

**BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE ETANOL
KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE
EMİSYONLARA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

Mehmet ÖZDEMİR

**BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE ETANOL KULLANIMININ
MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet ÖZDEMİR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

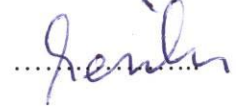
KARABÜK

Haziran 2011

Mehmet ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE ETANOL KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN

Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/ 06/ 2011

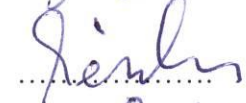
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)



.....// 2011

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.”

Mehmet ÖZDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE ETANOL KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet ÖZDEMİR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN

Haziran 2011, 121 sayfa

Dizel motorlarda performans ve kirletici emisyonları iyileştirmek amacıyla kullanılan en etkili metotlardan biri oksijen içeren alternatif yakıtların kullanılmasıdır. Biyodizel ve etanol, dizel motorlar için yenilenebilir alternatif yakıtlar olup farklı oranlarda dizel yakıtına karıştırılarak kullanılabilirler. Bu çalışmada, etanol ve biyodizel karışımlarının doğrudan püskürtmeli bir dizel motorun performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Karışım yakıtlarından elde edilen test sonuçları dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Test sonuçlarına göre, kullanılan alternatif yakıt karışımlarının CO ve HC emisyonlarını azaltırken NO_x emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini arttırdığı görülmüştür. Sonuç olarak, motor tasarım ve yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik

yapılmaksızın bu alternatif yakıt karışımları ile performans ve emisyonlarda sağlanan iyileşmelerin ümit verici olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Dizel, motor, yakıt, biyodizel, etanol, moment, güç, emisyon.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BIODIESEL AND ETHANOL UTILIZATION ON AN ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Mehmet ÖZDEMİR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Perihan SEKMEN

June 2011, 121 pages

Using alternative fuels produced from non-petroleum resources and containing organic oxygenated compounds in CI engines is suggested as one of the most attractive methods for improving their performance and pollutant emissions. Biodiesel and ethanol are alternative renewable diesel engine fuels and their mixtures with diesel fuel at different proportions can be used in diesel engines. In this study, effects of ethanol and waste oil biodiesel blends on performance and emissions of a direct injection diesel engine were investigated. Test results obtained from blend fuels were presented as comparing with those obtained from diesel fuel. According to the test results; it has been found that the alternative fuel blends used in the experiments caused increase in NO_x emission and specific fuel consumption, while they reduced CO and HC emissions. In conclusion that, Improvements obtained in

performance parameters with these fuel blends without any modification to engine design and fuel system are very promising.

Key Words : Diesel, engine, fuel, biodiesel, ethanol, moment, power, emission.

Science Code : 708.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren tez danışmanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN ve Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi, çok kıymetli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Rasim BEHÇET, Yrd. Doç. Dr. Şehmus ALTUN ve Marmara Üniversitesi Otomotiv Bölümü doktora öğrencisi Selman AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
DİZEL MOTORLAR.....	6
2.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YANMA ODASI TİPLERİ.....	6
2.1.1. Ön Yanma Odalı Motorlar (IDI).....	7
2.1.2. Türbülans Odalı Motorlar	9
2.1.3. Direkt Püskürtmeli Motorlar (DI).....	10
2.1.4. Dizel Motorun Yanma Süreci.....	12
2.2. DİZEL MOTORLARINDA PÜSKÜRTME VE ELEMANLARI	16
2.2.1. Yakıt Depoları.....	20
2.2.2. Besleme Pompaları.....	20
2.2.3. Filtreler	21
2.2.4. Püskürtme Pompaları	22
2.2.5. Regülatörler	23
2.2.6. Enjektörler	23
2.3. DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ	29
2.3.1. Sıra Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri.....	29
2.3.2. Distribütör Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri	31

	<u>Sayfa</u>
2.3.2.1. Püskürtme Miktarı	33
2.3.2.2. Püskürtme Zamanı	33
2.3.2.3. Püskürtme Süreci	33
2.3.2.4. Distribütör Tipi Pompanın Çalışması	33
2.3.2.5. Distribütör Tipi Pompa Çeşitleri	34
2.3.2.5.1. Eksenel Pistonlu Dağıtıcı Tip Pompa	35
2.3.2.5.2. Radyal Pistonlu Dağıtıcı Tip Pompa.....	35
2.3.2.5.3. Amerikan Bosch PSB Distribütör Tip Yakıt Pompaları	35
2.3.3. Tek Pistonlu Yakıt Püskürtme Sistemleri.....	37
2.3.3.1. Tek Pistonlu PF Pompalar	37
2.3.3.2. Birim Enjektör Sistemi (UIS).....	37
2.3.3.3. Birim Pompa Sistemi (UPS)	38
2.3.4. Common-Rail Yakıt Püskürtme Sistemleri	39
2.3.4.1. Common-Rail Sisteminin Temel Özellikleri	40
2.3.4.2. Common-Rail Sisteminin Avantajları	40
2.3.4.3. Püskürtme Sistemlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılmaları	41
BÖLÜM 3	43
DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR	43
3.1. DİZEL YAKIT VE ÖZELLİKLERİ	43
3.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri	45
3.1.1.1. Viskozite (Akıcılık Derecesi).....	45
3.1.1.2. Özgül Ağırlık.....	46
3.1.1.3. Uçuculuk Noktası	47
3.1.1.4. Parlama Noktası.....	48
3.1.1.5. Donma Noktası.....	49
3.1.1.6. Su ve Tortu Miktarı	49
3.1.1.7. Buharlaşma Noktası.....	49
3.1.1.8. Düşük Sıcaklık Davranışı.....	50
3.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri.....	51
3.1.2.1. Ateşleme Noktası.....	51
3.1.2.2. Kükürt Miktarı.....	52

	<u>Sayfa</u>
3.1.2.3. Kül Miktarı.....	52
3.1.2.4. Karbon Artıkları	52
3.1.2.5. Setan İndisi.....	53
3.1.2.6. Setan Sayısı	53
3.1.2.7. Aromatik Yüzdesi.....	55
3.2. BİYODİZEL YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	55
3.2.1. Biyodizel	55
3.2.2. Biyodizelin Özellikleri.....	59
3.2.3. Biyodizelin Avantajları.....	61
3.2.4. Dünya'daki Biyodizel Üretim Teknikleri ve Miktarları	61
3.2.5. Günümüzde Biyodizel Üretim Yöntemi	65
3.2.5.1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması	67
3.2.5.2. Reaksiyon	67
3.2.5.3. Ayırma	68
3.2.5.4. Alkolün Uzaklaştırılması.....	68
3.2.5.5. Gliserin Nötralizasyonu	68
3.2.5.6. Metil Ester Yıkama İşlemi.....	69
3.2.6. Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli ve Ülkemizdeki Gelişmeler	69
3.2.7. Biyodizel İçin Yapılan Performans Çalışmaları.....	71
3.3. ETANOL YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	79
3.3.1. Etanol Kaynakları	82
3.3.2. Etanolün Üretimi	82
3.3.3. Dünya'da Etanol Kullanımı	83
3.3.3.1. Brezilya'da Etanol Yakıtı	83
3.3.3.2. Kolombiya'da Etanol Yakıtı.....	84
3.3.3.3. Amerika Birleşik Devletleri'nde Etanol Yakıtı	85
3.3.4. Etanole İlişkin Kanunlar ve Teşvikler	85
3.3.5. Etanol İçin Yapılan Performans Çalışmaları.....	86
BÖLÜM 4	90
DENEY DÜZENİĞİ VE YÖNTEMİ	90
4.1. DENEYSSEL ÇALIŞMANIN AMACI	90

	<u>Sayfa</u>
4.2. DENEY DÜZENEGİ.....	90
4.2.1. Deney Motoru	91
4.2.2. Motor Dinamometresi	92
4.2.3. Egzoz Gazı Analiz Cihazı	93
4.2.4. Deneyleerde Kullanılan Yakıtlar	94
4.3. YÖNTEM.....	95
4.4. HESAPLAMALAR.....	96
4.4.1. Hesaplamaada Kullanılacak Formüller	96
4.4.2. Motor Momenti ve Gücü	97
4.4.3. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi	98
4.4.4. Termik (efektif) Verim	98
4.4.5. Örnek Hesaplama	99
BÖLÜM 5	100
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	100
5.1. MOTOR PERFORMANSI	100
5.1.1. Motor Momenti ve Gücü	100
5.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	104
5.2. EGZOZ EMİSYONLARI.....	106
5.2.1. CO Emisyonları	107
5.2.2. HC Emisyonları	109
5.2.3. NO _x Emisyonları	111
BÖLÜM 6	114
SONUÇLAR.....	114
KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	121

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ön yanmalı odalı motor	9
Şekil 2.2. Türbülans odalı motor.....	10
Şekil 2.3. Direkt püskürtmeli motor.....	11
Şekil 2.4. Direkt püskürtmeli yanma odası tipleri	11
Şekil 2.5. Dizel motorunda krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı	12
Şekil 2.6. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi	13
Şekil 2.7. Krank miline bağlı olarak ısı açığa çıkışı	15
Şekil 2.8. Klasik bir dizel motorun yakıt sisteminin parçaları	18
Şekil 2.9. Enjektörün yapısı.....	24
Şekil 2.10. Klasik bir enjektörün parçaları.....	26
Şekil 2.11. Enjektör memesi kesiti	27
Şekil 2.12. Delikli ve çubuklu meme kesiti	28
Şekil 2.13. Sıra tipi pompalı püskürtme sistemi.....	29
Şekil 2.14. Sıra tipli püskürtme pompasının çalışma prensibi	30
Şekil 2.15. Dağıtıcı püskürtme sistemi	32
Şekil 2.16. Distribütör tipi pompanın kurs ve besleme fazları.....	34
Şekil 2.17. Common-Rail sisteminin diğer sistemlerle karşılaştırılması	42
Şekil 3.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi	53
Şekil 3.2. Biyodizelin 1991-2005 yılları arasında dünya’da üretim miktarları	64
Şekil 3.3. Biyodizel üretim prosesi	66
Şekil 3.4. Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği.....	81
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünümü	90
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	91
Şekil 4.3. Gaz analiz cihazı	94
Şekil 5.1. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının motor momentine etkisi.....	101
Şekil 5.2. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının motor momentine etkisi	102

Şekil 5.3. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının motor gücüne etkisi.....	103
Şekil 5.4. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının motor gücüne etkisi.....	104
Şekil 5.5. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi	105
Şekil 5.6. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.....	106
Şekil 5.7. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının CO emisyonuna etkisi.....	108
Şekil 5.8. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının CO emisyonuna etkisi	108
Şekil 5.9. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının HC emisyonuna etkisi.....	110
Şekil 5.10. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının HC emisyonuna etkisi	111
Şekil 5.11. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının NO _x emisyonuna etkisi.....	112
Şekil 5.12. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının NO _x emisyonuna etkisi	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri	1
Çizelge 1.2. Dünya fosil yakıt tüketimleri	2
Çizelge 1.3. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri	3
Çizelge 1.4. Bazı fosil yakıtlar ve biyokütle kaynaklarının alt ısıl değerleri	4
Çizelge 3.1. Dizel yakıtı ve biyodizelin özellikleri	60
Çizelge 3.2. Avrupa'daki yıllık biyodizel üretimi	63
Çizelge 3.3. Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları	70
Çizelge 3.4. Etanolün bazı önemli özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması	79
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri	92
Çizelge 4.2. Motor test cihazının (dinamometre) teknik özellikleri	92
Çizelge 4.3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri	93
Çizelge 4.4. Gaz analiz cihazının teknik özellikleri	94
Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri	95
Çizelge 4.6. Deney yakıtı karışımları	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

SO ₂	: Kükürtdioksit
NO _x	: Azotoksitler
MJ	: Mega joule
°C	: Santigrad
K	: Kelvin
dp/dt	: Basınç artma hızı
Nm	: Newton – metre
1/min	: Dakikadaki devir hızı
MPa	: Mega Paskal
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
SO ₃	: Kükürttrioksit
H ₂ O	: Su
ph	: Asitlik derecesi
NaOH	: Sodyum hidroksit
g / kWh	: Gram / Kilo –Watt saat
atm	: Atmosfer basıncı
mm Hg	: Milimetre – civa
Pme	: Ortalama efektif basınç
t	: Zaman
α ve β	: Düzeltme katsayıları
Pe	: Efektif güç
ρ	: Yoğunluk
Ni	: İndike güç
η	: Verim
η _m	: Mekanik verim
H _U	: Alt ısı değer

KISALTMALAR

IDI	: Ön yanma odalı
DI	: Direkt püskürtmeli
ÜÖN	: Üst ölü nokta
AÖN	: Alt ölü nokta
CR	: Common - Rail
ECU	: Elektronik kontrol ünitesi
UIS	: Birim enjektör sistemi
UPS	: Birim pompa sistemi
cc	: Santrimetre küp
ÜÖNs	: ÜÖN'dan sonra
ÜÖN	: Üst ölü nokta
ppm	: Milyonda parçacık sayısı
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
TEP	: Ton eşdeğer petrol
°KMA	: Krank mili açısı
J/KMA	: Isı açığa çıkış hızı
S.U.S	: Saybolt universal saniye
CP	: Cloud Point
SS	: Setan Sayısı
2-EHN	: 2-ethylexyl nitrate
ha	: Hektar
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
HFK	: Hava fazlalık katsayısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde endüstri ve konutlarda ısıtma amacıyla yakıtlar ve enerji üretiminde kullanılan organik esaslı kimyasalların temel kaynakları yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılan petrol, kömür, ve doğalgazdır. Bununla birlikte enerji üretiminde ülkelerin doğal kaynaklarına, iklim koşullarına ve gelişmişliklerine bağlı olarak bu fosil yakıtların dışında yenilenebilir kaynaklar olarak adlandırılan güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle gibi yeni bazı kaynaklar ile nükleer ve hidrolik enerji de kullanılmaktadır. Fosil kaynakların dünya üzerindeki rezervleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri (BP, 2006).

Bölge	Petrol	Doğalgaz	Taş Kömürü	Linyit
	Milyar Ton	Trilyon m³	Milyar Ton	Milyar Ton
Kuzey Amerika	7,8	7,46	115,7	138,8
Orta ve Güney Amerika	14,8	7,02	7,7	12,2
Avrupa ve Avrasya	19,2	64,01	112,3	174,8
Orta Doğu	101,2	72,13	0,4	0
Afrika	15,2	14,39	50,1	0,2
Asya Pasifik	5,4	14,84	192,6	104,3
Toplam	163,6	179,85	478,8	430,3

Dünya nüfusunun hızla artması, endüstrileşme ve hızlı şehirleşme bu doğal kaynakların tüketimini hızla arttırmaktadır. 2006 yılı verilerine göre dünya üzerindeki fosil kaynakların tüketimleri ve toplam tüketim içindeki payları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1.2. Dünya fosil yakıt tüketimleri (BP, 2002).

Bölge	Petrol		Doğalgaz		Kömür	
	%	Milyon TEP*	%	Milyon TEP*	%	Milyon TEP*
Kuzey Amerika	46,36	1133	28,52	697	25,12	614
Orta ve Güney Amerika	62,64	223	31,46	112	5,9	21
Avrupa ve Avrasya	38,35	963	40,22	1010	21,43	538
Orta Doğu	53,56	271	44,66	226	1,78	9
Afrika	44,03	129	21,84	64	34,13	100
Asya Pasifik	35,68	1117	11,69	366	52,63	1648
Toplam	41,51	3836	26,78	2475	31,71	2930

* Ton Eşdeğer Petrol

Çizelge 1.2'de sunulan tüketim değerleri incelendiğinde fosil kaynaklar arasında %41,51 ile petrol birinci sırada yer alırken bunu %31,71 ile kömür ve %26,78 ile doğalgazın takip ettiği görülmektedir. Ayrıca Çizelge 1.3'de fosil yakıtların mevcut rezervlerinin kullanılabilir süreleri de dikkate alınırse gelecek 30 yıl içerisinde bu kaynaklarda önemli ölçüde bir yetersizlik olmayacağı ancak önümüzdeki 40-50 yıl içerisinde ise özellikle nüfus artışının etkisi ile önemli ölçüde azalacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte oluşabilecek enerji temini sorununu bir anda çözebilecek teknolojik bir gelişme de bulunmamaktadır. Bu durum bilinen kaynakların en rasyonel şekilde kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gibi acil önlemlerin şimdiden alınması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca dünyada çevre bilincinin yaygınlaşmaya başlaması ile çevre dostu olarak bilinen yeni bazı enerji kaynaklarının araştırılması kaçınılmaz olmuştur.

Çizelge 1.3. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri (BP, 2006).

Bölge	Petrol	Doğalgaz	Kömür
	Yıl	Yıl	Yıl
Kuzey Amerika	12	10	231
Orta ve Güney Amerika	41	52	269
Avrupa ve Avrasya	22	60	241
Orta Doğu	81	>100	399
Afrika	32	88	270
Asya Pasifik	14	41	92
Toplam	41	65	155

Fosil yakıtların yüksek oranda kükürt, azot ve metal içermeleri büyük oranda hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu fosil yakıtların yanması sonucu oluşan SO₂ ve NO_x gazları asit yağmurlarına neden olurken atmosferde CO₂ değişiminin sürekli artması sonucunda sera etkisi olarak adlandırılan istenmeyen iklim değişiklikleri görülmektedir.

Tüm bu veriler değerlendirildiğinde üretim artışının talebi karşılamaması ve aradaki mevcut açığın ileriki yıllarda giderek artacak olması ve çevre kirliliği bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemiz enerji sektörünün gündemine de girmiş bulunmaktadır. Bu nedenle de enerji tüketimimizi arttırmak üretim ve refah seviyesini yükseltirken çevreye duyarlı yeni enerji kaynakları ve teknolojilerinin eleştirilmesine öncelik verilmesi mutlaka sağlanmalıdır.

Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağını göstermektedir.

Bu tür bir yaygınlaşma ise, gerek yasal düzenlemeler gerekse teknolojik altyapının önceden planlanarak gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu alanda gerekli politikaların önceden geliştirilmesi, tarım ve otomotiv sektörüne ciddi kazançlar sağlayacaktır. Biyodizel kullanımının ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır.

Çizelge 1.4. Bazı fosil yakıtlar ve biyokütle kaynaklarının alt ısıl değerleri (Ejder, 2007).

Madde	Alt Isıl Değer (MJ / kg)
❖ Odun	
Çam Ağacı	21,03
Kayın Ağacı	20,07
Huş Ağacı	20,03
Meşe Ağacı	19,2
Meşe Ağacı Kabuğu	20,36
Hint Kamışı	19,23
❖ Elyaf	
Hindistan Cevizi Kabuğu	20,21
Kara Buğday Kabuğu	19,63
Şeker Kamışı	19,25
Yeşil Deniz Yosunu	26,98
❖ Bitkisel Yağ	
Pamuk Tohumu	39,61
Kolza Tohumu	39,77
Keten Tohumu	39,50
❖ Karbon	
Amorf Karbon	33,80
Parafinik Hidrokarbonlar	43,30
Ham Petrol	48,20

Biyokütle kaynakları sentetik yakıtların ve enerji esaslı kimyasal maddelerin üretilmesi amacıyla seçilirler. Bunun en önemli nedeni sahip oldukları ısı değerleridir. Çizelge 1.4'ten de görülebileceği gibi bitkisel yağlar gerek sahip oldukları yüksek alt ısı değerleri ile gerekse petrole yakın özellikler göstermeleri sebebiyle biyokütle kaynakları arasında oldukça önemli bir yer almaktadırlar.

Yapılan çalışmalarda alkollerin çeşitli tekniklerle kısmen dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilirdiği görülmektedir. Alkoller kömür veya petrolden ucuza üretilmektedirler. Alkoller dizel yakıtı göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtında bulunan kükürtü, kanserojen maddeleri ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkiler oluşturmaktadırlar. Bu alkollerden en önemlisi etanoldür. Etanolün yenilenebilir bir yakıt olması ve dizel yakıt ile daha iyi karışabilme özelliğinin bulunmasından dolayı da dizel motorlarda kullanımı son yıllarda ön plana çıkmıştır. Etanol; enzimler yardımı ile karbonhidratların (şeker ve nişasta) katalizlenerek fermantasyonu ile elde edilebilen yenilenebilir bir yakıttır. Fermantasyonda seçilecek karbonhidratlar genellikle mısırdan ve şeker rafinasyonu artığı melastan (şeker pancarı, şeker kamışı); diğer yandan tarımsal ürünlerden patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler kullanılarak; bunların yanında kağıt endüstrisi artığı olan selülozdan da üretilmektedir. Türkiye'nin zengin tarım potansiyeli ve özellikle yakın bir geçmişte tamamlanmış olan GAP ile 1.7 milyon hektar kurak arazinin sulanarak tarıma kazandırılması ve sadece yağlı tohum üretiminin %75 oranında artacak olması düşünüldüğünde bitkisel yağların alternatif yakıtların ve organik kimyasalların üretiminde ülkemiz için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir (Ejder, 2007).

Bu çalışmada Rainbow – LA186 direkt püskürtmeli dizel motorda biyodizel ve etanolün çeşitli oranlarda dizel yakıtla olan karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

BÖLÜM 2

DİZEL MOTORLAR

2.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YANMA ODASI TİPLERİ

Dizel motorlar elektrik enerjisi üretmek üzere termik santrallerde, kara taşımacılığı alanında lokomotif, kamyon, tır ve otobüslerde, deniz taşımacılığı maksadıyla gemi enerji tesislerinde ayrıca bir kısım küçük hacimli hava araçlarında kullanılmaktadır. 1936 yılında tüm dünyada toplam 6 milyon beygir gücünde dizel motoru kullanılmakta iken bu rakam 1947 yılında askeri amaçlı kullanılanlarla birlikte 85 milyon HP'ye yükselmiştir. 1956 yılında 20 milyon beygir gücünde dizel motoru üretimi gerçekleşirken günümüzde tüm dünyada toplamda 2 milyar HP'nin üzerinde dizel motorlu araç veya sistem kullanılmaktadır (Megep, 2006).

Dizel motorlar, sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı yükseltilecek hava içerisine püskürtülen yakıtın tutuşması ilkesine göre çalışırlar. Bu ilkeye göre ısının işe dönüşümü; temiz hava motor içerisine emilir yada doldurulur, piston tarafından sıkıştırılan havanın basıncı 30-40 bar (max. 90 bar) ve sıcaklığı 700-900°C civarındadır. Kızgın havanın içerisine püskürtülen yakıt tutuşur. Böylece tutuşmayı yanma izler ve yanma sonucunda 40-80 bar basınç ve 1400-1900°C sıcaklığında gazlar oluşur. Yüksek basınç ve sıcaklığa erişen gazlar piston ve biyel kolu yardımıyla işi krank miline iletirler. Bu olay sırasında, yakıtın yanmasıyla oluşan enerjinin büyük bir bölümü, krank milinin dönmesini sağlayan mekanik enerjiye dönüştürülür. Krank miline iletilen döndürme hareketi kara taşıtında volan ve aktarma organları üzerinden tekerleklerle, deniz taşıtında ise pervaneye yada yardımcı bir makineye aktarır. İş zamanı sonucunda basınç ve sıcaklığı azalan gazlar silindir dışına atılır ve silindirlerin yeni bir çevrim için temiz hava ile doldurulması döngüsü başlar (Megep, 2006).

Silindir içerisine yüksek setanlı yakıt pskrtten dizel motorlar karayolu, deniz ve endüstriyel uygulama alanlarında çok önemli bir role sahiptir. Dizel motorlarını cazip kılan özelliklerinden biri % 80-90'lara kadar çıkabilen yüksek yanma verimidir. Bu verim buji ateşlemeli benzinli motorlarda ortalama % 65-75 civarındadır. Verimin daha yüksek olmasının sebepleri daha yüksek sıkıştırma oranı ve düşük pompalama kayıplarıdır. Dizel motorlarda g/hacim oranını yükseltmek için turboşarj yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Safgönül vd, 2004).

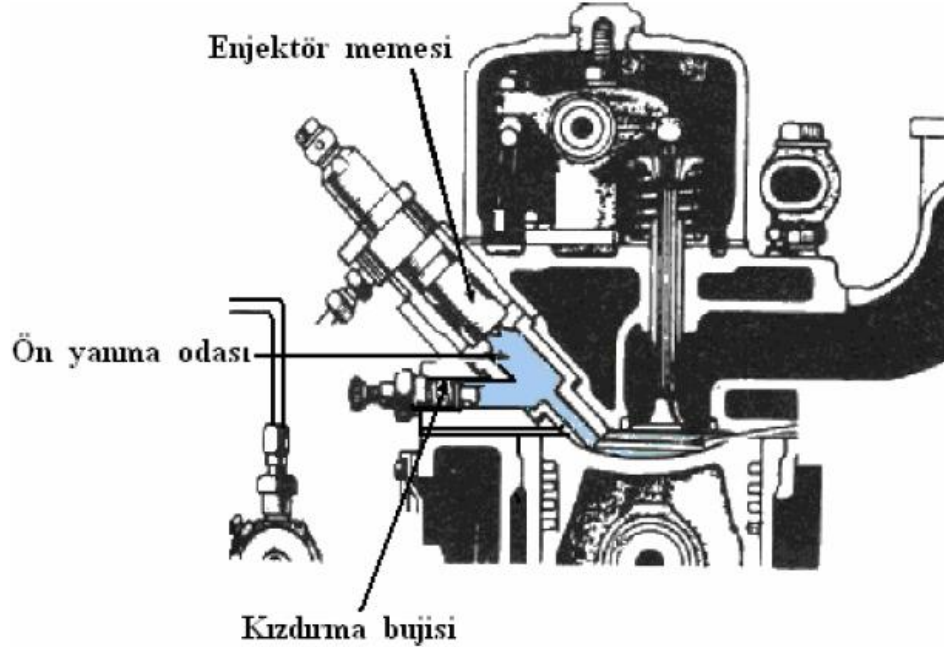
Dizel motorlarda mevcut olan yanma odası tipleri Şunlardır:

- 1- Bölünmüş yanma odaları
 - a) n yanma odalı tip
 - b) Türbülans odalı tip
- 2- Direkt yanma odaları (Direkt püskürtmeli tip)

2.1.1. n Yanma Odalı Motorlar (IDI)

Bu tip motorlarda yakıt esas silindir odasına eklenmiş olan küçük bir n odaya enjekte edilir. Başlama yüksek bir sıkıştırma oranı (24-27) ve n odaya yerleştirilmiş bir kızdırma bujisiyle gerçekleştirilir. Bu tipler daha az gürültü ve daha hızlı yanma avantajlarına sahip, fakat yakıt tasarrufu daha düşüktür.

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yakıt, enjektör memesi tarafından n yanma odasına püskürtülür. Kısmi yanma olur ve kalan henüz yanmamış yakıt daha sonra tam yanma için küçük parçacıklara ayrılmış olarak, ana yanma odası ile n yanma odasını birbirine birleştiren geçitten geçerek ana yanma odasına gönderilir (Toyota, 2003).



Şekil 2.1. Ön yanma odalı motor (Toyota, 2003).

Ön yanma odalı motorun avantajları şu şekilde sıralanabilir;

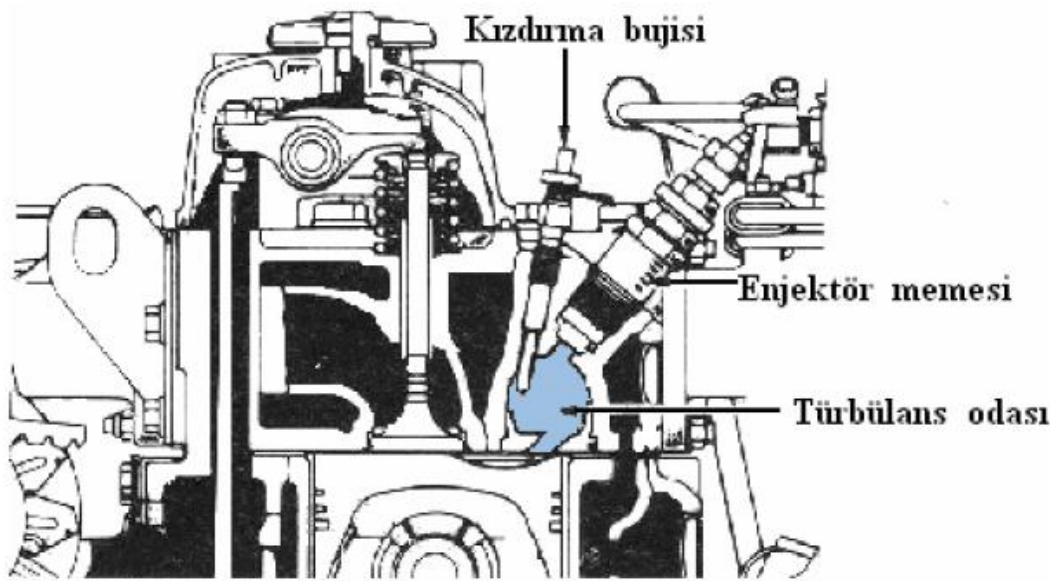
- 1- Çeşitli tipte yakıt kullanımı mümkündür. Nispeten düşük kalitede olan bir yakıt bile dumansız şekilde yakılabilir.
- 2- Yakıt püskürtme basıncının nispeten düşük olması ve püskürtme zamanlamasındaki değişimlerden motorun pek etkilenmemesinden dolayı bakımı kolaydır.
- 3- Dizel vuruntusu azdır ve motor daha sessizdir.

Ön yanma odalı motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Karışık silindir tasarımı nedeniyle yüksek bir maliyete sahiptir.
- 2- Daha büyük kapasiteli bir marş motoruna ihtiyaç vardır. İlk hareket zordur, dolayısıyla kızdırma bujilerinin kullanılması zorunludur.
- 3- Nispeten yüksek yakıt tüketimine neden olur.

2.1.2. Türbülans Odalı Motorlar

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, türbülans odası Şekil olarak küreseldir. Piston tarafından sıkıştırılan hava türbülans odasına girer ve yakıtın da içine püskürtüldüğü türbülanslı bir akış oluşturur. Yakıtın büyük bir kısmı türbülans odasında yanar fakat yanmayan yakıt transfer geçidinden geçerek tam yanma için ana yanma odasına ulaşır (Toyota, 2003).



Şekil 2.2. Türbülans odalı motor (Toyota, 2003).

Türbülans yanma odalı motorun avantajları Şu Şekilde sıralanabilir;

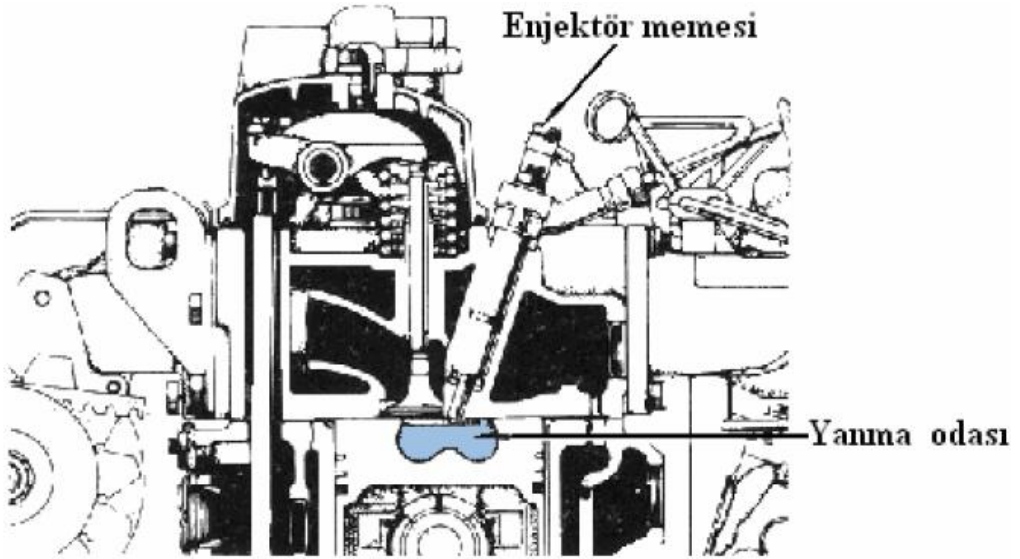
- 1- Yüksek sıkıştırma türbülansına bağlı olarak yüksek motor devirlerine ulaŐılabilir.
- 2- İğne tip enjektör memesi kullanımı sayesinde dizel vuruntusu azaltılmıŐtır ve motor daha sessiz çalışır.
- 3- Geniş bir motor devir aralığına sahiptir ve binek otomobillerinde kullanılabilir.

Türbülans yanma odalı motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

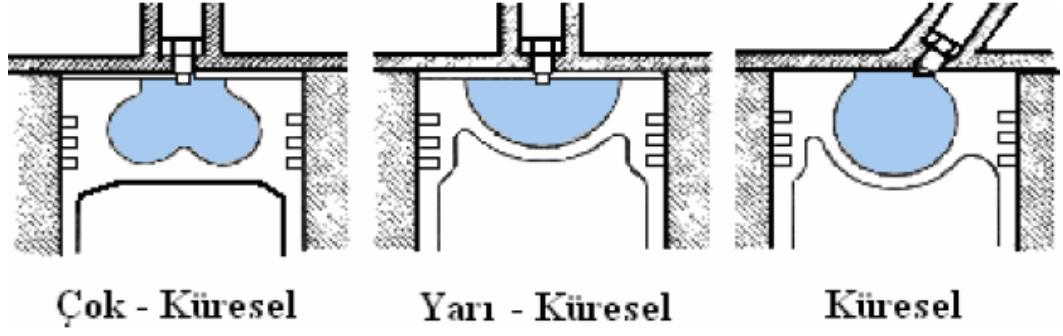
- 1- Silindir kapağı ve silindir bloğu karmaşık bir tasarıma sahiptir.
- 2- Termal (ısı) etkinliği ve yakıt tüketim oranı direkt püskürtmeli tipe nazaran daha kötüdür.
- 3- Kızdırma bujilerine ihtiyaç duyarlar fakat kızdırma bujileri geniş bir türbülans odası için çok verimli olmadıklarından, motor daha zor çalışır.
- 4- Düşük hızlarda nispeten daha fazla dizel vuruntusu vardır.

2.1.3. Direkt Püskürtmeli Motorlar (DI)

Enjektör memesi, silindir kapağı ile piston arasındaki ana yanma odasına yakıtı direkt olarak püskürtür. Pistonun üstündeki odanın tasarımı yanma veriminin artırılması için çeşitli özel şekillerde tasarlanmıştır (Toyota, 2003).



Şekil 2.3. Direkt püskürtmeli motor (Toyota, 2003).



Şekil 2.4. Direkt püskürtmeli yanma odası tipleri (Toyota, 2003).

Direkt püskürtmeli motorun avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Direkt püskürtmede yanma odalarının küçük alan yüzeyleri ısı kayıplarını en aza indirir, böylece sıkışmış havanın sıcaklığı artar ve yanma iyileşir. Bu sebepten dolayı, normal çevre sıcaklığında ilk hareket için ön ısıtmaya gerek kalmaz. Yakıt ekonomisi iyileştiği gibi yüksek ısı etkisi de daha iyi bir performans sağlar.
- 2- Silindir kapağı basit bir yapıya sahip olduğu için ısıl deformasyon etkisi azalır.
- 3- Isı kaybı az olduğundan sıkıştırma oranı azaltılabilir.

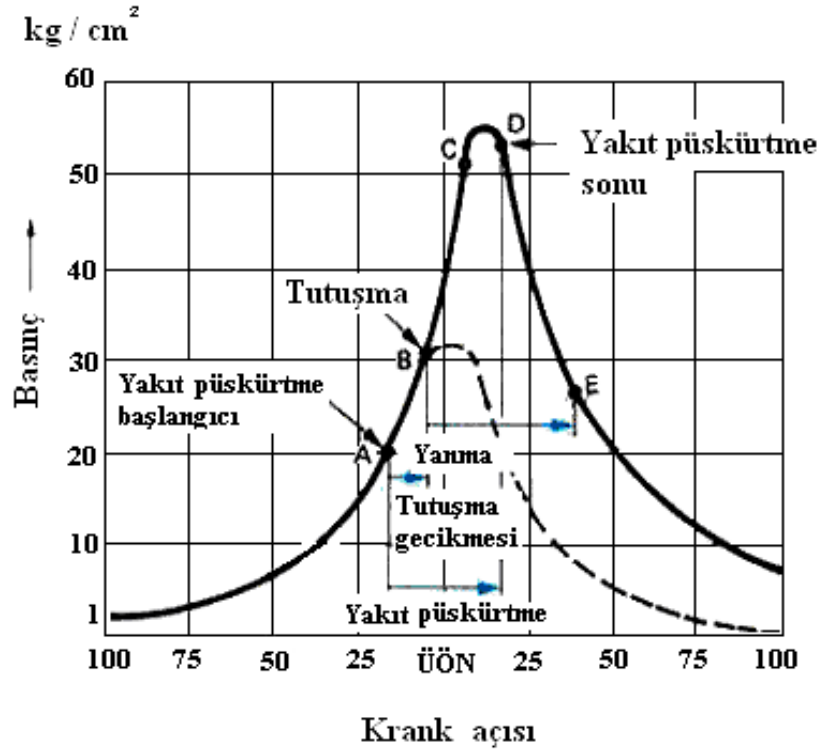
Doğrudan püskürtmeli motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Yakıt pompası, çok delikli memeden geçen yakıtın küçük parçacıklara etkin olarak ayrılmasını sağlayan yüksek püskürtme basıncını meydana getirmek için çok fazla dayanıklı olmalıdır.
- 2- Ulaşılabilecek maksimum motor devri düşüktür, çünkü yardımcı yanma odalı tipe nazaran yakıtın türbülansa girmesi belirgin olarak daha azdır.
- 3- Yüksek basınç sese neden olur ve dizel vuruntusu riskini artırır.
- 4- Motor, yakıtın kalitesine karşı daha fazla duyarlıdır. Dolayısıyla yüksek kaliteli yakıtı ihtiyaç duyulur.

2.1.4. Dizel Motorun Yanma Süreci

Dizel motorlarında hava, emme zamanında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmadan silindirlere tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirdeki gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. Üst ölü noktadan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar (Toyota, 2003).

Ricardo; yanma olayının üç ayrı safha halinde incelenebileceğini ileri sürmüştür. Bunlar; tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kontrollü yanma safhalarıdır. Ancak yanma safhası, tam yanma ve yanma sonrası olarak iki ayrı faz olarak düşünülürse; dizel motorun yanma süreci aşağıdaki Şekil 2.5'ten de anlaşılacağı gibi dört safhada incelenebilir. Şekil 2.5'te bir dizel motorunda krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı görülmektedir.

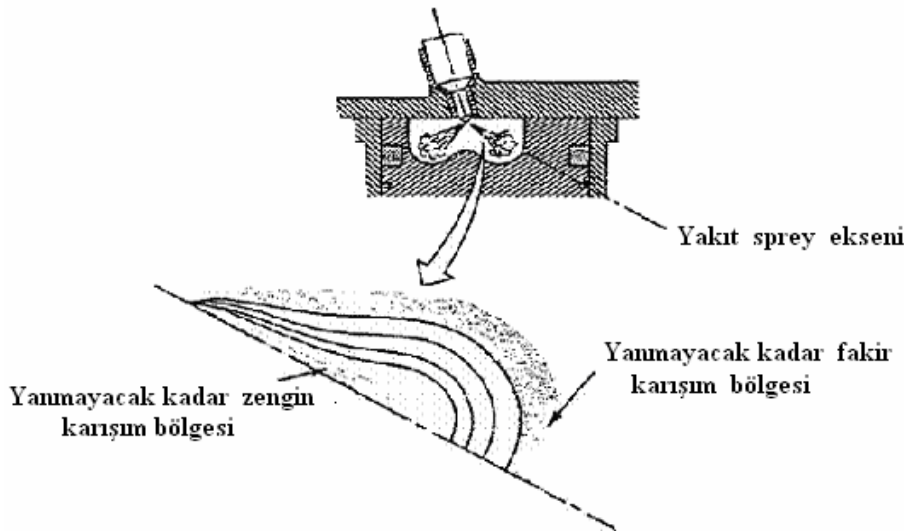


Şekil 2.5. Dizel motorunda krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı (Toyota, 2003).

1- Birinci Safha; Tutuşma Gecikmesi (A-B)

Bu safha silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın hava ile iyice karışması ve buharlaşması için hazırlık safhasıdır. Diğer bir deyişle yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile yanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Bu safhada krank açısına bağlı olarak belirli bir basınç yükselmesi oluşur (Toyota, 2003).

Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli etkenler, yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Tutuşma gecikmesi süresini etkileyen silindirlere alınan ilk yakıt miktarıdır. Tutuşma gecikmesini kısaltmak için enjektör meme kesiti küçültülebilir, püskürtme pompasının kam profili ile oynanabilir ya da silindir içi sıcaklıkların yüksek tutulması için sıkıştırma oranı artırılabilir. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir. Şekil 2.6'da doğrudan püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi ve bir yakıt damlacığının kesiti görülmektedir.



Şekil 2.6. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi (Andrews, 1995).

2- İkinci Safha; Alevin Yayılması (B-C)

Birinci safha sonunda yanabilecek hale gelmiş karışım artık silindir içerisine yayılmıştır ve ateşleme bir kaç noktadan başlamıştır. Bu andan sonra alev çok yüksek bir hızla yayılır ve adeta bir patlama etkisi yaratır.

Bu yanma sonucu silindir içerisinde basınç aniden yükselir. Bu tip yanma bazen patlamalı yanma şeklinde de isimlendirilir. Bu safhada basıncının yükselme miktarı birinci safhada hazırlanan yanabilir karışımın miktarına bağlıdır (Toyota, 2003).

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Yine bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadır. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki dp/dt basınç yükselme hızını da belirler. Yüksek bir basınç yükselme hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur.

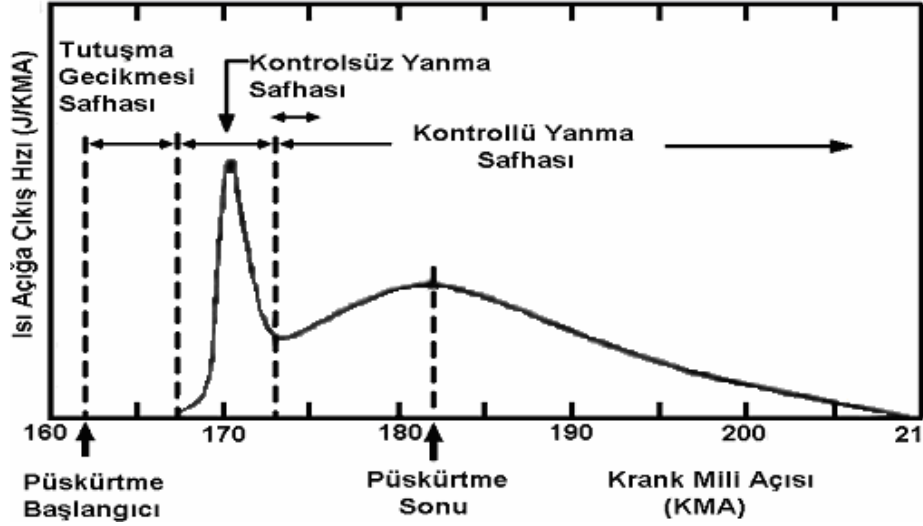
Basınç yükselme miktarının esas olarak püskürtülen yakıt miktarına bağlıdır. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir.

3- Üçüncü safha; Tam Yanma (C-D)

Bu safhada püskürtülmesi devam eden yakıt silindir içerisinde yer alan alev nedeniyle hemen yanar. Yanma bu safhada püskürtülen yakıtın miktarı ile kontrol edilir. Bu nedenle bu süreye kontrollü yanma süresi denir (Toyota, 2003).

Tutuşma gecikmesinde püskürtülen yakıtın tamamen yanması ile bu safhaya geçilir. Ani yanma süresi sonundaki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Yanmaya hazır karışım miktarı ile yanma kontrol edilir. Bu safhadaki yanma hızı yakıt buharı ile havanın karışmasına bağlıdır. Verimin yüksek olması için yanmanın Ü.Ö.N.'ya mümkün

olduğunca yakın tamamlanması istenir. Şekil 2.7'de yanma safhaları ile birlikte krank mili açısına bağlı olarak ısı açığa çıkış hızının değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 2.7. Krank miline bağlı olarak ısı açığa çıkışı (Andrews, 1995).

Kontrollü yanma ile egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre, yakıtın küçük bir kısmı henüz yanmadığından, art yanma (yakıtın püskürtülmesinin bittiği an ile egzoz supabının açıldığı ana kadar ki süre içinde meydana gelen yanmadır) olarak kabul edilebilir. Yakıtça zengin yanma ürünleri ve is içindeki enerji hala açığa çıkabilir. Bu safhada yanma tamamlanmakta silindir hacminin artması sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir (Borat vd, 1992). Dizel motorlarında atomizasyon, buharlaşma, yakıt-hava karışımı ve karışımın yanması şeklinde gelişen işlemlerin tekrarlanmasıyla motor çalışmaya devam eder.

4- Dördüncü Safha; Yanma sonrası (D-E)

Yakıtın püskürtülmesi D noktasında sona erer, fakat yakıtın yanması devam etmektedir. Eğer bu safha çok uzun olursa egzoz sıcaklığı artar ve verim düşer. Görüldüğü gibi dizel motorlarında yanma olayı oldukça karmaşıktır. İlk kendi kendine tutuşma öncesindeki fiziksel ve kimyasal hazırlık ve bunu takip eden süredeki püskürtme hızına bağlı yanma sonucu olarak da dizel motorlar, benzinli motorlar kadar hızlı çalışmaz. Silindir içerisindeki yanmanın oluşumu ve gelişimi

yakıt özelliklerine, motor yanma odasının ve yakıt püskürtme sisteminin tasarımına ve motorun işletme şartlarına bağlı olarak değişmektedir (Toyota, 2003).

2.2. DİZEL MOTORLARINDA PÜSKÜRTME VE ELEMANLARI

Motorun silindirleri içerisinde bulunan havanın sıkıştırılmasındaki amaç; sıcaklığını içerisine püskürtülecek yakıtın tutuşma sıcaklığından daha yüksek değerlere çıkararak kendiliğinden tutuşma ve yanmasını sağlamaktır.

Dizel motorlarında, motorun dönme sayısı ve yük durumuna göre miktarı belirlenen yakıt, püskürtme pompası tarafından, sıkıştırma zamanının sonlarına doğru, enjektöre gönderilerek yanma odası içerisine püskürtülmektedir. Böylece emme zamanında silindir içerisine giren hava ile püskürtülen yakıtın karışımı silindir içerisinde sağlanmaktadır. Yakıtın püskürtülmesindeki amaç, küçük damlacıklara ayrılarak hava ile temas eden yüzeyinin artırılmasıdır. Yakıtın atomizasyonu sonucu yanmanın kontrollü olarak ve kısa sürede gerçekleşmesi sağlanır.

Emme zamanı boyunca yanma odasına emilen havanın sıkıştırma zamanı sonunda basıncı 3-5 MPa ve sıcaklığı 600-900 °C değerlerine ulaşmaktadır. Böylece sıkıştırma zamanı sonlarına doğru bu ortam içerisine püskürtülen yakıt kendi kendine tutuşarak yanar.

Karışımın oluşturulması, dizel motorlarında, yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile başlar. Ancak püskürtülen yakıt kütesinin miktarı ve püskürtme zamanlaması, püskürtme kanununa bağlı olarak püskürtme sisteminin bütünü tarafından belirlenmektedir. Bu bakımdan, motordan istenilen performansın alınabilmesi için püskürtme sisteminin aşağıdaki gibi bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- 1- Püskürtme sistemi motorun yük durumuna göre, çevrim başına yanma odasına gönderilen yakıt miktarını hassas olarak ayarlayabilmelidir,
- 2- Yakıt püskürtme işlemi gereken zamanda başlatılmalı, birim zamanda püskürtülen yakıt miktarı ve toplam püskürtme süresi hassas olarak ayarlanabilmelidir,

- 3- Yakıtın parçalanması ve dağılımı yanma odası geometrisine uyum sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır,
- 4- Motorun düşük dönme sayılarında yanma stabilitesinin bozulmasına ve yüksek dönme sayılarında da ard püskürtme olayına izin verilmemelidir,
- 5- Karışım oluşturulması olayının çok silindri motorlarda kararlı ve düzgün bir şekilde gerçekleşmesi için, püskürtme sistemi elemanlarında hidrodinamik benzerlik bulunmalıdır.

Püskürtme olayının süresi ve püskürtülen yakıt miktarının zamana göre değişimi, karışım oluşturma yöntemi ve yanma odası şekline bağlı olarak saptanmaktadır. Ancak genelde amaç, yanma veriminin en yüksek düzeyde ve egzoz gazları içerisindeki is miktarının da en düşük düzeyde olabilmesi için yanma odasına gönderilen yakıtın tümünün yakılabilesidir. Bu da farklı motorlarda, farklı özellikteki püskürtme sistemlerinin kullanımı ile sağlanmaktadır.

İyi bir yanma oluşturulması koşullarından biri sıkıştırılan havanın sıcaklığı diğeri de yakıtın çok küçük küreciklerden oluşan bir sis şeklinde bu havanın içine püskürtülmesidir. Bu görevi yerine getiren devrelere ise yakıt püskürtme sistemleri denildiği bilinmektedir.

Dizel motorlarında yanma, sıkıştırma sonunda sıkışan, sıcaklığı ve basıncı artan hava içine yakıtı basınçlı olarak püskürtmekle sağlanmaktadır. Bunu sağlamak için de sağlam ve çok hassas olarak çalışan birçok parçaların toplandığı bir sisteme gerek vardır ki, bu da dizel yakıt sistemidir.

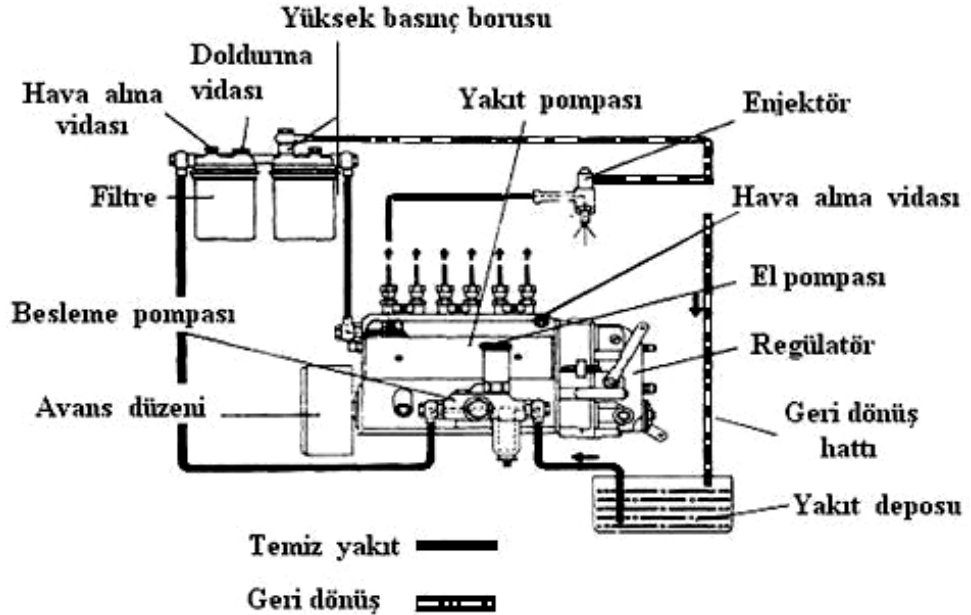
Dizel motoru yakıt sistemleri büyük sabit tesislerde, hareketli araçlarda ve endüstri uygulamalarında yerleştiriliş bakımından farklılık gösterirler. Bugün değişik yapıda yakıt sistemleri olsa da, sistemi oluşturan ana parçalar hepsinde aynıdır. Bu parçalar:

- a) Yakıt deposu
- b) Besleme pompası
- c) Filtre
- d) Yakıt pompası (Püskürtme pompası)

- e) Yüksek basınç boruları
- f) Enjektörler
- g) Geri dönüş ve sızıntı borularıdır.

Dizel motorlarına günümüze kadar birbirinden farklı yakıt püskürtme uygulanmıştır. Ne tür bir püskürtme sistemi uygulanırsa uygulansın, bu sistemin şu görevleri yerine getirmesi gerekir;

- 1- Püskürtülecek yakıt miktarını hassas bir şekilde motora vermek,
- 2- Motorun tüm devir sayısı ve yükünde, yakıtı çevrimin belirli noktasında silindirlere püskürtmek,
- 3- Püskürtmenin çok çabuk olarak başlama ve sona ermesini sağlamak,
- 4- Yanmayı ve yanma sırasında basınç yükselmesini denetlemek bakımından belirli miktar yakıtı motor silindirlerine püskürtmek,
- 5- Yakıtı, yanma odasının gerektirdiği şekilde atomize etmek,
- 6- Çok iyi bir yanma oluşturabilmek için yakıtı çok küçük partikül ve kürecikler halinde yanma odasının her bir tarafına ve düzgün bir biçimde dağıtmak.



Şekil 2.8. Klasik bir dizel motorun yakıt sisteminin parçaları (Safgönül, 2008).

Şekil 2.8’de görülen klasik dizel püskürtme sistemi iki temel üniteden oluşur:

- 1- Besleme Ünitesi
- 2- Püskürtme Ünitesi

1- Dizel Motorlarında Besleme Ünitesi

Besleme ünitesinin görevi, depodan yakıtı alıp temizlenmiş şekilde gereksinim duyulan miktarda püskürtme ünitesine göndermektir. Besleme ünitesinin elemanları şunlardır:

- a) Yakıt deposu
- b) Besleme pompası
- c) Filtre

Besleme pompasının depodan emdiği yakıt, yaklaşık olarak $0,5-1,5 \text{ kg/cm}^2$ basınçla filtreye gönderilir. Burada süzülen ve içindeki pisliklerden temizlenen yakıt, yakıt pompasına gelir. Yakıt pompası, basıncını yükselttiği ($80-400 \text{ kg/cm}^2$ 'ye) ve miktarını ölçtüğü yakıtı yüksek basınç boruları ile enjektörlere gönderir. Enjektörler de bu basınçlı yakıtı yanma odasına püskürtürler. Enjektörlerden sızan ve pompanın gereksinmesinden fazla olan bir kısım yakıt, geri dönüş ve sızıntı boruları ile depoya geri gönderilir.

2- Dizel Motorlarında Püskürtme Ünitesi

Püskürtme sisteminin görevi; uygun zamanda istenen miktardaki yakıtı yüksek basınçta enjektöre sevk edip, enjektörden püskürtülmesini sağlamaktır. Uygun zaman sıkıştırma strokunun sonudur. Yakıt yüksek basınçta silindirlere püskürtülür.

Püskürtülen yakıtın ayarı 2 şekilde olur:

- 1- Kullanıcı ile yakıt ayarı gaz kolu ile ayarlanır.
- 2- Kullanıcının haberi olmaksızın yakıt miktarını regülatör değiştirir.

Püskürtme ünitesinin elemanları şunlardır;

- 1- Püskürtme pompası (Yakıt pompası)
- 2- Yüksek basınç boruları
- 3- Enjektörler
- 4- Geri dönüş ve sızıntı boruları

2.2.1. Yakıt Depoları

Dizel motorunun belirli bir süre çalışmasını sağlayacak yakıtı depolayan ve içinde daima temiz motorin bulunan depolara yakıt deposu denir. Yakıt depoları motorun günlük gereksinmesinden biraz fazla yakıtı temiz ve emniyetli bir şekilde depolayacak kapasitede çelik saçtan yapılır. Paslanmasını önlemek için kurşun-kalay alaşımıyla kaplanır. Aşınmaya karşı korunmak üzere iç yüzeyleri boyanmıştır.

Taşıtın büyüklüğü veya aracın içi ya da yanında bulunan yakıt deposu yerlerine bağlı olarak çeşitli tipte yakıt deposu mevcuttur. Yakıt depoları genelde biçim ve hacim bakımından farklılık gösterir. Yakıt depolarının araca monte edilmiş ve geri akış parçaları, doldurma parçası, boşaltma parçası ve havayı boşaltma parçaları vardır.

Genellikle otomobil ve küçük tonajlı kamyonlarda taşıtın arkasına, büyük tonajlı kamyon, otobüs ve ağır iş makinelerinde ise taşıtın sağ veya solunda şasiye tespit edilir. Depodaki yakıt seviyesi, şamandıralı bir göstergesi ile kontrol edilir. Deponun dibinde su ve tortuların birikmesi için bir tortu çukuru ve boşaltma musluğu vardır.

2.2.2. Besleme Pompaları

Yakıt sistemlerinde yüksek basınç pompalarına basınçlı yakıt veren pompalara genellikle besleme pompası adı verilir. Bu pompaların ana görevi, yüksek basınç pompalarının giriş taraflarında sabit bir basınç oluşturmaktır. Bazı küçük güçlü motor tesislerinde motor odasının yüksek bir yerine yerleştirilmiş bir servis tankı bulunur ve yakıt yerçekimi veya kendi ağırlığıyla yüksek basınç pompalarına gelir.

Oysa, modern dizel motorlarının büyük bir bölümü, yüksek basınç pompalarının alıcı taraflarında, yaklaşık 1,5-2 bar'lık bir basınç gerektirirler.

Besleme pompası yakıtı, yakıt deposundan emer ve bu emdiği yakıtı basınç altında yakıt filtresinden geçirerek püskürtme pompasının emme odasına basar. Seri püskürtme pompaları bulunan taşıt aracı dizel motorlarında, yakıtın püskürtme pompasının emme odasına yaklaşık 1 bar'lık üst basınç sevk edilmesi gerekir. Aksi halde pompa silindirinin dolumu sağlanmaz. Silindir dolumu için gerekli olan emme odası basıncı, püskürtme pompasının üst kısmına monte edilmiş bir yakıt deposu yani düşmeli tank veya bir besleme pompası kullanılarak sağlanır. Bu takdirde yakıt deposu püskürtme pompasının altına veya çok uzağına monte edilebilir.

Besleme pompası mekanik bir pistonlu pompa olup, genelde püskürtme pompasına tespit edilir. Besleme pompası püskürtme pompasının eksantrik mili tarafından tahrik edilir. Besleme pompasına bir de el pompası monte edilmiş olabilir. Bu el pompası, işletmeye alınma ve bakım sonrasında püskürtme sisteminin emme tarafının yakıtla doldurulması veya havasının alınması amacı ile kullanılır. Tek taraflı veya iki taraflı çalışan besleme pompaları vardır. Püskürtme pompasının büyüklüğüne göre, bir veya iki besleme pompası monte edilir.

2.2.3. Filtreler

Filtreler, yakıt sisteminin iyi süzölmüş yakıtla uzun bir zaman arızasız olarak çalışmasını temin eden parçalardır. Yakıt filtresi yakıttaki pislikleri tutar. Filtrenin kalitesi püskürtme pompasının ömrünü belirler. Püskürtme pompasının basınç oluşturan parçaları ve enjektör memeleri, milimetrenin binde biri kadar bir hassaslıkla birbirine intibak ettirilmiştir. Bu da, yakıt içindeki bu küçüklüklere erişen pislikleri veya aşınmayı arttıran pisliklerin, hassas çalışan parçaların fonksiyonunu tehlikeye soktuğunu göstermektedir. Bu nedenle, yakıtın kötü ve yetersiz filtrelenmesi pompa pistonları, basınç valfleri ve enjektör memelerinde hasara neden olabilir.

Püskürtme pompasının basınç oluşturan parçaları ve enjektör memelerinde oluşan aşırı aşınmanın sonuçları şunlardır;

- 1- Uygun olmayan yanma,
- 2- Yüksek yakıt tüketimi,
- 3- Duman oluşumu,
- 4- Kötü ilk hareket,
- 5- Düzensiz relanti çalışması,
- 6- Motor performansında düşme

2.2.4. Püskürtme Pompaları

Dizel motor endüstri gelişip büyüdüğüçe, hava ile püskürtmeli ve sabit basınçlı sistemlere göre daha verimli ve güvenilir püskürtme sistemlerine gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bu durum, çok değişken yükler ve devir sayısında çalıştırılan motorlar da kendini göstermiştir. Sonuç olarak, yüksek basınç pompaları oluşturulmuştur.

Bu pompaların görevleri, motorun her çevrimi için yakıt miktarını saptamak ve onu püskürtme için gerekli basınçla enjektörlere göndermektir. Pompa tarafından sağlanan yüksek basınçlı yakıt, enjektörün iğnesini kaldırarak yanma odasına püskürtülmektedir. Klasik tip dizel motorlarında bu pompalar tümüyle pistonlu türden yapılmakta, küçük çaplı bir piston veya plancer ile bu plancer içinde çalıştığı bir silindirden oluşmaktadır. Püskürtme pompasının görevlerini şunlardır:

- 1- Enjektörlere basılan yakıtın miktarını ayarlamak,
- 2- Yakıtın basıncını yükseltmek,
- 3- Yakıtı yanma sırasına göre silindirlere göndermek,
- 4- Yakıtı istenilen zamanda enjektörlere göndermek,
- 5- Yol ve yük durumuna göre yakıt miktarını kontrol etmek

2.2.5. Regülatörler

Temel görevi; püskürtülen yakıt miktarını ayarlamaktır. Dizel motorlar, kararsız çalışırlar. Gaz kolu belli bir konumda ve motorun fren yükü belli bir değerde iken motor kararlı çalışır. Yükte herhangi bir değişiklik yaratıldığında bu çalışma dengesi bozulur. Motor ya hızlanma eğilimine ya da yavaşlayarak stop eğilimine girer. İşte, regülatör bu hız dengesini ayarlar. Hedeflenen çalışma hızında belli bir toleransla motorun kararlı hızla çalışmasını sağlar. Motorun yükü artınca motor yavaşlar. Regülatör devreye girip püskürtülen yakıt miktarını artırır. Sonuçta motorun hızındaki azalma eğilimi düşer. Motorun yükü azalınca motor hızlanır. Regülatör devreye girip püskürtülen yakıt miktarını azaltır. Sonuçta motorun hızındaki artış düşer.

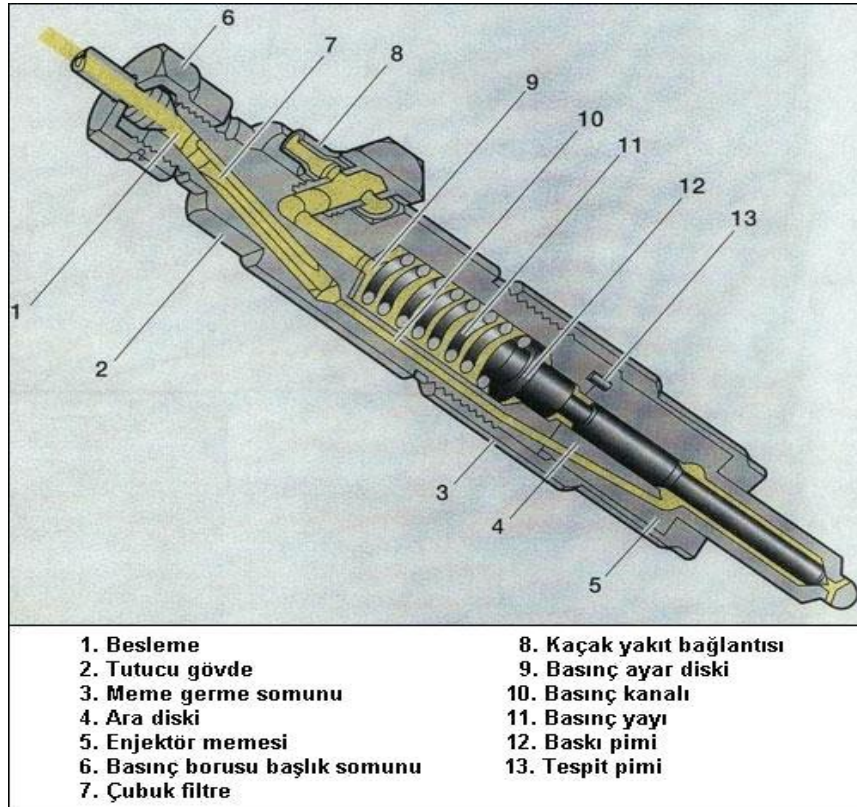
Püskürtme ünitesine gönderilen yakıt ihtiyaçtan fazla gelirse, fazla gelen yakıt regülatörle depoya by-pass edilir.

2.2.6. Enjektörler

Yakıt pompalarının çıkış ventillerinden geçen yüksek basınçlı yakıtın, silindirlerin yanma odalarına püskürtülmesini sağlayan cihazlara enjektör ismi verilir. Dizel motorlarında; iyi bir yanma sağlayabilmek için yakıtın yüksek basınç altında ve yapay bir sis şeklinde yanma odalarına püskürtülmesi gerekir. Püskürtme sırasında yatay sisi oluşturan yakıt küreciklerin çapları, motorun yapısı ve püskürtme basıncına bağlı olarak 6-50 mikron değerleri arasında değişmektedir.

Enjektör gövdesi, enjektör memesinin motor silindir başlığına tespit edilmesini sağlar. Enjektör gövdesi yakıt boruları ile olan bağlantıyı sağlar ve meme ağzı basıncını belirleyen bir yayı vardır. Enjektör gövdesi-kombinasyonu, enjektör gövdesi ve enjektör memesinden oluşur. Enjektör gövdesi; tutucu gövde, ara disk, meme tespit somunu, baskı pimi, baskı yayı, basınç ayar disk ve tespit piminden oluşur.

Tutucu gövde içindeki basınç kanalı meme gövdesinin besleme deliğine açılır ve memeyi püskürtme pompasının basınç boruları ile birleştirir. Enjektör gövdesinin kullanım türüne göre, tutucu gövdenin basınç kanalı içine çubuk filtre yerleştirilebilir. Tutucu gövde içindeki baskı yayı baskı pimi üzerinden meme iğnesine baskı yapar. Bu yayın ön gerilimi enjektör memesinin ağız basıncını belirler. Ağız basıncı, basınç ayar diski tarafından ayarlanır.



Şekil 2.9. Enjektörün yapısı (Ejder, 2007).

Yakıt; tutucu gövde içindeki ilgili delik, ara disk ve enjektör memesi üzerinden meme yuvasına ulaşır. Püskürtme sırasında, püskürtme basıncı vasıtası ile meme iğnesi kaldırılır ve yakıt kör delik ile enjektör deliklerinden geçerek yanma odasına gelir. Püskürtme basıncının düşmesinden sonra yay, meme iğnesini yuvasına geri iterek püskürtmeyi bitirir (Şekil 2.9).

Enjektör gövdelerinin işlevi enjektör memelerini silindir kafasına tutturmak ve yanma odasına karşı sızdırmazlığı sağlamaktır. Yakıt besleme boruları enjektör gövdesine açılır. Enjektör gövdelerinin ayrıca bir de sızıntı delikleri vardır. Enjektör

gövdeleri, gövde ve enjektör memelerinden oluşur. Enjektör gövdesi; tespit gövdesi, ara pulu ve meme sıkma somunu ve de baskı pimi, baskı yayı ile basınç ayarlama pulundan oluşur.

Enjektör memesi bir meme gövdesi ve bir meme iğnesini içerir. Enjektör memesi yakıtın düzgün taneciklere ayrılması için gereken basınçta, yakıt pompasından aldığı yakıtı silindirlere içine yüksek basınçta püskürtür (Toyota, 2003).

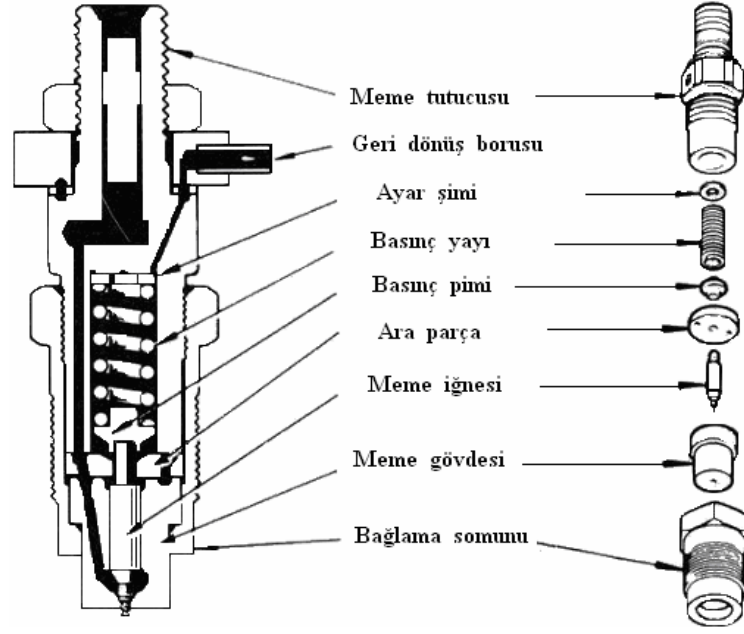
Enjektör memesi, meme sıkma somunu ile merkezi olarak tespit gövdesi içine yerleştirilmiştir. Tespit gövdesi ile meme sıkma somununun sıkılması durumunda, bu iki eleman da ara diskini tespit gövdesinin ayna kısmına presler. Baskı pimi, baskı yayı ve basınç ayarlama diski tespit gövdesi içindedir. Burada baskı pimi baskı yayına kumanda eder ve meme iğnesi baskı pimini merkezler.

Enjektör memesi bir tür valftir ve 1/1000 mm hassasiyetinde çalışır. Bu yüzden, memenin değiştirilmesi gereken zamanlarda, hem meme gövdesinin hem de iğnenin beraberce değiştirilmesi gerekir. Enjektör memesi dizel yakıtı tarafından yağlanır (Toyota, 2003).

Enjektör memesi, meme tespit somunu ile tutucu gövdeye merkezi olarak tespit edilir. Tutucu gövde yani enjektör kütüğü ile meme tespit somununun birbirine takılması sırasında ara diski tutucu gövdenin plan yüzeyine karşı bastırılır. Baskı pimi, baskı yayı ve basınç ayar diski tutucu gövde içindedir. Baskı yayı baskı pimi tarafından yönlendirilir. Baskı piminin yönlendirilmesi ise meme iğnesi tarafından yapılır.

Enjektörler; yakıtın basıncı püskürtme basıncına ulaşana kadar yanma odasını kapalı tutmalı; püskürtme anında ise damlama yapmadan ani olarak püskürtmelidir. Damla büyüklüğü istenen ölçülerde olmalıdır. Yanma odasının şekil ve büyüklüğüne uygun püskürtme yaparak yakıtın her noktaya ulaşması sağlanmalıdır.

Meme tutucusu bağlama somunu ile ara parçayı ve memeyi bir arada tutar. Ayrıca meme tutucusu basınç yayını ayarlayan ayar şimini de ihtiva eder (Toyota, 2003).



Şekil 2.10. Klasik bir enjektörün parçaları (Toyota, 2003).

- Enjektörlerin Sınıflandırması
 - a) Açık tip enjektör
 - b) Kapalı tip enjektör

Açık tip enjektörde püskürtme pompasından gelen yakıt enjektör meme deliklerinden doğrudan yanma odasına püskürtülür. Püskürtme başında yavaş artış sonunda da yavaş düşüş gösterir. Bu durum püskürtme hızını düşüreceğinden pulverizasyonu azaltır ve damlamaya neden olabilir. Bu da isli yanma eğilimini artırır.

Kapalı tip enjektörlerde ise pompadan gelen yakıtın basıncı belli bir değere ulaşmadan yakıt geçişi bir iğne veya subapla kesilir. Yaygın olan kullanım konik uçlu iğnenin ön gerilimini ayarlayan bir yay ile sızdırmazlığın sağlanmasıdır.

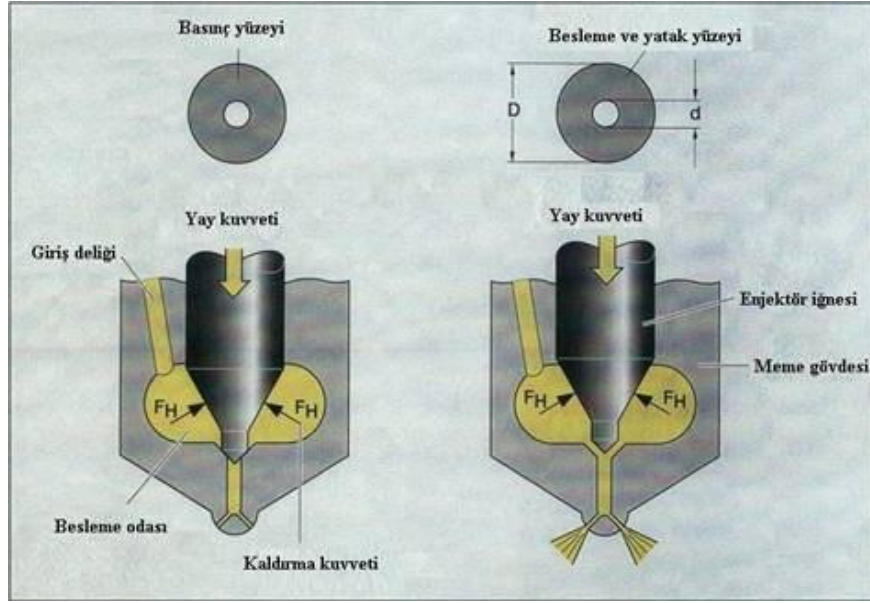
- Enjektör Memeleri

Enjektör memelerinin iki temel yapı çeşidi vardır:

- 1- Direkt püskürtmeli motorlarda, örneğin kamyonlarda kullanılan delikli memeler,

- 2- Ön odalı ve türbülans odalı motorlarda, örneğin binek araçlarda kullanılan çubuklu memeler.

Bu iki temel çeşidin yanında birbirinden farklı daha bir çok meme çeşidi olup, farklı motorlarda kullanılmaktadır. Ancak, genel yapısı itibariyle yay ve iğne kaldırma kuvvetlerinin birbirlerine etkileri Şekil 2.11'deki gibidir.



Şekil 2.11. Enjektör memesi kesiti (Ejder, 2007).

1- Delikli Tip Enjektörler

Delikli memelerin bir sıkıştırma konileri gövdelerinde özel olarak açılmış bir meme yuvaları ve bir kör delikleri vardır. Delikli memeler genelde çok delikli memeler olarak imal edilir. Fakat tek deliklileri de vardır. Yanma odasının biçimine göre tek delikli memelerde püskürtme deliği merkezde veya yanda olabilir. Çok delikli memelerde ise simetrik veya asimetrik olarak düzenlenebilir. Meme deliği basıncı genelde 150-250 bar arasındadır. Şekil 2.12'nin sol tarafındaki resimde bir delikli meme kesiti görülmektedir.

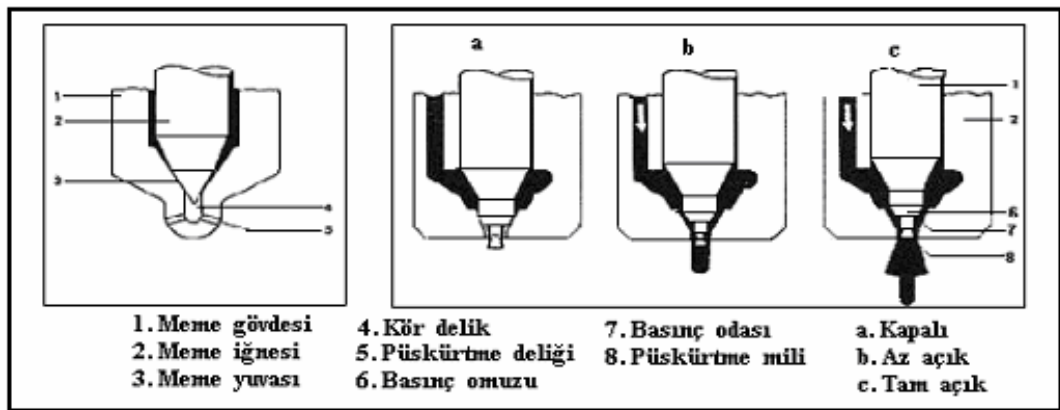
Delik tip meme; tek delikli ve çok delikli olmak üzere ikiye ayrılır. Delik sayısının artması ile yakıt farklı yönlerde gönderilebilmektedir. Enjektörün delik çapı küçük seçilirse yakıtın atomizasyonu daha iyi olur.

2- Çubuklu Tip Enjektörler

Ön ve türbülans odalı motorlarda yakıtın hazırlanması esas olarak havanın türbülansı ve uygun biçimde oluşturulan yakıt hüzmesinin yardımı ile gerçekleşir. Türbülans odalı motorda çubuklu enjektör memesi; her kam açısındaki püskürtme süresi ve püskürtme miktarının yanında, hüzmenin yönü, iyi bir hava/yakıt karışımının hazırlanmasında belirleyici bir etkiye sahiptir.

Çubuklu memelerde meme deliği basıncı genelde 110-135 bar arasındadır. Çubuklu memelerdeki meme iğnelerinin bir ucunda özel olarak yapılmış bir püskürtme pimi vardır. Bu iğne bir ön püskürtmeye olanak sağlar. Açılma sırasında meme iğnesi, önce çok az yakıt geçirecek yuvarlak biçimli bir aralık verir. Basıncı yükselmesi nedeni ile devam eden açma sırasında akma aralığının kesiti büyür. Ancak iğne kursunun sonunda yakıtın esas bölümü püskürtülür. Yanma odasındaki basıncı yavaş yavaş yükseldiğinden, kısmalı çubuklu meme sayesinde yumuşak bir yanma dolayısıyla motorun düzenli çalışması sağlanır. Meme gövdesi içindeki baskı yaylarının karakteristiği ve kısma oluşunun ayarlanması ile birlikte püskürtme çubuğunun biçimi sayesinde istenen kısma etkisi sağlanır (Şekil 2.12).

Çubuklu tip meme de kısıtlamalı ve kısıtlamasız tip olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.12. Delikli ve çubuklu meme kesiti (Safgönül, 2008).

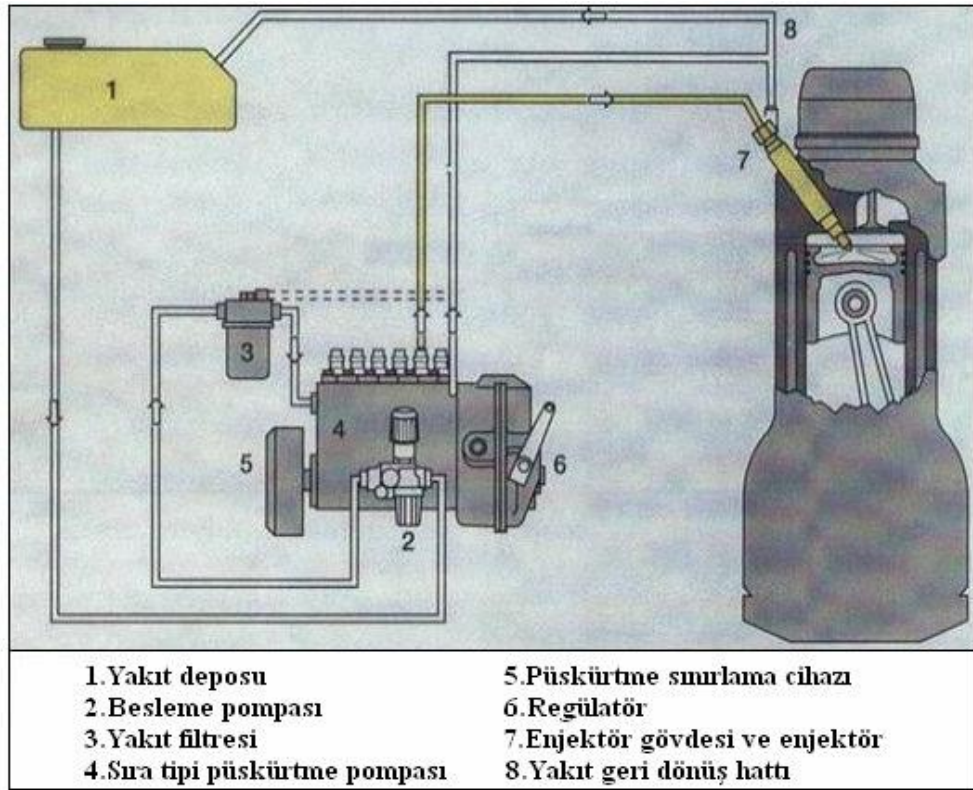
2.3. DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ

Dizel motorlarda kullanılan yakıt pompa sistemi çeşitleri şunlardır:

- 1- Sıra tipi pompalı yakıt püskürtme sistemleri
- 2- Distribütör tipi pompalı yakıt püskürtme sistemleri
- 3- Tek pistonlu yakıt püskürtme sistemleri
- 4- Common - Rail yakıt püskürtme sistemi

2.3.1. Sıra Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri

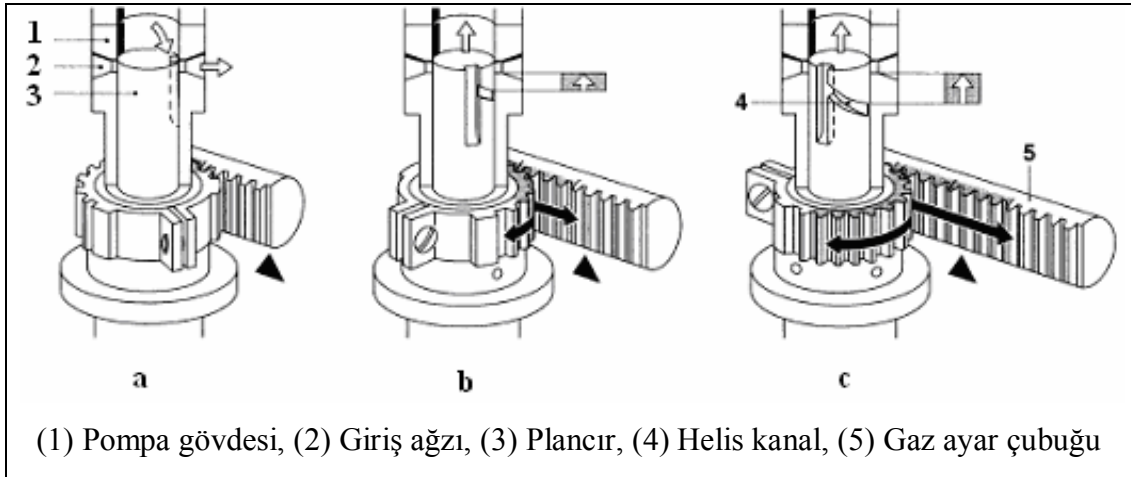
Bu sistemde bir depoda bulunan yakıt, besleme pompası yardımıyla filtreden geçirildikten sonra püskürtme pompasına gönderilir (Şekil 2.13). Yanma odasına gönderilecek yakıt miktarının ayarlanması ve püskürtme zamanlaması burada yapılarak yakıt enjektöre yüksek basınçla gönderilir.



Şekil 2.13. Sıra tipi pompalı püskürtme sistemi (Ejder, 2007).

Püskürtme pompaları, bir kam mili tarafından tahrik edilmektedir. Dört zamanlı motorlarda kam mili dönme sayısı, motor dönme sayısının yarısı kadardır. Bu sistemde her silindir için bir püskürtme pompası bulunmaktadır. Pompa elemanı gövde içerisinde sabit strokla hareket eden bir plancırdan (piston) oluşur. Plancırın üzerindeki odacığa yakıtın besleme ve geri dönüş boru bağlantıları açılmaktadır (Şekil 2.14). Plancır üzerine açılmış olan düşey ve helis şeklindeki kanallar yardımıyla, plancırın eksenine etrafında döndürülmesi sonucu pompanın etkin stroku değiştirilerek püskürtülen yakıt miktarı ayarlanmaktadır (Safgönül, 2008).

Püskürtme sonunda, püskürtme pompasının enjektöre giden yakıt borusu bağlantı kısmında bulunan basınç supabı kapanarak püskürtme işlemi bitirilmekte ve yakıt borusu içerisindeki yakıtın da geri dönmesi önlenmektedir. Böylece borudaki yakıt basıncının belirli bir değerin altına düşmesi önlenir. Sonuçta, enjektöre ulaşan yakıt buradan yanma odasına püskürtülür. Bu sistemde, yakıt püskürtme işleminin başlangıç zamanı sabit kalmakta, ancak yakıt miktarının ayarı için püskürtmenin bitiş zamanı (sevk sonu) değiştirilmektedir.



Şekil 2.14. Sıra tipli püskürtme pompasının çalışma prensibi; a) Yakıt gönderilmiyor, (b) Kısmi yükte çalışma, (c) Tam yükte çalışma (Safgönül, 2008).

Her sıra tipi yakıt püskürtme pompası, her bir silindir için bir iğne-gövde çiftine sahiptir. İsimden de anlaşılacağı gibi, bu çift, bir pompa gövdesi ve uygun iğneden oluşur. Pompa içine uydurulan ve motor tarafından tahrik edilen kam mili, iğneyi iletim yönünde zorlar. İğne, yayı tarafından geri döndürülür.

İğne-gövde çiftleri, hat içinde saptanır ve iğne stroku farklı olamaz. İletilen yakıt miktarıyla oynayabilmek için, iğne üzerine diyagonal kenarları helis olarak bilinen çentikler işlenmiştir. İğne, hareket edebilir kontrol kolu tarafından döndürüldüğünde, helisler, istenen etkin strok seçiminin gerçekleşmesini sağlarlar. Yakıt püskürtme koşullarına bağlı olarak, dağıtım valfları pompanın basınç odası ile yakıt püskürtme hattı üzerine monte edilir. Bunlar sadece püskürtme sürecini kesin bir şekilde sonlandırmakla ve memedeki ikincil püskürtmeyi (damlatma) engellemekle kalmaz, aynı zamanda benzer pompa karakteristik eğrilerine (pompa haritası) ulaşılmasını da sağlarlar (Safgönül, 2008).

Komple bir bütün olarak görüldüğünde sıra tipi pompalı yakıt püskürtme sistemleri şu birimlerden oluşur:

- 1- Püskürtme basıncı üretmek için püskürtme pompası,
- 2- Motor devir sayısını ayarlamak için mekanik devir sayısı regülatörü,
- 3- Püskürtme başlangıcının devir sayısına bağımlı düzenlenmesi için püskürtme regülatörü,
- 4- Yakıtın depodan emilerek püskürtme pompasının emme odasına basılması için mekanik besleme (sevk) pompası

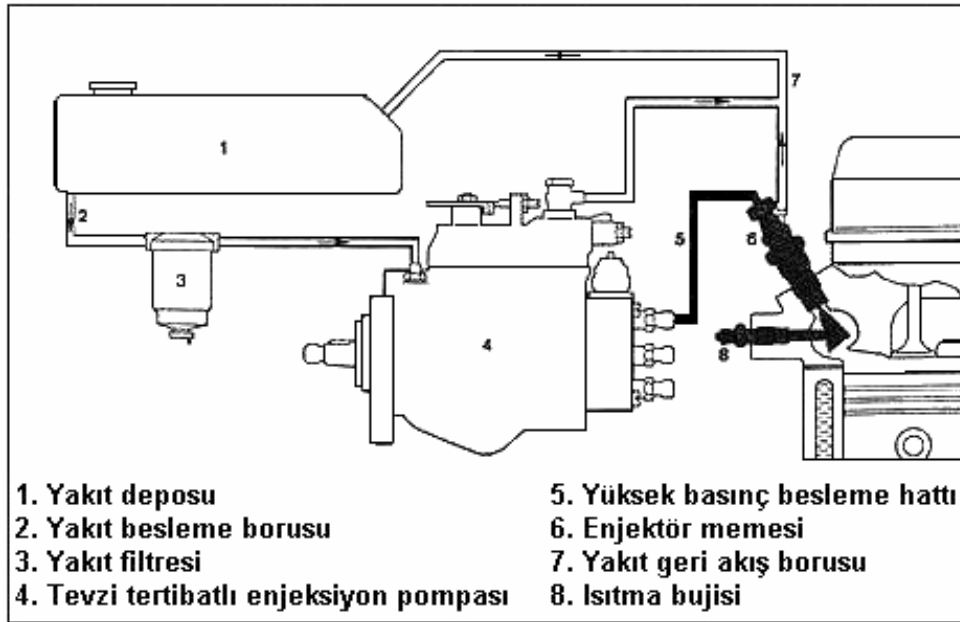
2.3.2. Distribütör Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri

Dağıtıcı tip pompalar genelde silindir başına strok hacmi 2 litreyi geçmeyen, çok silindirli, yüksek devirli dizel motorlarında kullanılabilir. Bu sistemde, miktarı ölçülerek pompa elemanına gönderilen yakıt belirli aralıklarla istenilen silindirdeki enjektöre pompalanır (Şekil 2.15). Pompalama işlemi tek bir eleman içerisinde dönmekte olan rotor yardımıyla gerçekleştirilir. Yakıt besleme ağzından giren yakıt basınç odacığına dolar ve rotorun belirli bir açı dönmesi sonucu, sıkıştırılarak dağıtım ağzının karşısına gelen çıkış deliğinden istenilen silindirdeki enjektöre gönderilir (Şekil 2.15). Enjektörler, püskürtme pompasından gelen yakıtı yüksek basınçla yanma odasına püskürtür. Yakıtın atomizasyonunun ve dolayısı ile karışım kalitesinin iyi olabilmesi için, püskürtme basıncının da yüksek olması

gerekir. Püskürtme basıncı, direkt püskürtmeli motorlarda 100 MPa, bölünmüş yanma odalı motorlarda ise 10-35 MPa değerlerine kadar çıkmaktadır.

Dağıtıcı enjektör pompalı bir yakıt sisteminde depoda bulunan elektrikli yakıt pompası, iki emme püskürtme pompasını çalıştırır. Bunlar deponun içindeki yakıt toplama bölümünü yakıtla doldurur. En küçük kir zerrelere dahil, pompaya zarar verebileceğinden, yakıt filtresi yakıtı dağıtıcı püskürtme pompasına ulaşmadan temizler. Dağıtıcı püskürtme pompası yakıt toplama ölümünden yakıtı emer ve püskürtme miktarını ayarlar. Yakıtın püskürtme memelerine dağılımı da dağıtıcı püskürtme pompası tarafından yapılmaktadır. İhtiyaç fazlası yakıt, pompa ve püskürtme memeleri vasıtasıyla geri dönüş kanalına oradan da depoya gider.

Püskürtme sistemi; her işletme kursunda, gerekli miktardaki yakıtı yüksek basınç altında ve tam olarak belirli bir krank mili pozisyonunda enjektör memesine sevkeder. Enjektör memesi de bu yakıtı toz haline getirerek yanma odasına püskürtür.



Şekil 2.15. Dağıtıcı püskürtme sistemi (Safgönül, 2008).

2.3.2.1. Püskürtme Miktarı

İyi bir egzoz gazı karakteristiği elde edebilmek için, püskürtülecek yakıt miktarı, tam yükte bile hava fazlalığı bulunacak şekilde dozlanmalıdır. Ayrıca püskürtülecek miktar öyle ayarlanmış olmalıdır ki, rölanti devir sayısının altına düşmemeli ve azami devir sayısı asılmamalıdır. Özel işletme koşullarına uygunluğunu sağlanabilmesi için, püskürtme sisteminde daha başka düzeltmeler gerekli olabilir.

2.3.2.2. Püskürtme Zamanı

Püskürtme zamanı motorun devir sayısı ve yüküne bağlıdır. Püskürtme anı, devir sayısına bağlı olarak, ana ateşleme ÜÖN aşıldıktan sonra gerçekleşecek şekilde değiştirilmelidir.

2.3.2.3. Püskürtme Süreci

Dizel prensibinde, ateşleme başladıktan sonra eşit basınçlı yanmanın alışırlır. Püskürtülecek yakıt miktarı, yanma basıncı mümkün olduğunca eşit kalacak şekilde, püskürtme zamanı üzerinden taksim edilmelidir. Her krank açısı da, basınçta önemli bir yükselme ve zararlı maddeler emisyonunda bir artış olmaksızın süresi içinde yanabilecek kadar yakıt püskürtülmelidir.

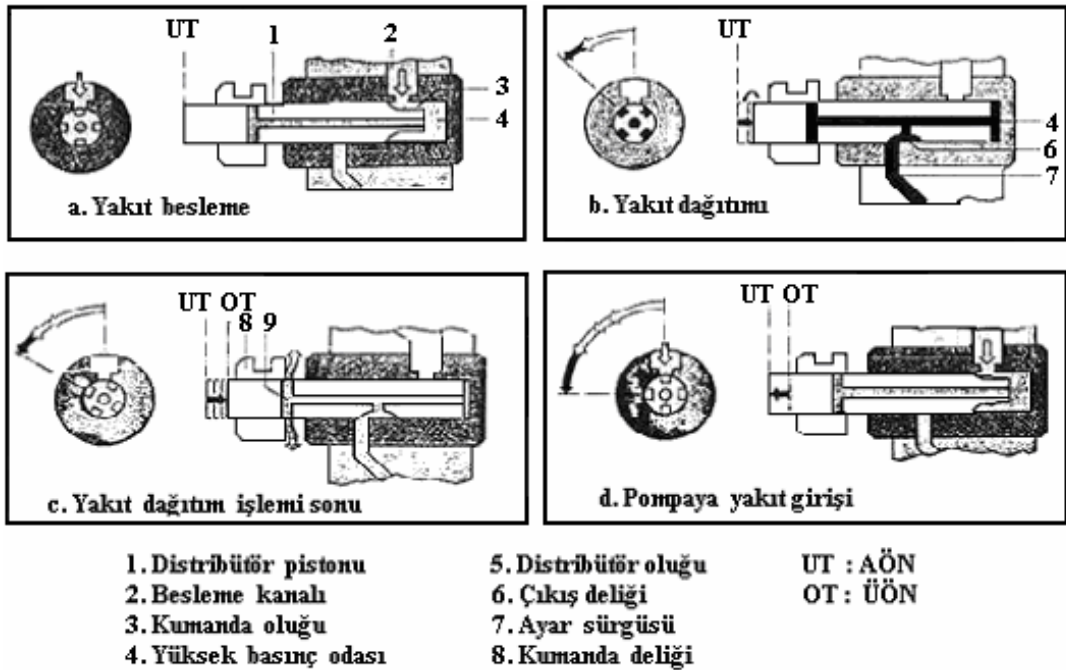
Özellikle binek otoları ve hafif kamyonlardaki küçük ve süratli dizel motorlarda, hafif ve fazla yer tutmayan püskürtme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Distribütör tipi püskürtme pompası; tahrik pompası, devir sayısı regülatörü ve püskürtme ayar aygıtını, küçük ve tek bir üniteye topladığından bu gerekleri yerine getirmektedir.

2.3.2.4. Distribütör Tipi Pompanın Çalışması

- a) Pompa giriş ağzı kapalı: AÖN'da yakıt, besleme kanalı ve bir kumanda oluşu üzerinden yüksek basınç odasına akar. (Şekil 2.16 a).
- b) Yakıt Dağıtımı: Kurs hareketi sırasında, distribütör pistonu besleme kanalını

kapatarak yüksek basınç odasındaki yakıtı basınç altına alır ve sıkıştırır. Dönme hareketi sırasında bir distribütör oluğu, motor silindirine ait olan çıkış deliğini açar ve enjektöre yakıt sevki başlar. (Şekil 2.16 b).

- c) Yakıt dağıtım işlemi sonu: Ayar sürgüsü kumanda deliğini açınca yakıt sevki sona erer. (Şekil 2.16 c).
- d) Pompaya Yakıt girişi: Pistonun AÖN'ya doğru olan geri hareketi sırasında, dönme kurs hareketi sonucu kumanda deliği kapanır. Yüksek basınç odası yeniden dolar. (Şekil 2.16 d).



Şekil 2.16. Distribütör tipi pompanın kurs ve besleme fazları (Safgönül, 2008).

2.3.2.5. Distribütör Tipi Pompa Çeşitleri

- 1- Eksenel Pistonlu Dağıtıcı Tip Pompa
- 2- Radyal Pistonlu Pompa
- 3- Amerikan Bosch PSB Distribütör Tip Yakıt Pompaları

2.3.2.5.1. Eksenel Pistonlu Dağıtıcı Tip Pompa

Eksenel pistonlu dağıtıcı tip pompalarda yakıt vana tipi bir pompa tarafından beslenir. Basınç üretimi ve silindirlere dağıtımı, bir dağıtıcı tabla üzerinde çalışan merkezi bir pistonun görevidir. Tahrik milinin bir turu için piston, motor silindirlerinin sayısı kadar strok yapar. Dairesel-geri dönüşlü hareket, iğneye, dağıtıcı tablanın alt tarafında bulunan ve segmanın makaralarının üzerinde çalışan kamalar tarafından iletilir.

Geleneksel, mekanik (denge ağırlığı) düzenleyicili veya elektronik kontrollü devindiricili ve eksenel pistonlu dağıtıcı tip pompalarda, etkin stroku ve dolayısıyla püskürtülen yakıt miktarını bir kontrol rakoru belirler. Pompa dağıtımının başlangıcı bir segman (zamanlama aygıtı) tarafından ayarlanabilir. Geleneksel solenoid valf kontrollü eksenel pistonlu dağıtıcı tip pompalarda püskürtülen yakıt miktarını, kontrol rakoru yerine, elektronik kontrollü yüksek basınç solenoid valfi kontrol eder. Açık ve kapalı çevrim kontrol sinyalleri iki ECU tarafından işlenir. Hız, devindiricinin uygun tetiklemeleri ile kontrol edilir (Ejder, 2007).

2.3.2.5.2. Radyal Pistonlu Pompa

Radyal pistonlu pompalarda yakıt, vana tipi bir pompa tarafından beslenir. Kama halkalı ve iki ile dört arasında radyal pistonu olan, radyal pistonlu pompa yüksek basınç üretimi ve yakıt dağıtımından sorumludur. Püskürtülen yakıt miktarı, bir yüksek basınç solenoid valfi tarafından ölçülür. Zamanlama aygıtı, dağıtımın başlangıcını ayarlamak için, kam halkasını döndürür. Solenoid valf kontrollü, eksenel pistonlu pompalarda olduğu gibi, bütün açık ve kapalı çevrim sinyaller iki adet ECU tarafından işlenir. Hız, devindiricinin uygun tetiklemeleri ile kontrol edilir (Ejder, 2007).

2.3.2.5.3. Amerikan Bosch PSB Distribütör Tip Yakıt Pompaları

Sabit kurslu, helis pistonlu, kontrol kovanlı, distribütör tip yakıt pompası olarak tanımlayabileceğimiz bu pompalar, Amerikan Bosch firması tarafından imal

edilmektedir. Amerikan Bosch PSB pompaların görevleri de diğer distribütör tip pompaların görevleri gibidir (Ejder, 2007). Bunlar şu şekildedir:

- Yakıtın basıncını yükseltir.
- Motorun gereksinmesine göre yakıtın miktarını ölçer.
- Yakıtı belli zaman başlangıç ve aralığında enjektörlere gönderir.
- Motorun ateşleme sırasına göre yakıtı enjektörlere gönderir.

PSB yakıtı pompasının parçaları üç ana kısımda incelenir:

- Gövde ve hareket veren kısım
- Hidrolik başlık
- Regülatör

PSB yakıt pompasının çalışmasını daha iyi anlayabilmek için bu çalışmayı, yakıtın basılması ve miktarının ölçülmesi olarak iki kısımda inceleyelim. Yakıt basma işlemi eleman pistonunun aşağı, yukarı hareketiyle yapılır.

Eleman pistonu alt noktada iken giriş deliğinden gelen besleme pompa basıncındaki yakıt silindire dolar. Yakıtın fazlası da geri dönüş deliğinden geri gider.

- a) Piston kam çıkıntısı etkisi ile yukarı doğru çıkarken giriş ve dönüş deliklerini kapatır, (basma başlangıcı) ve yakıtı sıkıştırmaya başlar.
- b) Sıkışan ve basıncı yükselen yakıt basma ventilini açarak basınç kanalına, oradan da piston üzerindeki dikey silota geçerek dağıtma kanalına ulaşır.
- c) Bu kanaldan da sırası gelen enjektöre gider. Piston yukarı doğru çıkarken, kursunun sonlarına doğru piston merkezindeki kanal kontrol kovanı tarafından açılır (basma sonu).
- d) Bu kanalın açılması ile silindire yakıt, kısa devre kanalına geçer. Silindirde basınç düşer ve basma ventilini yerine oturur. Böylece de yakıtın basılması sona erer.

Yakıt miktarının ölçülmesi için; eleman pistonu merkezinde bulunan kanal bir delikle dışarı açılır. Bu deliğin kapalı kalma zamanı değiştirilerek basılan yakıtın miktarı ölçülür (Ejder, 2007).

2.3.3. Tek Pistonlu Yakıt Püskürtme Sistemleri

2.3.3.1. Tek Pistonlu PF Pompalar

Tek pistonlu PF püskürtme pompaları; küçük motorlar, dizel lokomotifler, gemi motorları ve inşaat makinalarında kullanılır. Çalışma yöntemleri PE sıra tipi püskürtme pompaları gibi olsa da kendi kam milleri yoktur. Büyük motorlarda, bir mekanik-hidrolik düzenleyici veya bir elektronik kontrol düzeneği doğrudan motor bloğuna bağlanır. Düzenleyici (kontrol düzeneği) tarafından belirlenen yakıt miktarı düzenlemeleri, motora bütünleştirilen bir çatal tarafından aktarılır. Her bir PF tek pistonlu pompanın tahrik kamı, motor kam mili üzerine yerleştirilmiştir. Bu durum, püskürtme zamanlamasının, kam milinin döndürülmesi ile tamamlanmayacağı anlamına gelmektedir. Burada, bir ara eleman kullanılarak (kam mili ve tapet arasına bir rakor gibi), birçok farklı açı elde edilebilir. Tek pistonlu püskürtme pompaları viskoz ağır yağlarla kullanıma da uygundur (Ejder, 2007).

2.3.3.2. Birim Enjektör Sistemi (UIS)

Birim enjektör sisteminde, püskürtme pompası ve memesi bir birim oluştururlar. Bu birimlerden biri, her bir silindir için, motorun silindir kafasına monte edilir ve doğrudan bir tapet veya dolaylı olarak bir sübap iticisi boyunca motorun kam mili tarafından tahrik edilir. Sıra tipi ve dağıtıcı pompalar ile karşılaştırıldığında, yüksek basınç borularının çıkarılmasına bağlı olarak, oldukça yüksek basınçlara (2050 bara kadar) ulaşmak mümkün olmuştur. Bu yüksek püskürtme basınç değerlerinin, püskürtme süresinin (veya püskürtülen yakıt miktarı) elektronik harita tabanlı birleşmesi, uygun şekilli bir boşaltma oranı eğrisinin elde edilmesi ile birlikte, dizel motor toksik emisyonlarında önemli oranda bir azaltmayı olası kılmıştır. Elektronik kontrol kavramı, bir çok farklı ek işleve de izin verir (Ejder, 2007).

2.3.3.3. Birim Pompa Sistemi (UPS)

UPS birim pompa sisteminin çalışma ilkesi, UIS birim enjektörünkiyle aynıdır. Modüler bir yüksek basınç püskürtme sistemidir. UIS'e benzer olarak, UPS sistemlerde de, her bir motor silindiri için bir UPS tek pistonlu püskürtme pompası vardır. Her UP pompa motorun kam mili tarafından tahrik edilir. Meme kompleksine bağlantı pompa sistemi bileşenlerine tam olarak uygun olan kısa bir yüksek basınç dağıtım borusu tarafında sağlanır.

Püskürtmenin başlangıcının ve püskürtme süresinin (püskürtülen yakıt miktarının) elektronik harita tabanlı kontrolü, dizel motor toksik emisyonlarında kesin bir düşmeyi sağlar. Elektronik tetiklemeli yüksek hız solenoid valfinin kullanımı, her bir püskürtme sürecinin, boşaltma oranı eğrisi olarak da adlandırılan, özelliklerinin kesin olarak tanımlanmasını olanaklı kılar.

Rudolf Diesel yüksek basınç iletimlerini gözardı edebilmek ve böylece yüksek bir püskürtme pompasını ve enjektör memesini tek bir üniteye birleştirmeyi düşünmüştü. Ancak teknik imkanları bu fikirleri gerçekleştirmek için yetersizdi.

1950'li yıllardan beri dizel motorlar mekanik olarak kontrol edilen pompalı püskürtme sistemi ile birlikte ağır vasıta ve gemi motoru olarak kullanılmaktadır. İlk olarak Volkswagen, Robert Bosch AG ile birlikte binek taşıtlarda da kullanılan ve manyetik bir valf ile kumanda edilen bir pompalı püskürtme sistemli bir dizel motor geliştirdi. Bu motor, hem yüksek performans hem de çevreye minimum zarar konusundaki beklentileri karşılamaktadır ve Rudolf Diesel'in "benim motorlarımın egzozu zararsız ve gürültüsüzdür" vizyonunu gerçekleştirmek için atılan ilk adımdır. Pompalı püskürtme sistemli dizel motorun distribütör püskürtme pompalı dizel motora göre avantajları şunlardır (Ejder, 2007):

- 1- Düşük yanma gürültüsü,
- 2- Düşük egzoz emisyonu,
- 3- Düşük yakıt tüketimi,
- 4- Yüksek performans

Bu avantajlar şu şekillerde elde edilmektedir:

- 1- Maksimum 2050 bar'lık yüksek püskürtme basıncı,
- 2- Püskürtmenin kesin kontrolü,
- 3- Ön püskürtme

2.3.4. Common-Rail Yakıt Püskürtme Sistemleri

Dizel motorları püskürtme sistemleri çok önemlidir. Geçmişten günümüze sürekli değişim içerisinde ve yeni tasarımlar ile kendini yenilenmektedir. Günümüzde elektronik ve bilgisayar alanındaki hızlı gelişmeler püskürtme sistemlerinin gelişmesinde en büyük etkidir. Önceleri dizel motorlar sadece büyük taşıtlarda tercih edilirken, günümüzde binek taşıtlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu artış, beraberinde emisyon problemini beraberinde getirmiştir. Püskürtme sistemlerindeki gelişmeler ile bu ve benzeri problemler hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. Dağıtıcı püskürtme sistemlerinde 1500 bar gibi yüksek basınçla yakıtın püskürtülmesi, pompalı püskürtme sistemi ve Common-Rail sisteminin gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Pompalı püskürtme sistemlerinde; maksimum 2050 bar'lık yüksek püskürtme basıncı, püskürtmenin kesin kontrolü ve ön püskürtme ile önceki püskürtme sistemlerine göre düşük yanma gürültüsü, düşük egzoz emisyonu, düşük yakıt tüketimi ve yüksek performans gibi avantajlara sahip olmuştur.

Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık 900 bar'lık basınç ile çalışırken, Common-Rail sistemi, yakıtı ortalama 2000 bar'a kadar yükselen bir basınç ile ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtmakta ve 2000 bar ile püskürtülmektedir. Common-Rail sisteminde yüksek basınç üretimi ve püskürtme miktarı ayarı, ayrı iki kısımda bulunmaktadır. Püskürtme basıncının tanıtma alanında neredeyse tamamen seçilebilme olanağı vardır. Düşük devir ve kısmi yük altında da üretilen yüksek basınç ön, ana ve tamamlama püskürtmeleri yaparak, püskürtme başlangıcının esnek olmasına imkan sağlar. Püskürtme olanaklarının tamamen esnek olması; dizel yakıt işleminin en yüksek performansı göstermesini, egzoz gazı ve

gürültü emisyonlarının düşük olmasını, motor momenti ve gücün artmasını, yakıt tüketiminin azalmasını ve taşıtın sürüş konforunun artmasını sağlamaktadır.

Bunun dışında Common-Rail dizel teknolojisindeki diğer gelişmelerden farklı olarak mevcut motor konseptlerine kolayca entegre olmayı mümkün kıldığı için diğer püskürtme sistemlerine yeni bir seçenek getirmektedir.

Common-Rail, dizel motorlar için üretilmiş olan yüksek basınçlı bir püskürtme sistemidir. Bu sistemi diğerlerinden farklılaştıran esas unsur, basınç oluşturma işlemi ile püskürtme işleminin birbirlerinden ayrılmış olmasıdır. Motor tarafından direkt olarak tahrik edilen ve kesintisiz olarak çalışan bu yüksek basınç pompası, basınç haznesinde istenen basıncı oluşturmaktadır. Yakıt, bu basınçla çalışan hızlı tetiklemeli solenoid valfli enjektörler üzerinden doğrudan yanma odasına püskürtülmektedir. Sistem, bu avantajı sayesinde, çok çeşitli motor tasarımlarına uyarlanabilmektedir (Ejder, 2007).

2.3.4.1. Common-Rail Sisteminin Temel Özellikleri

- a) Yüksek püskürtme basıncı (2000 bar değerine ulaşan),
- b) Püskürtme basıncının, motorun bütün çalışma koşulları altında 150 ile 2000 bar değerleri arasında değiştirilebilmesinin mümkün olması,
- c) Hem püskürtme avansı, hem de püskürtme süresi açısından, püskürtmeyi tam olarak kumanda edilmesi,
- d) Üst ölü noktadan önce, motor devrine ve yüküne bağlı olarak kumanda edilen pilot püskürtme (ön püskürtme) sayesinde, yanma odasındaki basıncın azaltılması sağlanır ve ses seviyesinde azalma görülür.

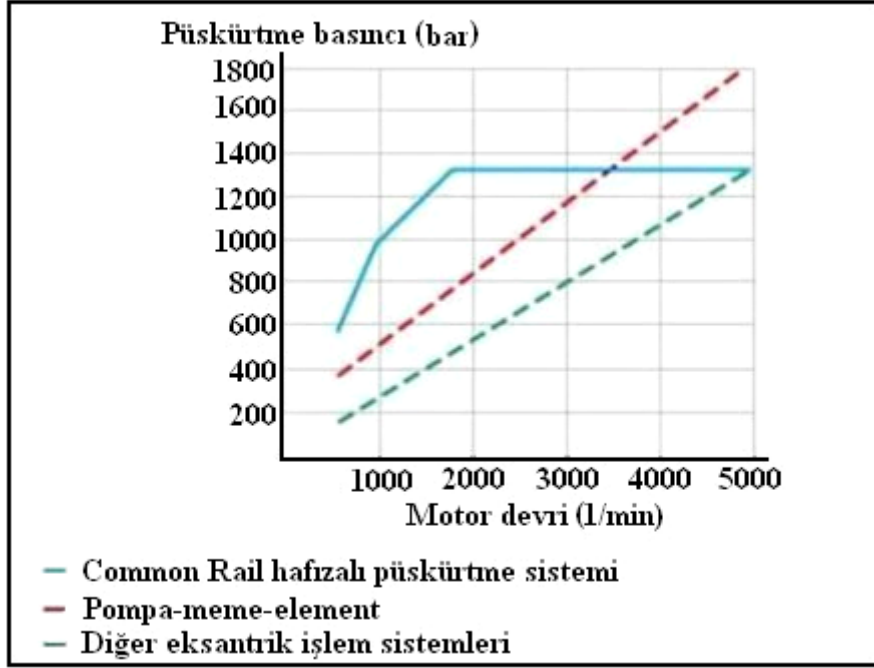
2.3.4.2. Common-Rail Sisteminin Avantajları

- a) Hava-yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir,
- b) Püskürtme basıncı, geniş limitler içerisinde serbestçe seçilebilir,
- c) Yakıt püskürtmesinin başlangıcı ve enjekte edilen yakıt miktarı da serbestçe belirlenebilir,

- d) Çalışma koşullarının değiştiği durumlarda ve özellikle de soğukta daha esnektir,
- e) Çalışması için daha az motor gücüne ihtiyaç duyulur,
- f) Daha basit bir sistemdir,
- g) Düşük maliyet ile daha iyi performans sağlar,
- h) Motor momentinin ve motor gücünün artırır,
- i) Yakıt tüketiminin azaltır,
- j) Kirliliğe sebep olan emisyonların azalmasını sağlar,
- k) Motordan gelen toplam sesin azaltır,
- l) Taşıtın sürüş konforunun iyileştirir.

2.3.4.3. Püskürtme Sistemlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılmaları

Common Rail, ortak boru anlamına gelen, dizel motorlarda kullanılan bir yakıt püskürtme sistemidir. Bugüne kadar kullanılan aynı türdeki sistemlere göre yakıt tüketimi, egzoz gazı emisyonu, çalışma sistemi ve gürültü oluşumunda daha üstün bir sistemdir. Direkt tahrik edilen blok veya tek pompalı sistemlerden farklı olarak Common-Rail'de basınç oluşumu ve püskürtme ayrılmaktadır. Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık 900 bar'lık basınç ile çalışırken, Common-Rail sistemi, yakıtı 2000 bar'a kadar yükselen bir basınç ile ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtır. Elektronik motor kumandası, bu yüksek basıncı, motorun devir sayısına ve yüküne bağlı olarak ayarlar (Ejder, 2007). Şekil 2.17'de Common-Rail sisteminin diğer sistemlerle karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.17. Common-Rail sistemin diğer sistemlerle karşılaştırılması (Buruk, 2008).

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

3.1. DİZEL YAKIT VE ÖZELLİKLERİ

Dizel yakıtlar kaynama noktaları 150 ila 380°C arasında değişen hidrokarbon karışımlarıdır ve ham petrolün damıtımıyla elde edilirler. Rafineriler farklı oranlardaki benzin, dizel yakıt ve diğer petrol ürünlerinde uygun ürün özelliklerini elde etmek ve market ihtiyacını karşılamak için petrol ana ürün ve yan ürünlerini karıştırmaktadır. Atmosferik basınçta çalışan ilk damıtım ünitesinde parametreler azami damıtım sağlamak için ayarlanmıştır. Elde edilen akışkanın kalitesi ve miktarı kullanılan ham petrolün kimyasal bileşimine bağlıdır. Parafinli (alkan), naftensel (sikloalkan) ve aromatik hidrokarbonlar gibi farklı hidrokarbon tiplerinden oluşan ham petrolerden farklı özelliklere (setan sayısı, enerji içeriği, buharlaşma noktası, kükürt içeriği gibi) sahip dizel yakıtlar üretilir. Rafineriler aynı zamanda özel marketler için genel ürün taleplerinden farklı oranlarda gaz, benzin ve ara ürün yakıt elde edebilirler. Rafineri üretim şekliyle market ihtiyacını dengelemenin tek yolu downstream değişim işlemleridir. Bu işlemlerde büyük moleküller ısı, basınç ya da katalizörler uygulanarak daha küçük moleküllere parçalanırlar. Rafinerilerin birçoğu hidrokarbonların istenmeyen ağır kısımlarının kırılarak daha hafif hidrokarbonlara dönüştürüldüğü vakumda damıtma, ısıl kraking, katalitik kraking ve hidrokraking gibi değişim ünitelerine sahiptirler.

Yüksek oranda parafinli hidrokarbonlar düşük sıcaklık özelliklerini karşılamada problem çıkarsa da yakıtın iyi tutuşma özelliğine sahip olmasını sağlar. Kraking işlemleri daha düşük parafin içeren karışımlar verir fakat katalitik ve ısıl krakingden sonra tutuşma kalitesi düşer.

Yakıtın kimyasal kompozisyonu, motor performansı ve emisyonlarını önemli oranda etkilemektedir. Yakıt ne kadar fazla parafin hidrokarbonları ihtiva ederse, setan sayısı o kadar yüksek olur, tutuşma gecikme süresi kısalır, motorun çalışması daha düzenli ve sarsıntısız oluşur. Yakıtın uçuculuğu, yüzey gerilmesi ve viskozitesi gibi fiziksel karakterler aynı zamanda yanma prosesine tesir eder. Yakıtın viskozitesi ve yüzey gerilimi, atomizasyonun iyiliğini, yakıtın uçuculuğu ise yanıcı karışımın oluşum hızını etkiler.

Yakıtın bileşiminde bulunan hidrokarbonlar, gerek tek ve gerekse grup halinde yanma olayını önemli derecede yönlendirir. Yakıttaki parafinik hidrokarbonların miktarı arttıkça yakıtın setan sayısı da artar. Dolayısıyla tutuşma gecikme süresi azalır ve motor daha yumuşak çalışır. Yakıtın setan sayısı yanında viskozitesi, yüzey gerilimi ve uçuculuk gibi fiziksel özellikleri de yanma olayını etkiler. Viskozite ve yüzey gerilimi parçalanmanın derecesini, uçuculuk ise karışımın oluşumunu biçimlendirir. Özellikle setan sayısı düşük olan yakıtlar içine anil nitrat gibi katkıları katılırsa tutuşma gecikme süresi kısalır ve motorun yumuşak çalışması sağlanır.

Yanma odasına enjekte edilen yakıtın motor performansına ve emisyon değerlerine tesir eden bazı özellikleri aşağıda belirtilmektedir. Dizel motorlarda kullanılan yakıt motorindir. Motorin, ham petrolün 200-380 °C arasında damıtılmasından elde edilir. Mazot ve motorin farklı yakıtlardır. Motorin yüksek devirli dizel motorlarında kullanılan, alt ısı değeri mazota göre daha fazla, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm³ civarında olan ve ham petrolü 1.kuledeki damıtılması sırasında elde edilen bir yakıttır (Ejder, 2007).

Dizel motorlarında yakıt püskürtme sistemlerinin uzun ömürlü olmasının ve iyi bir yanma temin edilmesinin, yakıtın cinsi ve durumuyla çok yakından ilgisi vardır. Bu nedenle dizel yakıtının bazı özellikleri olmalıdır.

- Dizel Yakıtlarının Fiziksel Özellikleri
 - 1- Viskozite (akıcılık derecesi)
 - 2- Özgül ağırlık
 - 3- Uçuculuk noktası
 - 4- Parlama noktası
 - 5- Donma noktası
 - 6- Su ve tortu miktarı
 - 7- Buharlaşma noktası
 - 8- Düşük sıcaklıkta davranışı

- Dizel Yakıtlarının Kimyasal Özellikleri
 - 1- Ateşleme noktası
 - 2- Kükürt miktarı
 - 3- Kül miktarı
 - 4- Karbon artığı
 - 5- Setan indisi
 - 6- Setan Sayısı
 - 7- Aromatik Yüzdesi

3.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri

3.1.1.1. Viskozite (Akıcılık Derecesi)

Sıvıların akmaya karşı direncini ifade eden bir ölçüdür. Sıvıların bu özelliğini ölçmede kullanılan cihaz, saybolt viskozimetresidir.

Bir yakıtın saybolt viskozimetresi; viskozimetreye konulan 70 cm³ yakıtın 60 cm³ ünün kabın dibindeki belli çapta delikten akması için geçen zaman (saniye) olarak tarif edilir. Burada yakıtın akması için gereken zaman uzadıkça viskozite yüksek yani yakıt kalın, zaman kısaldıkça viskozite düşük yani yakıt incedir. Viskozite daima ölçüldüğü sıcaklıkla ifade edilir. Örneğin dizel motorlarda kullanılan yakıtların viskoziteleri 100 °F (~ 40 °C) de 35-70 s.u.s. (saybolt universal saniye) arasındadır.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskoziteleri, aynı zamanda yakıt sisteminde yağlayıcıları yüksek, fakat enjektörün küçük deliklerinden püskürtülerek kalay parçalanmalarını temin etmek için de düşük olmalıdır. Birbirine zıt olan bu iki istek, her ikisinin de uygun olarak karşılandığı viskozitenin seçimi ile karşılanır.

Bir yakıtın viskozitesi onun akmaya karşı direncini ifade eder. Viskozite yükseldikçe akma direnci de artar. Bir yakıtın dinamik (mutlak) viskozitesi (Pa.s) birbiri üzerinde kayan akışkanların kendi hareketleri arasında oluşan direncidir. Kinematik viskozite ise bir akışkanın dinamik viskozitesinin, göz önüne alınan sıcaklıkta yoğunluğuna oranıdır.

Dizel yakıt akışmazlığı enjekte edilecek yakıtın çok küçük miktarlarını doğru şekilde ölçmek zorunda olan yakıt püskürtme ekipmanlarının çalışması için önemlidir. Sıcaklık arttıkça akışmazlık azaldığından maksimum ve minimum akışmazlık değerleri arasındaki tolerans bölgesi mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

Düşük sıcaklıkta yüksek akışmazlık yakıtın akmasını zorlaştırarak ölçme odasının yeteri kadar yakıtla dolmamasına sebebiyet verebilir. Ayrıca yüksek akışmazlık küçük açıklıklarda oluşan kuvvetler tarafından açığa çıkan ısıya bağlı olarak pompa bozulmasına yol açabilir. Öte yandan düşük bir akışmazlık da özellikle düşük hızlarda pompalama elemanından yakıt sızıntısını önemli oranda arttırır. Böyle bir durumla motorun yüksek yükte çalışmasını takiben kısa süreli kapatılmasından sonra sıcak çalıştırılmaya kalkışılması sonucunda karşılaşılabılır. Zaten sıcak olan yakıt püskürtme ekipmanının sıcaklığının daha da yükselmesi akışkanlığın iyice düşmesine ve yakıt sistemi soğuyuncaya kadar yakıt sızıntısının yeniden çalışmayı imkansızlaştırmasına sebep olur (Ejder, 2007).

3.1.1.2. Özgül Ağırlık

Belli hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına o yakıtın özgül ağırlığı denir. Yani birim hacminin ağırlığıdır. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler.

Yakıtın yoğunluğu, partikül ve NOx emisyonlarının oluşmasında en önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Özellikle geçiş şartlarında yapılan deneylerde bu etki daha net görülmektedir. Yoğunluğun fiziksel etkisi detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının daha fazla miktarda yakıtın püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak da dinamik zamanlamanın değiştiği söylenebilir.

Yanma odasına fazla miktarda enjekte edilen yakıt, yani oluşturulan zengin karışım, yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresini azaltmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarı, püskürtme hızını değil de püskürtme süresini değiştirmek suretiyle değiştirildiği takdirde, kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt gönderilerek, yanmanın ikinci safhasında dp/dt oranı azalma gösterecektir.

Dizel motorlarındaki güç artışı silindire gönderilen yakıt yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda arzu edilen homojen bir karışım sağlanamadığından yanma sonucunda karbon birikintileri fazla olur ve egzozdaki duman miktarı artarak isli bir görüntü verir.

Yakıtın özgül ağırlığı elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişir. Özgül ağırlığı (kg/L) olarak ifade edilir. Dizel yakıtların özgül ağırlığı 60 °F (15,5 °C) 0,835 ile 0,934 arasındadır (Ejder, 2007).

3.1.1.3. Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına "uçuculuk noktası" denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı ile ifade edilir. Şöyle ki; bir yakıt damıtım sıcaklığına kadar ısıtılsa miktarının %90'ı buhar haline geçebilmelidir.

Uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar bilhassa küçük dizel motorlarında egzoz sıcaklığını, yakıt tüketimini ve dumanı azaltır. Emisyon değerini düşürür.

Dizel yakıtların uçuculuk özellikleri standart bir aparatta kontrollü ısıtmayla yakıttan

alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlıdır ve bu nedenle akışmazlık, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkiler.

Yakıt örneği damıtma aparatına yerleştirilir ve ısıtılır. Sıcaklık yükseldikçe oluşan buhar yoğunlaştırılır ve akışkanın ilk hacminin yüzdeleriyle derecelendirilmiş bir silindirde toplanır (Ejder, 2007).

Damıtma sırasında kaydedilen bilgi şunları içerir:

- a) İlk kaynama noktası (Ibp)
- b) Son nokta (EP) ya da son kaynama noktası (FBP)
- c) Yoğuşturulmuş sıvı yüzdesi
- d) Uçucu olmayan içerik yüzdesi

3.1.1.4. Parlama Noktası

Bu iş için yakıtlar, içinde termometre olan bir kaba konur ve alttan ısıtılır. Her 5 °C derecelik ısınmada üzerine bir alev tutulur ve çekilir. Yakıt belli bir sıcaklığa geldiğinde üst kısmında parlama olur ve söner (sürekli yanmaz). Bu sıcaklık, yakıt içindeki ürünlerin buharlaşmaya başladığı sıcaklık derecesidir.

Parlama noktasının dizel yakıtlarında depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65-150 °C arasında olmalı ve 36 °C'nin altına düşmemelidir.

Parlama noktası yanıcı bir akışkanın bir kıvılcımla tutuşabilecek buhar/hava karışımını oluşturabilecek kadar buhar yaydığı sıcaklıktır. Parlama noktası ASTM D93 ya da ISO 2719 gibi standart test metotları kullanılarak standartlaşmış bir aparatta ölçülmektedir.

Parlama noktası birincil olarak ürünün güvenli kullanılması için önemlidir. Eğer çok düşükse yangın çıkma tehlikesi vardır. Bu nedenle parlama noktasının zorunlu en düşük sınırları hükümet acenteleri ve sigorta şirketlerince belirlenmektedir. Otomotiv dizel yakıtları için tipik minimum değerler A.B.D.'de 38 °C ile bazı Avrupa ülkelerinde 56 °C arasında değişmektedir.

Bir dizel yakıtın parlama noktası motor performansı için önemli değildir. Parlama noktasındaki değişiklikler kendiliğinden tutuşma sıcaklığını ya da diğer yanma özelliklerini etkilemez (Ejder, 2007).

3.1.1.5. Donma Noktası

Yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetidir. Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşünce donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akışına engel olur. Bu nedenle yakıtların donma noktası bölgenin dış hava sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olmalıdır (Ejder, 2007).

3.1.1.6. Su ve Tortu Miktarı

Yakıt içindeki su ve tortu, yakıt pompası ve enjektörlerde aşıntı ve paslanmaya yol açar. Normalden fazla su, yakıtın yanması kötü yönde etkiler. Yakıtın içerisindeki su ve tortu miktarı %0,5'ten fazla olmamalıdır (Ejder, 2007).

3.1.1.7. Buharlaşma Noktası

Bir yakıtın buharlaşma noktası arıtma özelliklerinden de etkilenir. Bu yüzden maksimum %90 arıtma noktası Kanada gibi kışları çok soğuk geçen bir ülkede 315 °C ile sınırlıyken tropikal yerlerde bu sıcaklık 379 °C' ye kadar yükselmektedir (Ejder, 2007).

3.1.1.8. Düşük Sıcaklık Davranışı

Dizel yakıtların çoğu önemli oranda parafinli bileşene sahiptir. Düşük sıcaklıklarda parafin kristallerinin (wax) oluşturduğu çökelti yakıt filtresinin tıkanmasına ve yakıt beslemesinin kesilmesine yol açabilir. Yakıtın özelliklerine bağlı olarak parafin çökmesi 0 °C' de gerçekleşebileceği gibi çok erken başlayabilir. Bu nedenle kışın kullanılacak dizel yakıtların sorun çıkarmaması için özel olarak seçilmesi ya da işlem görmesi gerekir (Ejder, 2007).

Dizel yakıtların düşük sıcaklıktaki davranışlarını belirlemede kullanılan bazı özellikler şunlardır:

- a) Cloud point (CP), yakıt donma noktasına geldiğinde kristallenmenin görülmediği sıcaklık değeridir. (ASTM D2500).
- b) Pour point, yakıtta kristallenmenin yeni başlayarak yakıtın yapısının değişime uğradığı sıcaklık değeridir.(ASTM D97).
- c) Filtrenin tıkanma noktası(CFPP), yakıtın akışkanlığının filtrede tıkanma yaptığı sıcaklık değeridir. (European standard EN116:1981).

Rafineride yakıtlara genellikle akışkanlık arttırıcı maddeler eklenir. Bu maddeler parafin çökmesini engellemezken kristal büyümesini kısıtlar. Kristaller filtrenin deliklerinden geçebilecek kadar küçük kalırlar. Böylece süzme işlemi düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir.

Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökmesini önleyici katkı maddeleriyle daha da yükseltilebilir. Bugün mevcut olan kışlık dizel yakıtlar -22 °C' den başlayan düşük sıcaklık direncini garanti edebilecek düzeydedir. Başka iki yol da filtreyi ısıtmak ve dizel yakıtta petrol ürünleri eklemektir. Düzenli benzin ilavesi de çökmeyi geciktirebilir. Ancak, benzinin setan sayısı çok düşük olduğundan tutuşma kalitesi azalır ve parlama noktası önemli oranda düşer (Ejder, 2007).

3.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri

3.1.2.1. Ateşleme Noktası

Dizel yakıtların silindir içerisindeki şartlarda kendi kendine ateş alma kabiliyetine ateşleme noktası denir. Ateşleme noktası iyi olan yakıt düşük sıcaklıklarda yanar. Böylece motor çabuk çalışır, az duman yapar ve vuruntu azalır.

Ateşleme noktası yakıtlarda setan sayısı ve dizel endeksi ile ifade edilir. Setan sayısı, dizel yakıtının, kendi kendine tutuşması kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Benzinlerdeki oktan sayısı gibi CFR motorunda fakat ayrı bir metodla (f5 metodu ile) saptanır.

Setan sayısı ile oktan sayısının özellikleri tamamen birbirine zıttı. Şöyle ki; Oktan sayısı yükseldikçe benzinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti azalır. Buna karşın setan sayısı yükseldikçe motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar.

CFR motorunda özel bir düzenle sıkıştırma oranı değiştirilebilmektedir. Setan sayısı saptanırken kullanılan deney yakıtları ise setan ve Alfametil-Naftalindir. Setan'a tutuşma kabiliyeti çok yüksek olduğundan, yani tutuşma gecikmesi az olduğundan 100 değerlik verilmiştir. Alfametil-Naftalin ise tutuşma kabiliyeti çok düşük olduğundan, yani tutuşma gecikmesi fazla olduğundan (0) değerlik verilmiştir.

Yakıtın setan sayısı düşük olursa, motorun ilk hareketi zorlaşır ve motorda vuruntu oluşur. Setan sayısı fazla olursa da gecikme süresi çok kısılacığından püskürtülen yakıt fazla uzağa gidemeden yani tamamen buharlaşmadan tutuşur.

Enjektör memesi fazla ısınarak yakıtta kraking yapar ve bu nedenle yanma odasında karbonlaşma oluşur. Yanma kötüleşir ve emisyonlar artar. Bu nedenlerden olayı setan sayısı 45-60 arasında olmalıdır (Ejder, 2007).

3.1.2.2. Kükürt Miktarı

Yakıtın en önemli özelliklerinden biriside içindeki kükürt miktarıdır. Ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışan kükürt, yanma zamanında oksijenle birleşerek kükürtdioksit (SO₂) veya biraz daha oksijen bulmak sureti ile kükürttrioksit (SO₃) oluşturur. Bu gazlardan SO₂ pek tehlikeli değilse de SO₃ gazı yanma artıklarından olan su buharı (H₂O) ile birleşerek sülfirik asit (H₂SO₄) oluşur.



Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfirik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürt temizlenebilir. Fakat maliyeti arttıracığından %1'e kadar kükürte müsaade edilir (Ejder, 2007).

3.1.2.3. Kül Miktarı

Bu özellik yanma sonunda yakıtın bıraktığı artıkları (külleri) ifade eder. Karbon ve hidrojen bileşiklerinden oluşan yakıtlar aslında hiç kül bırakmamalıdır.

Yanma sonunda motorda zımpara tozu gibi aşındırıcı etki yapan küller, yakıt içinde yabancı madde olarak bulunan madeni tuzlardan oluşur. Yakıtın kül bırakma oranı %0,01 den fazla olmamalıdır (Ejder, 2007).

3.1.2.4. Karbon Artıkları

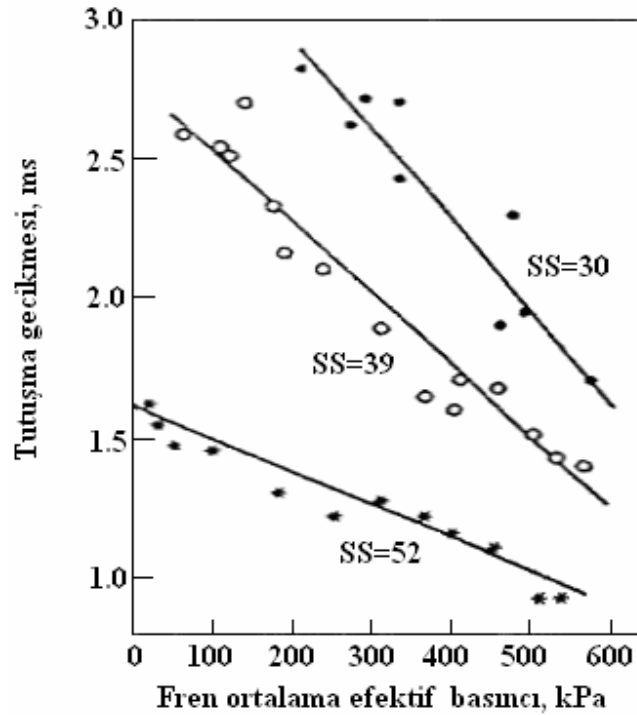
Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı yüzdesi fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya iştirak etmez ve iş yapar. Bu da enjektör memelerinin karbon bağlamasına ve meme deliklerinin tıkanmasına neden olur (Ejder, 2007).

3.1.2.5. Setan İndisi

CFR motor yöntemiyle belirlenen setan sayısının doğruluğu düşüktür ve bu yöntem kesinlikle uygun bir test motor standı kullanmayı gerektirmektedir. Bu nedenle setan indisi denilen ve yakıtın yoğunluk ve uçuculuk özellikleri kullanılarak hesaplanan bir değer setan sayısının yaklaşık değeri olarak sunulmuştur. Günümüzde bu değer dizel tutuşma kalitesinin görüntülenmesinde ve kontrolünde sıkça kullanılmaktadır. Setan indisi artık yakıt kalitesini kontrol etmek ve katkı maddeleriyle setan sayısı gelişiminin limitini belirlemek üzere ek bir test olarak dizel nitelikleri arasına katılmıştır. Örneğin, EN 590:1993 standardının otomotiv dizel yakıtı için belirttiği maksimum setan sayısı 49, minimum setan indisi ise 46'dır (Ejder, 2007).

3.1.2.6. Setan Sayısı

Dizel motorunda aynı şartlarla aynı vuruntu şiddetini veren metil naftalin + setan karışımındaki setan yüzdesine setan sayısı denmektedir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi setan sayısı dizel yakıtının ateşleme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder (Ejder, 2007).



Şekil 3.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi (Ejder, 2007).

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın sağlanabilmesi için daha az süre olması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılamaması nedeniyle yanma hızı da azalır.

Setan sayısı, dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine etki eder. Setan sayısının yüksek olması motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından, yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir.

Setan sayısı, yüksek hızlı dizel motorlarında 45-50'dir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti, Alman DIN 51601 standart değerine göre, dizel yakıtı için setan sayısı 45'den daha aşağı değildir.

Yakıtın motor silindirine enjekte edildiğinde tutuşmaya yatkınlığı setan sayısı ile belirtilir. Sayı büyüdükçe tutuşma kolaylaşır. Çok yüksek tutuşma kalitesine sahip olan n-setan (n-C₁₆H₃₄) hidrokarbonunun setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Referans olarak kullanılan diğer hidrokarbon ise 15 setan sayısı ile heptamethyl nonane'dir. Bir yakıtın setan sayısı bu yakıtın tutuşma kalitesinin standart bir motor testinde referans yakıtla karşılaştırılmasıyla bulunur. En çok kullanılan yöntem ASTM D613 olarak da bilinen CFR Setan Motorudur. Bir yakıtın tutuşma kalitesi referans olarak kullanılan iki yakıtın (setan ve heptamethylnonane) karışımınıninkine eşit olduğunda bu yakıtın setan sayısı şu denklem yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Setan sayısı} = \%n\text{-setan} + 0.15 (\% \text{heptamethyl nonane}) \quad [3.2]$$

Dizel yakıtların minimum setan sayısı A.B.D.'de 40, Japonya ve Almanya'da ise 45'tir. Modern motorların optimum çalışmaları için (sessiz çalışma, düşük partikül emisyonları) 50 civarındaki daha yüksek setan sayılarına bile ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek parafin oranı setan sayısını yükseltir. Kramik uygulanmış yakıt

bileşenlerinde bulunan aromatik tipinin yüksek oranları ise tutuşma kalitesini ve setan sayısını düşürür.

Setan sayısı yakıt katkı maddeleriyle de yükseltilebilir. %0,05 ila %0,20 oranında yada daha fazla kullanılan 2-ethylexyl nitrate (2 EHN) iyi performans gösterdiğinden ve maliyeti düşük olduğundan evrensel setan sayısı arttırıcı haline gelmiştir. Literatürde Setan sayısı artışının 2-EHN yüzdesine göre hesaplanmasını sağlayan bağıntılar yer almaktadır (Ejder, 2007).

3.1.2.7. Aromatik Yüzdesi

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatiklerdir. Dolayısıyla birim hacim başına en yüksek alt ısıl değere sahip olduğundan isli yanarlar. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonucu oluşan karbon birikintilerinin çokluğu sebebiyle özellikle supap sapı ve tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşarak yanma odası hacminin azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içerisinde çok fazla miktarda biriken artıklar yüzünden yanma verimi azalarak performans değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu yüzden özellikle jet yakıtlarında aromatik ağırlığının %25'den fazla bulunmaları arzu edilmez.

Dizel yakıtı içerisindeki aromatik bileşenin oranının düşürülmesi, HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır (Ejder, 2007).

3.2. BİYODİZEL YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

3.2.1. Biyodizel

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır (Karaosmanoğlu, 2002). Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biyodizel yakıt üretiminde faydalanılır. Biyodizel saf olarak kullanılabilceği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtla karıştırılarak da kullanılabilir. Sebze yağlarının

yakıt olarak kullanılabilmesini ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı yağıyla dizel motoru çalıştırarak göstermiştir. Fakat petrol hazır bir sektör olduğu için yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur. İkinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır (Vermeersch, 2000). Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soydizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir (Conneman, 2000).

İçinde yaşadığımız dönem klasik bir deyimle, konvansiyonel olarak bilinen kullanımdaki enerji kaynaklarının riskinin arttığı bir sürecin başlangıcıdır. Bu risk birçok faktörü içerir. Birincisi, klasik enerji kaynaklarının birçoğu hesaplanan yaklaşık bir süre sonunda tükenecektir. İkincisi, bu tür kaynaklar çevre için büyük ve geri dönüşümü olmayan tehlikeler yaymaktadır. Üçüncüsü, klasik enerji kaynaklarının artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kalmasıdır. Dördüncüsü ve en önemlisi, gelişmiş ülkeler enerji çeşitliliğini artırmakta, yaymakta ve belli enerji kaynağı türlerine büyük oranlarda bağımlı olmamaya çalışmaktadır. Türkiye gibi geçmişte petrol, günümüzde petrol ve doğalgaz, gelecekte ise doğalgaz bağımlısı olacak bir ülkenin bugünü ve geleceği açısından bu felsefenin önemi daha da artmaktadır (Arslan, 2007).

Çağımızda yeni veya yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artmakta, bir kısmı ekonomik alternatiflik açısından değer kazanmakta, bir kısmı üzerinde ekonomik analizler yapılmakta ve her gün başka enerji kaynakları ortaya çıkmaktadır. Bu kaynakların neredeyse tamamının ortak yönü çevreye kısa ve uzun vadede olumsuz etki oluşturmamasıdır.

Biyodizel yakıtlar bu kapsamda en yeniler arasındadır. 1992 yılında pazar piyasasına sunulan biyodizel enerji kaynağı önemli bir sektör oluşturma aşamasında çok hızlı bir potansiyel kazanmaktadır. Bunun nedenleri;

- 1- Dizel yakıt yerine doğrudan kullanılabilmesi,
- 2- Dizele yakın bir yakıt verimi olması,
- 3- Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilebilir olması,

- 4- Enerji tarımı için işgücü ve ekonomik sektör oluşturması,
- 5- Çevreci olmasıdır.

Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırılmalı (dizel) motorlarda kullanılabilir. Motorinle belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bu oran; ekonomi, gaz emisyonu, yanma özelliği gibi birçok faktöre bağlıdır ve genelde %20'lik karışım kullanılır. Bakterilerle ayrışabilen, zehirsiz, sülfürsüz ve hoş kokuludur. Bitkisel yağların metil veya etil esteridir. Bu konuda araştırma ve üretim yapan ülkelerin favori ürünü soya fasulyesidir. Elde edilen bitkisel veya biyolojik yağlar alkolle (genelde metanol) karıştırılır ve sodyum hidroksitle tepkime hızlandırılır. Kimyasal reaksiyon sonunda bir ester ve gliserin oluşur. Ester yakıt olurken gliserinde değerli bir ürün olarak birçok sektörde kullanılır (Conneman, 2000).

Sonuç olarak, araştırmacıların biyodizel kullanımı konusunda elde ettikleri ortak sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1- Maksimum %5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebildiğini,
- 2- Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığını, ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biyodizelin kullanılabilmesini,
- 3- Biyodizelin kış aylarında da kullanılabilmesini, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığını,
- 4- Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO₂ oranının azaltılmasının mümkün olacağını,
- 5- Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgenmesini, ayrıca dolun sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- 6- Biyodizel'in iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşturmadığını,
- 7- Biyodizel'in yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO_x, %22

daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük alt ısıl değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu,

- 8- Bitkisel yağların asıl avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu, özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekildeki hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varılmıştır.

Gelişmiş ülkelerde bu konuda yapılan pazar araştırması, ürün geliştirme, bilinçlendirme ve fiyat iyileştirme gibi araştırma faaliyetleri sonucunda üretimde büyük aşamalar kaydedilmiştir. Tüketimi ise sürekli verim ve etkileri konusunda izlenmektedir. İlk yaygın kullanım alanı eski model belediye otobüsleri olmuş; fiyat konusunda motorinden pahalı olması sebebiyle %20 karışımı kullanılmıştır. Su araçlarında kullanımının çok daha fazla çevresel fayda oluşturduğu 180 Beygir Gücündeki bir test teknesinde kullanımıyla gösterilmiştir. Kaptan Bryan Peteson saf biyodizel yakıtla 40.000 Mil ve 40 ülkeyi kapsayan iki buçuk yıllık test gezisi yapmıştır.

Çift zamanlı, dört zamanlı, mekanik kontrollü, elektronik kontrollü, direk püskürtmeli ve endirek püskürtmeli motorlarda yapılan deneylerde saf biyodizelin kullanılmasıyla motorun daha yeni ve temiz kaldığı gözlenmiştir. Karbon atımı azalmış ve çözülmüş organik saçılma artmıştır. Bu araştırmalar bir ürün standardı oluşturma çabasıdır, bu konuda Amerika ve Avrupa'da çalışmalar vardır ve ulaşılmak istenen nokta bir dünya standardı oluşturmaktır.

Motorin egzoz atığının zehirli etkisinin yok olması için gerekli süre 30 gün civarında iken biyodizel katkıli yakıtta bu süre üç kat kısalmaktadır. En yaygın araştırma yapılan yerler; bazı Avrupa ülkeleri, Amerika, Yeni Zelanda ve Kanada'dır. En çok kullanılan deneme alanları ise; kamyon, araba, lokomotif, otobüs traktör ve deniz araçlarıdır. Karşılaşılan en önemli dezavantaj ise maliyet fiyatı konusunda olmaktadır. Eğer devletlerin çevreci bakış açısı gelişirse sübvansiyon uygulamak faydalı olacaktır. Yoğunluğunun fazla olması da soğuk iklimli yerlerde saf kullanımı bir sorun oluşturmaktadır (Ejder, 2007).

3.2.2. Biyodizelin Özellikleri

- 1- Biyodizel, orta uzunlukta C₁₆-C₁₈ yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır.
- 2- Oksijenli zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli motorinden ayırır.
- 3- Biyodizel, motorine çok yakın alt ısııl değere, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik, biyodizeli kullanım, taşınım ve depolamada daha güvenli bir yakıt haline getirmektedir.
- 4- Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir.
- 5- Biyodizel, motorine göre %8 daha az enerji içerir.
- 6- Biyodizel karanlık, temiz, kuru, bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalı. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir.
- 7- Akma noktası, dizel yakıtlarda özellikle soğuk havalarda önem kazanmaktadır. Eğer değeri yüksek olursa, yakıtın akıcılığı azalacak ve motor zor çalışacaktır. Özellikle atık kızartma yağları ve hayvansal yağlar çok miktarda doymuş yağ asitleri içerirler ve daha çabuk donarlar.
- 8- Jelleşme olduğunda filtre tıkanır ve pompa yeterli yakıtı basamaz. Bu noktaya soğuk filtre tıkanma noktası denir.
- 9- Bulutlanma noktası, yakıtın belirlenmiş standart koşullar altında soğutulma sırasında wax kristallerinden oluşan sisin görüldüğü sıcaklıktır.
- 10- Yoğunluk düşük olunca, yakıtın tutuşması daha kolay olur. İşlem sonunda yoğunluğun yüksek çıkması, biyodizelden gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığını gösterir.
- 11- Biyodizelin viskozitesi (ağdalılık ölçüsü, kıvamı) mümkün oldukça düşük olmalı. Viskozite yüksekse enjektör ve pompada sorunlara yol açar. Enjektörler, 1,3-4,2 mm²/s viskozite için üretilirler. Viskozitenin yüksek çıkması, esterleşmenin tam olmadığını gösterir.
- 12- Karbon kalıntısı, transesterifikasyonun iyi gerçekleştiğini; yakıttan sabun, gliserin ve diğer kalıntıların ayrıldığını gösterir.
- 13- Setan sayısı değeri yüksek olunca, tutuşma gecikmesi süresi azalmakta ve yakıtın ani ve vuruntulu yanması önlenmektedir.

14- Yakıt içerisindeki su ve kalıntı miktarı fazlaysa, motorda korozyona neden olur. Enjektörleri ve pompa elemanlarını aşındırır.

15- Biyodizelin kükürt oranı 15 ppm'i geçmez.

16- İyot değeri 100-120 arasında olmalı. Aksi halde motor yağını polimerleştirip bozabilir. Tortu oluşturur. Depolama problemleri de ortaya çıkabilir (Oral, 2008).

Yukarıda özellikleri verilen biyodizelin dizel yakıt ile karşılaştırılması Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Dizel yakıtı ve biyodizelin özellikleri (Ulusoy, 2002).

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri Min - Max	Biyodizel	Motorin
Kapalı Formül			$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
Molekül Ağırlığı	g/mol		296	120 - 320
Alt Isıl Değeri				
Kütleli	MJ/kg		37,1	42,7
Hacimsel	MJ/L		32,6	35,5
Özgül Ağırlığı 15 °C	kg/L	0,875 - 0,900	0,87 - 0,88	0,82-0,86
Kinematik Viskozite 40 °C	mm ² /s	2 - 4,5	4,3	2,5 - 3,5
Tutuşma Noktası	°C	55 - ...	>100	>55
Kükürt İçeriği	% Kütleli	... - 0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı	Setan Sayısı	49 - ...	>55	49 - 55
Kül	% Kütleli	... - 0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı	mg/kg	... - 200	<300	<200

3.2.3. Biyodizelin Avantajları

- 1- Yenilenebilir kaynaklardan, tarımsal ürünlerden ve atıklardan elde edilir.
- 2- Mevcut dizel motorlarında tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilir.
- 3- Atık, bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilir.
- 4- Temiz, zehirsiz, bakterilerle ayrışabilir.
- 5- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabilir.
- 6- Anti-toksik etkilidir.
- 7- Parçacık ve duman yayılımını azaltır.
- 8- Kanserojen madde ve kükürt oranı çok düşüktür.
- 9- Atıklarının gübre ve yem olması ve doğaya zarar vermez.
- 10- CO₂ miktarını %78 oranında düşürür.
- 11- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir.
- 12- Yağlayıcılık özelliği ile motor ömrünü uzatan, kurum oluşturmeyen bir yakıttır.
- 13- Hidrokarbon ve karbonmonoksit yayılımını azaltır.
- 14- Setan sayısının, motorinin setan sayısından daha yüksek olması nedeniyle daha vuruntusuz ve dengeli yanma sağlar.
- 15- Alt ısı değeri motorinin alt ısı değerine oldukça yakın değerdedir.
- 16- Motorine yakın, özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerine sahiptir.
- 17- Çözücü olması nedeniyle motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme özelliği vardır.
- 18- Yeni istihdam alanları oluşturarak iç göçü azaltır.
- 19- Ülke tarımını kalkındırarak dış bağımlılığı azaltır.
- 20- Petrol ambargo ve kriz risklerini azaltır.
- 21- Kalitesi çeşitli Uluslararası standartlarınca kabul edilmiştir (Oral, 2008).

3.2.4. Dünya'daki Biyodizel Üretim Teknikleri ve Miktarları

Dünya'daki pek çok ülke özellikle gelişmiş ülkeler enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma çabasındadırlar. Bu nedenle teşvik ve destek programları yasalarla belirlenmiştir. Avusturya, Fransa,

Almanya, İtalya, İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyeti'nde, biyodizel yasal olarak vergiden muafır (Ejder, 2007).

- ABD: Değişik programlarla biyodizel üretimi ve tüketimini desteklenmektedir. Teşvikler üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Biyodizel teşvikleri ABD'de eyaletler bazında da değişmektedir. Yasal olarak taşıt filolarının alternatif yakıtlarla çalışması için düzenlemeler mevcuttur.

- ALMANYA: Yasal olarak %100 biyodizel kullanımı mümkündür. Biyodizel tüketim vergilerinden muafır. Biyodizel için vergi kredileri uygulanmaktadır. Bu muafiyet saf biyodizel ve karışım biyodizel için de geçerlidir.

- FRANSA: Biyodizel için litre başına 0,35 Euro vergi teşviği uygulanmaktadır. Petrol rafinerilerinde %5'e kadar karışımlara izin verilmektedir.

- İtalya, İspanya, Avusturya, Yunanistan, Bulgaristan ve Finlandiya'da da vergi muafiyeti ve üretim destekleri uygulanır.

- AB'de şu an %2, petrol dizeli içinde biyodizel kullanım zorunluluğu varken, 2020 yılında bu oranın %20'ye çıkarılması planlanmaktadır.

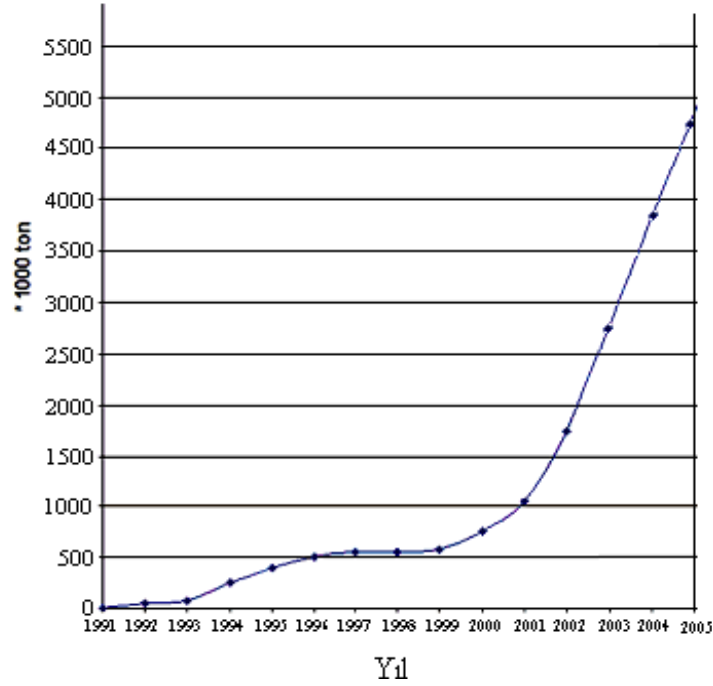
Avrupa'daki biyodizel üretimi hacminin yaklaşık %90'ını karşılayan verilere göre 2006 yılında Avrupa'da biyodizel üretiminin ülkelere göre dağılımı şu şekilde olmuştur:

Çizelge 3.2. Avrupa'daki yıllık biyodizel üretimi (Anonim, 2006).

Ülke	Biyodizel Miktarı (Ton)
Almanya	2681000
Fransa	857000
İtalya	775000
Türkiye	450000
İngiltere	445000
Çek Cumhuriyeti	203000
Polonya	150000
Portekiz	146000
Avusturya	134000
Slovakya	89000
Belçika	85000
Danimarka	81000
Yunanistan	75000
Toplam	6069000

2006 yılındaki 6.069.000 tonluk toplam üretim 2005 yılı verilerine kıyasla %90,6'lık bir artışa tekabül etmektedir. Avrupa'da biyodizel sektörünün bu hızlı büyümesinin temelinde iki neden yatmaktadır. Öncelikle 1990'larda uygulanan genel tarım politikası, yemek dışı amaçlarla üretilmiş yağ bitki tohumu üretimini sübvans ederek biyodizel üretimi için hammadde zenginliği yaratmıştır. Biyodizelin fosil yakıt dizellerin tabi olduğu bir çok vergiden muaf olması da diğer bir nedendir. Bununla birlikte AB, CO₂ emisyonlarındaki tehlikeli artış göz önünde bulundurarak 1997 Kyoto konferansında; 1990 yılı verileri baz alınarak, 2010 yılında CO₂ emisyonlarında %5'lik bir azalma hedefi belirlendi. Söz konusu hedef doğrultusunda uygulanacak enerji politikası ise çevre dostu yenilebilir enerji kaynaklarını desteklemeyi içeriyor. Bu bağlamda fosil dizel yakıtı 2005 yılında %2, 2010 yılında %5,75 biyodizel harmanlanması zorunlu hale getirilmesi kararlaştırıldı. 2020 yılında ise toplam enerji kaynaklarından %20'sini yenilebilir enerji kaynakları ile ikame etme hedefi konuldu. Amerika ise alternatif enerji kaynakları ve biyodizele yönelme konusunda Avrupa'dan hızlı davranarak 1990 Temiz Hava Yasası kapsamında 1992 yılında petrol ürünlerinin %10'unu petrol olmayan ürünlerle ikame etmeyi başarmış ve bu oranı 2010'da %30'a ulaştırmayı hedeflemiştir. Şekil 3.2'deki grafikte

biyodizelin 1991- 2005 yılları arasında dünyada üretim miktarları verilmiştir (Ejder, 2007).



Şekil 3.2. Biyodizelin 1991- 2005 yılları arasında dünya'da üretim miktarları (Austrian Biofuels Institute, 2006).

Avrupa'da 1995-1996 yıllarında yağlı tohum fiyatlarının yarı yarıya artması ile üretim alanı 0.9 milyon hektara ulaşmıştır. Sadece soya fasulyesi için planlanan hammadde amaçlı ekimin 1 milyon tona ulaşması beklenmektedir. Ayrıca petrol ürünü yakıtlara uygulanan yüksek vergilerin %90'ının biyodizel yakıtlara uygulanmaması 1994 şubatında Avrupa Parlamentosu'nda kabul edilmiştir. Bunlar biyodizelin motorine alternatif olabilme şansını artırmıştır. Batı Avrupa'da 1995 yılında esterleme işlemi ile elde edilen biyodizel yakıt 1,1 milyon ton olmuştur. Yan ürün olarak elde edilen gliserin ise 80.000 tondur. Bu yüzden Almanya gibi bazı ülkeler gliserin oluşturmamak için esterleme ile biyodizel elde etme yöntemine sınırlama getirmiştir.

Gliserin açığa çıkarmayan bir yöntem yakma işlemidir. Fakat bu yöntem atıkları, çevresel etkisi ve ek maliyeti yüzünden tercih edilmemektedir. Bu yüzden Almanya soğuk presleme yöntemine odaklanmaya başlamıştır. 1995 yılının başlarında Japonya'da üç yıllık çalışma sonucu 0,2 milyon tonluk yıllık yağlı tohum ekim seviyesine ulaşılmıştır. Amerika'da ise 2000'li yıllarda alternatif yakıt katkı

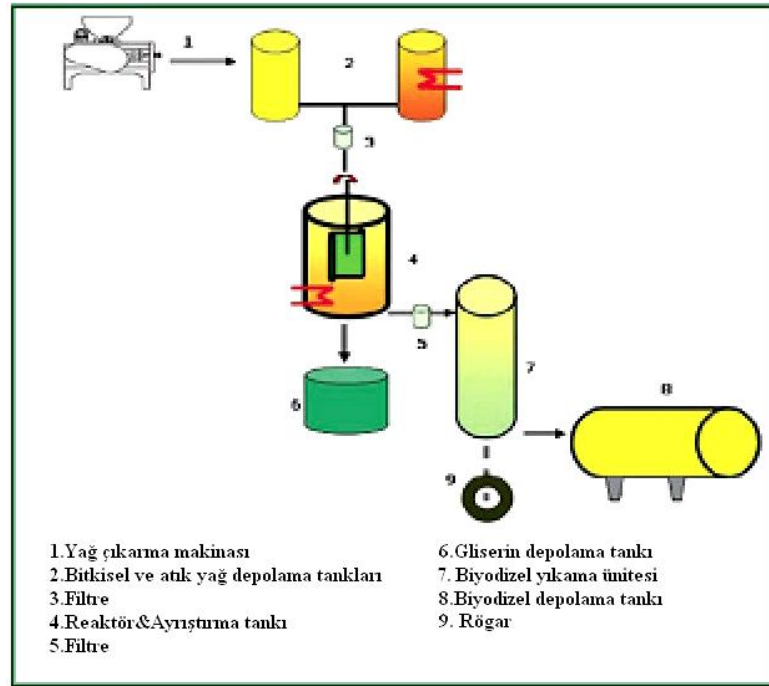
miktarının %10 seviyesine ve 2010'lu yıllarda ise %30 düzeyine çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla resmi araçlarda %10 katkılı dizel yakıt kullanımı başlamıştır. Karşılaşılan en büyük sorun büyük petrol şirketlerinin aleyhte kampanyalarıdır. 1990 yılında Kanada CANOLA (Canada ve Oil isimlerinin birleşmesinden adlandırılmış ve Kanada'nın genetik ıslah ile 1956 yılında geliştirdiği bir üründür) ekimine başladı fakat pahalılığı sorun olamaya başlayınca 1994 yılında Brassica Juncia çeşitlerine yönelmekle maliyeti düşürmeye çalışmıştır. Kanada CANOLA üretiminin en önemli müşterisi Japonya'dır. Kanada petrol rafine tekniğine benzer bir yöntem ile biyodizel üretimi yapmaktadır. Bu yöntemle CETANE (dizel yakıt güçlendiricisi), NAFTA (benzin katkısı) gibi yan ürünler elde edilmektedir. CETANE katkılı dizel yakıt yeşil dizel olarak bilinir. Emisyon ve performans testlerinin olumlu çıkması yüzünden bu isim verilmiştir. Tüm üretimine rağmen Kanada'da biyodizel yakıt olarak ticari bir sektör henüz yoktur.

Yakıt olarak kullanılacak yağlardaki ilk işlem yoğunluğunu azaltmaktır. Yağları alkolle esterleme işlemi alkolün katalizör etkisinden de faydalanmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu işlemlerin sonucunda her 100 birim biyodizel yakıt elde edilirken 11 birim gliserin ortaya çıkmaktadır. Atık gibi görünen gliserin birçok sanayi alanında kullanılmaktadır. Diğer bir yakıt üretim yöntemi ise Kolza (Brassica Napus'tur: Avrupa kökenli sarı çiçekli yağlı bir yem bitkisi) tohumlarının soğuk preslenmesidir. Bu yöntemde gliserin yan ürünü ortaya çıkmaz. İşlenmemiş yağı yakıt olarak kullanan araçlar da yapılmaktadır. Fakat motor teknolojileri yeni ve seri üretimde olmadığı için şimdilik pahalıdır. Kanada'nın su ile kimyasal işlem ismini verdiği farklı bir yöntemi de vardır (Ejder, 2007).

3.2.5. Günümüzde Biyodizel Üretim Yöntemi

Günümüzde biyodizel üretiminin çok çeşitli metodları vardır. Kıvamın düşürülmesi için kullanılan yöntemler, mikroemisyon, seyreltme, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleri olarak sayılabilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon; yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur. Esterleme yeni bir işlem değildir. 1853

yılı'nın başında E.Duffy ve J.Patrick tanımlanmıştır. Esterlenmiş bitkisel yağ ilk olarak II.Dünya Savaşı'nda Güney Afrika'da iş makinalarında kullanılmıştır. Yoğunluğu motorinin iki katı ve moleküler ağırlığı ise 1/3 dür. Dizel motorların çoğu yağlamalı ve yüksek sülfür içeren yakıt sistemi üzerine tasarlanmıştır. Bu motorlarda biyodizel yakıtın kullanımı sülfür emisyonunu azaltırken yağlı içeriği ile motorun yağlanmasına da yardımcı olmaktadır. Egsozdan atılan yanmış yağ ise tekrar esterleme ile yakıtı dönüştürülebilmektedir (Oral, 2008).



Şekil 3.3. Biyodizel üretim prosesi (Oral, 2008).

Şekil 3.3'de üretim prosesi görülen kimyasal olarak esterlemenin tanımı; ortamdaki trigliserin molekülü veya yağlı asit almak, serbest asitleri nötrleştirmek, gliserini çıkarmak ve bir alkol esteri oluşturmaktır. Yukarıdaki söylenenleri gerçekleştirmek için, metanol (odun alkolü) sodyum hidroksitle karıştırılır ve sodyum metoksit elde edilir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca, gliserin dibeye çöker ve metil ester (biyodizel) üstte kalır. Gliserin başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla üründe kullanılmaktadır (Oral, 2008).

Bu yöntem ile biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir:

- 1- Alkol ve Katalizörün Karıştırılması
- 2- Reaksiyon
- 3- Ayırma
- 4- Alkolün Uzaklaştırılması
- 5- Gliserin Nötralizasyonu
- 6- Metil Ester Yıkama İşlemi

3.2.5.1. Alkol ve Katalizörün Karıştırılması

Katalizör tipik olarak sodyum hidroksit (kostik soda) veya potasyum hidroksittir. Katalizör standart bir karıştırıcı ve mikser kullanılarak alkol içerisinde çözülür (Üstün, 2006).

3.2.5.2. Reaksiyon

Alkol/katalizör (metoksit) karışımı kapalı paslanmaz çelik reaksiyon kabı içerisine doldurulur ve bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilir. Reaksiyon karışımı, reaksiyonu hızlandırmak amacıyla belli bir sıcaklıkta tutulur ve reaksiyon gerçekleşir. Bu sıcaklık reaktör atmosfere açıksa metil alkolün kaynama sıcaklığı olan 64,7 °C den 5-8 °C altında olmalıdır. Fakat alkol kaybını önlemek amacıyla sistem tamamen atmosfere kapatılır. Önerilen reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında değişmektedir ve bazı sistemler reaksiyonun oda sıcaklığında olmasını gerektirir. Hayvansal veya bitkisel yağların kendi esterlerine tamamen dönüştürülmesinden emin olunmasını sağlamak için normal olarak fazla alkol kullanılır.

Beslemedeki hayvansal veya bitkisel yağların içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarının izlenmesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Serbest yağ asiti veya su seviyesinin yüksek olması sabun oluşumu ve gliserin yan ürününün alt akım olarak ayrılması problemlerine neden olabilir.

Reaksiyon sonrasında reaktör soğumaya ve çökmeye bırakılır. Eğer sistemde separatör (ayırıştırıcı) varsa, bekletmeden separatörler ayırıştırılır ve dinlenme tanklarına alınır (Üstün, 2006).

3.2.5.3. Ayırma

Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün gliserin ve biyodizeldir. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gerek görülürse bazen reaksiyon karışımı bu basamakta nötralize edilir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır (Üstün, 2006).

3.2.5.4. Alkolün Uzaklaştırılması

Gliserin ve biyomotorin fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon prosesi ile uzaklaştırılır ve reaksiyon karışımı nötralize edilir. Gliserin ve ester fazları ayrılır. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu kullanılarak geri kazanılır ve tekrar kullanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunmamalıdır (Üstün, 2006).

3.2.5.5. Gliserin Nötralizasyonu

Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir ve ham gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına gönderilir. Bazı durumlarda bu fazın geri kazanılması sırasında oluşan tuz, gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılır. Pek çok durumda tuz gliserin içerisinde bırakılır. Su ve alkol, ham gliserin olarak satışa hazır olan %80-88 saflıkta gliserin elde etmek amacıyla uzaklaştırılır. Daha sofistike işlemlerde gliserin %99 veya daha yüksek saflığa kadar distillenir ve kozmetik ve ilaç sektörüne satılır (Üstün, 2006).

3.2.5.6. Metil Ester Yıkama İşlemi

Gliserinden ayrıldıktan sonra biyodizel kalıntı katalizör, sabunları diğer kalıntıları almak ve PH 7'ye düşürmek için ılık su ile, devri çok yüksek olmayan bir karıştırıcı ile karıştırılarak yıkanır. Katalizör, yıkama ile sabun fazına geçer ve dibe çöker. Yıkamaya, renk berraklaşınca ve PH 7'ye düşünceye kadar devam edilir.

Kurutma tankında kurutma işlemi ve vakumlama yapılır. Biyodizel işlem sonucunda %99 saflıkta üretilmelidir. İçerisindeki su oranı en fazla 100 ppm olmalıdır. Alkol ise %0,5'i geçmemelidir. Bu normal olarak, açık amber-sarı renkte, petrodizele yakın viskoziteli bir sıvı veren üretim prosesinin sonudur.

Biyodizel de su alkol katalizör olursa ; alkol ani yanmaya ve motor parçalarının zarar görmesine , piston ve subapların erimesine sebep olabilir. NaOH motor bileşenlerine zara verebilir. Sabun enjektör ve yakıt pompasının tıkanmasına neden olabilir (Üstün, 2006).

3.2.6. Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli ve Ülkemizdeki Gelişmeler

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 motorin kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise, en büyük pay %34 değeri ile motorine aittir (Karaosmanoğlu, 2002).

Biyomotorin kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyomotorin üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür (Karaosmanoğlu, 2002).

Türk hükümetlerinin aldığı tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola ve soya ekimine destek verilme kararı alınmıştır. Bu durum, çiftçiye bir yön

vermektedir. Kanola ve soya ekimi ek bir bedelle desteklenmektedir. Kışı ılıman geçen bölgelerimizde kanola ikinci ürün olarak da ekilebilir (Anonim, 2006). Tarımı sorunsuz ve maliyeti buğday ve ayçiçeğinden az olan kanola, Türk çiftçisi için önemli bir kurtarıcı olacaktır. GAP Bölgesi'nde 10 Milyon Dekar alanda sulu tarım olanağı vardır; bölgede pamuk yanı sıra dönüşümlü olarak kanola ve/veya soya ekimi olumlu olacaktır. Çok genel bir hesaplama ile, GAP Bölgesi'nde kanola ve/veya soya ekimi ve biyomotorin üretimi ile yılda 1.5 milyon ton biyomotorin üretilebileceği söylenebilir (Karaosmanoğlu, 2002). Ülkemizde yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve üretim miktarları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları (Ünalın, 2003).

Yağ Bitkisinin Adı	Ekiliş Alanı (ha)	Yağ Oranı (%)	Üretim Verimi (kg/ha)	Üretim Miktarı (ton)
Yer Fıstığı	32000	35 - 55	2563	82000
Soya	31000	13 - 25	2419	75000
Kanola	10	40 - 45	1000	10
Aspir	74	9 - 28	878	65
Ayçiçeği	560000	40 - 50	1607	900000
Susam	68000	45 - 59	412	28000
Haşhaş	29681	44 - 50	369	10948
Pamuk Tohum	7217123	16 - 24	1653	1193286
Mısır	515000	17 - 18	3689	1900000
Keten Tohumu	385	30 - 40	590	227
Kenevir Tohumu	538	-	103	55
Türkiye Toplamı	8453811	-	-	4189591

2006 verilerine göre Türkiye'de 17.448.000 hektar ekili alan mevcuttur. Bu durumda

biyodizel için kullanılacak potansiyel tarım ürünleri toplam ekili alanın %11,48'ini oluşturmaktadır. Toplam 1.925.000 ton biyodizel olarak kullanılacak yağ üretilmektedir. Türkiye'nin petrol tüketiminin 2006 verilerine göre 28.000.000 ton olduğu göz önüne alındığında tüm imkanlar seferber edilirse ve %100 saf biyodizel yakıtlar kullanılırsa tüketiminin %6,8'sini karşılayabildiği görülebilir (Oral, 2008).

Türkiye biyomotorin üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir (Karaosmanoğlu, 2002).

- 1- Çeşitli kapasitelerde biyomotorin üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde sonuçlandırılarak, tarım makinelerinin, kamyonların yakıtı kullanımı özendirilebilir.
- 2- Ayrıca egzoz kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyomotorin kullanımı yararlı olacaktır.
- 3- İlk aşamada motorine %2-20 değişen oranlarında biyomotorin katılarak kullanmak yakıtta kademeli geçişi sağlayacaktır.

3.2.7. Biyodizel İçin Yapılan Performans Çalışmaları

Usta vd. (2005) yaptığı çalışmada, tütün tohum yağı metil esterinin farklı oranlarda dizel yakıt ile karışımlarının turbo ön yanma odalı dizel bir motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkileri farklı yüklerde incelenmiştir. Bütün çalışmalar dizel motor üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan gerçekleştirilmiştir. Tütün tohumları önemli miktarda yağ içermektedir. Tütün tohum yağı yenilemeyen bir bitkisel yağ olmasına rağmen biyodizel üretiminde kullanılarak yenilenebilir alternatif dizel motor yakıtı olarak faydalanılmaktadır. Bu çalışmada Tütün tohumu yağı metil esterini ile çalışan ön yanma odalı turbo dizel motorda tam yükte ve kısmi yükte performans ve egzoz emisyonları deneysel çalışması yapılmıştır. Deneysel sonuçları, tütün tohum yağı metil esterinin dizel yakıtına ilavesi ile CO ve SO₂ emisyonlarında azalma olurken NO_x emisyonunda az bir oranda artış olduğunu göstermektedir. Aynı

zamanda motor güç ve toplam veriminde biyodizel ilavesi ile az bir oranda artış tespit edilmiştir.

Öztürk (2008) tarafından yapılan çalışmada bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kanola yağı metil esteri kullanılmıştır. Farklı motor hızı şartlarında yapılan deneylerde %100 biyodizel, %50 dizel yakıtı + %50 biyodizel ve %100 dizel yakıtı dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda denenmiştir. Sonuç olarak; dizel motorların, belirgin bir revizyona ihtiyaç duyulmaksızın, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasına uygun olduğu, kanola yağı metil esterinin yakıt özellikleri ve yanma ürünleri açısından olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

İlkılıç ve Yücesu (2000) “Ayçiçek yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının bir dizel motor performansına etkisi” adlı çalışmalarında, bitkisel yağların yüksek viskozitelerinden dolayı doğrudan dizel motorlarda kullanılmaları çeşitli problemlere yol açtığını bildirmişlerdir. Bu sebeple bitkisel yağlar çeşitli işlemlere tabi tutularak özellikleri dizel yakıtına yaklaştırılmaktadır. Ham bitkisel yağlardan ester elde etmek bu yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, ayçiçek yağı metil esteri (AYME) dizel yakıtı ile hacimsel olarak %50 oranda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Çalışmada sonuç olarak karışımın, dizel yakıtın performansından biraz düşük olduğu görülmüştür. Sadece NO_x emisyonu açısından AYME-Dizel yakıt karışımının, dizel yakıtından daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.

Geo et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada, bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmasında ana problemin yüksek duman koyuluğu ve düşük verim olduğu belirtilmiştir. Tek silindirli, 4,5 kW gücünde, bir dizel motorda kauçuk yağı, kauçuk yağı metil esteri ve ana yakıt olarak dizel yakıtı 1500 1/min motor hızında denenmiştir. Emme manifolduna hidrojen boşaltarak çift yakıt uygulaması denenmiştir. Deneylerde maksimum termik verimin yakıtta %8,39 hidrojen ilavesiyle %28,12, %8,73 hidrojen ile %29,26 ve %10,1 hidrojen eklentisiyle %31,62 olarak belirlenmiştir. Ayrıca maksimum verimde kauçuk yağı metil esteri uygulamasıyla duman seviyesi 5,5 BSU (Bosch Smoke Unit) dan 3,5 BSU ya, kauçuk yağı uygulamasıyla 6,1 BSU dan 3,8 BSU ya gerilediği belirlenmiştir.

Kızılkcan (2008) yaptığı çalışmada alternatif yakıt olarak kanola ve soyadan elde edilmiş bir biyodizel (hacimsel olarak %20 soya, %80 kanola) yakıt kullanılmıştır. Biyodizel yakıtının dizelle hacimsel olarak 15/85 (B15) oranında oluşturduğu karışım normal dizel yakıt ile karşılaştırılmıştır. Deney, değişken sıkıştırma oranlı, tek silindirli, su soğutmalı Farryman 1977 tipi bir CFR dizel motorunda yapılmıştır. Öncelikle normal dizel yakıtla çeşitli sıkıştırma oranlarında performans ve emisyon deneyleri yapılmış, daha sonra aynı sıkıştırma oranlarında biyodizel/dizel karışımı ile aynı deney tekrarlanmıştır. Bu iki yakıt için elde edilmiş olan deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak, sıkıştırma oranının ve yakıt tipinin motor performansına, is ve diğer emisyon değerlerine etkisi incelenmiştir. $\epsilon = 17,13:1$ sıkıştırma haricindeki hemen tüm sıkıştırma oranlarında ve tüm yüklerde B15 yakıtı daha iyi güç, moment ve özgül yakıt sarfiyatı değerleri vermiştir. Ancak hem B15 hem de dizel yakıtın performans değerleri artan sıkıştırma oranıyla birlikte azalmaktadır. Her iki yakıt için de en iyi performans değerleri $\epsilon = 17,13:1$ ' de elde edilmiştir. B15 yakıtından, tüm sıkıştırma oranlarında dizel yakıtına kıyasla daha iyi HC emisyon değerleri elde edilmiştir. NO_x emisyonu ise $\epsilon = 17,13:1$ hariç tüm sıkıştırma oranlarındadizelle kıyasla daha kötüdür. CO ve CO_2 emisyonları için kesin bir şey söylenememektedir. Her iki yakıt için de sıkıştırma oranı arttıkça CO ve HC emisyonları artmış; NO_x emisyonu miktarı azalmıştır.

Radu et al. (2008) araştırmasında, ayçiçeği yağının yenilebilir bir enerji kaynağı olması, düşük sülfür içeriği ile güvenle saklanabilir olması ve deri hastalıklarına sebep olmaması nedeniyle dizel yakıt için iyi bir alternatif olarak sunulmuştur. Yapılan deneylerde, ayçiçeği yağı kullanıldığında enjeksiyon cihazının nasıl davrandığı ve bu yağların motorun güç indekslerini nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak direkt enjeksiyonlu dizel motorlarda ayçiçeği yağlarının kullanılmasının, yüksek viskoziteleri ve düşük ısıl enerjileri nedeniyle yanma olayında problem yarattığı belirlenmiştir.

Ulusoy ve Alibaş (2004) atık kızartma yağından elde edilmiş biyodizel yakıtını saf halde 4 silindirli, 4 zamanlı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmış ve bu yakıtın motor performans ve egzoz emisyon değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada

kullanılan biyodizel yakıtı ile CO, HC ve partikül emisyonlarında sırasıyla %8,59, %30,66 ve %63,33 azalma gözlenirken, CO₂ ve NO_x emisyonlarında sırasıyla %2,62 ve %5,03 artış gözlemlenmiştir. Diğer taraftan taşıt performansı yönünden karşılaştırıldığında tekerlek tahrik kuvvetinde %3,35, tekerlek gücünde %2,03 azalma gözlenmiştir.

Arslan (2007) yaptığı bu çalışmada dizel yakıtına alternatif yakıt olarak soya ve kanola yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel yakıtları kullanılmıştır. Bu alternatif yakıtlar dört silindirli bir dizel motorunda tam yük ve değişken hız şartlarında üç farklı enjektör basıncında (250, 300, 350 bar) test edilmiştir. Elde edilen verilere göre, her üç yakıtın değişik enjektör basınçlarında motor performans ve emisyon değerleri elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. 250 bar enjektör basıncında yapılan deneylerde yakıtların performans verimliliği bakımından sıralaması dizel, kanola ve soya yağı metil esteri olarak değişmektedir. Emisyon değerleri bakımından ise soya, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı olarak sıralanmaktadır. Basınç 300 bar'a yükseltildiğinde soya ve kanola yağı metil esterlerinin performans ve emisyon değerleri dizel yakıtına yakın sonuçlar vermiştir. Basıncın 350 bar'a yükseltilmesi ise alternatif yakıtları performans ve emisyon değerlerini olumsuz etkilemiştir. Soya ve kanola yağı metil esterlerinin yenilenebilir olması, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olması ile birlikte motor performans ve emisyon değerlerindeki iyileşmeler nedeni ile yapılacak yeni çalışmalarda geliştirilip alternatif yakıt olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Altun (2004) çalışmasında, dizel yakıtına alternatif olarak susam yağını kullanmıştır. Bu amaçla; susam yağının dizel ile %25, %50 ve %75 oranlarındaki karışımlarını, Lombardını marka 6 LD 400 model tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denemiş, motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkilerini dizel ile karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçları, susam yağı ve dizel karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapmadan yakıt olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Tillem (2005) biyodizel hammaddesi olarak ham kanola yağı, nötr pamuk yağı ve atık kızartma yağı kullanılmış, biyodizel üretim yöntemi olarak alkali katalizörler ile

transesterifikasyon metodunu izlemiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda, alkol olarak metil alkol, katalizör olarak sodyumhidroksit kullanılmıştır. Üretilen biyodizeller, dizel yakıtına %20 hacimsel oranda karıştırılmıştır. Elde edilen biyodizel-dizel karışımları, dört zamanlı, dört silindirli, ön yanma odalı turbo-dizel bir motorda, tam yük şartlarında denenmiş, motor performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Deney sonuçları, farklı çalışma şartlarında performans ve emisyon değerleri göz önüne alınarak, üretilen biyodizel yakıtların dizel yakıtına kısmi oranda karıştırılması suretiyle dizel motorda herhangi bir değişiklik veya yakıt ön ısıtması gerektirmeden kullanılabilirliğini göstermiştir.

Erdoğan ve Onurbaş (1998) küçük hacimli bir dizel motorda bazı bitkisel yağların yakıt olarak kullanılma oranlarını incelemiştir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada tek silindirli, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı 5,5 kW anma gücünde dizel motorda %50 motorin + %50 rafine bitkisel yağ (ayçiçeği, pamuk yağı ve mısır özü yağı) karışımı ve %100 bitkisel yağlar kullanılmışlardır. İlk harekette bir zorluk görülmemiştir. Motorin + bitkisel yağ karışımları ve %100 bitkisel yağlarla yapılan denemelerde motorine kıyasla püskürtme pompasında herhangi bir ayar yapmaksızın güç düşüşü görülmemiş, ancak özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür. Ayrıca motorin bitkisel yağ karışımı denemeleri süresince motor düzgün çalışmıştır. %100 bitkisel yağlarla yapılan denemelerde düşük devirlerde soğutma ve yağlama sisteminin yetersiz kaldığı saptanmıştır.

Şahin (2009) tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motoru biyodizel/hidrojen çift yakıtı ile çalışacak şekilde düzenlenmiş, sabit hız şartlarında hidrojen oranının performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda, soya biyodizeline hidrojen eklenmesinin; hidrokarbon, karbonmonoksit, karbondioksit ve is emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar meydana getirdiği, fren termik verimini artırdığı ve özgül yakıt tüketimini düşürdüğü, buna karşın azot oksit emisyonlarında bir miktar artışa sebep olduğu belirlenmiştir.

Yamık (2002) tarafından çalışmada ham ayçiçek yağından metil ve etil ester üretilerek fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Tek silindirli bir dizel motorunda dizel

yakıtı, ayçiçeği yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük, değişken hız şartlarında ve sabit hız, değişken yük şartlarında denenmiştir. Yapılan çalışmada her bir yakıt için performans haritaları çıkarılmıştır. Tam yük değişken hız deneylerinde etil ester performansı, dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Emisyonlar bakımından etil ester emisyon değerleri metil esterinkine yakın değerlerde ölçülmüştür. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değer ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmıştır. Deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda metil ester performans bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği saptanmıştır. Etil ester motor gücü ve momentinin ise dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiş buna karşılık özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyetlerinin etil esterde diğer yakıtlara göre yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bitkisel yağ metil esterlerinin dizel yakıtına alternatif olabileceği görülmüştür.

Eryılmaz (2009) yaptığı çalışmada, yabani hardal tohumundan elde edilen ham yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Bu yağdan transesterifikasyon yöntemi ile yabani hardal yağı metil esteri (YHME) üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen B100 formundaki biyodizeli hacimsel olarak %20 ve %2 oranında motorinle karıştırarak, B20 ve B2 formunda yakıtlar elde edilmiştir. Bu yakıtların (B100, B20 ve B2) fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen yakıtlar, dört zamanlı, 3 silindirli, 60 BG gücünde direkt püskürtmeli TÜMOSAN 3D 29T dizel bir motorda denenerek karşılaştırılmış ve moment, güç, yakıt tüketimi, motor gürültü değerleri ve duman koyuluğu motorin ile karşılaştırılmıştır. B100, B20 ve B2 yakıtları motorinle mukayese edildiğinde, bütün yakıtlarda maksimum moment 1200 1/min'de gerçekleştirilmiştir. B100'de %2.39, B20'de %0.81 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güç ise bütün yakıtlarda 2500 1/min'de, motorine göre; B100'de %5.64, B20'de %2.64 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güçte B100 kullanılmasıyla, özgül yakıt tüketiminde motorine göre %2.86 artış görülmüş, B20 ve B2 yakıtlarında ise sırasıyla %1.80 ve %2.84 azalma görülmüştür. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan denemelerde en yüksek

toplam verim sırasıyla 1300 1/min'de %34.348, 2000 1/min'de %36.103, 1200 1/min'de 36.911 ve 1200 1/min'de %34.565 olarak belirlenmiştir. Motor gürültü değerleri B100 ve B20 yakıtları kullanılmasıyla motorine göre, belirli devirlerde yükselme ve azalmalar göstermiş, B2 yakıtı kullanıldığında ise diğer yakıtlara göre, bütün devir sayılarında azalma görülmüştür. Duman yoğunluğu bütün devir sayılarında, motorine göre, karışım oranları arttıkça daha fazla azalma göstermiştir.

Koç (2010) tarafından yapılan bu çalışmada, belli periyotlarla motor yağından alınan numuneler ICP spektrometresi ile elementel olarak analiz edilmiş, motor aşınmalarına yakıtın etkisi araştırılmıştır. FTIR analizleri ile motor yağında oluşabilecek oksidasyonlar ve yağ özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Motorların izlenmesi açısından önemli bir parametre olan motor yağlarındaki TBN değişimleri yine karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Termal kamera ile motorlar gözlenmiş, ısı farklılıkları fiziksel olarak karşılaştırılmıştır. Titreşim ölçümleri yapılmış, motorda yanmadan kaynaklanan titreşimler etüt edilmiş, değerler karşılaştırılmıştır. Enjektör basınç değerleri izlenmiş, yakıtların enjektörler ve yakıt pompaları üzerine etkileri SEM analizleri ile değerlendirilmiştir. Kısa süreli testler ile yapılan karşılaştırmalar sonucu saf biyodizel kullanımının motorlar üzerinde ek iyileştirmeler ile mümkün olduğu, her iki yakıtın da avantaj ve dezavantajları bulunduğu bildirilmiştir.

Karaosmanoğlu vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği yağı, zeytinyağı, soya yağı, mısır yağı hacimsel olarak %20, %80 oranında dizel yakıtı ile karıştırılmış ve sıra tipi 6 silindirli 66 kW'yi 2800 1/min'de veren motorda denenmiştir. Yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi, güç, moment, verim, duman koyuluğu incelenmiştir. Kısa testlerde bitkisel yağların dizel yakıtına alternatif olabileceği fakat dayanıklılık testine ihtiyaç olduğu bildirilmiştir.

Yücesu ve Altın (2001) kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımını üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 900 1/min ile 1800 1/min Aralığında 100 1/min'lik aralıklarla performans ve emisyon testleri yapmışlardır. Ticari dizel yakıtı ve konola yağı ile yapılan testler sonucunda; motor hızına bağlı olarak dizel yakıtının kanola yağından

daha yüksek moment verdiği (maksimum fark 1800 1/min'de %6), hız azaldıkça bu fark azalmıştır. Benzer şekilde dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek güç verdiği (maksimum fark 1800 1/min'de %6), özgül yakıt tüketiminin kanola yağından dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, kanola yağının termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, CO emisyonunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu NO_x oluşumunun ise dizel yakıt kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğu kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momenti arttıkça her iki yakıtta da arttığı bildirilmiştir. Burada; Kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması, viskozitesinin daha yüksek olması, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar vermekle beraber aradaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve kanola yağının kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtına alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Aktaş ve Sekmen (2008) yakıt olarak biyodizel kullanan bir motorda püskürtme avansının motor performansı ve emisyonlarına etkilerini dört zamanlı, tek silindri bir dizel motorda araştırmıştır. Püskürtme zamanlaması 24,9, 26,6 ve 28,5 °KMA (krank mili açısı) için tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO_x emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 26,6 °KMA' ya artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %8'e kadar iyileşme görülmüştür. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO_x emisyonlarında %4-11 arasında değişen artışlar belirlenmiştir. Biyodizel ile çalışmada motor momenti ve efektif güçte bir miktar artış olmasına rağmen, ısı değerin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi dizel yakıtından daha yüksektir. Püskürtme avansının 26,6°'ye artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte %6 kadar artış, özgül yakıt tüketiminde %8 iyileşme sağlanmıştır. Püskürtme avansının daha fazla 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.

Behçet vd. (2011) tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motor ve sabit hız şartlarında atık kızartma yağ biyodizeli ve dizel yakıtının karışım oranının performans ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda, dizel yakıtına atık kızartma yağ biyodizeli eklenmesi ile motor momenti ve efektif motor gücü dizel yakıtından biraz düşük, yakıt tüketimi ise fazla çıkmıştır. Aynı devirlerde elde edilen değerler birbirine yakın çıkmıştır. Emisyon deneylerinde ise, NO_x ve O₂, metil ester karışımlarında dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. HC, CO₂ ve CO emisyonları metil ester karışımlarında daha düşük seviyelerinde kalmıştır. Motor emisyonlarında metil ester karışımları genel itibari ile çevre açısından daha az zararlı olduğu belirlenmiştir (Behçet vd, 2011).

3.3. ETANOL YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Etanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıtına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması ve yapısında oksijen bulundurması, dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metaller içermemesinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etki yapmaktadır (Usta vd, 2004).

Çizelge 3.4. Etanolün bazı önemli özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması (Usta vd, 2004).

Özellik	Dizel	Etanol
Yoğunluk (15 °C) kg/m ³	841,5	788
Viskozite (40 °C) mm ² /s	2,9	0,67
Kükürt Miktarı (% Kütlesel)	0,68	0
Isıl Değer (kJ/kg)	44631	26749
Setan Sayısı	45 - 50	5 - 15

1970'lerden beri alkollerin (metanol ve etanol) dizel motorlarda kullanımı üzerine çalışmalar devam etmektedir. İlk çalışmalar is ve partikül madde azaltımı üzerine

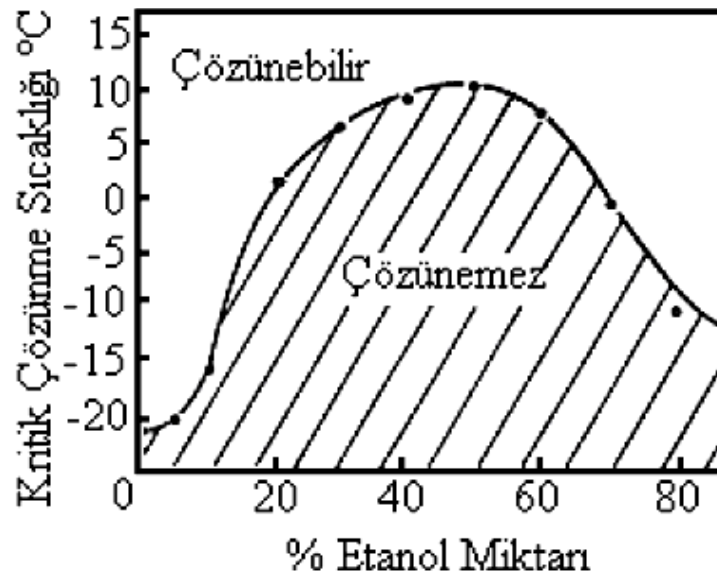
odaklanmıştır. Alkollerin dizel yakıtta eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve alt ısı değer düşmektedir (Henham et al. 1991). Değişen özellikler nedeniyle alkollerin dizel motorlarda kullanımında bazı zorluklar oluşmaktadır (Abu Qudais et al. 2000). Bu zorlukları yenmek için farklı teknikler geliştirilerek alkol içeren dizel yakıtların dizel motor teknolojisine uyumları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu teknikler genel olarak dört ana başlıkta toplanabilir:

- 1- Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı (Reddy et al., 1999; Xiao et al., 2000; Abu-Qudais et al., 2000; Ajav et al., 1999; Bilgin et al., 2002),
- 2- Alkol-dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmekte) (Xiao et al., 2000; Satgede Caro et al., 2001; Asfar and Hamed, 1998),
- 3- Çift püskürtme sistemi (herbir yakıt için ayrı püskürtme sistemi) (Noguchi et al., 1996; Rafiqul Islam et al., 1997).
- 4- Fumigasyon (hava emme hattına alkol püskürtülmesi) (Abu-Qudais et al., 2000; Ajav et al., 1999; Goering et al., 1992).

Karışım ve emülsiyon tekniklerinin en önemli avantajları kolay uygulanabilir olmaları ve motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmamasıdır. Metanol kömür veya petrolden ucuza üretilebilen, fakat dizel yakıt içerisinde çözünürlülüğü sınırlı olan bir yakıttır. Diğer yandan, etanol enzimler yardımı ile karbonhidratların (şeker ve nişasta) katalizlenerek fermantasyonu ile elde edilebilen yenilenebilir bir yakıttır. Fermantasyonda seçilecek karbonhidratlar genellikle mısırdan ve şeker rafinasyonu artığı melastan (şeker pancarı, şeker kamışı); diğer yandan tarımsal ürünlerden patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler kullanılarak; bunların yanında kağıt endüstrisi artığı olan selülozdan da üretilebilmektedir. Etanolün yenilenebilir bir yakıt olması ve dizel yakıt ile daha iyi karışabilme özelliğinin bulunmasından dolayı dizel motorlarda kullanımı son yıllarda ön plana çıkmıştır. Etanol-dizel yakıtı karışımları %20 oranlarına kadar motor üzerinde köklü değişikliklere ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir (Usta vd, 2004).

Etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir (Hansen et al. 2001; Bang-Quan et al., 2003). Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarda gerçekleşmektedir. Etanol-dizel yakıt karışımlarının kararlılığı genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlıdır (Eugene et al., 1984; Abu-Qudais et al., 2000; McCormick and Parish, 2001; Hansen et al., 2001; Satgé De Caro and Moloungui, 2001; Bang-Quan et al., 2003). Şekil 3.4.'te etanolün, dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği gösterilmektedir. Ortam sıcaklığı yüksek olduğunda 200 derece (proof) etanol dizel yakıtı içerisinde kolayca çözünebilmektedir, fakat 10 °C'nin altında iken faz farkı oluşturmaktadır (Hansen et al. 2001).

Etanolün karışım şeklinde dizel motorlarda kullanımı az oranlarda (%5 civarı) etanol ile daha iyi sonuçlar vermektedir (Bilgin vd, 2002). Ancak, karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (C₉-C₁₁, propanol, bütanol v.b.) eklenerek karışımın termodinamik olarak daha kararlı bir karışım olması sağlanabilmektedir (Eugene et al., 1984; Satgé De Caro and Moloungui, 2001; Asfar and Hamed, 1998). Bu da emülsiyon tekniği olarak adlandırılmaktadır (Usta vd, 2004).



Şekil 3.4. Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği (Eugene et al. 1984).

3.3.1 Etanol Kaynakları

Endüstriyel amaçlı etanol, petrol ürünlerinden, çoğunlukla etilenin, sülfürik asitle katalitik hidrasyonundan elde edilmektedir. Bu proses, alkollü içeceklerle alakalı, geleneksel fermentasyon yönteminden daha ekonomiktir. Aynı zamanda, eten ya da asetilen aracılığıyla, kalsiyum karbit, kömür, doğalgaz ve diğer kaynaklardan da elde edilebilir.

Bugüne kadar, kayda değer bir etanol yakıt programı dört ülke tarafından oluşturulmuştur: Brezilya, Kolombiya, ABD ve Çin. Brezilya örneğinde, etanol üreten kurumların bağımsız olarak karlı olabilmeleri için, hükümet tarafından, etanol endüstrisine ciddi yatırım yapılması gerekmektedir. Etanol, şeker kamışı, şeker pancarı, gine mısırı, dallı darı, arpa, kenevir, Hibiscus cannabinus, (tatlı) patates, manyok, ayçiçeği, meyveler, melas, kesik süt, mısır, mısır koçanı, hububat, buğday, tahta, kağıt, saman, pamuk, diğer biyokatılar ile çeşitli selüloz atıkları gibi pek çok farklı besin kaynağından elde edilebilir. Şeker kamışından etanol üretmek, mısıra göre daha verimlidir.

Artan etanol tüketiminin sonucu olarak, şeker kamışı ve mısır gibi besin kaynaklarına olan talep de artmıştır. Büyük ölçekte yakıt amaçlı zirai alkol üretimi, geniş ve verimli ekilebilir alanlar ile suya olan talebi de artırmaktadır (Ejder, 2007).

3.3.2 Etanolün Üretimi

Etanol bir birinden çok farklı besin kaynaklarından, pek çok farklı yöntemle üretilir. Brezilya etanol üretiminde temel besin kaynağı olarak şeker kamışını kullanırken, kaynaklar kısmında belirtildiği gibi pek çok farklı besin kaynağının kullanılması mümkündür (Oral, 2008).

Dallı darı etanol üretiminde mısıra göre iki kat daha verimlidir. Etanol üretiminin temel adımları: rafine ederek nişasta haline getirmek, sıvılaştırmak ve sakarifikasyon (hidroliz yöntemiyle nişasta glikoza dönüşür), fermentasyon, damıtma, dehidrasyon ve opsiyonel olarak denaturasyon.

Fermentasyon yöntemi ile üretilen etanol sonucunda suda çözülmüş etanol elde edilir. Etanolün bir yakıt olarak kullanılabilmesi için suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. En eski yöntem, basitçe damıtmaktır, fakat bu yöntemle, su etanol karışımı azotrop olduğu için %95-96 saflıktan öteye gitmek mümkün değildir. Çözelti karışımı damıtmayı sürdürerek, %96'dan daha saf etanol elde edilmesi mümkün değildir.

Benzinle karıştırılabilmek için, en az %95,5 ile %99,9 arasında bir saflığa ihtiyaç duyulmaktadır. En yaygın saflaştırma yöntemi, moleküler elek kullanarak fiziksel absorblama prosesidir.

Geçmişte, çiftçiler kendi etanollerini damıtırken, damıtım sürecinin bir parçası olarak ısı plakalarından yararlanırlardı. Isı plakaları, çoğunlukla, etanolün içine karışabilen kursun içerirlerdi. Bu şekilde kontamine olmuş yakıtın yakılması sonucu sinir sistemine zarar verebilen kursun havaya karışırdı. Bugün etanol yakıtı, özel olarak yetiştirilen bitkilerden, kursun içermeyen yöntemlerle elde edilmektedir (Oral, 2008).

3.3.3. Dünya'da Etanol Kullanımı

3.3.3.1. Brezilya'da Etanol Yakıtı

Bugün, Brezilya dünyadaki en büyük etanol yakıtı üreticisi ve tüketicisidir. Brezilya, 1980'lerden bu yana, şeker kamışına dayalı çok yaygın bir etanol yakıtı endüstrisi geliştirmiştir. Yılda yaklaşık 4 milyar galon etanol üretir. Brezilya'daki etanol üretim tesisleri, şeker kamışından kalan şekersiz atıkları yakarak %34 pozitif enerji dengesi elde ederler. Brezilya'da etanol üretiminin geliştirilmesi hükümetin desteği ile gerçekleşmektedir. Brezilya'da tüketilen tüm benzinin en azından %25'i alkol içermek zorundadır. Brezilya'daki tüm yeni araçlar ya esnek yakıtlı yada benzin yerine saf etanolü yakabilecek özellikte araçlardır. Brezilya'da etanol yakıtı ve elektrik üretiminde yararlanan yan ürünleri, ülkenin petrole olan bağımlılığını ve hava kirliliğini azaltmada önemli katkıda bulunur.

3.3.3.2. Kolombiya'da Etanol Yakıtı

Kolombiya'nın etanol yakıtı programı, 2002 yılında, hükümet benzindeki oksijen miktarının zenginleştirilmesine dair bir yasayı hayata geçirmesiyle başlamıştır. Bu karar başlangıçta benzinin oksijenle zenginleştirilerek, karbonmonoksit emisyonların azaltmak için alınmıştır. Daha sonraki kanunlarla, biyokatılardan elde edilen etanolün, vergi avantajları ile benzinden daha ucuz olması sağlanmıştır. 2004 yılıyla başlayan petrol fiyatlarındaki artış ve yenilenebilir yakıtlara duyulan ilginin artması ile bu eğilim daha da kuvvetlenmiştir. Kolombiya'da gerek benzin fiyatları gerekse etanol fiyatları hükümet tarafından kontrol edilmektedir. Etanol programını bütünlüğü olarak, bitkisel yağlardan yenilenebilir bir yakıt olarak biyodizel programı da geliştirilmiştir.

Şeker üretim prosesinin ucuna etanolü de ekleme ve aynı enerji kaynaklarını kullanma kolaylığı nedeniyle, etanol üretimine ilgi, büyük ölçüde mevcut şeker endüstrisinden gelmiştir. Hükümet ülke genelinde %10 etanol ve %90 benzin karışımının yaygınlaştırılmasına dair hedefini kademeli olarak hayata geçirmektedir. Etanol tesisleri vergi avantajları ile özendirilmektedir. Yuka (manyok) ve yeni, şeker kamışı tarımından elde edilen etanole ilgili olmakla birlikte, daha ucuz olan karbohidratların üretimi henüz gerçekleştirilememiştir.

Kolombiya'da 2006'nın Mart ayında, hepsi Kauka Vadisi'nde olmak üzere, birleşik olarak toplam günde 1.050.000 litre ya da yılda 357 milyon litre kapasite ile faal hale gelmişlerdir. Kauka Vadisi'nde, şeker tüm yıl boyunca üretilmektedir. Son eklenen yüksek kapasiteli damıtma tesisleri ile birlikte, toplam yatırımlar 100 milyon USD'in üzerine çıkmıştır. Kolombiya, %10 etanol karışımı benzin kullanabilme hedefine ulaşabilmek için, 2007 yılıyla birlikte, günlük 2.500.000 litre kapasiteye ulaşabilmeyi hedeflemektedir. Şu an için üretilen etanol yakıtı Kauka Vadisi'ne yakın, Bogota, Kali ve Pareira gibi büyük şehirlerde kullanılmaktadır. Henüz ülkenin tamamına yetecek kadar etanol üretimi yapılamamaktadır.

3.3.3.3. Amerika Birleşik Devletleri'nde Etanol Yakıtı

Etanol, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak bulunabilir değildir. Etanol üretiminin, ilk yatırımının büyüklüğü nedeniyle, üretimin ilk anından itibaren karlı olamaması, bir sorun olarak kabul edilmektedir. Benzin fiyatlarındaki yükselme devam ettiği sürece, etanolün de benzine oranla karlılığında bir artış olacaktır. Toplam 165.000 pompadan sadece, kabaca 685 istasyon E85 pompası sunmaktadır. Etanol yakıtı, yaygın olarak, sadece, etanolün işlendiği ortabatıda ve Kaliforniada bulunmaktadır. Mayıs 2006 itibarıyla, Birleşik Devletler'de yıllık 1,8 milyon m³ etanol üretim kapasitesi bulunmaktadır ve üzerine yıllık, yaklaşık 760.000 m³ kapasite eklenmeye devam etmektedir. Ek olarak bir Amerikan şirketi Pacific Ethanol ise etanol üretimi yatırımlarını daha fazla Batı Amerika'da sürdürmektedir (Oral 2008).

3.3.4. Etanole İlişkin Kanunlar ve Teşvikler

Brezilya, Kolombiya ve Birleşik Devletler'de, şeker kamışı ya da tahıllardan elde edilen etanolün kullanımı hükümet programlarıyla teşvik edilmektedir. Teşvikler bazı eyaletlerde 1973 Arap petrol ambargosundan sonra başlamıştır. Birleşik Devletler'de 1978 yılında yürürlüğe giren Enerji Vergisi Akdi ile biyoyakıtlara vergi istisnası getirilmiştir. Bu istisnanın yıllık karşılığının 1,4 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir. Bir başka federe program ise etanol tesislerinin inşası için ihtiyaç duyulan kredilere garantör olmaktadır. 1986 yılında Amerikan hükümeti etanol üreticilerine bedava mısır dahi dağıtmıştır.

Kolombiya'nın etanol programı ise biyokatılardan elde edilen etanolün, vergiden muaf tutulması amacıyla çıkarılan bir kanunla başlamıştır.

2005 yılının Ağustos ayında, Birleşik Devletler Başkanı Bush, etanol ve biyodizel üretiminin, gelecek on yıl içerisinde, 15 milyon m³'ten 28 milyon m³'e çıkarılmasını öngören kapsamlı bir enerji yönetmeliğine imza atmıştır.

Avrupa Parlamentosu'nun 2003/30/EC nolu direktifi, fosil yakıtların biyoyakıtlarla değiştirilmesini teşvik eder. İngiltere'de, biyodizel gibi alternatif yakıtların vergilendirilmesi en az fosil yakıtlarınki kadar sıkıntılı iken, İngiliz Hükümeti, etanol dahil olmak üzere biyoyakıtların kullanımını özendiren bir ulusal mevzuatı adapte etmiştir (Oral 2008).

3.3.5 Etanol İçin Yapılan Performans Çalışmaları

Dünya'da etanol adına yapılmış alternatif yakıt çalışmalarına bakıldığında genel olarak bu çalışmaların daha çok etanolün benzin katkı maddesi üzerine yapıldığını görülmektedir. Bu çalışmada etanolün dizel motorlarındaki performansı üzerine olan etkileri ise ülkemizde bazı akademik çevreler tarafından araştırılmıştır.

Usta vd. (2004a) yaptığı çalışmada, dizel yakıtına etanol eklenmesinin (hacimsel olarak %10 ve %15 oranında) dört zamanlı, dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel motorda ve farklı püskürtme basınçlarında (150, 200 ve 250 bar) kullanılmasının motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki etanol eklenmesi ile CO, is ve SO₂ emisyonlarında azalma olmuştur. Diğer yandan NO_x emisyonlarında ise %12,5 (%10 etanol içeren karışımda) ve %20 (%15 etanol içeren karışımda) artış olmuştur. Püskürtme basıncının artması ise özellikle 1500- 2500 1/min aralığında CO ve is emisyonlarında azalmaya ve bir miktar motor gücünün düşmesine sebep olmuştur.

Usta vd. (2004b) yaptığı çalışmada, etanol ve iki farklı biyodizelin özellikleri dizel yakıt ile karşılaştırılmış, etanol ve biyodizellerin dört zamanlı, dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel bir motorun performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki kullanılan alternatif yakıtlar CO, is ve SO₂ emisyonlarının azalmasını sağlarken, NO_x emisyonunda artışa sebep olmuştur. Etanol ilavesi güçte bir miktar düşmeye sebep olurken, biyodizel ilavesi dizel yakıtı göre çok az oranda güç artışı sağlamıştır.

Çelikten (2004) yaptığı çalışmada, dizel yakıtına hacimsel olarak %10 oranında etanol eklenmesinin dört zamanlı, dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel motorda

ve tam yük şartlarında kullanılmasının motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki dizel yakıtına %10 oranında etanol ilave edilmesi ile motor gücünde ve torkunda düşüşler, yakıt tüketim miktarında da azalmalar meydana gelmiştir. Bunun yanında O_2 artar iken, NO_x ve CO emisyonları kısmen, CO_2 , SO_2 ve duman emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar tespit edilmiştir.

Şahin (2002) yaptığı çalışmada, farklı oranlardaki benzin ve etanol fumigasyonunun, motor performansı ve egzoz gazları emisyonları üzerindeki etkilerini teorik olarak incelemiştir. Bu amaçla dizel motoru çevrimi için Termodinamiğin Birinci Kanununa dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Söz konusu model, demetin oluşumu, yakıt-hava karışımı, girdap, ısı transferi ve emisyon modelleri gibi alt modellerden oluşan sanki boyutlu çok bölgeli yanma modeli kavramlarını içermektedir. Saf dizel yakıtı ve farklı fumigasyon oranlarındaki dizel yakıt-benzin-etanol karışımlarının yakıt olarak kullanıldığı dört ve altı silindirli turboşarlı iki farklı dizel motorunun performans parametreleri ve egzoz gazları emisyonları teorik olarak hesaplanmıştır. Değişken eşdeğerlik oranlarında, benzin fumigasyonu attıkça efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve karbon monoksit (CO) oranı artmaktadır. Öte yandan, efektif verim ve azot oksit (NO) konsantrasyonu azalmaktadır. Sabit eşdeğerlik oranlarında benzin fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve CO oranı artmaktadır. Bununla birlikte, ÖYT ve NO konsantrasyonu azalmaktadır. Değişken eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve CO oranı artmaktadır. Bunun yanında, ÖYT ve NO konsantrasyonu ise azalmaktadır. Sabit eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonu attıkça efektif güç, efektif verim ve NO konsantrasyonu ve buna bağlı olarak da ÖYT önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, CO oranı da genel olarak artma eğilimi göstermektedir.

Ejder (2007) bu çalışmada, gelecekte fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak kullanılması düşünülen etanol ve biyodizel yakıtların bir direkt püskürtme sistemine sahip dizel traktör motorunun farklı karışım oranlarında test edilmesi suretiyle performans karakteristiklerinin değişimleri elde edilmiştir. Mevcut biyodizel-dizel ve etanol-dizel yakıtları farklı oranlarda birbirlerine karıştırılması suretiyle test motorunun performans karakteristikleri belirlenmiştir. Deney motorunun yüklenmesi

Schenk 130kW marka ve tip bir elektromanyetik fren ile yapılmıştır. Önce motor, referans dizel yakıt ile test edilmiş ve elde edilen bu performans karakteristikleri motorun alternatif yakıt deneylerinde referans oluşturmuştur. Her bir yakıt karışımı için yapılan deney sonuçları referans karakteristikleri ile karşılaştırılmış mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıtına yakın sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Böylece, performans yönünden biyodizel ve etanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olabileceği ortaya konulmuştur.

Aktaş (2009) yaptığı çalışmayı tam yükte ve 1800 1/min sabit motor hızında önce saf benzin ile sonra benzine hacimsel olarak %5'ten %20'ye kadar %5'lik artışlarla etanol karıştırılarak (E5, E10, E15 ve E20) gerçekleştirilmiştir. En son, %5 soya biyodizel-%95 benzin (B5) ve %10 soya biyodizel-%90 benzinden oluşan (B10) karışımlar hazırlanarak, bu karışımlara %5'ten %20'ye kadar %5'lik artışlarla etanol karıştırılarak deneysel çalışma tamamlanmıştır. Sonuç olarak; benzine %10 biyodizel karıştırıldığı zaman tork ve güçte %10.5 oranında düşüş ve özgül yakıt sarfiyatında %13 oranında artış görülmüştür. Aynı zamanda, CO emisyonunun da bir miktar düştüğü ancak, HC ve NO_x emisyonunun bir miktar yükseldiği tespit edilmiştir. Benzin ve B5'e %20 etanol ilave edildiğinde performansta %50 ve CO emisyonunda %47 oranında azalma olmasına rağmen, NO_x emisyonunda %46 artış gözlenmiştir. En iyi performans ve emisyonun %15-20 etanol içeren B10 ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Schafer (1988) dizel yakıtı yerine kullanılabilir alternatif bitkisel yakıtın, metanol veya etanol gibi ucuz bir alkolle, kimyasal reaksiyonla elde edilebileceğini ve bu esterlerin özelliklerinin dizel yakıtının özelliklerine benzer olduğunu bildirmiştir. Bitkisel yağ asidi esterleriyle (ROME) çalışan dizel motorlarının kullanımı hakkında şimdiye kadar elde edilen araştırmaların geniş ölçüde olumlu sonuçlar verdiğini ve bunların; Enjektörler üzerinde kömürleşmenin olmadığı, yanma odasında katmanlaşma görülmediği, yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer olduğu ve is emisyonunun, dizel motorunun emisyon şartlarına benzerlik gösterdiği, Motorun uzun süreli çalışmasıyla ortaya çıkan aşınma durumu, dizel yakıtı kullanımına benzer

sonuçlar verdiğini, uzun süreli çalışma durumunda ise segmanlarda sıkışmanın görüldüğünü bildirmiştir.

şahin ve Durgun (2004) tarafından yapılan çalışmada, etanol fumigasyonunun dizel motoru çevrim parametreleri, motor karakteristikleri ve egzoz gazları emisyonları üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla önce dizel motoru çevrimlerini; hem saf dizel yakıtı hem de hafif yakıt fumigasyonu durumlarında hesaplayabilen bir paket bilgisayar programı, çok bölgeli termodinamik esaslı yanma modeline dayalı olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar modelinin dizel motoru çevrimlerini; hem saf dizel yakıtı hem de hafif yakıt fumigasyonu durumlarında yeterli duyarlılıkta hesaplayabildiği belirlendikten sonra değişik sayısal uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışmada, sabit eşdeğerlik oranlarında etanol fumigasyonunun etkileri; iki farklı turboşarlı motorda sayısal olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Genel olarak her iki motorda efektif gücün, efektif verimin artmasına karsın, özgül yakıt tüketimi (YT) de artmıştır. Ayrıca söz konusu uygulamanın egzoz gazları açısından da pek iyileştirici sonuçlar vermediği belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

DENEY DÜZENEĞİ VE YÖNTEMİ

4.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

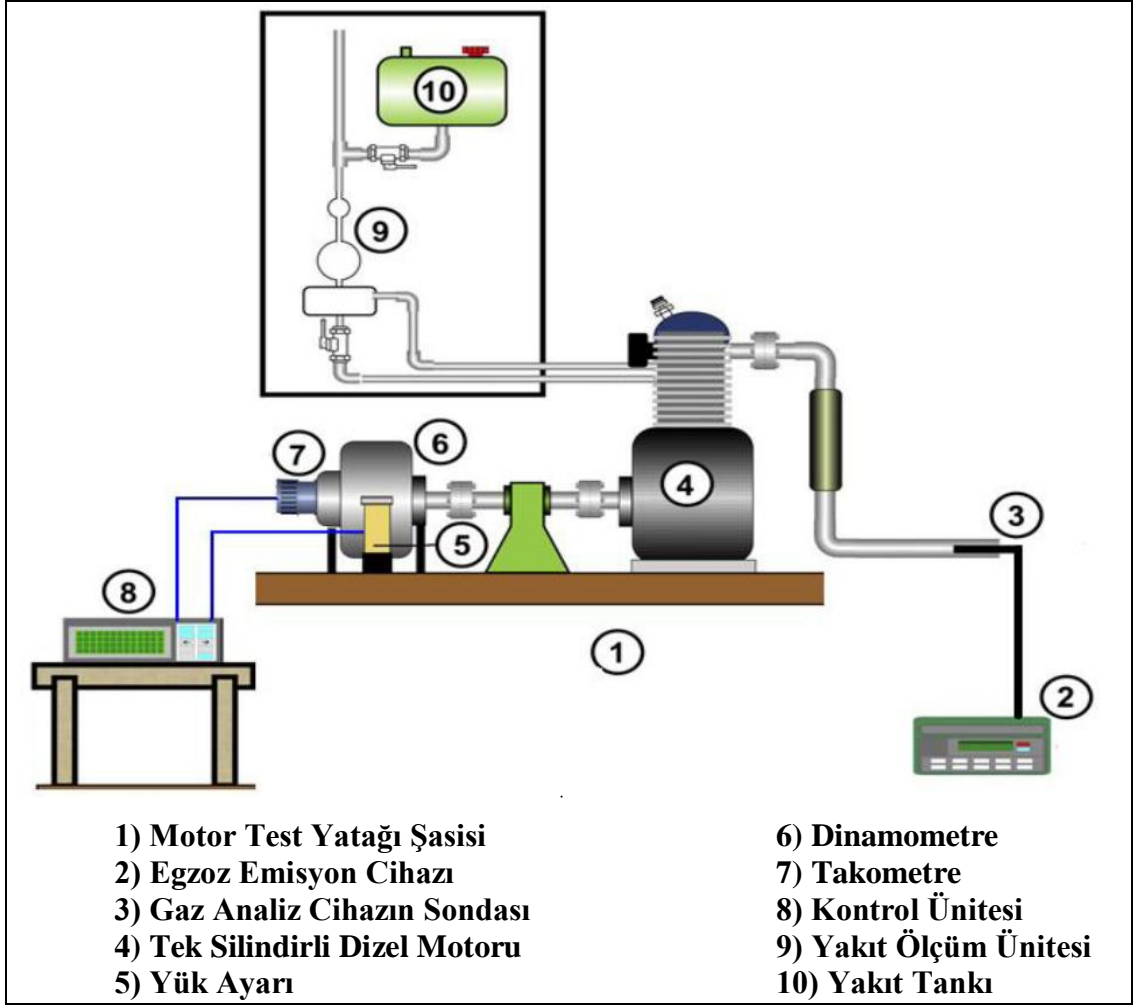
Bu çalışmada, Dizel-Biyodizel, Dizel-Biyodizel-Etanol yakıt karışımlarının tek silindirli, bir dizel motorda tam yük ve farklı hız (1000-3000 1/min hız aralığı) şartlarında motor performansı ve emisyonlarına etkisi araştırılmıştır.

4.2. DENEY DÜZENEĞİ

Deneyler Batman Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 4.1’de, şematik görünümü ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.



Şekil 4.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

4.2.1. Deney Motoru

Bu çalışmada 4 zamanlı, tek silindirli, direk püskürtmeli RAINBOW – LA186 marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dene motorunun teknik özellikleri.

Markası	Rainbow - LA186 Dizel
Püskürtme Sistemi	Direkt Püskürtmeli
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi	406 cc
Sıkıştırma Oranı	18/1
Maksimum Moment	25,21 Nm (1800 d/d)
Maksimum Güç	10 HP
Maksimum Motor Hızı	3600 1/min \pm 20
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Püskürtme Basıncı	19.6 \pm 0.49 MPa (200 \pm 5 kgf/cm ²)
Ortalama Piston Hızı	7 m/sn (3000 1/min)

4.2.2. Motor Dinamometresi

Çizelge 4.2. Motor test cihazının (dinamometre) teknik özellikleri.

Modeli	BT-140
Maksimum Frenleme Gücü	50 HP (37 kW)
Maksimum Hız	7000 1/min
Maksimum Moment	250 Nm
Yük Hücresi Kapasitesi	1000 N
Maksimum Güç İçin Su Sarfiyatı (\dot{V}_{max})	0,75 m ³ /h
Fren Suyu Basıncı	9,81-19,62 Pa
Fren Kontrol Tipi	Kayıcı Fan Perdeleri İle
Ağırlık Sistemi	Metrik-Elektronik Yük Hücresi
Fan Adedi	1
Elektrik İhtiyacı	220/380 V 50Hz
Dönüş Yönü	Sağ Dönüşlü

Deneysel çalışmada BT-140 model, maksimum gücü 50 HP, maksimum hızı 7000 1/min olan hidrolik bir dinamometre kullanılmıştır. Deneylede kullanılan motor test cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Motor test standı (bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. İzleme cihazının üzerinde motor hızını (1/min) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kgm olarak gösteren ekranlar mevcuttur.

Çizelge 4.3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri.

Modeli	PC101BMS
Doğruluk Sınıfı	% 0,2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm Hızı	5 Ölçüm / Saniye
Ağırlık Ölçüm Tipi	Lineer (Yük Hücresi - Load Cell)
Devir Ölçüm Giriş Tipi	Manyetik Algılayıcı
Ekran Tipi	3x6 Adet 7 Bölgeli LED 2x16 Karakter LCD
Güç Sarfiyatı	16 W
Çalışma Ortam Sıcaklığı	0-50 °C
Çalışma Gerilimi	220 ± V
Çıktı	Paralel Yazıcı

4.2.3. Egzoz Gazı Analiz Cihazı

Deneylede egzoz gazlarının analizi için CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz hacimsel % olarak CO₂ ve O₂, % ve ppm olarak CO, ppm cinsinden NO_x ve SO₂ emisyonlarını elektro kimyasal olarak ölçebilmektedir. Şekil 4.3’te egzoz gazı analiz cihazı görülmektedir.



Şekil 4.3 Gaz analiz cihazı.

Çizelge 4.4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri.

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC (ppm)	0-20000	1
CO ₂ (%)	0-20	0,1
CO (%)	0-15	0,001
O ₂ (%)	0-21,7	0,01
NO _x (ppm)	0-5000	1
Lamda (HFk)	06-1,2	0,001

4.2.4. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Deneysel çalışmada dizel, atık yağ biyodizeli ve etanol kullanılmıştır. Motor testleri ilk olarak dizel yakıtı ile yapılmıştır. Daha sonra dizel yakıtının içerisine sırasıyla %10, %20, %30 oranlarında atık yağ biyodizeli ilave edilmiştir. Son olarak, dizel yakıtının içerisine sırasıyla %5-10, %10-20, %15-30 oranlarında etanol-atık yağ biyodizeli ilave edilmiştir. Kullanılan bu yakıtların bazı özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.6’da ise deneyde kullanılan yakıt karışımları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri.

Özellik	Birim	Dizel	Atık Yağ Biyodizeli	Etanol
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	837	883	788
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	3,16	4,51	0,67
Setan sayısı		49,80	51,00	11,00
Parlama noktası	°C	62,00	120,00	13,00
Isıl değeri	MJ kg ⁻¹	45,30	37,00	26,90
Donma noktası	°C	---	6,60	-117,7
Kükürt	ppm	1670,00	---	---

Çizelge 4.6. Deney yakıtı karışımları.

Karışım	Dizel Yakıt Miktarı	Atık Yağ Biyodizel Miktarı	Etanol Miktarı
D100	% 100	-	-
B10	% 90	% 10	-
B20	% 80	% 20	-
B30	% 70	% 30	-
E5+B10	% 85	% 10	% 5
E10+B20	% 70	% 20	% 10
E15+B30	% 55	% 30	% 15

4.3. YÖNTEM

DeneySEL çalışmaya başlamadan önce yakıt enjektör püskürtme basıncı, püskürtme avansı ve supap ayarlarının motorun katalog değerlerine uygun olduğu test edilmiş; yağlama yağı ve hava filtresi değiştirilmiştir.

Deney sırasında alınan veriler motor çalışma sıcaklığına (85-90 °C) ulaştıktan sonra kaydedilmiştir ve deney süresince bu sıcaklıkta tutulmuştur. Yeni bir deneye başlamadan önce motor soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca bir önceki

deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor stop edene kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve daha sonra yakıt deposu yeni yakıt ile doldurularak bir sonraki deneye başlanmıştır.

Motor önce %100 dizel yakıtı ile çalıştırılmış ve referans karakteristikler elde edilmiştir. Daha sonra motor %10-90, %20-80 ve %30-70 oranında biyodizel-dizel ve sırasıyla %5-10-85, %10-20-70, %15-30-55 oranında etanol-biyodizel-dizel yakıt karışımları ile test edilerek motor karakteristikleri belirlenmiştir. Bütün yakıtlar için motor performansı ve egzoz emisyonları motor tam yük ve 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 1/min hız şartlarında iken çalıştırılarak belirlenmiştir.

4.4. HESAPLAMALAR

DeneySEL çalışmaya başlamadan önce motor ayarları yapılmış, motor yağı değiştirilmiş ve motor normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Deneyler, tam yük değişken hız şartlarında yapılmıştır. Tam yük değişken hız şartlarında motor hızı 1000 1/min'den başlanarak 500'er devir arttırılarak 3000 1/min'e kadar 5 farklı hız şartlarında gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Hesaplama da Kullanılacak Formüller

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 eşitliklerle hesaplanmaktadır. Motor deneyleriyle ölçülen veriler;

- Motor hızı
- Load cell'den okunan yük değeri
- Belirli hacimdeki yakıtın harcanma süresi
- Egzoz emisyon değerleridir.

Ölçülen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve termik verim gibi performans değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımı ile belirlenmiştir.

4.4.2. Motor Momenti ve Gücü

Motor belirlenen hız şartlarında çalışırken, dinamometre ile yüklenmesiyle oluşan kuvvet yük hücresi göstergesinden okunmuştur. Okunan bu değer ile dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu çarpılarak motor tarafından oluşturulan döndürme momenti hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1).

$$M_e = m \cdot g \cdot l \quad (\text{Nm}) \quad (4.1)$$

Burada;

M_e : Motor Momenti (Nm)

m : Load Cell'den okunan kuvvet (kg)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

l : Moment kolu uzunluğu (m)'dir.

Motor milinden alınan efektif güç Eşitlik 4.2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_e}{60 \cdot 1000} \quad (\text{kW})$$

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (\text{kW}) \quad (4.2)$$

Burada;

P_e : Efektif motor gücü (kW)

M_e : Efektif motor momenti (Nm)

n : Motor hızı (1/min)'dir.

4.4.3. 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 ölçülerek saatteki yakıt tüketimi (yakıt debisi) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_y = \dot{V} \cdot \rho_y \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/h)} \quad (4.3)$$

Burada;

ρ_y : Kullanılan yakıtın yoğunluğu (kg/m³)

\dot{V} : Hacimsel yakıt debisi (10 ml/s)

Özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ise Eşitlik 4.4 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \cdot 10^3 \text{ (g/kWh)} \quad (4.4)$$

Burada;

ÖYT : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi (kg/h)

P_e : Motor gücü (kW)'dir.

4.4.4. Termik (efektif) Verim

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranına termik verim denilmektedir (Yıldırım, 2003) ve Eşitlik 4.5 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{th} = \frac{P_e}{Q_{in}} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (4.5)$$

Burada;

H_u : Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)

η_{th} : Termik verim

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi (kg/s)

Q_{in} : Yanma odası içerisine birim zamanda yakıtla sürülen ısıl enerji (kJ/s)

4.4.5. Örnek Hesaplama

Motor hızı 2000 1/min'de iken dinamometreden okunan yük 9 kg olduğuna göre, 2000 1/min'deki motor momenti; (4.1)'deki eşitlikte yerine konularak 9,81 Nm olarak hesaplanmıştır.

$$M_e = 9 \cdot 9,81 \cdot 0,25 = 22,07 \text{ (Nm)}$$

Motor gücü değişimi ise (4.2)'deki eşitlikten hesaplanmıştır;

$$P_e = \frac{22,07 \cdot 2000}{9549} = 4,62 \text{ kW}$$

Örnek olarak motor 10 ml yakıtı 23,7 sn'de tüketiyorsa; bu değer eşitlik 4.3'de yerine konularak motorun saatte tükettiği yakıt miktarı hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_y = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{23,7} \cdot 837 = 1,27 \text{ kg/h olarak bulunur.}$$

Bu değer (4.4)'deki eşitlikte yerine konularak özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$\text{ÖYT} = \frac{1,27}{4,62} \cdot 10^3 = 274,9 \text{ g/kWh olarak bulunur.}$$

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

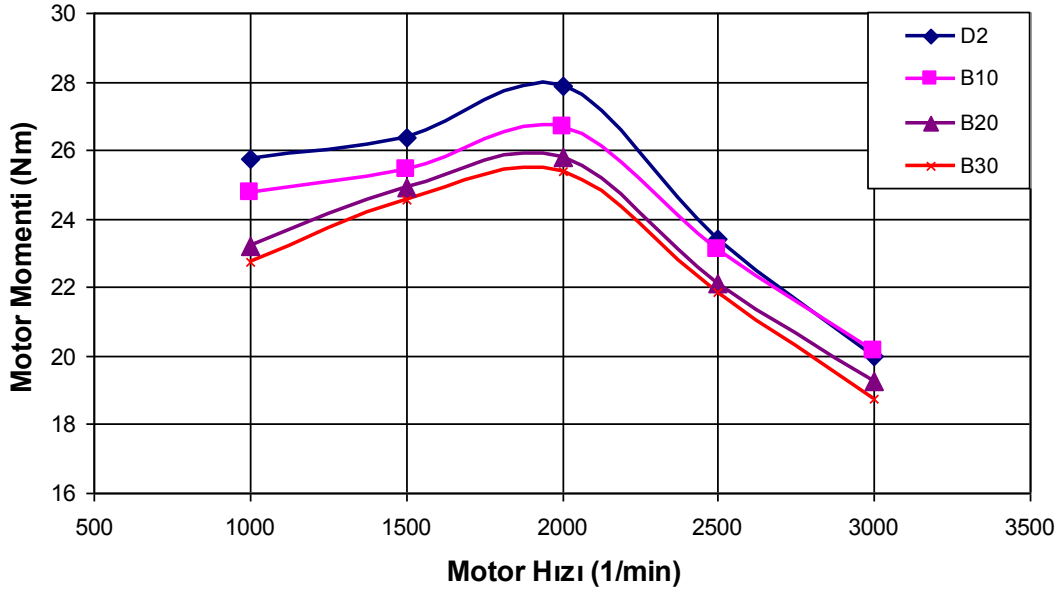
Bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda tam yük değişken hız şartlarında etanol, atık yağ biyodizeli ve dizel yakıtlarından elde edilen karışımlar test edilmiştir. Hacimsel olarak %100 dizel; %90 dizel+%10 biyodizel; %80 dizel+%20 biyodizel; %70 dizel+%30 biyodizel; %85 dizel+%10 biyodizel+%5 etanol; %70 dizel+%20 biyodizel+%10 etanol; %55 dizel+%30 biyodizel+%15 etanol yakıt karışımları kullanılmıştır. Deneyler tam yük konumunda 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 1/min hız şartlarında gerçekleştirilerek motor momentini ve gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları belirlenmiş ve dizel yakıtı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

5.1. MOTOR PERFORMANSI

5.1.1. Motor Momenti ve Gücü

Moment, motorun iş yapabilme kabiliyetinin ölçüsüdür. Düşük hızlardan yüksek hızlara doğru motor hızının artmasıyla moment artmakta, bir maksimum noktasına ulaştıktan sonra artan motor hızıyla tekrar azalmaktadır. Momentin artmasının sebebi hız artışına bağlı olarak karışım oluşumunun iyileşmesi ve çevrim başına gaz kaçakları ile ısı kayıplarının azalmasıdır. Ayrıca, düşük hızlarda bağımsız silindirlere dağıtılan karışım daha iyi ve egzoz gazı atıkları da az olmaktadır. Maksimum momentin sağlandığı noktada silindirlere bir çevrimde maksimum karışım kütlesi alınmaktadır. Benzer şekilde güçte maksimum noktaya kadar hızla artmaktadır. Giriş karışımının akış ve kütle dirençleri motor hızına bağlı olarak artmaktadır. Bu artışla birlikte sürtünme kayıplarının da yine motor hızıyla orantılı olarak artması ve doğru oranda karışım sağlanamaması motor momentini azaltmaya başlar ve güç artışı da yavaşlar (Çetinkaya, 2004).

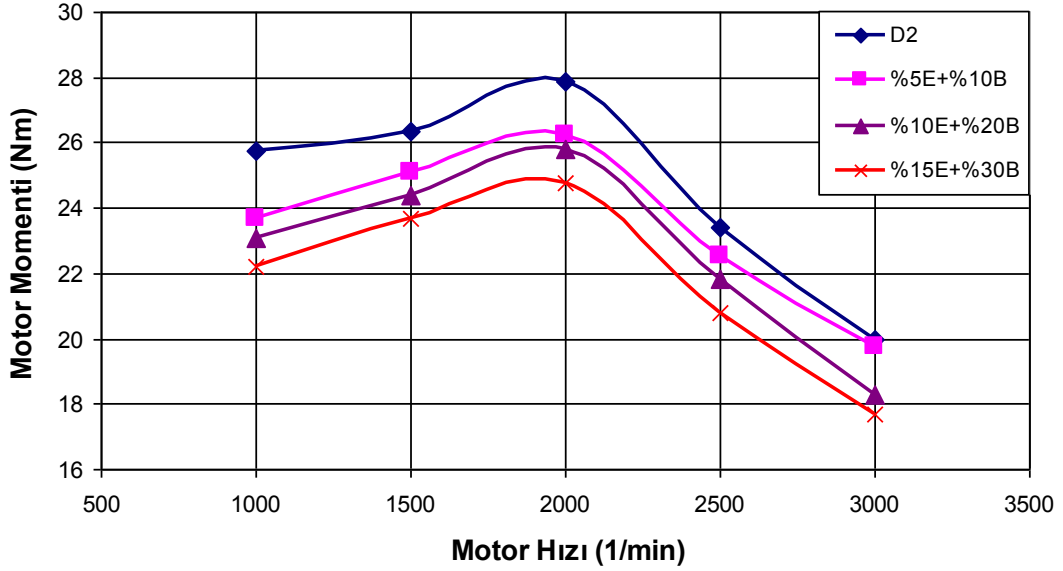
Şekil 5.1’de dizel yakıtta hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin motor momentine etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir.



Şekil 5.1. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının motor momentine etkisi.

Dizel yakıtı ve karışım yakıtları incelendiğinde; düşük motor hızlarında momentin düşük olduğu, motor hızının artmasıyla motor momentinin de arttığı fakat maksimum bir noktaya ulaştıktan sonra tekrar azaldığı görülmektedir. Her yakıt türü için motor hızının artmasıyla moment ve gücün artması, birim zamandaki çevrim artışının doğal bir sonucudur. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesiyle motor momentinde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu azalma genellikle karışım içindeki biyodizel oranı ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça motor momentinde düşüş görülmektedir. Motor momentindeki azalmanın nedenlerinden biri, karışım içerisindeki biyodizel miktarının artmasından dolayı viskozitenin artmasıdır. Viskozitedeki artış yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerrecikler şeklinde püskürtülmesini ve homojen yakıt-hava karışımı oluşmasını engellemektedir (Usta vd, 2004). Böylece yanma kötüleşmekte ve yanma verimi düşmektedir. Yanma veriminin düşmesi motor momentinin azalmasına yol açmaktadır. Bir başka neden ise deney motorunun dizel yakıtına göre tasarlanmış olmasıdır.

Şekil 5.2’de Dizel yakıtına hacimsel olarak %10 biyodizel+%5 etanol, %20 biyodizel+%10 etanol, %30 biyodizel+%15 etanol ilavesinin motor momentine etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir.

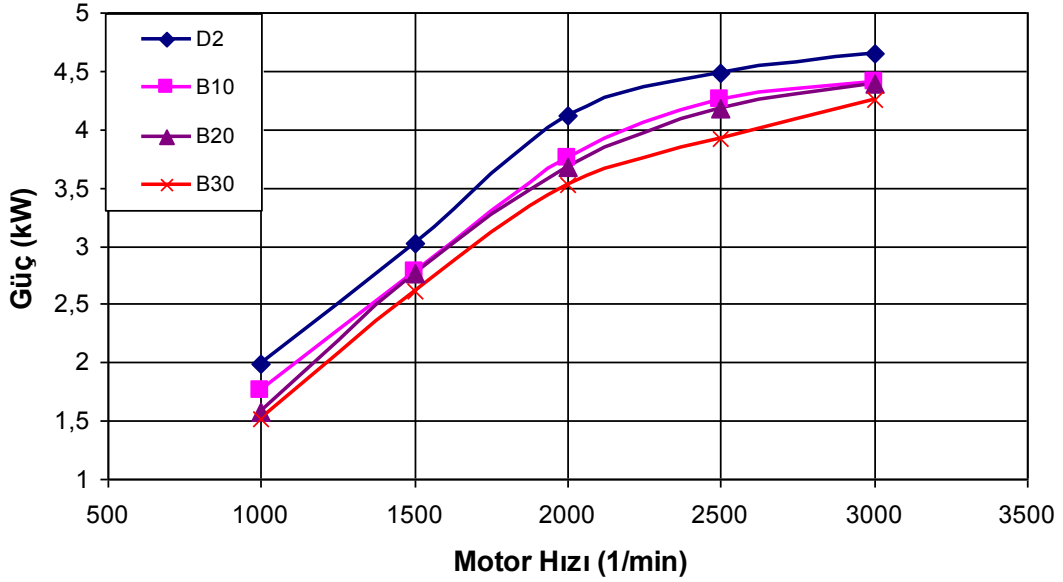


Şekil 5.2. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının motor momentine etkisi.

Dizel+biyodizel karışımına etanol ilave edilmesiyle motor momentinde etanolsüz karışım ve referans yakıtı göre azalmanın devam ettiği belirlenmiştir. Bu genellikle karışım içindeki biyodizel ve etanolün oranı ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Karışım içindeki etanol ile birlikte biyodizel miktarı arttıkça motor momentinde azalma görülmektedir.

Motor momentindeki bu azalışın nedenleri; karışım içerisindeki biyodizel miktarının artmasından dolayı viskozitenin artmasına bağlı olarak yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesine ve homojen yakıt–hava karışım oluşmasına engel olmaktadır. Böylece yanma kötüleşmekte ve yanma verimi düşmektedir. Yanma veriminin düşmesi motor momentinin azalmasına yol açmaktadır. Bir başka neden ise etanolün ve biyodizelin ısı değerinin düşük olması ve etanolün setan sayısının düşük olmasıdır.

Şekil 5.3'te dizel yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin motor gücüne etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir.

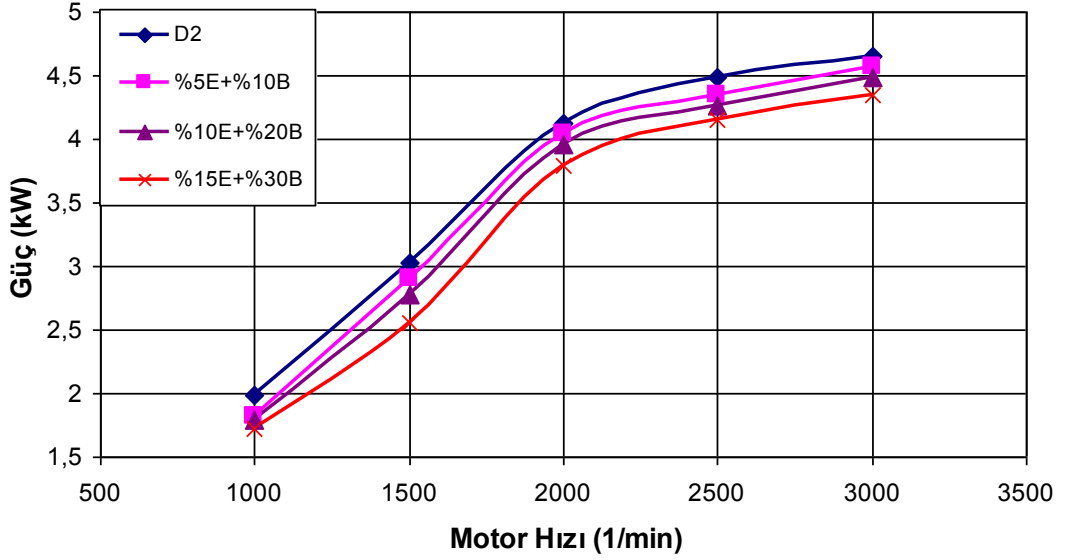


Şekil 5.3. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının motor gücüne etkisi.

Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesiyle motor gücünde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu azalma karışım içindeki biyodizelin oranı ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Karışım içindeki biyodizel miktarı arttıkça motor gücünde düşüş görülmektedir. Motor gücündeki azalmanın nedenlerinden biri, karışım içerisindeki biyodizel miktarının artmasından dolayı viskozitenin artması, ısı değerinin azalmasına bağlı olarak yanmanın kötüleşmesi ve yanma veriminin düşmesidir. Yanma veriminin düşmesi motor gücünün de düşmesine yol açar.

Şekil 5.4'de dizel yakıtına hacimsel olarak %10 biyodizel+%5 etanol, %20 biyodizel+%10 etanol, %30 biyodizel+%15 etanol ilavesinin motor gücüne etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel-etanol oranı arttıkça motor gücünde bir azalma görülmektedir. Karışım yakıtlar içerisinde en yüksek motor gücü %85 dizel+%10 biyodizel+%5 etanol karışımında görülmektedir. Güçteki bu düşüşün nedeni karışım içerisindeki etanolün ısı değerinin düşük olmasının yanında, etanolün viskozitesinin, yoğunluğunun ve setan sayısının düşük olması bulunmaktadır. Düşük viskozite kaçaklara ve düşük yoğunluk ise kütleli

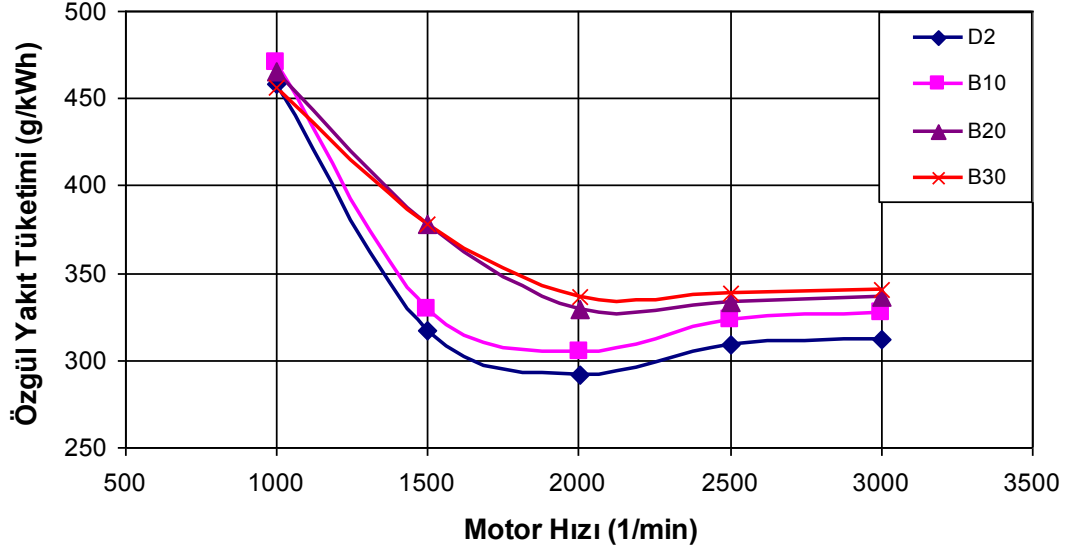
olarak daha az yakıtın silindirlere püskürtülmesine neden olmaktadır. Ayrıca setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına, yanma veriminin kötüleşmesi ile motor gücü ve momentin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle etanol uygulamalı karışımlarda setan sayısını yükseltici katkı maddelerinin de kullanılmasında yarar görülmektedir (Usta vd, 2004).



Şekil 5.4. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının motor gücüne etkisi.

5.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

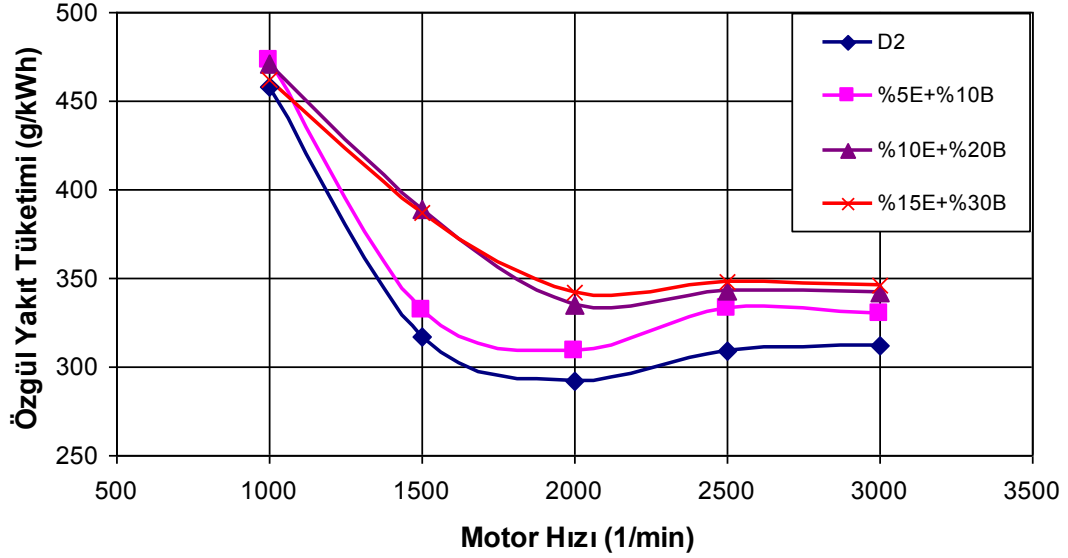
Şekil 5.5'te dizel yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin özgül yakıt tüketimine etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Biyodizel ilavesi özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Özgül yakıt tüketimindeki bu artışın dizel yakıtının içerisine biyodizel yakıtının ilavesiyle orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.

Özgül yakıt tüketimi; birim güç başına tüketilen yakıt miktarı olarak tarif edilmektedir. Motor performans karakterlerinin karşılaştırılmasında iki temel parametre; moment ve birim güç başına tüketilen yakıt kütlesi olan özgül yakıt tüketimidir. Karışım içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. Bu artışın nedeni bu karışımlardaki motor momentlerinin azalmış olmasıdır. Ayrıca düşük hızlarda motorun hareketli parçalarındaki atalet kuvvetinin fazla olması da özgül yakıt tüketimini arttırmaktadır.

Şekil 5.6'da dizel yakıtına hacimsel olarak %10 biyodizel+%5 etanol, %20 biyodizel+%10 etanol, %30 biyodizel+%15 etanol ilavesinin özgül yakıt tüketimine etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Etanol ilavesi özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Özgül yakıt tüketimindeki bu artışın karışım içerisinde etanol ilavesiyle orantılı olduğu görülmektedir. Dizel+biyodizel içerisinde etanol ilave ettikçe motor momentinin düşmesinden dolayı motor gücü azalmakta ve özgül yakıt tüketiminde bir artma meydana gelmektedir.



Şekil 5.6. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.

5.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Atmosferdeki hava kirliliğini artıran önemli nedenlerden biri de taşıtların egzozlarından yayılan kirletici emisyonlardır. İçten yanmalı motorlarda yakıt deposu, karter havalandırma, yakıt sistemi ve egzozdan 110'dan fazla hava kirletici emisyonların çıktığı belirlenmiştir (Akyaz, 2007).

Yanma, yakıt ile havadaki oksijen arasında yüksek hızla oluşan kimyasal reaksiyonlardır Bu reaksiyonlar sonucu ısı ve ışık açığa çıkar. İdeal yanmada, karbondioksit ve su buharı ürün olarak çıkmaktadır. Hava içindeki azot (N_2) reaksiyona girmez, alındığı gibi havaya geri verilmektedir. Su buharı (H_2O) zararlı değildir ve kirletici bir özellik taşımamaktadır. Karbondioksit (CO_2) doğrudan insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak, yanma sonucu atmosfere en çok salınan ve sera etkisi yapan gazdır. Yanmaya katılan hava gerekenden çok veya az olabilir. Yanmaya katılan hava gereken miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilmekte ve tam yanma gerçekleşmeyebilmektedir. Ayrıca, hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda kirletici madde olarak

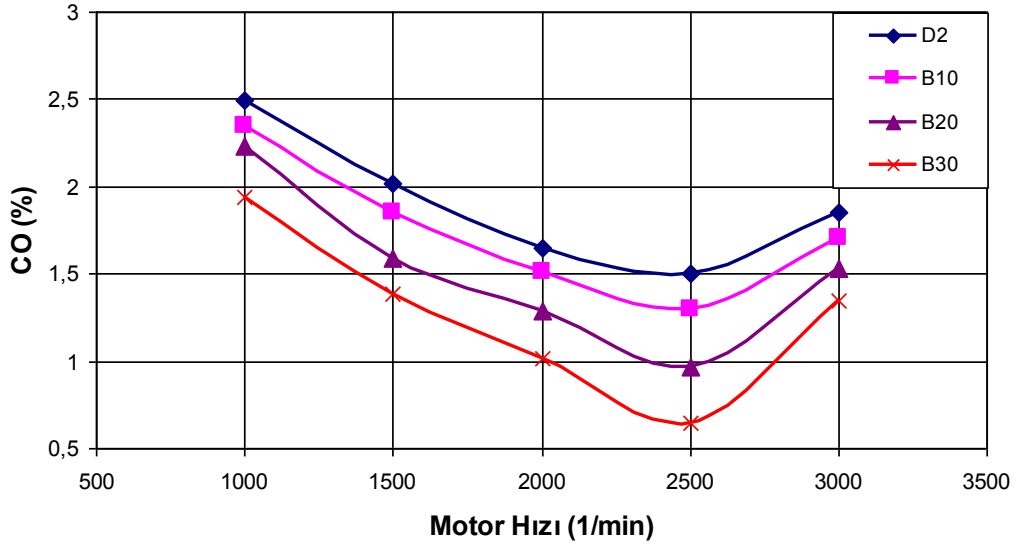
ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda yanma sonucunda yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), aldehitler (R:CHO) ve partiküller (is, metaller, sıvı yağ ve yakıt tanecikleri), kükürt dioksit (SO₂) ve kurşun bileşenleri kirletici olarak ortaya çıkmaktadır (Ergeneman vd, 1998). Bu emisyonların zehirleyici niteliği yanında atmosferde uzun süre kalmaları durumunda, fotokimyasal sise ve asit yağmurlarına neden olmaları diğer emisyon kaynaklarına göre taşıt egzoz emisyonlarını daha önemli yapmaktadır (Akyaz, 2007).

Bu deneysel çalışmada, dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin ve dizel yakıtına hacimsel olarak sırasıyla %5 etanol+%10 biyodizel, %10 etanol+%20 biyodizel ve %15 etanol+%20 biyodizel ilavesinin, motor hızına ve motor yüküne bağlı olarak egzoz emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir.

5.2.1. CO Emisyonları

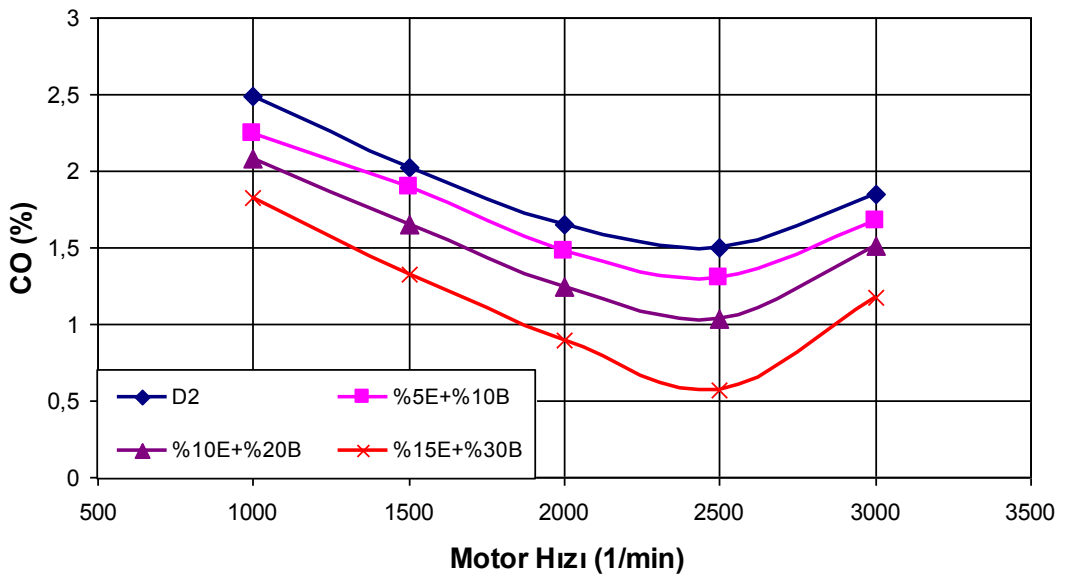
Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Eğer HFK 1'den küçük ise, yani karışım zengin bir karışım ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıttaki karbonunun tümü CO₂'e dönüşemeyerek bir kısmı CO'ye oksitlenecektir. Motorda silindir içinin tümü ele alındığından oksijen genel olarak yetersiz kalacağı gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda da silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi CO emisyonunun oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına (HFK) bağlıdır (Ergeneman vd, 1998).

Şekil 5.7'de dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin CO emisyonlarına etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi, biyodizelin O₂ içeriğinden dolayı CO emisyonunda referans yakıt dizele göre daha düşük seviyelerde görülmektedir. Karışım içindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak CO emisyonunun azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.7. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının CO emisyonuna etkisi.

Şekil 5.8’de dizel yakıtına etanol ve biyodizel ilavesinin değişik motor hızlarında CO emisyonlarına etkisi görülmektedir. Dizel+biyodizel karışımına etanol ilavesi ile CO emisyonu referans yakıtı göre daha düşük seviyelerde görülmektedir. Karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça CO emisyonları da azalma göstermektedir. Bu azalmanın temel nedeni; etanol yakıtının içeriğinde daha az karbon olması ve oksijen içermesidir. CO emisyonundaki azalmanın diğer bir nedeni de yanma odasında oluşan hava-yakıt oranının iyileşmesidir.



Şekil 5.8. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının CO emisyonuna etkisi.

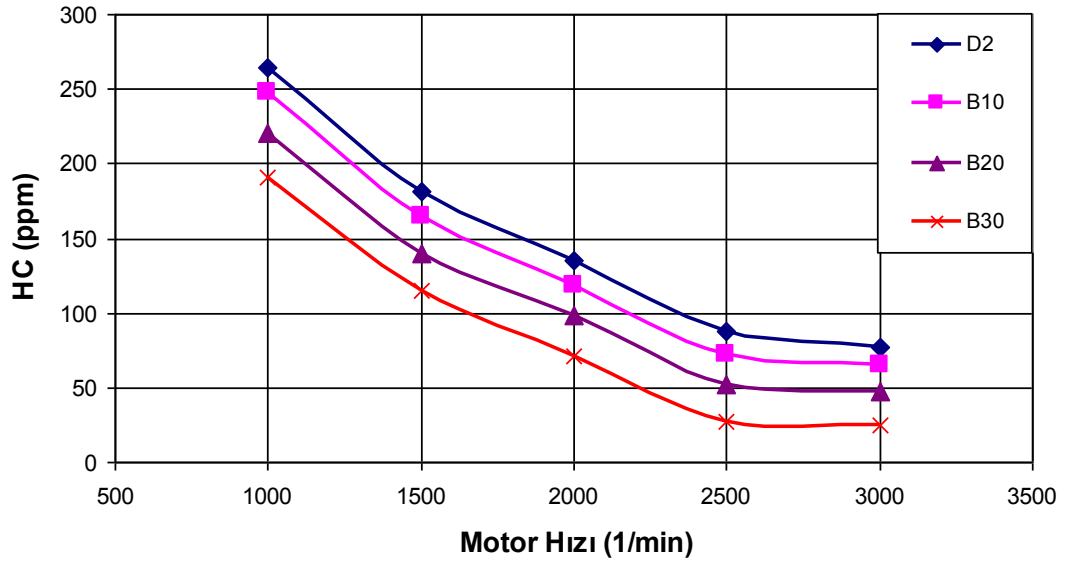
5.2.2. HC Emisyonları

Egzoz gazları içerisindeki hidrokarbon bulunması yakıtın tam olarak yakılmadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda (HFK 1'den küçük–zengin karışım) yanmanın tamamlanamamasıdır. Bu durum;

- Silindir içinde bazı bölgelerde yakıt-hava karışım oranının çok zengin ve fakir olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamaması,
- Silindir içerisindeki soğuk cidarlarda (silindir, silindir kafası ve piston üst yüzeyi) meydana gelen ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi,
- Piston-silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyemeyerek sönmesi nedeniyle oluşmaktadır (Ergeneman vd, 1998).

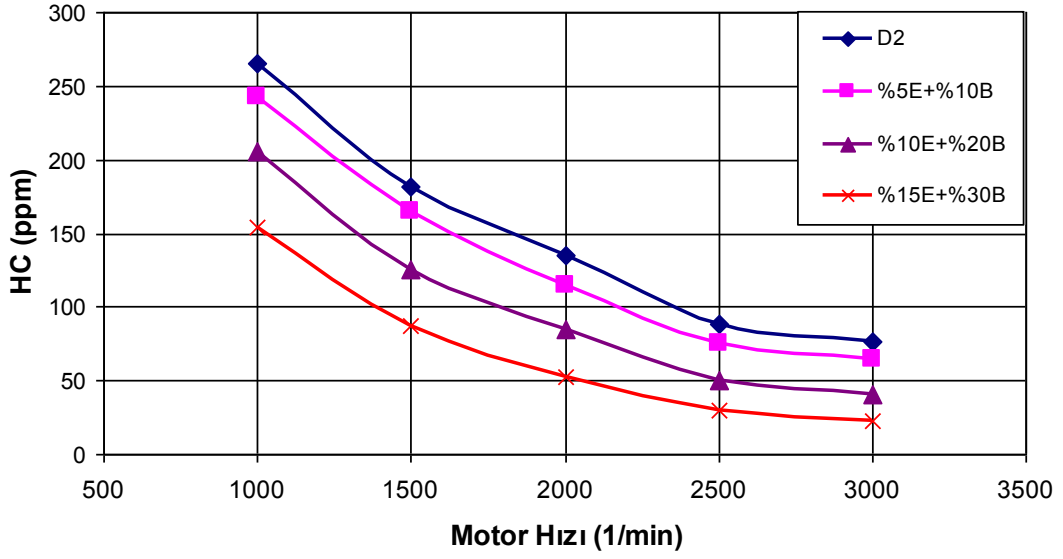
HC emisyonları birçok tasarım ve çalışma parametresi ile yakından ilişkilidir. Hava-yakıt oranı, motor hızı ve yükü, ana çalışma değişkenleri olarak alındığında yanma odası ve dolgu sistemi tasarımı önemli iki tasarım parametresidir. Silindir hacmi, yanma odasının şekli, silindir çapı, kurs boyu ve sıkıştırma oranı, yanma odası yüzey/hacim oranı HC emisyonlarını etkilemektedir. Ayrıca sıkıştırma ve yanma esnasında artan silindir basıncı, silindir içerisindeki yanmamış gazların bir kısmını yanma odasındaki çiziklere ve piston çevresel boşluğuna girmeye zorlamasıdır. Bu yanmamış karışım bölgesi, alevin ulaşamayacağı kadar dar bir bölge olduğundan yanma işlemine katılmamaktadır. Bu boşlukları dolduran yanmamış karışımlar genişleme ve egzoz işlemi esnasında yanmadan dışarı atıldığı için hidrokarbon emisyonu oluşturmaktadır. Bununla birlikte HC emisyonları yanmanın özellikle yavaş seyrettiği çevrimlerde hava/yakıt oranı ve püskürtme zamanının tam ayarlanmaması sebebiyle, yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. HC miktarı yanmamış yakıt taneciklerinin oranıyla birlikte artmaktadır (Vezir, 2006).

Şekil 5.9’da dizel yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin HC emisyonlarına etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranının %10 olduğu durumlarda HC emisyonu referans yakıt dizele yaklaşık, %20 ve %30 olduğu durumlarda ise daha düşük seviyelerdedir. Aşırı fakir bölgelerden kaynaklanan HC emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen karışım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Karışım içindeki biyodizel miktarının artması ile HC emisyonunun azalmasının sebebi, biyodizelin içindeki karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması ile yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklandığı söylenebilmektedir.



Şekil 5.9. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının HC emisyonuna etkisi.

Şekil 5.10’da dizel yakıtına etanol ve biyodizel ilavesinin HC emisyonlarına etkisi görülmektedir. Dizel ve biyodizel karışımına etanol ilavesi HC emisyonun azalmasına yol açmıştır. HC emisyonlarındaki bu düşüş yanma olayının iyileşmesi ve yanma veriminin yüksek olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca etanol yakıtının içerisinde bulunan karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması HC emisyonlarının azalmasında önemli bir etken olduğu söylenebilir.



Şekil 5.10. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının HC emisyonuna etkisi.

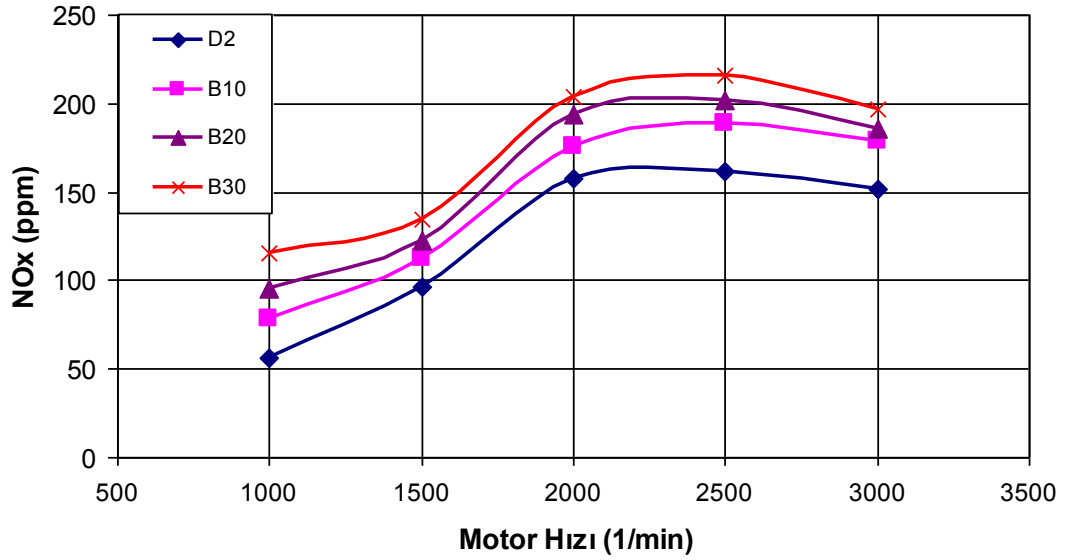
5.2.3. NO_x Emisyonları

Normal şartlar altında havanın içinde azot (N₂) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile temasında NO'nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir. Sonuç olarak, azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığın büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça azot oksidin hızla arttığı anlaşılmaktadır.

Azot oksit oluşumunu etkileyen bir diğer parametre de hava fazlalık katsayısıdır. HFK=1,1 civarında azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır. Ancak HFK 1,1'den büyük olursa, yani daha fakir karışım halinde, silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO_x emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir (Ergeneman vd, 1998).

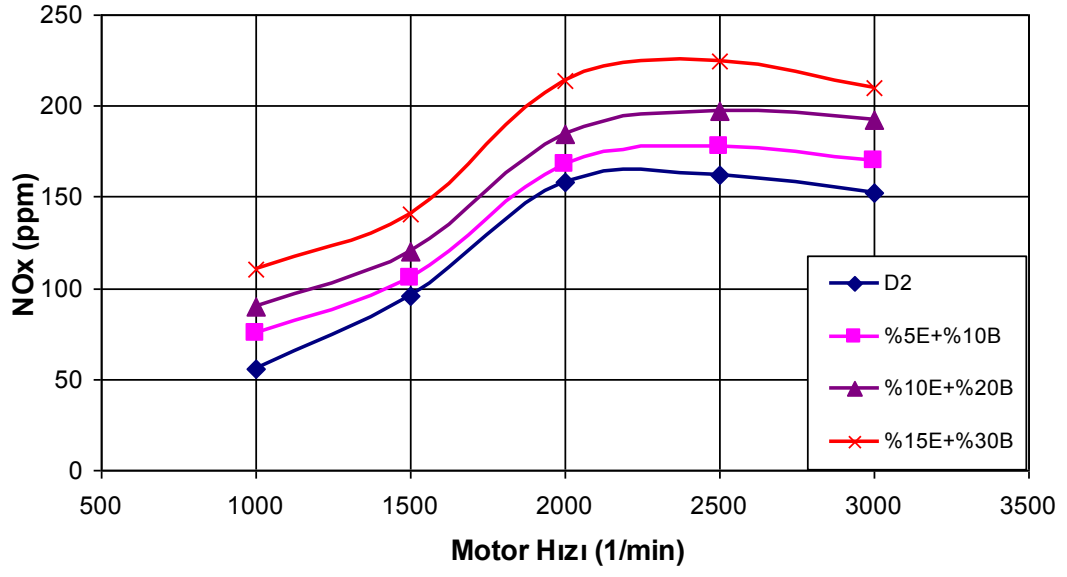
Şekil 5.11'de dizel yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranında biyodizel ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisi motor hızı ile birlikte görülmektedir. Dizel

yakıtına biyodizel ilavesi NO_x emisyonunda referans yakıt dizele göre yüksek seviyelerdedir. Bu artış dizel yakıtı içindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olarak gözlemlenmektedir. Bunun nedeni ise, biyodizel yakıtı içerisinde %10 civarında oksijen bulunması yanma performansını iyileştirmekte ve yanma sonu sıcaklıklarının artması sonucunda NO_x emisyonlarının yüksek çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.11. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel karışımlarının NO_x emisyonuna etkisi.

Şekil 5.12’de dizel yakıtına hacimsel olarak %10 biyodizel+%5 etanol; %20 biyodizel+%10 etanol; %30 biyodizel+%15 etanol ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisi görülmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ve etanol ilavesi NO_x emisyonun artmasına yol açmıştır. Karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça NO_x seviyesi referans yakıt dizelden yüksek seviyede gözlemlenmiştir. Bu artışın nedeni ise, karışımın setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesi artış göstermektedir. Tutuşma gecikmesinin artmasıyla silindir içi ani basınç artış oranı yükselerek maksimum basınç ve yanma ısı artmaktadır (İçingür vd, 2003). Daha önceden bahsedildiği gibi yanma sıcaklıklarının artmasıyla da NO_x emisyonlarında artış görülmektedir.



Şekil 5.12. Farklı oranlarda Dizel+Biyodizel+Etanol karışımlarının NO_x emisyonuna etkisi.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Ham petrol rezervinin dünyada giderek azalıyor olması ve emisyon normlarının giderek önem kazanması, üreticileri alternatif yakıt arayışlarına yöneltmiştir. Bu arayışta alternatif yakıtların dizel motorların çalışma koşullarına ne derece uyum sağladığı önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışma motorun tam yük konumunda 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 1/min şartlarında Dizel+Biyodizel, Dizel+Biyodizel+Etanol karışımları farklı oranlarda sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda kullanılarak performans ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir.

- Motor momentinde ve gücünde dizel+biyodizel karışımlarında bir miktar azalma görülmüştür bu azalmanın karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olduğu görülmüştür. Dizel+biyodizel+etanol karışımlarında ise yanma veriminin yükseldiği ve yanmanın iyileştiği gözlemlenmiştir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça motor momenti ve gücünün azaldığı görülmüştür.
- Özgül yakıt tüketimleri incelendiğinde tüm karışımlarında bir artış görülmüştür. Bu değişim motor momenti ve gücüyle alakalı olarak değiştiği görülmüştür.
- CO emisyonları incelendiğinde dizel+biyodizel karışımlarında bir azalma görülmüştür. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO emisyonlarında bir azalış görülmüştür. Dizel+biyodizel+etanol karışımları incelendiğinde ise; CO emisyonlarında azalmanın devam ettiği görülmüştür. Karışım içerisindeki etanol oranı arttıkça CO emisyonunun da orantılı olarak azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın ana sebebinin etanolün içerisinde karbon miktarının az olması ve oksijen barındırmasıdır.

- HC emisyonları incelendiğinde dizel+biyodizel karışımlarında karışım içerisindeki biyodizel oranının artması ile HC emisyonlarında bir azalma gözlemlenmiştir. Dizel+biyodizel+etanol karışımlarında ise; HC emisyonlarındaki azalma daha belirgin görülmüştür. Karışım içerisindeki etanol oranına bağlı olarak bu azalma devam etmiştir. HC emisyonlarındaki bu düşüş yanma olayının iyileşmesi ve yanma veriminin yüksek olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca etanol yakıtının içerisinde bulunan karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması HC emisyonlarının azalmasında önemli bir etken olduğu söylenebilir.
- NO_x emisyonları incelendiğinde ise; bütün karışımlarda referans yakıt dizele göre bir artış görülmüştür. Dizel motorlarda azot oksit oluşumu silindir içi sıcaklıkların yüksek olması ve bu sıcaklıkta azotun oksijenle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Sonuç olarak bütün deneylerde referans yakıt dizele göre azot oksit emisyonlarında artış görülmüştür.
- Yapılan çalışmada elde edilen test sonuçları mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıtı yakın sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Böylece, performans yönünden bir miktar düşüş olsa da egzoz emisyonlarındaki azalma göz önüne alınarak biyodizel ve etanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olarak kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

Abu-Qudais M., Haddad, O. and Qudaisat M., “The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions.”, *Energy Conversion and Management*, 41 (4): 389–99 (2000).

Ajav, E. A., Singh, B. and Bhattacharya, T. K., “Experimental study of some performance parameters of constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel”, *Biomass and Bioenergy*, 17: 357-365 (1999).

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

Akyaz, S., “Benzin-tersiyer bütül alkol ve benzin naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 12-15, 36-149 (2007).

Altın, R., Çetinkaya, S. ve Yücesu, H. S., “The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines”, *Energy Conversion and Management*, 42, 529-538 (2001).

Altun, Ş., “Motorin ve susam yağı karışımlarının dizel motorlarda kullanılabilirliği” Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 69 (2004).

Andrews, G., “NO_x formation and control the eleventh annual short course on diesel particulates and NO_x emissions”, *University of Leeds*, Leeds, England, 112-134 (1995).

Arslan, M.A., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak soya ve kanola yağı metil esterlerinin farklı enjektör basınçlarında kullanılmasının performans ve emisyon üzerindeki etkileri”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 77-85 (2007).

Asfar, K. R. and Hamed, H., “Combustion of Fuel Blends”, *Energy Convers Manage*, 10: 1081-93 (1998).

Austrian Biofuels Institute (ABI), “Review on Commercial Production of Biodiesel World-Wide”, *Report for the International Energy Agency*, Vienna, Austria, (1998).

Bang-Quan, H., Shi-Jin, S., Jian-Xin, W. and Hong, H., “The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine” *Atmospheric Environment*, 37: 4965-4971 (2003).

Behçet, R., Aydın, H., İlkılıç, C., Aydın, S. ve Çakmak, A.V., “Atık kızartma yağı metil esterinin bir dizel motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 72-76 (2011).

Bilgin, A., Durgun, O. and Şahin, Z., “The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance”, *Energy Sources*, 24: 431-440 (2002).

Borat, O., Balcı M. ve Sürmen, A., Yanma (aerotermokimya) bilgisi, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 41 (1992).

BP, “Statistical review of world energy” , *British Petrol*, Londra, 1-16, (2006).

Conneman, J. and Fischer, J., “Biodiesel World 2000”, *International Congress and Expo Lipids, Fats and Oils*, Würzburg, Germany, 4 (2000).

Çanakçı, M. and Van Gerpen, J., “Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids”, *Transactions of the ASAE*, 44 (6): 1429-1436 (2001).

Çelikten, İ., “Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

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

Ejder, S. B., “Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-89 (2007).

Erdoğan, D. ve Onurbaş, A., “Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağların ölçülen performans değerleri” *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, Ankara, 44 (1-2): 12-16 (1998).

Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A. ve Arslan, H., “Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 13-14 (1998).

Eryılmaz, D., “Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 108-114 (2009).

Eugene, E. E., Bechtold, R. L., Timbaro, T. J. and McCallum, P.W., “State of art report on the use of alcohols in diesel engines”, *SAE Paper*, 840118 (1984).

Geo, V.E., Naragajan, G. and Nagalingam, B., “Studies on dual fuel operation of rubber seed oil and its bio-diesel with hydrogen as the inducted fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (21): 6357-6367 (2008).

Hansen, A.C., Lyne, W.L. and Zhang Q., “Ethanol-diesel blends: a step towards a bio-based fuel for diesel engines”, *Transactions of the ASAE*, 01-6048 (2001).

İçingür, Y. ve 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. ve Yücesu, S., “Ayçiçek yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının bir dizel performansına etkisi”, *Teknoloji Dergisi*, 3 (2-3): 257-265, (2000).

İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “2010 Enerji Raporu” http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/3.pdf (2010).

İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “2010 Enerji Raporu” http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/11.pdf (2010).

İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “2010 Enerji Raporu” http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/14.pdf (2010).

İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “2010 Enerji Raporu” http://www.dektmk.org.tr/upresimler/Enerji_Raporu_20106.pdf (2010).

Karabektaş, M., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımının motor performansına etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 35-68 (2002).

Karaosmanoğlu F., “Türkiye için çevre dostu yenilenebilir bir yakıt adayı biyomotorin”, *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, ICC1 2002 Özel Sayısı, İstanbul, 50-56 (2002).

Karaosmanoğlu, F., Kurt G. ve Özaktaş, T., “Long term CI engine test of sunflower oil”, *Renewable Energy*, 19, 219-221 (2000).

Karaosmanoğlu, F., Özaktaş, T. ve Cılızoğlu K.B., “Alternative diesel fuel study on four different types vegetable oils of”, *Turkish Energy Sources*, 19 (1997).

Kızıllkan, V., “İçten yanmalı dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 49-98 (2008).

Koç, Ö., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motora etkilerinin dizel yakıtı ile deneysel karşılaştırılmalı olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 43-55 (2010).

McCormick, R. L. and Parish, R., “Technical barriers to the use of ethanol in diesel fuel”, *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/MP-540-32674 (2003).

Megep, “Dizel motorlar”, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 3-58 (2006).

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, 7-93 (2008).

Öztürk, M., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri” **Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 45-58 (2008).

Radu, R. and Mircae, Z., “The use of sunflower oil in diesel engines”, **SAE Technical Papers**, 4-8 (1997).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C. , “İçten yanmalı motorlar”, **Birsen Yayınevi**, (2008).

Satgé De Caro, P. and Maloungui, Z., “Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines”, **Fuel**, 80: 565-574 (2001).

Schafer A., “Alternative diesel motorenkraftstoffe auf der basis von pflanzenölen”, **Raps, Sonderausgabe. Mai. S.**, 145-148 (1988).

Şahin, Ö., “Biyodizel ile çalışan bir motora hidrojen ilave edilmesinin motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 76-88 (2009).

Şahin, Z., “Dizel motorlarda dizel yakıtı-hafif yakıt karışımlarının kullanılmasının yanmaya ve motor performansına etkisi”, Doktora Tezi **Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 183 (2002).

Şahin Z. ve Durgun O., “Etanol fumigasyonunun dizel motoru çevrim parametreleri, motor karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri”, **8. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Ankara, 81-97 (2004).

Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı” Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 42-52 (2005).

Toyota, “ T-TEP Dizel motor ders notları”, **Toyota Motor Corporation**, İstanbul, 3-52, (2003).

Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., “Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, **Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi**, Bursa, 16: 37-50 (2004).

U.S. Department of Energy, “Biodiesel Handling and Use”, **Energy Efficiency and Renewable Energy**, 12-38 (2004).

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

Usta N., Çelikten, İ. ve Özer, C., “Effects of ethanol addition on performance and emissions of an IDI Diesel engine running at different injection pressures”, *Energy Conversion and Management*, 45: 2429-2440 (2004a).

Usta, N., Özer, C. ve Öztürk, E., “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 325-334 (2004b).

Usta, N., Özer, C. ve Öztürk, E., “Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, 46: 741-755 (2005).

Ünalın, S., “Alternatif enerji kaynakları ders notları”, *Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği*, 59, (2003).

Üstün, S., “Hayvansal yağlardan biyodizel elde edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 15-73 (2006).

Vermeersch, G., “Development of a biodiesel activity”, *International Congress and Expo Lipids, Fats and Oils*, Würzburg, Germany, 3 (2000).

Vezir A., “Metanol - benzin karışımlarının MgO – ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-92 (2006).

Yamık, H., “Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 71-90 (2002).

Yücesu, S. ve Altın, R., “Kanola yağının alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 12 (4): 1045-1058 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet ÖZDEMİR 1986 yılında Suşehri'nde doğdu; ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Şişli Teknik Lisesi Motor Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Bahçeşehir Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Programı'nda öğrenime başlayıp 2006 yılında derece ile mezun oldu. Yine aynı yıl DGS sınavı ile geçiş yaptığı Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlayıp 2009 yılında derece ile bitirdi. 2009 yılında Şişli Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Bölümü'nde öğretmen olarak göreve başladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimini hazırlayıp sunduğu bu tez ile tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Esentepe Mah. Kırğülü Sk. N:5/9
1.Levent / Şişli / İSTANBUL

Tel: (535) 861 7374

E-posta: mehmet5886@hotmail.com
mehmet5886@mynet.com