İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETANOL - DİZEL, BİYODİZEL - DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Süleyman Bulut EJDER

503051713

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Şubat 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Metin ERGENEMAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Cem SORUŞBAY (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. İrfan YAVAŞLIOL (Y.T.Ü.)

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Yaptığım bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında bütün emek ve bilgi birikimini benden esirgemeyen, tez çalışmam ile ilgili araştırma yapmam için bana yardımcı olan , beni her zaman destekleyen sayın hocam Prof.Dr.Metin Ergeneman'a ve deneylerin yapılmasında bana yardımcı olan ve tecrübesiyle bilgi birikimini benimle paylaşan sayın hocalarım Prof.Dr.Cem Soruşbay'a, Prof.Dr.Ertuğrul Arslan'a, Dr.Akın Kutlar'a, Dr.Hikmet Arslan'a ve arkadaşım Müh. Barış Doğru 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2007 Süleyman Bulut Ejder

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1
2. DİZEL MOTORLAR **7**
2.1. Dizel Motorlarda Yanma ve Yanma Odası Tipleri 7
2.1.1. Ön Yanma Odalı Motorlar 8
2.1.2. Türbülans Tip Odalı Motorlar 9
2.1.3. Direkt Püskürtmeli Motorlar 10
2.1.4. Dizel Motorun Yanma Süreci 12
2.2. Dizel Motorlarında Püskürtme ve Elemanları 16
2.2.1. Yakıt Depoları 20
2.2.2. Besleme Pompaları 21
2.2.3. Filtreler 21
2.2.4. Püskürtme Pompaları 22
2.2.5. Regülatörler 23
2.2.6. Enjektörler 25
2.3. Dizel Yakıt Püskürtme Sistemleri 30
2.3.1. Sıra Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri 30
2.3.2. Distribütör Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri 32
2.3.3. Tek Pistonlu Yakıt Püskürtme Sistemleri 37
2.3.4. Common - Rail Yakıt Püskürtme Sistemi 39
3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR **43**
3.1. Dizel Yakıt ve Özellikleri 43
3.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri 45
3.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri 50
3.2. Biyodizel Yakıtlar ve Özellikleri 54
3.2.1. Biyodizel 54

3.2.2. Biyodizelin Özellikleri 57
3.2.3. Biyodizelin Avantajları 59
3.2.4. Dünya'daki Biyodizel Üretim Teknikleri ve Miktarları 60
3.2.5. Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli ve Ülkemizdeki Gelişmeler 67
3.2.5.1. Ülkemizde Biyodizelin Yasal Mevzuatı ve Durumu 69
3.2.5.2. Türkiye'nin Arazi Potansiyeli 71
3.2.6. Dünya'da Biyodizel İçin Yapılan Performans Çalışmaları 72
3.3. Etanol Yakıtlar ve Özellikleri 80
3.3.1.Etanol Kaynakları 82
3.3.2.Etanolün Üretimi 83
3.3.3. Dünya'da Etanol Kullanımı 84
3.3.4. Etanole İlişkin Kanunlar ve Teşvikler 85
3.3.5 Dünya'da Etanol İçin Yapılan Performans Çalışmaları 86
4. DENEY AŞAMASI 90
4.1. Deney Motorunun Özellikleri 90
4.2. Motor Deneyleri 91
4.3. Deneylerin Uygulama Şekli 91
4.4. Motor Frenlerinin Çalışma Prensibi 92
4.5. Elektromanyetik Fren 93
4.6.Ölçümü Yapılacak Performans Karakteristikleri 94
4.6.1. Motor Momenti (Döndürme Momenti) 95
4.6.2. Motor Gücü 95
4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi 97
4.6.4. Verim 98
4.6.4.1.Hacimsel (Volümetrik) Verim 99
4.6.4.2. Diyagram Verimi 99
4.6.4.3. Mekanik Verim 99
4.6.4.4. Toplam Verim 99
4.7. Deney Yakıtları ve Özellikleri 100
4.8. Deney Sonuçları 101
4.8.1. Dizel Yakıt Deney Sonuçları 101
4.8.2. Biyodizel - Dizel Karışımlarının Deney Sonuçları 102
4.8.3. Etanol - Dizel Karışımlarının Deney Sonuçları 105
4.9. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 108
4.9.1.Biyodizel - Dizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması 108
4.9.2. Etanol - Dizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması 113
5. SONUÇLAR 118

KAYNAKLAR **119**
ÖZGEÇMİŞ **123**

KISALTMALAR

BG : Beygir gücü
HP : Beygir gücü
max : Maksimum
min : Minimum
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
HC : Hidrokarbon
BSFC : Özgül yakıt tüketimi
ATDC : ÜÖN'dan sonra
dB : Desibel ses birimi
ET : Enerjilenme süresi
TDC : Üst ölü nokta
F : Fahrenhayt
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
CO : Karbonmonoksit
ppm : Milyonda parçacık sayısı
GAP : Güneydoğu Anadolu Projesi
TSOME : Tütün tohum yağı metil esteri
PS : Beygir gücü (Pferde Starke)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1	Dünya fosil yakıt rezervleri…….	1
Tablo 1.2	Dünya fosil yakıt tüketimleri……...	2
Tablo 1.3	Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri……..	3
Tablo 1.4	Bazı fosil yakıtlar ve biyokütle kaynaklarının alt ısıl değerleri..	5
Tablo 3.1	Dizel yakıtı ve biyodizelin özellikleri……	58
Tablo 3.2	Avrupa'daki yıllık biyodizel üretimi..……..	61
Tablo 3.3	Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve miktarları……	68
Tablo 3.4	Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı	71
Tablo 3.5	İşlenen tarla alanının kullanılışına göre dağılımı……	72
Tablo 3.6	Deney motorunun teknik özellikleri……	77
Tablo 3.7	Etanolün bazı önemli özelliklerinin dizel no. 2 ile karşılaştırılması……...	80
Tablo 4.1	Deney motorunun teknik özellikleri…….	90
Tablo 4.2	Deney yakıtları ve özellikleri……	100
Tablo 4.3	Motorun %100 dizel yakıt ile performans karakteristikleri…...	101
Tablo 4.4	Motorun %100 dizel yakıt ile sıcaklık karakteristikleri…….....	101
Tablo 4.5	Motorun B5 karışımı ile performans karakteristikleri……..…..	102
Tablo 4.6	Motorun B5 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…….....	102
Tablo 4.7	Motorun B10 karışımı ile performans karakteristikleri…..…...	103
Tablo 4.8	Motorun B10 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…..…….....	103
Tablo 4.9	Motorun B15 karışımı ile performans karakteristikleri…….....	104
Tablo 4.10	Motorun B15 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…….....	104
Tablo 4.11	Motorun E5 karışımı ile performans karakteristikleri……..…..	105
Tablo 4.12	Motorun E5 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…….....	105
Tablo 4.13	Motorun E10 karışımı ile performans karakteristikleri…..….....	106
Tablo 4.14	Motorun E10 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…….....	106
Tablo 4.15	Motorun E15 karışımı ile performans karakteristikleri…….....	107
Tablo 4.16	Motorun E15 karışımı ile sıcaklık karakteristikleri…….....	107
Tablo 4.17	Biyodizel – dizel motor momenti verileri……	108
Tablo 4.18	Biyodizel – dizel güç verileri……	109
Tablo 4.19	Biyodizel – dizel özgül yakıt tüketimi verileri……..…	111
Tablo 4.20	Biyodizel – dizel toplam verim verileri…….	112
Tablo 4.21	Etanol – dizel motor momenti verileri……	113
Tablo 4.22	Etanol – dizel güç verileri…….	114
Tablo 4.23	Etanol – dizel özgül yakıt tüketimi verileri……...…	115
Tablo 4.24	Etanol – dizel toplam verim verileri……...	116

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Ön yanma 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 motorlarında yanma işlemi…… 12
Şekil 2.6 : Dizel motorunda krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı…….. 13
Şekil 2.7 : Direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi... 14
Şekil 2.8 : Krank miline bağlı olarak ısı açığa çıkışı…… 15
Şekil 2.9 : Klasik bir dizel motorun yakıt sisteminin parçaları…… 19
Şekil 2.10 : Enjektörün yapısı…… 26
Şekil 2.11 : Klasik bir enjektörün parçaları…….. 27
Şekil 2.12 : Enjektör memesi kesiti…… 28
Şekil 2.13 : Delikli ve çubuklu meme kesiti……. 30
Şekil 2.14 : Sıra tipi pompalı püskürtme sistemi……... 30
Şekil 2.15 : Sıra tipli püskürtme pompasının çalışma prensibi……..... 31
Şekil 2.16 : Dağıtıcı püskürtme sistemi…… 33
Şekil 2.17 : Distribütör tipi pompanın kurs ve besleme fazları…… 35
Şekil 2.18 : Common-Rail sistemin diğer sistemlerle karşılaştırılması……. 41
Şekil 3.1 : Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi…… 52
Şekil 3.2 : Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri……... 53
Şekil 3.3 : Biyodizelin 1991 – 2005 yılları arasında dünyada üretim miktarları……. 62
Şekil 3.4 : Biyodizel üretimi prosesi……. 64
Şekil 3.5 : Cussons P8601 motor test düzeneği……. 73
Şekil 3.6 : TSOME ilavasenin motor tam yük durumunda iken motor momentine etkisi……. 74
Şekil 3.7 : TSOME ilavesinin motor tam yük durumunda iken motor gücüne etkisi…… 75
Şekil 3.8 : TSOME ilavesinin motor tam yük durumunda iken toplam verime etkisi…… 76
Şekil 3.9 : Cussons P8601 motor test düzeneği……... 77
Şekil 3.10 : Biyodizelin motor gücüne etkisi (tam yük – 2500 d/d'da)……. 78
Şekil 3.11 : Biyodizelin motor momentine etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)……. 78
Şekil 3.12 : Biyodizelin motor gücüne etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)……. 78
Şekil 3.13 : Biyodizelin özgül yakıt tüketimine etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)……. 79

Şekil 3.14 : Biyodizelin toplam verime etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)…… 79
Şekil 3.15 : Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği. 82
Şekil 3.16 : Deney sisteminin şematik resmi…… 87
Şekil 3.17 : 150 Bar pürkürtme basıncında dizele etanol eklenmesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi…… 88
Şekil 3.18 : Etanol-Dizel (%10-%90) karışımı kullanılan dizel motorda farklı püskürtme basınçlarının uygulanmasının motor performansı üzerine etkisi…… 89
Şekil 4.1 : Başak Traktör DS408 – 45…… 90
Şekil 4.2 : Elektromanyetik fren düzeneği……... 94
Şekil 4.3 : % 100 dizel yakıtın motor performans grafiği……. 101
Şekil 4.4 : B 5 yakıt karışımı ile motor performans grafiği ……..... 102
Şekil 4.5 : B 10 yakıt karışımı ile motor performans grafiği ……... 103
Şekil 4.6 : B 15 yakıt karışımı ile motor performans grafiği ……... 104
Şekil 4.7 : E 5 yakıt karışımı ile motor performans grafiği ……. 105
Şekil 4.8 : E 10 yakıt karışımı ile motor performans grafiği……..... 106
Şekil 4.9 : E 15 yakıt karışımı ile motor performans grafiği……..... 107
Şekil 4.10 : Biyodizel – dizel motor momenti / devir sayısı grafiği…….. 108
Şekil 4.11 : Biyodizel – dizel güç / devir sayısı grafiği……..... 109
Şekil 4.12 : Biyodizel – dizel özgül yakıt tüketimi / devir sayısı grafiği…… 110
Şekil 4.13 : Biyodizel – dizel toplam verim / devir sayısı grafiği……..... 111
Şekil 4.14 : Etanol – dizel motor momenti / devir sayısı grafiği……..... 113
Şekil 4.15 : Etanol – dizel güç / devir sayısı grafiği……..... 114
Şekil 4.16 : Etanol – dizel özgül yakıt tüketimi / devir sayısı grafiği..... 115
Şekil 4.17 : Etanol – dizel toplam verim / devir sayısı grafiği..... 116

SEMBOL LİSTESİ

m^3	: Metreküp
%	: Yüzde oranı
SO_2	: Kükürtdioksit
NO_x	: Azotoksitler
MJ	: Mega joule
°C	: Santigrad
dp/dt	: Basınç yükselme hızı
mm	: Milimetre
Nm	: Newton – metre
d/d	: Dakikadaki devir sayısı
µm	: Metrenin milyonda biri
MPa	: Megapaskal
Ω	: Ohm Direnç birimi
H_2SO_4	: Sülfürik asit
SO_3	: Kükürttrioksit
H_2O	: Su
$	: Amerikan doları
km	: Kilometre
ph	: Asitlik derecesi
NaOH	: Sodyum hidroksit
kW	: Kilo – Watt
g / kWh	: Gram / Kilo –Watt saat
K	: Kelvin
atm	: Atmosfer basıncı
mm Hg	: Milimetre – civa
Pme	: Ortalama efektif basınç

α ve β	: Düzeltme katsayıları
t	: Zaman
N_e	: Efektif güç
ρ	: Yoğunluk
N_i	: İndike güç
η	: Verim
η_m	: Mekanik verim
Kcal	: Kilo – kalori
Hu	: Alt ısıl değer
b_e	: Özgül yakıt tüketimi

ETANOL - DİZEL, BİYODİZEL - DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

ÖZET

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 etonal – dizel yakıtları farklı oranlarda birbirlerine karıştırılması suretiyle test motorunun motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim olarak sınıflandırılan performans karakteristiklerine ulaşılmıştır. Deney motorunun yüklenmesi Schenk 130kW marka ve tip bir elektromanyetik fren ile yapılmıştır. Alternatif yakıt deneylerinde 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 ve sonuçlar grafikleme yöntemi ile sunulmuştur.

EXPERIMENTAL RESEARCH FOR EFFECTS OF USING ETHANOL - DIESEL AND BIODIESEL - DIESEL FUEL MIXTURES ON PERFORMANCE OF AN ENGINE

SUMMARY

In this study, different types of ethanol and biodiesel , as an alternative fuel instead of fossil fuels , are tested on a tractor with a direct diesel injection system diesel engine to obtain variations of performance characteristics for different mixtures rates. Each mixture is tested on the experiment engine and then performance characteristics of motor are obtained that are classified engine moment, engine power, specific fuel consumption and thermal efficiency.A Schenk electromagnetic brake of type 130W is used to load the engine. In testing process; firstly engine is tested with reference fuel called Diesel No2 and then these performance characteristics form referance values for mixtures . For each fuel mixture, the testing results are compared with referance characteristics and finally they are presented as graphics method .

1.GİRİŞ

1.1.Giriş ve Çalışmanın Amacı

Günümüzde endüstri ve konutlarda ısıtma amacıyla yakıtlar ve enerji üretiminde kullanılan organik esaslı kimyasalların temel kaynakları yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılan petrol, kömür, ve doğal gazdır. 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 kaynakları dünya üzerindeki rezervleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.1 : Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (2002)

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Taş Kömürü	Linyit
	Milyar ton	Trilyon m^3	Milyar ton	Milyar ton
Kuzey Amerika	8,4	7,3	116,7	139,8
Orta-Güney Amerika	12,9	6,3	7,8	13,7
Batı Avrupa	2,7	5,1	41,7	80,4
Doğu Avrupa	9,0	56,7	97,5	132,7
Orta Doğu	91,5	49,5	0,2	0
Afrika	10,0	11,2	61,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	10,3	184,4	107,9
Toplam	140,4	146,4	509,5	474,7

Dünya nüfusunun hızla artması, endüstrileşme ve hızlı şehirleşme bu doğal kaynakların tüketimini hızla arttırmaktadır. 2002 yılı verilerine göre dünya üzerindeki fosil kaynakların tüketimleri ve toplam tüketim içindeki payları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1.2 : Dünya Fosil Yakıt Tüketimleri (2002)

Bölge	Petrol		Doğal Gaz		Kömür	
	%	Milyon TEP*	%	Milyon TEP*	%	Milyon TEP*
Kuzey Amerika	46	1066	28	650	26	591
Orta-Güney Amerika	67	219	27	87	6	22
Batı Avrupa	50	760	28	423	22	344
Doğu Avrupa	20	170	58	494	22	180
Orta Doğu	52	206	46	181	2	8
Afrika	45	117	21	54	34	89
Asya ve Okyanusya	43	972	12	275	45	1021
Toplam	44,00	3510	27,00	2164	29,00	2255

*Ton Eşdeğer Petrol

Tablo 1.2'de sunulan tüketim değerleri incelendiğinde fosil kaynaklar arasında %44,00 ile petrol birinci sırada yer alırken bunu %29,00 ile kömür ve %27,00 ile doğal gazın takip ettiği görülmektedir. Takip eden çizelgede fosil yakıtların mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri de dikkate alınırsa gelecek 30 yıl içerisinde bu fosil kaynaklar açısından önemli bir yetersizlik olmayacağı ancak önümüzdeki 40–50 yıl içerisinde ise bu kaynakların 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.

Tablo 1.3 : Dünya Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri (2002)

	Petrol	Doğal gaz	Kömür
Bölge	Yıl	Yıl	Yıl
Kuzey Amerika	14	11	239
Orta-Güney Amerika	38	66	474
Batı Avrupa	8	18	161
Doğu Avrupa	24	82	>500
Orta Avrupa	87	>100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
Toplam	41	62	230

Günümüzde kullanılan fosil yakıtların yüksek oranda kükürt, azot ve metal içermeleri büyük oranda hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu fosil yakıtların yanması sonucu oluşan SO_2 ve NO_x gazları asit yağmurlarına neden olurken atmosferde CO_2 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 kirliği 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 geliştirilmesine 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. Özellikle 1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da petrol fiyatının artmasına 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. Biyodizelin kullanımı; 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.

Biyokütle kaynakları sentetik yakıtların ve enerji esaslı kimyasal maddelerin üretilmesi amacıyla seçilirler. Bunun en önemli nedeni sahip oldukları alt ısıl değerlerdir. Tablo1.4'te bazı fosil yakıtların ve biyokütle kaynaklarının alt ısıl değerleri verilmiştir.

Tablo 1.4 : Bazı Fosil Yakıtlar ve Biyokütle Kaynaklarının Alt ısıl Değerleri

Madde	Alt ısıl değer [MJ]
➢ 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	39,77
Kolza tohumu	39,77
Keten tohumu	39,5
Amorf karbon	33,8
Parafinik hidrokarbonlar	43,3
➢ Ham petrol	48,2

Tablo 1.4'ten de görülebileceği gibi bitkisel yağlar sahip oldukları yüksek alt ısıl değerleri ile biyokütle kaynakları arasında oldukça önemli bir yer alırlar. Ayrıca bitkisel yağlar petrole yakın özellikler göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki alkoller çeşitli tekniklerle, kısmen dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilmektedir. Alkoller kömür veya petrolden ucuza üretilebilirler . Alkoller (metanol - etanol) dizel yakıta 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 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 üretilebilmektedir. Türkiye'nin zengin tarım potansiyeli ve özellikle yakın bir geçmişte tamamlanmış olan Güney Doğu Anadolu Projesi ile 1.6 milyon hektar kurak arazinin sulanarak tarıma kazandırılması ve sadece yağlı tohum üretiminin %73 oranında artacak olması düşünüldüğünde bitkisel yağların alternatif yakıtların ve organik kimyasalların üretiminde ülkemiz için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir

Yapılan bu çalışmada Başak Traktör Firmasına ait Başak DS 408 – 45 isimli direkt püskürtmeli dizel traktör motorunda alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizel ve etanolün dizel yakıtla oluşturulan karışımlarının gösterdiği performans değerleri elde edilmiştir. Bu değerler aynı motorun klasik dizel yakıtıyla verdiği değerler ile karşılaştırarak söz konusu alternatif yakıtların motor performansı üzerine etkileri ortaya konmuştur.

2. DİZEL MOTORLAR

2.1. Dizel Motorlarda Yanma ve Yanma Odası Tipleri

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.

Son yıllarda "Bunker C" ya da "Fuel Oil"ler de ucuz oluşları nedeniyle öncelikle ağır devirli ve yüksek güçlü dizel motorlarda olmak üzere, tüm dizel motorlarında kullanılmaktadır.

Dizel motorlar, sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı yükseltilen hava içersine püskürtülen yakıtın kendiliğinden tutuşması ilkesine göre çalışırlar. Bu ilkeye göre ısının işe dönüşümü şöyle olmaktadır:Temiz hava motor içersine emilir ya da doldurulur. Piston tarafından sıkıştırılan havanın basıncı 30–40 bar (max 90 bar) ve sıcaklığı 450–650°C civarındadır. Kızgın havanın içersine püskürtülen yakıt kendiliğinden tutuşur çünkü dizel yakıtlarda tutuşma sıcaklık aralığı 280–365°C 'dir. 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 mili kendisine iletilen döndürme hareketini kara aracında kullanılan bir motor ise volan ve aktrarma organları üzerinden tekerleklere, eğer deniz aracında kullanılıyorsa pervaneye ya da yardımcı bir makine veya elektrik jeneratörüne aktarır. İş stroku sonucunda basınç ve sıcaklığı azalan

gazlar silindir dışına atılır ve silindirlerin yeni bir çevrim için temiz hava ile doldurulması döngüsü başlar.

Silindir içerisine yüksek setanlı yakıt püskürten ve sıkıştırma ateşlemesi kullanan dizel motorlar karayolu, off-road, deniz ve endüstriyel uygulama alanlarında çok önemli bir role sahiptir. Dizel motorları cazip kılan özelliklerinden biri 54% 'e kadar çıkabilen yüksek yanma verimidir. Bu verim buji ateşlemeli benzinli motorlarda ortalama 34% civarındadır. Verimin daha yüksek olmasının sebepleri daha yüksek sıkıştırma oranı ve düşük pompalama kayıplarıdır. Son teknoloji dizel motor uygulamalarına kadar dizeller Amerika'da otomobillerde çok kısıtlı uygulama alanına sahip olmuştur. Bunun sebebi dizaynın sahip olduğu ağırlık, maliyet, koku, gürültü ve emisyon problemleridir. Avrupa'da dizel yakıt kullanımına uygulanan düşük vergilendirmeye bağlı olarak dizel binek arabaları çok daha yaygındır. Dizel motorlarda güç/hacim oranını yükseltmek için turboşarj yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dizel motorlarda mevcut olan yanma odası tipleri şunlardır :

- Bölünmüş yanma odaları

a.)Ön Yanma odalı tip

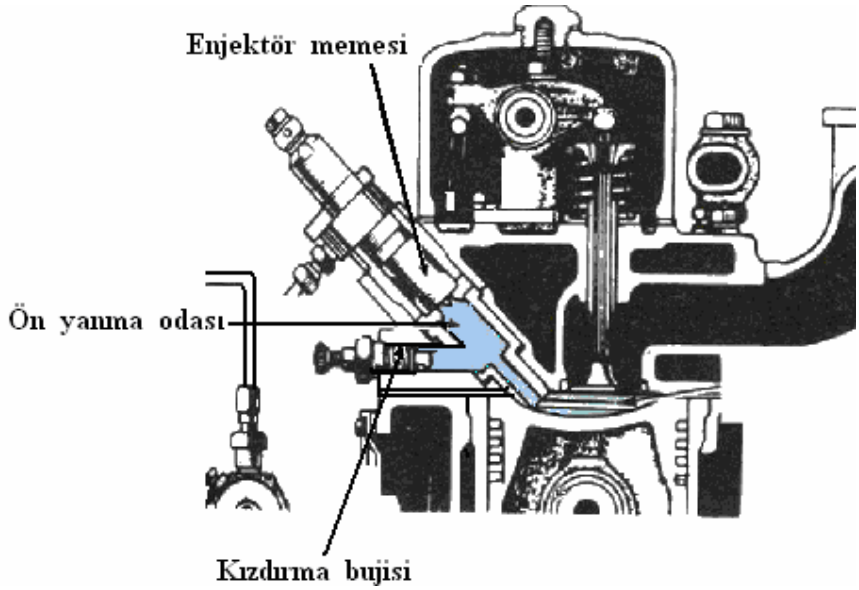
b.)Türbülans odalı tip

- Direkt yanma odaları (Direkt püskürtmeli tip)

2.1.1. Ön Yanma Odalı Motorlar (IDI)

Bu dizaynda yakıt esas silindir odasına eklenmiş olan küçük bir ön odaya enjekte edilir. Başlama yüksek bir sıkıştırma oranı (24–27) ve ön odaya yerleştirilmiş bir kızdırma bujisiyle gerçekleştirilir. Bu dizayn daha az gürültü ve daha hızlı yanma avantajlarına sahiptir fakat yakıt tasarrufu daha düşüktür.

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



Şekil 2.1 : Ön Yanma Odalı Motor

Ön yanma odalı motorun avantajları şu şekilde sıralanabilir;

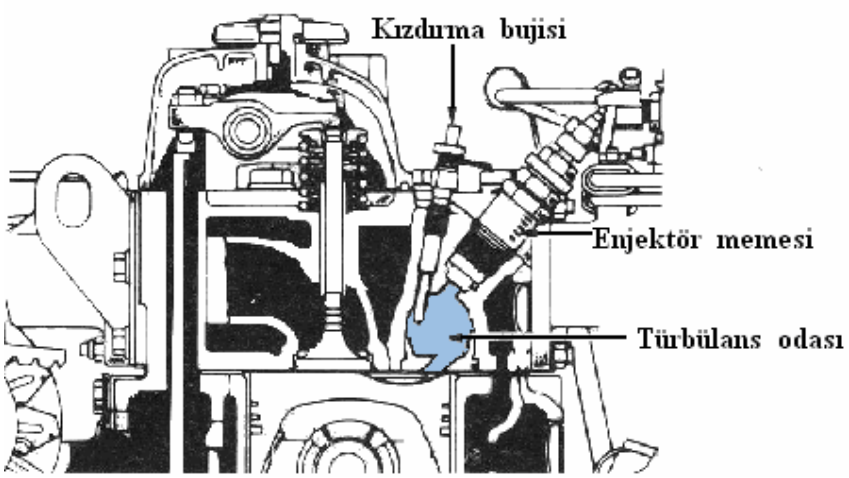
- Çeşitli tipte yakıt kullanımı mümkündür. Nispeten düşük kalitede olan bir yakıt bile dumansız şekilde yakılabilir.
- Yakıt püskürtme basıncının nispeten düşük olması ve püskürtme zamanlamasındaki değişimlerden motorun pek etkilenmemesinden dolayı bakımı kolaydır.
- Dizel vuruntusu azdır ve motor daha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

Ön yanma odalı motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Karışık silindir tasarımı nedeniyle yüksek bir maliyete sahiptir.
- Daha büyük kapasiteli bir marş motoruna ihtiyaç vardır. İlk hareket zordur, dolayısıyla kızdırma bujilerinin kullanılması zorunludur.
- 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.



Şekil 2.2 : Türbülans Odalı Motor

Türbülans yanma odalı motorun avantajları şu şekilde sıralanabilir;

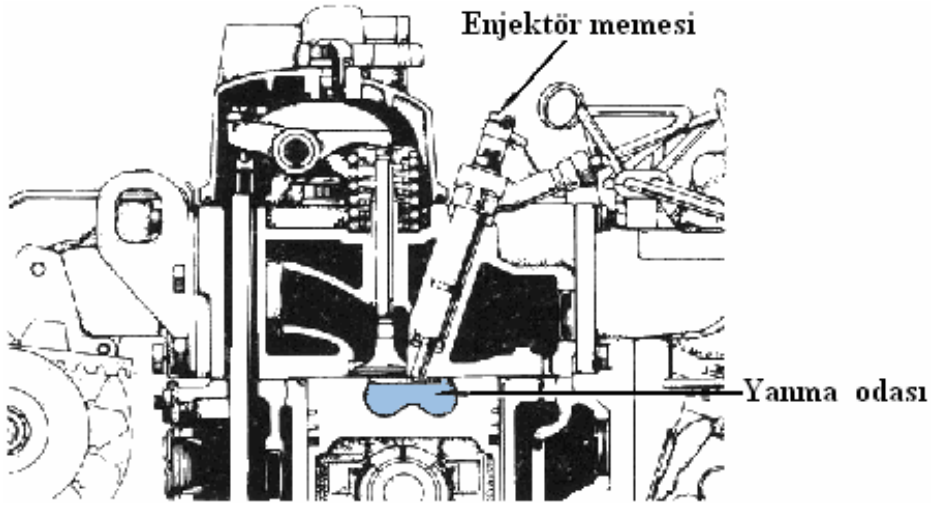
- Yüksek sıkıştırma türbülansına bağlı olarak yüksek motor devirlerine ulaşılabilir.
- İğne tip enjektör memesi kullanımı sayesinde dizel vuruntusu azaltılmıştır ve motor daha sessiz çalışır.
- Geniş bir motor devir aralığına sahiptir ve binek otomobillerinde kullanılabilir.

Türbülans yanma odalı motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

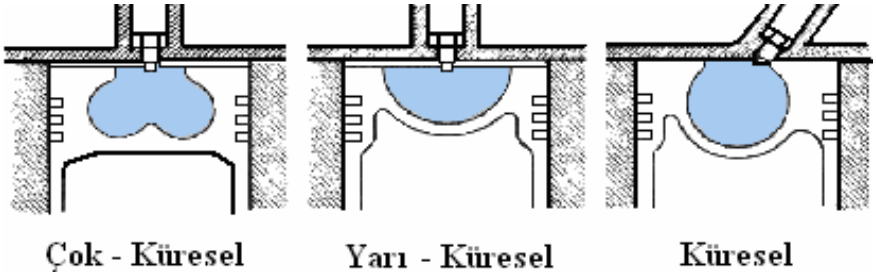
- Silindir kapağı ve silindir bloğu karmaşık bir tasarıma sahiptir.
- Termal (ısı) etkinliği ve yakıt tüketim oranı direkt püskürtmeli tipe nazaran daha kötüdür.
- Kızdırma bujilerine ihtiyaç duyarlar fakat kızdırma bujileri geniş bir türbülans odası için çok verimli olmadıklarından, motor daha zor çalışır.
- 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 arttırılması için çeşitli özel şekillerde tasarlanmıştır.



Şekil 2.3 : Direkt Püskürtmeli Motor



Şekil 2.4 : Direkt Püskürtmeli Yanma Odası Tipleri

Direkt püskürtmeli motorun avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Direkt püskürtmede yanma odalarının küçük alan yüzeyleri ısı kayıplarını an 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.
- Silindir kapağı basit bir yapıya sahip olduğu için ısıl deformasyon etkisi azalır.
- Isı kaybı az olduğundan sıkıştırma oranı azaltılabilir.

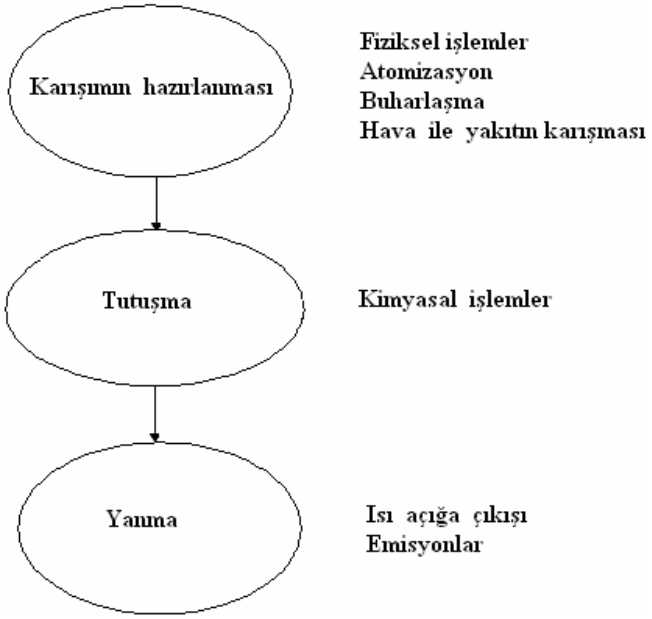
Doğrudan püskürtmeli motorun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

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

2.1.4. Dizel Motorun Yanma Süreci

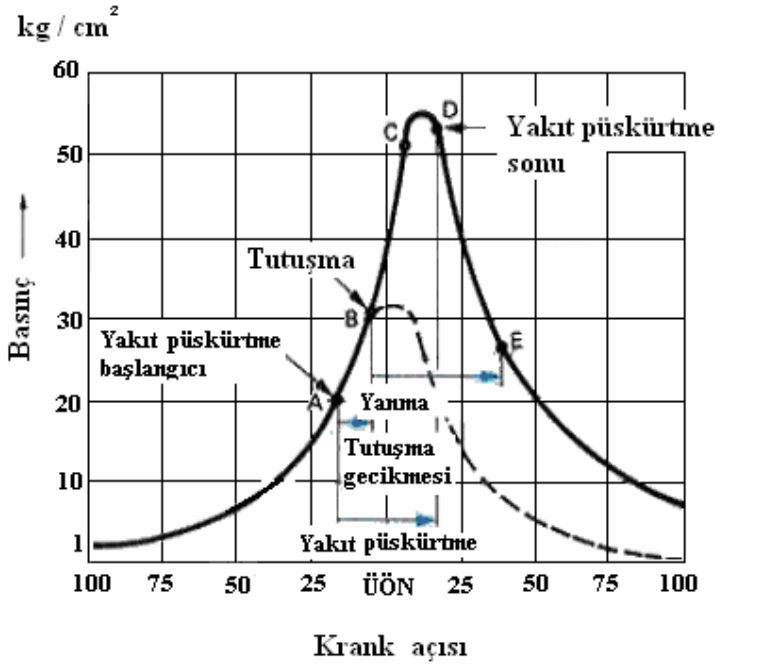
Dizel motorlarında hava, emme zamanında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmadan silindirlere tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirdeki gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. Üst ölü nokta (ÜÖN)'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek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

Dizel motorlarında yanma işleminin prensip şeması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Dizel Motorlarında Yanma İşlemi

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 2.6'dan da anlaşılabileceği gibi dört safhada incelenebilir.



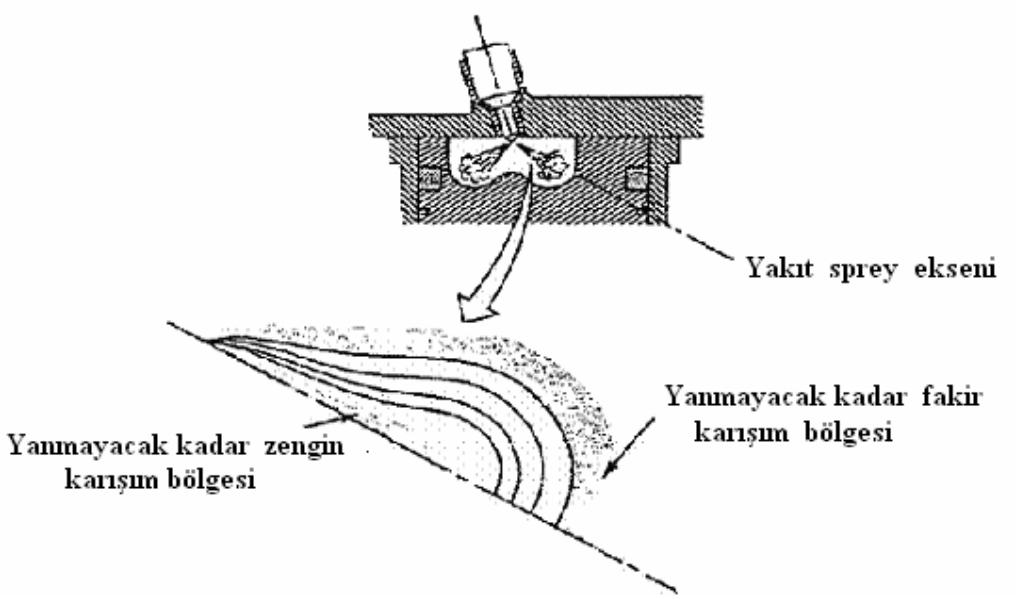
Şekil 2.6 : Dizel Motorunda Krank Mili Açısına Bağlı Olarak Silindir İçi Basıncı

- 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.

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 sıcaklıların yüksek tutulması için sıkıştırma oranı artırılabilir. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir. Şekil 2.7'de doğrudan püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi ve bir yakıt damlacığının kesiti görülmektedir.



Şekil 2.7 : Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Yakıtın Püskürtülmesi

- 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.

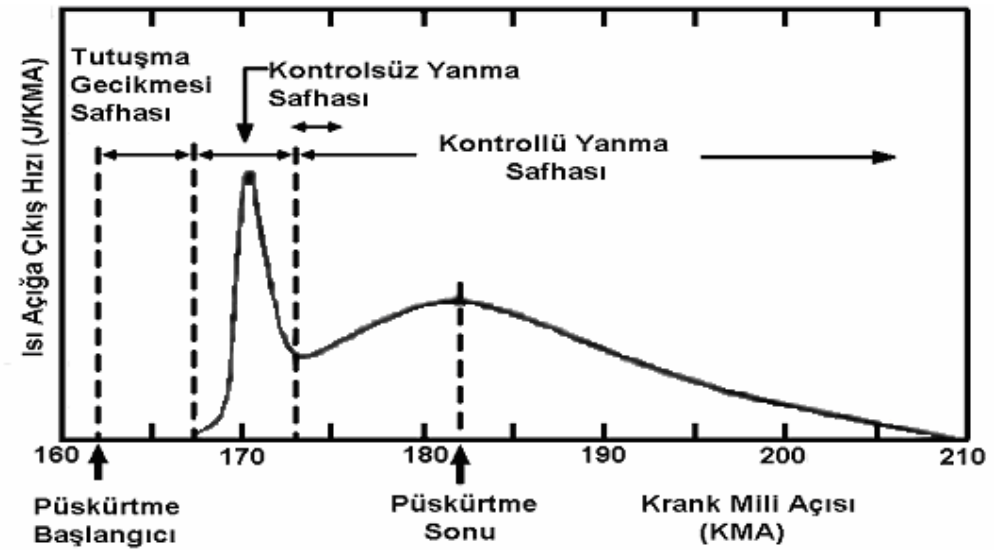
Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Yine bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadır. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki dp/dt basınç yükselme 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. Şekil 2.6.'da bir dizel motorunda krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı görülmektedir. 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.

- 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.

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 2.8.'de krank miline bağlı olarak ısı açığa çıkışı ve yanma safhaları görülmektedir.



Şekil 2.8 : Krank Miline Bağlı Olarak Isı Açığa Çıkışı

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. Dizel motorlarında atomizasyon, buharlaşma, yakıt-hava karışımı ve karışımın yanması şeklinde gelişen işlemlerin tekrarlanmasıyla motor çalışmaya devam eder.

- 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.

2.2. Dizel Motorlarında Püskürtme ve Elemanları

Motorların silindirleri içinde havanın sıkıştırılmasından amaç; onun sıcaklığını içerisine püskürtülecek yakıtın tutuşma sıcaklığından daha yüksek değerlere çıkararak kendiliğinden tutuşma ve yanmayı 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 arttırılmasıdır. 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 900–1200 K 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 kütlesinin miktarı ve püskürtme zamanlaması, püskürtme kanununa bağlı olarak püskürtme sisteminin bütünü tarafından belirlenmektedir. Bu bakımdan, motordan istenilen performansın alınabilmesi için püskürtme sisteminin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir :

- Püskürtme sistemi motorun yük durumuna göre, çevrim başına yanma odasına gönderilen yakıt miktarını hassas olarak ayarlayabilmelidir,
- Yakıt püskürtme işlemi gereken zamanda başlatılmalı, birim zamanda püskürtülen yakıt miktarı ve toplam püskürtme süresi hassas olarak ayarlanabilmelidir,
- Yakıtın parçalanması ve dağılımı yanma odası geometrisine uyum sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır,
- Motorun düşük dönme sayılarında yanma stabilitesinin bozulmasına ve yüksek dönme sayılarında da ard püskürtme olayına izin verilmemelidir,
- Karışım oluşturulması olayının çok silindirli 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 yakılabilmesidir. 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. İşte bu görevi yerine getiren devreye yakıt püskürtme sistemleri denir.

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. Ancak bunların hepsininin farklı yakıt sistemleri mevcuttur.

Bugün değişik yapıda yakıt sistemleri varsa 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;

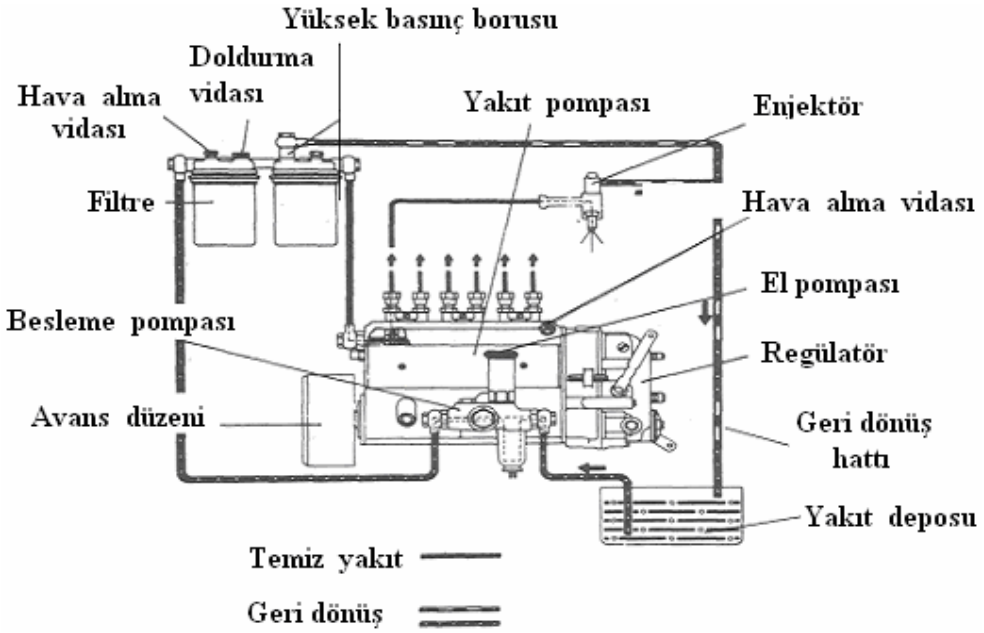
- Püskürtülecek yakıt miktarını hassas bir şekilde motora vermek,
- Motorun tüm devir sayısı ve yükünde, yakıtı çevrimin belirli noktasında silindirlere püskürtmek,
- Püskürtmenin çok çabuk olarak başlama ve sona ermesini sağlamak,
- Yanmayı ve yanma sırasında basınç yükselmesini denetlemek bakımından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

Klasik dizel püskürtme sistemi iki temel üniteden oluşur:

a.)Besleme Ünitesi

b.)Püskürtme Ünitesi

Dizel motorlu taşıtlarda kullanılan klasik bir yakıt sisteminin parçaları Şekil 2.9'da görülmektedir. Sistemin çalışmasını şekilden takip ederek kısaca açıklamaya çalışalım :



Şekil 2.9 : Klasik Bir Dizel Motorun Yakıt Sisteminin Parçaları

- Dizel Motorlarında Besleme Ünitesi

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

- Yakıt deposu
- Besleme pompası
- Filtre

Besleme pompasının depodan emdiği yakıt, yaklaşık olarak 0,5–1,5 kg/cm² basınçla filtreye gönderilir. Burada süzülen ve içindeki pisliklerden temizlenen yakıt, yakıt pompasına gelir. Yakıt pompası, basıncını yükselttiği (80–400 kg/cm² 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.

- 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:

a.)Kullanıcı ile:Yakıt ayarı gaz kolu ile ayarlanır.

b.)Kullanıcının haberi olmaksızın yakıt miktarını regülatör değiştirir.

Püskürtme ünitesinin elemanları şunlardır;

- Püskürtme pompası (Yakıt pompası)
- Yüksek basınç boruları
- Enjektörler
- 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 ediliş 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 makinalarında ise taşıtın sağ veya solunda şasiye tespit edilir. Depodaki yakıt seviyesi, şamandıralı bir gösterge 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 süzülmüş 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;

- Uygun olmayan yanma,
- Yüksek yakıt tüketimi,
- Duman oluşumu,
- Kötü ilk hareket,
- Düzensiz ralanti çalışması,
- Motor performansında düşme

Bu nedenle, yakıt temizlenmesi son derece önemli olup, özel ve püskürtme pompasının icaplarına uygun filtrelerle yapılmalıdır.

2.2.4. Püskürtme Pompaları

Dizel motor endüstri gelişip büyüdükçe, 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:

- Enjektörlere basılan yakıtın miktarını ayarlamak,
- Yakıtın basıncını yükseltmek,
- Yakıtı yanma sırasına göre silindirlere göndermek,
- Yakıtı istenilen zamanda enjektörlere göndermek,
- 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.

- Devir Sayısı Ayarı

Püskürtülen yakıt miktarının ayarı mekanik veya pnömatik devir sayısı regülatörü ile gerçekleştirilir. Püskürtme pompalarında devir sayısı ve yüke bağlı olarak belirli bir miktar ayarlamasının sağlanabilmesi için bir devir sayısı regülatörü gereklidir. Bu işlem için genelde mekanik merkezkaç kuvvet regülatörleri kullanılır. Seri püskürtme pompaları için ayrıca pnömatik devir sayısı regülatörleri vardır.

Sürücü tarafından gaz pedalına basılarak, püskürtme ünitesinin devir sayısı ayar kolu üzerinden istenen bir devir sayısı yani hız ayarı yapılır. Bu durumda regülatörün görevi, püskürtme sisteminin besleme miktarını, gerekli devir sayısına ulaşılacak veya gerekli devir sayısını koruyacak şekilde değiştirmektir. Bir başka deyişle; sevk miktarı, gerekli devir sayısı ile mevcut devir sayısı eşit oluncaya kadar değiştirilir. Taşıta veya tahrik makinesine binen yük değişince, örneğin rampada, devir sayısı düşer. Bu durumda regülatör, regülasyon alanı içinde yeni bir sevk miktarı ayarlar ve ayarlanan gerekli devir sayısına yani hızına tekrar ulaşılır.

- Mekanik Regülatör Donanımı

Devir sayısı regülatörü tarafından tahrik edilen ayar kolu, ayar kovanını döndürür. Ayar kovanı bu hareketi bir piston bayrağı (fırdöndü) üzerinden pistona aktarır. Devir sayısı regülatörü tarafından çalıştırılan ayar kolu ile, ayar kovanı üzerinden pompa

pistonuna ayar verilir. Bu yolla, piston kumanda kenarının, pompa silindiri içindeki kesme deliği karşındaki pozisyonu değişir. Bu işlem, pompa büyüklüğü ve pompa tipine göre iki türlü gerçekleştirilir:

- Hareketli regülasyonu
- Ayar kolu regülasyonu

Hareketli dişlilerle yapılan regülasyonda; pompa silindiri üzerine sürülmüş ayar kovanının üst tarafında bir sektör dişli, alt tarafında ise, içinde piston bayrağının kaydığı bir boyuna oluk (yarık) vardır. Sektör dişlinin dişleri ile ayar kolu dişleri birbirini kavrar. Ayar kolu regülasyonunda ise; ayar kolunun her pompa elemanı için bir kılavuz çentiği (yarığı) vardır. Bu yarığa, ayar kovanı ile bağlı bulunan yuvarlak başlı bir kol veya pim geçer .

- Devir Sayısı Regülatörü

Bütün devir sayısı regülatörlerinin görevi, belirlenmiş tolerans alanı içinde belirli bir devir sayısını muhafaza etmektir. Devir sayısı regülatörü dizel motorun devir sayısını ayarlar. Regülasyon alanı içinde motor devir sayısının belirli bir değerin altına düşmemesini sağlamaktır, aksi halde motor stop eder. Aynı şekilde, motorun kendi kendine zarar vermesini önlemek için, belirli bir devir sayısının üstüne çıkılmamalıdır. Bu amaçla regülatör, ayar kolunu "daha çok yakıt miktarı" yönüne veya stop yönüne itmek zorundadır. Ayar kolunun hareket ölçüsünü bulabilmek için, regülatörde bir donanım mevcuttur. Bu donanım mevcut devir sayısını ölçer. Gerekli devir sayısı ile mukayese eder ve farklılık durumunda ayar kolunu, gerekli devir sayısı ile mevcut devir sayısı eşitleninceye kadar gerekli yöne iter. Bu görevin haricinde regülatörün, start miktarının otomatik olarak bırakılması veya tutulması, devir sayısına bağlı olarak tamgaz miktarının ayarlanması, dolum basıncı ve yükseklik ayarlanması gibi görevleri de vardır.

Çeşitli regülatör görevlerinden şu regülatör tipleri ortaya çıkar:

- Son devir sayısı regülatörü: En yüksek devir sayısını sınırlar.
- Rölanti son devir sayısı regülatörü:Genelde taşıt araçlarında kullanılır. Bu regülatör ile sadece rölanti ve son devir sayısı ayarlanır. Bu ikisi arasında kalan devir sayıları ayarlanmaz. Püskürtme miktarı gaz pedalı ile ayarlanır.

- Genel devir sayısı regülatörü: Rölanti ve son devir sayıları yanında, bu ikisi arasında kalan devir sayılarını da ayarlar.

Regülatör, devir sayısına bağlı olarak merkezkaç kuvvetleri tarafından veya motorun emici-toplayıcı borusundaki basınca bağlı olarak pnömatik olarak çalıştırılır.

2.2.6. Enjektörler

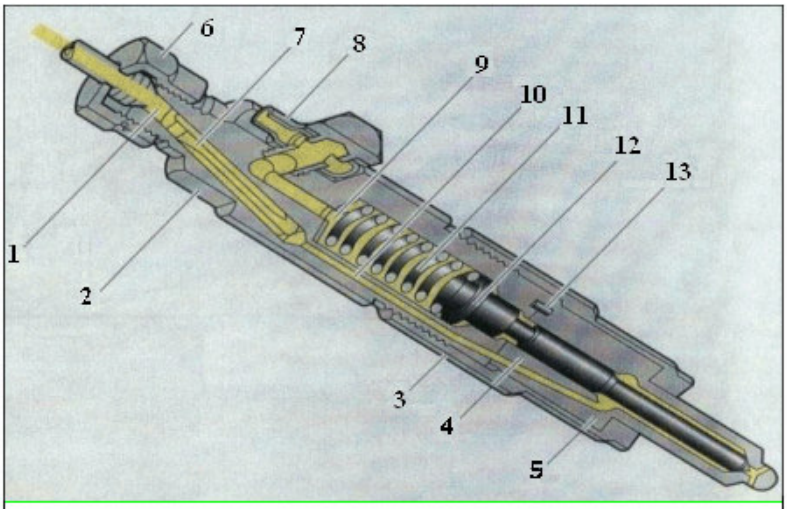
Yakıt pompalarının çıkış ventillerinden geçen yüksek basınçlı yakıtın, silindirlerin yanma odalarına püskürtülmesini sağlayan cihazlara enjektör ismi verilir. Dizel motorlarında; iyi bir yanma sağlayabilmek için yakıtın yüksek basınç altında ve yapay bir sis şeklinde yanma odalarına püskürtülmesi gerekir. 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 diski, meme tespit somunu, baskı pimi, baskı yayı, basınç ayar diski 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. Yakıt; tutucu gövde içindeki ilgili delik, ara diski 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 2.10)

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.



Şekil 2.10 : Enjektörün Yapısı

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

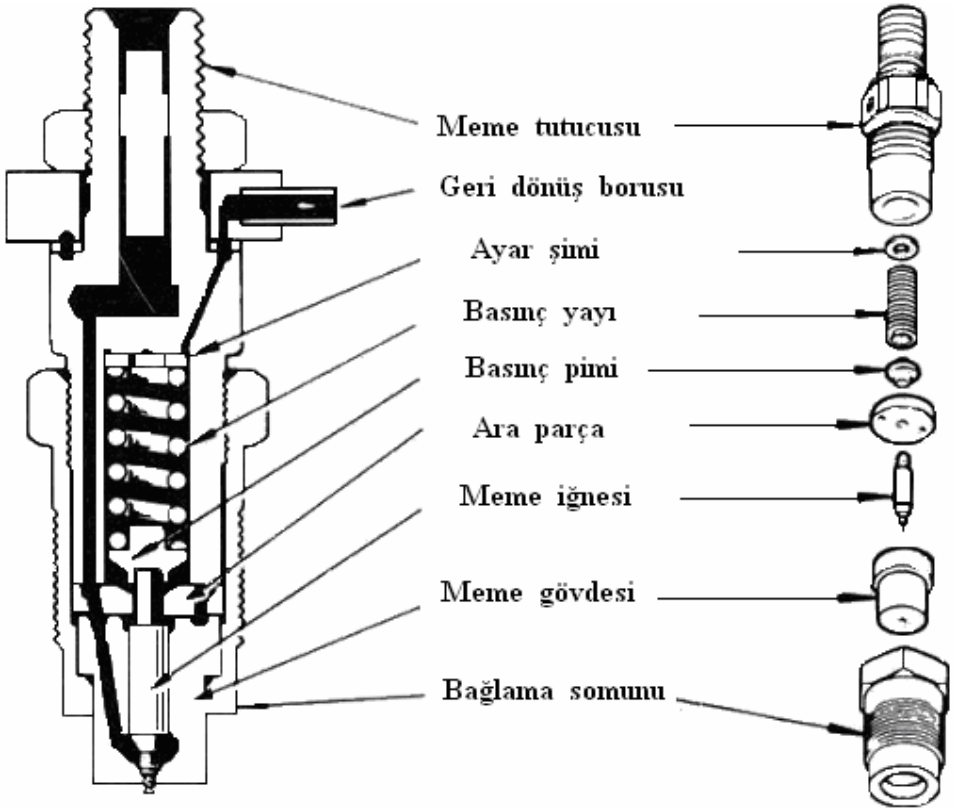
Enjektör memesi, meme sıkma somunu ile merkezi olarak tespit gövdesi içine yerleştirilmiştir. Tespit gövdesi ile meme sıkma somununun sıkılması durumunda, bu iki eleman da ara diskini tespit gövdesinin ayna kısmına presler. Baskı pimi, baskı yayı ve basınç ayarlama diski tespit gövdesi içindedir. Burada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

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.



Şekil 2.11 : Klasik Bir Enjektörün Parçaları

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

- Enjektörlerin Sınıflandırması

  Açık tip enjektör

  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 arttırır.

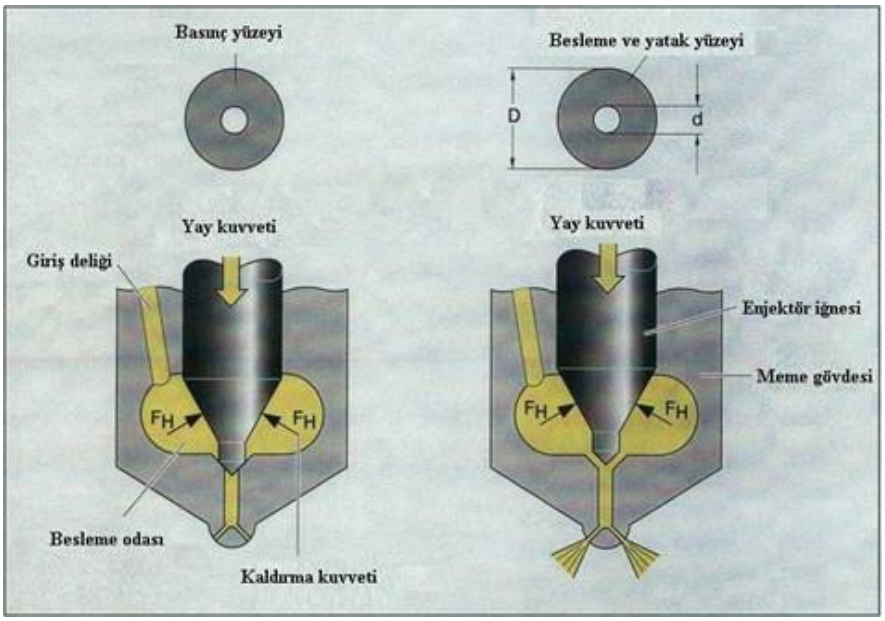
Kapalı tip enjektörlerde ise pompadan gelen yakıtın basıncı belli bir değere ulaşmadan yakıt geçişi bir iğne veya sübapla kesilir. Yaygın olan kullanım konik uçlu iğnenin ön gerilimini ayarlayan bir yay ile sızdırmazlığın sağlanmasıdır.

- Enjektör Memeleri

Enjektör memelerinin iki temel yapı çeşidi vardır:

- Direkt püskürtmeli motorlarda, örneğin kamyonlarda kullanılan delikli memeler,
- Ön odalı ve türbülans odalı motorlarda, örneğin binek otolarında kullanılan çubuklu memeliler.

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 2.12'deki gibidir.



Şekil 2.12: Enjektör Memesi Kesiti

- 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 2.13 'ün sol tarafındaki resimde bir delikli meme kesiti görülmektedir.

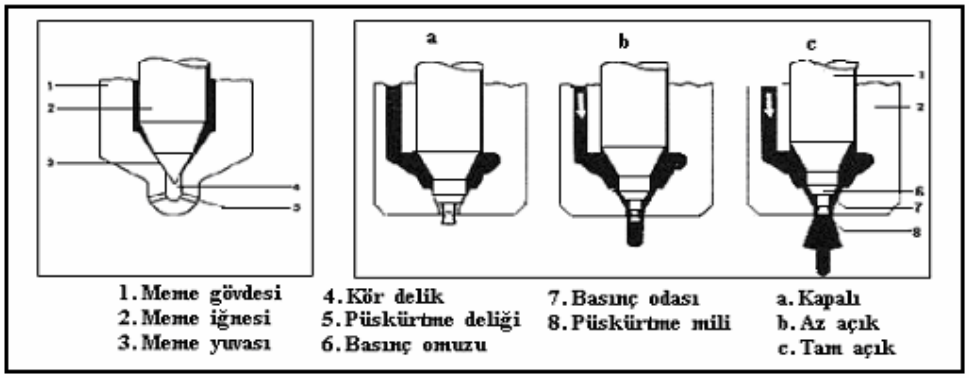
Delik tip meme; tek delikli ve çok delikli olmak üzere ikiye ayrılır. Delik sayısının artması ile yakıt farklı yönlerde gönderilebilmektedir. Enjektörün delik çapı küçük seçilirse yakıtın atomizasyonu daha iyi olur.

- 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. Basınç yükselmesi nedeni ile devam eden açma sırasında akma aralığının kesiti büyür. Ancak iğne kursunun sonunda yakıtın esas bölümü püskürtülür. Yanma odasındaki basınç yavaş yavaş yükseldiğinden, kısmalı çubuklu meme sayesinde yumuşak bir yanma dolayısıyla motorun düzenli çalışması sağlanır. Meme gövdesi içindeki baskı yaylarının karakteristiği ve kısma oluğunun ayarlanması ile birlikte püskürtme çubuğunun biçimi sayesinde istenen kısma etkisi sağlanır. (Şekil 2.13)

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



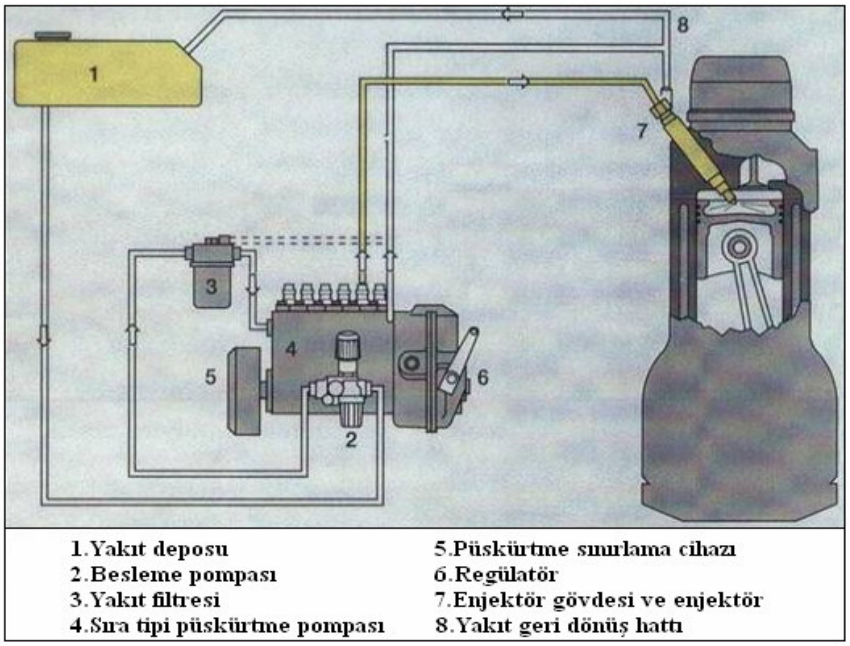
Şekil 2.13 : Delikli ve Çubuklu Meme Kesiti

2.3. Dizel Yakıt Püskürtme Sistemleri

Dizel motorlarda kullanılan yakıt pompa sistemi çeşitleri şunlardır :

- Sıra tipi pompalı yakıt püskürtme sistemleri
- Distribütör tipi pompalı yakıt püskürtme sistemleri
- Tek pistonlu yakıt püskürtme sistemleri
- Common - Rail yakıt püskürtme sistemi

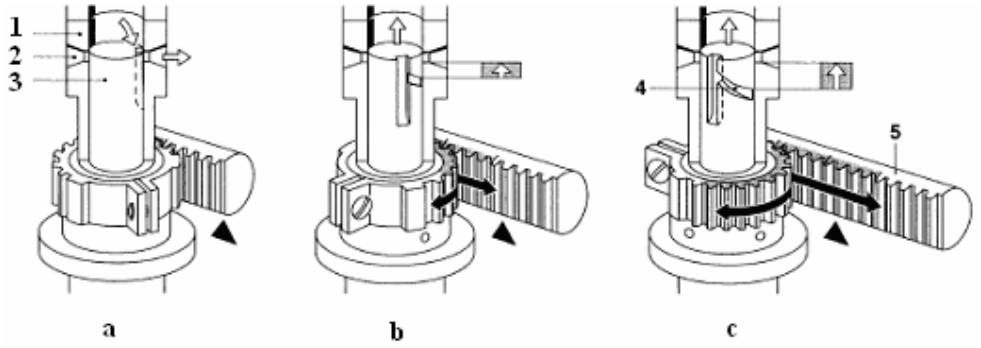
2.3.1. Sıra Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri



Şekil 2.14 : Sıra Tipi Pompalı Püskürtme Sistemi

Bu sistemde bir depoda bulunan yakıt, besleme pompası yardımıyla filtreden geçirildikten sonra püskürtme pompasına gönderilir. (Şekil 2.14). Yanma odasına gönderilecek yakıt miktarının ayarlanması ve püskürtme zamanlaması burada yapılarak yakıt enjektöre yüksek basınçla gönderilir.

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 2.15). Plancır üzerine açılmış olan düşey ve helis şeklindeki kanallar yardımıyla, plancırın ekseni etrafında döndürülmesi sonucu pompanın etkin stroku değiştirilerek püskürtülen yakıt miktarı ayarlanmaktadır.



Şekil 2.15 : Sıra Tipli Püskürtme Pompasının Çalışma Prensibi : (a) Yakıt gönderilmiyor, (b) Kısmi yükte çalışma, (c) Tam yükte çalışma(1) Pompa gövdesi, (2) Giriş ağzı, (3) Plancır, (4) Helis kanal, (5) Gaz ayar çubuğu

Püskürtme sonunda, püskürtme pompasının enjektöre giden yakıt borusu bağlantı kısmında bulunan kompansasyon supabı (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.

Her sıra tipi yakıt püskürtme pompası, her bir silindir için bir iğne–gövde çiftine sahiptir. İsimden de anlaşılabileceği 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.

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

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

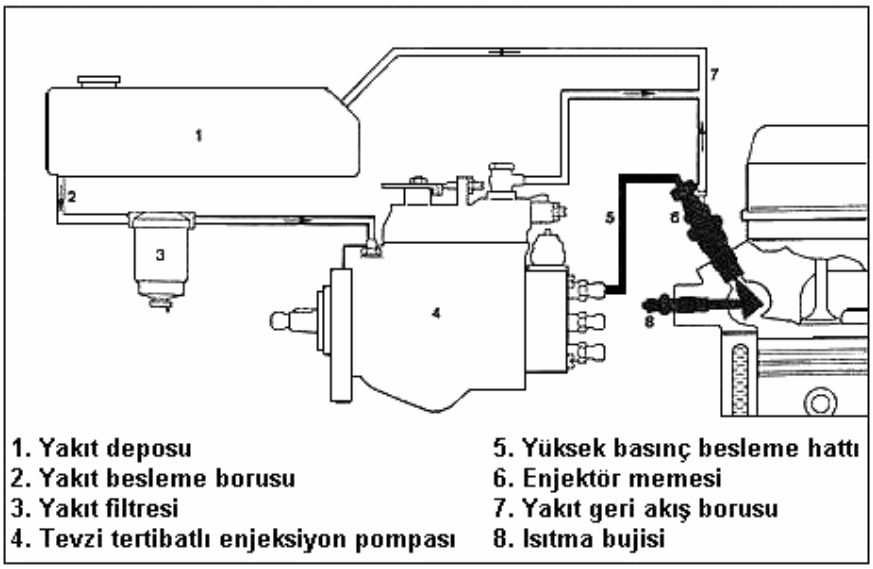
2.3.2. Distribütör Tipi Pompalı Yakıt Püskürtme Sistemleri

Dağıtıcı tip pompalar genelde silindir başına strok hacmi 2 litreyi geçmeyen, çok silindirli, yüksek devirli dizel motorlarında kullanılabilmektedir. Bu sistemde, miktarı ölçülerek pompa elemanına gönderilen yakıt belirli aralıklarla istenilen silindirdeki enjektöre pompalanır. (Şekil 2.16) 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 2.16). 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 zerreleri dahil, pompaya zarar verebileceğinden, yakıt filtresi yakıtı dağıtıcı püskürtme pompasına ulaşmadan temizler. Dağıtıcı püskürtme pompası yakıt toplama bölümünden yakıtı emer ve püskürtme miktarını ayarlar. Yakıtın püskürtme memelerine dağılımı da dağıtıcı püskürtme pompası tarafından yapılmaktadır. İhtiyaç fazlası yakıt, pompa ve püskürtme memeleri vasıtası ile 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 2.16 :Dağıtıcı Püskürtme Sistemi

- 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 aşılmamalıdır. Özel işletme koşullarına uygunluğun sağlanabilmesi için, püskürtme sisteminde daha başka düzeltmeler gerekli olabilir.

- Püskürtme Zamanı

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

- Püskürtme Süreci

Dizel prensibinde, ateşleme başladıktan sonra eşit basınçlı yanmanın sağlanmasına çalışılır. 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 ünitede topladığından bu gerekleri yerine getirmektedir.

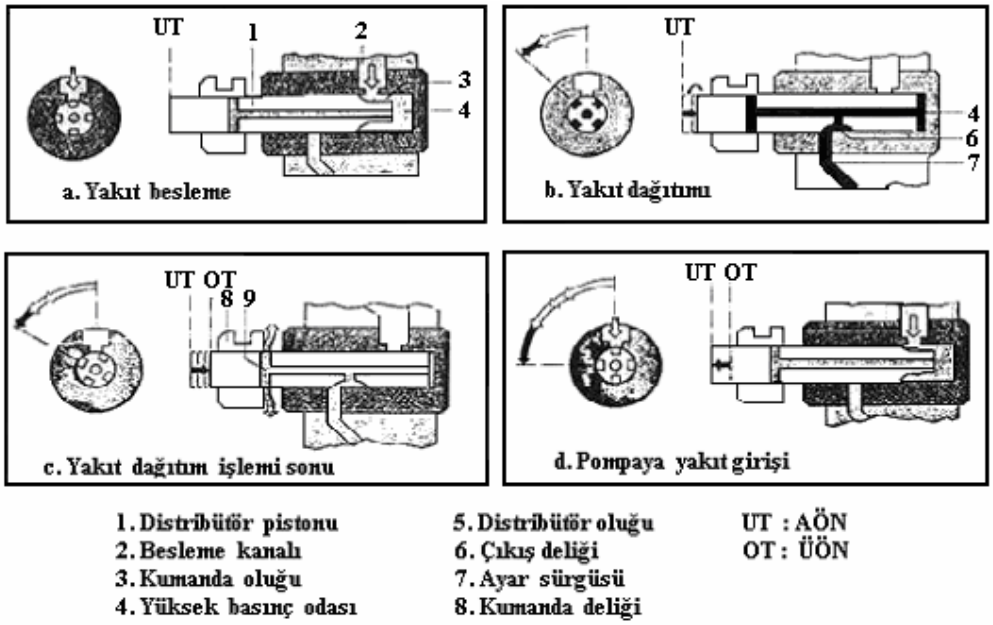
- Distribütör Tipi Pompanın Çalışması

a.)Pompa giriş ağzı kapalı: AÖN'da yakıt, besleme kanalı ve bir kumanda oluğu üzerinden yüksek basınç odasına akar. (Şekil 2.17 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 2.17 b).

c.)Yakıt dağıtım işlemi sonu: Ayar sürgüsü kumanda deliğini açınca yakıt sevki sona erer. (Şekil 2.17 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 2.17 d).



Şekil 2.17 : Distribütör Tipi Pompanın Kurs ve Besleme Fazları

Üç tip distribütör tipi pompa mevcuttur:

- 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.

- 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.

- 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. 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 ventili 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.

2.3.3. Tek Pistonlu Yakıt Püskürtme Sistemleri

- 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.

- 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 (ya da püskürtülen yakıt miktarı) elektronik harita tabanlı

kontrolüyle 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.

- 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 komplesine 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 ünitede 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 distribütor püskürtme pompalı dizel motora göre avantajları şunlardır:

- Düşük yanma gürültüsü,
- Düşük egzoz emisyonu,
- Düşük yakıt tüketimi,
- Yüksek performans

Bu avantajlar şu şekillerde elde edilmektedir:

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

2.3.4. Common - Rail Yakıt Püskürtme Sistemi

Çok değil, daha on yıl önce, dizel motor dendiğinde aklımıza ekonomik ama gürültülü araçlar gelirdi. Bu araçlar güçlüydüler belki, ama güçlendikçe hızları düşerdi. Sağladığı bütün tasarrufa rağmen bu iki faktör dizel araçların tercih edilirliğini olumsuz etkilerdi. Oysa son yıllarda geliştirilen yeni teknolojilerle birlikte dizel araçlar gittikçe daha popüler hale gelmektedir. Dizelin giderek daha da artan tercih edilirliğinin nedeni sadece yakıt tasarrufu sağlaması değildir. Bir binek ya da hafif ticari aracı güçlü bir dizel motoru ile kullanmanın zevki dizellerin giderek daha fazla tercih edilmesinin bir diğer sebebidir.

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 etkendir. 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 bulunmaktadırlar. Püskürtme basıncının tanıtma alanında neredeyse tamamen seçilebilme olanağı vardır. Düşük devir ve kısmi yük altında da üretilebilen 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.

- 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,

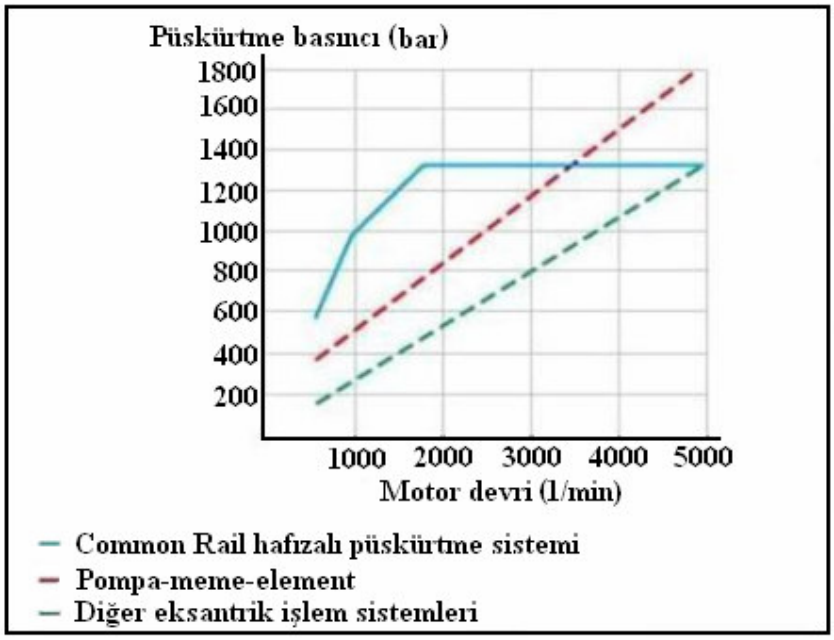
  c.)Hem püskürtme avansı, hem de püskürtme süresi açısından, püskürtmeyi tam olarak kumanda edilmesi,

  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.

- Püskürtmeli sistemlerin 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.



Şekil 2.18 : Common-Rail Sistemin Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması

- Common -Rail'in Avantajları

  a.)Hava–yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir,

  b.)Püskürtme basıncı, geniş limitler içerisinden 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 arttırır,

i.)Yakıt tüketiminin azaltır,

j.)Kirliliğe sebep olan emisyonların azalmasını sağlar,

k.)Motordan gelen toplam sesin azaltır,

l.)Taşıtın sürüş konforunun iyileştirir.

3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

3.1.Dizel Yakıt ve Özellikleri

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 petrollerden 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 katkılar 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 ºC arasında damıtılmasından elde edilir. Mazot ve motorin farklı yakıtlardır.Motorin yüksek devirli dizel motorlarında kullanılan, alt ısıl değeri mazota göre daha fazla, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm³ civarında olan ve ham petrolü 1.kuledeki damıtılması sırasında elde edilen bir yakıttır.

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 yakıtında bazı özellikler olmalıdır.

- Fiziksel Özellikler

    1. Vizkozite (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

- Kimyasal Özellikler

    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

- Vizkozite (akıcılık derecesi)

Sıvıların akmaya karşı direncini ifade eden bir ölçüdür. Sıvıların bu özelliğini ölçmede kullanılan saybolt vizkozimetresidir.

Bir yakıtın saybolt vizkozimetresi; viskozimetreye konulan 70 cm^3 yakıtın 60 cm^3 '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 100ºF de 35–70 s.u.s. (saybolt universal saniye) arasındadır.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskoziteleri, aynı zamanda yakıt sisteminde yağladıkları yüksek, fakat enjektörün küçük deliklerinden püskürtülerek kalay parçalanmalarını temin etmek içinde düşük olmalıdır. Birbirine zıt olan bu iki istek, her iki işe uygun olan viskozitenin seçimi ile karşılanır.

Bir yakıtın akışmazlığı onun akmaya karşı direncini ifade eder. Akışmazlık yükseldikçe akma direnci de artar. Bir yakıtın dinamik (mutlak) akışmazlığı (birimi Pa.s) onun 1 m^2'lik düzlemsel yüzeyinin 1 m uzaklıkta kendisine koşut bir başka düzlemsel yüzeyine göre 1 m^2/s hızla yer değiştirmesi için gereken kuvvete (birimi

N) eşittir. Kinematik akışmazlık ise bir akışkanın dinamik akışmazlığının, 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 karşılaşılabilir. 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.

- 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/lt) olarak ifade edilir. Dizel yakıtların özgül ağırlığı 60ºF (15,5ºC) 0,835 ile 0,934 arasındadır.

- Uçuculuk Noktası

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

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

- Parlama Noktası

Bu iş için yakıtlar, içinde termomete olan bir kaba konur ve alttan ısıtılır. Her 5˚C derecelik ısnmada üzerine bir alev tutulur ve çekilir. Yakıt belli bir sıcaklığa geldiğinde üst kısmında parlama olur ve söner (devamlı 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.

- 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.

- 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.

- 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'yle sınırlıyken tropikal yerlerde bu sıcaklık 379°C' ye kadar yükselmektedir.

- 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 çökelmesi 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.

Dizel yakıtların düşük sıcaklıktaki davranışlarını belirlemekte kullanılan bazı özellikler şunlardır:

a.)Cloud point (CP), yakıt donma noktasına geldiğinde kristallenmenin görülmediği sıcaklık değeridir. (ASTM D2500)

b.)Pour point, yakıtta kristallenmenin yeni başlıyarak 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 çökelmesini engellemezken kristal büyümesini kısıtlar. Kristaller filtrenin deliklerinden geçebilecek kadar küçük kalırlar. Böylece süzme işlemi düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir.

Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökelmesini 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 yakıta petrol ürünleri eklemektir. Düzenli benzin ilavesi de çökelmeyi geciktirebilir. Ancak, benzinin setan sayısı çok düşük olduğundan tutuşma kalitesi azalır ve parlama noktası önemli oranda düşer.

3.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri

- 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 vurultu 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. Şöyleki; 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. Setana tutuşma kabiliyeti çok yüksek olduğundan, yani tutuşma gecikmesi az olduğundan 100 değerlik verilmiştir. Alfametil-Naftalene 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 kısalacağından 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 dolayı setan sayısı 45–60 arasında olmalıdır.

- Kükürt Miktarı

Yakıtın en önemli özelliklerinden biriside içindeki kükürt miktarıdır. Ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışan kükürt, yanma zamanında oksijenle birleşerek kükürt dioksit (SO_2) veya biraz daha oksijen bulmak süreti ile kükürttrioksit (SO_3) oluşturur. Bu gazlardan SO_2 pek tehlikeli değilse de SO_3 gazı yanma artıklarından olan su buharı (H_2O) ile birleşerek sülfürik asit (H_2SO_4) oluşur.

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \qquad [3.1]$$

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 arttıracağından % 1 'e kadar kükürte müsaade edilir.

- 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.

- Karbon Artıkları

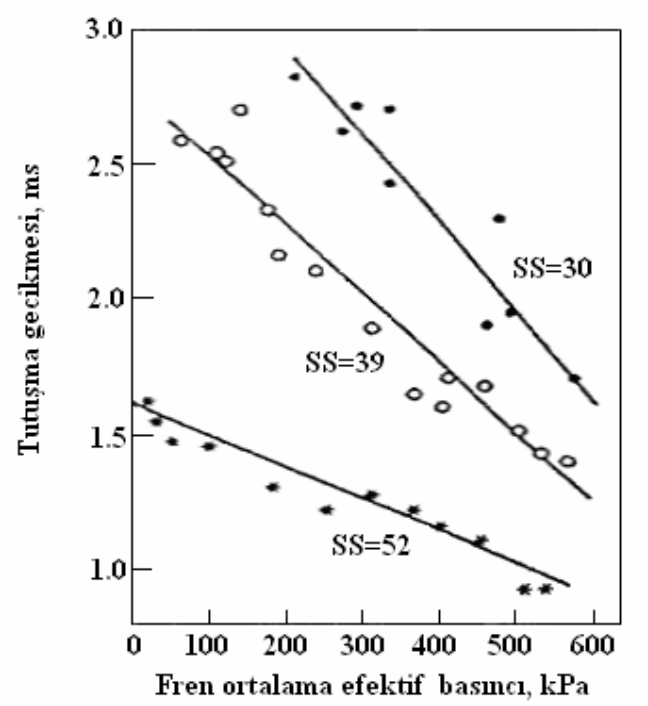
Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı %'si fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya iştirak etmez ve iş yapar. Bu da enjektör memelerinin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

- 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.

- Setan Sayısı

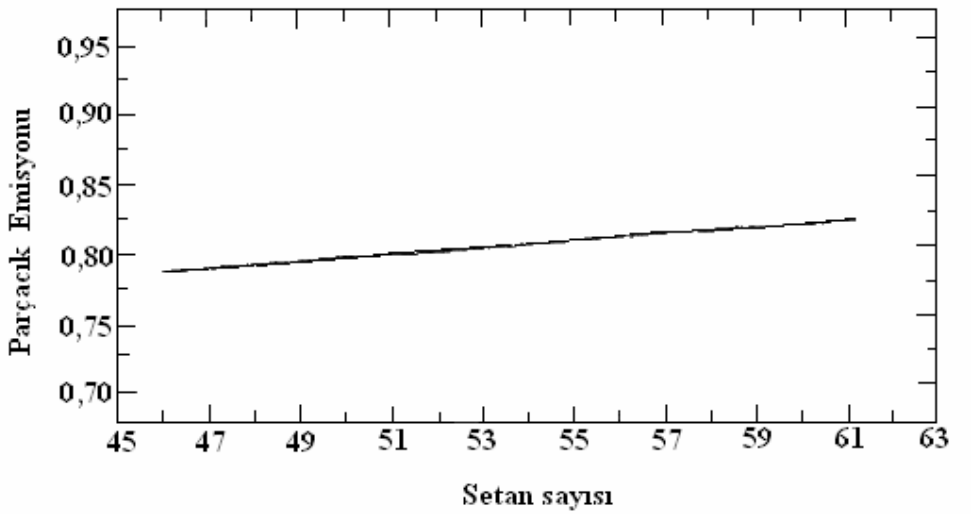
Dizel motorunda aynı şartlarla aynı vuruntu şiddetini veren metil naftalin + setan karışımındaki setan yüzdesine setan sayısı denmektedir. Setan sayısı dizel yakıtının ateşleme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder.



Şekil 3.1 : Setan Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısalması, 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 sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri Şekil 3.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Setan Sayısının Parçacık Emisyonu Üzerindeki Etkileri

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 sayısıyla 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 sayısıyla heptamethylnonane'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 Motor'udur. Bir yakıtın tutuşma kalitesi referans olarak kullanılan iki yakıtın (setan ve heptamethylnonane) karışımınınkine eşit olduğunda bu yakıtın setan sayısı şu denklem yardımıyla hesaplanır:

Setan sayısı = % n-setan + 0.15 (% heptamethyl nonane) [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. Kraking 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 .

- 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.

3.2. Biyodizel Yakıtlar ve Özellikleri

3.2.1 Biyodizel

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biyodizel yakıt üretiminde faydalanılır. Biyodizel saf olarak kullanılabileceği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtla karıştırılarak da kullanılabilir. Sebze yağlarının yakıt olarak kullanılabileceğini 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. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir.

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 + doğalgaz ve gelecekte doğalgaz bağımlısı olacak bir ülkenin bugünü ve geleceği açısından bu felsefenin önemi daha da artmaktadır.

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;

- Dizel yakıt yerine doğrudan kullanılabilmesi,
- Dizele yakın bir yakıt verimi olması
- Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilebilir olması,
- Enerji tarımı için işgücü ve ekonomik sektör oluşturması,
- 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 sıkıştırmalı (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.

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

- Maksimum %5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebildiğini,
- Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığını, ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biyodizelin kullanılabileceğini
- Biyodizelin kış aylarında da kullanılabileceğini, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığını,
- Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO_2 oranının azaltılmasının mümkün olacağını,
- Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiğini, ayrıca dolum sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Biyodizel'in iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşturmadığını,
- Biyodizel'in yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NOx, %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,
- 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 (1993); 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 (1994). Kaptan Bryan Peteson saf biyodizel yakıtla 40.000 Mil ve 40 ülkeyi kapsayan iki buçuk yıllık test gezisi yapmıştır. Diğer bir faydalı kullanım alanı ise yer altı maden sektörüdür.

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 katkılı 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. Şu anda 26$ olan petrole karşı biyodizelin fiyatı 40–50$ civarında olmaktadır. Eğer devletlerin çevreci bakış açısı gelişirse sübvansiyon uygulamak faydalı olacaktır. Yoğunluğunun fazla olması da soğuk iklimli yerlerde saf kullanımı bir sorun oluşturmaktadır.

3.2.2. Biyodizelin Özellikleri

- Biyodizel, orta uzunlukta C_{16}-C_{18} yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır.
- Oksijenli zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli motorinden ayırır.

- Biyodizel, motorine çok yakın alt ısıl değere, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik, biyodizeli kullanım, taşınım ve depolamada daha güvenli bir yakıt haline getirmektedir.
- Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kulanılabilir.
- Biyodizel, motorine göre % 8 daha az enerji içerir.
- Biyodizel karanlık, temiz, kuru, bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalı. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir.
- 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.

Tablo 3.1 Dizel Yakıtı ve Biyodizelin Özellikleri

Yakıt Özellikleri	Dizel	Biyodizel
Alt ısıl değeri (kj/kg)	42640	37388
Kinematik Viskozite mm^2/s	1.3 - 4.1	1.9 - 6.0
Karbon %	87	77
Oksijen %	0	11
Kükürt %	0.7 max	0 - 0.0024
Parlama noktası ^oC	60 - 80	100 - 170
Bulutlanma noktası ^oC	(-15) - (5)	(-12) - (12)
Akma noktası ^oC	(-35) - (15)	(-15) - (10)
Setan sayısı	40 - 55	48 - 65
Özgül Ağırlık kg/m^3	820 - 860	875 - 900
Su ve Tortu %	0.05 max	0.05 max

- Jelleşme olduğunda filtre tıkanır ve pompa yeterli yakıtı basamaz. Bu noktaya soğuk filtre tıkanma noktası denir.
- Bulutlanma noktası, yakıtın belirlenmiş standart koşullar altında soğutulma sırasında wax kristallerinden oluşan sisin görüldüğü sıcaklıktır.

- Yoğunluk düşük olunca, yakıtın tutuşması daha kolay olur. işlem sonunda yoğunluğun yüksek çıkması, biyodizelden gliserinin yeterince uzaklaştırılamadığını gösterir.
- 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.
- Karbon kalıntısı, transesterifikasyonun iyi gerçekleştiğini; yakıttan sabun, gliserin ve diğer kalıntıların ayrıldığını gösterir.
- Setan sayısı değeri yüksek olunca, tutuşma gecikmesi süresi azalmakta ve yakıtın ani ve vuruntulu yanması önlenmektedir.
- Yakıt içerisindeki su ve kalıntı miktarı fazlaysa, motorda korozyona neden olur. Enjektörleri ve pompa elemanlarını aşındırır.
- Biyodizelin kükürt oranı 15 ppm'i (milyonda 15 parçayı) geçmez.
- İyot değeri 100–120 arasında olmalı. Aksi halde motor yağını polimerleştirip bozabilir. Tortu oluşturur. Depolama problemleri de ortaya çıkabilir.

3.2.3. Biyodizelin Avantajları

- Yenilenebilir kaynaklardan, tarımsal ürünlerden ve atıklardan elde edilir.
- Mevcut dizel motorlarında tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilir.
- Atık, bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilir.
- Temiz, zehirsiz, bakterilerle ayrışabilir
- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabilir.
- Anti–toksik etkilidir.
- Parçacık ve duman yayılışını azaltır,
- Kanser yapıcı madde ve kükürt oranı çok düşüktür.
- Atıklarının gübre ve yem olması ve doğaya zarar vermez.

- CO_2 miktarını %78 oranında düşürür.
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir
- Yağlayıcılık özelliği iyidir.
- Motor ömrünü uzatan, kurum oluşturmayan bir yakıttır.
- Hidrokarbon ve karbonmonoksit yayılışını azaltır
- Setan sayısının, motorinin setan sayısından daha yüksek olması nedeniyle daha vuruntusuz ve dengeli yanma sağlar.
- Alt ısıl değeri motorinin alt ısıl değerine oldukça yakın değerdedir.
- Motorine yakın, özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerine sahiptir.
- Çözücü olması nedeniyle motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme özelliği vardır.
- Yeni istihdam alanları yaratır .
- Ülke tarımını kalkındırır.
- İç göçü azaltır.
- Petrol ambargo ve kriz risklerini azaltır.
- Dış bağımlılığı azaltır.
- Ulaşım dışında Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygundur.
- Kalitesi çeşitli Uluslararası standartlarınca kabul edilmiştir.

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 muaftır.

- 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 muaftır. 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.

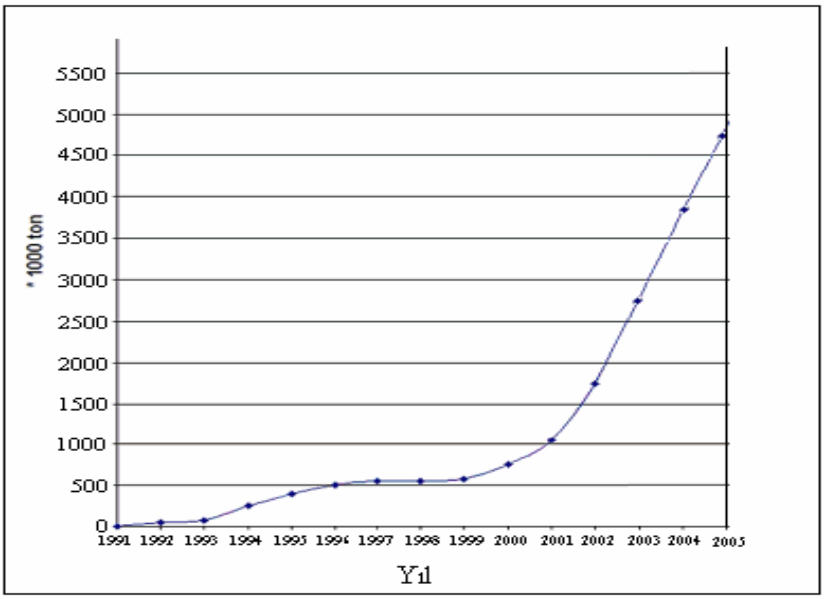
Avrupa'daki biyodizel üretimi hacminin yaklaşık %90'ını karşılayan European Biodiesel Board'un verilerine göre 2006 yılında Avrupa'da biyodizel üretiminin ülkelere göre dağılımı şu şekilde olmuştur:

Tablo 3.2 : Avrupa'daki Yıllık Biyodizel Üretimi (2006)

Ülke	Ton Biyodizel
Almanya	2681000
Fransa	857000
İtalya	775000
Türkiye	450000
İngiltere	445000
ÇekCumhuriyeti	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 sübvanse 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, CO_2 emisyonlarındaki tehlikeli artış göz önünde bulundurarak 1997 Kyoto konferansında; 1990 yılı verileri baz alınarak, 2010 yılında CO_2 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 yakıta 2005 yılında %2, 2010 yılında %5,75 biyodizel harmanlanması zorunlu hale getirilmesi kararlaştırıldı. 2020 yılında ise toplam enerji kaynaklarından %20'sini yenilebilir enerji kaynakları ise 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. Aşağıdaki grafikte biyodizelin 1991- 2005 yılları arasında dünyada üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 3.3 : Biyodizelin 1991- 2005 Yılları Arasında Dünya'da Üretim Miktarları

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.

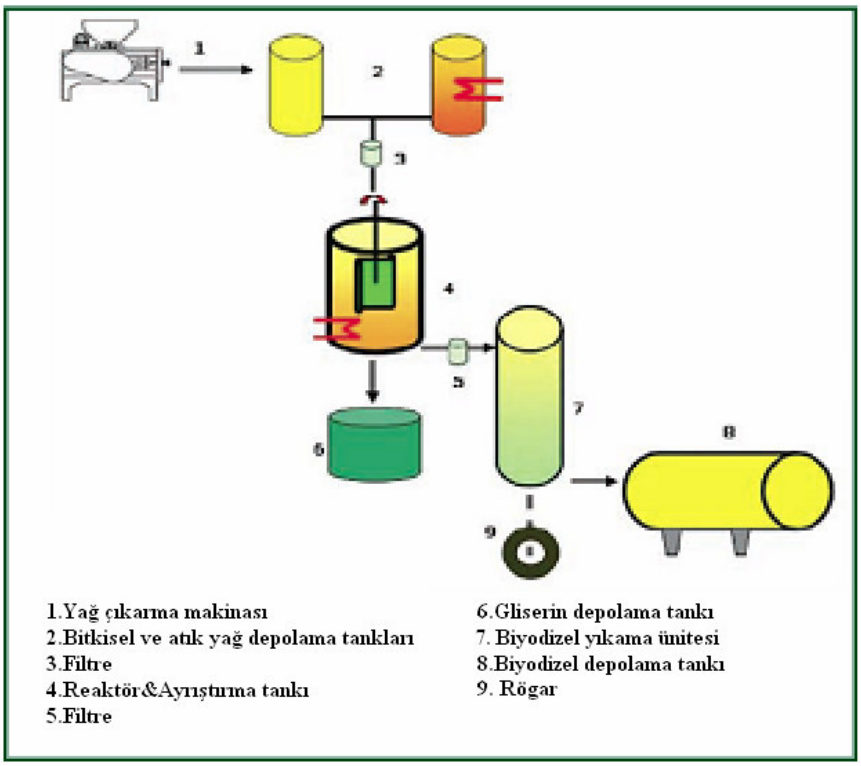
Gliserin açığa çıkarmayan bir yöntem yakma işlemidir. Fakat bu yöntem atıkları, çevresel etkisi ve ek maliyeti yüzünden tercih edilmemektedir. Bu yüzden Almanya soğuk presleme yöntemine odaklanmaya başlamıştır. 1995 yılının başlarında Japonya'da üç yıllık çalışma sonucu 0,2 milyon tonluk yıllık yağlı 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.

- 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 yılının 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. Egzozdan atılan yanmış yağ ise tekrar esterleme ile yakıta dönüştürülebilmektedir.



Şekil 3.4 : Biyodizel Üretimi Prosesi

Kimyasal olarak esterlemenin tanımı ise; ortamdan 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 dibe çöker ve metil ester (biyodizel) üstte kalır. Gliserin başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla üründe kullanılmaktadır .

Bu yöntem ile biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir.

- Alkol ve Katalizörün Karıştırılması

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

- 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 (ayrıştırıcı) varsa, bekletmeden separatörler ayrıştırılır ve dinlenme tanklarına alınır.

- 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 ayırılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır.

- 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 ayırılır. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu kullanılarak geri kazanılır ve tekrar kullanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunmamalıdır.

- 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.

- Metil Ester Yıkama İşlemi

Gliserinden ayırıldıktan 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 berraklaşıncaya 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.

3.2.5. 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.

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.

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. 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. Ülkemizde yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve üretim miktarları tablo 3.3'te verilmiştir.

2006 verilerine göre Türkiye'de 17.448.000 hektar ekili alan mevcuttur.Bu durumda biyodizel için kullanılabilecek potansiyel tarım ürünleri toplam ekili alanın %11,48'ini oluşturmaktadır. Toplam 1.925.000 ton biyodizel olarak kullanılabilecek yağ üretilebilmektedir. 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.

Tablo 3.3 : Yağ Bitkilerinin Ekiliş Alanları, Yağ Oranları, Üretim Verimleri ve Miktarları

Yağ bitkisinin adı	Ekiliş alanı (ha)	Yağ oranı (%)	Üretim verimi (kg/ha)	Üretim miktarı (ton)
Yer fıstığı	28 000	35-55	2679	75 000
Soya	24 000	13-25	2750	66 000
Kanola	187	40-45	1765	330
Aspir	50	9-28	1000	50
Ayçiçeği	595 000	40-50	1597	950 000
Keten toh.	385	30-40	590	227
Susam	51 000	45-59	549	28 000
Haşhaş	55 000	44-50	570	899117
Pamuk toh.	731 362	16-24	1798	1 314 660
Mısır	518 000	17-18	4434	2 297 000
Kenevir toh.	536	-	103	55
Türkiye Toplamı	2 003 520	-	-	5 630 439

Türkiye'de bitkisel yağ sektöründe ve yakıt sektöründe biyodizel bilinmekte olup, yeni yatırım alanı arayanlar, finans çevreleri, yabancı yatırımcılar ve çok uluslu şirketlerde de yakın bir ilgi söz konusudur. Ülkemizde de 2003 yılında yaklaşık olarak 10000 ton biyodizel üretilmiştir. İstanbul, Bursa, Kocaeli, İzmir, Adana, Mersin, Urfa gibi illerimizde küçük ve orta kapasitede kesikli süreçlerle üretim yapılmaktadır. Bu firmaların büyük bölümü hammadde sıkıntısı yaşamaktadır.

Türkiye biyomotorin üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir.

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

3.2.5.1. Ülkemizde Biyodizelin Yasal Mevzuatı ve Durumu

Biyodizel için, Avrupa Birliği Standardı EN14214 ve Amerikan Standardı ASTM D6751 yürürlükte bulunmaktadır. Türkiye'de bitkisel, atık ve hayvansal yağlarlardan elde edilen biyodizel standartları aşağıdaki gibidir.

- Oto Biyodizeli – TS EN 14214

EN 14214 "Otomotiv yakıtları - Dizel motorlar için yağ asidi metil esterleri (YAME) – Özellikler" 28.1.2004 tarihinde yürürlüğe konmuştur.13 ekim 2005 tarihinde, "Otomotiv Yakıtları-Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME-Biyodizel) – Dizel Motorlar için–Gerekler ve Deney Yöntemleri" adıyla türkçeleştirilerek TS EN 14214 standardı olarak yayımlanmıştır.

Bu standart, dizel motorları için %100 derişimlerde otomotiv yakıtı olarak kullanılan veya EN 590'da belirtilen özelliklere uygun dizel yakıtlara ilave edilen yağ asidi metil esterlerinin (YAME) özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsamaktadır.

- Yakıt Biyodizeli – TS EN 14213

TS EN 14213 "Isıtma Yakıtları–Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME-Biyodizel)-Gerekler ve Deney Yöntemleri" standartı 27.9.2005 tarihinde yayımlanmıştır.

Türkiye'de 2000'den beri biyomotorine ticari girişimcilerce, medyada ve devlet kurumlarında artan bir ilgi mevcuttur; böylece biyomotorin popüler bir konuma ulaşmıştır. 2000 yılından sonraki mevcut hükümetler tarafından biyomotorinin Türkiye için önemini anlaşılmış ve hükümetlerin öncelikli yeni icraatları arasına koymuştur. Bu kapsamda, EİEİ bünyesinde "Biyoenerji Proje Grubu" oluşturulmuş, bu grup, konuya ilişkin olarak **"**Türkiye–Biyodizel Kullanımı**"** konusunda senaryo çalışmaları yapmış ve pilot ölçekte biyodizel üretim sistemi ve laboratuarı Ekim 2003'te hizmete alınarak, aspir–kanola enerji tarımı deneme üretimi de başlatılmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndaki gelişmelerin yanı sıra, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nda "Yağlı Tohum Bitkileri İçin Sözleşmeli Tarım Modeli Uygulaması" ve kanola ekiminin arttırılması çalışmaları, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nda da "Yağlı Tohum Bitkilerinin Alternatif Alanlarda Değerlendirilmesi" çalışmaları da sürdürülmektedir.

20 Aralık 2003 tarihli 25322 Sayılı T.C. Resmi Gazetesi'nde yayımlanan Biyomotorin–biyodizel kanunun 2.maddesinin 7.fıkrasında "Akaryakıtla

Harmanlanan Ürünler: Metil tersiyer bütil eter (MTBE), Etanol v.b. (yerli tarım ürünlerinden denatüre üretilenler ile biyodizel hariç) akaryakıt ile eşdeğer vergiye tabi olan ve olacak ürünleri*"* ifade etmektedir. Böylelikle biyodizel akaryakıt ile eşdeğer vergiye tabi olmaksızın tanımlanmakta, yerli kaynaklardan biyomotorin üretimi teşvik edilmektedir. Kanunun yürürlüğe girmesi sonrasında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu–EPDK çalışmalarına başlamış ve 17 Haziran 2004 tarihli, 25495 sayılı T.C. Resmi Gazetesi'de yayınlanan **"**Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği**"** yürürlüğe girmiştir.

EPDK tarafından hazırlanan **"**Petrol Piyasasına Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik**"** ise, 10 Eylül 2004 tarihli ve 25579 Sayılı T.C.Resmi Gazetesi'nde yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre, Madde 8'de *"* Saf biyodizel ve etanolün akaryakıt ile harmanlama işlemini rafinerici ve dağıtıcı lisansı sahipleri yapar. Metil tersiyer bütil eterin harmanlama işlemi sadece rafinerici lisansı sahipleri tarafından yapılır. Harmanlanan akaryakıtın piyasaya sunumunda, ulusal markerin gerektiği şart ve seviyede bulunması zorunludur. Biyodizel dışındaki akaryakıtlar birbirleriyle karıştırılamaz. Akaryakıta katkı maddesi ilavesi sadece rafinerici, dağıtıcı ve ihrakiye teslim lisansı sahiplerince yapılabilir. Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından akaryakıta ilave edilecek olan marker ve katkı maddelerinin ulusal markerin özelliklerini bozmayacak nitelikte olması zorunludur. Rafinerici, dağıtıcı ve ihrakiye teslim lisansı sahipleri, akaryakıta ilave ettikleri marker ve katkı maddelerinin isimleri, özellikleri ve kullanacakları miktara, kullanım amacı ve çevreye olan etkileri hakkında uygulamaya başlamadan önce Kuruma bilgi verir *"* şeklinde harmanlama, dağıtım, marker kullanımı konuları düzenlenmekte*,* Madde 9'da ise*, "* Saf biyodizel ve sanayi tesislerinde yan ürün olarak elde edilenler hariç, akaryakıt üretimi sadece rafinerici lisansı sahipleri tarafından yapılır " ifadesi ile biyomotorinin üretiminde rafinerici lisansı alma zorunluluğu olmadığı belirtilmektedir.

17 Kasım 2000 tarih ve 2563 sayılı resmi gazetede yayımlanan "Petrol Piyasasında Ulusal Marker Uygulamasına ilişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik", biyodizele ulusal marker uygulaması kararlaştırılmış bulunuyor. 06.04.2005 tarih ve 25778 sayılı resmi gazete yayınlanan yönetmelikle de ulusal marker uygulamasının başlangıç tarihi 1.7.2005 olarak belirlenmiş durumda. EPDK'nun 05.01.2006 tarih ve 630/26 sayılı kararıyla;

- Biyodizel üreticilerinin işleme lisansı kapsamına dahil edilmesine ve biyodizel üreticilerine işleme lisansı verilmesine,

- Biyodizel'in ilgili ve diğer mevzuat dahilinde teknik düzenlemelere uygun olarak üretilmesine,

- Halen faliyette olan biyodizel üreticilerinin işleme lisansı alabilmesi için kurum tarafından istenecek olan bilgi ve belgeler ile birlikte 28.02.2006 tarihine kadar EPDK'ya lisans başvurusu yapmalarına karar verilmiş bulunuyor.

Üretim tekniğinin zorluğundan ve üretim teknolojisinin yaygınlaşmamış olmasından biyodizelin dizel yakıta yakın bir satış fiyatı vardı. Ancak 11 Aralık 2006 tarihli Resmi Gazete'de de ilan edildiği gibi biyodizel satışı ile ilgili ÖTV'nin (özel tüketim vergisinin) kaldırılması ile şu anki fiyatı 2,2 YTL'den 1,5 YTL'ye düşmüştür.

3.2.5.2. Türkiye'nin Arazi Potansiyeli

Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı yıllara göre Tablo 3.4'te verilmiştir. Tablo 3.4'te verilen verilere göre toplam ekilebilecek arazi varlığının yaklaşık %15–%20'si nadas nedeniyle üretim dışı bırakılmaktadır. Bir başka anlatımla arazi varlığının %15–20'si iki yılda bir değerlendirilebilmektedir.

Tablo 3.4 : Türkiye'nin Ekilebilen, Nadasa Bırakılan ve Toplam Arazi Varlığı

	1990	1995	1998	1999
Ekilen Alan	18,868,000	18,464,000	18,751,000	18,448,000
Nadasa Bırakılan Alan	5,324,000	5,124,000	4,905,000	4,900,000
Toplam Alan	24,192,000	23,588,000	23,348,000	23,656,000

İşlenen tarla alanının kullanılışına göre yüzde dağılım değerleri ise Tablo 3.5'te verilmiştir. Tablo 3.5'te yağlı tohumlu bitkilerin toplam arazi varlığı içerisindeki payı %6,31 olarak gözükmektedir. Yağ bitkilerinden biyodizel üretilmesi durumunda, üreticisinin ürettiği ürüne alım garantisi sağlanacağından, bu oranının artırılma şansı olacaktır.

Tablo 3.5 : İşlenen Tarla Alanının Kullanılışına Göre Dağılımı (%)

	1990	1995	1998
Nadas	22,1	21,72	20,27
Tahıl	56,67	58,57	58,35
Baklagiller	9,45	7,93	6,87
Endüstriyel Bitkiler	5,76	5,94	6,87
Yağlı Tohumlu bitkiler	6,43	6,52	6,31
Yumru bitkiler	1,18	1,51	1,33

Ayrıca; Pancar, tütün ve fındık üretiminin destek kapsamından çıkarılması, bu alanlarda alternatif bitki olarak yağ bitkilerinin yetiştirilmesine olanak sağlayacaktır.

3.2.6. Dünya'da Biyodizel İçin Yapılan Performans Çalışmaları

Dünya'da biyodizel hakkında bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan en önemli ve bilim dünyası tarafından en değerli çalışmalardan biri Pamukkale Üniversitesinden Doç. Dr. Nazım Usta önderliğinde yapılmıştır.

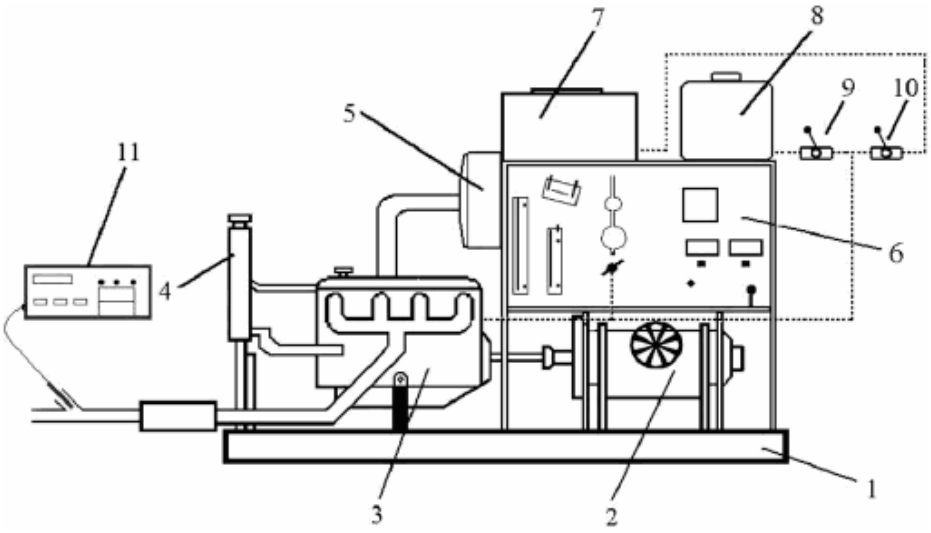
Doç. Dr. Nazım Usta'nın çalışmalarından en önemli ikisine değinmek gerekirse;

- Yapılan Çalışmanın adı : Dizel bir motorda tütün tohum yağı metil esterinin kullanılması sonucunda motorun performans ve egzoz emisyon değerlerinin deneysel araştırılması
- Çalışmayı gerçekleştiren : Doç. Dr. Nazım Usta ;Makine Fakültesi , Pamukkale Üniversitesi

Bu çalışmada, tütün tohum yağı metil esterinin farklı oranlarda dizel yakıt No.2 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. Makalede farklı yerlerde dizel yakıt No.2 için D ve tütün tohum yağı metil esteri için TSOME kısaltması kullanılmıştır.

Tütün tohumları tütün yaprağı üretiminin bir yan ürünüdür.Yazarın bilgisi dahilinde yapraklarının aksine, genel olarak tütün tohumları ticari bir ürün olarak değerlendirilmemektedir Fakat 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 metilesteri ile çalışan ön

yanma odalı turbo dizel motorda tam yükte ve kısmi yükte performans ve egzoz emisyonları deneysel çalışması yapılmıştır. Deney sonuçları, tütün tohum yağı metil esterinin dizel yakıt No.2'ye ilavesi ile CO ve SO_2 emisyonlarında azalma olurken NO emisyonunda az bir oranda artış olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda motor güç ve toplam veriminde biyodizel ilavesi ile az bir oranda artış tespit edilmiştir.

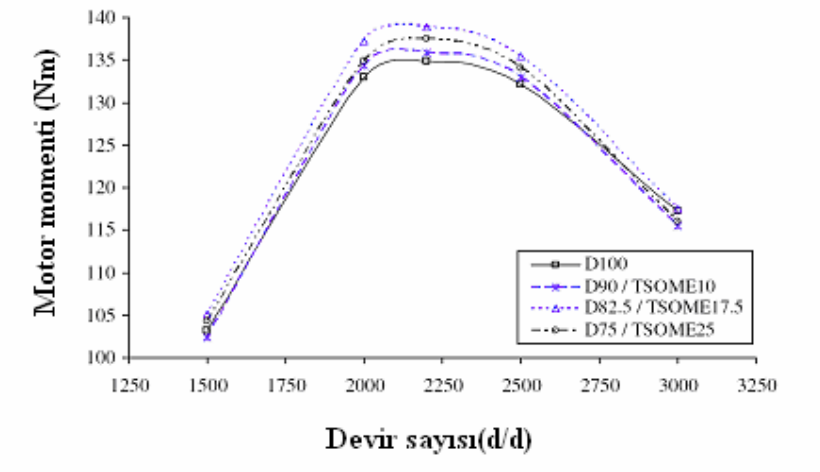


Şekil 3.5 : Cussons P8601 Motor Test Düzeneği 1-Deney düzeneği şasisi, 2-Hidrokinetik dinamometre, 3-Deney motoru, 4-Soğutma sistemi, 5-Hava giriş tankı, 6-Kontrol paneli, 7-Dizel yakıt tankı, 8-Alternatif yakıt tankı (biyodizel), 9-Biyodizel yakıt hattı kontrol valfi, 10-Dizel yakıt hattı kontrol valfi, 11- Egzoz gaz ölçüm cihazı

Doç. Dr. Nazım Usta yaptığı testler 3000 , 2500 , 2200 , 2000 , 1500 d/d motor devrinde gerçekleştirildi. Her devirde motor 4 dakika sabit tutulduktan sonra ölçüm parametreleri 5. dakikada da kaydedildi. Dizel / TSOME karışımlarında ise motor ralanti halinde çalışırken dizel yakıt vanası kapatılıp karışım vanası açıldı. Daha sonra deney karışım içinde gerçekleştirildi. Karışım deneyinden sonra karışım vanası kapatılıp dizel vanası açılır ve motor yakıt hattında yakıt pompasında ve enjektörlerde karışım temizlene kadar çalıştırıldıktan sonra stop edildi.

Şekil 3.6'da ve Şekil 3.7'de TSOME ilavesinin motor momentine ve güçüne 1500 ve 3000d/d motor devirlerinde arasında etkisi görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi %25 oranına kadar karıştırılmış TSOME 'inin motor gücüne ve motor momentine belirgin bir artışa sebep olmadığı görülmüştür. TSOME'in dizele göre

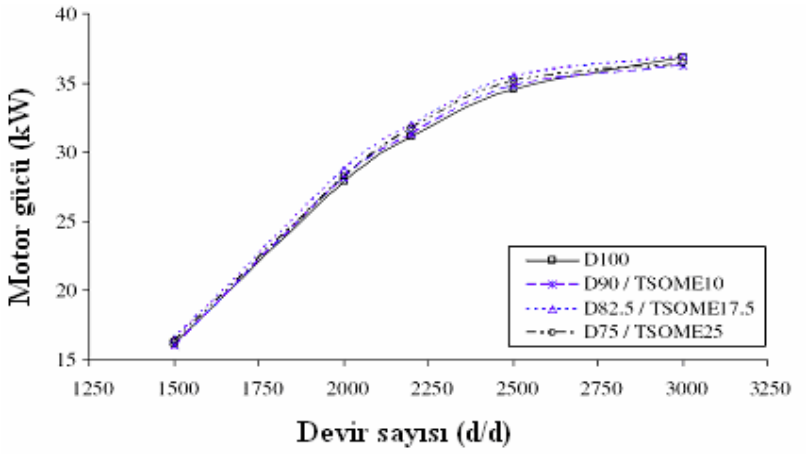
%10,87 oranına daha az alt ısıl değere sahip olmasına rağmen TSOME ilavesinin motor momentinde ve gücünde herhangi bir düşmeye sebep olmamıştır. Aksine bir çok durumda TSOME karışımları dizel karışımlara göre birçok durumda az miktarda da olsa daha yüksek motor gücü ve motor momentini üretmişlerdir. Yüksek motor momenti ve gücün ancak yüksek yoğunluk , yüksek viskozite ve daha iyi yanmayla açıklanabilmiştir. TSOME'in yoğunlu %5,4 kadar dizel yakıttan yüksektir, buna bağlı olarak karışımların yoğunluğuda dizel yakıtından yüksektir. Silindirlere aynı hacime karışımlar için kütlece daha çok gönderilmektedir. Ayrıca , daha viskoz olan karışımlarla yakıt pompasında içsel sızıntılar azaltılmış olmuştur. Bunun ötesinde , özellikle yakıtça zengin bölgelerde TSOME oksijenli yakıt olarak yanmada fayda sağlamıştır. Sonuç olarak motor momenti ve güç artmıştır.



Şekil 3.6 : TSOME İlavasenin Motor Tam Yük Durumunda İken Motor Momentine Etkisi

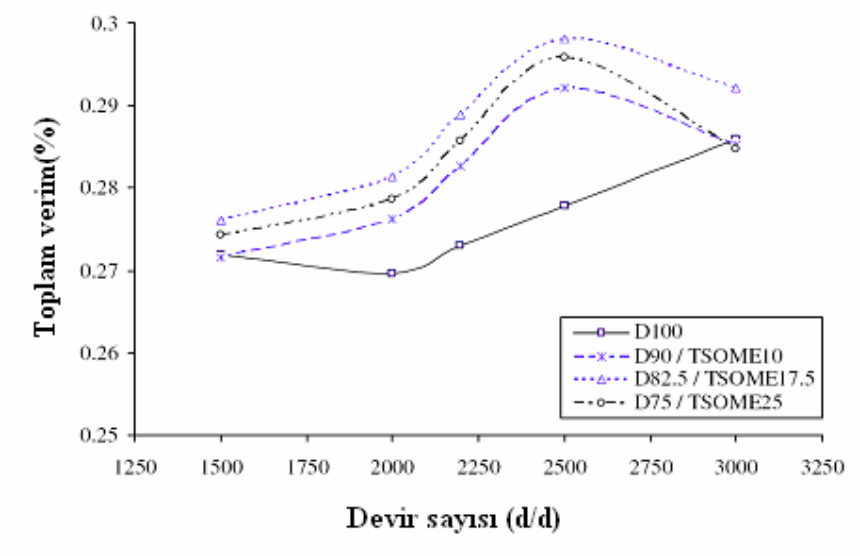
Maksimum motor momenti , motor devri 2200 d/d iken karışımla elde edilmiştir. Dizele TSOME ilavesiyle başlarda motor momentinde ve gücünde yukarıda açıklanan sebebler nedeniyle artışlar olmuştur. Motor gücü D90/TSOME10 ve D82.5/TSOME17.5 karışımları için %0,64 ve %2,97 oranında 2200 d/d da artmıştır. Buna rağmen TSOME oranı karışımda %25'e çıkartıldığında D75/TSOME25 (%1,91) , D82.5/TSOME17.5 'e göre daha az güç üretmiştir. D75/TSOME25 dizelden daha yüksek güç vermesine karşın, eğer karışımdaki TSOME oranı artırılmaya devam ettirilirse motor gücü dizel yakıtın altına düşme eğilimi gösterecektir. Güçteki bu düşüş aynı zamanda Kalam et al tarafında da kaleme alınmıştır. Böylece karışımlarda biyodizel içeriği büyük önem kazanmıştır.TSOME

ilave etmek dizel yakıtın viskozitesini bir miktar artırmış olsada güç düşmesi ancak yüksek orandaki TSOME karışımlarında TSOME'nin düşük alt ısıl değeri sebebiyle gerçekleşmektedir.



Şekil 3.7 : TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Motor Gücüne Etkisi

Dizel yakıt ve karışımlardaki toplam verim değişimi Şekil 3.8'de görülmektedir. Daha çok tam yanma vermeleri sebebiyle karışımların verimleri dizele göre bir miktar daha yüksek çıkmıştır. Verim değişimleri ,güç değişimlerinin harmoniğidir. Maksimum verim D82.5/TSOME17.5 den elde edilmiştir.D100 ile çalıştırılan motorun verimi motor devri 1500d/d ve 3000d/d arasında iken artmıştır. Buna rağmen karışımlar en yüksek verimi 2500d/d vermişler ve bu devirden sonra verim düşmüştür.Bu olay ancak motor türüyle açıklanabilmektedir. Bunun sebebi turbo dizel motorlarda devirler artıkça türbülanslı dolaşan hava hızı ve miktarı artması ve bunun sonucunda motorda tam yanma gerçekleşme ihtimali artmasıdır. Böylece TSOME 'in faydası yüksek devirlerde bir miktar azalacaktır.



Şekil 3.8 : TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Toplam Verime Etkisi

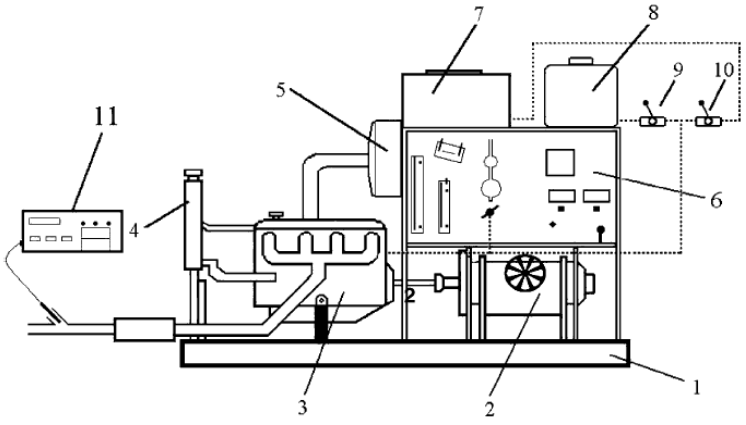
- Yapılan Çalışmanın adı : Fındık yağı rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stoğu ile kullanılmış ayçiçek yağı karışımının biyodizel yakıt olarak bir dizel motorda kullanılması
- Çalışmayı gerçekleştirenler : Doç. Dr. Nazım Usta, Yrd. Doç. Dr. Erdinç Şahin Çonkur, Prof. Dr. Muzaffer Topçu , Prof. Dr. Ahmet Çetin Can ,Arş. Gör. Erkan Öztürk, Arş. Gör. Özer Can

Yenilebilir bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıt No.2'den daha pahalı olması yakıt olarak kullanılmasında önemli bir engeldir. Bununla birlikte, kullanılmış atık bitkisel yağlar ve yemeklik bitkisel yağ üretiminde rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stokları düşük fiyatlı biyodizel üretimi için önemli bir kaynaktır.

Bu çalışmada, fındık yağı rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stoku ile kullanılmış ayçiçek yağı karışımından asit (sülfürik asit) ve baz (sodyum hidroksit) katalizörler ile metanol kullanılarak bir biyodizel iki kademeli teknik ile üretilmiştir.

Üretilen biyodizelin %5, 10, 15, 17.5 ve 25 oranlarında (hacimsel) dizel yakıt (No.2) ile karışımlarının ön yanma odalı bir turbo dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

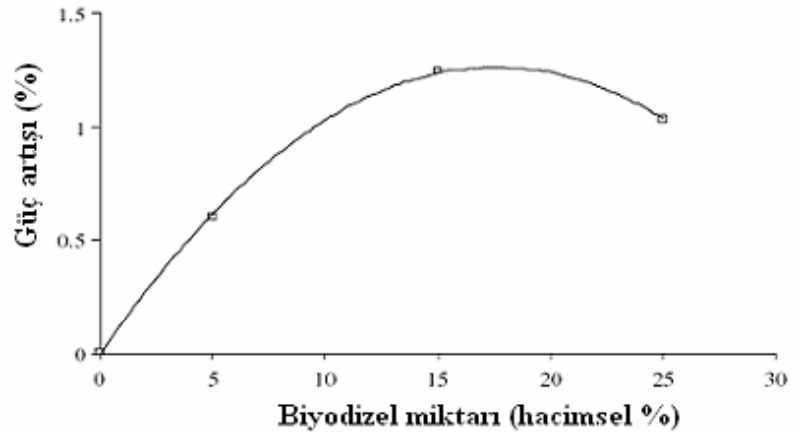
Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde;bir dizel motor motor, bir dizel test yatağı,bir gaz analizeri ve bir ses ölçüm cihazı bulunmaktadır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.9 'da gösterilmiştir.



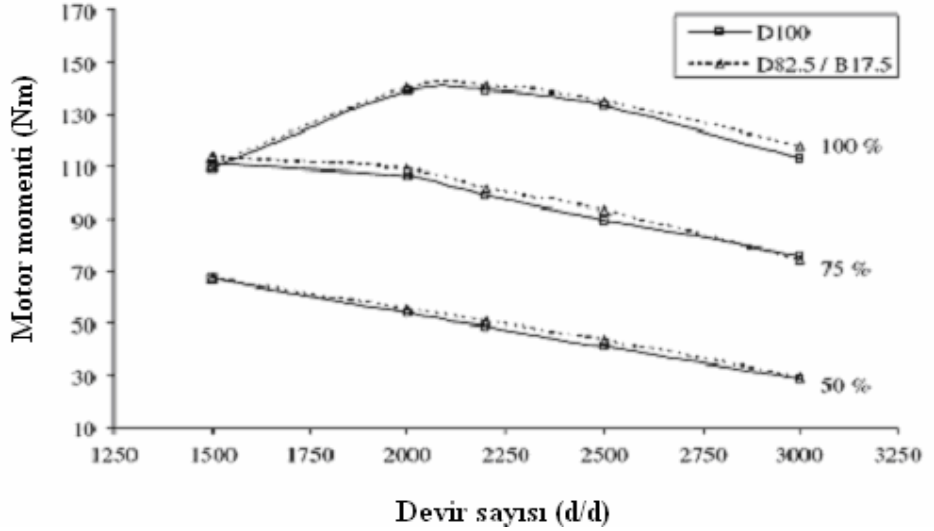
Şekil 3.9 : Cussons P8601 Motor Test Düzeneği 1-Deney düzeneği şasisi, 2-Hidrokinetik dinamometre, 3-Deney motoru 4-Soğutma sistemi,5-Hava giriş tankı, 6-Kontrol paneli, 7-Dizel yakıt tankı, 8-Alternatif yakıt tankı (biyodizel), 9-Biyodizel yakıt hattı kontrol valfi, 10-Dizel yakıt hattı kontrol valfi, 11- Egzoz gaz ölçüm cihazı

Tablo 3.6 **:** Deney Motorunun Teknik Özellikleri

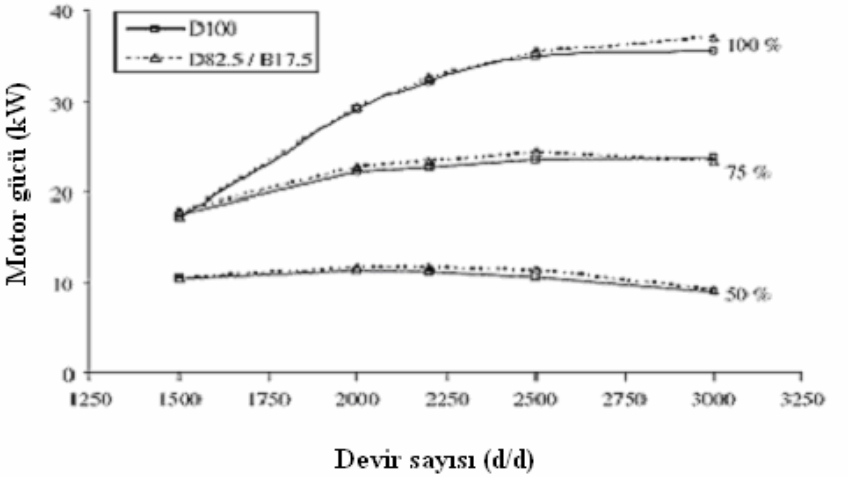
Motor Tipi	Ford XLD 418T, IDI (Ön yanma odalı), 4 Zamanlı, Turboşarjlı, Su Soğutmalı, Dizel
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	82.5 mm
Silindir stroku	82,0 mm
Silindir hacmi	1.753 litre
Sıkıştırma oranı	21.5/ 1
Max. motor gücü	55 kW (4500 d/d)
Max. motor momenti	152 Nm (2200 d/d)
Püskürtme pompa tipi	Distribütör tipi



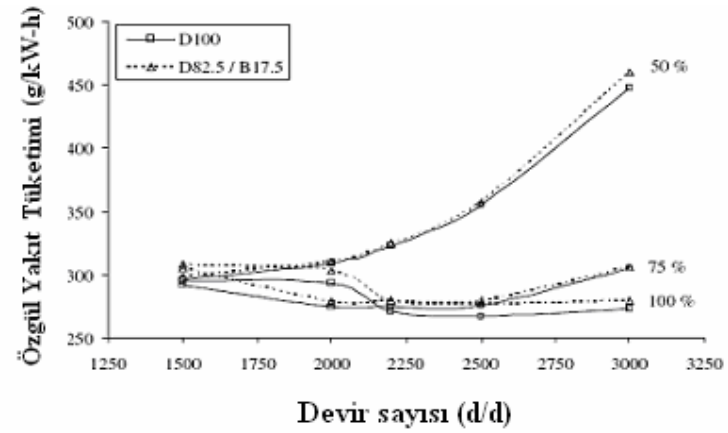
Şekil 3.10 : Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi (Tam Yük – 2500 d/d'da)



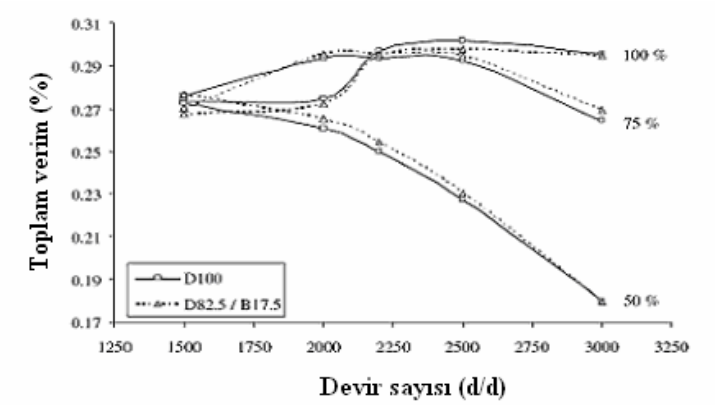
Şekil 3.11 : Biyodizelin Motor Momentine Etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)



Şekil 3.12 : Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)



Şekil 3.13 : Biyodizelin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi (%100, %75, %50 yük durumunda)



Şekil 3.14 : Biyodizelin Toplam Verime Etkisi (%100, %75, %50 yük durumunda)

- Sonuçlar

  a.)Fındık yağ üretimi rafinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan sabun stoku ile kızartmada kullanılmış atık ayçiçek yağından oluşan karışımdan elde edilen biyodizelin petrol kaynaklı dizel ile birlikte belirli oranlarda karışım olarak kısa süreli performans testlerinde, dizel yakıta yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Böylece, performans yönünden atık bitkisel yağlar ile birlikte, yemeklik yağ üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan sabun stoklarının ucuz biyodizel üretiminde önemli bir kaynak olabileceği ortaya konulmuştur.

  b.)Biyodizelin alt ısıl değeri dizel yakıta göre daha düşük olmasına rağmen değişik hacimsel karışım oranlarında tüm tam ve kısmi yüklerde dizel yakıta göre daha yüksek motor momenti ve güç değerleri elde edilmiştir.%17.5'lik biyodizel katkısının maksimum güç ve toplam verimi sağladığı ortaya çıkmıştır.

c.)Biyodizel karışımın egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtınkinden daha yüksek olmasına rağmen kısmi yüklerde aradaki fark oldukça küçüktür. Biyodizel kullanımı yağlama yağı sıcaklığını etkilememektedir.

d.)Tam yükte; düşük hızlarda karışımın CO emisyonu dizel yakıta göre daha yüksek,yüksek hızlarda dizel yakıta göre daha düşüktür.Kısmi yüklerde CO ve CO_2 emisyonları açısından arada önemli bir fark yoktur.Bu durum fakir karışıma bağlı olabilir.SO_2 emisyonlarının azalmasında biyodizel içinde düşük oranda kükürt olmasının önemli bir katkısı vardır.Tam yüklemede karışımın egzost sıcaklıklarındaki artış NO_x emisyonlarındaki artışı desteklemektedir.Diğer taraftan NO_x emisyonları azalan yükle birlikte düşmektedir.

e.)Motorun gürültü değerlerini ölçmek için motora 1 metre uzaklıkta bir ses ölçüm cihazı kullanılmıştır. Biyodizel ilavesi az da olsa gürültü sesini azaltmaktadır.Azalma miktarı kullanılan test motorunda 1 dB'den daha az olarak ölçülmüştür.

3.3. Etanol Yakıtlar ve Özellikleri

Etanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle,yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıta 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.

Tablo 3.7 : Etanolün Bazı Önemli Özelliklerinin Dizel No. 2 ile Karşılaştırılması

Özellik	DİZEL NO:2	ETANOL
Yoğunluk (15 °C) kg/m³	841,5	788
Viskozite (40 °C) cSt	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

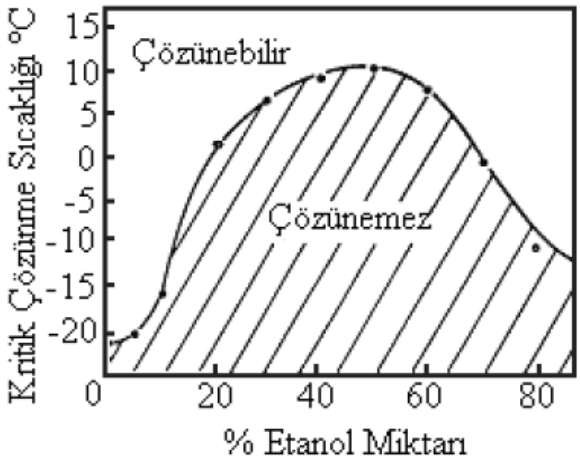
odaklanmıştır. Alkollerin dizel yakıta eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve alt ısıl değer düşmektedir. Değişen özellikler nedeniyle alkollerin dizel motorlarda kullanımında bazı zorluklar oluşmaktadır. 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:

- Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı(Reddy et al., 1999; Xiao et al. 2000; Abu-Qudais et al. 2000; Ajav et al. 1999; Bilginet al. 2002),
- Alkol- dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmekte) (Xiao et al., 2000; Satgede Caro et al., 2001; Asfar and Hamed1998),
- Fumigasyon (hava emme hattına alkolpüskürtülmesi) (Abu-Qudais et al., 2000;Ajav et al., 1999; Goering et al., 1992),
- Çift püskürtme sistemi (herbir yakıt için ayrı püskürtme sistemi) (Noguchi et al.,1996; Rafiqul Islam et al., 1997).

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 kullanılabilmektedir.

Etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir. 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. Şekil 3.15'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. Etanolün karışım şeklinde dizel motorlarda kullanımı az oranlarda (%5 civarı) etanol ile daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (C9–C11, propanol, bütanol v.b.) eklenerek karışımın termodinamik olarak daha kararlı bir karışım olması sağlanabilmektedir. Bu da emülsiyon tekniği olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.15 : Etanolün Dizel Yakıtı İçerisinde Sıcaklığa Göre Çözünme Yeteneği

3.3.1 Etanol Kaynakları

Endüstriyel amaçlı etanol, petrol ürünlerinden, çoğunlukla etilenin, sülfrik 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, doğal gaz ve diğer kaynaklardan da elde edilebilir.

Bu güne 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, aynı zamanda geniş ve verimli ekilebilir alanlar ile suya olan talebi de artırmaktadır.

3.3.2 Etanolün Üretimi

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

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

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

Benzinle karıştırabilmek 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 kurşun içerirlerdi. Bu şekilde kontamine olmuş yakıtın yakılması sonucu sinir sitemine zarar verebilen kurşun havaya karışırdı. Bugün etanol yakıtı, özel olarak yetiştirilen bitkilerden, kurşun içermeyen yöntemlerle elde edilmektedir.

3.3.3. Dünya’da Etanol Kullanımı

- 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 gallon 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 etanolü galonu yaklaşık 1.00$'dan üretebilmektedir. Brezilya'daki tüm yeni araçlar ya esnek yakıtlı yada benzin yerine saf etanolü yakabilecek özellikte araçlardır. Brezilya'da etanol yakıtı ve elektrik üretiminde yararlanılan yan ürünleri, ülkenin petrole olan bağımlılığını ve hava kirliliğini azaltmada önemli katkıda bulunur.

- 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 bütünleyici 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'daki ilk etanol yakıtı tesisi, 2005 Ekim ayında, Kauka bölgesinde, günde 300.000 litre kapasiteyle üretimine başlamıştır. 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 üretilebilmektedir. Son eklenen yüksek kapasiteli damıtma tesisleri ile birlikte, toplam yatırımlar 100 milyon USD'ın üzerine çıkmıştır. Kolombiya, %10 etanol karışımlı 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.

- 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.

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 yürürlülüğe giren Enerji Vergisi Akdi ile biyoyakıtlara vergi istisnası getirilmiştir. Bu istisnanın yıllık karşılığının 1,4 milyar US$ olduğu tahmin edilmektedir. Bir başka federe program ise etanol tesislerinin inşaası 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. Kısa vadede bu artışın hemen tamamının mısırdan elde edilen etanol ile karşılanması beklenmektedir.

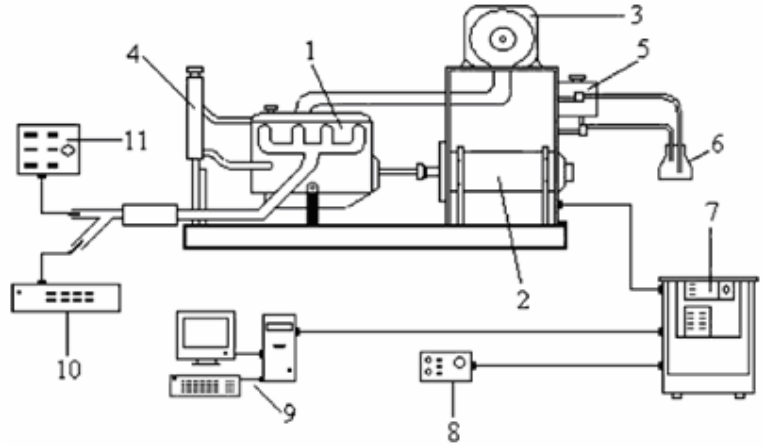
Avrupa Parlamentosu'nun 2003/30/EC nolu direktifi, fosil yakıtların biyoyakıtlarla değiştirilmesini teşvik eder. İngiltere'de, biyodizel gibi alternatif yakıtların vergilendirilmesi en az fosil yakıtlarınki kadar sıkıntılı iken, İngiliz Hükümeti, etanol dahil olmak üzere biyoyakıtların kullanımını özendiren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

3.3.5 Dünya'da Etanol İçin Yapılan Performans Çalışmaları

Dünya'da etanol adına yapılmış alternatif yakıt çalışmlarına bakıldığında genel olarak bu çalışmaların daha çok etanolün benzin katkı maddesi üzerine yapıldığını görülmektedir. Bu çalışmada etanolün dizel motorlarındaki performansı üzerine olan olan etkileri ise ülkemizde bazı akademik çevreler tarafından araştırılmıştır. Bunların en önemlisi olan çalışmanın adı, araştırmayı yapanlar ve deney sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Yapılan Çalışmanın adı : Ön yanma odalı turbo dizel motorunda farklı püskürtme basıncıları altında dizel yakıtına etanol katılmasının kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi
- Çalışmayı gerçekleştirenler : Doç. Dr. Nazım Usta ,PamukkaleÜniversitesi, İsmet Celikten ,Gazi Üniversitesi, Arş. Gör. Özer Can, Pamukkale Üniversitesi

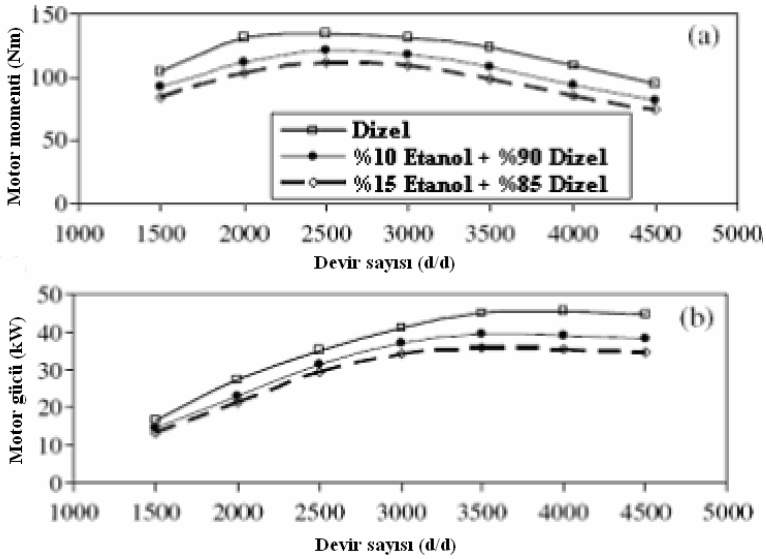
Etanol farklı tarımsal ürünlerden üretilebilen , yenilenebilir alternatif bir yakıttır. Etanolün dizel motorlarda kullanım yollarında biri de etanol-dizel karışımı şeklinde kullanımıdır. Bu yöntemin en büyük avantajı dizel motorlarda hiçbir modifikasyon olmaksızın etanol kullanımına olanak sağlamasıdır.



Şekil 3.16 : Deney Sisteminin Şematik Resmi :1-Motor, 2-Dinamometre, 3-Hava Tankı, 4-Motor Soğutma Ünitesi, 5-Ana Yakıt Tankı, 6-Alternatif Yakıt Tankı, 7-Kontrol Ünitesi, 8-Elle Kontrol Ünitesi, 9-Bilgisayar 10-Gaco-SN gaz analizörü, 11-VLT 2600-S is ölçer

Bu çalışmada Dizel No2'ye 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 SO_2 emisyonlarında azalma olmuştur. Diğer yandan NOx emisyonlarında ise %12,5 (%10 etanol içeren karışımda) ve %20 (%15 etanol içeren karışımda) artış olmuştur.Püskürtme basıncının artması ise özellikle 1500–2500 d/d aralığında CO ve is emisyonlarında azalmaya ve bir miktar motor güçünün düşmesine sebep olmuştur.

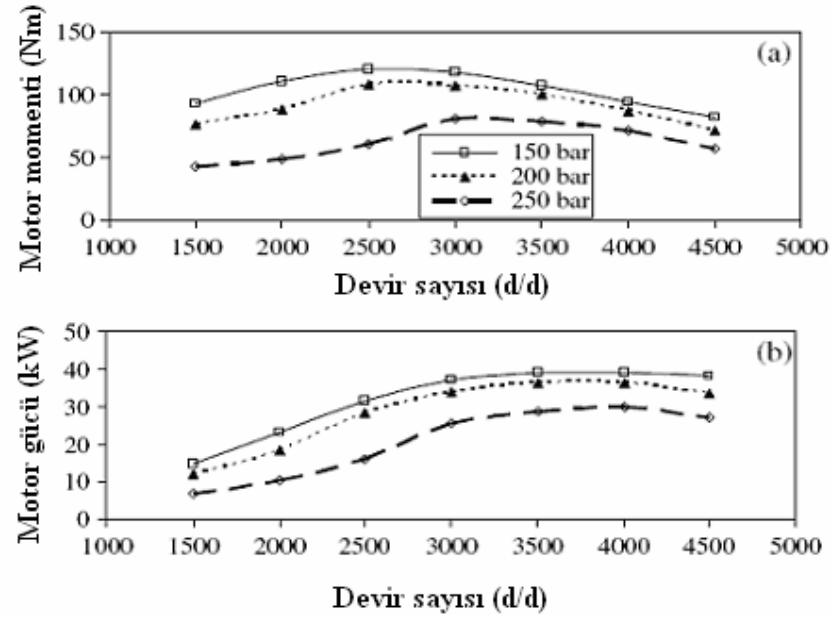
- 150 bar pürkürtme basıncında dizele etanol eklenmesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi;



Şekil 3.17 : 150 Bar Pürkürtme Basıncında Dizele Etanol Eklenmesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkisi

Şekilde görüldüğü üzere gibi 150 bar püskürtme basıncında her iki karışım içinde dizele etanol katılması ile motor momenti ve güçünde bir azalma gerçekleşmiştir. Motor momentinde ki azalma %10 etanol içeren karışım için %12.5, %15 etanol içeren karışım için %20 olmuştur. Bilindiği üzere motorda kullanılan yakıtın alt ısıl değerinin motor gücünde büyük etkisi vardır. Testlerde görüldüğü üzere düşük alt ısıl değere sahip etanol-dizel karışımlarının motor üzerinde hiçbir modifikasyon olmaksızın kullanılması sonuçunda motor gücünde azalma gerçekleşmiştir. Bu azalma karışımlarda bulunan etanol yüzdesi ile doğrudan bağlantılıdır. Etanolün alt ısıl değeri ve yoğunluğu dizel yakıttan sırayla %35 ve %3,5 oranında daha düşüktür. Buna göre düşük alt ısıl değer ve yoğunluk sebebiyle güç ve motor momentinde beklenen düşüş dizele her %5 etanol katılmasında %2'dir. Motor gücünün %12,5 ve %20 düşüşlerdeki bütün sorumlu alt ısıl değer ve yoğunluk değildir bunun yanında etanolün setan sayısının (5–15) dizel yakıtın setan sayısından (45–50) daha düşük olması da sorumlu olarak gösterilebilir.

- Etanol-dizel (%10–%90) karışımı kullanılan dizel motorda farklı püskürtme basınçlarının uygulanmasının motor performansı üzerine etkisi



Şekil 3.18 : Etanol-Dizel (%10-%90) Karışımı Kullanılan Dizel Motorda Farklı Püskürtme Basınçlarının Uygulanmasının Motor Performansı Üzerine Etkisi

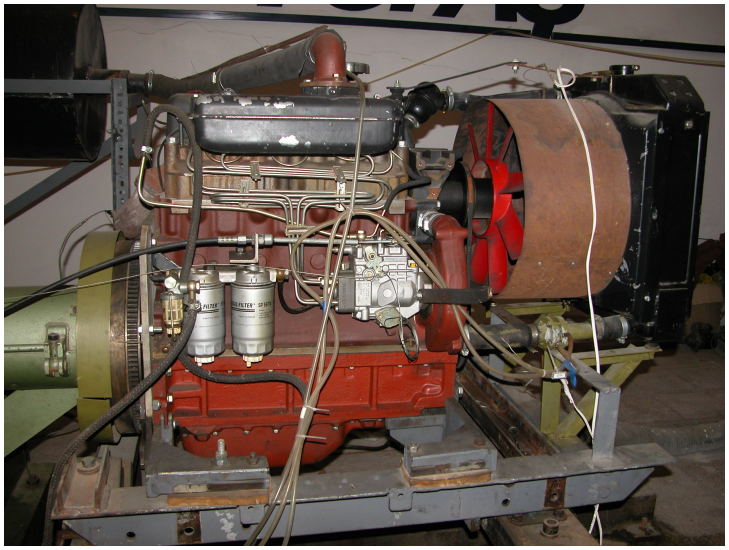
Etanol - dizel karışımları 150, 200 ve 250 bar püskürtme basınçları altında test edilmiştir.Şekil 3.18'de görüldüğü üzere 200 ve 250 bar püskürtme basınçlarında sırasıyla %12 ve %38 oranında motor gücünde ve motor momentinde düşüş gerçekleşmiştir. Etanol bu dizel yakıtlardan daha büyük buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Bu , hava ile yakıtın buharlaşma ve karışmasında yavaşlamaya sebep olur. Fakir hava yakıt karışımı için diğer bir sebep ise püskürtme örneklerinin en uygun posizyondan sapmasıdır.Bu sapma belirli yanma sistemleri için geçerlidir. Püskürtme basınçının artması tanecik çapının azalmasına ve etanol dizel karışımın hızlı bir biçimde buharlaşmasına sebep olur. Bunun sonuçunda yakıt yanma odasının her yerine tam olarak ulaşamaz. Bu olay ise enjektör çevresindeki bölgeden başlarda hızlı bir yanmanın olmasına ve sıcaklıkların artmasını sağlar. Fakat ilk yanma belirli bir bölgede sınırlı kalması sebebiyle alev yanma odasının diğer bölümlerine ilerlemesi yavaş olur. Bu olay ısının, işe dünüşme işleminin verimsiz bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmuştur.

4. DENEY AŞAMASI

4.1. Deney Motorunun Özellikleri

Tablo 4.1 : Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Tipi	BAŞAK DS 408 - 45
Güç	70 PS 51,5 kW (SAE)
Azami devir d/d	2400
Azami motor momenti	215 Nm. (1500d/d)
Silindir adedi	4
Silindir çapı ve strok mm	100 / 100
Toplam silindir hacmi	3142 cc
Motor çalışma şekli	4 zamanlı dizel motor/direkt
Yakıt pompası	Bosch VE tipi yıldız pompa
Motor soğutma sistemi	Su soğutmalı, termostat kontrollü, pompalı
Yakıt tüketimi	228 g/kWh
Püskürtme sırası	1,2,3,4



Şekil 4.1 : Başak Traktör DS408 – 45

4.2. Motor Deneyleri

Motor deneyleri genel olarak;

- Bir motorun; yapımcı firmanın garanti ettiği karakteristik özellikleri gerçekleyip gerçeklemediğinin kontrolü,
- Motorları gelişme çalışmalarında; çeşitli yapısal (konstrüktif) ve işletme özelliklerinin motor karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, amaçları ile yapılır.

4.3. Deneylerin Uygulanma Şekli

Yapılan çalışmanın amacı, motorda yenilenebilir alternatif olarak kullanılabilen biyodizel ve etanol yakıt karışımlarının farklı karışım oranlarında kullanılması durumlarında performans deneylerine bağlı performans karakteristiklerinin ne gibi değişimlere uğradığının saptanmasıdır. Bu performans karakteristikleri şunlardır:

- Motor momenti (Döndürme momenti)
- Motor gücü
- Ortalama efektif basınç
- Özgül yakıt tüketimi
- Toplam verim

Motorun bu karakteristiklerinin bulunmasında Schenk tipi elektromanyetik fren kullanılmıştır. İlk olarak motor %100 dizel yakıtı ile çalıştırılmış ve referans karakteristikler elde edilmiştir. Daha sonra motor %5 , %10 ve %15'lik biyodizel – dizel ve etanol – dizel karışımları ile test edilmiş ve motorun karakteristikleri yeniden saptanmıştır. Bulunan sonuçlarla ilk olarak dizel no2 ile elde edilmiş referans değerleri yeni sonuçlarla karşılaştırılmış ve söz konusu alternatif yakıtların motor performansı üzerine etkileri ortaya konmuştur.

İlgili deneylerin sonucunda yapılan tüm hesaplamalarda standart ortama indirgeme yapılmıştır.

Standart ortamın özellikleri (80/1269/EEC) şunlardır:

- 1 atm.=760 mm Hg. Hava basıncı
- 20° C =293 K ortam sıcaklığı
- % 60 'lık ortam bağıl nemi

Bu değerler göz önünde tutularak deney yapılan ortamın deniz seviyesinden olan yüksekliği ile deney yapılan gündeki ortam sıcaklığı ve bağıl nemi dikkate alınmıştır. Standart ortama indirgenen motor performans karakteristikleri α ve β ile ifade edilen katsayılarla yeniden hesaplanmıştır.

4.4. Motor Frenlerinin Çalışma Prensibi

Yapılan deneyler sırasında karakteristik eğriler çıkarılırken dikkat edilmesi gereken belli başlı noktalar şunlardır;

- Deney standındaki bütün aletlerin sağlıklı ve çalışır durumda olması için gerekli kontroller yapılmalıdır.
- Motorun yağ . su ve yakıt devrelerinin seviye ve sızdırmazlık kontrolleri yapılmalıdır.
- Motorun normal çalışma sıcaklığına gelinceye kadar boşta çalıştırılarak ısıtılması gerekir.
- Motor yeterince ısıtıldıktan sonra gaz kolu açılarak max. boşta çalıştırma dönme sayısına getirilmelidir.
- Bu şartlarda frenin kumandası ile motorun azami yükte kararlı olarak çalıştığı en küçük dönme sayısında kalması temin edilirken egzoz çıkışında ilk bulanıklığın görüldüğü nokta motorun azami yükte çalıştığını gösteren bir belirti sayılmalıdır.
- Motor bu şartlarda çalışırken su ve yağ basınç sıcaklık seviyeleri bu ölçü noktası için kararlı duruma geldikten sonra ilk ölçüm yapılır.Her ölçme noktasında koşullara göre en az bir dakika beklenmelidir.Ayrıca , her ölçme noktasındaki dönme sayısı düşük devirlerde %0,5, yüksek devirlerde 10d/d'dan fazla değişmemelidir.

- İlk ölçümden sonra gaz kolunun konumu hiç değiştirilmeden frenin yükü arttırılarak belli bir dönme sayısında sabit tutulmaya çalışılır ve motorun çalışması kararlı duruma geldikten sonra ikinci ölçme yapılır.

Bu şekilde ölçümlere devam edilir.

4.5. Elektromanyetik Fren

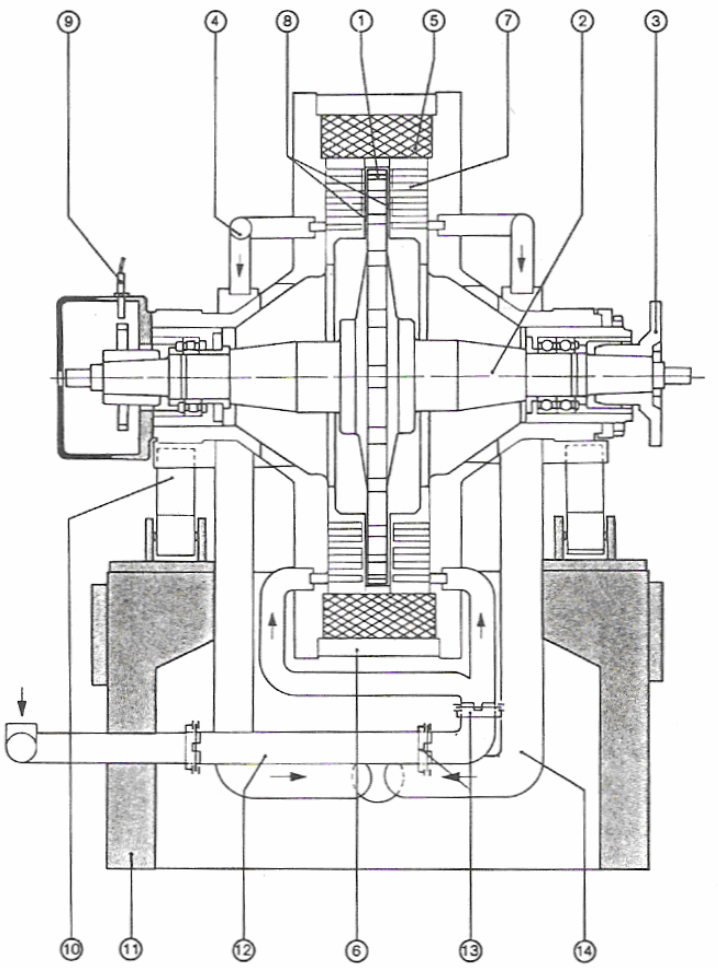
Motorların performans karakteristiklerinin (Ne,Md,b_e,Pme = f (n) eğrileri) tespiti için motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekir.Yükleme sistemleri genelde "fren" adını almakta olup motorun çıkış miline uygulanan kuvvete "yük"adı verilir.Motorun yüklenmesi sırasında motorun çıkış miline iletilen güce eş değerde bir karşı yük uygulanarak motor miline zıt yönde bir durdurma momenti ile motor frenlenmeye çalışılır.Bu frenleme sırasında motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş veya güç bulunabilir.

Elektromanyetik frenler ise; motor milindeki mekanik enerjiyi elektromanyetik etki ile elektrik enerjisine dönüştürerek motor milinin frenlenmesini ve motorun sağlar. Bu şekilde motorun performans karakteristiklerine ulaşılmış olur.

- Elektromanyetik Frenin İşleyişi

Fuko akımları prensibine dayanan ve ebatlarına göre oldukça fazla yüksek güç yutma kapasitesine sahip frenlerdir. Bu tip frenlerde içerisinde sargılar bulunan ve soğutulma imkanına sahip bir stator ve üzerinde dönme eksenine paralel oluklar açılmış bir rotor bulunur. Bu oluklar , rotor üzerinde bir dişli çark biçiminde tepe noktaları oluşturduğundan rotor dışarıdan bir kuvvetle döndürülmek istendiğinde stator sargılarına uygulanan doğru akımın yarattığı manyetik alan rotordan statora doğru hareket eder. Bu durumda , tersine Fuko akımları oluşturulması sebebiyle manyetik kuvvet çizgileri de birlikte dönmek isteyeceğinden stator sürüklenmek durumunda kalır ve bir karşı moment doğar.

Fuko akımları şeklinde harcanan elektrik enerji rotor ve statoru ısıtacağından soğutulması gerekir. Bu tip yükleme sistemlerinde yükleme yapılan yerden stator sargılarını beslemek için kullanılan doğru akımı yaratacak bir elektrik şebekesi ve ya doğru akım üretecine ihtiyaç vardır.



Şekil 4.2 : Elektromanyetik Fren Düzeneği 1. Rotor 2.Rotor Mili 3.Bağlantı Flanşı 4.Termostatlı su çıkışı 5.İkaz Sargıları6. Dinamometre Muhafazası 7. Soğutma Odası 8.Hava Boşluğu 9.Hız algılayıcısı10.Esnek yatak 11.Platform 12. Su girişi 13. Mafsal 14. Su çıkışı borusu

4.6. Ölçümü Yapılacak Performans Karakteristikleri

Motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi ile performans karakteristikleri olan motor momenti, güç, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim değerleri ulaşılır.Bu değerlere ulaşılırken bir takım formülasyonlardan yararlanılmıştır. Elde edilen tüm değerler standart ortama α ve β katsayıları aracılığıyla taşınır.

Sonuçta, yapılan bu referans deneyinde oluşan veriler bize söz konusu alternatif yakıt karışımları ile ilgili şu karakteristiklerin kontrol edilmesini sağlar:

- Motor momenti kontrolü
- Motor gücü kontrolü
- Yakıt tüketimi kontrolü
- Toplam verim kontrolü

4.6.1. Motor momenti (Döndürme momenti)

Elektrik dinamometresine bağlı yaylı teraziden S [N] kuvveti okunduktan sonra, teraziye asılı W [N] ağırlığı da bilindiğine göre, bu duruma karşı gelen döndürme momenti bağıntısından

$$M_d = F.l \qquad [4.1]$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada;

$$F = W - S \qquad [4.2]$$

ve kullanılan deney düzeneğindeki moment kolu uzunluğu

$$l = 0{,}955\,[m] \qquad [4.3]$$

dir.

4.6.2. Motor gücü

Tatbik edilen bir kuvvet etkisi ile cisimlerin yer değiştirmelerine iş denir. İş kaldırma, itme ve çekme şeklinde olur.

İş = kuvvet ×yol (kgm) [4.4]

Güç söz konusu olduğu zaman dikkate alınır; diğer bir deyimle birim zamanda yapılan işe güç denir.

Güç = iş / zaman [4.5]

Motorun iş yapma hızı beygir gücü ile ölçülür.

Beygir gücü (BG) : Bir saniyede yapılan 75 kgm'lik işe denir.

1 BG = 0,736 kW [4.6]

"Motorun krank mili ucundaki kasnak veya volandan bir fren düzeneği ile ölçülen güce fren gücü denir. Bu güç, iş güçten %25 kadar daha küçüktür. İkisi arasındaki bu fark sürtünmelere ve su pompası, yağ pompası, yakıt pompası, şarj dinamosu vb. motorun çalışması için gerekli olan parçalara harcanan enerjiden ileri gelmektedir. Güç ölçümünde kullanılan cihazlara genellikle dinamometre denir. Ancak dinamometre direkt olarak gücü değil gücün hesaplanmasına yarayan kuvveti veya momenti ölçer.

- İndike ve Efektif Güç (N_{m-i} , N_{m-e})

Dizel motorlarında deney standında ölçülen güç motor milinden alınan net efektif güçtür. Bu güç yakıt ile havanın yanması sonucu mekanik enerji dönüşen kimyasal enerjinin mekanik eş değerinden farklıdır. Zira yakıtla verilen enerjinin bir kısmı mekanik sürtünmelere bir kısmı gaz hareketleri sebebiyle akış ve dolgu kayıplarına diğer bir kısmı ise yardımcı donanım ve elemanların tahrik edilmesine harcanır. Dizel motorlarında silindirde bir çevrimde elde edilen iş ;indike silindir işi; ölçülen P-V diagramının alanı ile belirlenir.

Bu işin strok boyunca sabit bir çevrim basıncı (P_{mi} : ortalama indike basınç) ile elde edildiği düşünülüp, indike iş:

$$W_1 = \int P \, . \, dV = P_{mi} \, V_h \qquad [4.7]$$

şeklinde yazılabilir.

Ortalama indike basınç silindir içinden ölçüldüğünden mekanik kayıpları içermemektedir. 4 zamanlı dizel motorlarda bir saniyede $n_m/120$ iş periyodu olduğuna göre indike güç (silindir gücü);

$$N_{mi} = \frac{P_{mi} \, V_h \, n_m}{0,12} \ [kW] \ \text{'dir.} \qquad [4.8]$$

P_{mi} [Mpa = 10^6 N/ m^2]

V_h [m^3] , n_m [d/d]

$$N_{mi} = \frac{P_{mi} \, V_h \, n_m}{900} \ [BG] \ \text{'dir.} \qquad [4.9]$$

P_{mi} , [kg/cm^2] V_h , [lt.] n_m , [d/d]

Motorun efektif gücü ise üstteki denklemde ortalama indike basınç yerine ortalama efektif basınç konularak;

$$N_{mi} = \frac{P_{me}\, V_h\, n_m}{900} \text{ [BG] 'dir.} \qquad [4.10]$$

şeklinde yazılabilir.

Efektif güç, fren momentinden hareketle deneysel olarak bulunabilir.

$$N_e = \frac{Md \,.\, \omega}{75} \text{ [BG] 'dir.} \qquad [4.11]$$

$$\omega = 2 \,.\pi\, .n / 60 \qquad [4.12]$$

olduğuna göre;

$$N_e = \frac{Md \,.\, n}{716{,}2} = \frac{G \,.\, n}{716{,}2} \text{ [BG] 'dir.} \qquad [4.13]$$

F = G.g [N] olduğundan [4.14]

$$N_e = \frac{Md \,.\, n}{9555.22} \text{ [kW] 'dır.} \qquad [4.15]$$

4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Bir motorun birim zamanda (örneğin 1 saatte) harcadığı yakıtın kütlesi B_e[kg / h] olarak bilinirse, özgül yakıt tüketimi;

$$b_e = \frac{B}{N_e}\left[\frac{Kg\ yakıt}{KWsaat}\right] \qquad [4.16]$$

bağıntısından bulunabilir.

Bu amaçla motorun yakıt donanımına eklenen ölçekli bir kaptaki yakıtın kaç saniyede harcandığı bir kronometre ile ölçülür. Örneğin $\Delta v[cm^3]$ yakıt $\Delta t[s]$'de harcanmışsa, 1 saat'te motorun tüketeceği yakıtın kütlesi,

$$B = \frac{\Delta v.10^{-3}.3600}{\Delta t}\rho_{yakıt}\left[\frac{kg\ yakıt}{saat}\right] \qquad [4.17]$$

olur.

Yakıt yoğunluğu olarak,

Dizel yakıtı için : $\rho_{yakıt} = 0{,}85\ gr/cm^3 = 0{,}85\ kg/lt$ [4.18]

Benzin için : $\rho_{yakıt} = 0{,}74\ gr/cm^3 = 0{,}74\ kg/lt$ [4.19]

alınabilir. Motorun 1 saat'te tükettiği yakıt böylelikle bulunduktan sonra özgül yakıt tüketimi bağıntısından hesaplanır. Son zamanlarda motor deney düzeneklerinde yakıt tüketimini ağırlık esasına göre ölçmeyi sağlayan sistemler de kullanılmaktadır.

Bir motorun (BG) veya (kW) başına bir saatte tükettiği yakıt miktarı (g) olarak tarif edilmiştir. Bu büyüklük genellikle g/BGh veya g/kWh birimleri ile ifade edilmektedir. Bir motorun yakıt tüketimini tespit edebilmek için deney sırasında bir deney noktasında motordan çekilen efektif güç ile birlikte aynı deney noktasında aynı anda yakıt debisi de (m_y) bilinmelidir. Bu durumda özgül yakıt tüketimi;

$$B_e = \frac{m_y \ 3600}{N_{me}} \ [g/BGh] \qquad [4.20]$$

şeklinde yazılabilir. Burada yakıt debisi [g/s] boyutundadır.

$$be = \frac{3600\ \rho.V}{t\ .\ N} \ [g/kWh] \qquad [4.21]$$

4.6.4. Verim

Genel anlamda, kazanılan değerin; bu değeri kazanmak için harcanan değere oranıdır. Diğer bir deyimle; alınan işin verilen işe oranıdır.

Verim daima %100'den az olur. Verilen işin aynen kazanılması hiçbir şekilde mümkün olmaz. Bunun nedeni, karışımın eksik yanması, sürtünmelere harcanan güç ve eylemsizlik kuvvetleri gibi etkilerdir. İş yapabilmek için harcanan işin çok veya az oluşu verimi etkiler. Verilen iş % olarak, ne kadar alınabilirse verim % o kadar artacaktır. Standart olarak verim (eta) η sembolü ile gösterilir. Bu sembolün önüne konulacak harf, verimim ne verimi olduğunu belirtir. Motor verimleri;

- Hacimsel (Volümetrik) verim
- Mekanik verim
- Diyagram verimi
- Toplam verim

olmak üzere başlıca dört tür verim hesabı yapılır.

4.6.4.1. Hacimsel (Volümetrik) Verim

Emme zamanında silindirlere, normal sıcaklık ve basınç (15^0C ve 760 mm. Hg.st) altında girmiş olan karışım hacminin silindire (kurs hacmi) oranına hacimsel (volumetrik) verim denir.

Hacimsel verimin formülle ifadesi:

$$\text{Hacimsel verim} = \frac{\text{Normal şartlarda silindire alınan hava hacmi}}{\text{Pistonun silindirde boşalttığı hacim}} \qquad [4.22]$$

4.6.4.2. Diyagram Verimi

İndikatör diyagramından ölçülen işin, teorik çevrim diyagramından ölçülen işe oranına diyagram verimi denir. Teorik ve gerçek indikatör diyagramları incelendiği zaman teorik çevrim diyagramındaki iş gerçek indikatör diyagramındaki işten daha büyüktür. Çünkü; teorik çevrimdeki taralı alan gerçek indikatör diyagramındaki alandan daha büyüktür. Bunların bir birine bölünmesi (teorik çevrimden alınan iş / gerçek indikatörden alınan iş) diyagram verimi bulunur.

4.6.4.3. Mekanik Verim

Mekanik verim silindirler içinde elde edilen gücün % olarak, ne kadarının harcandığını ve ne miktarının faydalı güce dönüştüğünü gösteren bir verimdir.

$\eta_m = N_e / N_i$ $\qquad$ N_e : Faydalı güç (fren gücü)

η_m : Mekanik verim $\qquad$ N_i : İç güç (indike güç)

Piston segman ve silindir cidarlarındaki sürtünmelere, yataklardaki sürtünmeye ve eylemsizlik kuvvetlerini yenmek için harcanan güçler çıktıktan sonra geriye kalan güç krank mili ucundan alınan faydalı güç olur.

4.6.4.4. Toplam Verim

Silindirlere girmiş olan karışımın yanması ile oluşan enerjiye karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline çevirme oranına termik verim denir. Yanma sonunda meydana gelen ısının büyük bir kısmı, soğutma sistemi ve yağlama sistemi ile dışarı atılır. Bu nedenle motorların termik verimleri genellikle düşük olur. Genellikle %20 - %25 arasındadır. Termik verim motorun sarf ettiği yakıt miktarına göre hesaplanır.

η_t = Alınan iş (kcal) / Yakıtın vereceği iş (kcal) $\qquad$ [4.23]

Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin büyük bir kısmının soğutma ve yağlama sistemi ile, yanmış egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırılır.

Silindirde yanan yakıtın oluşturduğu ısı miktarını 100 kabul edersek,

Fren beygir gücü (faydalı güç) = 37

Soğutma suyu kaybı = 27

Egzoz gazları kaybı = 28

Sürtünmelerle kaybolan = 8

Termik verimin formülle ifadesi;

Termik verim = Faydalı güç (Kcal olarak) / yakıtın verdiği ısı (kcal olarak) [4.24]

η_t = Ne . 632 / (B . Hu) = 860000 / (Hu . be) [4.25]

4.7. Deney Yakıtları ve Özellikleri

Tablo 4.2 : Deney Yakıtları ve Özellikleri

Test Yakıtları Özellikleri	Dizel No:2	Biyodizel
Karbon (%kütlesel)	86,7	77,1
Hidrojen (%kütlesel)	12,71	11,81
Oksijen (%kütlesel)	-	10,97
Karbon / Hidrojen Oranı	6,82	6,53
Kükürt (%kütlesel)	0,041	<0,005
Alt Isıl değer (kJ/kg)	42640	37388
Setan Sayısı	42,6	51
Özgül Ağırlık (kg/lt)	0,84	0,8814
Kinematic Viskozite(mm/s)	28,271	42,691

- Referans yakıt R : %100 Dizel No2
- Biyodizel B5 : %5 Biyodizel + % 95 Dizel yakıt
  B10 : %10 Biyodizel + % 90 Dizel yakıt
  B15 : %15 Biyodizel + % 85 Dizel yakıt
- Etanol E5 : %5 Etanol + % 95 Dizel yakıt
  E10 : %10 Etanol + % 90 Dizel yakıt
  E15 : %15 Etanol + % 85 Dizel yakıt

4.8. Deney Sonuçları

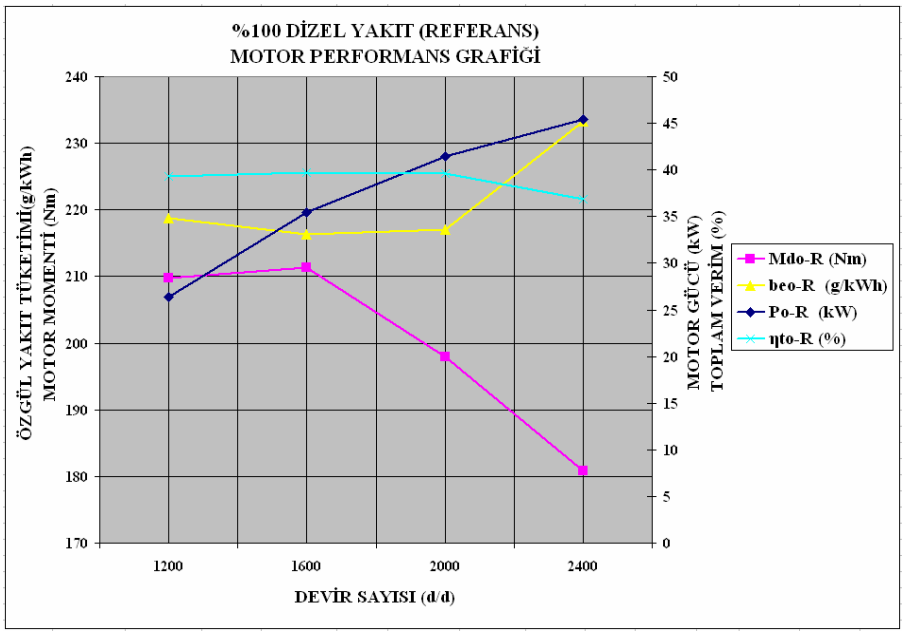
4.8.1. Dizel Yakıt Deney Sonuçları

Tablo 4.3 : Motorun %100 Dizel Yakıt İle Performans Karakteristikleri

Referans								
%100 Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ yakıt (g/cc)	Hu Yakıt (kcal / kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-R (Nm)	Po-R (kW)	beo-R (g/kWh)	ηto-R (%)
1200	0,85	10000	215,5	81	209,83	26,35	218,78	39,31
1600	0,85	10000	217	61	211,39	35,40	216,36	39,75
2000	0,85	10000	203	52	197,94	41,43	217,03	39,63
2400	0,85	10000	186	44	180,77	45,40	233,36	36,85

Tablo 4.4 : Motorun %100 Dizel Yakıt İle Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	55	76	81	406
1600	56	75	80	428
2000	57	74	77	422
2400	63	76	74	424



Şekil 4.3 : %100 Dizel Yakıt ile Motor Performans Grafiği

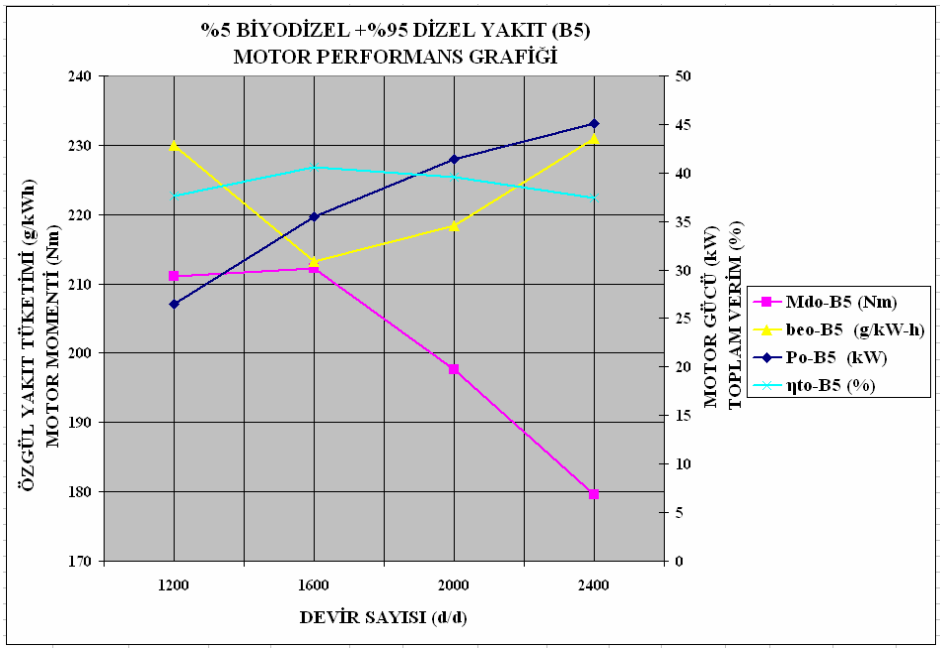
4.8.2. Biyodizel – Dizel Karışımlarının Deney Sonuçları

Tablo 4.5 : Motorun B5 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

B5 - %5Biyodizel + %95Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-B5 (Nm)	Po-B5 (kW)	beo-B5 (g/kW-h)	ηto-B5 (%)
1200	0,8515	9943,75	216	77	211,143	26,517	229,914	37,62
1600	0,8515	9943,75	217	62	212,171	35,528	213,161	40,57
2000	0,8515	9943,75	202	52	197,646	41,369	218,404	39,6
2400	0,8515	9943,75	184	45	179,595	45,109	230,952	37,45

Tablo 4.6 : Motorun B5 Karışımı ile Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	55	77	89	419
1600	57	76	89	420
2000	57	75	88	423
2400	60	76	85	430



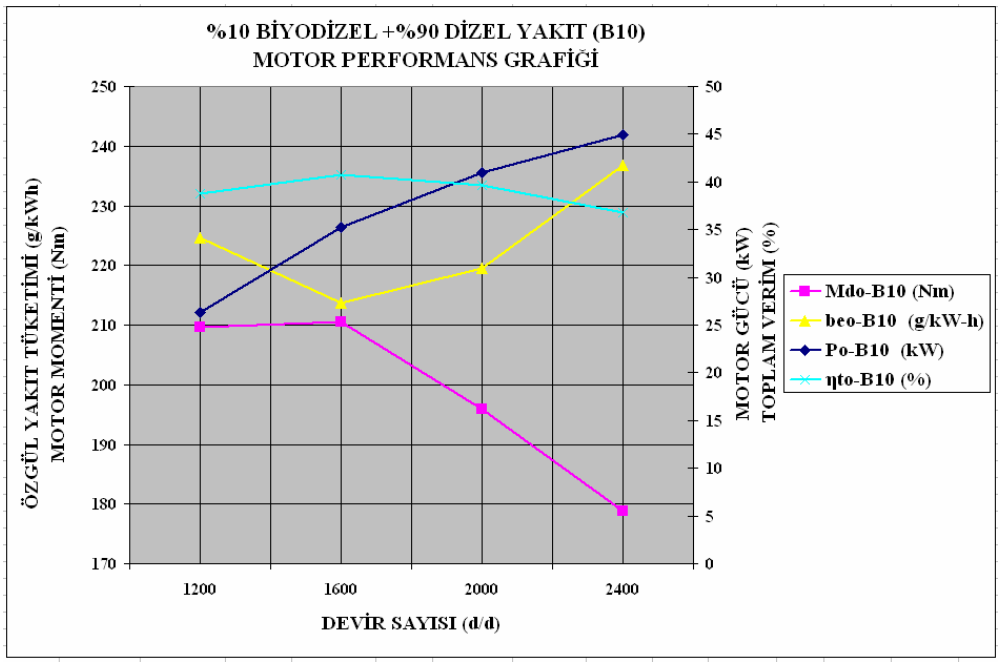
Şekil 4.4 : B5 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

Tablo 4.7 : Motorun B10 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

B10 - %10Biyodizel + %90Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-B10 (Nm)	Po-B10 (kW)	beo-B10 (g/kW-h)	ηto-B10 (%)
1200	0,853	9887,5	216	79	209,692	26,334	224,662	38,72
1600	0,853	9887,5	217	62	210,615	35,267	213,713	40,7
2000	0,853	9887,5	201,5	52	195,871	40,998	219,492	39,63
2400	0,853	9887,5	184	44	178,86	44,924	236,726	36,74

Tablo 4.8 : Motorun B10 Karışımı ile Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	52	76	90	415
1600	54	75	91	419
2000	54	74	90	422
2400	54	74	88	427



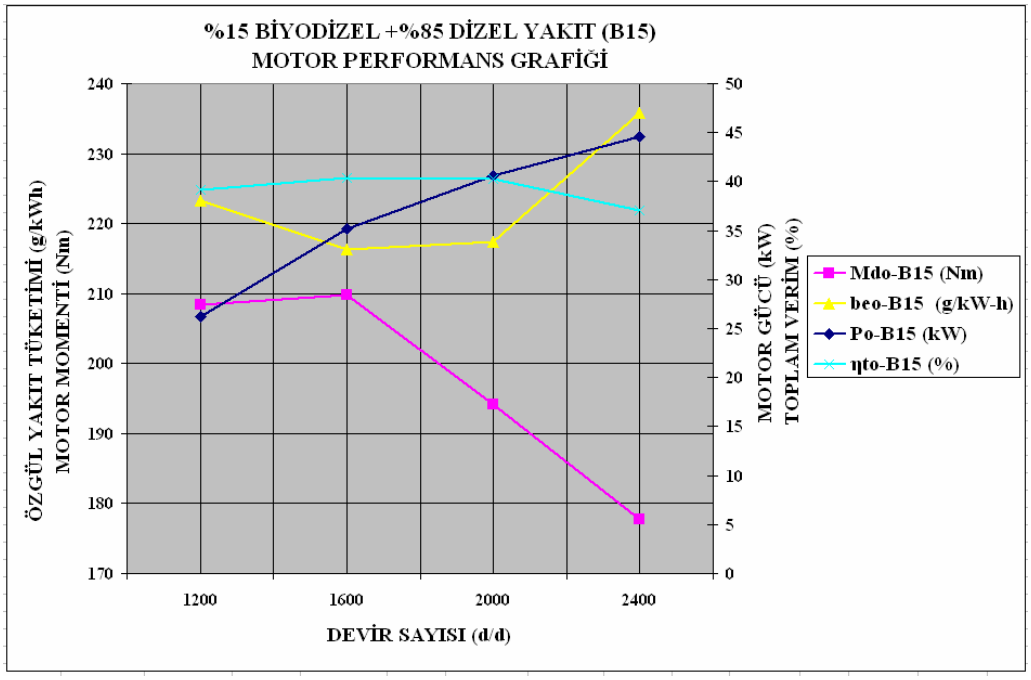
Şekil 4.5 : B10 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

Tablo 4.9 : Motorun B15 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

B15 - %15Biyodizel + %85Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-B15 (Nm)	Po-B15 (kW)	beo-B15 (g/kW-h)	ηto-B15 (%)
1200	0,8545	9831,25	215	80	208,444	26,178	223,31	39,17
1600	0,8545	9831,25	216,5	61,5	209,874	35,143	216,357	40,43
2000	0,8545	9831,25	200	53	194,204	40,649	217,374	40,24
2400	0,8545	9831,25	183	44,5	177,697	44,632	235,787	37,1

Tablo 4.10 : Motorun B15 Karışımı ile Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	52	76	91	408
1600	54	75	93	422
2000	55	74	93	422
2400	58	75	91	434



Şekil 4.6 : B15 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

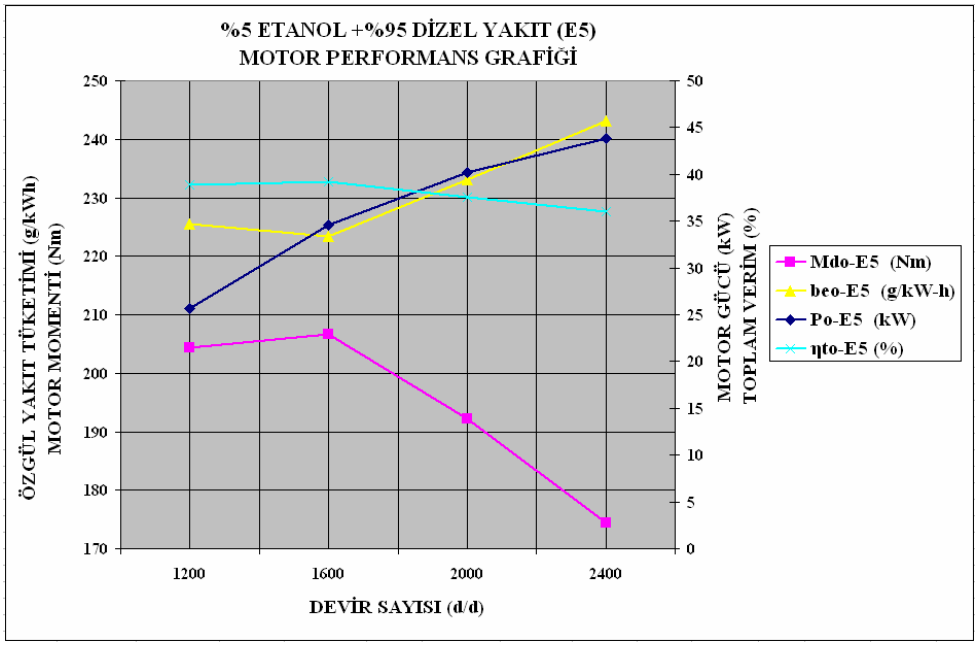
4.8.3. Etanol – Dizel Karışımlarının Deney Sonuçları

Tablo 4.11 : Motorun E5 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

E5 - %5Etanol + %95Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-E5 (Nm)	Po-E5 (kW)	beo-E5 (g/kW-h)	ηto-E5 (%)
1200	0,847	9820	211	80	204,373	25,666	225,57	38,82
1600	0,847	9820	213	60	206,689	34,61	223,406	39,2
2000	0,847	9820	198	49,5	192,134	40,215	233,048	37,58
2400	0,847	9820	180	43,5	174,346	43,791	243,143	36,02

Tablo 4.12 : Motorun E5 Karışımı ile Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	52	77	88	381
1600	54	75	87	418
2000	53	74	86	445
2400	53	74	84	430



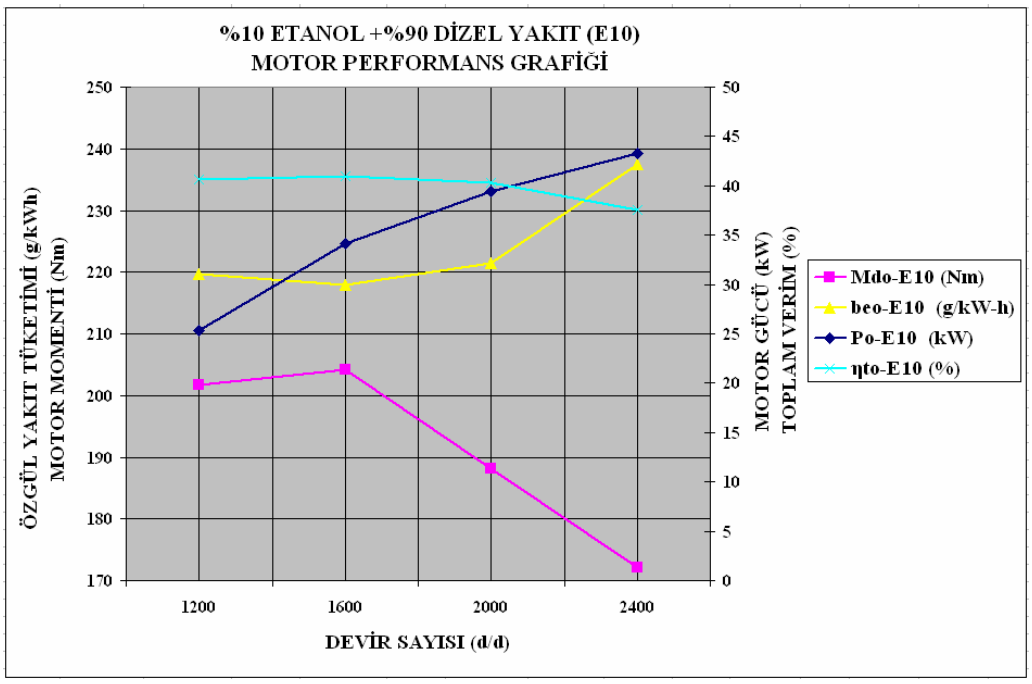
Şekil 4.7 : E5 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

Tablo 4.13 : Motorun E10 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

E10 - %10Etanol + %90Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-E10 (Nm)	Po-E10 (kW)	beo-E10 (g/kW-h)	ηto-E10 (%)
1200	0,844	9640	208	83	201,747	25,337	219,738	40,6
1600	0,844	9640	210,5	62	204,172	34,188	218,004	40,92
2000	0,844	9640	194	53	188,168	39,385	221,37	40,3
2400	0,844	9640	177,5	45	172,203	43,252	237,462	37,57

Tablo 4.14 : Motorun E10 Karışımı ile Sıcaklık Karakteristikleri

Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	51	76	90	380
1600	53	75	90	408
2000	54	74	90	402
2400	52	75	88	420



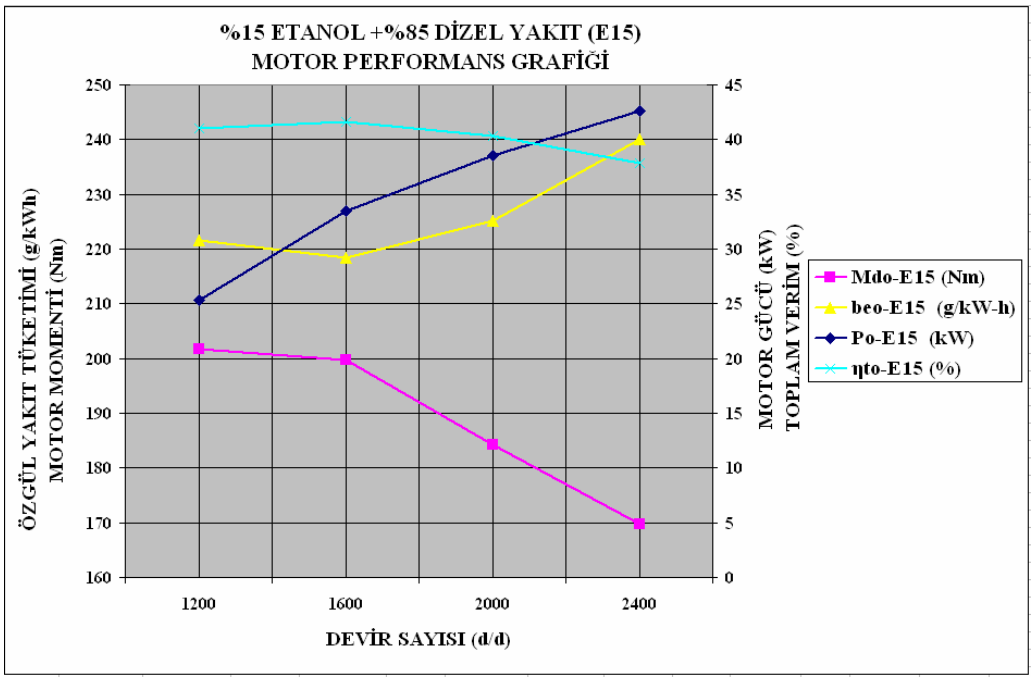
Şekil 4.8 : E10 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

Tablo 4.15 : Motorun E15 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

E15 - %15Etanol + %85Dizel Yakıt								
Devir (d/d)	ρ karışım (g/cc)	Hu Karışım (kcal / Kg)	Kuvvet (N)	150cc Yakıt için tüketim süresi (s)	Mdo-E15 (Nm)	Po-E15 (kW)	beo-E15 (g/kW-h)	ηto-E15 (%)
1200	0,841	9460	208	82	201,702	25,331	221,632	41,02
1600	0,841	9460	206	63	199,763	33,45	218,456	41,61
2000	0,841	9460	190	53	184,247	38,565	225,233	40,36
2400	0,841	9460	175	45	169,701	42,624	240,01	37,88

Tablo 4.16 : Motorun E15 Karışımı ile Performans Karakteristikleri

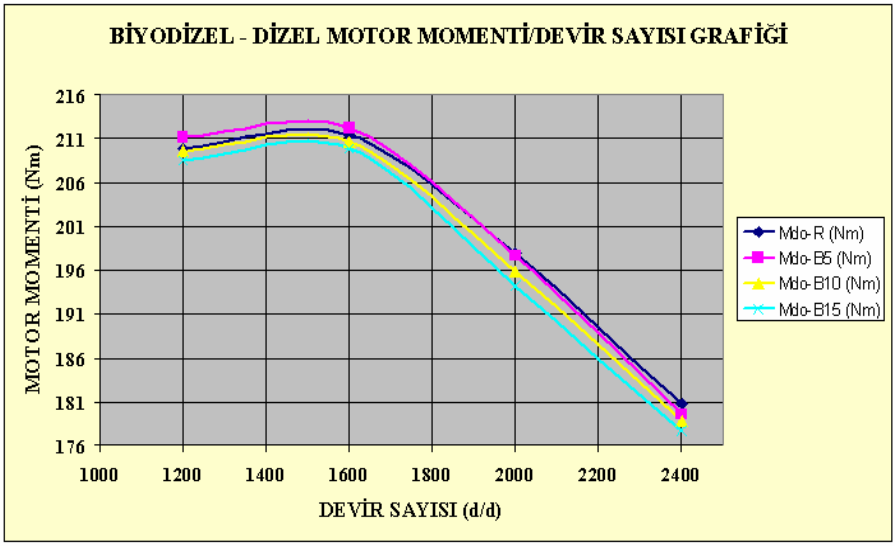
Devir (d/d)	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	Yağ sıcaklığı (°C)	Egzoz sıcaklığı (°C)
1200	50	75	90	393
1600	51	74	90	390
2000	53	74	90	388
2400	57	75	89	398



Şekil 4.9 : E15 Karışımı ile Motor Performans Grafiği

4.9. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.9.1. Biyodizel – Dizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.10 : Biyodizel – Dizel Motor Momenti / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.17 : Biyodizel – Dizel Motor Momenti Verileri

Devir (d/d)	Mdo-R (Nm)	Mdo-B5 (Nm)	Mdo-B10 (Nm)	Mdo-B15 (Nm)
1200	209,83	211,143	209,692	208,444
1600	211,39	212,171	210,615	209,874
2000	197,94	197,646	195,871	194,204
2400	180,77	179,595	178,86	177,697

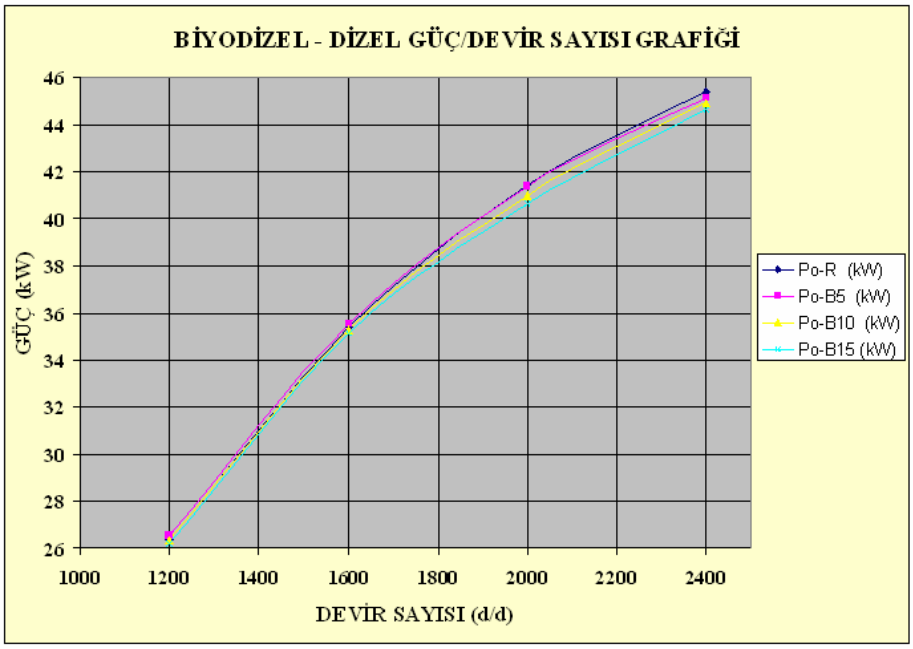
Şekil 4.10'da motorun tam yüklenmesi durumunda 1200 – 2400 d/d arasındaki motor hızında farklı biyodizel oranlarına sahip karışımların motor momentine olan etkisi gösterilmiştir.

1900 d/d motor devrinden daha büyük hızlarda biyodizel karışımlarının motordan alınan motor momentini azalttığı ve sadece 1200 – 1900 d/d'lık aralıkta hacimsel olarak %5'lik biyodizele sahip olan karışımın referans olarak kabul edilen %100 dizel yakıta göre motor momentini artırdığı görülebilir.

Normalde biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıta göre %10 civarı daha düşük olmasına rağmen güçteki az oranda bir artış, biyodizelin yoğunluğunun ve

viskozitesinin fazla olması ve biyodizel içerisindeki oksijenin tam yanmanın oluşmasına yardım etmesi ile açıklanabilir. Viskozitenin biraz yüksek olması pompa kaçaklarının azalmasına ve hacim bazında az bir oranda daha fazla yakıtın motora gönderilmesine sebep olmakta, buna ek olarak biyodizelin yoğunluk fazlalığından dolayı da kütlesel bazda daha fazla yakıt gönderilmektedir. Böylece de motor momentinde az bir artış sağlanabilmektedir.

Max. motor momenti değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin aynı olup max. motor momentinde 1500 d/d'da gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 4.11 : Biyodizel – Dizel Güç / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.18 : Biyodizel – Dizel Güç Verileri

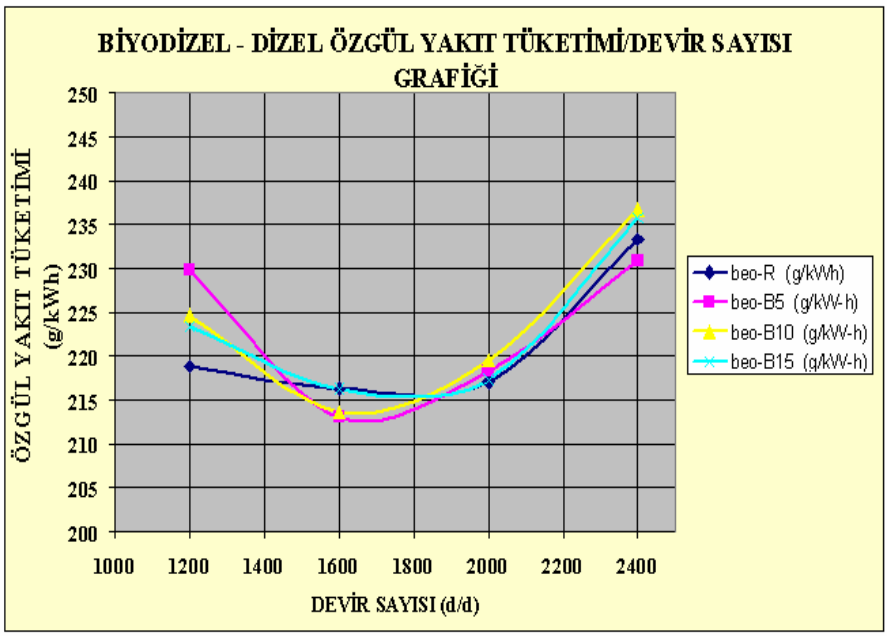
Devir (d/d)	Po-R (kW)	Po-B5 (kW)	Po-B10 (kW)	Po-B15 (kW)
1200	26,35	26,517	26,334	26,178
1600	35,40	35,528	35,267	35,143
2000	41,43	41,369	40,998	40,649
2400	45,40	45,109	44,924	44,632

Şekil 4.11'de motorun tam yüklenmesi durumunda 1200 – 2400 d/d arasındaki motor hızında farklı biyodizel oranlarına sahip karışımların güce olan etkisi gösterilmiştir.

1600 d/d'ya kadar biyodizel içeren karışımların referans yakıta göre belirgin bir güç artışı sağlamadığı görülmüştür.Bu devir sayısından sonra ise motordan alınan güç bir miktar azalmaktadır. Biyodizel oranının artışı ile güçteki azalma da artmaktadır. Karışımdaki biyodizel oranı belirli bir seviyenin üzerine çıkması ile karışımının alt ısıl değeri daha da düşmekte ve viskozite artışından dolayı atomizasyon zayıflayarak yanmadaki kötüleşme ile birlikte güç de daha da azalma olmaktadır.

%15 hacimsel biyodizel içeren karışımın, referans yakıta oranla maksimum motor devri için (2400d/d) motor gücünde yaklaşık %1,8'lik bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür.

Max. güç değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin aynı olup max. gücün 2400 d/d'da gerçekleşmektedir.



Şekil 4.12 : Biyodizel – Dizel Özgül Yakıt Tüketimi / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.19 : Biyodizel – Dizel Özgül Yakıt Tüketimi Verileri

Devir (d/d)	beo-R (g/kWh)	beo-B5 (g/kW-h)	beo-B10 (g/kW-h)	beo-B15 (g/kW-h)
1200	218,78	229,914	224,662	223,31
1600	216,36	213,161	213,713	216,357
2000	217,03	218,404	219,492	217,374
2400	233,36	230,952	236,726	235,787

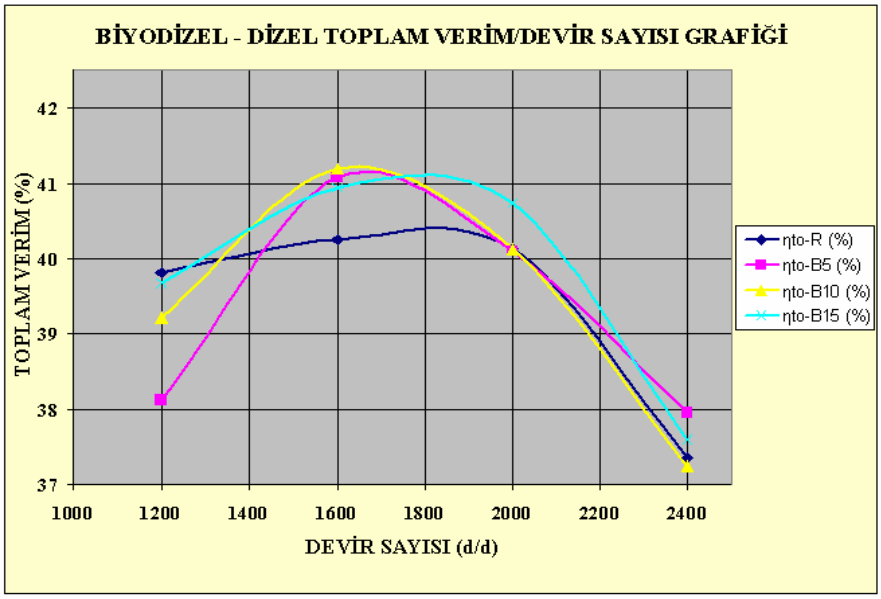
Şekil 4.12'de dizel yakıt ve biyodizel katkılı karışımların %100 yük durumunda motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri gösterilmiştir.

Karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri çoğu devir sayısında %100 dizel referans yakıtınkinden yüksektir.

Genel olarak biyodizel ilavesi, biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasıyla özgül yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır.

Min.özgül yakıt tüketimi değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin bire bir aynı olmayıp min.özgül yakıt tüketiminin 1600 – 2000 d/d aralığında gerçekleştiği söylenebilir.

Ancak % 5 ve %10 hacimsel biyodizel içeren karışımlar 1500 – 1800 d/d hız aralığında referans yakıta göre ortalama %1,4 yakıt tasarrufu sağladığı görülebilir.



Şekil 4.13: Biyodizel – Dizel Toplam Verim / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.20: Biyodizel – Dizel Toplam Verim Verileri

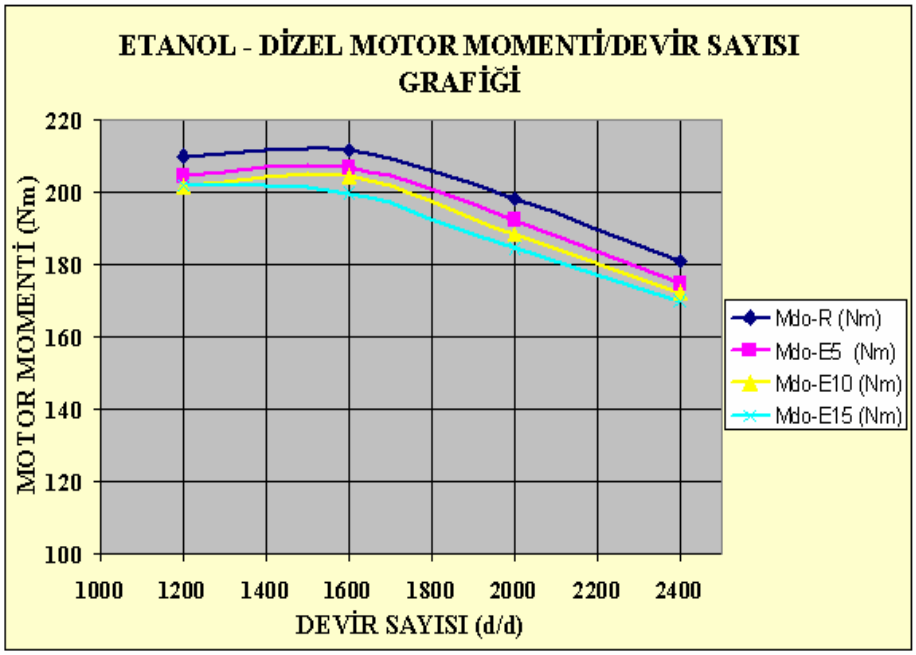
Devir (d/d)	ηto-R (%)	ηto-B5 (%)	ηto-B10 (%)	ηto-B15 (%)
1200	39,31	37,62	38,72	39,17
1600	39,75	40,57	40,7	40,43
2000	39,63	39,6	39,63	40,24
2400	36,85	37,45	36,74	37,1

Şekil 4.13'te tüm karışım ve referans yakıt için motorun toplam verimin değişimi gösterilmiştir. Dizel motorun toplam verimi özgül yakıt tüketimine ve yakıtın alt ısıl değerine bağlıdır. 1200 d/d civarında yakıt tüketiminin az olmasından dolayı referans yakıtın toplam verimi karışımlara göre yüksektir.

Diğer tüm devir aralıklarında ise biyodizel karışımlarının motoru daha yüksek toplam verimlerde çalıştırdığı görülmüştür. Bunun nedeni düşük özgül yakıt tüketimleridir.

Karışımların max. toplam verimleri yaklaşık 1700 d/d 'dadır. Özellikle %10'luk hacimsel karışımın % 40,7'lere varan toplam verimi referans yakıta göre % 2'lik bir artış sağlamaktadır.

4.9.2. Etanol– Dizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.14 : Etanol – Dizel Motor Momenti / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.21 : Etanol – Dizel Motor Momenti Verileri

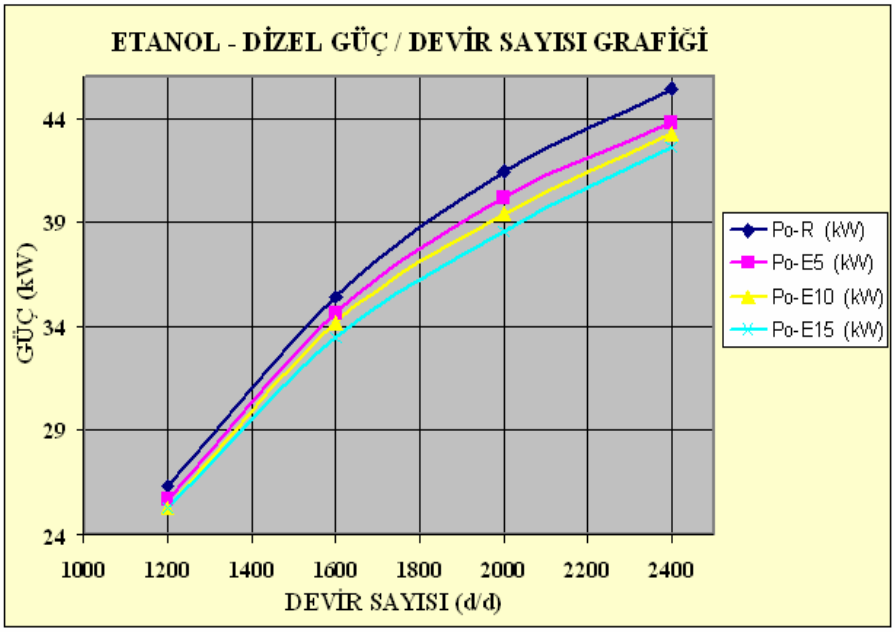
Devir (d/d)	Mdo-R (Nm)	Mdo-E5 (Nm)	Mdo-E10 (Nm)	Mdo-E15 (Nm)
1200	209,83	204,373	201,747	201,702
1600	211,39	206,689	204,172	199,763
2000	197,94	192,134	188,168	184,247
2400	180,77	174,346	172,203	169,701

Şekil 4.14'te motorun tam yüklenmesi durumunda 1200 – 2400 d/d arasındaki motor hızında farklı etanol oranlarına sahip karışımların motor momentine olan etkisi gösterilmiştir.

Etanolün alt ısıl değeri ve setan sayısının düşük olmasından dolayı referans dizel yakıta göre tüm etanol karışımlarının motor momenti değerleri daha düşüktür. Çünkü setan sayısının düşük olması TG süresinin artışına ve püskürtme avansının setan sayısı ile uyumlu olmamasından dolayı kontrollü yanma için yeterli zaman kalmayacağından kötü bir yanmaya sebep olur. Karışım içindeki etanol oranı hacimsel olarak arttığı sürece motor momentinin gitgide azaldığı görülmektedir.

Max. motor momenti değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin aynı olup max. motor momentinin 1550d/d'da gerçekleştiği söylenebilir.

%15lik etanole sahip karışımın ortalama olarak referans dizel yakıta göre %5,5lik motor momenti azalışı yarattığı görülmüştür.



Şekil 4.15 : Etanol – Dizel Güç / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.22 : Etanol – Dizel Güç Verileri

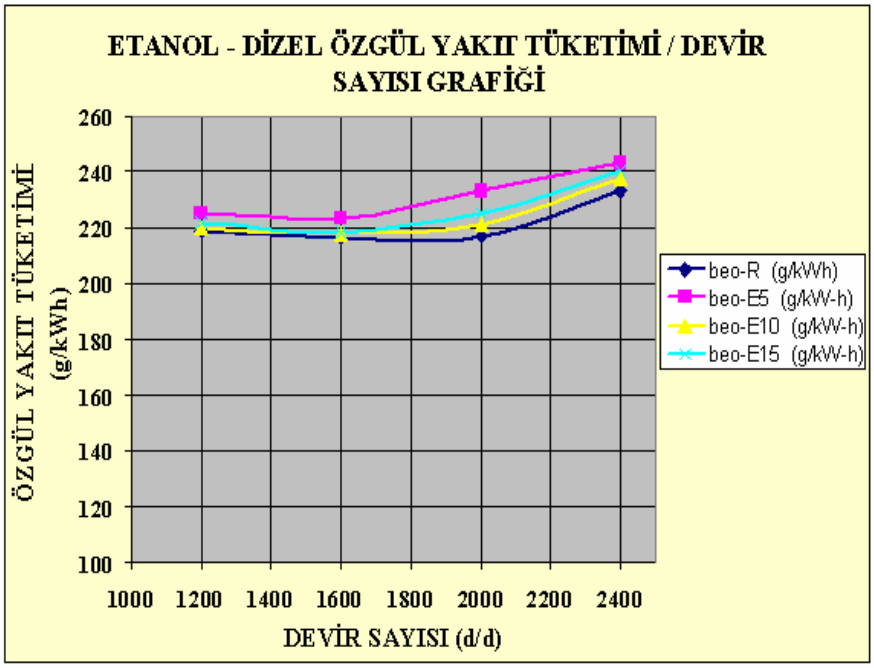
Devir (d/d)	Po-R (kW)	Po-E5 (kW)	Po-E10 (kW)	Po-E15 (kW)
1200	26,35	25,666	25,337	25,331
1600	35,40	34,61	34,188	33,45
2000	41,43	40,215	39,385	38,565
2400	45,40	43,791	43,252	42,624

Şekil 4.15'te motorun tam yüklenmesi durumunda 1200 – 2400 d/d arasındaki motor hızında farklı etanol oranlarına sahip karışımların güce olan etkisi gösterilmiştir.

Karışımların verdiği motor gücü, motor momenti değerlerinin düşük olmasından dolayı sürekli olarak referans dizel yakıtınkine göre düşük bir seyir gösterirken bu farkın yüksek devirlerde artarak devam ettiği görülmüştür.

%15'lik etanol karışımı yaklaşık %9'luk güç düşüşüne sebebiyet vermiştir.

Max. güç değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin aynı olup max. gücü 2400 d/d'da gerçekleşmektedir.



Şekil 4.16 : Etanol – Dizel Özgül Yakıt Tüketimi / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.23 : Etanol – Dizel Özgül Yakıt Tüketimi Verileri

Devir (d/d)	beo-R (g/kWh)	beo-E5 (g/kW-h)	beo-E10 (g/kW-h)	beo-E15 (g/kW-h)
1200	218,78	225,57	219,738	221,632
1600	216,36	223,406	218,004	218,456
2000	217,03	233,048	221,37	225,233
2400	233,36	243,143	237,462	240,01

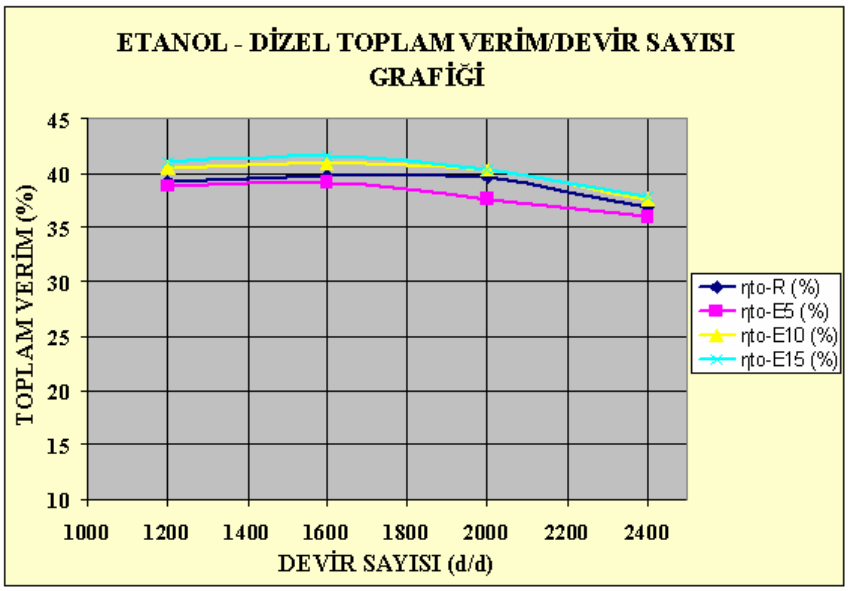
Şekil 4.16'da dizel yakıt ve etanol katkılı karışımların %100 yük durumunda motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri gösterilmiştir.

Genel olarak karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri %100 dizel referans yakıtınkinden yüksektir.

Referans dizel yakıt ile karşılaştırılsa; dizele etanol eklendiğinde aynı miktar enerji eldesi için daha fazla yakıta ihtiyaç vardır. Çünkü karışımlardaki etanol alt ısıl değerleri düşürmektedir.

Min.özgül yakıt tüketimi değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin bire bir aynı olmayıp min.özgül yakıt tüketiminin 1600 – 2000 d/d aralığında gerçekleştiği söylenebilir.

% 5 hacimsel etanol içeren karışım 1600 – 2400 d/d hız aralığında referans yakıta göre ortalama % 4,5 yakıt tüketimini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17 : Etanol – Dizel Toplam Verim / Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.24 : Etanol – Dizel Toplam Verim Verileri

Devir (d/d)	ηto-R (%)	ηto-E5 (%)	ηto-E10 (%)	ηto-E15 (%)
1200	39,31	38,82	40,6	41,02
1600	39,75	39,2	40,92	41,61
2000	39,63	37,58	40,3	40,36
2400	36,85	36,02	37,57	37,88

Şekil 4.17'de tüm karışım ve referans yakıt için motorun toplam verimin değişimi gösterilmiştir. Dizel motorun toplam verimi özgül yakıt tüketimine ve yakıtın alt ısıl değerine bağlıdır. 2000 d/d civarında yakıt tüketiminin az ve yakıt alt ısıl değerinin büyük olmasından dolayı referans yakıtın toplam verimi karışımlarınınkine yakındır.

Diğer tüm devir aralıklarında ise %5'lik karışım hariç karışımların deney motorunu daha yüksek toplam verimlerde çalıştırdığı görülmüştür. Bunun nedeni alt ısıl

değerdeki azalışın özgül yakıt tüketimindeki artıştan daha büyük olması ile açıklanabilir.

Karışımların max.toplam verimleri yaklaşık 1600 d/d ‘dadır. Özellikle %15’lik hacimsel karışımın %41,6’lara varan verimi referans yakıta göre %4,4’lük bir artış sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR

1. Fosil yakıtların;Dünya üzerindeki rezervlerinin azalması, hava kirliliğine neden olması, rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik krizlerden çabuk etkilenmesinden dolayı alternatif yakıtların kullanımı ve alternatif yakıtlarla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.Bunların başında da biyodizel ve etanol ile ilgili çalışmalar gelmektedir.

2. Biyodizel ile yapılan çalışmada kanola biyodizelinin yüksek devir sayılarında motor momenti ve motor gücünü az da olsa azaltığı , B5 ve B10 karışımlarının ise 1500d/d – 1800d/d aralığında özgül yakıt tüketimini referansa göre %1.4 azalttığı , B10 karışımının da toplam verimi ortalama olarak %2 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

3. Etanol ile yapılan çalışmada %96 saflıktaki etanolün motor moment ve güç değerlerini sürekli azalttığı E15 karışımının ise motor momentini %5.5 motor güçünü ise %9 oranında azalttığı görülmüştür. Özgül yakıt tüketimini ise E5'in %4.5 oranında arttırdığı diğerlerinin ise daha düşük oranda da olsa tüketimi artırdığı, E15 ise toplam verimi ortalama %4.4 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

4.Dizel yakıta yakın performans özellikleri olan etanol ve biyodizelin egzoz gazı ve yağlama yağı sıcaklıklarının referansa göre aşırı farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

5. Yapılan çalışmada elde edilen test sonuçları mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda dizel yakıta yakın sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Böylece, performans yönünden biyodizel ve etanolün önemli bir alternatif yakıt kaynağı olabileceği ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

[1]Safgönül, B., Ergeneman, M.,Arslan, E.,Soruşbay, C. , 2004, İçten Yanmalı Motorlar

[2]Yavaşlıol, İ., "İçten Yanmalı Motorlar", 1988, Y.Ü. Yayınları

[3]Usta, N., 2005,"Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine", Biomass and Bioenergy, 28, 77-86

[4]Can Ö., İ. Çelikten ve N. Usta, 2004, "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.

[5]Usta N., E. Öztürk, Ö. Can, E.S. Conkur, S. Nas, A.H. Çon, A.Ç. Can ve M. Topcu, 2005 "Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine", Energy Conversion and Management, 46, 741-755

[6]U.S. Department of Energy, 2004, Biodiesel Hadling and Use, Energy Efficiency And Renewable Energy.

[7]Karaosmanoğlu F., 2002, Türkiye için Çevre Dostu – Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı Biyomotorin, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı, İstanbul

[8]Akyarlı A., Biyodizel Yakıtın Uluslar Arası Standartlarda Üretimi,2004, İzmir

[9]Ar, F., Akdağ, F., Malkoç, Y., Çalışkan M., 2004, Biyokütle Enerjisive Biyomotorin

[10]Ulusoy, Y., Alıbaş, K., 2002, Dizel Motorlarında Biyodizel Kullanımının Teknik Ve Ekonomik Olarak incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37-50.

[11]Karabektaş, M., 2002, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin incelenmesi, Doktora, Sakarya Üniversitesi.

[12]Rothermel, G. J., 2003, Investigation of Transesterification Reaction Rates and Engine Exhaust Emission.

[13]Öğüt, H., 2005 ,Ulusal Yakıt: Biyodizel Toplantısı, Selçuk Üniversitesi.

[14]Abu-Qudais M., Haddad, O., Qudaisat M. 2000. TheEffect of Alcohol fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions. Energy Conversion and Management; 41 (4): 389–99.

[15]Ajav, E. A., Singh, B., Bhattacharya, T. K. 1999. Experimental Study of Some Performance Parameters of Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel, Biomass and Bioenergy, 17: 357-365.

[16]Altın, R., Çetinkaya, S., Yücesu H. S. 2001. The Potential of Using Vegetable oil Fuels as Fuel for Diesel Engines, Energy Conversion and Management, 42, 529-538.

[17]Asfar, K. R., Hamed, H. 1998. Combustion of Fuel Blends. Energy Convers Manage, (10): 1081-93.

[18]Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z. 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24: 431-440.

[19]Canakci, M., Van Gerpen, J. 2001. Biodiesel Production From oils and Fats With High Free Fatty Acids, Transactions of the ASAE, 44, 6, 1429-1436.

[20]Goering, C.E., Crowell, T. J., Griffith, D. R., Jarrett M. W., Savage, L. D. 1992. Compression-ignition,Flexible-fuel Engine. Trans ASAE, 35 (2): 423-8.

[21]Karaosmanoğlu, F., Kurt G., Özaktaş, T. 2000. Long Term CI Engine test of Sunflower oil, Renewable Energy, (19), 219-221.

[22]Noguchi, N., Terao, H., Sakata, C. 1996. Performance Improvement by Control of Flow Rates and Diesel Injection Timing on Dual-fuel Engine With Ethanol. Bioresour Technol, 56 (1): 35-9.

[23]Reddy, C. V. R., Krishna, M. V. S. M., Prasad C. M.V. 1999. Studies on Exhaust Emissions in Semi-Adiabatic Compression Ignition Engine With Alternate Fuels. Indian J Eng Mater Sci, 6 (5): 249-55.

[24]Satgé De Caro, P., Moloungui, Z. 2001. Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, Fuel, 80: 565-574.

[25]Xiao, Z, Ladommatos, N, Zhao, H. 2000. The Effect of Aromatic Hydrocarbons and Oxygenates on Diesel Engine Emissions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: J Automob Eng, 214 (D3) : 307-32.

[26]The European Biodiesel Board, http://www.ebb-eu.org/ , Kasım 2006

[27]BP Statistical Review of World Energy , Haziran 2002

[28]Türkiye İstatistik Yıllığı T.C. Başbakanlık Devlet İstatistikleri Enstitüsü Yıllığı Ankara

[29]www.obitet.gazi.edu.tr/dersnotu.htm , Eylül 2006

[30www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/alt-ener kay%20ders%20notları.pdf , Aralık 2006

[31]www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi1.htm , Kasım 2006

[32]www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi2.htm , Ekim 2006

[33]www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/dizel_motorlar/

dizel_motorlar.htm , Kasım 2006

[34]www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/genel_motorculuk/

motorlarda_guc_verim.htm , Eylül 2006

[35]www.obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/T9_Biodizel.htm , Ekim 2006

[36]www.obitet.gazi.edu.tr/sunular/11.ppt , Kasım 2006

[37]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

4ZamanliMotorlar.asp , Eylül 2006

[38]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/DizelMotorlari.asp , Aralık 2006

[39]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

YakitSistemiVeEnjektorlar.asp , Eylül 2006

[40]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

DizelMotorlardaEnjeksiyon-1.asp , Ekim 2006

[41]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

SiraTipliEnjeksiyonSistemleri.asp , Aralık 2006

[42]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

DistributorTipiYakitEnjeksiyon.asp , Kasım 2006

[43]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/

PompaliEnjeksiyonSistemi.asp , Eylül 2006

[44]www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/CommonRail.asp , Kasım 2006

[45]www.dieselset.com/mtr/motor_main.asp?id=7 , Aralık 2006

[46]www.dieselset.com/mtr/motor_main.asp?id=10 , Ekim 2006

[47]www.dieselset.com/mtr/green_diesel.asp?id=2 , Eylül 2006

ÖZGEÇMİŞ

24 Ekim1982 tarihinde İstanbul'da dünyaya geldim. Ortaokulu 1994 – 1998 yılları arasında Özel Uğur Lisesi'nde, liseyi 1998 – 2001 yılları arasında Terakki Vakfı Özel Şişli Terakki Lisesi'nde okudum. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdim. Enerji Anabilim dalında eğitim gördükten sonra 2005 yılında mezun oldum. Hemen ardından İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Programı'na girdim ve 2007 Ocak ayında mezun oldum.

İleri seviyede İngilizce, başlangıç seviyesinde Almanca ve Fransızca biliyorum. Visual Basic ve Matlab programlama dillerini, Windows 2000 ve Windows NT işletim sistemlerini, MS - Word - Excel - PowerPoint ofis uygulamalarını, Autocad, SolidWorks , Cosmos ve Adams uygulamalarını kullanabiliyorum.