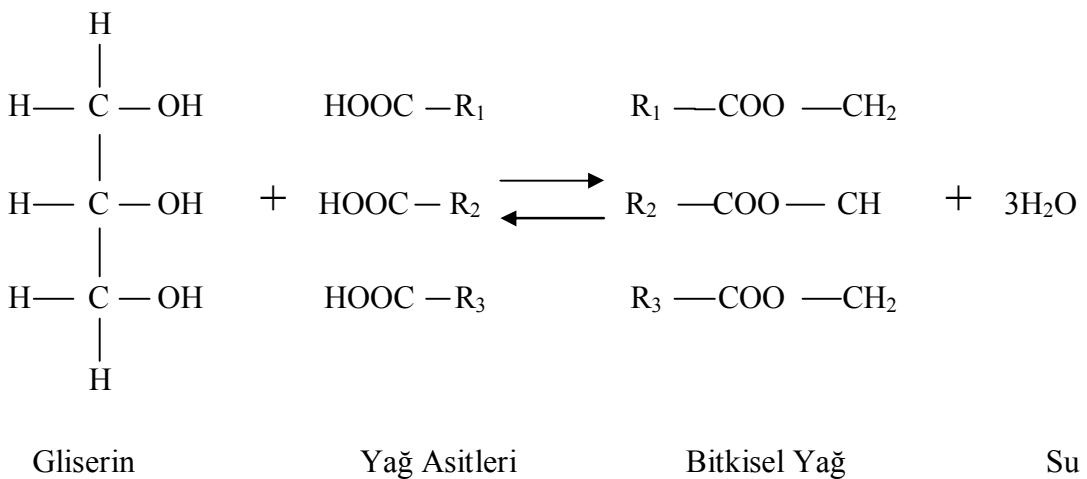
soğutucu etki yapmaktadır. Bu durum ise enjektör delikleri ve egzoz supapları yakınındaki ağır karbon birikimini azaltıcı yönde etki yapmaktadır (Haşimoğlu, 2005).

#### 4.9.3. Piroliz

Piroliz veya kraming yönteminde, kimyasal bağlarla birbirine tutunmuş olan moleküller yüksek sıcaklıkta (450-500°C) daha küçük moleküllere parçalanmaktadır (Karagöz, 2009). Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy, 1999, Alpgiray, 2006; Ucar et al. 2005).

#### 4.9.4 Transesterifikasyon

Yağlar günlük yaşamımızın vazgeçilmez maddeleridir. Yağlar (trigliseritler), yağ asitlerinin, üç değerlikli alkol olan gliserinle (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>3</sub>, 1, 2, 3 trihidrosipropan) yapmış oldukları esterlerdir. Şekil 4.2’de yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi görülmektedir.



Şekil 4.2. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi (Haşimoğlu, 2005).

Trigliserit aynı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise basit trigliserit, farklı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise karışık trigliserit olarak adlandırılmaktadır. Yağlar çok büyük oranda trigliseritten oluşmakla birlikte, bünyelerinde az miktarda da olsa monogliserit ve digliserit ihtiva etmektedirler (Artukoğlu, 2006).

Yağların fiziksel ve kimyasal yapısını büyük oranda bünyelerindeki yağ asitlerinin cinsi ve miktarı belirlemektedir. Yağ asitlerinin genel formülü  $CH_3(CH_2)_nCOOH$ 'dır. Yağ asitleri, bağ şekillerine göre üç tipe ayrılmaktadır.

- Doymuş yağ asitleri
- Tekli doymamış yağ asitleri
- Çoklu doymamış yağ asitleri

Doymuş yağ asitlerinin yapılarında çift bağ bulunmayıp sadece tekli bağlar bulunmaktadır. Genel formülleri  $R-COOH$ 'dır. R hidrokarbon zinciridir ve radikal grupları da denilmektedir.

Doymamış yağ asitleri yapılarında bir ya da daha fazla çift bağ içeren yağ asitleridir. Yağ asitleri bir tek çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış yağ asitleri, birden fazla çift bağ içerdikleri zaman çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır.

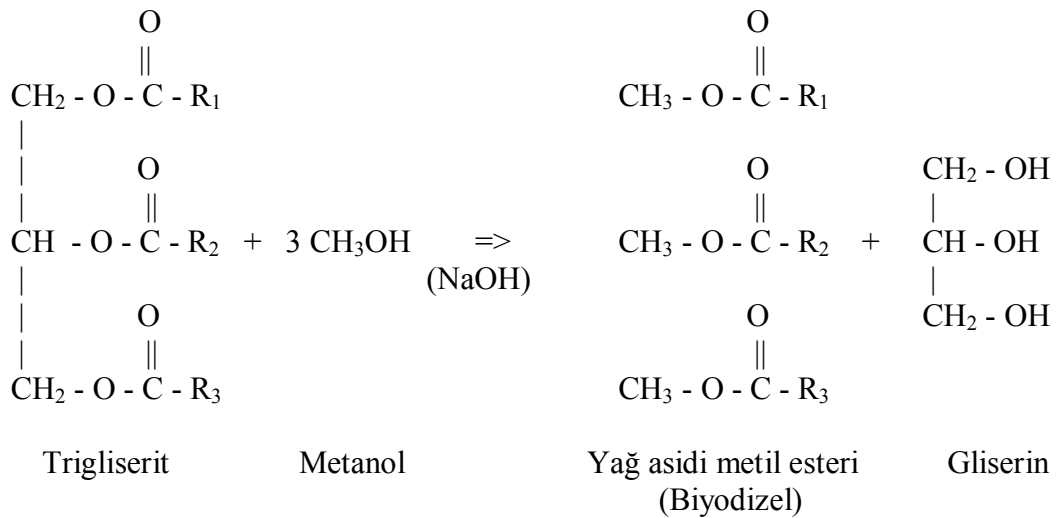
Hayvansal atık yağlar, hayvanların iç yağlarından, kanatlılardan çıkan yağlar, deri sektöründen çıkan yağlardan ve balık yağlarından oluşabilmektedir. Bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan transesterifikasyon ile biyodizel üretimi, son dönemdeki araştırmalarda üzerinde en çok durulan metottur (Çanakçı ve Özsezen, 2005; Artukoğlu, 2006).

Bitkisel ve hayvansal yağların asit ( $HCl$ , veya  $H_2SO_4$ ) ya da baz ( $NaOH$  veya  $KOH$ ) bir katalizör eşliğinde kısa zincirli (metil alkol, etil alkol) alkollerle yeniden esterleştirme işlemine transesterifikasyon denilmektedir. Bu reaksiyonda, giren maddelerden bir ester olup bu monoester ya da trigliserit yapılı olabilir. Diğer reaktant ise alkoldür. Bu kimyasal tepkime ile yağ asitleri bağlı buldukları trigliseritlerden ayrılıp alkoller ile yeni esterler oluşturmaktadırlar. Bu reaksiyonların

su kontrollü olması gerekmektedir, çünkü reaksiyon ortamında su miktarının fazla olması reaksiyonu esterifikasyon yönünün tam tersi olan hidroliz yönüne kaydırmaktadır.

Transesterifikasyon reaksiyonunda; bir mol trigliserit ile üç mol alkolün reaksiyonu sonucu üç mol ester ve bir mol gliserin oluşmaktadır. Şekil 4.3'te yağ asitlerinin transesterifikasyonu görülmektedir. Bu genel olarak bir alkoliz reaksiyonudur. Alkoliz reaksiyonun da kullanılan alkole göre iki şekilde adlandırılır. Etanol kullanılırsa reaksiyon "etanoliz", metanol kullanılırsa "metanoliz" adını almaktadır. Etanolizde oluşan ürün yağ asidi etil esteridir, metanolizde ise yağ asidi metil esteridir. Her iki ürün de biyodizeldir. Endüstriyel olarak biyodizel daha çok metanoliz ile üretilmektedir. Biyodizel üretiminde metil alkol, daha dengeli bir reaksiyon sağladığı için etil alkole göre daha çok kullanılır. Metil alkol, bitkisel ve hayvansal yağ içerisindeki sudan etil alkole göre daha az etkilenmektedir. Etil alkol metil alkole göre daha az toksik etkiye sahiptir ve yenilenebilir kaynaklardan sürekli olarak üretilebilir.

Reaksiyonda kullanılacak etil alkol miktarı, aynı yağ miktarı için metil alkolden daha fazla olmaktadır. Kullanılacak olan etil alkolde %100 saflıkta olmalıdır. (Artukoğlu, 2006).



Şekil 4.3. Yağ asitlerinin transesterifikasyonu (Artukoğlu, 2006).

Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde sırasıyla; alkol ile katalizörü karıştırma basamağı, reaksiyon basamağı, ayırma basamağı, alkolün uzaklaştırılması basamağı, gliserin nötralleştirme basamağı ve ester yıkama basamağı olarak ilerlemektedir. Bu basamaklarda gerçekleştirilen işlemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

#### **4.9.4.1. Alkol ile Katalizör Karıştırma Basamağı**

Üretimin ilk aşamasında, kullanılacak olan yağın serbest yağ asidi oranı belirlenmektedir. Serbest yağ asidi fazla olan yağların baz katalizör ile reaksiyona girdiğinde; katalizörü tüketip ester dönüşümünü azaltan ve esterin, gliserinin ve yıkama suyunun ayrışmasını engelleyen sabun oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca katalizörlerin gereğinden fazla kullanılması ya da az kullanılması da reaksiyonu olumsuz etkilemektedir (Ölçüm, 2006).

Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi için kullanılacak yağın asitliği ve katalizör miktarı titrasyon yöntemi ile bulunabilmektedir. Bu yöntemde öncelikle yağın asitliği hesaplanmaktadır. Öncelikle bir beherde saf su ile 1 g NaOH çözeltisi hazırlanarak bir bürete doldurulmaktadır. Ayrı bir beherde, kullanılacak olan yağdan 1g alınarak 10 ml izopropil alkol içerisinde çözülerek üzerine birkaç damla fenolfitaleyin damlatılmakta ve birbiri içerisinde homojen bir karışım olması için karıştırılmaktadır. Bürete doldurulan çözelti yavaş bir şekilde karışım içerisine damlatılarak karışımın rengi pembe olduğu anda titrasyon tamamlanmış olmaktadır. Büretten harcanan çözelti miktarı oleik asit cinsinden asit değerini vermektedir. Kullanılacak olan katalizör miktarı, büretten okunan değere NaOH için 3,5 g eklenmesiyle hesaplanmaktadır. Biyodizel üretimi için kullanılan katalizörler genellikle baz katalizör olan NaOH ve KOH'dır (Abalı vd, 2009).

#### **4.9.4.2. Reaksiyon Basamağı**

Oluşturulan alkol katalizör çözeltisi kapalı bir reaksiyon kabı içerisine doldurularak bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilmektedir. Alkol kaybını önlemek için sistem tamamen atmosfere kapatılmaktadır. Reaksiyonu hızlandırmak amacıyla karışım

belli bir sıcaklıkta tutularak karıştırılmaktadır. Önerilen reaksiyon süresi genellikle 1-8 saat arasında değişmektedir. Hayvansal ve bitkisel yağların kendi esterlerine tamamen dönüştürülmesini sağlamak için normalden fazla alkol kullanılmaktadır.

Kullanılacak olan hayvansal veya bitkisel yağ içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarı reaksiyon verimini etkilemektedir. Su ve serbest yağ asitlerinin yüksek olması dengeyi tersine çevirmekte, verimi düşürmekte ve sabun oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle reaksiyon sonrasında yan ürün olarak alt tabakaya çökelen gliserinin ayrılması problemlerine yol açmaktadır (Çanakçı, 2001).

#### **4.9.4.3. Ayırma Basamağı**

Transesterifikasyon reaksiyonu tamamlandığında iki ana ürün olan biyodizel ve gliserin oluşmaktadır. Esterleştirme işleminin yüksek verimde gerçekleşmesi için genellikle fazla alkol kullanılmaktadır. Bu yüzden eğer gerek görülürse nötralizasyon işlemi bu basamakta yapılmalıdır. Oluşan gliserin fazının yoğunluğu, elde edilen biyodizelin yoğunluğundan yüksek olduğu için iki ayrı faz oluşmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan gliserin ayırma hunisi vasıtasıyla elde edilen yakıttan uzaklaştırılır. Ayırma işleminin daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlamak için santrifüj kullanılmaktadır.

#### **4.9.4.4. Alkolün Uzaklaştırılması**

Reaksiyonun verimli olması açısından kullanılan fazla alkol, ayırma işlemi sonrasında elde edilen biyodizel ve gliserinden evaporasyon ya da distilasyon yöntemiyle uzaklaştırılmakta ve tekrar kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır. Geri kazanılan alkol içerisinde su olmamasına dikkat edilmelidir. Nötralizasyon gerektiği durumda, faz ayrışmasından önce alkol uzaklaştırılarak, sonrasında nötralizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

#### **4.9.4.5. Gliserin Nötralleştirme İşlemi**

Gliserin içerisinde mevcut olan kullanılmamış katalizör ve yağ asitlerinden oluşan sabun, gliserinin asit ile nötrale edilmesiyle ayrışmakta ve elde edilen gliserin ham gliserin tankına gönderilmektedir. Bu fazın geri kazanılmasıyla oluşan tuz gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır.

#### **4.9.4.6. Ester Yıkama Basamağı**

Faz ayrışması ve alkolün uzaklaştırılmasıyla elde edilen biyodizelin içerisinde bulunan katalizör ve sabun artıklarının uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için biyodizel ılık su ile yavaşça yıkanarak suyu uzaklaştırılmaktadır. Ardından içerisinde az miktarda olsa su bulunan biyodizele kurutma işlemi uygulanmakta ve işlem bittikten sonra depolamaya gönderilmektedir (Ölçüm, 2006).

#### **4.9.5. Süper Kritik Yöntem**

Bir sıvı yahut gaz, kritik noktalarını aşan sıcaklık ve basınç altında kalırsa, orada alışılmamış özelliklere rastlanmaktadır. Sıvı ve gaz fazları yerine, sadece tek bir akış fazı bulunmaktadır. Hidroksil gurubu içeren su veya başlıca alkoller süper asit görevi görürler. Bu tür katalizörsüz yaklaşımda alkol yağ oranı 42:1 olarak tespit edilmiştir. Süper kritik şartlar altında (350-400°C aralığında sıcaklık ve 80 atm'den daha yüksek basınçta) reaksiyon zamanı 4 dakikadır (Nişancı, 2007).

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kullanım olanağı olmayan ham balık yağından biyodizel (BYME) elde edilerek atık ürünleri değerlendirmek, elde edilen biyodizelin hacimsel olarak %20'si biyodizel, %80'i dizel yakıtı olmak üzere oluşturulan B20 yakıtı, tek silindirli dizel motorda püskürtme basınç ve avansının değişimine bağlı olarak, tam yük değişik hızlarda (1800 1/min-3400 1/min), 200 1/min devir aralıklarında motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

#### 5.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Biyodizel üretimi Karabük Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, cam beherler, mezürler, ayırma hunisi ve termometre kullanılmıştır. Şekil 5.1'de biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler görülmektedir.



Şekil 5.1. Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler.



### 5.1.1. Metil Alkol (CH<sub>3</sub>OH)

Balık yağı metil esteri üretimi için %99 saflıkta, 0,799 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip, donma noktası -98°C, kaynama noktası 64°C ve kendi kendine tutuşma noktası 455°C olan metil alkol kullanılmıştır.

### 5.1.2. Sodyum Hidroksit

Kullanılan NaOH'un temel özellikleri olan saflık, mol kütlesi, erime noktası ve kaynama noktası, sırasıyla %99, 40 g/mol, 324°C ve 1390°C'dir. NaOH transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör olarak görev almakta ve tepkime sonrasında etkilenmeden çıkmaktadır.

### 5.1.3. Atık Balık Yağından Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretimi için kullanılacak olan yağ içerisinde su bulunması ester dönüşümünü olumsuz yönde etkilemektedir (Çanakçı, 2001; Akçay, 2006). Atık balık yağı içerisinde su bulunduğundan dolayı sıcaklığı 115°C'ye getirilerek bünyesindeki su buharlaştırılmıştır. Atık balık yağı içerisindeki suyun buharlaştırılması Şekil 5.2'de görülmektedir.



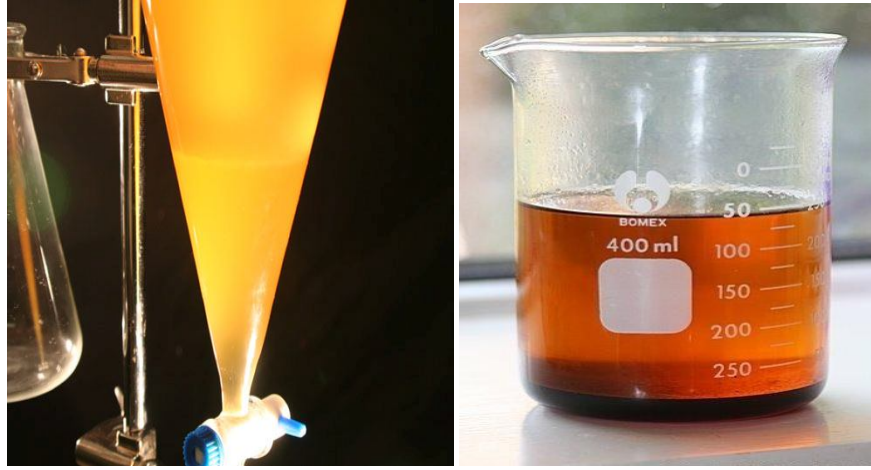
Şekil 5.2. Atık balık yağı içerisindeki suyun buharlaştırılması.

Ayrı bir beherde, 5000 ml balık yağı için 23,5 g NaOH, %20 kadar metil alkol karıştırılarak sodyum metoksit çözeltisi oluşturulmuştur. Sıcaklığı 60°C'ye düşürülen ham balık yağı içerisine sodyum metoksit çözeltisi eklenerek reaksiyon başlatılmıştır. Karışım 2 saat boyunca manyetik balık ile karıştırılarak sıcaklığı 60°C'ta sabit tutulmuştur. Şekil 5.3'te atık balık yağı içerisine metoksit karışımının eklenmesi ve transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleşen karışımın ilk 20. dakikadaki görüntüsü görülmektedir.

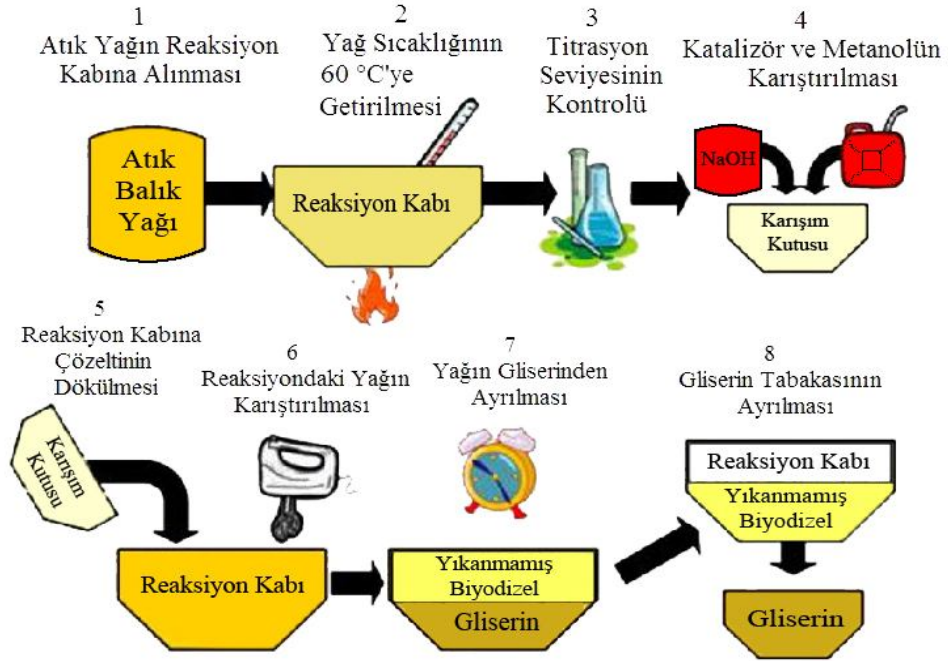


Şekil 5.3. Atık balık yağı içerisine metoksit karışımının eklenmesi ve transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleşen karışımın ilk 20. dakikadaki görüntüsü.

Reaksiyon süresinin tamamlanmasıyla karışım ayırma hunisine alınarak fazların ayrılması sağlanmıştır. Karışım içerisinde gliserin bulunmaması için 1 gün bekletilerek biyodizel gliserinden ayrılmış ve ayrı bir kaba alınmıştır. Şekil 5.4'te biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması, Şekil 5.5'te ise gliserin fazının ayrılması işlemine kadar olan basit bir şeması görülmektedir.



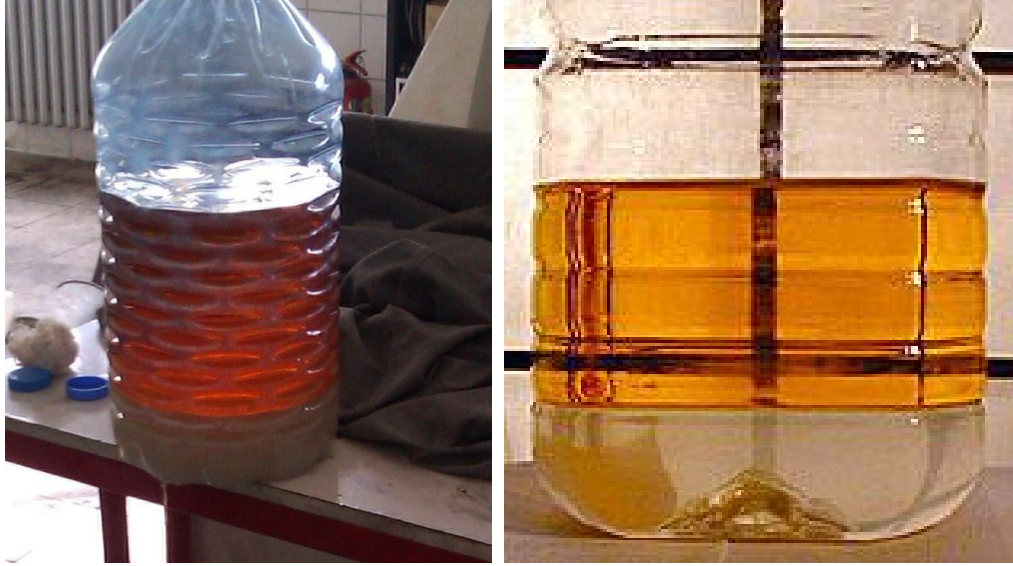
Şekil 5.4. Biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması.



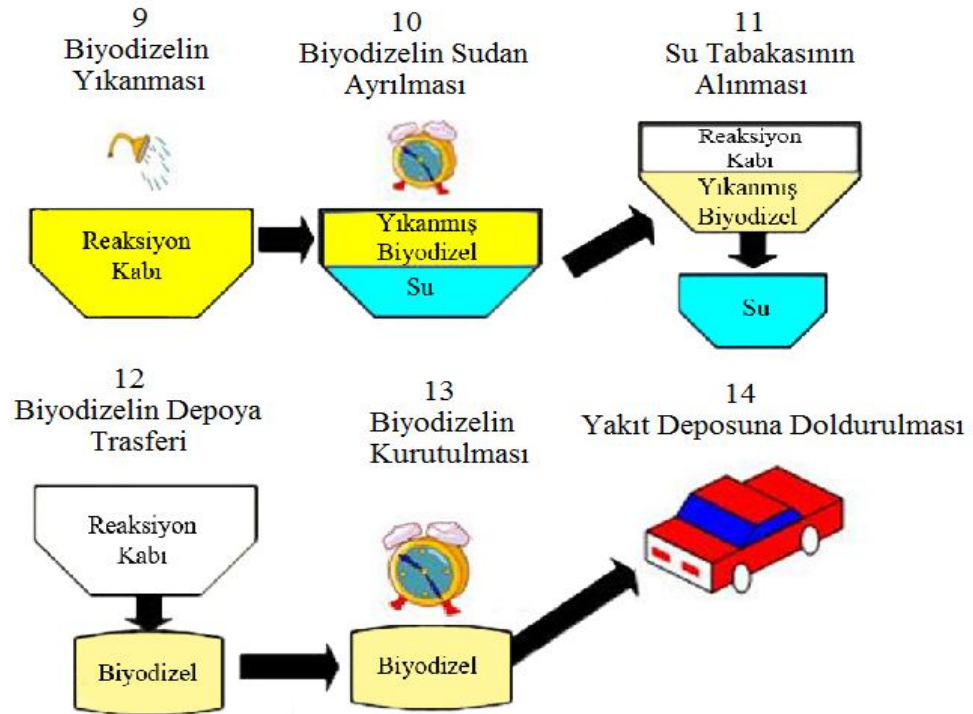
Şekil 5.5. Biyodizel üretim aşamasının basitleştirilmiş şeması.

Gliserin fazından ayrılmış olan biyodizelin içerisinde bulunan sabun ve katalizör artıklarının temizlenmesi gerekmektedir. Öncelikle Biyodizel kendi hacmi kadar saf ve ılık su ile daha sonra her defasında bu suyun %30 kullanılmış ve pH 7 olana kadar yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi yapılırken, biyodizelin ve yıkama suyunun sıcaklıklarının birbirine yakın olması istenmektedir. Yıkanan biyodizel içerisinde azda olsa su bulunmaktadır. Biyodizel kurutma işlemine tabi tutularak, içerisindeki su buharlaştırılmıştır. Şekil 5.6'da gliserin fazından ayrılmış olan

biyodizelin yıkanmış hali, Şekil 5.7’de ise gliserin fazının alınmasından sonra, biyodizelin kullanımı öncesinde temizlenmesi şematik olarak gösterilmektedir.



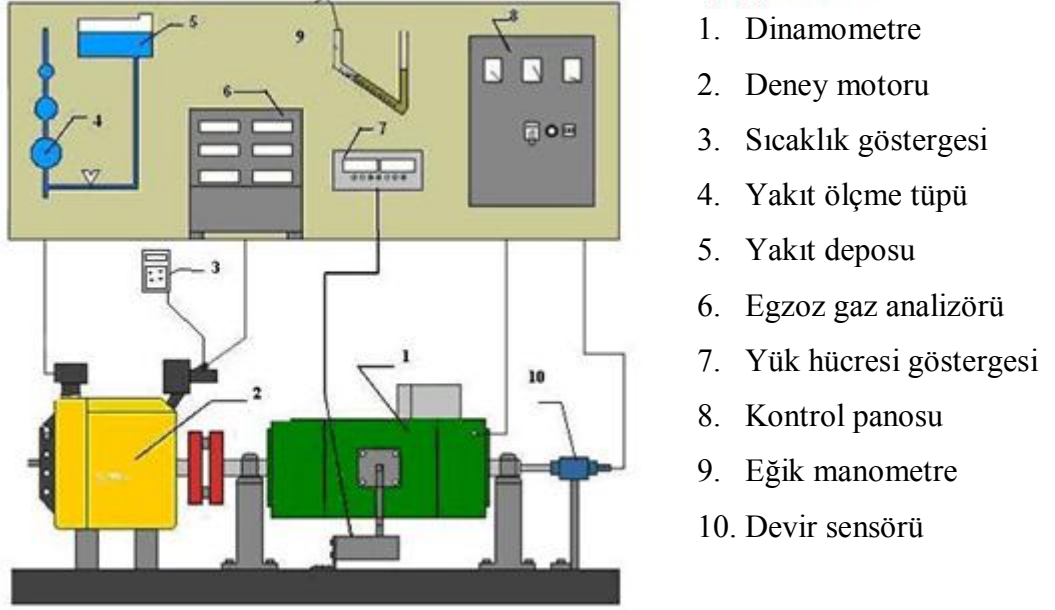
Şekil 5.6. Biyodizelin yıkanmış görüntüsü.



Şekil 5.7. Gliserinin alınmasından sonra, biyodizelin kullanımı öncesindeki işlemler.

## 5.2. MOTOR TEST DÜZENEGİ

Motor testleri Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

### 5.2.1. Deney Motoru

Testlerde tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, doğrudan püskürtmeli Katana KM178F marka dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünüşü Şekil 5.9’da, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.9. Deney motorunun genel görünüşü.

Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Markası ve tipi	Katana, KM178F 4 zamanlı, doğrudan püskürtmeli, hava soğutmalı, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Kurs (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum motor hızı (1/min)	3600
Silindir hacmi (cc)	296
Püskürtme basıncı (Bar)	200 ± 5
Püskürtme avansı (° KMA ÜÖNö)	17 ± 1

### 5.2.2. Motor Dinamometresi

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve egzoz sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen hızda hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır. dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde Esit marka SP 100 kg CI yük hücresi göstergesi ve PWI-W indikatör kullanılmıştır.

### 5.2.3. Egzoz Gaz Analizörü ve Duman Ölçer

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörü ile NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, λ (hava fazlalık

katsayısı) ve O<sub>2</sub> değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Şekil 5.10’da egzoz gaz analizörünün görünüşü, Çizelge 5.2’de ise MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.10. Egzoz gaz analizörünün görünüşü.

Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% hacimsel)	0-15,00	± 0,06
CO <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-20,00	± 0,5
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-2 000	± 5
HC (ppm)	0-20 000 n-hekzan	± 12
O <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-25	± 0,1
Sıcaklık (°C)	40-(+650)	± 1

Deney sırasında duman yoğunluğunu ölçmek için MRU OPTRANS 1600 cihazı kullanılmıştır. Cihaz % ve m<sup>-1</sup> birimlerinde ölçüm yapabilmektedir. Şekil 5.11’de duman ölçüm cihazı görölmektedir.



Şekil 5.11. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı.

#### 5.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Dizel yakıtı ile çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yöntemle göre çalışan 10 mL hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

Yakıt tüketimi süresinin Caston ST-631D marka bir kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.



### 5.2.5. Mezürler

Motor testlerinde kullanılacak olan yakıt karışımının hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Hacimsel olarak %80 dizel yakıtı ile %20 BYME karışımının oluşturulmasında, Şekil 5.13’de görülen mezürler kullanılmıştır.



Şekil 5.13. B20 karışımın oluşturulmasında kullanılan mezürler.

### 5.2.6. Deney Yakıtı

Deneysel çalışmada dizel yakıtı ve BYME kullanılmıştır. Motor testleri karşılaştırma amacıyla ilk olarak % 100 dizel yakıtıyla yapılmıştır. Daha sonra hacimsel olarak %20 BYME ile %80 dizel yakıtı karışımları ile deney sürdürülmüştür. Son olarak %100 BYME kullanılarak test yapılmıştır. Deneyde kullanılan yakıtların bazı özellikleri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri.

Özellik	Birim	Dizel Yakıtı	BYME
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup> , 15°C	837	893
Kinematik viskozite	mm <sup>2</sup> /s, 40°C	3,16	4,47
Akma noktası	°C	-10	-3
Alevlenme noktası	°C	72 (İçingür ve Koçak, 2006)	165

Çizelge 5.3. (devam ediyor).

Karbon bakiyesi	%	-	1,86
Bakır çubuk korozyonu	-	-	Açık bulanık
Setan sayısı	-	49,80	-
Alt ısııl değer	kJ/kg	43 350	-
Parlama noktası	°C	62,00	-
Kükürt	ppm	1670,00	-
Su	mg/kg	-	Eser
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,075

### 5.3. DENEY YÖNTEMİ

Deneysel çalışmalara başlamadan önce motor ayarları yapılmış, motor yağı değiştirilmiştir. Kullanılacak olan egzoz gaz analizörü ve duman ölçer cihazlarının kalibrasyonları yapılmış ve motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Deneysel çalışma, motorun tam yük ve değişik hızlarında (1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800 3000, 3200 ve 3400 1/min) yapılmıştır. Tam gaz değişik hız testlerinde öncelikle standart püskürtme basıncı ve avansında karşılaştırma yapılabilmesi açısından %100 dizel yakıtı denenmiştir. Diğer deneyler için oluşturulan B20 yakıtı yine standart püskürtme basıncı ve avansında denenmiştir. Sonrasında deney motorunun püskürtme basıncı sırasıyla 210, 230 ve 250 bar basınca çıkartılarak denenmiştir.

Tam gaz değişik hız deneylerinde ikinci olarak yine aynı hız aralığında püskürtme avansına göre yapılmıştır. Öncelikle püskürtme basıncı standart haline getirilmiştir. Püskürtme avansının değişimi için yakıt pompası altına yerleştirilen şimler kullanılmıştır. Şimler 0,1 mm kalınlığında olup her bir şimin eklenmesiyle püskürtme avansında 2°KMA azalma meydana gelmektedir. Püskürtme avansına göre çalışma ilk olarak 16°KMA'da denenmiş ve ardından 20° ve 22°KMA'da yapılmıştır.

## 5.4. HESAPLAMALAR

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanmaktadır. Motor deneylerinde motor hızı, belirli bir hacimdeki yakıtın tüketim süresi, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

Ölçülen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, mekanik verim ve termik verim gibi performans değerleri hesaplanabilmektedir.

### 5.4.1. Motor Momenti ve Gücü

Motor belirlenen devirlerde yük altında çalışırken motorun dinamometre ile yüklenmesiyle oluşan etki yük hücresi göstergesinden okunmuştur. Okunan bu değer ile dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu çarpılarak moment hesaplanmıştır. Buna göre motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_e = m \cdot g \cdot l \quad (5.1)$$

Burada;

$M_e$  : Motor momenti (Nm)

$m$  : Yük hücresinden okunan yük (kg)

$g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

$l$  : Moment kol uzunluğu (m) nu ifade etmektedir.

Motor çıkış milinden alınan efektif güç, 5.2'de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$P_e = \frac{M_e \times 2\pi \times n}{60 \times 1000} \text{ (kW)'dir.} \quad (5.2)$$

Burada;

- $P_e$  : Efektif motor gücü (kW)  
 $M_e$  : Efektif motor momenti (Nm)  
 $n$  : Motor devri (1/min)'dir.

#### 5.4.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Motorun tükettiği yakıt miktarı dinamometre üzerinde bulunan yakıt ölçme borusu yardımıyla bulunmuştur. Burada 10 mL yakıtı motorun ne kadar sürede tükettiği hassas bir kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Tüketilen yakıtın kütleli debisi eşitlik 5.3 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m} = \frac{\Delta V \times 10^{-6} \times 3600}{\Delta t} \times \rho_y \text{ (kg/h)} \quad (5.3)$$

Burada;

- $\dot{m}$  : Tüketilen yakıt miktarı (kg/h)  
 $\Delta t$  : 10 mL yakıtın tüketilme süresi (s)  
 $\rho_y$  : Kullanılan yakıtın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\Delta V$  : Yakıt tüketimi ölçülen cam balondaki yakıt hacmi (mL)

Özgül yakıt tüketimi 5.4 numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$sfc = \frac{\dot{m}}{P_e} \times 10^3 \text{ (g/kWh)} \quad (5.4)$$

Burada;

- $sfc$  : Özgül yakıt tüketimini ifade etmektedir (g/kWh)

## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir dizel motorda tam yük değişik hızlarda BYME, saf ve dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 oranında karıştırılarak elde edilen %80 dizel + %20 BYME (B20) karışımları ile püskürtme basıncı ve avansına göre test edilmiştir. Oluşturulan B20 yakıtı ile 200, 210, 230 ve 250 bar enjektör basınçlarında ve 16, 18, 20 ve 22°KMA'da tam gaz konumunda 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200 ve 3400 1/min hızlarında motor performans ve egzoz emisyonları belirlenmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi için standart püskürtme basıncında (200 bar), standart avansta (18°KMA) %100 dizel yakıtı tam gaz ve aynı motor hızlarında test edilmiştir. Ayrıca, %100 BYME(B100) ile 18, 20 ve 22°KMA'da tam gaz ve aynı motor hızlarında performans ve egzoz emisyonları belirlenmiştir.

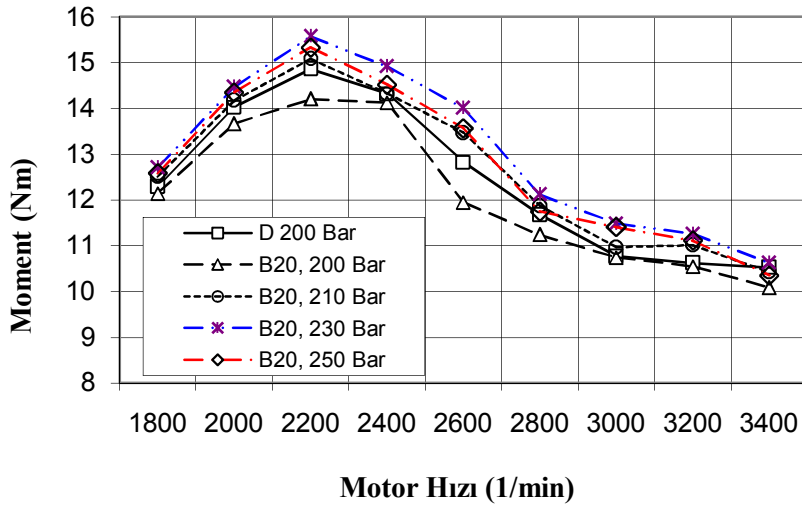
#### 6.1. MOTOR PERFORMANSI

##### 6.1.1. Motor Momenti ve Gücü

Moment, motorların iş yapabilme yeteneğini göstermektedir. Moment motorun düşük hızlarından yüksek hızlarına doğru artmakta ve maksimum noktasına ulaştıktan sonra, motor hızının daha da artmasıyla düşmeye başlamaktadır. Motor momentinin artmasının sebebi hız artışına bağlı olarak, karışımın oluşumunun iyileşmesi ve çevrim başına bağlı olarak azalan gaz kaçakları sebebiyle silindir içerisinde erişilen basınç ve sıcaklıklarının yükselmesidir. Ayrıca, motor hızının artmasıyla ısı iletimi için gerekli sürenin kısılmasıyla kayıplarının azalmasından da kaynaklanmaktadır. Motor momentinin maksimuma eriştiği noktada silindir içerisine bir çevrimde maksimum karışım kütlesi alınmaktadır.

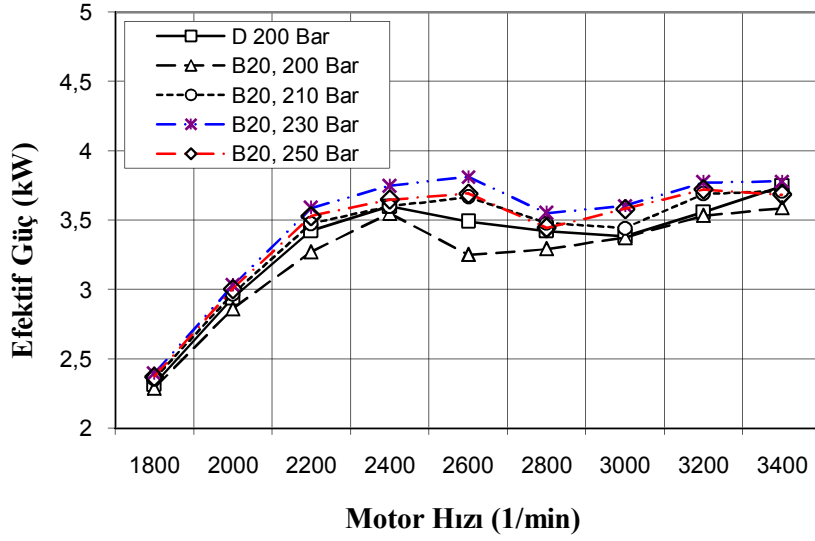
Motor gücü, motor hızına bağlı olarak artmakta ve moment gibi belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra düşüş eğilimine geçmektedir. Motorun düşük hızlarından yüksek hızlarına doğru silindir içerisinde ki karışım oluşumu iyileşmekte, moment artmakta buna bağlı olarak motor gücü de artmaktadır. Motor momenti maksimum seviyeye ulaştıktan sonra motor hızı arttıkça düşmeye başlamakta fakat, güç hız arttığından dolayı artmaya devam etmektedir. Motor hızının daha da artmasıyla giriş karışımının akış ve kütle dirençleri ile birlikte sürtünme kayıpları motor hızıyla doğru orantılı olarak artmakta ve motor devri kayıpları karşılayamadığından motor gücü düşmektedir (Çetinkaya, 2004).

Şekil 6.1’de B20 yakıtının 200, 210, 230 ve 250 bar püskürtme basınçlarında motor momentine, Şekil 6.2’de ise motor efektif gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 6.1. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında motor momentine etkisi.

Dizel motorlarda püskürtme basıncı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen yapısal faktörlerden biridir. Enjektör basıncının artmasıyla yakıtın çıkış hızı artmakta ve yakıt damlacık çapları küçülmektedir. Böylece yakıt ile havanın homojenliği sağlanmakta ve verimli bir yanma sağlanmaktadır. Yakıt damlacık çaplarının büyük olması halinde buharlaşmaları zaman almakta ve yanma verimi kötüleşmektedir (Sekmen ve Aktaş, 2008).



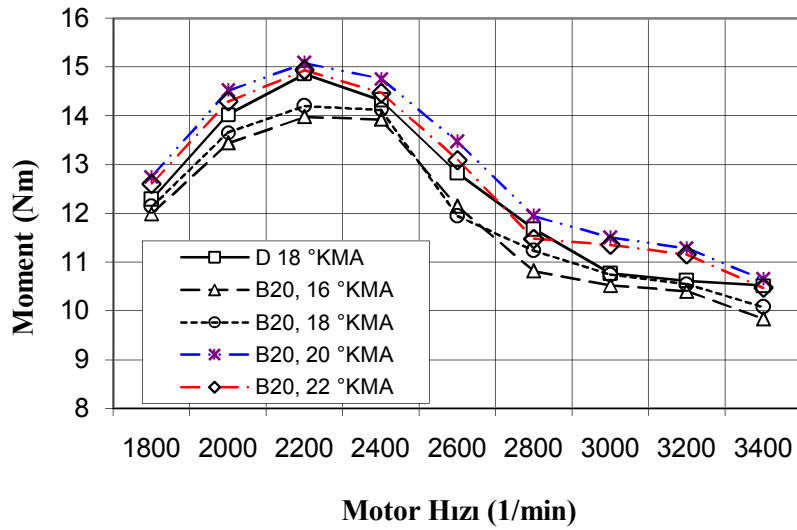
Şekil 6.2. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında motor gücüne etkisi.

Bütün enjeksiyon basınçlarında, motorun düşük hızlarında momentin düşük olduğu, motorun yüksek hızlarına doğru momentin maksimum değere ulaştığı ve motorun 2200 1/min hızından sonra momentin düştüğü görülmektedir. Dizel yakıtına %20 BYME ilavesi sonucunda standart püskürtme basıncında dizel yakıtına göre momentin ve gücün azaldığı görülmektedir. Motor momenti ve gücü, viskozite ve ısıl değer gibi parametrelere bağlıdır. BYME'nin ısıl değerinin düşük olması motor momentini ve gücünü azaltmaktadır. BYME'nin viskozitesi dizel yakıtının viskozitesinden yüksektir. Yüksek viskozite, silindir içerisine enjekte edilen yakıtın atomizasyonunu etkilediğinden, yakıt damlacık çaplarının büyük olmasına neden olmakta ve damlacıkların ataletleri yüksek olmaktadır. Bu durum yakıtın nüfuz derinliğini etkilemekte ve yanma verimini etkileyerek motor momentini ve gücünde azalmaya neden olmaktadır.

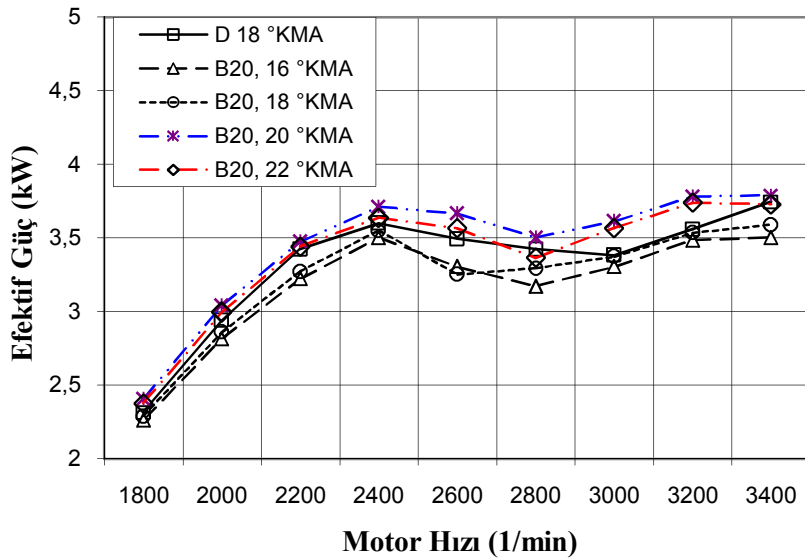
Püskürtme basıncı 200 bar'dan 210 ve 230 bar basınca yükseltildiğinde motor momentini ve gücünde artış olduğu görülmektedir. Karışım yakıtın ısıl değerinin düşük olmasına karşın, püskürtme basıncının yükseltilmesiyle yakıt damlacık çapı küçülerek atomizasyon iyileşmekte ve yüksek buharlaşma hızlarında rahatlıkla buharlaşmakta dolayısıyla yanma verimli bir şekilde gerçekleşerek motor momentini ve gücünde artış sağlanmaktadır. Püskürtme basıncının 250 bar'a yükseltilmesiyle moment ve güç, 230 bar püskürtme basıncındaki moment ve güç değerlerinden düşük çıkmıştır. Püskürtme basıncının artırılmasıyla yakıt damlacık çapları

küçülmekte, ataletleri azalmakta ve silindir içerisindeki hava direncine maruz kalarak nüfuz derinliğinin azalmasıyla homojen bir karışım oluşmamaktadır. Ayrıca, püskürme için pompanın daha fazla güç çekmesi moment ve güçteki düşmenin sebebi olarak açıklanabilir.

Şekil 6.3'te B20 yakıtının püskürtme avansına göre motor momentine, Şekil 6.4'te ise motor efektif gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 6.3. B20 yakıtının püskürtme avansına göre motor momentine etkisi.



Şekil 6.4. B20 yakıtının püskürtme avansına göre motor efektif gücüne etkisi.

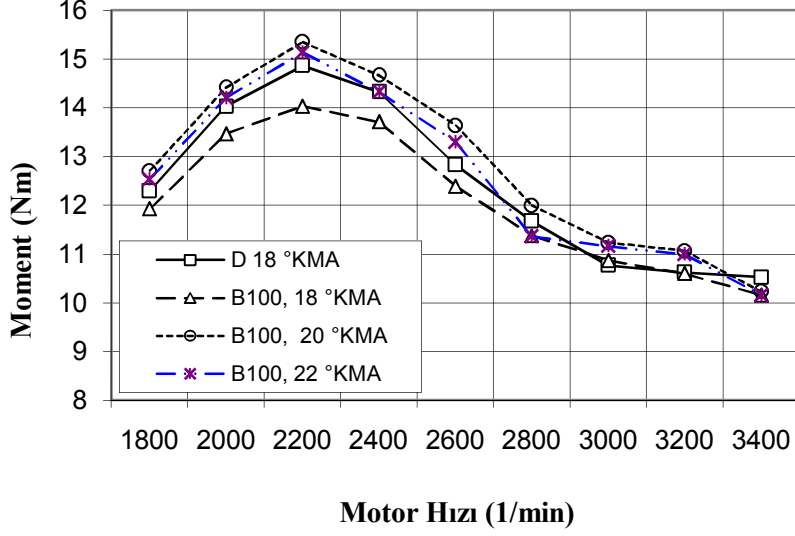


Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, püskürtme basıncı, sıkıştırma oranı ve püskürtme basıncı gibi yapısal faktörlerden etkilenmektedir. Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performansı ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Aktaş ve Sekmen, 2008). Caresana'ya (2011) göre dizel yakıtı yerine biyodizel kullanımında, enjeksiyon zamanı önceden başlamaktadır. Ayrıca, çalışma verileri bilinenin aksine, biyodizel kullanımında genellikle püskürtme basıncının artmadığını göstermiştir. Püskürtme avansının 18°KMA'dan 16°KMA'ya düşürülmesi motor momenti ve gücünde azalmaya neden olduğu görülmektedir. Püskürtme avansının azalması, yanmanın genişleme zamanına doğru kaymasına neden olduğundan maksimum basıncın istenilen yerde oluşmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle silindir içi sıcaklık ve basıncının düşmesi motor momenti ve gücünde azalma etkisi göstermektedir. Püskürtme avansının 18°KMA'dan 20°KMA'ya artırılmasıyla motor momenti ve efektif gücünde artışların sağlandığı, fakat 22°KMA'ya artırılmasıyla, 20 °KMA'ya göre motor momenti ve efektif gücünde azalma olduğu görülmektedir. Karışım yakıtın viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması püskürtme sonrası zerrelere ayrılması, buharlaşması ve yakıtın tutuşabilmesi için dizel yakıtına göre daha fazla zamana ihtiyacı vardır. Püskürtme avansının artırılmasıyla bu zaman problemi çözülmekte ve yakıtın atomize olması, hava ile homojen bir karışım oluşturması ve tutuşması için gerekli süre sağlanmaktadır. Püskürtme avansının daha da artırılması vuruntulu çalışmaya neden olmakta dolayısıyla yanma ve motor performansını olumsuz yönde etkilenerek moment ve efektif güçte düşme meydana gelmektedir.

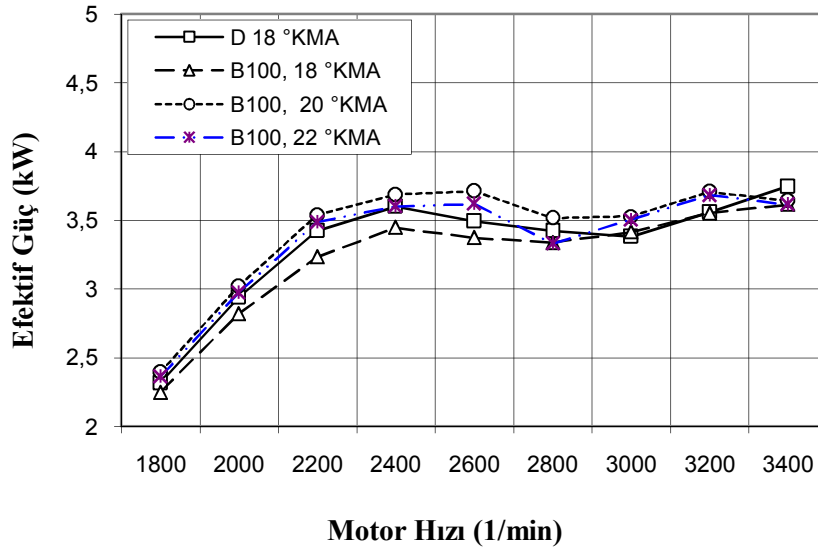
Şekil 6.5'te B100 yakıtının püskürtme avansına göre motor momentine, Şekil 6.6'da ise motor efektif gücüne etkisi görülmektedir.

Standart püskürtme avansında B100 kullanımının dizel yakıtına göre motor momenti ve gücünde azalmaya neden olmuştur. Motor momenti ve gücündeki azalmanın temel nedeni, biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından düşük olmasıdır. Ayrıca, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması yakıtın daha küçük zerrelere parçalanmasına müsaade etmemekte ve yakıt damlacık çaplarının artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden yakıtın nüfuz derinliği etkilenmekte, buharlaşması

zorlaşmakta, tutuşması için gerekli zaman bulamamakta dolayısıyla yanma kötüleşmekte ve motor momenti ve efektif güçte azalma meydana gelmektedir.



Şekil 6.5. B100'ün püskürtme avansına göre motor momentine etkisi.

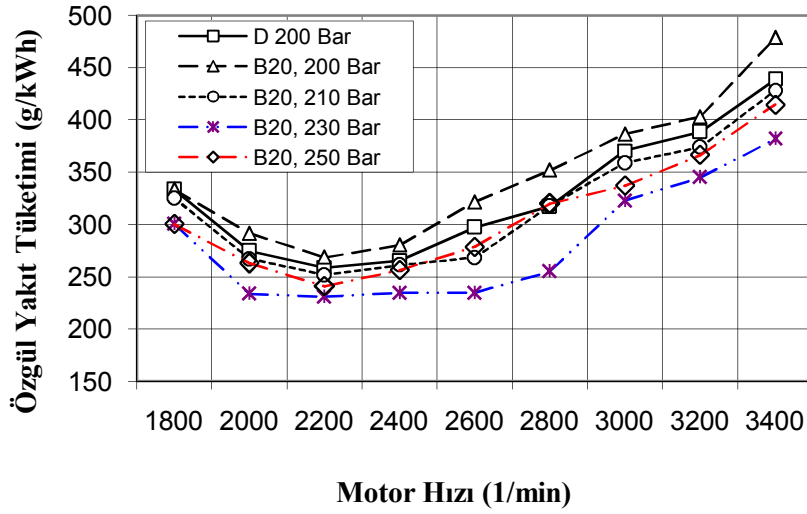


Şekil 6.6. B100'ün püskürtme avansına göre motor efektif gücüne etkisi.

Püskürtme avansının artırılmasıyla viskozitesi yüksek olan B100 yakıtı, silindir içerisinde daha iyi atomize olmakta ve tutuşması için gerekli zaman sağlandığından yanma verimi artmakta dolayısıyla motor momenti ve efektif gücünde iyileşme sağlanmaktadır.

### 6.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

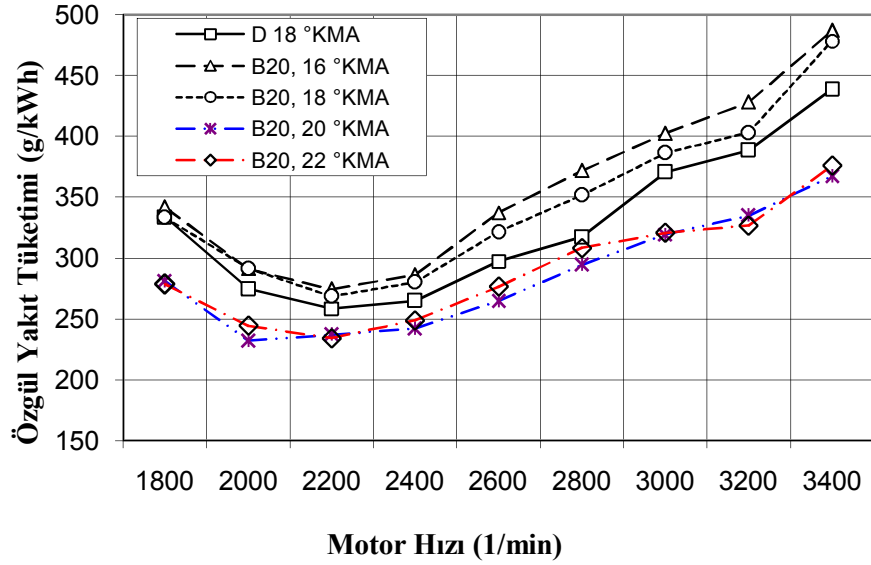
Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına saatteki tüketilen yakıt miktarını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile birim zamandaki yakıt tüketiminin motor gücüne oranıdır. Şekil 6.7’de B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir.



Şekil 6.7. B20 yakıtının farklı püskürtme basınçlarında özgül yakıt tüketimi.

Standart püskürtme basıncında B20 yakıtının özgül yakıt tüketimi, dizel yakıtının özgül yakıt tüketiminden daha yüksek olduğu görülmektedir. B20 yakıtının ısı değeri dizel yakıtinkinden düşük olması sebebiyle aynı miktarda enerji elde edilebilmesi için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden B20 ile çalışmada ki özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır (Rakopoulos vd, 2006). Püskürtme basıncının 200 bar’dan 210, 230 ve 250 bar’a yükseltilmesiyle dizel yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri sağlanmıştır. Püskürtme basıncının yükseltilmesiyle B20 yakıtı silindir içerisinde daha iyi bir karışım teşkil etmekte buna bağlı olarak motor gücünün artması sağlanmakta ve özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre düşmektedir.

Şekil 6.8’de B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında özgül yakıt tüketimine etkisi görülmektedir.

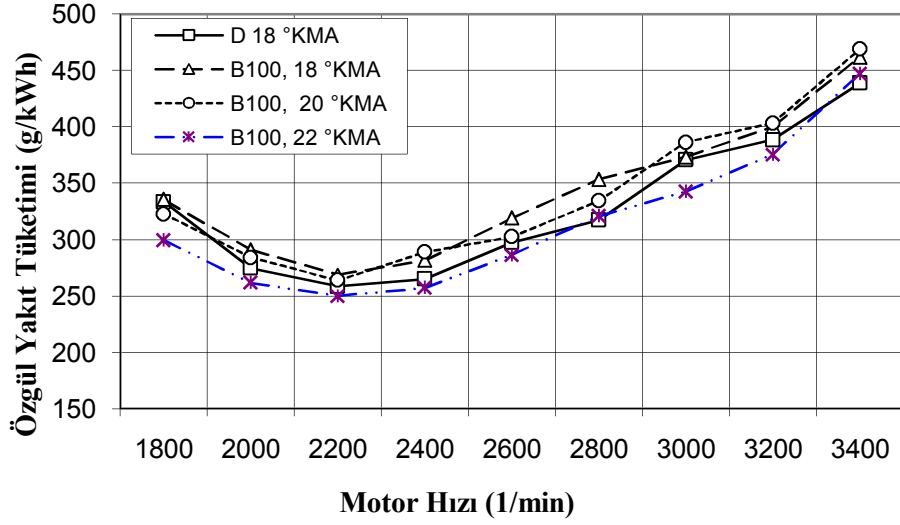


Şekil 6.8. B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında özgül yakıt tüketimi.

Standart püskürtme avansında B20 yakıtının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre yüksek olduğu görülmektedir. Püskürtme avansının 16°KMA'ya düşürülmesi, yanmanın genişleme periyoduna doğru kaymasına sebep olmakta ve silindir içi basınç ve sıcaklıkları düşmektedir. Dolayısıyla yanma verimi kötüleşmekte ve özgül yakıt tüketimi artmaktadır.

B20 yakıtının viskozitesi dizel yakıtının viskozitesinden yüksek olduğu için silindir içerisinde buharlaşması için daha fazla zamana ihtiyacı vardır. Püskürtme avansının artırılmasıyla B20 yakıtı için gerekli zaman temin edildiği için yanma verimi iyileşmekte dolayısıyla özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre azalmaktadır.

Şekil 6.9'da B100 yakıtının değişik motor hızlarında püskürtme avansına göre özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. B100 yakıtının dizel yakıtına göre 18 ve 20°KMA'da özgül yakıt tüketimi değerleri yüksek fakat, 22°KMA'da özgül yakıt tüketiminin düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.9. B100'ün püskürtme avansına göre özgül yakıt tüketimi.

Silindir içerisine enjekte edilen B100 yakıtı, ısı değerinin düşük olması ve viskozitesinin yüksek olması nedeniyle buharlaşması için gerekli zamanı bulamadığından yanma kötüleşmektedir. Bu yüzden motor gücü düşmekte buna bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde artış meydana gelmektedir. B100 yakıtının 20°KMA'daki özgül yakıt tüketimi, B100 yakıtının 18°KMA'daki özgül yakıt tüketiminden düşük çıkması, gerekli sürenin sağlanmasından kaynaklanmaktadır. B100 yakıtının 22°KMA'daki özgül yakıt tüketimi, diğer yakıtların özgül yakıt tüketiminden düşük çıkması, B100 yakıtın buharlaşması için gerekli sürenin sağlanmasıyla verimli bir şekilde yanması ve motor gücünün artması olarak açıklanabilir.

## 6.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Çevre kirliliğinin en önemli faktörleri arasında yer alan, canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü ve en temel ihtiyaçlarını karşıladığı havanın kirliliğidir. Hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri taşıtlardır. Özellikle büyük yerleşim merkezlerinde oluşan hava kirliliği, sayıları giderek artmakta olan taşıtlardan meydana gelmektedir.

Teorik yanmada girenler kısmında hidrokarbonlar (motorin, benzin vb.) ve hava vardır. Ürünler bölümünde ise CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve girenler ve ürünler bölümünde

değişmeden çıkan  $N_2$ 'dir. Fakat gerçekte yanma ideal koşulların sağlanamaması nedeniyle tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici emisyonlar oluşmaktadır. Yanmaya katılan hava gerekenden fazla olsa bile, silindir içerisinde yakıt ile havanın homojen bir karışım oluşturmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri meydana gelmekte dolayısıyla tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici emisyonların oluşmasına neden olmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam kirleticilerin %75'ini oluşturan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanma reaksiyonuna girmemiş hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SCb$ , partikül maddeler ve  $SO_2$  emisyonları oluşturmaktadır. Dizel motorlarda oluşan en önemli emisyonlar  $NO_x$ ,  $SO_2$  ve partikül maddelerdir (Alkaya ve Yıldırım, 2000; Akyaz, 2007).

Bu emisyonlar, yakıt bileşimleri ve yakıt katkı maddeleri ile ilişkili olduğu kadar, motor türü ve yanma verimi ile de doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, yakıtların taşıtların depolarına doldurulması ve motorun sıcaklığı ile yakıt/yağ buharlaşmalarından oluşan uçucu organik madde emisyonları da önemli emisyon kaynaklarıdır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar; taşıtın yaşı, motorun çalışma devri, çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, yakıt türü ve kalitesi gibi parametrelere bağlı olmaktadır (Ergeneman, 1998).

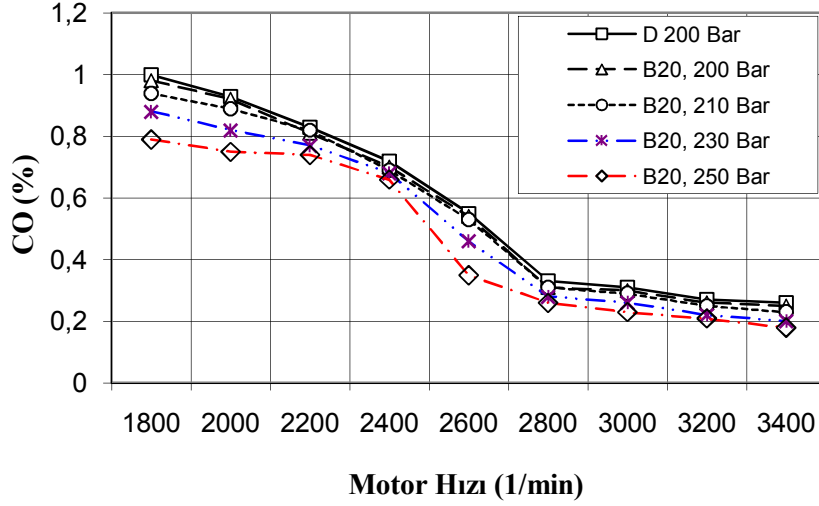
Bu deneysel çalışmada; B20 yakıtının değişik püskürtme basınçlarında (200, 210, 230 ve 250 bar), değişik püskürtme avanslarında (16, 18, 20 ve 22°KMA) ve B100 yakıtının 18, 20 ve 22°KMA'da motor hızına bağlı olarak egzoz emisyonları incelenmiştir.

### **6.2.1. CO Emisyonları**

Yanma ürünleri içerisinde CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıyla birlikte silindir içerisindeki karışımın tam homojen olmamasından da kaynaklanmaktadır (Sayin and Canakci, 2009). Karbonmoksit oluşumu büyük oranda HFK'ya bağlı olmaktadır. HFK'nın 1'den küçük değerlerinde karışım içerisinde

yeterli hava bulunmamakta ve bu da yetersiz oksijen anlamına geldiği için yakıttaki karbonun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşemeyerek CO olarak kalmaktadır (Oral, 2008).

Şekil 6.10'da B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme basınçlarındaki CO emisyonlarına etkisi görülmektedir.

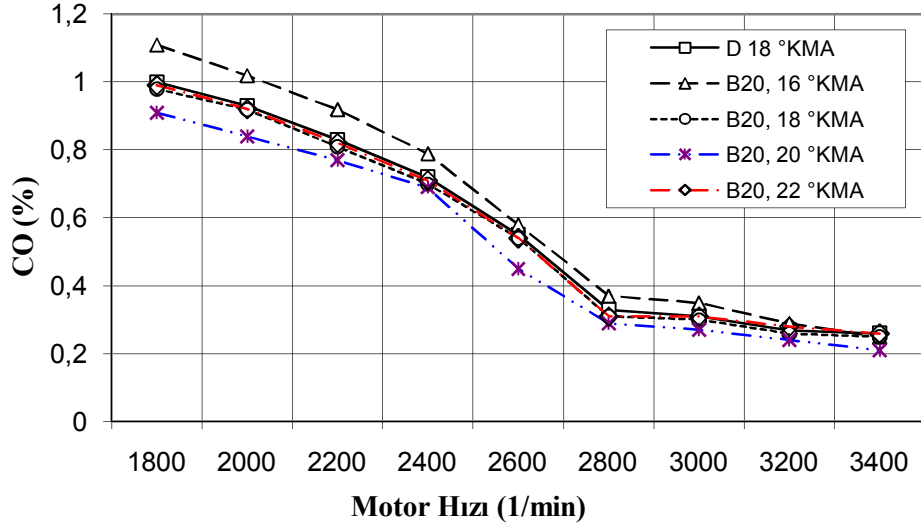


Şekil 6.10. B20 yakıtının püskürtme basıncına göre CO emisyonlarına etkisi.

B20 yakıtının dizel yakıtına göre tüm püskürtme basınçlarında CO emisyonları düşük çıkmıştır. Püskürtme basıncının artmasıyla B20 yakıtının CO emisyonlarında düşüş meydana geldiği görülmektedir. B20 yakıtının CO emisyonunun standart püskürtme basıncında dizel yakıtına göre düşmesinin temel nedeni, biyodizel yakıtların bünyelerinde oksijen bulunmasından kaynaklanmaktadır. Püskürtme basıncının artmasıyla CO emisyonlarının düşmesi, yanma veriminin daha yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 6.11'de B20 yakıtının motor hızına göre değişik püskürtme avanslarında CO emisyonlarına etkisi görülmektedir.

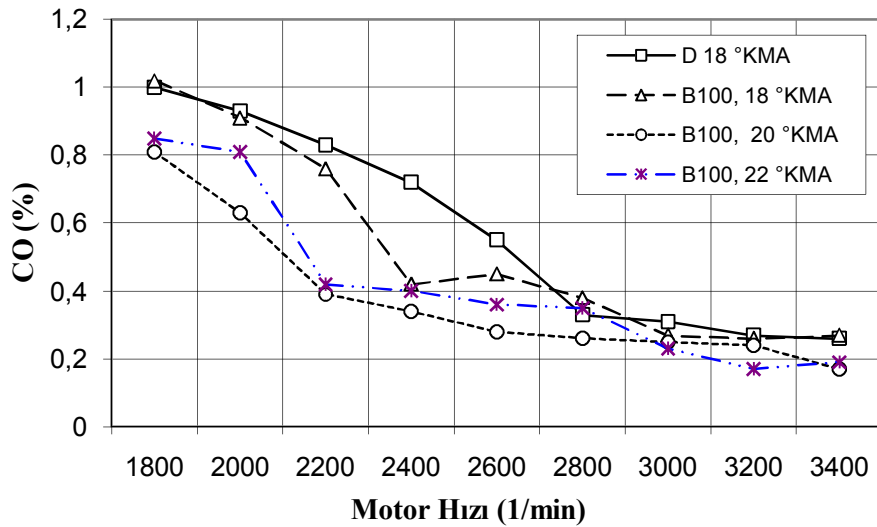
Standart püskürtme avansında ve daha yüksek avanslarda B20 yakıtının CO emisyonlarının dizel yakıtına göre düşük çıktığı, 16°KMA'da ise yüksek çıktığı görülmektedir. Biyodizelin oksijen içermesi nedeniyle standart ve yüksek avanslarda CO emisyonunun düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.11. B20 yakıtının püskürtme avansına göre CO emisyonlarına etkisi.

En düşük CO emisyonu 20°KMA’da ölçülmüştür. Bu püskürtme avansında yanma veriminin diğer avanslardan yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Püskürtme avansının 18°KMA’den 16°KMA’ya düşürülmesiyle püskürtme geç yapılmakta ve yakıtın tutuşması için gerekli süre sağlanamamakta dolayısıyla yanma kötüleşmekte, bu durum CO emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Şekil 6.12’de B100 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında CO emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.12. B100 yakıtının değişik püskürtme avanslarında CO emisyonlarına etkisi.



Püskürtme avansının standart avanstan 20°KMA'ya artırılmasıyla CO emisyonlarında azalma görülmektedir. püskürtme avansının daha da artırılmasıyla CO emisyonlarının arttığı görülmektedir. Tüm avans değerlerinde B100 yakıtının CO emisyonları dizel yakıtına göre düşük çıktığı görülmektedir. CO emisyonlarının dizel yakıtına göre düşük çıkmasının temel nedeni, biyodizel yakıtların bünyelerinde oksijen bulundurmasından dolayıdır.

B100 yakıtı için standart püskürtme avansının artırılmasıyla, yakıtın buharlaşması için gereken süre sağlandığından yanma verimi artmakta dolayısıyla CO emisyonları azalmaktadır. Püskürtme avansının daha da artırılması vuruntulu çalışmaya neden olmakta ve yanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple CO emisyonlarında 20°KMA'ya göre bir miktar artış olmaktadır.

### **6.2.2. HC Emisyonları**

Yanma ürünleri arasında HC'lerin bulunmasının nedeni, silindir içerisinde yakıtın tutuşma sıcaklığına erişememesi veya ortamda oksijenin yetersiz olmasıdır. CO ve NO<sub>x</sub>'lerin oluşmasına neden olan yüksek sıcaklık, egzoz gazlarındaki HC emisyonunu etkilememektedir. HC emisyonunun ana kaynağı, silindir içerisindeki alev sönme bölgesi olarak adlandırılan kısımlarda bulunan HC'lerin yanmadan egzoz yoluyla dışarı atılmasıdır (Özsezen, 2007).

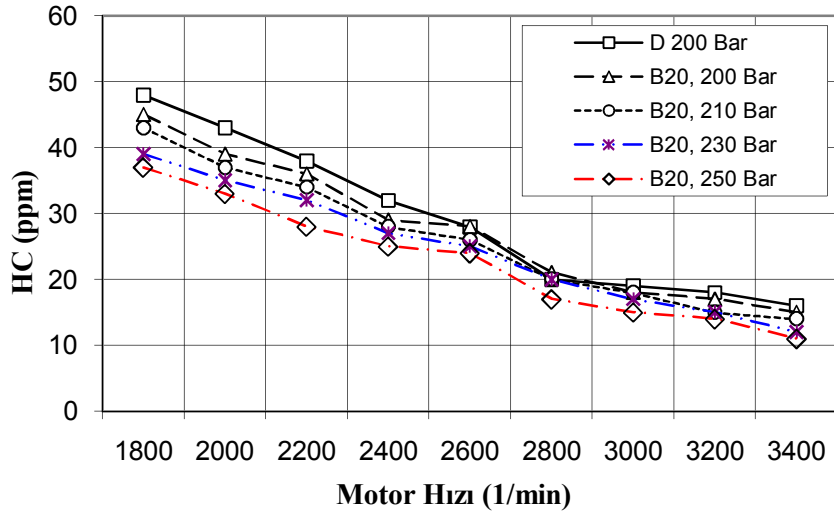
HC emisyonları çalışma şartları ve tasarım ile ilişkilidir. H/Y oranı, motor hızı ve yükü, ana çalışma değişkenleri olarak alındığında yanma odası ve dolgu sistemi tasarımı önemli iki tasarım parametresidir. Silindir hacmi, yanma odasının şekli, silindir çapı, kurs ve sıkıştırma oranı, yanma odası yüzey/hacim oranı HC emisyonlarını önemli ölçüde etkileyen parametrelerdir. Silindir içerisinde sıkıştırma ve yanma esnasında basıncın artma etkisiyle, yanmamış gazların bir kısmı yanma odasında ki boşluklara ve piston-silindir arasındaki dar bölgelere girmektedir. Bu yanmamış karışım bölgesi, alevin ulaşamayacağı kadar dar bir bölge olduğundan yanma reaksiyonlarına katılmamaktadırlar. Bu boşlukları dolduran yanmamış karışımlar genişleme ve egzoz işlemi sırasında yanmadan dışarı atıldığı için hidrokarbon emisyonu oluşturmaktadır. Bununla birlikte HC emisyonları yanmanın özellikle yavaş seyrettiği

çevrimlerinde H/Y oranı ve ateşleme zamanının tam ayarlanamaması sebebiyle, yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır (Vezir, 2006).

Dizel motorlarda her püskürtmeden sonra enjektörün iğne tarafından kapatılmayan uç bölgesinde püskürtülemeyen yakıt, iş zamanının sonlarına doğru genişleyerek silindire girmekte ve oksijen eksikliğinden dolayı bir kısmı eksik yanmakta ve diğer kısmı hiç yanmadan egzoz zamanında dışarı atılarak CO ve HC emisyonlarına sebep olmaktadır (Sekmen ve Aktaş, 2008).

HC emisyonu atmosfere girdiği zaman kötü kokulu ve tahriş edici bir etkiye sahiptir. Bazı HC'ler kansere yol açmaktadır. CH<sub>4</sub> hariç tüm HC bileşikleri atmosferde gazlarla reaksiyona girerek fotokimyasal sis oluşturmaktadır (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

Şekil 6.13'te B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme basınçlarındaki HC emisyonlarına etkisi görülmektedir.

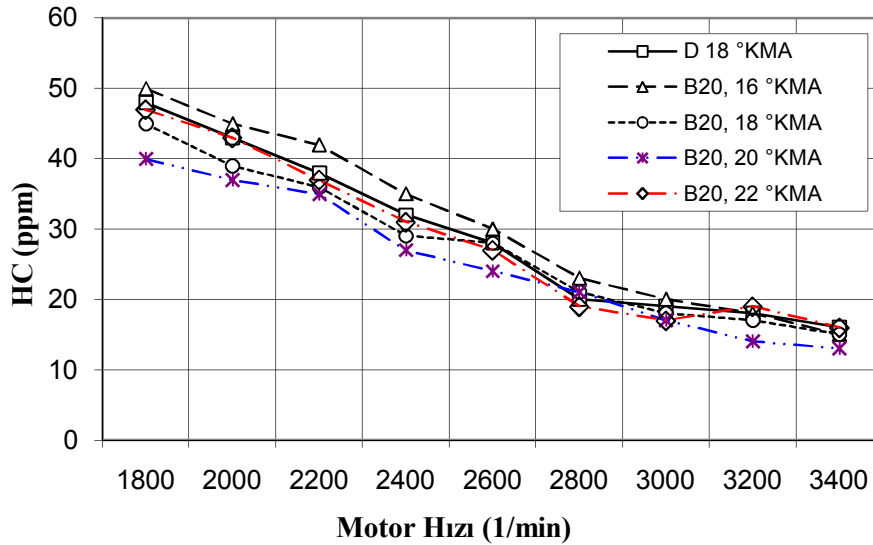


Şekil 6.13. B20 yakıtını değişik püskürtme basınçlarında HC emisyonlarına etkisi.

Tüm püskürtme basınçlarında motor hızına bağlı olarak B20 yakıtının HC emisyonlarında dizel yakıtına kıyasla düşüşlerin meydana geldiği görülmektedir. Püskürtme basıncının artırılmasıyla, viskozitesi yüksek olan B20 yakıtının püskürtme kalitesi artmakta ve yakıt hava ile daha homojen bir karışım oluşturmaktadır. 250 bar

püskürtme basıncında silindir içerisine enjekte edilen B20 yakıtının tanecik boyutunun küçülmesiyle silindir cidarlarına ve piston segman boşluklarına ulaşamamaları ve hızlı bir şekilde buharlaşması ayrıca içeriğinde oksijenin bulunması, HC emisyonlarının düşme nedenleri olarak açıklanabilir. Püskürtme basıncının düşürülmesi tanecik boyutlarının artmasına neden olmakta ve kütlesiyle doğru orantılı olarak ataletleri de artmaktadır. Bu nedenle silindir cidarlarına ve piston-segman boşluklarına ulaşmaları kolaylaşmaktadır. Silindir cidarlarına yapışan yakıt taneciklerinin sıcaklıkları, tutuşma sıcaklığına erişemedikleri ve piston-segman boşluklarının alev sönme bölgesi içerisinde yer almasından dolayı HC emisyonlarında artışlara neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.14’de B20 yakıtının motor hızına göre değişik avans açılarındaki HC emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.14. B20 yakıtının püskürtme avansına göre HC emisyonlarına etkisi.

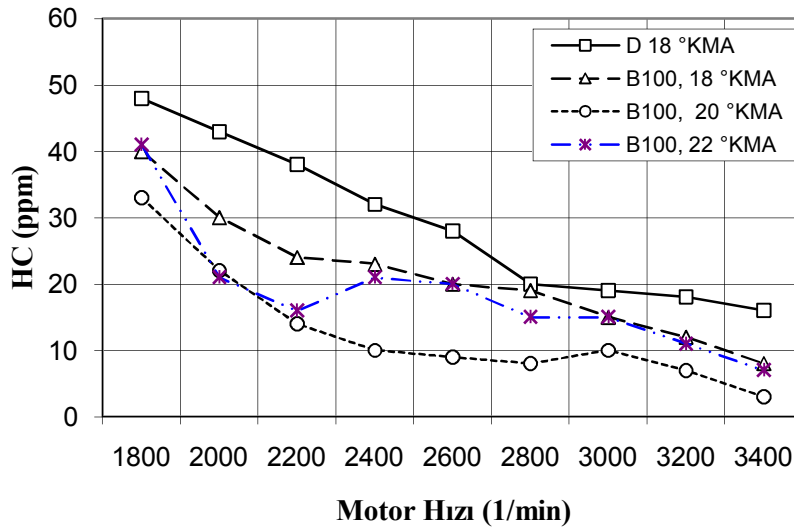
Motor hızına bağlı olarak HC emisyonlarının düşük püskürtme avanslarında yüksek, yüksek püskürtme avanslarında ise düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, düşük motor hızlarında tüm yakıtların HC emisyonlarının yüksek çıktığı, motor hızının artmasıyla HC emisyonlarının da düştüğü görülmektedir. HC’lerin düşük motor hızlarında yüksek çıkmasının temel sebebi, silindir içerisindeki hava hareketlerinin düşük olması sebebiyle yanma reaksiyonunun yavaş olmasındandır. Artan motor

hızıyla birlikte döngüsel hava hareketleri de hızlanmakta dolayısıyla silindir içi sıcaklık ve basınçlarının artmasına neden olarak, HC'lerin oksitlenmesine yardımcı olmakta ve HC emisyonlarının düşük çıkmasını sağlamaktadır.

Düşük püskürtme avansında HC'lerin yüksek çıkmasının ana nedeni, yanmanın genişleme zamanına doğru sarkmasındandır. Düşük püskürtme avanslarında silindir içi sıcaklık ve basıncı düştüğünden alev sönme bölgeleri oluşmakta dolayısıyla yanma kötüleşmektedir. Bu durumda HC emisyonlarında artış görülmektedir.

Püskürtme avansının artırılmasıyla yakıtın buharlaşması için gerekli süre sağlanmakta ve yanma verimi yükselmektedir. Dolayısıyla silindir içi sıcaklık ve basıncının artmasıyla HC'lerin oksitlenmesi sağlanmakta ve emisyon değerleri düşüş eğilimi göstermektedir. Püskürtme avansının daha da artırılmasıyla vuruntulu yanmanın başlamasıyla yanma kötüleşmekte ve HC emisyonlarında artış meydana gelmektedir.

Şekil 6.15'te B100 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında HC emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.15. B100 yakıtının püskürtme avansına göre HC emisyonlarına etkisi.

Püskürtme avansını artırılmasıyla B100 yakıtının HC emisyonları dizel yakıtına göre düşük çıktığı görülmektedir. B100 yakıtının HC emisyonlarının dizel yakıtına göre

düşük çıkmasının temel nedeni, biyodizel yakıtların içeriğinde bulundurduğu oksijenden dolayıdır. Yakıt içerisinde oksijen bulunması, yanma sırasında daha iyi oksitlenmelerini sağlamak ve HC emisyonlarının düşük çıkmasına yardımcı olmaktadır. B100 yakıtlarında optimum püskürtme avansı 20°KMA olarak ölçülmüştür. Püskürtme avansının optimum değerden daha yüksek değerlerinde HC emisyonlarında artmaya sebep olmuştur. Optimum değerden yüksek olan püskürtme avanslarında vuruntulu çalışma başlamakta ve yanma verimi düşmektedir. Bu nedenle HC emisyonlarında artışların meydana gelmesine sebep olmaktadır.

### 6.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

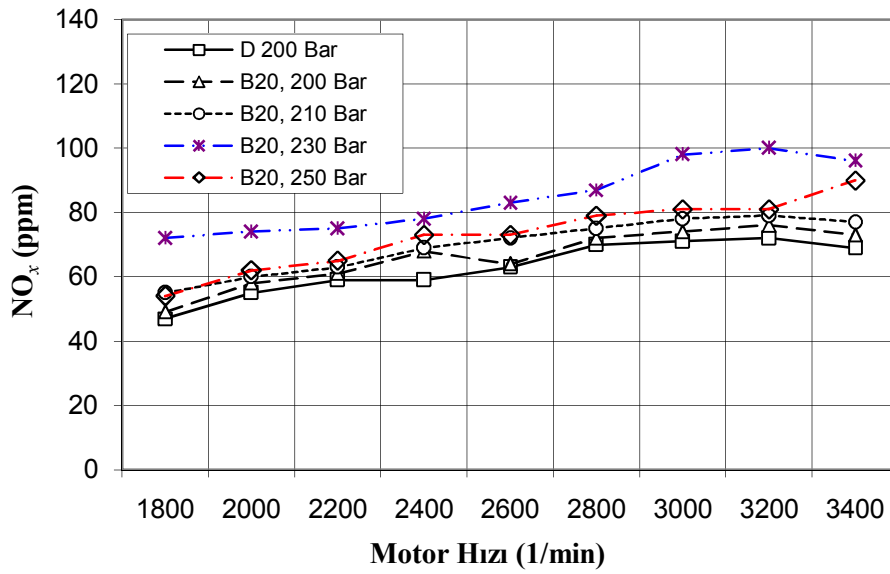
Azot oksitler CO gibi kandaki hemoglobinle birleşerek oksijen taşınmasını engellemektedir. Bununla birlikte NO<sub>x</sub>'lerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Nitrik asit zamanla birikim özelliği gösterdiğinden düşük miktarda alınmaları solunum hastalıkları bulunan kişiler için tehlike yaratmaktadır. Bununla beraber bu gaz stabil yapısı nedeniyle atmosferde uzun süre kalabilir, kaynakları azaltılsa bile 10'larca yıl atmosferde kalabilmektedir (Aksay vd, 2005).

Dizel motorlardaki NO<sub>x</sub> oluşumu iki ana nedene bağlanmaktadır. Yanma sırasında silindir içerisinde yüksek sıcaklıklarda (1600°C'nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda NO<sub>x</sub>'ler oluşmaktadır. NO<sub>x</sub>'lerin oluşumunda en büyük faktör ısı (Zeldovich) NO<sub>x</sub> oluşumudur (Aktaş ve Sekmen, 2008; Uslu, 2006; Papagiannakis et al. 2007).

NO<sub>x</sub> oluşumunu etkileyen diğer parametre de stokiyometrik H/Y oranına yakın değerlerdeki hafif hava fazlalığıdır. Böylece yanma için gerekli hava fazlasıyla sağlanmakta ve yanma iyileşmektedir. Yanmanın iyileşmesiyle birlikte silindir içerisinde sıcaklıklar yükselmekte ve fazla hava içerisindeki oksijenin de etkisiyle NO<sub>x</sub> oluşumu hızla artmaktadır. HFK bu değerlerin dışına çıktığında NO<sub>x</sub> oluşumu da azalma eğilimi göstermektedir. HFK'nın 1,1'den büyük değerlerinde, yani fakir karışımlarda silindir içi sıcaklıklar düşmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında hızlı bir şekilde düşme meydana gelmektedir (Uslu, 2006).

Biyodizel yakıtların dizel motorlarda kullanılmasıyla ilgili yapılmış çalışmalardaki en önemli farklılık  $\text{NO}_x$  emisyonlarındaki değişimdir. Bir çok araştırma da biyodizel kullanımı ile dizel yakıtı kullanımına göre  $\text{NO}_x$  emisyonlarında bir artış olduğunu belirtirken, daha düşük  $\text{NO}_x$  emisyonları belirten çalışmalar da mevcuttur. (Altun, 2010).

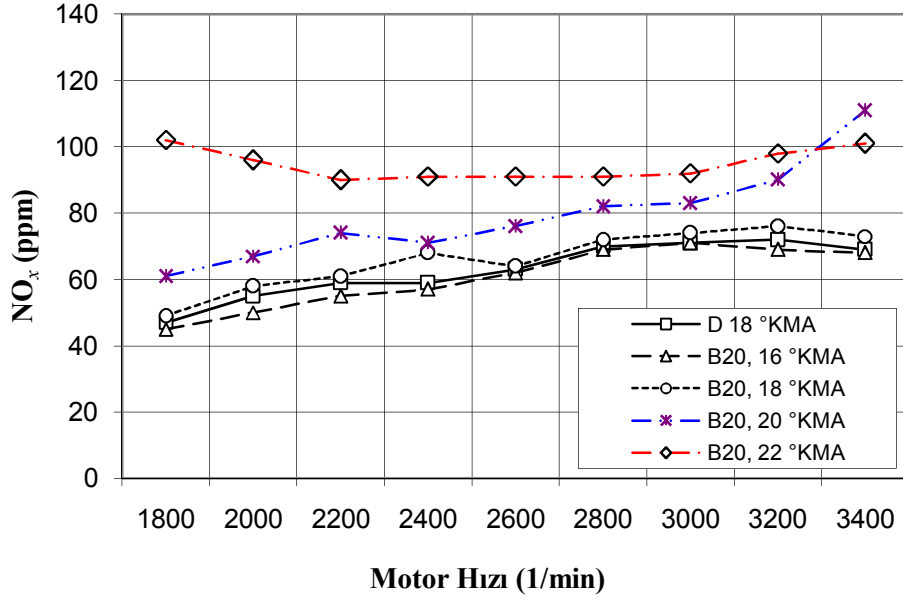
Şekil 6.16'da B20 yakıtının motor hızına göre değişik püskürtme basınçlarındaki  $\text{NO}_x$  emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.16. B20 yakıtının değişik püskürtme basınçlarındaki  $\text{NO}_x$  emisyonları.

Tüm püskürtme basınçlarında B20 yakıtının  $\text{NO}_x$  emisyonları dizel yakıtı kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Artan motor hızıyla birlikte  $\text{NO}_x$  emisyonları da orantılı olarak artmaktadır. Bunun temel sebebi, motor hızının artmasıyla silindir içi sıcaklıkları artmakta ve  $\text{NO}_x$  emisyonları da buna bağlı olarak artmaktadır. B20 yakıtı kullanımıyla  $\text{NO}_x$ 'lerin yüksek çıkması, biyodizel yakıtların oksijen içeriğinden kaynaklanmaktadır. Püskürtme basıncının 230 bar'a yükseltilmesiyle yanma verimi yükselmekte ve sıcaklık artışına bağlı olarak  $\text{NO}_x$  emisyonları da artmaktadır.

Şekil 6.17'de B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme avanslarında  $\text{NO}_x$  emisyonlarına etkisi görülmektedir.

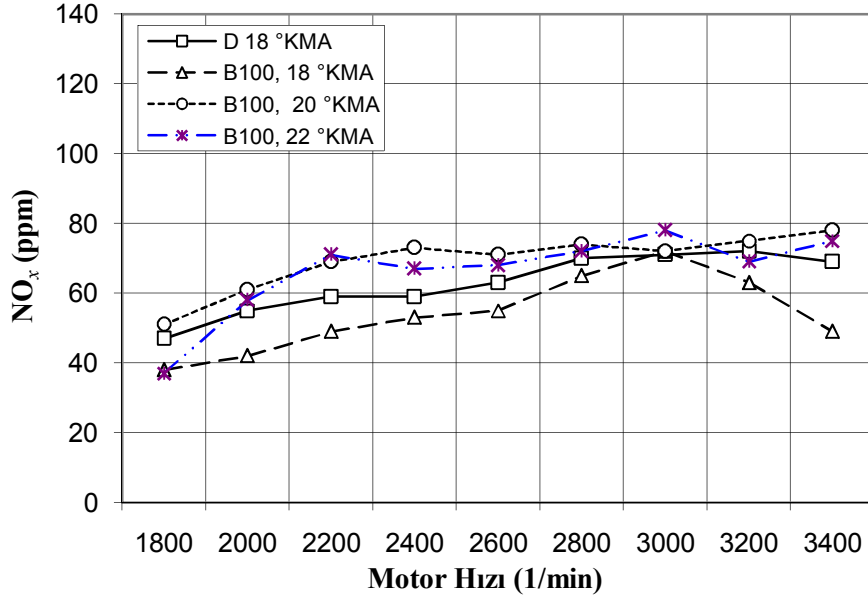


Şekil 6.17. B20 yakıtının değişik püskürtme avanslarında NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi.

Püskürtme avansının 16°KMA'ya düşürülmesiyle, standart değere göre NO<sub>x</sub> emisyonlarının düştüğü görülmektedir. Püskürtme avansının azaltılması, yakıtın büyük bir kısmının kontrollü yanma safhasında yanmasına neden olmakta ve hacim genişlemesi nedeniyle silindir içi sıcaklıklarını düşürmekte dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonları buna bağlı olarak düşmektedir (Topgül, 2000). Püskürtme avansının artırılmasıyla B20 yakıtının NO<sub>x</sub> emisyonları standart ve yüksek avans değerlerinde dizel yakıtına kıyasla artmıştır. Püskürtme avansının artırılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki yükselme, gerekli sürenin sağlanmasıyla yakıt silindir içerisinde buharlaşmakta ve biyodizel yakıtların içeriğindeki oksijenin de etkisiyle yanmanın gelişmesi sonucu silindir içi sıcaklıklarının artmasıyla açıklanabilir.

Şekil 6.18'de B100 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik avanslardaki NO<sub>x</sub> emisyonları görülmektedir.

Standart avansta B100 yakıtı kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtına göre düştüğü görülmektedir. 18°KMA'daki B100 yakıtının NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtına göre düşme sebebi, yüksek viskozite sebebiyle buharlaşma için gerekli süre bulamamakta, dolayısıyla yanma kötüleşmekte ve sıcaklıklar düşmekte bu durumda NO<sub>x</sub> emisyonu da düşmektedir.



Şekil 6.18. B100 yakıtının değişik avanslardaki NO<sub>x</sub> emisyonları.

Püskürtme avansının artırılmasıyla yakıtın buharlaşması için gerekli süre sağlanmakta, ayrıca avansın artmasıyla silindir içerisindeki havanın da fiziki şartları değişmekte dolayısıyla yanma gelişmektedir. Böylece silindir içi sıcaklıkları artmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonları artış göstermektedir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışıdaki bir başka neden de biyodizel yakıtların içeriğinde ki oksijenin yanma verimini geliştirmesidir.

#### 6.2.4. İş Emisyonları

Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İş yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

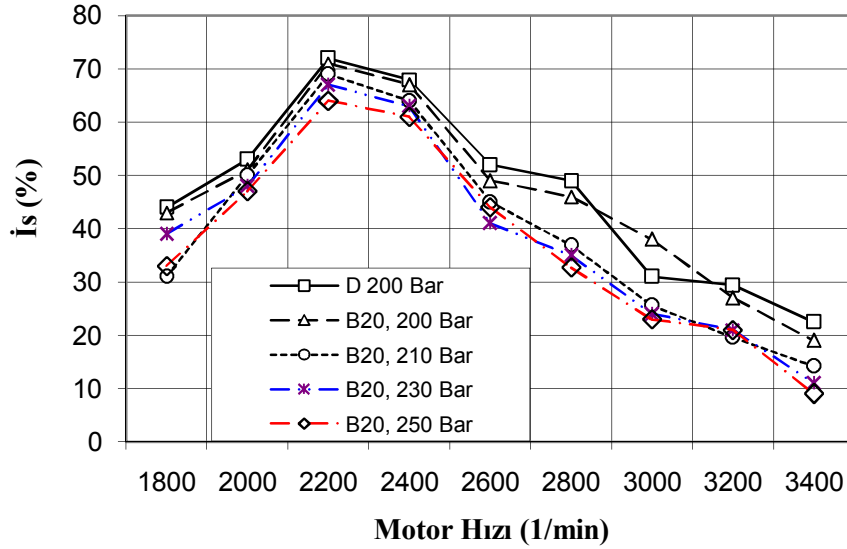
Partiküller yanma odası içerisinde kanserojen ve tahriş edici yakıt ve yağ moleküllerini bünyesinde hapsederek ya da solunum sisteminde birikerek insan sağlığını doğrudan tehdit eden hale dönüşmektedirler (Ergen, 2006; Söyler, 2011; Demirci vd, 2011).



İs emisyonları oluşumunun temel sebebi yakıtın silindir içerisinde yeterli hava bulamaması ya da yeterli zaman bulamayıp hava ile karışamaması ve buharlaşamamasındandır. İs emisyonları dizel motorlarda, silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının bünyesinde bulunan  $H_2$  molekülleri hızlı bir şekilde reaksiyona girerek oksijen ile birleşmekte ve geriye kalan karbon yeterli oksijeni bulamadığından yanamayıp is partikülleri şeklinde atmosfere atılmaktadır.

Motorun yük durumuna göre, hava yakıt oranının değişmesi is emisyonlarını da değiştirmektedir. Direk püskürtmeli dizel motorlarda en yüksek partikül konsantrasyonu yakıt demetinin merkezindeki aşırı zengin karışım bölgesinde oluşmaktadır (Ergen, 2006; Demirci vd, 2011).

Şekil 6.19’da B20 yakıtının motor hızına bağlı olarak değişik püskürtme basınçlarında is emisyonlarına etkisi görülmektedir.

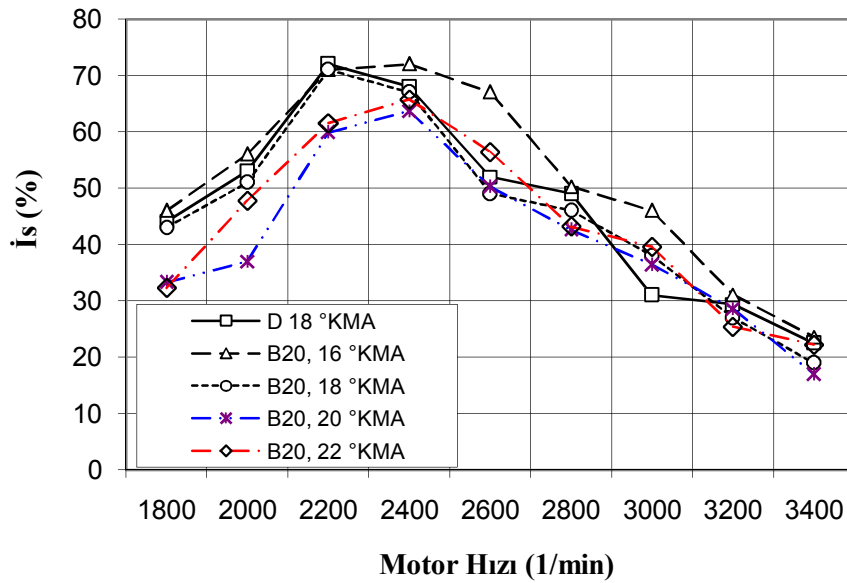


Şekil 6.19. B20 yakıtının püskürtme basıncına göre is emisyonlarına etkisi.

Tüm püskürtme basınçlarında B20 yakıtının is emisyonları, dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. Standart enjeksiyon basınçlarında B20 yakıtının is emisyonu dizel yakıtından düşük çıkması, biyodizel yakıtların bünyesinde oksijen bulundurması olarak yorumlanmaktadır. Püskürme basıncının artmasıyla enjektörden püskürtülen yakıtın çıkış hızı yüksek olmakta ve silindir içerisinde iyi bir atomizasyona sahip

olmaktadır. Atomizasyonun iyileşmesiyle yakıt zerrecileri hava ile iyi bir karışım teşkil etmekte ve yanma gelişmektedir. Bu durumun sağlanması is emisyonlarının azalma sebepleri olarak yorumlanmaktadır.

Şekil 6.20’de B20 yakıtını motor hızına göre değişik avanslardaki is emisyonlarına etkisi görülmektedir.

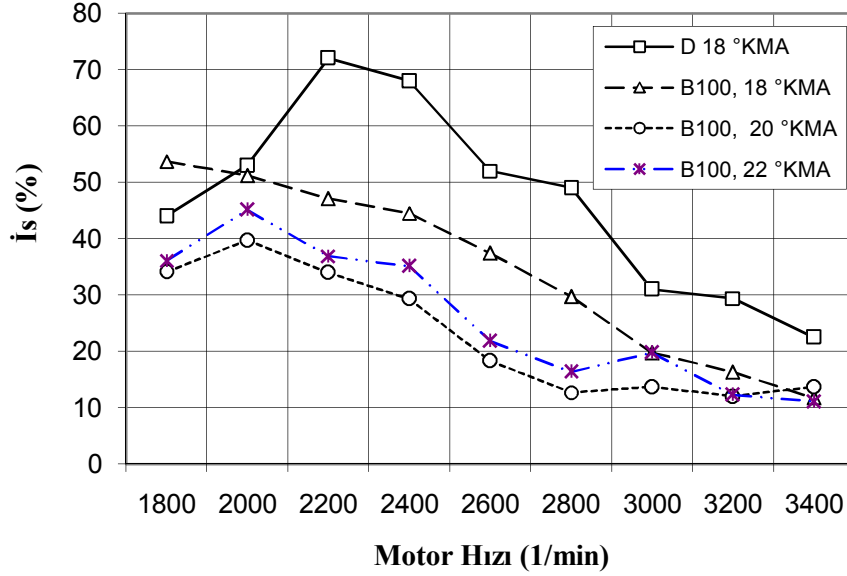


Şekil 6.20. B20 yakıtının değişik püskürtme avanslarındaki is emisyonlarına etkisi.

Düşük avanstaki B20 yakıtının is emisyonları dizel yakıtından yüksek çıktığı görülmektedir. Püskürtme avansının artırılmasıyla B20 yakıtının is emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük çıktığı görülmektedir.

Düşük püskürtme avansındaki is emisyonlarındaki artışın temel sebebi, yakıtın buharlaşması için gereken zamanı bulamamasındandır. Ayrıca, yakıtta bulunan H<sub>2</sub> molekülleri oksijen ile hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geride kalan karbonların oksijen bulamayarak egzoz zamanında atmosfere atılmasıyla is emisyonlarında artışa sebep olmaktadır. Püskürtme avansının artırılmasıyla B20 yakıtının is emisyonlarının, dizel yakıtına göre düşmesinin temel sebebi, yakıtın buharlaşması için gereken zamanın sağlanması ve yanmanın iyileşmesi, ayrıca, biyodizel yakıtların oksijen içerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.21’de B100 yakıtının motor hızına göre değişik avanslardaki is emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.21. B100 yakıtının değişik püskürtme avanslarındaki is emisyonlarına etkisi.

Standart püskürtme avansında ve yüksek püskürtme avanslarında B100 yakıtının is emisyonları dizel yakıtına göre düşük çıktığı görülmektedir. B100 yakıtının is emisyonlarının dizel yakıtından düşük çıkması, bünyesinde bulunan oksijen yüzdesinden kaynaklanmaktadır. Püskürtme avansının artırılmasıyla B100 yakıtlarında ki is emisyonunun düşmesi, püskürtmenin öne alınmasıyla yakıtın buharlaşması için gerekli zaman sağlanmakta, buna bağlı olarak yanmanın iyileşmesinden dolayı kaynaklanmaktadır. Bunun yanında biyodizel yakıtların bünyelerinde bulunan oksijen is emisyonlarının düşmesine sebep olabilmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Dünya petrol rezervlerinin giderek azalıyor olması, sayıları günden güne artan taşıtlarından kaynaklanan kirletici emisyonlara getirilen sınırlamalar ve atık ürünlerin çevreye verdiği olumsuz etkiler, araştırmacıları alternatif yakıt arayışlarına yöneltmiştir. Bu araştırmada atık olarak nitelendirilen ham balık yağından, BYME üretilmiştir. Üretilen BYME %100 ve dizel yakıtına hacimsel olarak %20 oranında ilave edilerek sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda test edilmiştir. Motor testleri tam gaz değişik hızlarda, 200, 210, 230 ve 250 bar püskürtme basınçlarında ve 16, 18, 20 ve 22°KMA'da gerçekleştirilerek motor performansı ve egzoz emisyonları belirlenmiştir.

- B20 yakıtı kullanımıyla püskürtme basınçlarının artırılması motor momenti ve efektif gücünde artma meydana gelmiştir. Püskürtme basıncının optimum değerlerden yüksek olması motor momenti ve efektif gücünü düşürdüğü görülmüştür.

B20 yakıtının kullanımıyla püskürtme avansının düşürülmesi motor momenti ve gücünde azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. Püskürtme avansının standart değerlerden yüksek olduğu durumlarda B20 ve B100 yakıtı kullanımıyla motor momenti ve efektif gücünde, dizel yakıtına göre artışların meydana geldiği belirlenmiştir.

- Püskürtme basıncının ve avansının standart basınç ve avansa göre artırılmasıyla B20 yakıtı ile çalışmada özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtı çalışmaya göre azalma belirlenmiştir.

B100 yakıtı ile çalışmada püskürtme avansının artırılmasıyla ÖYT'nin dizel yakıtına yaklaştığı, avansın daha da artırılmasıyla dizel yakıtına göre düştüğü görülmüştür. Özgül yakıt tüketimindeki bu düşüşlerin motor momenti ve gücüne bağlı olduğu belirlenmiştir.

- Püskürtme basıncının ve avansının standart değerlerden yüksek olduğu durumlarda B20 ve B100 yakıtı kullanımıyla CO, HC ve is emisyonlarında düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Püskürtme avansının düşürülmesiyle CO, HC ve is emisyonlarında artma gözlemlenmiştir.
- B20 ve B100 yakıtı ile çalışmalarda püskürtme basınç ve avansının standart değerlerden yüksek olması, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlara neden olduğu belirlenmiştir. B20 yakıtı kullanımında püskürtme avansının 16°KMA'ya düşürülmesiyle NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüşlerin sağlandığı belirlenmiştir.
- Biyodizel dizel motorlarda herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan saf veya dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Ancak, püskürtme basınç ve avansının değişimiyle yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarında iyileşmeler sağlandığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Abalı, Y., Arısoy, K., Atik, E. ve Gümüş, R., “Kullanım süresi geçen mayonezden biyodizel üretimi”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 137-141 (2009).

Acaroğlu, M., “Alternatif Enerji Kaynakları”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 405-409, 412-415 (2007).

Akbaş, B., Altun, Ş., Öner, C. ve Sugözü, İ., “Fındık yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması ve yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2): 15-24 (2007).

Akçay, H., “Bazı bitkisel yağlardan biyodizel üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 25-27 (2006).

Akgün, G., Bayındır, H., Aydın, H. ve Düz, Z., “Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve teknik değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 131-135 (2009).

Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. ve Filiz, M.H., “Türkiye’nin enerji kaynakları ve çevre, sürdürülebilir kalkınma ve temiz enerji kaynakları”, *VII. Ulusal Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 12-24 (2008).

Aksay, C.S., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L., “Küresel ısınma ve iklim değişikliği”, *S.Ü. Fen Ed. Fak.Fen Der.*, Konya, 25: 29-41 (2005).

Aktaş, A. ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme basıncının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (2): 32-39 (2008).

Aktaş, A., ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Der.*, 23 (1): 199- 206, (2008).

Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, R., Sındır, K.O., Sipahi, D. ve Şahin, M.O., “Biyodizel yakıtının uluslararası standartlarda üretimi”, *Biyoenjerji Sempozyumu*, İzmir, 1-11 (2004).

Alkaya, B. ve Yıldırım, A.M., “Taşıt kaynaklı kirleticilerin azaltılma yöntemleri”, *Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Balıkesir, 9 (34): 15-20 (2000).

Alpgiray, B. ve Gürhan, R., “Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3): 231-239 (2007).

Alpgiray, B., “Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-10 (2006).

Alptekin, E. ve Çanakçı, M., “Farklı hammaddelerden üretilen metil ester ve gliserinin bazı özelliklerinin belirlenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (3): 549-556 (2008).

Altın, R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).

Altınsoy, A.S., “Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye’deki kaynakların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 29-34 (2007).

Altun, Ş., “Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine biyodizel yakıtların etkisi”, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (1): 9-19 (2010).

Anonymous, “Standard Specification for Diesel Fuel Oils”, D975–10c, *Academic Consortium Karabuk University*, Karabuk, 1-5 (2011).

Artukoğlu, B.D., “Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-30 (2006).

Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Kaşka, Ö., “Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, *VII. Ulusal Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 293-304 (2008).

Ayvaz, Y., “Dizel motorlarda dizel yakıtı-benzin karışımlarının kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 154 (1991).

Aydoğan, B., “Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve NO<sub>x</sub> emisyonları azaltma yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 19-21 (2008).

Aydın, H., “Pamuk yağı biyodizelinin bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 6-8 (2007).

Behçet, R. and Çakmak, A.V., “The effect on engine performance and emission of fish oil metyl ester blends used as fuel in a diesel engine”, *6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ, 161-165 (2011).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, 1: 50-85 (1995).

Borat O., Balcı M. ve Sürmen A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, (3): 259-264, (1994).

Caresana, F., “Impact of biodiesel bulk modulus on injection pressure and injection timing. The effect of residual pressure”, *Fuel*, 90: 477-485 (2011).

Çanakçı, M. ve Özsezen, A.N., “Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel”, *G.U. Journal of Science*, 18: 81-91 (2005).

Çanakçı, M., Özsezen, A.N. ve Sayın, C., “Biyodizelin oksitlenme kararlılığı üzerine deneysel bir araştırma”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (2): 157-167 (2004).

Canakcı, M., “Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on dizel engine performance and emissions”, Doctor of Philosophy, *Iowa State University*, Ames, Iowa, 82-83 (2001).

Çelik, M. B. ve Çolak, A., “Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolün kullanılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (3): 619-626 (2008).

Çelikten, İ. ve Arslan, M.A., “Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (4): 829-836 (2008).

Çengelci, E., Bayrakçeken, H. ve Aksoy, F., “Bir dizel motorunda hayvansal yağ metil esteri kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi”, *VI Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, Elazığ, 113-116 (2011).

Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Çeviri ed: Taner Derbentli, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 661-665 (1996).

Çetinkaya, S., “Benzin ve dizel motorların doğalgaz motoruna dönüştürülmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 81: 14-31 (2004).

Dinçbaş, A., “Biyodizel kullanımının dizel motoru üzerindeki etkilerinin uzun süreli testlerle ve motorinle karşılaştırmalı olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 19-21 (2007).

Demirci, A., Gümüş, M., Sayın, C., Atmaca, M., Binark, A.K. ve Işıktan, M.O., “Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi”, *VI Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, Elazığ, 25-27 (2011).

Demirbas, A., “Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines”, *Springer-Verlag London Limited*, Trabzon, 117-118 (2008).



Eliçin, A.K. ve Erdoğan, D., “Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (2): 137-146 (2007).

Eliçin, A.K., “Yakıt olarak kullanılan fındık yağı ile küçük güçlü bir dizel motorunun performans karakteristiklerinin belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-42 (2005).

Ergen, G., “Ön ısıtma kullanılarak uygulanan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2-8 (2006).

Ergeneman, M., Arslan, H., Kutlar, O.A. ve Mutlu, M., “Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 13-14, 33-48, (1998).

Fernando, S., Kara, P., Hernandez, R. and Jha, S.K. “Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality” *Energy*, 32: 844-851 (2006).

Güven, Ö., Aktaş, T. ve Kılıç, E., “Türkiye koşullarında üretilen biyodizelin bazı özelliklerinin standartlara uygunluğunun ve yakıt püskürtme miktarı üzerine etkilerinin belirlenmesi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 167-179 (2010).

Graboski, M.S., Ross, J.D. and McCormick, R.L., “Transient emissions from No.2Diesel and biodiesel blends in a DDC Series 60 engine”, *SAE Paper*, No.961166 55-62 (1996).

Haşimoğlu, C., “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 7-8, 22-23 (2005).

Internet: European Commission “Energy”, [http://ec.europa.eu/research/infocentre/article/en.cfm?id=/research/star/index\\_en.cfm?p=212&item=infocentre&artid=23614](http://ec.europa.eu/research/infocentre/article/en.cfm?id=/research/star/index_en.cfm?p=212&item=infocentre&artid=23614) (2012).

Işıklı, İ., Açıkkalp, E., Yamık, H. ve Kurban, M., “Biyodizelin dizel santrallerde kullanım analizi”, *VI Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, Elazığ, 20-24 (2011).

İçingür, K. ve Koçak, M.S., “Fındık yağı metil esterinin dizel yakıtı alternatifi olarak performans ve emisyon parametrelerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 9 (2): 119-124 (2006).

Icingur, Y. and Altıparmak, D., “Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions”. *Energy Conversion and Management*, 44: 389–397 (2003).

İlkılıç, C., “Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 483-491 (2008).

İlkılıç, C., “Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 5-13 (1999).

Jayashankara, B. and Ganesan, V., “Effect of fuel injection timing and intake pressure on the performance of a DI diesel engine-A parametric study using CFD”, *Energy Conversion and Management*, 51: 1835-1848 (2010).

Karabulut, A., Şahin, Ö., Yapıcı, S. ve İzgi, M.S., “Pamuk yağında biyodizel üretimine çeşitli katalizörlerin etkisinin viskozite ve iletkenlikle takip edilmesi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008*, İstanbul, 231-240 (2008).

Karagoz, S., “Energy production from the pyrolysis of waste biomasses”, *Int. J. Energy Res.*, 33: 576-581 (2009).

Karakuş, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 50-60, 95-98 (2000).

Karaosmanoglu, F., Kurt, G. ve Ozaktas, T., “Direct use of sunflower oil as a compression-ignition engine fuel”, *Energy Sources*, 22: 659-672 (2000).

Kaymak, M. E., “20. Yüzyılda alternatif enerji kaynaklarının gelişimi ve buna paralel olarak otomobil tasarımına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 44-46 (2009).

Kegl, B., “Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine Injection pump using biodiesel fuel”, *Energy and Fuels*, 20: 1460-1470 (2006).

Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D. ve Kunt, M.A. “Tall yağı biyodizeli üretimi ve B80 oranının dizel yakıtı olarak kullanımı”, *Politeknik Dergisi*, 10 (4): 391-394 (2007).

Keskin, A. ve Aydın, K., “Tall yağı biyodizeli üretimi ve bunun dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri”, *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 20 (1): 1019-1011 (2005).

Keskin, A., “Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43-45 (2005).

Kınık, B., “Enerji arzı güvenliği açısından Avrupa Birliği-Türkiye ilişkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul 22-54 (2009).

Kızılkın, V., “İçten yanmalı dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor performansına ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9-11 (2008).

Korkut, A.Y., Kop, A. ve Demir, P., “Balık yemlerinde kullanılan balık yağı ve özellikleri”, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 24 (1-2): 195-199 (2007).

Küçükşahin, F., “Dizel Motorları Teorisi”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul 21-23, 19-21 29-32 (2008).

Lin, C.Y. and Li, R.J., “Fuel properties of biodiesel produced from the crude fish oil from the soapstock of marine fish”, *Fuel Processing Technology*, 90: 130-136 (2009).

Maleev, V.L., “International Combustion Engines” Second Edition, *McGraw Hill International Book Company*, USA, 204-213, (1983).

Mesut, E., “Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi ve ön ısıtma uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 67-78 (2011).

Nişancı, S., “Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-5, 5-6, 24-26 (2007).

Oral, M., “Farklı yakıtlarla dizel motorun performans ve is emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 24-42, 116-129 (2008).

Öğüt, H. ve Oğuz, H., “Üçüncü Milenyumün Yakıtı; Biyodizel”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 35-50, 70-75, 137-148 (2006).

Ölçüm, T., “Biyodizel teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32-35 (2006).

Önem, E. ve Sekmen, P., “Dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenme yöntemleri”, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi* 1 (2): 1-8 (2009).

Örnek, S.S., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 25-27, 31-33 (2007).

Özsezen, A.N. ve Çanakçı, M., “Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2): 173-180 (2009).

Özsezen, A.N., “Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 130-138, 139-145 (2007).

Öztürk, M.G., “Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 16-20 (2008).

Papagiannakis, R.G., Hountalas, D.T. and Rakopoulos C.D., “Theoretical study of the effects of pilot fuel quantity and its injection timing on the performance and emissions of a dual fuel diesel engine”, **Energy Conversion and Management**, 48: 2951-2961 (2007).

Pireli, E., “Biyodizel ve dizel yakıtı ile çalışan tek silindirli bir dizel motorda püskürtme basıncının performansa etkisi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 63-83 (2006).

Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T. and Giakoumis, E.G., “Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins”, **Energy Conversion and Management**, 47: 3272-3287 (2006).

Safgönül, B., Arslan, H.E., Ergeneman, M. ve Soruşbay, C., “İçten Yanmalı Motorlar”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 123-127, 131-133 (2008).

Sayin, C. and Canakci, M., “Effect of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine”, **Energy Conversion and Management**, 50: 203-213 (2009).

Sekmen Y., ve Aktaş A., “Soya yağı metil esterinin dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri” **Politeknik Dergisi**, 11 (3): 249-254 (2008).

Sekmen Y., “Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması”, **Teknoloji Dergisi**, 10 (4): 295-302 (2007).

Sönmez. İ., “Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi” **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 10-24 (2006).

Söyler, H., “JP-8 ve biyodizel karışımlarının sıkıştırma ile ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 26-28 (2011).

Stone, R., “Introduction to Internal Combustion Engines”, **Macmillan Press Ltd.**, Houndsmills, UK, 232-233, (1999).

Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş.A., “Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlara etkisi”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (2): 49-56 (2009).

Şimşek, D., “Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 53-63 (2010).

Topgül, T., “Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 3-30, 61-67, (2000).

Topgül, T. ve Salman, S., “Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının motor performansına, soğutma suyu ve egzoz gazı yoluyla kaybedilen ısı enerjisine etkisi”, **Politeknik Dergisi**, Ankara, 4 (2): 27-31, (2001).

Ucar, S., Karagoz, S., Ozkan, A.R. and Yanik, J., “Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis”, **Fuel**, 84: 1884-1892 (2005).

Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma”, Doktora Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 6-11 (1999).

Uslu, K., “Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+ethanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-107 (2006).

Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E., “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 11 (3): 325-334 (2005).

Usta, N., “Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine”, **Biomass and Bioenergy**, 28: 77-86 (2005).

Uymaz, A., “Pamuk yağı esaslı biyodizel ile çalışan bir dizel motorunda yakıt püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 8-20 (2009).

Ünal, C., “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO<sub>x</sub> ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-12 (2006).

Üstün, S., “Hayvansal yağlardan biyodizel elde edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 17-20 (2006).

Vezer A., “Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO<sub>2</sub> termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 10-20, 53-92 (2006).

Yamık, H. and İçingür, Y., “Utilization of the sunflower ethyl ester in diesel engine as alternative fuel”, **Gazi University Journal of Science**, 18 (3): 545-553 (2005).

Yaşar, B. ve Eren, Ö., “Türkiye’de tarım sektöründe kullanılan petrodizelin çevresel etkileri ve biyodizel alternatifiyle karşılaştırılması”, *VII. Ulusal Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 83-90 (2008).

Yavuz, H., “Ön ısıtma uygulamasının farklı biyodizel yakıtlarında motor performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 1-5 (2007).

Yiğit A., “Dizel motorlarda kanola yağı metil esteri kullanımının performans ve emisyonlara etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 30-40, 77-89 (2009).

Yücesu, H.S., Altın, R. ve Çetinkaya, S. “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi”, *Turk J Engin Environ Sci*, 25: 39-49 (2001).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Güven DEMİRTAŞ 1986'da Amasya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Amasya'da tamamladı. Amasya Lisesinden 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı Otomotiv Öğretmenliği Programına yerleşti. 2009 yılında bu bölümden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında lisansüstü öğrenimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Gökdere Köyü/ Amasya

No: 5

E-posata : demirtasguven@gmail.com