

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YAKITLARLA DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE İS
EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ve TEORİK OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet ORAL

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Otomotiv

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YAKITLARLA DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE İS
EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ve TEORİK OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet ORAL

503051723

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Ocak 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cem SORUŞBAY (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Metin ERGENEMAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL (İ.T.Ü.)**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin yönetilmesinde tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan, bu konu ile ilgili araştırma yapmam için beni teşvik eden, bana her türlü desteği sağlayan tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Cem Soruşbay'a ve tezin ayrılmaz bir parçası olan laboratuvar deneylerinin yapılmasında bana yardımcı olan ve emeğini hiç bir şekilde benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Rafig Mehdiyev'e, ANADOLU MOTOR'a, emektar arkadaşlarım Ar.Gör.Y.Müh. Barış Doğru ve Y. Müh. Ruhi Gökbel'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, beni topluma hayırlı bir evlat olarak yetiştirip bugünlere getiren ve her konuda benim yanımda olan anneme, babama ve sözlüm Duygulu Derya'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2007

Mehmet ORAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
--------------------------------	---

2.DİZEL MOTORLAR

2.1. Dizel Motorlarının Tarihçesi	3
2.2. Dizel Motorlarının Çalışma Prensibi	6
2.3. Dizel Motorlarında Yanma Süreci	7
2.4. Dizel Motorlarında Püskürtme	12
2.5. Dizel Motorlarında Besleme Ünitesi	18
2.6. Dizel Motorlarında Püskürtme Ünitesi	19
2.7. Dizel Motorlarında Tasarım ve Çalışma Parametrelerinin Performansa ve Isı Emisyonuna Etkisi	19
2.7.1. Tasarım Parametrelerinin Etkileri	19
2.7.2. Çalışma Parametrelerinin Etkileri	26

3.DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN YAKITLAR

3.1.Dizel Yakıt ve Özellikleri	33
3.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri	35
3.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri	40
3.1.2.1. Biyodizel	44
3.1.2.2. Etanol	84
3.1.2.3. Eurodizel	93

4. DENEY AŞAMASI

4.1. Deney Motorunun Özellikleri	100
4.2. Motor Deneylerine İlişkin Genel Bilgi	102
4.3. Deneylerin Uygulanma Şekli	103

4.4. Motor Yükleme Sistemleri	104
4.5. Motor Yükleme Sistemlerinin Ölçüm Şartları	105
4.6. Ölçümü Yapılan Motorun Performans ve İş Karakteristikleri	108
4.6.1. Motor Momenti (Döndürme momenti)	109
4.6.2. Motor Gücü	109
4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi	111
4.6.4. Hava Debişinin Hesaplanması	113
4.6.5. Verim	114
4.6.5.1. Hacimsel(Volumetrik) Verim	114
4.6.5.2. Diyagram Verimi	115
4.6.5.3. Mekanik Verim	115
4.6.5.4. Toplam Verim	115
4.6.7. İş Emisyonu	116
4.6.7.1. Teknolojik ve Çevre Kirlenmesi Yönünden İş	123
4.6.7.2. İş Oluşumu ve Yanması Üzerindeki Çalışmalar	126
4.7. Motor Performansı Deneyleri İçin Avrupa Birliği Standartları	137
4.8. Egzoz Emisyon Ölçüm Deneyleri İçin Avrupa Birliği Standartları	144
4.8.1. Binek Araçlar İçin Avrupa Birliği Standartları	144
4.8.2. Ağır İş Vasıtaları İçin Avrupa Birliği Standartları	146
4.9. Deney Yakıtı Özellikleri	152
4.10. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	153
4.10.1. Biyodizel-Eurodizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması	153
4.10.2. Etanol-Eurodizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması	158
5. TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ	
5.1. Dört Zamanlı Dizel Motorunun Gerçek Çevrimi	164
5.2. Hesaplanan Parametreler(%100 Eurodizel için)	167
5.2.1. Yakıt	167
5.2.2. İş Gazı	167
5.2.3. Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı	169
5.3. Gerçek Çevrimlerin Termodinamiği	170
5.3.1. Emme Süreci	170
5.3.2. Sıkıştırma Süreci	170
5.3.3. Yanma Süreci	171
5.3.4. Genişleme Süreci	173
5.3.5. Egzoz Süreci	174
5.4. Motorun İndike Parametreleri	174
5.4.1. Ortalama İndike Basınç	174
5.4.2. İndike Güç	175

5.4.3. İndike Verim	175
5.4.4. İndike Özgöl Yakıt Tüketimi	176
5.5. Motorun Efektif Parametreleri	176
5.5.1. Ortalama Efektif Basınç	176
5.5.2. Efektif Güç	177
5.5.3. Mekanik Verim	177
5.5.4. Efektif Verim	177
5.5.5. Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi	178
5.5.6. Saatteki Özgöl Yakıt Tüketimi	178
5.6. Farklı Yakıtlarla Elde Edilen Teorik Sonuçlar	178
6. SONUÇLAR	183
KAYNAKLAR	184
EKLER	188
ÖZGEÇMİŞ	200

KISALTMALAR

ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
AÖN	: Alt Ölü Nokta
max	: Maksimum
min	: Minimum
IDI	: Ön Yanma Odalı
DI	: Doğrudan Püskürtmeli
CR	: Common–Rail
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
UIS	: Birim Enjektör Sistemi
UPS	: Birim Pompa Sistemi
BG	: Beygir Gücü
HP	: Beygir Gücü
cc	: Santrimetre Küp
HC	: Hidrokarbon
BSFC	: Özgöl Yakıt Tüketimi
ATDC	: Üst Ölü Noktadan Sonra
BTDC	: Üst Ölü Noktadan Önce
dB	: Desibel Ses Birimi
TDC	: Üst Ölü Nokta
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ppm	: Milyonda Parçacık Sayısı
PS	: Beygir Gücü (Pferde Starke)
DPF	: Dizel Parçacık Filtresi
EEV	: Çevre Dostu Taşıtlar
TG	: Tutuşma Gecikmesi
KMA	: Krank Mili Açısı
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
VG	: Değişik Geometrilili Turboşarj Sistemleri

IT	: Püskürtme Avansı
EDK	: Elektronik Dizel Kontrol Sistemi
TCS	: Çekiş Kontrol Sistemi

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	: Enjektör Meme Tasarımının Bazı Yanma Karakteristiklerine Olan Etkisi.....	20
Tablo 3.1	: Dizel Yakıtı ve Biyodizelin Özellikleri.....	48
Tablo 3.2	: Biyodizel kullanımına izin veren firmalar.....	58
Tablo 3.3	: Yağ Bitkilerinin Ekiliş Alanları, Yağ Oranları, Üretim Verimleri ve Miktarları.....	68
Tablo 3.4	: Türkiye'nin Ekilebilen, Nadaşa Bırakılan ve Toplam Arazi Varlığı.....	71
Tablo 3.5	: İşlenen Tarla Alanının Kullanılışına Göre Dağılımı (%).....	72
Tablo 3.6	: Avrupa'daki Yıllık Biyodizel Üretimi (2006).....	73
Tablo 3.7	: Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	81
Tablo 3.8	: Etanolün Bazı Önemli Özelliklerinin Dizel No. 2 ile Karşılaştırılması.....	84
Tablo 3.9	: Türkiye'de Üretilen Otomobil Dizel Yakıtının Özellikleri.....	96
Tablo 3.10	: Türkiye'de Üretilen Euro-Dizel Yakıtın Özellikleri.....	97
Tablo 4.1	: Deney Motoru Teknik Özellikleri.....	101
Tablo 4.2	: Deney Motorunun Rodajı.....	106
Tablo 4.3	: Orifis Plakasının ISO 5167 (1980) Standardına Göre Tanımı.....	113
Tablo 4.4	: Dizel Motorlarından Çıkan Katı, Sıvı ve Gaz Emisyonlar.....	121
Tablo 4.5	: Efektif Motor Gücünün Tespiti İçin Yapılan Testlerde Bulunması Gereken Donanımlar.....	139
Tablo 4.6	: Testler İçin Gerekli Kurulum Koşulları.....	141
Tablo 4.7	: Binek Dizel Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları (g/km).....	145
Tablo 4.8	: Binek Benzinli Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları (g/km).....	145
Tablo 4.9	: Dizel Ağır İş Vasıtaları İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları (g/kWh) – Duman (l/m).....	147
Tablo 4.10	: 13 Nokta Mod Sistemi.....	152
Tablo 4.11	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti Değerleri.....	153
Tablo 4.12	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü Değerleri...	154
Tablo 4.13	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimleri Değerleri.....	155
Tablo 4.14	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim Değerleri.....	156
Tablo 4.15	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı İS Değerleri.....	157
Tablo 4.16	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti Değerleri...	158
Tablo 4.17	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü Değerleri.....	159
Tablo 4.18	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimleri Değerleri.....	160
Tablo 4.19	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim Değerleri....	161

Tablo 4.20	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı İis Değerleri.....	162
Tablo 5.1	: Yakıt İçeriği.....	167
Tablo 5.2	: İş Gazı Parametreleri.....	168
Tablo 5.3	: Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı.....	169
Tablo 5.4	: Taze Dolgu ve Artık Gaz Parametreleri.....	169
Tablo 5.5	: Emme Sonu Parametreleri.....	170
Tablo 5.6	: Sıkıştırma Sonu Parametreleri.....	171
Tablo 5.7	: Ortalama Mol Özgöl Isıları Toplamı.....	172
Tablo 5.8	: Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı.....	173
Tablo 5.9	: Ortalama Mol Özgöl Isıları.....	173
Tablo 5.10	: Yanma Sonu Parametreleri.....	173
Tablo 5.11	: Genişleme Sonu Parametreleri.....	173
Tablo 5.12	: Egzoz Sonu Parametreleri ve Hesap Kontrolü.....	174
Tablo 5.13	: Motorun İndike Parametreleri.....	176
Tablo 5.14	: Motorun Efektif Parametreleri.....	178
Tablo 5.15	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – İndike Güç.....	178
Tablo 5.16	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Ortalama Efektif Basınç.....	178
Tablo 5.17	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Güç.....	179
Tablo 5.18	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Döndürme Momenti.....	179
Tablo 5.19	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Mekanik Verim.....	179
Tablo 5.20	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Verim.....	179
Tablo 5.21	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi.....	180
Tablo 5.22	: Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Saatteki Yakıt Tüketimi.....	180
Tablo 5.23	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – İndike Güç.....	180
Tablo 5.24	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Ortalama Efektif Basınç.....	180
Tablo 5.25	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Güç.....	181
Tablo 5.26	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Döndürme Momenti.....	181
Tablo 5.27	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Mekanik Verim.....	181
Tablo 5.28	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Verim.....	181
Tablo 5.29	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi.....	182
Tablo 5.30	: Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Saatteki Yakıt Tüketimi.....	182

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Rudolf Diesel (1858 – 1913).....	3
Şekil 2.2	: İlk Dizel Motorlara Bir Örnek	5
Şekil 2.3	: Karma İdeal Çevrimin P-V Diyagramı.....	6
Şekil 2.4	: Karma İdeal Çevrimin T-S Diyagramı	7
Şekil 2.5	: Dizel Motorlarında Yanma İşlemi.....	8
Şekil 2.6	: Dizel Motorunda Krank Mili Açısına Bağlı Olarak Silindir İçi Basıncı.....	9
Şekil 2.7	: Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Yakıtın Püskürtülmesi.....	10
Şekil 2.8	: Krank Miline Bağlı Olarak Isı Açığa Çıkışı.....	11
Şekil 2.9	: Püskürtme ve Yanma Kanunu.....	15
Şekil 2.10	: Klasik Bir Dizel Motorun Yakıt Sisteminin Parçaları.....	18
Şekil 2.11	: Direkt Püskürtmeli Dizel Motorunun Yanma Odası Kesiti.....	22
Şekil 2.12	: Ön ve Girdap Yanma Odalı Dizel Motorlarının Yanma Odası Kesit Resimleri.....	23
Şekil 2.13	: Sıkıştırma Oranının Duman Miktarına Etkisi.....	24
Şekil 2.14	: Sıkıştırma Oranı Değişiminin NO Emisyonlarına Etkisi.....	25
Şekil 2.15	: Püskürtme Avansının NOX Emisyonlarına ve Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.....	27
Şekil 2.16	: Giriş Basıncının Tutuşma Gecikmesine Etkisi A:Düz Yanma Odası B:Bölünmüş Yanma Odası.....	28
Şekil 2.17	: Dolgu Sıcaklığına Bağlı Olarak NOX Emisyonu Değişimi.....	28
Şekil 2.18	: Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Damlacık Çapı Değişimi.....	29
Şekil 2.19	: Eşdeğerlik Oranına Bağlı Olarak NOX ve NO Konsantrasyonları...	31
Şekil 2.20	: Direkt Püskürtmeli Dizel Motorlarında Yakıt Püskürtme ve Karışım Oluşturma Şeklinin Üstten Görünüşü.....	32
Şekil 3.1	: Setan Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi.....	42
Şekil 3.2	: Setan Sayısının Parçacık Emisyonu Üzerindeki Etkileri.....	42
Şekil 3.3	: Biyodizel Üretimi Prosesi.....	51
Şekil 3.4	: Biyodizelin 1991- 2005 Yılları Arasında Dünya’da Üretim Miktarları.....	74
Şekil 3.5	: Cussons P8601 Motor Test Düzeneği	77
Şekil 3.6	: TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Motor Momentine Etkisi.....	78
Şekil 3.7	: TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Motor Gücüne Etkisi.....	79
Şekil 3.8	: TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Toplam Verime Etkisi.....	79
Şekil 3.9	: Cussons P8601 Motor Test Düzeneği.....	80
Şekil 3.10	: Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi(Tam Yük–2500 d/d’da).....	81

Şekil 3.11	: Biyodizelin Motor Momentine Etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda).....	82
Şekil 3.12	: Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda).....	82
Şekil 3.13	: Biyodizelin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi (%100, %75, %50 yük durumunda).....	82
Şekil 3.14	: Biyodizelin Toplam Verime Etkisi (%100, %75, %50 yük durumunda).....	83
Şekil 3.15	: Etanolün Dizel Yakıtı İçerisinde Sıcaklığa Göre Çözünme Yeteneği.....	86
Şekil 3.16	: Deney Sisteminin Şematik Resmi.....	90
Şekil 3.17	: 150 Bar Püskürtme Basıncında Dizele Etanol Eklenmesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkisi.....	92
Şekil 3.18	: Etanol-Dizel (%10-%90) Karışımı Kullanılan Dizel Motorda Farklı Püskürtme Basınçlarının Uygulanmasının Motor Performansı Üzerine Etkisi.....	93
Şekil 4.1	: Deney Motoru Resmi.....	101
Şekil 4.2	: Deney Sisteminin Şematik Resmi.....	104
Şekil 4.3	: Deney Düzeneği.....	106
Şekil 4.4	: Elektromanyetik Fren.....	107
Şekil 4.5	: Eddy-Current Dinamometresi.....	108
Şekil 4.6	: Deney Düzeneğindeki Yakıt Tüketimini Ölçen Alet.....	112
Şekil 4.7	: Deney Düzeneğinde Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi.....	113
Şekil 4.8	: Hava Debisi Ölçüm Şeması.....	114
Şekil 4.9	: Egzoz Partikülünün Kimyasal Yapısı.....	117
Şekil 4.10	: Karbon Partikülünün Yapısı.....	118
Şekil 4.11	: Silindir İçerisindeki Partikül Oluşumunun Şematik Gösterilişi.....	119
Şekil 4.12	: Türbülans Yayılmalı Alevde Kurumun Oluşumu ve Oksidasyonu...	119
Şekil 4.13	: Partikül Bileşimindeki Elementlerin Ağırlık Oranları.....	120
Şekil 4.14	: Partikül Çekirdeklerinin Katılaşma Süreci.....	122
Şekil 4.15	: Egzoz Gazının Silindirden Atmosfere Kadar Almış Olduğu Yolda Partikül Oluşumu.....	122
Şekil 4.16	: Direk Püskürtmeli Dizel Motorunda Egzoz Gazı Kirletici Konsantrasyonları.....	123
Şekil 4.17	: Motor Faktörünün Belirlenmesi.....	143
Şekil 4.18	: Dizel Araçlar İçin NOx ve Partikül Madde Emisyon Standartları....	145
Şekil 4.19	: Benzinli Araçlar İçin NOx ve Partikül Madde Emisyon Standartları.....	146
Şekil 4.20	: ELR Testinin Sırası	149
Şekil 4.21	: ESC ve ELR Test Çevrimleri	150
Şekil 4.22	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti – Devir Sayısı Grafiği	152
Şekil 4.23	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü – Devir Sayısı Grafiği	153
Şekil 4.24	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimi – Devir Sayısı Grafiği	154
Şekil 4.25	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim – Devir Sayısı Grafiği	155
Şekil 4.26	: Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı İs – Devir Sayısı Grafiği	156

Şekil 4.27	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti – Devir Sayısı Grafiği	157
Şekil 4.28	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü – Devir Sayısı Grafiği	158
Şekil 4.29	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimi – Devir Sayısı Grafiği	159
Şekil 4.30	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim – Devir Sayısı Grafiği	160
Şekil 4.31	: Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı İs – Devir Sayısı Grafiği....	161
Şekil 5.1	: Emme Prosesi.....	163
Şekil 5.2	: Sıkıştırma Prosesi.....	163
Şekil 5.3	: Yanma Prosesi.....	164
Şekil 5.4	: Genişleme Prosesi.....	164
Şekil 5.5	: Egzoz Prosesi.....	165
Şekil A.1	: %100 Eurodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği....	188
Şekil A.2	: %100 Eurodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	188
Şekil A.3	: %100 Eurodizel Yakıtı İle İs Grafiği.....	189
Şekil A.4	: %100 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği....	189
Şekil A.5	: %100 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	190
Şekil A.6	: %100 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği.....	190
Şekil A.7	: %5 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	191
Şekil A.8	: %5 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	191
Şekil A.9	: %5 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği.....	192
Şekil A.10	: %10 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	192
Şekil A.11	: %10 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	193
Şekil A.12	: %10 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği.....	193
Şekil A.13	: %15 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	194
Şekil A.14	: %15 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	194
Şekil A.15	: %15 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği.....	195
Şekil A.16	: %5 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	195
Şekil A.17	: %5 Etanol Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	196
Şekil A.18	: %5 Etanol Yakıtı İle İs Grafiği.....	196
Şekil A.19	: %10 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	197
Şekil A.20	: %10 Etanol Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	197
Şekil A.21	: %10 Etanol Yakıtı İle İs Grafiği.....	198
Şekil A.22	: %15 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği.....	198
Şekil A.23	: %15 Etanol Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği.....	199
Şekil A.24	: %15 Etanol Yakıtı İle İs Grafiği.....	199

SEMBOL LİSTESİ

b_i	: İndike Özgöl Yakıt Tüketimi [g/kWsaat]
b_e	: Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi
D	: Piston Çapı [mm]
G_y	: Saatteki Yakıt Tüketimi [kg/saat]
H_u	: Yakıtın Alt Isıl Değeri [kJ/kg]
i	: Silindir Sayısı
k_1	: Sıkıştırma Adyabatik Üssü
k_2	: Genişleme Adyabatik Üssü
l_o	: 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarı [kg hava/kg yakıt]
L_o	: 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarı [kmol hava/kg yakıt]
l	: 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli gerçek hava miktarı [kg hava/kg yakıt]
L	: 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli gerçek hava miktarı [kmol hava/kg yakıt]
m_y	: Yakıtın Mol Kütlesi [kg/mol]
m_1	: Taze Dolgu Miktarı [kg/1 kg yakıt]
M_1	: Taze Dolgu Miktarı [kmol/1 kg yakıt]
M_2	: Sıvı Yakıtın Yanma Ürün Miktarı [kmol/1 kg yakıt]
M_e	: Döndürme Momenti [Nm]
N_i	: İndike Güç [kW]
N_e	: Efektif Güç

n	: Nominal Devir Sayısı [devir/dakika]
n₁	: Sıkıştırma Politrop Üssü
n₂	: Genişleme Politrop Üssü
P_a	: Emme Sonu Gaz Basıncı [MPa]
P_c	: Sıkıştırma Sonu Gaz Basıncı
P_z	: Yanma Sonu Gaz Basıncı
P_b	: Genişleme Sonu Basıncı
P_r	: Artık Gaz Basıncı
P_o	: Çevre Gaz Basıncı
p_i	: Ortalama İndike Basıncı
p_i'	: Teorik İndike Basıncı
p_e	: Ortalama Efektif Basıncı
p_m	: Ortalama Mekanik Basıncı
Δp_i	: Pompalama Kayıplarının Ortalama Basıncı
S	: Piston Stroku [mm]
T_a	: Emme Sonu Gaz Sıcaklığı [Kelvin]
T_c	: Sıkıştırma Sonu Gaz Sıcaklığı
T_z	: Yanma Sonu Gaz Sıcaklığı
T_b	: Genişleme Sonu Sıcaklığı
T_r	: Artık Gaz Sıcaklığı
T_o	: Çevre Gaz Sıcaklığı
ΔT	: Emme Havasının Motor Çeperlerinden Aldığı Isıdan Kaynaklanan Sıcaklık Artışı
V_H	: Silindir Strok Hacmi [dm ³]
W_p	: Ortalama Piston Hızı [m/s]
m³	: Metreküp
%	: Yüzde Oranı

CO	: Karbonmonoksit
SO₂	: Kükürtdioksit
NO_x	: Azot oksitler
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
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
SO₃	: Kükürttrioksit
H₂O	: Su
\$	: Amerikan Doları
km	: Kilometre
kW	: Kilo–Watt
g / kWh	: Gram / Kilo–Watt saat
°C	: Santigrad Derece
K	: Kelvin
Re	: Reynolds Sayısı
atm	: Atmosfer Basıncı
mm Hg	: Milimetre–Civa
P_{me}	: Ortalama Efektif Basınç
α_d ve α_a	: Düzeltme Katsayıları
t	: Zaman
ρ	: Yoğunluk
N_i	: İndike Güç
N_e	: Efektif Güç
kcal	: Kilo–Kalori
H_u	: Alt Isıl Değer
B_e	: Özgül Yakıt Tüketimi
η	: Verim

η_m	: Mekanik Verim
u	: Damlacık Hızı
D	: Damlacık Çapı
v	: Havanın Hızı
μ_e	: Dinamik Viskozite
L	: Enjektör Memesi Kanal Uzunluğu
d	: Enjektör Memesi Delik Çapı
α	: Demet Açısı / Enjektör Meme Koni Açısı
α_s	: Çevri Hareketinin Bulunduğu Durumlardaki Demet Açısı
C_D	: Direnç Katsayısı
ρ_L	: Sıvı Yoğunluğu
ρ_G	: Gaz Yoğunluğu
d_n	: Enjektör Delik Çapı
u_D	: Enjektör Çıkış Hızı
ν_L	: Yakıtın Kinematik Viskozitesi
S	: Yakıt Demetinin Nüfuz Derinliği
S_s	: Çevri Hareketinin Bulunduğu Durumlardaki Nüfuz Derinliği

ÖZET

FARKLI YAKITLARLA DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE İS EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ve TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet ORAL

İçten yanmalı motorların esas yakıtını oluşturan petrol kökenli yakıtların sınırlı olması insanları alternatif yakıt bulmaya ve geliştirmeye teşvik etmektedir. Ayçiçeği, soya fasulyesi, hurma yağı, şeker kamışı gibi bitkilerden elde edilen yağ ve esterleri dizel motorlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu yağlar dizel yakıtı ile karıştırılarak veya yalnız olarak kullanılabilir. Ancak, yağ ve esterlerinin yakıt olarak kullanılması halinde karbon birikintileri, aşınma ve yakıt sisteminde çeşitli problemlerin ortaya çıktığı belirtilmekte ve bu sorunun giderilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun değişik yüklerinde farklı ısı değerlerine sahip yakıtların motor performansı ve is emisyonuna etkileri araştırılmıştır. Dizel yakıtının içersine, %5, %10 ve %15 oranlarında kanola yağından yapılmış biyodizel ve etanol içerecek şekilde karışımlar hazırlanarak hem dizel yakıtı ile hem de hazırlanan karışımlar ile bir dizel motorunda test edilmiştir.

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. Mevcut biyodizel – dizel ve etanol – dizel yakıtları farklı oranlarda birbirlerine karıştırılması suretiyle test motorunun motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim olarak sınıflandırılan performans karakteristiklerine ulaşılmıştır. Her bir yakıt karışımı için yapılan deney sonuçları referans karakteristikleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar grafikleme yöntemi ile sunulmuştur.

SUMMARY

INVESTIGATION OF DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND SOOT EMISSION PARAMETERS WITH DIFFERENT FUELS AS EXPERIMENTAL AND THEORETICAL

MEHMET ORAL

It is encouraged people to find alternative fuel and improve it that original petroleum fuel, which is the basic fuel of internal combustion engines, is limited. The oil and the ester which are being gotten by the plants such as sunflower, soybean oil, date oil and sugar cane are being begun to be used. As a fuel in the diesel engine this oil can be used either by mixing it into diesel oil or alone itself. But when the oil and oil esters are used as a fuel the problems have been in fuel system; yet, studies have been made in order to get rid of this problem.

In this study; effects of fuels, having different low thermal value, on engine performance and soot emission are investigated at the different loadings a diesel engine with a cylinder. Diesel fuel and mixtures of biodiesel and ethanol extracted from canola with mixture ratios of 5%, 10% and 15% with diesel fuel are tested on a diesel engine.

An electromagnetic brake of type is used to load the engine. In testing process; firstly engine is tested with reference fuel called Eurodiesel and then these performance characteristics form reference values for mixtures . For each fuel mixture, the testing results are compared with reference characteristics and finally they are presented as graphics method .

1.GİRİŞ

1.1.Giriş ve Çalışmanın Amacı

Makina mühendisliğinin tüm dünyanın kullanımına sunduğu en önemli sistemlerden biri hiç kuşkusuz içten yanmalı motorlardır. Yüzyılı aşkın bir süredir gelişmekte olan motor teknolojisinin yardımıyla mevcut motor tasarımları sürekli gelişme gösterip günümüze kadar gelmiştir. Motor teknolojisinde özellikle dizel motorları son yıllarda önem kazanmıştır. 21.yy’ da daha da önem kazanan emisyon standartları ve sınırlı petrol rezervleri de düşünüldüğünde motor teknolojisinin sosyal, ekonomik, küresel ve siyasi birçok ögenin fonksiyonu olduğu söylenebilir.

Bu projede 11,5 BG’ lik tek silindirli ‘LD–510’ dizel motorunun farklı yakıtlarla performans ve is emisyon parametrelerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi çalışması Prof. Dr. Rafig Mehdiyev’ in gözetimi ve yönetimi altında yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı; bir dizel motorda euro-dizel yakıtının ve yenilenebilir alternatif yakıt olarak kullanılabilen biyodizel ve etanol yakıt karışımlarının farklı oranlarda kullanılması durumlarında performans deneylerine bağlı karakteristiklerinin ve is emisyonlarını ne gibi değişimlere uğradığının belirlenmesidir. Bu motor karakteristikleri şunlardır:

- Motor momenti
- Motor gücü
- Ortalama efektif basınç
- Özgül yakıt tüketimi
- Toplam verim (Efektif verim)
- İs emisyonu (k)

Bu karakteristiklerinin bulunmasında test motoru olan LD–510 motoru tam gaz kolu konumunda elektromanyetik fren ile yüklenmiştir.

İlk olarak motor %100 Eurodizel yakıtı ile çalıştırılmış ve referans karakteristikler elde edilmiştir. Daha sonra motor aynı karakteristikler için hacimsel olarak %100, %5 , %10 ve %15’lik biyodizel – eurodizel ve %5 , %10 ve %15’lik etanol – eurodizel karışımları ile test edilmiş ve motorun karakteristikleri yeniden bulunmuştur.

Bulunan sonuçlarla referans dizel yakıt ile elde edilmiş referans değerleri karşılaştırılmış ve söz konusu alternatif yakıtların motor performansı ile is emisyonu üzerine etkileri ortaya konmuştur.

2. DİZEL MOTORLAR

2.1. Dizel Motorlarının Tarihçesi

İlk kez 1824'te Fransız fizikçi Sadi Carnot, ilk hacminin 14'te birine kadar sıkıştırılmış havanın, yakıtı ateşleyebileceği düşüncesini ortaya atmıştır. Modern otomobil motorlarının çalışma ilkesini 1862'de Fransız mucit Alphonse Beau de Rochas geliştirdi. Bu ilkeye dayalı ilk motoru ise 1876'da Alman mühendis Nikolaus Otto yaptı. Otto'nun dört zamanlı motorunda, yakıt ve hava karışımı silinde yakılmadan önce sıkıştırılıyordu. Bu motor, sabit hacimde yanma çevrimi ile çalışan dört zamanlı benzin motoru olup, efektif verimi daha 1894 yıllarında %20 – 25 e kadar yükseltilmiştir. Bugün ise efektif verim %30 – 37 arasında değişmektedir. Rudolf Diesel (1858-1913) adında başka bir mühendis, bu motorun geliştirilmesine yönelik deneylere girişti. Bu çalışmaları dizel motorunu geliştirmesiyle sonuçlanacaktı. Günümüzde dizel motorunun efektif verimi ise %35 – 50 arasında değişmektedir.



Şekil 2.1 : Rudolf Diesel (1858 – 1913)

Rudolf Diesel, Münih Politeknik'ten mezun olarak buzdolabı mühendisi unvanıyla çalışmaya başladı. Ancak Diesel'in ilgi alanı motorlardı. Çok çeşitli motorlar geliştiren Diesel 1893'te bir içten yanmalı motorda yanma odasına ilişkin bir makale hazırladı. Bunu izleyen çalışmaları sonrasında 1894'te senkronize dizel motoru

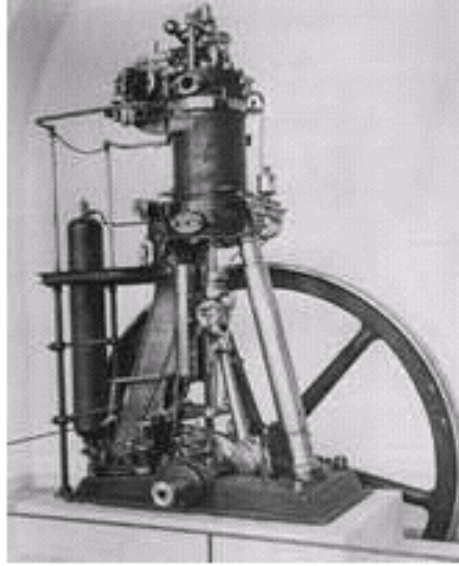
tarif eden patent başvurusunu yaptı. Rudolf Diesel çalışmaları sırasında patlayan motoru ile ölümün eşiğinden de döndü.

Yıllar süren araştırmaları sonucunda karşılaştığı sorunları çözmeyi başaran Diesel, 1892’de “İçten Yanmalı Motorların Çalışma Süreçleri “ başlıklı ilk patentini aldı. Ertesi yıl geliştirdiği çalışma çevrimi üzerinde bazı değişiklikler yaptıktan sonra ikinci bir patent elde etti. Aslında bu patentler, belirli bir motorun tasarımı değil, silindirdeki gazların izlemesi gereken termodinamik çevrim üzerineydi. Diesel’in patentinde tanımlanan çevrimin o dönemdeki motorların kuramsal yada ideal çevriminden temel farkı yakıt ve hava karışımının yanma hızına ilişkindi. Diesel, yakıtın, genişleme zamanının ilk evresinde, herhangi bir basınç artışına yol açmayacak bir hızda, yavaşça yakılması gerektiğini düşünüyordu. Yakıt bujiden sağlanan kıvılcımla yakıldığında, patlamalı ve çok hızlı bir yanma süreci oluşuyordu. Bunun önüne geçmek için, silindire hava ve yakıt karışımı yerine yalnızca hava emilebilir, ardından pistonla sıkıştırılarak bu havanın sıcaklığı yakıtın yanma sıcaklığının üzerine çıkarılabildi. Bundan sonra da, pistonun aşağı doğru hareketi sırasında silindire denetimli bir biçimde yakıt püskürtülebilirdi. Havanın her santimetre karesinde 35 kg’lık basınç uygulanarak, sıkıştırılması durumunda, yakıtın ateşlenebilmesi için gerekli olan 540 °C’lik sıcaklık elde edilebilirdi.

Diesel, bu türden bir motorda her türlü yakıtın kullanılabileceğini düşünüyordu; bu nedenle en ucuz yakıt olan kömür tozuyla çalışan bir motor yapmayı denedi. Ama bu girişimi başarısızlığa uğradı ve 1897’de mazotla çalışan 25 BG’lik, tek silindirli motorunu geliştirdi. Dizel motorunun yakıt ekonomisi bakımından öteki motorlara göre çok daha üstün olduğu kısa sürede ortaya çıktı, ama kullanımı o kadar yaygınlaşmadı. 1913’te ölümüne değin Diesel, kendi lisansı altında üretilen tüm motorların, 1893’te aldığı patentinde tanımladığı sabit basınçlı yanma ilkesine dayalı olmasında ısrar etti. Bu kısıtlama nedeniyle uzun süre dizel motorunun devir hızı artırılmadı, tasarımına yönelik geliştirmeler yapılamadı. İlk dizel motorları, verimliliklerine oranla son derece hantal ve ağırdı, bu nedenle de sabit güç kaynağı olarak kullanılmanın dışında, herhangi bir alanda uygulanamıyordu.

Dizel motorları ilk olarak 1910’da gemilerde kullanılmaya başladı; I. Dünya Savaşı sırasında da denizatlıların başlıca güç kaynağı durumuna geldi. I. Dünya Savaşı’ndan sonra, dizel motorunun sivil taşıtlara uygulanmasına yönelik

alıřmalara giriřildi. Bu arada daha dūřuk sıkıřtırma basıncıyla çalıřan ve bu nedenle de yakıtın yakılmasında kızdırıcı kafalardan yararlanılan, iki zamanlı yarım dizel motorları geliřtirildi. 1922’de Almanya’da ilk olarak otomobillerde kullanılmak ūzere kūuk ve hafif dizel motorlarının yapımına bařlandı. Böylece boyutları kūūltūlen ve gūleri artırılan dizel motorları, birçok yeni uygulama alanında kullanıma sokuldu. Yūksek devirli dizel motorlarının çalıřma ilkesi, Diesel’in belirlediėi aėır yanmalı çevrime dayanmaz.



şekil 2.2 : İlk Dizel Motorlara Bir rnek

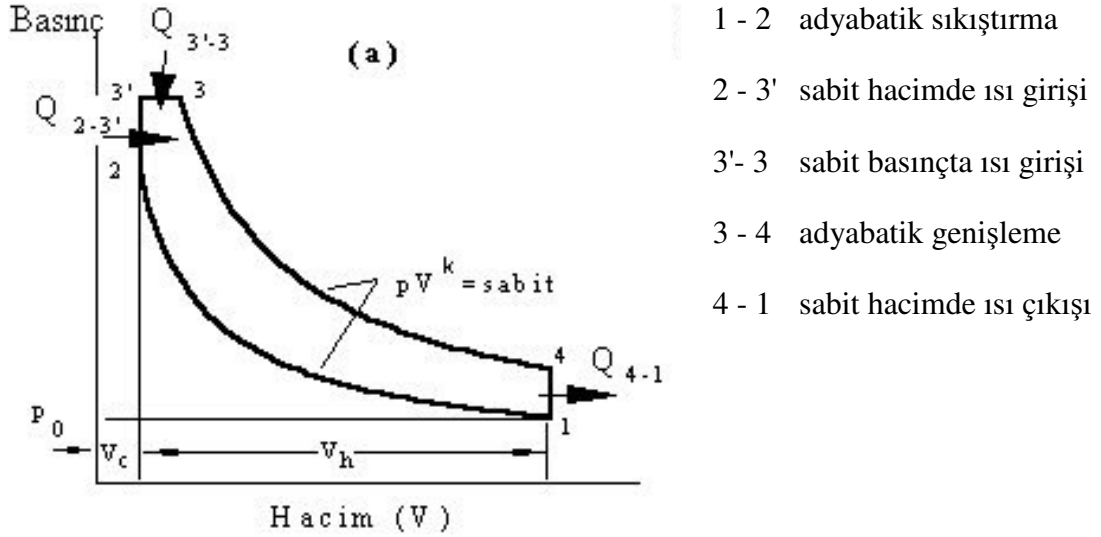
Bu motorlarda yakıt silindire, sıkıřtırma zamanının sonlarına doėru pūskūrtūlūr ve piston lū nokta konumunun yakınlarındayken hızla yakılır. Gūnūmūzde kullanılan yūksek devirli dizel motorlarında, ilk dizel motorlarının yalnızca sıkıřtırarak yakma ve yakıt pūskūrtme iřlemleri korunmuřtur.

Dizel motorları uzun yıllar kamyonlarda tarım traktörlerinde ve sanayideki enerji ūretim birimlerinde kullanıldıktan sonra, 1934’te lokomotiflerde kullanılmaya başlandı.

Dizel motoru, dūřuk oktanlı yakıtlardan yararlanması ve saatte BG bařına yakıt tūketiminin nispeten dūřuk olması nedeniyle, 1940’ların ortalarından bařlayarak, būtūn dūnyada, sanayide kullanılan enerji ūretim birimlerinin bařlıca donanımı durumuna geldi. Bu motorlardaki yakıt pūskūrtme sistemi ve yanma iřleminin özelliėi, nispeten ham yakıtlardan yararlanılmasını mūmkūn kılar.

2.2 Dizel Motorlarının Çalışma Prensibi

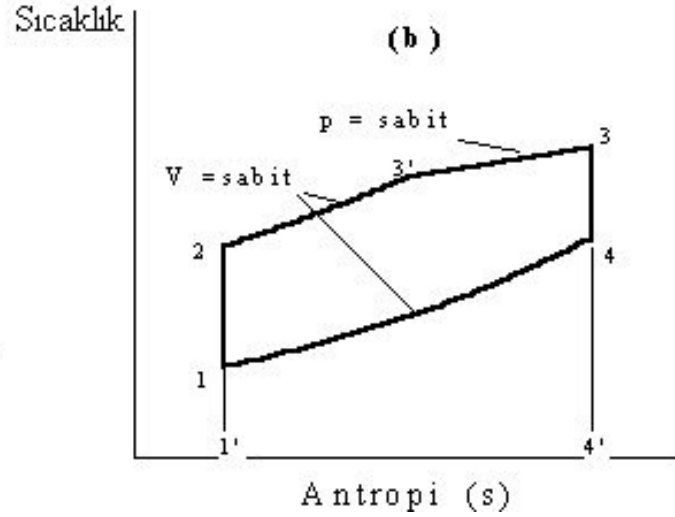
Bugünkü modern dizel motorları karma ideal çevrime (Seilinger çevrimi) göre çalışır. Bu çevrim sabit hacimde ısı giriqli ideal çevrim (Otto çevrimi) ve sabit basınçta ısı giriqli ideal çevrimin (Diesel çevrimi) karışımıdır. Karma ideal çevrimin P-V (indikatör) diyagramı aşağıda gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3 : Karma İdeal Çevrimin P-V Diyagramı

Isı, çevrime 2-3' arasında sabit hacimde ve 3'-3 arasında da sabit basınçta girer ve işin elde edilmesinden sonra çevrimden sabit hacimde çıkar. Çevrimde sıkıştırma ve genişleme adyabatik olarak meydana gelmektedir. Çevrimin sıcaklık-entropi (T-s) diyagramı da aşağıda gösterilmiştir.

Dizel motorunda yakıt hava karışımının yanması, karışımın yüksek sıkıştırma oranları ile kendi kendine tutuşturulması ile gerçekleştirilir. Benzin motorlarında bu olay bujinin ateşlenmesi ile gerçekleşir. Bu sebeple dizel motorlarda sıkıştırma oranları yüksektir. Benzin motorunda sıkıştırma oranı vuruntulu çalışma nedeniyle 10-12 ile sınırlıdır. Dizel motorunda ise kendi kendine tutuşmayı sağlayacak basınç ve sıcaklıklara erişmek amacıyla sıkıştırma oranı 14-16' nın üstünde tutulmaktadır. Aynı sıkıştırma oranı için benzin motorlarında daha yüksek verim elde edilebilmesine rağmen dizel motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılabildiği için dizel motorlarının verimi daha yüksektir.



Şekil 2.4 : Karma İdeal Çevrimin T-S Diyagramı

Dizel motorunda ise kendi kendine tutuşmayı sağlayacak basınç ve sıcaklıklara erişmek amacıyla sıkıştırma oranı 14-16' nın üstünde tutulmaktadır. Aynı sıkıştırma oranı için benzin motorlarında daha yüksek verim elde edilebilmesine rağmen dizel motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılabildiği için dizel motorlarının verimi daha yüksektir.

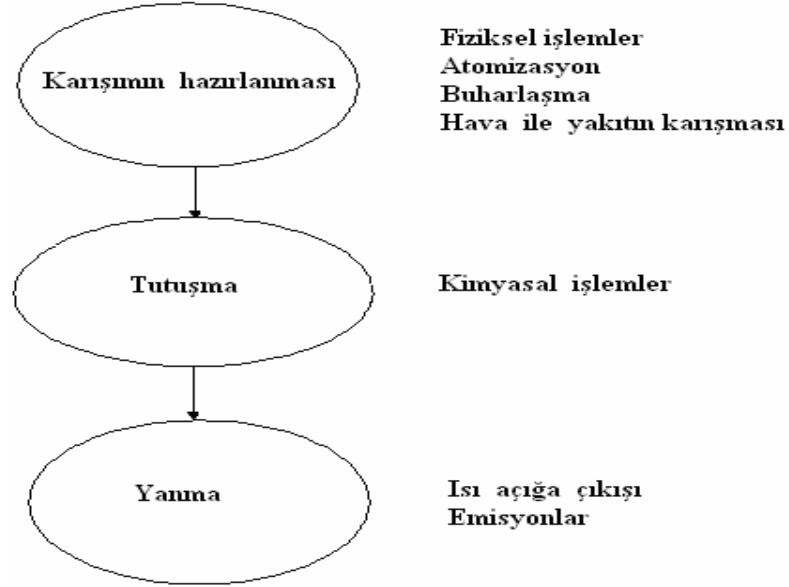
Yüzyılı aşkın bir süredir sürekli gelişmekte olan dizel motorlarının çözülmesi gereken esas problemi fazla duman ve gürültü üretmeden silindir başına düşen gücün artırılması olmuştur. Ayrıca son yıllarda emisyonları sınırlayıcı standartların ortaya çıkışı ile, dizel motorlarının egzoz gazlarında bulunan azot oksitlerin (NO_x) de azaltılması diğer bir problemdir. Bu problemleri halletmek için dizel motor üreten firmalar tarafından birçok yakıt-hava karışım oluşumu yöntemi ve bu yöntemlere uygun yanma odası geometrileri önerilmiştir. Tüm bu önerileri başlıklar halinde özetlemeden önce, bu önerileri daha iyi idrak edebilmek için dizel motorlarında egzoz gazları oluşumunun mekanizmasını kısaca anlatılmalıdır [4].

2.3. Dizel Motorlarında Yanma Süreci

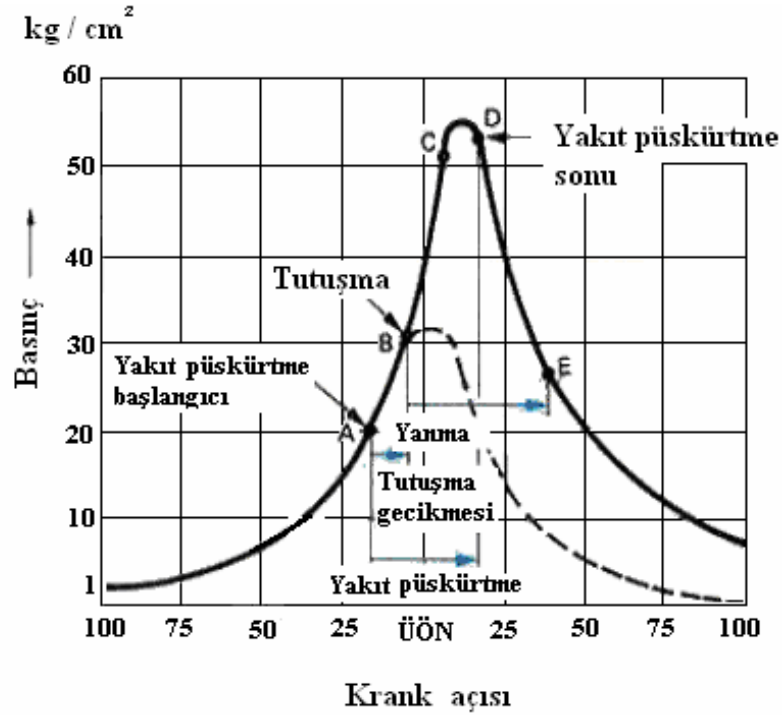
Dizel motorlarında hava, emme zamanında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmadan silindirlere tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirdeki gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. Üst ölü nokta (ÜÖN)'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek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

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 anlaşılabilceği gibi dört safhada incelenebilir.



Şekil 2.5 : Dizel Motorlarında Yanma İşlemi



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 sıcaklıkların yüksek tutulması için sıkıştırma oranı artırılabilir.

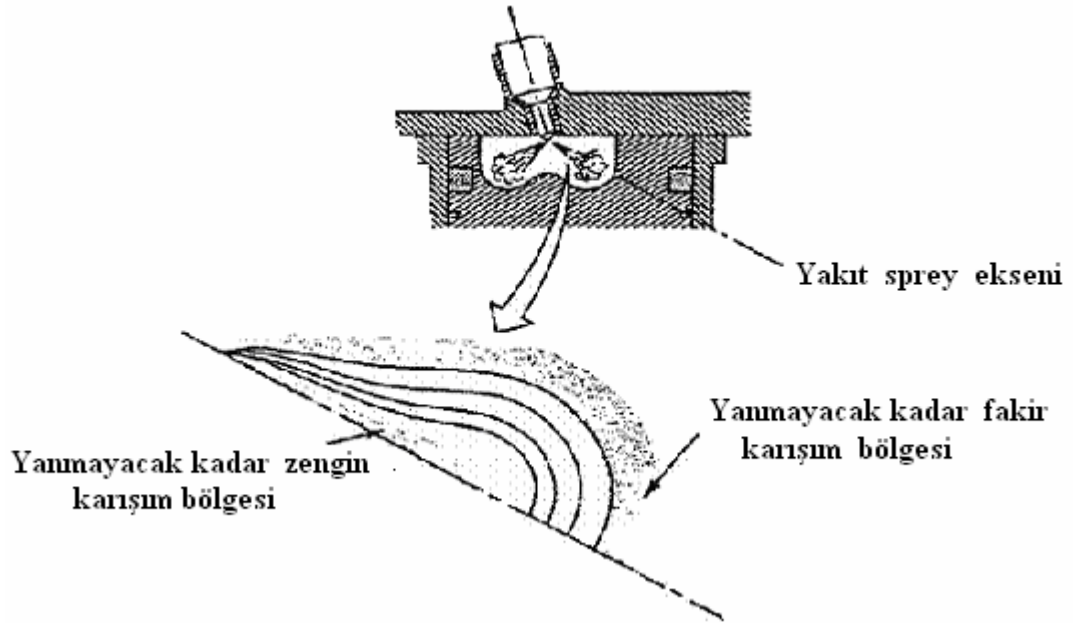
Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir. Şekil 2.7'de doğrudan püskürtmeli bir dizel motorunda yakıtın püskürtülmesi ve bir yakıt damlacığının kesiti görülmektedir.

- 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.



Şekil 2.7 : Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Yakıtın Püskürtülmesi

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.

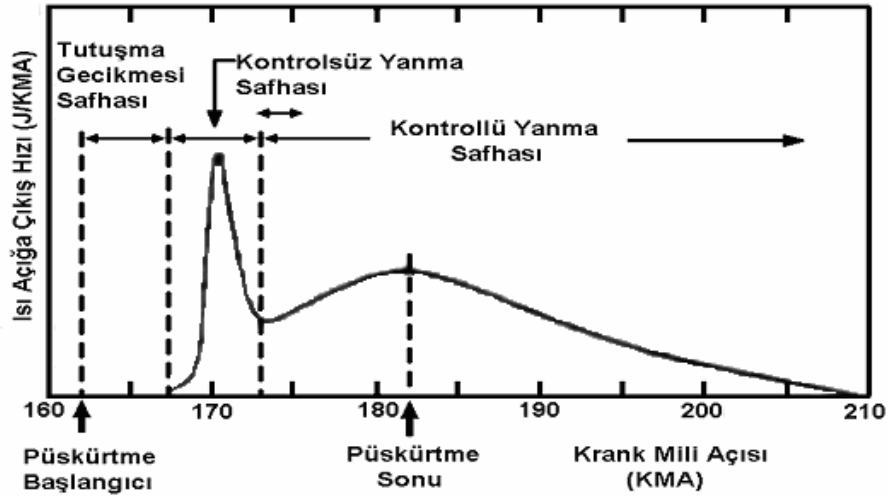
- Üçüncü Safha; Tam yanma (C-D)

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.

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 ısı 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.



Şekil 2.8 : Krank Miline Bağlı Olarak Isı Açığa Çıkışı

- 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.

2.4. Dizel Motorlarında Püskürtme

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 artırılmasıdır. Yakıtın atomizasyonu sonucu yanmanın kontrollü olarak ve kısa sürede gerçekleşmesi sağlanır.

Emme zamanı boyunca yanma odasına emilen havanın sıkıştırma zamanı sonunda basıncı 3–5 MPa ve sıcaklığı 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 kütesinin 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 art püskürtme olayına izin verilmemelidir,

- Karışım oluşturulması olayının çok silindirli motorlarda kararlı ve düzgün bir şekilde gerçekleşmesi için, püskürtme sistemi elemanlarında hidrodinamik benzerlik bulunmalıdır.

Püskürtme sistemi tarafından birim zamanda veya birim krank mili açısı başına enjektörden püskürtülen yakıt miktarı püskürtme kanununu belirler. Püskürtme kanunu motorun mekanik, ısı ve dinamik özellikleri üzerinde etkin rol oynamaktadır.

Motorun ortalama efektif basıncı, özgül yakıt tüketimi, kirletici bileşenler (İs, HC, CO, NO_x) ve gürültü emisyonu, mekanik ve ısı zorlanmaları püskürtme kanunu ile belirlenmektedir.

Bu nedenle motorun konstrüksiyonuna ve yanma odasındaki hava hareketlerine bağlı olarak püskürtme kanununun ayarlanması gerekmektedir.

Püskürtme sistemi elemanlarının belirlenmesi amacıyla, yakıt sistemindeki sıvı akışını tanımlayan 1-boyutlu ve zamana bağlı denklemlerin çözümü sayısal yöntemlerle sağlanabilmektedir.

Bu amaçla püskürtme pompası ile enjektör arasında yer alan yakıt borusunun her iki yanındaki koşulların zamana bağlı olarak değişiminin oluşturduğu sınır koşulları tanımlanarak, sayısal algoritmalar kapsamında sistemin davranışı belirlenmektedir.

Püskürtme pompası pistonunun stroku ve buna bağlı olarak pompa tarafından gönderilen yakıt debisi Şekil 2.9'da görülmektedir.

Şekilde ayrıca yanmasız sıkıştırma basıncı eğrisi (1) ve yanmaya bağlı olarak silindir içi basıncının değişimi eğrileri (2) görülmektedir. Yanma odasına ilk giren yakıt ile sıkıştırma eğrisinden silindir basıncı eğrisinin ayrılma noktasına kadar geçen süre ise tutuşma gecikmesini (ZV) göstermektedir.

Püskürtme işleminin başlangıcı ile yakıtın ilk yanma odasına girişi arasında geçen püskürtme gecikmesi süresi ise (SV) ile gösterilmiştir.

Dizel motorunun istenen gücü sağlayabilmesi ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için yakıt püskürtme sisteminin aşağıda belirtilen görevleri tam olarak yerine getirmesi gerekir.

- Yakıt Miktarının Kontrolü

Dizel motorunun silindirleri içersine püskürtülen yakıt miktarı, sabit yük altında birbirini takip eden çevrimlerde motorun ihtiyacına yetecek kadar ve aynı olmalıdır. Bu hal bütün motor silindirlerinden değişik zaman aralıklarında aynı gücü elde etme olanağını verir.

Motor yumuşak ve düzgün çalışır. Böylece bazı silindirlerin fazla yüklenerek aşırı ısınma ve aşınması önlenir. Motorun ömrü uzar.

Püskürtme sistemi yukarıdaki görevleri meydana getirirken ölçülen yakıt miktarı da çok azdır.

Örneğin; bu miktar orta boy nakliye işlerinde kullanılan araçlardaki dizel motorlarında tam yükte ortalama bir basmada 80 mm^3 ve rölantide 15 mm^3 kadardır. Bu çok az miktara rağmen ölçme işi çok hassas yapılmalıdır.

- Değişik Yükte ve Hızda Yakıtın Uygun Anda Püskürtülmesi

Herhangi bir dizel motoru için, belli bir yük ve hızdaki çevrimlerde, yalnız bir tane en uygun yakıt püskürtme sistemi vardır.

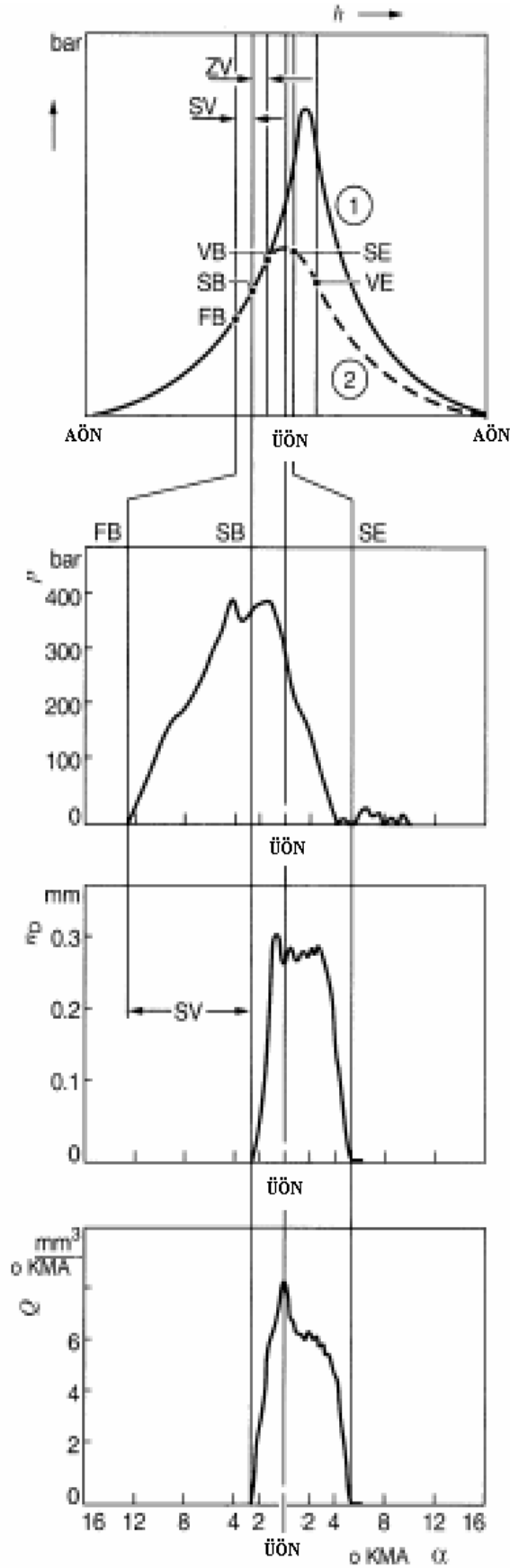
Bir çok motorlarda bu nokta yükle, bazen de motor hızı ile değişir, bu halde yakıt püskürtme sisteminin, püskürtme zamanını motorun çalışma şartlarına göre ayarlaması gerekir.

- Püskürtme Başlangıç ve Sonunun Çok Çabuk Olması

Püskürtme başlangıcının ve sonunun yavaş olması demek, bu anlarda püskürtülen yakıt zerreciklerinin atomize olmayarak iri taneler halinde kalması demektir. Bu halde yanma tam olmayarak yakıt ziyan edilir ve yanma siyah dumanlı olur. Bilhassa açık yanma odalı ve çok yüksek hızlı dizel motorlarında bu husus daha da önemlidir.

- Yanma Odası Şekline Göre Yakıtın Atomize Edilmesi

Yakıtın atomize büyüklüğü yanma odası şekline ve motor hızına göre değişir. Yakıt atomizasyonu ise püskürtme basıncı ve enjektör memesinin tipi ve çapına göre değişir. Basınç arttıkça ve enjektör delik çapı küçüldükçe atomizasyon daha iyi olur.



- FB: Yakıt dağıtımının başlangıcı
- SB : Püskürtme başlangıcı
- SV: Püskürtme gecikmesi
- VB: Yanma başlangıcı
- ZV: Tutuşma gecikmesi
- SE: Püskürtme sonu
- VE: Yanma sonu
- (1) Yanma sürecindeki basınç değişimi
- (2) Sıkıştırma basıncı eğrisi

Şekil 2.9 : Püskürtme ve Yanma Kanunu

- Yanma Süresince Yakıtın İstenilen Miktarda ve Hızda Püskürtülmesi

Püskürtülen yakıtın miktarı ve hızı kontrol edilerek birçok dizel motorunun özellikleri geliştirilmiştir. Dizel motorları da yanma konusunda belirtildiği gibi metotların biri de, çok az yakıtı esas püskürtmeden 10 derece önce yapmaktır. İlk püskürtülen bu yakıt miktarı, esas püskürtme başladığı zaman yanmaktadır. Böylece tutuşma başladığında yanma odasında yakıt birikmesi önlenerek, motorun yumuşak çalışması ve alçak bir basınç artma oranı sağlanır. Yakıtın ilk anlarda az püskürtülmesi bir dereceye kadar, kısıcıcı tip enjektör memeleri ile yapılmaktadır.

- Yakıtın Yanma Odasındaki Hava İçerisinde Dağılması

Bir motorun gücü ve hızı, yanmanın tam olmasına bağlıdır. Bu da yakıtın yanma odası içerisindeki hava ile tam olarak karışıp dağılması ile ilgilidir. Bu problem açık yanma odalarında çok zordur. Bilhassa alçak hızlarda daha da zorlaşır.

Büyük çaplı motorlarda yakıt yanma odası içerisinde her yönde 25–35 cm kadar gitmelidir. Küçük motorlarda ise yakıt yanma odasında iyice dağılmalıdır. Fakat bunlara da, yanma odasının küçüklüğünden dolayı yakıt zerrecilerinin püskürme esnasında yanma odası duvarlarına çarpması, istenilmeyen bir haldir. Çünkü çarpan bu yakıt zerrecileri soğuyarak yoğunlaşacağından, tam yanma olamaz. Karbon birikintileri fazlaşarak, segmanların sıkışmasına sebep olur. Ayrıca yoğunlaşan yakıt, motor karterine sızacağından yağlama yağını da bozar.

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 hepsinin 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)Püskürtme pompası (Yakıt 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 nitesi
- b.)Püskürtme nitesi

Daha çok dizel motorlu taşıtlarda kullanılan tipik bir yakıt sisteminin parçaları şekil 2.10'da görülmektedir.



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

- 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.

Enjektörler de bu basınçlı yakıtı yanma odasına püskürtürler. Enjektörlerden sızan ve pompanın gereksinmesinden fazla olan bir kısım yakıt, geri dönüş ve sızıntı boruları ile depoya geri gönderilir.

2.6. Dizel Motorlarında Püskürtme Ünitesi

Püskürtme sisteminin görevi; uygun zamanda istenen miktardaki yakıtı yüksek basınçta enjektöre sevk edip, enjektörden püskürtülmesini sağlamaktır. Uygun zaman genellikle sıkıştırma strokunun sonudur. Yakıt yüksek basınçta silindirlere püskürtülür. Püskürtülen yakıtın ayarı 3 şekilde olur:

- a.)Kullanıcı ile:Yakıt ayarı gaz kolu ile ayarlanır.
- b.)Kullanıcının haberi olmaksızın yakıt miktarını regülatör değiştirir.
- c.)ECU tarafından otomatik olarak değiştirilir.

Püskürtme ünitesinin elemanları şunlardır;

- Püskürtme pompası (Yakıt pompası)
- Yüksek basınç boruları
- Enjektörler
- Geri dönüş ve sızıntı boruları

2.7. Dizel Motorlarında Tasarım ve Çalışma Parametrelerinin Performansa ve İş Emisyonuna Etkileri

2.7.1. Tasarım Parametrelerinin Etkileri

Birim yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan enerji miktarını büyütme çalışmaları, yanmayı ideal şartlara yaklaştırma ve zararlı egzoz emisyonlarını en az seviyeye düşürme gayretleri, bilim adamları ve imalatçıların en önemli faaliyetlerini oluşturmaktadır. Bu çalışmaların başında motor tasarımında sıkıştırma oranının, püskürtme zamanının ve yakıt demet açısının değiştirilmesi, enjektör meme çıkıntısı, alanı ve delik sayısı ile manifold şeklinin ve subapların üzerinde yapılan değişiklikler gelmektedir.

- Enjektör Memesi

Dizel motorlarında enjektör tasarımı ve çalışma parametrelerinin performans ve egzoz emisyonları üzerinde çok net ve kesin bir etkisi vardır. Motor performansını etkileyen enjektör parametreleri geneli itibariyle 6 tanedir.

- a.) Enjektör meme delik çapı
- b.) Enjektör meme delik sayısı
- c.) Enjektör meme koni açısı
- d.) L/d oranı
- e.) Enjektör memesi kanalının konikliği
- f.) Enjektör memesi kanalının yuvarlatma oranı

Tablo 2.1 'de enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkileri belirtilmiştir. Tablo 2.1 'deki bilgilere göre meme delik sayısı, meme delik çapı, yakıt demet açısı ve püskürtme basıncının yakıtın atomizasyon şekli üzerinde belirleyici rol oynadığı, çok delikli enjektör memesinin tek delikli memeye göre bariz biçimde performans ve emisyon açısından üstünlüğü olduğu görülmektedir. Delik sayısının artması ile yakıt yanma odası içerisinde farklı yönlerde gönderilebilmektedir. Çok delikli meme yapısında, tek delikliye nazaran TG süresinin azaldığı, P_{max}, P_{me} ve (dp/dt) oranının yükseldiği buna karşılık özgül yakıt tüketiminin önemli miktarda düşme gösterdiği anlaşılmaktadır. Meme çaplarındaki küçülme ve çok delikli memelerde delik sayısının fazlalığı da yine benzer oranda emisyon ve performans değerleri üzerinde etki göstermektedir.

Tablo 2.1:Enjektör Meme Tasarımının Bazı Yanma Karakteristiklerine Olan Etkisi

Enjektör tipi	Çap veya delik sayısı	TG (KMA)	P _{max} (kg/cm ²)	P _{me} (kg/cm ²)	b _e (g/kWh)	(dp/dt) _{max} (kg/cm ² /derece)
Tek delikli	0,2 mm	20	-	-	-	-
	0,5 mm	20	37	4,5	502	2,04
	1,0 mm	13	47	4,8	485	2,04
Çok delikli	2	13	51	6,0	386	6,12
	6	12	54	7,8	288	6,12
	16	14	44	5,2	441	3,06

Dizel motorlarında, yanma olayının ön fazında yanma odasına püskürtülen yakıtın parçalanması sonucu oluşan yakıt demeti yardımıyla hava ile yakıtın karışımı sağlanmaktadır. Yakıtın püskürtülmesindeki amaç, yakıtın küçük damlacıklara ayrılarak hava ile temas eden yüzeyinin artırılmasıdır. Yakıtın küçük damlacıklara ayrılması sonucunda yanma odasına gönderilen yakıtın yüzey alanı artırılır.

Yakıtın atomizasyonu sonucu yanmanın kontrollü olarak ve kısa sürede gerçekleşmesi sağlanır. Atomizasyon, püskürtülen yakıt zerreciklerinin atomlarına ayrılarak hacimce küçülmesi işlemidir. Yakıt atomizasyonu ise püskürtme basıncı ve enjektör memesinin tipi ve çapına göre değişir. Basınç arttıkça ve enjektör delik çapı küçüldükçe atomizasyon daha iyi olur. Damlacık çapının küçülmesiyle damlacığın enjektörden çıkış hızı artacağından yakıt atomizasyonu iyileşir. Atomizasyonun daha iyi olmasından dolayı tutuşma gecikmesi periyodu kısılacığından motor performansı da artacaktır. Ayrıca delik çapının azalması yakıtın yanma odası içerisindeki nüfuz derinliğini de artırır.

Tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın sağlanabilmesi için az da olsa daha uzun süre kalması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılabilmesi nedeniyle ısının açığa çıkış hızı da artar. Isının açığa çıkış hızının iyi atomizasyonla yükselmesi sonucu tutuşma gecikmesi süresinden sonraki muhtemel ani basınç yükselmesi de önlenmiş olur.

$$U_1 \times A_1 = U_2 \times A_2 \text{ (Akışkanın süreklilik denklemi)} \quad (2.1)$$

Tanecik çapının çok azalması ise yakıtın hızlı bir biçimde buharlaşmasına sebep olur. Bunun sonucunda yakıt yanma odasının her yerine tam olarak ulaşamaz. İlk yanmanın belirli bir bölgede sınırlı kalması sebebiyle alevin yanma odasının diğer bölümlerine ilerlemesi yavaş olur.

Alışıl gelenden daha çok ve daha küçük çaplı hassas işlenmiş delikler bulunan (8–10 delik) enjektörler sayesinde küçük damlacıklar (5–10 mikron) elde ederek yanma odası içinde gerekli olan dönme hareketindeki hava hızlarını düşürmek, dolayısıyla volümetrik verimi yükseltirken karışım oluşturma kalitesini korumak olanaklıdır. Burada hava hızlarını düşürmek, yakıtın daha küçük damlacıklara bölünmüş olması ve çok delikli enjektörden püskürtme yapılmasıyla çok daha kısa sürede iyi bir karışım sağlandığı için olanaklı hale gelmektedir. Böylece özellikle yüksek devir sayılarında motor gücü artarken motor verimi de yükselmektedir. Yakıt damlacıklarının parçalanma süresi deneysel bir araştırma sonucu şu şekilde formüle edilmiştir.

$$t_{\text{parçalanma}} = \frac{29 \rho_L d_n}{\rho_G^{0.5} \Delta p^{0.5}} \quad (2.2)$$

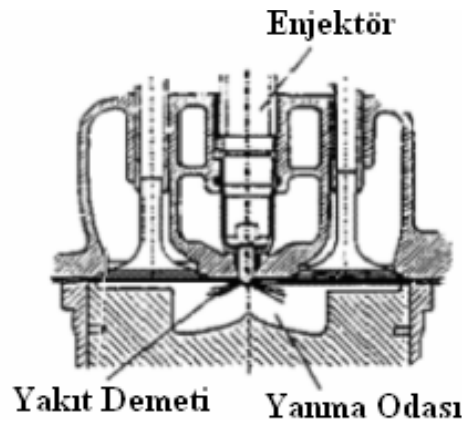
- Yanma Odası Biçimi

Dizel motorlarında hem basınç yükselme hızı hem de maksimum basıncın krank mili açısı cinsinden kontrolü ve zamanlanması gerekir. Basınç yükselme hızı için gerekli olanın tersine performans açısından da yanmanın uzun sürmesi istenmez. Dolayısıyla dizel motorlarında yanma odası tasarımı son derece önemli olmaktadır. Yüksek hızlı dizel motorları için tasarım esnasında, sıkıştırma oranı, maksimum devir ve çalışma sıcaklığı tespit edilmişse TG süresi ancak yakıtın kalitesine bağlı olarak kontrol edilebilir.

Yüksek devirli motorlarda havaya girdap hareketi vermek veya havayı dar bir yanma odası hacmine sıkıştırarak hareketlendirmek suretiyle karışıma katkıda bulunmak önem arz etmektedir. Direkt püskürtmeli yanma odalı dizel motorlarda yakıt tüketiminin az olduğu ve tutuşma kabiliyeti düşük yakıtlarla bile kolayca tutuşma sağlandığı, bölünmüş yanma odalı motorlarda ise yukarıdaki bilginin tersine bir sonucun çıktığı araştırma sonuçlarıyla ortaya konulmuştur.

Bölünmüş yanma odalı motorlarda yakıt püskürtme karakteristikleri, direkt püskürtmeli yanma odalı motorlara nazaran pek önem arz etmemektedir. Zira, bölünmüş yanma odalı motorların düz yanma odalı motorlara kıyasla sıkıştırma oranı yüksek, yakıt püskürtme basıncı ve verimi ise daha düşüktür.

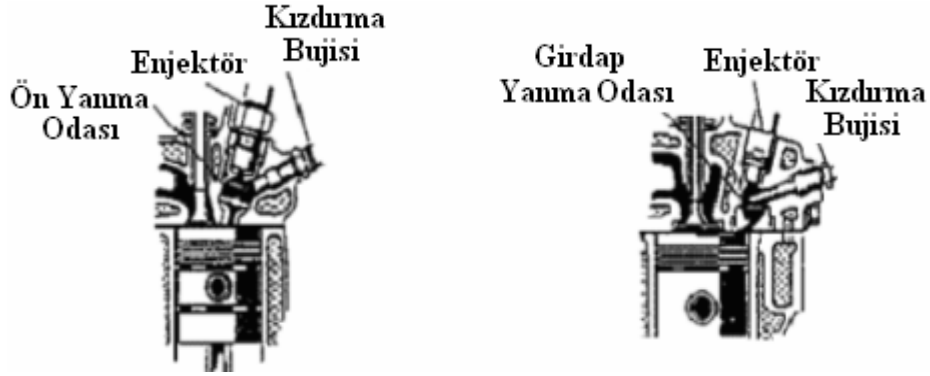
Direkt püskürtmeli dizel motorlarında püskürtmenin yapıldığı, piston içerisindeki çanak şeklindeki oyukun geometrisi ve boyutlarının, hava hareketleri açısından, önemi büyüktür. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 : Direkt Püskürtmeli Dizel Motorunun Yanma Odası Kesiti

Direkt püskürtmeli motorlarda pistonun ÜÖN 'ya yaklaşması ile piston üst yüzeyinden çanak içine doğru bir hava hareketi sağlanmaktadır. Bu da sıvı olarak

püskürtülmüş olan yakıt demetinin daha kolay parçalanmasını ve daha küçük damlacıklara ayrılmasını sağlayarak iş oluşumunun azalmasına neden olur. Bu şekilde oluşan hava hareketinin hızı büyük ölçüde, piston ÜON 'ya geldiği anda, pistonun en üst yüzeyi ile motor kafası arasında kalan boşluk azaldıkça artmaktadır.



Şekil 2.12 : Ön ve Girdap Yanma Odalı Dizel Motorlarının Yanma Odası Kesit Resimleri (Ergeneman ve Ark., 1998)

Buradan da anlaşılacağı gibi, direkt püskürtmeli motorlar piston üst yüzeyi ile motor kafası arasında kalan boşluk mümkün olduğu kadar az olacak şekilde imal edilerek is emisyonu düşürülebilir.

Bölünmüş yanma odalı dizel motorlarında ise ön yanma odası ile ana yanma odası arasındaki kanalın yapısı (büyüklüğü) kirletici egzoz emisyonunu etkilemektedir. (Şekil 2.12) Kanal kesitinin küçültülmesi partikül ve HC emisyonunu azaltmaktadır. Çünkü kanal kesiti küçüldükçe ön yanma odasındaki hızlar artmakta ve yakıt demeti daha kolay parçalanmaktadır. Ancak bu durumda yanma hızlanıp sıcaklıklar artacağından NOx emisyonu artmaktadır. Bu durum ayrıca ilk hareket güçlüğü meydana getirmektedir.

- Manifold Tasarımı

Emme manifold çapının silindir çapına oranı, volümetrik verim ve hava–yakıt oranı açısından önem kazanmaktadır. Emme havasına verilen türbülans ve emiş hızı, silindire alınan taze hava miktarını etkilediğinden manifoldun tasarımında bu hususlar dikkate alınmaktadır.

Keskin köşe veya cidar pürüzlülüğünün fazlalığı hava giriş hızını ve miktarını azaltmakta, dolayısıyla silindire alınan dolgu kütlelerinde düşme olmaktadır. Karışım içerisindeki hava oranının azalması yanmanın kötüleşmesine yol açtığından, motor

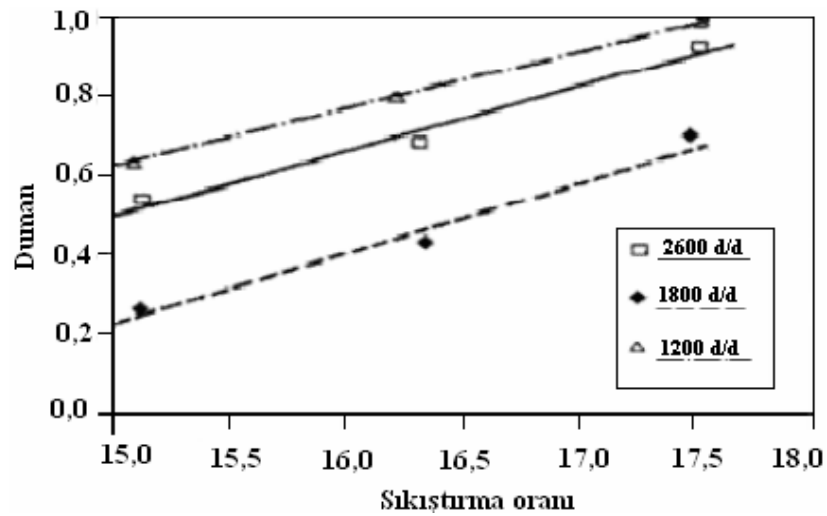
performansı ve emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki meydana getirmektedir. Benzeri bir durum ise egzoz manifold tasarımında görülmektedir.

Egzoz manifoldun da yanmış gazların çıkışına direnç olacak şekilde düzenlenecek olan biçimler (keskin köşeler, pürüzlü yüzeyler gibi) yanma odası içerisinde artık gazların birikmesine yol açacak ve dolayısıyla taze dolgunun yanma odasına girişini önleyecektir. Bu durum volümetrik verimin azalmasına sebep olacaktır. Bu mahsurları önlemek amacıyla manifold tasarımcıları, manifoldda oluşabilecek dirençleri engellemeye, manifold ceketlerinde gaz titreşimlerini yok etmeye yönelik biçimler üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmaktadırlar (Karakuş, 2000).

- Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının yükselmesine neden olur. Yüksek sıkıştırma oranında, maksimum basınç daha erken ve daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ancak, maksimum basıncın artması krank-biyel mekanizmasının daha dayanıklı yapılmasını gerektirir. Ayrıca, kompresyon kaçaklarının artması ve motorun ilk harekete geçişin zorlaşması mekanik verimi azaltır.

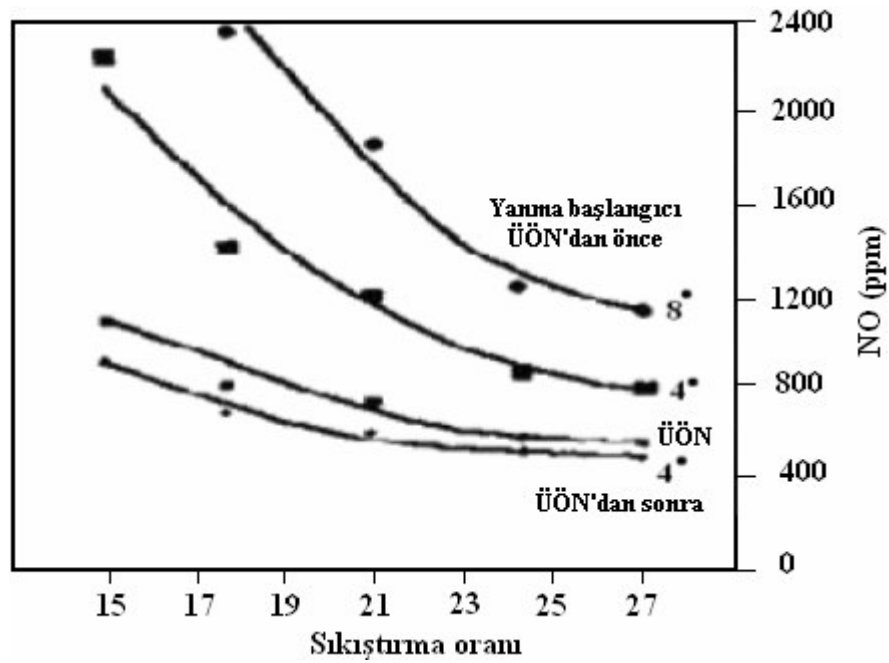
Şekil 2.13'te sıkıştırma oranına bağlı olarak duman miktarının değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla duman miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır. Zira, sıkıştırma oranının artmasıyla yanma odası içerisindeki girdabın azalması ve hava yakıt karışım formasyonunun kötüleşmesi duman miktarının artmasına neden olmaktadır (Topgül, 2000).



Şekil 2.13 : Sıkıştırma Oranının Duman Miktarına Etkisi

Sıkıştırma oranının artışı ile yanma odasındaki ortalama gaz hızlarında, sıcaklık ve basınç seviyesinde artış görülür. Ayrıca silindire giren hava–yakıt karışımının kütlesi de değişmektedir. Sıkıştırma oranının artırılması sonucu, ÜÖN civarında, yanmanın gerçekleştiği süreçte yanma odasının yüzey/hacim oranı artacağından HC emisyonları olumsuz etkilenecektir (Karakuş, 2000).

Bu değişken tutuşma gecikmesini kontrol eder. Direkt püskürtmeli dizel motorlarında NO oluşumuna etkiyen önemli faktörlerden biridir. Şekil 2.14'te 1400 d/d'da 15:1–27:1 aralığında değişen sıkıştırma oranının, NO emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 2.14 : Sıkıştırma Oranı Değişiminin NO Emisyonlarına Etkisi

Püskürtme avansının sabit kalması şartıyla, sıkıştırma oranının azaltılması tutuşma gecikmesini uzatacaktır. Dolayısıyla bu süre boyunca püskürtülen yakıt miktarı artacağından silindir içi maksimum sıcaklık yükselecek ve buna bağlı olarak NO oluşumu artacaktır. Sıkıştırma oranının artırılması ile tutuşma gecikmesi kısılacığından NO oluşumu azalacaktır. Fakat sürtünme işi artacağından çevrim verimi kötüleşecektir (Haşimoğlu, 2000)

- Yakıt Demet Açısı

Püskürtme esnasında yakıt, enjektörden silindirik bir huzme şeklinde çıkmakta, daha sonra meme deliği çapı, uzunluğu ve geometrisi, havanın ve püskürtülen yakıtın

yoğunluğu ile püskürtme basıncına bağlı olarak değişik davranışlar göstererek gaz ortama nüfuz etmektedir.

Yanma odası içerisindeki basıncı yüksek havanın içerisine enjekte edilen yakıtın oda içerisinde eşit dağılım yaparak oksijenle teması önemlidir. Çünkü, oluşacak alev çekirdeğinin yanma odası içerisindeki yakıt-hava karışımının tümünü kavraması bakımından homojen bir yanma hızının olması ve bu yanmaya bağlı olarak titreşimsiz bir basınç etkisinin gerçekleşmesi gerekmektedir (Karakuş, 2000).

- Silindir Başına Kullanılan Subap Sayısı

Bu teknik de, aşırı doldurma ile birlikte volümetrik verimi artırarak güç başına emisyon değerlerinin düşürülmesini olanaklı kılmaktadır.

Özellikle ön yanma odalı ve döner hava hareketi gerektirmeyen çok delikli enjektör ile beraber yüksek basınçlı püskürtme sistemine sahip direkt püskürtmeli dizel motorlarına uygulanabilmektedir (Ergeneman ve Ark., 1998).

2.7.2. Çalışma Parametrelerinin Etkileri

Dizel motorlarında çalışma parametrelerinin performans faktörlerine ve emisyon değerleri üzerine olan etkisi, yanma odasının ve püskürtme sisteminin tasarımlarına son derece bağlıdır. Söz konusu tasarımların çok değişik özelliklere sahip olmaları sebebiyle herhangi bir performans ve emisyon faktörünün gösterdiği temayül bütün dizel motorları için aynı olmayabilir. Çalışma parametrelerinin performans faktörlerine ve emisyon değerleri üzerine olan etkileri özetle aşağıda belirtilen başlıklar altında açıklanmıştır.

- Yakıt Miktarı

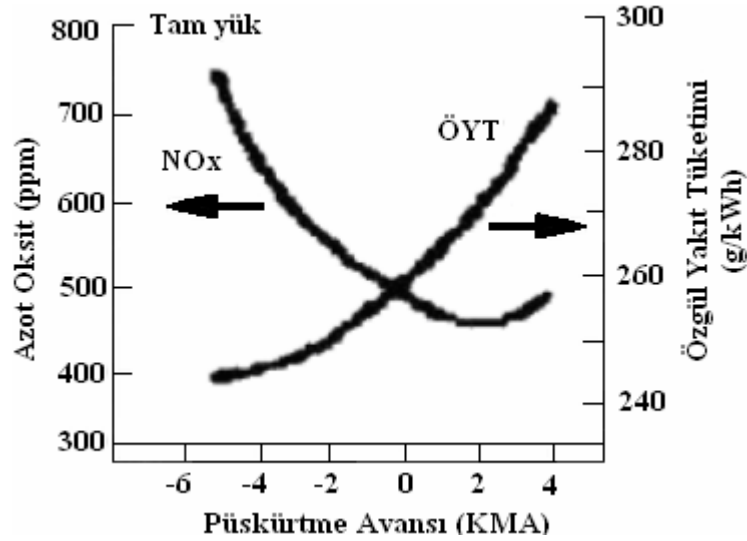
Dizel motorlarında güç, yakıt miktarıyla ayarlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda iyi bir karışım şansı daha azdır ve egzoz isli oluşur veya silindirde zararlı karbon birikintileri meydana gelir. Bu durum yakıt/hava oranına da bir üst sınır koyar. Alt sınır yoktur.

Dizel motorlarında püskürtme süresi, TG (Tutuşma Gecikmesi) süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olduğundan tutuşma gecikmesinin basınç üzerindeki etkisi daha azdır (Karakuş, 2000).

- Püskürtme Avansı

Diğer parametreler sabit kabul edilirse, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme başlangıcının bir miktar öne alınması tutuşma gecikmesini artıracığından bu safhada silindirlere daha fazla yakıt püskürtülecektir. Tutuşma ile birlikte dizel motoru yanma süreçlerinden biri olan ani yanma periyodunda birim krank derecesi başına düşen basınç değişimi ($dp/d\alpha$) aşırı derecede artacağından çevrimin maksimum sıcaklığı ve basıncı da yükselecektir. Buna bağlı olarak NOx emisyonlarında bir artış olacaktır. Şekil 2.35'te püskürtme avansına bağlı olarak NOx emisyonlarının ve özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir.

Püskürtme avansının azaltılması NOx emisyonlarını azaltarak, is oluşumunu artırır. Bu durum püskürtme basıncının artırılmasını gerektirir. Dolayısıyla malzeme dayanımı ve yakıt sisteminin fiyatının artması gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Avansın azaltılması silindir içi maksimum basıncı düşürür, fakat yanmamış yakıt miktarı artacağından, yakıt tüketimi kötüleşmektedir. Ayrıca avansın aşırı azaltılması hafif yüklerde teklemeye sebep olmaktadır.



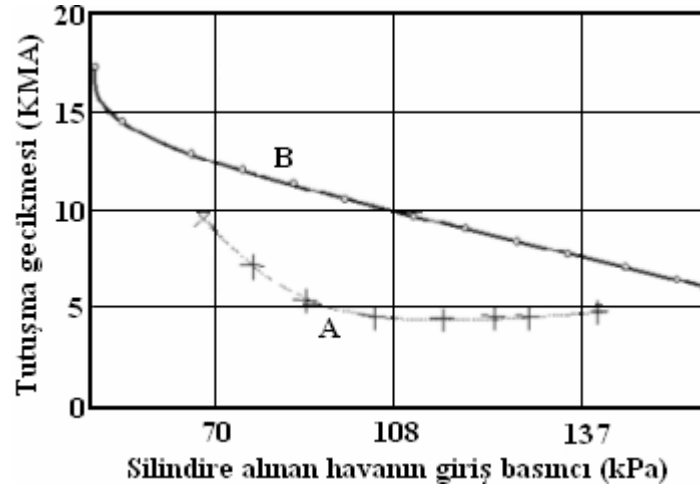
Şekil 2.15 : Püskürtme Avansının NOx Emisyonlarına ve Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Normal çalışma şartlarında püskürtme avansının ÜÖN 'dan 10°–15°KMA önce olması durumunda tutuşma gecikmesi minimumdur. Tutuşma gecikmesindeki artış püskürtmenin daha erken veya daha geç yapılmasından kaynaklanır. Çünkü sıkıştırma zamanındaki havanın sıcaklığı ve basıncı ÜÖN 'ya yaklaştıkça önemli miktarda artar. Eğer püskürtme erken başlarsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve

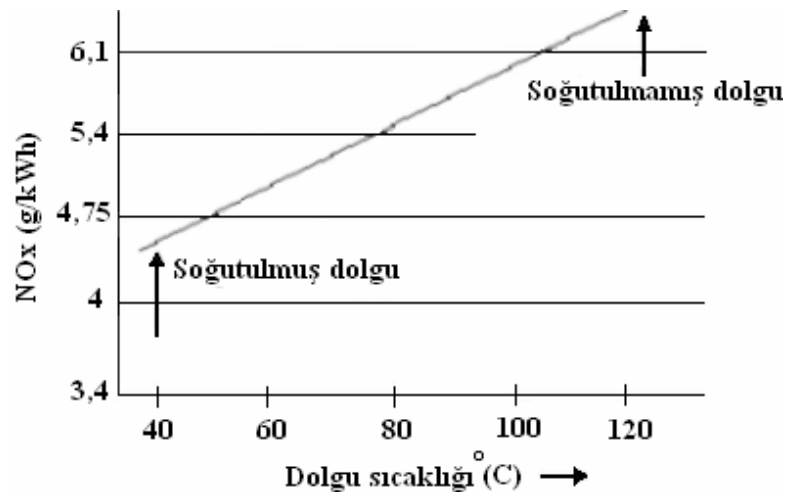
sıcaklık düşük olacağından tutuşma gecikmesi artar. Eğer püskürtme ÜÖN 'ya çok yakın yapılırsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık yüksek olmasına rağmen pistonun alt ölü noktaya (AÖN) doğru hareket edip silindir hacmini genişletmesinden dolayı tutuşma gecikmesi süresi artacaktır. Bu yüzden uygun püskürtme avansı bu iki nokta arasında olmalıdır (Haşimoğlu, 2000).

- Giriş Basıncı ve Sıcaklığı

Emme zamanında silindire alınan havanın giriş basıncı arttıkça, sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı artacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Şekil 2.36'da giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.16 : Giriş Basıncının Tutuşma Gecikmesine Etkisi A:Düz Yanma Odası
B:Bölünmüş Yanma Odası

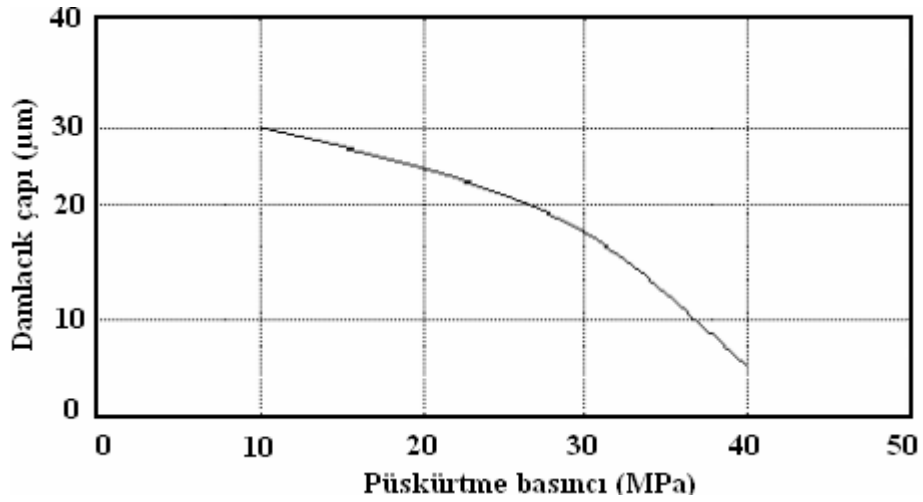


Şekil 2.17 : Dolgu Sıcaklığına Bağlı Olarak NOx Emisyonu Değişimi

Giriş basıncının artmasıyla, silindire daha fazla hava alınacağından volümetrik verim de artar. İçeriye daha fazla yakıt püskürtülerek, güç artırılabilir. Ancak, bu durum maksimum basıncın da artmasına neden olur.

Şekil 2.37'de silindir içerisine alınan dolgunun sıcaklığının NO_x emisyonuna etkisi görülmektedir. Dolgu havası sıcaklığının artması, tutuşma gecikmesi süresinin azalmasına, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonunun artmasına neden olmaktadır.

- Püskürtme Basıncı



Şekil 2.18 : Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Damlacık Çapı Değişimi

Püskürtme basıncı, yakıtın atomizasyonuna, dolayısıyla karışım formasyonuna etki eden faktörlerden birisidir. Püskürtme basıncı arttıkça yakıt daha iyi parçalanarak, damlacık çapı küçülmektedir. Şekil 2.18'de püskürtme basıncına bağlı olarak, yakıt damlacık çapının değişimi verilmektedir. Burada püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapının azaldığı görülmektedir.

Damlacık çapının küçülmesiyle yakıt atomizasyonu iyileşir. Atomizasyonun daha iyi olmasından dolayı gecikme periyodu kısılacığından NO_x formasyonunda ve dumanda azalma görülecektir.

Ancak, püskürtme basıncının çok artması tanecik çapının çok azalmasına yakıtın hızlı bir biçimde buharlaşmasına sebep olur. Bunun sonucunda 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 yanmanın belirli bir bölgede sınırlı kalması sebebiyle alev yanma odasının

diğer bölümlerine ilerlemesi yavaş olur. Bu olay ısının, işe dönüşme işleminin verimsiz bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmuştur.

Enjektör basınçlarının referans değere göre değişimi (bir arızadan veya ayarsızlıktan dolayı) motor performansını ve zararlı madde emisyonlarını etkilemektedir.

- Aşırı Doldurma

İçten yanmalı bir motor tarafından üretilen güç, yaklaşık olarak motor silindirleri içerisinde yakılan yakıt ve bu yakıtı yakabilmek için gerekli olan hava miktarı ile orantılıdır. Normal emişli bir motorda silindir içerisine alınan hava miktarı, kurs hacmine bağlı olarak değişmektedir. Silindir içerisine bir çevrimde alınan hava miktarını artırabilmek için harici bir kaynağa ihtiyaç vardır. Bu amaçla; mekanik aşırı doldurma, egzoz turbo kompresörü ve basınç dalga etkili aşırı doldurma yöntemleriyle silindire alınan hava miktarı, normal emişli motorlara göre artırılır.

Normal emişli motora göre, aşırı doldurma uygulaması yapılan motorda silindirlere gönderilen hava miktarının artırılmasıyla silindir içerisine daha fazla yakıt sürülerek; fren ortalama efektif basıncı ve motor gücü artırılır (Topgül, 2000).

Egzoz gazlarının sahip olduğu enerjiden yararlanan aşırı doldurma sistemlerinin kullanımı, sıcaklık seviyelerinde artış sağladığı için genelde HC emisyonlarını azaltıcı, diğer taraftan NO_x emisyonlarını da artırıcı doğrultuda etki etmektedir.

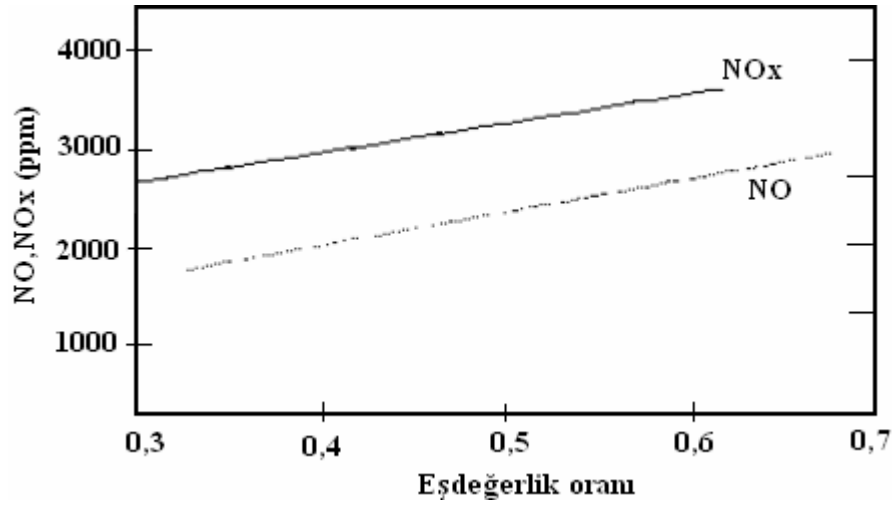
Yanma odasındaki sıcaklık seviyesi ile birlikte, egzoz gazları sıcaklıkları da arttığı için bu süreç içindeki oksidasyon reaksiyonları da artış gösterecektir. Ayrıca silindirdeki karışım oluşumunun da iyileşmesi yanma olayı üzerinde olumlu etki yapacaktır. Sonuçta HC emisyonları önemli ölçüde azalır. NO_x emisyonları ise özellikle yüksek güçte çalışma bölgesinde, sıcaklıktaki artışa paralel olarak artmaktadır. Ancak ara soğutmalı aşırı doldurma sistemlerinde, sistemin sağladığı güç artışı dikkate alındığında, birim güç başına üretilen NO_x emisyonu değerlerindeki artış sınırlandırılabilir (Açıl, 1998)

- Eşdeğerlik Oranının Etkisi

Dizel motorlarında silindir içerisine sıfırdan sonsuza kadar değişen değerlerde hava yakıt oranları mevcuttur. Dolayısıyla önemli olan püskürtülen yakıt miktarı değil yanma öncesi buharlaşan yakıt miktarıdır.

Dizel motorlarında güç ayarı motora emilen havanın içine püskürtülen yakıt miktarının değiştirilmesi ile yapılır. Motor gücü azaltılmak isteniyorsa, püskürtülen yakıt miktarı azaltılır. Böylece karışım oranı yük durumuna göre değiştirilmektedir ve motor genelde fakir karışım ile çalışmaktadır. Emisyonlar bakımından ana sorun is ve NO_x üretiminden kaynaklanmaktadır. NO_x emisyonları artan yüke bağlı olarak artış gösteren sıcaklıklar nedeniyle artmaktadır. NO oluşumu, eşdeğerlik oranı 0,9 ile 1,0 arasında iken maksimum olur.

Şekil 2.19'da eşdeğerlik oranının NO_x konsantrasyonuna etkisi görülmektedir.



Şekil 2.19 : Eşdeğerlik Oranına Bağlı Olarak NO_x ve NO Konsantrasyonları

Eşdeğerlik oranı arttıkça ağır yüklerde maksimum basıncın (dolayısıyla maksimum sıcaklığın) artması karışımın daha geniş bir bölgede stokiyometrik orana yakın bir değerde yanmasını sağlar. Bu durumda NO_x oluşumu artacaktır. Eşdeğerlik oranının azaltılması ile NO_x emisyonları azalır. Fakat dizel motorlarında yakıtın düzgün püskürtülememesinden dolayı bu azalış fazla değildir (Haşimoğlu, 2000).

- Yanma Odasında Düşük Dönmeli Hava Hareketi

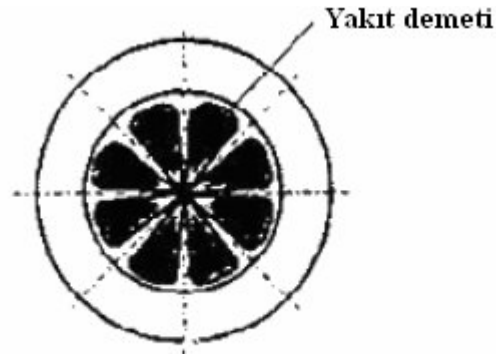
Direkt püskürtmeli motorlarda, yanma odasına püskürtülen yakıtın hava ile karışımını iyileştirebilmek için emilen hava, emme kanalına verilen kavisli şekil sayesinde silindir içine bir dönme hareketi (swirl) ile girmektedir. Havanın bu dönme hareketi motorun ancak belli bir hızında iyi bir yakıt hava karışımı oluşmasını sağlar. Ayrıca bu dönme hareketinden dolayı yüksek hızlarda motorun volümetrik verimi düşerek güçte bir azalma meydana gelmektedir. (Şekil 2.20)

Yüksek püskürtme basıncıyla ve alışlagelenden daha çok ve daha küçük çaplı hassas işlenmiş delikler bulunan (8–10 delik) enjektörler sayesinde küçük damlacıklar (5–10 mikron) elde ederek yanma odası içinde gerekli olan dönme hareketindeki hava hızlarını düşürmek, dolayısıyla volümetrik verimi yükseltirken karışım oluşturma kalitesini korumak olanaklıdır. Hava hızlarının düşürülmesi, yakıtın daha küçük damlacıklara bölünmüş olması ve çok delikli enjektörden püskürtme yapılmasıyla çok daha kısa sürede iyi bir karışım sağlanması olanaklı hale gelmektedir. Böylece özellikle yüksek devir sayılarında motor gücü artarken motor verimi de yükselmektedir. Ayrıca bu tip motorlar yukarıda sözü geçen nedenlerle havanın dönme hızına bağımlı olmadıklarından motorun bütün hız aralıklarında is (partikül) emisyonu açısından çok iyi sonuç verirler.

Hava dönüş yönü (swirl)



**Yönlendirilmiş hava hareketli (swirl)
direkt püskürtmeli dizel motoru yanma odası**



**Yönlendirilmiş hava hareketi olmayan çok delikli enjektörlü
direkt püskürtmeli dizel motoru yanma odası**

Şekil 2.20 : Direkt Püskürtmeli Dizel Motorlarında Yakıt Püskürtme ve Karışım Oluşturma Şeklinin Üstten Görünüşü (Ergeneman ve Ark., 1998)

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 petrolerden farklı özelliklere (setan sayısı, enerji içeriği, buharlaşma noktası, kükürt içeriği gibi) sahip dizel yakıtlar üretilir. Rafineriler aynı zamanda özel marketler için genel ürün taleplerinden farklı oranlarda gaz, benzin ve ara ürün yakıt elde edebilirler. Rafineri üretim şekliyle market ihtiyacını dengelemenin tek yolu downstream değişim işlemleridir. Bu işlemlerde büyük moleküller ısı, basınç ya da katalizörler uygulanarak daha küçük moleküllere parçalanırlar. Rafinerilerin birçoğu hidrokarbonların istenmeyen ağır kısımlarının kırılarak daha hafif hidrokarbonlara dönüştürüldüğü vakumda damıtma, ısıl kraking, katalitik kraking ve hidrokraking gibi değişim ünitelerine sahiptirler.

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

Yakıtın kimyasal kompozisyonu, motor performansı ve emisyonlarını önemli oranda etkilemektedir. Yakıt ne kadar fazla parafin hidrokarbonları ihtiva ederse, setan sayısı o kadar yüksek olur, tutuşma gecikme süresi kısalmır, motorun çalışması

daha düzenli ve sarsıntısız oluşur. Yakıtın uçuculuğu, yüzey gerilmesi ve viskozitesi gibi fiziksel karakterler aynı zamanda yanma zamanına tesir eder. Yakıtın viskozitesi ve yüzey gerilimi, atomizasyonun iyiliğini, yakıtın uçuculuğu ise yanıcı karışımın oluşum hızını etkiler.

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

Yanma odasına enjekte edilen yakıtın motor performansına ve emisyon değerlerine tesir eden bazı özellikleri aşağıda belirtilmektedir. Dizel motorlarda kullanılan yakıt motorindir. Motorin, ham petrolün 200–380 °C arasında damıtılmasından elde edilir. Mazot ve motorin farklı yakıtlardır. Motorin yüksek devirli dizel motorlarında kullanılan, alt ısı değeri mazota göre daha fazla, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm³ civarında olan ve ham petrolü 1.kuledeki damıtılması sırasında elde edilen bir yakıttır. 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. Viskozite (akıcılık derecesi)
2. Özgül ağırlık
3. Uçuculuk noktası
4. Parlama noktası
5. Donma noktası
6. Su ve tortu miktarı
7. Buharlaşma noktası
8. Düşük sıcaklıkta davranışı

- 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

- Viskozite (akıcılık derecesi)

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

Bir yakıtın saybolt viskozimetresi; viskozimetreye konulan 70 cm³ yakıtın 60 cm³ 'ünün kabın dibindeki belli çapta delikten akması için geçen zaman (saniye) olarak tarif edilir.

Burada yakıtın akması için gereken zaman uzadıkça viskozite yüksek yani yakıt kalın, zaman kısaldıkça viskozite düşük yani yakıt incedir. Viskozite daima ölçüldüğü sıcaklıkla ifade edilir. Örneğin dizel motorlarda kullanılan yakıtların viskoziteleri 100°F 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 kolay 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 m²'lik düzlemsel yüzeyinin 1 m uzaklıkta kendisine koşut bir başka düzlemsel yüzeyine göre 1 m²/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 artırır. Böyle bir durumla motorun yüksek yükte çalışmasını takiben kısa süreli kapatılmasından sonra sıcak çalıştırılmaya kalkışılması sonucunda karşılaşılabılır. Zaten sıcak olan yakıt püskürtme ekipmanının sıcaklığının daha da yükselmesi akışkanlığın iyice düşmesine ve yakıt sistemi soğuyuncaya kadar yakıt sızıntısının yeniden çalışmayı imkansızlaştırmasına sebep olur.

- 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 60°F (15,5°C) 0,835 ile 0,934 arasındadır.

- Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına “uçuculuk noktası” denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı ile ifade edilir. Şöyle ki; bir yakıt damıtım sıcaklığına kadar 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 ısıtma ile 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 termometre olan bir kaba konur ve alttan ısıtılır. Her 5°C derecelik ısınmada üzerine bir alev tutulur ve çekilir. Yakıt belli bir sıcaklığa geldiğinde üst kısmında parlama olur ve söner (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 ökilmesi 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 belirlemede kullanılan bazı özellikler şunlardır:

- a.)Cloud point (CP), yakıt donma noktasına geldiğinde kristallenmenin görölmediği 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 çökmesini engellemezken kristal büyümesini kısıtlar. Kristaller filtrenin deliklerinden geçebilecek kadar küçük kalırlar. Böylece süzme işlemi düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir.

Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökmesini önleyici katkı maddeleriyle daha da yükseltilebilir. Bugün mevcut olan kışlık dizel yakıtlar -22°C' den başlayan düşük sıcaklık direncini garanti edebilecek düzeydedir. Başka iki yol da filtreyi ısıtmak ve dizel yakıtı 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. Şöyle ki; Oktan sayısı yükseldikçe benzinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti azalır. Buna karşın setan sayısı yükseldikçe motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar.

CFR motorunda özel bir düzenle sıkıştırma oranı değiştirilebilmektedir. Setan sayısı saptanırken kullanılan deney yakıtları ise setan ve Alfametil-Naftalindir. 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 kısalmayacağından 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 (SO₂) veya biraz daha oksijen bulmak süreti ile kükürttrioksit (SO₃) oluşturur. Bu gazlardan SO₂ pek tehlikeli değilse de SO₃ gazı yanma artıklarından olan su buharı (H₂O) ile birleşerek sülfürik asit (H₂SO₄) oluşur.



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

- 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

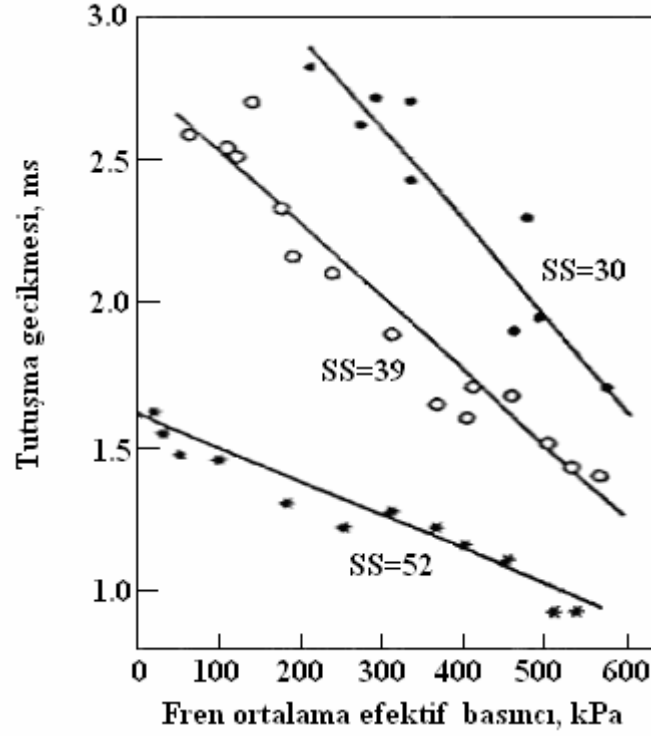
Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı %'si fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya iştirak etmez ve iş yapar. Bu da enjektör memelerinin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

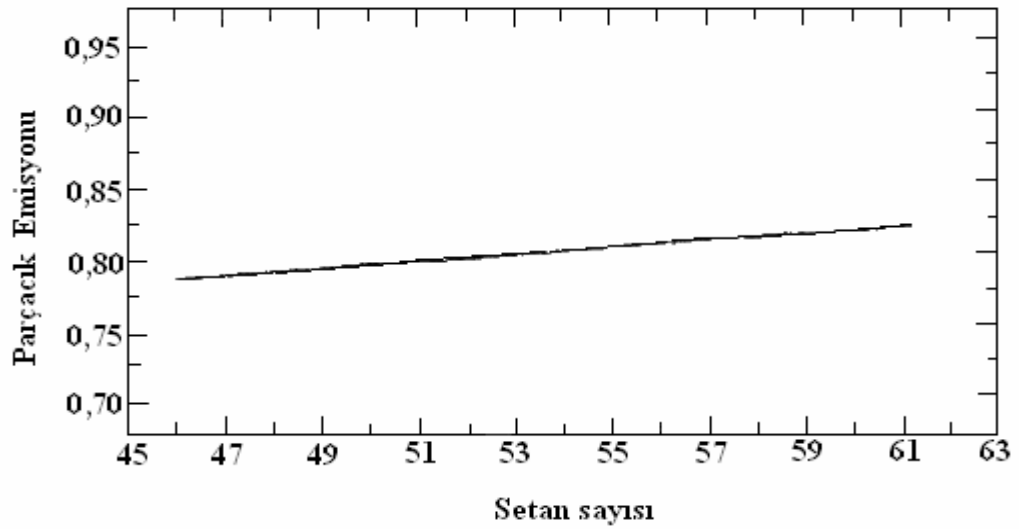
- Setan Sayısı

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.



Şekil 3.2 : Setan Sayısının Parçacık Emisyonu Üzerindeki Etkileri

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.

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

Yakıtın motor silindirine enjekte edildiğinde tutuşmaya yatkınlığı setan sayısı ile belirtilir. Sayı büyüdükçe tutuşma kolaylaşır. Çok yüksek tutuşma kalitesine sahip olan n-setan (n-C₁₆H₃₄) hidrokarbonunun setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Referans olarak kullanılan diğer hidrokarbon ise 15 setan sayısı ile 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) karışımınıninkine eşit olduğunda bu yakıtın setan sayısı şu denklem yardımıyla hesaplanır:

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

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

3.1.2.1. 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 kullarımdaki 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 oluşturmaları,
- Çevreci olmasıdır.

Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırılmalı (dizel) motorlarda kullanılabilir. Motorinle belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bu oran; ekonomi, gaz emisyonu, yanma özelliği gibi birçok faktöre bağlıdır ve genelde %20'lik karışım kullanılır. Bakterilerle ayrışabilen, zehirsiz, sülfürsüz ve hoş kokuludur. Bitkisel yağların metil veya etil esteridir. Bu konuda araştırma ve üretim yapan ülkelerin favori ürünü soya fasulyesidir.

Elde edilen bitkisel veya biyolojik yağlar alkolle (genelde metanol) karıştırılır ve sodyum hidroksitle tepkime hızlandırılır. Kimyasal reaksiyon sonunda bir ester ve gliserin oluşur. Ester yakıt olurken gliserinde değerli bir ürün olarak birçok sektörde kullanılır.

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 CO₂ oranının azaltılmasının mümkün olacağını,
- Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendığını, ayrıca dolun 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 NO_x, %22 daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük alt ısı 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.

➤ Biyodizel Yakıtlar ve Özellikleri

- Biyodizel, orta uzunlukta C₁₆-C₁₈ yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır.
- Oksijenli zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli motorinden ayırır.
- Biyodizel, motorine çok yakın alt ısı değerine, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik, biyodizeli kullanım, taşıma ve depolamada daha güvenli bir yakıt haline getirmektedir.
- Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir.
- 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 ısı 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 %	0.07 max	0 - 0.0024
Parlama noktası °C	60 - 80	100 - 170
Bulutlanma noktası °C	(-15) - (5)	(-12) - (12)
Akma noktası °C	(-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. İşlem sonunda yoğunluğun yüksek çıkması, biyodizelden gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığını 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.

Biyodizelin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 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 yayılımını azaltır,
- Kanserojen yapıcı madde ve kükürt oranı çok düşüktür.
- Atıklarının gübre ve yem olması ve doğaya zarar vermez.
- CO₂ miktarını %78 oranında düşürür.
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir
- Yağlayıcılık özelliği iyidir.
- Motor ömrünü uzatan, kurum oluşturmeyen bir yakıttır.
- Hidrokarbon ve karbonmonoksit yayılımını azaltır
- Setan sayısının, motorinin setan sayısından daha yüksek olması nedeniyle daha vuruntusuz ve dengeli yanma sağlar.
- Alt ısı değeri motorinin alt ısı 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.

➤ Biyodizelin Üretimi

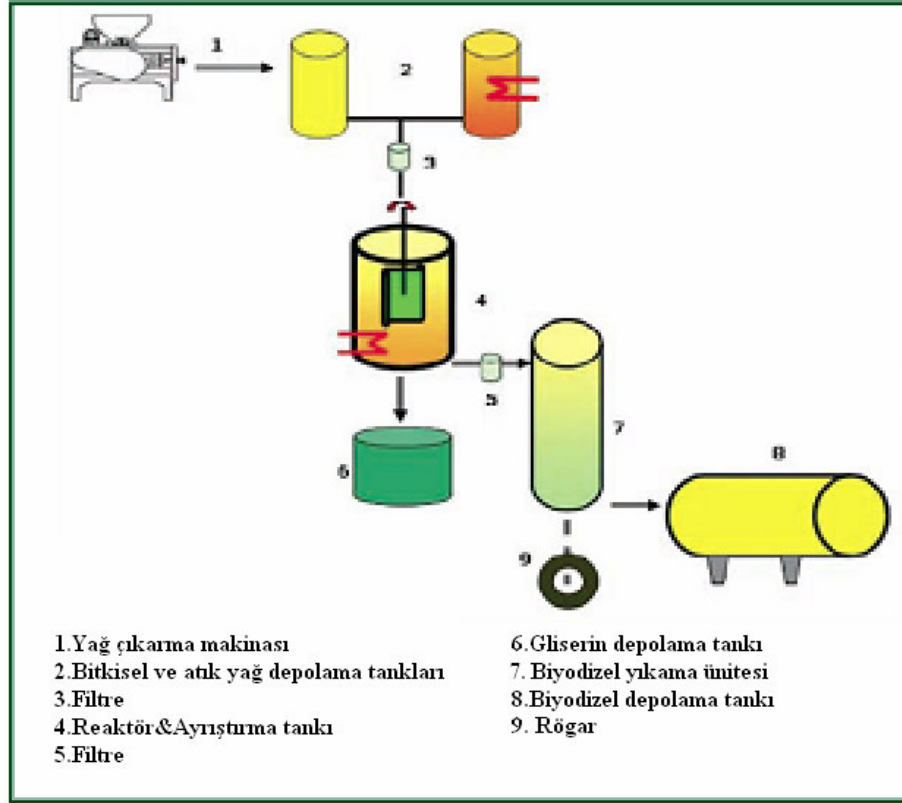
- Günümüzde Biyodizel Üretim Yöntemi

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 makinelerinde 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. Kimyasal olarak esterlemenin tanımı ise; ortamdan trigliserin molekülü veya yağlı asit almak, serbest asitleri nötrleştirmek, gliserini çıkarmak ve bir alkol esteri oluşturmaktır.



Şekil 3.3 : Biyodizel Üretimi Prosesi

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

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

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

- Biyodizel Hakkında Kaynak Araştırması

Literatürde, bitkisel yağlar ve esterlerinin dizel motorlarında kullanımı değişik tip ve güçteki motorlarda denenmiştir. Bu konuda yapılan araştırmalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Goering bitkisel yağ oranları yüksek olan II yağ bitkisi yağının kimyasal ve yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Bitkisel yağlara, dizel yakıtı için uygun olan ASTM testleri uygulamışlar, bu testler sonucunda bitkisel yağların yakıt özellikleri ile ilgili problemlerini ortaya çıkarmışlardır. Yağ örneklerini kimyasal olarak analiz etmişler ve belirli yakıt özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasında bir bağ kurmuşlardır.

Yüksek setan sayısı, düşük viskozite, düşük donma noktası ve düşük akma noktası ve bunların kombinasyonlarının değerlendirilmesi sonucunda; mısır, kolza, susam, pamuk tohumu ve soya yağlarının bu özelliklerinin en iyi kombinasyona sahip olduğunu göstermişlerdir (Goering, 1982).

Hassett ve Hasan yaptıkları çalışmada, ayçiçek yağından elde edilen ayçiçek metil esteri üretimi yaparak dizel motorlarında yakıt olarak kullanmışlardır. Ayçiçek metil esteri üretiminde 9 litre ayçiçek yağı ile 1456 gram metil alkol

karışımına 8,6 gram sodyum ilave edilerek karıştırılmıştır. Karışım, büyük beç kazandan 62-65°C sıcaklık uygulanarak 2 saat süre ile karıştırılmıştır. Karışımın dibinde gliserin toplanmaya başlayınca ısıtma ve karıştırma sona erdirilmiş ve soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra karışım dibinde bulunan gliserin, ayırma vanası yardımı ile karışımdan ayrılmıştır. Ayrıca sıcak su ile yıkanarak, karışımda kalan gliserin, reaksiyona girmeyen metanol ve katalizörün ham esterden ayrılması sağlanmıştır.

Her iki yakıtı da tek silindirli 3,8 kW gücünde direkt püskürtmeli bir dizel motorda denemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, ayçiçek metil esterlerinin dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Hassett ve Hasan, 1982).

Randy , ham soya yağı, nötr soya yağı ve soya yağı etil esterini küçük güçlü bir dizel motorunda 2 nolu dizel yakıtına alternatif olarak değerlendirebilmek için kısa süreli performans testleri yapmışlardır.

Bu yakıtların motor performans testleri ile elde edilen değerler dizel yakıtına benzer bulunmuştur. Kısa süreli yapılan denemelerde her üç soya (ham, nötr ve etil ester) yağları arasında farka rastlanmadığını belirtmişlerdir. Ham soya ve soya yağı etil esteri kullanılmasında yakıt tüketiminde artış görülmüştür. Soya yağı kullanımından elde edilen gücün, dizel kullanımındaki güce daha yakın olduğu, fakat termik veriminin daha az ve egzoz sıcaklığının fazla olduğu belirtilmiştir. Soya yağı etil esteri kullanımında ise enjektör sıcaklığı ve çıkış gücünün dizel yakıtına benzer olduğunu belirlemişlerdir.

Direkt püskürtmeli dizel motorlarda, % 100 ham soya yağının uzun süreli kullanımının önerilmediği, enjektörün aşırı ısınmasının çıkış gücünde ve termik verimde düşüğe neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, soya yağının motor parçaları üzerinde önemli oranlarda karbon birikimine neden olduğu belirtilmiştir (Randy , 1983).

Peterson dizel yakıtı yerine kullanılacak bitkisel yağların mevcut durumlarını araştırmıştır. Araştırmada yağ oranları yüksek bitkiler, yağ işleme ve depolama, kısa ve uzun süreli motor test sonuçları, transesterifikasyon, mikroemülsiyon, emisyon ve ekonomiklik gibi özellikleri belirlenmiştir.

Motor ömrünün azalmasına rağmen, gerektiğinde dizel yakıtı ile doymuş yağ oranı yüksek bitkisel yağların karıştırılarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bitkisel

yağ esterlerinin ise doğrudan dizel yakıtı yerine kullanılabileceği araştırma sonuçlarında belirtilmiştir. Bitkisel yağların olumsuz yönleri olarak, düşük sıcaklıklarda motorun zor çalışması ve aşınma problemleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca bitkisel yağ esterlerinin dizel yakıtına göre daha pahalı olduğu belirtilmiştir (Peterson, 1986).

Schlick direkt püskürtmeli bir dizel motorda %25 oranda soya yağı ve ayçiçeği yağını ayrı ayrı, %75 orandaki iki no'lu dizel yakıtı ile karıştırarak kullanmış ve 200 saatlik çalışma sonundaki motor performans değerlerini belirlemiştir. Denemelerden sonra motor parçaları üzerinde karbon birikintisi, silindir cidarlarında ve segmanlarda sert ve parlak metal kalıntılarına rastlamışlardır (Schlick , 1988).

Seliafer bitkisel yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır. Bu amaçla, Daimler- Benz AG firmasının yapmış olduğu çalışmaların sonuçlarını incelemiştir. Kanola yağının özelliklerinin dizel yakıtı özelliklerinden çok farklı olduğunu ve kimyasal olarak değiştirilmemiş bitkisel yağların motorlarda yakıt olarak kullanılacağı zaman, ortaya çıkacak olumsuz özelliklerini aşağıdaki gibi vermiştir;

Özellikle direkt püskürtmeli dizel motorların enjektörlerinde kömürleşme belirtilerine, yakıt birikmelerine ve reçineleşmelerine yol açabileceğini, ön yanma odalı motorlarda ise daha az sorunlar ortaya çıkartacağını,

Bu olumsuzluklarla birlikte yinede kullanılırsa, araç sahipleri yüksek kayıplar ve pahalı tamir ve bakım masraflarına katlanmak zorunda kalacaklarını,

Bitkisel yağ kullanımına uyum sağlayacak dizel motorunun imalatı için büyük harcamaların gerektiği belirtilmiştir.

Dizel yakıtı yerine kullanılabilecek alternatif bitkisel yakıtın, metanol veya etanol gibi ucuz bir alkolle, kimyasal reaksiyonla elde edilebileceğini ve bu esterlerin özelliklerinin dizel yakıtının özelliklerine benzer olduğunu bildirmiştir. Bitkisel yağ asidi esterleriyle (ROME) çalışan dizel motorlarının kullanımı hakkında şimdiye kadar elde edilen araştırmaların geniş ölçüde olumlu sonuçlar verdiğini ve bunların;

Enjektörler üzerinde kömürleşmenin olmadığı, yanma odasında katmanlaşma görülmediği, yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer olduğu ve is emisyonunun, dizel motorunun emisyon şartlarına benzerlik gösterdiği,

Motorun uzun süreli çalışmasıyla ortaya çıkan aşınma durumu, dizel yakıt kullanımına benzer sonuçlar verdiğini,

Uzun süreli çalışma durumunda ise segmanlarda sıkışmanın görüldüğünü bildirmiştir (Schafer, 1988).

Erdoğan bitkisel yağların yakıt olarak kullanım olanakları üzerinde durmuştur. Bitkisel yağların dizel motorlarında doğrudan yakıt olarak kullanılmadığını, problemlerin çıktığını ve kullanılabilmesinin yöntemlerini belirterek, bu yöntemler sonucunda bitkisel yağların dizel motoruna olan olumlu ve olumsuz etkilerini vermiştir (Erdoğan, 1991).

Karaosmanoğlu ve Aksoy çalışmalarında, kullanılmış kızartma yağının seyreltme tekniği ile viskozitesini düşürmüşler çeşitli karışımlar elde ederek bu karışımların fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Belirledikleri bu özelliklere göre % 40'a kadar olan karışımların dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini söylemişlerdir (Karaosmanoğlu ve Aksoy, 1994).

Rock Almanya Devlet Denetleme Kuruluşu (SVGS) ve Bavyera Eyaletinin Gıda, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından finanse edilen çalışmada, bitkisel yağların yakıt olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır.

Araştırmasında, yakıt olarak rafine kolza yağı, kolza yağı metil esteri ve dizel yakıt olmak üzere üç farklı yakıt kullanmıştır. Çalışmalarda SVGS'nin 55 adet traktör ve iş makinesi ile yedi adet motorlu taşıt olmak üzere, bütün arazi araçları kullanılmıştır. Traktörler 35000 çalışma saatine ve diğer araçlar da 500 000 km 'ye ulaşmışlardır. Çalışmalarda meydana gelen arızaları aşağıdaki gibi bildirmiştir;

- Bazı araçların yakıt boruları ve rekorlarında arıza ortaya çıktığı, Çuhadan oluşan yakıt filtresinin bozulduğu, bunun sonucunda bir enjektörün arızalandığı,
- Traktörlerin yağlama yağında incelme görüldüğü,
- Bir yakıt pompasında tıkanma olduğu,
- Eski motorlarda, özellikle boşta çalışırken beyaz duman çıktığı,
- Yakıt filtresinde tortulaşma meydana geldiği,
- Yakıt deposunun sık sık temizlenmesi gerektiği,

- Traktör sürücüleri tarafından egzoz gazının kokusu hoş bulunmadığı ve bunun özellikle soğuk motorlarda daha belirgin olduğu belirtilmiştir.
- Kolza yağından üretilen farklı yakıtlardan elde edilen sonuçlar ise; Motorun saf bitkisel yağ kullanımına uygun olmadığı,
- Yakıtların kış aylarında da kullanılabileceği, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığı,
- Büyük ölçüde motor üzerinde teknik bir değişim olmadan ROME kullanılabileceği,
- Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO_2 oranının azaltılmasının mümkün olacağı,

Bitkisel yağların esas avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekilde hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varmıştır (Hock, 1994).

Könler Almanya ve Avrupa'da kolza yağının yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda, kolza metil esterinin dizel yakıtına göre avantajlarını aşağıdaki gibi açıklamıştır.

- Kanola yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin olumlu olduğunu,
- Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisinin olumlu sonuçlar verdiğini ve % 15-30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını,
- Biyodizelin zehirsiz olduğu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiğini, Biyodizelin, dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşmadığını,

Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlar, dizel yakıtına göre; % 15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO_x , %22 daha az partikül, %50 daha az is ve % 10 daha düşük ısı değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu bildirmiştir (Könler, 1994).

Bockey biyodizel kullanımı için firmaların konuya yaklaşımı ve verdikleri yakıt kullanım izinleri üzerinde durmuştur. Tablo 2.2'de ürettikleri araçlarda biyodizel kullanımını onaylayan firma isimlerini vermiştir.

Tablo 3.2 : Biyodizel kullanımına izin veren firmalar.

OpelAG	John Deere	Fendt	ManAG	Mercedes
VWAG	Cas e	Ford	Holder	Nissan
FordAG	Renault	Lamborghini	Linder	Farymann Diesel
Hanomag - Komatsu	Steyr	Mercedes Benz	Fiatagri	Iseeki
Massey-Ferguson	Claas	Same	KDH	Iveco Margirus

Yapılan denemeler ve emisyon ölçümleri sonucunda, biyodizelin iyi bir yakıt olduğunu vurgulamıştır. Bitkisel yağların kullanımından ortaya çıkan, emisyon değerlerinin çevre tarafından biyolojik olarak yeniden işlenebileceğini belirtmiştir. Ayrıca emisyon değerlerindeki is ve partiküllerde azalma olduğunu, bu nedenle de çevreye duyarlı alanlarda bitkisel yağların alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Biyodizelin diğer önemli bir özelliğinin de % 11 'lik oksijen içeriği olduğunu ve yanma için bunun çok büyük bir potansiyel olduğu ortaya koyulmuştur. Onay veren firmalardan da anlaşıldığı gibi, bütün motor üreticilerinin biyodizel ile ilgilendiğini bildirmiş, özellikle firmaların 1995 yılında bu konuda daha fazla izin vereceğini ve biyodizelin piyasa girişinde bu izinlerinde büyük rol oynayacağını belirtmiştir (Bockey, 1995).

Sheehan , tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji araştırma kuruluşları biyodizel üretim ve kullanımının çevresel etkilerini belirlemek için soya kökenli biyodizel hakkında kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırma biyodizelin endüstride kullanılabilişliğinin alt yapısını hazırlamak için amaçlanmıştır. Araştırmanın sonucunda petrol kökenli dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada soya yağından üretilen biyodizelin özellikleri en etkili parametre biyodizelin maliyeti ve kullanılabilişliği olmuştur (Sheehan et aL., 1996)

Özaktaş bitkisel yağlardan zeytin yağı, mısır yağı, soya yağı ve ayçiçek yağı, dizel yakıtı ile hacimsel olarak 20/80 oranlarında karıştırılarak seyreltme yolu ile

viskozitesi düşürülmüş ve karışım yakıtlar dört zamanlı, 6 silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır (Özaktaş, 1998).

Oğuz tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtı- ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarını araştırmıştır. Önce yakıtın fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yüksek viskozite sorununu çözmede seyreltme, mikroemilsiyon, proliz ve transesterifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada seyreltme yöntemi kullanılmıştır. Seyreltme yöntemi bitkisel yağlara uygun miktarda dizel yakıtı karıştırılarak elde edilmektedir. Ayçiçek yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiştir. Elde edilen bu yakıtlar motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılmıştır. Deneyler 4 zamanlı, 3 silindirli, 43 kW gücünde John Deere 3179 DF dizel bir motorda yapılmış ve dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yakıt tüketimi, moment, güç, duman koyuluğu ve HC, CO, CO_2 olarak gaz emisyonları incelenmiştir.

Sonuç olarak rafine edilmiş ayçiçeği yağı ile dizel yakıtı karışımları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığı belirlenmiştir (Oğuz, 1998).

Altın tarafından yapılan çalışmada, sanayide kullanılan bitkisel yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla ayçiçek ve soya yağları ile bu yağlardan elde edilen ayçiçek metil ester ile soya metil esterleri, tek silindirli, 4 zamanlı, 770 cm^3 'lik bir dizel motorunda tam yükte ve değişik motor devirleri ile sabit devir (1300 l/min, 1500 l/min) ve değişik yüklerde denenerek motor performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Deney sonucunda, motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından bitkisel yağlar ile bitkisel metil esterlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına çok yakın olması nedeniyle alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabileceği, uzun süreli uygulamalarda ise, metil esterlerinin bitkisel yağlara göre çok daha iyi olduğu belirlenmiştir (Altın 1998).

Yücesu vd., tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde 2- D dizel

yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçek yağı, pamuk yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) kullanılmıştır.

Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek için motor tam gaz değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NO_x emisyonlarının ise NO 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görölmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performans değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir (Yücesu vd., 2001).

Ulusoy tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli, 4 zamanlı, ön yanma odalı ve 8 kW gücünde bir motor E-89 model bir dizel motor kullanmıştır. Bu motorda yakıt olarak sadece nötr ayçiçek yağı kullanılmış ve deneyler, deneme motorunun yakıt püskürtme avansı değiştirilerek yapılmıştır.

Kullanılan yakıtların motor devrine bağlı olarak moment, güç, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, toplam verim egzoz sıcaklığı ve gürültü değerleri % 100 dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan araştırmanın sonucunda, bitkisel yağ-dizel yakıtı karışımlarının ele alınan karışım oranları için içten yanmalı motorlarda, dizel yakıtı yerine motorda değişiklik yapılmaksızın doğrudan kullanılabilecek özelliklere sahip olduklarını göstermiştir.

Deneme motorunun püskürtme avansı, fabrikasının bu motor için öngördüğü avans derecesinden aşağı ve yukarı değerler alınarak denenmiştir. En uygun motor performans değerleri motorun orijinal avans ayarında elde edilmiştir (Ulusoy, 1999).

İlkılıç tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda dizel, ayçiçek ve pamuk yağının metil esterleri denenmiştir. Dizel yakıtına hacimsel olarak %50 pamuk ve ayçiçek yağı metil esteri karıştırılmış ve ayrıca bu esterler % 100 saflıkta kullanılmıştır.

Tam gaz, değişik enjeksiyon basıncı ve çeşitli devirlerde denenmiş olan bu yakıtların motor performansı ile eksiz emisyon ürünleri üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada, düşük enjeksiyon basınçlarında pamuk ile ayçiçek yağı metil esterleri dizel yakıtına eşit ve diğer basınçlarda da ayçiçek ve pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtına oranla daha düşük emisyon ürünü verdikleri görülmektedir. Bunun için, bu yağların metil esterlerinin özellikle çevre bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır (İlkılıç, 1999).

Karakuş tarafından yapılan çalışmada, yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırmıştır. Yapılan araştırmalar, dizel motorlarında kullanılan yakıtların kalitesinin ve özelliklerinin motor performansı ve emisyonlar üzerinde etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru üzerinde değişik setan sayılı dizel yakıtlarının etkileri, değişik şartlar altında deneysel olarak incelenmiştir.

Deneylerde, dizel yakıtı setan sayıları ve enjeksiyon basıncının değiştirilmesi sonucunda, duman miktarı, başta olmak üzere diğer emisyonlar üzerinde meydana gelen etkiler gözlenmiştir.

Sonuçlar setan sayısının 46'dan 61'e çıkarılması halinde motor momentinde ve gücünde %5 civarında bir artış olduğunu göstermektedir. Setan sayısındaki artışa bağlı olarak NO_x emisyonlarında %20, CO emisyonlarında %5 civarında azalma, duman koyuluğunda kısmi bir artma olduğu belirtilmiştir (Karakuş, 2000).

Kaplan tarafından yapılan çalışmada, ham ayçiçek yağından metil ester üretimi ve 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı 55 kW gücünde bir turbo dizel motorunda ayçiçek yağı metil esterinin alternatif yakıt olarak kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, dizel ve ayçiçek yağı metil esteri, yakıt olarak kullanılmış ve test motoru 14 farklı devir ile tam yükte çalıştırılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Kullanılan her iki yakıt için, motor performans eğrileri ve emisyon değerleri çıkartılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ayçiçek

yağı metil esteri performans değerlerinin, dizel yakıtına benzer özellikler taşıdığı ve alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Kaplan, 2001).

Komers , tarafından yapılan çalışmada, kolza yağının kısa zincirli alkoller olan metanol vb. katalizörlerin eşliğinde kimyasal tepkimeleri sonucu meydana gelen yeni biyodizel ürünlerinin karıştırılarak analizleri yapılmıştır. Bunun sonucunda soya fasulyesi bitkisinden biyodizel üretim teknikleri belirlenmeye çalışılmıştır (Komers , 2001).

Çelikten tarafından yapılan çalışmada, deneysel çalışmada, egzoz emisyonları ve motor performansında etkili enjeksiyon basıncı araştırılmıştır. Deneyler en direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı, 4 silindirli turboşarjlı bir dizel motorunda gerçekleştirmiştir. Emisyonlar ve motor performans değerleri moment, güç, efektif basınç ve özgül yakıt tüketiminin ölçülerini baz almıştır. Yakıt akışı hem tam yük hem de kısmi yüklerde 100 bar'dan 250'a kadar ki değişen enjeksiyon basınçlarında ölçülmüştür. Maksimum performans için uygun olan sonuçlar 150 bar'da elde edilmiştir (Çelikten, 2003).

Karabektaş tarafından yapılan çalışmada, biyomotorin ve %50 biyomotorin-%50 motorin karışımı yakıt kullanımının motor performansı üzerindeki etkisi motorin kullanımı ile karşılaştırmalı olarak iki silindirli, direk enjeksiyonlu bir dizel motor kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Moment 1400 l/min'de biyomotorin kullanımı ile % 2 efektif güç ise 2400 l/min' de % 3,2 oranında azalmıştır. Isıl değerinin motorine oranla düşüklüğü sebebiyle biyomotorin yakıtı ile özgül yakıt sarfiyatında 1800 l/min'de % 6 oranında artış belirlenmiştir. Motorine oranla daha iyi yanma özelliği gösteren biyomotorin yakıtı ile özgül enerji sarfiyatı ise azalma göstermektedir. Performans karakteristikleri karışım içindeki biyomotorin oranı ile değişmektedir. Bunun yanında deneysel verilerle çizilen motor gücü kontur diyagramından türetilen paraboloid ve gaussian matematiksel eşitlikleri ile işlem parametrelerine bağlı olarak motor gücü tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak, hesaplanan ve deneysel verilerden elde edilen sonuçların birbirine çok yakın değerler gösterdikleri belirlenmiştir (Karabektaş, 2004).

Haşimoğlu vd., tarafından yapılan çalışmada, önce dizel yakıtı ve ayçiçek yağından üretilmiş biyodizel direkt püskürtmeli, aşın doldurmalı, dört silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Daha sonra motorun silindir

kapağı ve supapları 0,35 mm kalınlığında yitriumla stabilize zirkonya (Y203Zr02) ile kaplanarak motor DIK (düşük ısı kayıplı) duruma getirilmiştir.

Bu durumda sadece biyodizel yakıt olarak kullanılmıştır. DIK motorda biyodizel kullanılmasıyla motor momenti ve gücü standart motora göre orta hızlarda artmıştır. Özgül yakıt tüketimi standart motorda biyodizel kullanıldığı duruma göre her devir aralığında azalmıştır. Duman emisyonu standart motorda dizel yakıtı kullanıldığı duruma göre özellikle orta ve yüksek hızlarda düşmüştür. Egzoz gaz sıcaklığı standart motorda biyodizel kullanıldığı duruma göre artmıştır. NO_x emisyonu standart motora göre bütün hızlarda artmıştır (Haşimoğlu vd., 2004).

Çetinkaya ve Karaosmanoğlu tarafından yapılan çalışmada kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorinin motor ve jeneratör performansının incelenmesi hedeflenmiştir. Testler Anadolu Motor İstanbul' da gerçekleştirilmiştir. Farklı motor yüklerinde kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorin ve No.2 Dizel yakıtı için güç üretimi, yakıt tüketimi, emisyon, egzoz sıcaklığı, yağ sıcaklığı ve basıncı gibi Dizel motoru performans parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorinin, tarımsal uygulamalarda ve kapalı alanlarda kullanıma uygun alternatif-çevre dostu jeneratör yakıtı olduğu sonucuna varılmıştır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Altıparmak vd., tarafından yapılan çalışmada, ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Ayçiçek yağı metil esteri, kurulan reaktör düzeneğinde üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ayçiçek yağı metil esteri direk püskürtmeli tek silindirli deney motorunda herhangi bir değişiklik yapılmadan tam yük şartlarında direk olarak test edilmiştir. Ayçiçek yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda ölçülen moment, güç ve özgül yakıt tüketimi gibi performans değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. CO emisyonları ve ısı absorpsiyon katsayısı değerlerinin dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Egzoz gazlarında SO_x emisyonları tespit edilememiştir (Altıparmak vd., 2004).

Çanakçı tarafından yapılan çalışmada, dizel motorlar için alternatif bir yakıt olan biyomotorin; bitkisel yağlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir hammaddelerden üretilebilmektedir. Biyomotorin toksik etkisi

olmayan, biyolojik olarak doğada bozunabilir, yapısında oksijen bulunduran, kükürt içermeyen ve yenilenebilir bir yakıttır. Birçok dizel motor üretim firması bu yakıtı ürettikleri motorlarda, herhangi bir değişiklik yapmaksızın, kullanabilme garantisi vermektedir. Bununla birlikte, biyomotorinin setan sayısı, ısı değeri, kinematik viskozitesi ve yoğunluğu gibi yakıt özellikleri yanmayı dolayısıyla motor performans ve emisyonlarını etkileyecektir. Bu çalışmada, soya yağından üretilen biyomotorinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri petrol kökenli No. 2 dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Testler dört silindirli, turbo şarjlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru üzerinde, 1400 d/d için tam yükte, yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, biyomotorinin dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır (Çanakçı, 2004).

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

Yıldırım vd., tarafından yapılan deneysel çalışmada, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilişliği test edilmiştir. Fındık yağı metil esteri, tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 1800 - 3200 l/min arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Deneylerde motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda ölçülen moment, güç ve özgül yakıt tüketimi gibi performans değerlerinin dizel yakıtı ile elde

edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. CO ve duman emisyonlarının dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük ölçülmüş ve bununla birlikte SO_x emisyonlarına rastlanmamıştır (Yıldırım vd., 2004).

Endüstrileşme ve motorlu taşıtlardaki artış petrol ürünlerine olan talebi artırmıştır. Petrol rezervlerinin sınırlı olması ve artan talep nedeniyle otomotiv alanında da alternatif yakıt arayışları son yıllarda oldukça hız kazanmıştır. Alternatif yakıt olarak Alkol, Hidrojen, Bitkisel yağlar, LPG, Doğalgaz gibi ürünler yakıt olarak kullanılabilir. Bu yakıtların içerisinde bitkisel yağlar önemli bir yer oluşturmaktadır. Bitkisel yağların saf olarak kullanılması, motor parçalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkisel yağların alternatif motor yakıtı olarak kullanılmalarında karşılaşılan en önemli iki sorun, bitkisel yağların yüksek viskoziteleri ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimleridir. Alternatif yakıt olarak kullanılan yağlar motor karakteristikleri açısından dizel motorlarında kullanmaya daha uygundur. Bitkisel yağların motorin ile karıştırılarak dizel motorunda kullanılması halinde motor performansında düşme olmamakta, buna karşılık is emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Bitkisel yağlar ester haline dönüştürülerek motorlarda kullanılmakta ve hacimsel olarak karışım oranı % 25-50-75 olarak yaygın halde kullanılmaktadır. Bu çalışmada bitkisel yağların motorlu taşıtlarda kullanılabilirliği ve emisyonlara (CO , NO_x , CO_2 , O_2 ve is)olan etkileri araştırılmıştır (Kuş vd., 2004).

Usta vd., tarafından yapılan çalışmada, fındık yağı rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stoğu ile kullanılmış ayçiçek yağı karışımından asit (sülfürik asit) ve baz (sodyum hidroksit) katalizörler ile metanol kullanılarak bir biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizelin %5, 15 ve 25 oranlarında (hacimsel) dizel yakıt (No.2) ile karışımlarının ön yanma odalı bir turbo dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir (Usta vd., 2004).

Scherer , tarafından yapılan çalışmada, motor verimini arttırmak ve EU4-5'in zorunlu olan egzoz gaz sınırlarını karşılamak için sıvı hareketini gözlemleyen yeni aletler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada asit metil esterler, etanol ve biyodizel gibi alternatif motor yakıtlarının yoğunluklarındaki

değişim kararlılığını gösterebilen yeni protatip bir IR-sensörü kullanımının ilk sonuçları sunulmuştur (Scherer , 2004).

Brewster et aL., tarafından yapılan çalışmaya göre, yaygın olarak kullanılan alternatif otomotiv yakıtlarının dönüşümü iki sebebe bağlıdır. Bunlar; alternatif yakıtları geliştirecek altyapı sistemleri ve araç sahiplerinin sosyal durumlarıdır. Yapılan bu çalışmada kitlesel medyanın oynadığı roller, alternatif yakıt üzerindeki kültürel etkiye sahip ve önceki alternatif yakıtların durumundaki kullanım yaygınlığının etkisi hakkındaki düşünceleri sağlayan bir algoritma modelini sunulmuştur (Brewster, 2004).

Anton et aL., Tarafından yapılan çalışmada, bir alternatif yakıt olan biyodizelin avantajları ve onun üretimindeki problemler özetlenmiştir. Katı asit katalizatörleri kullanılarak yağ asitlerinin esterleştirme yoluyla biyodizel üretimini incelemişlerdir. Ana problem, aktif, seçici ve sabit süreç durumlarında olan uygun bir katalizör bulunmasıdır. Değişik katı asitler (zeolitler, iyon değişimi reçinesi ve karışık metaloksitler) 130-180 derecede metanol, propanal ile iki etil heksanal oniki karbonlu asitin esterleşmesiyle katalizör edilerek ayrıştırılmıştır. En fazla önerilen aday sülfatlaşmış zirkonya olduğu bulunmuştur. Bunun yüzey gerilimlerine ve termal ayrışmanın katalizöre uygunluğu test edilmiştir (Anton,2005).

Michael et aL., tarafından yapılan çalışmada, biyodizelin üretimi üzerine literatürde bulunan bütün bilimsel çalışmalar, bitkisel yağların seyreltme yönteminden daha çok, yağ asitlerinin esterleştirilmesiyle ilgilidir. Ancak endüstriyel ilgi daha çok yağ asitlerinin ayrıştırılarak biyodizel elde edilmesi yönündedir. Bu şekilde biyodizel üretimi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kurulmuş model denklemi bir küme içindeki bitkisel yağların metanoliz oranını veya sürekli bir nükleer reaktör ve biyodizel üretimi için kararlı olan en uygun durumları tahmin etmek için kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Michael, 2005).

Bondioli , yaptıkları çalışmaya göre, ısıtma sistemindeki yakıtlar veya dizel yakıtları olarak kullanılan metil esterlerin yağ asidi içindeki küçük miktarlarda mevcut olan serbest gliseronlar motorlarda ve ısıtma sistemlerinde bazı hataların sebebi olarak gösterilebileceğini ifade etmişlerdir. Buna göre bazı metodların biyodizel içindeki serbest gliseronlarının gezinmelerin saptanabileceğini

kanıtlamaya çalışmışlar. Ve onların çoğunun gaz kromatografisi teknikleri üzerine yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Mevcut olan metodları bir daha gözden geçirdikten sonra yeni bir prosedür formaldehidin hazırlanması için temel gliseronun oksidasyon periyodu üzerine kurmuşlar. Bu metod son derece basit, ekonomik ve pratik bir yöntemdir. Ayrıca yeterince güvenilir olduğu görülmektedir (Bondioli, 2005).

- Türkiye’de Biyodizel Kullanımı

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.

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

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 üretilmektedir. Türkiye’nin petrol tüketiminin 2006 verilerine göre 28.000.000 ton olduğu göz önüne alındığında tüm imkanlar seferber edilirse ve %100 saf biyodizel yakıtlar kullanılırsa tüketiminin %6,8’sini karşılayabildiği görülebilir.

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 kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyomotorin kullanımı yararlı olacaktır.
- İlk aşamada motorine %2–20 değişen oranlarında biyomotorin katılarak kullanmak yakıta kademeli geçişi sağlayacaktır.

➤ 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 yağlardan 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” standardı 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 “Biyoenenerji Proje Grubu” oluşturulmuş, bu grup, konuya ilişkin olarak “Türkiye–Biyodizel Kullanımı” konusunda senaryo çalışmaları yapmış ve pilot ölçekte biyodizel üretim sistemi ve laboratuvarı 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 bütıl 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 yayımlanan “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 bütıl 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. Akaryakıtta katkı maddesi ilavesi sadece rafinerici, dağıtıcı ve ihrakiye teslim lisansı sahiplerince yapılabilir. Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından akaryakıtı ilave edilecek olan marker ve katkı maddelerinin ulusal markerin özelliklerini bozmayacak nitelikte olması zorunludur. Rafinerici, dağıtıcı ve ihrakiye teslim lisansı sahipleri, akaryakıtı 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 faaliyette 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.

➤ 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 nadasa 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 kullanımına 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.

► Dünya’da Biyodizel Kullanımı

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.

Tablo 3.6 : Avrupa’daki Yıllık Biyodizel Üretimi (2006)

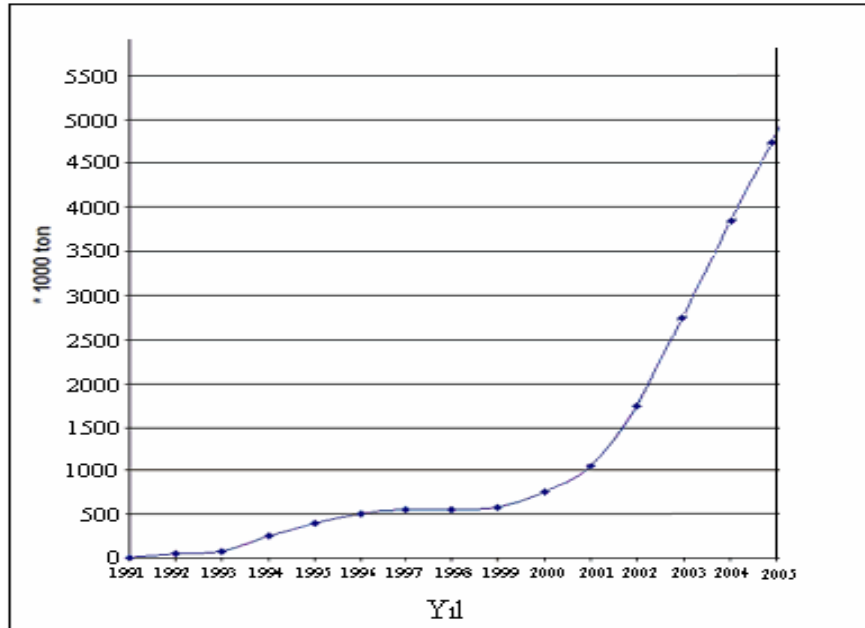
Ülke	Ton Biyodizel
Almanya	2681000
Fransa	775000
İtalya	857000
Türkiye	450000
İngiltere	445000
ÇekCumhuriyeti	203000
Polonya	150000
Portekiz	146000
Avusturya	134000
Slovakya	89000
Belçika	85000
Danimarka	81000
Yunanistan	75000
Toplam	6069000

Avrupa'daki biyodizel üretimi hacminin yaklaşık %90'ını karşılayan European Biodiesel Board'un verilerine göre 2006 yılında Avrupa'da biyodizel üretiminin ülkelere göre dağılımı Tablo 3.2’deki gibi olmuştur:

2006 yılındaki 6.069.000 tonluk toplam üretim 2005 yılı verilerine kıyasla %90,6’lık bir artışa tekabül etmektedir. Avrupa’da biyodizel sektörünün bu hızlı büyümesinin temelinde iki neden yatmaktadır. Öncelikle 1990'larda uygulanan genel tarım politikası, yemek dışı amaçlarla üretilmiş yağ bitki tohumu üretimini sübvans ederek biyodizel üretimi için hammadde zenginliği yaratmıştır. Biyodizelin fosil yakıt dizellerin tabi olduğu bir çok vergiden muaf olması da diğer bir nedendir. Bununla birlikte AB, CO₂ emisyonlarındaki tehlikeli artış göz önünde bulundurarak 1997 Kyoto konferansında; 1990 yılı verileri baz alınarak, 2010 yılında CO₂ emisyonlarında %5’lik bir azalma hedefi belirlendi. Söz konusu hedef doğrultusunda uygulanacak enerji politikası ise çevre dostu yenilebilir enerji kaynaklarını desteklemeyi içeriyor. Bu bağlamda fosil dizel yakıtı 2005 yılında %2, 2010 yılında %5,75 biyodizel harmanlanması zorunlu hale getirilmesi kararlaştırıldı. 2020 yılında ise toplam enerji kaynaklarından %20’sini yenilebilir enerji kaynakları 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.

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.



Şekil 3.4 : Biyodizelin 1991- 2005 Yılları Arasında Dünya'da Üretim Miktarları

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 geliştirdiğı 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.

- 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.

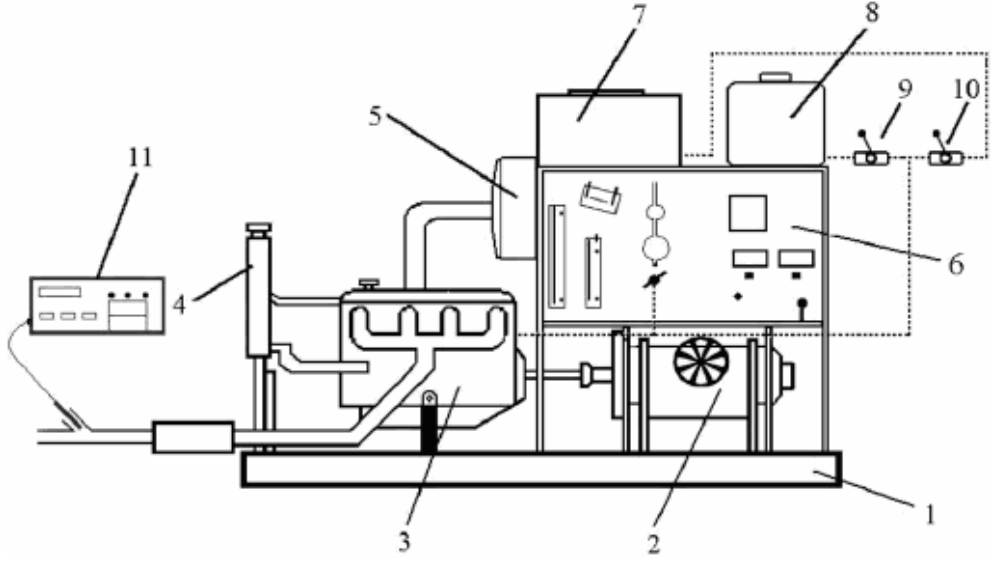
Tütün tohumları tütün yaprağı üretiminin bir yan ürünüdür.Yazarın bilgisi dahilinde yapraklarının aksine, genel olarak tütün tohumları ticari bir ürün olarak değerlendirilmemektedir Fakat tütün tohumları önemli miktarda yağ içermektedir. Tütün tohum yağı yenilemeyen bir bitkisel yağ olmasına rağmen biyodizel 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 SO₂ 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.

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.

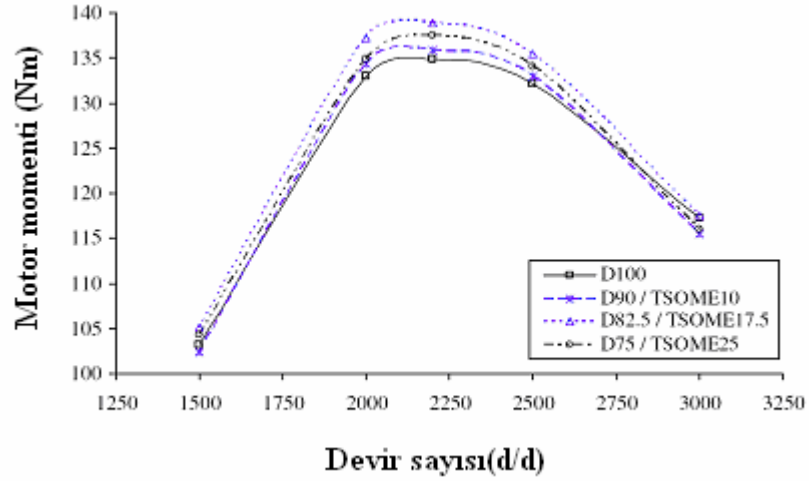
Dizel / TSOME karışımlarında ise motor ralanti halinde çalışırken dizel yakıt vanası kapatılıp karışım vanası açıldı. Daha sonra deney karışım içinde gerçekleştirildi. Karışım deneyinden sonra karışım vanası kapatılıp dizel vanası açılır ve motor yakıt hattında yakıt pompasında ve enjektörlerde karışım temizlene kadar çalıştırıldıktan sonra stop edildi.



Şekil 3.5 : 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

Şekil 3.6’da ve Şekil 3.7’de TSOME ilavesinin motor momentine ve gücüne 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 ısı 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 açıklanabilmektedir.

TSOME’in yoğunluğu %5,4 kadar dizel yakıttan yüksektir, buna bağlı olarak karışımların yoğunluğu da dizel yakıtından yüksektir. Silindirlere aynı hacme 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 İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Motor Momentine Etkisi

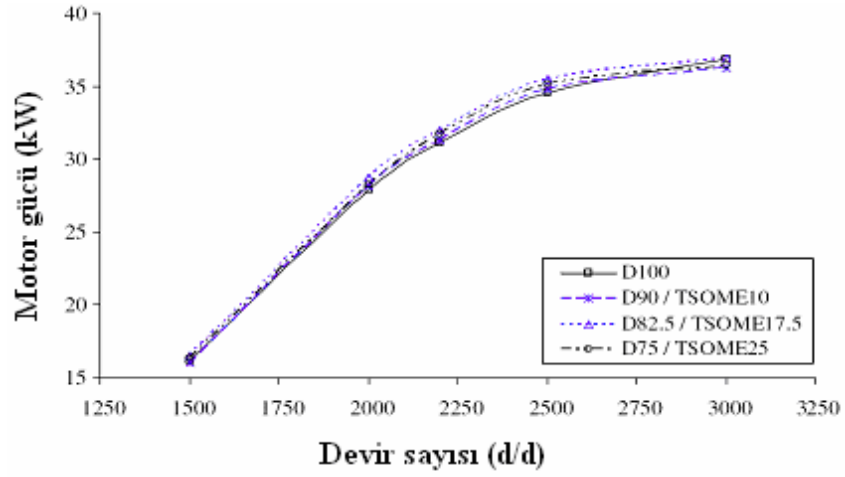
Maksimum motor momenti , motor devri 2200 d/d iken karışımla elde edilmiştir. Dizele TSOME ilavesiyle başlarda motor momentinde ve gücünde yukarıda açıklanan sebepler nedeniyle artışlar olmuştur.

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.

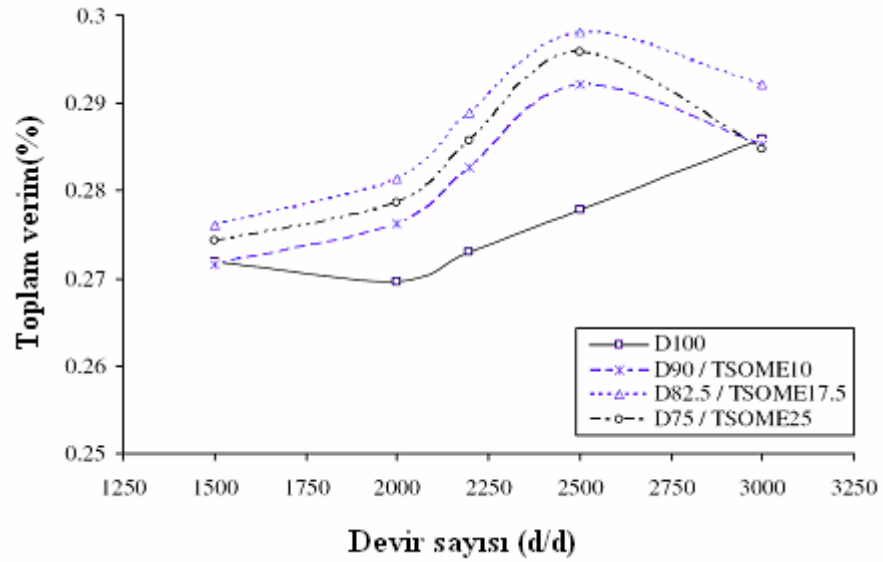
Böylece karışımlarda biyodizel içeriği büyük önem kazanmıştır.TSOME ilave etmek dizel yakıtın viskozitesini bir miktar artırmış olsada güç düşmesi ancak yüksek orandaki TSOME karışımlarında TSOME'nin düşük alt ısı ısı değeri sebebiyle gerçekleşmektedir.

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.



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



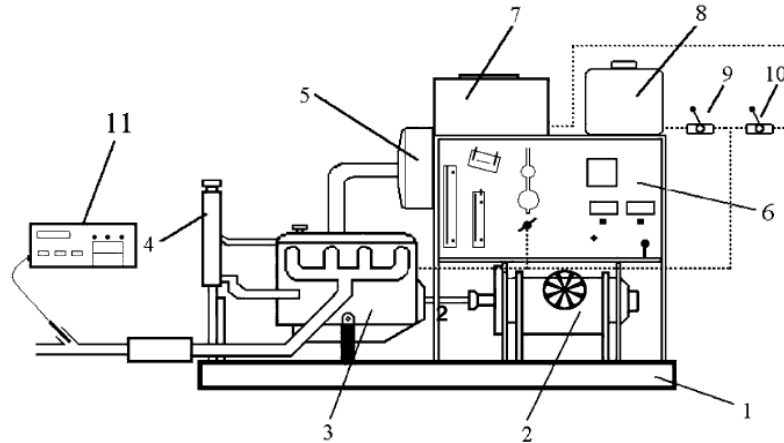
Şekil 3.8 : TSOME İlavesinin Motor Tam Yük Durumunda İken Toplam Verime Etkisi

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 artıktıkça 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.

- 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.



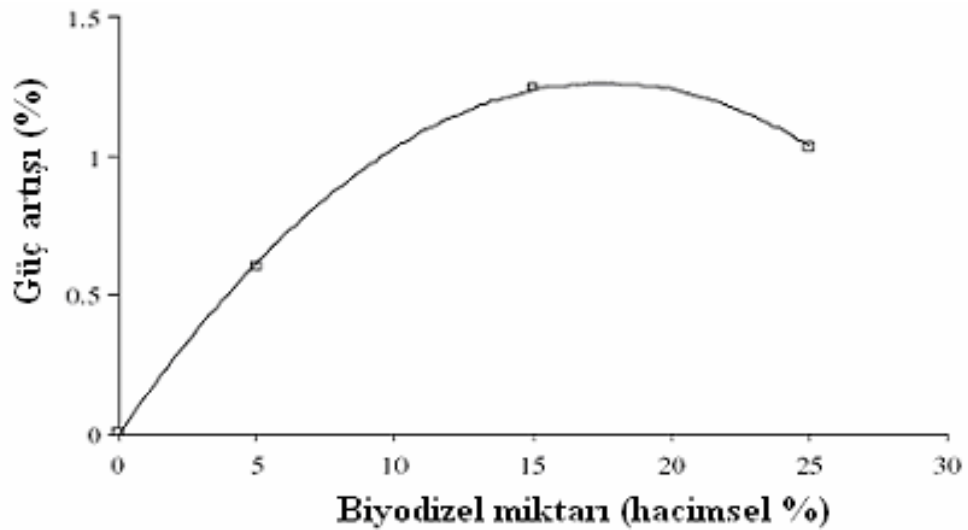
Şekil 3.9 : Cussons P8601 Motor Test Düzeneği 1-Deney düzeneği şasisi, 2-Hidrokinetik dinamometre, 3-Deney motoru 4-Soğutma sistemi,5-Hava giriş tankı, 6-Kontrol paneli, 7-Dizel yakıt tankı, 8-Alternatif yakıt tankı (biyodizel), 9-Biyodizel yakıt hattı kontrol valfi, 10-Dizel yakıt hattı kontrol valfi,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

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.

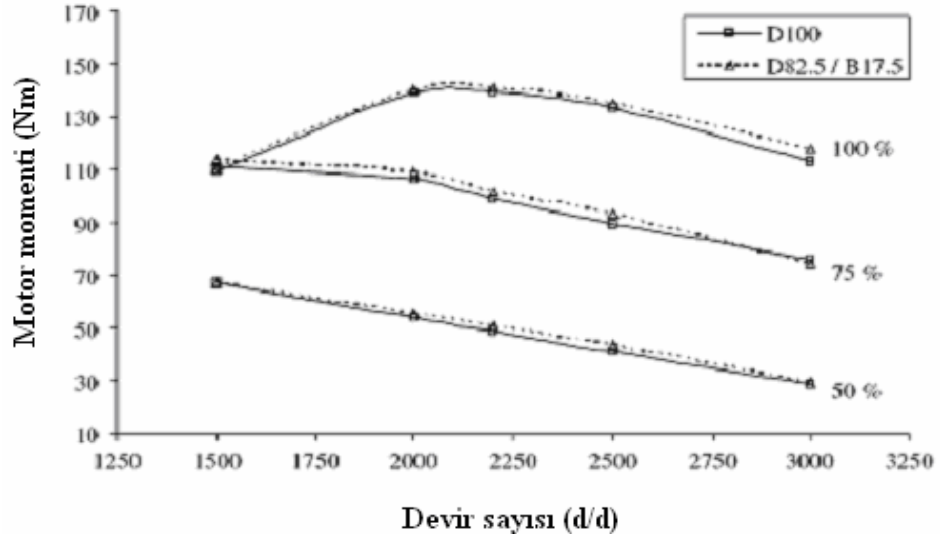
Deneyisel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; bir dizel motor motor, bir dizel test yatağı, bir gaz analizeri ve bir ses ölçüm cihazı bulunmaktadır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.9 'da gösterilmiştir.

Tablo 3.7 : Deney Motorunun Teknik Özellikleri

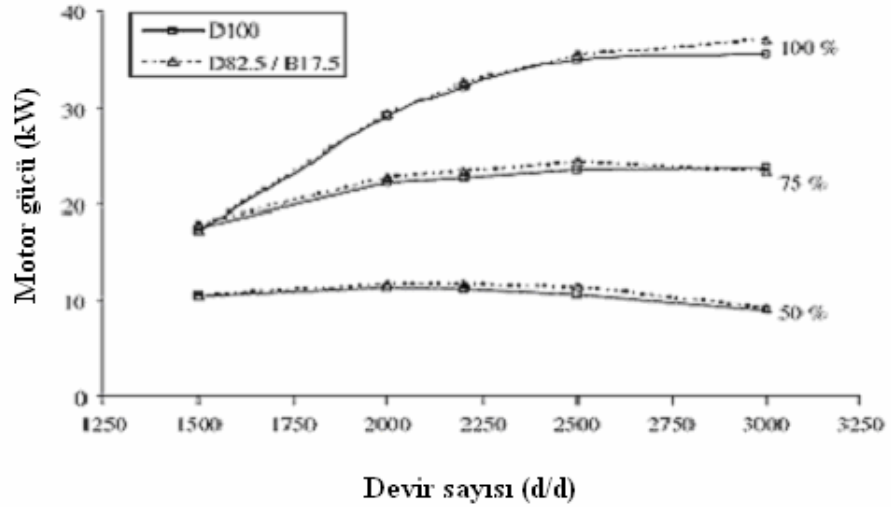
Motor Tipi	Ford XLD 418T, IDI (Ön yanma odalı), 4 Zamanlı, Turboşarjlı, Su Soğutmalı, Dizel
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	82.5 mm
Silindir stroku	82,0 mm
Silindir hacmi	1.753 litre
Sıkıştırma oranı	21.5/ 1
Max. motor gücü	55 kW (4500 d/d)
Max. motor momenti	152 Nm (2200 d/d)
Püskürtme pompa tipi	Distribütör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



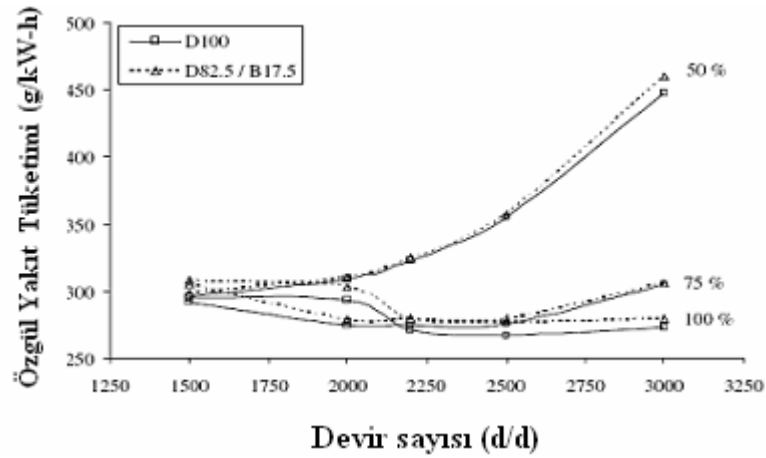
Şekil 3.10 : Biyodizelin Motor Gücüne Etkisi (Tam Yük – 2500 d/d'da)



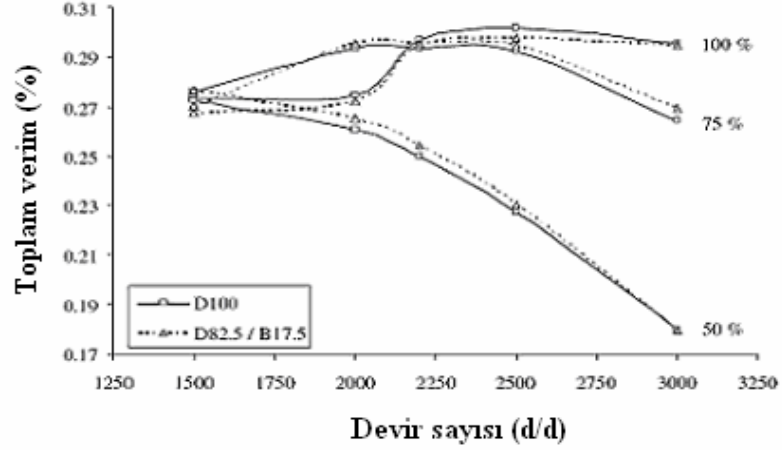
Şekil 3.11 : Biyodizelin Motor Momentine Etkisi (%100,%75,%50 yük durumunda)



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 yakıtı 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 ısı değeri dizel yakıtı göre daha düşük olmasına rağmen değişik hacimsel karışım oranlarında tüm tam ve kısmi yüklerde dizel yakıtı göre daha yüksek motor momentleri ve güç değerleri elde edilmiştir. %17.5'lik biyodizel katkısının maksimum güç ve toplam verimi sağladığı ortaya çıkmıştır.

c.) Biyodizel karışımının egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtından 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 yakıtı göre daha yüksek, yüksek hızlarda dizel yakıtı göre daha düşüktür. Kısmi yüklerde CO ve CO₂ emisyonları açısından arada önemli bir fark yoktur. Bu durum fakir karışıma bağlı olabilir. SO₂ emisyonlarının azalmasında biyodizel içinde düşük oranda kükürt olmasının önemli bir katkısı vardır. Tam yüklemde karışımın egzost sıcaklıklarındaki artış NO_x emisyonlarındaki artışı desteklemektedir. Diğer taraftan NO_x emisyonları azalan yüklerle 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.

3.1.2.2. Etanol

Etanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıtı 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 3.8 : Etanolün Bazı Önemli Özelliklerinin Dizel No. 2 ile Karşılaştırılması

Özellik	DİZEL NO:2	ETANOL
Yoğunluk (15 °C) kg/m ³	841,5	788
Viskozite (40 °C) cSt	2,9	0,67
Kükürt Miktarı (% kütleli)	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 yakıtı eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve alt ısı değeri 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:

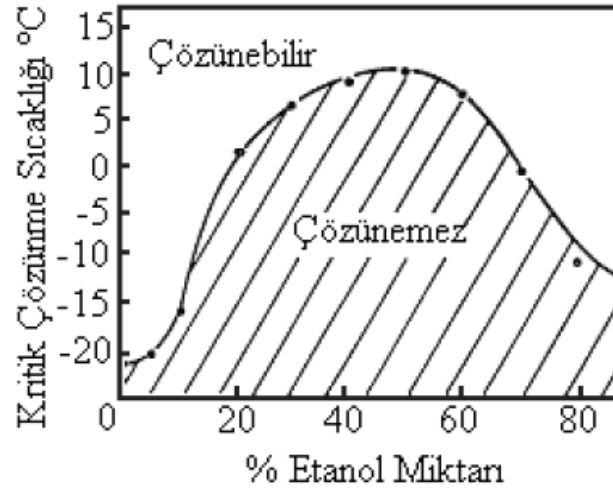
Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı (Reddy, 1999; Xiao 2000; Abu-Qudais et al. 2000; Ajav 1999; Bilginet 2002)

- Fumigasyon (hava emme hattına alkol püskürtülmesi) (Abu-Qudais, 2000; Ajav, 1999; Goering, 1992),
- Alkol- dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmekte) (Xiao, 2000; Satgede Caro , 2001; Asfar and Hamed 1998),

Çift püskürtme sistemi (her bir yakıt için ayrı püskürtme sistemi) (Noguchi et al., 1996; Rafiqul Islam, 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 kullanılabilir. Etanol-dizel yakıtı karışımları %20 oranlarına kadar motor üzerinde köklü değişikliklere ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir.

Etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir. Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlülüğü 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 çözünmektedir, 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, butanol 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

- Etanol Kaynakları

Endüstriyel amaçlı etanol, petrol ürünlerinden, çoğunlukla etilenin, sülfirik 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.

- Etanolün Üretimi

Etanol bir birinden çok farklı besin kaynaklarından, pek çok farklı yöntemle üretilir. Brezilya etanol üretiminde temel besin kaynağı olarak şeker kamışını

kullanırken, kaynaklar kısmında belirtildiği gibi pek çok farklı besin kaynağının kullanılması mümkündür.

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 olduğu için %95–96 saflıktan öteye gitmek mümkün değildir. Çözelti karışımı damıtmayı sürdürerek, %96'dan daha saf etanol elde edilmesi mümkün değildir.

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

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

- Dünya’da Etanol Kullanımı

- a.) 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.

b.) 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 karışımı benzin kullanabilme hedefine ulaşabilmek için, 2007 yılıyla birlikte, günlük 2.500.000 litre kapasiteye ulaşabilmeyi hedeflemektedir. Şu an için üretilen etanol yakıtı Kauka Vadisi'ne yakın, Bogota, Kali ve Pareira gibi büyük şehirlerde kullanılmaktadır. Henüz ülkenin tamamına yetecek kadar etanol üretimi yapılamamaktadır.

c.) 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.

- Etanole İlişkin Kanunlar ve Teşvikler

Brezilya, Kolombiya ve Birleşik Devletler'de, şeker kamışı ya da tahıllardan elde edilen etanolün kullanımı hükümet programlarıyla teşvik edilmektedir. Teşvikler bazı eyaletlerde 1973 Arap petrol ambargosundan sonra başlamıştır. Birleşik Devletler'de 1978 yılında yürürlüğe giren Enerji Vergisi Akdi ile biyoyakıtlara vergi istisnası getirilmiştir. Bu istisnanın yıllık karşılığının 1,4 milyar US\$ olduğu tahmin edilmektedir. Bir başka federe program ise etanol tesislerinin inşaatı 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.

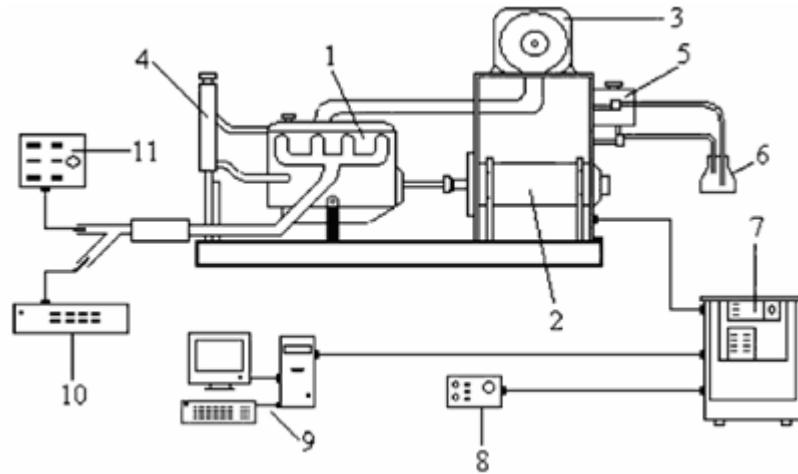
Avrupa Parlamentosu'nun 2003/30/EC nolu direktifi, fosil yakıtların biyoyakıtlarla değiştirilmesini teşvik eder. İngiltere'de, biyodizel gibi alternatif yakıtların vergilendirilmesi en az fosil yakıtlarınki kadar sıkıntılı iken, İngiliz Hükümeti, etanol dahil olmak üzere biyoyakıtların kullanımını özendiren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

- Dünya’da Etanol İçin Yapılan Performans Çalışmaları

Dünya’da etanol adına yapılmış alternatif yakıt çalışmalarına bakıldığında genel olarak bu çalışmaların daha çok etanolün benzin katkı maddesi üzerine yapıldığını görülmektedir. Bu çalışmada etanolün dizel motorlarındaki performansı üzerine olan etkileri ise ülkemizde bazı akademik çevreler tarafından araştırılmıştır. 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 ,Pamukkale Üniversitesi, İsmet Çelikten ,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 SO₂ emisyonlarında azalma olmuştur. Diğer yandan NO_x emisyonlarında ise %12,5 (%10 etanol içeren karışımda) ve %20 (%15 etanol içeren karışımda) artış olmuştur.Püskürtme basıncının artması ise özellikle 1500–2500 d/d aralığında CO ve is emisyonlarında azalmaya ve bir miktar motor gücünün düşmesine sebep olmuştur.

Şekilde görüldüğü üzere gibi 150 bar püskürtme basıncında her iki karışım içinde dizele etanol katılması ile motor momenti ve gücünde bir azalma gerçekleşmiştir. Motor momentinde ki azalma %10 etanol içeren karışım için %12,5, %15 etanol içeren karışım için %20 olmuştur.

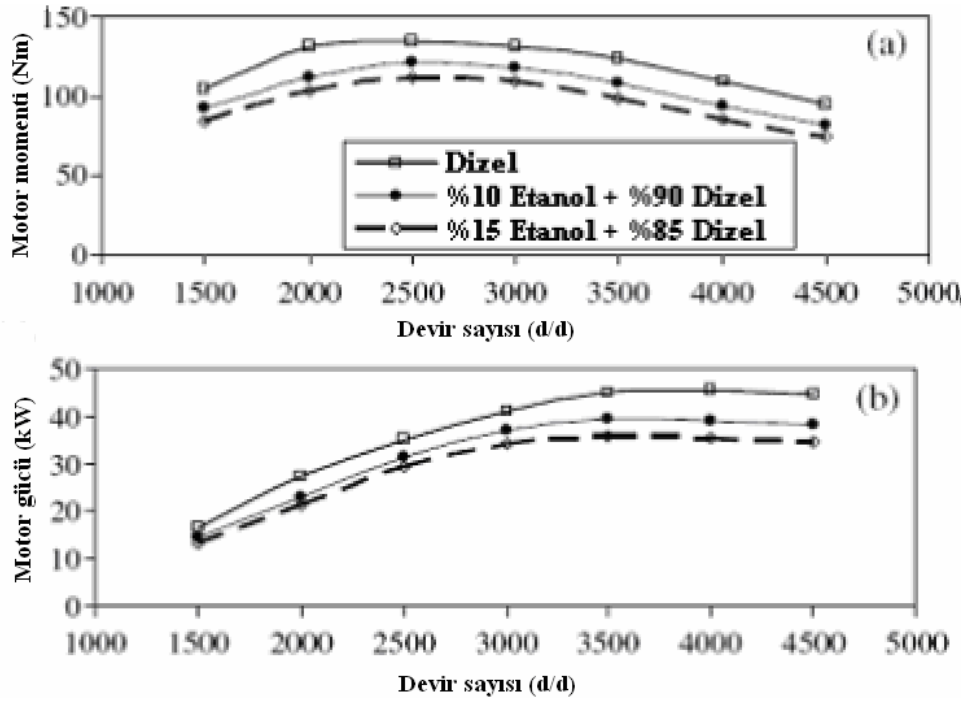
Bilindiği üzere motorda kullanılan yakıtın alt ısıl değerinin motor gücünde büyük etkisi vardır. Testlerde görüldüğü üzere düşük alt ısıl değere sahip etanol-dizel karışımlarının motor üzerinde hiçbir modifikasyon olmaksızın kullanılması sonucunda motor gücünde azalma gerçekleşmiştir.

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.

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



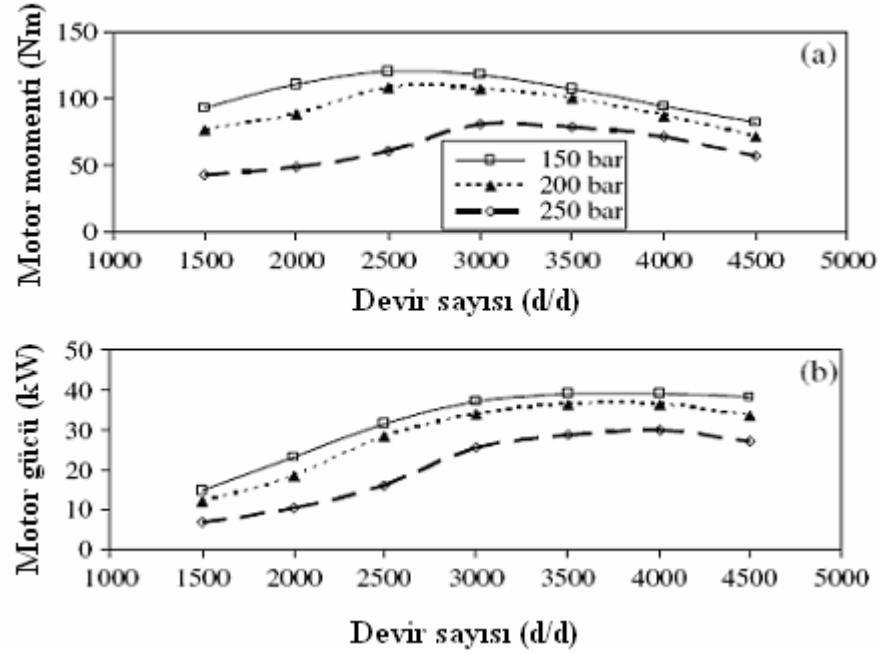
Şekil 3.17 : 150 Bar Püskürtme Basıncında Dizele Etanol Eklenmesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkisi

Etanol bu diesel 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 pozisyonundan sapmasıdır.

Bu sapma belirli yanma sistemleri için geçerlidir. Püskürtme basıncının artması tanecik çapının azalmasına ve etanol diesel karışımın hızlı bir biçimde buharlaşmasına sebep olur.

Bunun sonucunda 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 ısıнын, işe dönüşme işleminin verimsiz bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmuştur.



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

3.1.2.3. Eurodizel

Yakıtın en önemli özelliklerinden birisi de 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 sülfirik asit (H_2SO_4) oluşur.

$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 \quad [2.3]$$

Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfirik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürt temizlenebilir.

Son yıllarda gelişen ve dizel araçlarda sıkça kullanılan Common-Rail püskürtme sistemi için normal dizel yakıt standartlarında mazot kullanılması egzoz emisyonları ve motor ömrü açısından sakıncalı görülmektedir. İlk olarak Avrupa'da kullanılmaya başlanan Euro – Dizel yakıtların Türkiye'de ise 2005 yılından beri son nesil yakıt sistemlerinde kullanılabilmesi çalışmalarına hız vermiştir.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan ve Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından 27 Şubat 1995 tarihli Resmi Gazetede yayınlanmış TS 3082-EN 590 Motorin Standardı bulunmaktadır. Bu standartta motorinin kükürt içeriği azami 7000 ppm(% 0.7) dir. TSE tarafından 50 ppm kükürtlü motorini içerecek şekilde standart revizyon çalışmaları devam etmektedir.

2005 yılı başından itibaren Avrupa ülkelerine içerisinde azami 50 ppm(% 0.005) kükürt içeren motorin kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

Ülkemiz Rafinerilerinde ise 1 Ocak 2005 tarihinden itibaren 50 ppm kükürt içeren motorin üretimi başlamıştır.

- Euro-Dizel Yakıtın Faydaları

a.) Kükürt miktarı açısından % 0,7 kükürtlü motorine göre 140 kat diğer bir ifade ile %99,99 (6950 ppm) oranında azalma sağlamaktadır.

b.) Motorin içinde bulunan kükürdün yanması ile oluşan kükürt oksitler ve daha sonra oluşan sülfürik asit dolayısıyla partikül emisyon değerlerinde çok önemli miktarda azalma sağlanmaktadır. Yakıt içeriğindeki kükürt ile partiküler madde emisyon değerleri arasında ilişki dikkate alındığında motorin kükürt değerinde sağlanan %99,99'luk azalma, partikül emisyon değerlerinin tamamına yakınının yok olmasına neden olacaktır.

c.) Yakıt içerisinde bulunan yüksek miktardaki kükürt katalitik konvertör dönüşüm veriminde ciddi düşüslere ve tıkanmalara neden olmaktadır. 50 ppm (% 0,005 wt) kükürtlü motorin kullanımı ile bu problemler tamamen ortadan kalkmaktadır.

d.) Emisyon değerlerinde sağlanan iyileşme neticesinde, asit yağmurlarının oluşumu, bitki örtüsüne ve insan sağlığına verilen zarar minimum seviyeye düşürülmüş olacaktır.

e.) 50 ppm (%0,005 wt) kükürtlü motorin hem eski hemde yeni teknoloji araçlarda rahatlıkla kullanılabilecektir.

f.) Ülkemiz rafinerilerinde üretilen 50 ppm kükürtlü motorin kış aylarında max. -15°C , yaz aylarında +5 °C soğuk filitre tıkanma noktasına sahiptir. 50 ppm kükürtlü Euro-dizel kullanıcıları soğuk filitre noktasında sağlanan %100'lük bir iyileşme ile kış aylarında ürünün donma riskinden tamamen kurtulmaktadırlar.

Euro–dizel yakıtında farklı firmaların farklı oranlarda kullandıkları alkol (etanol) vardır. Bu sayede daha ince bir yakıt ve daha sessiz bir yanma sağlanıyor. Çok açık ifadesiyle dizel motor, içine konulan karbon içeren hemen hemen herşeyi yakacak bir mühendislik tasarımıdır.

Yani zeytinyağından tutun motor yağına kadar her türlü yüksek basınç altında yanabilir nitelikli karbonlu sıvıları içine eklenecek katkı maddeleri sayesinde yakabilecek bir tasarımıdır.

Euro–dizel yakıtlara genellikle katkı maddeleri katılmaktadır. Katkı ilavesinin faydaları şu şekildedir:

- Setan sayısında artış sağlamaktadır.
- Yakıt sistemlerinde korozyon oluşumu önlenmektedir.
- Çevre ve insan sağlığına zararlı CO, NOx, HC ve partiküler madde emisyonlarında önemli oranda azalma sağlamaktadır.
- Motorda mevcut birikintileri temizlemekte, devamlı kullanıldığında motoru temiz tutmaktadır.
- Araç depolarına dolumu sırasında köpürme olmamakta , araç kirlenmemektedir.
- CFPP (Soğuk filtre noktası) değerinde yaklaşık 5°C'ye yakın iyileştirme sağlayan ayrıca kimyasal ilave edilmektedir.

Euro–dizel yakıtın hazırlanması için yaktın kükürten arındırılması gerekmektedir.Bu arındırma işlemi nedeniyle ürünün üretim maliyeti artmaktadır. Kükürt yani sülfat yanma esnasında havadaki oksijen ve yakıttaki hidrojenle birleşek H_2SO_4 (kükürt asidi) oluşturmaktadır.

Bu asit yeni nesil dizel motorlar için aşındırıcı özelliği nedeniyle tavsiye edilmemektedir. Ayrıca çevre açısından da sülfür atığı ve partikül miktarı azaldığı için yakın (3–4 yıl) zamanda tüm dizel araçlar bu yakıtı kullanmaya başlayacaktır. Firmaların yakıtı ekledikleri koruyucu maddeler sayesinde silindir cidarında ve enjektörlerde tortu oluşumu engellenmektedir.

Tablo 3.9 : Türkiye’de Üretilen Otomobil Dizel Yakıtının Özellikleri

DİZEL YAKIT 7000 TS – 3082				
Tüpraş Kod Numarası : 400				
Özellik	Birim	Değer	Sınır	Test yöntemi (Standart)
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	820-860		EN ISO 3675 ENISO 12185
Aromatik yüzdesi	wt %	11	max	EN 12916
Parlama noktası	°C	55	min	EN 2719
Soğuk filitre noktası (CFPP)	°C			EN 116
Kış derecesi (a)		-15	max	
Yaz derecesi (b)		5	max	
Damıtma				EN ISO 3405
250 °C	hac. %	65	max	
350 °C	hac. %	85	min	
370 °C	hac. %	95	min	
Sülfür	mg/kg	2001-7000		EN ISO 8754
Karbon artığı	wt %	0,30	max	EN ISO 10370
Viskozite (40 °C)	Sbt.	2,0-4,5		EN ISO 3104
Bakır korozyonu (3 saat ve 50 °C)	%	No.1	max	EN ISO 2160
Kül	wt %	0,01	max	EN ISO 6245
Setan sayısı		46	min	EN ISO 4264
Su	mg/kg	200	max	EN ISO 12937
Partikül madde (PM)	mg/kg	24	max	EN 12662

Tablo2.1 ve Tablo2.2’de Tüpraş tarafından üretilen TS – 3082 Türk Standartları’na uygun 400 kod numaralı otomobil dizel yakıtı ile EN-590 Avrupa Birliği Standardına uygun 403 kod numaralı Euro-dizel yakıtın özellikleri yer almaktadır. İki yakıt da İzmit, İzmir ve Kırıkkale Rafinerileri’nde üretilmektedir.

Tablo 3.10 : Türkiye’de Üretilen Euro–Dizel Yakıtın Özellikleri

DİZEL YAKIT 50 EN–590				
Tüpraş Kod Numarası : 403				
Özellik	Birim	Değer	Sınır	Test yöntemi (Standart)
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	820–845		EN ISO 3675 EN ISO 12185
Aromatik yüzdesi	wt %	11	max	EN 12916
Parlama noktası	°C	55	min	EN 2719
Soğuk filitre noktası (CFPP)	°C			EN 116
Kış derecesi (a)		-15*	max	
Yaz derecesi (b)		5*	max	
Damıtma				EN ISO 3405
250 °C	hac. %	65	max	
350 °C	hac. %	85	min	
360 °C	hac. %	95	min	
Sülfür	mg/kg	50	max	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon artığı	wt %	0,30	max	EN ISO 10370
Viskozite (40 °C)	Sbt.	2,0–4,5		EN ISO 3104
Bakır korozyonu(3 saat ve 50 °C)	%	No.1	max	EN ISO 2160
Kül	wt %	0,01	max	EN ISO 6245
Setan sayısı		46	min	EN ISO 4264
Su	mg/kg	200	max	EN ISO 12937
Partikül madde (PM)	mg/kg	24	max	EN 12662

Tablo 2.2’deki değerler aynı zamanda Avrupa’da kullanılan dizel yakıtı yakın özellikler göstermektedir. Euro – dizel yakıtın Avrupa’da kullanılması ile 4 ana hedef gerçekleşmiştir:

- Sulfür Oranındaki Azalış

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



Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfirik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur.

İlk olarak 1996 yılında 500 ppm'e inen kükürt miktarı, 2000 yılında 350 ppm seviyesine inmiştir. Günümüzde ise bu oran 50 ppm'dir. Bundan sonraki hedef bu oranı 10 ppm düzeyine çekmektir.

- Setan Numarasındaki Artış

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin artmasıyla, 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.

Türkiye'deki Euro–dizelin setan sayısı 46 iken Avrupa'dakinin setan sayısı 2006 sonu itibari ile 51'dir. Hedef bu değeri 55'e yükseltmektir.

- Yakıt Yoğunluğundaki Azalış

Yakıtın yoğunluğu, partikül ve NO_x emisyonlarının oluşmasında en önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler. Yanma odasına fazla miktarda enjekte edilen yakıt, yani oluşturulan zengin karışım, yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresini azaltmaktadır. Ancak maksimum güç durumunda arzu edilen homojen

karışım büyük yoğunlukla sağlanamadığından yanma sonucunda karbon birikintileri fazla olur ve egzozdaki duman miktarı artarak isli bir görüntü verir.

Avrupa’da ve Türkiye’de üretilen Euro–dizelin yakıt yoğunlukları 820–845 kg/m³ aralığındadır.

- Aromatik Yüzdesindeki Azalış

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatiklerdir. Dolayısıyla birim hacim başına en yüksek ısı 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. Dizel yakıtı içerisindeki aromatik bileşenin oranının düşürülmesi, HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır.

Günümüzde Euro–dizel yakıtlarda aromatik yüzdesi %11 civarındadır.

4. DENEY AŞAMASI

4.1. Deney Motorunun Özellikleri

1965 yılında ÇELİK MONTAJ adı ile kurulmuş olan firma , üretim faaliyetine 1972 yılında başlamıştır. Bir ANADOLU GRUBU kuruluşu olan ANADOLU MOTOR halen şu konularda faaliyet göstermektedir :

- Üretimine Lombardini lisansı ile başlanan Antor tek silindirli dizel motorların üretimi , pazarlaması ve ihracatı
- Antor , Honda ve Lombardini benzinli ve dizel motorlu Antrac çapa makinelerinin , Antor çim biçme makinelerinin ve motopompların üretimi , pazarlaması ve ihracatı
- Lombardini benzinli ve dizel motorların ithalatı ve pazarlaması
- Honda güç ürünlerinin (benzinli motorlar , jeneratörler , motopomplar , dıştan takma deniz motorları ve benzinli motorlu tarım makinaları) Türkiye distribütörlüğü
- 200 kVA güce kadar benzinli ve dizel motorlu Antor jeneratör gruplarının üretimi ve pazarlaması
- Otomotiv sanayi parçaları alüminyum kokil döküm ve talaşlı imalatı
- Alüminyum parçaların ısıt işlemleri

1987 yılına kadar Oto-Par tarafından üretilen JAWA motosikletler ve PUCH mopedlerin çeşitli parçalarını üreten firma ,1987 yılında bu mamullerin üretimini tamamı ile üstlenmiş ve hızlı bir yerlileştirme süreci içine girmiştir. 1988-1993 yıllarında 4000 ad. JAWA ve 4800 ad.PUCH ile zirve noktalarına çıkan üretim, motosiklet üretimi için Honda Motors - Japonya ortaklığının kurulması ile 1996 yılında durdurulmuştur. Grup Honda ile ortaklığı Nisan 2002'de sona ermiştir . 1996 yılında , firmanın adı değiştirilmiş, 1997 yılbaşından itibaren de Lombardini motorlarının pazarlama ve satış sonrası hizmetler faaliyetlerini de bünyesine alarak eski pazarlama firması olan kardeş şirket AN-PA 'dan tamamiyle ayrı bağımsız bir

şirket durumuna gelmiş , Ocak 2000 sonundan itibaren iki şirketi aynı bir yönetim altında birleştirilmiş , tüm faaliyetler ANADOLU MOTOR çatısı altında toplanmıştır.Firma toplam 55.000 m^2 'lik bir arazi içindeki 24.000 m^2 kapalı alanda faaliyet göstermektedir.



Şekil 4.1 : Deney Motoru Resmi

Tablo 4.1 : Deney Motoru Teknik Özellikleri

Silindir Sayısı	1 adet
Yanma Odası Hacmi	22,3 cm ³
Silindir Hacmi	510 cm ³
İs Emisyonu(n=3000 d/dak)	3,5 Bosch Skalası
Hava Fazlalık Katsayısı	1,51
Volumetrik Verim	0,87
Sıkıştırma Oranı	17,5
Strok	90 mm
Piston Çapı	85 mm
Ortalama Piston Hızı	9 m/s
Güç(n=3000 d/dak)	8,41 kW
Güç(n=3000 d/dak)	11,43 BG
Moment(n=3000 d/dak)	27,03 N.m
Moment(n=3000 d/dak)	2,76 kgf.m
Özgül Yakıt Tüketimi(n=3000 d/dak)	258,0 g/kWh
Özgül Yakıt Tüketimi(n=3000 d/dak)	189,7 g/BGsaat
İs(n=3000 d/dak)	2,52

4.2. Motor Deneylerine İlişkin Genel Bilgi

Motorlar uygulamada çoğunlukla ya taşıtlarda, ya da stasyonier olarak (generatörlerde veya inşaat makinalarında) kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına göre motorlardan beklenen özellikler farklı farklıdır. Örneğin; bir taşıt motoru sabit gaz durumunda motor yüküne göre belirli bir alt ve üst devir sayısı aralığında çalışmalı ve bu aralıktaki performansı bilinmelidir. Öte yandan bir santral motoru; üretilen elektriğin belirli bir frekansta olması için, sabit devir sayısında çalışmalıdır.

Motorların bu farklı tür çalışma koşullarına uygun olarak, motor deneyleri de farklı olabilir. İçten yanmalı motorlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalar üç grupta sınıflandırılabilir:

1. Taşıt motorları deneyleri
2. Stasyonier motor deneyleri
3. Motorların geliştirme deneyleri

- Taşıt Motorları Deneyleri

Bir motorun; yapımcı firmanın garanti ettiği karakteristik özellikleri gerçekleyip gerçeklemediğinin kontrolüdür.

Taşıtlarda motorun ürettiği güç, güç aktarma donanımı (kavrama, dişli kutusu, diferansiyel ve akslar) tarafından tekerleklerle iletilir ve taşıtın hareketini sağlar. Taşıtların kalkış ve duruşlarında ve çeşitli yol koşullarındaki hareketlerinde gerekli döndürme momentleri ve devir sayıları farklı farklıdır. Motorun, taşıtın çalışma koşullarına uyum sağlayabilmesi için , değişik yüklerde (moment veya ortalama efektif basınç) ve devir sayılarında çalışması gerekir. Bu nedenle taşıt motorları, sabit yük durumlarında değişik devir sayılarında denir.

Ölçülen değerler kullanılarak efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim gibi çeşitli teknik büyüklükler hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu değerler devir sayısına bağlı olarak eğriler şeklinde veya performans eğrileri biçiminde çizilir.

- Stasyonier Motor Deneyleri

Elektrik santralleri, şantiye ve inşaatlar gibi alanlarda kullanılan stasyonier motorların yükleri sabit kalan belli bir çalışma hızında en düşük değerden başlamak

üzere en büyük değere kadar değişir. Deneyler muhtemel çalışma hızları göze alınarak yapılmalıdır.

- Motorların Geliştirme Deneyleri

Motorları gelişme çalışmaları, çeşitli yapısal (konstrüktif) ve işletme özelliklerinin motor karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi işlemidir. Bu çalışmalarda değişik yük ve hızlarda sıkıştırma oranı, ateşleme avansı, yakıt–hava oranı gibi parametrelerin motor performansına, egzoz emisyonlarına, yakıt tüketimine vb. üzerine olan etkileri belirlenir.

4.3. Deneylerin Uygulanma Şekli

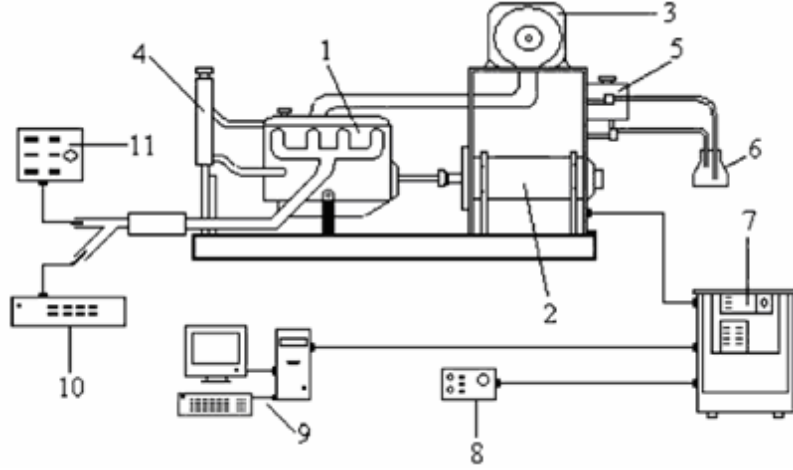
Yapılan çalışmanın amacı, motorda yenilenebilir alternatif olarak kullanılabilen biyodizel ve etanol yakıt karışımlarının farklı karışım oranlarında kullanılması durumlarında performans deneylerine bağlı performans karakteristiklerinin ne gibi değişimlere uğradığının saptanmasıdır.

Bu performans karakteristikleri şunlardır:

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

Motorun bu karakteristiklerinin bulunmasında Eddy-Current tipi 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 farklı yakıtların motor performansı üzerine etkileri ortaya konmuştur.



Şekil 4.2 - 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

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 Yükleme Sistemleri

Motorların performans karakteristiklerinin ($N_e, M_d, b_e, P_{me} = f(n)$ eğrileri) tespiti için motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekir. Yükleme sistemleri genelde “fren” adını almakta olup motorun çıkış miline uygulanan momente “yük” adı verilir. Motorun yüklenmesi sırasında motorun çıkış milindeki yüke eş değerde bir karşı yük uygulanarak motor miline zıt yönde bir durdurma momenti ile motor frenlenmeye çalışılır. Bu frenleme

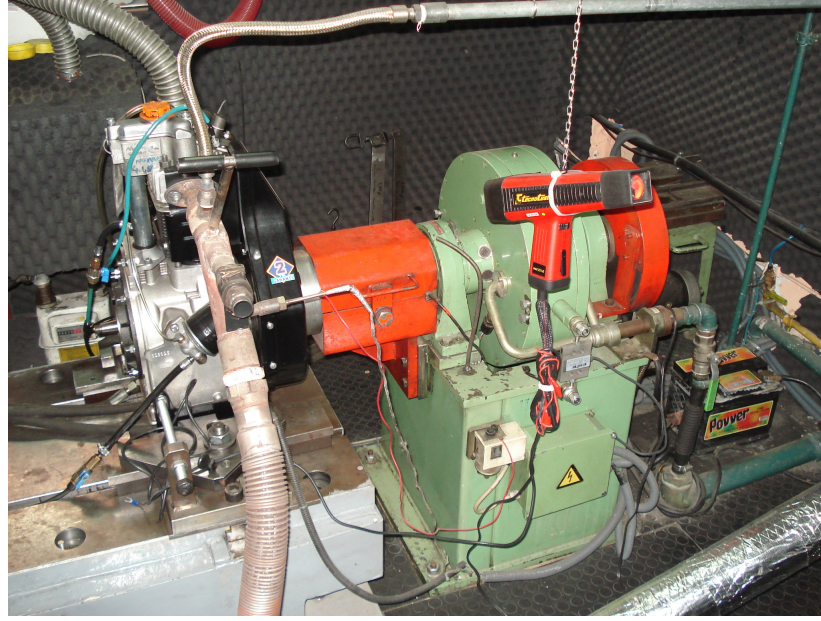
sırasında motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş veya güç bulunabilir.

Elektromanyetik frenler motor milindeki mekanik enerjiyi elektromanyetik etki ile ısı enerjisine dönüştürerek motor milinin frenlenmesini ve motorun yüklenmesini sağlar.

4.5. Motor Yükleme Sistemlerinin Ölçüm Şartları

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.
- Fren kalibrasyonu yapılmalıdır.
- Marşa basıldıktan sonra motor rodajı yapılarak motor 3000 devirde bekletilmelidir.
- Daha sonra 200 devir aralıklarla motor fren ile yüklenilerek değerler not edilmelidir.
- 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.



Şekil 4.3 – Deney Düzenegi

Tablo 4.2 - Deney Motorunun Rodajı

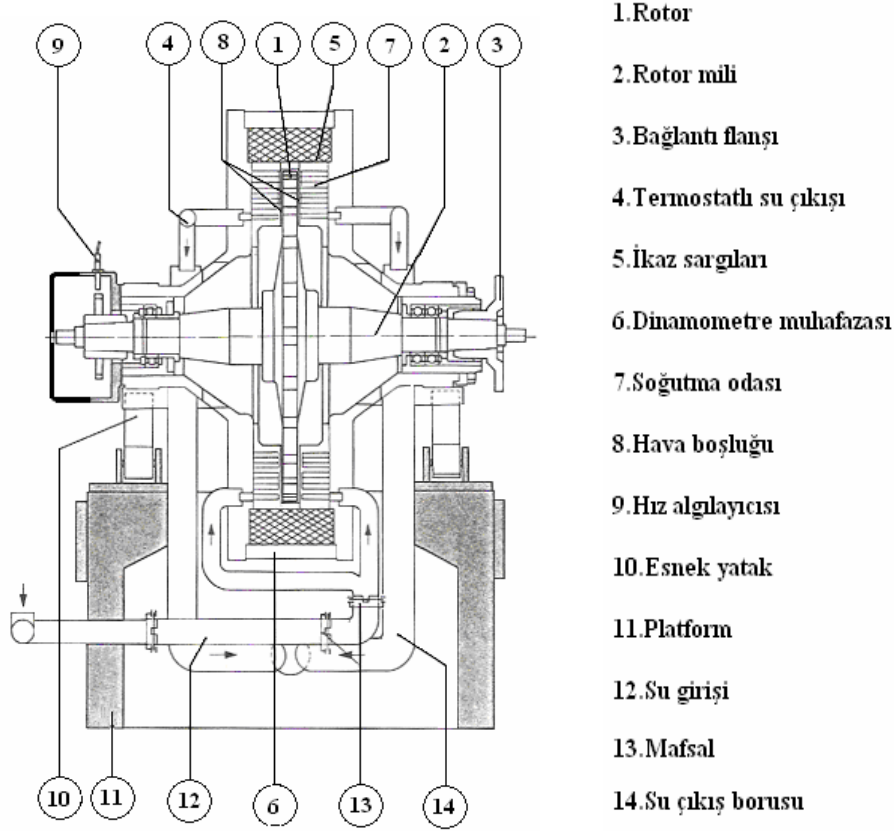
MOTOR RODAJI		
SÜRE(dk.)	DEVİR	GÜÇ(BG)
0. - 5.	1200	0,6
5. - 10.	1500	1
10. - 15.	2000	2,7
15. - 20.	2500	5,4
20. - 25.	2800	7
25. - 30.	3000	TAM GAZ

Ek olarak; standart motor tam gazda 80-90 °C 'de 9,8-10,8 BG vermektedir. Ama deney yaptığımız motorunun silindir kafası değiştirilmiştir. Ayrıca püskürtme avansı 25 KMA⁰ 'dan 17,5 KMA⁰ 'ya indirilmiştir. Enjektörün püskürtme basıncı 190-200 bar arasındır. Enjektör meme ucu da yanma odası içerisine 1,25 mm sokulmuştur.

Fuko akımları şeklinde harcanan elektrik enerjisi rotor ve statoru ısıtacağından soğutulmaları gerekir. Bu tip yükleme sistemlerinde stator sargılarını beslemek için kullanılan doğru akımı yaratacak bir elektrik şebekesi veya doğru akım üreticine ihtiyaç vardır.

Elektromanyetik dinamometreler ebatlarına göre oldukça yüksek güç üretme kapasitesine sahiptir. Eddy Current dinamometrelerinin araştırma laboratuvarlarında oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Bu dinamometrelerde üretilen elektrik gücü, ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 4.4'de Eddy Current dinamometresinin genel görünüşü verilmiştir. Bu tip dinamometreler göreceli olarak basit ve robotik bir

yapıya sahiptir (Plint ve Martyr, 1995). Bu tip dinamometrelerin yükleme sistemlerinde stator sargılarını beslemek gerekir. Bu işlem için gerekli olan doğru akım bir elektrik şebekesi veya bir doğru akım üreticinden sağlanır. Bu tip dinamometrelerde dinamometrenin büyüklüğüne ve sistemin ayarlarına göre tamlık, tam yüklemde $\pm 3\%$ ila $\pm 5\%$ arasında değişir (Magtrol, 2005).



Şekil 4.4 : Elektromanyetik Fren

Şekil 4.8’de bir elektromanyetik frenin prensip şekli görülmektedir. 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 (dişler) açılmış bir rotor bulunur. (Şekil 4.8) 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 rotorda tersine Fuko akımları ve manyetik alan oluşturur ve bir karşı moment doğar.

Eddy Current dinamometreleri ile hidrolik dinamometrelerin farkları şunlardır:

Hidrolik dinamometrelerin düşük devirlerde çalışma alanları Eddy Curent'a göre daha azdır. Hidrolik dinamometrelerin kontrol sistemi Eddy Current' a göre daha

zordur. İstenilen yükleme koşuluna hemen cevap veremezler. Aynı yükleme koşulu için Eddy Current dinamometresi hidrolik dinamometrelere göre daha hantal ve nispeten daha randımsızdır. Aynı zamanda Eddy Current dinamometresi çok pahalı ve kompleks bir yapıya sahiptir (Superflow, 2005).



Şekil 4.5 - Eddy-Current Dinamometresi

Deney motorunun yüklenmesi Schenk 230 kW marka ve tip bir elektromanyetik fren ile yapılmıştır. (Şekil 4.9)

4.6. Ölçümü Yapılan Motorun Performans ve Isı Karakteristikleri

Motorun yüklenerek çıkış milindeki motor momentinin belirlenmesi ile performans karakteristikleri olan motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim değerlerine ulaşılır. Bu değerlere ulaşılırken bir takım formülasyonlardan yararlanılmıştır. Elde edilen tüm parametreler standart ortama α_d katsayısı aracılığıyla taşınır. Deneyler sabit motor momentinde yapıldığı için frenin oluşturduğu yük kuvveti de sabit bir değerde tutulmuştur. Sonuçta yapılan bu referans deneyinde oluşan veriler bize söz konusu altı enjektör memesinin verdiği şu performans karakteristiklerinin kontrol edilmesini sağlar:

- Motor Gücü Kontrolü
- Özgül 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

$$M_d = F \cdot l \quad [4.1]$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada;

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

ve kullanılan deney düzeneğindeki moment kolu uzunluğu

$$l = 0,955 [m] \quad [4.3]$$

dir.

4.6.2. Motor Gücü

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

$$\text{İş} = \text{kuvvet} \times \text{yol} \text{ (kgm)} \quad [4.4]$$

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

$$\text{Güç} = \text{iş} / \text{zaman} \quad [4.5]$$

Motorun iş yapma hızı beygir gücü ile ölçülür.

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

$$1 \text{ BG} = 0,736 \text{ kW} \quad [4.6]$$

“Motorun krank mili ucundaki kasnak veya volandan bir fren düzeneği ile ölçülen güce fren gücü denir. Bu güç, iş gücünden %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 diyagramının alanı ile belirlenir.

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

$$W_1 = \int P \cdot dV = P_{mi} V_h \quad [4.7]$$

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);

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

$$P_{mi} \quad [\text{Mpa} = 10^6 \text{ N/ m}^2]$$

$$V_h \quad [\text{m}^3] \quad , \quad n_m [\text{d/d}]$$

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

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

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

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

şeklinde yazılabilir.

Efektif güç, fren momentinden hareketle deneysel olarak bulunabilir.

$$N_e = \frac{M d . \omega}{75} \text{ [BG] 'dir.} \quad [4.11]$$

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

olduğuna göre;

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

$$F = G . g \text{ [N] olduğundan} \quad [4.14]$$

$$N_e = \frac{M d . n}{9555.22} \text{ [kW] 'dir.} \quad [4.15]$$

4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi

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

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

bağıntısından bulunabilir.

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

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

olur.

Bu deney düzeneğinde ise yakıt beher içinde 200 gram olduktan sonra ilk 50 gram harcanırken herhangi süre ölçümü yapmaz. Ama diğer ikinci 50 gramda süreyi başlatır ve 50 gramı tüketildiği zaman göre özgül yakıt tüketimi hesaplanabilir.

Yakıt yoğunluğu olarak,

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

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

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.



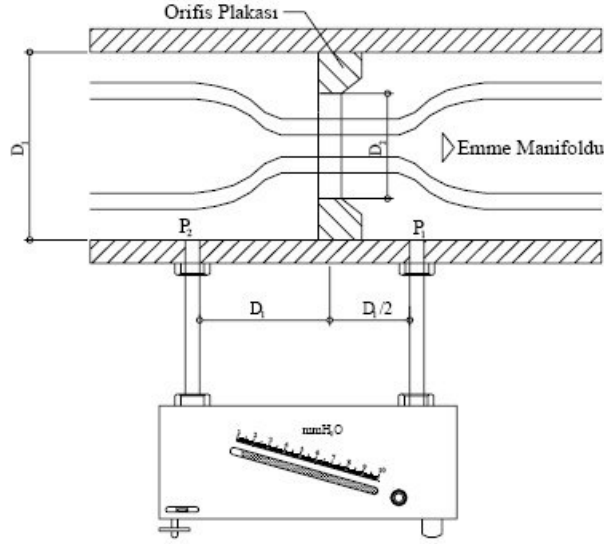
Şekil 4.6 : Deney Düzenegindeki Yakıt Tüketimini Ölçen Alet

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_v) bilinmelidir. Bu durumda özgül yakıt tüketimi;

$$B_e = \frac{m_v}{N_{me}} \cdot 3600 \quad [g/BGh] \quad [4.20]$$

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

$$b_e = \frac{3600 \cdot p \cdot V}{t \cdot N} \quad [g/kWh] \quad [4.21]$$



Şekil 4.8 : Hava Debisi Ölçüm Şeması

4.6.5. 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 etkilere bağlıdır. İş yapabilmek için harcanan işin çok veya az oluşu verimi etkiler. Verilen iş % olarak, ne kadar alınabilirse verim % o kadar artacaktır. Standart olarak verim (η) sembolü ile gösterilir. Bu sembolün önüne konulacak harf, verimim ne verimi olduğunu belirtir. Motor verimleri;

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

olmak üzere başlıca dört tür verim hesabı yapılır.

4.6.5.1. Hacimsel (Volümetrik) Verim

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

Hacimsel verimin formülle ifadesi:

$$\text{Normal şartlarda silindire alınan hava hacmi} \quad [4.22]$$

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

Pistonun silindirde boşalttığı hacim

4.6.5.2. 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.

4.6.5.3. Mekanik Verim

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

$$\eta_m = N_e / N_i$$

η_m : Mekanik verim

N_e : Faydalı güç (fren gücü)

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.

4.6.5.4. 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 ısıнын 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.

$$\eta_t = \text{Alınan iş (kcal)} / \text{Yakıtın vereceği iş (kcal)} \quad [4.23]$$

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]

$$\eta_t = Ne \cdot 632 / (B \cdot Hu) = 860000 / (Hu \cdot be) \quad [4.25]$$

Dizel motorlarında verimli yanma için yanma odasında yeterli hava ve yanma için yeterli süre bulunmalıdır. Ayrıca sıcaklıkların da yerel olarak yeterli düzeyde (yükseklikte) bulunması gerekmektedir. Yanma olayını yanma odasındaki ortalama değerlerden çok yerel koşullar etkilemektedir. Bu bakımdan motorun düşük dönme sayılarında hava hareketlerinin azlığı, yüksek dönme sayılarında ise yetersiz süre ve düşük volümetrik verim sonucu eksik kalan hava miktarı nedeniyle yanma verimi düşmektedir. Eksik yanmanın en belirgin sonucu is oluşumudur.

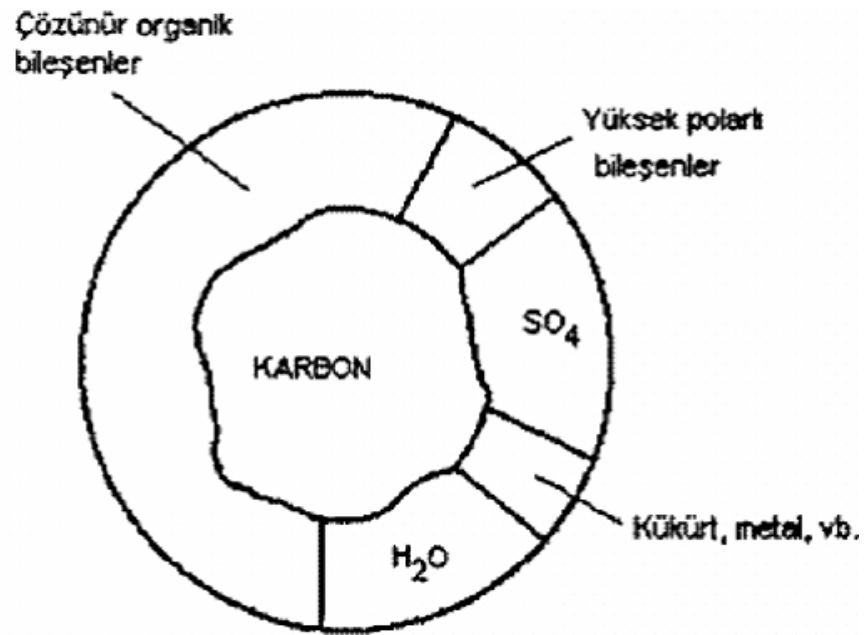
Geç yapılan püskürtme ya da uzun süren TG sonunda yanmanın egzoz zamanına doğru uzaması da is oluşumuna neden olur. İs motor elemanlarının ömrünü olumsuz etkiler, piston ve silindirleri aşındırır.

4.6.7 İs Emisyonu

Dizel partikülleri genellikle yanma esnasında karbonlu maddeleri ihtiva eden bazı organik bileşimlerin absorbe edildiği emisyonlardır. Partiküllerin çoğu hidrokarbonların tam yanmamasından meydana gelmektedir. Partikül maddelerinin bileşimi motor egzozundaki şartlara bağlıdır. 500°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda yaklaşık partikül küreciğinin çapı 15 ile 30mm arasında değişen bir çok küre ve karbon küreciklerinin bir yığını olarak görülmektedir. Sıcaklığın 500°C' nin altına düşmesi halinde partiküller yanmamış hidrokarbon, oksidasyona uğramış hidrokarbon; ketonlar, eterler, organik asitler; ve polinükleer aromatik hidrokarbonlar ihtiva eden yüksek molekül ağırlıklı bileşimler halinde yoğunlaşır ve

tabaka haline gelirler. Partikülün yapısı, karbon taneciklerine sülfatlar, metal ve benzeri oksitler, nem, yüksek polarlı bileşenler ve organik bileşenlerin yapışması ile meydana gelirler. Yoğuşmuş olan kısımlar sülfür dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2) ve sülfürik asit (H_2SO_4) gibi inorganik türler de ihtiva ederler.

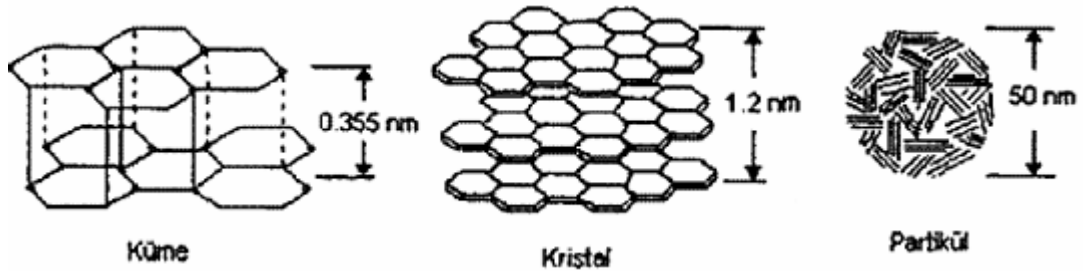
Tek partiküller kürecik zincirleri halinde meydana çıkarak dizilirler. Bu dizilişler kümeleri meydana getirirler. Kümeler dört bin kadar kürecik ihtiva edebilirler. Küreciklerden oluşan partikül boyutları iki boyutlu olarak görüldüğü gibi tek boyutlu bir kompleks şeklinde de görülebilirler.



Şekil 4.9 : Egzoz Partikülünün Kimyasal Yapısı

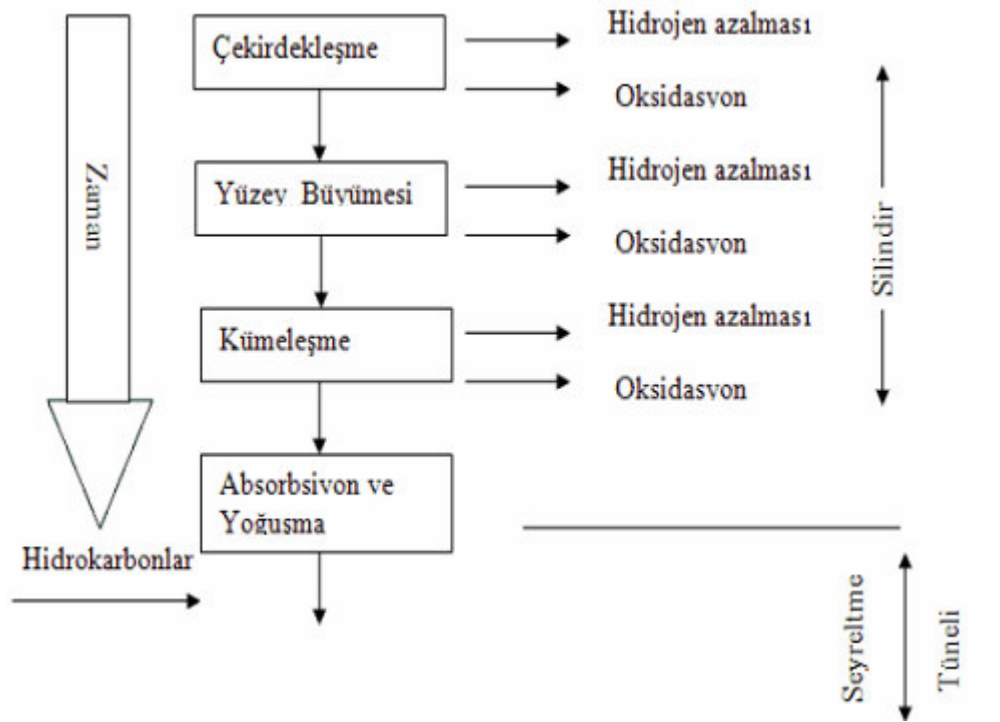
Dizel partikül oluşumu, yakıtın cinsine, yanma odası sıcaklığına ve hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Dizel partikülü ve is üretimi alevin çevreye yayılması ile zengin karışımında ve yüksek sıcaklıkta daha fazla olmaktadır. Ayrıca bu oran hıza ve yüke bağlı olarak da değişmektedir. Partikül emisyonları püskürtme basıncının artması ile azalmaktadır. Partiküllerin oluşumunda yanmamış yakıt, yanmamış yağ ve yanma ürünleri önemli rol oynamaktadır. Özellikle yağlama yağı partikül oluşumunda etkilidir. Yağlama yağı segmanlar vasıtasıyla yanma odası içine girebilmektedir. Yağlama yağının viskozitesi dizel yakıtına göre daha yüksektir. Karbon hidrojene göre daha geç yandığı için partikülün çekirdek kısmı yağlama yağı tarafından oluşturulmaktadır.

Partikül boyutu ve yüzey alanı, hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Dizel partikülleri, yanma sistemlerinin sahip olduğu farklı kaynaklara rağmen aynı görünüşe sahiptir. Partikül oluşumu hidrojenin karbona oranının iki olması ile başlar. Karbon atomları kümeleşmiş olarak yüzey merkezli altıgen paketler halinde dizilirler. Sıcaklık ile partiküllerin sıralanışı grafit benzeyen bir şekle dönüşür. Partiküldeki grafitleşme oranı sıcaklığa bağlıdır. Yeni oluşan partiküller yüksek bir hidrojen içeriğine sahiptir ve partikül içerisinde tabii olarak karbon bağlarının varlığı söz konusudur.



Şekil 4.10 : Karbon Partikülünün Yapısı

Bir dizel partikülü kafes yapısı her küreciğin merkezi etrafında düzenlenmiş ortak merkezli lamelli bir yapı şeklindedir. Ortak merkezli lamellerin düzeni karbon yapısına benzer. Karbon atomları genel olarak küme şeklinde altıgen yüzey merkezli düzende birbirine bağlanırlar. Kümeler kristal şekilli tabakalardan oluşurlar. Her kürecikte bin, kristal sırasında ise 2 ile 5 küme vardır. Tek bir kürecik yüz beş civarında karbon atomu ihtiva etmektedir. Dizel motorlarında partikül miktarı yanma başlangıcından hemen önce hızlı bir şekilde yükselir. Enjektör deliğine yakın yakıt huzmesinin eksenindeki partikül konsantrasyonu da önemlidir. Aşırı derecede zengin yakıt çekirdeğindeki karbon, yüksek basınçlı olarak alev çekirdeğine tesir etmektedir. Piston çukurunun dış çapına yakın huzmede ve silindir cidarında önce yükselir, daha sonra yavaş yavaş düşer. Yakıt huzmesinden uzak kurum birikimleri, huzmenin merkez ekseninden yükselen mesafe ile birlikte hızlı bir şekilde düşer. Yanma işlemi boyunca silindir içindeki kurum konsantrasyonu, egzozu önceden okside eden şekillenmiş kurumun tamamını ortaya çıkarır. Dizel motorlarında silindir içerisinde yanma püskürtmeyi müteakip oluşmaktadır. Hava fazlalık katsayısı sabit olarak değişir. Hava yakıt karışımı oluşurken karışım homojen olarak yanmaz ve alev bölgesinde ara ürünlerin oluşumu artabilir.



Şekil 4.11 : Silindir İçerisindeki Partikül Oluşumunun Şematik Gösterilişi

Alevi üç bölgeye ayırmak mümkündür.

- Çekirdek bölgesi
- Orta bölge
- Dış bölge

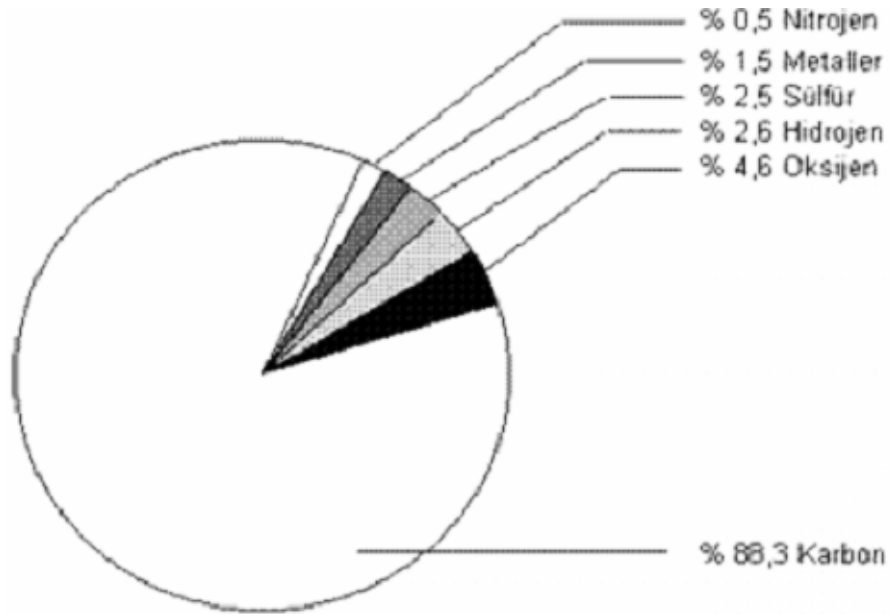
Birinci bölgede kurum oluşumunun sebebi zengin karışımdaki yakıt buharı ve yakıt zerreciklerinin bir arada bulunmasıdır. İkinci bölgede sadece zerrecikler çıkar ve kurum üretimi durur. Üçüncü bölgede ise artık fakir karışım olduğu için yakıtın içindeki kurum yakıt ile beraber yanar. Egzoz sistemindeki kurum oksidasyonu is oluşumunun bir fonksiyonudur.



Şekil 4.12 : Türbülans Yayılımlı Alevde Kurumun Oluşumu ve Oksidasyonu

Dizel motorlarında değişik işletme şartlarından kaynaklanan dört tip partikül emisyonuna rastlanmaktadır.

- Beyaz Duman: Soğuk havalarda görünür. Genellikle su buharıdır. Kirletici değildir. Soğuk ilk harekette veya çok düşük yüklerde görülen beyaz duman yk artınca kayboluyorsa yoğuşmuş yakıt buharıdır.
- Mavi Duman: Tam yanmamış yakıt veya bilhassa aşınmış motorlarda yağ zerreciklerinin oluşturduğu dumandır.
- Siyah Duman: İş – karbon parçacıklarının oluşturduğu dumandır. Tam yükte ve düşük hava/yakıt oranlarında ortaya çıkar.
- Diğer Parçacıklar: Sülfatlar, yağlama yağı ve yakıt içindeki katkılardan gelen parçacıklardır.



şekil 4.13 : Partikül Bileşimindeki Elementlerin Ağırlık Oranları

Partiküllerin kütlesel olarak %71 kadarı karbondan, %20 kadarı (%2,6 hidrojen + %16,9 karbon) hidrokarbon bileşiklerinden %5 kadarı da metalik bileşiklerden oluşmaktadır.

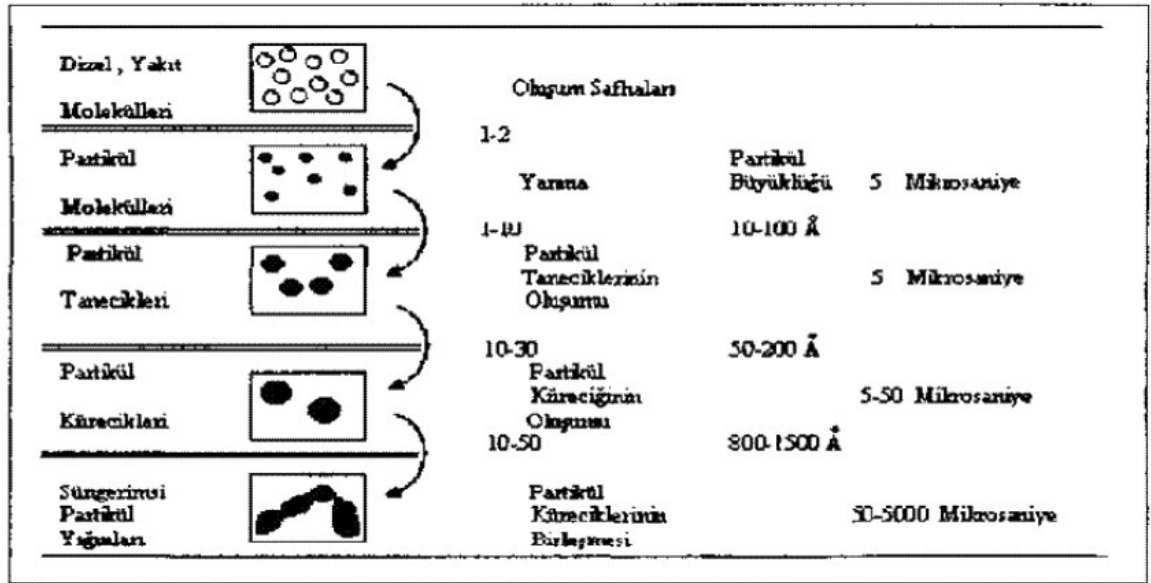
Aşağıdaki tabloda dizel motorunun egzoz gazlarındaki katı, sıvı ve gaz halindeki emisyonlar gruplandırılmıştır. Dizel motorlarında çıkan partiküllerin önemli bir bölümü katı haldedir.

Tablo 4.4 : Dizel Motorlarından Çıkan Katı, Sıvı ve Gaz Emisyonlar

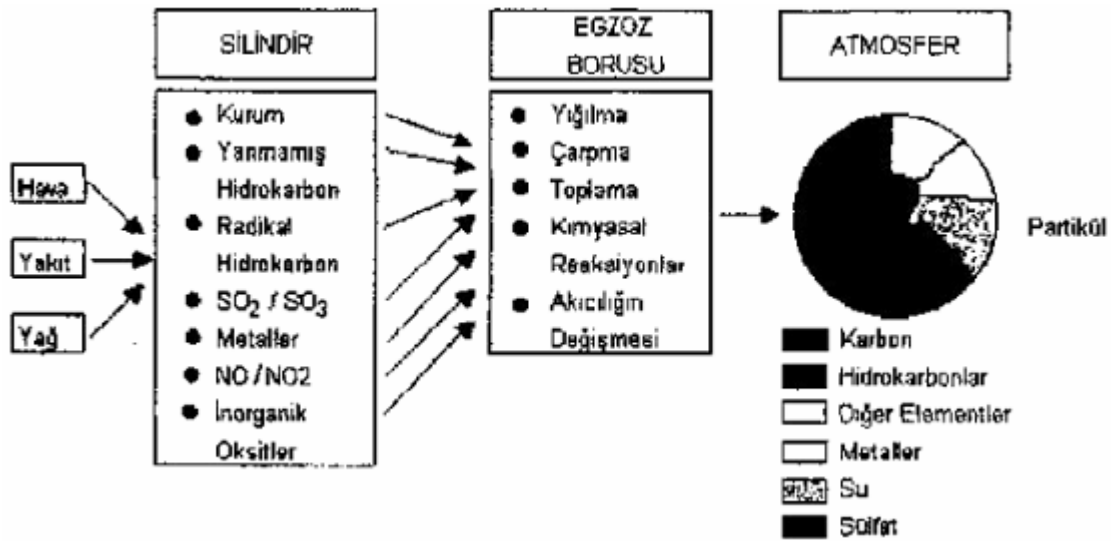
Gaz	Sıvı	Katı
N ₂	H ₂ O	Kurum
CO ₂	H ₂ SO ₄	Metaller
CO	Hidrokarbonlar	İnorganik maddeler
H ₂	Oksijenli karışım	Sülfatlar
NO / NO ₂	Poliaromatikler	Katı hidrokarbonlar
HC		
Oksijenli karışım		
Organik azot ve kükürt bileşimleri		

Dizel motorundaki yanma incelendiğinde silindirde buharlaşan yanmamış motor yağının egzoz gazlarında hidrokarbon artışına neden olduğu görülmektedir. Buna ek olarak alev cephesinin yetersiz alev bölgelerindeki hidrokarbonlar da birbirleri ile reaksiyona girmekte ve partikül oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Partikül çekirdekleri katlaşma sürecine girdiklerinde Şekil 3.12’de gösterildiği gibi kurum küreciklerinin oluşumuna sebep olmaktadır. Şekilde bir partikülün oluşumu elli safhaya ayrılmıştır. Oksijenin bol olduğu yanma bölgelerinde partiküllerin oksijenle birleşmesi olasıdır.

Yakıt içerisindeki hidrokarbonlar ve yanmamış motor yağı içerisindeki elementler, partikül oluşumunun 10, 11 ve 12. safhalarında PAH oluşuma neden olurlar. Yakıt içerisindeki organik sülfürler oksitlenirler. Bunun yanı sıra, sülfatlar da oksitlenebilirler. Motor yağı katkıları da oksitlenebilir ve inorganik oksitlerin oluşmasına sebep olabilirler. Şekil 3.13’de egzoz gazlarının silindirden atmosfere çıkıncaya kadar olan süre içerisindeki partikül oluşumum şematik olarak ifade edilmiştir. Partiküller şekilde görüldüğü gibi, yoğunlaştırılmış hidrokarbonların üzerinde, inorganik oksitlerin ve metal partiküllerinin birikmesi ile oluşmaktadır. Su ve sülfürik asit de yine bu partiküller üzerinde yoğunlaşabilmektedir.



Şekil 4.14 : Partikül Çekirdeklerinin Katılma Süreci

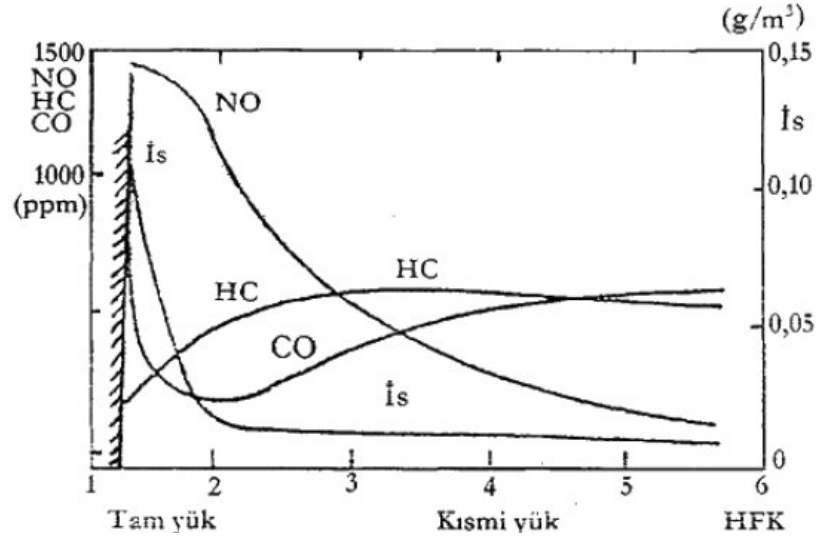


Şekil 4.15 : Egzoz Gazının Silindirden Atmosfere Kadar Almış Olduğu Yolda Partikül Oluşumu

Dizel motorları genelde fakir karışım oranlarında çalışmakta ve hava/yakıt oranı motorun yük durumuna göre değişmektedir. Şekil 3.14'te hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi görülmektedir. Karışımın belli bir oranın üzerinde zenginleşmesini sınırlandıran belli bir is sınırı mevcuttur. Özellikle, hava fazlalık katsayısı 2'den az olduğunda önemli derecede is emisyonu ortaya çıkmaktadır.

Düşük yüklerde sıcaklığın az olması nedeniyle CO' nun oksidasyonu için gerekli reaksiyonlar gerçekleşmediğinden CO miktarı yükselir. Yük arttıkça CO

azalmaktadır. Tam yüke doğru oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalması nedeniyle CO miktarı tekrar artış göstermektedir.



Şekil 4.16 : Direk Püskürtmeli Dizel Motorunda Egzoz Gazı Kirlenici Konsantrasyonları

Yükün artışı ile silindire alınan yakıt miktarının artması ve sıcaklıklardaki artış reaksiyonları hızlandırmakta ve yanmamış HC emisyonları azalmaktadır.

NO_x miktarı yük arttıkça buna bağlı olarak sıcaklığın artması ve hava/yakıt oranının stokiometrik orana yaklaşması ile artmaktadır. İs miktarı yük arttıkça artmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi yük arttıkça HFK azalmakta ve buna bağlı olarak yanma odası içindeki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri yanmasını tamamlayamadıklarından is oluşumuna neden olmaktadır.

4.6.7.1. Teknolojik ve Çevre Kirlenmesi Yönünden İs

Tüm dünyada teknolojik gelişmeye paralel olarak hava kirliliği problemi zihinleri oldukça meşgul eden ve ileride daha büyük tehlikelere maruz kalmamak için önlemler almayı gerektiren bir şekle girmiştir. Hava kirliliği problemine kara, hava ve deniz nakil vasıtaları oldukça önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu vasıtaların çalıştırılmasında çeşitli tip motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlarda benzin, dizel ve lpg v.s. gibi değişik türde yakıtlarla çalışabilmektedirler. Son zamanlarda ülkemizde hem yakıt ekonomisi hem de ucuzluğu bakımından dizel motorlarına bir yönelme söz konusudur.

Dizel motorlarının yanma sonucu ortaya çıkan artık gazları içerisindeki is oluşumu oldukça önemlidir. Dizel yakıtının oldukça ağır hidrokarbonlardan oluşması ve yanmasının zor oluşu nedeniyle ısınma sürecinde beyaz veya mavi duman, yük altında da siyah duman veya is oluşması olağandır.

İsdeki karbon zerrecikleri yüzey aktiviteleri nedeni ile sülfürik asidi yüzeylerinde tutarlar bu yüzden çok asidik bir durum gösterirler. Bu olay ayrıca egzoz gazlarının çığ noktasındaki değişimlerle de kolaylaşmış olur.

İs oluşumu, yanmanın kötülük derecesini yani yakıt ekonomisini ve çevreyi kirletme derecesini etkiler. Ayrıca motor içerisindeki parçalara da olumsuz etkide bulunur. Sürekli ısı çalışan motorlarda is, silindir yüzeyi ve segmanlardaki aşınmayı hızlandırır. Silindir civarındaki yağ filmini bozar, segman yuvalarında birikerek segman kaynamasına sebep olur. Subapların oturma yüzeylerinde kalması muhtemel is partikülleri sızdırmazlığın bozulmasına ve yanma gazlarının iş periyodunda oturma yüzeylerinden kaçarak özellikle sıcaklıkların yüksek olması nedeni ile yüzeylerin tahribata uğramasına sebep olur. Bunun sonucunda subap kaynaması meydana gelir.

Asidik karbon zerrecikleri solunum yollarına girdiği takdirde ciğerlere kadar ilerleyip astım, bronşit ve doku altı hastalıklarına yol açabilir. Solunum yolu hastalığı olanlarda ise kanserojik bir etki yapmaktadır. Fakat gelişmiş ülkelerde böyle bir sorun hemen hiç yoktur.Çünkü:

Gelişmiş ülkelerde dizel yakıtı içindeki kükürt temizlendiği için pek sorun yaratmaz

Egzozundan az da olsa duman çıkaran taşıt araçları trafikten men edilmektedirler.

Ayrıca isdeki karbon zerrecikleri havaya çok miktarda karıştığında görüşü engelleyici etki yapar.

Dizel motorunun NO_x , HC , CO , SO_x gibi kirletici bileşenleri şu yollarla atmosfere atılmaktadır:

Egzoz borusu: Yanma sonucu doğan ürünlerde mevcut zararlı bileşenlerdir. Motor emisyonunun %65-85'ini kapsamaktadır.

Karter havalandırması: Bu segman ile silindir yüzeyi arasından kaçan gazlardan ve karterdeki yağ buharlarının atmosfere atılmasından doğmaktadır. Motor emisyonunun %20'si mertebesindedir.

Yakıt deposu havalandırması: Özellikle sıcak havalarda yakıtın kolay buharlaşan bileşenlerinin atmosfere yayılmasıdır. Motor emisyonunun %5'i kadardır.

Karter havalandırma borusu motorun emmesine bir boru ile kolayca bağlanabilmektedir. Benzer şekilde yakıt deposu, basınç regülatörü ihtiva eden bir boru sistemi ile emme borusuna veya adsorban bir hazneye sevk olunmakta böylece yakıt buharlarının atmosfere atılışı engellenebilmektedir.

Taşıtlarda ayrıca lastik, dişli, balata, kayış ve metal parçaların aşınmasından oluşanlar, lastik, asbest ve metal tozları ile yağ ve yakıttaki Cr, Pb, Mn gibi katkı maddelerinin partikülleri atmosfere atılmaktadır.

Yukarıda da belirttiğimiz gibi dizel motorlarında yanma sonucu ortaya çıkan maddeler: Azot oksitler(NO_x), is (karbon yanında hidrojen, oksijen ve bazı aromatik hidro-karbonlardan oluşur)yanmamış hidrokarbonlar(HC), karbon monoksit(CO), kükürt oksitler(SO_x), kısmen okside olmuş hidrokarbonlar, metalik yakıt ve yağ artıklarıdır.

Yanma esnasında mevzi olarak çok zengin karışım bölgeleri mevcuttur. Ortalama HFK daima birden büyük olduğundan CO 'nun oksidasyonu mümkündür. Genişleme strokunda CO 'nun oluşum zamanı ve bunun oksidasyonunun gerçekleşebilmesi HFK'nın büyüklüğüne bağlıdır. İş sınırına çok yaklaşılacak tam yük hallerinde 1000-7000 ppm mertebelerinde olan CO emisyonu, HFK=2 den sonra 100-200 ppm mertebesinde olmaktadır.

Dizel motorlarında HC emisyonu 10-600 ppm mertebesindedir. Yakıt damlacığı-hava ikilisinin çok zengin veya çok fakir kısımlarının ve bilhassa damlacıkların cidarlar da soğumaları HC emisyonunu arttırmaktadır. HC emisyonu motor yükü ve hızına doğrudan bağlı değildir. Daha ziyade enjeksiyon sistemine ve yanma odası geometrisine bağlıdır. Heterojen hava-yakıt dağılımı NO_x emisyonunu etkileyen faktörlerin çoğalmasına ve kontrolun

zorlaşmasına yol açmaktadır. Kontrol için şu üç faktörden en az birinin değiştirilmesi gerekir:

- 1- 1800 K 'nin üzerinde kaçış süresi
- 2- Yeterli O_2 bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık
- 3- Mevcut O_2 veya N_2 miktarı

Fazla hava ve yanma odasında oluşan yüksek yanma sıcaklıkları NO_x konsantrasyonlarını yükseltir. Motor dizaynına bağlı olarak miktarı 1500-5000 ppm arasında değişir.

Dizel yakıtlarındaki kükürt yüzdesine bakacak olursak %5'in altında olduğunu görürüz. Dizel motorlarında is, hava çok az olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Karışım şekli ve yakıt cinsi bakımından isin doğmasına yol açan etkenler oldukça fazladır. İs oluşumuna, oksijence zengin olmayan ortamdaki yakıt moleküllerinin ısı parçalanması şeklinde bakılabilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmektedirler. Bu birleşmeler arttıkça is zerrecikleri oluşmaktadır. Tabii bu is zerrecikleri hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temasa geçebilirse yanabilirler. Ancak HFK=1 civarında ve tam yükte dizel motorları şartlarında oluşan isin önemli bir kısmı egzozdan çıkmaktadır.

4.6.7.2. İs Oluşumu ve Yanması Üzerindeki Çalışmalar

Dizel motorunda yakıt-hava karışımının yanması esnasında yanma odasının biçimine ve yanma hızına bağlı olarak türbülans meydana gelmekte ve bu yanmayı etkilemektedir. Elimizde olmaksızın türbülans olayı mutlaka oluşacaktır. Bu yüzden is oluşumu ve yanması çalışmalarında türbülanslı alev söz konusudur.

İs oluşumu bir çok silindir içi koşula bağlıdır. Örneğin, havanın az olması is oluşumunu artırmaktadır. Yani oksijen azlığı isin oluşumuna yol açar. İsin varlığı yakıt olarak C/H kütle oranından tahmin edilebilir.

$$C/H < 3 \quad \text{issiz yanma}$$

$$C/H < 3 \quad \text{isli yanma}$$

Daha önce belirttiğimiz gibi dizel motorlarının dumanı üç değişik renkte olabilmekteydi. Şimdi bunların yaklaşık tanımlarını vermeye çalışalım:

- Beyaz Duman

Egzoz gazı içerisindeki su buharının yoğunlaşması sonucu oluşur. Düşük sıkıştırma basıncı ile oluşan düşük yanma sıcaklığının neticesidir. Aynı zamanda silindirlere su sızması halinde de görülür.

- Mavimtrak Duman

Genellikle yağlama yağının yanması sonucu oluşur. Yağlama yağının yanması demek, piston ve segmanların aşınması anlamına gelir veya hava filtresinde yağ toplanmış olabilir. Bu sebeplerin yanı sıra yakıt memesi deliklerinin tıkanmasına bağlı olarak yakıtın yanma odası duvarlarına çarpması ile de olabilir. Diğer taraftan dizel motorunun ilk çalıştığı anda veya soğuk motorun rölantide çalışması esnasında egzoz gazı mavidir.

- Siyah Duman

Koyu veya siyah renkli duman, yanmanın tamamlanmasından dolayı yakıt içerisindeki karbonun bir kısmının serbest karbon olarak ayrılmasının işaretidir.

Eğer herhangi bir sebepten dolayı oksijen eksikliği mevcut ise veya çok fazla yakıt püskürtülmüş ise bütün yakıt yanamaz ve koyu renkli duman olarak egzozdan çıkar. Diğer yandan avans ayarı bozuk olabilir, püskürtme geç yapılmış olabilir, regülatör ayarı bozukluğu, subapların kaçak yapması, kompresyon azlığı ve kullanılan yakıtın uygun olmaması is oluşumuna yol açabilir.

Dizel motorunda is oluşumu difüzyon yanması sırasında başlar. Bizim is partikülü olarak bahsettiğimiz nesne yanmayla birlikte ortaya çıkan siyah dumandır. Yakıt püskürtüldükçe is konsantrasyonu artış gösterir. Püskürtme sonunda maksimum değerine ulaşır. Daha sonraki safhada ise is oksitlenmeye başlar. Ancak alev sıcaklığı düşmeye başladıkça oksitlenme yavaşlar ve 1400⁰C'nin altında etkisini kaybeder. Dolayısıyla is bu konsantrasyon

seviyesinde dışarı atılır. İs partikülleri ilk oluşum esnasında yaklaşık 100 A^0 'luk bir çapa sahiptir. Daha sonra çap büyümesi ile birlikte bu değer 2000 A^0 'a kadar çıkabilir. İs partiküllerinin özellikleri, yakıtın ve alevin cinsine göre, elde ediliş koşullarına göre fazla bir değişiklik göstermez fakat mertebeleri değişir. Zengin karışımli alevlerde CO ve CO_2 yanında katı karbonda teşekkül eder. Bu katı karbon parçacıklarının birikimi sonucu is ortaya çıkmaktadır.

Hidrokarbon alevlerinde is oluşumu, yanmanın ilk safhalarında yani ilk birkaç mili saniyede ve bağılı olarak düşük alev sıcaklıklarında aniden oluşur.

İsin yapısı alevdeki yerine göre kimyasal ve fiziksel olarak değişmektedir. Püskürtücüye yakın bölgede is parçacıkları kısmen birleşmiş küresel birimler yığına benzerdir. Bu görünüş sistemde oluşan çarpışmalar sonucu karbon içeren viskoz parçacıkların birleşmelerine bağlanabilir. Alev kimyasıyla ilgili ekseri konularda olduğu gibi is oluşumunda da denge fikrine dayanmak mümkün değildir. İsin varlığı, is yaratan reaksiyonların hızları ile oksidasyonlarına sebep olanların hızları arasındaki dengeden çıkarılmaktadır. Bunlar yakıt-oksijen oranına çok fazla bağılı olduklarından gözlenen etkiler farklı alevler için değişiklik gösterir. Karbon oluşumu alevin önce uç kısmında meydana gelir. Alev ne kadar türbülanslı ise karbon oluşumu o kadar azalır.

İs oluşumunun incelenmesi ile teorik olarak isin, oluşumu esnasında üç aşamadan geçtiğı kabul edilmektedir. Bunlar çekirdekleşme, yüzey büyümesi ve topaklaşmadır.

❖ Çekirdekleşme

Çekirdekleşme mekanizması üzerine farklı görüşler bulunmaktadır. Bazıları için kimyasal olaylar bazıları içinse elektrik yükleri daha etkili olmaktadır. Dizel motorlarında birkaç mikro saniyede meydana gelen çekirdekleşme işlemi diğerleri gibi açıkça teşhis edilememiştir. Bu işlemin karmaşık olmasının nedeni aynı zamanda meydana gelen kimyasal olaylardır. Son yapılan araştırmalarda, çekirdek oluşumunun üç ana kademede meydana geldiğı saptanmıştır:

a- Yakıt moleküllerinin daha düşük moleküler ağırlıklı küçük parçacıklara ayrışması

b- Bu küçük parçacıkların polimerizasyonu

c- Bu küçük parçacıkların dehidrojenasyonu

Daha önceleri son iki olayın birbiri ardıslara meydana geldiği ve birinin diğerine ön ayak olduğu sanılmaktaydı. Sonradan anlaşıldı ki bu iki olay birbirinden bağımsızdır ve is çekirdeği aynı zamanda oluşan polimerizasyon ve dehidrojenasyon ile ara ürün bileşiğinden teşekkül etmektedir.

İs oluşumunda aktif rol oynadığı düşünülen üç grup hidrokarbon vardır:

1. Asetilen ve poli asetilenler
2. Çok halkalı aromatik hidrokarbonlar
3. Reaktif çok halkalı aromatik hidrokarbonlar

Bu kritik ara ürünler oldukça nadir gereken, alev sıcaklığında fazlaca kararlı olma ve polimerizasyon için yüksek reaktiviteye sahip olma ihtiyacını karşılamalıdır.

Alevlerde görülen is parçacıklarının çoğu elektrik yükü taşımaktadır. Uygulanan elektrik alanı için oluşumuna ve büyümesine tesir etmektedir. Dolayısıyla is oluşumunun sadece kimyasal bir mekanizmaya dayandırılmasının yetmeyeceği ve olayda elektrostatik kuvvetlerinde bir miktar rol oynadığı anlaşılmaktadır. Alevlerin elektrik özellikleri üzerine yapılan deneylerde, çekirdekleşmiş parçacık sayısı ile pozitif iyon sayısı arasında yakın bir ilişki görülmüştür. Pozitif iyonlar is oluşumunda çekirdek rolü oynarlar (Çekirdekler gaz fazındaki reaksiyonlardan meydana gelir). Karbon partiküllerinin normal çekirdeklerde olduğu gibi alevin reaksiyon bölgesinde oluşan pozitif iyonlarda da büyüdüğü görülmüştür. Karbon partikülleri çok küçük olduklarından pozitif bir yük kazanırlar. Sonuç olarak bir elektrik alan vasıtası ile partiküller kontrol edilebilir.

Çekirdekleşme, doymamış bir hidrokarbon iyonunun diğer molekülleri veya iyonları etrafına çekerek bir küme oluşturma, dehidrojenasyon ve

polimerizasyon reaksiyonlar~ refakatinde bir embriyo vasıtası ile büyük bir C/H oranında bir kararlı parçacık haline gelme işlemi olarak tariflenebilir.

Çekirdekleşme, sadece ilk parçacıkların oluşma hızını açıklayan belirsiz bir terim olduğundan bir tek çekirdekleşme mekanizması önerilememektedir. Çekirdekleşmenin gaz fazındaki büyük hidrokarbonların katılaşmasına neden olan temper işleminden dolayı meydana gelmesi mümkündür.

❖ Yüzey Büyümesi

Çekirdekler oluştuktan sonra yüzeyleri üzerine bir dizi bileşen yoğunlaşmakta ve partikülleşmeye neden olmaktadır. Parçacıklar arası çarpışmanın başlaması için kinetik enerjilerinin gerekli enerjiyi karşılaması gerekir. Bu ancak, parçacıklar heterojen yüzey reaksiyonları ile kritik bir boyuta ulaştıklarında mümkün olur. Bu zamana kadar elektrostatik itme topaklaşmayı önler. Kritik parçacık boyutu, tahmin edilen kristal boyutu olan $20-30 \text{ Å}$ 'dur. Bu safhada reaksiyon gösteren bileşenlerin çok azı ilk çekirdek formasyonu ile ilgilidir.

❖ Topaklaşma(Pıhtılaşma)

Kristaller kritik boyuta ulaştıklarında topaklaşma mümkün olur. Topaklaşmanın alevin reaksiyon bölgesinde parçacıkların birikmesiyle birlikte oluştuğu zannedilmektedir. Kristallerin yığılması süresince birim kütle başına yük, yüzey büyümesi ve elektron kazanmaya bağlı olarak düşer ve sonuçta küreler belirli alev koşullarında negatif bir yük bile kazanabilir. Yığılma sırasında bir diğer önemli güçte, partiküllerin dehidrojenasyonu sırasında hidrojen ortaya çıkışından ve muhtemelen yüzey reaksiyonundan oluşur. Malzemenin birim kütlesi başına dehidrojenasyon hızının partikül boyutundan bağımsız olduğu varsayıldığında, bu kuvvetin partikül boyutuyla hemen arttığı görülür. Bu da uniform boyutlu kürelerin elde edilmesine yardımcı olur.

Aerosollerin pıhtılaşması sırasında, elektriksel kuvvetler varolduğunda zincir şeklinde yığınlar meydana geldiği bilinmektedir.

Yükün pıhtılaşmada önemli bir rol oynadığı açıktır. Her partikülün yükü tespit edilemediği halde zincir şeklindeki demetlerin çoğunun yüklü olduğu

bulunmuştur. Bu da zincir oluşumunun elektrostatik kuvvetler nedeniyle olduğu teorik sonucuyla uygundur.

İlk is parçacıklarının küçük hidrokarbon moleküllerinin ilavesinde çok fazla aktif olması is birikmesinin ilk fazının hızlı olmasını açıklar. Bu fazdan sonraki yavaş birikme, doymamış hidrokarbonların heterojen ayrışması nedeniyledir. Parçacıkların ileri safhadaki birikmesi, yakıtın konsantrasyonu veya yakıtın ayrışma ürünleri, sıcaklık ve temas süresi tarafından yönetilir.

Dizel motorlarında is parçacığı pıhtılaşmasının birkaç milisaniyede meydana geldiği sanılmaktadır. Partiküller yanmaları mümkün olmayacak bir boyuta topaklaştıklarında karbon oluşumu alevlerden is oluşumuna yol açar. Dizel motorunun egzozundan yayılan karbon veya is, daha uygun bir terimle kuru gaz karbon, yüksek sıcaklıktaki buhar fazı reaksiyonlarından ayrılmayla oluşur. Bir dizel motorunda tutuşma meydana geldiğinde, yakıtın ön karışımli kısmı ışıksız bir alev şeklinde yavaşça yanar. Yakıtın kalan kısmı hava ile karışıkça yanmaya katılır ve karbon parçacıklarının varlığından dolayı karakteristik sürekli yayılma ile bir difüzyon alevi şeklinde yanar.

Bir dizel motoru yanma odasında is oluşumu, yakıt demetleri içinde veya şartlar laminar difüzyon alevinden çok, zengin ön karışımli aleve yakın olan yakıtça zengin bölgelerde meydana gelir. İsin yanması, artık oksijen mevcutsa oksidasyon, değilse karbondioksit veya su buharı vasıtası ile gaz haline geçmeyle meydana gelir. Birincisi daha hızlı bir reaksiyondur ve bu yüzden dizelerde daha önemlidir. İs parçacıklarının oksidasyonu bir hız işlemi olduğundan bulunan isin miktarı, parçacık boyutu, alev sıcaklığı ve alev bölgesindeki oksitleyici konsantrasyonuna bağlı olarak is oksitlenmesinin alevin ötesinde süreceği umulur. İs parçacıklarını aşağı nakleden yukarı yönlendirilmiş doğal taşınım ve is parçacıklarının sınırlı oksidasyon hızları nedeniyle is parçacıkları alev boyunca geçerken fazla ısınır ve tutuşurlar. Yanmanın tamamlanması için sınırlı bir süre gereklidir ve bu yüzden alev ötesinde de devam eder. Bu süre sonunda da is parçacıklarının tümünün oksitlenmesi sağlanamamışsa kalan miktar is emisyonunu meydana getirir.

Dizel motorlarında is oluşumuna etkiyen birçok parametre mevcuttur. Bu parametreleri ve is oluşumuna etkilerini incelemeye çalışalım:

Püskürtmenin İş Oluşumuna Etkisi: Bilindiği gibi motorun krank mili tarafından tahrik edilen püskürtme pompası yakıtı enjektör üzerinden yüksek bir basınç altında yanma odasına sevk eder. 0.1+0.5 mm çapında ince bir delikten yüksek bir basınç altında motorun yanma odasına giren yakıt ince damlacıklara ayrılır. Büyük bir hızla yanma odasına giren yakıt tanecikleri gerek mevcut türbülans gerekse püskürtme esnasında meydana gelen ilave hava akımı sayesinde sıcak hava ile karışıp buharlaşacaktır.

Püskürtme Karakteristiğinin İş Oluşumuna Etkisi: Bir dizel motorunun dumansız çalışması istenirken şu hususlara bilhassa dikkat etmek gerekir.

1. Ortalama indike basınçta bir azalma olmamalı
2. Özgül yakıt sarfiyatında bir artma olmamalı
3. Yanma yumuşak olmalı
4. Soğukta ilk hareket kolaylığı bozulmamalı
5. Dumansız çalışma yalnız nominal yük altında değil hızlanmada ve rölanti halinde de mevcut olmalıdır.

Yanma odalarının çok çeşitli olması, her oda tipine uygun ayrı bir püskürtme sisteminin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Her oda tipine uyacak ideal bir püskürtme sistemi maalesef mevcut değildir. Bu sebeple dumansız çalışma için gereken püskürtme özelliklerini en genel şekilde göz önüne almak gerekecektir. Dizel motorlarında püskürtme dolayısı ile duman doğmasına sebep olan belli başlı sebepler şöyle sıralanabilir.

1. Huzmenin fazla nüfuz kabiliyeti olması
2. Huzmenin az nüfuz kabiliyeti olması
3. Yakıtın gayri müsavi dağılması
4. Damlacık çapının uygun olmaması
5. Püskürtme başlangıcının uygun olmaması
6. Püskürtme sırasında her an püskürtülen miktarın aynı olmaması
7. Püskürtme süresinin çok uzun olması

❖ Karışım Oluşumunun İs Oluşumuna Etkisi

Dizel motorlarında karışım teşkili için püskürtülen yakıtın mümkün olduğu kadar ince zerrelere ayrılması ve bir sis halinde silindir içerisindeki sıcak hava ile mümkün olduğu kadar çabuk ve iyi bir şekilde karışması gayesi esas olarak ele alınmaktadır. Oysaki dizel motorlarında tutuşma ve yanma olayı fiziki şartlar bakımından, örneğin bir endüstri brülöründeki yanmaya kıyasla önemli bir fark vardır. O da dizel motorunda yakıt ile sıcak hava arasında önemli bir sıcaklık farkı bulunmasıdır. Diğer taraftan malumdur ki yanmanın kimyasal oluşumu üzerine sıcaklığın büyük bir etkisi vardır. Bu arada da normal dizel yakıtlarının kimyasal özellikleri çok önemli rol oynamaktadır. Öyle ki sıcak hava ile birden bire teması geçen yakıt derhal kısmi reaksiyonlarla peroksitler teşkil etmeye başlamakta ve yakıt moleküllerinde kimyasal bir parçalanma olmaktadır.

Bu durum bir yandan dizel yakıtlarının kolay tutuşma kabiliyetlerini doğururken bir yandan da yanma safhası esnasında önce yakıt moleküllerindeki hidrojen zengin kısmın yanmaya katılmasını ve dolayısı ile geriye, güç yanan ve karbonca zengin molekül artıklarının kalmasına meydan vermektedir. Böylelikle dizel motorlarındaki yanmada hep bu, karbonca zengin ve yanması güç atıl maddeler is oluşumuna sebep olmaktadır. Yine bu sebepten dolayı dizel motorundaki yanmadan önce bir vuruntu sesine bağlı yüksek bir reaksiyon hızı ve sonradan ise atıl karbonca zengin bileşiklerin yavaş art yanmaları müşahade olunmaktadır. Ve yine dizel motorunda yakıt, sıcak hava ile ne kadar ince zerreler halinde karıştırılırsa, yakıtın o kadar büyük kısmı karbonca zengin parçalanma ürünlerine ayrılmakta ve dolayısıyla başlangıçtaki yanma reaksiyonu o kadar fazla, fakat yanma sonunda atıl kalarak reaksiyona giremeyen karbon miktarı da o kadar fazla olarak meydana gelmektedir.

❖ HFK'nın İs Oluşumuna Etkisi

Dizel motorlarında karışım yakıt püskürtüldükten sonra meydana geldiği için tutuşmaya kadar geçen zaman içerisinde yakıt ile havanın iyice karışması beklenemez. Böylece yakıt zerrelerinin bir kısmı etraflarında yeterince hava bulamayacakları için yanma eksik olacaktır. Bunun muhtelif sebepleri olabilir.

Yanma odasında yeterli oksijen olmayabilir veya yeterli oksijen vardır. Fakat yanma odasında homojen dağılmamış olabilir, dolayısıyla bir kısım oksijen azlığı vardır. Yani hidrojenin hepsi yandığı halde bir kısım karbon, yanmadan egzoz gazları ile birlikte siyah duman halinde dışarı atılacaktır. Böyle bir çalışma ise hem verimi düşüreceği, hem de silindir içinde kurum yapacağı için iyi değildir. Bunu önlemek için, silindir içine püskürtülen yakıt miktarının, silindire emilen havaya teorik ve tam yanma bakımından uyan miktardan daha az olması yani silindir içindeki havanın teorik havadan büyük olması gerekir.

Karbon ve hidrojen nihai ürünlere kadar yanmış ise yanma bütünlenmiştir. Bütünlenmemiş yanmada egzoz gazları içinde yanabilen elemanlar vardır. Böyle olunca yakıtın enerjisinden bir kısmı kaybediliyor demektir. Bu sebeple, dizel motorlarında 1 olması mümkün değildir. Motor daima 1 de çalıştırılmalıdır.

❖ Yanma Odası Şeklinin İş Oluşumuna Etkisi

Dizel motorlarında yanma odalarının şekli, türbülansı, ısı geçişini, karışım şeklini, tutuşma gecikmesini kuvvetle etkilemektedir. Ön yanma odalı motorlar, NO_x emisyonu yönünden de direkt püskürtmeliye göre daha iyidirler. Bunun sebebi, yanma esnasında çok kuvvetli bir karışımın olmasıdır. Şiddetli karışım nedeniyle yanma başlangıcı ve dolayısıyla yanma sonu sıcaklığı düşük olmaktadır. Ayrıca hava hareketleri moleküllerin yüksek sıcaklıkta kalış sürelerini azaltmaktadır. Dizel motorlarında yakıtın silindir içerisine püskürtülmesinden sonra hava ile karışması için, tutuşuncaya kadar geçen süre çok kısadır (15 KMA^0 , 0.001-0.003 saniye). Bu kadar kısa bir zaman esnasında havanın yakıt ile iyi bir karışım yapabilmesi ve tutuşma kabiliyetleri iyi olmayan yakıtların kullanılması halinde daha iyi bir yanma veriminin elde edilebilmesi için yanma odası içerisinde suni olarak kuvvetli hava hareketlerinin meydana getirilmesine ihtiyaç vardır. Bunun sonucunda ön yanma odalı, türbülans odalı, hava depolu motorlar geliştirilmiştir. Yanma odasına verilen bu şekiller sayesinde, örneğin kolay tutuşmayan bir yakıtla türbülans odalı bir motorda, kolay tutuşan bir yakıttan daha elverişli bir şekilde çalışmak mümkün olmaktadır.

❖ Yakıt Özelliklerinin İs Oluşumuna Etkisi

Dizel motorunda heterojen yanma nedeniyle egzoz gazlarında duman görülebilir. Bu duman, Schweitzer tarafından sıcak ve soğuk duman olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Soğuk duman, yakıtın ve yağlama yağının yanmamış sıvı parçacıklarının sis halindeki durumudur. Hava-yakıt oranı yüksek olduğu zaman özellikle rölantide veya düşük yükte sönmüş yanmadan sonra meydana gelir.

Bu olay, soğuk havayla düşük yükte küçük yakıt miktarlarının yoğun karışımıyla veya yakıtın soğuk yanma odası duvarlarıyla sonucu kötüleşir. Soğuk duman açık veya beyaz renktedir. Yanma aşırı zengin karışımlarda meydana geldiği zaman karbon parçacıkları (İs) ortaya çıkar ve bu parçacıklar, sıcaklık yanma için gerekli seviyenin altına düşürülünceye kadar görünmeyebilir.

Sıcak duman, karbonlu yakıt partikülleri içerir ve relatif miktara bağlı olarak açık gri-siyah arası bir görünümündedir. Bunun gibi is hava azlığından meydana gelir. Yakıtın hava azlığından dolayı büyük hız ve yüklerde tam yanma sağlanamaz. Motor aşırı yüklendiği zaman sıcak duman oluşur. Karışımın iyileştirilmesi veya yükün azaltılmasıyla sıcak duman yok edilebilir. Sıkıştırma oranının veya setan sayısının arttırılmasıyla da soğuk duman yok edilebilir.

Böylece rölantide çalışan motor, yük arttırıldığında görünmez olan beyaz (soğuk) duman çıkarmaya meyillidir. Siyah (sıcak) duman ise yük arttırıldığı zaman oluşur ve maksimum yük, egzoz gazlarının renginin belirlenmesiyle tanımlanır.

Aşırı ısınmış motor, şu özelliklere sahip bir kısa tutuşma gecikmesine neden olur:

1. Sprey memeden uzaklaşmadan önce tutuşma olur.

2. Patlama şiddeti ne kadar az olursa ikinci türbülansta o kadar az olur.

Bu ikisinden birinin olması durumunda, yanma minimum hava ile ve yakıt parçalanması is oluşumuyla meydana gelir. Setan sayısı yüksek olan yakıtlar

fazla duman oluşumuna sebep olurlar. Problem karmaşıktır, çünkü yakıt özellikleri birbirleriyle ilişkilidir.

Örneğin, yakıtın uçuculuğunun değiştiğini kabul edelim. Bu değişimle viskozitede ve özgül ağırlıkta bir değişim meydana gelir. Dolayısıyla, memeden püsküren yakıt uçuculuğun etkisiyle farklı bir açıya, farklı bir girişime (viskozite etkisiyle) ve özgül ağırlığın değişiminin etkisiyle farklı bir kütleye sahip olur.

Böylece önemli yakıt özelliklerinin değişiminin duman üzerine etkileri, en başta motor tipine, enjeksiyon donanımına ve motor karakteristiklerine bağlıdır.

Diğer yandan 20 sınıftan olan yakıtlar standartlaştırılırlar ve bu yüzden yakıtlar arasındaki farklar öncelikle rafineri metodlarından ve ham yakıtın ilk bilişiminden ortaya çıkmaktadır.

G. Irish , temiz bir motorla test edilen dört ticari yakıt arasında duman eğilimi bakımından küçük farklılıklar bulmuştur. Ancak, püskürtme memesinin uç çapı arttırıldığında duman farklılaşması görülmektedir.

Hidrojenle işleme giren yakıtlar duman oluşturmak için en az meyilli görünenlerdir. Yakıt özelliklerinin, egzoz dumanının yoğunluk, koku ve göz yaşartma karakteristiklerine etkisi çeşitli deneylerle incelenmiş ve sonuçta dumana özellikle tesir eden faktörler olarak şunlar bulunmuştur:

1. Yakıtın %50 distilasyon noktasının önemi
2. Değişken ön kaynama ve sabit son uçuculuk noktalı yakıtların performansa etkileri
3. Değişken son uçuculuk ve sabit ön kaynama noktalı yakıtların performansa etkileri
4. Sabit yüksek ve sabit düşük uçuculuklarda değişken setan sayısının etkisi
5. Soğutma suyu sıcaklığının etkisi

Açık havada yapılan deneyler, gaz yağı sınıfından hafif dizel yakıtlarının kullanılması halinde dumanın azaldığını göstermiştir. Ancak koku ve göz yaşartma

karakteri ağır yakıtlarda daha iyidir. Ayrıca ağır yakıtlar, hafif yakıtlara nazaran %7'ye kadar çıkan bir ekonomi sağlarlar.

Yakıt özellikleri ile duman arasındaki bağıntıyı en iyi veren kural şudur: Ön kaynama sıcaklığı ile %50 distillasyon sıcaklığını içine alan, önceden tespit edilmiş muntazam aralıklarla artan sıcaklıklarda buharlaşan yakıt yüzdelерinin toplamı ne kadar büyük olursa, yakıtın duman bakımından karakteri o kadar iyi olur.

Egzoz dumanı bakımından yakıt uçuculuğunun etkisi setan sayısı etkisini gölgeler. Setan sayısı, özellikle rölanti halindeki kokuya etki etmektedir. Setan sayısı arttıkça koku azalır. Silindir cidar sıcaklığı da duman ve koku üzerine etkide bulunmaktadır. Bu sıcaklığın yüksek tutulması egzoz dumanının azalmasını sağlar.

Dizel motorlarında emisyonun kötüleşmesi ve is oluşumuna yol açan başlıca etkenler :

1. Motorun fazla yüklenmesi
2. Silindirlere gönderilen yakıtın iyi dengelenmemesi
3. Motora fazla miktarda yakıt gönderilmesi
4. Hava yetersizliği
5. Püskürtme ayarının tam yapılamaması
6. Enjektörde meydana gelen hatalar
7. Yakıtın özelliklerinin iyi olmaması
8. Sıkıştırma oranının düşük olması
9. Yakıt püskürtme basıncının düşük olması
10. Geç yanma

4.7. Motor Performansı Deneyleri İçin Avrupa Birliği Standartları

- Üye ülkelerin motorlu taşıtların motor güçlerine ilişkin yaklaşım kanunları

İlk olarak 6 Şubat 1970 tarihinde 70/156/EEC sayılı standartta kabul edilen kanunlar bütünü 16 Aralık 1980 tarihinde üye ülkelerin fikir birliğine varmasıyla yenilenmiştir. Yıllar içinde küçük değişikliklere uğrasa da standardın içerdiği temel maddeler değişmemiştir.

- Kapsam

80/1269/EEC standardı; en az 4 tekerlekli ve maksimum tasarım hızı 25 km/h'i geçen; demiryolu, tarım ve orman traktörleri hariç tüm taşıtlarda geçerlidir.

- Faaliyet Alanı

80/1269/EEC standardı; tüm benzinli ve dizel motorlarla Wankel motorları için geçerlidir. Ayrıca hem doğal emişli hem de aşırı doldurmalı motorlarda da geçerliliğini korur.

- Efektif Güç tanımı

Motorun çıkış milinden alınan net güç, efektif güç olarak tanımlanır. Maksimum net güç ise motorun tam yük konumunda alınan net gücü belirtir.

- Tam yük Gücünün ölçümünün doğruluğu

- a.) Ölçülen motor momenti bilinen değerden $\% \pm 1$ sapabilir.
- b.) Yakıt sıcaklığı ölçüm sırasında ± 2 K sapabilir.
- c.) Emme havasının sıcaklığı ölçüm sırasında ± 2 K sapabilir.
- d.) Ortam basıncı ölçüm sırasında ± 100 Pa = ± 1 mbar sapabilir.
- e.) Emme havasının basıncı ölçüm sırasında ± 50 Pa sapabilir.
- f.) Egzoz borusu basıncı ölçüm sırasında ± 200 Pa sapabilir.
- g.) Motor devir sayısı $\% 0,5$ 'den fazla sapmamalıdır.
- h.) Ölçülen yakıt tüketimi bilinen değerden $\% \pm 1$ sapabilir.

- Efektif Motor Gücünün Ölçüm Testleri

Testler için gerekli ekipman Tablo 4.2'de verilmiştir.

- Dizel motorun çalıştırılması için gerekli yardımcı donanımlar

- a.) Motorun çalışma şartlarına uygun jenaratör, akü vb. yardımcı donanımlar seçilmelidir.
- b.) Motorun çalıştırılmasında zorunlu olarak kullanılan ekipmanlar hariç aküye bağlanan diğer cihazların bağlantısı kesilmelidir.

Tablo 4.5 : Efektif Motor Gücünün Tespiti İçin Yapılan Testlerde Bulunması Gereken Donanımlar

No	Donanım
1	EMME SİSTEMİ
	Emme manifoldu
	Hava filtresi
	Emme susturucusu
	Emisyon Kontrol sistemi
	Hız sınırlayıcı sistem
2	EMME MANİFOLDUNU ISITMA CİHAZI
3	EGZoz SİSTEMİ
	Egzoz temizleyici
	Egzoz manifoldu
	Egzoz bağlantı boruları
	Susturucu
	Son(kuyruk) boru
	Egzoz freni
	Aşırı doldurma sistemi
4	KARIŞTIRICI
	ECU,hava akış ölçer vb.
5	YAKIT BESLEME POMPASI
6	YAKIT PÜSKÜRTME POMPASI
	Önfiltr
	Filtr
	Püskürtme pompası
	Yüksek basınç borusu
	Enjektörler
	Emme havası valfi
	ECU,hava akış ölçer vb.
	Yöneten/Kontrol sistemi
7	SIVI SOĞUTMA DONANIMI
	Motor kapağı
	Motor kapağı hava çıkışı
	Radyatör
	Fan
	Fan başlığı
	Su devir daim pompası
	Termostat
8	HAVA SOĞUTUCU
	Başlık
	Fan
	Sıcaklık düzenleyici cihaz
9	ELEKTRİK DONANIMI

10	AŞIRI DOLDURMA SİSTEMİ
	Kompresör
	Hava soğutucu
	Soğutucu pompa veya fan
	Soğutucu akış kontrol cihazı
11	KİRLETİCİ ÖNLEYİCİ SİSTEMLER
	EGR
	Katalitik dönüştürücü
	Termal reaktör

- Ekipmanların Yerleşim Şekli

a.) Emme havasının basıncı üretici firmanın verdiği sınır değerden en fazla 100 Pa sapabilir.

b.) Egzoz bağlantı borusunun motordan sonraki 150 mm.noktası egzoz sisteminin çıkışı kabul edilir.Sistemin çıkışındaki egzoz borusu basıncı üretici firmanın verdiği sınır değerden en fazla 1000 Pa sapabilir. Ölçümü yapan boru, egzoz borusu içinde akışla aynı yönde konumlandırılır.

c.) Motorda bir egzoz freni var ise gaz kolu tam açık pozisyonda tutulmalıdır.

d.) Yakıt geri dönüşlü sistemler kullanıldığında fazladan basınç oluşabileceğinden yakıt besleme basıncı ayarlanmalıdır.

e.) Hava giriş valfi püskürtme pompasının pnömatik olarak yönetilmesi için kullanılır. Yakıt püskürtme donanımı püskürtülen yakıt miktarını da etkileyebilir. Hava giriş valfi motor için uygun ise kullanılır.

f.) Radyatör, fan, fan başlığı, su devir daim pompası ve termostat test düzeneği ile aynı doğrultu üzerinde konumlandırılmalıdır.

Soğutucu sıvı sirkülasyonu sadece su devir daim pompası ile yönetilmelidir. Sıvının soğutulması motor radyatörü ile ya da harici bir eşanjörle sağlanabilir.

g.) İyi bağlanamayan bir fan kullanılırsa çalışma anında hatalar oluşur.

h.) Termostat tam açık pozisyonda tutulmalıdır.

i.) Jenaratör gücü motorun çalışması için gerekli donanımları çalıştırmakla sınırlandırılmalıdır. Eğer bir akü bağlantısı gerekli ise iyi durumdaki tam dolu bir akü kullanılmalıdır.

j.) Kirletici önleyici sistemler (EGR:Egzoz gazı resirkülasyonu, katalitik dönüştürücüler ve termal reaktörler) kullanılabilir.

- Düzenek Kurulum Koşulları

Motorun efektif gücünü tespit eden testler için gerekli kurulum koşulları Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.6 : Testler İçin Gerekli Kurulum Koşulları

1	Karıştırıcının kurulumu
2	Püskürtme pompasının kurulumu
3	Ateşleme ya da püskürtme zamanlaması
4	Yönetici sistemin kurulumu
5	Kirletici önleyici sistemler

- Test Koşulları

a.) Efektif güç testlerinde benzinli motorlarında tam gaz kelebeği konumunda, dizel motorlarında ise sabit bir tam yük yakıt püskürtme pompası pozisyonunda ölçüm yapılır. Bu durum aynı zamanda tam gaz kolu pozisyonudur. Benzinli motorlarda silindire girecek havayı gaz kelebeğinin konumu belirler. Bu yüzden deney sırasında gaz kelebeği belli bir pozisyonda tutulmalıdır. Dizel motorlarında ise silindire girecek hava miktarını yakıt miktarı belirler. Püskürtme pompasını ise gaz kolu kumanda etmektedir.

b.) Emme havası giriş sıcaklığı gibi test koşulları standart ortam koşullarına mümkün olduğunca yakın seçilmelidir. Böylece düzeltme faktörünün büyüklüğü de azaltılabilir.

c.) Emme havasının sıcaklığı hava temizleyicinin girişinden 0,15 m. uzaklıkta ve akışa ters yönde ölçülmelidir. Eğer hava temizleyicisi yoksa, ölçüm emme kanalına 0,15 m. mesafeden yapılır.

d.) Motor momenti, devir sayısı ve sıcaklık değerlerinin sabit olarak belirgenleşmesi için her ölçüm noktasında en az 1 dk. beklenmelidir.

e.) Motor devrinin okunması sırasında 10d/d'dan fazla ya da ± 1 'den fazla sapma olmamalıdır.

f.) Fren yükü, özgül yakıt tüketimi ve emme havası sıcaklığı değerleri aynı anda ölçülmelidir. Bu değerler için ± 2 'den fazla değişiklik göstermeyen 2 durumun ortalaması alınabilir.

g.) Motordan dönen soğutma suyu sıcaklığı üretici firmanın verdiği sıcaklıktan en fazla ± 5 K sapabilir. Eğer sıcaklık belirtilmemişse, bu değer 348 – 358 K aralığında olmalıdır.

h.) Yakıt sıcaklığı karbüratör girişinde ya da yakıt püskürtme sistemi girişinde ölçülmelidir. Üretici firmanın verdiği sınırlara uyulmalıdır.

i.) Yağlama yağı sıcaklığı yağ haznesinde ya da yağ soğutucunun çıkışında ölçülmelidir. Üretici firmanın verdiği sınırlara uyulmalıdır.

- Test prosedürü

Motoru üreten firmanın da tavsiyelerine bağlı olarak belirlenen minimum ve maksimum motor devir sayılarında yeterli sayıda ölçüm noktasında test gerçekleştirilir.

Bu devir sayılarının içinde maksimum motor gücünü veren devri sayısı mutlaka bulunmalıdır.

- Emisyon ölçümü

Emisyon için yapılan testlerde Avrupa Birliği standardı olarak bilinen 72/306/EEC uygulanmalıdır.

- Güç düzeltme faktörleri

Güç düzeltme faktörü, motor gücünü atmosferik referans koşullara indirgemeye yarayan bir katsayıdır.

$$P_o = P \times \alpha \quad (4.26)$$

$$M_{mo} = M_m \times \alpha \quad (4.27)$$

$$b_{eo} = b_e / \alpha \quad (4.28)$$

$$\eta_{to} = \eta_t \times \alpha \quad (4.29)$$

$P_o \rightarrow$ İndirgenmiş motor gücü

$\alpha \rightarrow$ Düzeltme faktörü (α_a, α_d)

$P \rightarrow$ Ölçülen motor gücü

- Referans atmosferik koşullar

a.) Referans atmosferik sıcaklık : $T_o = 25^\circ\text{C} = 298\text{K}$

b.) Referans atmosferik kuru hava basıncı : $P_{so} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$

- Atmosferik deney koşulları

Deneyler sırasında atmosfer koşulları şöyle olmalıdır:

a.) Deney ortam sıcaklığı

Benzinli motorlar için : $15^\circ\text{C} \leq T \leq 35^\circ\text{C}$

Dizel motorlar için : $10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$

b.) Deney ortamı kuru hava basıncı : $0,8 \text{ bar} \leq P_s \leq 1,1 \text{ bar}$

- Düzeltme faktörlerinin tespiti (α_a, α_d)

a.) Tabii emişli ya da aşırı doldurmalı benzinli motorlar için (α_a)

$$\alpha_a = (99 / P_s)^{1,2} \times (T/298)^{0,6} \quad (4.30)$$

T : Deney ortam sıcaklığı (K)

P_s : Deney ortamı kuru hava basıncı (kPa)

P_s = Barometre basıncı (kPa) – Su buharı basıncı (kPa)

$0,93 \leq \alpha_a \leq 1,07$ (Geçerli büyüklük)

b.) Dizel motorlar için (α_d)

$$\alpha_d = (f_a)^{f_m} \quad (4.31)$$

f_a : Atmosferik faktör ve f_m : Motor faktörü

1. Atmosferik faktör : Basınç, sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarının etkisini ortaya koyar.

Tabii emişli ve mekanik aşırı doldurmalı motorlarda:

$$f_a = (99 / P_s) \times (T/298)^{0,7} \quad (4.32)$$

Ara soğutuculu ya da ara soğutucusuz turboşarjlı motorlarda:

$$f_a = (99 / P_s)^{0,7} \times (T/298)^{1,5} \quad (4.33)$$

2. Motor faktörü

$$f_m = 0,036 \times q_c - 1,14 \quad (4.34)$$

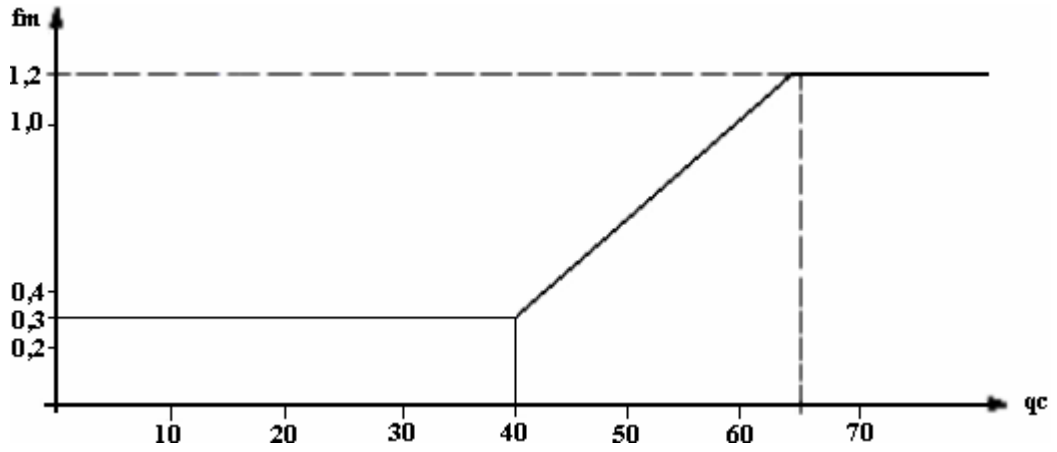
$$q_c = q/r \quad (4.35)$$

$q \rightarrow$ Çevrim başına püskürtülen 1 litre hacimdeki miligram olarak yakıt miktarı mg/ (litre×çevrim)

$r \rightarrow$ Kompresör çıkış basıncı / Kompresör giriş basıncı

$6,5 \leq q_c \leq 40$ (Geçerli büyüklük) ve $0,9 \leq \alpha_d \leq 1,1$ (Geçerli büyüklük)

Motor faktörünün belirlenmesi için gerekli olan grafik Şekil 4.15'te yer almaktadır.



Şekil 4.17 : Motor Faktörünün Belirlenmesi

4.8. Egzoz Emisyon Ölçüm Deneyleri İçin Avrupa Birliği Standartları

Avrupa Birliği'nin koyduğu ve tüm araçların uyması gereken bir takım sabit emisyon standartları vardır. Bu standartlar tüm karayolu, demiryolu ve denizyolu araçları ile traktör gibi yoldışı makinalarda geçerlidir. Ancak, bu standartlar denizaşırı seyahat eden gemi ve uçaklar için geçerli değildir.

Avrupa Emisyon Standartları, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde satılan yeni araçların egzoz emisyonları için kabul edilebilir sınırlamalar koyan bir gereksinimler bütünüdür. Standartlar, Avrupa Birliği'nin koyduğu hızla ilerleyen sıkı standartlar dizisidir. Buna göre; NO_x, HC, CO₂ ve partikül madde emisyonları arabalar, kamyonlar, trenler, traktörler vb. araçlar için düzenlenmeye çalışılmaktadır. Her bir farklı araç tipi için farklı standartlar uygulanmaktadır.

Standartlara uyumluluk standartize edilmiş bir test çevriminde söz konusu motorun çalıştırılması ile tanımlanır. Uyumlu olmayan araçlar Avrupa Birliği ülkelerinde satılamamaktadır, fakat daha önceden yola piyasaya çıkmış olan araçlara ise yeni standartlar uygulanamamaktadır. Emisyon standartları Romen rakamları ile gösterilecek şekilde EURO – I, EURO – II, EURO – III, EURO – IV ve EURO – V emisyon standartları olarak belirtilmektedir.

4.8.1. Binek Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları

Araçlardan yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan egzoz emisyon miktarlarında on yıl öncesine göre azalmalar kaydedilmiştir. Bu gelişmenin baş aktörü emisyon standartlarıdır.

Binek araçlar ve hafif ticari araçlar için konulan egzoz standartları ile ilgili bilgiler aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir. EURO – 2 standartlarının yürürlüğü girdiği günden itibaren dizel ve benzinli araçlar için ayrı emisyon standardı uygulamasına gidilmiştir.

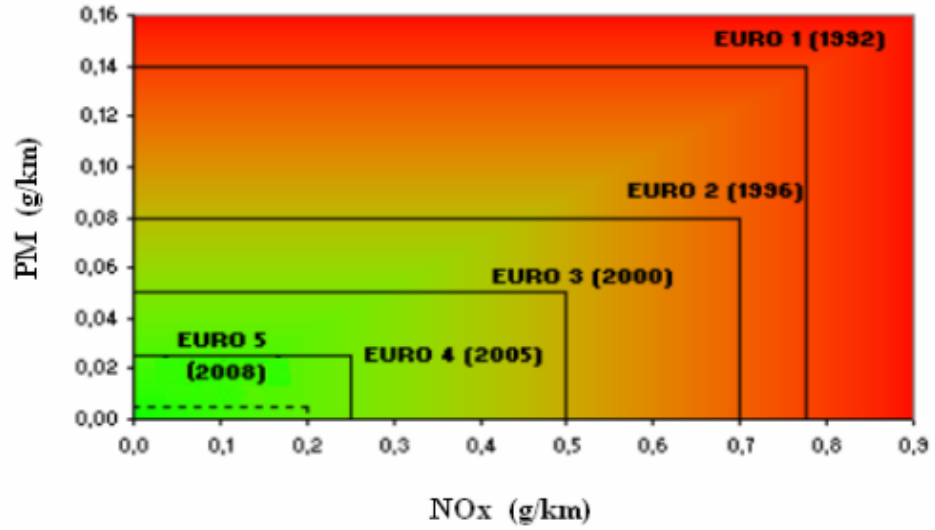
Dizel motorlar CO standartları konusunda çok sıkı iken NOx emisyonları daha yüksek değerlerdedir. Benzinli araçlarına ise EURO – 4 standartlarına göre bir partikül madde (PM) emisyon sınırlaması getirilmemiştir. EURO – 5 standartları için ise fakir – yanmalı benzinli araçlarda PM standardının getirilmesi teklif edilmektedir.

Tablo 4.7 : Binek Dizel Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları (g/km)

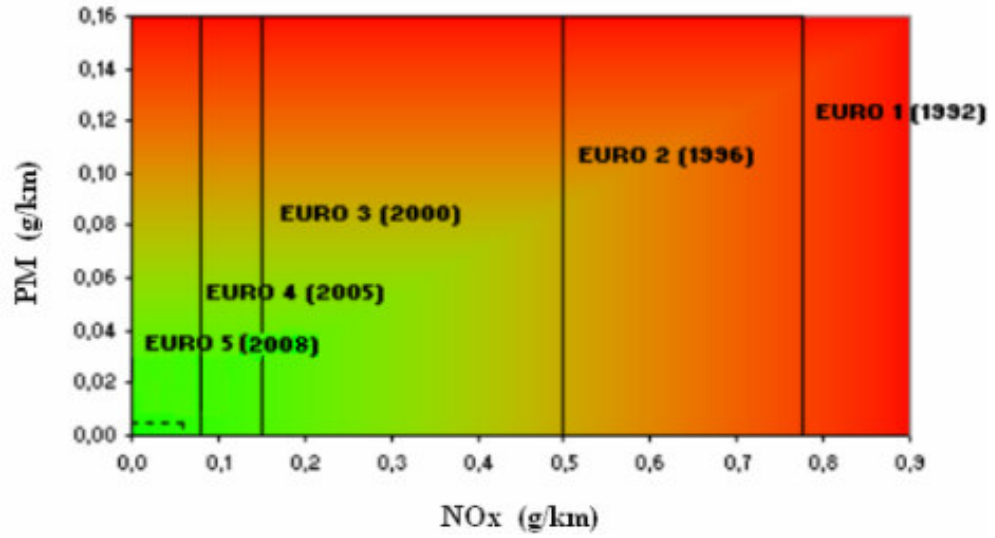
Dizel	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Euro 1	Temmuz 1992	2.72	–	0.97	–	0.14
Euro 2, IDI	Ocak 1996	1.0	–	0.7	–	0.08
Euro 2, DI	Ocak 1996	1.0	–	0.9	–	0.10
Euro 3	Ocak 2000	0.64	–	0.56	0.50	0.05
Euro 4	Ocak 2005	0.50	–	0.30	0.25	0.025
Euro 5	Temmuz2008	0.50	–	0.25	0.20	0.005

Tablo 4.8 : Binek Benzinli Araçlar İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları (g/km)

Benzinli	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Euro 1	Temmuz 1992	2.72	–	0.97	–	–
Euro 2	Ocak 1996	2.20	–	0.5	–	–
Euro 3	Ocak 2000	2.30	0.20	–	0.15	–
Euro 4	Ocak 2005	1.0	0.10	–	0.08	–
Euro 5	Temmuz2008	1.0	0.075	–	0.06	0.005



Şekil 4.18 : Dizel Araçlar İçin NOx ve Partikül Madde Emisyon Standartları



Şekil 4.19 : Benzinli Araçlar İçin NOx ve Partikül Madde Emisyon Standartları

4.8.2. Ağır İş Vasıtaları İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları

Her ne kadar binek araçlar için emisyon standartları g/km cinsinden ise de ağır iş vasıtaları için g/kWh olarak belirlenmiştir ve iki sınıfı birbiriyle karşılaştırmak çoğu zaman mümkün değildir. Ağır iş vasıtaları denilince akla genellikle kamyonlar ve otobüsler gelmektedir.

Tablo 2.5'te emisyon standartları için özet niteliğinde olan ve standartların yürürlüğe girdikleri tarihleri gösteren bir çizelge yer almaktadır. Standartların resmi onay alması ise genellikle tablodaki tarihlerden bir yıl sonra olmaktadır.

Tablo 4.9 : Dizel Ağır İş Vasıtaları İçin Avrupa Birliği Emisyon Standartları
(g/kWh) – Duman (1/m)

Ağır iş vasıtası	Tarih	Test çevrimi	CO	HC	NO _x	PM	Duman
Euro I	1992, < 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	Ekim 1996		4.0	1.1	7.0	0.25	
	Ekim 1998		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	Ekim 1999 EEV*	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	Ekim 2000	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
Euro IV	Ekim 2005		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	Ekim 2008		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5

*EEV (Çevre dostu taşıtlar)

Aşağıdaki çizelgede 3,5 metrik – tondan daha büyük ağırlıktaki ağır iş vasıtalarına uygun olan standart veriler belirtilmiştir:

- Euro 0 (1988–1992) standartları emisyonları 12.3 g/kWh CO, 2.6 g/kWh HC ve 15.8 g/kWh NO_x olarak sınırlandırmıştır.
- Euro I (1992–1995) standartları emisyonları 4.9 g/kWh CO, 1.23 g/kWh HC, 9.0 g/kWh NO_x ve 0.4 g/kWh partikül madde olarak sınırlandırmıştır.
- Euro II (1995–1999) standartları emisyonları 4.0 g/kWh CO, 1.1 g/kWh HC, 7.0 g/kWh NO_x, 0.15 g/kWh partikül madde olarak sınırlandırmıştır.
- Euro III (1999–2005) standartları emisyonları 2.1 g/kWh CO, 0.66 g/kWh HC, 5.0 g/kWh NO_x, 0.1 g/kWh partikül madde olarak sınırlandırmıştır.
- Euro IV (2005–2008) standartları emisyonları 1.5 g/kWh CO, 0.46 g/kWh HC, 3.5 g/kWh NO_x, 0.02 g/kWh partikül madde olarak sınırlandırmıştır.
- Euro V (2008–2012) standartları emisyonları 1.5 g/kWh CO, 0.46 g/kWh HC, 2.0 g/kWh NO_x, 0.02 g/kWh partikül madde olarak sınırlandırmıştır.

Günümüzde CO₂ emisyonları için bir standartizasyon bulunmamaktadır. Avrupa Parlamentosu CO₂ emisyonlarını kontrol altına almak için otomobil üreticilerinin belirli sorumlulukları üstlenmesini teklif etmektedir.

Emisyon değerlerini azaltmak için konulan emisyon standartlarının belirlenmesinde yapılan testlerin hangi çevrim şartlarında yapıldığı normal sürüş koşullarında uyumluluk açısından son derece önemlidir. Yakın geçmişte motor üreticileri emisyon performansının test çevrimine uyumlu hale getirilmesi gerçeğini keşfettiler ve bunu “evrim Yanılgısı” olarak isimlendirdiler. Bu durum gerçek sürüş koşullarında umulandan daha büyük emisyon değerlerine ulaşıldığı anlamına gelmektedir ki bu aynı zamanda halk sağlığını tehlikeye atacak boyutlarda da olabilir. Almanya’daki iki teknoloji enstitüsünün yaptığı araştırmalar Euro emisyon standartlarının yürürlüğe girdiğı tarihten sonra geçen 13 yıl içinde dizel araçlar için gerçekle bire bir örtüşen NOx emisyonun ölçülemediğini ortaya koymuştur.

Avrupa Birliği Meclisi’nin 88/77/EEC sayılı standart direktifi dizel motorlu araçlardan gaz emisyonu ve partikül maddelerin, benzin motorlu araçlardan ise kirletici emisyonların azaltılması için üye ülkelerin yasalarına ilişkin bir yaklaşımdır.

Temel olarak 6 Şubat 1970 tarihindeki 70/156/EEC standardı alınmıştır. 88/77/EEC standardı daha sonra bir çok kez kirletici emisyon limitlerine uymak için değiştirilmiştir. Buna örnek olarak 91/542/EEC ve 99/96/EEC standard direktifleri gösterilebilir.

➤ Tanımlamalar ve Kısaltmalar

1. Test evrimleri :

1.a. ESC testi (Devamlı hal)

1.b. ETC ve ELR testleri (Kısa süreli)

2. Gaz kirleticiler : CO, HC, NOX, CH₄ (Doğalgazlı taşıtlar için)

3. Partikül maddeler: 52°C’yi geçmeyen ortamda egzoz gazının filtrelenmesi sonucu filtrede toplanan maddeler.

4. İs (Duman) : Egzoz buharı

- Net güç (Efektif güç) : Test düzeneğinde krank milinin çıkışından alınan güç
($N_e = N_i - N_s$) (80/1269/EEC)

- Kısmi yük : Herhangi bir motor devrinde elde edilen max.motor momenti değerinin yüzdesel oranı.

- ESC testi : 13 kararlı durum modunu içeren test.
- ELR testi : Sabit devir sayılarında ard arda gelen yükleri içeren test.
- ETC testi : 1800 saniyelik bir süre içinde uygulanan kısa zamanlı test.
- Düşük Hız: Maksimum gücün olduğu devrin %50'si kadar devir sayısı. (Maksimum güçten önce)
- Yüksek Hız: Maksimum gücün olduğu devrin %70'i kadar devir sayısı. (Maksimum güçten sonra)
- Çalışma aralığı : Düşük hız ile yüksek hız arasında yer alır.
- Motor devir sayıları : ESC ve ELR testlerindeki A,B ve C devir sayıları (Ölçüm yapılan devirler)
- Limit Değerler : Tablo B.2'deki değerleri içerir.

➤ Test prosedürü :

Bu bölüm test edilen motorlardaki gaz emisyonlarını, partikülleri ve dumanı belirlemek için tanımlanmıştır. Buna göre 3 farklı test çevrimi mevcuttur.

– ESC testi : 13 kararlı durum modunu içeren çevrim.

– ELR testi : Farklı hızlardaki kısa zamanlı yük adımlarını içerir.

– ETC testi : Saniye saniye gelen kısa zamanlı modları içerir.

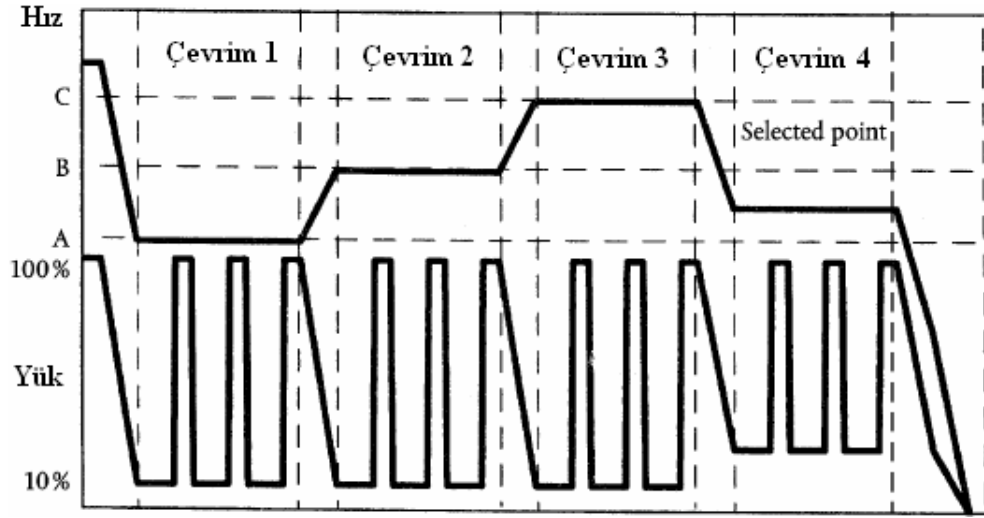
a.) ESC testi :

Motorun ısınma süresi sırasında egzoz gazlarının miktarı sürekli olarak egzoz gazı borusundan alınan numunelerle kontrol edilmelidir.

Test çevrimi, motorun tipik çalışma şekline uygun olan bir dizi hız ve motor gücü noktalarını içerir. Her bir mod sırasında kirletici gaz konsantrasyonu, egzoz akışı ve çıkış gücü belirlenip ölçülmelidir.

Partikül örneği ortam havasıyla seyreltilmelidir. Tüm test boyunca filtrelerde toplanan bir örnek gaz olmalıdır. Her bir kirleticinin kWh başına gram cinsinden değeri hesaplanır. CO ve HC emisyon ölçümleri için en uygun testtir.

b.) ELR testi : İs ve PM ölçümüne en uygun testtir. Motoru 3 ya da 4 devir sayısında çalıştırıp, bu devirlerdeki %10 ila %100 arasında değişen yük pozisyonlarında yapılan ölçümleri içerir. (Şekil 4.20)



Şekil 4.20 : ELR Testinin Sırası

c.) ETC testi :

Kirleticiler ortam havasında seyreltildikten sonra kontrol edilmelidir. Motor momenti ve dinamometrenin hız geri besleme sinyalleri kullanılarak güç değerleri çevrim zamanına bağlı olarak tamamlanır.

NO_x, HC, CO ve CO₂ konsantrasyonları analizör sinyalinden sonra belirlenir. Partikül maddeleri için yüzdesel bir örnek, uygun filtrelerde toplanır. Her bir kirleticinin kWh başına gram cinsinden değeri hesaplanır.

➤ Test Koşulları : (80/1269/EEC standardında belirtilen)

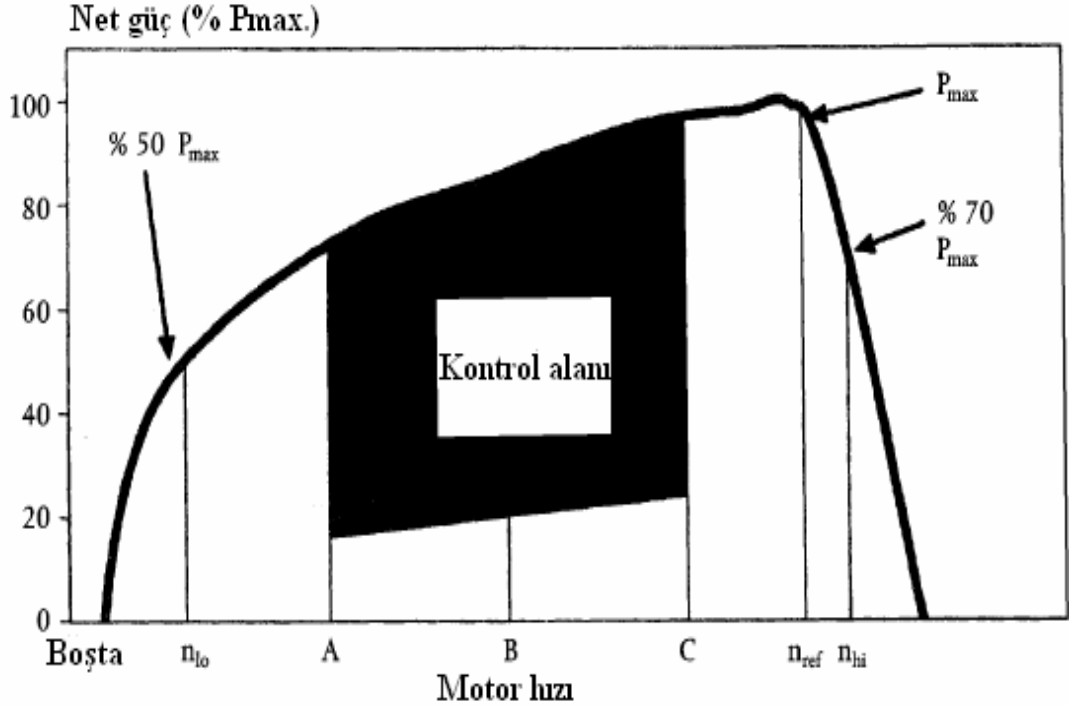
- Motor hava emiş sistemi : Emme havasının basıncı, motorun maksimum güç ve tam yükte çalışırken ulaştığı üst limite göre ± 100 Pa değişim gösterebilir.
- Egzoz sitemi : Egzoz borusu basıncı, maksimum güç ve tam yük durumu için belirtilen üst sınırın ± 1000 Pa dahilinde olmalıdır.

Eğer motor egzoz emisyonu azaltıcı bir donanıma sahipse egzoz borusunun çapı azaltıcı donanımın genişleyen ve akışa dik yöndeki giriş kısmının en az 4 katı kadar bir değere olmalıdır.

- Yakıt : Yakıt sıcaklığı $33^{\circ}\text{C} = 306 \text{ K}$ 'den düşük olmamalıdır. Özel olarak belirtilmemişse bu sıcaklık yakıt besleme pompasının girişinde $311 \text{ K} \pm 5 \text{ K}$ olmalıdır.

- Egzoz iyileştirme sistemleri : Motorda böyle bir sistem mevcutsa emisyonlar bu donanımlarla beraber ölçülmelidir. Eğer bir test çevriminde bir donanım kullanılmamışsa diğer sonuçların ortalaması alınmalıdır.

➤ ESC ve ELR test çevrimleri



Şekil 4.21 : ESC ve ELR Test Çevrimleri

A, B ve C motor devirleri üretici firmanın verdiği tam yüklü pozisyonadaki maksimum güç değerine göre belirlenir. (Şekil 4.21)

En düşük devir sayısı : Maksimum gücün oluştuğu devir sayısının %50 'si

En yüksek devir sayısı : Maksimum gücün oluştuğu devir sayısının %70 'si olmalıdır.

HIZ A : Düşük hız + $0,25 \times (\text{Yüksek hız} - \text{Düşük hız})$

HIZ B : Düşük hız + $0,50 \times (\text{Yüksek hız} - \text{Düşük hız})$

HIZ C : Düşük hız + $0,75 \times (\text{Yüksek hız} - \text{Düşük hız})$

Tablo 4.10'da ESC testleri için geçerli olan 13 nokta mod sistemi görülmektedir.

Tablo 4.10 : 13 Nokta Mod Sistemi

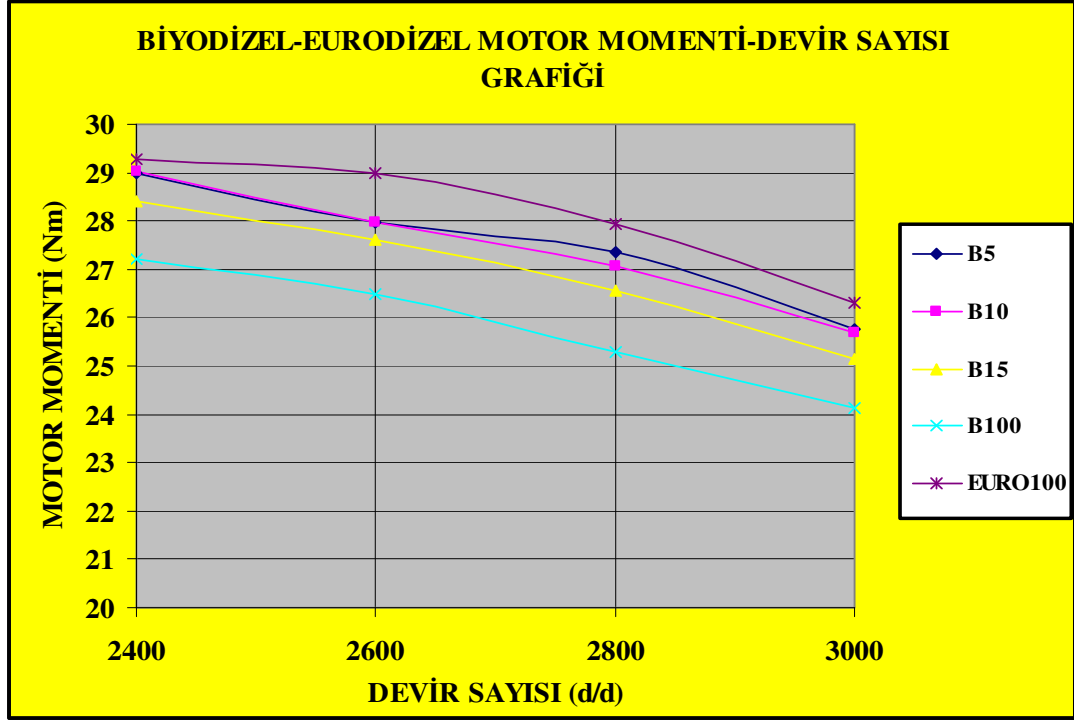
Mod	Motor hızı	Yüzde yük	Test süresi (dk)
1	Boşta	—	4
2	A	100	2
3	B	50	2
4	B	75	2
5	A	50	2
6	A	75	2
7	A	25	2
8	B	100	2
9	B	25	2
10	C	100	2
11	C	25	2
12	C	75	2
13	C	50	2

4.9. Deney Yakıtı Özellikleri

- Eurodizel R : 50 ppm kükürt içeren
- Biyodizel B100 : %100 Biyodizel
B5 : %5 Biyodizel + % 95 Eurodizel
B10 : %10 Biyodizel + % 90 Eurodizel
B15 : %15 Biyodizel + % 85 Eurodizel
- Etanol E5 : %5 Etanol + % 95 Eurodizel
E10 : %10 Etanol + % 90 Eurodizel
E15 : %15 Etanol + % 85 Eurodizel

4.10. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.10.1. Biyodizel – Eurodizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.22 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.11 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti Değerleri

Devir sayısı (d/d)	M _{mo} -Euro100 (Nm)	M _{mo} -B5 (Nm)	M _{mo} -B10 (Nm)	M _{mo} -B15 (Nm)	M _{mo} -B100 (Nm)
3000	26,288	25,76	25,678	25,127	24,138
2800	27,951	27,34	27,061	26,566	25,303
2600	28,994	27,959	27,963	27,598	26,469
2400	29,267	28,993	29,004	28,424	27,223

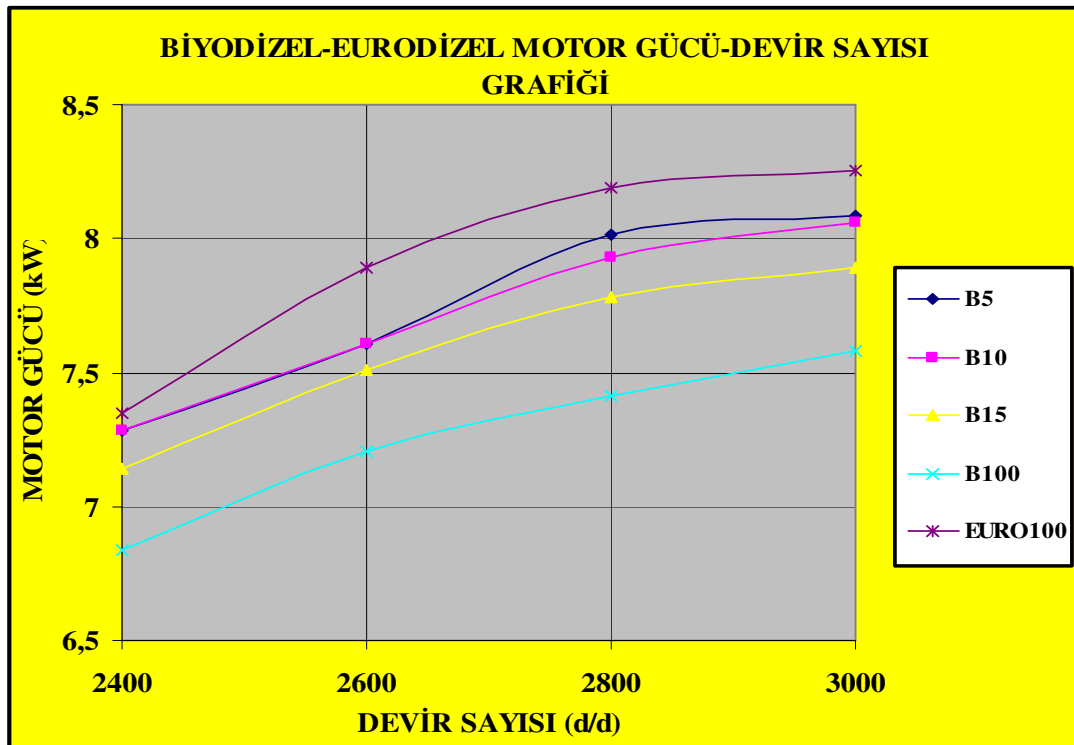
Grafikten görüldüğü gibi biyodizel ilavesi motor momentini her devir aralığında azaltmıştır. Bunun nedeni biyodizelin alt ısı değeri dizel yakıtına göre %10 civarı daha düşük olmasıdır.

Biyodizelin yoğunluğunun ve viskozitesinin fazla olması ve biyodizel içerisindeki oksijenin tam yanmanın oluşmasına yardım etmesi ile motor momentinin bir miktar artması da beklenebilir. Çünkü 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 kütleli bazda daha fazla yakıt gönderilmektedir.

Ancak tüm bu etkenlere karşılık alt ısı değeri azalış daha baskın gelmiş ve motor momenti düşmüştür.

Maksimum motor momenti değeri için tüm karışımların ve Eurodizel yakıtının eğilimlerinin aynı olup maksimum motor momentinin 2400 d/dak.'da gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 4.23 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.12 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü Değerleri

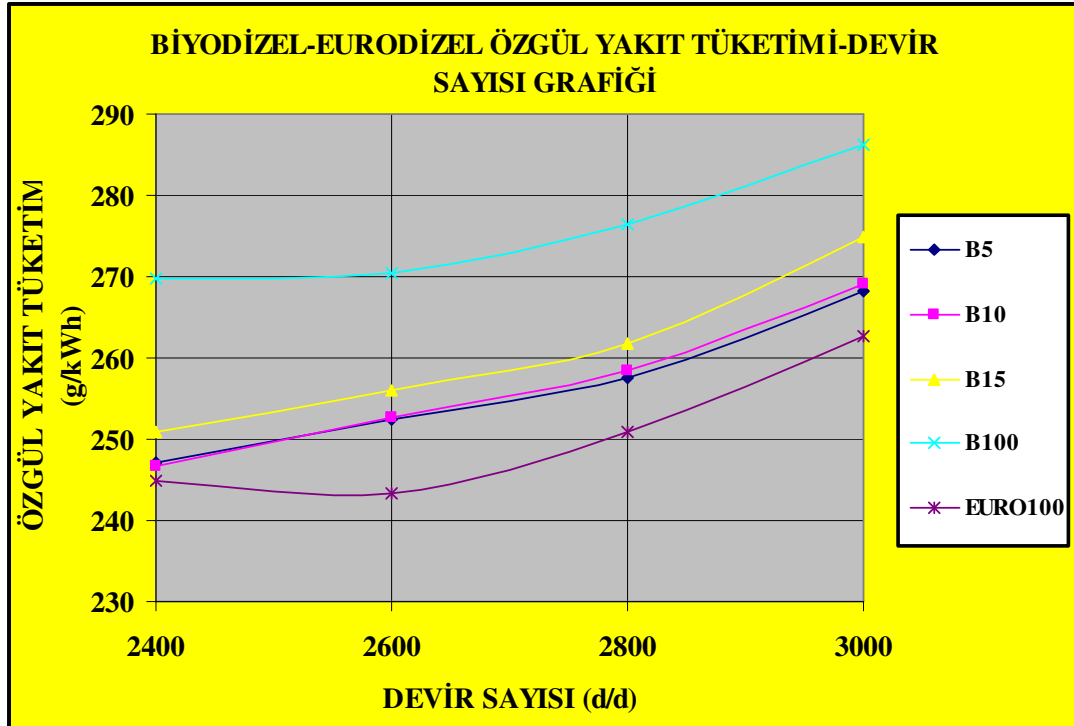
Devir sayısı (d/d)	P _o - Euro100 (kW)	P _o - B5 (kW)	P _o - B10 (kW)	P _o - B15 (kW)	P _o - B100 (kW)
3000	8,2535	8,0879	8,0619	7,8891	7,5783
2800	8,1907	8,0117	7,9298	7,7846	7,4147
2600	7,8894	7,6076	7,6088	7,5095	7,2023
2400	7,3509	7,2823	7,285	7,1393	6,8377

Biyodizel oranının artışı ile güçteki azalma da artmaktadır. Karışımdaki biyodizel oranı belirli bir seviyenin üzerine çıkması ile karışımının alt ısı değeri daha da

düşmekte ve viskozite artışından dolayı atomizasyon zayıflayarak yanmadaki kötüleşme ile birlikte güç daha da azalma olmaktadır.

%15 hacimsel biyodizel içeren karışımın, Eurodizel yakıtına oranla maksimum motor devri için (3000d/d) motor gücünde yaklaşık %6'lık bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür.

Maksimum güç değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin aynı olup maksimum gücün 3000 d/d'da gerçekleşmektedir.



Şekil 4.24 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimi – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.13 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimi Değerleri

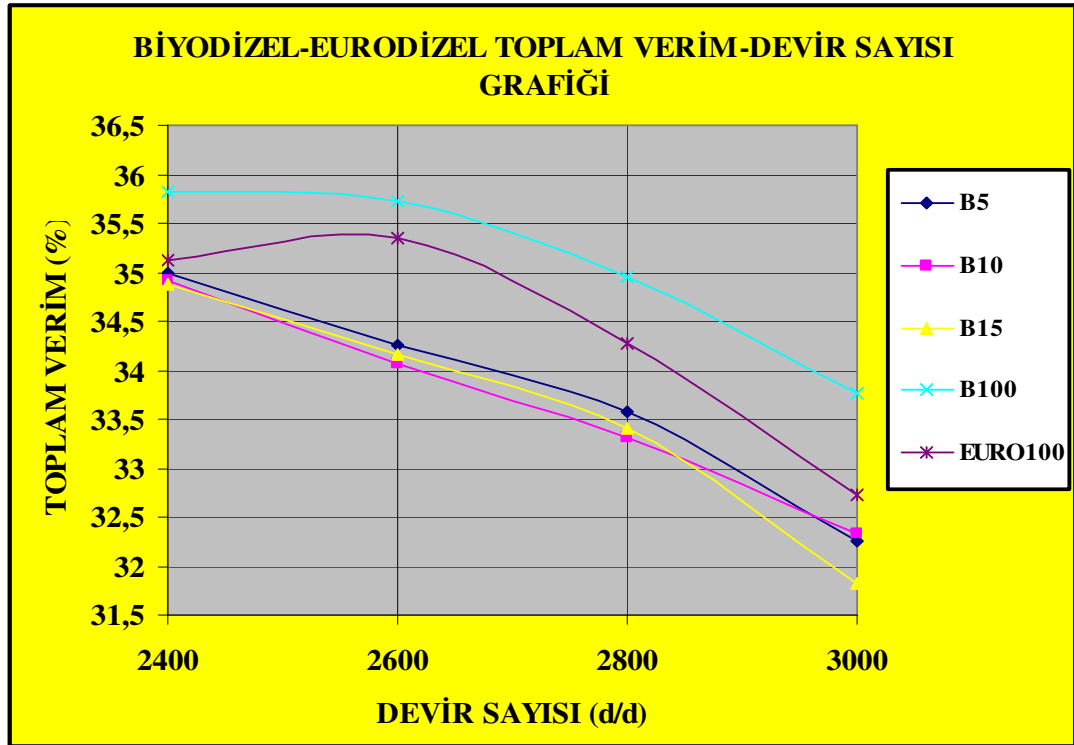
Devir sayısı (d/d)	be _o -Euro100 (g/kWh)	be _o -B5 (g/kWh)	be _o -B10 (g/kWh)	be _o -B15 (g/kWh)	be _o -B100 (g/kWh)
3000	262,76	268,14	269	274,89	286,17
2800	250,87	257,65	258,53	261,86	276,49
2600	243,23	252,51	252,74	256,09	270,48
2400	244,87	247,17	246,59	250,87	269,72

Karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri bütün devir sayısı aralıklarında referans yakıtından yüksektir.

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

Saf biyodizelin Eurodizel yakıta göre 2400 d/d'da özgül yakıt tüketimini %9,2 artırdığı görülmektedir.

Minimum özgül yakıt tüketimi değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin bire bir aynı olmayıp minimum özgül yakıt tüketiminin 2400 – 2600 d/d aralığında gerçekleştiği söylenebilir.



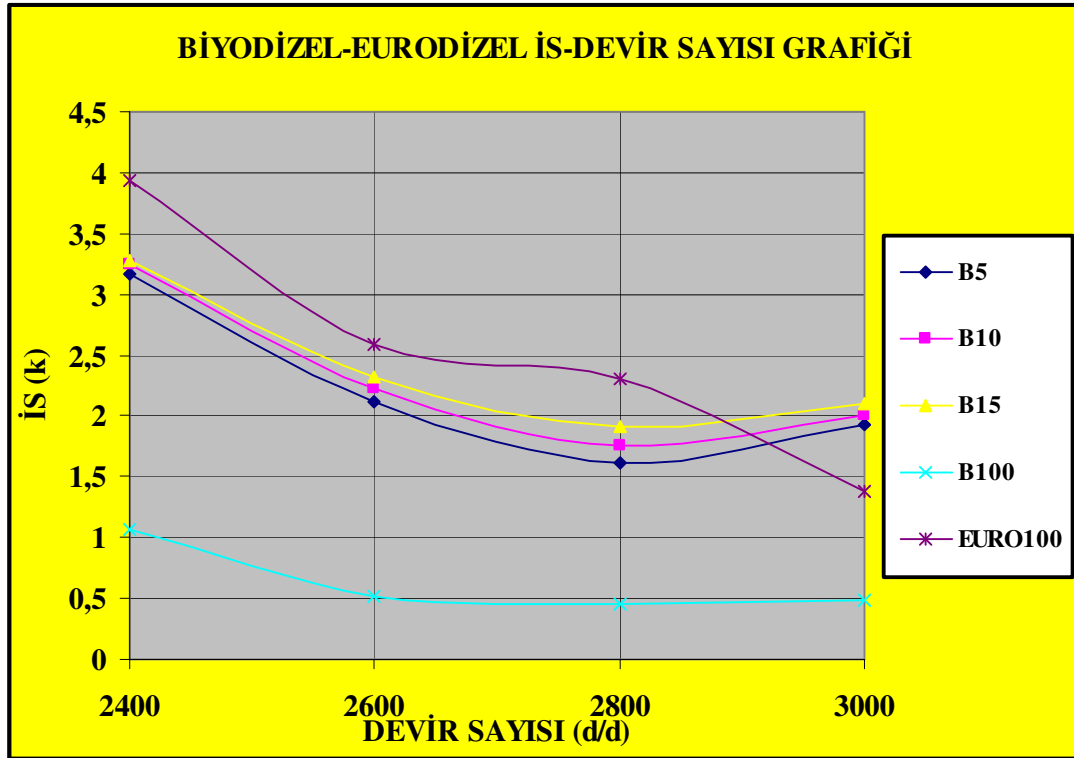
Şekil 4.25 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.14 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim Değerleri

Devir sayısı (d/d)	$\eta_{to} - \text{Euro100}$ (%)	$\eta_{to} - \text{B5}$ (%)	$\eta_{to} - \text{B10}$ (%)	$\eta_{to} - \text{B15}$ (%)	$\eta_{to} - \text{B100}$ (%)
3000	32,73	32,253	32,335	31,823	33,763
2800	34,281	33,566	33,308	33,406	34,944
2600	35,357	34,249	34,071	34,16	35,722
2400	35,121	34,989	34,921	34,87	35,822

Dizel motorun toplam verimi özgül yakıt tüketimine ve yakıtın alt ısıl değerine bağlıdır.

Tüm devir aralıklarında Eurodizel yakıtının motoru, karışımlara göre daha yüksek toplam verimlerde çalıştığı görülmüştür. Bunun nedeni düşük özgül yakıt tüketimidir. Ancak saf biyodizel yakıt yüksek yakıt tüketim değerine rağmen daha iyi verim sağlamıştır. Bunun nedeni alt ısı değer ki azalışın yakıt tüketimindeki artıştan daha fazla olması ile açıklanabilir.



Şekil 4.26 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı İS – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.15 : Biyodizel Karışımları İçin Karşılaştırmalı İS Değerleri

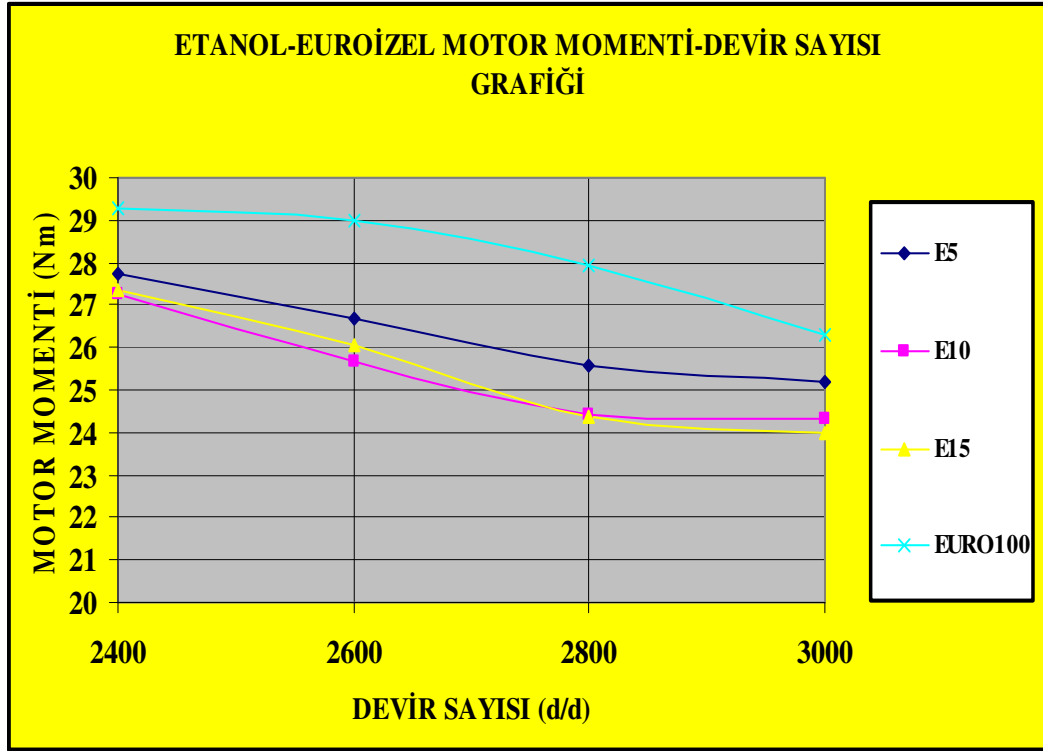
Devir sayısı (d/d)	İs Euro100 (k:1/m)	İs B5 (k:1/m)	İs B10 (k:1/m)	İs B15 (k:1/m)	İs B100 (k:1/m)
3000	1,38	1,93	2,01	2,1	0,48
2800	2,30	1,61	1,76	1,91	0,46
2600	2,58	2,12	2,22	2,32	0,52
2400	3,93	3,17	3,25	3,28	1,06

Yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinden is miktarına etki eden 2 parametre mevcuttur; setan sayısı ve karbon içeriği.

Biyodizel yakıtının karbon içeriğinin normal dizel yakıtına göre düşük olması nedeniyle is miktarında önemli azalmalar görülmektedir. Özellikle %100 saf biyodizel kullanıldığında 2400 d/d civarında Eurodizel yakıtına göre %70’lik bir azalma söz konusudur.

Setan sayısının artışı ise genelde is miktarını artırır. Yani biyodizelin setan sayısı yüksek olduğundan is miktarını artırabileceği düşünülebilir. Ancak bu durum sadece 3000 d/d civarında karışımların is miktarının Eurodizel'den bir miktar az olması durumunda ortaya çıkmıştır.

4.10.2. Etanol – Eurodizel Karışım Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.27 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti – Devir Sayısı Grafiği

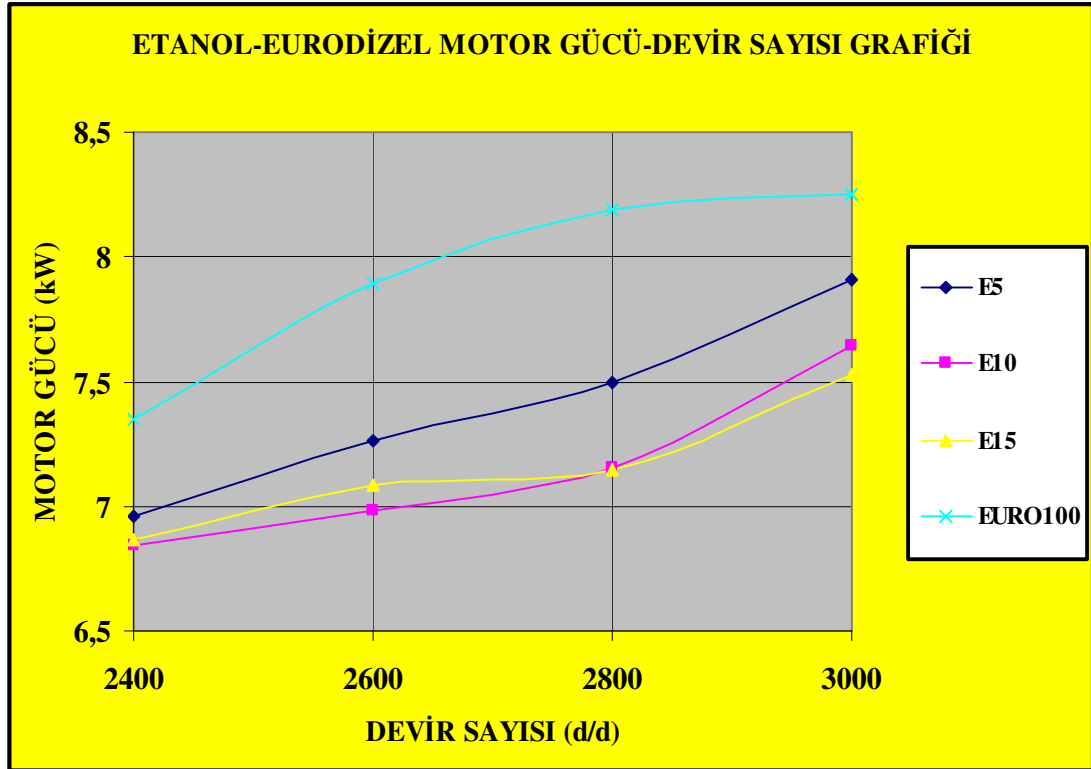
Tablo 4.16 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Momenti Değerleri

Devir sayısı (d/d)	$M_{mo \text{ Euro100}}$ (Nm)	$M_{mo \text{ E5}}$ (Nm)	$M_{mo \text{ E10}}$ (Nm)	$M_{mo \text{ E15}}$ (Nm)
3000	26,288	25,183	24,348	23,969
2800	27,951	25,592	24,417	24,382
2600	28,994	26,689	25,659	26,035
2400	29,267	27,716	27,249	27,344

Etanolün alt ısı değeri ve setan sayısının düşük olmasından dolayı referans dizel yakıtı göre tüm etanol karışımlarının motor moment değeri daha düşüktür. Çünkü setan sayısının düşük olması TG süresinin artışına ve dolayısıyla performans kaybına sebep olmaktadır.

Karışım içindeki etanol oranı hacimsel olarak arttığı sürece motor momentinin gitgide azaldığı görülmektedir.

%15lik etanole sahip karışımın ortalama olarak Eurodizel yakıtı göre %9,58'lik motor momenti azalışı yarattığı görülmüştür.



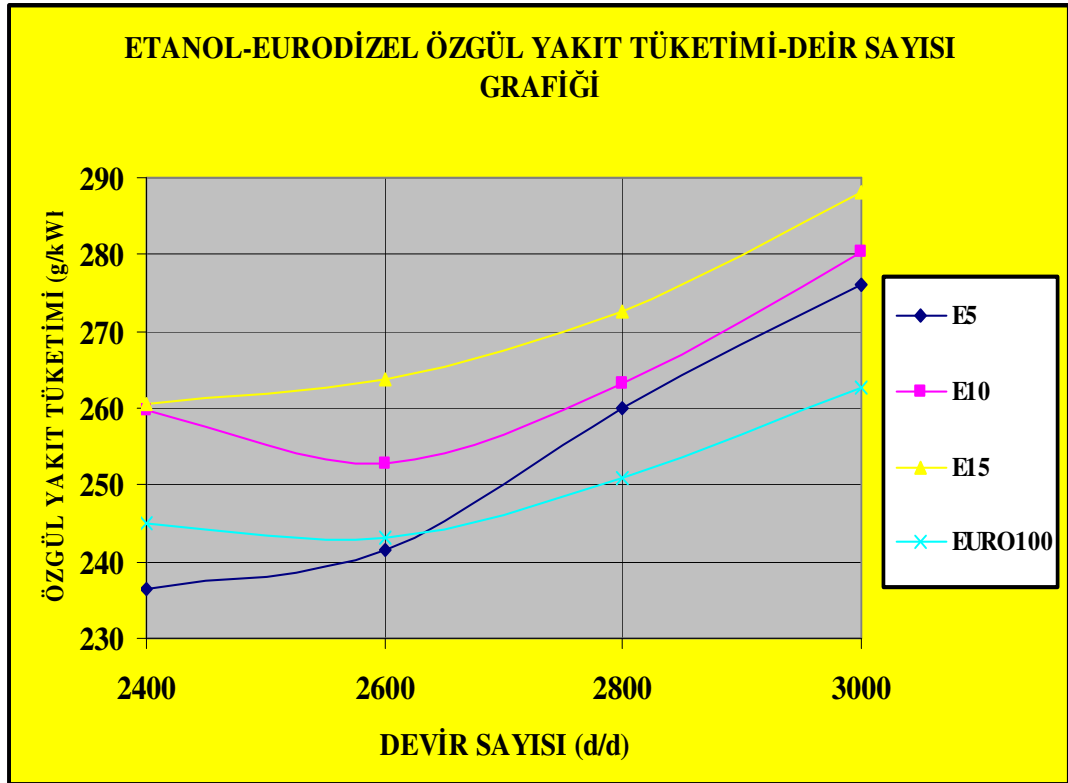
Şekil 4.28 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.17 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Motor Gücü Değerleri

Devir sayısı (d/d)	P _o - Euro100 (kW)	P _o - E5 (kW)	P _o - E10 (kW)	P _o - E15 (kW)
3000	8,2535	7,9066	7,6445	7,5254
2800	8,1907	7,4994	7,1551	7,1448
2600	7,8894	7,2621	6,9818	7,0843
2400	7,3509	6,9616	6,8443	6,868

Karışımların ve saf biyodizelin verdiği motor gücü, motor momenti değerlerinin düşük olmasından dolayı sürekli olarak referans dizel yakıtına göre düşük bir seyir gösterirken bu farkın orta devirlerde artarak devam ettiği görülmüştür. 2700 d/d'da %15'lik etanol karışımı %10,48'lik güç düşüşüne sebebiyet vermiştir.

Maksimum güç değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin bire bir aynı olmayıp maksimum gücü 2400 d/d'da gerçekleşmektedir.



Şekil 4.29 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketimi – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.18 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Özgül Yakıt Tüketim Değerleri

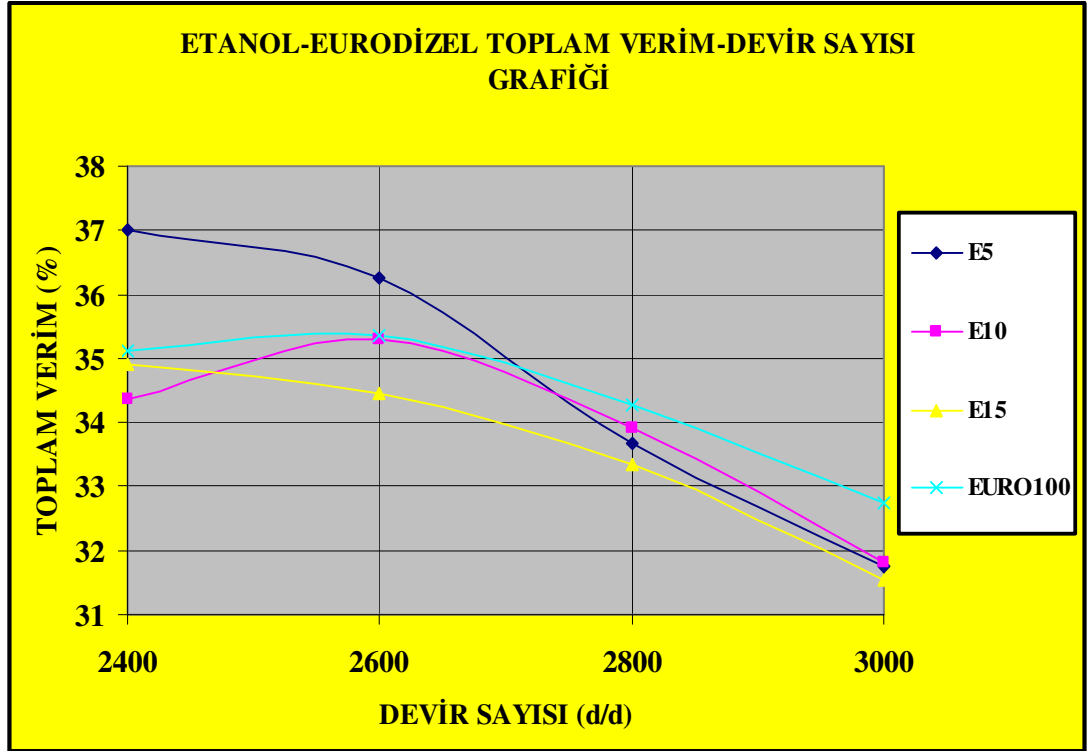
Devir sayısı (d/d)	b_{e_o} - Euro100 (g/kWh)	b_{e_o} - E5 (g/kWh)	b_{e_o} - E10 (g/kWh)	b_{e_o} - E15 (g/kWh)
3000	262,76	275,95	280,31	288,18
2800	250,87	260,04	263,15	272,65
2600	243,23	241,58	252,76	263,85
2400	244,87	236,56	259,62	260,52

Genel olarak karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri referans yakıtından yüksektir.

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

Minimum özgül yakıt tüketimi değeri için tüm karışımların ve referans yakıtın eğilimlerinin bire bir aynı olmayıp minimum özgül yakıt tüketiminin 2400 – 2600 d/d aralığında gerçekleştiği söylenebilir.

% 15 hacimsel etanol içeren karışım 2800 – 3000 d/d hız aralığında referans yakıtı göre ortalama % 8,37 yakıt tüketimini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim – Devir Sayısı Grafiği

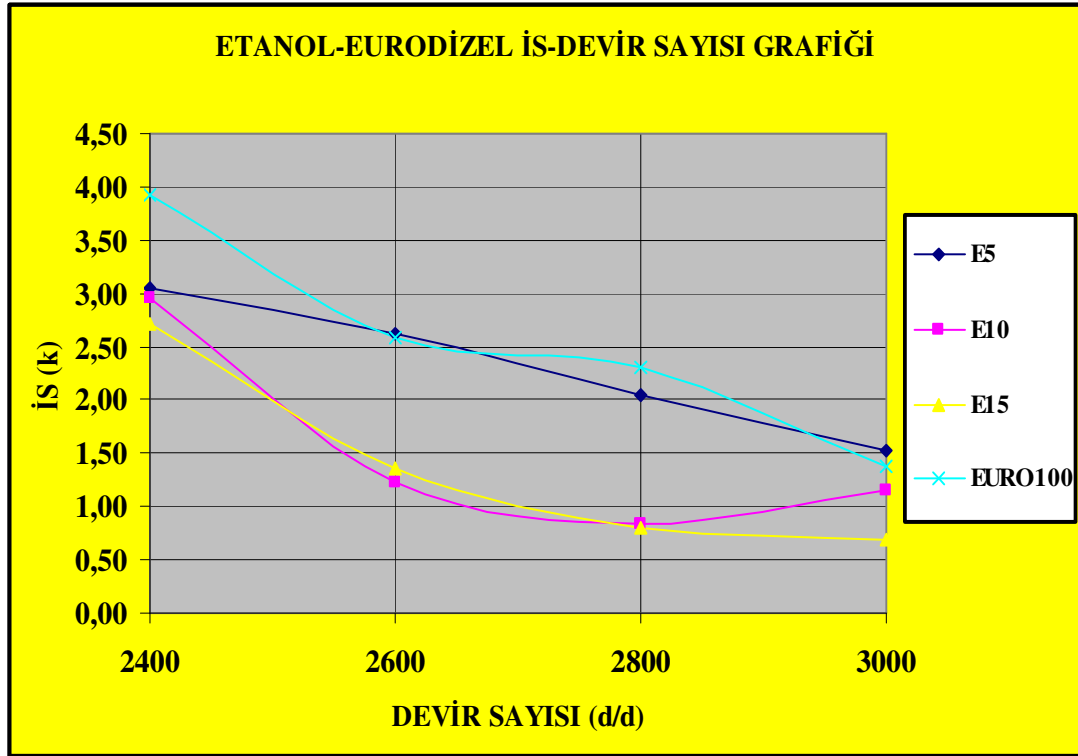
Tablo 4.19 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı Toplam Verim Değerleri

Devir sayısı (d/d)	$\eta_{to} - \text{Euro100}$ (%)	$\eta_{to} - \text{E5}$ (%)	$\eta_{to} - \text{E10}$ (%)	$\eta_{to} - \text{E15}$ (%)
3000	32,73	31,737	31,826	31,546
2800	34,281	33,678	33,902	33,343
2600	35,357	36,251	35,295	34,455
2400	35,121	37,021	34,363	34,895

Dizel motorun toplam verimi özgül yakıt tüketimine ve yakıtın alt ısı değerine bağlıdır.

Etanol karışımlarının yakıt tüketimleri Eurodizel'inkinden yüksek olduğundan toplam verimleri daha düşük olmaktadır. Alt ısı değerindeki azalış verim değerini çok da artıramamıştır.

2400–2700 d/d aralığında en iyi efektif verimi veren karışım E5'tir. Söz konusu aralıkta E5, Eurodizel yakıta göre ortalama %3,44'lük artış sağlamıştır. Karışımların maksimum toplam verimleri yaklaşık 2400 d/d 'dadır.



Şekil 4.31 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı İs – Devir Sayısı Grafiği

Tablo 4.20 : Etanol Karışımları İçin Karşılaştırmalı İs Değerleri

Devir sayısı (d/d)	İs Euro100 (k: l/m)	İs E5 (k: l/m)	İs E10 (k: l/m)	İs E15 (k: l/m)
3000	1,38	1,52	1,16	0,68
2800	2,30	2,04	0,83	0,80
2600	2,58	2,62	1,23	1,35
2400	3,93	3,05	2,96	2,72

Yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinden is miktarına etki eden 2 parametre mevcuttur; setan sayısı ve karbon içeriği.

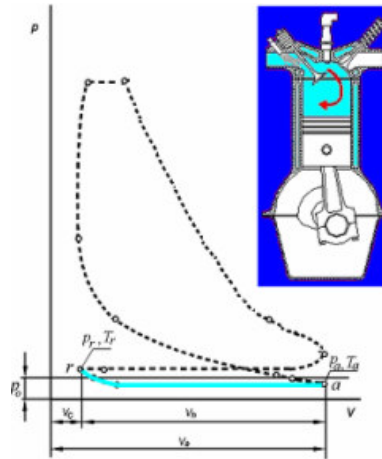
Gerek etanol yakıtının karbon içeriğinin normal dizel yakıtına göre düşük olması gerekse setan sayısındaki belirgin düşüş nedeniyle is miktarında önemli azalmalar görülmektedir.

Özellikle E10 ve E15 karışımlarının is miktarı orta devir sayılarında Eurodizel yakıtının verdiği değerlere göre ortalama %50 daha düşüktür.

5. TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ

5.1. Dört Zamanlı Dizel Motorunun Gerçek Çevrimi

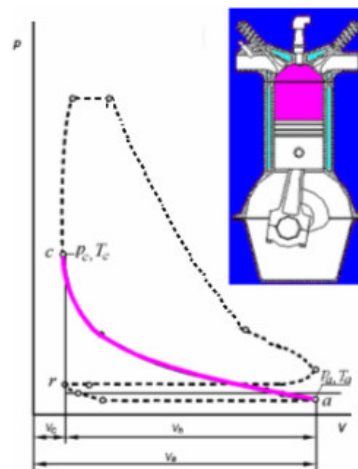
➤ Emme Zaman1



Şekil 5.1 : Emme Zamanı

Pistonun Ü.Ö.N.'dan aşağıya inmeye başlamasından az önce kam mili vasıtasıyla emme subabı açılır. Piston aşağıya gelinceye kadar silindire hava emilir. Proses pistonun A.Ö.N.'yı geçmesinden az sonra sona erer.

➤ Sıkıştırma Zamanı

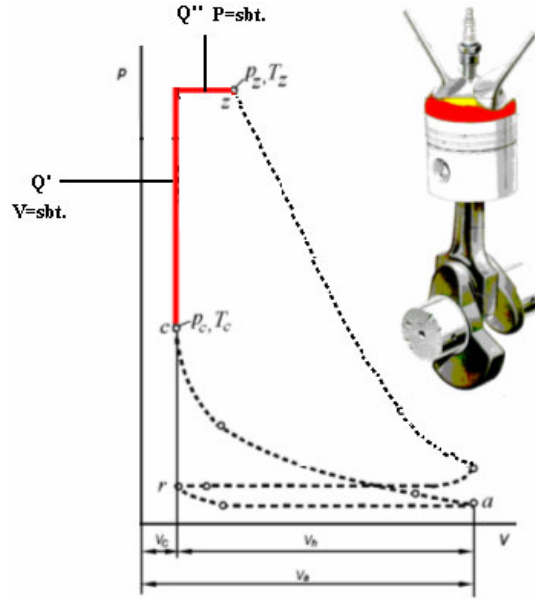


Şekil 5.2 : Sıkıştırma Zamanı

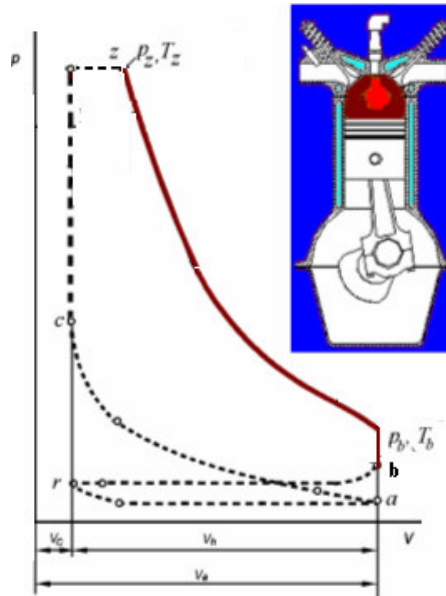
Piston yukarı doğru hareket eder ve bu sırada daha önceden yanma odasına emilen hava hacminin azalması dolayısıyla sıkıştır, sıcaklığı ve basıncı artar.

➤ Yanma ve Genişleme Zamanı

Piston Ü.Ö.N.'ya varmadan önce dizel yakıtı enjektörden yanma odasına püskürtülür. Basıncı ve sıcaklığı yükselmiş olan havanın içerisine nüfuz eden yakıt hava ile karışım oluşturur. Yanarak patlayan yakıt-hava karışımı pistonu kuvvetlice aşağıya iterek krank milinin dönmesini ve böylece motordan güç elde edilmesini sağlar.



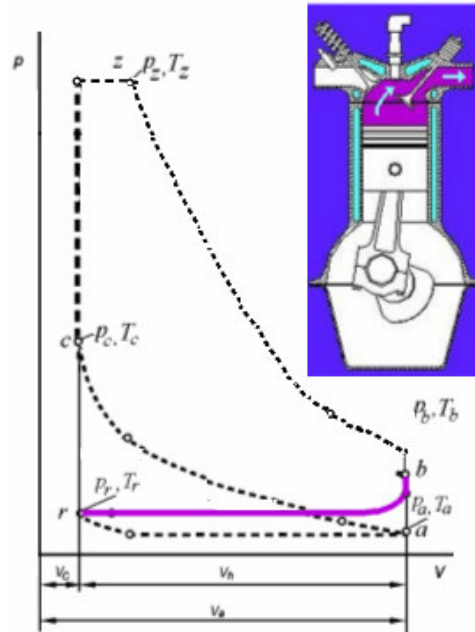
Şekil 5.3 : Yanma Zamanı



Şekil 5.4 : Genişleme Zamanı

➤ Egzoz Zamanı

Piston genişleme prosesinin sonuna yaklaşıncA A.Ö.N.'dan az evvel egzoz subabı açılır. Yanarak iş gören gazlar egzoz dumanı olarak dışarıya atılır.



Şekil 5.5 : Egzoz Zamanı

Termodinamik hesap için şu kabuller yapılmıştır.

- a.) Silindirdeki iş gazı (yakıt-hava karışımı artı yanma ürünleri) özgül ısısı sıcaklığa bağlı olarak değişen, aralarında reaksiyona girmeyen ideal gazlar karışımıdır.
- b.) İdeal çevrimlerde olduğu gibi, dizel motorunda yanmanın kısmen sabit hacim ($V=\text{const}$), kısmen de sabit basınçta ($p=\text{const}$) yani zaman faktörü göz önüne alınmadan gerçekleştiği kabul edilir. (sonsuz hızda yanma kabulü)
- c.) Sıkıştırma ve genişleme süreçlerindeki ısı kayıpları politropik süreçlerin istatistik olarak belirlenmiş üs değerleri (n_1 ve n_2) ile, yanma süreci ısı kayıpları (ısı iletimi ve yanma ürünleri disosyasyonu nedeniyle) ise tecrübi olarak belirlenmiş olan ısı kullanım katsayısı (ξ_z) ile hesaba katılmış olurlar.

5.2. Hesaplanan Parametreler (%100 Eurodizel için)

5.2.1. Yakıt

Karbon, oksijen ve hidrojenin 1 kg. Eurodizel yakıt içindeki kütleli kesirleri Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

Yakıtın alt ısı değeri kJ/kg olarak;

$$H_u = [33,91 C + 125,6 H - 10,89 (O - S) - 2,51 (9 H + W)].10^3$$

$$H_u = 42437,4 \text{ kJ/kg}$$

Tablo 5.1 : Yakıt İçeriği

Element	İçerik
c	0,87
h	0,126
o	0,004
s	0
w	0

5.2.2. İş Gazı

Dizel motorlarında emme ve sıkıştırma süreçlerinde iş gazları olarak hava; yanma, genişleme ve egzoz süreçlerinde ise yanma ürün bileşimleri kullanılmaktadır.

l_o : 1 kg. yakıtın tam yanması için emme sürecinde yanma odasına alınan kütleli teorik hava miktarı

$$l_o = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \quad \text{kg hava/kg yakıt} \quad (5.1)$$

$$l_o = \text{kg hava/kg yakıt}$$

L_o : 1 kg. yakıtın tam yanması için emme sürecinde yanma odasına alınan molar teorik hava miktarı

$$L_o = \frac{1}{0,208} (C/12 + H/4 - O/32) \quad \text{kmol hava/kg yakıt} \quad (5.2)$$

$$L_o = 0,5 \text{ kmol hava /kg yakıt}$$

l : Yakıt-hava karışımındaki kütleli olarak gerçek hava miktarı

$$l = \lambda \times l_o \quad (5.3)$$

$$l = 26.73 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

L : Yakıt-hava karışımındaki molar olarak gerçek hava miktarı

$$L = \lambda \times L_o \quad (5.4)$$

$$L = 0,925 \text{ kmol hava / kg yakıt}$$

$$m_1 : 1 \text{ kg yakıt} + \text{hava (Kütleli taze dolgu)} \quad (5.5)$$

$$m_1 = 1 + L = 1 + \lambda \cdot L_o \quad \text{kg/kg yakıt} \quad (5.6)$$

$$m_1 = 27,73 \text{ kg taze dolgu /kg yakıt}$$

$$M_1 : 1 \text{ mol yakıt} + \text{hava (Molar taze dolgu)} \quad (5.7)$$

$$M_1 = \frac{1}{m_y} + L = \frac{1}{m_y} + \lambda \cdot L_o \quad \text{kmol/kg yakıt} \quad (5.8)$$

m_y : Yakıtın mol kütlesi

$$m_y = 214 \text{ kg / kmol olarak alınmıştır. (Eurodizel için)}$$

$$M_1 = 0,929 \text{ kg mol dolgu /kg yakıt}$$

Termodinamik hesaplamada gazlar için mol miktarı önemlidir.

Emme prosesinin sonu kabul edilen “a” noktasında, bir önceki egzoz sürecinden kalan artık gazlar ile emme sürecinde içeri alınan taze dolgu mevcuttur. Buna göre taze dolgu M_1 ve artık gazlardan M_r (egzoz sürecinde atılamayan yanma ürünleri) oluşan iş karışımı miktarı:

$$M_a = M_1 + M_r \quad \text{kmol/kg yakıt} \quad (5.9)$$

$$M_a = M_1 + \gamma_r M_1 = M_1 (1 + \gamma_r) \quad \text{kmol/kg yakıt} \quad (5.10)$$

olur.

Artık gazlar katsayısı (γ_r) = 0,03 kabul edilirse;

$$M_a = 0,956 \text{ kmol /kg yakıt}$$

Tablo 5.2 : İş Gazı Parametreleri

l_o	L_o	l	L	m_1	M_1	M_a
14,45	0,49	26,73	0,92	27,73	0,92	0,95

5.2.3. Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı

M_2 = Yanma ürünlerinin bileşim miktarı

$\lambda = 1$ (Tam yanma) $\rightarrow$ Ürünler : $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2$

$\lambda > 1$ (Fakir karışımly yanma) $\rightarrow$ Ürünler : $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2, \text{O}_2$

$\lambda < 1$ (Zengin karışımly yanma) $\rightarrow$ Ürünler : $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2, \text{CO}, \text{H}_2$

olarak açığa çıkar. Motorumuz için $\lambda = 1,85 > 1$ olduğundan

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2} \quad (5.11)$$

$$= C/12 + H/2 + (\lambda - 0,208)L_o \quad \text{kmol/kg yakıt} \quad (5.12)$$

$M_2 = 0,9555$ kmol yanma ürünü / kg yakıt

μ_o : Kimyasal moleküler değişim katsayısı

$$\mu_o = M_2 / M_1 \quad (5.13)$$

$\mu_o = 1,029$ bulunur.

μ : İş karışımının gerçek moleküler değişim katsayısı

$$\mu = (M_2 + M_r) / (M_1 + M_r) \quad (5.14)$$

$\mu = 1,028$

Tablo 5.3 : Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı

M_{CO_2}	$M_{\text{H}_2\text{O}}$	M_{O_2}	M_{N_2}	M_2	M_o	μ
0,07	0,06	0,08	0,73	0,95	1,02	1,02

➤ Artık Gaz Parametreleri (P_r, T_r)

$$p_r = (0,75 \div 0,98) p_k \quad (5.15)$$

$$P_r = 0,95 \times P_k \quad (5.16)$$

$P_r = 0,285$ MPa

$T_r = 730$ K olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.4 : Taze Dolgu ve Artık Gaz Parametreleri

T_k	p_k	P_r
422,57	3,21	0,28

5.3. Gerçek Çevrimlerin Termodinamiği

İçten yanmalı motorların gerçek çevrimleri (veya indikatör diyagramları) emme, sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz süreçlerinden oluşurlar. Bu süreçlerin termodinamik hesabı sıra ile aşağıda verilmiştir.

5.3.1. Emme Süreci

➤ Emme Sonu İş Gazı Basıncı

$$p_a = [(T_{int} + \Delta T)(\epsilon - 1)p_r \gamma_r + p_r T_{int}] / \epsilon T_{int} \text{ MPa} \quad (5.17)$$

ΔT : Taze dolgunun emme sürecinde motor çeperlerinden çektiği ısıdan kaynaklanan sıcaklık artışı

$\Delta T = 0 \text{ K}$ olarak kabul edildi.

$p_a = 0,242 \text{ MPa}$

➤ Artık Gazlar Katsayısı

$$\gamma_r = p_r (T_o + \Delta T) / T_r (\epsilon p_a - p_r) \quad (5.18)$$

$\gamma_r = 0,029$

➤ Emme Sonu İş Gazı Sıcaklığı (T_a)

$$T_a = (T_{int} + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r) \text{ K} \quad (5.19)$$

$T_a = 336,44 \text{ K}$

Tablo 5.5 : Emme Sonu Parametreleri

Pa	Ta	γ_r
0,24	336,43	0,02

5.3.2. Sıkıştırma Süreci

Politropik bağıntılar :

$$p_a V_a^{n_1} = p_x V_x^{n_1} = p_c V_c^{n_1}$$

$$T_a V_a^{n_1-1} = T_x V_x^{n_1-1} = T_c V_c^{n_1-1} \quad (5.20)$$

olarak yazılabilir.

Bu denklemlerden yararlanılarak sıkıştırma sonu basınç (p_c) ve sıcaklığı (T_c) aşağıdaki formüllerden hesaplanır:

n_1 (Sıkıştırma politrop üssü) = 1,34 kabul edilirse;

➤ Sıkıştırma Sonu Sıcaklığı (T_c)

$$T_c = T_a \epsilon^{n_1-1} \quad (5.21)$$

$$T_c = 888,57 \text{ K}$$

➤ Sıkıştırma Sonu Basıncı (Pc)

$$p_c = p_a \epsilon^{n_1} \quad (5.22)$$

$$P_c = 11,148 \text{ MPa}$$

Tablo 5.6 : Sıkıştırma Sonu Parametreleri

Tc	Pc
888,57	11,14

5.3.3. Yanma Süreci

Yanma sürecinin termodinamik hesabı termodinamiğin birinci kanunu olan

$$dq = du + p dv \quad \text{bağıntısına ve}$$

$$p dv = R dT \quad \text{ideal gaz denklemine bağlı olarak yapılır.}$$

Termodinamiğin birinci kanununa göre dizel motorlarında yanma denklemi;

$$\frac{\xi_Z H_u}{(1/m_y + \lambda L_o)(1 + \gamma_r)} + [(mc_v)_{t_o}^t + 8,315\alpha] tc = \mu (mc_p)_{t_o}^t tz \quad (5.23)$$

şeklindedir.

ξ (Isı kullanım katsayısı) = 0,85 olarak kabul edildi.

α (sabit hacimdeki basınç artış oranı) = 1,1 olarak kabul edildi.

➤ Yanma sonu sıcaklığı (Tz)

$(mc_v)_{t_o}^t$: Havanın ortalama mol özgül ısısı

$$(mc_v)_{t_o}^t = 20,6 + 0,002638 tc \quad (5.24)$$

$$(mc_v)_{t_o}^t = 22,22 \text{ kJ / kmol}^\circ\text{C}$$

$(mc_v)_{t_o}^t$: Yanma ürünlerinin ortalama mol özgül ısısı

$$(mc_v)_{t_o}^t = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc_v)_{CO_2}^{t_z} + M_{CO} (mc_v)_{CO}^{t_z} + M_{H_2} (mc_v)_{H_2}^{t_z} + M_{H_2O} (mc_v)_{H_2O}^{t_z} + M_{O_2} (mc_v)_{O_2}^{t_z} + M_{N_2} (mc_v)_{N_2}^{t_z} \right] \quad (5.25)$$

Dizel motorlarında fakir karışımın yanması sonucu ürün olarak; CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ oluşur. Yani;

$$(mc_v)_{CO}^{t_z} = 0 \quad \text{ve} \quad (mc_v)_{H_2}^{t_z} = 0 \text{ olur.}$$

$$M_{H_2O} (mc_{v_{H_2O}})_{t_o}^{t_z} = 26,670 + 0,004438 \text{ tz}$$

$$M_{CO_2} (mc_{v_{CO_2}})_{t_o}^{t_z} = 39,123 + 0,003349 \text{ tz}$$

$$M_{O_2} (mc_{v_{O_2}})_{t_o}^{t_z} = 23,723 + 0,001550 \text{ tz}$$

$$M_{N_2} (mc_{v_{N_2}})_{t_o}^{t_z} = 21,951 + 0,001457 \text{ tz}$$

$$(mc_v)_{t_o}^{t_z} = 23,727 + 0,0018 \text{ tz}$$

$$(mc_p)_{t_o}^{t_z} : \text{Yanma ürünlerin sabit basınçtaki ısı değeri}$$

$$(mc_p)_{t_o}^{t_z} = (mc_v)_{t_o}^{t_z} + 8,315 \text{ kJ/kmol}^\circ\text{C}$$

$$(mc_p)_{t_o}^{t_z} = 32,042 + 0,0018 \text{ tz}$$

Yanma denkleminde yanma sonu sıcaklığını hesaplamak için aşağıdaki ikinci dereceli denklemden yararlanılır:

$$At_z^2 + Bt_z - C = 0 \quad (5.26)$$

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \quad (5.27)$$

$$T_z = t_z + 273 \text{ K} \quad (5.28)$$

$$t_z = 1589,5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ve } T_z = 1862,5 \text{ K}$$

➤ Yanma sonu basıncı (Pz)

$$p_z = \alpha \cdot p_c \text{ MPa} \quad (5.29)$$

$$p_z = 12,26 \text{ MPa}$$

➤ Sabit basınçta hacim artış oranı (ρ)

$$\rho = \mu T_z / \alpha T_c \quad (5.30)$$

$$\rho = 1,96$$

Tablo 5.7 : Ortalama Mol Özgül Isıları Toplamı

(mcv) _{tc,to}	(mcv) _{tz,to}	(mcp) _{tz,to}
22,22	26,59	34,91

Tablo 5.8 : Yanma Ürünlerinin Bileşim Miktarı

MCO ₂	MH ₂ O	MO ₂	MN ₂
0,07	0,06	0,08	0,73

Tablo 5.9 : Ortalama Mol Özgöl Isıları

(m _{cv} CO ₂) _{tz,to}	(m _{cv} H ₂ O) _{tz,to}	(m _{cv} O ₂) _{tz,to}	(m _{cv} N ₂) _{tz,to}
44,44	33,72	26,18	24,26

Tablo 5.10 : Yanma Sonu Parametreleri

P _z	ρ	T _z
12,26	1,95	1862,5

5.3.4. Genişleme Süreci

Politropik bağıntılar :

$$p_a V_a^{n_2} = p_x V_x^{n_2} = p_c V_c^{n_2}$$

$$T_a V_a^{n_2-1} = T_x V_x^{n_2-1} = T_c V_c^{n_2-1}$$

olarak yazılabilir.

n₂ (Genişleme politrop üssü) = 1,27 olarak kabul edildi.

➤ Genişleme oranı (δ)

$$\delta = V_b / V_z = \varepsilon / \rho \quad (5.31)$$

$$\delta = 8,88$$

➤ Genişleme sonu basıncı (P_b)

$$p_b = p_z \frac{1}{\delta^{n_2}} \quad (5.32)$$

$$P_b = 0,765 \text{ MPa}$$

➤ Genişleme sonu sıcaklığı (T_b)

$$T_b = T_z \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \quad (5.33)$$

$$T_b = 1032,78 \text{ K}$$

Tablo 5.11 : Genişleme Sonu Parametreleri

δ	P _b	T _b
8,88	0,76	1032,78

5.3.5. Egzoz Süreci

Artık gazların sabit basınçta dışarı atıldığı kabul edilir.

$$T_{r'} = T_b / \sqrt[3]{P_b / P_r} \quad (5.34)$$

formülünden $T_{r'}$, P_b ve T_b parametrelerine bağlı bulunur ve hesapların başında tayin edilen T_r değeri ile karşılaştırılır.

$$\Delta = 100(T_{r'} - T_r) / T_r \quad (5.35)$$

Eğer fark %5'ten fazla ise $T_{r'}$ 'nin yerine değeri koyulur ve hesaplar yeniden yapılır. %5'in altına düşene kadar bu işlem tekrar edilir. %5'in altındaki farklar için yapılan termodinamik hesaplamalar doğrudur.

Tablo 5.12 : Egzoz Sonu Parametreleri ve Hesap Kontrolü

$T_{r'}$	Δ
742,92	1,77

5.4. Motorun İndike Parametreleri

Motorun indike parametreleri:

- Ortalama indike basınç (P_i)
- İndike güç (N_i)
- İndike verim (η_i)
- İndike özgül yakıt tüketimi (b_i)

olmak üzere 4 adettir.

5.4.1. Ortalama İndike Basınç (P_i)

Motorlarda güç hesaplaması yapılırken yanma sonunda meydana gelen en yüksek basınç dikkate alınmaz. Çünkü, bu basınç iş zamanında hacim büyümesi sonucunda hızla düşer. Bu nedenle motor gücünün hesaplanmasında ortalama indike basınç (P_i) kullanılır. Bu basınç, indikatör diyagramdan (P-V diyagramı) bulunur ve mekanik kayıpları içermemektedir.

$$P_i' = \frac{P_c}{\epsilon - 1} \left[\alpha(\epsilon - 1) + \frac{\alpha\epsilon}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \text{ MPa} \quad (5.36)$$

$P_i' = 1,892 \text{ MPa}$ (Ortalama indike basıncın teorik değeri)

Gerçek çevrimin ortalama endike basıncı:

$$p_i = p_i' - \Delta p_i \quad \text{MPa} \quad (5.37)$$

şeklindedir. Çünkü, emme ve egzoz süreçlerinde pompalama kayıpları mevcuttur.

Bu proseslerdeki pompalama kayıplarının ortalama basıncı ;

$$\Delta p_i = p_r - p_a \quad (5.38)$$

olarak bulunur.

ν (Teorik çevrimin r , c , z , ve b geçiş noktalarında yuvarlatarak gerçek çevrime yaklaştırmak için kullanılan yuvarlatma katsayısı) = 0,91 olarak kabul edildi.

$$p_i = \nu \times p_i' \quad (5.39)$$

$p_i = 1,72 \text{ MPa}$ olarak bulunur.

5.4.2. İndike Güç (N_i)

İndikatör diyagramından elde edilen güçtür. Yani, yakıt ile havanın yanması sonucu mekanik enerjiye dönüşen kimyasal enerjinin oluşturduğu güçtür ve mekanik kayıpları içermemektedir.

$$N_i = \frac{p_i V_k \text{ in}}{30 \tau} \quad \text{kW} \quad (5.40)$$

Burada ;

i (Silindir sayısı) = 6

n (Motorun devir sayısı) = 2400 d/d

τ (Çevrim zaman sayısı) = 4

V_h : Silindir strok hacmi

$$V_k = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \quad (5.41)$$

$V_h = 1,221 \text{ litre}$ ve $N_i = 252,28 \text{ kW}$

5.4.3. İndike Verim (η_i)

Diğer bir adı da termik verimdir. Silindirlere girmiş olan karışımın yanması ile oluşan enerjiye karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline çevirme oranına indike verim denir. Yanma sonunda meydana gelen ısıнын büyük bir kısmı, soğutma sistemi ve yağlama sistemi ile dışarı atılır.

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot 10^3}{H_u \rho_k \eta_V} \quad (5.42)$$

$$\eta_i = 0,4215$$

5.4.4. İndike Özgöl Yakıt Tüketimi (bi)

Motorun 1 kW indike güç için 1 saatte sarfettiği gram cinsinden yakıt miktarıdır.

$$b_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} \quad \text{g/kWh} \quad (5.43)$$

$$b_i = 201,22 \text{ g/kWh}$$

Tablo 5.13 : Motorun İndike Parametreleri

Pi'	Pi	Ni	ηi	bi
1,89	1,72	252,28	0,42	201,21

5.5. Motorun Efektif Parametreleri

Motorun efektif parametreleri:

- Ortalama efektif basınç (Pe)
- Efektif güç (Ne)
- Döndürme momenti (Me)
- Mekanik verim (ηm)
- Efektif verim (ηe)
- Efektif özgül yakıt tüketimi (be)
- Saatteki yakıt tüketimi (Gy)

5.5.1. Ortalama Efektif Basınç (Pe)

Mekanik kayıpları da içeren yanma odasındaki ortalama iş gazı basıncına ortalama efektif basınç denir.

$$P_e = P_i - P_m \quad \text{MPa} \quad (5.44)$$

Pm : Mekanik (sürtünme ve yardımcı mekanizmalara giden) ve pompalama kayıpları

içeren ortalama mekanik basınç

Direkt püskürtmeli dizel motorlarında Pm;

$$p_m = 0.089 + 0.0118w_p \quad \text{MPa} \quad (5.45)$$

olarak hesaplanır. W_p : Ortalama piston hızı (m/s)

$$W_p = (S \times n) / 30 \quad (5.46)$$

$W_p = 9,92$ m/s, $P_m = 0,206$ MPa ve $P_e = 1,516$ MPa

5.5.2. Efektif Güç (N_e)

Motorun krank milinden alınan güçtür. Yakıtle 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. Dolayısıyla indike gücün bir kısmı kaybolur. Bu güce sürtünme gücü adı verilir.

$$N_s = N_i - N_e \quad (5.47)$$

$$N_e = \frac{p_e V_h \text{ in}}{30 \tau} \quad \text{kW} \quad (5.48)$$

$N_e = 222,09$ kW

• Döndürme Momenti (M_e)

$$M_e = 9554,14 \frac{N_e}{n} \quad \text{Nm} \quad (5.49)$$

$M_e = 884,21$ Nm

5.5.3. Mekanik Verim (η_m)

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

$$\eta_m = N_e / N_i \quad (5.50)$$

$$\eta_m = p_e / p_i \quad (5.51)$$

$\eta_m = 0,88$

5.5.4. Efektif Verim (η_e)

Toplam verim anlamına gelir. Mekanik ve indike verimlerin ortak etkisini belirtir.

$$\eta_e = \eta_m \cdot \eta_i \quad (5.52)$$

$\eta_e = 0,371$

5.5.5. Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi (be)

Motorun 1 kW efektif güç için 1 saatte sarfettiği gram cinsinden yakıt miktarıdır.

$$b_e = \frac{3600}{H_u \eta_e} 10^3 \text{ g/kWh} \quad (5.53)$$

$$b_e = 228,57 \text{ g/kWh}$$

5.5.6. Saatteki Yakıt Tüketimi (Gy)

Aracın 1 saatlik seyri sonunda tükettiği kg cinsinden yakıt miktarıdır.

$$G_y = N_e \cdot b_e \cdot 10^{-3} \text{ kg/h} \quad (5.54)$$

$$G_y = 50,76 \text{ kg/h}$$

Tablo 5.14 : Motorun Efektif Parametreleri

Pe	Ne	Me	η_m	η_e	be	Gy
1,51	222,08	884,20	0,88	0,37	228,57	50,76

5.6. Farklı Yakıtlarla Elde Edilen Teorik Sonuçlar

Tablo 5.15 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – İndike Güç (kW)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	10,78	10,02	10,55	10,55	10,38
2800	10,06	9,35	9,85	9,85	9,69
2600	9,34	8,68	9,14	9,15	8,99
2400	8,63	8,01	8,44	8,44	8,30
2200	7,91	7,35	7,74	7,74	7,61

Tablo 5.16 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Ortalama Efektif Basınç (MPa)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	0,65	0,59	0,63	0,63	0,61
2800	0,65	0,59	0,63	0,63	0,62
2600	0,66	0,60	0,64	0,64	0,63
2400	0,67	0,61	0,65	0,65	0,63
2200	0,67	0,61	0,66	0,66	0,64

Tablo 5.17 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Güç (kW)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	8,29	7,53	8,06	8,06	7,89
2800	7,82	7,11	7,61	7,61	7,45
2600	7,34	6,68	7,14	7,14	6,99
2400	6,85	6,24	6,66	6,67	6,53
2200	6,34	5,78	6,17	6,18	6,05

Tablo 5.18 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Döndürme Momenti (Nm)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	26,42	23,98	25,68	25,69	25,13
2800	26,71	24,27	25,97	25,98	25,42
2600	27,00	24,56	26,25	26,26	25,71
2400	27,28	24,85	26,54	26,55	25,99
2200	27,57	25,14	26,83	26,84	26,28

Tablo 5.19 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Mekanik Verim

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	0,76	0,75	0,76	0,76	0,76
2800	0,77	0,76	0,77	0,77	0,76
2600	0,78	0,76	0,78	0,78	0,77
2400	0,79	0,77	0,78	0,78	0,78
2200	0,80	0,78	0,79	0,79	0,79

Tablo 5.20 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Verim

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	0,32	0,34	0,31	0,31	0,30
2800	0,32	0,33	0,31	0,31	0,31
2600	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31
2400	0,333	0,34	0,32	0,32	0,31
2200	0,33	0,34	0,32	0,32	0,32

Tablo 5.21 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Efektif Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	262,50	285,06	271,80	273,44	281,31
2800	259,67	280,14	268,79	270,41	278,13
2600	256,90	278,31	265,85	267,45	275,02
2400	254,19	275,56	262,96	264,55	271,97
2200	251,54	270,91	260,14	261,72	268,99

Tablo 5.22 : Biyodizel Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Saatteki Yakıt Tüketimi (kg/h)

n	Eurodizel	Biyodizel	B5	B10	B15
3000	2,17	2,49	2,19	2,20	2,22
2800	2,032	2,32	2,04	2,05	2,07
2600	1,88	2,16	1,89	1,91	1,92
2400	1,74	1,99	1,75	1,76	1,77
2200	1,59	1,82	1,60	1,61	1,62

Tablo 5.23 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – İndike Güç (kW)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	10,78	10,28	10,08	10,08
2800	10,06	9,60	9,41	9,41
2600	9,34	8,91	8,73	8,74
2400	8,63	8,22	8,06	8,07
2200	7,91	7,54	7,39	7,39

Tablo 5.24 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi – Ortalama Efektif Basınç (MPa)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	0,65	0,61	0,59	0,59
2800	0,65	0,61	0,60	0,60
2600	0,66	0,62	0,60	0,60
2400	0,67	0,63	0,61	0,61
2200	0,67	0,63	0,62	0,62

Tablo 5.25 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Efektif Güç (kW)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	8,29	7,79	7,59	7,59
2800	7,82	7,36	7,17	7,17
2600	7,34	6,91	6,73	6,74
2400	6,85	6,45	6,29	6,29
2200	6,34	5,98	5,83	5,83

Tablo 5.26 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Döndürme Momenti (Nm)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	26,42	24,82	24,18	24,20
2800	26,71	25,11	24,47	24,48
2600	27,00	25,40	24,75	24,77
2400	27,28	25,69	25,04	25,06
2200	27,577	25,980	25,33	25,35

Tablo 5.27 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Mekanik Verim

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	0,76	0,75	0,75	0,75
2800	0,77	0,76	0,76	0,76
2600	0,78	0,77	0,77	0,77
2400	0,79	0,78	0,77	0,77
2200	0,80	0,79	0,78	0,78

Tablo 5.28 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Efektif Verim

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	0,32	0,35	0,31	0,33
2800	0,32	0,33	0,31	0,33
2600	0,33	0,31	0,32	0,32
2400	0,33	0,31	0,32	0,31
2200	0,33	0,31	0,32	0,30

Tablo 5.29 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Efektif Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	262,50	284,72	285,10	298,74
2800	255,67	281,46	275,60	283,17
2600	246,90	278,27	270,17	275,68
2400	245,19	275,15	266,83	268,27
2200	244,54	272,10	266,56	264,95

Tablo 5.30 : Etanol Kullanımının Motorun İndike ve Efektif Parametrelerine Etkisi
– Saatteki Yakıt Tüketimi (kg/h)

n	Eurodizel	E5	E10	E15
3000	2,17	2,21	2,26	2,30
2800	2,03	2,07	2,11	2,15
2600	1,88	1,92	1,96	2,00
2400	1,74	1,77	1,81	1,84
2200	1,59	1,62	1,65	1,69

6. 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 motor momenti ve motor gücünü Eurodizel yakıtına göre azalttığı; özgül yakıt tüketimini ise artırdığı görülmüştür. Öte yandan efektif verim artarken, is emisyonları da önemli ölçüde azalmıştır. Saf biyodizelin Eurodizel yakıtına göre 2400 d/d'da özgül yakıt tüketimini %9,2 artırdığı görülmüştür. Ancak saf biyodizel yakıt yüksek yakıt tüketim değerine rağmen alt ısı değerinin düşük olmasından dolayı daha iyi verim sağlamıştır.
3. %100 saf biyodizel kullanıldığında 2400 d/d civarında is miktarında Eurodizel yakıtına göre %70'lik bir azalma söz konusudur.
4. Referans dizel yakıtına göre tüm etanol karışımlarının motor momenti değerleri daha düşüktür. 2700 d/d'da %15'lik etanol karışımı yaklaşık %10,48'lik güç düşüşüne sebebiyet vermiştir. Ayrıca karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri referans yakıtından yüksektir.
5. E10 ve E15 karışımlarının is miktarı orta devir sayılarında Eurodizel yakıtının verdiği değerlere göre ortalama %50 daha düşüktür.
6. Yapılan çalışmada elde edilen test sonuçları mevcut biyodizel ve etanolün farklı oranlarda kısa süreli performans testlerinde kullanılmaları durumunda Eurodizel yakıtına göre performans olarak düşük değerler verdiği ancak yüksek performans istenmeyen durumlarda is emisyonlarını ciddi derecede azalttığından tercih edilebileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., Soruşbay, C. ,** 2004, İçten Yanmalı Motorlar
- [2] **Yavaşol, İ.,** "İçten Yanmalı Motorlar", 1988, Y.Ü. Yayınları
- [3] **Muhittin Soğukoğlu,** 2000, Akışkanlar Mekaniği, Y.T.Ü., Birsen Yayınevi
- [4] **Russell, M.F., Greeves G. and Guerrassi,** 2000 ,N. "More Torque, Less Emissions and Less Noise", SAE paper, No: 2000-01-0942
- [5] **Yang, Q., Zhang, H., Huang, G., Zhang, Y. and Chen, C,** 2000, "A Study on the Fast Response Solenoid Valve in the Electronic Control of Diesel Engine", FISITA World Automotive Congress, Seoul, Korea
- [6] **Bosch Technical Instruction,** 1999, "Diesel Acumulator Fuel-Injection System Common Rail", Stuttgart
- [7] **Taguchi, G.:** “Design of Experiments”, Third Ed., Maruzen
- [8] **Hunter, C. E. et al.:** “Simultaneous Optimization of Diesel Engine Parameters for Low Emissions Using Taguchi Method”, SAE Paper 902075
- [9] **Hchschwarzer, H. et al.:** “Fully Automatic Determination and Optimization of Engine Control Characteristics”, SAE Paper 920255
- [11] **O’Conner, J. F., White, C. L., and Charnley, M. R.:** “Optimizing CFD Prediction of Diesel Engine Combustion and Emissions Using Design of Experiments; Comparison with Engine Measurements”, SAE Paper 982458
- [12] **M. Yamamoto, S. Yoneya, T. Matsuguchi, Y. Kumagai:** “Optimization of Heavy-Duty Diesel Engine Parameters for Low Exhaust Emissions Using the Design of Experiments”, SAE Paper 2002-01-1148
- [13] **Shuhei Yoneya, Masashi Yamamoto, Tatsuya Matsuguchi, Yasuaki Kumagai** “Development of Multivariate Analysis Scheme For Simultaneous Optimization of Heavy-Duty Diesel Engines“

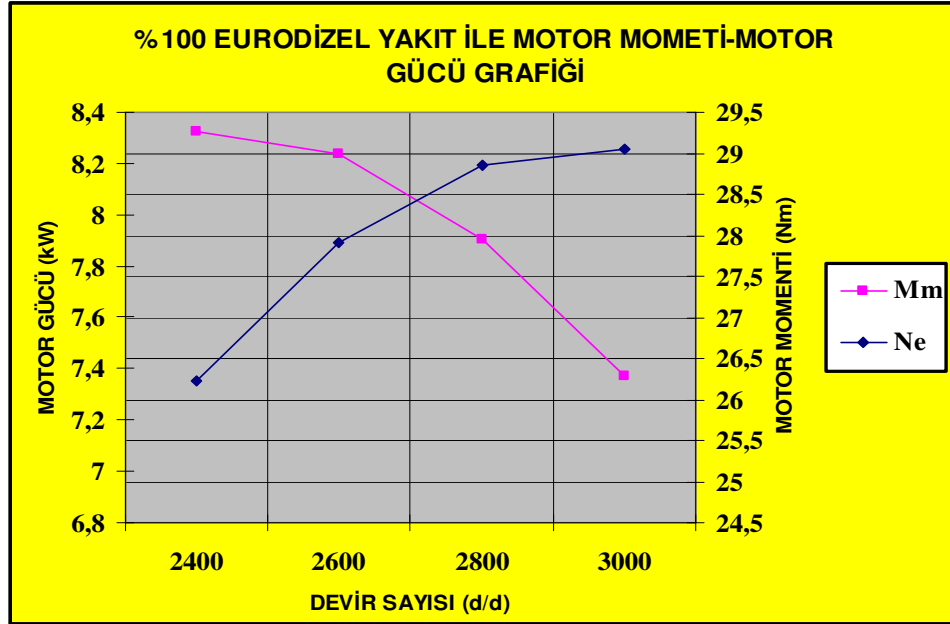
- [14] **Halit Pastacı**, 2000, "Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri", Birsen Yayınevi, İstanbul
- [15] Bosch Technical Instruction, 2000, "Diesel Fuel-Injection Systems Unit Injector System and Unit Pump System", Stuttgart
- [16] **Greeves, G., Tullis, S., and Barker, B.** 2003, "Advanced Two-Actuator EUI and Emission Reduction for Heavy-Duty Diesel Engines", SAE Paper, No: 2003-01-0698
- [17] **Stockner, A. R., Flinn, M. A. and Camplin, F. A.** ,1993, "A New Direction for Diesel Engine Fuel System", SAE paper, No: 930270
- [18] **Tanakaa, T., Andoa, A. and Kazuyoshi Ishizakab, K.** 2002, "Study on Pilot Injection of DI Diesel Engine Using Common-Rail Injection System", JSAE Paper, Vol.22, Sf: 297-302
- [19] **Mahr, B.** 2002, "Future and Potential of Diesel injection Systems",Conference on TFDP in Diesel Engines, Sf: 5-17
- [20] SAE Automotive Engineering, Şubat 2002, "Revving up for Diesel",
- [21] Denso Technical Instruction, 2002, "1,800-bar Common Rail System", Tokyo Motor Show
- [22] Siemens Automotive Systems, 1999, "The New Diesel Specialist Piezohydraulics Get Ready for Volume Production Commercial Vehicle Diesel Technology for North America", Frankfurt
- [23] **Jean Botti**, 2003, "Advanced Engine Management and Emission technology", Delphi Publication
- [24] Delphi Technical Instruction, 2003, "Delphi Diesel Common Rail (DCR) System", Delphi Publication
- [25] ASM Specialty Handbook, 1996, "Cast Irons", Edited by J.R. Davis and Davis & Associates, ASM International
- [26] **Pflueger, M.**, 2000, "A Simple but very Effective Artificial Head System for Noise Quality Recording", AVL Sound Engineering Conference
- [27] **Graf, F., Pflueger, M., Roepke, P. and Graber, G.**, 2000, "Aufnahmesysteme für psychoakustische Analysen – Vergleich Kunstkopf vs.

Alternativkonzepte (Recording Systems for Psycho-acoustic Analysis – Comparison Between Artificial Head and Alternative Concepts). DAGA 2000

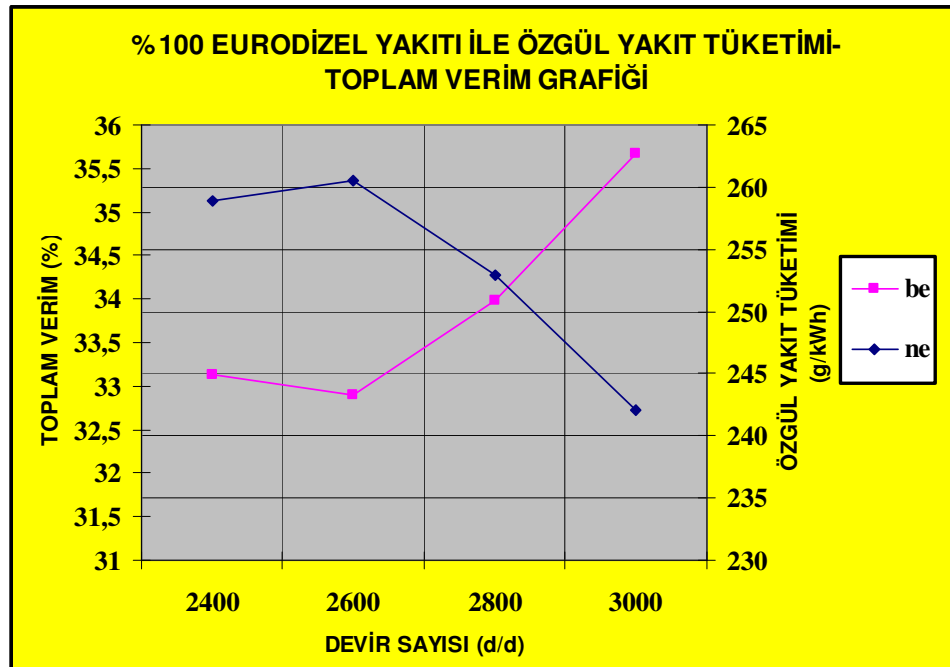
- [28] **Stuecklschwaiger, W. and Beidl, V. C.**, 1996 , “AVL Engine Annoyance Index – Development and Application”. CETIM “Qualite Acoustique”
- [29] **Kodali, P., How, P., McNulty, W. D.**, 2000, “Methods of Improving Cylinder Liner Wear”, SAE 2000-01 0926
- [30] **Round, F.G.**, 1999, “Soots from Used Diesel Engine Oils – Their Effect on Wear as Measured in 4-Ball Wear Test”, SAE 810499
- [31] **Kim, C., Passut, C. A., Zang, D. M.**, 1992, “Relationships Among Oil Composition Combustion Generated Soot, and Diesel Engine Valve Train Wear”, SAE 922199
- [32] Poor European test standards understate air pollution from cars European Environment Agency news release. Copenhagen/Amsterdam, 19 Ekim 2004
- [33] Sarı/Energy – Clean Fuel Trade Seminar Session ,New Clean Fuel Developments in Thailand and the Implications for Refiners – 11 Nisan 2002 Technical and economic issues r.v. chauhan
- [34] **Mustafa Çanakçı, A.Necati Özsezen**, Dizel Motorları Yakıt Enjeksiyon Sistemlerindeki Gelişmeler, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü
- [35] **Ruiz, F. ve N. Chigier**, The Mechanics of High Speed Atomization 3rd Int. Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Vol 1, VIB/3/1, London, England, 1985.
- [36] **Lefebvre, A.H.**, Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1989.
- [37] http://www.dieselset.com/mtr/motor_main.asp?id=7
- [38] http://www.dieselset.com/mtr/motor_main.asp?id=10
- [39] http://www.dieselset.com/mtr/green_diesel.asp?id=2
- [40] <http://www.obitet.gazi.edu.tr/dersnotu.htm>
- [41] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi1.htm

- [42] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi2.htm
- [43] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/dizel_motorlar/dizel_motorlar.htm
- [44] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/genelmotorculuk/motorlardaguc_verim.htm
- [45] <http://www.obitet.gazi.edu.tr/sunular/11.ppt>
- [46] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/4ZamanliMotorlar.asp>
- [47] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/DizelMotorlari.asp>
- [48] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/YakitSistemiVeEnjektörler.asp>
- [49] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/DizelMotorlardaEnjeksiyon1.asp>
- [50] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/SiraTipliEnjeksiyonSistemler.asp>
- [51] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/DistribütörTipiEnjeksiyon.asp>
- [52] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/PompaliEnjeksiyonSistemi.asp>
- [53] <http://www.bmwteam.net/veribank/teknikbilgi/CommonRail.asp>
- [54] http://www.tupras.com.tr/eng/urunler/petrol_new/400.htm
- [55] http://www.tupras.com.tr/eng/urunler/petrol_new/403.htm
- [56] http://www.iash.net/resources/fuel_specifications.php - 96k
- [57] http://www.iash.net/resources/fuel_specifications.php

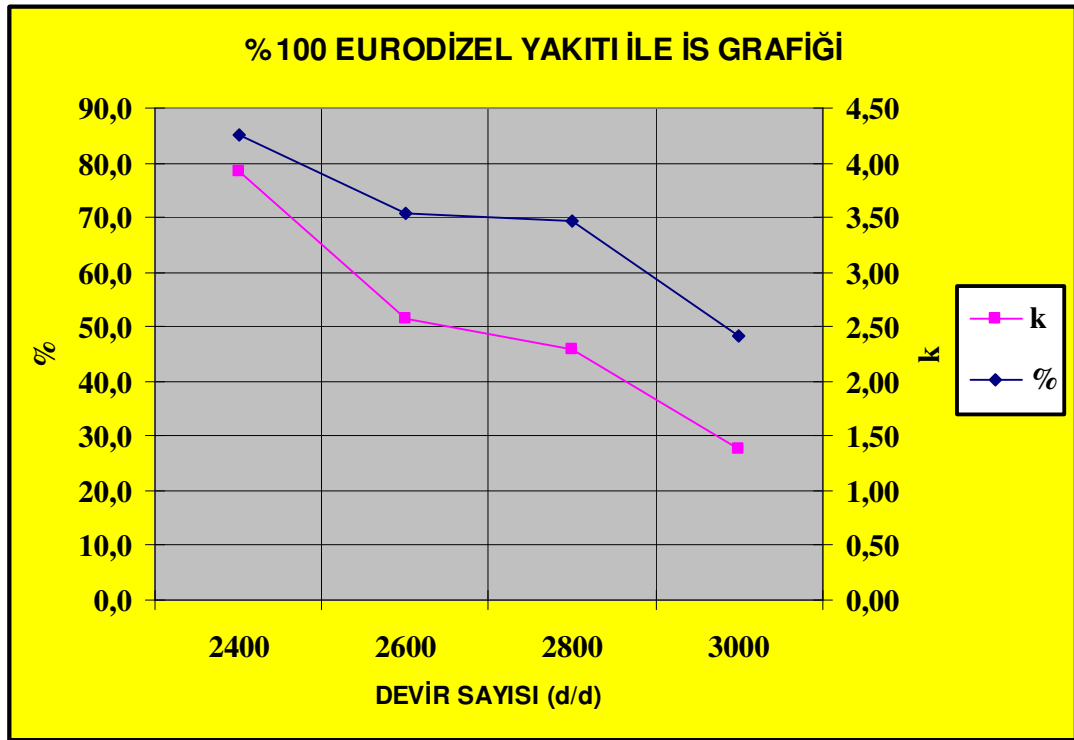
EKLER



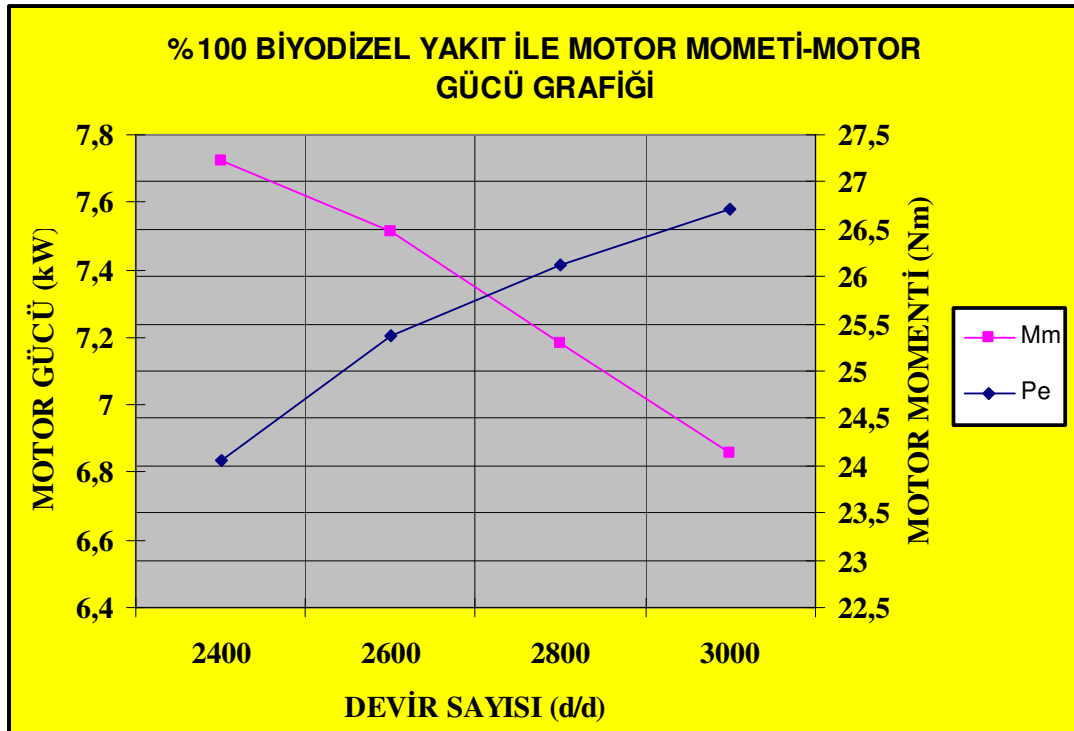
Şekil A.1 : %100 Eurodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



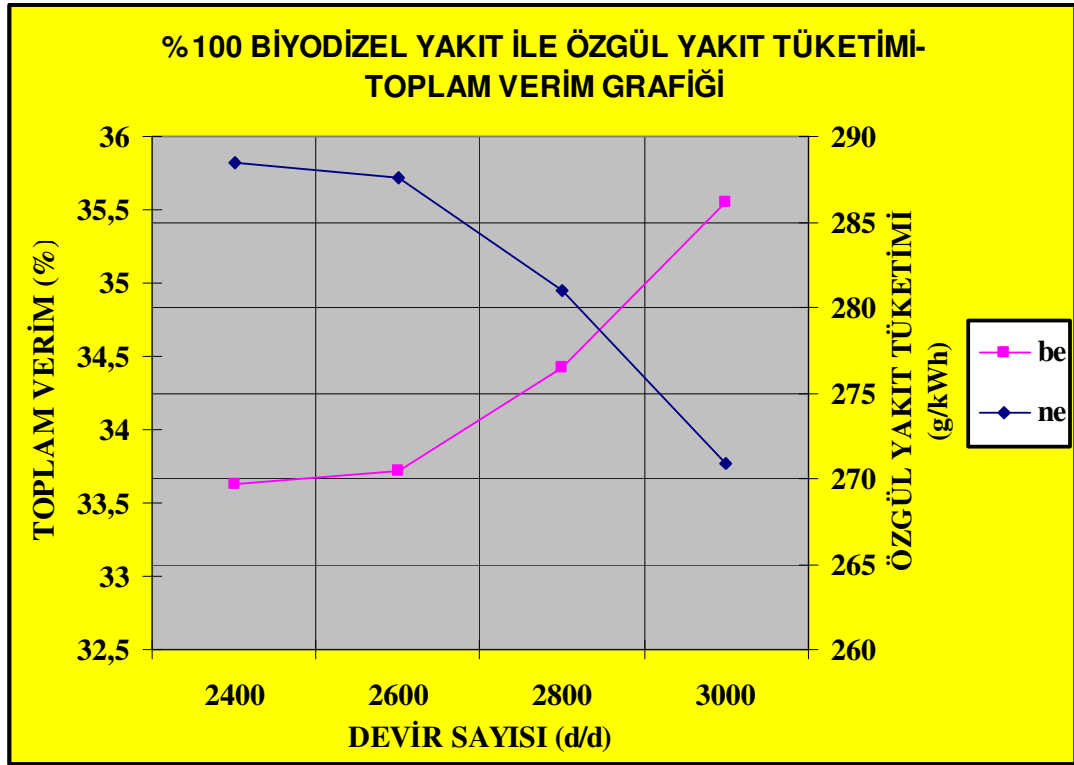
Şekil A.2 : %100 Eurodizel Yakıtı İle Özgü Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



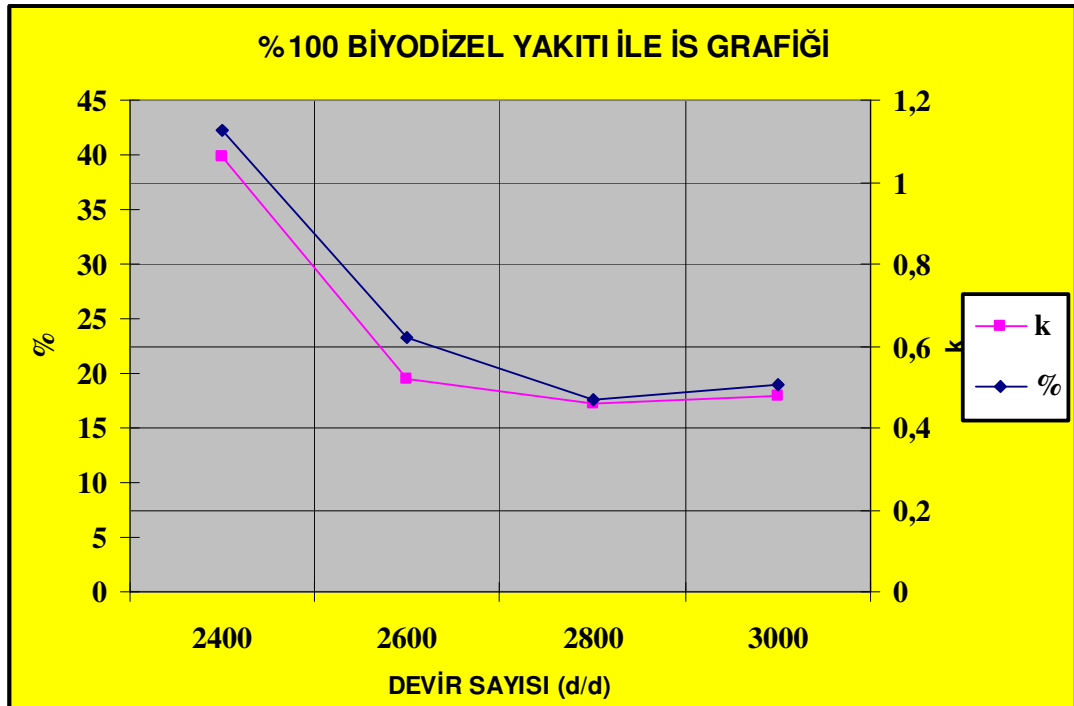
Şekil A.3 : %100 Eurodizel Yakıtı İle İş Grafiği



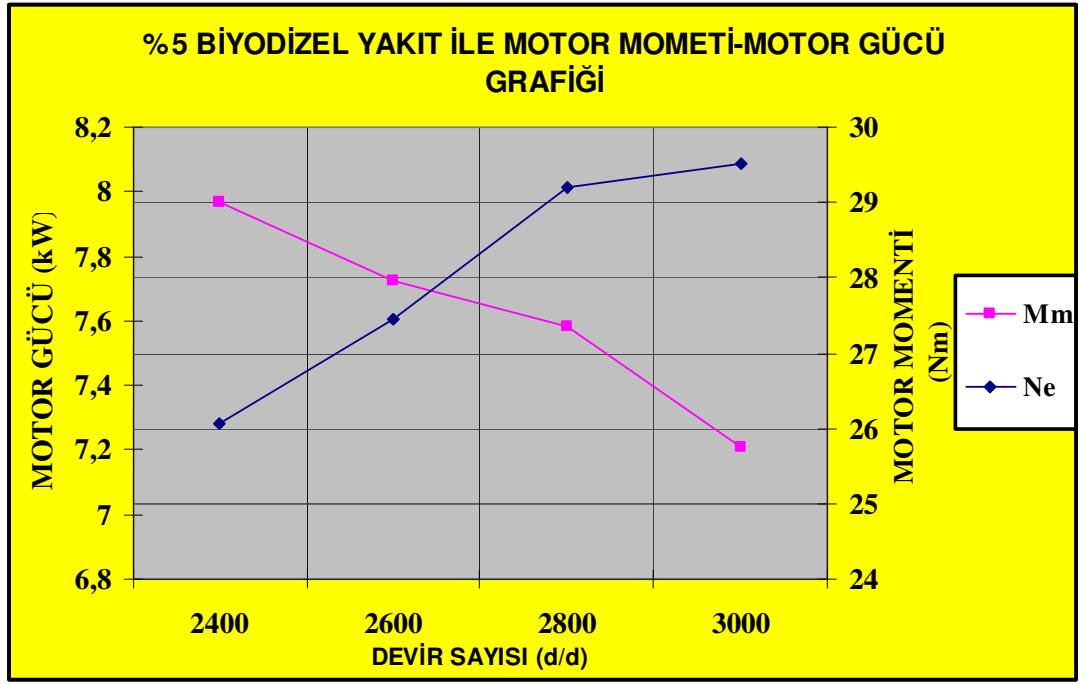
Şekil A.4 : %100 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



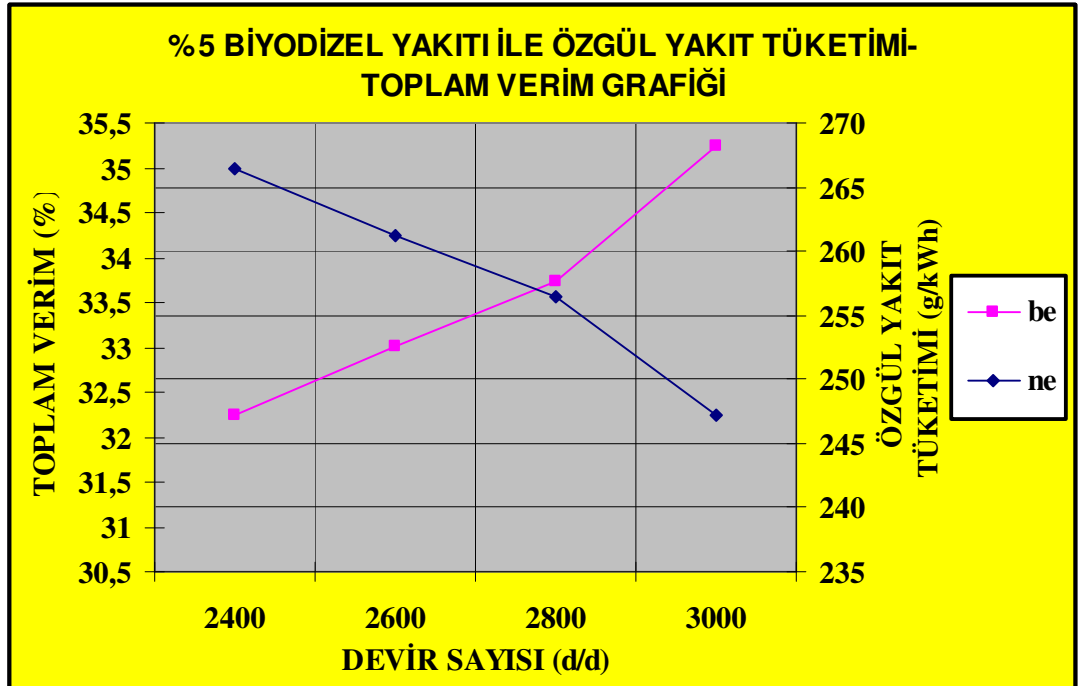
Şekil A.5 : %100 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



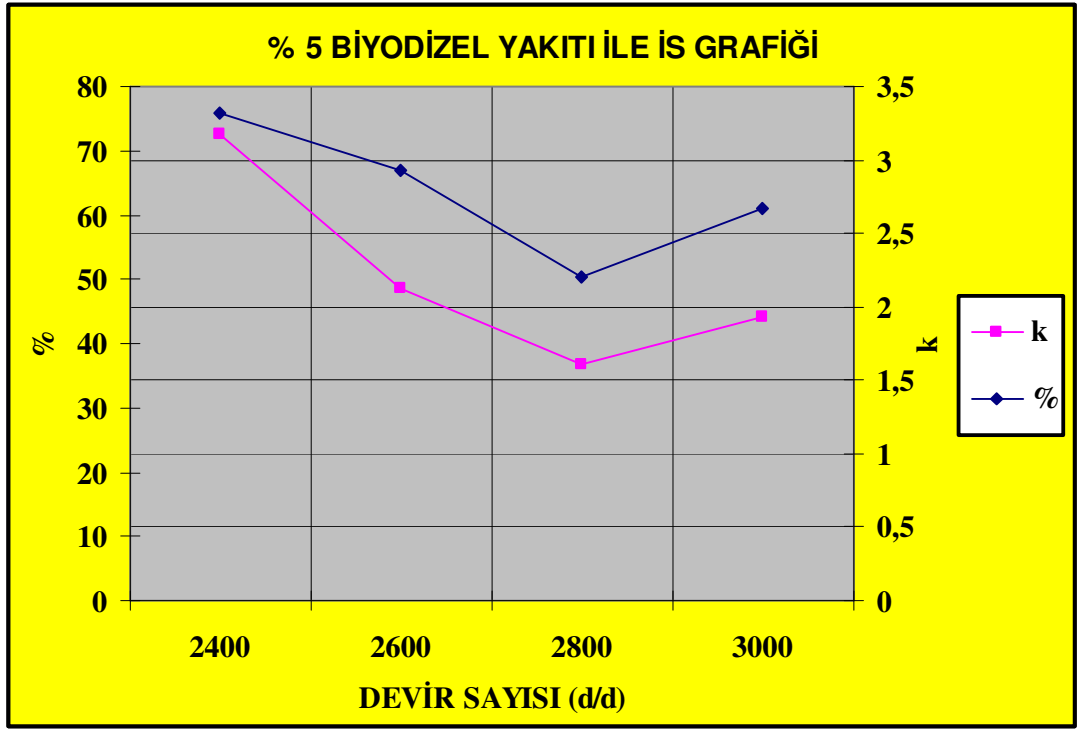
Şekil A.6 : %100 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği



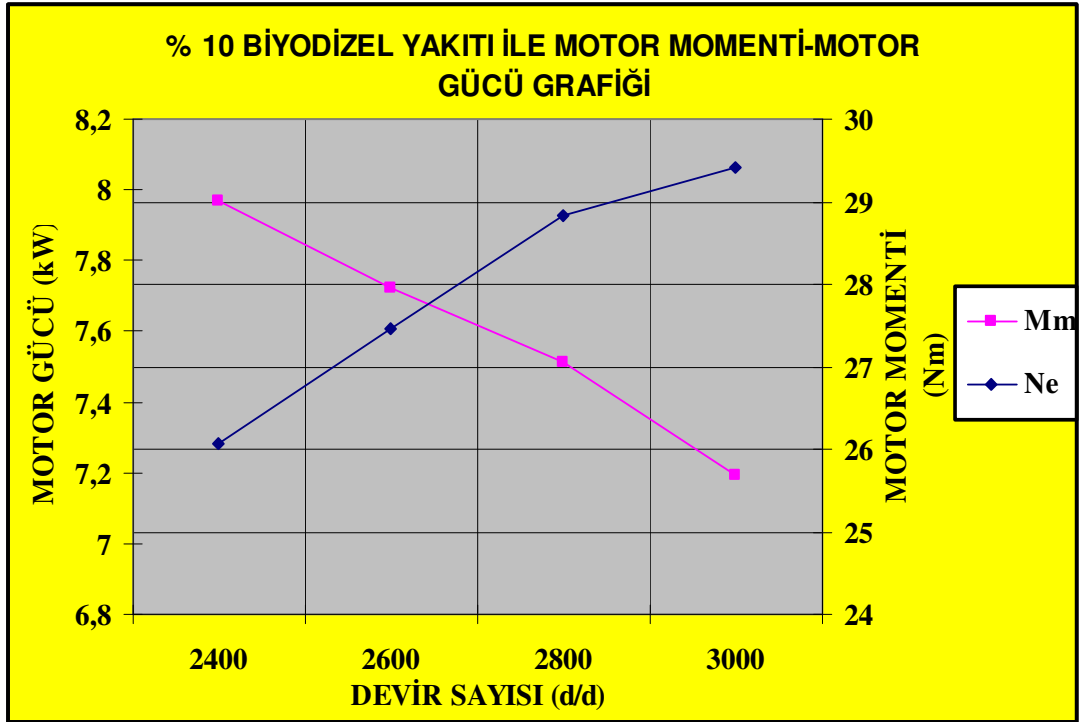
Şekil A.7 : %5 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



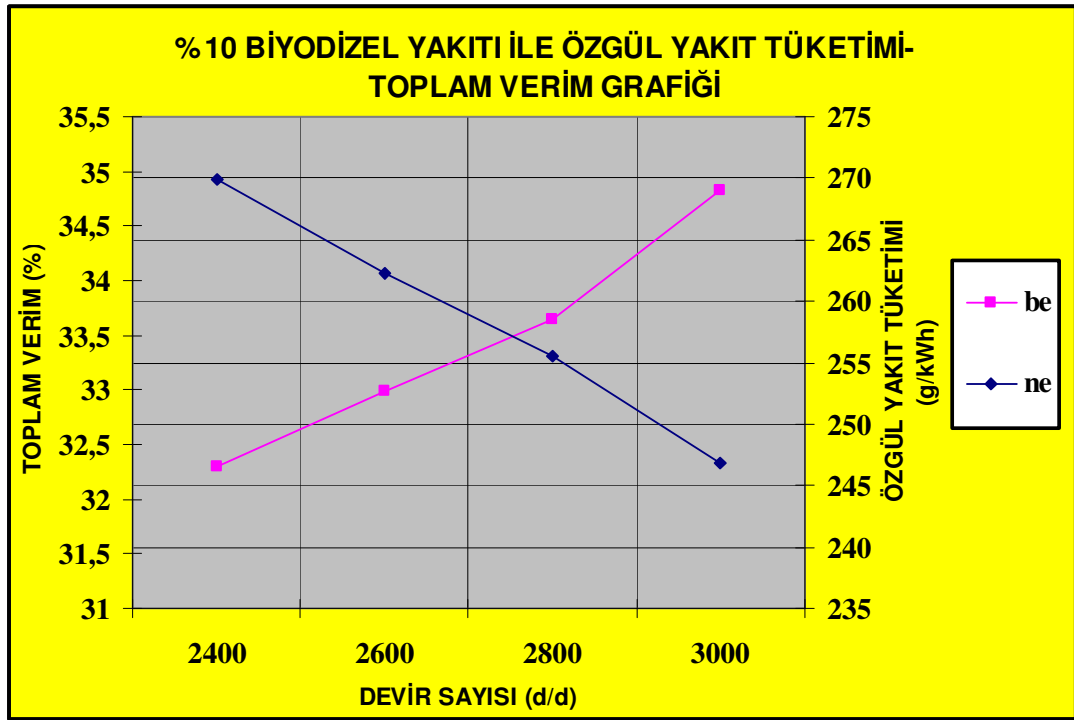
Şekil A.8 : %5 Biyodizel Yakıtı İle ÖzgüL Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



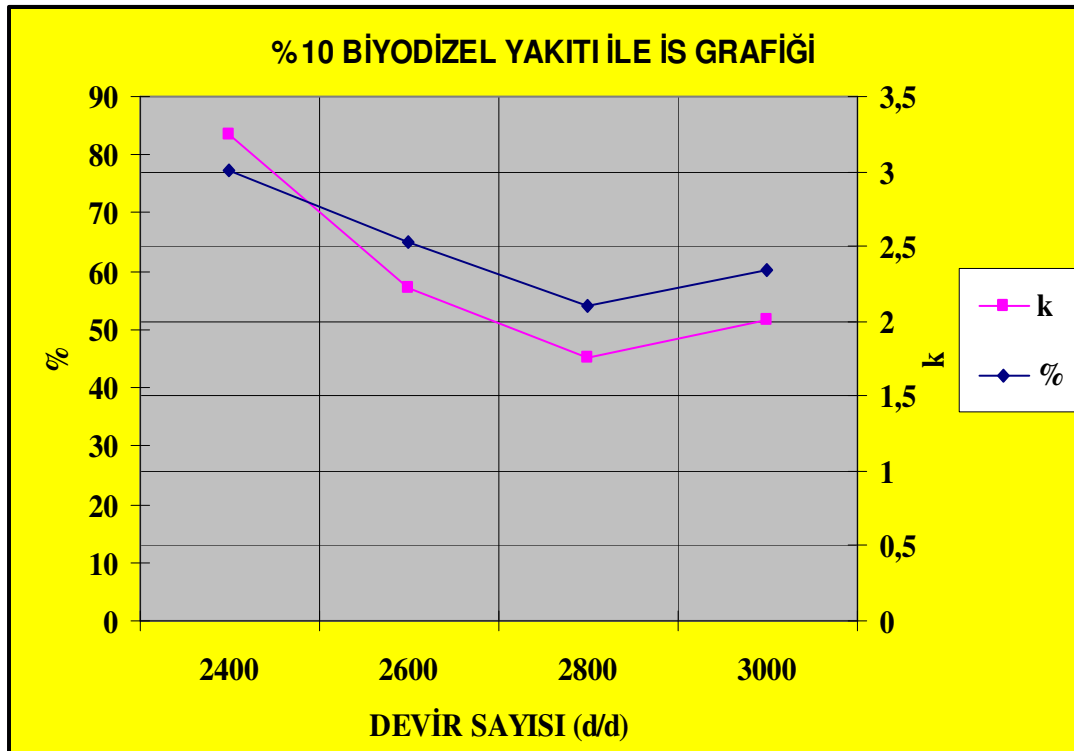
Şekil A.9 : %5 Biyodizel Yakıtı İle İş Grafiği



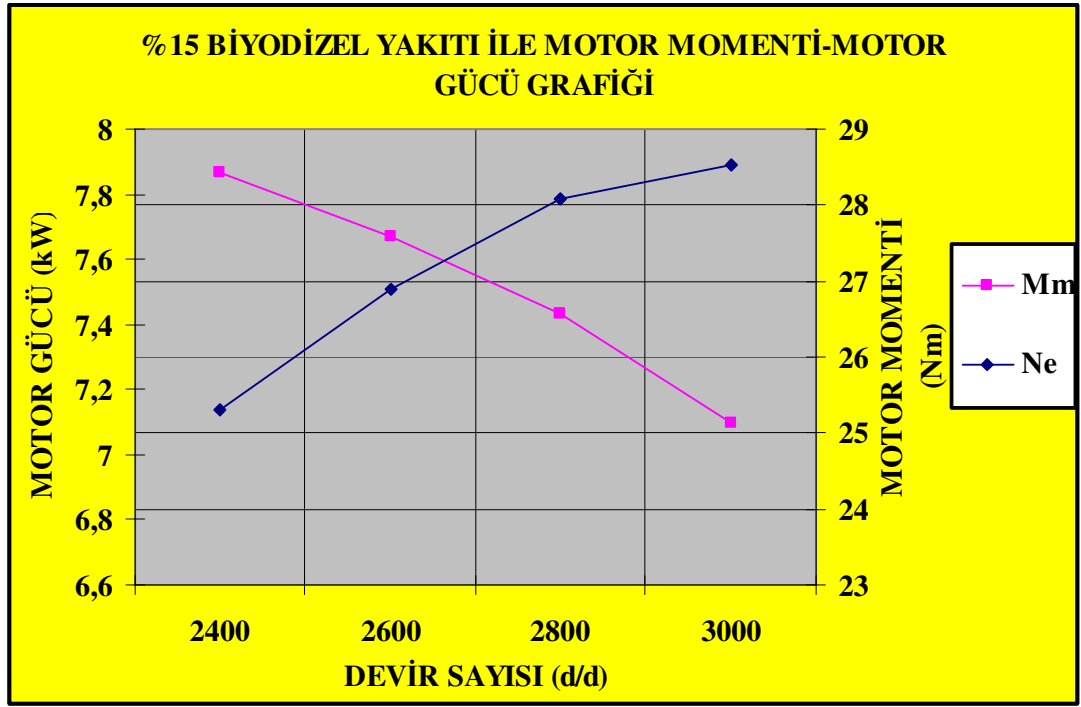
Şekil A.10 : %10 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



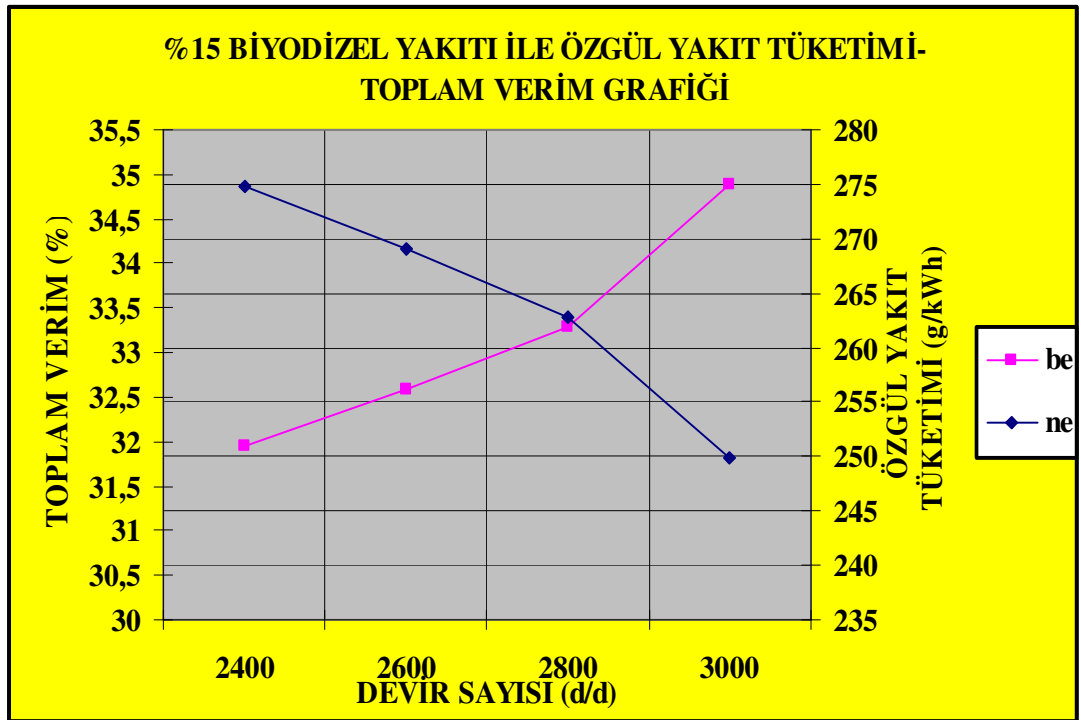
Şekil A.11 : %10 Biyodizel Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



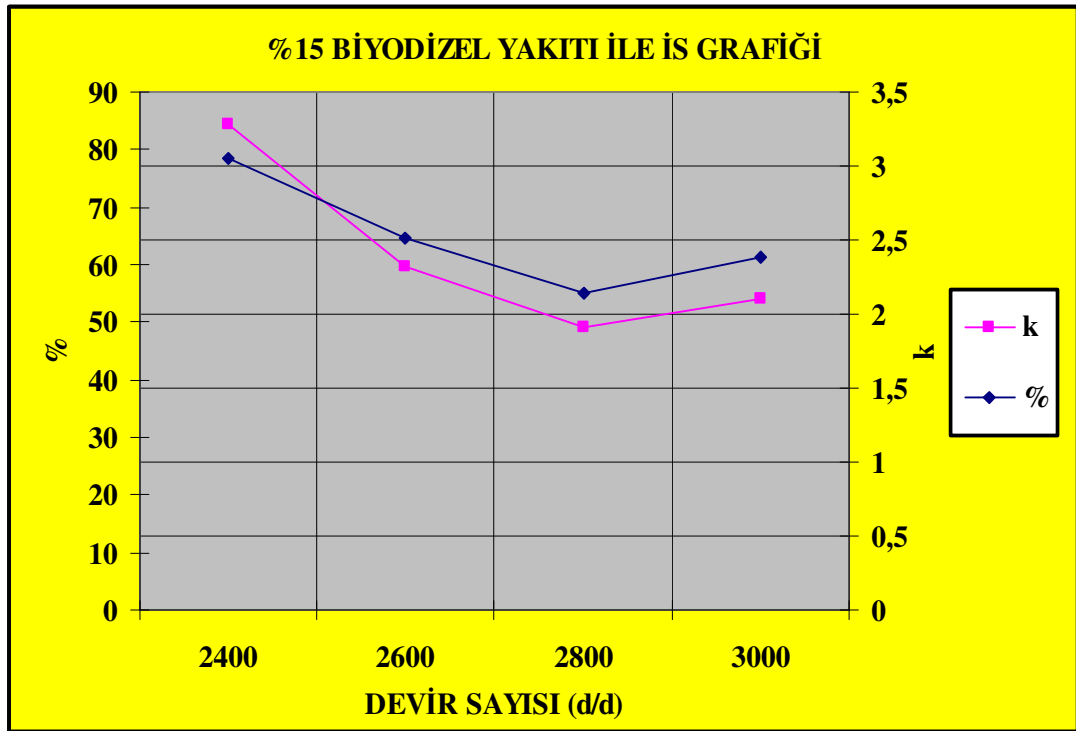
Şekil A.12 : %10 Biyodizel Yakıtı İle İs Grafiği



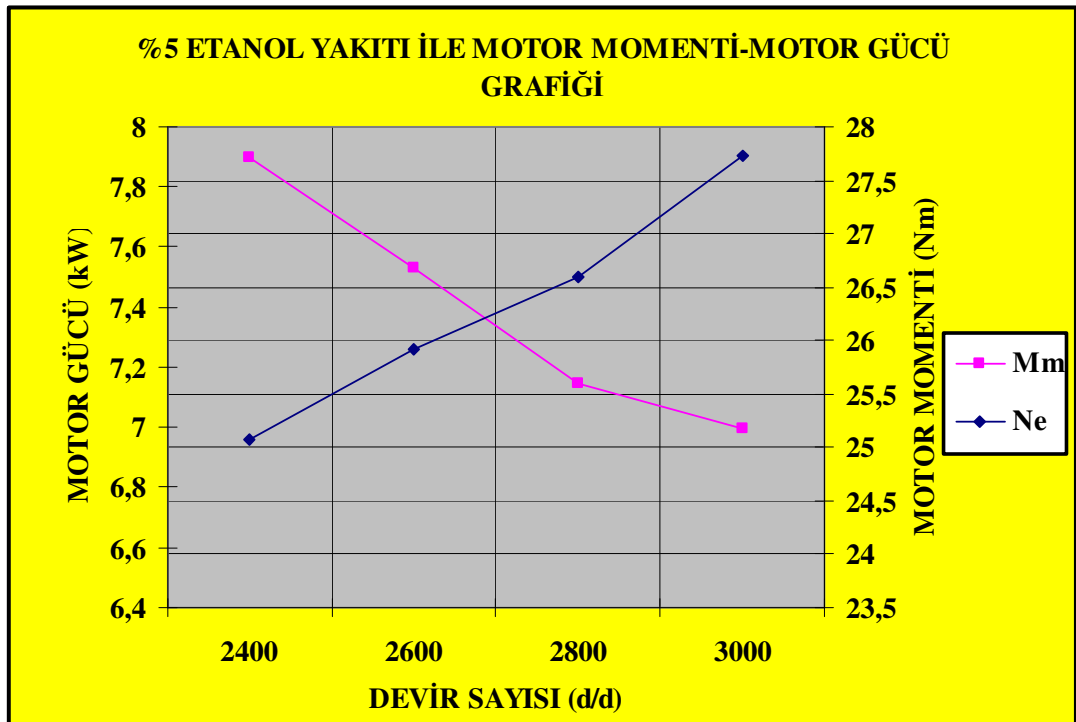
Şekil A.13 : %15 Biyodizel Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



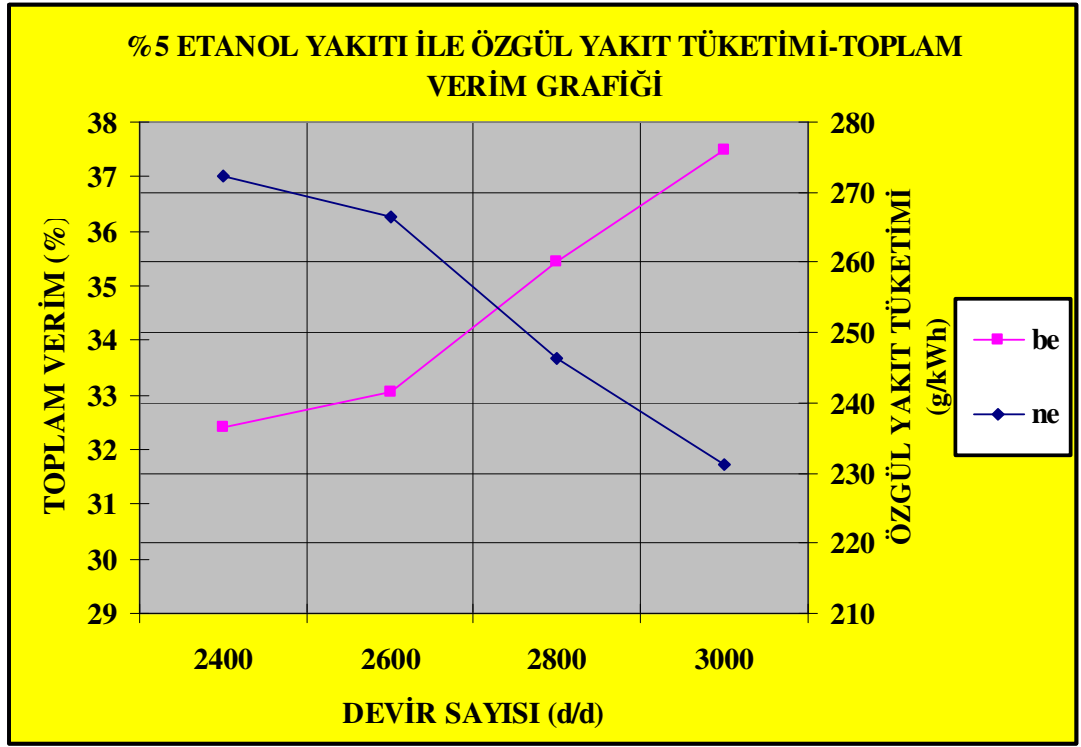
Şekil A.14 : %15 Biyodizel Yakıtı İle Özgü Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



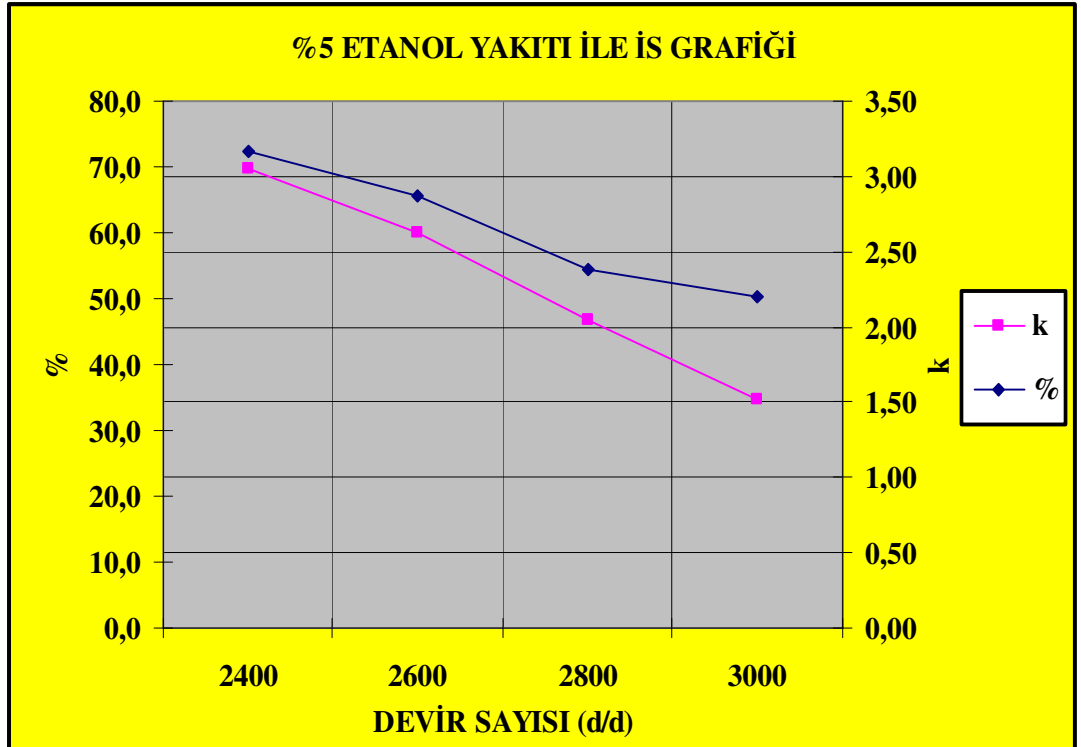
Şekil A.15 : %15 Biyodizel Yakıtı İle İş Grafiği



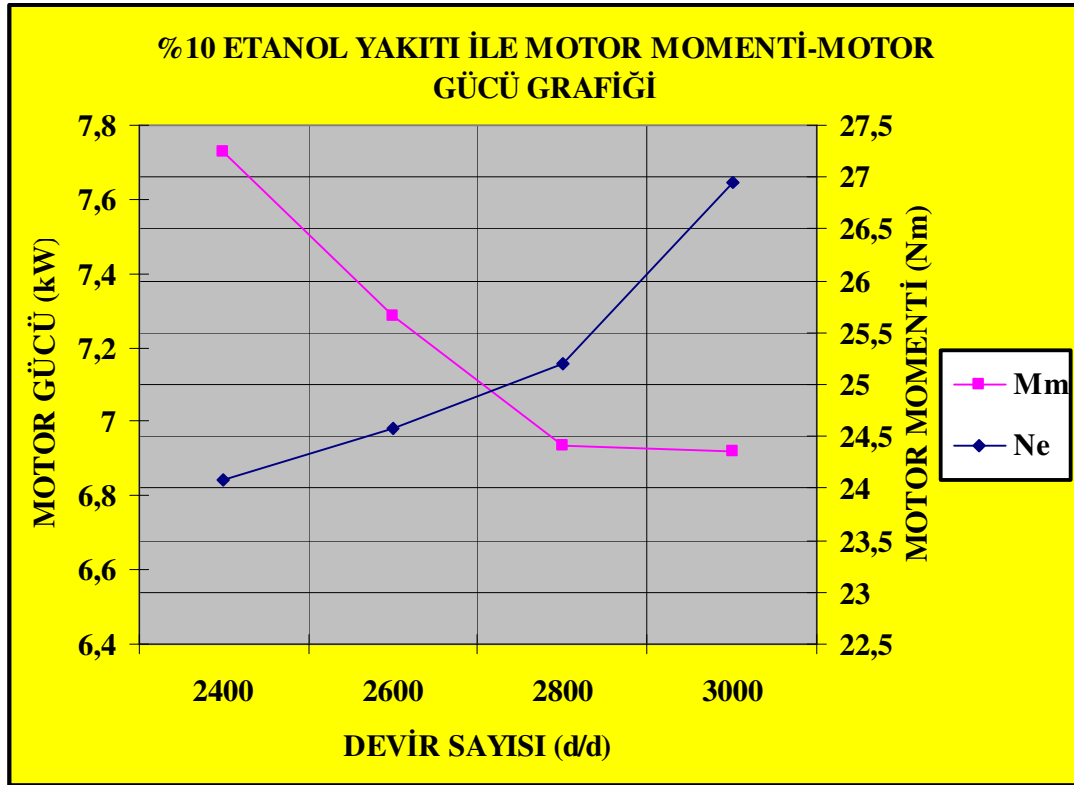
Şekil A.16 : %5 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



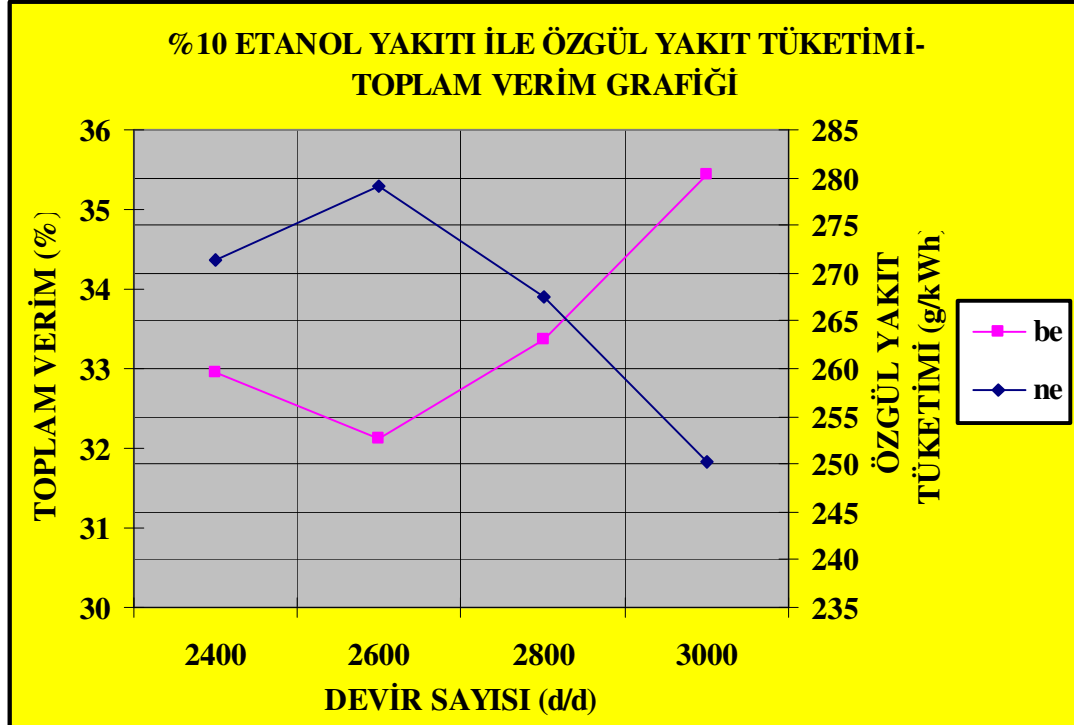
Şekil A.17 : %5 Etanol Yakıtı İle Özgül Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



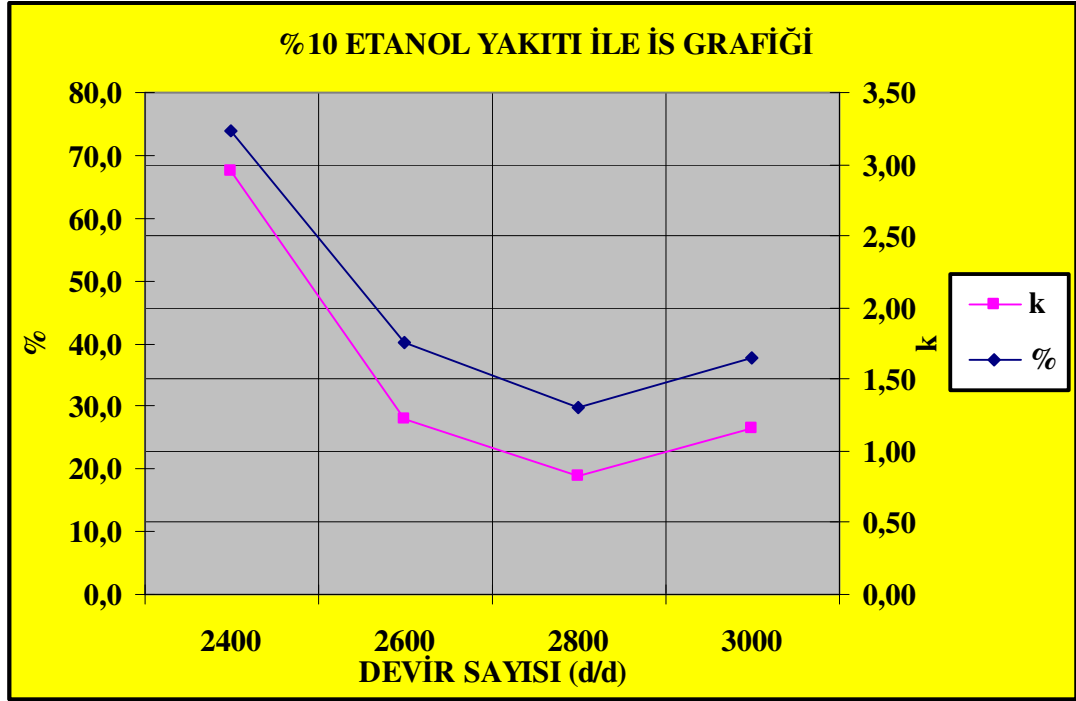
Şekil A.18 : %5 Etanol Yakıtı İle İs Grafiği



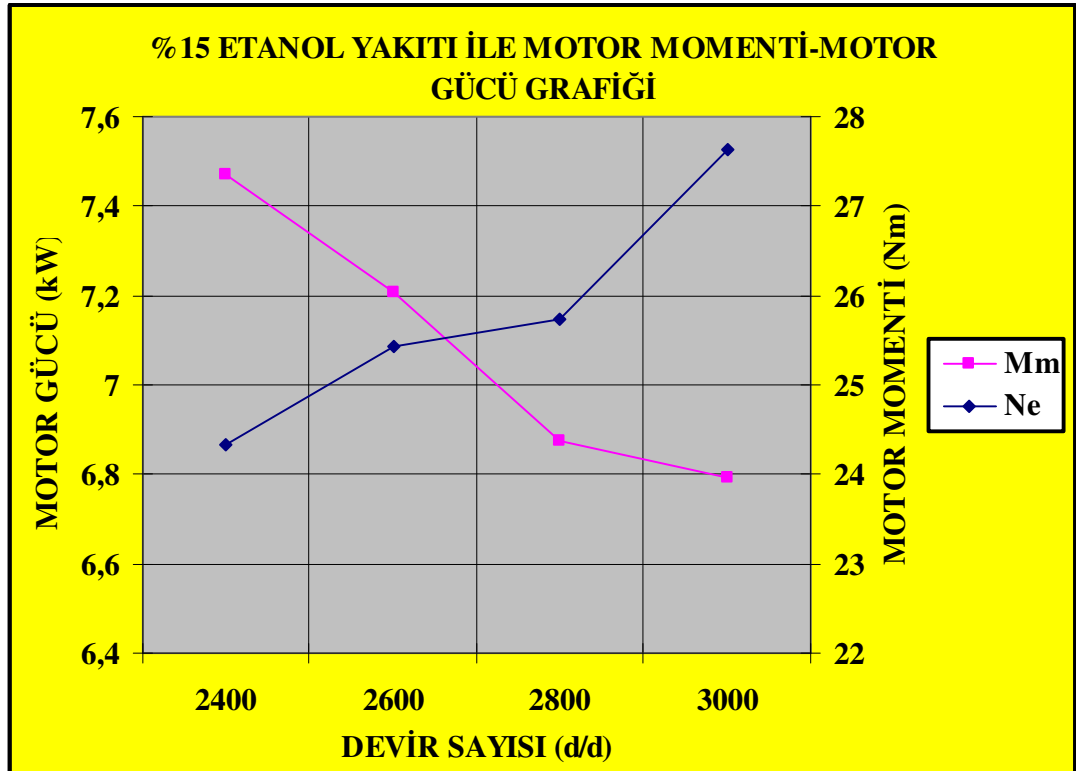
Şekil A.19 : %10 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



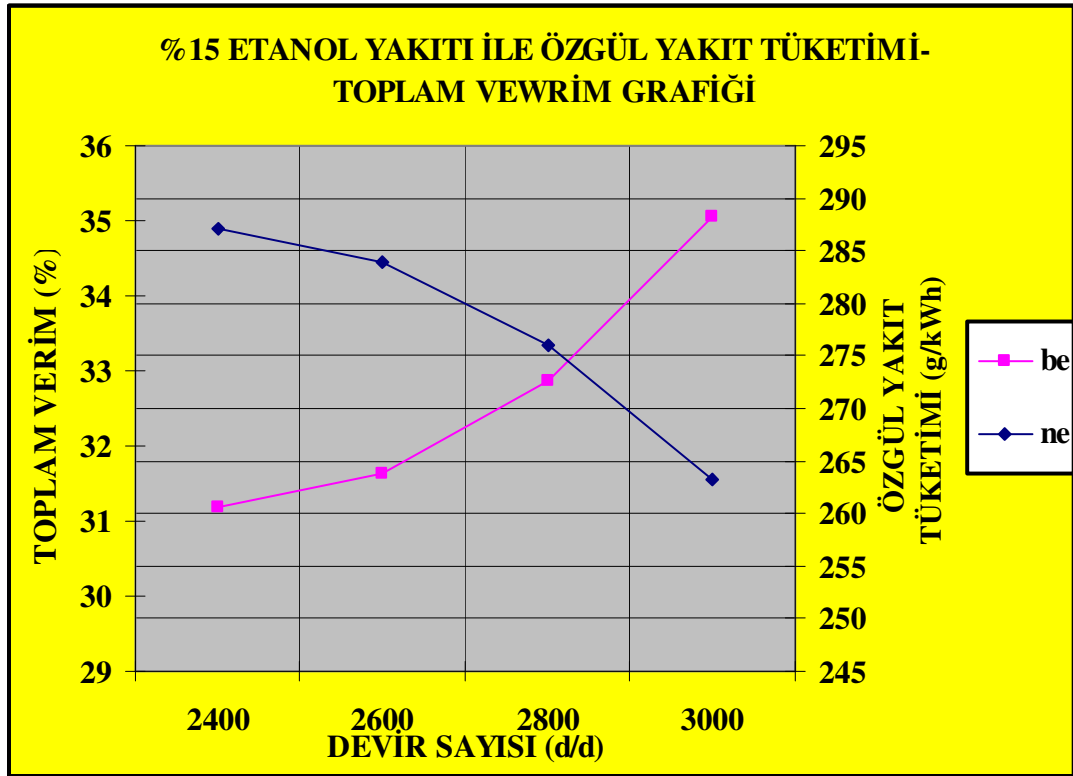
Şekil A.20 : %10 Etanol Yakıtı İle ÖzgüL Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



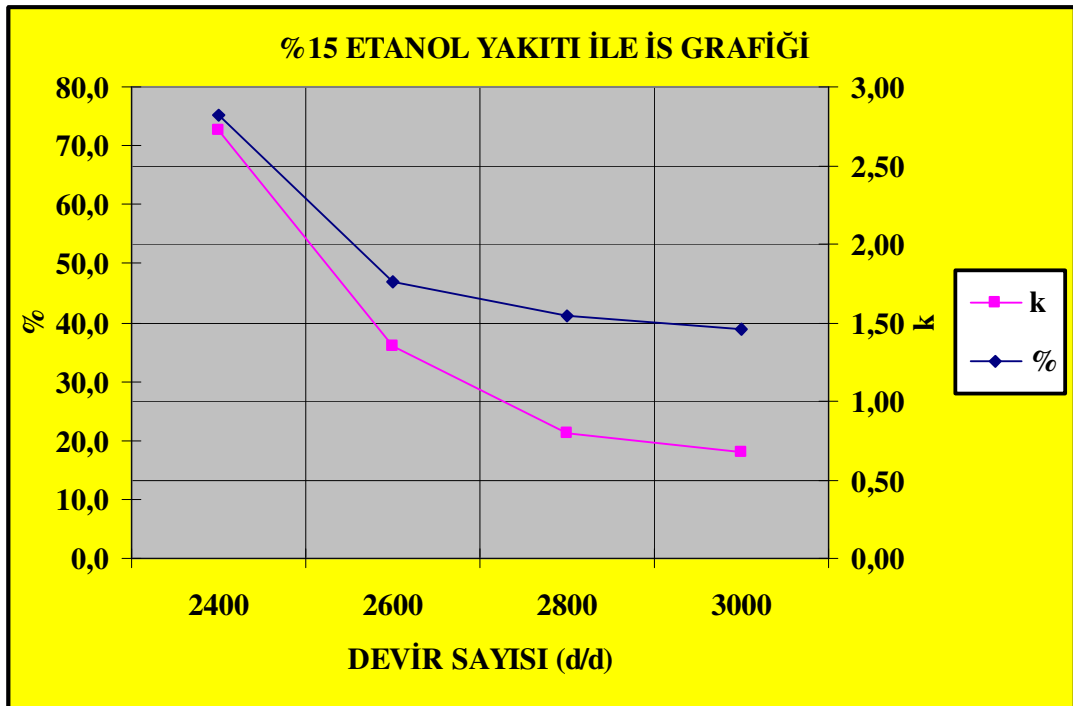
Şekil A.21 : %10 Etanol Yakıtı İle İs Grafiği



Şekil A.22 : %15 Etanol Yakıtı İle Motor Momenti-Motor Gücü Grafiği



Şekil A.23 : %15 Etanol Yakıtı İle ÖzgüL Yakıt Tüketimi-Toplam Verim Grafiği



Şekil A.24 : %10 Etanol Yakıtı İle İS Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

27 Mart 1983 tarihinde İstanbul'da dünyaya geldim. Ortaokul öğrenimimi 1994-1997 yılları arasında Reşat Tardu İlköğretim okulu'nda lise öğrenimimi ise 1997 – 2001 yılları arasında Şehremini Lisesi(Y.D.A.)'nde tamamladım. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdim. Genel Makine Anabilim dalında eğitim gördükten sonra 2005 yılında mezun oldum. Ardından 2006 yılında yüksek lisans için İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Programı'na girdim ve 2007 Şubat ayında mezun oldum.

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