İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETANOL KATKILI YAKIT KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Eren ŞENVELİ

503061706

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Haziran 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. H. Ertuğrul ARSLAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Cem SORUŞBAY (İ.T.Ü.)

Prof. İrfan YAVAŞLIOL (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin yönetilmesinde tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan, bu konu ile ilgili araştırma yapmam için beni teşvik eden, tezin ayrılmaz bir parçası olan laboratuar deneylerinin yapılmasında bana yardımcı olan ve emeğini hiç bir şekilde benden esirgemeyen, bana her türlü desteği sağlayan tez danışmanım sayın hocalarım Prof. Dr. Ertuğrul Arslan'a ve Arş. Gör. Yük. Müh. Barış Doğru'ya, ayrıca tez çalışmamda emeği geçen Prof. Dr. Metin Ergeneman'a, Doç. Dr. Doğan Güneş'e, Yrd. Doç. Dr. Özgen Akalın'a, Yrd. Doç. Dr. Akın Kutlar'a, Arş. Gör. Dr. Hikmet Arslan'a, Müh. Mustafa Kavitaş'a ve TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, beni topluma hayırlı bir evlat olarak yetiştirip bugünlere getiren ve her konuda benim yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2008 Eren Şenveli

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xii**

1.GİRİŞ **1**
1.1.Giriş ve Çalışmanın Amacı 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **6**

3. ETANOL **15**
3.1. Etanolün Üretilmesi 15
3.1.1. Fermantasyon Unitesi 16
3.1.2 Destilasyon Ünitesi 17
3.1.3 Rektifikasyon (Susuzlaştırma) ve Ayrıştırma Ünitesi 17
3.1.4 Etanol Ürün Depolama 18
3.1.5 Dünyada Etanol Üretimi 18
3.1.6 Türkiye'de Etanol Üretimi 20
3.1.7. Etanolün Maliyeti 20

4. ETANOL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ **22**
4.1. Etanolün Dizel Yakıtı İçerisindeki Çözünürlüğü ve Karışımın Kararlılığı 22
4.1.1. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği 25
4.1.2. Yoğunluk ve Isıl Değer 25
4.1.3. Viskozite ve Yağlama Özelliği 27
4.1.4. Soğuktaki Akış özellikleri (Akma ve Bulut Noktası) 29
4.1.5. Parlama Noktası, Buharlaşma Basıncı, Alevlenme noktası 30
4.2. Etanolün Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Farklı Kullanım Teknikleri 32
4.2.1. Alkolün Emme Manifolduna Verilmesi 33
4.2.2. Çift Enjeksiyon Sistemi 34

4.2.3. Alkollerin Buji Yardımıyla Ateşlenmesi 35
4.2.4. Setan Sayılarını Geliştirici Katkılarla Alkollerin Kullanılması 36
4.2.5. Yüzey Ateşleme 37
4.2.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Diğer Tekniklere Göre Avantaj ve Dezavantajları 37

5. DİZEL YAKIT ve ÖZELİKLERİ 39
5.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri 41
5.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri 45

6. SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ 50
6.1. Geometrik Sıkıştırma Oranı 50
6.2. Sıkıştırma Oranının Güce ve Yakıt Ekonomisine Etkisi 50
6.3. Sıkıştırma Oranının Termik Verime Etkisi 53
6.4. Sıkıştırma Oranının Egzoz Emisyonlarına Etkisi 55
6.5. Sıkıştırma Oranının Sürtünme Gücüne Etkisi 56
6.6. Sıkıştırma Oranının Volümetrik Verime Etkisi 56
6.7. Sıkıştırma Oranı ile Hava-Yakıt Oranı (H/Y) ilişkisi 57
6.8. Sıkıştırma Oranı Ateşleme Avansı İlişkisi 58
6.9. Sıkıştırma Oranı ile Yanma Odası Yüzey/Hacim Oranı İlişkisi 59
6.10. Sıkıştırma Oranı-Soğutma Kayışları İlişkisi 61
6.11. Sıkıştırma Oranı ve Silindir Basıncı İlişkisi 61

7. KİRLETİCİ EMİSYONLAR VE ETKİLERİ 64
7.1. HC Emisyonları 65
7.2. CO Emisyonları 66
7.3. NO_X Emisyonları 67

8. MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONU TESTLERİ İÇİN AVRUPA BİRLİĞİ STANDARTLARI 69
8.1. Motor Performansı Deneyleri için Avrupa Birliği Standartları 69
8.2. Egzoz Emisyon Ölçüm Deneyleri için Avrupa Birliği Standartları 75

9. DENEY DÜZENEĞİ 81
9.1 ASTM – CFR Deney Motoru 81
9.2. Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması 83
9.3. Egzoz Emisyonu Ölçüm Cihazı 84
9.3. LabVIEW Yazılımı 86

10. SONUÇLAR 88
10.1. Performans Analizi 88
10.1.1. Efektif Güç 89

10.1.2. Motor Momenti 90
10.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi 91
10.1.4. Efektif Verim 92
10.2. Emisyon Ölçümü 97
10.2.1. NOx Emisyonu Ölçümü 97
10.2.2. İs Ölçümü 98
10.2.3. CO_2 Emisyonu Ölçümü 99
10.2.4. CO Emisyonu Ölçümü 100
11. DEĞERLENDİRME 101
KAYNAKLAR 103
ÖZGEÇMİŞ 108

KISALTMALAR

ÜÖN : Üst Ölü Nokta
AÖN : Alt Ölü Nokta
max : Maksimum
min : Minimum
HP : Beygir Gücü
cc : Santrimetre Küp
HC : Hidrokarbon
NOx : Azot Oksitler
CO : Karbon Monooksit
TG : Tutuşma Gecikmesi
KMA : Krank Mili Açısı
EGR : Egzoz Gazı Resirkülasyonu
PA : Püskürtme Avansı
IDI : Ön Yanma Odalı
DI : Doğrudan Püskürtmeli
CR : Common–Rail
ECU : Elektronik Kontrol Ünitesi
CFR : Cooperative Fuel Research

TABLO LİSTESİ **Sayfa No**

Tablo 1.1	**:** Dünya Fosil Yakıt Rezervleri	1
Tablo 1.2	**:** Dünya Fosil Yakıt Tüketimleri	2
Tablo 1.3	**:** Dünya Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri	3
Tablo 3.1	**:** Dünyada Etanol Üretimi	19
Tablo 4.1	**:** Etanol-dizel Yakıtı Karışımları İçin Katkı Maddesi Üreten Özel Firmalar ve Katkı Maddesi Oranları	24
Tablo 4.2	**:**Dizel Yakıtı Karışımlarının Farklı Sıcaklıklarda Rölatif Yoğunluklarının Değişimleri	26
Tablo 4.3	**:** Farklı Sıcaklıklardaki Dizel ve Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Viskozite Değişimleri	28
Tablo 8.1	**:** Efektif Motor Gücünün Tespiti İçin Yapılan Testlerde Bulunması Gereken Donanımlar	70
Tablo 8.2	**:** Testler İçin Gerekli Kurulum Koşulları	72
Tablo 8.3	**:** 13 Nokta Mod Sistemi	78
Tablo 10.1	**:** Efektif Güç Değerleri	90
Tablo 10.2	**:** Motor Momenti Değerleri	91
Tablo 10.3	**:** Özgül Yakıt Tüketimi Değerleri	92
Tablo 10.4	**:** Efektif Verim Değerleri	93
Tablo 10.5	**:** NO_x Emisyonu Değerleri	97
Tablo 10.6	**:** İs Emisyonu Değerleri	98
Tablo 10.6	**:** CO_2 Emisyonu Değerleri	99
Tablo 10.6	**:** CO Emisyonu Değerleri	100

ŞEKİL LİSTESİ **Sayfa No**

Şekil 2.1	**:** Deney Sonuçları Tablosu	6
Şekil 2.2	**:** Ortalama Efektif Basınç	8
Şekil 3.1	**:** Etanol Üretim Tesisinin Genel Şeması	15
Şekil 3.2	**:** Fermantasyon Ünitesi	16
Şekil 3.3	**:** Destilasyon Ünitesi	17
Şekil 3.4	**:** Etanol Ürün Deposu	18
Şekil 4.1	**:** Fumigasyon Tekniği	33
Şekil 4.2	**:** KHD Marka DI Dizel Motoru Enjektörlerinin Yerleşimi	34
Şekil 4.3	**:** Ön Yanma Odalı Sistemde Pilot Enjektör ve Alkol Enjektörleri Yerleşimi	35
Şekil 5.1	**:** Setan Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi	47
Şekil 5.2	**:** Setan Sayısının Parçacık Emisyonu Üzerindeki Etkileri	48
Şekil 6.1	**:** Sıkıştırma Oranının Motor Gücüne Etkisi	51
Şekil 6.2	**:** Sıkıştırma Oranı Değişiminin Performansa Etkisi	52
Şekil 6.3	**:** Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi	52
Şekil 6.4	**:** Çeşitli Eşdeğerlik Oranlarında Termik Verimin Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimi	53
Şekil 6.5	**:** Sıkıştırma Oranı Termik Verimi Değişimi	54
Şekil 6.6	**:** Sıkıştırma Oranı Sürtünme Gücü Değişimi	56
Şekil 6.7	**:** Sıkıştırma Oranı Volümetrik Verim Değişimi	57
Şekil 6.8	**:** Oktan Sayıları Farklı İki Yakıt İçin Yüksek Türbülanslı ve Klasik Yanma Odalı Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Sıkıştırma Oranının Vuruntuya Etkisi	58
Şekil 6.9	: Ateşleme Avansının Yakıt Hava Oranına ve Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimi	59
Şekil 6.10	**:** Yüzey/Hacim Oranının Sıkıştırma Oranı, Silindir Sayısı, Kurs Çapı, Silindir Hacmine Göre Değişimi	60
Şekil 6.11	**:** Yüzey/hacim oranını ile İndike Verim Arasındaki İlişki	60
Şekil 6.12	**:** Sıkıştırma Oranı ve Isı Dağılımı Arasındaki İlişki	61
Şekil 6.13	**:** Sıkıştırma Oranı ve Silindir Basıncı İlişkisi	62
Şekil 6.14	**:** Sıkıştırma Oranı-Ortalama Efektif Basınç, İndike Termal Verim İlişkisi	62
Şekil 6.15	**:** Sıkıştırma Oranı ve Maksimum Silindir Basıncı Değişimi	63
Şekil 7.1	**:** Motorlu Taşıttaki Kirletici Emisyon Noktaları	64
Şekil 7.2	**:** Yakıt-Hava Oranına Bağlı olarak Egzoz Emisyonlarının Değişimi	65
Şekil 8.1	**:** Motor Faktörünün Belirlenmesi	75
Şekil 8.2	**:** ELR Testinin Sırası	77
Şekil 8.3	**:** ESC ve ELR Test Çevrimleri	78
Şekil 9.1	**:** Deney Düzeneği	81
Şekil 9.2	**:** ASTM-CFR Deney Motoru ve Elemanları	82
Şekil 9.3	**:** Deney Motoru	83
Şekil 9.4	**:** Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması ve Elemanları	83
Şekil 9.5	**:** Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması	84

Şekil 9.6 : Kızdırıcılı Hatlı HC Analizörü 85
Şekil 9.7 : NOx, CO ve CO_2 Analizörleri 85
Şekil 9.8 : İs Ölçüm Cihazı 86
Şekil 10.1 : Sıkıştırma Oranı-Efektif Güç Grafiği 90
Şekil 10.2 : Sıkıştırma Oranı-Motor Momenti Grafiği 91
Şekil 10.3 : Sıkıştırma Oranı-Özgül Yakıt Tüketimi Grafiği 92
Şekil 10.4 : Sıkıştırma Oranı-Efektif Verim Grafiği 93
Şekil 10.5 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Eurodizel) 94
Şekil 10.6 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%5 Etanol - %95 Eurodizel) 94
Şekil 10.7 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%10 Etanol - %90 Eurodizel) 95
Şekil 10.8 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%15 Etanol - %85 Eurodizel) 95
Şekil 10.9 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 14,85) 95
Şekil 10.10 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 16) 96
Şekil 10.11 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 17,48) 96
Şekil 10.12 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 19) 96
Şekil 10.13 : KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 21) 96
Şekil 10.14 : Sıkıştırma Oranı-NO_x Emisyonu Grafiği 97
Şekil 10.15 : Sıkıştırma Oranı-İs Emisyonu Grafiği 98
Şekil 10.16 : Sıkıştırma Oranı-CO_2 Emisyonu Grafiği 99
Şekil 10.17 : Sıkıştırma Oranı-CO Emisyonu Grafiği 100

SEMBOL LİSTESİ

m^3	: Metreküp
%	: Yüzde Oranı
CO	: Karbonmonoksit
SO_2	: Kükürtdioksit
NO_x	: Azotoksitler
°C	: Santigrad
dp/dt	: Basınç Yükselme Hızı
mm	: Milimetre
Nm	: Newton–Metre
d/d	: Dakikadaki Devir Sayısı
μm	: Metrenin Milyonda Biri
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
SO_3	: Kükürttrioksit
H_2O	: Su
km	: Kilometre
kW	: Kilo–Watt
K	: Kelvin
atm	: Atmosfer Basıncı
Pme	: Ortalama Efektif Basınç
ρ	: Yoğunluk
N_i	: İndike Güç
N_e	: Efektif Güç
kcal	: Kilo–Kalori
Hu	: Alt Isıl Değer
B_e	: Özgül Yakıt Tüketimi
η	: Verim
η_m	: Mekanik Verim

ETANOL KATKILI YAKIT KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA ve EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Fosil yakıtların; dünya üzerindeki rezervlerinin azalması, hava kirliliğine neden olması, siyasi ve ekonomik krizlerden çabuk etkilenmesi, rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması gibi olumsuzluklarından dolayı alternatif yakıtların kullanımı ve alternatif yakıtlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalar hız kazanmıştır. Günümüzde içten yanmalı motorlarda etanol, metanol, doğal gaz, hidrojen ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır.

Oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük olması ve biyokütle kaynaklarından üretilmesi nedeniyle alkoller alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada sıkıştırma oranı artırılan bir motorda etanollü dizel yakıt kullanımının performans ve emisyonlar üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı; bir dizel motorda yenilenebilir alternatif yakıt olarak kullanılabilen etanolün dizel yakıt ile farklı oranlarda ve değişken sıkıştırma oranlarında kullanılması durumlarında performans deneylerine bağlı silindir içi basınç ve egzoz emisyonlarının ne gibi değişimlere uğradığının belirlenmesidir. Bu karakteristiklerinin bulunmasında tek silindirli bir test motoru olan ASTM–CFR motoru sabit motor devrinde (900 d/d) ve yüksüz olarak çalıştırılmıştır. İlk olarak motor %100 Euro – dizel yakıtı ile çalıştırılmış ve referans değerler elde edilmiştir. Hacimsel olarak %5, %10, %15 oranlarında etanol katkılı Eurodizel yakıtı 14.8:1, 16:1, 17.4:1, 19:1 ve 21:1 sıkıştırma oranlarında denenmiştir. Bulunan sonuçlarla referans dizel yakıt ile elde edilmiş referans değerleri karşılaştırılmış ve söz konusu alternatif yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri ortaya konmuştur.

INVESTIGATION THE EFFECT OF USING ETHANOL BLENDED DIESEL FUELS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

SUMMARY

The experimental studies and uses of alternative fuels has been accelerated because of fossil fuels in decreasing of reserves, result in air pollution and gathering limited zones. Nowadays, the alternative fuels as ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and liquefied petroleum gas have been used in internal combustion engines.

Alcohol has an important place among the alternative fuels its octane number is high, exhaust emission level is low and is produced from biomass sources. In this study, the effects on performance and emissions of using ethanol blended diesel fuels were investigated in a motor with variable compression ratio.

The goal of this study; determining the changings in inner cylinder pressures and exhaust emissions in situations of using ethanol which can be used an alternative renewable energy, with diesel at different ratios and variable compression ratios in disel engines. In determining of this characteristics an ASTM-CFR engine which is a mono cylinder test engine had been operated at constant engine speed and without loading. Firstly engine had been operated with % 100 diesel and referance values had been obtained. Afterthat, %5, %10, %15 ethanol blended eurodiesel fuel at 14.8:1, 16:1, 17.4:1, 19:1 and 21:1 compression ratios had been tested. Results and referance values had been compared and effect of the alternative fuels had been determined on engine performance ana exhaust emissions.

1.GİRİŞ

1.1.Giriş ve Çalışmanın Amacı

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

Tablo 1.1 : Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (WEC, 2002)

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

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

Tablo 1.2 : Dünya Fosil Yakıt Tüketimleri (WEC, 2002)

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

*Ton Eşdeğer Petrol

Tablo 1.2'de sunulan tüketim değerleri incelendiğinde fosil kaynaklar arasında %44,00 ile petrol birinci sırada yer alırken bunu %29,00 ile kömür ve %27,00 ile doğal gazın takip ettiği görülmektedir. Takip eden çizelgede fosil yakıtların mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri de dikkate alınırsa gelecek 30 yıl içerisinde bu fosil kaynaklar açısından önemli bir yetersizlik olmayacağı ancak önümüzdeki 40–50 yıl içerisinde ise bu kaynakların özellikle nüfus artışının etkisi ile önemli ölçüde azalacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte oluşabilecek enerji temini sorununu bir anda çözebilecek teknolojik bir gelişme de bulunmamaktadır. Bu durum bilinen kaynakların en rasyonel şekilde kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gibi acil önlemlerin şimdiden alınması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca dünyada çevre bilincinin yaygınlaşmaya başlaması ile çevre dostu olarak bilinen yeni bazı enerji kaynaklarının araştırılması kaçınılmaz olmuştur.

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

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

Günümüzde kullanılan fosil yakıtların yüksek oranda kükürt, azot ve metal içermeleri büyük oranda hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu fosil yakıtların yanması sonucu oluşan SO_2 ve NO_x gazları asit yağmurlarına neden olurken atmosferde CO_2 değişiminin sürekli artması sonucunda sera etkisi olarak adlandırılan istenmeyen iklim değişiklikleri görülmektedir.

Motor yakıtlarının önemli bir kaynağı olan petrolün tükeniyor olması ve üstelik petrol kökenli yakıtlarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına doğru yöneltmiştir. Özellikle daha düşük egzoz emisyona sahip etanol, metanol, hidrojen, doğal gaz ve LPG gibi alternatif yakıtlar bir çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Dünyadaki sanayileşme süreci tarihte enerji kaynaklarıyla bağlantılı olarak belli dönemeçlerden geçti. Kömürün buhar makinelerinde kullanılması, bugünkü termik santrallerin temellerini attı. Petrol, kara taşımacılığına ivme kazandırdı ama aynı zamanda 1973'te yaşanan petrol kriziyle ülke ekonomileri büyük sıkıntı da yasadı. 1973'teki kriz; Arap-İsrail savaşı yüzünden, Suudi Arabistan, İran, Irak ve Kuveyt gibi ülkelerin üretimi azaltması ve fiyatları artırmasıyla ortaya çıktı. Bugün yükselen petrol fiyatlarında Irak'ın işgalinin rolü olduğu kadar, azalan rezervlerin de payı var. Yapılan analizler, iklim değişikliğinden enerji arz güvenliğine kadar uzanan, daha çok faktörlü ama uzun dönemli bir başka petrol krizine işaret ediyor. Bilinen petrol

rezervlerinin 40 yıl kadar dayanacağı tespiti de yüksek fiyatlara eklenince, ülkeler başka çıkış yolları arıyor (Gürbüz, 2006).

İsveç petrole tamamen elveda diyen ülkelerin basında geliyor. 2020'ye gelindiğinde ulaşımda petrole olan bağımlılığı sıfıra indirmeyi amaçlayan İsveç, "biyoyakıtlar" olarak adlandırılan etanol ve biyodizel üretmek için ormanlarını kullanmayı planlıyor. Etanol üretiminde dünya lideri Brezilya da petrol bağımlılığını hızla azaltıp, ulaşımda etanol kullanımını %80'e çıkarmayı hedefliyor. Bunun için etanol üretimini 2013'e kadar iki katına çıkarmak isteyen Brezilya'da, 30 bin yakıt istasyonu, şeker kamışından üretilen etanol satışı yapabiliyor. Günlük 204 bin varil petrole denk düsen etanol üretimi, her yeni 10 araçtan 7'sinin petrol, etanol veya her ikisinin karışımıyla çalışmasına olanak verecek şekilde yapılıyor (Gürbüz, 2006).

Bugünkü sonuç esasen Brezilya'nın 1976'da etanole vermeye başladığı sübvansiyonların eseri 1980'de sübvansiyonlar kesildi ama bu etanol üreticilerini durdurmadı; aksine daha verimli yöntemlere yöneltti. Bugün Brezilya, en büyük ve aynı zamanda en ucuz etanol üreticisi konumunda. ABD'de, 3.785 litre etanolün üretim maliyeti 1.10-1.40 dolar arasında seyrederken Brezilya'da aynı miktar 85 cent'e üretilebiliyor. İzlanda'nın planı ise tüm arabalarını 2050'ye kadar hidrojenle çalıştırmaktır (Gürbüz, 2006).

Modern yasamda taşımacılık hem hayati hem de stratejik bir sektördür. Otomobil endüstrisi çoğu ülkenin gayri safi milli hâsılasının %10'dan daha fazlasını oluşturmakta ve tüketici harcamalarının içerisinde geniş bir paya sahip olmaktadır. Günümüzde fosil kökenli yakıt kullanan araçlar hem şehir alanlarını hem de atmosferi kirleten birer tehlikedir. Yakıt ve otomobil endüstrisi insan sağlığı ve çevre sorunlarının üzerinden teknik, sosyal, politik ve finansal olarak üstesinden gelmek zorundadır. Bununla ilgili olarak biyolojik kökenli yenilenebilir, çevre dostu temiz yakıtlara ihtiyaç vardır. Biyoetanol, her tür biyokütleden üretilebilen geniş bir potansiyele sahiptir ve büyük veya küçük tesislerde uygun fiyatlarla üretilebilmektedir (Acaroğlu vd., 2005).

İçten yanmalı motorlarda kullanılabilecek yakıtlar, ucuz ve bol miktarda üretilebilmesi, ısıl değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Alkoller otomobilin icat edildiği

yıllardan beri motorlarda kullanılmaktadır. Alkollerden sadece metanol ve etanol petrol esaslı olmayan hammaddelerden güncel teknolojiyle pratik olarak üretilmektedir. Etanol yüksek oktan sayısına sahiptir ve tarımsal ürünler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. Etanol bu özellikleri nedeniyle buji ateşlemeli motorlar için uygun bir yakıttır ve motorlarda tek basına yada benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır.

Etanol yakıt olarak değişik kullanım yerlerinde değerlendirilebilir. Yapılan çalışmalar sonucu, etanolün petrol ile çalışan araç motorlarında herhangi bir katkı maddesine gerek kalmadan başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve motorlarda etanolün kullanılmasıyla açığa çıkan zararlı hidrokarbon ve CO_2 gaz emisyonunun önemli oranda düştüğü belirtilmiştir (Konyaşeker, 2006).

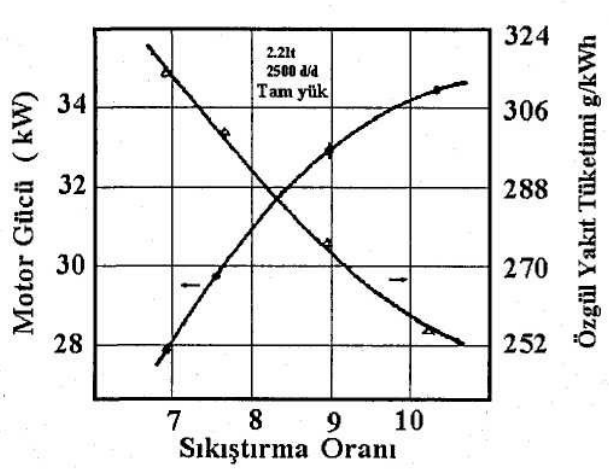
Tarımsal ürünlerden elde edilen biyoetanolün avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (www.abengoabioenergy.com) :

- Yerli, yenilenebilir bir yakıt kaynağıdır.
- Petrol için dışa bağımlılığı azaltır.
- Temiz bir yakıt kaynağıdır.
- Düşük maliyet ile yakıt oktan sayısını artırır.
- Genelde bütün araçlarda kullanılabilir.
- Üretimi ve muhafaza edilmesi kolaydır.
- Biyoyakıtlar fosil yakıtlardan % 40-80 daha az sera gazı yayar.

Alkollerin özellikle yüksek oktan sayısına sahip olması, motorun yüksek sıkıştırma oranında çalışmasına imkan verir. Bu da motor gücünün artmasını ve özgül yakıt tüketiminin azalmasını sağlar.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Caris ve Nelson tarafından kurs hacmi 5300 cm^3 olan V8 buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oram 9:1'den 20:l'e kadar artırılmış ve artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün de arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 17:1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır. Motorun yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu yapmaması için yakıt içerisine özel katkı maddeleri katılmıştır. Buji ile ateşlemeli, kurs hacmi 2200 cm^3 olan bir motorda tam gaz kelebeği açıklığında ve 2500 d/d sabit hızda sıkıştırma oranı artırılarak yapılan bir araştırmada, sıkıştırma oranının artışıyla birlikte motor çıkış gücünün arttığı, yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir (şekil 2.1) .



Şekil 2.1: Deney Sonuçları Tablosu

Sıkıştırma oranının artışı hem indike hem de fren özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır. Genişleme kursunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu soğutma kayıplarının azalmasıyla artan termal verimden dolayı soğutucuya olan ısı kaybı sıkıştırma oranı artışı ile azalmaktadır. Ayrıca, soğutmaya olan ısı kaybı motor hızıyla azaldığı için indike özgül yakıt tüketimi motor hız artışı ile azalmakta, daha sonra bir miktar artmaktadır. Diğer taraftan fren özgül yakıt tüketimi düşük hızlarda daha düz olup yüksek hızlarda artmaktadır. Bu fark, motor hızıyla artan sürtünme ve pompalama kayıplarından kaynaklanmaktadır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artan

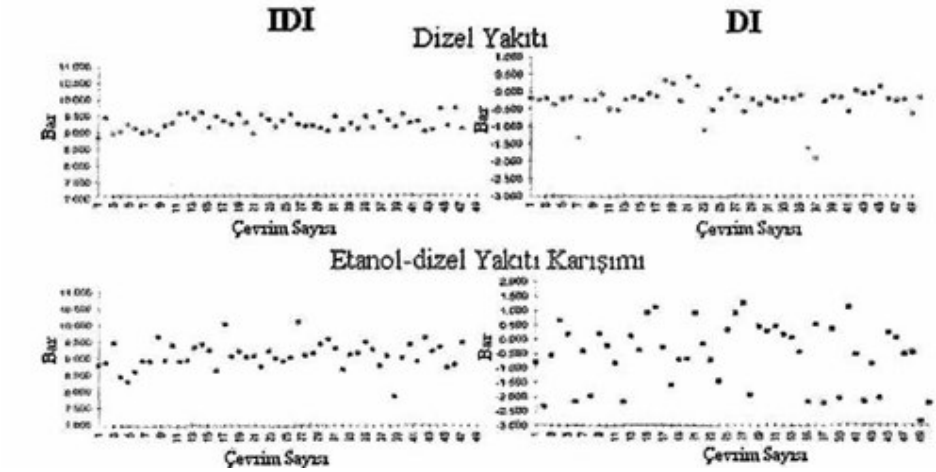
sürtünme ve ısı kayıplarından dolayı indike özgül yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketiminden daha hızlı bir şekilde iyileşmektedir. Bu etkilerden dolayı her motor için optimum bir sıkıştırma oranı mevcut olmaktadır. Şekil de kurs hacmi 4700 cm^3 olan V8, buji ile ateşlemeli bir motorda tam yükte 1x9 farklı sıkıştırma oranında motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi görülmektedir.

Caris tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırma oranı 9:1'den 25:l'e kadar değiştirilmiştir. Deneylerde 7 adet kurs hacmi 5300 cm^3 V8 motoru kullanılmış ve yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston aracılığıyla elde edilmiştir. Tam yükte 2000 d/d'de avans ve H/Y oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yapılan deneylerde, motorun maksimum termal verime 17:l lik sıkıştırma oranında ulaştığı tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termal verim düşmeye başlamıştır. Tam yükte yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntuyu önlemek için izooktan içerisine kurşun tetra etil ve mangan içerikli katkı ilave edilmiştir.

Aynı motorda 2000 d/d'de ve kısmi yükte (0,58 bar manifold basıncında) yapılan deneylerde sıkıştırma oranı 17:l'e yükseltildiğinde termal verimin maksimuma ulaştığı, sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termal verimin azaldığı görülmüştür. Burada sürtünme kaybının yüksek sıkıştırma oranı motorlarda termal verimin azalmasında temel sebep olmadığı görülmüştür. Termal verimin sıkıştırma oranının belirli bir değerinden sonra azalmaya başlamasının nedenini belirlemek amacıyla sıkıştırma oranının bazı motor parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Kısmı yükte 2000 d/d'de yapılan deneylerde sıkıştırma oranının 12:l' lik değerinden sonra yanma süresinin arttığı tespit edilmiştir. Böylece yanma işleminin yüksek sıkıştırma oranlarında sabit hacimde olmayan yanmaya doğru kaydığı anlaşılmıştır. Ayrıca yüksek sıkıştırma oranlarında egzoz gazı sıcaklığındaki azalmanın devam etmemesi de motorda gecikmiş yanma eğilimlerini doğrulamaktadır

Satge" de Caro ve ark., iki organik madde seçerek etanol-dizel yakıtı karışımlarının değişik fiziksel-kimyasal parametreleri ile motor gücü ve emisyonlarına etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Motor performansını ve emisyonların etkileyen parametrelerden olan; viskozite, setan sayısı, ısıl değer, uçuculuk dışında yakıtın kalitesini belirleyen; homojenlik, soğukta akış ve antikorozyon özelliklerini incelemişlerdir. Motorun art arda 50 çevrim boyunca her 0,75 KMA'da 1000 noktada yanma odasındaki basıncı ve enjektör iğnesinin hareketi kayıt edilmiştir. (çalışmalarında bir data logger ile ahnan verileri bilgisayarda kullanarak yanma odasının ortalama basıncı hesaplanıp enjektör iğnesinin hareketine göre eğrileri çıkartılmıştır. Şekil de motorun çevrim sayısına bağlı olarak ortalama efektif basınçları karşılaştırmalı olarak ortalama efektif basınçları karşılaştırılmalı olarak görülmelidir. Çalışmalarında etanol-dizel yakıtı karışımlarını iyonik yapıda olmayan %2 katkı maddesi ile %10 ve %20 oranında etanol ile hazırlayarak iki farklı motor tipi olan direkt enjeksiyonlu ile ön yanma odalı motorlarda denemişlerdir. Ayrıca karışımının tutuşma özelliğini geliştirecek katkı maddesinin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerini de gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, art arda 50 farklı motor çevrimindeki ortalama efektif basınçlardaki dağılıma bakılarak yakıttaki setan sayısının değişimine DI motorların IDI motorlara göre daha fazla bağımlı olduğu görülmüş ve bundan başka etanol katkısının motor gücünü egzoz gazı emisyonlarındaki is seviyesini azalttığı belirlenmiştir (Satge vd, 2001).



Şekil 2.2 : Ortalama Efektif Basınç

Weidmann ve Menrad (10), %30 oranında metanol, etanol ve dizel yakıtı karışımlarına C9-C11 grubu ağır alkolleri ekleyerek karışımın stabilizesini sağlamışlardır. Deneysel çalışmalarında ilk olarak 4 silindirli IDI Volkswagen motorunu dinamometrede ve daha sonra Almanya Posta Servisi filosunda bulunan taşıtlar üzerinde deneyerek etanol-dizel yakıtı karışımlarının güvenilirliğini kontrol etmişlerdir. Taşıt filosunda denemelerini yapmadan önce şasi dinamometresinde yapılan deneyler sonucunda etanolun düşük ısıl değerinden dolayı motor gücünde azalma yaşanmaması için enjeksiyon pompasının maksimum yakıt miktarı artırılarak yeniden ayarlanmıştır. Dinamometre deneylerinde yapılan maksimum yakıt ayarıyla alkol-dizel karışımlarının standart dizel yakıtına (No 2 D) göre aynı gücü verirken egzoz emisyonlarında daha az is oluştuğu belirtilmiştir. Etanolün soğuktaki akış özellikleri dizel yakıtına göre iyi olmasına rağmen düşük setan sayısı ve yüksek gizli ısıl değeri nedeniyle soğukta ilk çalışmasını iyileştirmek için motor üzerinde bazı değişikliklere gitmişlerdir. Bu değişiklikler; daha büyük ısıtma bujileri ile motorun ısınma periyodunda motor sıcaklığındaki değişime bağlı olarak post ısıtma devresi motora adapte edilmiştir. Dinamometre deneylerinde egzoz emisyonlarında partikül madde miktarı azalırken NO_X emisyonları artışı beraberinde getirmiştir. Yapılan uygulamalarla motorun problemsiz olarak şasi dinamometresinde çalışmasını sağladıktan sonra filo taşıtlarında denemeler yapılmıştır. Motorun performansında ve ilk çalıştırmalarında herhangi bir problemin yaşanmadığı belirtilmiştir (Weidmann vd, 1984).

Başka bir çalışmada ise Bilgin vd, etanol-dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında deneyerek optimum performansı sağlamayı amaçlamışlardır. Deneylerinde %2,4,6 oranında etanolü dizel yakıtı ile karıştırarak 19:1, 21:1 23:1 sıkıştırma oranlarında denemişler ve motor performansındaki olumsuz etkinin minimum düzeyde kalmasını sağlayabilecek optimum sıkıştırma oranını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının %4 oranında olduğu gözlemlenmiş ve 21;1 sıkıştırma oranında termik verimde %3,5`luk bir artış sağlanmıştır(Bilgin vd., 2002).

Etanolün dizel motorlarında kullanımına dair çeşitli teknikler bulunmaktadır. Likos vd., farklı tekniklerle (karışım, fumigasyon, setan sayısını geliştirici katkı maddeleri) etanolü DI ve IDI motorlarda uygulamışlardır. Denemelerinde dizel yakiti ile farklı saflıklarda (200, 190, 160-proof) etanolleri %10, 25 ve 50 oranlarında kullanarak motor performansını ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Yapılan ölçümlerde dizel yakıtı ile elde edilen sonuçlara göre düşük motor yüklerinde CO ve HC emisyonlarında

artış, yüksek motor yüklerinde azalma olurken NO_X emisyonlarında ise artış gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar neticesinde motor vuruntusu nedeniyle kullanılacak alkolün maksimum oranının sınırlandığını, %25 konsantrasyonunda motorun düzgün bir şekilde çalışamadığını ve %10 oranında alkol miktarının motor performansı açısından en iyi sonucu verdiğini açıklamışlardır(Likos vd, 1982).

Bayraktar yaptığı çalışmada, bir buji-ateşlemeli deney motorunda benzin-etanol karışımlarının kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneyler, benzine %1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10.5 ve 12 oranlarında etanol katılarak hazırlanan karışımlarla gerçekleştirilmiştir. Motor her bir karışımla 7.75 ve 8.25 sıkıştırma oranlarında ve çeşitli devir sayılarında çalıştırılmıştır. Bu çalışmaya göre yakıt içindeki alkol oranı arttıkça CO emisyonunun azaldığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının artmasıyla efektif verimin arttığı tespit edilmiştir (Bayraktar, 2005).

Topgül vd. yapmış olduğu çalışmada farklı sıkıştırma oranlarında düşük oranlı etanol-benzin karışımları (E10, E20) kullanımının motor momenti, fren özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentindeki maksimum artış 2000 d/d motor devrinde E10 yakıtında %0.5 (SO: 11/1), E20 yakıtında %1,3 (SO:10/1) ve FÖYT' de ortalama olarak E10 için %5,5 , E20 için %8,8 artış elde edilmiştir. CO emisyonunda 9/1 sıkıştırma oranında 2000 d/d motor devrinde E10 yakıtı kullanıldığında, %23,2'lik bir azalma elde edilmiştir. Etanol-benzin karışımlarında HC emisyonda 10/1 sıkıştırma oranında ve 5000 d/d motor devrinde E10 yakıtıyla %29,2'lik bir azalma sağlandığını gözlemlemişlerdir (Topgül vd, 2004).

Poluopoulos et al. yapmış olduğu çalışmada benzin içine etanol karıştırmış ve emisyonlara olan etkisini araştırmıştır. Hidrolik fren dinamometresi ile tertibatlandırılan bir 4 silindirli Opel 1.6 içten yanmalı motor tüm deneylerde kullanılmış ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi için 3 yollu katalitik konvertör kullanmışlardır. Egzoz emisyonlarındaki çeşitli bileşikler incelenmiş ve metan, hekzan, metilen, asit aldehit, asetan, benzin, bütan, tolven, asetik asit ve etanol emisyonları, motor ve katalitik konvertör çıkışından ölçülmüştür. Yakıt içerisindeki etanolün %10 artırılması ile egzozdan çıkan karbon monoksit emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir (Poluopoulos vd., 2001).

He vd, yapmış oldukları çalışmada; elektronik yakıt enjeksiyonlu buji ateşlemeli bir motorda etanol-benzin karışımlı yakıtların emisyonlara etkisi ve katalitik dönüşüm verimlerini incelemişlerdir. Benzinin içine etanol eklenmesi yakıtın oktan sayısını artırmıştır. Hacimce %30 etanol içeren yakıt, motordan çıkan toplam HC emisyonlarını azaltmıştır (He vd., 2002).

Usta vd. yaptıkları çalışmada, biyodizel ve etanol, dizel motorlar için yenilenebilir alternatif yakıtlar olarak, farklı oranlarda dizel yakıta karıştırılarak dizel motorunda kullanılmıştır. Bu çalışmada etanol ve iki farklı biyodizelin özellikleri dizel yakıt ile karşılaştırılmış, etanol ve biyodizellerin ön yanma odalı turbo dizel bir motorun performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Kullanılan alternatif yakıtlar CO, is ve SO2 emisyonlarının azalmasını sağlarken, NOx emisyonunda artışa sebep olmuştur. Etanol ilavesi güçte bir miktar düşmeye sebep olurken, biyodizel ilavesi dizel yakıta göre çok az oranda güç artısı sağlamıştır (Can., 2004).

Faroog tarafından dört zamanlı benzinli bir motor üzerinde yapılan çalışmada, etanol ve etanol benzin karışımlarının egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. CO miktarının karışımdaki etanol miktarının artmasına paralel olarak azaldığını, saf etanollu çalışmada CO miktarının benzinli çalışmadan düşük olduğunu tespit etmiştir. Karışımda etanol miktarı arttıkça HC miktarının azaldığını fakat saf etanol kullanımının HC miktarını arttırdığını göstermiştir. Karışımda etanol yüzdesi arttıkça NOx emisyonu azalma göstermiş en düşük derece saf etanollü çalışmada ulaşılmıştır (Faroog, 1988).

Gülder yaptığı çalışmada saf etanol, etanol-su karışımları ve etanol benzin karışımlarının yakıt olarak kullanmıştır. Benzine saf etanol katılmasının oktan sayısını arttırdığını ifade etmiştir. Benzine %25'e kadar katılan etanolün motor ısısı veriminde önemli bir değişiklik göstermediğini, saf etanolle yapılan çalışmada ise motor veriminde benzine göre %3-4 civarında artış gösterdiğini tespit etmiştir. Etanol-su karışımlarının ise motor verimini düşürdüğü görülmüştür. Fakat etanol içindeki suyun oktan sayısını arttırdığı gözlenmiştir. Etanol-su karışımlarının bu özelliğinden yararlanarak motor sıkıştırma oranını 9.2' den 13,25' e çıkartmış ve motor veriminde önemli artışlar elde edilmiştir (Gülder, 1981).

Bayındır ve Yücesu yapmış oldukları çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda etanol-benzin karışımlarının ve sıkıştırma oranının motor performansı ve egzoz

emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Standart sıkıştırma oranı 6 olan bir motorda, sıkıştırma oranı 7 ve 8 e yükseltilmiştir. Her sıkıştırma oranında motor, benzin ve benzin içerisine %10, %20 ve %30 etanol karıştırılarak 1/1 gaz kelebeği açıklığında test edilmiş ve test sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları; benzin ile yapılan çalışmada, motor performansının daha iyi olduğunu fakat egzoz emisyonları bakımından ise; yakıt içerisinde etanol miktarı arttıkça HC ve CO emisyonlarında önemli azalma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Test sonuçları normal bir benzin motorunda sıkıştırma oranının artırılmasıyla, etanol-benzin karışımının motor performansında bir miktar artış sağlayabileceği ve buji ile ateşlemeli motorda başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir (Bayındır ve Yücesu, 1999).

Popuri ve Bata tarafından yapılan bir çalışmada, tek silindirli bir motor, *%5,* %10,%15, %20 ve %25 alkol-benzin karışımları ile denenmiştir. Sıkıştırma oranı motor vuruntusu dikkate alınarak 7,5-15 aralığında değiştirilmiştir. Ayrıca avans 5°-25° arasında 5° aralıklarla değiştirilerek motor performansına etkileri incelenmiştir. Termik verim %5 civarında önemsenmeyecek bir artış göstermesine rağmen yakıt tüketiminin hızlı bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Popuri ve Bata, 1993).

Wicker vd. tarafından yapılan çalışmada, bir taşıtın E85 yakıtıyla çalışabilecek hale dönüştürme işlemi için pratik düşünceler ileri sürmüşlerdir. Yakıt enjeksiyon sistemine sahip motorda mevcut elektronik kontrol ünitesi kullanıldığında E85 için benzine göre yaklaşık %40'dan daha fazla yakıt sağlayacak yüksek akışlı enjektörlere ihtiyaç duyulmuştur. Motor devrine bağlı olarak motor torku ve motor gücünün değişimi 2000 ile 5500 d/d arasında 250 d/d aralıklarla incelenmiştir. Motor torku ve gücünde her iki yakıtta da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Wicker vd., 1999).

Uşaklı tarafından %96,4 saflıktaki etanolle yapılan çalışmada; fren özgül yakıt sarfiyatının önemli bir şekilde artarak pahalı bir işletmeye neden olduğunu, fren özgül enerji tüketiminin ise benzinli çalışmayla karşılaştırıldığında önemli bir değişme göstermediğini tespit etmiştir. Etanollü çalışmada volümetrik verimin benzine göre arttığını bunun da motor gücünü arttırdığını, termik verimin her iki yakıtta da belirgin bir değişim göstermediğini tespit etmiştir. Etanole belirli oranlarda su katılarak yaptığı denemeler sonucunda, su miktarı arttıkça yakıt tüketiminin

arttığını, termik verimin azaldığını ve gücün düştüğünü belirtmiştir. Bu nedenle; taşıtlarda %96,4 saflık yerine, %99.5'lik saf etanol kullanımının performansı olumlu etkileyeceğini ifade etmiştir (Uşaklı, 1980).

Guerrieri et al. yapmış oldukları çalışmada, etanol-benzin karışımlarının taşıt ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi,1990 ve 1992 yıllarında üretilen altı araçta benzin ve hacimsel olarak %10-40 oranlarında etanol bulunan dokuz farklı etanol-benzin karışımları kullanılarak test edilmiştir. Emisyonlar, karışımdaki etanol miktarına bağlı olarak lineer bir değişim göstermiştir. En yüksek etanol karışımında, toplam HC emisyonu %30, CO emisyonu %50, yakıt ekonomisi %15 azalmıştır (Guerrieri et al., 1995).

Bayındır ve Yücesu' nun yaptığı çalışmada, hava soğutmalı, toplam süpürme hacmi 392 cm3 ve sıkıştırma oranı 6 olan buji ateşlemeli bir motorda, etanol hacimsel olarak %10, %20, %30 oranlarında normal benzinle karıştırılmış ve test edilmiştir. İlk test de karışım motora çevre sıcaklığında (To) alınmış, sonraki testlerde dolgu sıcaklığı kademeli olarak To+6 ºC ve To+12 ºC alınmıştır. Her üç dolgu sıcaklığında ve dört farklı yakıt çeşidiyle motora tam gaz-değişik devir testi uygulanmıştır. Testlerden elde edilen performans ve egzoz emisyonları karakteristikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, karışımdaki etanol miktarı artısına bağlı olarak, özellikle yüksek motor hızlarında motor momentinde bir azalma görüldüğünü, fakat dolgu sıcaklığının artması ile moment de bir miktar artış olduğunu göstermiştir. Karışımdaki etanol miktarı ve emme manifoldu dolgu sıcaklığı artısına bağlı olarak HC ve CO emisyonlarında azalma görülmüştür. Test sonuçları etanolün çeşitli oranlarda benzin ile karıştırılarak ve motorda bir takım değişiklikler yapılarak buji ateşlemeli motorlarda kullanılabileceğini göstermiştir (Bayındır ve Yücesu, 1999).

Sümer tarafından yapılan bir çalışmada, dört zamanlı tek silindirli bir benzin motorunda alternatif yakıtlardan etanol ve değişik etanol-benzin karışımlarının kullanılabilirliği, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Etanol ile benzinin karıştırılması esnasında faz ayrışması problemi ortaya çıkmıştır. Ayrıca saf etanol ile çalışmada, karbüratörde bir çevrimde sevk edilen yakıtın yetersiz olduğu ve motorun çalıştırılamadığı tespit edilmiştir. Faz ayrışmasını önlemek için çift karbüratör bağlanan bir manifold imal edilmiş ve ayrı ayrı hazırlanan yakıtlar manifold da karıştırılarak silindire sevk edilmiştir. Deneylerde saf etanollü çalışma ile elde edilen motor gücü, benzin ile elde edilen

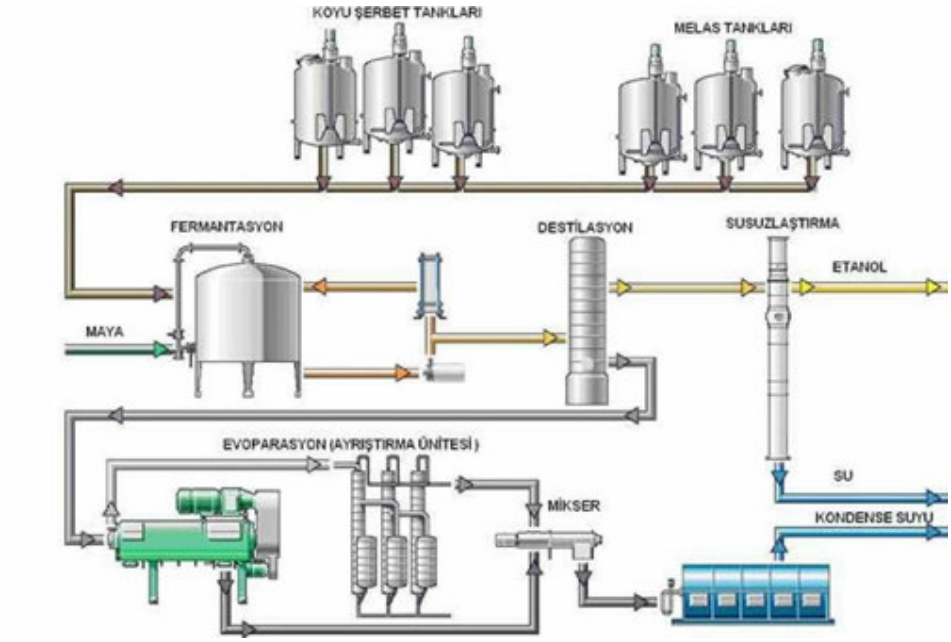
motor gücünden düşük çıkarken, etanol-benzin karışımlarında benzin miktarı arttıkça performans değerlerinin arttığı görülmüştür. Karışımdaki etanol yüzdesi arttıkça CO emisyonları azalmış, saf etanollü çalışmada en düşük değerler elde edilmiştir. HC emisyonları ise saf etanollü çalışmada maksimum çıkmış, karışımdaki etanol yüzdesi azaldıkça azalmıştır. Deney sonuçları, karbüratör yapısında yapılacak basit düzenlemelerle bu ikili yakıt sisteminin kullanılabileceğini göstermiştir (Sümer, 1999).

Wu et al. yaptıkları çalışmada E0, E5, E10, E20 ve E30 yakıtlarının performans ve emisyonlara etkisini değişik hava fazlalık katsayısı değerlerinde incelemişlerdir. E30 yakıtlı çalışmada motor torkunun yaklaşık %4 oranında artığı belirlenmiştir. Karışımdaki alkol miktarı arttıkça CO, HC ve CO_2 emisyonların azaldığı belirlenmiştir (Wu vd., 2003).

3.1. ETANOL

3.1. Etanolün Üretilmesi

Etanol, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan sıvı alkoldür. Etanol, nişasta gibi şekere dönüştürülebilen (karbonhidratlar) veya şeker ihtiva eden (tahıl tohumu gibi) her biyolojik kaynaktan üretilebilmektedir. Dünyada etanol öncelikle mısır tanesi ve tahıl gibi tohumlardan damıtma yöntemiyle (distilasyonla) üretilmektedir. Her ne kadar selülozik etanol teknolojisi hala gelişmekte ve klasik üretim işlemleriyle fiyat karşılaştırılması yapılmamış olmasına rağmen etanol, tarımsal ve odun artıkları ve hızlı büyüyen ağaçlar ve otlar gibi selüloz malzemelerden de üretilebilmektedir. Yaygın olarak mısır, patates, tahıllar, şeker pancarı, şeker kamışı gibi tarım ürünlerinden üretilmektedir (Acaroğlu vd. 2005). Etanol üretim tesisinin genel şeması şekil 3.1 de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Etanol Üretim Tesisinin Genel Şeması

Etanol üretiminde hammadde olarak kullanılan koyu şerbet ve melas aşağıdaki ünitelerde bazı işlemlerden geçirilerek biyoetanol elde edilmektedir (Konyaşeker, 2006).

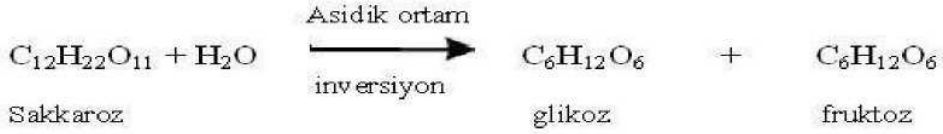
3.1.1. Fermantasyon Ünitesi

Alkol üretimi yapan bir tesiste fermantasyon ünitesi şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Fermantasyon Ünitesi

Bu ünitede, fermantasyon metoduyla, kullanılan mayalar ile asit ilavesi yapılarak sakarozun, glikoz ve fruktoza parçalanması sağlanır. pH 4,5 - 5 arasında tutulursa; sakaroz, glikoz ve fruktoza parçalanır. Bu olaya inversiyon denir (Konyaşeker, 2006).



Glikoz ve fruktoz, maya tarafından parçalanarak, etanol ve CO_2 dönüştürülür. Reaksiyon ekzotermik olduğundan her 1 kg alkol için, 1200 kjoule enerji açığa çıkar.

Fermantör sıcaklığını yükselten bu olay, maya aktivitesini düşürdüğü hatta mayanın ölümüne neden olduğu için, mayşe bir eşanjörden geçirilerek, sıcaklığı 32 °C - 34 °C derece arasında tutulur (Konyaşeker, 2006).

Fermantasyon esnasında meydana gelen CO_2 çok az miktarda alkol taşıyacağı için, atmosfere atılmadan önce, bir CO_2 yıkayıcısından geçirilir, yıkantı şartlara bağlı olarak, ya fermantöre verilir veya besi suyu tankına verilir.

Fermantörde, alkol oluştuktan sonra destilasyona çekilmeden önce, seperatörden geçirilerek mayası ayrılır ve fermantöre geri gönderilir. Ara kapta toplanan, mayasız alkollü mayşe bir pompa yardımıyla destilasyon kolonuna gönderilir

3.1.2 Destilasyon Ünitesi

Bu ünitede, destilasyon kolonları bulunur. Mayşe kolonuna % hacmen değeri düşük olan alkolle beslenen sıvının % hacmen oranı yükseltilerek, fraksiyonlu destilasyonla, ham ve saf alkol dereceleri yükseltilerek soğutulduktan sonra günlük depolarda stoklanır. Daha sonra rektifikasyon kolonuna gönderilir(Konyaşeker, 2006).



Şekil 3.3 : Destilasyon Ünitesi

3.1.3 Rektifikasyon (Susuzlaştırma) ve Ayrıştırma Ünitesi

Rektifikasyon kolonuna gelen, % hacmen 96-96,3'lük alkol besleme platosu sıcaklığı olan, 76-78 ºC soğutulmak için otomatik bir soğutucudan geçirilerek kolona verilir. Kolonun taban sıcaklığı, endirekt buharla sağlanır ve 80-82 ºC' de tutulur. Saatte yaklaşık 700-800 kg buhar sarf eder. 96 derecede olan alkol biraz kaynatılarak, uçucu ve kötü kokulu maddeleri biraz daha uzaklaştırılma işlemi yapılır.

Üste geçen alkol buharları su ile soğutulan yoğunlaştırıcıdan geçirilerek, oluşan kondensat bir ara depoya alınır ve sürekli retür edilir. Atmosfere açık olan yoğunlaştırıcıdan, kaliteyi bozan, aldehit, keton gibi gazları atmosfere atılır(Konyaşeker, 2006).

3.1.4 Etanol Ürün Depolama



Şekil 3.4: Etanol Ürün Deposu

Saf alkol, seviye kontrollü olarak ve beslemeye bağlı olarak tabandan çekilir, bir soğutucudan geçirildikten sonra, günlük tanklara alınır. Ham alkolde olduğu gibi gereken tüm analizleri yapılarak stok tankına basılır (şekil 3.4).

3.1.5 Dünyada Etanol Üretimi

Petrolün tahmini olarak 42 yıl sonra biteceği varsayılırsa düşecek petrol arza bağlı olarak etanol fiyatlarında artışlar olacağı muhakkaktır ve bu nedenden dolayı da dünyada etanol üretimi gelecekte daha önemli hale gelecektir.

Dünya etanol üretimi son 4 yıl içerisinde yaklaşık olarak 31 milyar litreden % 50 artarak 46 milyar litreye ulaşmıştır. Petrol satın alıcı ülkelerin gelecek yıllarda etanol üretimini artırmak için yeni yatırımlar planladıkları gözlenmektedir. Örneğin; Çin Halk Cumhuriyeti 2005 yılındaki 720.000 ton olan etanol üretimini 2006 yılında 1.000.000 tona çıkarmayı planlamaktadır. Brezilya 2013 yılı etanol üretimini 2005 yılı üretimine göre %100 de % 16 artırmayı planlamaktadır. Ayrıca 2005 yılında 46 milyar litre olan dünya etanol üretimi her yıl artarak 2020 yılında 125 milyara ulaşacağı öngörülmektedir.

AB'de üretilen etanolun %30 u akaryakıtta kullanılmakta ve E85 etanol (%85 etanol, %15 benzin) geniş bir pazara sahip olabilecek durumdadır. İspanya'nın lider olduğu AB'de Polonya, Fransa, İsveç ve Almanya ağırlıklı olarak buğdaydan üretilen biyoetanol uygulamalarında aktif durumdadır. AB'de biyodizel üretimi ise 2003 yılı itibariyle yaklaşık 2,3 milyon tondur. Bu üretimin büyük kısmı Almanya tarafından gerçekleştirilmektedir (Acaroğlu vd, 2005).

Tablo 3.1: Dünyada Etanol Üretimi(Acaroğlu vd, 2005).

DÜNYADA ETANOL (galon = 3,785 litre)			
YIL	2003	2005	2010
Üretilen Etanol (Milyar galon)			
Brezilya	3,8	4,2	5,6
USA	2,8	3,5	5,0
AB	0,5	1,0	1,9
Diğerleri	0,2	0,9	3,4
Toplam	7,3	9,6	15,9
Etanol ihtiyacı (Milyar galon)			
Brezilya	3,4	3,7	4,6
USA	2,8	3,5	5,0
AB	0,1	0,2	0,4
Kanada	0,4	1,3	3,4
Japonya	0,2	0,5	1,9
Diğerleri	0,4	0,4	0,6
Toplam	7,3	9,6	15,9

AB taşıtlarda kullanılan biyoyakıtlar konusundaki mevzuatında 31 Aralık 2010 yılından itibaren en az yüzde 5,75 oranında biyoyakıtın pazarda bulunmasını istiyor. Enerji konusunda yol haritası niteliğindeki AB Yeşil Kitap'ta da 2020 yılında kara taşımacılığında yüzde 20 oranında alternatif motor yakıtlarının kullanımı hedefleniyor (Konyaşeker, 2006).

Günümüzde biyoetanolun dünyadaki toplam üretimi 21 milyar m³/yıl civarındadır. Brezilya, yaklaşık 13 milyar litre/yıl seker kamışından biyoetanolun yıllık üretimi ve 12,4 milyar litre/yıl ile lider ülkedir (Acaroğlu vd., 2005).

Biyoetanol yüksek enerji molekülündedir ve iyi rafine edilmesi dikkate alınmalıdır. Benzin ile mukayese edildiğinde enerji içeriği benzinin %70' dir. Amerika mısırdan biyoetanol üreten (5,5 milyar litre/yıl) geniş kapasiteli üretim tesisleri ile dünyada 2. ülkedir.

3.1.6 Türkiye'de Etanol Üretimi

Türkiye'nin yıllık benzin tüketimi yaklaşık olarak 4 milyon tondur. Bu miktarın %2 si 80.000 ton, %5,75 i (Avrupa'nın 2010 yılı itibarı ile kullanmayı taahhüt ettiği biyoetanol oranı) 345.000 ton dur. ± bu rakam 350.000 ton olarak kabul edilebilir (Pankobirlik, 2006).

Ülkemizde yakıt alkolü üretimini yapan bir tesis bulunmakta, ancak kapasitesi ihtiyaca cevap vermemektedir. Bu tesis dışında, Türkiye Şeker Fabrikaları A.S. bünyesinde Turhal, Malatya, Erzurum ve Eskişehir Seker Fabrikaları'nda alkol tesisleri bulunmakta ancak teknolojik olarak ilave yatırımlar ile geliştirilerek çalıştırılmaları gerekmektedir. Pankobirlik bünyesinde ise; Amasya Seker Fabrikası'nda, alkol tesisleri (içecek Alkolü) mevcuttur. Konya Seker Fabrikası ise Türkiye'nin en büyük kapasiteli biyoetanol Fabrikasının kuruluş çalışmalarına başlamıştır. Planlanan tesisin, %2 karışım oranında ülkemizin tüm ihtiyacına cevap verebileceği öngörülmüştür (Pankobirlik, 2006). Yurdumuzda akaryakıtlara uygulanan Özel Tüketim Vergisi oranının, etanol üzerinden kaldırılması halinde, ülkemiz hazinesinin uğrayacağı kayıp, yurt dışından aynı miktar yakıtı üretmek için yapılacak ham petrol ithalatı ve biyoyakıt üretiminin yurt içi piyasasına sağlayacağı katma değerden çok daha az olacaktır.

Bu bedelin yurt içinde kalmasının yanı sıra pancar tarımının özellikleri gereğince kullanılan; kimyevi gübre, tarımsal alet ve makineler, zirai mücadele ilaçları, taşımacılık sektörü, yan ürünleri ile hayvancılık sektörüne sağlanan katkılar ve istihdam ilave ekonomik katma değerler olarak dikkate alındığında tüm bu katma değerlerin getirisi çok daha fazla olacaktır.

Böylece, yerli tarım ürünlerinden elde edilecek etanol ile yurdumuz, yatırım ve istihdam avantajlarının yanı sıra, ilave katma değer sağlayacak ve dışa bağımlı enerji kullanımı da azalmış olacaktır.

3.1.7. Etanolün Maliyeti

Alkolün motor yakıtı olarak kullanıldığı ülkelerden Brezilya'da alkolün maliyeti benzine yaklaşmıştır. Dünya bankasının raporuna göre; Brezilya hükümetinin sübvanse ettiği etanol yıllık $2.7 milyar dolarlık bütçe açığı oluşturdu. Fakat bu bütçe açığına rağmen etanolün yaygınlaştırılması çalışmalarına devam edilmektedir (Çolak, 2006).

Ülkemizde de şeker şirketi bünyesinde bulunan 4 fabrikada etanol üretimine geçilmekte ve bazılarında üretilmektedir. Söz konusu 4 fabrikanın tam olarak üretime geçebilmesi için 26 milyon dolar tutarında ek yatırama ihtiyaç vardır. Etanol üretmek için kullanılacak pancarın kilogramı 40-50 yeni kuruştan alındığı takdirde, 1 litre etanolün maliyetinin 1 YTL olacağı tahmin edilmektedir. Aşağıdaki denklem alkolün maliyetini vermektedir.

M(a)= M(m) + M(mü) + M(y) + M(e) + M(di) – G(yü) (3.1)

Burada;

M(a)=Alkol maliyeti(YTL/litre)

M(m)=Hammadde maliyeti(kg/litre alkol)

M(mü)=Mülkiyet (sabit masraflar) maliyeti(litre bazında)

M(y)=Yakıt maliyeti(litre bazında)

M(e)=Elektrik maliyeti(litre bazında)

M(di)=Diğer işletme giderleri(isçilik,bakım,idare vb.)(litre bazında)

G(yü)=Yan ürün geliri(litre bazında) ifade etmektedir

Alkol maliyeti daha çok hammadde fiyatına bağlıdır. Alkol üretiminde ortaya çıkan yan ürün, alkol üretim maliyetini etkileyen ikinci önemli faktörü teşkil eder. Pazar değeri az olan tarımsal ürünlerin hammadde olarak kullanılması ve yan ürünlerinde uygun Pazar bulunarak en uygun şekilde değerlendirilmesi alkol üretim maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Çolak, 2006).

4. ETANOL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Fosil yakıtlara belirli oranlarda etanol karıştırılmasıyla yakıtın bazı fiziksel-kimyasal özellikleri değişim göstermektedir. Etanol termodinamik karakteristikleri bakımından dizel motorları için kısmen uygun yakıt özelliği göstermesine karşılık egzoz emisyonlarından özellikle sülfür bileşikleri, is ve partikül miktarını azalttığı için tercih edilebilir durumdadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynağı olmasının da etkisi büyüktür. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımı için ne kadar uyumlu olabileceğini iyi bir şekilde görebilmek için dizel yakıtı temel olarak göz önünde bulundurularak etanol-dizel yakıtı karışımlarının özeliklerinin karşılaştırılması faydalı olacaktır.

4.1. Etanolün Dizel Yakıtı İçerisindeki Çözünürlüğü ve Karışımın Kararlılığı

Alkollerin dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarda gerçekleşmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışımlarının stabilizesi genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, içerdiği mum miktarına, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlı olmaktadır.(Robert, 2001)

Alkol-dizel yakıtı karışımları, dizel yakıtı hidrokarbon yapısı göz önünde bulundurulduğunda alkol-benzin karışımları kadar kolay bir şekilde hazırlanamamaktadır. Çünkü etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir. Temel kimyasal tanımlamalarda kullanılan benzeri çözer kuralına göre; dizel yakıtı apolar, etanol polar yapıda olduğu için ancak karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (C9-C11, propanol, bütanol v.b.) eklenerek karışıma termodinamik olarak daha stabil bir karışım olması sağlanabilmektedir. Metanoller ise etanole göre daha fazla polar yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile karışımları etanole göre daha zor gerçekleşmektedir .

İki temel faktör olarak etanol-dizel yakıtı karışımının sıcaklığı ve karışım içerisindeki su miktarı etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü etkilemektedir. Ortam sıcaklığı biraz yüksek olduğunda 200 derece (proof) etanol dizel yakıtı içerisinde kolayca

çözünebilmektedir fakat 10°C'nin altında iken faz farkı oluşturmaktadır. Karışımdaki etanol miktarı artırıldıkça çözünme sıcaklığında bir artış meydana gelmektedir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının sıcaklık değişimlerinden görüldüğü üzere, etanolün dizel yakıtı içerisinde çözünme yeteneği ortam sıcaklığı en uygun iken ortalama olarak ~ % 18-20 etanol miktarlarında faz farkı olmadan gerçekleşebilecek durumdadır. (Weidmann, 1984 – Hansen, vd, 2001)

Etanolün doğal higroskopik yapısı nedeniyle, etanol-dizel yakıtı karışımlarının bir süre bekletilmesi (depolanma) ile karışım içerisinde su konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Fakat bu su oluşumu önemsiz derecelerde olduğundan kabul edilebilir miktarlardadır. Temel olarak suyun yarattığı problemlerin başında düşük dereceli (proof) etanoller ile hazırlanan karışımlarda suyun etkisi ile faz farkının oluşması gelmektedir. Karışımların stabilizesinin sağlanabilmesi için yüksek derecelerde (proof) yani susuz etanollerin kullanılması gerekli olmaktadır. Aksi taktirde çözünme için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olabilecektir. Yakıt karışımı içerisinde su miktarı %1'i geçtiğinde karışımda faz farkı oluşmaya başlamakta ve bulanık bir görüntü halini alarak kendini belli etmektedir. Düşük dereceli (proof) etanoller ile oluşturulan karışımlarda genellikle i1k olarak su-alkol ayrışması ile birlikte ortaya çıkan suyun konsantrasyonundaki artış fazlalaştığı durumlarda yoğunluk farkı nedeniyle su karışımın dibine çökmektedir (Eugene vd, 1984).

Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü, dizel yakıtının aromatik içeriğine de bağlı olmaktadır(1,10,30).Dizel yakıtı içerisindeki aromatik konsantrasyonun diğer hidrokarbonlarla uyumlu bir şekilde kaldığı zaman etanolun doğal polarizesi nedeniyle dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapı ile dipol etkileşimi meydana getirerek etanolun dizel yakıtına bulaşmasını sağlayabilmektedir. Bu özelliği ile dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapının etanol-dizel yakıtı karışımlarında çözünürlüğü artıran köprü molekül veya yardımcı solvent ile aynı etkiyi gösterdiği söylenebilir (30). Dizel yakıtı içeriğindeki aromatik bileşikler etanol-dizel yakıtı karışımlarının stabilizesini olumlu yönde etkilemesine karşılık genelde aromatik bileşiklerin dizel yakıtı içerisinde az oluşu nedeniyle yeterli olamamaktadır (Weidmann, 1984 – Hansen, vd, 2001).

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının faz farkı oluşturmasına engel olmak için genellikle karışıma emülsiyon veya yardımcı solvent katkı maddesi eklenmektedir. Karışıma emülsiyon katkı maddesi eklenildiğinde; etanolun çok küçük damlalar halinde (mikro düzeyinde) dizel yakıtı içerisinde dağılması sağlanmaktadır. Yardımcı solvent katkı

maddesi eklenerek; etanol-dizel yakıtı moleküllerinin yüzey ara madde ile uyumlu bir şekilde birbirlerine yapışması sağlanarak homojen bir karışım oluşturulabilmektedir (Likos, vd, 1982).

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının emülsiyon olarak hazırlanmasında, genellikle karışımın ısıtılması ve karıştırılması aşamalarını gerektirmesine karşılık yardımcı solvent ile doğrudan karıştırılarak (splash-blending) daha kolay hazırlanabilmektedir. Doğrudan karışımda C9-C11 grubu ağır alkoller ve propanol, bütanol v.b maddeler yardımcı çözücü madde olarak kolayca kullanılabilmektedir ve -20°C' ye kadar sıcaklıklarda karışımın stabilizesi sağlanabilmektedir. Bunların dışında yardımcı solvent olarak ½ oranında etil asetat kullanılarak da 0° C`de karışımın çözünürlüğü sağlanabilmektedir. Metanol-dizel yakıtı karışımlarında metanollerin polarizesi daha fazla olduğundan karışımın stabilizesi sağlayabilmek için etanole göre daha fazla miktarlarda katkı maddesi gerekli olmaktadır. Coğrafik koşulların değişimine göre ise havanın sıcaklığı ve nemindeki farklılık nedeniyle karışımın stabilizesi için değişik oranlarda katkı maddesi gerekli olacaktır (Can, 2003).

Yurt dışında bulunan Pure Energy, Betz Dearborn, AAE Technologies, Biodiesels adlı özel firmalar etanol-dizel yakıtı karışımları için hazır katkı maddesi paketleri hazırlamaktadırlar. Bu firmaların hazırladıkları katkı paketleri içerisinde karışımın stabilizesini sağlayıcı maddelerin dışında setan sayısını, yağlayıcı özelliği ve soğuktaki filtre tıkanma problemlerini (CFPP-Cold Filter Plugging Point) geliştirici katkı maddelerini de eklemektedirler. Tablo 4.1'de bu firmaların hazırladıkları katkı madde paketlerinin karışım için oranları görülmektedir.

Tablo 4.1. Etanol-dizel yakıtı karışımları için katkı maddesi üreten özel firmalar ve katkı maddesi oranları (Robert ,vd, 2001)

Üretici Firma	Karışımdaki % Etanol Miktarı	% Emülsiyon Katkı Maddesi Miktarı
AAE Technologies	7,7-10	0,5
Akzo Nobel	10-15	1-4
Betz-Dearborn	5-10-15	0,25-0,35-0,75-1
Pure Energy Corp.	5-15	1-5
Biodiesel	10	10

4.1.1. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisine püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan Sayısı yüksek olduğundan tutuşma gecikmesini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır.

ASTM D975`e göre dizel yakıtı setan sayısının minimum 40 olması istenmektedir. Etanolün setan sayısı 5-15, standart dizel yakıtın ise 45-50 arasında olduğundan dizel yakıtına karıştırılan etanolun miktarı artıkça karışımın setan sayısı istenilen değerin (No 2 D) altına düşmektedir. Yaklaşık % 12-12,5 olan etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı 40 olmaktadır ve %10 etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı üzerinde az bir etkiye sahip olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımında setan sayısının sınırlamaları sebebiyle yakıt karışımında veya kullanılacak motorda değişikliğe gidilmediği sürece en uygun etanol karışım oranları %10-15 dir (Can, 2003).

Bu belirtilenlerin yanında setan sayısı yüksek veya istenilen sınırlar içinde olduğunda; motorun soğukta ilk hareketi kolaylaşmakta, motor sesi azalmakta, motor ömrü artmakta performansı iyileşmekte ve NOx emisyonları azalmaktadır. Setan sayısı düşük olduğunda motorda düzensiz çalışması, vuruntu, güç düşüklüğü ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkiler gözlenmektedir.

Setan geliştirici katkı maddeleri etanol-dizel yakıtı karışımında kullanılarak motorun performansında iyileşme sağlanabilmektedir. Genellikle tutuşmayı geliştirici katkı maddeleri olarak biyokütle temelli nitrat bazlı bileşikler yaygın olarak tercih edilmektedir fakat bu nitrat bazlı bileşikler genellikle NO_X emisyonların arttırmaktadır. Bu nitrat bazlı bileşiklerden en çok kullanılanı trietilen, glikol, dinitrat (TEGDN)'dir (Can, 2003).

4.1.2. Yoğunluk ve Isıl Değer

Yoğunluk, belirtilen sıcaklıkta kütle ile hacim arasındaki mutlak ilişki olup, Uluslararası Sistem`de (SI) kg/L birimi ile ifade edilmektedir. Yakıtların yoğunlukları farklı sıcaklıklarda ölçülmekteyse de daha çok karşılaştırmalarda 40°C sıcaklıktaki yoğunluk değişimi kullanılmaktadır. ölçümlerden sonra standart sıcaklık olan 15 °C deki yoğunluk üzerinde değişiklikler yapılmaktadır. No2D yakıtının 15 °C de yoğunluğu 0,820-0,860 kg/L arasındadır (Weidmann, 1984).

Dizel yakıtına göre etanolün yoğunluğu daha az oluğundan karışım içerisindeki etanol miktarı arttırıldıkça karışımın yoğunluğu da azalmaktadır. Çizelge 4.2 de dizel yakıtı karışımlarının farklı sıcaklıklarda rölatif yoğunluklarının değişimlerinden görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça karışımın rölatif yoğunluğunda azalma görülmektedir. (Can, 2003).

Tablo 4.2: Dizel Yakıtı Karışımlarının Farklı Sıcaklıklarda Rölatif Yoğunluklarının Değişimleri(Can, 2003)

Etanol	Dizel	15 °C	20°C	26°C	32°C	38°C	44°C	50°C
0	100	0,8583	0,8485	0,8458	0,8442	0,8409	0,8390	0,8370
5	95	0,8414	0,8385	0,8365	0,8350	0,8308	0,8288	0,8258
10	90	0,8394	0,8351	0,8340	0,8330	0,8288	0,8268	0,8236
15	85	0,8382	0,8345	0,8318	0,8296	0,8268	0,8266	0,8228
20	80	0,8365	0,8342	0,8314	0,8289	0,8258	0,8241	0,8218
25	75	0,8357	0,8325	0,8266	0,8271	0,8238	0,8227	0,8198
30	70	0,8338	0,8320	0,8286	0,8269	0,8228	0,8217	0,8187

Dizel motorları üzerinde bulunan enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak yakıt enjeksiyonu yaptıklarından dolayı kullanılan yakıtların yoğunlukları ve viskozitelerindeki değişimler motor için gerekli olacak yakıtın kütle transferi ve ölçme işlemlerini etkilemektedir. Motorda farklı yakıtlar yada yakıt karışımları kullanıldığında, optimum durumu yakalamak için hacimsel olarak daha fazla yakıt enjeksiyonu gerekli olmaktadır. Böylece yoğunluk, yakıtın özgül enerjisini de belirlediği için motor performansıyla doğrudan ilişkilidir.

Etanolün ısıl değeri (hacimsel) dizel yakıtına göre ortalama %35-45 kadar daha düşüktür ve etanol-dizel yakıtı karışımının ısıl değeri her %5 etanol eklendiğinde ortalama olarak %2-4 azalmaktadır. Dizel yakıtı ve etanol-dizel yakıtı karışımlarının içerdiği etanol miktarına göre ısıl değerlerindeki değişim çizelge 3.3'de gösterilmiştir. çizelgede de görüldüğü gibi genellikle etanol-dizel yakıtı karışımlarının %5-l0-15-20 etanol miktarlarına göre ısıl değerleri dizel yakıtından sırasıyla %2-3-4 ve 6 daha düşüktür (Robert, vd, 2001).

Kullanılan motorun tasarımına göre çeşitli çalışma koşullarında yeterli gücü verebilecek durumu yakalayabilmek için etanol-dizel yakıtı karışımlarının brüt enerji miktarı No2D yakıtı enerji miktarının en az %90-95'ine sahip olması arzu edilmektedir. Etanol dizel yakıtı karışımları motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan

kullanıldığında, etanolün düşük enerji miktarına göre aracın km başına yakıt tüketiminde bir miktar artma ve motorun maksimum gücünde azalma yaşanacaktır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının düşük yoğunluk ve ısıl değerinden kaynaklanan bu dezavantajını telafi edebilmek için yakıt enjeksiyon sisteminden daha fazla yakıt enjeksiyonu sağlayabilmek üzere yakıt pompası maksimum yakıt ayarında değişiklik gerekli olmaktadır (Bilgin ,vd, 2002).

4.1.3. Viskozite ve Yağlama Özelliği

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olup en önemli özelliklerinden birisidir. Viskozite birimi için yaygın olarak centipoise (cP) kullanılmaktadır ve aynı zamanda mPa. s birimine eşittir.

Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile doğrudan ilişkilidir. Yakıtın viskozitesi ve yağlayıcı özelliği yakıt enjeksiyon sistemi çok önemli bir rol oynamaktadır. Dizel enjeksiyon sistemlerinin temel elemanlarının yağlanması yakıt tarafından gerçekleştirildiğinden dolayı viskozitenin belirli bir değerden düşük olması istenmemektedir. Özellikle distribütör tipi yakıt enjeksiyon pompalarının hidrolik başlık ve rotorunda, common rail akümülatör tipi yakıt enjeksiyon sistemlerinde ise yakıtın yüksek basınç transfer pompasından yakıt hattına dağıtılırken yakıtın yağlama özelliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıra tipi yakıt enjeksiyon pompalan ise kullanılan yakıtın yağlama özelliğine daha az duyarlı olmaktadır fakat yine de az miktarda pompanın elemanı ve eleman gömleği arasında yağlamaya gerek duyulmaktadır. Enjektörlerde ise yakıtın yağlayıcılığı özellikle enjektör iğnesi ve gövdesi arasında gerekli olmaktadır (Hansen, vd 2001).

Yakıt enjeksiyon pompası elemanı arasına giren yakıtın viskozitesinin çok düşük olması durumunda, yakıt pompası ve enjektör kaçaklarına sebep olmaktadır. Dolayısı ile viskozitesi çok düşük yakıtların pompalama kayıplarında da artış görülmektedir. Motor gücünün azalmasında etanolün düşük ısıl değerinden başka, viskoziteden doğan pompalama kayıpları ile bir azalma meydana gelmekte ve düşük viskozite nedeniyle yakıt pompasının elemanlarının aşınması da hızlanmaktadır (Bang-Quan, vd, 2003).

İçten yanmalı motorların emisyonları yalnızca yakıtın kimyasal yapısı ile ilgili olmayıp yakıtın fiziksel özelliklerine de bağlıdır. Yakıtın fiziksel özelliklerden viskozitenin değişimi ile birlikte; püskürtülen yakıt zerrelerinin büyüklükleri yakıtın silindir içerisindeki atomizasyonu, silindir içerisindeki nüfuz edişi (penatration dept) gibi yakıt

enjeksiyonu püskürme karakteristikleri değişmektedir. Dolayısı ile silindir içerisinde ilk yakıt enjeksiyonundan ilk alev cephesinin görülmesine kadar geçen süre içerisinde tutuşma gecikmesinin fiziksel süreci viskozite ile de etkilenmektedir. Yakıtın viskozitesinin istenilen değerden daha büyük olması ise yakıt enjeksiyonu sırasında büyük bir direncin oluşmasına sebep olacaktır. Böylece artan yoğunlukla beraber yakıtın atomizasyonu kötüleşmekte ve iri yakıt tanecikleri soğuk silindir duvarlarına çarparak is emisyonlarının artmasına neden olmaktadır(Eugene vd., 1984).

Farklı sıcaklıklardaki dizel ve etanol-dizel yakıtı karışımlarının viskozite değişimleri ise Çizelgede görülmektedir.15° C deki %5-10-15-20 ve 25 etanol dizel yakıtı karışımlarının viskoziteleri dizel yakıtına göre %1.4-4.9-8-9.2 ve 12 daha düşük viskoziteye sahip olmaktadır. %5 ile %10'luk karışımların viskoziteleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.

Tablo 4.3: Farklı Sıcaklıklardaki Dizel ve Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Viskozite Değişimleri (Can, 2003).

% Hacimsel		Viskozite (mPa.S) yada (cP)						
Etanol	Dizel	15 °C	20°C	26°C	32°C	38°C	44°C	50°C
0	100	6,24515	5,6114	4,6874	3,8003	3,4237	2,9008	2,8145
5	95	6,1597	5,5343	4,4934	3,6520	3,2788	2,7990	2,6366
10	90	5,9410	5,4564	4,2460	3,5599	3,2956	2,7395	2,5615
15	85	5,7471	5,1631	4,0045	3,4510	3,1396	2,6021	2,4691
20	80	5,6677	5,0587	3,8673	3,3708	2,7397	2,3921	2,1766
25	75	5,4957	5,0340	3,4395	2,8904	2,6027	2,2568	2,9198
30	70	5,3725	4,9171	3,0651	2,8040	2,4563	2,0782	1,8290

Standart dizel yakıtı yağlama özelliği üzerine ASTM test metotlarında herhangi bir kriter bulunmamaktadır. Buna karşılık bazı motor üretici firmalar kullanılan dizel yakıtı yağlayıcı özelliği üzerine gerekli minimum kriterleri kendileri için belirlemişlerdir. Gelecekteki uygulamalarda 2006 yılında Amerika'da standart dizel yakıtı içerisindeki kükürt oranı 15 ppm mertebelerine düşürülmesi öngörülmekte ve yakıt içerisindeki kükürt miktarının azaltılması dizel yakıtı yağlama özelliği azalacaktır (Robert, vd, 2001). Bu yüzden ileride dizel enjeksiyon sistemleri üzerinde kullanılacak alternatif yakıtların yağlayıcı özellikleri üzerinde şimdiden standardizasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Tüm bu sonuçlara rağmen etanol-dizel yakıtı karışımlarının yenilenebilir alternatif olan bitkisel yağ ya da esterlerin dizel yakıtı ile hazırlanan karışımlara göre dizel yakıtı viskozitesine daha yakın fakat yağlayıcı özelliği daha az olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının etanolün düşük yağlama kalitesi sebebi ile yağlayıcı katkı maddesi ya da yüksek oranda yağlayıcı bileşikler katılarak yağlama özelliği geliştirilebilir yapıdadır. Genellikle biyolojik bazlı yağlardan özellikle Hint yağı karışıma katılarak yağlayıcı özelliği geliştirici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımları için özel emülsiyon katkı maddesi üreten firmalar, katkı maddesi paketi içerisinde yağlayıcı özelliği geliştirecek bazı bileşikleri de koymaktadır (Robert vd, 2001).

4.1.4. Soğuktaki Akış özellikleri (Akma ve Bulut Noktası)

Yakıtların düşük sıcaklıklardaki akış özellikleri, bulut noktasına (bulanma noktası) ve akma noktasına göre belirlenmektedir. Bulut noktası (bulanma noktası) yakıt karışımı içerisinde bulunan ağır bileşiklerin katılaşmaya başlamasıyla birlikte ilk bulanık görünümlü mum kristallerinin yakıt içerisinde görünmeye başladığı nokta olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın sıcaklığı daha da düşürülmeye devam edildiğinde mum kristallerinin boyutunda ve sayısındaki artış ile birlikte bu oluşum hızlanmakta ve yakıt katılaşarak (jelleşerek) akışı gerçekleştirememektedir. Akma noktası ise düşük sıcaklıklarda yakıt içerisinde mum kristalleri oluşmaksızın akabildiği en düşük sıcaklıktır. Dizel motorları için akma noktası soğukta motorun ilk hareketinin kolay olması için önem kazanmaktadır(Can, 2003) .

Etanol-dizel yakıtı karışımları için ise bulut noktası (bulanma noktası) karışımın kristalleşmeye başladığı veya düşük sıcaklık nedeniyle faz farkının oluşmaya başladığı sıcaklık olarak belirtilebilmektedir. Çünkü dizel yakıt içeriği birçok bileşimden oluştuğu için donma noktası tam olarak belirlenememektedir. Dizel yakıtına etanol katıldığında faz farkı olmadığı sürece etanol-dizel yakıtı karışımının bulanma noktası yaklaşık olarak dizel yakıtı bulanma noktasına eşit olmaktadır (Robert, vd, 2001).

Çok düşük sıcaklıklarda iken ASTM D97`ye göre belirlenen standart No 2 D yakıtı akmayı gerçekleştirememektedir. Genelde soğuk kış aylarında bazı ülkelerde No 2 D yakıtına No 1 D yakıtına (kerozen) karıştırılarak düşük sıcaklıklarda yakıtın faz farkını veya jelleşmesini engellemek üzere değişiklik yapılmaktadır. Etanolün donma noktası dizel yakıtına göre oldukça düşük olduğundan etanolün dizel yakıtı içerisinde faz farkı

yapmadığı sürece etanol-dizel yakıtı karışımın soğuk akış özelliklerini geliştirmesi beklenmektedir.

Standart dizel yakıtında, yakıtın ilk mum kristallerinin oluşarak jelleşmesi sebebiyle bulanma noktası ve soğukta yakıt filtresi tıkanması (CFPP-Cold Filter Plugging Point) gibi problemleri etanol-dizel yakıtı karışımları ile aşılabilir görünmektedir. Bununla birlikte etanol-dizel yakıtı karışımlarının düşük sıcaklık nedeniyle faz farkının görülmeye başlamasıyla bulanma noktasında bir artış yaratmaktadır. Bulanma noktasındaki bu artışın nedeni ise etanol-dizel yakıtı karışımlarında azalan sıcaklıkla birlikte karışım içerisindeki mikro-emülsiyon şeklinde dağılmış olan etanolün mikron boyutlarındaki büyümesi faz farkına neden olmasıdır (Robert, vd, 2001).

Dizel yakıtına etanol eklenilmesi ile etanol-dizel yakıtı karışımlarının akma noktası daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Çizelge 3.5'de görüldüğü gibi %5-%10 - %15-%20'lik etanol-dizel yakıtı karışımlarını akma noktası dizel yakıtına göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Karışıma etanol eklenmeye devam edildiğinde %25 ve %30'luk etanol olduğunda ise karışımda faz farkı oluşmaktadır.

4.1.5. Parlama Noktası, Buharlaşma Basıncı, Alevlenme noktası

Alternatif yakıtların standart olarak kullanımı ve depolanması düşünüldüğünde yanıcılığı-patlayıcılığı en önemli hususlardan birisidir. Yakıtların yanıcılık limitleri hava içerisinde oluşturduğu yanıcı yakıt buharının maksimum ve minimum konsantrasyonunu oluşturabilecek sıcaklar ile belirlenmektedir. Karışımın buhar basıncı, yakıt tankının içerisindeki yakıtın kritik sıcaklıkta iken oluşan buharla birlikte meydana gelen basınç şeklinde tanımlanabilir. Bu koşullarda yanıcı buharın kendiliğinden parlayabildikleri en düşük sıcaklığa da parlama noktası, parlama noktasındaki oluşan alevin sönmeden devam ettiği sıcaklığa ise alevlenme noktası denilmektedir (Hansen, vd 2001).

Parlama noktası ve alevlenme noktası motorun performansı ile doğrudan ilişkili değildir. Fakat yakıtın depolanması ve yangın tehlikesi bakımından oldukça önemlidir (Robert, vd, 2001).

Buhar basıncı parlama ve alevlenme noktalan kısmen dolu olan yakıt deposunun yakıtla doldurulması sırasında oluşmuş olan yanıcı yakıt buharının depodan dışarı çıkması sırasında, tankın veya yakıt sistemi elemanlarının hasar görerek kaçak oluşması

durumunda yangın tehlikesi nedeni ve bu tur güvenlik problemleri dışında da HC emisyonları açısından da önemi büyüktür (Robert, vd, 2001).

Dizel yakıtı parlama sıcaklığı 74°C civarlarında olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama noktası, etanolün düşük parlama noktası sebebiyle dizel yakıtına göre yaklaşık olarak %65 daha düşük sıcaklıkta olmakta ve etanolün parlama noktasına yakın olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama sıcaklıkları oda sıcaklığında (27,5 °C) çok yakındır. Etanol-dizel yakıtı karışımları, düşük parlama noktası sebebiyle kullanımında standart dizel yakıtına göre daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir(Can, 2003).

Yanıcı buhar konsantrasyonu etanol-dizel yakıtı karışımlarının 12°C ile 42°C'de iken No 2 D yakıtı ise 64°C ile 150°C arasında oluşmaktadır. Böylece yakıt tankında bulunan etanol-dizel yakıtı karışımları düşük sıcaklıklardaki buhar basıncında bile yakıt yüzeyinin hemen üzerinde bulunan hava içerisinde yanıcı bir karışımın oluşumunu sağlamaktadır.

Etanolün düşük parlama noktası nedeniyle, NFPA'in (National Fire Protection Acency) yaptığı sınıflandırmaya göre parlama noktası 37,8°C'nin altında olan benzininin bulunduğu Class I sınıfına, 37,8°C üzerinde olan dizel yakıtı ise Class II sınıfına girmektedir (1, 10, 30). Bu nedenle benzin kullanımında alınan önlemler pratikte etanol-dizel yakıtı karışımları için uygulanabilir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının bu tür özelliklerine göre diğer alternatif yakıtlardan gaz yakıtlara (LPG, CNG, Hidrojen) göre daha kolay depolanabilir yapıda olmaktadır (Can, 2003).

Etanolün kaynama karakteristiği dizel yakıtına göre oldukça düşük, uçuculuğu ise yüksek olmaktadır. Dizel yakıtının kaynama noktası 180°C iken, etanol-dizel yakıtı karışımlarının kaynama noktası yaklaşık olarak etanolün kaynama noktasına eşit olmaktadır. Bu durumda motorun yakıt sistemi üzerinde değişiklik gerekli olmaktadır. Aksi halde buhar tıkacı ile motor sıcak durumda ilk harekete geçirmek mümkün olamayacaktır. Motorun sıcakta ilk hareket problemlerinin aşılması için yakıt geri dönüş hattının akış oranının arttırılması veya enjeksiyon pompasının besleme pompası etanol-dizel yakıtı tankının yakınına yerleştirilerek buhar tıkacına karşı yeterli olmaktadır (Weidmann, 1984).

4.2. Etanolün Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Farklı Kullanım Teknikleri

Etanol fosil bazlı yakıtlara karıştırılması ile dizel yakıtın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (setan sayısı, ısıl değeri, viskozitesi v.b) üzerinde değişimler meydana getirmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı açıklamalar Bölüm 3'de verilmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi etanolün tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolün düşük setan sayısı dizel yakıtının tutuşma kalitesini sınırlandırmaktadır. En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan problemlerin başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen No 2 D yakıtına göre Aşırı azalması ile karışımın stabilizesinin yüksek etanol oranlarında (en fazla %20) tam olarak sağlanamamasından dolayı motorun çalışma düzenine sıkıntılar meydana getirmesidir.

Bu tür nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolün yada alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarında kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Kullanılan tekniklere göre etanol dizel yakıtı yerine tamamen veya kısmen kullanılabilmekte ve motor gücü momenti, termik verim, egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışım tekniğinden (Solüsyon-Emülsiyon) ayrı olarak diğer tekniklerin temel yapılan ve farklılıklarından aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Bu teknikler sırasıyla;

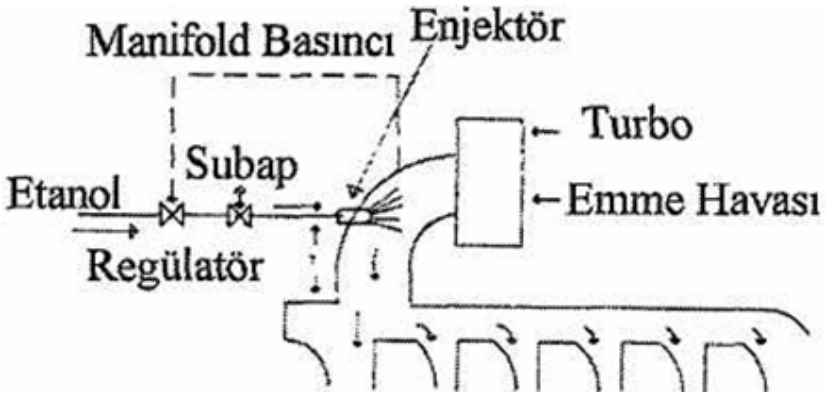
- Alkolün emme manifolduna verilmesi (Likos vd, 1982),
- Çift enjeksiyon sistemi (Nagarin vd, 2003),
- Alkollerin buji yardımıyla ile ateşlenmesi (Eugene vd, 1984),
- Setan sayılarının geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması(Eugene vd, 1984),
- Yüzey ateşleme dir .(Can, 2003)

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar göz önüne alındığında, sadece alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi ve tutuşmayı geliştirici katkılar ile etanol dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilmektedir.

Yukarıda sayılan tekniklerin güvenirliliği ve motor açısından dayanıklılığının incelenmesi için halen araştırmalar gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalarla birlikte bu teknikler güncel olarak trafikteki araçlarda uygulanarak gelişimini sürdürecek ve dizel motorları için optimum şekli belirlenecektir.

4.2.1. Alkolün Emme Manifolduna Verilmesi

Bu teknikle, dizel motorlarında etanol bir karbüratör-enjektör yada buharlaştırıcı sistem yardımı ile emme manifolduna verilerek motorun emme havasıyla karıştırılmakta ve kullanım oranında %50`lere kadar çıkılabilmektedir. Fakat bu tekniğin uygulanabilmesi için; karbüratör veya buharlaştırıcı mikserin motor üzerinde adaptasyonu, alkol enjeksiyonun ölçme işlemi için farklı bir kontrol mekanizması, alkol ve dizel yakıtı sistemlerine ayrı yakıt tankı ve hattı için motorda çeşitli değişikliklere gerek duyulmaktadır. şekil 4.1'deki şematik şekilde örnek olarak bir fumigasyon tekniği görülmektedir. (Likos, vd 1982)



Şekil 4.1: Fumigasyon Tekniği(Likos, vd 1982)

Standart dizel motorlarında bulunan emme manifoldları çift fazlı akış için tasarlanmadığından bu teknik uygulandığında etanolün manifold içerisinde akışı uygun bir şekilde gerçekleşememektedir. Buna karşılık emme manifoldu üzerine yerleştirilen alternatif formdaki sprey enjeksiyonlar ile sistem daha verimli hale getirilebil mektedir. Diğer bir dezavantaj olarak alkol yakıt ölçme işlemi için motor üzerinde yeni bir tekniğin geliştirilmesi, ikinci bir yakıt hattı ve yakıt tankı gereksinimi ortaya çıkmaktadır (Likos, vd 1982).

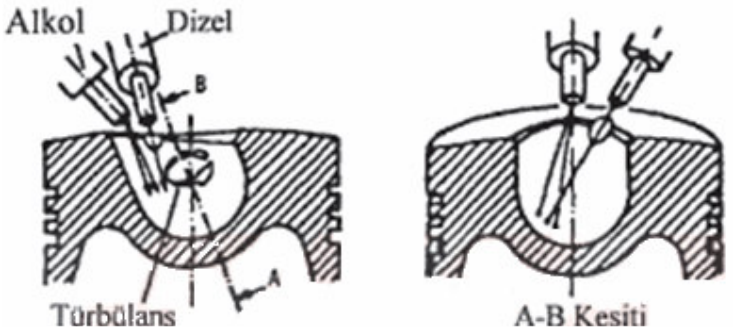
Etanol emme manifolduna karbüratör yada enjektör ile verildiğinde manifold içerisinde buharlaşarak içeriye alınan havayı soğutmaktadır. Böylece emme dolgu havasının yoğunluğu artarak doğal bir ara soğutucu görevi görmektedir. Etanolün düşük ısıl değerine rağmen bu farklı özellik ile motor gücünde ve termik verimde artış sağlanarak diğer tekniklere göre avantajı hale gelmektedir.

4.2.2. Çift Enjeksiyon Sistemi

Pilot Enjeksiyon sistemi olarak da adlandırılan çift enjeksiyon sisteminde, kullanılan etanolün hacimsel olarak %90`lara çıkarılabilmektedir. Bu teknikle alkol ayrı bir enjektörle yanma odasına püskürtülmekte ve etanol yakıtı enjeksiyonundan önce yanma işleminin başlatılıp etanolün tutuşturulmasını sağlamak için yalnızca dizel enjektöründen pilot enjeksiyon yapılmaktadır.

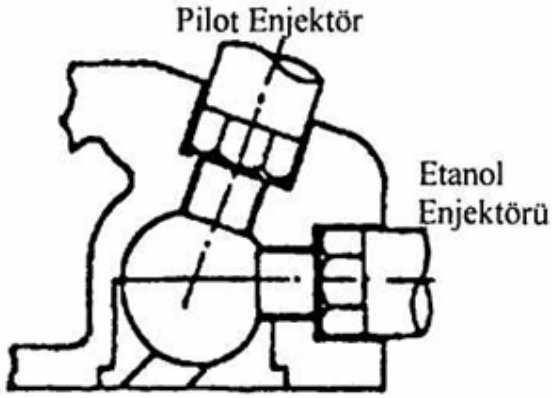
Bu tekniğin bazı olumsuz yanlan; ikinci bir enjeksiyon sistemi ve yakıt tankı gerekliliği, bu nedenle motorda karmaşıklığa sebep olmasıyla birlikte uygulaması zor ve pahalıya mal olması, ayrıca saf alkolle çalışabilen yakıt enjeksiyon pompaları ve enjektörleri daha tam anlamıyla geliştirilememiş olmasıdır. Bunlara karşılık güncel tasarımlarda yapılabilen değişikliklerle bu teknik uygulanabilmektedir(Can, 2003).

Çift enjeksiyon sistemi uygulanmak istenildiğinde, motor üzerindeki gerekli değişikliklerin başında yanma odasına ikinci bir enjektörün yerleşimi için gerekli alana ihtiyaç duyulması gelmektedir. Pilot enjeksiyon sisteminden iyi performans elde edebilmek için, her iki enjektörün yanma odasındaki yerleşimi uygun şekilde gerçekleştirilmelidir. Şekil 4.2'de örnek olarak KHD marka DI dizel motoru enjektörlerinin yerleşimi görülmektedir(Nagarin, vd 2003).



Şekil 4.2: KHD Marka DI Dizel Motoru Enjektörlerinin Yerleşimi (Can, 2003).

Bu teknik, tasarım olarak türbülans odalı ve ön yanma odalı dizel motorlarında daha başarılı olarak uygulanabilmektedir. Şekilde ön yanma odalı sistemde pilot enjektör ve alkol enjektörlerinin başarılı bir biçimde yerleşimi görülmektedir.



Şekil 4.3: Ön Yanma Odalı Sistemde Pilot Enjektör ve Alkol Enjektörlerinin Yerleşimi (Can, 2003)

Çünkü ön yanma odalı ve türbülans odalı sistemlerde yanma, türbülans kontrollü oluştuğundan dolayı pilot enjektörlerin yanma odasına yerleşimi için geometrik olarak kısıtlamalar oldukça azalmakta ve yanmanın kontrolü için pilot enjektörün yerleşimi çok kritik bir öneme sahip olmamaktadır (Eugene, vd 1984).

4.2.3. Alkollerin Buji Yardımıyla Ateşlenmesi

Dizel motorlarında silindir içerisine alınan etanolün buji yardımıyla ateşlenmesi tekniği ile birlikte motorun talep ettiği dizel yakıtının %100'ü yani tamamı alkol yakıtı ile değiştirilebilmektedir. Genelde bu teknikte motorun standart enjeksiyon sistemi karbürasyon yada port-tipi enjeksiyon modeli ile değiştirilerek yanma odasında bir bujinin yerleşimini gerektirmekte ve ateşleme sistemi elemanları motora sonradan entegre edilerek uygulanabilmektedir. Motor tasarımı göz önünde bulun durulduğunda, bir dizel motorunu buji ile ateşlemeli sisteme dönüştürürken ortaya çıkan problemler çift enjeksiyon sisteminde gerekli olan değişikliklere oldukça benzer olmaktadır. Bujinin yanma odasına yerleşimi için silindir kapağında yer problemi olmamalı ve bujinin soğuyabilmesi için yeri uygun olmalıdır. Bu teknikte buji elektrotun yanma odasındaki yerleşimi, motorun tüm çalışması boyunca yanma işleminin düzenli olmasını sağlayarak motorun düzenli çalışabilmesi için büyük öneme sahiptir. Çift enjeksiyonlu sisteme göre buji ile ateşlemeli sistem ile aynı yakıt tankı ve yakıt besleme sistemi kullanılabilmektedir (Eugene, vd 1984).

Alkoller yüksek buharlaşma ısısı ve yüksek oktan sayısına sahip olduklarından, bu yaklaşım ile daha avantajlı sonuçlar alınabilmektedir. Dizel motorlarında yüksek kompresyon oranı ve ateşleme sistemi yardımıyla sağlanan düzgün bir yanma ile motorun %100 etanol ile termik veriminde artış kaydedilebilmektedir. Aslında bu yaklaşım ile birlikte motor %100 alkol yakıtı ile çalışan ve benzin ile dizel motoru arasında ortak özellikler gösteren verimli bir motor haline dönüşebilmektedir.

4.2.4. Setan Sayılarını Geliştirici Katkılarla Alkollerin Kullanılması

Alkollere % 10-20 oranında katılan tutuşmayı geliştirici katkılarla, setan sayılarının geliştirilerek tutuşmanın sıkıştırma ile gerçekleşmesi temin edilmektedir. Böylece dizel motorlarında alkoller tutuşturmayı geliştirici katkılar ile birlikte %100 oranında yani tamamen kullanımını sağlayan alternatif yöntemlerden birisi olmaktadır . Bu katkı maddelerinin çoğu nitrojen bazlı bileşiklerdir ve NO_X emisyonları üzerine negatif bir etkiye sahiptir. Bu katkılardan başlıcaları; izoamil Nitrat (Isoamyl Nitrate), Trietilen Glikol Dinitrat (TEGDN-Triethylene Glycol Dinitrate) ve Siklohekzil Nitrat (Cyclohexzyl Nitrate) dir. Son zamanlardaki çalışmalarda kaydedilen gelişmelerle katkı maddesi oram Etilen Glikol Nitrat (Ethylen glylicol nitrates) ile %5 dolaylarına çekilebilmiş ve bazı araştırma uygulamalarında kullanılmıştır.

Bu şekilde motor üzerine masraflı, karmaşık ve pahalı sistem uygulamalarına gidilmeden alkollerin dizel motorlarında kullanımı sağlanabilmekte fakat en az %10 yada %20 oranında setan geliştirici katkı maddesine ihtiyaç olmaktadır. Kullanılan bu katkıların maliyetlerinin yüksek oluşu ve kullanımda bazı sakıncalar oluşturması (yüksek NOx emisyonları) sebebiyle güncel uygulamalar için sınırlı kalmıştır (Eugene, vd 1984).

Dizel motorlarında geliştirilmiş setan sayısına sahip alkollerin direkt olarak kullanımı için yinede bazı küçük değişikliklere ihtiyaç olmaktadır. Enjeksiyon zamanlanmasında ve enjeksiyon miktarında optimum motor performansını elde etmek için yakıt enjeksiyon pompasında ayarlar gerekli olabilmektedir. Motor üzerinde uygulanmış olan güncel dizel enjeksiyon sistemlerinde tutuşmayı geliştirici katkılarla birlikte alkollerin kullanımında, etanolün yağlama özelliği dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan dolayı genellikle yağlayıcı katkılar gerekli olmaktadır. Yağlayıcı katkı maddesi olarak Hint yağı en çok kullanılanlardan birisidir (Eugene, vd 1984)

4.2.5. Yüzey Ateşleme

Etanol gibi setan sayısı düşük yakıtların dizel motorlarında kullanımında, yanma odasında sıcak yüzey yardımlı tutuşturma tasarı halinde alternatif bir metot olarak kullanılmaktadır. Piston üst ölü noktada iken, bir önceki çevrimin yanma işleminden elde edilen enerjinin bir kısmını tutacak yüzeyler ile yada harici bir ısı kaynağı elemanı ile (ısıtma bujisi) yanma odasındaki sıcak yüzey için gerekli enerjinin sağlanarak lokal tutuşma koşulları ortaya çıkarılmaktadır. Hava yakıt karışımının içerisinden tutuşma alevinin yayılması gerçekleşerek kararlı bir difüzyon alevinin oluşması sağlanabilmektedir (Can, 2003).

Minimum yüzey sıcaklığı, kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliğine, yanma odasındaki koşulara bağlı olarak değişmektedir. Uygulamalar sonucu ısıtma bujisinin yüzey sıcaklığı tutuşmanın gerçekleşebilmesi için yaklaşık 850 °C olması istenmektedir. Sıcak yüzey uygulaması genellikle ön yanmalı IDI motorlarda ısıtma bujilerinin kullanımı ile soğukta ilk hareket problemlerinin üstesinden gelebilmek için kullanılmaktadır. Etanolün tutuşma karakteristikleri yakıt miktarına, enjeksiyon zamanlamasına, ısıtma bujisinin uzunluğuna, sıcaklığına ve yanma odasındaki konumuna bağlı olmaktadır.

4.2.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Diğer Tekniklere Göre Avantaj ve Dezavantajları

Etanol-dizel yakıtı karışımları, karışımının kararlılığını sağlayacak ve yağlayıcı özelliğini geliştirecek katkı maddeleri ile herhangi köklü değişikliğe gidilmeden dizel motorlarda kullanımı için uygulanabilen en pratik yöntemdir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarında temel parametrelerden sadece maksimum yakıt enjeksiyon miktarında ve zamanlamasında, enjeksiyon basıncında yapılacak ayarlamalarla motorun çalışması No 2 D yakıtı ile çalışma durumundakine yakın bir hale getirilebilmektedir. Diğer tekniklerden alkolün emme manifolduna verilmesi, çift enjeksiyon sistemi, alkollerin buji yardımıyla ile ateşlenmesi, setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması, yüzey ateşleme motor üzerinde detaylı ve köklü değişimler gerektirmekte ve uygulama maliyetleri artmaktadır.

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının en büyük dezavantajları; karışımda etanol oranının en fazla %20'lerde sorunsuz uygulanabilmesi ve sonrasında karışımın stabilizesini sağlanmasının güç olması ve karışımın setan sayısı göz önünde bulundurulduğunda,

motorda doğrudan kullanımında en fazla % 12-15 kadar etanol miktarına olanak vermesidir. Buna karşılık alkolün emme manifolduna verilmesi ve çift enjeksiyon sisteminde alkol-dizel oranı %50 ile %90 olmaktadır. Yalnızca alkollerin buji ile ateşleme ve setan sayısını geliştirici katkı maddesi ile kullanımında tamamen %100 alkol oranına geçilebilmektedir (Hansen, vd 2001).

Alkolün emme manifolduna verilmesi yönteminde, emme manifoldunda değişikliğe gidilerek karbüratör ya da buharlaştırıcı sistem ve oldukça karmaşık yakıt ölçme sistemi entegresi ile ayrı yakıt tankına gerek duyulmaktadır.

Çift enjeksiyon sistemi ve buji ile ateşleme sistemlerinde sıkıntılar oldukça benzer olmaktadır. Bu tekniklerde silindir kapağında köklü değişikliklere gerek duyulmaktadır. Çift enjeksiyon sisteminde ikinci enjeksiyon sisteminin, buji ile ateşleme sisteminde de ayrı bir ateşleme sisteminin motora ilave edilme durumu vardır. Emisyonlardaki büyük gelişmelere rağmen dizel motorlarının tasarımları bu sistemlere uygun olmadığından her motorda uygulanması zor ve pahalı olmaktadır (Satge, vd 2001). Tutuşturmayı geliştirici katkı maddelerinde kullanılan nitrat bazlı bileşikler etanolün setan sayısını dizel yakıtı setan sayısı seviyesine getirerek motorda değişiklik yapılmadan doğrudan ve tamamen kullanılabilmesi sağlanabilmektedir. Nitrat bazlı setan sayısı geliştirici katkı maddelerinin pahalı olması ve NO_X emisyonlarını artırması sebebiyle kullanımı kısıtlı olduğu için pek tercih sebebi olmamaktadır (Eugene, vd 1984).

Etanol üretimi ve fiyatı düşünülerek yukarıda açıklanan durumlar göz önüne alındığında, etanol-dizel yakıtı karışımları ile %20'ye kadar etanol ile motorun yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden diğer tekniklere göre kullanımı en avantajlı ve ekonomik yöntemlerden birisi olmaktadır.

5. DİZEL YAKIT ve ÖZELLİKLERİ

Dizel yakıtlar kaynama noktaları 150 ila 380°C arasında değişen hidrokarbon karışımlarıdır ve ham petrolün damıtımıyla elde edilirler. Rafineriler farklı oranlardaki benzin, dizel yakıt ve diğer petrol ürünlerinde uygun ürün özelliklerini elde etmek ve market ihtiyacını karşılamak için petrol ana ürün ve yan ürünlerini karıştırmaktadır (Bulut, 2007).

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

Yüksek oranda parafinli hidrokarbonlar düşük sıcaklık özelliklerini karşılamada problem çıkarsa da yakıtın iyi tutuşma özelliğine sahip olmasını sağlar. Kraking işlemleri daha düşük parafin içeren karışımlar verir fakat katalitik ve ısıl krakingden sonra tutuşma kalitesi düşer(Bulut, 2007).

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

yüzey gerilimi, atomizasyonun iyiliğini, yakıtın uçuculuğu ise yanıcı karışımın oluşum hızını etkiler(Bulut, 2007).

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

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

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

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

- Kimyasal Özellikler

    1. Ateşleme noktası
    2. Kükürt miktarı
    3. Kül miktarı
    4. Karbon artığı
    5. Setan indisi
    6. Setan Sayısı
    7. Aromatik Yüzdesi

5.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri

- Vizkozite (akıcılık derecesi)

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

Bir yakıtın saybolt vizkozimetresi; viskozimetreye konulan 70 cm^3 yakıtın 60 cm^3 'ünün kabın dibindeki belli çapta delikten akması için geçen zaman (saniye) olarak tarif edilir.

Burada yakıtın akması için gereken zaman uzadıkça viskozite yüksek yani yakıt kalın, zaman kısaldıkça viskozite düşük yani yakıt incedir. Viskozite daima ölçüldüğü sıcaklıkla ifade edilir. Örneğin dizel motorlarda kullanılan yakıtların viskoziteleri 100ºF de 35–70 s.u.s. (saybolt universal saniye) arasındadır.

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

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

N) eşittir. Kinematik akışmazlık ise bir akışkanın dinamik akışmazlığının, göz önüne alınan sıcaklıkta yoğunluğuna oranıdır(Bulut, 2007).

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

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

- Özgül Ağırlık

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

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

Yanma odasına fazla miktarda enjekte edilen yakıt, yani oluşturulan zengin karışım, yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresini azaltmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarı, püskürtme hızını değil de püskürtme süresini değiştirmek suretiyle değiştirildiği takdirde, kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt gönderilerek, yanmanın ikinci safhasında dp/dt oranı azalma gösterecektir(Bulut, 2007).

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

Yakıtın özgül ağırlığı elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişir. Özgül ağırlığı (kg/lt) olarak ifade edilir. Dizel yakıtların özgül ağırlığı 60ºF (15,5ºC) 0,835 ile 0,934 arasındadır.

- Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına "uçuculuk 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 ısıtmayla yakıttan alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlıdır ve bu nedenle akışmazlık, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkiler. Yakıt örneği damıtma aparatına yerleştirilir ve ısıtılır. Sıcaklık yükseldikçe oluşan buhar yoğunlaştırılır ve akışkanın ilk hacminin yüzdeleriyle derecelendirilmiş bir silindirde toplanır. Damıtma sırasında kaydedilen bilgi şunları içerir: a.)İlk kaynama noktası (Ibp) b.)Son nokta (EP) ya da son kaynama noktası (FBP) c.)Yoğuşturulmuş sıvı yüzdesi d.)Uçucu olmayan içerik yüzdesi (Bulut, 2007).

- 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(Bulut, 2007).

- Donma Noktası

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

- Su ve Tortu Miktarı

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

- Buharlaşma Noktası

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

- Düşük Sıcaklık Davranışı

Dizel yakıtların çoğu önemli oranda parafinli bileşene sahiptir. Düşük sıcaklıklarda parafin kristallerinin (wax) oluşturduğu çökelti yakıt filtresinin tıkanmasına ve yakıt beslemesinin kesilmesine yol açabilir. Yakıtın özelliklerine bağlı olarak parafin

çökelmesi 0°C' de gerçekleşebileceği gibi çok erken başlayabilir. Bu nedenle kışın kullanılacak dizel yakıtların sorun çıkarmaması için özel olarak seçilmesi ya da işlem görmesi gerekir. Dizel yakıtların düşük sıcaklıktaki davranışlarını belirlemekte kullanılan bazı özellikler şunlardır: a.)Cloud point (CP), yakıt donma noktasına geldiğinde kristalleşmenin görülmediği sıcaklık değeridir. (ASTM D2500) b.)Pour point, yakıtta kristalleşmenin yeni başlayarak yakıtın yapısının değişime uğradığı sıcaklık değeridir.(ASTM D97). c.)Filtrenin tıkanma noktası(CFPP), yakıtın akışkanlığının filtrede tıkanma yaptığı sıcaklık değeridir. (European standard EN116:1981). Rafineride yakıtlara genellikle akışkanlık arttırıcı maddeler eklenir. Bu maddeler parafin çökelmesini engellemezken kristal büyümesini kısıtlar. Kristaller filtrenin deliklerinden geçebilecek kadar küçük kalırlar. Böylece süzme işlemi düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir. Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökelmesini önleyici katkı maddeleriyle daha da yükseltilebilir. Bugün mevcut olan kışlık dizel yakıtlar -22°C' den başlayan düşük sıcaklık direncini garanti edebilecek düzeydedir. Başka iki yol da filtreyi ısıtmak ve dizel yakıta petrol ürünleri eklemektir. Düzenli benzin ilavesi de çökelmeyi geciktirebilir. Ancak, benzinin setan sayısı çok düşük olduğundan tutuşma kalitesi azalır ve parlama noktası önemli oranda düşer(Bulut, 2007).

5.2. 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 vuruntu azalır. Ateşleme noktası yakıtlarda setan sayısı ve dizel endeksi ile ifade edilir(Bulut, 2007).

Setan sayısı, dizel yakıtının, kendi kendine tutuşması kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Benzinlerdeki oktan sayısı gibi CFR motorunda fakat ayrı bir metot ile (f5 metodu ile)saptanır.

Setan sayısı ile oktan sayısının özellikleri tamamen birbirine zıttır. 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 kısalacağından püskürtülen yakıt fazla uzağa gidemeden yani tamamen buharlaşmadan tutuşur.

Enjektör memesi fazla ısınarak yakıtta kraking yapar ve bu nedenle yanma odasında karbonlaşma oluşur. Yanma kötüleşir ve emisyonlar artar. Bu nedenlerden dolayı setan sayısı 45–60 arasında olmalıdır.

- Kükürt Miktarı

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

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \qquad (5.1)$$

Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfürik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürt temizlenebilir. Fakat maliyeti arttıracağından % 1 'e kadar kükürt e 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(Bulut, 2007).

- Karbon Artıkları

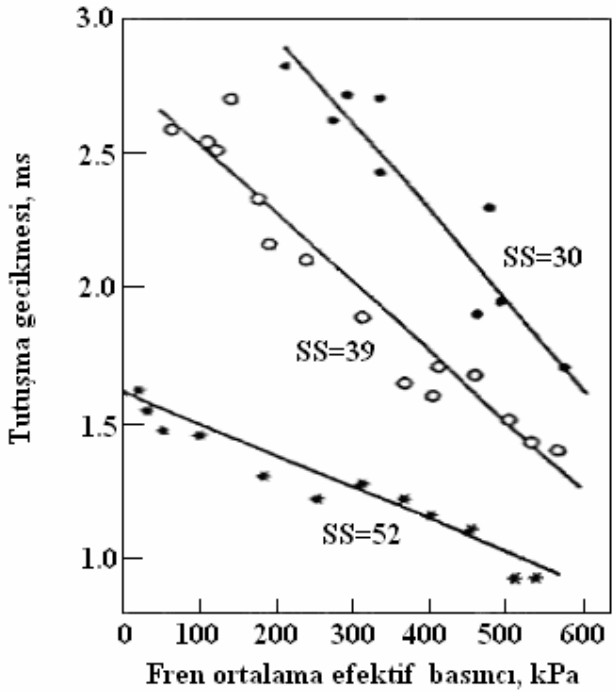
Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı %'si fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya iştirak etmez ve iş yapar. Bu da enjektör memelerinin 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(Bulut, 2007).

- 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.

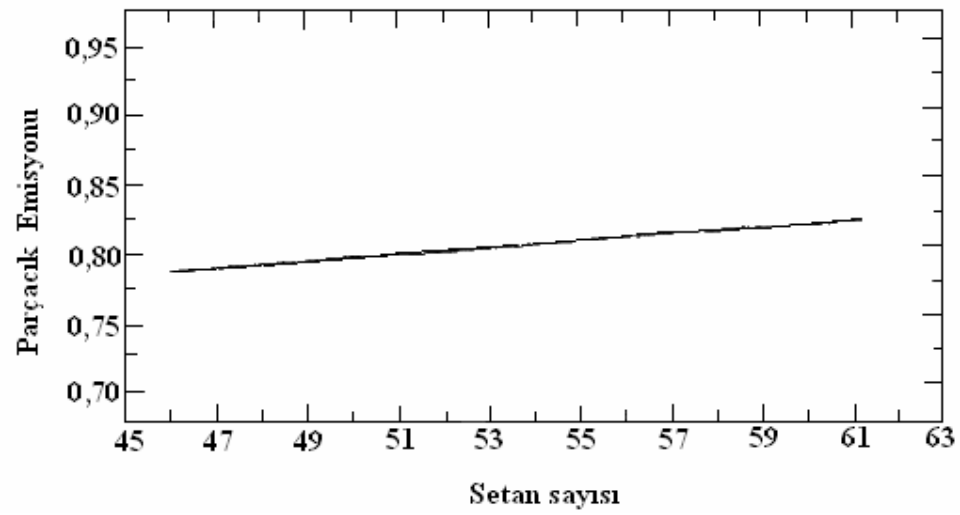


Şekil 5.1: Setan Sayısının Tutuşma Gecikmesine Etkisi(Bulut, 2007)

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısalması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından

silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın sağlanabilmesi için daha az süre olması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılamaması nedeniyle yanma hızı da azalır.

Setan sayısı, dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine etki eder. Setan sayısının yüksek olması motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından, yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri Şekil 5.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Setan Sayısının Parçacık Emisyonu Üzerindeki Etkileri

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

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

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

Dizel yakıtların minimum setan sayısı A.B.D.'de 40, Japonya ve Almanya'da ise 45'tir. Modern motorların optimum çalışmaları için (sessiz çalışma, düşük partikül emisyonları) 50 civarındaki daha yüksek setan sayılarına bile ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek parafin oranı setan sayısını yükseltir. Kraking uygulanmış yakıt bileşenlerinde bulunan aromatik tipinin yüksek oranları ise tutuşma kalitesini ve setan sayısını düşürür(Bulut, 2007).

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

- Aromatik Yüzdesi

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

Dizel yakıtı içerisindeki aromatik bileşenin oranının düşürülmesi, HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır.

6. SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

6.1 Geometrik Sıkıştırma Oranı

İdeal motorda, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin (V_1), sıkıştırma sonu hacmine (V_2) oranı şeklinde tanımlanan geometrik sıkıştırma oranı;

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \tag{6.1}$$

dir. Gerçek motorda ise sıkıştırma A.Ö.N.'da değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle gerçek motorun sıkıştırma oranı (ε_g);

$$\varepsilon_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \tag{6.1}$$

Yazılabilir. V_k, AÖN'dan sonra supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir (Çelik, 1999).

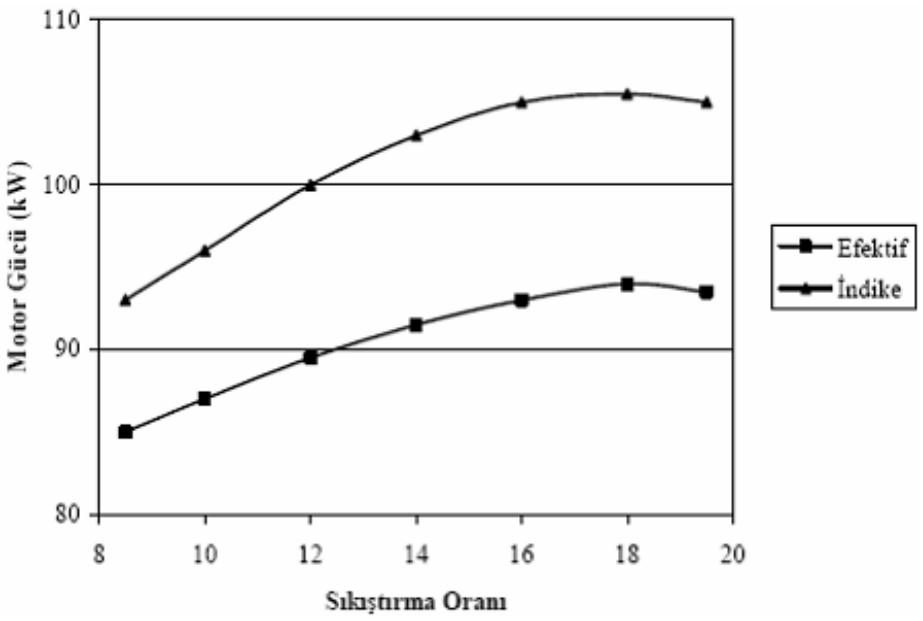
6.2 Sıkıştırma Oranının Güce ve Yakıt Ekonomisine Etkisi

Benzin motorlarında sıkıştırma oranının yükseltilmesi yakıtın vuruntuya karşı dayanabildiği noktaya kadar olmaktadır. Sıkıştırma oranı yüksek tutulduğu nokta yakıtın kendi kendine tutuşacağı ve ateşleme yapıldıktan sonra yanma odasının çeşitli noktalarından kendi kendine yanma başlatmadan vuruntu yapmayacağı son noktaya kadar ayarlanmaktadır (Yaman, 2004).

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında yakıt-hava karışımın sıkıştırma sonu sıcaklığını arttıracağından motorun ısıl veriminin artmasını sağlar. Isıl verimin artması ise yakıtın ısı enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüşmesi anlamına gelir. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketimi azalmakta ve maksimum çıkış gücünde artmaktadır.(Kutlar vd., 1998).

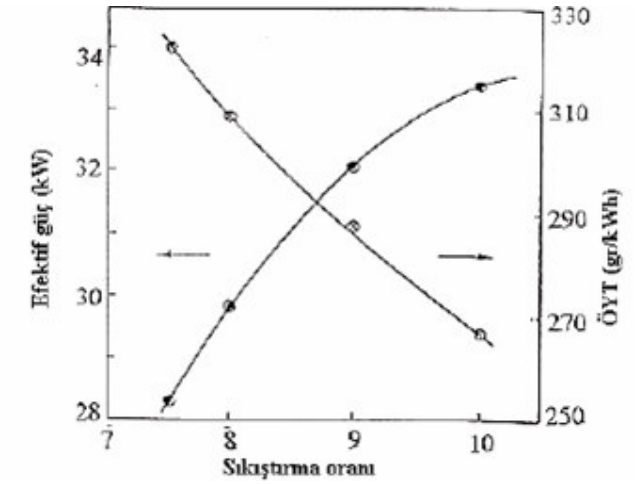
Caris vd., Tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranının motor performansına etkisi incelenmiştir. Buji ile ateşlemeli, 5,3 litrelik bir V-8 motoru, sıkıştırma oranı 9/1'den 20/1'e kadar artırılarak denenmiştir.

Artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 17/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır. Yüksek sıkıştırma oranlarında motorun vuruntu yapmaması için yakıt içersine özel katkı maddeleri ilave edilmiştir (Caris vd.,1958).



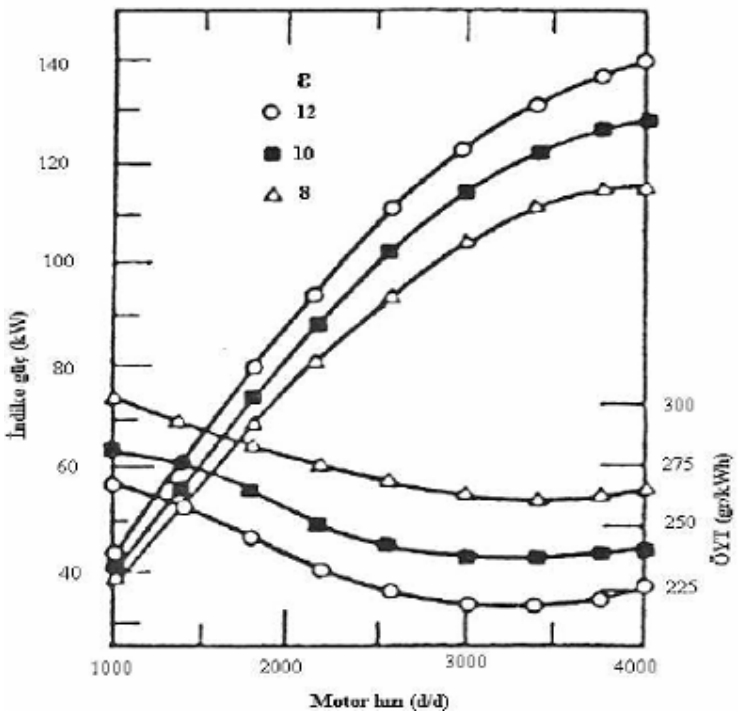
Şekil 6.1: Sıkıştırma Oranının Motor Gücüne Etkisi (V-8 motoru, n=2000 d/d, tam yük) (Caris vd.,1958).

Sıkıştırma oranının performansa etkisini incelemek için yapılan diğer bir araştırmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor tam gazda ve sabit devirde (2500 d/d) sıkıştırma oranı değiştirilerek test edilmiştir. Deneyler sonucunda, sıkıştırma oranının artmasıyla motor gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir (Stone, 1989).



Şekil 6.2: Sıkıştırma Oranı Değişiminin Performansa Etkisi (n=2500d/d, Tam yük, Vm=2.2 lt) (Stone, 1989).

4,7 litrelik bir V-8 motoru üç değişik sıkıştırma oranında (8/1, 10/1, 12/1) test edilmiş. Artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir, şekil 6.3 (Ferguson, 1986).



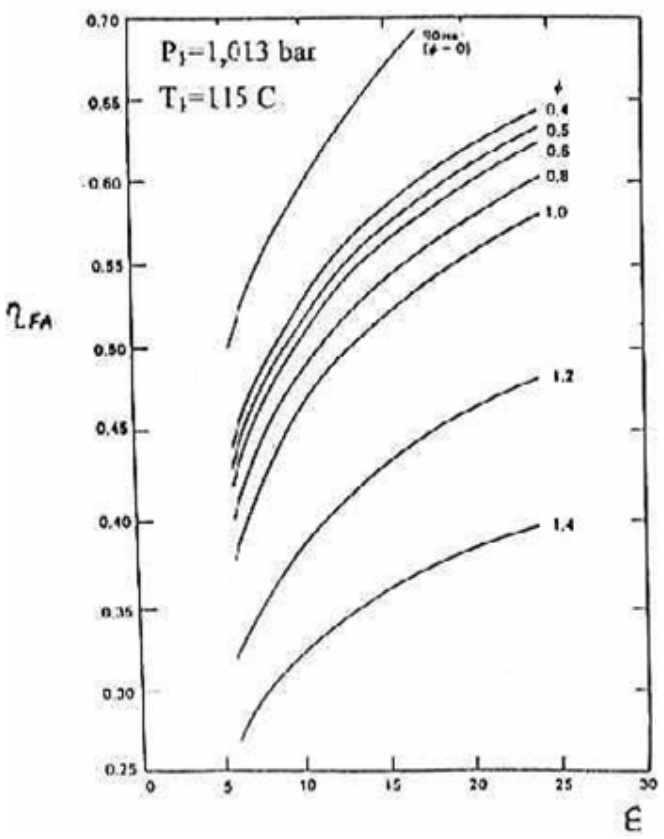
Şekil 6.3: Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi

6.3. Sıkıştırma Oranının Termik Verime Etkisi

Buji ile ateşlemeli motorlarda oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan otto çevrimi, termik verimin sıkıştırma oranı ile arttığını gösterir (Stone, 1989).

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \tag{6.3}$$

Hava/yakıt çevrimi, otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre sıkıştırma oranının eşdeğerlik oranına bağlı olarak verime etkisi şekil 6.4'de görülmektedir (Stone, 1989).



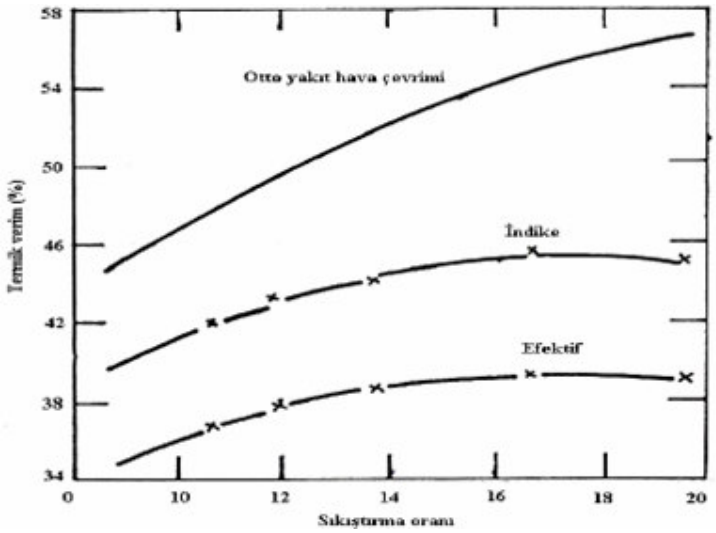
Şekil 6.4: Çeşitli Eşdeğerlik Oranlarında Termik Verimin Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimi (Stone, 1989)

Şekil 6.4'den anlaşılacağı gibi karışım fakirleştikçe, belirtilen sıkıştırma oranında verim artar. Diğer bir deyişle, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto

çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır (Stone, 1989).

Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılamamaktadır. Bunun baslıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı transferi olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir (Çelik, 1999).

Gerçek bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarının termik verime etkisini araştırmak için, Caris vd. tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranı 9/1'den 25/1'e kadar değiştirilmiştir. Deneylerde 7 adet 324 inç^3'lük (5,3 litre) V-8 motoru kullanılmıştır. Yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston kullanımıyla elde edilmiştir. Tam yükte, 2000 d/d'da avans ve H/Y oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yapılan deneylerde, motorun maksimum termik verime 17/1 sıkıştırma oranında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termik verim düşmeye başlamıştır, Sekil 4.5. Tam yükte yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntuyu önlemek için izooktanın içerisine kursun tetraetil ve manganese compound (AK-33X) katıkları ilave edilmiştir (Caris vd., 1958).



Şekil 6.5: Sıkıştırma Oranı Termik Verimi Değişimi (Çolak, 2006)

6.4. Sıkıştırma Oranının Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon düzeyi az da olsa değişmektedir. Sıkıştırma oranı değişiminin NOx emisyonlarına etkisi önemsizdir. Bazı çalışmalarda sabit yük ve hızlarda artan sıkıştırma oranıyla NOx emisyonlarında tutarlı bir artış tespit edilmiş, diğer çalışmalarda küçük bir düşüş belirlenmiştir. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun baslıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır (Çelik, 1999).

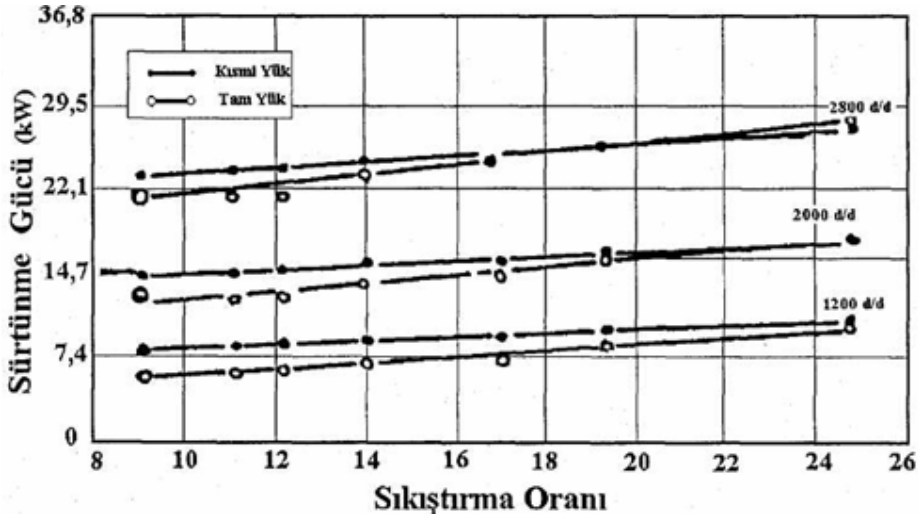
HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi de yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış. gazlarla karışarak egzozla atılır. Hacme oranlı yanma odası yüzey alanı sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla sıkıştırma oranının artması HC emisyonunu da artırmaktadır (Scheffler, 1996).

Civil, T., 4 zamanlı tek silindirli, standart yakıt oktan sayısını tespit etmekte kullanılan, sıkıştırma oranı değişebilen, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Sıkıştırma oranının etkisi baslıca dört değişik oranda (7/1, 8/1, 8.5/1, 9.5/1) araştırılmış, yakıt/hava oranı ise zengin bir karışıma tekabül eden bir noktada sabit tutulmuştur. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi sonucu motorun vuruntu yapmaması için ateşleme avansı da buna bağlı olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılması ile toplam HC oranında bir artma gözlenmiştir. (Civil, 1987).

Felt, A.E. ve Kraus, S.R., buji ile ateşlemeli, 383 CID V-8 motorda sıkıştırma oranının emisyonlara etkisini incelemişlerdir. 9,5/1 ve 7,6/1 sıkıştırma oranlarında yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıkıştırma oranlı çalışmada aynı güçte, NOx ve CO emisyonlarının değişmediği, HC emisyonlarının ise arttığı belirlenmiştir (Felt vd., 1971).

6.5. Sıkıştırma Oranının Sürtünme Gücüne Etkisi

Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı yükseldikçe sıkıştırma basıncı ve maksimum basınç aynı ölçüde artar. Bunun iki etkisi vardır. Birincisi, daha yüksek olan basınçlar daha yüksek kuvvetleri ve özellikle pistonda daha yüksek sürtünmeleri doğurur. İkinci ve daha önemli bir etki ise, aynı dayanım derecesinin sağlanması için hareket eden parçaların daha da ağırlaşması ve toplam sürtünme kayıplarına arttırmasıdır. Bu da motorun mekanik verimini düşürmektedir(Sekmen, 2003).



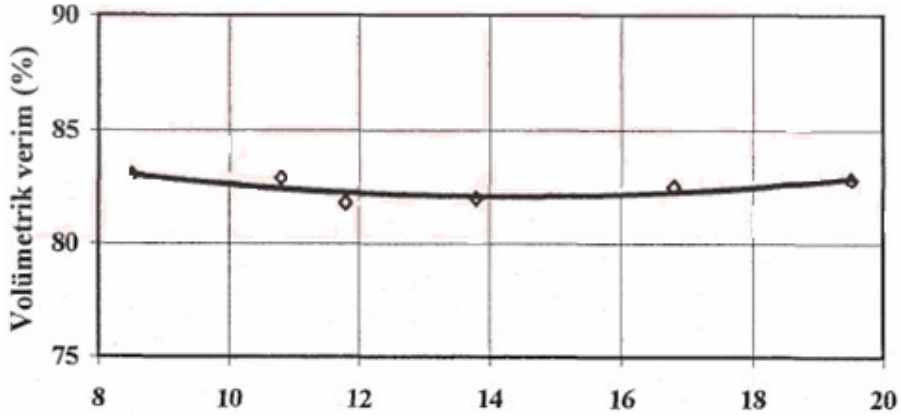
Şekil 6.6: Sıkıştırma Oranı Sürtünme Gücü Değişimi(Sekmen, 2003).

Kısmı ve tam yükte, değişik hızlarda motorun dinamometre ile döndürülmesiyle yapılan deneylerde artan sıkıştırma oranına bağlı olarak sürtünme gücünün de bir miktar arttığı belirlenmiştir (şekil 6.6).

6.6. Sıkıştırma Oranının Volümetrik Verime Etkisi

Sıkıştırma oranının artırılması bir yandan sıcaklık seviyelerini artırdığı için volümetrik verime olumsuz yönde etki ederken, diğer yandan da artık gazların miktarını azalttığı için volümetrik verimi artıncı yönde etki etmektedir.

Tam yükte, 2000 d/d motor hızında yapılan deneylerde sıkıştırma oranının artışı ile volümetrik verimde dikkate değer bir değişiklik olmamıştır. (Sekmen, 2003).



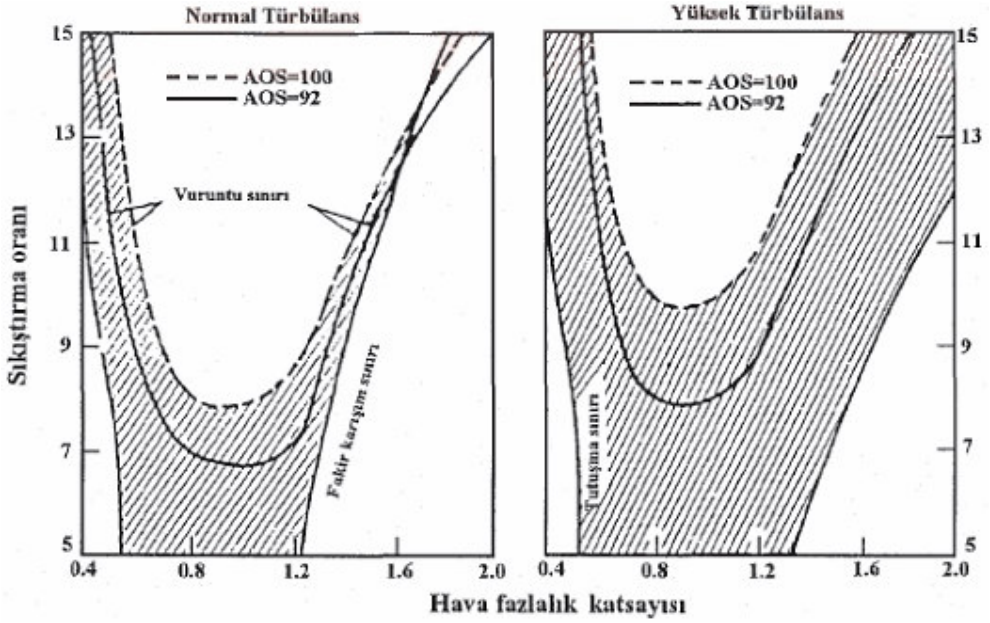
Şekil 6.7: Sıkıştırma Oranı Volümetrik Verim Değişimi(Sekmen, 2003).

6.7. Sıkıştırma Oranı ile Hava-Yakıt Oranı (H/Y) ilişkisi

Gerek sıkıştırma oranı, gerekse hava-yakıt oranı motorun gücünü etkileyen ve ayrıca vuruntuya sebep olabilecek parametrelerdir. Motorun uygun sıkıştırma oranı ve H/Y oranı ile çalıştırılması durumunda vuruntu olmadan maksimum güç ekonomik bir şekilde elde edilebilir.

Motordan iyi bir performansın elde edilmesi, yakıtın verimli kullanılması ve emisyonların bütün çalışma şartlarında sürekli olarak kontrol edilmesiyle gerçekleşebilir. Fakir karışımla çalışmada, çalışma dengesizliği ve aşırı ısınmadan kaynaklanan problemler olmadan yanma düzeltilebilirse hem emisyonlar düşer hem de yakıt ekonomisi iyileştirilebilir. Bununla birlikte fakir yanma, alevin sönmesi ihtimaline kadar büyük problemlere de yol açabilir. Bu problemler, sıkıştırma oranının arttırılması aşılabilir. Sıkıştırma oranının artışıyla ateşleme öncesi dolgu sıcaklığının artması daha fakir karışımların ateşlenmesine imkan verir (Sekmen, 2003).

Gruden tarafından hava-yakıt oranı ve sıkıştırma oranının bir fonksiyonu olarak fakir karışımla çalışma ve vuruntu sınırı belirlenmiştir. Araştırma oktan sayıları (AOS) farklı iki yakıt için yüksek türbülanslı ve klasik yanma odalı motorda hava fazlalık katsayısının ve sıkıştırma oranının vuruntuya etkisi görülmektedir (Şekil 6.8). Yüksek sıkıştırma oranlarında fakir karışımla çalışmak mümkündür. Özellikle fakir karışımla çalışma sınırını yükselten yüksek türbülanslı yanma odalarında bu durum daha belirgindir (Sekmen, 2003).



Şekil 6.8: Oktan Sayıları Farklı İki Yakıt İçin Yüksek Türbülanslı ve Klasik Yanma Odalı Motorda Hava Fazlalık Katsayısının ve Sıkıştırma Oranının Vuruntuya Etkisi (Sekmen, 2003).

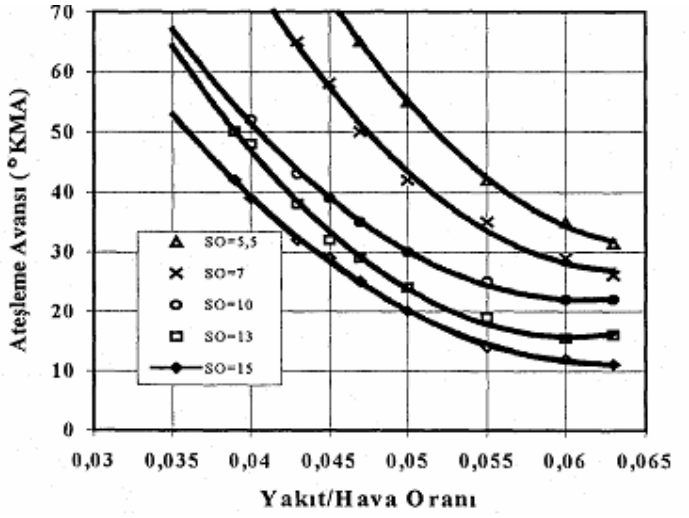
6.8. Sıkıştırma Oranı Ateşleme Avansı İlişkisi

Sıkıştırma oranının artırılması, ateşleme anındaki karışımın basınç ve sıcaklığını arttırırken artık gaz yoğunluğunu da azaltmaktadır. Bununla birlikte hem karışımın ateşlenebilmesi için uygun koşullar hem de yanma olayının başlangıç fazının süresi kısalır ve ana fazdaki alevin yayılma hızı yükselir. Diğer taraftan sıkıştırma oranının artırılması, yanma odası yüzey/hacim oranının arttırdığında karışımın büyük miktarı bağıl olarak yanma odası çeperleri yakınında toplanacağından son safhanın süresi artmaktadır. Optimum ateşleme avansı ile bu durum azaltılabilir (Safgönül vd, 2004).

Sıkıştırma oranının artışı ile maksimum basıncının yeri ÜON'ya yaklaşmakta, basınç yükselme hızı ise sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Fakat yanma ve basınç yükselme hızı, yanma odasında vuruntunun oluşması için belirleyici parametreler olup sıkıştırma oranını artışını sınırlamaktadır. Şekil 6.9'da sıkıştırma oranının 5'den 11 'e kadar değişimi ile yakıt-hava çevrimi için basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın oluşma yeri görülmektedir.

Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vuruntu, belirli bir noktaya kadar ateşleme avansı değişimiyle kontrol edilebilir. Artan sıkıştırma oranlarında maksimum verimi

elde etmek için ateşleme avansının bir miktar azaltılması gerekmektedir . Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının ve hava giriş sıcaklığının arttırılması daha fakir karışımların yakılmasını mümkün kılmaktadır. Fakir karışımlarda alevin yayılma hızının düşmesi ve gecikme periyodunun uzaması nedeniyle ateşleme avansının arttırılması gerekmektedir(Bolt vd, 1962-Sekmen, 2003).

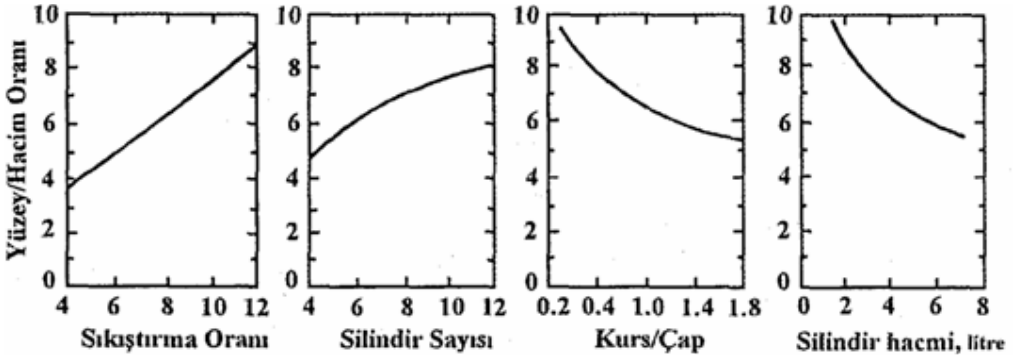


Şekil 6.9: Ateşleme Avansının Yakıt Hava Oranına ve Sıkıştırma Oranına Bağlı Değişimi (Bolt vd, 1962).

6.9. Sıkıştırma Oranı ile Yanma Odası Yüzey/Hacim Oranı İlişkisi

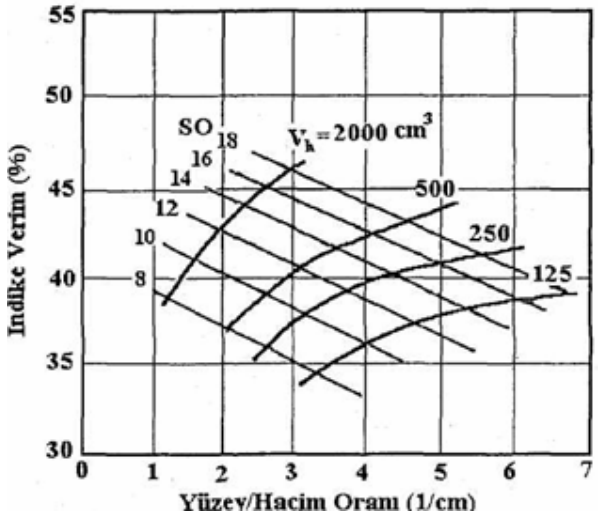
Belirli bir silindir hacmi için sıkıştırma oranındaki artış yanma odası yüzey/hacim oranını lineer olarak artırmaktadır. Silindir sayısı ne kadar az ve boyutları ne kadar büyük olursa, yüzey-hacim oranı o kadar küçük olmakta, diğer bir ifade ile, silindir kapasitesi ne kadar büyük olursa, yanma odası yüzey alanına göre yanma odası hacmi o kadar büyük olmaktadır. Öyle ki, yüzey alanı silindir çapının karesiyle artarken silindir hacmi silindir çapının küpü ile artmakta olup silindir kapasitesinin artması yüzey/hacim oranını hızla düşürmektedir (Sekmen, 2003)..

Isı kayıplarını ve HC oluşumunu en aza indirmek işin yanma odalarının yanma odası yüzey alanına göre büyütülmesi gerekmektedir. Yani yanma odasının yüzey alanı hacmine oranla mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Yüzey/Hacim oranı ne kadar büyük olursa egzoz gazlarındaki HC konsantrasyonu o kadar yüksek olur.



Şekil 6.10: Yüzey/Hacim Oranının Sıkıştırma Oranı, Silindir Sayısı, Kurs Çapı, Silindir Hacmine Göre Değişimi

Yanma odası yüzey/hacim oranındaki artış motorda vuruntu oluşma olasılığını azaltırken HC emisyonlarını artırdığından buji ile ateşlemeli motorlarda bu oran önemli bir parametredir.



Şekil 6.11: Yüzey/hacim oranını ile İndike Verim Arasındaki İlişki (Sekmen, 2003).

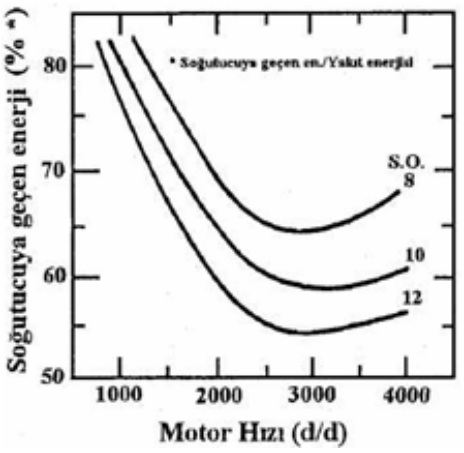
Tutuşma gecikmesine sebep olan faktörlerden birisi yanma odasının toplam yüzey/hacim oranıdır yanma odası yüzey/hacim oranı ile sıkıştırma oram ilişkisi incelenmiştir. Yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston kullanılarak elde edilmiştir. Sıkıştırma oranının değişimi pistonun çukurunun derinliği ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.10'da yüzey/hacim oranının sıkıştırma oranıyla değişimi görülmektedir. Şekilde yanma odası pistonun konumuna bakmaksızın piston üzerindeki boşluk olarak kabul edilmektedir. Piston ÜÖN`da iken yüzey/hacim oranı sıkıştırman oranı 9:1 den 25:1 çıkarıldığında iki katından daha fazla

artmaktadır. Bunun sebebi yüzey alanında oluşan küçük bir azalmanın hacimde daha büyük bir azalma meydana gelmektedir. (Sekmen, 2003).

6.10. Sıkıştırma Oranı-Soğutma Kayışları İlişkisi

Sıkıştırma oranı artışıyla, genişleme strokunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu artan termal verimden dolayı soğutma kayıpları azalmaktadır.

Şekilde sıkıştırma oranı ve ısı dağılımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Teorik olarak soğutma suyuna, egzoz gazlarına ve radyasyonla ısı kayıpları, sıkıştırma oranı artarken azalmaktadır. Soğutma suyu ve egzoza geçen ısı oranları 17:1 sıkıştırma oranında minimum seviyede olup daha sonra artmaya başlamaktadır. Sürtünmeye harcanan iş veya ısı kayıpları sıkıştırma oranı artışıyla lineer olarak artmaktadır. Güce dönüşen ısı miktarı öncelikle sıkıştırma oranı ve fren termal verimi arasındaki ilişki ile bağlantılıdır. Sıkıştırma oranı artışıyla egzoz gaz sıcaklığının düşmesi de yukarıdaki doğrulamaktadır.

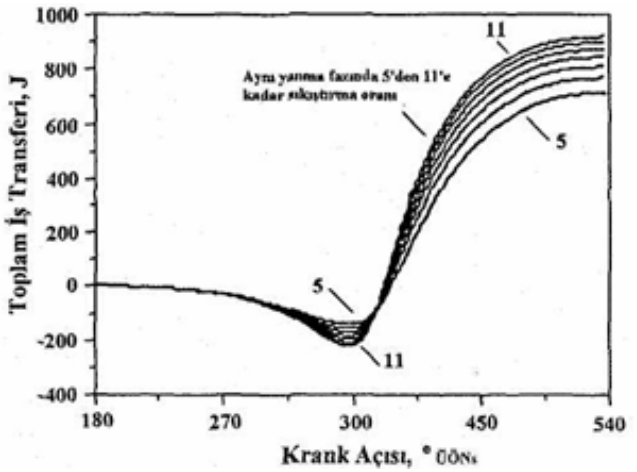


Şekil 6.12: Sıkıştırma Oranı ve Isı Dağılımı Arasındaki İlişki

6.11. Sıkıştırma Oranı ve Silindir Basıncı İlişkisi

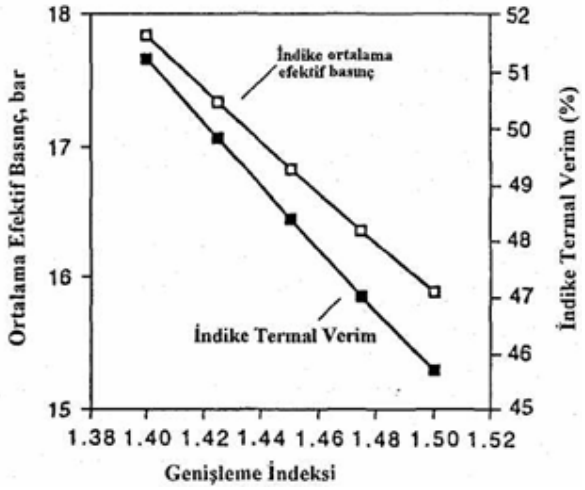
Şekil 6.13'de yanma işleminin modellenmesi ile 5:1-11:1 sıkıştırma oranı değerleri için basınç-hacim diyagramı görülmektedir. Artan sıkıştırma oranı ile silindir basıncında artışın meydana geldiği ve daha büyük kapalı alana sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.12). Daha yüksek sıkıştırma oranı ÜÖN'da daha kritik bir hacme sıkıştırma anlamına gelmekte ve sıkıştırma sonunda basınç ve sıcaklıkta yükselme meydana gelmektedir. Sonuç olarak, sıkıştırma oram iki katına

çıkarıldığında sıkıştırma basıncı yaklaşık olarak 119 katına çıkmıştır. Ayrıca, sıkıştırma oranı artarken hem sıkıştırmaya harcanan işte hem de faydalı işte artış meydana gelmektedir. Şekil 6.12'den de görüldüğü gibi faydalı işte sağlanan artış sıkıştırmaya harcanan ek işten daha fazla olduğundan sıkıştırma oranındaki artışla net işte de artış sağlanmaktadır (Blair, 1999).



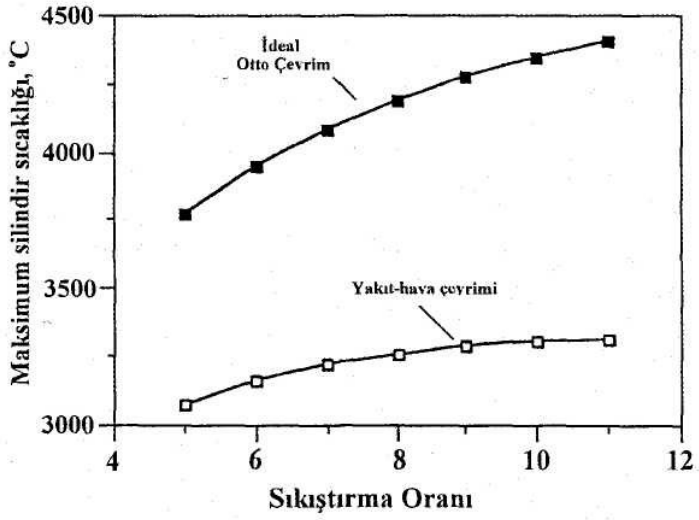
Şekil 6.13: Sıkıştırma Oranı ve Silindir Basıncı İlişkisi (Blair, 1999)

Teorik yakıt-hava çevriminde sıkıştırma oranı 10:1 iken sıkıştırma indeksi standart 1,4 değerinden 0,1 aralıklarla 1,1 'e kadar küçültülmüş., genişleme indeksi ise standart 1,4 değerinden 0,025 aralıklarla 1,5 değerine kadar artırılarak çalıştırılan simülasyon programında ortalama efektif basınç ve indike termal verime etkileri incelenmiştir. Sıkıştırma indeksindeki azalma ve genişleme indeksindeki artış indike termal verim ve ortalama efektif basıncı sırasıyla %6 ve %15 kötüleştirmiştir (şekil 6.14 ve 6.15).



Şekil 6.14: Sıkıştırma Oranı-Ortalama Efektif Basınç, İndike Termal Verim İlişkisi (Blair, 1999)

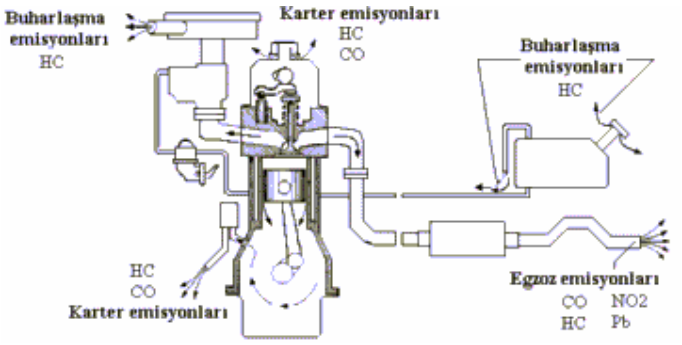
Şekil 6.14 ve 28'de ideal Otto çevrimi ve Otto yakıt-hava çevrimi için sıkıştırma oranına göre maksimum silindir basıncı ve sıcaklığının değişimi görülmektedir. Yakıt-hava çevrimi eğrisi ideal Otto çevrimi eğrisine göre daha düzdür ve maksimum silindir basınç ve sıcaklıkları daha düşüktür.



Şekil 6.15: Sıkıştırma Oranı ve Maksimum Silindir Basıncı Değişimi (Blair, 1999)

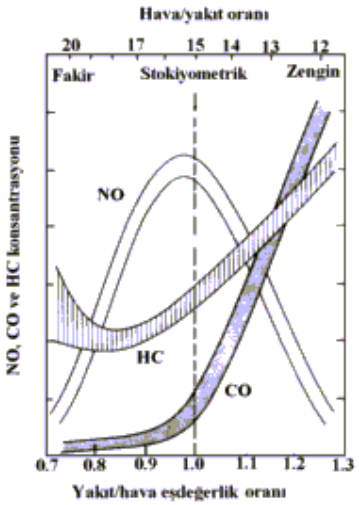
7. KİRLETİCİ EMİSYONLAR ve ETKİLERİ

Hava kirliliğinin önemli nedenlerinden biri olan motorlu taşıtların egzoz emisyonları; ağırlıklı olarak, azot oksitler (NOx), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonları (HC) içermektedir, Şekil 7.1. İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen hava kirliliği yakıtın yanması veya buharlaşması sonucu ortaya çıkar . Bu kirletici emisyonlar insan sağlığı, hayvanlar ve çevre açısından zararlı ve tehlikeli etkilere sahiptirler. (Sekmen vd, 2004)Hava hacimsel olarak yaklaşık %21 O_2 ve % 78N_2, %1 Argon (Ar), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve su buharı (H_2O) gibi çeşitli gazlardan oluşmaktadır. Atmosferin bileşimindeki küçük değişimlerin bile büyük iklimsel değişimlere yol açabileceği gerçeği hava kirliliğinin önemini ortaya koymaktadır. Atmosferdeki kirletici emisyonlardan CO_2`nin %93, HC`nin %57`si NOx`in %39 u SO_2`(Dizel) nin %1`i motorlu taşıt kaynaklıdır. Taşıtlar yasal olarak tespit edilmiş emisyon seviyeleri içinde çalışmakla zorunlu tutulmuşlar ve çoğu zaman düşük emisyonlar ile yakıt ekonomisi arasında bir uyuşma mevcut olmaktadır(Sunay, 2000).



Şekil 7.1: Motorlu Taşıttaki Kirletici Emisyon Noktaları (Sekmen vd, 2004)

Farklı motorlar arasında CO, NO_X ve HC emisyonları ateşleme zamanı, yük, hız ve belirli hava/yakıt oranı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Hava/yakıt oranına bağlı olarak meydana gelen tipik emisyon değişimleri Şekil 7.2`de görülmektedir.



Şekil 7.2: Yakıt-Hava Oranına Bağlı olarak Egzoz Emisyonlarının Değişimi (Sekmen vd, 2004)

7.1. HC Emisyonları

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1.5`ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorbsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır.

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır (Yıldırım vd, 1997).

Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir(Sürmen, 1997). Bu gibi durumlarda HC emisyonları otomobilden dışarı atılan yanmamış gazlardır ve;

- Subap bindirmesi esnasındaki gaz kaçakları,
- Silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması,

- Kötü yanma sonrasında yanmamış gazların mevcudiyeti,
- Tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi ve
- Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar vb sebeplerden kaynaklanır.
- Karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunamadığından HC emisyonları artacaktır. Karışım fakirleştikçe ise belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanamadan dışarı atılacak ve böylelikle de yine HC emisyonları artacaktır.

Motor freni ve hız kesme (yavaşlama) esnasında gaz kelebeği tamamen kapalı konumdadır ve relanti kanalından silindir içine bir miktar yakıt emildiği halde bunu yakacak yeterli hava giremez. Böylelikle düşük kompresyon ve zengin bir karışım meydana gelir. Düşük sıkıştırma ve yetersiz oksijen, eksik yanmaya sonuç olarak da HC emisyonlarının artmasına neden olur (Sürmen, 1997).

7.2. CO Emisyonları

Karbon monoksit, yakıt içindeki karbon tamamen yanmadığında oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık % 60`ını, şehirlerde % 95 kadarına karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek CO konsantrasyonları ile sonuçlanabilmektedir. CO emisyonlarının diğer kaynakları ise endüstri prosesleri ile kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılan yakıtlar teşkil etmektedir (Epa).

CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO_2 şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiyometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak

amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir.

Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıta ihtiyaç duymasından ve O_2 sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

CO, kana geçerek vücudun organ ve dokularına O_2 dağıtımını azaltır. CO`e maruz kalmak hasta bireylerin yanı sıra sağlıklı bireyleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Yükseltilmiş CO seviyelerindeki is, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir**.** EPA`nın halk sağlığı standardına göre hava kalitesi, günün ikinci 8 saatlik zaman dilimi boyunca yapılan ölçümler için max ortalama CO konsantrasyonu milyonda 9`un üstüne çıkmamalıdır (Epa).

7.3. NO_X Emisyonları

NO_X, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_X, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C ye yükseldiğinde azot (N_2) ve oksijen (O_2) nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C`nin üstüne yükselmez ise, N_2 ve O_2, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO_2, N_2O, N_2O_3 vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden "Azot oksitler" denir ve NOx olarak ifade edilir. NO_2 renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO_2 partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda NO_2/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin göz ardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) azot (N_2) `dir. NO`nun atmosferik azotu parçalamasından

$$N_2+O \rightarrow NO+N \quad (7.1)$$

$$N+O_2 \rightarrow NO+O \quad (7.2)$$

$$N+OH \rightarrow NO+H \quad (7.3)$$

şeklinde denge reaksiyonları sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır. Egzoz gazları içindeki NOx gazlarının % 95`i NO (azotoksit) `tir.

$$N_2 + O_{2\,(ISI)} \rightarrow 2NO \qquad (7.3)$$

NO atmosferdeki oksijen ile birleşerek NO_2 meydana getirir.

$$2NO + O_{2\,(ISI)} \rightarrow 2NO_2 \qquad (7.3)$$

NOx emisyonlarını azaltmak için; hem yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C`ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NOx konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır. Ateşleme zamanına avans veya rötar verilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiğinden NOx konsantrasyonu da değişir. Teorik hava-yakıt oranı için NOx konsantrasyonu ateşleme zamanına avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artmaya başlar (Sekmen vd, 2004).

Yanma esnasında alev cephesi silindir içerisinde ilerlerken NO`nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme kursu süresince yanmış gazlar soğurken, NO`nun ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarındaki denge durumunda olması gerekenden daha yüksek konsantrasyonda NO oluşumu söz konusudur.

EPA`ya göre hava kirliliğine sebep olan 6 temel kirleticiden (CO, Pb, $NO_X$, partikül madde, $SO_2$ ve kararsız organik bileşikler) $NO_X$ hariç diğerleri 1970`deki Temiz Hava Yasası`ndan bu yana önemli derecede azalmıştır. $NO_X$`in bu periyottaki artış oranı % 10`dur.. $NO_x$ ve $NO_x$ den oluşan kirleticiler sadece yayıldığı alanla sınırlı kalmayıp rüzgarla uzun mesafelere taşınabilirler. Bundan dolayı $NO_x$`in kontrolü lokal alanlardaki kaynaklar üzerinde odaklanmaktan daha çok bölgesel olarak bir şeyler yapıldığında daha etkilidir. NO_x, ciddi solunum problemleri başlatabilmekte, yer seviyesindeki ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partikülleri görülebilirliği azalması, toksit kimyasalların oluşumuna etkir ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır(Sekmen vd, 2004).

8. MOTOR PERFORMANSI ve EGZOZ EMİSYONU TESTLERİ İÇİN AVRUPA BİRLİĞİ STANDARTLARI

8.1. Motor Performansı Deneyleri için Avrupa Birliği Standartları

Üye ülkelerin motorlu taşıtların motor güçlerine ilişkin yaklaşım kanunları ilk 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 %± 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 = ± 1mbar 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 %± 1 sapabilir.

- Efektif Motor Gücünün Ölçüm Testleri

Tablo 8.1 : Efektif Motor Gücünün Tespiti İçin Yapılan Testlerde Bulunması Gereken Donanımlar(Doğru, 2007)

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
	Önfiltre
	Filtre
	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(Doğru, 2007).

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

h.) Termostat tam açık pozisyonda tutulmalıdır.

i.) Jeneratör 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 resirkülayonu, katalitik dönüştürücüler ve termal reaktörler) kullanılabilir.

- Dizel motorun çalıştırılması için gerekli yardımcı donanımlar

a.) Motorun çalışma şartlarına uygun jeneratör, akü vb. yardımcı donanımlar seçilmelidir.

b.) Motorun çalıştırılmasında zorunlu olarak kullanılan ekipmanlar hariç aküye bağlanan diğer cihazların bağlantısı kesilmelidir.

- Düzenek Kurulum Koşulları

Motorun efektif gücünü tespit eden testler için gerekli kurulum koşulları Tablo 8.2'te gösterilmiştir.

Tablo 8.2: Testler İçin Gerekli Kurulum Koşulları(Doğru, 2007)

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 belirginleşmesi 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(Doğru, 2007).

- Test prosedürü

Motoru üreten firmanın da tavsiyelerine bağlı olarak belirlenen min. ve max. motor devir sayılarında yeterli sayıda ölçüm noktasında test gerçekleştirilir. Bu devir sayılarının içinde max. 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.

$$P_o = P \times \alpha \quad (8.1)$$

$$M_{mo} = M_m \times \alpha \quad (8.2)$$

$$b_{eo} = b_e / \alpha \quad (8.3)$$

$$\eta_{to} = \eta_t \times \alpha \quad (8.4)$$

$P_o \rightarrow$ İndirgenmiş motor gücü

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

$P \rightarrow$ Ölçülen motor gücü

- Referans atmosferik koşullar

a.) Referans atmosferik sıcaklık : $T_o = 25°C = 298K$

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

- Atmosferik deney koşulları

Deneyler sırasında atmosfer koşulları şöyle olmalıdır:

a.) Deney ortam sıcaklığı

Benzinli motorlar için : $15°C \leq T \leq 35°C$

Dizel motorlar için : $10°C \leq T \leq 40°C$

b.) Deney ortamı kuru hava basıncı : 0,8 bar ≤ P_s≤ 1,1 bar

- Düzeltme faktörlerinin tespiti (α_a, α_d)

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

$$\alpha_a = (99/ P_s)^{1,2} \times (T/298)^{0,6} \quad (8.5)$$

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)

$$\alpha_d = (f_a)^{fm} \quad (8.6)$$

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:

$$f_a = (99/ P_s) \times (T/298)^{0,7} \quad (8.7)$$

Ara soğutuculu ya da ara soğutucusuz turboşarjlı motorlarda:

$$f_a = (99/ P_s)^{0,7} \times (T/298)^{1,5} \quad (8.8)$$

2. Motor faktörü

$$f_m = 0,036 \times q_c - 1,14 \quad (8.9)$$

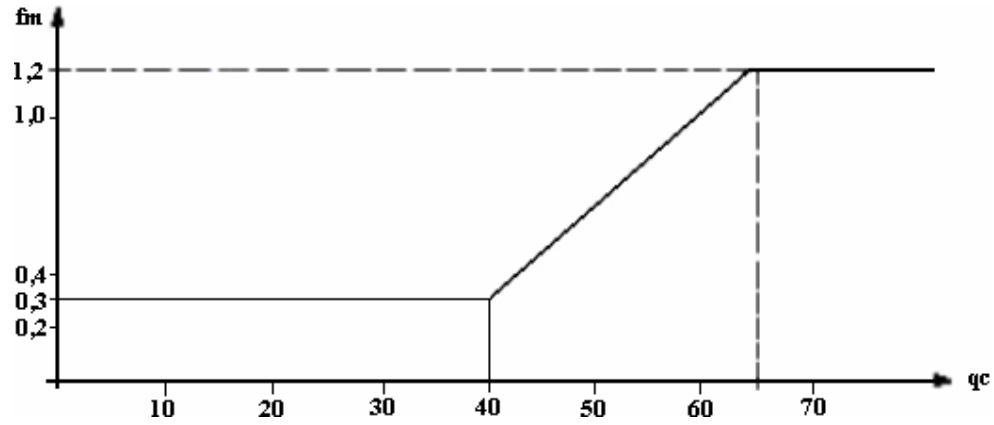
$$q_c = q/r \quad (8.10)$$

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

r → 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 4.11'de yer almaktadır.



Şekil 8.1 : Motor Faktörünün Belirlenmesi

8.2. Egzoz Emisyon Ölçüm Deneyleri için Avrupa Birliği Standartları (72/306 EEC'e göre)

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(Doğru, 2007).

- Tanımlamalar ve Kısaltmalar

1. Test çevrimleri :

1.a. ESC testi (Devamlı hal)

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

2. Gaz kirleticiler : CO, HC, NO_X, CH_4 (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 (Ne = Ni – Ns) (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: Max. gücün oluştuğu devrin %50'si kadar devir sayısı. (Max. güçten önce)
- Yüksek Hız: Max. gücün oluştuğu devrin %70'i kadar devir sayısı. (Max. 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)
    - 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.

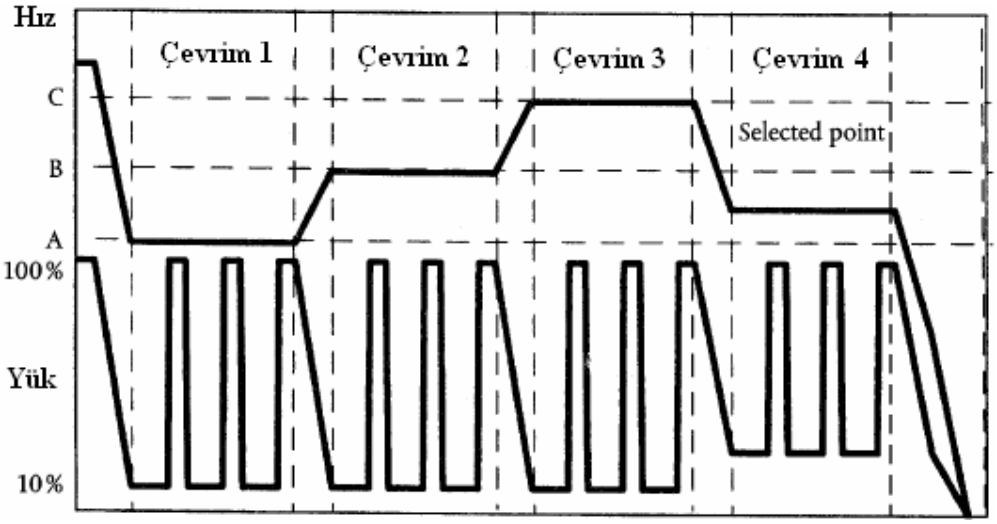
– ETC testi: Saniye saniye gelen kısa zamanlı modları içerir.

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 8.2: 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. NOx, HC, CO ve CO_2 konsantrasyonları analizör sinyalinden sonra belirlenir. Partikül maddeleri için yüzdesel bir örnek, uygun filtrelerde toplanır. Her bir kirleticinin kWh başına gram cinsinden değeri hesaplanır.

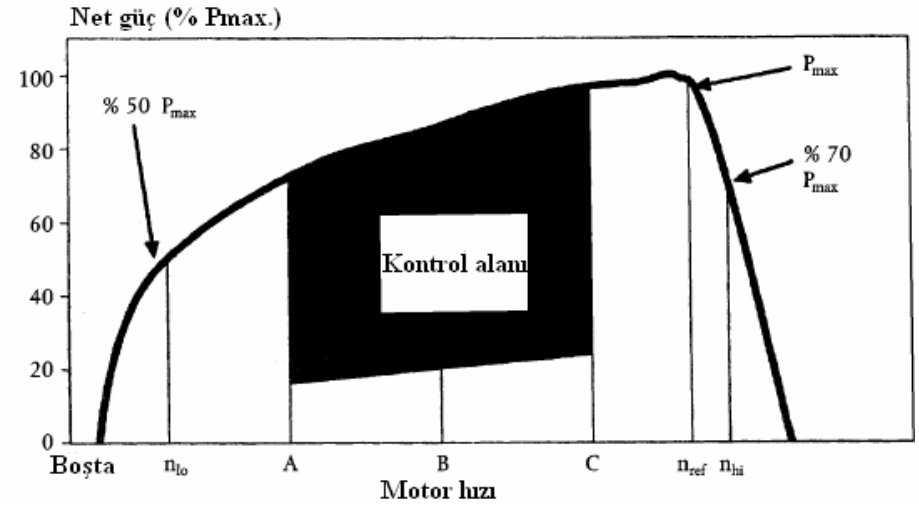
- Test Koşulları : (80/1269/EEC standardında belirtilen)

- Motor hava emiş sistemi: Emme havasının basıncı, motorun max. güç ve tam yükte çalışırken ulaştığı üst limite göre ±100 Pa değişim gösterebilir.
- Egzoz sitemi: Egzoz borusu basıncı, max. 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°C = 306 K ‘den düşük olmamalıdır. Özel olarak belirtilmemişse bu sıcaklık yakıt besleme pompasının girişinde 311 K ± 5 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

A, B ve C motor devirleri üretici firmanın verdiği tam yüklü poziyondaki max. güç değerine göre belirlenir.



Şekil 8.3: ESC ve ELR Test Çevrimleri(Doğru, 2007)

Tablo 8.3: 13 Nokta Mod Sistemi(Doğru, 2007)

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

En düşük devir sayısı: Max. gücün oluştuğu devir sayısının %50 ‘si

En yüksek devir sayısı: Max. gücün oluştuğu devir sayısının %70 ‘si olmalıdır.

HIZ A: Düşük hız + 0,25 × (Yüksek hız – Düşük hız)

HIZ B Düşük hız + 0,50 × (Yüksek hız – Düşük hız)

HIZ C: Düşük hız + 0,75 × (Yüksek hız – Düşük hız)

Tablo 8.3’te ESC testleri için geçerli olan 13 nokta mod sistemi görülmektedir.

- Ölçüm Şartları:

- Deneyler 1000 metreyi geçmeyen ya da atmosferik basıncın 90 kPa = 0,9 bar’ın altına düşmediği bir ortamda yapılmalıdır.

- Ortam sıcaklığı 10-30°C arasında olmalıdır.

- Motorun soğutma suyu sıcaklığı 70-95°C arasında olmalıdır.

- ESC ve ELR testleri için dizel motor bir elektronik yakıt püskürtme sistemine, EGR sistemine ve katalitik dönüştürücüye uygun olmalıdır.

- ETC testi için ise NOX katalizörü ve partikül kapanları olmalıdır.

- İs borusu egzoz borusunun tam ortasından akışa ters olarak kıvrılacaktır.

- NOX ve HC boruları egzoz borusunun içinde çapın en az %80’i kadar ilerleyip akışa dik vaziyette duracaktır.

- Ana borunun boyu, ana boru çapının 10 katı olacaktır.

- İs borusunun kıvrılmış ucu motor tarafından itibaren ana borunun 0,6×D uzağına yerleştirilecektir.

- Numunelerin alınacağı kısım egzoz borusuna mümkün olduğunca yakın tutulmalıdır.

- A_1 is ve gaz borularının kesit alanı ve A_2 ise ana(egzoz) borunun kesit alanı olmak üzere;

$$\frac{A1}{A2} > 0{,}05$$

olmalıdır. Bu durum mevcut egzoz borusunun 100 mm. ve mevcut is ve gaz borularının ise 10 mm. olmasından dolayı bu oranı 0,01’e düşürmektedir. Bu problemi çözmek için iki sistem düşünüldü.

1– Tek kanallı ve büyük çaplı sistem:

- Ana borunun çapı 100 mm. ve gaz borularının çapı 24 mm.

Ancak bu sistem 24 mm.'lik çapın cihazlara girişte sorun yaratacağından tercih edilmedi.

2– Çift kanallı ve küçük çaplı sistem:

- Egzoz borusunda gelen 100 mm.'lik çap bir ön baca vasıtasıyla 45 mm' lik çapta iki ayrı ana boruya ayrılmaktadır. Böylece cihazlar için uygun olan 10 mm' lik gaz borusu çapları sağlanmış oldu. Bu yapı aynı zamanda üstteki oran şartını da karşılamaktadır.

Kullanacağımız bu 2.bacalı sisteme göre iki 2 kanal mevcuttur.

- 1.Kanal: İs taşır. İs doğrudan is ölçme cihazına girer.

- 2.Kanal: Üzerinde iki ayrı giriş açılmıştır. Birinci giriş HC, ikinci giriş ise NOx ve CO taşır. HC gazı ilk olarak yoğuşturucuya sonra kızdırıcısına ve son olarak da ölçme cihazına girer. NOx ve CO gazları ise yoğuşturucuya ve sonra da cihazına girer (Doğru, 2007).

9. DENEY DÜZENEĞİ

Bu deneyin yapılmasında tek silindirli bir test motoru olan ASTM – CFR motoru sabit motor devrinde (900 d/d) ve yüksüz olarak çalıştırılacaktır. İlk olarak motor %100 Euro – dizel yakıtı ile çalıştırılacak ve referans değerler elde edilecektir. Hacimsel olarak %5, %10, %15 oranlarında etanol katkılı Eurodizel yakıtı 14.8:1, 16:1, 17.4:1, 19:1 ve 21:1 sıkıştırma oranlarında denenecektir.

Motordan sensörler yardımı ile alınan veriler Labview adı verilen bir programda toplanacaktır.



Şekil 9.1: Deney Düzeneği

9.1 ASTM – CFR Deney Motoru

ASTM-CFR deney motorunun özellikleri:

- Motor Hızı: 900 ± 9 ° KMA
- Silindir Hacmi: 0,611 lt
- Püskürtme Avansı: 13 ° KMA

Enjektör Tipi: BOSCH, ADN-308-3/1 Enjektör Açılma Basıncı: 1500 ± 50 psi

Enjektör İğnesi Hareketi: 0.005 ± 0.001 in

Enjektör Su Ceketi Sıcaklığı: 38 ± 3 ° C

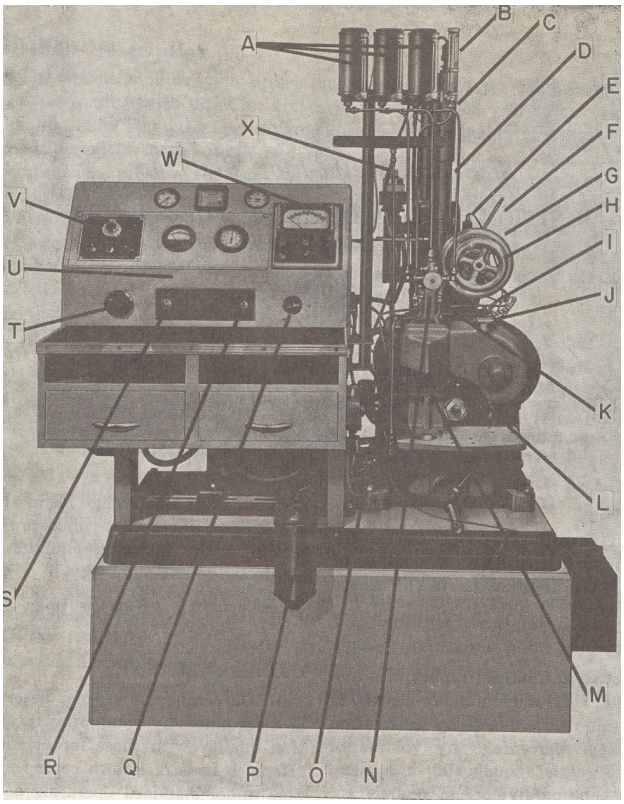
Valf Açıklığı: 0.008 ± 0.001 in

Yağ Basıncı: 25-30 psi

Yağ Sıcaklığı: 57 ± 8 ° C

Soğutucu Sıcaklığı: 100 ± 2 ° C

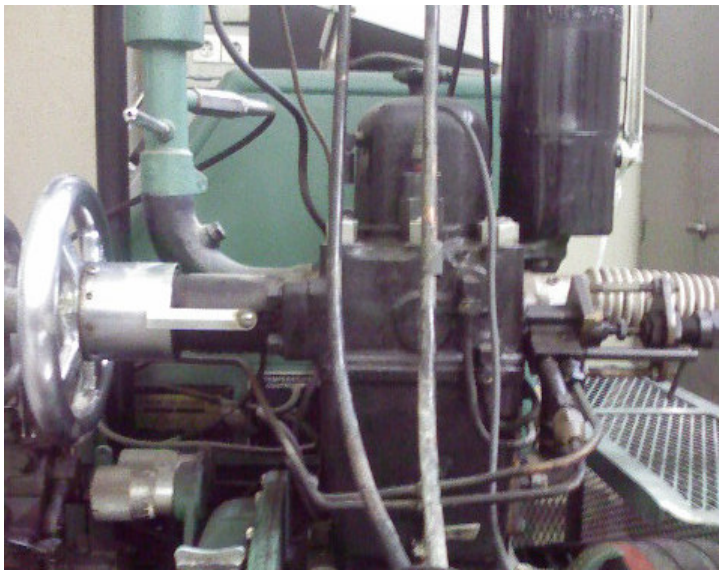
Emme Havası Sıcaklığı: 66 ± 1 ° C



Şekil 9.2: ASTM-CFR Deney Motoru ve Elemanları

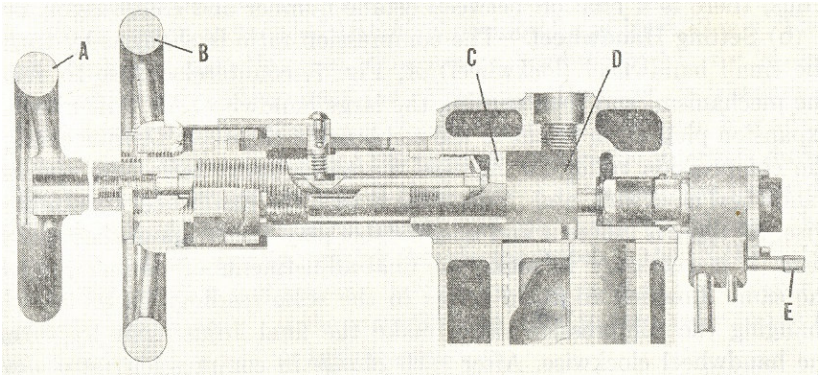
A- Yakıt Tankı
B- Buret
C- Hava Isıtıcısı
D- Susturucu
E- Combustion Pickup- Basınç Sensörü
F- Enjektör Suyu Termometresi
G- S.O. Ayarlama Kolu
H- S.O. Ayarlama Kolu Kilidi

I- Yağ Kabı
K- Yakıt Akıtma Valfi
L- Yakıt Pompası Güvenlik Selenoidi
M- Yakıt Püskürtme Pompası
N- Yakıt Seçme Valfi
O- Yağ Basıncı Regülatörü
P- Yağ Filtresi
Q- Yağ Isıtıcı Kumandası
R- Hava Isıtıcı Düğmesi
S- Motor Çalıştırma Düğmesi
T- Air Isıtıcısı Kumandası
U- Kumanda Paneli
V- Sıcaklık Kumandası
W- Ateşleme Gecikmesi Ölçme Aygıtı



Şekil 9.3: Deney Motoru

9.2. Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması



Şekil 9.4: Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması ve Elemanları

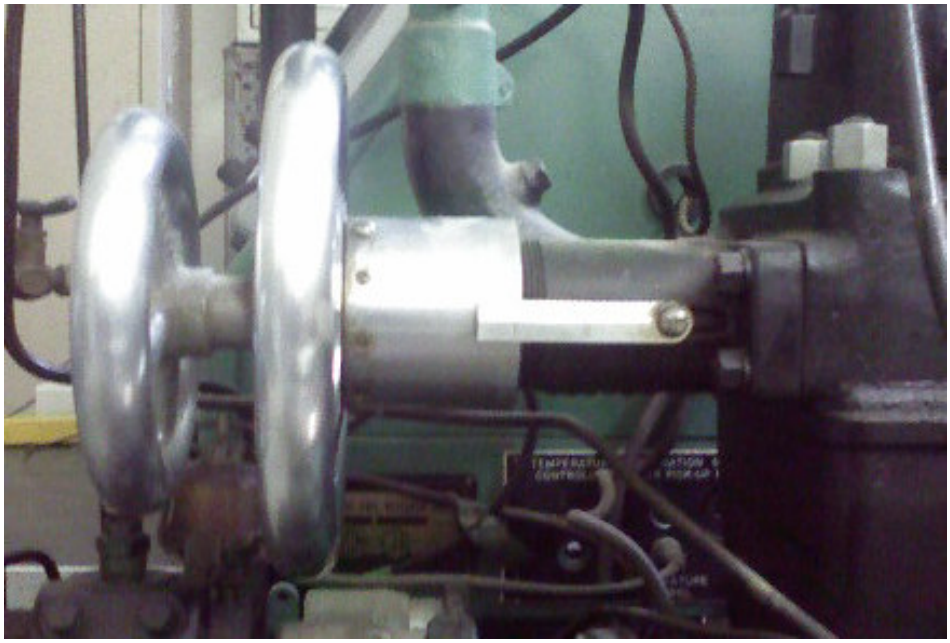
A- Kilit Kolu

B- Sıkıştırma Oranı Ayarlama Kolu

C- Genişleme Pistonu

D- Yanma Odası

E- Yakıt Geri Dönüş Valfi



Şekil 9.5: Sıkıştırma Oranı Ayarlama Mekanizması

9.3. Egzoz Emisyonu Ölçüm Cihazı

Egzoz emisyonları Horiba marka emisyon ölçme cihazları kullanılmıştır.(Şekil 9.6) HC emisyonlarının testi için kızdırıcılı hatlı bir cihaz kullanılmakta, bu cihazda numuneler ölçüm cihazına girmeden önce bir kızdırıcıdan geçerek kurutulmakta ve nemi alınmaktadır.



Şekil 9.6: Kızdırıcılı Hatlı HC Analizörü



Şekil 9.7: NOx, CO ve CO_2 Analizörleri

İs ölçümü için Bosch marka bir ölçüm cihazı kullanılmıştır.(Şekil 9.8)



Şekil 9.8: İs Ölçüm Cihazı

9.3. LabVIEW Yazılımı

LabVIEW, Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench'in kısaltılmışıdır. LabVIEW, güçlü ve esnek enstrümantasyon ve yazılım analiz sistemi olarak PC'lerde Microsoft Windows, Apple Macintoshes, Sun SPARCstations, HP 9000 / 700 serisi iş istasyonlarında ve HP–UX'de çalışır. Yaygın olarak, LabVIEW Student Edition sadece Macintoshes ve bilgisayarların Windows'larında çalışır.

LabVIEW bir program geliştirme uygulamasıdır, birçok ticari C veya BASIC'e benzer bir geliştirme sistemidir. Bununla birlikte, LabVIEW bir bakıma bu uygulamalardan önemli bir yönden farklıdır. Diğer programlama sistemleri kodun hatlarını yaratırken metin tabanlı bir dil kullanırken, LabVIEW blok diyagram olarak adlandırılan bir akış diyagram formunda birçok sözdizimsel detayı eleyen programları yaratırken G grafiksel programlama dilini kullanır. Aşağıdaki şekilde basit bir LabVIEW grafik kodu ve onun yanında da kullanıcı ara yüzü şekli görülmektedir.

LabVIEW terminolojiyi, ikonları ve bilim adamları ile mühendislerin bilinen bazı fikirlerini kullanır. LabVIEW programlama hareketlerini tanımlamada metin diline göre daha çok grafik sembollerine güvenir. Eğer az veya hiç programlama tecrübeniz yoksa bile LabVIEW'i öğrenebilirsiniz, fakat programlamanın önemli bazı bilgilerini bilmelisiniz. Eğer programlamada yeni işaretleri veya bazı şeyleri unuttuysanız,

güzel bir programlamaya başlangıç kılavuzu ile bazı temel kavramları tekrarlayabilirsiniz.

LabVIEW çalışmaları, hayatınızı yapabildiği kadar kolaylaştırmayı dener. O, bazı programlama görevleriyle size yardım etmek için geniş fonksiyon ve alt rutin kütüphanelerine sahiptir. LabVIEW veri toplama için de uygulamaya özgü kütüphaneler, GPIB ve seri enstrüman kontrolü, veri analizi, veri tanıtımı ve veri depolamayı içerir. Öğrenci sürümü kütüphane analizi sinyal üretimi için fonksiyonların bir topluluğunu, sinyal işlenmesini, filtreleri, pencereleri, istatistikleri, gerilemeyi, lineer cebiri ve matris hesaplamasını içerir.

LabVIEW geleneksel program geliştirme araçlarıyla kırılma noktalarını ayarlayabilmeyi, program içinde tek adımda çalışmayı ve veri akışını gözleyebildiğiniz uygulama canlandırmasını içerir.

LabVIEW'in grafiksel doğasından dolayı doğal bir veri gösterme paketidir. Çıkış sizin istediğiniz herhangi bir formda gözükür. Haritalar, grafikler ve kullanıcı tanımlı grafikler çıkış seçeneklerinin sadece bir bölümünü kapsar. Bu metin size formdaki verilerin ne kadarının mevcut olduğunu gösterecektir.

Onun toplamasıyla, analiz ve sunum araçları, LabVIEW'de fonksiyonel olarak tamamlanır. Geleneksel bir programlama dilinde herhangi bir hesaplama yapmak mümkündür, LabVIEW sanal enstrüman yaklaşımını kullanarak bunu mümkün kılar.

10. SONUÇLAR

Yapılan çalışmanın amacı; bir dizel motorda yenilenebilir alternatif yakıt olarak kullanılabilen etanolün dizel yakıt ile farklı oranlarda kullanılması durumlarında, farklı sıkıştırma oranlarında performans ve egzoz emisyonlarının ne gibi değişimlere uğradığının belirlenmesidir.

Bu karakteristiklerinin bulunmasında test motoru olan ASTM – CFR motoru sabit motor devrinde (900 d/d) ve sabit püskürtme avansında (Üst ölü noktadan önce 13 º KMA) çalıştırılmıştır.

İlk olarak motor %100 Euro – dizel yakıtı ile çalıştırılmış ve referans değerler elde edilmiştir.

Hacimsel olarak %5, %10, %15 oranlarında etanol katkılı eurodizel yakıtı 14.85:1, 16:1, 17.48:1, 19:1 ve 21:1 sıkıştırma oranlarında denenmiştir.

Bulunan sonuçlarla referans dizel yakıt ile elde edilmiş referans değerleri karşılaştırılmış ve söz konusu alternatif yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri ortaya konmuştur.

10.1. Performans Analizi

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.

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında yakıt-hava karışımın sıkıştırma sonu sıcaklığını arttıracağından motorun ısıl veriminin artmasını sağlar. Isıl verimin artması ise yakıtın ısı enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüşmesi

anlamına gelir. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketimi azalmakta ve maksimum çıkış gücünde artmaktadır.

Dizel yakıtına göre etanolün yoğunluğu daha az oluğundan karışım içerisindeki etanol miktarı arttırıldıkça karışımın yoğunluğu da azalmaktadır. Dizel motorları üzerinde bulunan enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak yakıt enjeksiyonu yaptıklarından dolayı kullanılan yakıtların yoğunlukları ve viskozitelerindeki değişimler motor için gerekli olacak yakıtın kütle transferi ve ölçme işlemlerini etkilemektedir. Motorda farklı yakıtlar yada yakıt karışımları kullanıldığında, optimum durumu yakalamak için hacimsel olarak daha fazla yakıt enjeksiyonu gerekli olmaktadır. Böylece yoğunluk, yakıtın özgül enerjisini de belirlediği için motor performansıyla doğrudan ilişkilidir. Etanol dizel yakıtı karışımları motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıldığında, etanolün düşük enerji miktarına göre aracın km başına yakıt tüketiminde bir miktar artma ve motorun maksimum gücünde azalma yaşanacaktır.

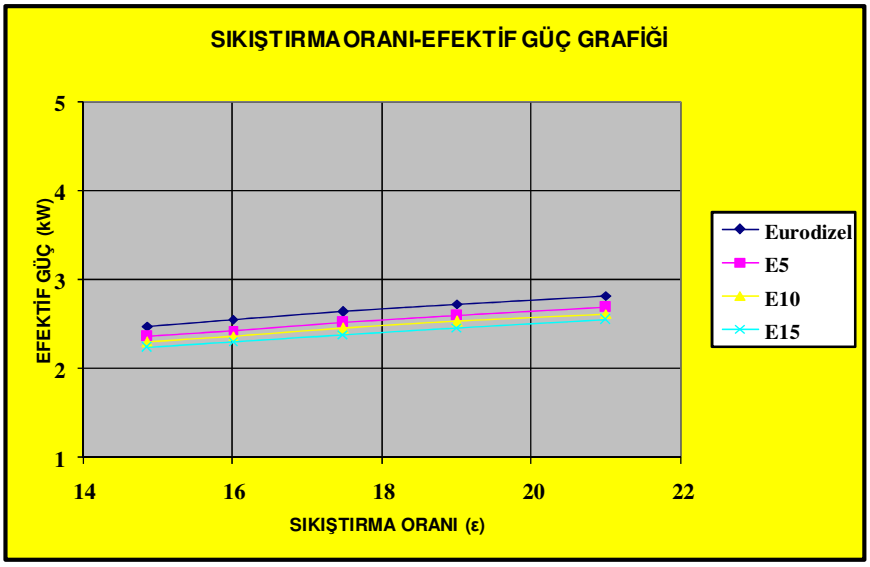
Etanolün ısıl değeri (hacimsel) dizel yakıtına göre ortalama %35-45 kadar daha düşüktür ve etanol-dizel yakıtı karışımının ısıl değeri her %5 etanol eklendiğinde ortalama olarak %2-4 azalmaktadır(Robert vd, 2001).Karışım içindeki etanol yüzdesi arttıkça karışımının ısıl değeri düşecek ve yapılan deneylerde basınç grafiklerinde azalma görülecektir.

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisine püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan Sayısı yüksek olduğundan tutuşma gecikmesini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır. Etanolün setan sayısı eurodizel yakıta göre düşük olduğundan, karışım içindeki etanol miktarı arttıkça, karışımın setan sayısı değeri azalacak. Bu durum tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır.

10.1.1. Efektif Güç

Sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum da tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Böylece maksimum basınç daha erken ve daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. P-α grafiğinden de görüldüğü gibi sıkıştırma oranının artışı ile eğrinin altında kalan ve motor gücüyle orantılı olan faydalı iş artmaktadır.

Etanolün alt ısıl değeri ve setan sayısının düşük olmasından dolayı eurodizel yakıta göre tüm etanol karışımlarının setan sayısı ve karışım alt ısıl değeri düşeceğinden motor gücü değerleri daha düşük olmaktadır. Karışım içindeki etanol oranı hacimsel olarak arttığı sürece motor gücünün gitgide azaldığı görülmektedir. Çünkü setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesi süresinin artışına ve bu durum da kontrollü yanma için yeterli zaman kalmamasına neden olacağından göreceli olarak daha kötü bir yanma meydana gelir. Karışım alt ısıl değerinin düşük olması ise yakıtın kimyasal enerjisini azalttığından motor gücünü düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 10.1: Sıkıştırma Oranı-Efektif Güç Grafiği

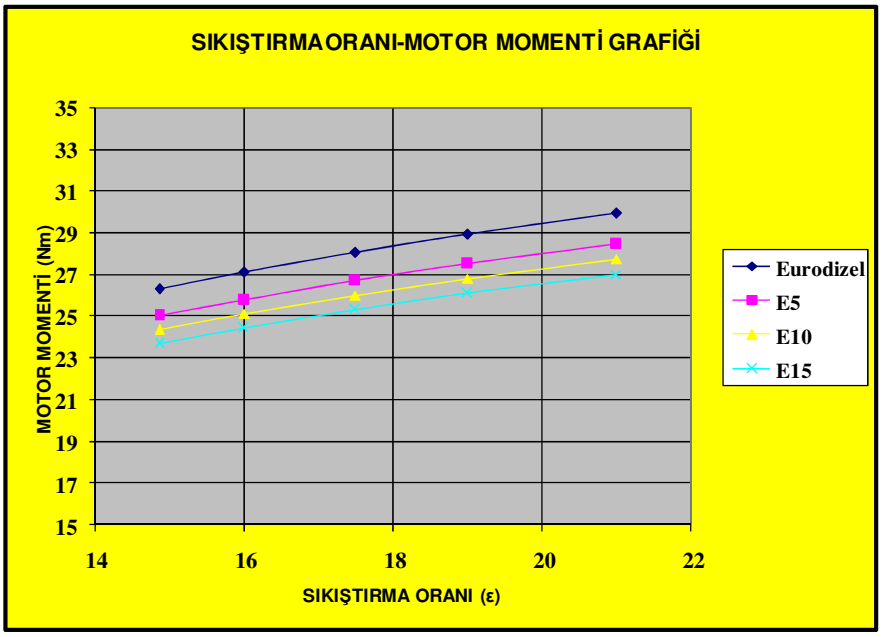
Tablo 10.1: Efektif Güç Değerleri

	euro	e5	e10	e15	ε
Ne (kW)	2,48	2,35	2,29	2,23	14,9
Ne (kW)	2,55	2,43	2,36	2,3	16
Ne (kW)	2,64	2,51	2,45	2,38	17,5
Ne (kW)	2,72	2,59	2,52	2,46	19
Ne (kW)	2,82	2,68	2,61	2,54	21

10.1.2. Motor Momenti

Etanollü karışımların alt ısıl değeri ve setan sayısının düşük olmasından dolayı referans dizel yakıta göre tüm etanol karışımlarının motor momenti değerleri daha düşük olmaktadır.

Ayrıca yapılan deneylerde sıkıştırma oranının artması ile motor gücü değerleri arttığından motor momenti değerlerinin de arttığı görülmüştür.



Şekil 10.2: Sıkıştırma Oranı-Motor Momenti Grafiği

Tablo 10.2: Motor Momenti Değerleri

	euro	e5	e10	e15	ε
Mm (Nm)	26,28	24,99	24,34	23,68	14,85
Mm (Nm)	27,09	25,77	25,1	24,42	16
Mm (Nm)	28,03	26,67	25,98	25,28	17,48
Mm (Nm)	28,9	27,5	26,79	26,07	19
Mm (Nm)	29,91	28,46	27,73	27	21

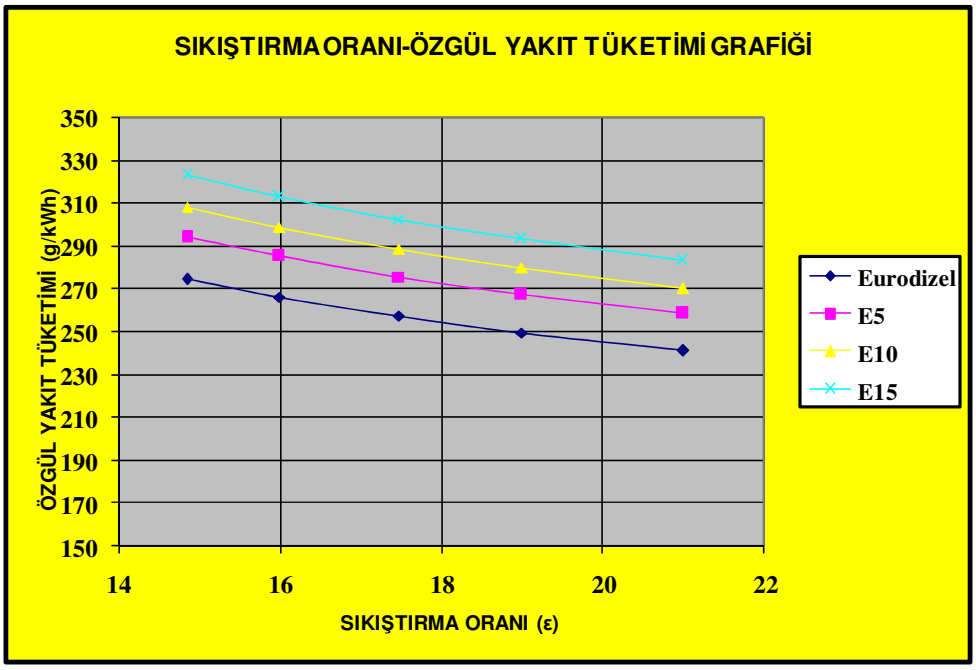
10.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri referans eurodizel yakıtın değerlerinden yüksek çıktığı görülmüştür.

Referans dizel yakıt ile karşılaştırılsa; etanol katkılı dizel yakıtlarla yapılan deneylerde aynı miktar enerji elde etmek için daha fazla yakıta ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Çünkü karışımlardaki etanolün alt ısıl değerinin düşük olması, karışımın alt ısıl değerini düşürmektedir

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında yakıt-hava karışımın sıkıştırma sonu sıcaklığını ve sonrasında yanma sonu sıcaklığını arttıracağından motorun ısıl

veriminin artmasını sağlamıştır. Isıl verimin artması ise yakıtın kimyasal enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüşmesi anlamına gelir. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 10.3: Sıkıştırma Oranı-Özgül Yakıt Tüketimi Grafiği

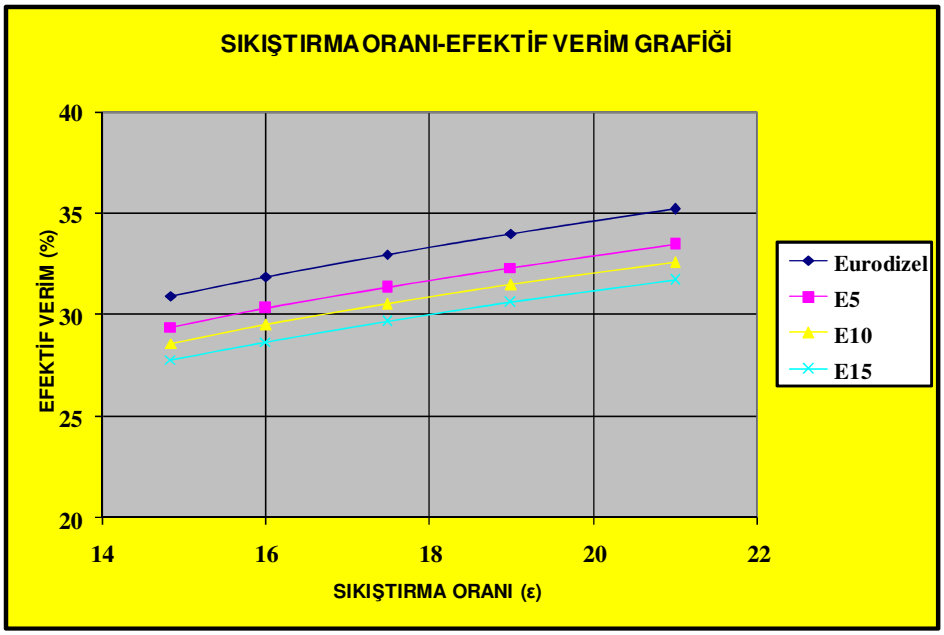
Tablo 10.3: Özgül Yakıt Tüketimi Değerleri

	euro	e5	e10	e15	ε
be (g/kWh)	274,38	294,02	307,92	322,71	14,85
be (g/kWh)	266,16	285,18	298,58	312,86	16
be (g/kWh)	257,25	275,55	288,46	302,22	17,48
be (g/kWh)	249,5	267,26	279,75	293,05	19
be (g/kWh)	241,13	258,23	270,26	283,03	21

10.1.4. Efektif Verim

Etanol karışımlarında hacimsel olarak etanol yüzdesi arttıkça özgül yakıt tüketimi değerlerinin artması nedeniyle efektif verim değerleri daha düşük çıktığı görülmüştür.

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma sonu sıcaklığını arttıracağından motorun efektif veriminin de artmasını sağlamaktadır. Yapılan deneylerde sıkıştırma oranı arttıkça motorun efektif veriminin arttığı görülmüştür.



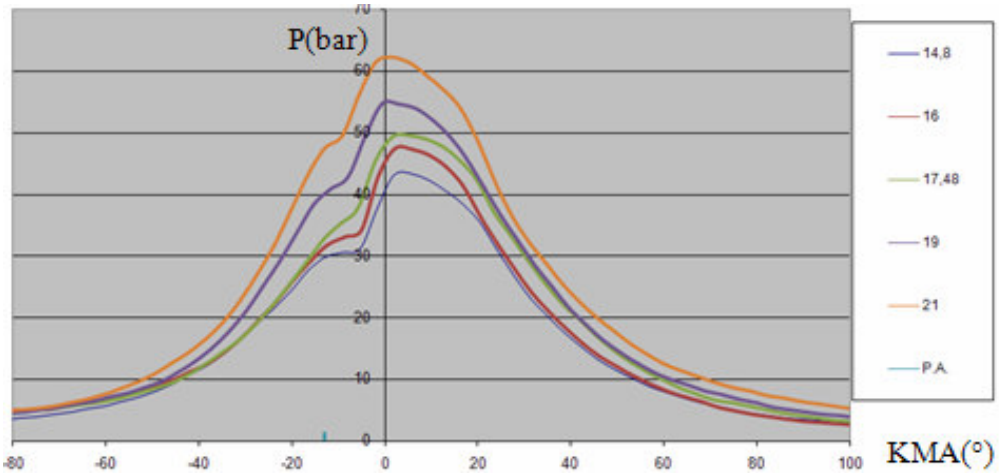
Şekil 10.4: Sıkıştırma Oranı-Efektif Verim Grafiği

Tablo 10.4: Efektif Verim Değerleri

	euro	e5	e10	e15	ε
ηe %	30,92	29,38	28,58	27,78	14,85
ηe %	31,87	30,29	29,48	28,66	16
ηe %	32,98	31,35	30,51	29,67	17,48
ηe %	34	32,32	31,46	30,59	19
ηe %	35,18	33,45	32,56	31,68	21

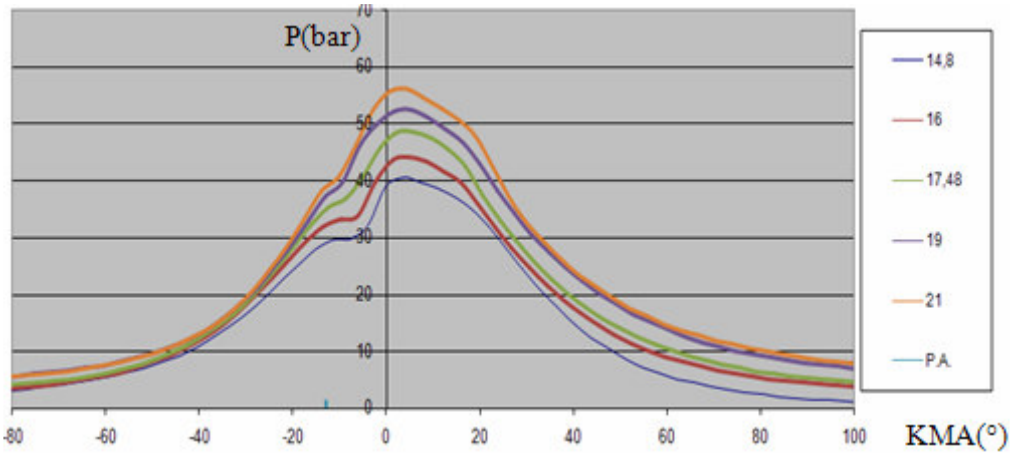
Aşağıdaki grafiklerde, eurodizel ve %5-%10-%15 etanol katkılı eurodizel yakıtla 14,85-16-17,4-19-21 sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerde ki basınç değişimleri görülmektedir. Yapılan deneylerde motorun sıkıştırma oranı arttırıldıkça elde edilen basınç değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Fakat karışım içindeki etanol yüzdesi arttıkça, yukarıda bahsedilen sebeplerden kaynaklanması mümkün, basınç değerlerinin artışında azalma görülmektedir.

Referans eurodizel yakıtla farklı sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerdeki basınç değişim grafiği. (Püskürtme Avansı (P.A.) : 13 °KMA)



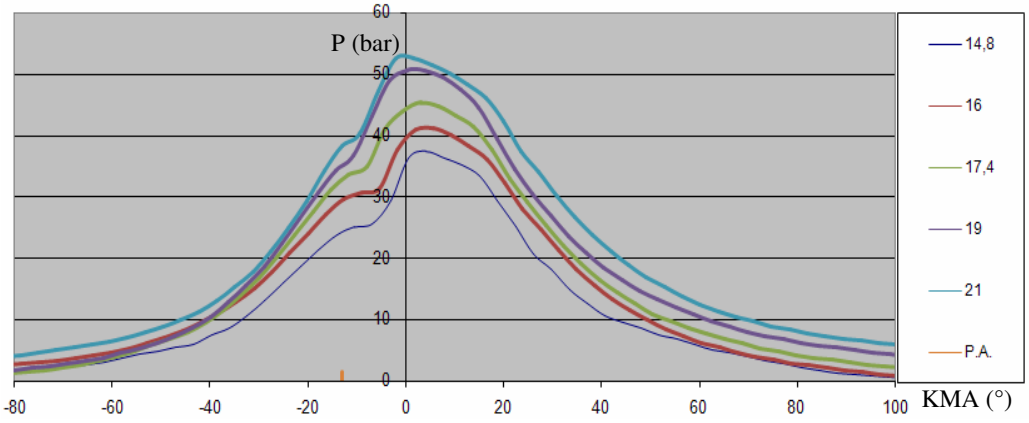
Şekil 10.5: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Eurodizel)

%5 etanol katkılı eurodizel yakıtla farklı sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerdeki basınç değişim grafiği. (Püskürtme Avansı (P.A.) : 13 °KMA)



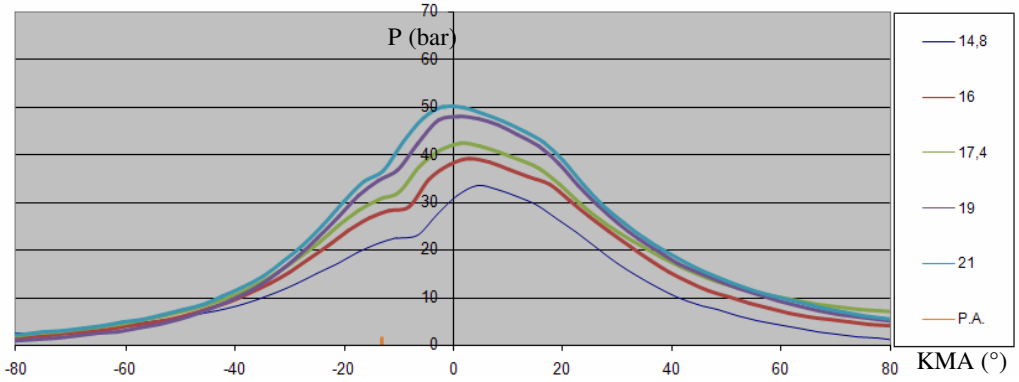
Şekil 10.6: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%5 Etanol - %95 Eurodizel)

%10 etanol katkılı eurodizel yakıtla farklı sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerde ki basınç değişim grafiği. (Püskürtme Avansı (P.A.) : 13 °KMA)



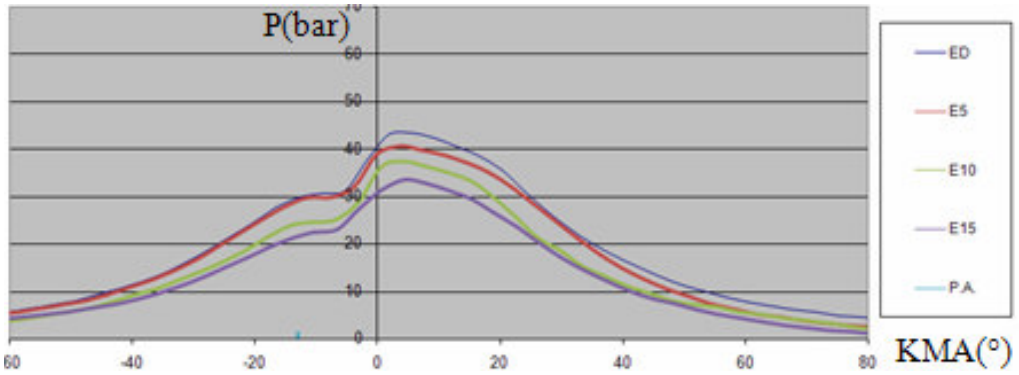
Şekil 10.7: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%10 Etanol - %90 Eurodizel)

%15 etanol katkılı eurodizel yakıtla farklı sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerde ki basınç değişim grafiği. (Püskürtme Avansı (P.A.) : 13 °KMA)

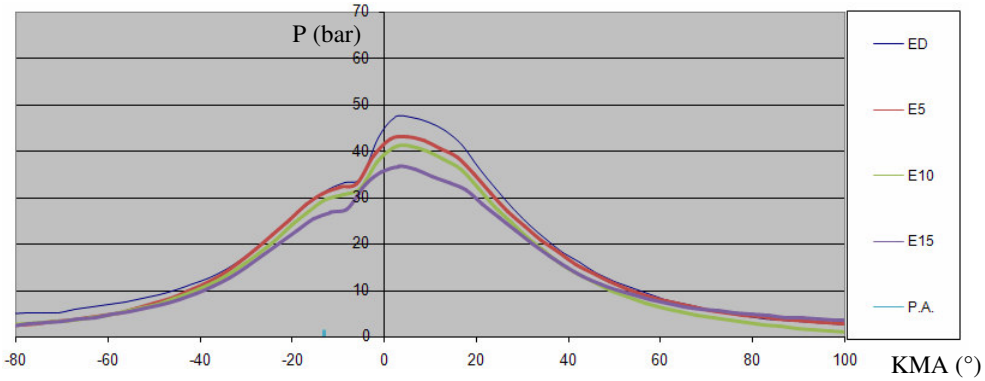


Şekil 10.8: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (%15 Etanol - %85 Eurodizel)

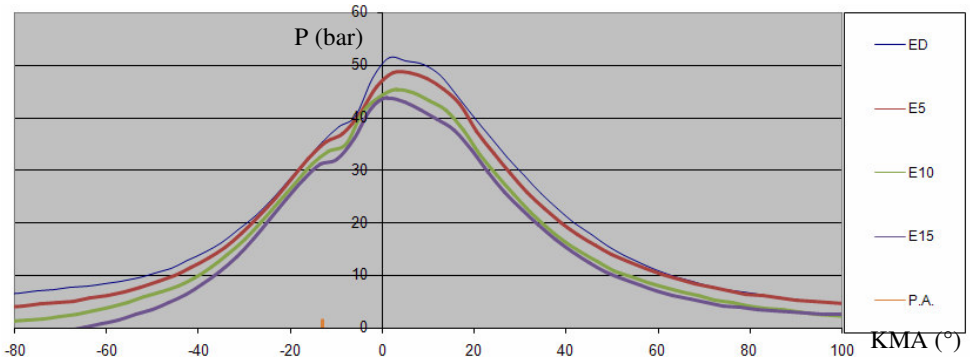
Sabit sıkıştırma oranında farklı etanol katkılı eurodizel yakıtın basınç değişimine etkisi. (Püskürtme Avansı (P.A.) : 13 °KMA)



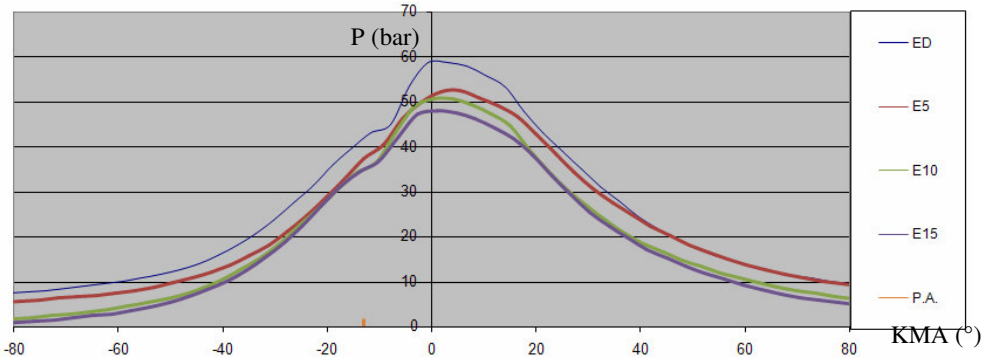
Şekil 10.9: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 14,85)



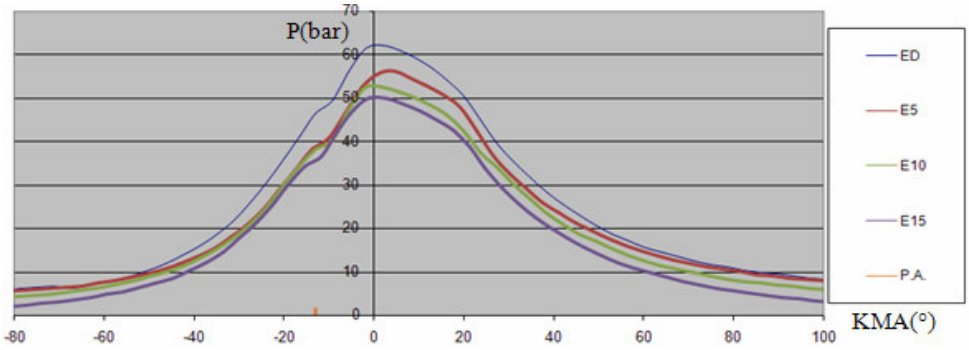
Şekil 10.10: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 16)



Şekil 10.11: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 17,48)



Şekil 10.12: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 19)



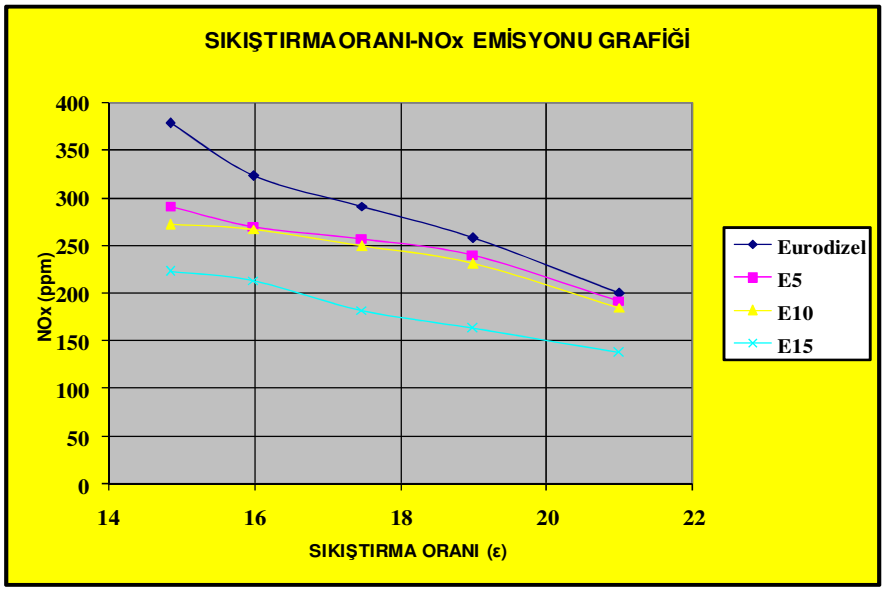
Şekil 10.13: KMA(°)-Basınç(bar) Grafiği (Sıkıştırma Oranı: 21)

10.2. Emisyon Ölçümü

10.2.1. NOx Emisyonu Ölçümü

Püskürtme avansının sabit kalması şartıyla, sıkıştırma oranının arttırılması tutuşma gecikmesini kısaltacaktır. Dolayısıyla bu süre boyunca homojen fazda ani yanan yakıt miktarı azaldığından silindir içi maksimum sıcaklık düşecek ve buna bağlı olarak NOx oluşumu azalmaktadır.

NOx emisyonunu etkilemesinde asıl önemli parametre karışımın alt ısıl değeridir. Etanol katkısı, karışımın alt ısıl değerini düşürdüğünden maksimum sıcaklıklar düşmekte ve NOx emisyonu azalmaktadır. Ayrıca etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması ile yanma sırasında alev sıcaklığını düşürmekte ve NOx emisyonlarını azaltmaktadır.



Şekil 10.14: Sıkıştırma Oranı-NOx Emisyonu Grafiği

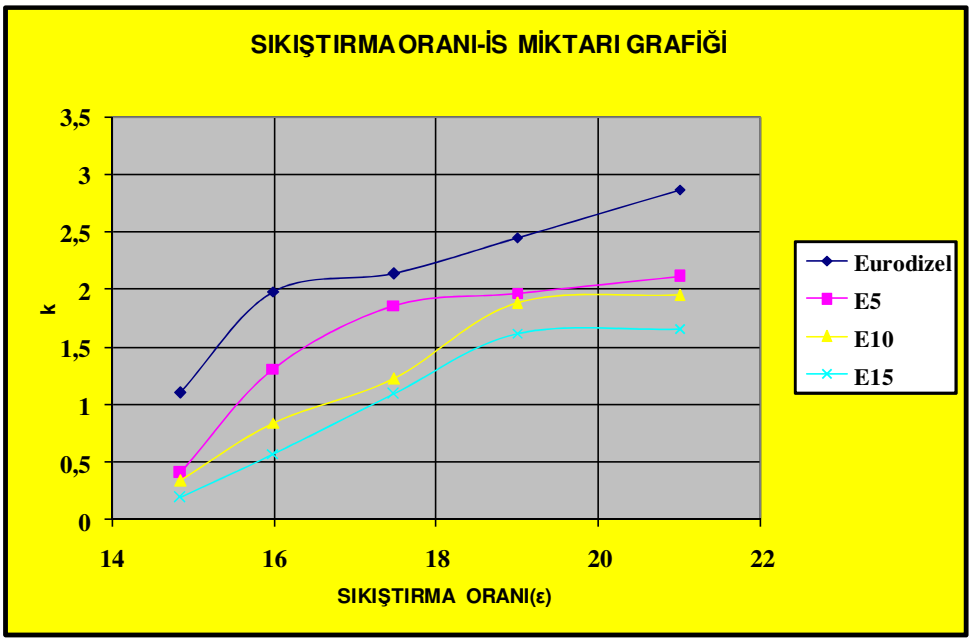
Tablo 10.5: NOx Emisyonu Değerleri

	eurodizel	E5	E10	E15
ε	NOx ppm	NOx ppm	NOx ppm	NOx ppm
14,85	378	291	272	222
16	323	270	267	213
17,48	291	257	249	182
19	258	240	231	163
21	200	192	185	137

10.2.2. İs Ölçümü

Sıkıştırma oranının artışı ile tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Dolayısıyla bu süre boyunca homojen fazda ani yanan yakıt miktarı azalmakta olduğunda is miktarının da arttığı yapılan deneylerde tespit edilmiştir.

Sabit sıkıştırma oranında karışımın etanol yüzdesi arttıkça etanolün setan sayısının düşük olması nedeni ile tutuşma gecikmesi süresi artmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinin artması ile bu süre içinde birikerek buharlaşan ve homojen fazda ani yanan yakıt miktarı artmakta ve bunun da oluşan is miktarını azalttığı yapılan deneylerde görülmüştür.



Şekil 10.15: Sıkıştırma Oranı-İs Emisyonu Grafiği

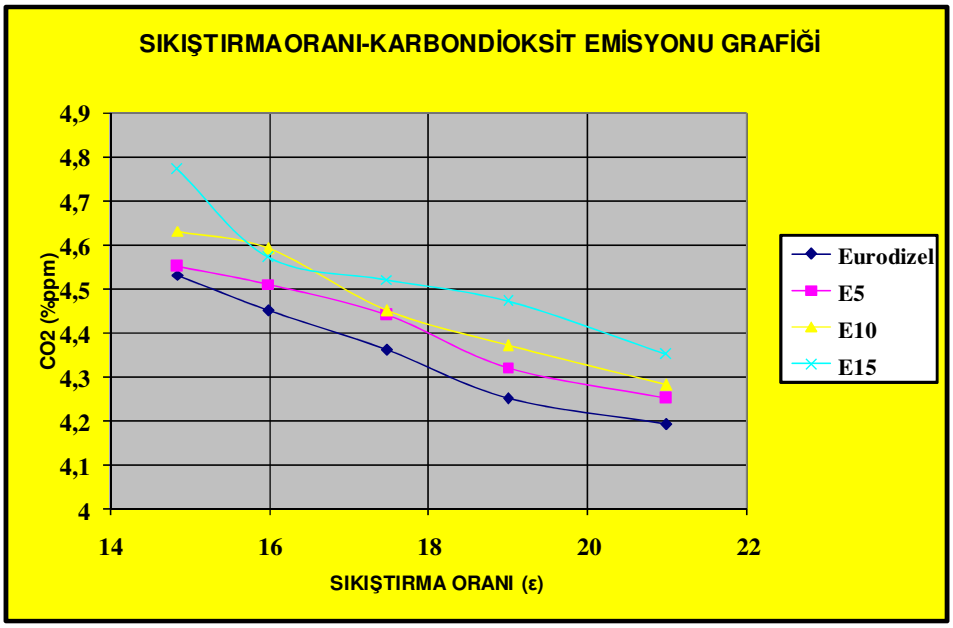
Tablo 10.6: İs Emisyonu Değerleri

	eurodizel	E5	E10	E15
ε	İs (k)	İs (k)	İs (k)	İs (k)
14,85	1,1	0,4	0,34	0,19
16	1,98	1,31	0,84	0,57
17,48	2,14	1,86	1,22	1,09
19	2,45	1,97	1,88	1,62
21	2,87	2,11	1,95	1,66

10.2.3. CO_2 Emisyonu Ölçümü

Sıkıştırma oranının artışı ile ısıl verim artmaktadır. Bu durum özgül yakıt tüketimi değerlerini azaltmaktadır. CO_2 emisyonları, özgül yakıt tüketimi ile doğru orantılı olduğundan emisyon değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Yapılan deneylerde sabit sıkıştırma oranında karışım içindeki etanol yüzdesi arttıkça, etanolün eurodizel yakıtına göre daha az karbon ihtiva etmesi ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile CO_2 emisyonunun artmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca hacimsel olarak etanol yüzdesi arttıkça efektif verimin azalması yakıt tüketimini artırdığından CO_2 emisyon değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 10.16: Sıkıştırma Oranı-CO_2 Emisyonu Grafiği

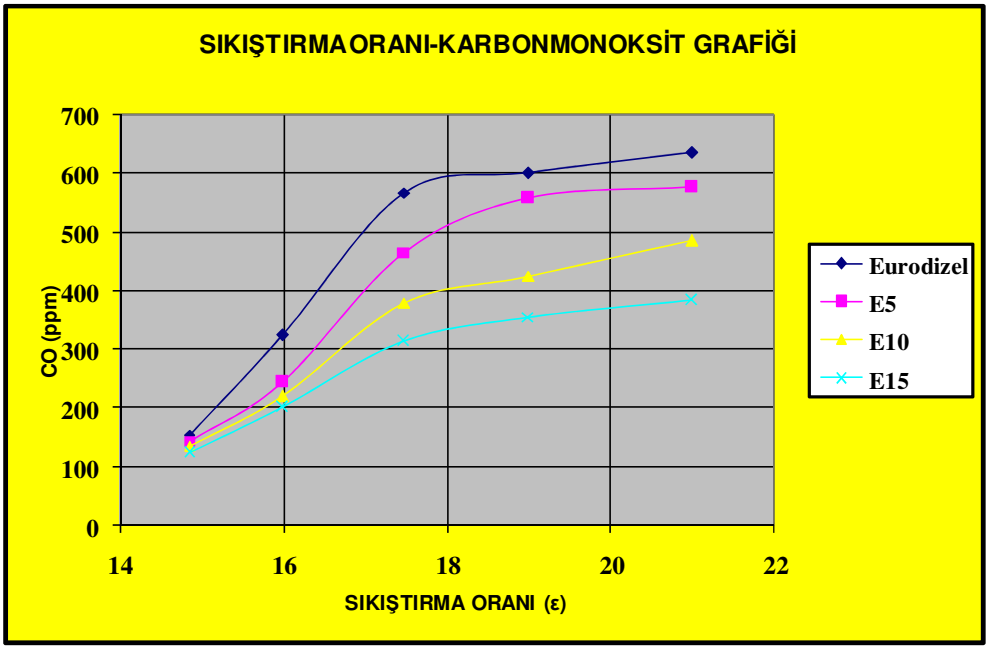
Tablo 10.6: CO_2 Emisyonu Değerleri

	eurodizel	E5	E10	E15
ε	CO_2 %ppm	CO_2 %ppm	CO_2 %ppm	CO_2 %ppm
14,85	4,53	4,55	4,63	4,77
16	4,45	4,51	4,59	4,57
17,48	4,36	4,44	4,45	4,52
19	4,25	4,32	4,37	4,47
21	4,19	4,25	4,28	4,35

10.2.4. CO Emisyonu Ölçümü

Sıkıştırma oranının artışı ile tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Dolayısıyla bu süre boyunca homojen fazda ani yanan yakıt miktarı azaldığından yanma biraz kötüleştiği ve CO emisyon değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Sabit sıkıştırma oranında karışımın etanol yüzdesi arttıkça etanolün setan sayısının düşük olması nedeni ile tutuşma gecikmesi süresi artmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinin artması ile bu süre içinde birikerek buharlaşan ve homojen fazda ani yanan yakıt miktarı artar ve bu da CO miktarını azaltır. Ayrıca etanol yüzdesi arttıkça, etanolün eurodizel yakıtına göre daha az karbon ihtiva etmesi ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile CO emisyonu azalmaktadır.



Şekil 10.17: Sıkıştırma Oranı-CO Emisyonu Grafiği

Tablo 10.6: CO Emisyonu Değerleri

	eurodizel	E5	E10	E15
ε	CO ppm	CO ppm	CO ppm	CO ppm
14,85	155	144	136	124
16	325	244	221	202
17,48	568	466	380	314
19	602	559	426	356
21	636	578	486	385

11. DEĞERLENDİRME

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.

Etanol ile yapılan çalışmada %96 saflıktaki %5-%10-%15 etanol katkılı etanol-eurodizel karışımının motor moment ve güç değerlerini sürekli azalttığı, özgül yakıt tüketimini ise arttırdığı tespit edilmiştir. Emisyonlar açısından bakıldığında ise etanol katkısının NOx, is ve CO emisyon değerlerini azalttığı, CO_2 emisyonu ise arttırdığı görülmüştür.

Sıkıştırma oranının etkisi incelendiğinde ise; 14.85:1, 16:1, 17.48:1, 19:1 ve 21:1 sıkıştırma oranlarında yapılan deneylerde, sıkıştırma oranındaki artışın motorun güç ve moment değerlerini arttırdığı, özgül yakıt tüketimini ise azalttığı görülmüştür. Emisyonlar açısından bakıldığında ise sıkıştırma oranındaki artışın NOx ve CO_2 emisyon değerlerini azalttığı, CO ve is emisyon değerlerini ise arttırdığı görülmüştür.

Emisyon ölçümünde asıl önemli olan parametre birim güç başına olan emisyon ölçüm değerleridir. Genellikle bu değer ppm/kW şeklindedir. Yapılan bu çalışmada etanol ilavesinin birim güç başına emisyonları belirgin olarak azalttığından ya da artırdığından bahsedilemez.

Fosil yakıtların dünya üzerindeki rezervlerinin azalıyor olması nedeni ile etanol ve benzeri alternatif yakıtların kullanılması petrol rezervlerinin tükenme süresini arttıracağı düşünülmektedir. Etanolün içten yanmalı motorlar için iyi bir alternatif yakıt kaynağı olduğuna yapılan deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür.

Petrolün tahmini olarak 42 yıl sonra biteceği varsayılırsa düşecek petrol arza bağlı olarak etanol fiyatlarında artışlar olacağı muhakkaktır ve bu nedenden dolayı da dünyada etanol üretimi gelecekte daha önemli hale gelecektir.

Dünya etanol üretimi son 4 yıl içerisinde yaklaşık olarak 31 milyar litreden % 50 artarak 46 milyar litreye ulaşmıştır. Petrol satın alıcı ülkelerin gelecek yıllarda etanol

üretimini artırmak için yeni yatırımlar planladıkları gözlenmektedir. Örneğin; Çin Halk Cumhuriyeti 2005 yılındaki 720.000 ton olan etanol üretimini 2006 yılında 1.000.000 tona çıkarmayı planlamaktadır. Brezilya 2013 yılı etanol üretimini 2005 yılı üretimine göre %100 de % 16 artırmayı planlamaktadır. Ayrıca 2005 yılında 46 milyar litre olan dünya etanol üretimi her yıl artarak 2020 yılında 125 milyara ulaşacağı öngörülmektedir

Türkiye'nin yıllık benzin tüketimi yaklaşık olarak 4 milyon tondur. Bu miktarın %2 si 80.000 ton, %5,75 i (Avrupa'nın 2010 yılı itibarı ile kullanmayı taahhüt ettiği biyoetanol oranı) 345.000 ton dur. ± bu rakam 350.000 ton olarak kabul edilebilir (Pankobirlik, 2006).

Ülkemizde yakıt alkolü üretimini yapan bir tesis bulunmakta, ancak kapasitesi ihtiyaca cevap vermemektedir. Bu tesis dışında, Türkiye Şeker Fabrikaları A.S. bünyesinde Turhal, Malatya, Erzurum ve Eskişehir Seker Fabrikaları'nda alkol tesisleri bulunmakta ancak teknolojik olarak ilave yatırımlar ile geliştirilerek çalıştırılmaları gerekmektedir. Pankobirlik bünyesinde ise; Amasya Seker Fabrikası'nda, alkol tesisleri (içecek Alkolü) mevcuttur. Konya Seker Fabrikası ise Türkiye'nin en büyük kapasiteli biyoetanol Fabrikasının kuruluş çalışmalarına başlamıştır. Planlanan tesisin, %2 karışım oranında ülkemizin tüm ihtiyacına cevap verebileceği öngörülmüştür (Pankobirlik, 2006). Yurdumuzda akaryakıtlara uygulanan Özel Tüketim Vergisi oranının, etanol üzerinden kaldırılması halinde, ülkemiz hazinesinin uğrayacağı kayıp, yurt dışından aynı miktar yakıtı üretmek için yapılacak ham petrol ithalatı ve biyoyakıt üretiminin yurt içi piyasasına sağlayacağı katma değerden çok daha az olacaktır.

Bu bedelin yurt içinde kalmasının yanı sıra pancar tarımının özellikleri gereğince kullanılan; kimyevi gübre, tarımsal alet ve makineler, zirai mücadele ilaçları, taşımacılık sektörü, yan ürünleri ile hayvancılık sektörüne sağlanan katkılar ve istihdam ilave ekonomik katma değerler olarak dikkate alındığında tüm bu katma değerlerin getirisi çok daha fazla olacaktır.

Böylece, yerli tarım ürünlerinden elde edilecek etanol ile yurdumuz, yatırım ve istihdam avantajlarının yanı sıra, ilave katma değer sağlayacak ve dışa bağımlı enerji kullanımı da azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

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

Yavaşlıol, İ., "*İçten Yanmalı Motorlar*", 1988, Y.Ü. Yayınları

Doğru, B., (2007), *Yüksek Lisans Tezi*, Enjektör Parametrelerinin Motor Performansına Etkisi

Bulut, S., E., (2007), *Yüksek Lisans Tezi*, Etanol – Dizel, Biyodizel – Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması

Acaroğlu, M., Oğuz, H. ve Ünaldı, M., (2005), *Yüksek Lisans Tezi*, Biyoetanolün Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri, Selçuk Üniversitesi, Konya

Gürbüz, Ö., (2006) Petrolden ikinci kaçış seferberliği,*Referans Gazetesi*,04.04.2006

Çolak, A., (2006), *Yüksek Lisans Tezi*, Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonuna Etkisinin

Bayraktar, H., (1997), *Yüksek Lisans Tezi* Benzin-Etanol Karışımlarının Benzin Motorlarında Yanma ve Motor Çevrimi Üzerindeki Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi

Bayraktar, H., (2005) *Doktora Tezi,* Experimental and Theretical Investigation of Using Gasoline Ethanol Blends in Spark Ignition Engines, Renewable Energy 30.1733-1747

Topgül, T., Yücesu, H.S ve Çınar, C., (2004), Etanol-Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Motorlarda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, 8.Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, Ankara

Yörük, S., (2002), *Yüksek Lisans Tezi,* İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Kullanımı

Çelik, B., (1999), *Yüksek Lisans Tezi*, Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması

Sekmen, Y., (2003), *Doktora Tezi,* Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin İncelenmesi

Sekmen, Y., Erduranlı, P., Çınar, C., (2004), *Yüksek Lisans Tezi*, Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi.

Sunay,Ç., İnsanlık Geleceği ile mi Oynuyor? İklim Değişiyor, *Bilim ve Teknik*, sayı 392,Temmuz 2000.

Can, Ö., (2003) Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Sürmen, A., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HC emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçişi Sonrası Davranımının Matematik Modeli, *5.Yanma Sempozyumu*, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye

Yıldırım, M., Gül, Z, Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Segman Boşluğu Hidrokarbonlarının Çok Boyutlu Matematik Modeli, *5.Yanma Sempozyumu*, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.

Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z., *Yüksek Lisans Tezi,* Etanol-Dizel Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Performansına Etkisi (2002)

Bayındır, H., Yücesu, H.S., (1999) Etanol-Benzin Karışımları ve Sıkıştırma Oranının Motor Performansına Etkisi, *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1-2, Say. 31-42

Bayındır, H., Yücesu, H.S., (1999) Etanol-Benzin Karışımları ve Emme Manifoldu Dolgu Sıcaklığının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi*, 6. Uluslar arası Yanma Sempozyumu,* Say. 395-408, İstanbul

Uşaklı, T., (1980) Perfonmance of A Multicylinder Passenger Car Engine Fueled With Etanol and Gasoline, *Master Thesis,* METU, Ankara

Popuri, S.S.S., Bata, R.M., (1993) A Perfonmance Study of Iso-Butanol, Methanol, Ethanol-Gasoline Blends Using a Single Cylinder Engine, *SAE Transactions 2, 932953*

Sümer, M., (1999) Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol Kullanımı, Performans ve Maliyet Analizi, *Yüksek Lisans Tezi.*G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Guerrieri, D.A., Caffrey, P.J. and Rao, V., (1995) Investigation in to the Vehicle Exhaust Emissions of High Percentage Ethanol Blends, *SAE Paper NO:950777*

Faroog, A., (1988) Effect of Ethanol and Gasoline Blends on Exhaust Gas Emissions in SI Engines, *Master Thesis*, METU, Ankara

Wicker, R.B., Hutchison, P.A., Acosta, O. A. and Matthews, R.D., (1999) Practical Considerations For on E85-Fuelde Vehicle Conversion, *SAE1999-01-3517*

Wu, C.W., Chen, R.H., Qu, J.Y., Lin, T.H., (2003) The Influence Of Air-Fuel Ratio On Engine Performance And Pollutant Emission Of An SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels, *Atmospheric Environment 38. 7093-7100*

Gülder, O.L., (1981) Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri, *TÜBİTAK-MAG*, Proje No:526,Ankara

Robert, L. McCormick., Richard, Parish., " Miles Report: Technical barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel" *National Renewable Energy Laboratory,* (2001)

Satge, P. De Caro., Moloungui, Z., "Interest of Combining an Addditive with Diesel Ethanol Blends for Use in Diesel Engines (2001)

Smith, J.L., and Workman J.P., "Alcohol for Motor Fuels", Colorado State University Cooperative Extension

Weidmann, K., and Menrad, H., " Fleet Test, Performance and Emissions Of Diesel Engines Using Different Alcohol-Diesel Fuel Blends" (1981)

Eugene, E. E., Bechtold, R. L., Timbaro, T.J., McCallum, P.W., " State of Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines (1984)

Bang-Quan, H., Shi-jin, S., Jian-Xin, W., Hong, H., " The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from a Diesel Engines (2003)

Likos, B., Callahan, T. L., " Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-Chamber Diesel Engines" (1982)

Nagarin, G., Rao, A. N., Jagadeesan, T. R., Renganarayanan, S., " Review of Ethanol in Compression Ignation Engine, Institute for Energy Studies", Anna University-Chennai (2003)

Poulopoulos, S.G., Somaros, D.P., Philippopopulos, C.J., (2001) Regulated and Unregulated Emissions From an İnternal Combustion Engine Operating on Ethanol- Containing Fuels, Atmos Environ 35.4399-4406

Karabektaş, M., 2002, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi.

Çelik, M.B. (1999) Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.

Yaman, H. (2004) Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Karabük

Kutlar, O. A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M. (1998) Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.

Caris, D.F. ve Nelson, E.E. (1958) A New Look at High Compression Engines, *SAE Transaction, Vol.67*

Stone, R. (1989) Engine Vehicle Fuel Economy, Macmillal Eduacational Ltd., Houndmills.

Scheffler, E.C. (1996) Combustion Chamber Surface Area, a Key to Exhaust Hydrocarbons, *SAE Paper 660111*

Civil, T. (1987) Effect of compression ratio and the ratio of methanol to gasoline in blend on the exhaust emissions of spark ignition engine, *Master Thesis,* M. E. T. U.

Felt, A.E. ve Krausse R.S. (1971) Effects of compression ratio changes on exhaust emissions of engines, *SAE Transaction,*

Bolt, J.A., Holkeboer, D.H., 1962, Fuel-Air Mixtures Spark Ignited Engines, *SAE Transaction*

Blair, P,G., 1999, Desigm and Simulation of Four stroke Engines, *SAE Transection, Vol. 70.*

www.konyaseker.com.tr

www.pankobirlik.com.tr

www.abengoabioenergy.com/bioethanol/

www.epa.gov

www.worldenergy.org/

ÖZGEÇMİŞ

23 Temmuz 1983 tarihinde Kırklareli'nde dünyaya geldim. Ortaokulu ve liseyi, 1995 – 2001 yılları arasında Kırklareli Anadolu Lisesi'nde okudum. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdim. Enerji Anabilim dalında eğitim gördükten sonra 2006 yılında mezun oldum. Hemen ardından İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Programı'na girdim ve 2008 Haziran ayında mezun oldum.