İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇTEN YANMALI DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Volkan KIZILKAN

Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : OTOMOTİV PROGRAMI

MART 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇTEN YANMALI DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Volkan KIZILKAN
(503041720)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Mart 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Mart 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Ertuğrul ARSLAN

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. İrfan YAVAŞLIOL

Prof. Dr. Metin ERGENEMAN

MART 2008

ÖNSÖZ

Her geçen gün artan çevre sorunları ve petrol fiyatları sebebiyle alternatif yakıt çalışmaları tüm dünyada artarak sürmektedir. Bu alternatif yakıtlardan birisi de gerek çevresel etkileri gerekse de yenilenebilir olması sebebiyle biyodizeldir.

Biyodizel teknolojisi bahsi geçen bu ihtiyacın karşılanması konusunda önemli bir başlıktır. Bu çalışmada, biyodizel-dizel karışımının çeşitli sıkıştırma oranlarındaki is emisyonu ve performans değerleri incelenmiş, normal dizel yakıttan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızda büyük katkılarından dolayı; değerli hocam Prof. Dr. H. Ertuğrul ARSLAN, Prof. Dr. İrfan YAVAŞLIOL, Prof. Dr. Orhan DENİZ ve Arş.Gör. Levent YÜKSEK başta olmak üzere, Arş. Gör. Alp Tekin ERGENÇ'e, Arş.Gör Orkun ÖZENER'e, , Arş. Gör. Berk ÖZOĞUZ'a, Öğr. Gör. Dr. Övün IŞIN'a, sonsuz anlayışları için Sayın Fuat ÖZTÜRK'e ve tüm Özteknik A.Ş mensuplarına teşekkürü bir borç bilirim.

Mart 2008 Volkan KIZILKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vı
ŞEKİL LİSTESİ vıı
SEMBOL LİSTESİ x
ÖZET xı
SUMMARY xıı

1. GİRİŞ 1

2. BİYODİZEL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ 2
2.1. Biyodizelin Fiziksel Özellikleri 2
2.1.1. Yoğunluk 2
2.1.2. Kinematik viskozite 4
2.1.3. Parlama noktası 5
2.1.4. Akma ve bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası 6
2.1.5. Karbon kalıntısı 7
2.1.6. Bakır şerit korozyonu 8
2.1.7. Su-sediment oluşumu 8
2.1.8. Kükürt oluşumu 9
2.1.9. Setan indeksi 10
2.2. Biyodizelin Avantajları 11
2.3. Biyodizelin Dezavantajları 12

3. SEYRELTME YÖNTEMLERİ 13

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 15
4.1. Güç ve Biyodizel 17
4.2. Yakıt Sarfiyatı ve Biyodizel 18
4.3. NOx ve Biyodizel 18
4.4. HC ve Biyodizel 21
4.5. CO ve Biyodizel 21
4.6. CO_2 ve Biyodizel 22
4.7. Yakından İncelenen Makaleler 22

5. DENEY DÜZENEĞİNİN VE YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ 39
5.1. Deney Düzeneği 39
5.1.1. Deney motoru 40
5.1.2. Yakıt sisteminin özellikleri 40
5.1.3. Yükleme düzeneğinin özellikleri 40

5.1.4. Soğutma sisteminin özellikleri 41
5.1.5. Soğutma suyu sıcaklığı ölçüm sistemi 41
5.1.6. Güç ölçüm sistemi 41
5.1.7. Transdüser, sinyal yükseltici, bilgisayar ve osiloskop 42
5.1.8. Yakıt tankı 43
5.1.9. Egzoz gaz analiz cihazı 43
5.2. Yakıtların Özellikleri 44

6. DENEY 46
6.1. Sıkıştırma Oranının Hesaplanması 46
6.2. Deneyin Yapılışı 48
6.3. Deney Sonuçları ve Hesaplamalar 49
6.3.1. Sıkıştırma Oranı 17,13 (ε = 17,13) 49
6.3.2. Sıkıştırma Oranı 18,83 (ε = 18,83) 57
6.3.3. Sıkıştırma Oranı 20,17 (ε = 20,17) 65
6.3.4. Sıkıştırma Oranı 21,73 (ε = 21,73) 74
6.3.5. Sıkıştırma Oranının Performansa ve Emisyonlara Etkisi 82

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 99

KAYNAKLAR 105

EKLER 112

ÖZGEÇMİŞ 115

KISALTMALAR

PM	: Particulate Matter (Partikül Madde)
O_2	: Oksijen
HC	: Hidrokarbon
THC	: Toplam Hidrokarbon
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
NOx	: Azot Oksit ve Azot Dioksit' in Genel İfadesi
NO	: Azot Oksit
NO_2	: Azot Dioksit
SO_2	: Kükürt Dioksit
KOH	: Potasyum Hidroksit
OH	: Hidroksil
ASTM	: American Society For Testing and Materials
DI	: Direct Injection
IDI	: Indirect Injection
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
DME	: Dimetil Eter
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
KMA	: Krank Mili Açısı
DF	: No.2-D Diesel Fuel
SFB	: Sunflower Oil – Diesel Fuel Blend
CRB	: Corn Oil – Diesel Fuel Blend
SBB	: Soybean Oil – Diesel Fuel Blend
OVB	: Olive Oil – Diesel Fuel Blend
EGR	: Exhaust Gas Recirculation
SMD	: Sauter Mean Diameter (Sauter Ortalama Çapı)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
m_D	: Çevrim başı püskürtülen dizel yakıt miktarı
m_{B15}	: Çevrim başı püskürtülen B15 yakıt miktarı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Uluslararası standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerleri…..	3
Tablo 2.2	Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri…..	5
Tablo 2.3	Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri……	5
Tablo 2.4	Uluslararası standartlarda karbon kalıntısı için verilen sınır değerleri……	7
Tablo 2.5	Uluslararası standartlarda bakır şerit korozyonu için verilen sınır değerleri……	8
Tablo 2.6	Uluslararası standartlarda su-sediment değerleri için verilen sınır değerleri……	9
Tablo 2.7	Uluslararası standartlarda Merkaptan kükürt kütle oranı üst sınırları……..	10
Tablo 2.8	Uluslararası standartlarda setan sayısına ilişkin alt sınırlar……..	11
Tablo 4.1	Bitkisel yağ-dizel karışımlarının tutuşma gecikmelerinin dizele göre mukayesesi……...	24
Tablo 5.1	Deney motoru teknik özellikleri……...	40
Tablo 5.2	Biyodizel yakıt özellikleri……	45
Tablo 6.1	Skalada yer alan sıkıştırma oranlarının gerçek değerleri…….	47
Tablo 6.2	Dizelin ε = 17,13 için elde edilmiş performans değerleri……	49
Tablo 6.3	B15' in ε = 17,13 için elde edilmiş performans değerleri……	50
Tablo 6.4	Dizelin ε = 17,13 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	53
Tablo 6.5	B15' in ε = 17,13 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	54
Tablo 6.6	Dizelin ε = 18,83 için elde edilmiş performans değerleri……	58
Tablo 6.7	B15' in ε = 18,83 için elde edilmiş performans değerleri……	58
Tablo 6.8	Dizelin ε = 18,83 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	61
Tablo 6.9	B15' in ε = 18,83 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	61
Tablo 6.10	Dizelin ε = 20,17 için elde edilmiş performans değerleri……	65
Tablo 6.11	B15' in ε = 20,17 için elde edilmiş performans değerleri……	65
Tablo 6.12	Dizelin ε = 20,17 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	69
Tablo 6.13	B15' in ε = 20,17 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	69
Tablo 6.14	Dizelin ε = 21,73 için elde edilmiş performans değerleri……	74
Tablo 6.15	B15' in ε = 21,73 için elde edilmiş performans değerleri……	74
Tablo 6.16	Dizelin ε = 21,73 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	78
Tablo 6.17	B15' in ε = 21,73 için elde edilmiş emisyon değerleri…….	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Yoğunluk ölçüm cihazı 3
Şekil 2.2 : Viskozite ölçüm cihazı 4
Şekil 2.3 : Parlama noktası ölçüm cihazı 5
Şekil 2.4 : Akma ve bulutlanma noktası ölçüm cihazı ..……..... 6
Şekil 2.5 : Karbon kalıntısı ölçüm cihazı 7
Şekil 2.6 : Bakır şerit korozyonu ölçüm cihazı 8
Şekil 2.7 : Karl-Fischer su ölçüm cihazı 9
Şekil 2.8 : Kükürt ölçüm cihazı ……..... 10
Şekil 3.1 : Bitkisel yağın transesterifikasyonu ……..... 13
Şekil 4.1 : Sıkıştırma oranına bağlı olarak tutuşma gecikmesinin değişimi .. 23
Şekil 4.2 : Sıkıştırma oranına bağlı olarak is oluşumunun değişimi 27
Şekil 4.3 : Yakıt çeşitlerine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi (ε =19) ……... 28
Şekil 4.4 : Yakıt çeşitlerine bağlı olarak CO_2 emisyonunun değişimi (ε =19) ……... 29
Şekil 4.5 : Yakıt çeşitlerine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (ε =19) ……... 29
Şekil 4.6 : Yakıt çeşitlerine bağlı olarak NOx emisyonunun değişimi (ε =19) ……... 30
Şekil 4.7 : SMD' nin nozülden uzaklığa ve ortam basıncına göre değişimi . 32
Şekil 4.8 : (a) Basınç-KMA (b) Isı salınım oranı-KMA 33
Şekil 4.9 : Tutuşma gecikmesinin sıkıştırma oranına bağlı değişimi 33
Şekil 4.10 : (a) CO (b) THC emisyonlarının sıkıştırma oranına bağlı değişimi ……..……. 34
Şekil 4.11 : Yanma süresinin sıkıştırma oranına bağlı değişimi …..... 35
Şekil 4.12 : (a) NOx (b) İs emisyonlarının sıkıştırma oranına bağlı değişimi . 36
Şekil 4.13 : Termik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi ……... 36
Şekil 4.14 : Mekanik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi ……..... 37
Şekil 4.15 : Yanma veriminin sıkıştırma oranına bağlı değişimi …..... 37
Şekil 5.1 : Deney düzeneğinin şematik yapısı ……... 39
Şekil 5.2 : D.C. motor (Dinamometre) ……..……... 42
Şekil 5.3 : Motor kafasına monte edilmiş transdüser …….……... 43
Şekil 5.4 : Yakıt tankı ve balon joje ……..……... 44
Şekil 6.1 : Sıkıştırma oranı değiştirme aparatı ……..……... 48
Şekil 6.2 : Dizel-B15' in güç grafiği (ε=17,13)…….. ….... 50
Şekil 6.3 : Dizel-B15' in moment grafiği (ε=17,13).....…….. 51
Şekil 6.4 : Dizel-B15' in özgül yakıt sarfiyatı grafiği (ε=17,13)……... 52
Şekil 6.5 : Dizel-B15' in ortalama efektif basınç grafiği (ε=17,13)……... 53
Şekil 6.6 : NOx emisyonlarının karşılaştırılması (ε=17,13)…..…..... …..... 54

Şekil 6.7 : CO emisyonlarının karşılaştırılması (ε=17,13)……..... 55
Şekil 6.8 : CO2 emisyonlarının karşılaştırılması (ε=17,13)...…….... 55
Şekil 6.9 : HC emisyonlarının karşılaştırılması (ε=17,13)…….....…..... 56
Şekil 6.10 : Lambda değerlerinin karşılaştırılması (ε=17,13)…….. 57
Şekil 6.11 : Dizel-B15' in güç grafiği (ε=18,83)……..…...…….... 58
Şekil 6.12 : Dizel-B15' in moment grafiği (ε=18,83)……..... 59
Şekil 6.13 : Dizel-B15' in özgül yakıt sarfiyatı grafiği (ε=18,83)...…….... 60
Şekil 6.14 : Dizel-B15' in ortalama efektif basınç grafiği (ε=18,83)……... 60
Şekil 6.15 : NOx emisyonlarının karşılaştırılması (ε=18,83).……... …..... 62
Şekil 6.16 : CO emisyonlarının karşılaştırılması (ε=18,83)……..... 62
Şekil 6.17 : CO2 emisyonlarının karşılaştırılması (ε=18,83)....…….... 63
Şekil 6.18 : HC emisyonlarının karşılaştırılması (ε=18,83)…….....…..... 64
Şekil 6.19 : Lambda değerlerinin karşılaştırılması (ε=18,83)…….. 64
Şekil 6.20 : Dizel-B15' in güç grafiği (ε=20,17)……..…...…….... 66
Şekil 6.21 : Dizel-B15' in moment grafiği (ε=20,17)……..... 67
Şekil 6.22 : Dizel-B15' in özgül yakıt sarfiyatı grafiği (ε=20,17)...…….... 68
Şekil 6.23 : Dizel-B15' in ortalama efektif basınç grafiği (ε=20,17)……... 69
Şekil 6.24 : NOx emisyonlarının karşılaştırılması (ε=20,17).……... …..... 70
Şekil 6.25 : CO emisyonlarının karşılaştırılması (ε=20,17)……..... 71
Şekil 6.26 : CO2 emisyonlarının karşılaştırılması (ε=20,17)....…….... 72
Şekil 6.27 : HC emisyonlarının karşılaştırılması (ε=20,17)…….....…..... 73
Şekil 6.28 : Lambda değerlerinin karşılaştırılması (ε=20,17)…….. 73
Şekil 6.29 : Dizel-B15' in güç grafiği (ε=21,73)……..…...…….... 75
Şekil 6.30 : Dizel-B15' in moment grafiği (ε=21,73)……..... 76
Şekil 6.31 : Dizel-B15' in özgül yakıt sarfiyatı grafiği (ε=21,73)...…….... 77
Şekil 6.32 : Dizel-B15' in ortalama efektif basınç grafiği (ε=21,73)……... 77
Şekil 6.33 : NOx emisyonlarının karşılaştırılması (ε=21,73).……... …..... 78
Şekil 6.34 : CO emisyonlarının karşılaştırılması (ε=21,73)……..... 79
Şekil 6.35 : CO2 emisyonlarının karşılaştırılması (ε=21,73)....…….... 80
Şekil 6.36 : HC emisyonlarının karşılaştırılması (ε=21,73)…….....…..... 81
Şekil 6.37 : Lambda değerlerinin karşılaştırılması (ε=21,73)…….. 81
Şekil 6.38 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in güç-devir grafiği..... 82
Şekil 6.39 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in moment-devir grafiği … 83
Şekil 6.40 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in özgül yakıt sarfiyatı-devir grafiği…….. 84
Şekil 6.41 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in bmeP-devir grafiği…….. 84
Şekil 6.42 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in güç-devir grafiği……... 85
Şekil 6.43 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in moment-devir grafiği…… 86
Şekil 6.44 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in özgül yakıt sarfiyatı-devir grafiği……..... 86
Şekil 6.45 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in bmeP-devir grafiği……..... 87
Şekil 6.46 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in NOx-devir grafiği……... 88
Şekil 6.47 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in NOx-devir grafiği……. 88
Şekil 6.48 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in CO-devir grafiği……. 89
Şekil 6.49 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in CO-devir grafiği……... 90
Şekil 6.50 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in CO2-devir grafiği……... 91
Şekil 6.51 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in CO2-devir grafiği……. 91
Şekil 6.52 : Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in HC-devir grafiği……. 92
Şekil 6.53 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in HC-devir grafiği……. 93
Şekil 6.54: Farklı sıkıştırma oranları için Dizel' in lambda-devir grafiği….. 93

Şekil 6.55 : Farklı sıkıştırma oranları için B15' in lambda-devir grafiği……. 94
Şekil 6.56 : Sabit yükte hesaplanmış kütlesel NOx miktarı devir grafiği…… 95
Şekil 6.57 : Sabit yükte hesaplanmış kütlesel CO miktarı devir grafiği…….. 95
Şekil 6.58 : Sabit yükte hesaplanmış kütlesel HC miktarı devir grafiği..……. 96
Şekil 6.59 : Sabit yükte silindir içi tepe basıncı-sıkıştırma oranı grafiği……. 96
Şekil 6.60 : Dizelin tutuşma gecikmesi-devir grafiği…….…..…. 97
Şekil 6.61 : B15' in tutuşma gecikmesi-devir grafiği …….. 97
Şekil 6.62 : Dizel ve B15' in tutuşmagecikmesi-sıkıştırma oranı grafiği…… 98

SEMBOL LİSTESİ

kW	**:** Kilo Watt
ε	**:** Sıkıştırma Oranı
ρ	**:** Sıvı kolonu basınç yoğunluğu
B15	**:** "B" Biyodizel-Dizel karışımı olduğunu, "15" ise karışımdaki biyodizelin hacimsel oranını ifade eder (%15 Biyodizel, %85 Dizel)
v/v	**:** Hacimsel oran (volumetric/volumetric)
Φ	**:** Çap İşareti
MPa	**:** Mega Paskal
Bar	**:** Bar
ν	**:** Kinematik viskozite
η	**:** Dinamik viskozite
kPa	**:** Kilo Paskal

İÇTEN YANMALI DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Artan petrol fiyatları, enerji ihtiyacı, bağımsız enerji politikalarına duyulan ihtiyaç, çevre sorunları ve buna karşılık hızla azalan enerji kaynakları sebebiyle alternatif enerji kaynakları hakkında yapılan çalışmalar son yıllarda oldukça artmıştır. Üstünde çalışma yapılan en önemli alternatif enerji kaynaklarından bir tanesi de biyodizeldir. Hem yenilenebilir olması hem de kullanılmasıyla çevreye salınan zararlı gazların petrodizel ile rekabet edebilir durumda olması bu yakıtı önemli kılmaktadır.

Bu çalışmada kanola ve soyadan elde edilmiş bir biyodizel (Hacimsel olarak %20 soya, %80 kanola içermektedir.) yakıt kullanılmıştır. Biyodizel yakıtın dizelle hacimsel olarak 15/85 (B15) oranında oluşturduğu karışım normal dizelle karşılaştırılmıştır.

Deney, sıkıştırma oranı değiştirilebilir, tek silindirli, su soğutmalı Farryman_1977 tipi bir CFR Diesel motorunda yapılmıştır. Öncelikle normal dizel yakıtla çeşitli sıkıştırma oranlarında performans ve emisyon deneyleri yapılmış, daha sonra aynı sıkıştırma oranlarında biyodizel/dizel karışımı ile aynı deney tekrarlanmıştır. Bu iki yakıt için elde edilmiş olan deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak, sıkıştırma oranının ve yakıt tipinin motor performansına, ise ve diğer emisyon değerlerine etkisi incelenmiştir.

Deney sonucunda elde edilen sonuçlar performans ve emisyon sonuçları olarak gruplandırılabilir. Performans sonuçalrında ε =17,13 haricinde hemen tüm sıkıştırma oranlarında ve tüm yüklerde B15 yakıtı daha iyi güç, moment ve özgül yakıt sarfiyatı değerleri vermiştir. Ancak hem B15 hem de dizelin performansları artan sıkıştırma oranıyla birlikte azalmaktadır. Her iki yakıt içinde en iyi performans değerleri ε=17,13' te elde edilmiştir.

B15' in HC emisyonu değerleri tüm sıkıştırma oranlarında dizele kıyasla daha iyidir. NOx emisyonu miktarı ise ε=17,13 hariç tüm sıkıştırma oranlarında dizele kıyasla daha kötüdür. CO ve CO_2 emisyonları için kesin bir şey söylenememektedir. Her iki yakıt için de sıkıştırma oranı arttıkça CO ve HC emisyonları artmış; NOx emisyonu miktarı azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, Performans, Sıkıştırma Oranı, CFR, Emisyon, Yakıt Tüketimi.

THE EFFECTS OF USING BIODIESEL ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF INTERNAL COMBUSTION DIESEL ENGINES

SUMMARY

The researches about alternative energy sources have increased in recent years as a result of increasing patrol prices, need of energy and having independent energy policies, environment problems and rapidly consuming energy sources. One of these alternative energy sources being worked on is biodiesel, due to being both renewable and competitive with petrodiesel on regulated emissions.

In this research, biodiesel produced by canola and soy bean (In volumetric ratio of %20 soy bean and %80 canola) was used as a fuel. Mixture of biodiesel/diesel in volumetric ratio of 15/85 (B15) was compared to normal diesel fuel.

CFR Diesel engine with variable compression ratio, water cooling and one cylinder in the type of Farryman_1977 was used in this research. In the first step, the test was done with normal diesel in different compression ratios as a performance and emission test, then it was repeated in the same compression ratios with the mixture of biodiesel/diesel. By comparing the results acquired from those two tests, the effects of fuel type and compression ratios on performance, soot and other emission values were analysed.

The results acquired at the end of the tests can be classified as performance and emission results. For all compression ratios, except ε=17,13 and all loads, B15 had given power, torque and brake specific fuel consumption values according to diesel fuel in performance results. But, the performances of both B15 and diesel had been decreasing by increasing compretion ratio. The best performance values had been obtained for both fuels at ε=17,13.

The HC emission amounts of B15 are better than diesel's at all compression ratios. NOx values of B15 are worse than diesel at all compression ratios except ε=17,13. Definite results could not be obtained for CO and CO2 emissions. Amounts of HC and CO emissions had been increasing while NOx emission amount decreasing by increasing compression ratios.

Key words: Biodiesel, Performance, Compression Ratio, CFR, Emission, Fuel Consumption.

1. GİRİŞ

Günümüzde kömür, petrol, doğal gaz gibi birinci derece enerji kaynaklarındaki, artan tüketime bağlı azalma, araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerine yöneltmektedir. Günümüzde kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli, birincil enerji kaynaklarının yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji teknolojisinde değerlendirilmesi konusuna artan bir ilgi ve uygulama yoğunluğu gösterilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük potansiyele "Biyokütle" sahiptir. Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "Biyokütle Enerji Kaynağı", bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak 3.10^{21} J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir. Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b), karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirsel ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlara ulaşılmaktadır. Biyokütle kökenli, en önemli alternatif Diesel motoru yakıtı biyodizeldir. Biyodizel literatürde Biyodizel, Biodizel, Biodiesel, Biomotorin, Biyomotorin, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile de bilinmektedir (www.biomotorin-biyodizel.com).

Bu çalışmanın temel amacı B15 biyodizel/dizel karışımının (%15 biyodizel, %85 dizel içeren) değişik sıkıştırma oranlarındaki emisyon, is ve performans sonuçlarının normal dizel yakıttan elde edilen sonuçlarla kıyaslamak ve değerlendirmektir. Çalışmanın deneysel kısmında soya ve kanoladan elde edilmiş (%80 Kanola ve %20 Soyadan elde edilen) biyodizel kullanılmıştır.

2. BİYODİZEL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen bir alternatif dizel yakıttır. Biyodizel biyolojik olarak çabuk bozulabilir ve toksik içermeyen, düşük emisyon değerlerine sahip çevre dostu bir yakıttır (Krawczyk, 1996). Diesel motorunun mucidi Rudolf Diesel (1858-1913) ilk kez, 10 Ağustos 1893'te Ausburg-Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve ardından 1898 yılında, bundan yüz yıl önce Paris Dünya Fuarında yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanarak motorunu sergilemiştir (www.biyomotorin-biodiesel.com). 1930 ve 1940'larda genelde acil durumlar olmak üzere biyodizeller yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda, artan petrol fiyatları ve çevre sorunları ile birlikte bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Petrol ürünlerinin kullanılmasının artması ile bölgesel kirlilik ve küresel ısınma sorunları ciddiyetini korumaya devam edecektir (Shay, 1993). Biyodizel yakıtlar bu tip çevreye zararlı ve kanserojen emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir (Krawczyk, 1996).

Biyodizel üretiminde kullanılabilecek yağ kaynakları şunlardır :

- Bitkisel Yağlar : Kanola (Kolza), Soya, Ayçiçek, Palm, Pamuk vs.
- Geri Kazanım yağları : Bitkisel yağ endüstrisi yan ürünleri (Hurda Yağlar)
- Hayvansal Yağlar : Çeşitli hayvansal yağlar.
- Atık Bitkisel Yağlar : Kullanılmış yemeklik yağlar.

(www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html)

2.1. Biyodizelin Fiziksel Özellikleri

2.1.1. Yoğunluk

Yoğunluk, biyodizel için önemli parametrelerden birisidir. Yoğunluğun yüksek çıkması, prosesten gliserinin yeterince uzaklaştırılamadığının göstergesidir.

Standartlarda yoğunluğun 15 °C `deki sınır değeri gösterilmektedir. Bununla birlikte, EN ISO 3675 Standardında; piknometre ile 20 - 60 °C arası, altı farklı sıcaklıkta elde edilen düzeltme katsayısı 0.723 olarak belirlenmiştir. Ortalama metil ester örneğinin 15 °C `deki yoğunluğu 886.5 kg/m³'dür. 20 - 60 °C arası sıcaklıklarda ölçülecek metil ester yoğunluğu;

Yoğunluk (15°C' de) = Yoğunluk (T°C'de) + 0.723 x Yoğunluk (T-15) **(2.1)**

formülü ile hesaplanır. Uluslararası Standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.1: Uluslararası standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerleri (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D6751	kg/m^3	860–900
DIN	E51606	kg/m^3	875–900
PrEN	14214	kg/m^3	860–900



Şekil 2.1: Yoğunluk ölçüm cihazı (petrotest) (www.egebiyoteknoloji.com)

Yoğunluk ölçme cihazı (Petrotest) ile otomatik sıcaklık kontrollü banyoda, 15 ˚C'de yapılan, soya metil ester analizlerinde elde edilen yoğunluk değeri 884 kg/m^3'tür. (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.2. Kinematik Viskozite

Bitkisel yağların yüksek viskoziteye sahip olmaları, enjektörlerde tıkanmalardan başlayıp yetersiz püskürtme ve silindir içinde kurumlaşmayla sonuçlanan bir dizi probleme neden olabilmektedir. Viskozitenin yüksek çıkması; Transesterifikasyon işleminin başarıyla tamamlanamadığının bir göstergesidir.

Kinematik viskozite; bir akışkanın yer çekimi etkisi altında, akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Belirli bir hidrostatik kolon basıncı altında yerçekimiyle akış, sıvının kolon basınç yoğunluğu (ρ) ile orantılıdır. Herhangi bir viskozite için, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi (v) ile doğrudan orantılıdır. Dinamik viskoziteye (η), bağlı olarak Kinematik viskozite eşitliği:

$$v = \rho / \eta \qquad \textbf{(2.2)}$$

ile ifade edilir. (www.egebiyoteknoloji.com)

Şelil 2.2' de viskozite ölçüm cihazı görülmektedir.

.



Şekil 2.2: Viskozite ölçüm cihazı (www.egebiyoteknoloji.com)

Kinematik viskozite sınır uluslararası standartlardaki değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. (www.egebiyoteknoloji.com)

Tablo 2.2: Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D6751	mm^2/s	1.9–6.0
DIN	E51606	mm^2/s	3.5–5.0
Pr EN	14214	mm^2/s	3.5–5.0

2.1.3. Parlama Noktası

Parlama noktası; sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilebilir. Biyodizelin motorin karşısındaki başlıca üstün özelliklerinden birisi de parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu özellik biyodizelin depolanma kolaylığını ve güvenliğini beraberinde getirmektedir.

Parlama noktasının minimum uluslararası standartlardaki değerleri Tablo 2.3'de görülmektedir. (www.egebiyoteknoloji.com)

Tablo 2.3: Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D6751	min˚C 130
DİN	E51606	min˚C100
prEN	14214	min˚C120



Şekil 2.3: Parlama noktası ölçüm cihazı (www.egebiyoteknoloji.com)

Şekil 2.3' te Pensky-Martens kapalı kap parlama noktası tayin cihazı görülmektedir. (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.4. Akma ve Bulutlanma Noktası ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası

Biyodizel üretiminde özellikle ucuz maliyeti sebebi ile kullanılan hayvansal yağlar ve kızartma yağları, yüksek miktarlarda doymuş yağ asitleri içerdiği için, çok yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Bu özellik, iklim şartlarından etkilenerek donmalarına; depolama ve kullanma esnasında problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, biyodizel kalitesine yönelik yapılan analizlerde; akma ve bulutlanma noktaları tayinleri ve soğuk filtre tıkanma noktası değerleri Uluslararası Standartlarda yer almaktadır.



Şekil 2.4: Akma ve Bulutlanma noktası ölçüm cihazı (Petrotest) (www.egebiyoteknoloji.com)

Akma noktası; numunenin, belirlenmiş standart şartlar altında soğutuluyor iken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklığı ifade eder. Standart analiz metodunda ön ısıtmadan sonra numune belirli bir hızda soğutulur ve akış karakteristikleri için 3˚C aralıklarla kontrol edilir. Numune hareketinin gözlenebildiği en düşük sıcaklık akma noktası olarak kaydedilir. Akma ve bulutlanma noktası tayin cihazı ile yapılan, soya metil esteri analizlerinde, -8 ˚C'de akıcılığını kaybetmeye başladığı tespit edilmiştir (www.egebiyoteknoloji.com).

Bulutlanma Noktası; deney numunesi, belirlenmiş standart şartlar altında soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan bir sisin gözlendiği ilk sıcaklıktır. Analiz metodunda numune belirli bir hızda soğutulur ve belirli aralıklarla gözlenir.

gözlenir.Deney tüpünde ilk sisin ilk gözlendiği sıcaklık bulutlanma noktası olarak kaydedilir (www.egebiyoteknoloji.com).

2.1.5. Karbon Kalıntısı

Karbon kalıntısı terimi standartlarda, numunenin buharlaşması ve termal bozulması sırasında oluşan karbonlu kalıntıları tarif etmekte kullanılır. Kalıntı tümüyle karbondan oluşmayıp daha sonraki bozunmalarla bileşimi değişebilen koktur. Konradson karbon kalıntısı miktarı, ester yakıtının kalitesinin bir göstergesidir. Gliseritlerden, sabunlardan ve diğer organik kalıntılardan arındıklarını gösterir (www.egebiyoteknoloji.com).

Damıtık ve atık fuel-oil'lerin karbon kalıntısı, bu yakıtların özel uygulamalarında birikinti oluşturma eğilimlerinin yaklaşık olarak değerlendirilmesine imkân verir. Genel olarak atmosfer basıncında damıtma işlemi kısmen bozunmaya uğrayan ve uçucu bileşikleri fazla olmayan sıvı yakıtlarda uygulanır.
(www.egebiyoteknoloji.com)

Tablo 2.4: Uluslararası Standartlarda karbon kalıntısı için verilen sınır değerleri (www.egebiyoteknoloji.com)

DIN	E51606	%wt.	Max.0.30
prEN	14214	%(m/m)	max. 0.30



Şekil 2.5: Karbon kalıntısı ölçüm cihazı (Petrotest) (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.6. Bakır Şerit Korozyonu

Parlatılmış bakır bir şerit belirli bir miktardaki numunenin içine daldırılır ve numune içinde, belirtilen sıcaklığa kadar ve belirtilen süre miktarınca bekletilir. Bekletme süresinin sonunda bakır şerit numunenin içinden çıkartılır, yıkanır ve referans korozyon şeritler ile karşılaştırılır. Deneylerde kullanılacak bakır şeritler, soğuk çekilmiş, iyi tavlanmış, 99.9'dan daha yüksek saflıktaki elektrolitik bakırdan olmalıdır. Uluslararası standartlarda bakır şerit korozyonu için verilen değerler Tablo 2.5' te verilmiştir (www.egebiyoteknoloji.com).

Tablo 2.5: Uluslararası standartlarda bakır şerit korozyonu için verilen değerler (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	6751	max. No.3
DIN	E 51606	max. 1.0
prEn	14214	Clas 1

Şekil 2.6'da bakır şerit korozyonu test cihazı görülmektedir.



Şekil 2.6: Bakır şerit korozyonu ölçüm cihazı (Petrotest) (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.7. Su – Sediment Oluşumu

Bu testler ile yakıtlardaki su ve sediment miktarları tespit edilmektedir. Yakıtlarda bulunan su ve sedimentler kullanıldıkları motorun bazı parçalarının işlevini olumsuz yönde etkileyebilmekte ve motorun performansını düşürebilmektedir.

Su tayini Karl-Fischer kulometrik titrasyon metodu ile yapılır. Bu metotla kaynama sıcaklığı 390 °C den düşük olan petrol ürünlerindeki, kütlece yüzde 0.003 – 0.100 aralığındaki su miktarı tayini yapılır.

Sediment tayini ise ekstraksiyon yöntemi ile yapılır. Refrakter malzemeden yapılmış bir kartuş içindeki sıvı yakıt numunesi, kalıntı sabit kütleye erişinceye kadar sıcak toluen ile ekstrakte edilir. Tablo 2.6'da konuyla ilgili uluslar arası standartlar verilmiştir (www.egebiyoteknoloji.com).

Tablo 2.6: Uluslararası standartlarda su-sediment değerleri için verilen değerler (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D 6751	% VOL	max. 0.05
DIN	E 51606	MG/KG	max. 300
prEn	14214	MG/KG	max. 500

Şekil 2.7'de Karl-Fischer su tayin cihazı görülmektedir.



Şekil 2.7: Karl – Fischer su ölçüm cihazı (Kyoto) (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.8 Kükürt Oluşumu

Yakıtlardaki kükürt hem motora hem de çevreye verdiği zararlar sebebi ile istenmeyen bir elementtir. Merkaptan kükürt tayin yöntemi yakıtlardaki kükürdün tespiti için kullanılan bir yöntemdir. (Şekil 2.8 Kükürt tayin cihazı) (www.egebiyoteknoloji.com)

Uluslararası standartlarda Merkaptan kükürt kütle oranı üst sınırları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.7: Uluslararası standartlarda Merkaptan kükürt kütle oranı üst sınırları (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D 6751	% mass	max. 0.05
DIN	E 51606	% wt	max. 0.01
prEn	14214	mg/kg	max. 10.0



Şekil 2.8: Kükürt ölçüm cihazı (Petrotest) (www.egebiyoteknoloji.com)

2.1.9. Setan İndeksi

Kolayca yanmayan düz hidrokarbon zincirleri içeren bir yakıt türü olan dizel, kullanıma sunulmadan önce stabilitesi ve tutuşma kalitesini arttırmak, antistatik özellik kazandırmak amacıyla özel işlemden geçirilir. Dizelin performansı, öncelikle, tutuşma kalitesine bağlıdır. Dizelin ateşleme kolaylığını ve düzenli yanmasını, "setan numarası" belirler. Dizel motorun, yanma hücresindeki gecikme süresi, dizelin tutuşma kalitesinin bir ölçütüdür. Düşük setan sayısına sahip bir dizel, yanma hücresinde doğru noktada tutuşmaz. Bunun sonucunda, kontrolsüz biçimde yanan karışım, vuruntuya ve motor içinde hasara neden olur (www.egebiyoteknoloji.com).

Dizeli işlemden geçirmenin bir diğer nedeni de, düşük ısıda kullanım özelliği sağlamaktır. Çünkü dizeli oluşturan parafin, soğukta kristal olarak çökelir, yakıt hatlarını ve filtreleri tıkayarak, çalışma sorunları yaratabilir. Dizel yakıttan en düşük ısıda bile en yüksek performansı sağlamak için, soğukta akışkanlık artırıcı katıklarla zenginleştirilmelidir (www.egebiyoteknoloji.com).

Setan sayısını doğrudan, uygun olarak tayin etmek için deney motorunun bulunmadığı durumlarda, bir yakıtın setan sayısının tahmin edilmesinde veya setan sayısı için yeterli yakıtın olmadığı durumlarda setan indeksi kullanılır. Bir yakıtın setan sayısının önceden tahmin edildiği durumlarda; setan indeksi, yakıt kaynağı ve

üretim şekli değişmemek şartıyla, söz konusu yakıtın bir dizi numunesinin setan sayısının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Setan indeksi, setan sayısını ifade etmenin alternatif bir yolu değil, sınırlamalar sebebiyle kullanılması gereken yardımcı bir araçtır (www.egebiyoteknoloji.com).

Uluslararası biyodizel standartlarında setan sayısına ilişkin alt sınırlar Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8: Uluslararası standartlarda setan sayısına ilişkin alt sınırlar (www.egebiyoteknoloji.com)

ASTM	D 6751	MİN47.0
DIN	E 51606	MİN49.0
prEn	14214	MİN51.0

2.2. Biyodizelin Avantajları

Biyodizel normal dizele göre birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bazıları şöyledir:

- Yenilenebilir karakterlidir, yerel imkânlarla üretilebilir.
- Biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir. Yapılan testlere göre, kolzadan elde edilmiş biyodizelin 21 günde %99.6 sının ayrıştığı görülmüştür.
- Emisyonlarında karbon monoksit, partikül madde, yanmamış hidrokarbon daha azdır ve aromatik bileşikler ile kükürt hemen hemen hiç yoktur.
- Normal dizelle mukayese edildiğinde CO_2'nin atmosferde birikimine ve bunun sonucunda da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodzelin yanması sonucu oluşan CO_2, biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır.
- Parlama noktası normal dizele göre daha yüksektir. Bu özellik biyodizeli taşıma ve kullanımda güvenli yapar.
- Biyodizelin motorda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaz ve motor yağlanmasını iyileştirir.
- En önemlisi; CO, PM, HC emisyon değerleri normal dizele göre daha iyidir.

2.3. Biyodizelin Dezavantajları

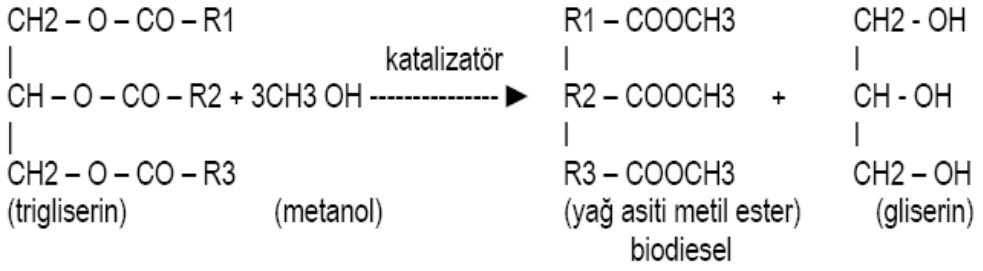
Biyodizelin normal dizele göre dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar :

- Dizele göre yüksek viskoziteye sahip olmaları.
- Düşük uçuculuk.
- Yüksek bozulabilirliğe (ayrışabilirlik) sahiptirler. Depolanmalarında sorun yaratmaktadır.
- Yüksek akma ve bulutlanma noktaları sebebiyle soğuk hava şartlarından normal dizele göre daha çabuk etkilenir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür.
- Yüksek iyot sayısı. (Doymamış yağ oranı ve çift bağlar (double bounds) arttıkça artmaktadır (EPA, 2002).)
- Normal dizele göre daha düşük ısıl kapasite. (Biyodizel %8-12 oranında daha az ısıl enerjiye sahiptir. Bu da yakıt sarfiyatında artışa sebep olur.)
- Düşük setan sayısı sebebiyle oluşan yüksek tutuşma gecikmeleri. Dizel yakıtların tutuşma özelliğini belirleyen setan sayısı, uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonlarda yüksektir. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır (Alpgiray ve Gurhan, 2007).
- Karbon kalıntıları ve kurum oluşumuna yol açma. Karbon kalıntısı bakımından bitkisel yağların, dizel motorlarındaki en önemli etkisi; piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmasıdır. Bu birikintiler, çalışma süresi ile birlikte artmakta ve olumsuz etkilere neden olmaktadır. Karbon kalıntısı bitkisel yağlarda, %0,22 - %0,30 arasında bulunmuştur. Bu değerler ASTM (Amerikan Standart Test Yöntemi) sınır değeri olan %0,35'in altındadır (Alpgiray ve Gurhan, 2007).
- Motor yağlarını kirletme.
- NOx emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak (yanmanın 1–3 KMA geciktirilmesi) veya konvertör kullanılarak aşılabilir (Zhang 2002).

3. SEYRELTME YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları; seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, süperkritik ve yeniden esterleştirme (transesterifikasyon) yöntemleridir (Oğuz ve Öğüt 2001).

- Bitkisel yağların, diesel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem yeniden esterleştirme yani transesterifikasyondur. Bu yönteme alkoliz reaksiyonu adı da verilmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizatör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyon sonucu biodizel elde edilmektedir. Bitkisel yağlarda transesterifikasyon uygulanması Şekil 3.1' de verilmiştir (Ulusoy ve Alibas, 2002).



Şekil 3.1: Bitkisel yağın transesterifikasyonu (Ulusoy ve Alibas, 2002).

- En çok başvurulan bir diğer yöntem ise seyreltme yöntemidir. Seyreltme yönteminde bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte, böylelikle viskozite değeri bir miktar düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kanola yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağıları sayılabilir (Oğuz ve Öğüt 2001).

• Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değerinin düşürülmesi işlemidir. Alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikroemülsiyonun da setan sayısının düşük olması, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi bu yöntemin sakıncaları olarak görülmektedir (Erdoğan, 1991). Tepkime sırasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla sprey karakteristikleri iyileşir. Bütanol, hegzanol ve oktanol ile gerçekleştirilen bütün mikroemülsiyonlar da dizel yakıtları için uygun en düşük viskoziteler elde edilir (Oğuz ve Öğüt 2001).

• Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat bu işlemler ek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy ve diğ. 1999).

• Süperkritik yöntemde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 ^{o}C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir (Kusdiana ve Saka 2000, Demirbaş 2001).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bitkisel kaynaklı yağların yakıt olarak kullanılabileceği bilinmesine rağmen uzun zaman petrol kaynaklı yakıtlara güçlü bir alternatif olarak düşünülmemiştir. Günümüzde kabul edilmiş haliyle ilk biyodizel tanımı 31 Ağustos 1937 tarihinde Belçika Patent Enstitüsü'nden alınan patentte yer almıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında biyodizele yönelik çeşitli araştırmalar yapılmış olsa da kayda değer araştırma ve incelemeler 70'li yıllarda başlamış, 80'lerden sonra ise bu çalışmalar hız kazanmıştır (Knothe, 2001). Ağustos 1982'de Kuzey Dakota'da yapılan ilk uluslararası konferans ile resmiyet kazanmıştır. Konferansta ele alınan temel konular, yakıtın maliyeti, motor performansına etkisi, sürekliliği ve ekstraksiyondur. Günümüzde de gerek petrol rezervlerinin tükeniyor olması gerekse çevre ile ilgili yönetmeliklerin artan baskıları sonucu alternatif enerji kaynaklarına hızlı bir yönelme görülmektedir.

Nye ve diğerleri (1983), kullanılmış kızartma yağları ve metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol, 1-butanol, 2-etoksietanol gibi çeşitli alkoller ile yaptıkları transesterifikasyon reaksiyonlarında en iyi verimin KOH'in katalitik etkisi altında metanol ile yapılan reaksiyonlarda elde edildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada elde edilen metil, etil, 1-bütil esterlerin laboratuarda yüksek hızlı motorları için emisyon testleri yapılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır.

Graboski ve McCormick (1998) sahip olduğu kütlesel olarak %10-11 daha fazla oksijenin ve bünyesinde aromatik bileşenler bulundurmamasının CO, HC ve PM emisyonlarında düşüşlere yol açtığını tespit etmişlerdir.

Gomez ve diğerleri (2000) kullanılmış kızartma yağı metil esterini doğal emişli, bölünmüş yanma odalı motorunda kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan metil ester CO, CO_2 ve SO_2 ve is emisyonlarında düşüşe neden olurken, O_2, NO_2 ve NO emisyonlarında motorine göre artış gözlemlenmiştir.

Leung (2001) çalışmasında restorantların atık kızartma ve hayvansal yağlarından elde edilmiş biyodizel yakıtını motorin ile üç farklı karışım oranında karıştırarak test motorunda kullanmıştır. Çalışmada %15 oranında biyodizel içeren karışımın motorun performansını etkilemediği gözlemlenmiştir. Emisyonlarda % 1,5 ile % 44 oranında azalma gözlenirken artan motor hızlarında NO emisyonlarında %16 artış gözlenmiştir.

Ulusoy ve diğ. (2004) kullanılmış kızartma yağından elde edilmiş biyodizel yakıtını %100 oranında 4 silindirli, 4 stroklu motorunda yakıt olarak kullanmış ve bu yakıtın performans ve egzoz emisyonu değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan biyodizel yakıtı ile CO, HC ve partikül emisyonlarında sırasıyla % 8,59, %30,66 ve %63,33 azalma gözlenirken, CO_2 ve NOx emisyonlarında sırasıyla %2,62 ve %5,03 artış gözlemlenmiştir. Diğer taraftan performans yönünden karşılaştırıldığında teker kuvvetinde %3,35 ve teker gücünde %2,03 azalma gözlenmiştir.

Çetinkaya ve diğ. (2005) düşük hammadde maliyetli kızartma yağından üretilmiş biyodizel yakıtını %100 oranında 4 silindirli, 4 stroklu ve direkt püskürtmeli bir motor ile tahrik edilmiş taşıtta yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmada motor gücünde ve torkunda bir miktar düşüş gözlenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada soğuk ortam şartında biyodizel yakıtının motorine benzer şekilde enjektörlerde karbon birikmesine neden olduğu görülmüştür.

Özkan ve diğ. (2005) çalışmalarında kullanılmış kızartma yağı metil esterini doğal emişli, direkt püskürtmeli bölünmüş yanma odalı motorunda kullanmış ve yakıtın performans ve egzoz emisyonu değerlerini elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan yakıt motorun performans karakteristiklerini etkilemesine karşın genel olarak olumlu sonuçlar vermiştir. Diğer çalışmalara benzer şekilde CO ve is emisyonlarında azalma söz konusu olmuştur. Diğer taraftan yakıtın alkol içerikli bir yakıt olması HC emisyonlarını bir miktar artırmıştır.

Çanakçı ve diğ.' nin (2005) 4 silindirli turboşarjlı bir motorda soya yağı ve hayvansal yağla yaptıkları çalışmada B20 biyodizel-dizel karışımları test edilmiştir. Deney sonucunda, karışımdaki biyodizel oranındaki artışla birlikte HC emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir. HC düşüşleri soyalı karışımlarda daha düşük karışım oranlarında başlamıştır. NOx emisyonlarında ise HC'nun tam tersi bir durum söz konusudur. Bunun sebebi olarak biyodizellerin yapısında bulundurdukları fazla

oksijen ve yanmaları sonucunda elde edilen egzoz gazı sıcaklıklarının normal dizele göre daha yüksek olması gösterilmektedir.

Lauperta ve diğ. (2007), motorine alternatif yakıt olarak kullanılması düşünülen biyodizelin güç, döndürme momenti, NOx emisyonu ve özgül yakıt tüketimi açısından normal dizele göre bir takım olumsuzluklar içerdiğini, fakat CO, CO_2, HC ve is gibi emisyon değerleri açısından iyi sonuçlar verdiğini yaptıkları literatür çalışmasında belirtmişlerdir.

4.1. Güç ve Biyodizel

Lauperta ve diğ.' nin (2007) yayınlamış olduğu literatür taramasına göre SCI Journals'da 1992-2005 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların yaklaşık %96'sı tam yükte biyodizelin efektif güçte azalmaya sebep olduğunu belirtmiştir. Bu azalma yakıt tipine, motor tipine, çalışma sıcaklıklarına ve yükleme şartlarına göre değişmektedir. Bu güç kaybının sebebi olarak düşük ısıl kapasite ve yüksek viskoziteden dolayı oluşmuş kötü atomizasyon neticesinde doğan kötü yanma gösterilmektedir. Bununla birlikte, bu azalma ısıl kapasite farkından dolayı oluşması gereken farktan daha azdır.

Tat (2003) ve Usta (2005)'nın yapmış olduğu çalışmalarda, bu olay biyodizelin yüksek viskozitesinden dolayı pompa kayıplarının azalmasına ve buna bağlı olarak daha erken açılan enjektörden daha fazla biyodizel püskürtülmesine bağlanmaktadır. Hacimsel olarak % 1,2–3,2 arasında değişen bu yakıt miktarı biyodizelin yoğunluğunun fazla olması sebebiyle kütlesel olarak daha da artmaktadır. Yüksek viskoziteden oluşan bu etki sıcaklığın arttığı tam yüklerde azalmakta böylece dizel yakıta göre güç azalışı daha da artmaktadır.

Bir diğer sebep de Alam M. ve diğ. (2004), Szybist J.P. ve diğerlerinin (2005) (Usta ve Tat'ın iddialarıyla da örtüşen) öne sürdüğü erken püskürtmeden dolayı oluşan sıcaklık artışıdır. Erken enjeksiyonun sebebi olarak biyodizellerin dizellere göre daha büyük sıkıştırılamazlık modülü (bulk modulus) ve viskoziteye sahip olmaları gösterilmiştir. Ancak bu durumun, NOx emisyonlarını kötü etkilediği bu çalışmalarda ayrıca ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda kısmi yüklerdeki güç azalışının artan yakıt sarfiyatıyla kompanse edilebildiği belirtilmektedir (Lauperta M. ve diğ., 2007).

4.2. Yakıt Sarfiyatı ve Biyodizel

Isıl kapasite farkından dolayı ve bahsedilen erken püskürtmeden dolayı özgül yakıt sarfiyatı biyodizel miktarına bağlı olarak artmaktadır. Yine Lauperta ve diğ.' nin (2007) belirttiği istatistiğe göre çalışmaların %98'inde yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmiştir.

Rakopoulos ve diğ.' nin (2004) yaptığı bir diğer literatür çalışmasında ise yakıt sarfiyatının biyodizelin bulundurduğu oksijen miktarıyla doğru orantılı olarak arttığı ortaya konulmuştur. Bunun sebebi olarak artan oksijen miktarının yakıtın ısıl kapasitesini düşürmesi gösterilmiştir.

Labeckas ve Slavinskas (2006) yaptıkları çalışmada kanolanın %5, %10, %20 ve %35 oranlarındaki dizel karışımlarının termik verimlerini incelemişlerdir. En iyi termik verimin %5 ve %10'luk karışımlara ait olduğunu sonuç bölümünde ifade etmişlerdir.

Ramadhas ve diğ.' nin (2005) yapmış olduğu çalışma da buna benzerdir. %10, %20, %50, %75 ve saf halde denenen kauçuk tohumu yağından elde edilmiş biyodizel en iyi termik verimi %10 ve %20 için sergilemiştir.

4.3. NOx ve Biyodizel

Lauperta ve diğ.' nin (2007) yaptıkları literatür çalışmasına göre NOx ile ilgili sonuçlara göre çalışmalar dörde ayrılmaktadır.

1. %85'lik bir kısım NOx emisyonlarında artış gözlemlemiştir.

Karışımdaki biyodizel miktarıyla doğru orantılı olarak artmasa da NOx miktarı genellikle biyodizel oranı arttıkça artma eğilimi sergilemektedir.

Schumacher ve diğ. (1994) yarım ve tam yüklerde, 1200 ve 2100 d/d hızlarda %10, %20, %30 ve %40 biyodizel/dizel karışımlarını 200 kw'lık 6 silindirli bir motorda test etmiştir. Maksimum NOx değerini %40'lık karışımda yakalamıştır ve bu değer saf dizelden %15 daha fazladır.

Marshall ve diğ.' nin (1995) yapmış olduğu bir başka deneyde ise B20'deki %3,7'lik artış gerçekleşmişken B30'da sadece %1,2'lik bir artış gerçekleşmiştir.

2. Bazı araştırmacılar ise NOx miktarlarını sadece belirli çalışma koşullarında yüksek bulmuşlardır.

Serdari ve diğ. (1999) 3 farklı motor tipinden bazılarında artış bazılarında da azalış gözlemleyerek, NOx miktarının motor tipine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır.

Hamasaki ve diğ. (2001) tek silindirli bir motorda 2000 d/d ve farklı yüklerde yaptıkları çalışmada kullanılmış yağdan elde edilmiş biyodizel ve karışımlarını test etmiştir. NOx miktarlarının düşük yüklerde azaldığını, yüksek yüklerde ise arttığını gözlemlemişlerdir. Bu da düşük yüklerde yanmanın setan sayısına daha duyarlı olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

3. Bir grup araştırmacı da herhangi bir değişiklik gözlemlememiştir.

Durbin ve diğ. (2000) saf biyodizel ve B20 ile yaptığı çalışmada hemen hemen dizelle aynı sonuçları elde etmiştir.

4. Çok az bir grup da NOx miktarlarında azalma tespit etmiştir.

Yüksek setan sayısına bağlı olarak NOx miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak erken başlayan yanma neticesinde daha yumuşak basınç ve sıcaklık gradyenleri gösterilmektedir (Schmidt ve Van Gerpen, 1996). Chang ve Van Gerpen'e göre (1997) doymuş esterlerde yüksek setan sayısı sebebiyle daha düşük NOx sonuçları alınmaktadır. Setan sayısı "common rail" li sistemlerde önemsiz hale gelmektedir (McCormick ve.diğ, 2005; Monyem A. Ve diğ., 2001).

Biyodizel veya biyodizel-dizel karışımlarında NOx miktarının artmasını araştırmacılar çeşitli sebeplere dayandırmaktadır.

Bunlarda bazıları şunlardır :

- Çoğu araştırmacı NOx artışını fiziksel özelliklerinden ötürü oluşan erken enjeksiyon sonucu başlayan erken yanmaya bağlamaktadır (viskozite, sıkıştırılamazlık modülü (bulk modulus), ses hızı). Bu fikir Schmidt ve Van Gerpen'in (1996) öne sürdükleri fikirle tamamen tezattır.

- Bir grup ise biyodizeldeki düşük PM miktarı ile azalan ışımanın etkisiyle alev sıcaklığının arttığını savunmaktadır (Cheng A.S. ve diğ, 2006).

- Biyodizellerin yapısında bulunan oksijen ve oksijence zengin dolgu havası NOx emisyon miktarını arttırmaktadır (Song J. ve diğ., 2004).

- Yüksek iyot sayısı (doymamış yağ oranı ve yapısındaki çift bağlarla (double bounds) doğru orantılı bir sayı) arttıkça artmaktadır (EPA, 2002; McCormick R.L ve diğ., 2005).

- Yüksek yüzey gerilimi ve viskoziteden dolayı oluşan sağlıksız atomizasyon (Kegl B., 2007)

NOx artışına sebep olan bu sebeplerin bazıları önlenebilmektedir. Bu önlemler:

- Transesterifikasyona tabi tutarak, yakıtı ısıtarak veya dizelle harmanlayarak viskoziteyi azaltmak (Monyem A. ve Van Gerpern J.H, 2000; Nwafor O.M.I, 2002; Alpgiray B. ve Gürhan R., 2007; Agarwal ve diğ., 2005).

- Motor koşullarına uygun oranlarda EGR (yanma odasına hava-egzoz karışımı bulundurmak) yapmak. Agarwal ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada, EGR yöntemiyle PM ve özgül yakıt sarfiyatında herhangi bir olumsuzluk yaşamadan NOx değerlerinde azalmalar kaydetmişlerdir. Bu sonucu yanma odasındaki hava oranının artan EGR oranıyla düşmesine bağlamaktadırlar.

- Dolgu havasındaki nemi arttırarak silindir içi tepe sıcaklıklarını düşürmek (McCormick R.L ve diğ., 2005).

- İyot sayısı düşük biyodizelleri kullanmak. (EPA, 2002; McCormick R.L ve diğ., 2005).

- Enjeksiyon zamanını geciktirmek. Böylece yanmanın geç başlaması sağlanarak yüksek tepe sıcaklıklarına ulaşılmasının önüne geçilir. Sonuç olarak NOx miktarlarında azalma meydana gelir (Szybist J.P. ve diğ., 2005)

- Mümkünse "common rail" gibi yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerini kullanmak. Bu sayede viskozitesi yüksek olan biyodizelde atomizasyon sağlıklı gerçekleşir ve tutuşma gecikmesi azalır (Szybist J.P. ve diğ., 2005).

- Türbülansla karışımın homojen oluşturulması.

- Konventör kullanılması (www.biomotorin-biodiesel.com).

4.4. HC ve Biyodizel

Lapuerta ve diğ.' nin (2007) yaptığı araştırmaya göre araştırmacıların %95'i HC değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Last ve diğ. (1995) yaptıkları çalışmada düşük karışım oranlarının HC azalmalarında yüksek karışım oranlarına göre daha etkin olduğunu belirlemişlerdir. B10, B20 ve B100 için elde edilen HC azalma oranları sırasıyla %28, %32 ve %75'tir.

Canakci ve Van Gerpen (2001) ile Tat (2003) araştırmalarını direk enjeksiyonlu turboşarjlı motorlarda yapmışlar ve tüm biyodizel çeşitleri için (B100'de) %50'lik bir azalma bulmuşlardır.

Monyem ve diğ.' nin (2001b) yapmış olduğu çalışmada ise okside olmuş biyodizelin okside olmamışa göre daha iyi HC emisyon değerleri yakaladığı tespit edilmiştir.

Storey ve diğ. (2005) çalışmalarında erken püskürtme zamanının daha düşük HC'a yol açtığını ortaya koymuştur.

Bazı araştırmacılar biyodizel yakıtın setan sayısının normal dizele göre daha yüksek olduğunu ve bu sebeple de kısalan yanma gecikmesinin HC miktarının azalmasına yol açtığını belirtmişlerdir (Monyem ve diğ., 2001a; Hansen ve Jensen, 1997; Pinto ve diğ., 2005).

4.5. CO ve Biyodizel

Lapuerta ve diğ.' nin (2007) yaptığı araştırmaya göre araştırmacıların %90'ı CO değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir.

EPA' nın (2002) yapmış olduğu bir çalışmaya göre biyodizel CO emisyonlarında dizele göre %50'lik bir azalma sağlamaktadır.

Choi ve diğ.' nin (1997) tek silindirli bir dizel motorda soyadan elde edilmiş biyodizelle yaptıkları çalışmada, düşük yüklerde herhangi bir azalma tespit edilememiş ancak yüksek yüklerde azalmalar saptanmıştır.

Graboski ve McCormick (1998) B20, B35 ve B65'le yaptığı testlerde biyodizel miktarıyla CO azalma oranı arasında hemen hemen doğrusal bir korelasyon bulmuşken; Last ve diğ. (1995) doğrusal bir ilişki tespit edememiş olup; B10, B20,

B30, B50 ve B100 biyodizel-dizel için tespit ettikleri azalmalar sırasıyla %10, %8, %18, %6 ve %14'tür.

Sharp ve McCormick (1998) biri setan sayısı yükseltilmiş olmak üzere iki B20 ile yaptığı testler sonucunda setan sayısı yükseltilmiş B20 yakıtın daha düşük CO emisyon miktarları verdiğini göstermiştir.

Ullman ve diğ. (1994) yaptıkları çalışmada biyodizelin bünyesindeki oksijen miktarıyla setan sayısının arttığını ve buna bağlı olarak da CO miktarının azaldığını ortaya koymuşlardır.

EPA'nın (2002) yaptığı çalışmada hayvansal yağlardan elde edilen biyodizellerin (doymuş yağ oranı yüksek) bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellere göre (doymamış yağ oranı yüksek) daha iyi CO miktarları verildiği tespit edilmiştir.

Karbon monoksitin (CO) azalmasını sebebi olarak biyodizelin bünyesinde bulunan oksijen fazlalığı ve sıkıştırılamazlık modülünden dolayı oluşan erken püskürtme gösterilebilir.

4.6. CO_2 ve Biyodizel

Biyodizelin CO_2 emisyonuna etkileri genelde değişken ve genellenebilir olmasa da, %50 ile %80 (kullanılmış yağlarda bu orandan da fazla) arasında bir azalmaya sebep olmaktadır (Toyota Motor Corporation, 2006).

Canakçı ve Van Gerpen (2001) turboşarjlı dört silindirli bir motorda hayvansal ve soya yağlarından elde edilmiş biyodizellerle oluşturulmuş B20 karışımlarını test etmişlerdir. Araştırmacılar CO_2 emisyonlarında, soyadan elde edilmiş biyodizel dizel karışımlarında % 1.8, hayvansal yağdan elde edilmiş biyodizel dizel karışımlarında ise % 1.2 gibi cüzi artışlar gözlemlemişlerdir.

4.7. Yakından İncelenen Makaleler

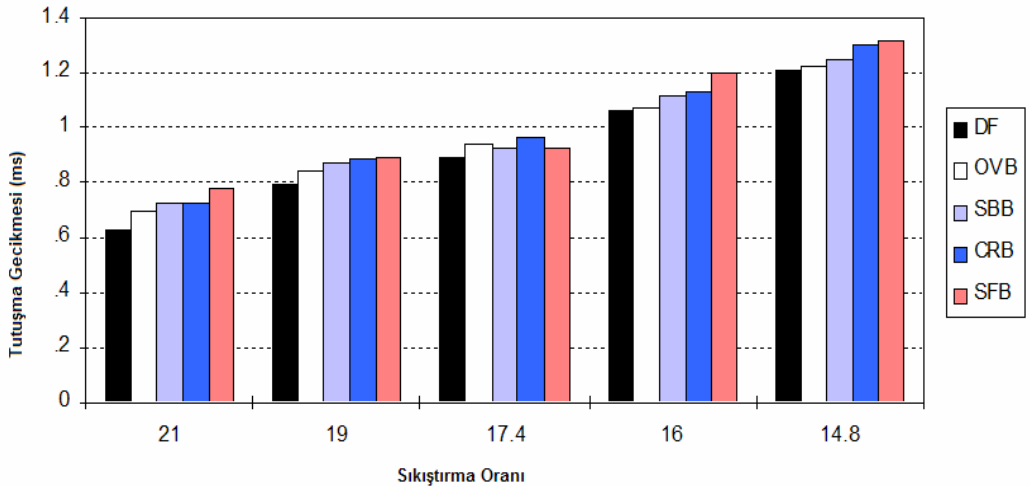
a. Ergeneman ve diğ.' nin (1997a) yaptığı çalışmada 4 tip (ayçiçek,mısır, soya ve zeytin yağları) yağdan elde edilmiş B20 karışımlarının tutuşma gecikmelerinin sıkıştırma oranlarına bağlı olarak No D-2 dizelle karşılaştırılması yapılmıştır. Erken enjeksiyon yüksek sıcaklıklara ve dolayısıyla NOx miktarında artışa sebep olduğu belirtilmiştir. Fakat erken enjeksiyon ile çevrim veriminin arttığı ve yakıt sarfiyatının azaldığı ifade edilmiştir. NOx' teki artışın önlenebilmesi için yüksek setan sayılı

yakıtların geç püskürtülmesi önerilmiştir. Araştırmacılara göre, yakıtın kendiliğinden tutuşma özellikleri yanmanın ilk safhalarını, yanmanın ilk safhaları da kendisinden sonraki safhaları etkilemektedir. Bu sebeple vuruntulu çalışmaya sebep olabilecek aşırı tutuşma gecikmelerinin önlenmesi gerekmektedir.

Tutuşma gecikmesi atomizasyondan, sıcaklıktan ve kısmi buharlaşmadan oluşan fiziksel gecikme periyoduyla kimyasal gecikme periyodunun toplamıdır. Setan sayısı yükseldikçe tutuşma gecikmesi azalır ve yakıt dizel kullanımı için daha uygun hale gelir (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Tutuşma gecikmesi ile setan sayısı ve sıkıştırma oranı (sıcaklık) arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Tutuşma gecikmesinde, düşük sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonlar, yüksek sıcaklıklarda ise fiziksel özellikler önemlidir (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Şekil 4.1'de çeşitli yağların B20 karışımlarının sıkıştırma oranına bağlı tutuşma gecikmeleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Sıkıştırma oranına bağlı olarak tutuşma gecikmesinin değişimi
DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı
Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı
Biyodizel (Ergeneman M. ve diğ., 1997a)

Beklendiği üzere, sıkıştırma oranı arttıkça tutuşma gecikmesi tüm yağlar için düşmektedir. Tablo 4.1'de dizele göre yakıtların göreceli tutuşma gecikmeleri yer almaktadır (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Tablo 4.1: Bitkisel Yağ-Dizel karışımlarının tutuşma gecikmelerinin normal dizele göre mukayesesi (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Sıkıştırma Oranı	DF-OVB (%)	DF-SBB (%)	DF-CRB (%)	DF-SFB (%)
21:1	+10.3	+14.7	+14.7	+23.5
19:1	+5.8	+9.3	+10.5	+11.6
17.4:1	+5.2	+4.2	+8.3	+4.2
16:1	+0.8	+4.3	+6.1	+13.0
14.8:1	+0.8	+3.0	+6.9	+8.4

Dizelle karışımlar arasındaki en büyük far ε = 21:1 'de gerçekleşmiştir. En büyük fark Dizel-Ayçiçeği B20 arasındaki %23,5 'luk farktır (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Sıkıştırma oranı küçüldükçe karışımlar arasındaki tutuşma gecikmesi farkı azalmaktadır. Zeytinyağıyla dizel hemen hemen aynı setan sayısına sahip olmasına rağmen tutuşma gecikmeleri birbirlerinden farklıdır. Bunun sebebi zeytinyağının sahip olduğu yüksek viskozite ve kaynama noktası olabilir (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Yüksek sıcaklıklarda kendiliğinden tutuşma ve vuruntu riski arttığı için sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkisi önemlidir. Ayçiçeği ile dizel arasındaki maksimum fark olan %23,5' luk fark motorun çalışmasını etkileyecek boyutlarda değildir. Tepe sıcaklıkları hariç ayçiçeği B20 ile Dizel yakıtların basınç grafikleri benzerdir. Bu fark dizelin ısıl kapasitesinin daha fazla ve tutuşma gecikmesinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarı aynı olsa da yoğunluk farklarından dolayı kütlesel miktarları farklıdır; yoğunluğu daha az olan dizelin daha azdır (Ergeneman ve diğ., 1997a).

Sonuç olarak şunları söyleyebiliriz :

- Tüm yağ tiplerinin tutuşma gecikmesi dizelinkinden fazladır.
- Basınç diyagramları ve yakıt sarfiyatları arasında pek fark yoktur.
- Diesel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden, yakıt hacmini değiştirmeden veya enjeksiyon zamanlarını değiştirmeden bu yakıt türleri kullanılabilir.

b. Ergeneman ve diğ.' nin (1997b) yapmış olduğu çalışmada ayçiçek, mısır, soya ve zeytinyağı ile No.2-D dizel yakıtından elde edilmiş B20 (hacimsel, v/v) karışımlarının ve değişik sıkıştırma oranlarının emisyon gazlarına etkileri incelenmiştir. İs, CO, CO_2 ve HC emisyonlarında bir düşüş; NOx emisyonunda ise bir artış gerçekleşmiştir.

Bitkisel yağların Diesel motorlarda doğrudan kullanımı motorda birikintilere ve enjektör tıkanmalarına yol açabilmektedir. Bunun sebebi bitkisel yağların sahip olduğu yüksek viskozite ve düşük uçuculuk özellikleridir. Viskozitenin azaltılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi biyodizelin normal dizel ile harmanlanarak seyreltilmesidir (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Biyodizel/dizel karışımlarının karışım oranlarına bağlı olarak değişen kimyasal ve fiziksel özelliklerin etkisi olduğu kadar motor spesifikasyonlarının ve çalışma koşullarının da emisyonlara etkisi vardır. Sıkıştırma oranı (ε) ve Seiliger çevrimi, çevrimin verimini ve yanmayı etkileyen en önemli parametrelerdir. Sıkıştırma oranı doğrudan tutuşma gecikmesini, dolayısıyla çevrim verimini ve yanma süresince ulaşılacak maksimum basınç-sıcaklık değerlerini etkilemektedir (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Hidrokarbon yakıtlarda is doğrudan oksijenin varlığıyla ilintilidir. Bununla birlikte, Diesel motorlarda yanma boyunca oluşan is hakkında gerek teorik gerekse deneysel bilgi birikimi yeterli değildir. Bunun sebebi yanma süresine ve yanma odası geometrisine bağlı olarak değişen birçok kimyasal ve fiziksel koşulların is oluşumunu etkilemesidir. Tüm bu faktörlerin motordan motora değişmesi ise işi daha da zorlaştırmaktadır (Ergeneman ve diğ., 1997b).

İs oluşumunun karbon/oksijen oranına bağlı olarak değiştiğine dair bir genel kabul mevcuttur. Ortamda karbon atomunun bulunması oksijenin H_2O, CO_2 gibi nihai ve OH gibi ara ürünler tarafından tutulduğunu göstermektedir. Karbon/oksijen oranının 0.5'ten büyük olmaması heterojen karışımlarda ve difüzyon kontrollü yanma süreçlerinde mümkün olmadığı için Diesel motorlarda is oluşumunun önüne geçilememektedir. Bununla birlikte, is miktarının çoğu yanma sırasındaki veya sonrasındaki yüksek sıcaklıklara ve oksijen miktarına sahip bölgelerde oluşmaktadır. Bu sebeplerden ötürü is oluşma süresinin yanında tüm karbon parametreleri is oluşumunda önemli hale gelmektedir (Ergeneman ve diğ., 1997b).

İs oluşumu yakıt buharlaşma fazında başlamaktadır. Bu fazda oluşan ilk is yapıları çok küçüktür ve 0.1'den daha az hidrojen/karbon oranına sahiptir. İs oluşumunun ilk adımı yakıtın pirolizidir (Organik maddelerin kimyasal çözülümüdür; daha basit yapılara ayrılışıdır.). Bu adımın sonunda orjinal moleküller daha düşük ağırlığa sahip moleküllere ve daha az doymuş hidrokarbonlara ayrışmaktadır. Piroliz göreceli olarak düşük sıcaklıklarda oksijen ve hidroksil radikallerinin (OH) reaksiyonlarıyla oluşmaktadır (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Yakıt tipi ancak düşük sıcaklıklarda ve oksijen miktarlarında önem arzetmektedir. Yüksek setan sayısına sahip yakıtların yapıları kararlı olmadığı için is oluşumuna daha meyillidir. İs oluşumunun temelleri, en çok yakıtın ulaştığı yüksek sıcaklığa sahip sprey ortası bölgelerde, özellikle de yüksek yüklerde atılmaktadır. Daha fakir karışımın olduğu dış bölgelerde is oluşumu mümkün olsa da buradaki is daha sonra meydana gelmektedir. İs oluşumunun ikinci adımı ise çekirdeklenme periyodudur. Bu periyot boyunca ilerleyen ve okside olan prosesler birlikte yürüyerek büyüyen is yapılarına sebep olmaktadır. Oksidasyon hızı sıcaklıkla üstel, oksijen miktarıyla ise orantılı bir şekilde artmaktadır (Ergeneman ve diğ., 1997b).

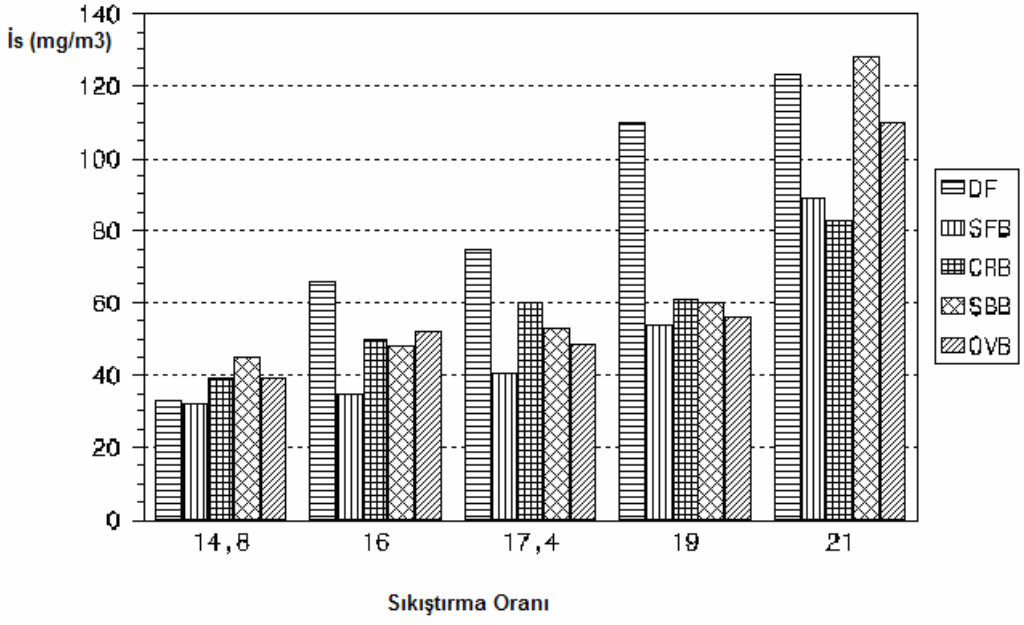
Egzoztaki net is miktarı yanma ve genişleme stroklarındaki is oluşumuna ve oksidasyona bağlıdır. Yakıt/hava karışım oranı ile sıcaklık dağılımını ve bunların arasındaki zamana bağlı ilişkiyi etkileyen birçok parametre is oluşumunu yönetmektedir. Enjeksiyon zamanı, enjeksiyon miktarı, toplam yakıt/hava karışım oranı, yanma odası tipi ve çalışma koşulları gibi birçok parametre doğrudan kontrol edilebilmektedir (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Erken tutuşma ve geç tutuşma is oluşumunu büyük oranda etkilemektedir. Tutuşma gecikmesi boyunca püskürtülen yakıt miktarı kısmen buharlaşarak zayıf karışım olarak yanarken, kalan diğer yakıt difüzyon ile yanmaktadır. Direk enjeksiyon (DI) ile endirek enjeksiyon (IDI) farklı yanma mekanizmaları sergilediği için is oluşumu bu iki enjeksiyon tipinde farklıdır. DI'da ÜÖN'dan 5^{o} KMA önce püskürtme daha uzun tutuşma gecikmesine yol açarak daha fazla yakıtın fakir karışım halinde yanmasına yol açarak is oluşumunu azaltmaktadır. Ancak bu durumda da yüksek sıcaklık ve oksijen miktarı sebebiyle NOx emisyonları artmaktadır. IDI motorlarda ise is azalışı ancak minimum tutuşma gecikmesi noktasından daha geç gerçekleşen püskürtme zamanlarında söz konusu olabilmektedir. Bunun sebebi zengin karışımın yanmaya daha düşük sıcaklıkların olduğu genişleme stroğunda difüzyon kontrollü

devam etmesidir. Diğer yandan, IDI motorlarda erken püskürtme sonucu ön yanma odasında oluşan daha fazla yakıt/hava karışım oranı sebebiyle is oluşumu artmaktadır (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Yakıt özelliklerinin motora veya motor özelliklerinin yakıta uygun hale getirilmesi bitkisel yağların Diesel motorlarda kullanılabilmesi için başvurulan iki muhtemel yöntemdir. Sıkıştırma oranı, performansı ve emisyon değerlerini etkileyen ve nispeten çok az da olsa yakıt-motor arası uyumu sağlayan bir parametredir. Sıkıştırma oranı, tutuşma gecikmesi, yakıt jetinin formunu, hava hareketlerini, yanma odası basıncını ve sıcaklığını etkileyerek is oluşumuna tesir etmektedir. Sıkıştırma oranının is oluşumuna etkisi özellikle tutuşma gecikmesi ve motor tipi gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Ancak, genel olarak artan sıkıştırma oranı neticesinde azalan tutuşma gecikmesine bağlı olarak is oluşumunun artması beklenmektedir (Spring ve Patterson, 1973; Wagner, 1978; Kaminato ve Kobayashi, 1991; Syassen, 1992).

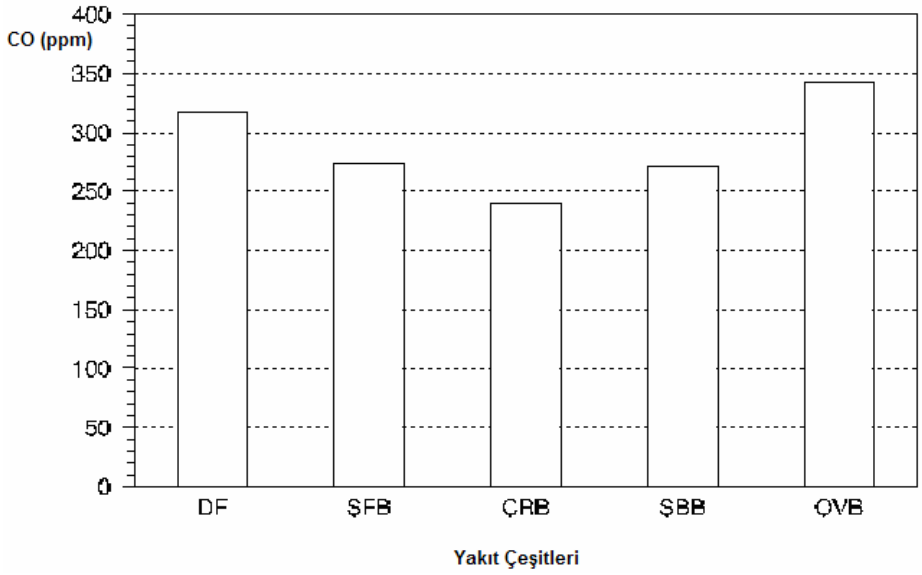
Çalışmada seçilmiş olan sıkıştırma oranları 14.8, 16, 17.4, 19 ve 21'dir. Şekil 4.2'de sıkıştırma oranı ile is arasındaki ilişki görülmektedir.



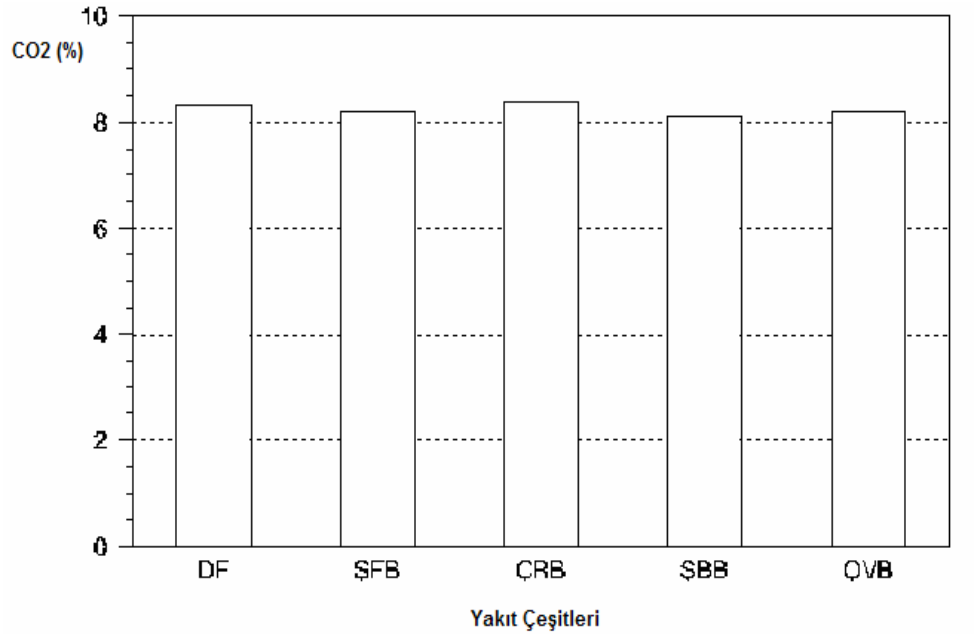
Şekil 4.2: Sıkıştırma oranına bağlı olarak is oluşumunun değişimi DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı Biyodizel (Ergeneman ve diğ., 1997b)

İs emisyonu, ölçülen tüm yakıt tiplerinde artan sıkıştırma oranına bağlı olarak artma eğilimi göstermektedir. Bu eğilim yüksek sıkıştırma oranlarında daha belirgin bir hale gelmektedir. Normal dizel yakıtı ε = 21 hariç tüm sıkıştırma oranlarında en yüksek is değerlerini vermektedir. Bu sonuç, bitkisel yağların bünyesinde bulunan daha fazla oksijenden (normal dizele göre yaklaşık kütlesel olarak %10 daha fazla) dolayı, beklenmektedir (Ergeneman ve diğ., 1997b). Ayrıca, karışımların sahip oldukları daha düşük setan sayısının da bu sonuçta etkisi bulunmaktadır (Ozaktas ve diğ., 1997).

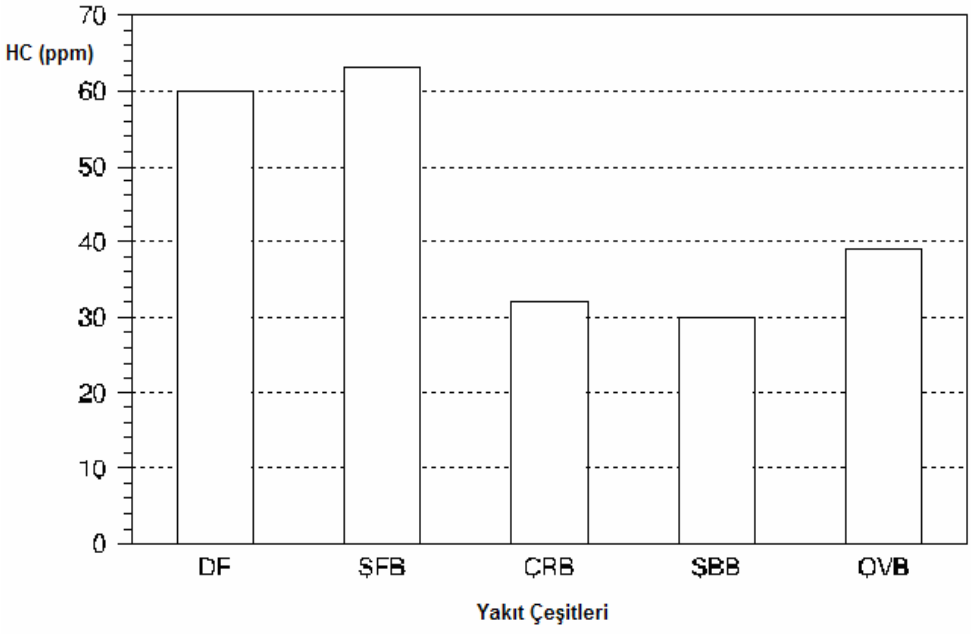
Farklı yakıt tiplerinin CO, CO_2, HC ve NOx emisyonlarına etkileri ε = 19 için karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3'te CO, Şekil 4.4'te CO_2, Şekil 4.5'te HC ve Şekil 4.6'da NOx için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



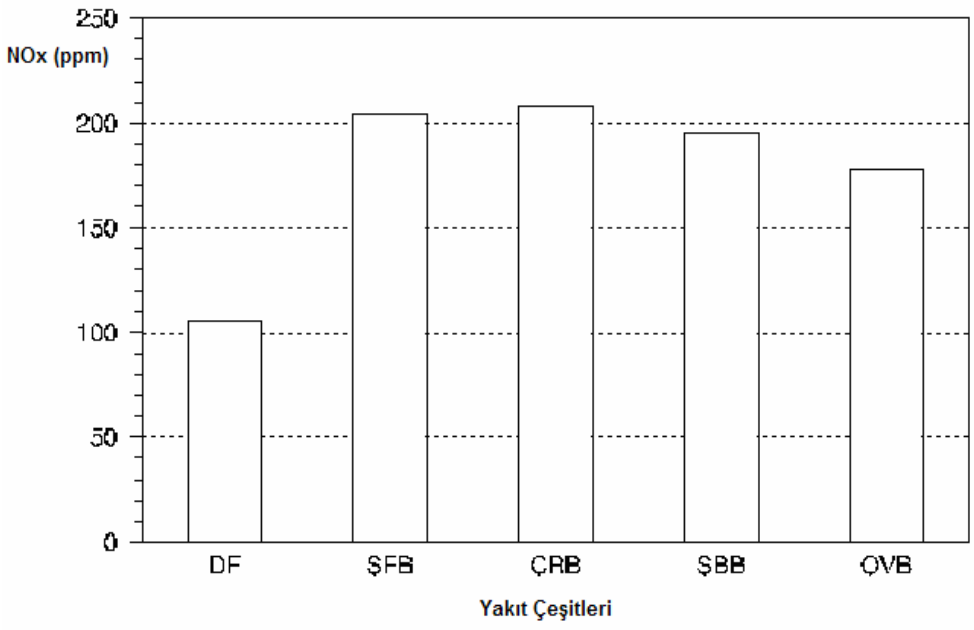
Şekil 4.3: Yakıt Çeşitlerine Bağlı Olarak CO emisyonunun değişimi (ε=19)
DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı
Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı Biyodizel
(Ergeneman ve diğ., 1997b)



Şekil 4.4: Yakıt Çeşitlerine Bağlı Olarak CO_2 emisyonunun değişimi (ε=19)
DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı
Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı Biyodizel
(Ergeneman ve diğ., 1997b)



Şekil 4.5: Yakıt Çeşitlerine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi (ε=19)
DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı
Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı Biyodizel
(Ergeneman ve diğ., 1997b)



Şekil 4.6: Yakıt Çeşitlerine Bağlı Olarak NOx emisyonunun değişimi (ε=19)
DF: Normal Dizel OVB: Zeytin Yağı Biyodizel SBB: Soya Yağı
Biyodizel CRB: Mısır Yağı Biyodizel SFB: Ayçiçeği Yağı Biyodizel
(Ergeneman ve diğ., 1997b)

Yakıt karışımlarının sahip oldukları fazla oksijen miktarından ötürü biyodizel yakıtların CO ve HC emisyonlarında normal dizele göre daha avantajlı oldukları görülmektedir. NOx' te ise beklendiği gibi normal dizel, biyodizel karışımlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer değerlerde ise belirgin farklılıklar görülmemiştir. Yüksek oksijen miktarı ve düşük setan sayısı NOx emisyonlarında bitkisel yağları dizele göre dezavantajlı duruma getirmektedir (Ergeneman ve diğ., 1997b).

Ergeneman ve diğ.' nin (1997b) yapmış olduğu çalışmanın sonucunda bitkisel yağların, hacimsel olarak 20/80 bitkisel yağ/dizel karışım oranında, normal Diesel motorunda çalışma koşullarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bu çalışmada, sıkıştırma oranı (ε) yanma ve is oluşumu karakteristiklerinde büyük öneme sahip olduğu için, farklı yakıtlar çeşitli sıkıştırma oranlarında test edilmiştir. Bitkisel yağ karışımlarının 16, 17.4, 19 ve 21 sıkıştırma oranlarında is oluşumu dizele göre daha düşük seviyededir. NOx haricinde diğer tüm gaz emisyonlarında bitkisel yağ/dizel karışımları avantajlı konumda gözükmektedir.

c. Oguma ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada değişik sıkıştırma oranlarında, dimetil eter (DME) ve dizel yakıtları termik verim ve emisyon değerleri bakımından birbirleriyle kıyaslamışlardır. Dizel yakıta yakın bir termik verime sahip olduğu ve issiz bir yanma gerçekleştirdiği için DME son zamanlarda ilgi çeken temiz bir alternatif yakıttır.

LPG, doğalgaz, kömür veya biyokütleden elde edilen metanolün DME' e çevrilmesi ile elde edilmektedir. Ancak biyokütle ve kömür gibi katı maddelerden eldesi, doğalgaz ve LPG gibi gazlardan eldesine kıyasla daha zordur. Renksizdir ve suda çözünebilmektedir (www.wikipedia.com).

Oguma ve diğ.' nin (2002) ortam basıncının DME'nin silindire püskürtülmesi sırasında damlacık Sauter ortalama çapına (SMD) nasıl etki yaptığını gölgegrafiği (shadowgraph) ve imaj işleme metodu (image processing method) ile incelemişlerdir. Ayrıca DME ile çalışan bir Diesel motorun performans ve emisyon karakteristikleri çeşitli sıkıştırma oranları için araştırılmıştır. İlk çalışma ve tutarlı (stabil) çalışma için minimum sıkıştırma oranı 12 olarak saptanmıştır. Sıkıştırma oranı 12' den 17.7' ye kadarki termik verimler motorun orijinal sıkıştırma oranı olan 17.7' deki ile hemen hemen aynıdır. Motor DME ile çalışırken düşük sıkıştırma oranlarındaki teorik verimi düşmektedir. Bununla birlikte, yüksek yanma verimi, sabit hacimdeki artış ve azalan ısı kaybı bu düşüşü telafi etmektedir. Ayrıca NOx, THC ve CO emisyonlarıyla motor sesinde orijinal sıkıştırma oranına göre düşüşler gerçekleşmektedir (Oguma ve diğ., 2002).

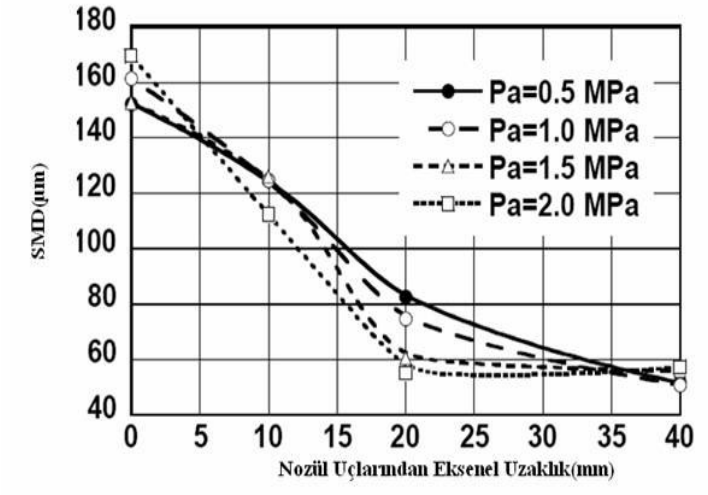
DME' nin ısıl kapasitesi dizel yakıtın yaklaşık %60'ı kadar olup, viskozitesi çok daha azdır. Setan sayısı 55' ten büyük olup Diesel motorlarda çalışmasına uygundur. Dizele yakın bir termal verim ve issiz bir yanma sağlamaktadır. Ancak NOx emisyonundaki artışlar ve düşük maksimum güç DME ile çalışmalarda sorun çıkarmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).

DME' nin karışım oluşturma prosesi ve atomizasyon karakteristiği motor performansında ve egzoz emisyonlarında önemli bir rol oynayabilmektedir. Özellikle düşük kaynama noktasında ve buhar basıncına sahip DME' nin atomizasyonunda silindir içi ortam basıncı önemli hale gelmektedir (Oguma ve diğ., 2002).

Oguma ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada doğal dolgulu, tek silindirli, turboşarjlı ve direk enjeksiyonlu (DI) bir Diesel motoru kullanmıştır.

DME atmosferik basınçta ve sıcaklıkta gaz halinde bulunmaktadır. Bu sebeple yakıt hattı basınca dayanıklı bir hale getirilmiş ve bu sayede nitrojen basıncıyla DME sıvı halde tutulabilmiştir. Motorun sıkıştırma oranı çeşitli kalınlıkta contalar kullanılarak ayarlanmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).

DME sabit hacimli yanma odasına Φ0.03 mm' lik tek bir nozülden değiştirilebilen ortam basıncına püskürtülmektedir. DME, 0.5 MPa püskürtme basıncıyla sırasıyla 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 MPa' lık ortam basınçlarına püskürtülmektedir. Ortam basıncının 1.0 MPa' lı geçmesiyle küçük damlacık sayısı artmaktadır. Ayrıca, ortam basıncıyla birlikte yakıt jetinin kalınlığı da artmaktadır. Ortam basıncı artışının SMD'nin artmasını engellediği tespit edilmiştir. Şekil 4.7' de SMD' nin ortam basıncına göre değişimi görülmektedir (Oguma ve diğ., 2002).



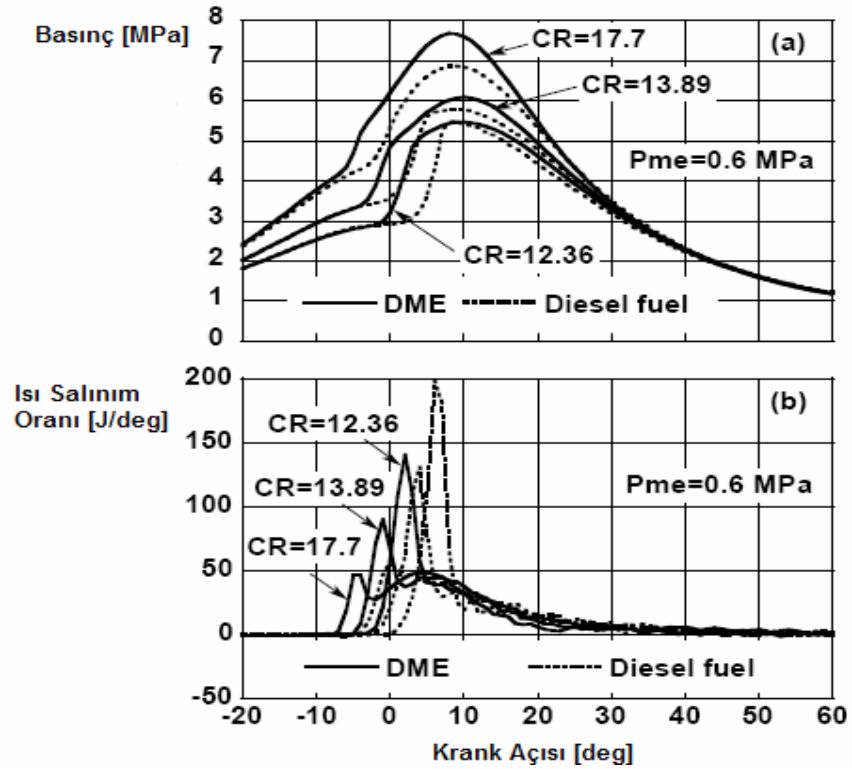
Şekil 4.7: Sauter Ortalama Çapının Nozülden Uzaklığına ve Ortam Basıncına göre değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

Şekil 4.7' teki yatay eksen damlacığın nozülden olan uzaklığını ifade etmektedir. Damlacıkların nozülden çıkış SMD çapları 150 ile 170 μm arasındadır. Şekilden de görüleceği gibi tüm ortam basınçlarında 20 mm uzaklığa kadar SMD düşüşü daha kesindir. Bu uzaklıktan sonra düşüş hızı azaltmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).

DME' nin damlacık ve sprey özellikleri ortam basıncı buharlaşmayı arttırıcı boyutlara ulaşmadığı sürece normal sıvı yakıtlarla mukayese edilebilmektedir (Oguma ve diğ., 2002).

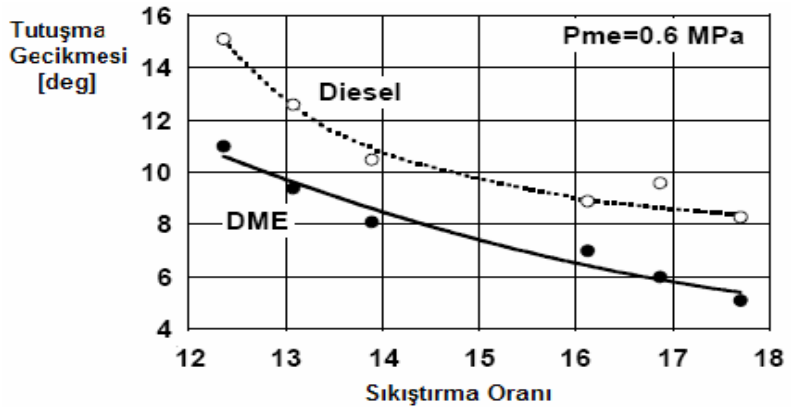
Şekil 4.8 (a)' da DME ile çalışmada silindir içi basınçların çeşitli sıkıştırma oranlarında KMA' ya bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.8 (b)' de ise basınç

diyagramından yararlanılarak hesaplanmış KMA' ya bağlı ısı salınımı görülmektedir. İki grafikte de DME ile normal dizel karşılaştırılmıştır.



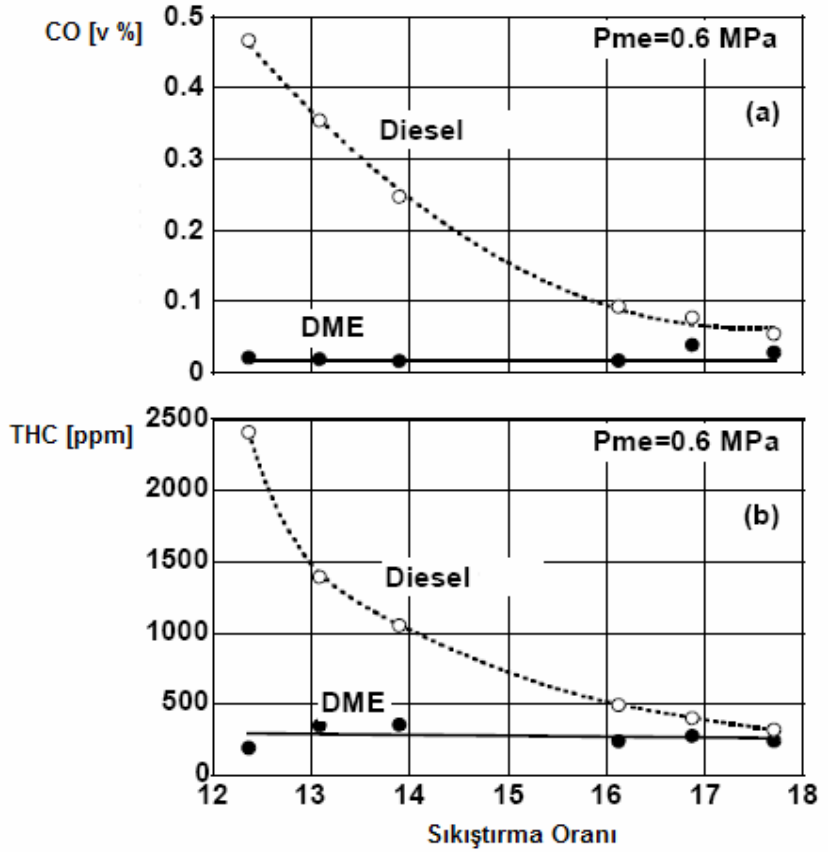
Şekil 4.8: (a) Basınç-KMA **(b)** Isı Salınım Oranı-KMA (Oguma ve diğ., 2002)

Şekil 4.8 (b)' de görüldüğü gibi sıkıştırma oranı azaldıkça tepe ısısı artmakta; ancak dizel yakıtınkinden düşük kalmaktadır. Bunun sebebi Şekil 4.9' da görüldüğü gibi DME' nin dizele göre tutuşma gecikmesinin, düşük kaynama noktasından ve buharlaşma basıncından dolayı daha az olmasıdır (Oguma ve diğ., 2002).



Şekil 4.9: Tutuşma Gecikmesinin Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

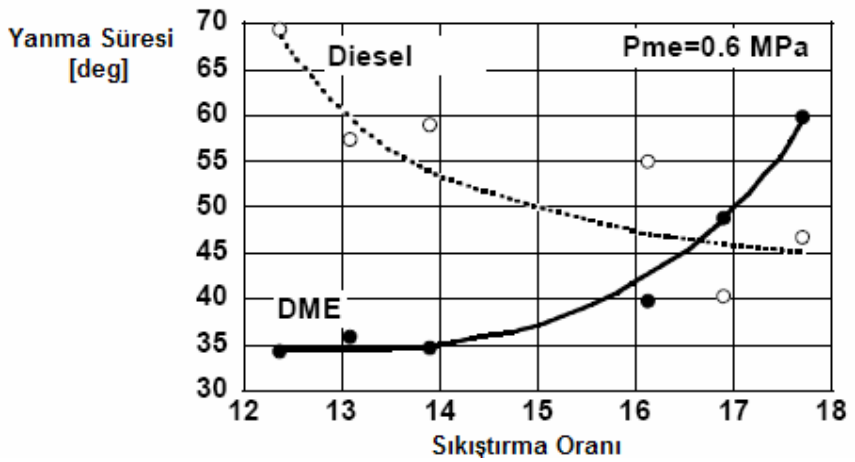
Şekil 4.10 (a) ve (b)' de ise DME' nin CO ve THC emisyonlarının dizel yakıtla, çeşitli sıkıştırma oranlarında mukayesesi görülmektedir (Oguma ve diğ., 2002).



Şekil 4.10: (a) CO **(b)** THC Emisyonlarının Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

Şekil 4.10' da görüldüğü üzere DME' nin CO ve THC değerleri dizele kıyasla çok düşüktür ve azalan sıkıştırma oranıyla birlikte artmamaktadır (Oguma ve diğ. 2002).

Şekil 4.11' de sıkıştırma oranına bağlı olarak değişen yanma süreleri KMA cinsinden verilmektedir. Düşük sıkıştırma oranlarında bu süre daha kısadır. Gölgegrafiği (shadowgraph) metoduyla bunun sebebi araştırılmıştır. Yapılan çalışmaya göre ε=17.7' de yanma daha erken başlamaktadır. Yanmanın başladığı -8^{o} KMA' da yakıt jeti hala gelişmektedir ve henüz hücre duvarına ulaşmamıştır. ε=12.36' da ise yakıt yanma başlamadan önce oda çeperlerine çarpmakta ve bu sayede daha iyi bir yakıt/hava karışımı oluşmaktadır. Bu sayede de yanma süresi kısalmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).



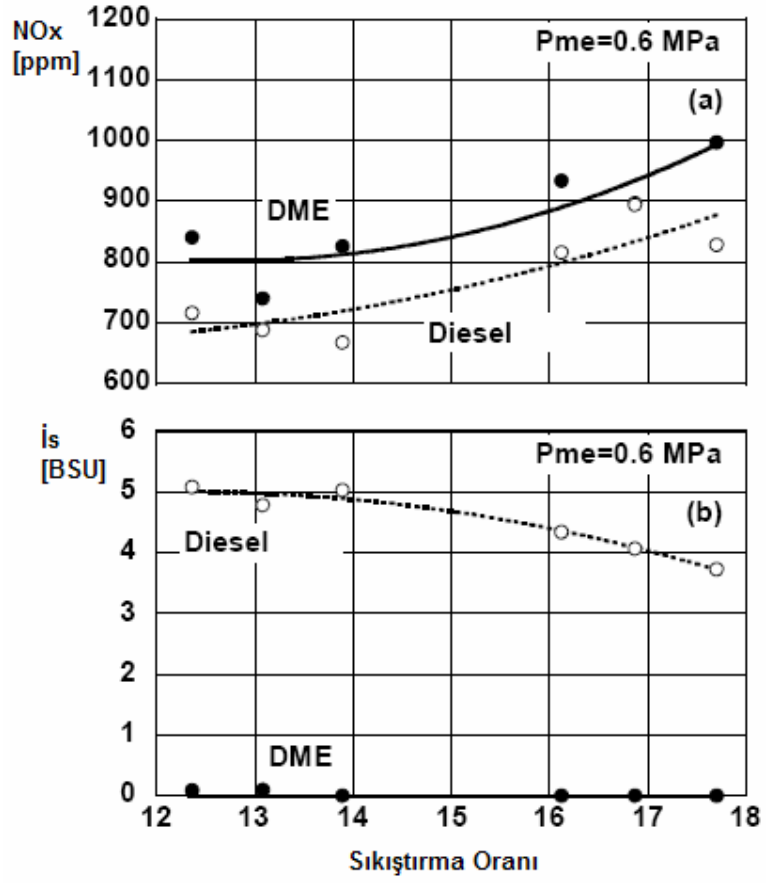
Şekil 4.11: Yanma Süresinin Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

Şekil 4.12 (a)' da sıkıştırma oranının DME ve normal dizel için NOx emisyonlarına etkisi görülmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarında DME'nin NOx değerleri dizelinkinden daha yüksektir. Bu problem DME ile çalışan motorlarda en önemli sorun olarak göze çarpmaktadır. Bununla birlikte sıkıştırma oranı düştükçe hem DME hem de dizel için NOx miktarı düşmektedir. Bu azalış düşük sıkıştırma oranlarında DME için dizele kıyasla daha verimlidir (Oguma ve diğ., 2002).

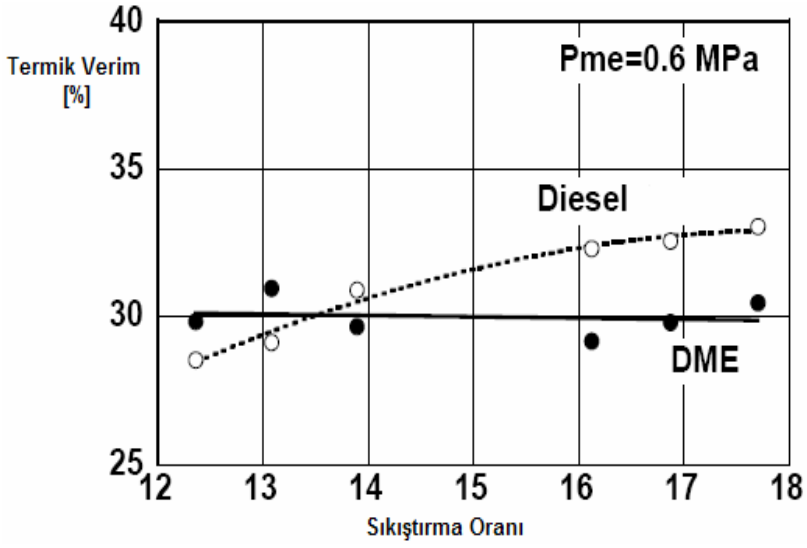
Şekil 4.12 (b)' de ise DME ve dizelin is değerlerinin sıkıştırma oranına göre değişimi görülmektedir. DME' nin is değerleri tüm sıkıştırma oranlarında ihmal edilebilir değerlerde olup yaklaşık sıfırdır. Dizelin is değerleri ise artan sıkıştırma oranına bağlı olarak azalmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).

Şekil 4.13' de sıkıştırma oranının termik verime olan etkisi iki yakıt türü için de görülmektedir. DME'nin termik verimi tüm sıkıştırma oranları için hemen hemen aynıdır. Ancak dizelin termik verimi sıkıştırma oranı arttıkça artmaktadır. Dizel yakıtın termik verimi yaklaşık olarak ε=13.5' ten sonraki tüm sıkıştırma oranlarında DME' ye göre daha iyi durumdadır (Oguma ve diğ., 2002).

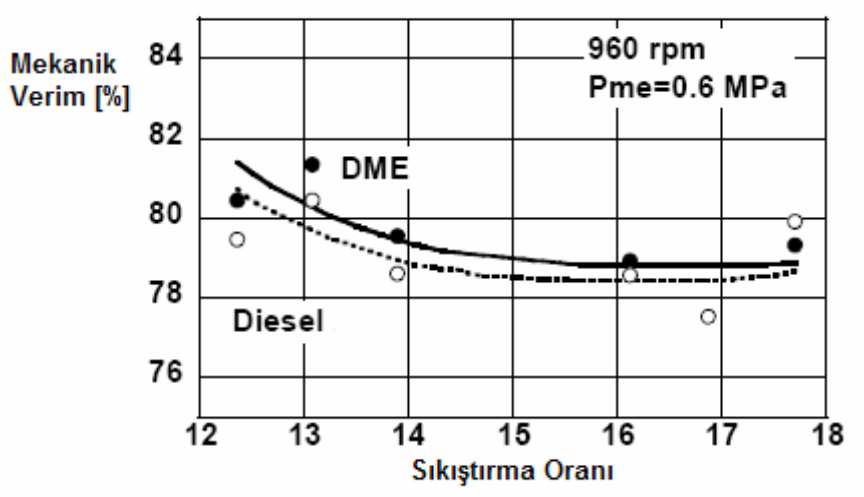
Şekil 4.14' de ise sıkıştırma oranı ile mekanik verim arasındaki ilişki görülmektedir. Mekanik verim her iki yakıt için de aynı eğilimi göstermekte ve artan sıkıştırma oranıyla birlikte azalmaktadır (Oguma ve diğ., 2002).



Şekil 4.12: (a) NOx **(b)** İs Emisyonlarının Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

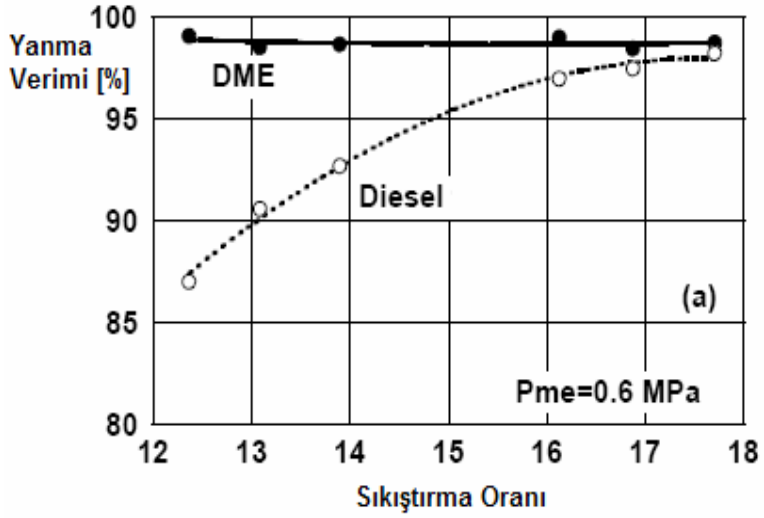


Şekil 4.13: Termik Verimin Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)



Şekil 4.14: Mekanik Verimin Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

Şekil 4.15‘ de sıkıştırma oranının yanma verimine olan etkisi görülmektedir. Bu verim CO, THC ve özgül yakıt sarfiyatı değerleriyle hesaplanmıştır. Dizelin yanma verimi sıkıştırma oranı düştükçe azalırken DME’ nin yanma verimi tüm sıkıştırma oranlarında sabit ve dizele göre daha yüksek kalmaktadır. Bunun sebebi DME’ nin sahip olduğu düşük buharlaşma noktası ve buhar basıncı sebebiyle düşük sıkıştırma oranlarında dahi dizele göre daha iyi yakıt/hava karışımı oluşturabilmesidir (Oguma ve diğ., 2002).



Şekil 4.15: Yanma Veriminin Sıkıştırma Oranına bağlı değişimi (Oguma ve diğ., 2002)

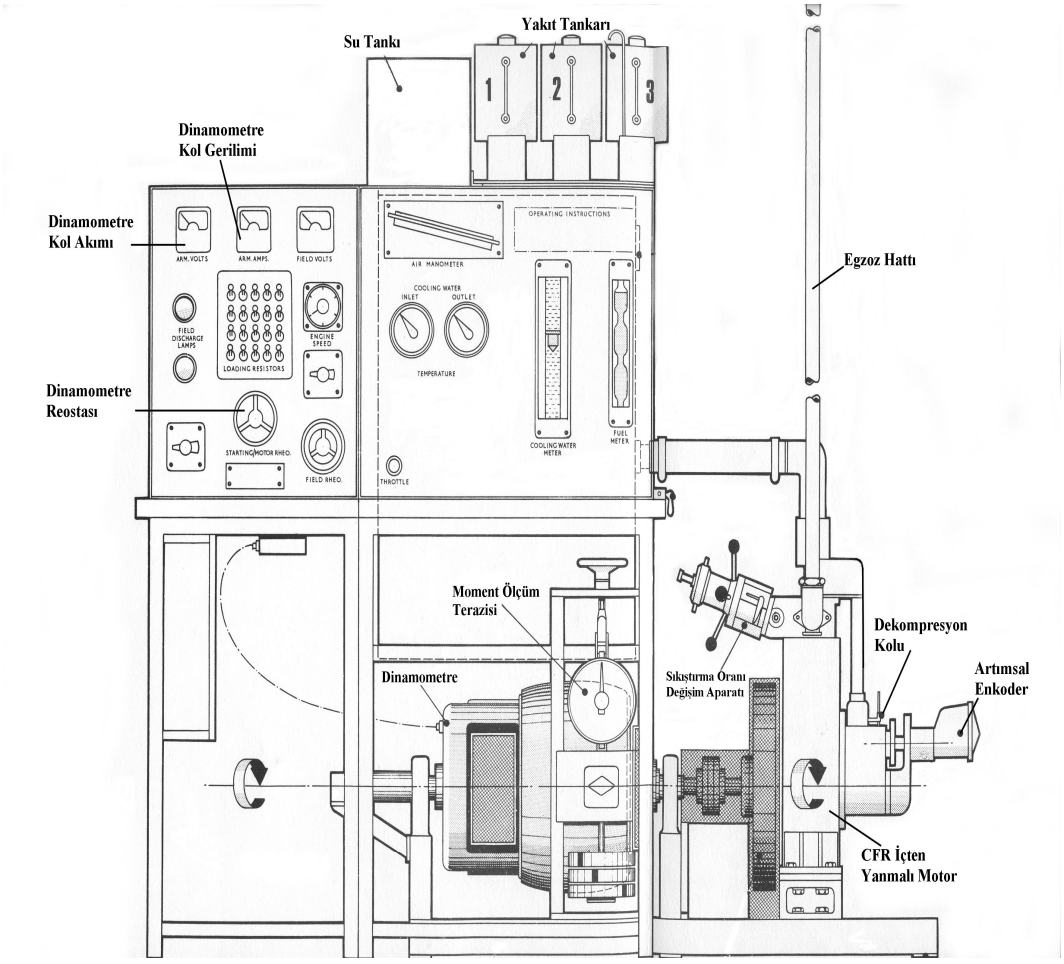
Oguma ve diğ. (2002) sonuç bölümünde şu çıkarımlara ulaşmışlardır :

- Yüksek ortam basıncı yakıt jetini daha hızlı ikiye ayırmakta ve daha kalın hale getirmektedir.
- DME' nin termik verimi tüm sıkıştırma oranlarında hemen hemen aydınıdır.
- Tüm sıkıştırma oranlarında DME, issiz,düşük CO ve THC emisyonları ile çalışma imkanı vermektedir. NOx emisyonları dizele göre daha kötü olmakla birlikte sıkıştırma oranı düştükçe azalmaktadır.

5. DENEY DÜZENEĞİNİN VE YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ

5.1. Deney Düzeneği

Deneyde kullanılan düzenek Tecquipment marka CFR TD2 deney setidir. Deneylerde bu düzeneğin tercih edilmesindeki öncelikli sebep deney motorunun sıkıştırma oranının değiştirilebilir olmasıdır. Deney setinin kısımlarının teknik özellikleri maddeler halinde verilmiştir.



Şekil 5.1: Deney düzeneğinin şematik yapısı

5.1.1. Deney Motoru

Motorun genel özellikleri Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1: Deney Motoru Teknik Özellikleri

Markası	Farrymann Engine
Modeli	1977
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir çapı (mm)	90
Stroku (mm)	120
Strok hacmi (cm3)	765
Kompresyon oranı	11:1 – 24:1
Devir (d/d)	1700
Güç (N DIN70020) (kW)	8
Maksimum tork (Nm)	40
Yağ tüketimi (kg/h)	0,007
Emme Sübabı (adet)	1
Egzoz Sübabı (adet)	1
Subab Sistemi	Külbütör Mekanizması
Püskürtme Avansı (KMA)	22

5.1.2. Yakıt Sisteminin Özellikleri

Yakıt sistemi dizel yakıt pompası ve enjektörden oluşmaktadır. Hem pompanın hem de enjektörün markası Bosch' tur. Enjektörün açma basıncı 100 bar' dır. Yakıt pompası kam milinden tahrik edilmektedir. Pompanın püskürtme miktarı regülatör vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Ancak orjinal pompanın kırılmış olması ve piyasada yenisinin bulunmaması sebebiyle açma yönü ters bir başka Bosch marka pompa kullanılmıştır. Bu pompanın açma yönünün regülatörle uyumlu olmaması sebebiyle regülatör devre dışı bırakılmıştır. Gaz seviyesi ön deneyler sırasında motor rölanti devri, maksimum moment ve güvenlik unsurları göz önünde tutularak tespit edilmiştir. Pompanın maksimum gaz seviyesi tasarlanan bir aparat sayesinde tüm deney boyunca sabit tutulmuştur.

5.1.3. Yükleme Düzeneğinin Özellikleri

Yükleme düzeneği deney setinin orijinal düzeneğidir. DC motor ile mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir, dirençler vasıtasıyla da üretilen enerji harcanır. Deney setinin yükleme kapasitesi yaklaşık 9 kW' tır. Yarı yük ve tam yük olmak üzere iki ana yük kademesi altında yükleme yapılabilmektedir. Tam yük şartında toplam 34 kademe yükleme gerçekleştirilebilmektedir.

5.1.4. Soğutma Sisteminin Özellikleri

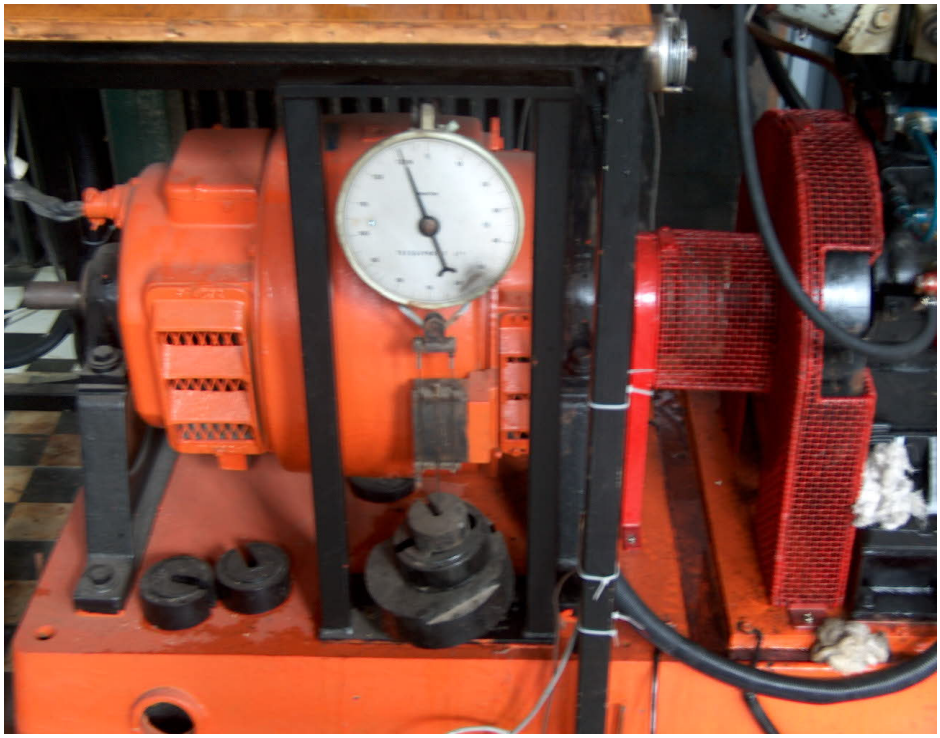
Motorun soğutma sistemi su soğutmalıdır. Motor üzerindeki su pompası vasıtasıyla su, motor içersinden geçerek su tankına döner, soğuk su ile karışır daha sonrasında taşırma yöntemi ile bölünmüş su tankının ikinci haznesine geçerek motora gider. Rejim şartlarında tam yükte motor soğutma suyu sıcaklığı 100°C civarında sabit kalmaktadır, bunun sebebi soğutma sisteminin açık sistem oluşudur.

5.1.5. Soğutma Suyu Sıcaklığı Ölçüm Sistemi

Soğutma suyu giriş ve çıkış değerlerinin ölçümünde kullanılan termometrelerin ikisi de termokupl prensibi ile çalışan dijital termometrelerdir. Ölçüm aralıkları -50°C ile +150°C arasında ve hassasiyetleri 0,1°C olan ikinci kalite standart ölçüm cihazlarıdır.

5.1.6. Güç Ölçüm Sistemi

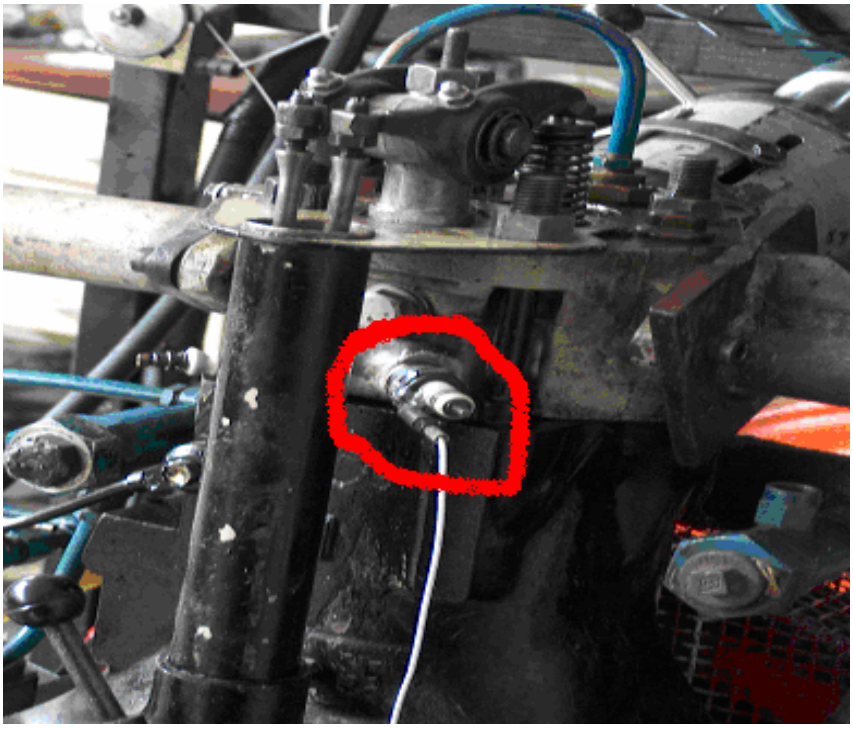
Deney seti üzerindeki kol akımı ve kol gerilimi dijital göstergeleri, motor dışarıdan tahrik edildiği zaman DC elektrik motorunun şebekeden çektiği akım şiddetini ve gerilimi gösterirken, jeneratör olarak çalıştığı zaman ise ürettiği elektrik enerjisinin gerilim ve akım şiddetini göstermektedir, bu sayede deney motorundan çekilen güç değeri hassas biçimde okunabilmektedir. Deney seti doğru akım jeneratörü olduğu için sinüzoidal kayma faktörü ortadan kalkmaktadır. Şekil 5.2' de DC motor görülmektedir. Yükleme hücresi ters ağırlık konularak yük ölçümü için sıfırlanmaktadır. Dinamometre motoru yüklediği zaman bu ağırlıkları kaldırma yönünde kuvvet uygulamaktadır.



Şekil 5.2: D.C motor (Dinamometre)

5.1.7. Transdüser, Sinyal Yükseltici, Bilgisayar ve Osiloskop

Transdüser basıncı elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bunlar sinyal yükseltici ile bilgisayarın ölçebileceği seviyeye gelir. Bilgisayarın ses girişine gelen bu sinyaller aynı zamanda osiloskop vasıtası ile elektriksel dalga şeklinde gözlemlenir. Transdüser silindir kafasındaki buji deliğine yerleştirilmiştir. Şekil 5.3' de motor üzerindeki transdüser görülmektedir.



Şekil 5.3: Motor Kafasına Monte Edilmiş Transdüser

5.1.8. Yakıt Tankı

Bu çalışmada, yakıt tankı olarak bir adet ölçekli plastik kap kullanılmıştır. Yakıt Tankı-Balon Joje-Motor arasındaki bağlantı üç yollu bir vanayla sağlanmıştır. Şekil 5.4' te yakıt tankı ve cam balona bağlantısı görülmektedir.

5.1.9. Egzoz Gazı Analiz Cihazı

Bu çalışmada Bilsa marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz hattına Bilsa emisyon analiz cihazının probu sokulmak suretiyle egzoz gazlarının içerisindeki CO, CO_2, HC, O_2, NO_x ve λ (lambda) miktarlarının tespiti yapılmıştır.



Şekil 5.4: Yakıt Tankı ve Balon Joje

5.2. Yakıtların Özellikleri

Deney çalışmasında biyodizel olarak Bandırma' da faaliyet gösteren Çevresel Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş' den alınmış olan %20 soya %80 kanola karışımı olan yakıt kullanılmıştır. Bu yakıtın kimyasal raporu Ek.1' de verilmiştir. Bazı özellikleri ise Tablo 5.2' de görülmektedir. Kullanılan biyodizelin Alt Isıl Değeri (Hu) = 8500 kcal/kg, dizelin ise 44500 kjoule/kg (10635.77 kcal/kg)' dır. Biyodizelin yoğunluğu 885,67 kg/m^3, dizelinki ise 839,7 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Dizel yakıt Shell Balmumcu istasyonundan temin edilmiş olup Motorin 2000 ppm tipi yakıtın özellikleri Ek.2' de verilmiştir. Yoğunlukları kontrol edilen yakıtlar hassas terazi yardımıyla kütlesel kontrolleri yapılarak hacimsel olarak %15 biyodizel, %85 dizel (B15) içerecek şekilde karıştırılmıştır. Oluşturulan karışım uzun müddet karıştırılarak homojenleşmesi sağlanmıştır.

Tablo 5.2: Biyodizel Yakıt Özellikleri

OTO BİYODİZEL TS EN 14214 STANDARTI			
Analiz Adı	**Birim**	**En Az (min.)**	**En Çok (max.)**
Ester muhtevası	% (m/m)	96,5	-
Yoğunluk , 15°C'ta	kg/m³	860	900
Viskozite , 40°C'ta	mm²/s	3,5	5
Parlama noktası	°C	120	-
Kükürt muhtevası	mg/kg	-	10
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	-	0,3
Setan sayısı		51	
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (m/m)	-	0,02
Su muhtevası	mg/kg	-	500
Toplam kirlililk	mg/kg	-	24
Bakır şerit korozyonu (50°C'ta 3 saat)	derece	1A	
Oksidasyon kararlılığı , 110°C'ta	h	6	-
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,5
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	-	12
Metanol muhtevası	% (m/m)	-	0,2
Monogliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,8
Digliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,2
Trigliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,2
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0,02
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0,25
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	5
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5
Fosfor muhtevası	mg/kg	-	10

***** Alt Isıl Değer (Hu) = 8500 kcal/kg' dır.

6. DENEY

6.1. Sıkıştırma Oranının Hesaplanması

Deneyde kullanılan Farryman Diesel motorunun Diesel sıkıştırma oranı skalası montajlı olduğu yerden düştüğü için sıfırdan hesaplanmak zorunda kalmıştır. Bunun için öncelikle Diesel kafası üzerine sıkıştırma oranını değiştirme aparatı takılmıştır. Daha sonra sıkıştırma oranı orjinal skalaya göre değiştirilerek ön yanma odasına ölçekli şırıngayla su verilmiş ve böylece her sıkıştırma oranındaki ön yanma odası hacmi tespit edilmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda motor üzerindeki sıkıştırma oranı skalasının gerçek değeri bulunmuştur. Hesaplamada kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

Kafa üzerindeki skaladaki değerler matriksi :

E = [11.5 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27]

Ölçülen yanma odası üst kısım hacimler matriksi :

Vpre = [67 61 56 51 47 43 39.5 37 34.5 32 30 29 27 25.5 24 23 21.5]

Vpre = Vpre./1e6 (cm^3) (birim dönüşümü) **(6.1)**

V_press_delik = 1e-6 (cm^3) (ölçülen kısımın hacmi) **(6.2)**

Vh = (str/1000).*pi./4.*(diam/1000)^2 (cm^3) (strok hacmi) **(6.3)**

Vring = (Ringh/1000).*pi./4.*(diam/1000)^2 (cm^3) (conta hacmi) **(6.4)**

Vcle = (Clh./1000).*pi./4.*((diam/1000)^2-((diam-Clw)/1000)^2) (cm^3) **(6.5)**
(boşluk(clerance) hacmi)

V_ek_conta=(31.5/1000)^2*pi/4*(1.6/1000) **(6.6)**
(sıkıştırma kafasına konan ek conta)

Eps=(Vh+Vcle+Vpre+Vring+V_ek_conta+V_press_delik)/(Vring+Vpre+
V_ek_conta+Vcle+V_press_hole) **(6.7)**
(hesaplamada kullanılan denklem E=toplam hacim/toplam hacim-strok hacmi)

Eps=(Vh+Vcle+Vpre+V_ek_conta)./(Vpre+V_ek_conta+Vcle) **(6.8)**
(kafa contası hesaba katılmıyor)

Eps=(Vh+Vcle+Vpre+Vring+V_presshole)/(Vring+Vpre+Vcle+V_press_delik) **(6.9)**
(ekconta hesaba katılmıyor)

E=toplam hacim/toplam hacim-strok hacmi **(6.10)**

str=120 (silindir stroğu) (cm)

diam=90 (silindir çapı) (cm)

Clh=14 (üst kompresyon segmanından pistonun tepesine kadar olan mesafe / cm)

Clw=0.2 (piston silindir boşluğu) (cm)

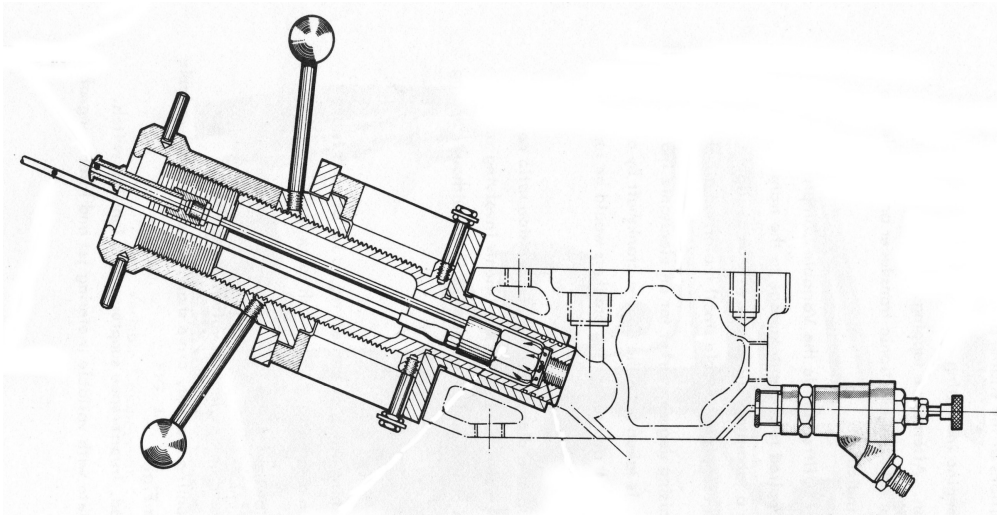
Ringh=1.6 (Silindir kafa contasının kalınlığı ezilme payı ihmal edilmiştir) (mm)

Yukarıdaki formüller yardımıyla Matlab' te yapılan hesaplamalar neticesinde Tablo 6.1' de yer alan gerçek sıkıştırma oranı değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada gerçek sıkıştırma değerlerinden bahsedilirken virgülden sonraki iki basamak dikkate alınacaktır.

Tablo 6.1: Skalada yer alan sıkıştırma oranlarının gerçek değerleri

Skala Değerleri	**Gerçek Değerler**	**Skala Değerleri**	**Gerçek Değerler**
11,5	10,56398002	20	18,03232875
12	11,34131755	21	18,82784054
13	12,09263682	22	19,25412914
14	12,96167887	23	20,17093695
15	13,7615095	24	20,92134433
16	14,67596793	25	21,73289123
17	15,59081729	26	22,3116818
18	16,32297843	27	23,24310768
19	17,13250059		

Şekil 6.1' de sıkıştırma oranı değiştirme aparatı, Ek 3' de ise sıkıştırma oranı skalası ve gerçek değerleri yer almaktadır.



Şekil 6.1: Sıkıştırma Oranı Değiştirme Aparatı

6.2. Deneyin Yapılışı

Bu çalışma tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilir bir dizel motorunda normal dizel ve B15 biyodizel/dizel karışımları ile yapılmıştır. Her bir yakıt için 4 farklı sıkıştırma oranında deneyler yapılmıştır.

İlk önce motora %100 dizel (Motorin 2000 ppm) gönderilerek B15 yakıtını karşılaştıracak olduğumuz motor performansı ve emisyon değerleri tespit edilmiştir. Motorun katalog rölanti değeri yüksüz şartta 1800 d/d olarak verilmiştir. Regülatörün çalışma yönüyle pompanın açma yönlerinin birbirlerine ters olması sebebiyle deney belirli bir emniyet aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu emniyet aralığı motorun maksimum momentini yakalayabilecek şekilde ayarlanmıştır. Deneye 8 ön yük kademesinde başlanmış ve 20 yükleme kademesine kadar ikişer ikişer yükleyerek devam edilmiştir. Her yüklemede motora uygulanan yük miktarı kontrol paneli üzerinden ayarlanmış ve bilgisayardan motorun oturmuş olduğu devir, akım ve voltaj değerleri kaydedilmiştir. Bu esnada silindir içine yerleştirilen transdüser aracılığıyla silindir içi basınç dataları osiloskopa aktarılarak kaydedilmiştir. Panel üzerinde bulunan ve kerosen ile dolu olan manometreden hava debisi ölçülmüştür. Bu işlemler gerçekleştirilirken, aynı zamanda egzoz borusu üzerindeki vana açılarak emisyon analiz cihazının probları vasıtasıyla egzoz emisyonlarının (CO, CO_2, HC, O_2, NOx ve λ) ölçümleri yapılmıştır. Yakıt sarfiyatı ise 50ml' lik balon jojeden zamana bağlı olarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler ve yakıt yoğunlukları kullanılarak özgül yakıt sarfiyatları hesaplanmıştır. Son olarak

termokupllar vasıtasıyla yağ ve su sıcaklıkları tespit edilmiştir. Bu işlemler her bir yakıt için, 4 farklı sıkıştırma oranında ve 7 farklı yük kademesinde tekrar edilmişir.

6.3. Deney Sonuçları ve Hesaplamalar

Yukarıda anlatıldığı şekilde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen sonuçlar ve hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

P (GÜÇ/kW) = (A* V)/1000 **(6.1)**

P (GÜÇ/kW) = (Md*n)/9555,2 **(6.2)**

bmeP (Efektif Ortalama Basınç/kPa) = (6,28*2*Md (N.m))/Vd (dm^3) **(6.3)**

b*e* (g/kWh) = (V*ρ*3600) / P **(6.4)**

V : Hacimsel Yakıt Debisi (m^3/sn)

ρ : Yakıt Yoğunluğu (kg/m^3)

6.3.1. Sıkıştırma Oranı 17,13 (ε = 17,13)

Sıkıştırma oranı 17,13' deki dizel ve B15'in performans değerleri Tablo 6.2 ve Tablo 6.3' de verilmiştir. Aşağıdaki tablolardan görüldüğü gibi B15 yakıtının termik verimi tüm devirlerde dizele göre daha iyidir. Bu da bize B15 'in dizele göre daha iyi bir yanma sergilediğini söylemektedir. Her iki yakıtın volumetrik verimleri ise birbirlerine çok yakın değerlerdedir.

Her iki tablodan da görüldüğü üzere ortalama efektif basınç momentle aynı eğilimi sergilemektedir.

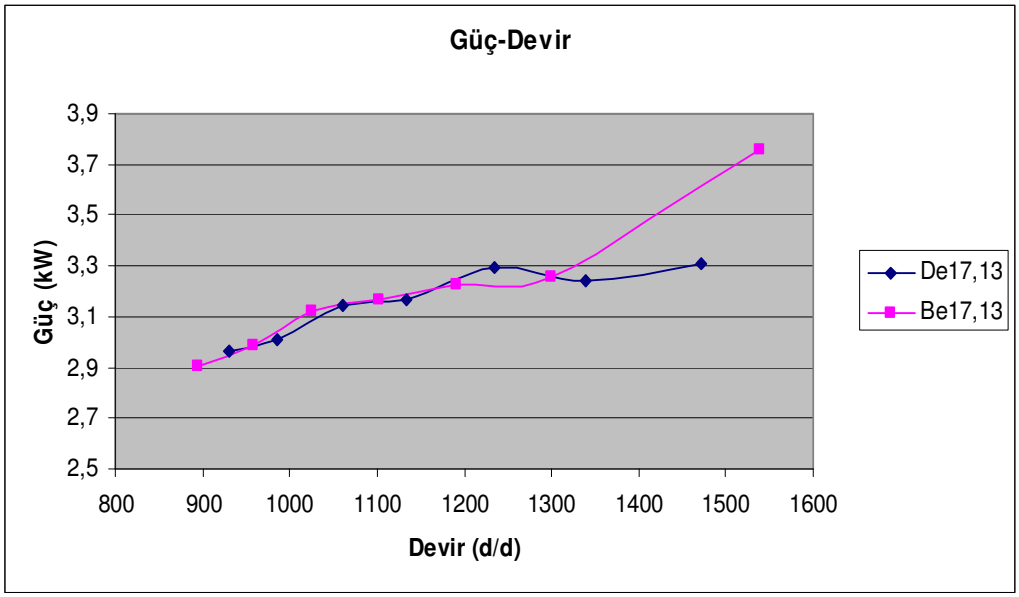
Tablo 6.2: Dizelin ε = 17,13 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (Bar)	ηth	ηv
1471	3,3072	21,460727	589,25399	3,53087143	0,1373	0,8232
1339	3,2384	23,085886	547,77273	3,79825424	0,1477	0,7759
1235	3,2955	25,471293	496,47337	4,19071837	0,1629	0,7691
1133	3,1671	26,682622	473,93464	4,39001479	0,1707	0,7598
1061	3,146	28,303489	446,79364	4,65669133	0,1811	0,766
985	3,0096	29,165484	433,58852	4,79851288	0,1866	0,7944
930	2,9636	30,418183	415,73222	5,00461594	0,1946	0,7599

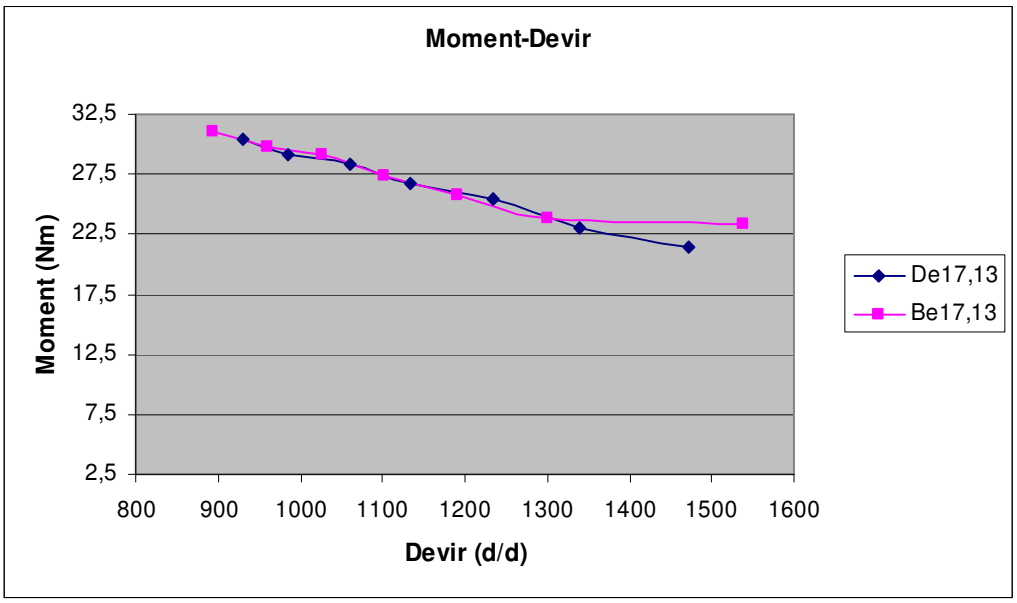
Tablo 6.3: B15'in ε = 17,13 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (Bar)	ηth	ηv
1539	3,757	23,302322	570,2124	3,83386391	0,1491	0,7911
1300	3,2568	23,913567	555,63744	3,93443029	0,153	0,775
1191	3,2231	25,832036	514,37188	4,25007052	0,1653	0,91059
1102	3,1671	27,433221	484,34972	4,51350886	0,1755	0,76405
1026	3,124	29,064328	457,16773	4,78187018	0,1859	0,76264
959	2,9868	29,729264	446,94255	4,89127018	0,1902	0,74874
894	2,9028	30,993900	428,70608	5,09933699	0,1983	0,7646

Şekil 6.2' de normal dizel ile B15' ten elde edilen güç, Şekil 6.3' te elde ettikleri moment ve Şekil 6.4' te ise yakıt sarfiyatları görülmektedir. Şekil 6.2' de görüldüğü gibi normal dizel ile B15' ten elde edilen güç eğrileri (ε = 17,13) için hemen hemen aynıdır. 1300 d/d' den sonraki devirlerde (düşük yüklerde) B15 daha iyi bir performans göstermektedir. B15 yakıtı, 1539 d/d' da, dizele göre güçte maksimum %14' lük bir artış göstermiştir. Bunun sebebi olarak biyodizelin sahip olduğu yüksek setan sayısı ve kütlesel olarak daha fazla yakıtın yanma odasına giriyor olması gösterilebilir. Şekil 6.4' teki moment grafiği de güç ile aynı karakteristikleri taşımaktadır. 1539 d/d' da genel eğilimin tersine oluşmuş olan güç artışı moment grafiğine de yansımıştır. B15, 1539 d/d' da dizele göre %9' luk bir moment artışına sahip bulunmaktadır.

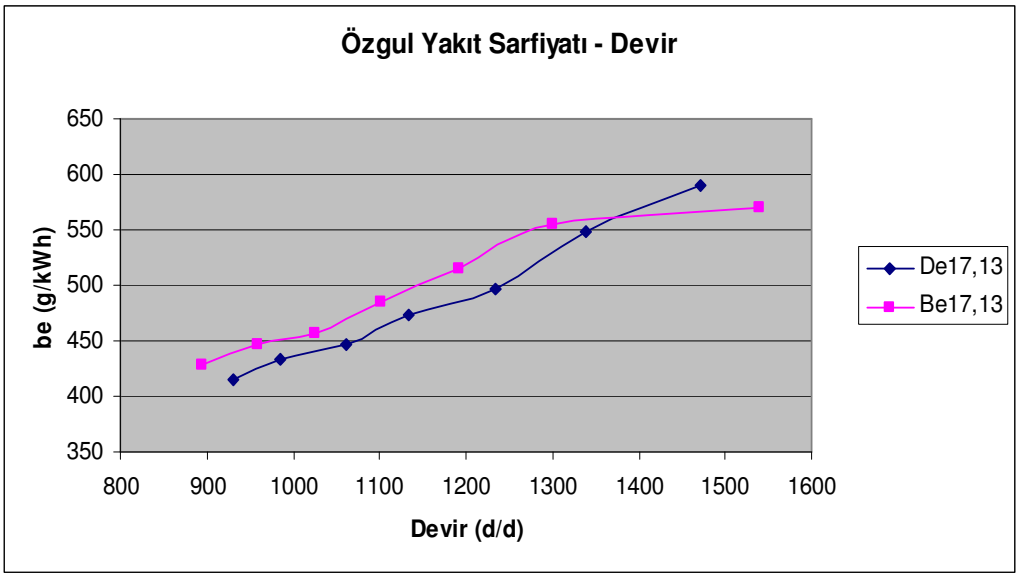


Şekil 6.2: Dizel-B15' in Güç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D= 0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393 g/ç)
De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13



Şekil 6.3: Dizel-B15'in Moment Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

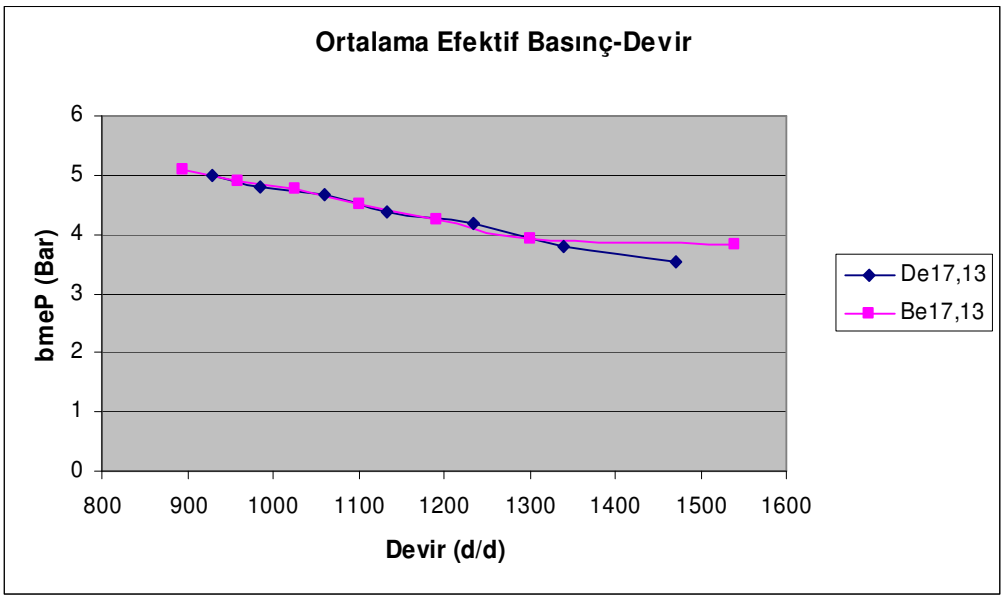
Şekil 6.5 ' te özgül yakıt sarfiyatları görülmektedir. Biyodizelin yoğunluğunun dizele göre daha büyük olması ve yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının hacimsel olarak sabit olması sebebiyle çevrim başına içeriye giren yakıt kütlesi B15' te normal dizele göre daha çoktur. Bu da güçte artışa veya düşük alt ısıl enerjiden kaynaklanabilecek düşüşlerin telafi edilmesine sebep olmaktadır.



Şekil 6.4: Dizel-B15' in Özgül Yakıt Sarfiyatı Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

B15' in özgül yakıt sarfiyatı güçteki artışa bağlı olarak 1300 d/d' den sonra azalarak normal dizelin özgül yakıt sarfiyatının aşağısına düşmektedir. B15' in özgül yakıt sarfiyatı 1191 d/d' da dizele göre yaklaşık %4 daha fazla çıkmıştır. B15' deki özgül yakıt sarfiyatı artışı tüm devirlerde aşağı yukarı bu oranlarda gerçekleşmiştir.

Şekil 6.6' da iki yakıttan elde edilmiş ortalama efektif basınç grafiklerinin mukayesesi görülmektedir. İki eğri de moment grafiklerinin karakteristiklerini taşımaktadır.



Şekil 6.5: Dizel-B15' in Ortalama Efektif Basınç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

Tablo 6.4 ve Tablo 6.5' te dizel ve B15 yakıtlarından tam yükte elde edilmiş emisyon değerleri görülmektedir.

Tablo 6.4: Dizelin ε = 17,13 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

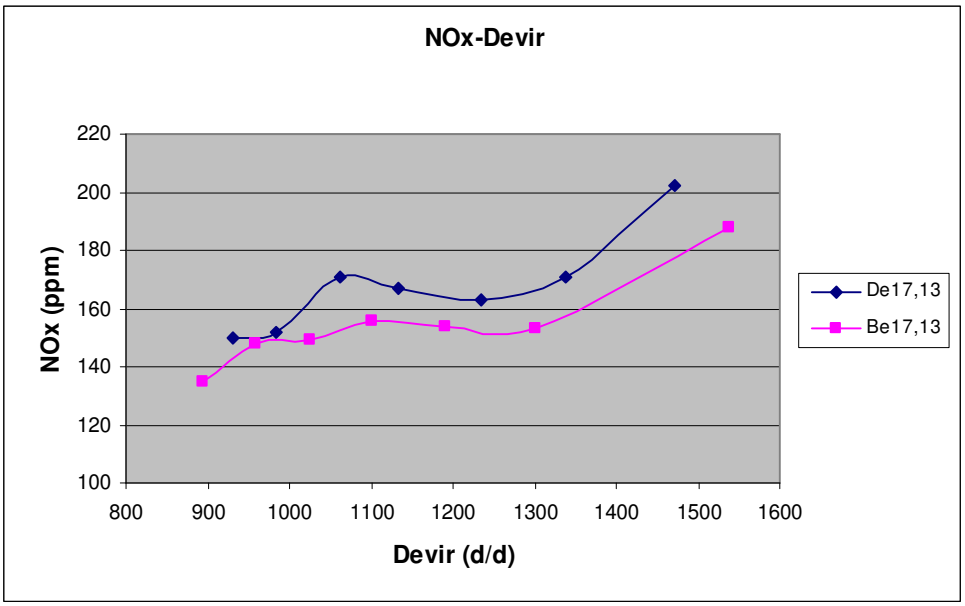
Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1471	0,055	14	4,48	14,2	202	3,194	134,46
1339	0,043	12	4,46	14,25	171	3,219	114,27
1235	0,036	11	4,43	14,31	163	3,248	108,44
1133	0,025	7	4,3	14,32	167	3,327	111,58
1061	0,027	9	4,49	14,22	171	3,211	113,82
985	0,032	8	4,33	14,33	152	3,307	101,37
930	0,041	10	4,21	14,48	150	3,39	100,25

Tablo 6.4'ten de görüldüğü üzere NO ve NOx emisyon değerleri birbirlerine koşut bir eğilim sergilemektedir. Bu da bize NOx emisyonları içerisindeki NO miktarının önemli boyutlarda olduğunu ifade etmektedir.Bu eğilim B15 yakıtının emisyon sonuçlarında da görülmektedir.

Tablo 6.5: B15'in ε = 17,13 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

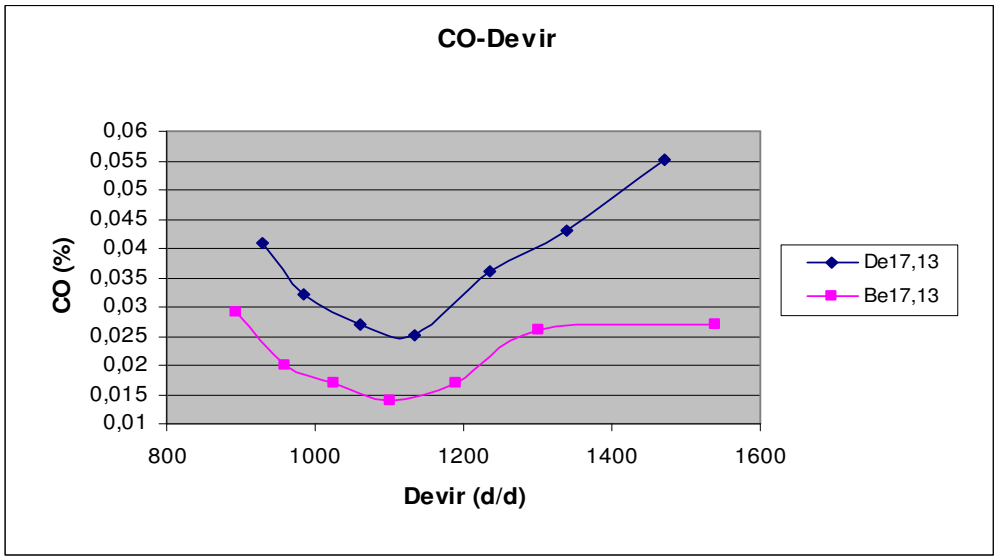
Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1539	0,027	5	3,91	14,98	188	3,675	125,48
1300	0,026	5	3,85	15,21	153	3,759	102,23
1191	0,017	3	3,83	15,18	154	3,776	103,01
1102	0,014	1	3,88	15,23	156	3,754	104,36
1026	0,017	1	3,95	15,14	149	3,687	99,65
959	0,02	2	3,8	15,34	148	3,826	98,52
894	0,029	1	3,73	15,43	135	3,888	90,32

Şekil 6.6 'da biyodizelin ve dizelin NOx grafikleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi literatürdeki genel kabulün aksine normal dizelden elde edilmiş NOx miktarı B15'ten daha yüksektir. Düşük devirlerde dizel ile B15 arasındaki fark daha az iken devir arttıkça aradaki fark daha da artmaktadır. Yaklaşık 1061 d/d' da bu artış %15 oranına ulaşmaktadır.

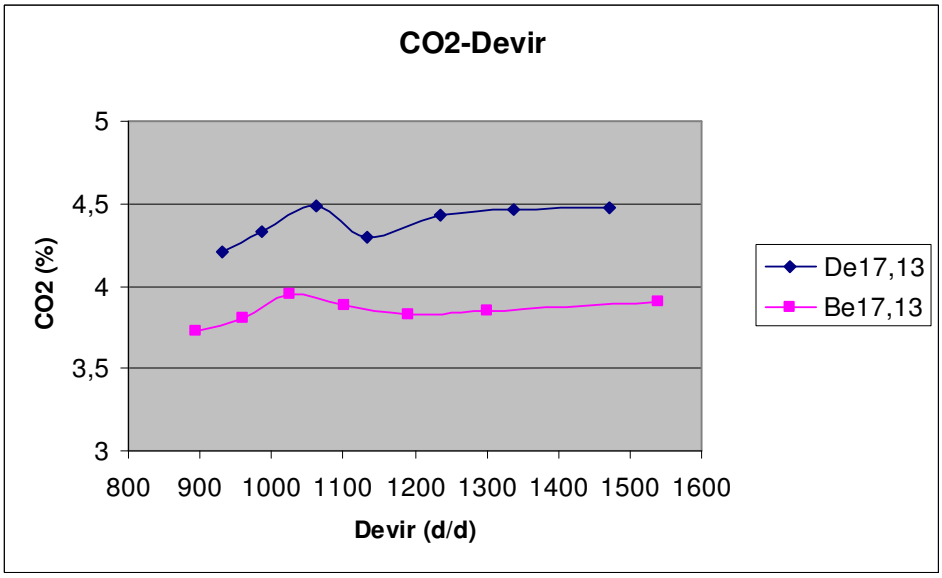


Şekil 6.6: NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

Şekil 6.7 ve 6.8' de CO ile CO_2 emisyonlarının grafikleri görülmektedir. B15 her iki grafikte de dizele göre daha iyi sonuçlar göstermektedir. Bu sonuçlar literatürdeki sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. 894 d/d' da B15' in CO emisyonu miktarında dizele göre %30 oranında bir azalma varken, 1539 d/d 'da azalma yaklaşık %50' lere varmaktadır.Bu azalma düşük yüklerde nispeten daha az oranlarda gerçekleşmektedir.



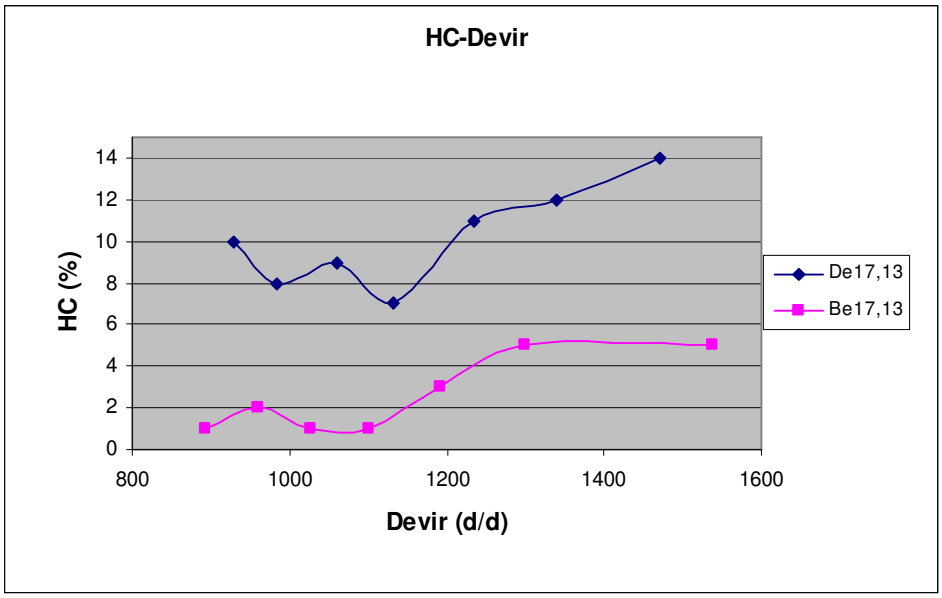
Şekil 6.7: CO Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13



Şekil 6.8: CO_2 Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

CO_2 miktarı her iki yakıt için de hemen hemen aynı karakteristiği göstermektedir. 1539 d/d' daki CO_2 emisyonu azalışı %13, 1191 d/d' da %14 ve 894 d/d' da yaklaşık %11 oranlarında gerçekleşmiştir.

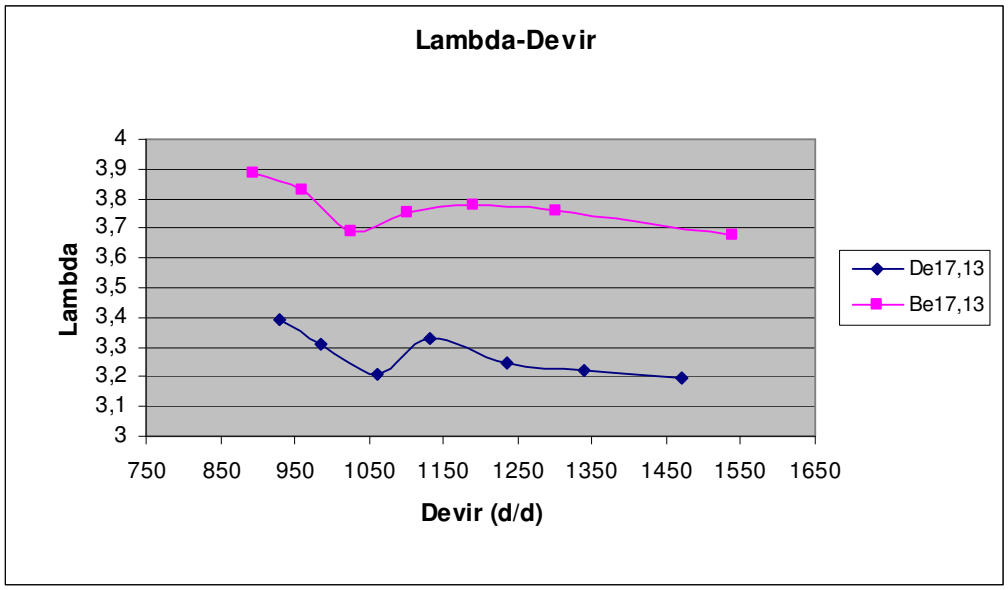
Şekil 6.9' da görüldüğü üzere HC emisyonlarında B15 dizele göre daha iyi sonuçlar vermiştir. HC değerleri, her iki yakıt için de devir azaldıkça azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 6.9: HC Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

B15' in HC emisyon değerleri dizele göre, 1471 d/d' da %65, 1235 d/d' da %73 ve 930 d/d' da %90 oranında daha fazladır. Bu sonuçlar, yine literatürdeki sonuçların çoğunluğuyla uyumludur.

Şekil 6.10' da, B15 ve dizele ait λ değerleri görülmektedir. B15 dizele kıyasla daha fakir bir karışım oluşturmaktadır. B15, 894 d/d' da dizele göre %15 oranında daha yüksek bir lambda değerine sahip bulunmaktadır. B15' in lambda değeri tüm devirlerde dizelin lambda değerinden aşağı yukarı bu oranda yüksektir.



Şekil 6.10: Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0319 g/ç, m_{B15}=0,0329 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0392 g/ç, m_{B15}=0,0393g/ç) De17,13: Dizel / ε = 17,13; Be17,13: B15 / ε = 17,13

6.3.2. Sıkıştırma Oranı 18,83 (ε = 18,83)

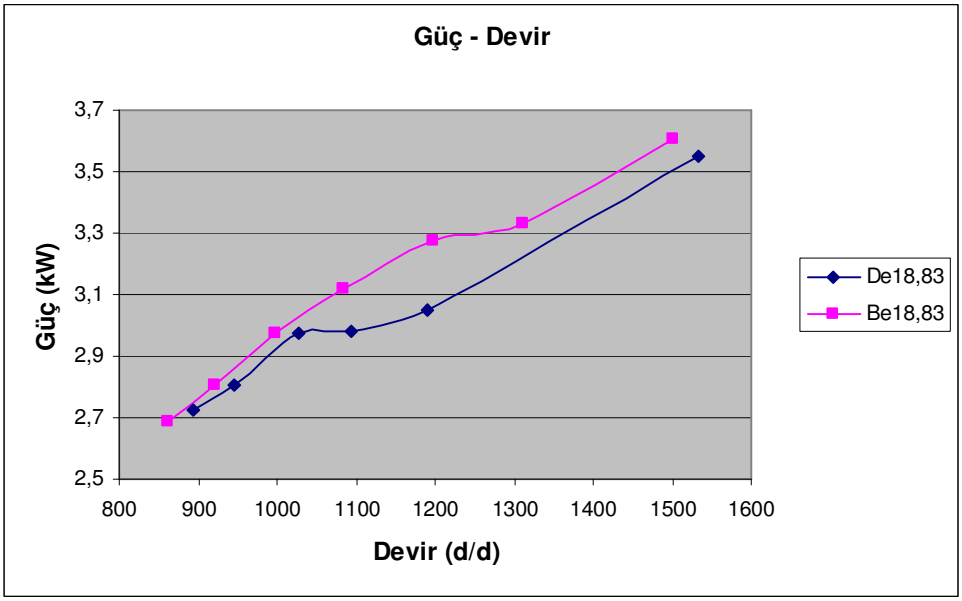
Tablo 6.6 ve Tablo 6.7' de ε = 18,83 için elde edilmiş dizel ve B15 yakıtlarının performans değerleri görülmektedir. Şekil 6.11' den görüldüğü gibi sıkıştırma oranı 17,13' den elde edilen sonuçların aksine B15' in güç değerleri dizele kıyasla daha yüksektir. B15' in güç eğrisi dizele göre 1502 d/d' da %2' lik, 1197 d/d' da %7' lik ve 862 d/d' da ise %2' lik artışlar göstermiştir. Bu artışın sebebi olarak yukarıda bahsedildiği gibi yüksek setan sayısından dolayı azalan tutuşma gecikmesini ve yoğunluk farkından dolayı yanma odasına püskürtülen yakıt miktarı kütlesinin artmasını gösterebiliriz.Yüksek yüklerde B15 ile dizel arasındaki güç farkı nispeten daha az iken düşük yüklerde bu fark daha da artmaktadır. Setan sayısının yüksek yüklerde önemini yitirmesi bu değişimin sebebi olarak gösterilebilir.

Tablo 6.6: Dizelin ε = 18,83 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (kPa)	ηth	ηv
1534	3,5475	22,07464246	572,8663002	3,631877251	0,141218	0,76736
1272	2,94	22,06260821	573,1787755	3,629897289	0,141141	0,779387
1189	3,0481	24,47056461	516,7767462	4,026071411	0,156545	0,76983
1094	2,98	26,00133075	486,3527517	4,277923948	0,166338	0,769634
1028	2,9746	27,62053539	457,8411887	4,544327017	0,176696	0,751074
946	2,8067	28,32053752	446,5246731	4,659496348	0,181174	0,75903
894	2,7251	29,0965541	434,6156838	4,787172118	0,186139	0,751306

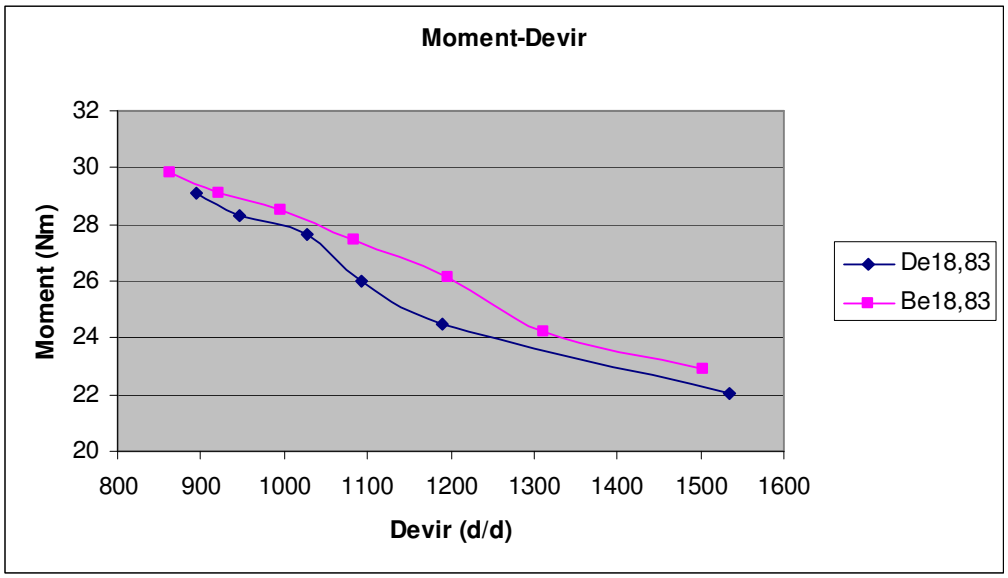
Tablo 6.7: B15' in ε = 18,83 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (kPa)	ηth	ηv
1502	3,6072	22,92434434	579,6141051	3,77167625	0,146654	0,806169
1311	3,3294	24,24152388	548,1203821	3,988388	0,15508	0,792519
1197	3,276	26,1244031	508,6153846	4,298172687	0,167125	0,764685
1084	3,116	27,43878018	484,2516046	4,514423357	0,175534	0,767857
997	2,9746	28,47934843	466,5581927	4,685625049	0,18219	0,753207
921	2,8067	29,08928175	456,7755727	4,785975619	0,186092	0,754877
862	2,6904	29,7924502	445,9946476	4,901665897	0,190591	0,750852



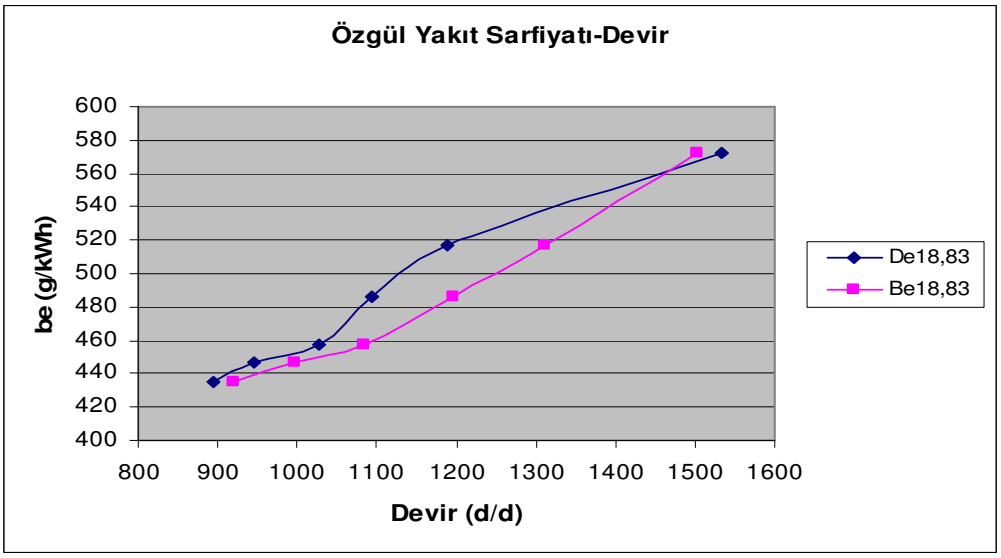
Şekil 6.11: Dizel-B15' in Güç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.12' de iki yakıtın sıkıştırma oranı 18,83' de elde edilmiş moment diyagramları görülmektedir. Moment grafiği de güç ile aynı karakteristiği göstermektedir. B15' in moment değerleri dizele göre 1502 d/d' da %4' lük, 1197 d/d' da %6' lık ve 862 d/d' da ise %2' lik bir artış göstermektedir.



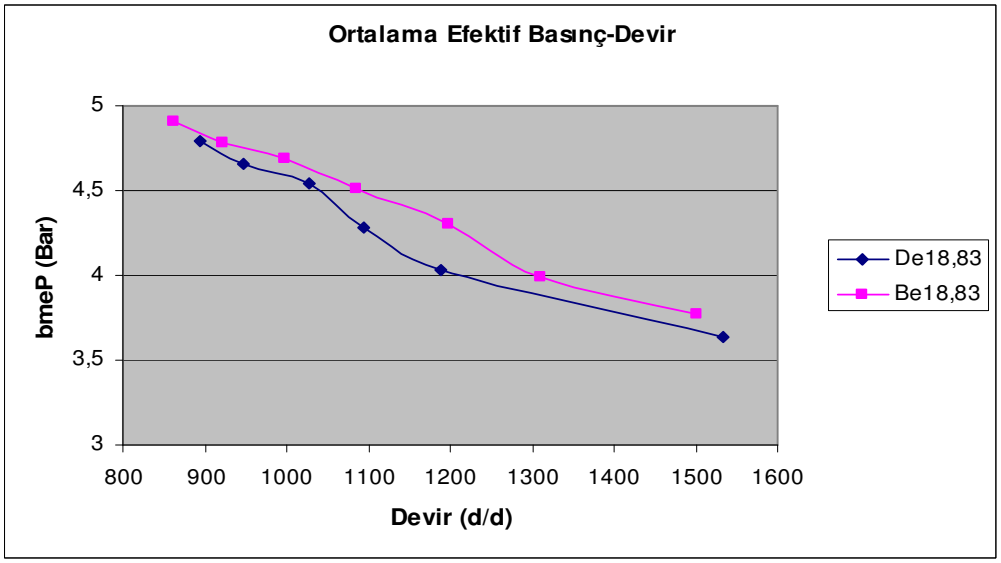
Şekil 6.12: Dizel-B15' in Moment Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.13' te görüldüğü üzere artan güçten dolayı B15' in özgül yakıt sarfiyatı hemen hemen tüm devirlerde daha azdır. Ancak 1500 d/d' lara yaklaştıkça B15' in grafiği dizelin grafiğini geçmektedir. 1534 d/d' da B15' in özgül yakıt sarfiyatı dizelin yaklaşık %1 üzerindedir. Bunun sebebi olarak güçler arasındaki farkın azalması gösterilebilir. Dizelin özgül yakıt sarfiyatı 1311 d/d' da %5 fazla iken bu oran 997 d/d' da %2' dir.



Şekil 6.13: Dizel-B15' in Özgül Yakıt Sarfiyatı Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D = 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.14' te her iki yakıtın sıkıştırma oranı 18,83' teki ortalama efektif basınçları görülmektedir. Görüldüğü üzere ortalama efektif basınç grafikleri moment grafikleri ile aynı karakteristiği taşımaktadır.



Şekil 6.14: Dizel-B15' in Ortalama Efektif Basınç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Tablo 6.8 ve Tablo 6.9' da sıkıştırma oranı 18,83' de dizel ve B15 ile elde edilmiş egzoz emisyon değerleri görülmektedir.

Tablo 6.8: Dizel'in ε = 18,83 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

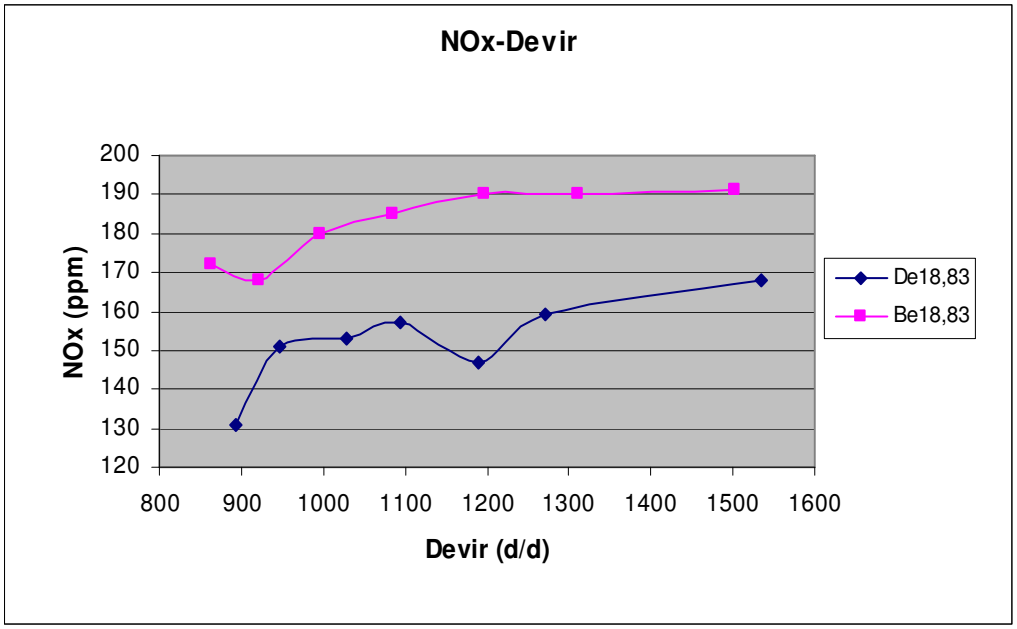
Devir	CO %	HC (ppm)	CO2%	O2 %	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1534	0,057	16	4,21	14,48	168	3,376	111,95
1272	0,048	16	4,13	14,68	159	3,461	106,11
1189	0,033	11	4,09	14,83	147	3,524	98,02
1094	0,029	9	4,13	14,65	157	3,473	104,76
1028	0,028	8	4,21	14,56	153	3,413	101,84
946	0,041	9	4,27	14,5	151	3,361	100,49
894	0,047	9	4,11	14,74	131	3,488	87,57

Tablo 6.9: B15'in ε = 18,83 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

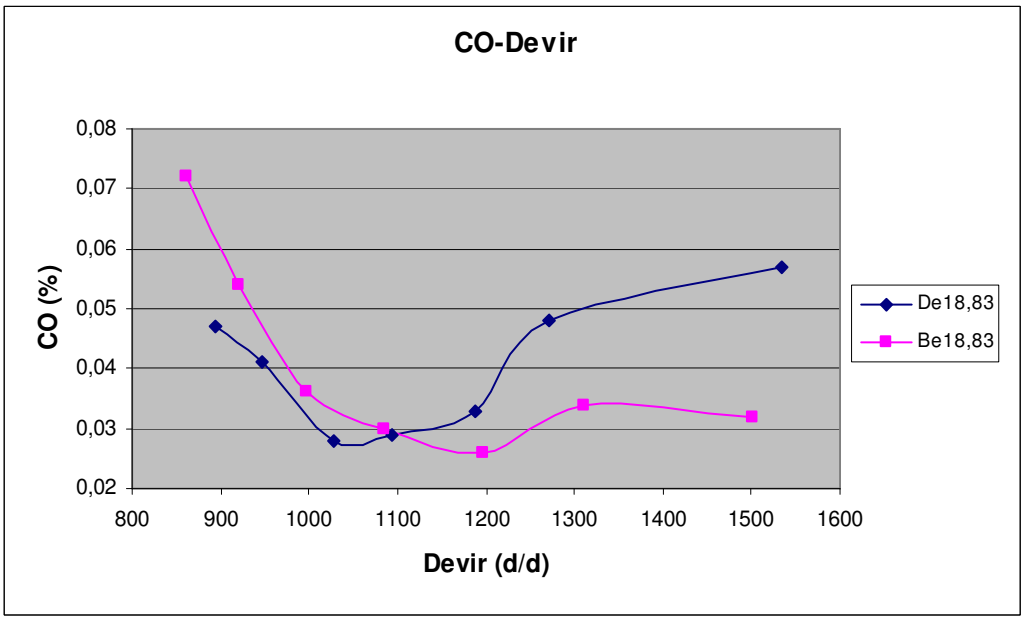
Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1502	0,032	4	4,64	13,96	191	3,101	127,55
1311	0,034	4	4,83	13,73	190	2,985	126,54
1197	0,026	2	4,89	13,69	190	2,96	126,77
1084	0,03	3	5,02	13,55	185	2,887	123,39
997	0,036	4	4,95	13,68	180	2,929	119,81
921	0,054	5	4,93	13,58	168	2,914	112,17
862	0,072	5	5,09	13,21	172	2,796	114,75

Şekil 6.15' te B15 ve dizel yakıtların NOx emisyon değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. B15' in NOx emisyon değerleri dizele göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç literatürdeki bulgularla örtüşmektedir. Her iki yakıt içinde devir arttıkça emisyon miktarı artma eğilimindedir. B15'in NOx değerleri dizele göre 1502 d/d' da %14 1084 d/d' da %18 ve 862 d/d' da yaklaşık %31 daha fazladır.

CO ve CO_2 emisyonlarının karşılaştırılması Şekil 6.16 ve Şekil 6.17' de görülmektedir. Şekil 6.15' te görüldüğü gibi CO emisyon değerleri düşük devirlerde (yüksek yüklerde) B15 karışımı için az da olsa dizele göre yüksek olmakla birlikte, 1100 d/d' dan sonra dizel yakıtı için daha büyük değerler vermektedir. Dizelin CO değerleri 1534 d/d' da %78 oranında daha fazla iken, 1084 d/d ve 862 d/d' da ise %3 ile %53 oranlarında B15' in değerleri daha yüksektir. Sıkıştırma oranı ε = 17,13' de elde edilen CO emisyon değerlerinden farklı olarak dizelb B15'e göre her devir için yüksek değerler göstermemektedir. Bu sonuçlara bakılarak B15' in yüksek devirlerde daha iyi bir yanma karakteristiğine sahip olduğu söylenebilir.

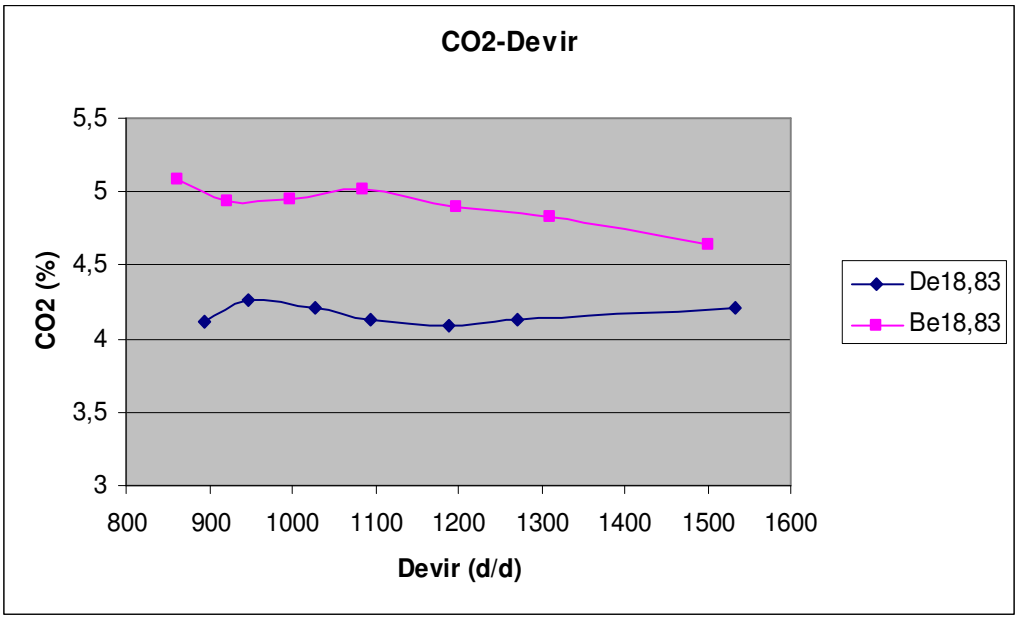


Şekil 6.15: NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83



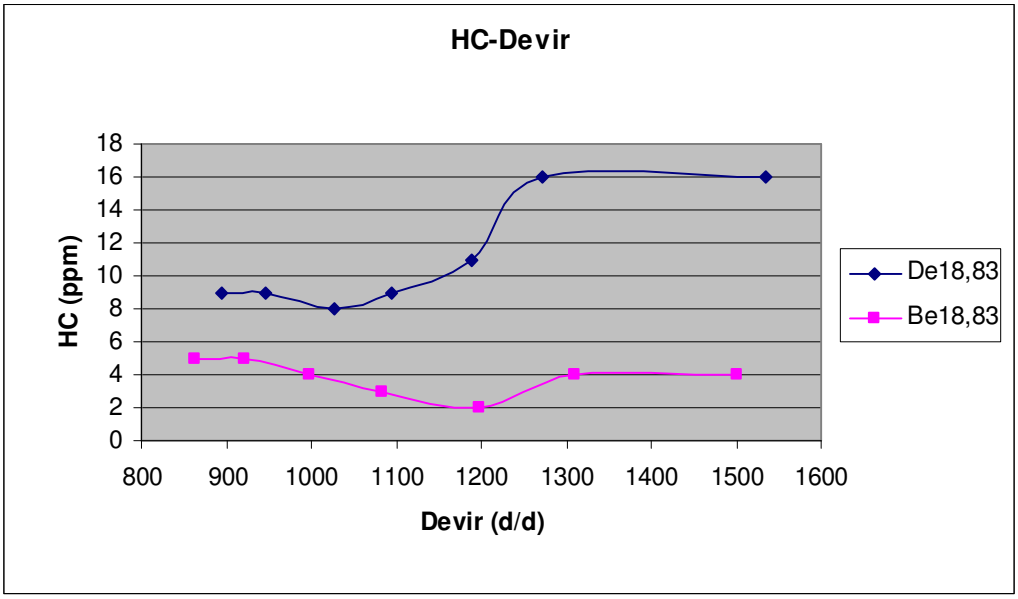
Şekil 6.16: CO Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.17' de görüldüğü gibi her devirde (her yükte) B15 karışımından elde edilmiş CO_2 emisyon değerleri daha yüksektir. CO emisyonlarında dizelin genel olarak daha yüksek değerler verdiği göz önünde tutulursa, B15 karışımının tutuşma gecikmesinin daha az olması sebebiyle yanmanın daha erken başladığı ve bu sebeple CO_2 emisyonlarının daha yüksek olduğu söylenebilir. B15' in CO_2 değerleri dizele göre 1502 d/d' da %10, 1084 d/d' da %22 ve 862 d/d' da ise yaklaşık %24 daha büyüktür. İki yakıtın CO_2 değerleri arasındaki fark 1000 ile 1300 d/d arasında daha yüksektir. Devir azaldıkça veya arttıkça aradaki fark nispeten azalmaktadır.



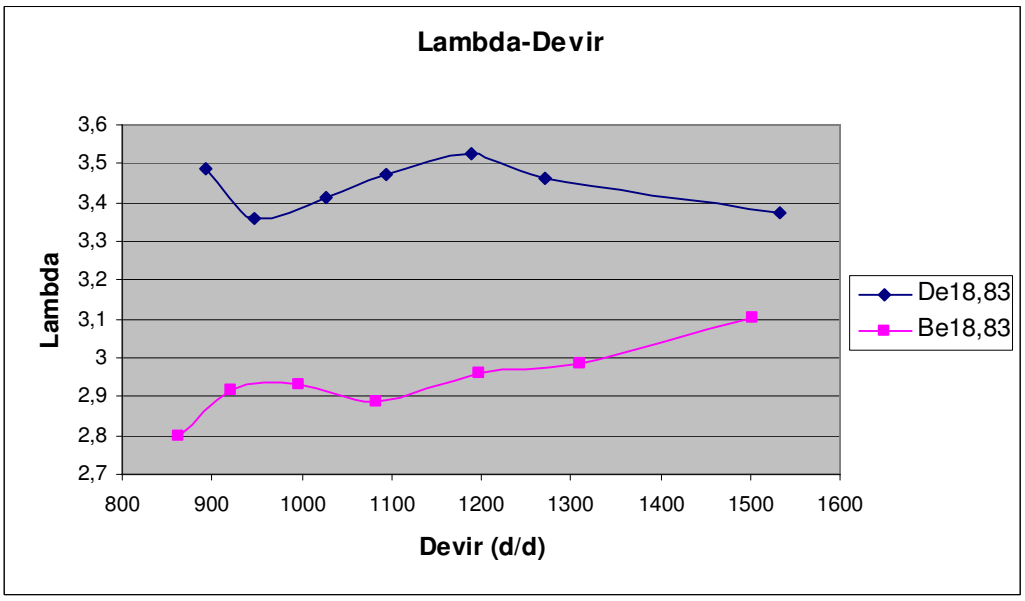
Şekil 6.17: CO_2 Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.18' de dizel ile B15 yakıtlarından sıkıştırma oranı 18,83' de elde edilmiş HC emisyonları değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. 1100 d/d' ya kadar dizelle B15 arasındaki fark daha az iken, 1100 d/d' dan sonra dizelin HC değerleri daha da yükselmektedir. Bu da, CO emisyonları grafiğinde olduğu gibi dizel için yanmanın yüksek devirlerde kötüleştiğini gösteriyor olabilir. B15 için ise HC değerleri devire bağlı olarak çok büyük değişiklikler sergilememekle birlikte, devir arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Dizel yakıttan elde edilen HC değerleri B15' e göre 1534 d/d' da %400, 1094 d/d' da %300 ve 894 d/d' da %180 oranlarında daha fazladır.



Şekil 6.18: HC Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

Şekil 6.18' de dizel ve B15 karışımının λ değerleri görülmektedir.



Şekil 6.19: Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0313 g/ç, m_{B15}=0,0324 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0399 g/ç, m_{B15}=0,0398g/ç) De18,83: Dizel / ε = 18,83; Be18,83: B15 / ε = 18,83

6.3.3. Sıkıştırma Oranı 20,17 (ε = 20,17)

Tablo 6.10 ve Tablo 6.11' de ε = 20,17 için elde edilmiş dizel ve B15 yakıtlarının performans değerleri görülmektedir.

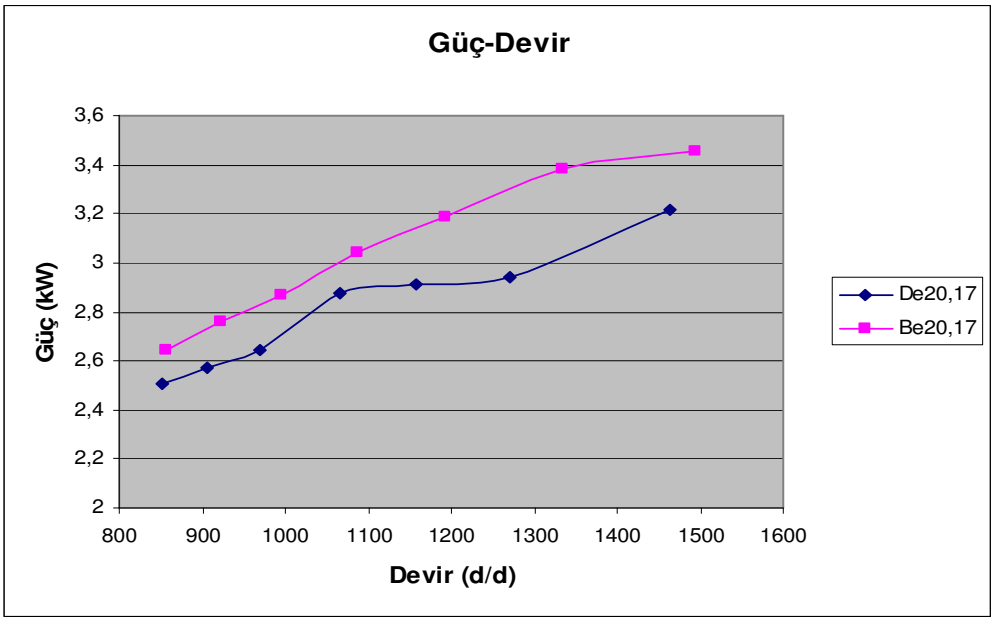
Tablo 6.10: Dizelin ε = 20,17 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (kPa)	ηth	ηv
1464	3,2185	20,98500468	602,6121485	3,45260229	0,134247	0,799362
1271	2,94	22,07996667	572,7281633	3,63275323	0,141252	0,767107
1158	2,9097	23,98481032	527,2428085	3,94615166	0,153438	0,759429
1066	2,8762	25,75481952	491,0078576	4,23736617	0,164761	0,762447
970	2,6462	26,04039481	485,6231577	4,28435105	0,166588	0,751728
905	2,5742	27,151282	465,7540207	4,46712211	0,173694	0,793417
852	2,508	28,09859283	450,0516746	4,62298043	0,179755	0,759665

Tablo 6.11: B15' n ε = 20,17 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

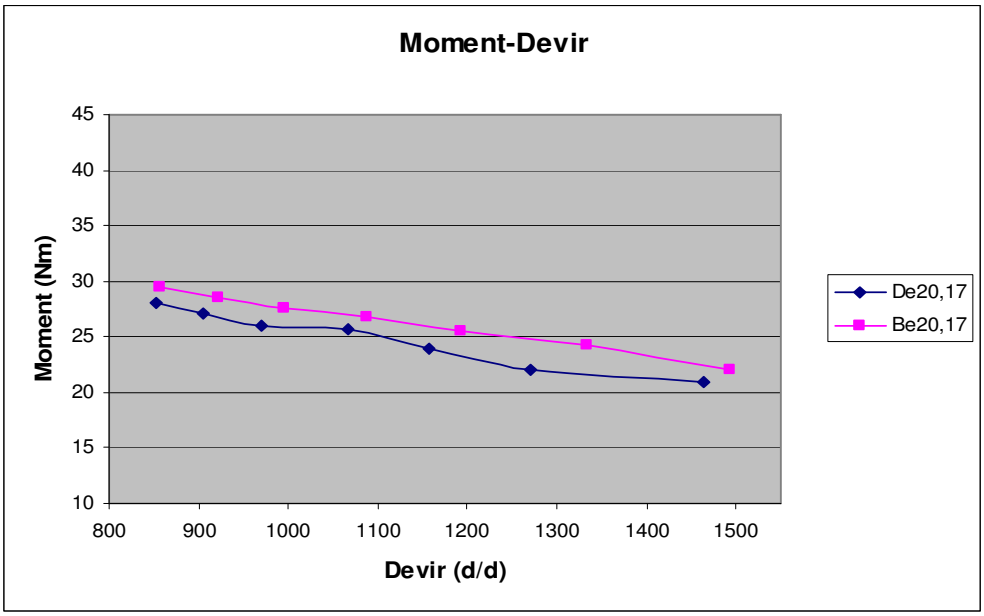
Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (kPa)	ηth	ηv
1493	3,4556	22,09328481	601,4168307	3,63494442	0,141337	0,799362
1334	3,384	24,21425761	548,7375887	3,98390196	0,154905	0,767107
1193	3,1872	25,5014871	521,0391566	4,19568611	0,16314	0,759429
1087	3,045	26,739568	496,9142857	4,39938399	0,171061	0,762447
996	2,8696	27,50164419	483,1446892	4,52476619	0,175936	0,751728
922	2,7594	28,56803522	465,1098065	4,70021643	0,182758	0,793417
856	2,6442	29,48608885	450,6285455	4,85126115	0,188631	0,759665

Şekil 6.20 ve Şekil 6.21' de, sıkıştırma oranı 20,17' de (ε = 20,17) dizel ve B15 yakıtlarıyla yapılmış deneyin güç ve moment sonuçları görülmektedir. Hem B15 için hem de dizel için elde edilmiş olan değerler sıkıştırma oranı 18,83 (ε = 18,83) ile benzer karakteristikler göstermektedir. Yüksek yüklerde (düşük devirlerde) iki eğri arasındaki fark az iken yük azaldıkça (devir arttıkça) fark artmaktadır. Bu sonuç, daha önce de belirtildiği gibi, B15' in yüksek setan sayısından dolayı iyileşen yanma karakteristiklerinden kaynaklanıyor olabilir. B15' teki güç artışı 1493 d/d' da %7, 1087 d/d' da yaklaşık %6 ve 856 d/d' da %5' ten biraz fazladır.



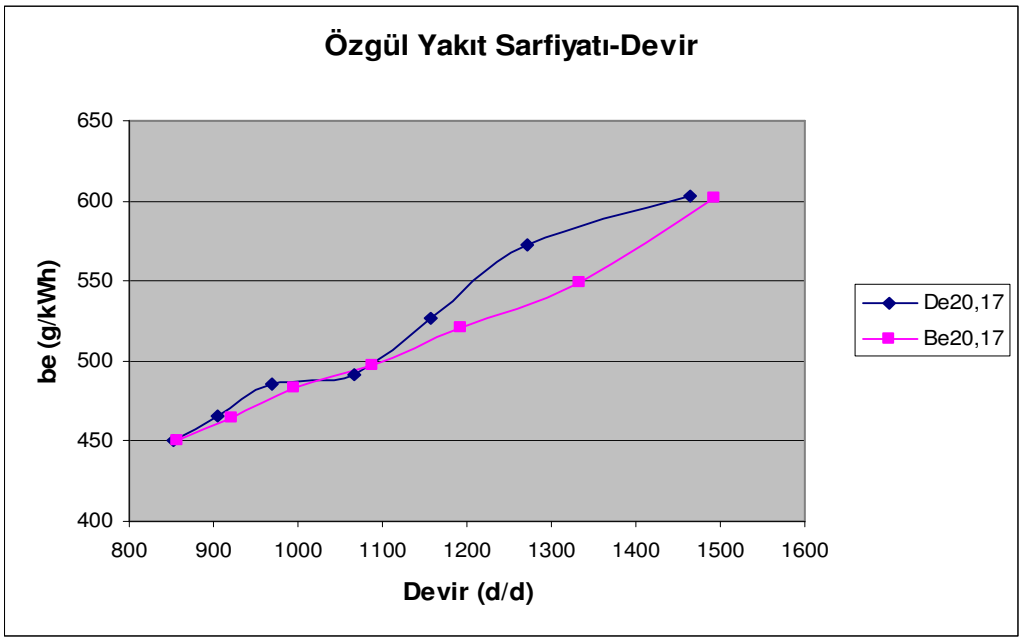
Şekil 6.20: Dizel-B15' in Güç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.21' de görülen moment grafiği de güç ile aynı eğilime sahip bulunmaktadır. Yüksek devirlerde (düşük yüklerde) dizel eğrisinin B15' e göre daha büyük bir düşüşe geçtiği görülmektedir. B15' in moment artışı 1493 d/d' da %5, 1087 d/d' da yaklaşık %4 ve 856 d/d' da %5 oranlarında gerçekleşmiştir.



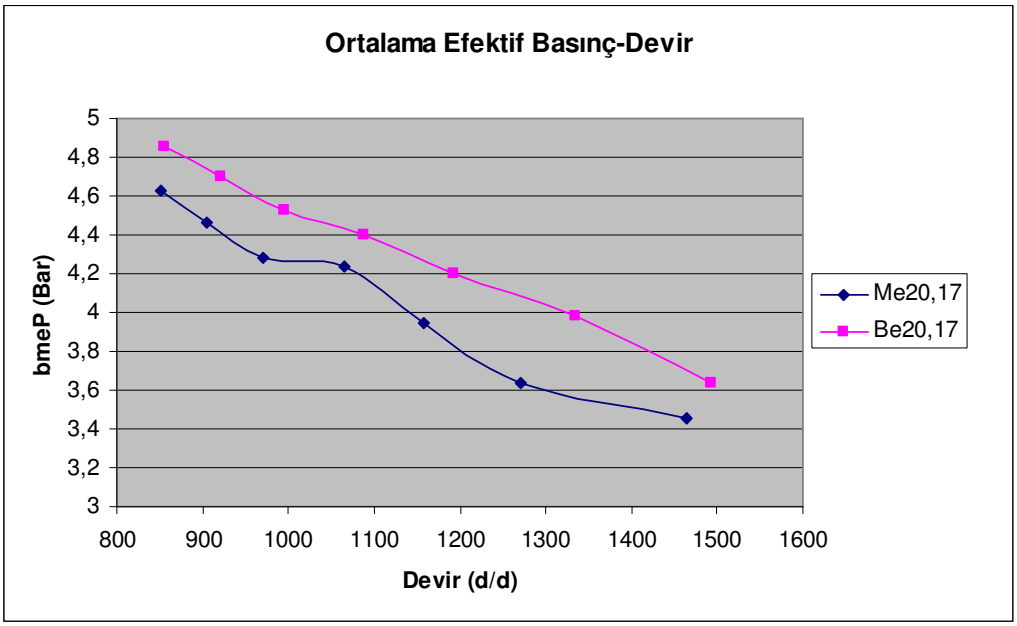
Şekil 6.21: Dizel-B15' in Moment Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.22' de dizel ve B15 yakıtlarının özgül yakıt sarfiyatları görülmektedir. B15' in güç eğrisinin daha iyi olması sebebiyle, kütlesel yakıt sarfiyatının daha fazla olmasına rağmen, B15' in özgül yakıt sarfiyatı dizele kıyasla daha iyidir. İki yakıtın özgül yakıt sarfiyatları arasındaki fark 1200 ile 1450 d/d' arasında artmaktadır. 1464 d/d, 905 d/d ve 802 d/d' da iki yakıt da hemen hemen aynı özgül yakıt sarfiyatına sahipken; dizel, B15' e göre 1271 d/d' da %4' lük bir artış yakalamıştır.



Şekil 6.22: Dizel-B15' in Özgül Yakıt Sarfiyatı Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.23' de görülen ortalama efektif basınç grafikleri her iki yakıt için de moment grafiklerinin karakteristiklerine sahip bulunmaktadır. B15' in ortalama efektif basıncı tüm devirlerde dizele kıyasla daha yüksektir. Düşük devirlerde moment eğrisinde olduğu gibi fark azalmakta, yüksek devirlerde ise artmaktadır. B15' in ortalama efektif basınç değerleri dizele göre 1493 d/d' da %5, 1193 d/d' da %6, 996 d/d' da yine yaklaşık %6 ve 856 d/d' da ise %5 oranlarında yüksektir.



Şekil 6.23: Dizel-B15' in Ortalama Efektif Basınç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Tablo 6.12 ve Tablo 6.13' te dizel ve B15 yakıtlarının ε = 20,17' deki egzoz emisyon değerleri görülmektedir.

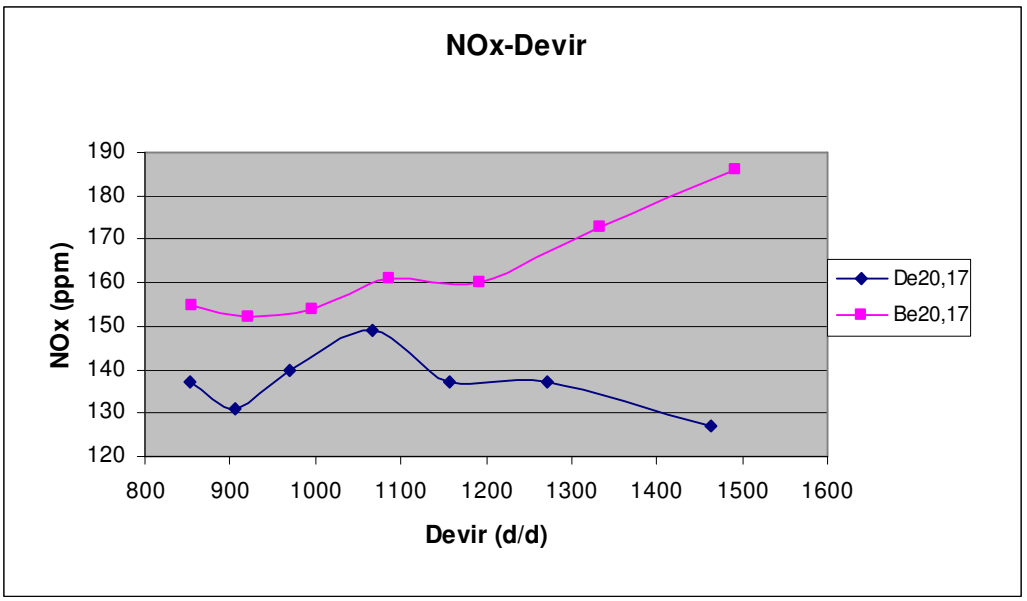
Tablo 6.12: Dizel'in ε = 20,17 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1464	0,049	16	3,8	15,28	127	3,779	84,96
1271	0,039	17	3,97	15,08	137	3,634	91,25
1158	0,029	15	4,03	14,93	137	3,578	91,25
1066	0,041	18	4,68	13,93	149	3,067	99,34
970	0,043	17	4,46	14,27	140	3,22	93,38
905	0,064	20	4,42	14,26	131	3,224	87,66
852	0,11	23	4,68	13,95	137	3,031	91,58

Tablo 6.13: B15'in ε = 20,17 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1493	0,045	11	4,58	14,18	186	3,151	124,33
1334	0,035	12	4,36	14,43	173	3,303	115,22
1193	0,036	12	4,4	14,45	160	3,285	106,45
1087	0,038	11	4,4	14,45	161	3,285	107,23
996	0,066	16	4,48	14,26	154	3,195	102,85
922	0,073	16	4,35	14,37	152	3,273	101,17
856	0,1	15	4,52	14,13	155	3,138	103,64

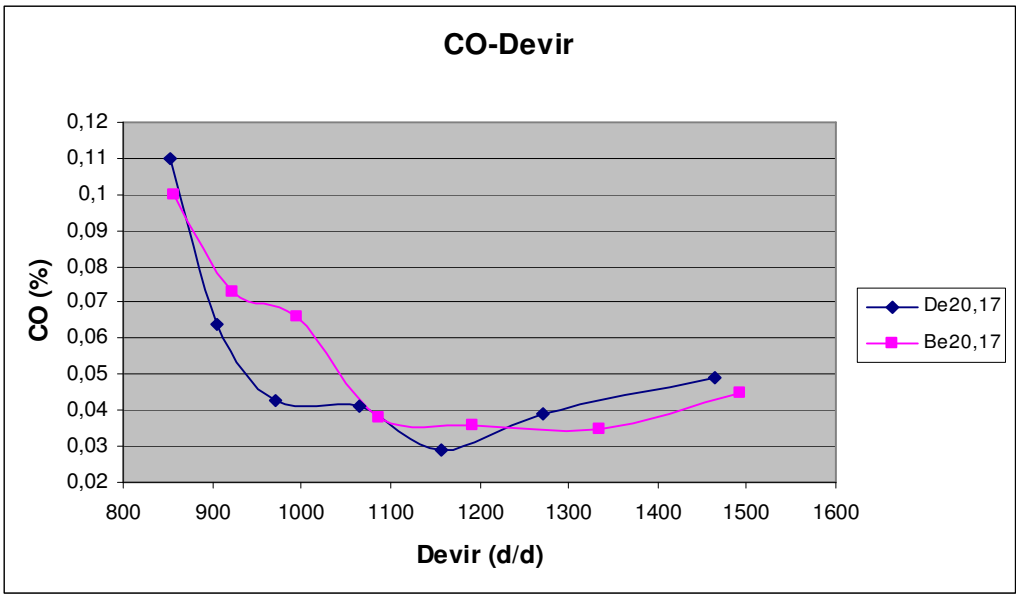
Şekil 6.24' te sıkıştırma oranı 20,17 için elde edilmiş olan NOx grafiği görülmektedir.



Şekil 6.24: NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

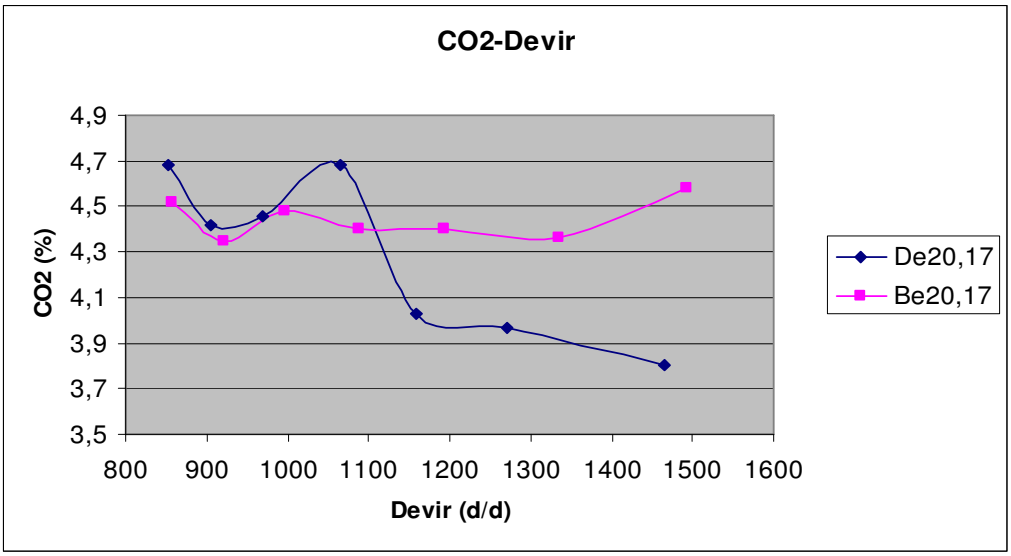
Grafikten de görüldüğü üzere, tüm devirlerde B15 daha yüksek NOx emisyonu değerlerine sahiptir. B15' in NOx değerleri dizele göre 1493 d/d' da %46, 1193 d/d' da %17, 996 d/d' da %10 ve 856 d/d' da %13 daha fazladır. Devir arttıkça iki grafik arasındaki fark açılmaktadır.

Şekil 6.25' te sıkıştırma oranı 20,17 (ε = 20,17) için CO emisyon değerleri görülmektedir. İki yakıttan elde edilen değerler birbirlerine çok yakın gözükmektedir. Yüksek yüklerde (düşük devirlerde) B15' in, düşük yüklerde (yüksek devirlerde) ise dizelin değerleri biraz daha yüksektir. 1464 d/d' da %9, 1271 d/d' da %11 oranında dizelin CO değerleri daha yüksekken; 922 d/d' da %14 ve 996 d/d' da %53 oranında B15' in değerleri yüksektir.



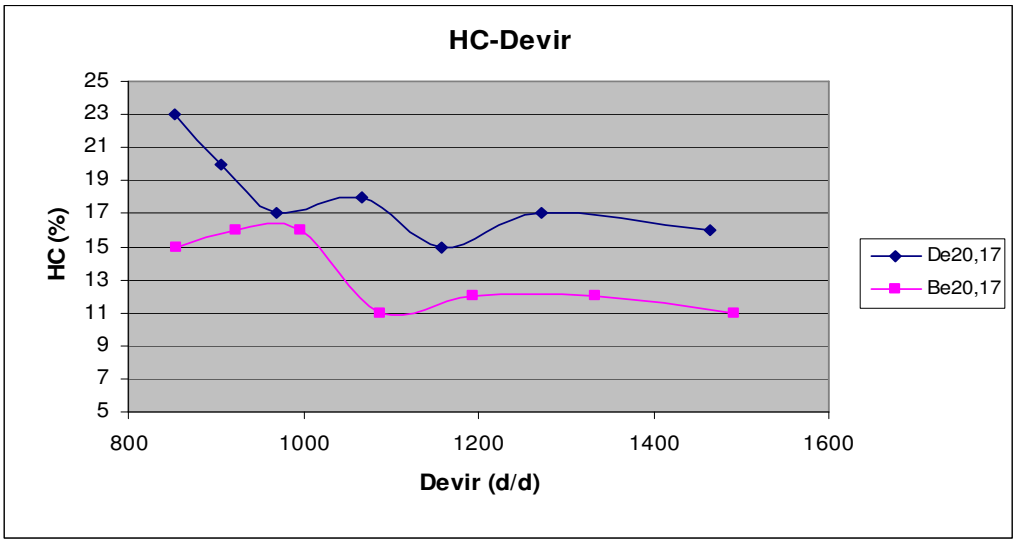
Şekil 6.25: CO Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.26' da dizelin ve B15' in CO_2 emisyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Sıkıştırma oranı 18,83' den (ε = 18,83) farklı olarak yüksek devirlerde (düşük yüklerde) dizelden daha yüksek emisyon değerleri elde edilmiştir. B15' in CO_2 değerleri dizele göre 1493 d/d' da %21, 1193 d/d' da %4 daha fazlayken; 1066 d/d' da %6 ve 852 d/d' da yaklaşık %4 oranlarında dizelin değerleri daha yüksektir. Görüldüğü gibi CO grafiğinin hemen hemen tersi bir durum söz konusudur. Buradan yola çıkarak, dizelin, ε = 20,17' te, yüksek yüklerde (düşük devirlerde) biraz daha iyi yanma karakteristiği gösterdiği söylenebilir.



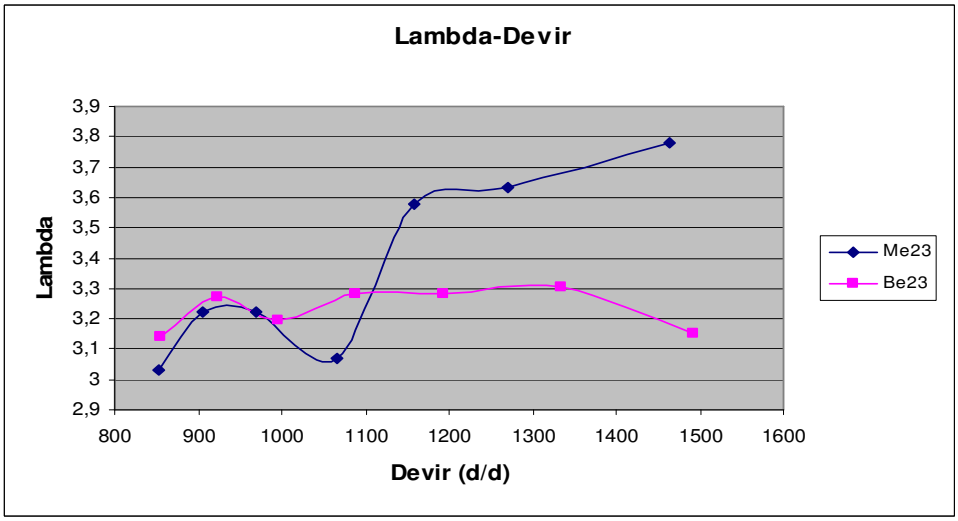
Şekil 6.26: CO_2 Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.27' de HC emisyonu değerleri görülmektedir. Genel olarak çok büyük dalgalanmalar görülmese de, ε = 17,13 ve ε = 18,83' deki sonuçların tersine yüksek yüklerde (düşük devirlerde) HC emisyonu değerleri her iki yakıt içinde artmaktadır. Dizelin HC değerleri B15' e göre 1464 d/d' da %45, 1087 d/d' da %64 ve 852 d/d' da %53 oranlarında daha fazladır. Dizel yakıtın HC emisyonu değerleri diğer iki sıkıştırma oranında olduğu gibi B15' e kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç literatürdeki diğer sonuçlarla örtüşmektedir.



Şekil 6.27: HC Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

Şekil 6.26' da dizel ve B15 karışımının λ değerleri görülmektedir. Yüksek devirlerde B15 dizele göre daha zengin bir karışım oranına sahipken, düşük devirlerde lambda değeri az da olsa dizelinkinden yüksek kalmaktadır.



Şekil 6.28: Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,032 g/ç, m_{B15}=0,033 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,0408 g/ç, m_{B15}=0,0405 g/ç) De20,17: Dizel / ε = 20,17; Be20,17: B15 / ε = 20,17

6.3.4. Sıkıştırma Oranı 21,73 (ε = 21,73)

Tablo 6.14 ve Tablo 6.15' te dizel ve B15 yakıtlarının performans değerleri görülmektedir.

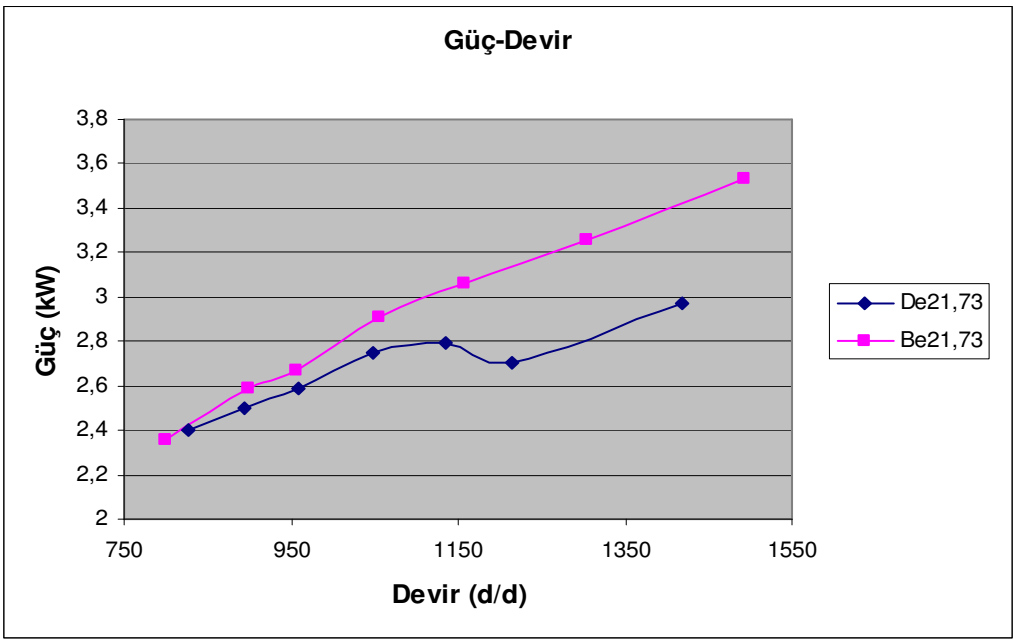
Tablo 6.14: Dizelin ε = 21,73 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (Bar)	ηth	ηv
1418	2,9747	20,02459	631,51457	3,2945876	0,1281	0,7543
1214	2,7048	21,26734	594,61224	3,49905355	0,13605	0,7683
1134	2,7924	23,50505	538,0043	3,86721834	0,15037	0,7509
1048	2,7456	25,00763	505,67832	4,11443401	0,15998	0,7466
958	2,587	25,77671	490,5908	4,24096841	0,1649	0,7425
893	2,496	26,68024	473,97692	4,38962317	0,17068	0,7386
828	2,3968	27,63109	457,66622	4,54606433	0,17676	0,751

Tablo 6.15: B15' in ε = 21,73 için elde edilmiş performans değerleri (Tam Yük)

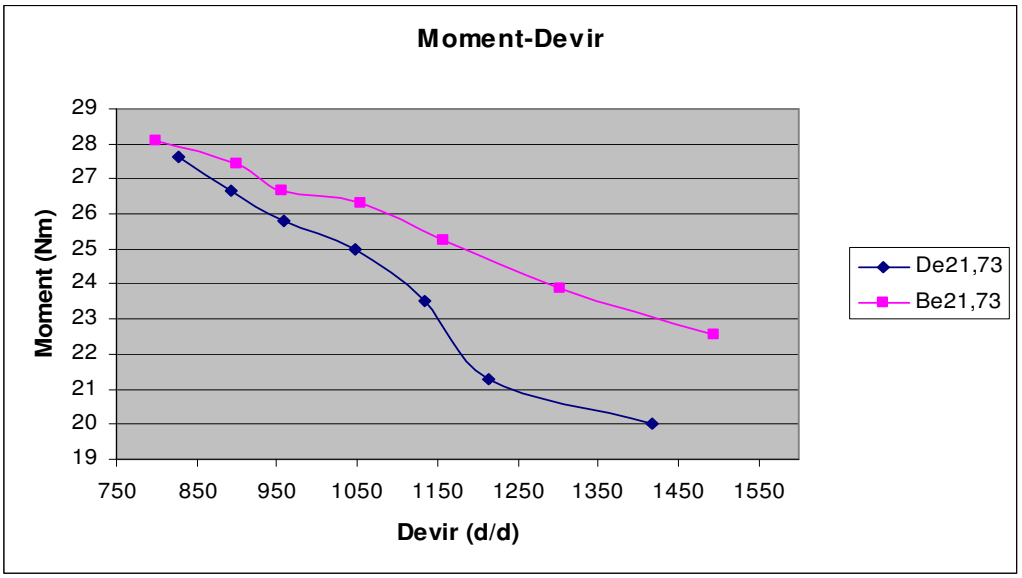
Devir (d/d)	Güç (kW)	Moment (Nm)	be (g/kWh)	bmeP (Bar)	ηth	ηv
1494	3,531	22,56024	588,96856	3,71177154	0,14432	0,7787
1303	3,2574	23,8629	556,81709	3,92609491	0,15266	0,7608
1157,9	3,0618	25,24076	526,42132	4,15278916	0,16147	0,7752
1054,43	2,9054	26,30176	505,18571	4,32735272	0,16826	0,7614
956	2,6724	26,68334	497,96138	4,39013311	0,1707	0,7511
900	2,5864	27,43152	484,37983	4,51322827	0,17549	0,7463
800	2,354	28,0875	473,06712	4,62115557	0,17968	0,7773

Şekil 6.29 ve Şekil 6.30' da, sıkıştırma oranı 21,73' de (ε = 21,73) dizel ve B15 yakıtlarıyla yapılmış deneyin güç ve moment sonuçları görülmektedir. Hem B15 için hem de dizel için elde edilmiş olan değerler sıkıştırma oranı 18,83 ve 20,17 (ε = 18,83 ve 20,17) ile benzer karakteristikler göstermektedir. B15' in güç değerleri dizele göre 1494 d/d' da %19, 1158 d/d' da yaklaşık %10, 956 d/d' da %3 ve 900 d/d' da yaklaşık %4 daha büyüktür. Yüksek yüklerde (düşük devirlerde) iki eğri arasındaki fark az iken yük azaldıkça (devir arttıkça) fark artmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi bu artışın sebebi olarak biyodizelin setan sayısının dizelinkinden yüksek olması gösterilebilir.



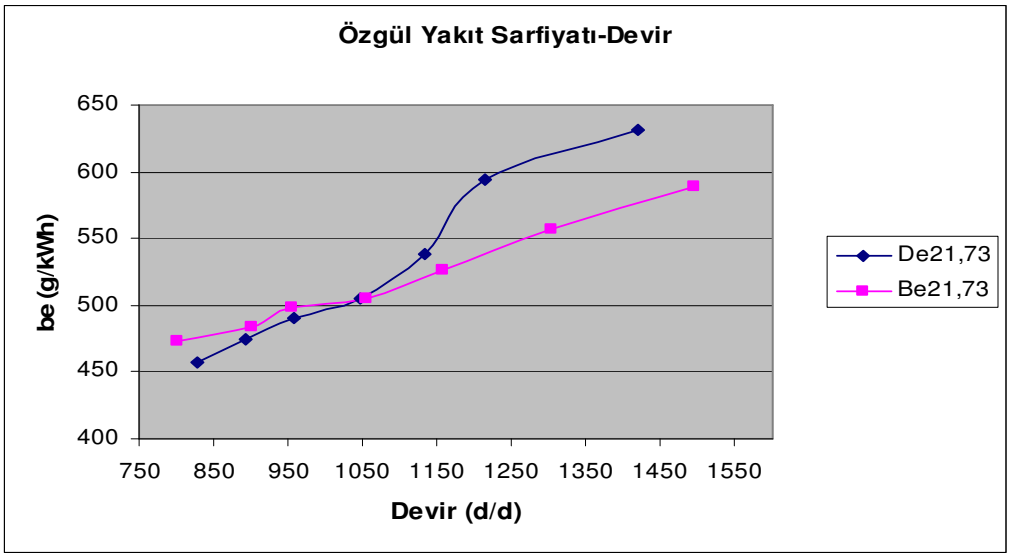
Şekil 6.29: Dizel-B15' in Güç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Şekil 6.30' da görülen moment grafiği de güç ile aynı karakteristiğe sahip bulunmaktadır. Yüksek devirlerde (düşük yüklerde) dizel eğrisinin B15' e göre daha büyük bir düşüşe geçtiği görülmektedir. B15' in moment değerleri dizele kıyasla 1494 d/d' da %13, 1303 d/d' da %12, 1054 d/d' da %5 ve 900 d/d' da %3 daha yüksektir.



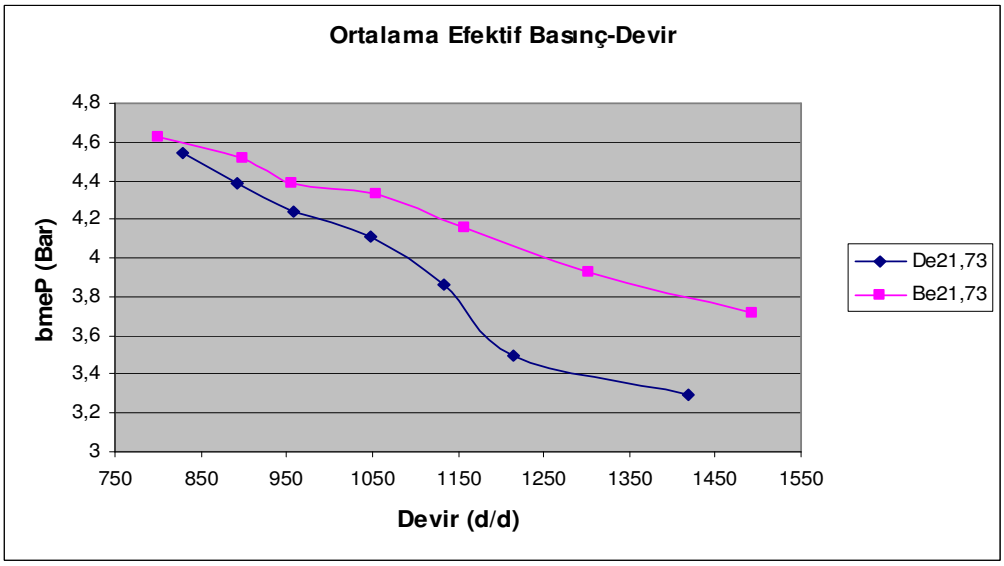
Şekil 6.30: Dizel-B15' in Moment Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Şekil 6.31' de dizel ve B15 yakıtlarının özgül yakıt sarfiyatları görülmektedir. B15' in güç eğrisinin daha iyi olması sebebiyle, kütlesel yakıt sarfiyatının daha fazla olmasına rağmen, B15' in özgül yakıt sarfiyatı genel olarak dizele kıyasla daha iyidir. Ancak düşük devirlerde az da olsa dizelin özgül yakıt sarfiyatından daha büyük değerlere ulaşmaktadır. B15' in özgül yakıt sarfiyatı dizele göre 1494 d/d' da %7, 1157 d/d' da %2 daha azken; 900 d/d' da %2 ve 800 d/d' da %3 daha fazladır.



Şekil 6.31: Dizel-B15' in Özgül Yakıt Sarfiyatı Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Şekil 6.32' de dizel ve B15' in ortalama efektif basınç grafikleri görülmektedir. B15' in ortalama efektif basınçları tüm devirlerde daha yüksek olup dizelden 1494 d/d' da %13, 1157 d/d' da %7, 956 d/d' da yaklaşık %4 ve 800 d/d' da %2 daha yüksektir.



Şekil 6.32: Dizel-B15' in Ortalama Efektif Basınç Grafiği (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Tablo 6.16 ve Tablo 6.17' de dizel ve B15' in sıkıştırma oranı 21,73 için elde edilmiş emisyon değerleri yer almaktadır.

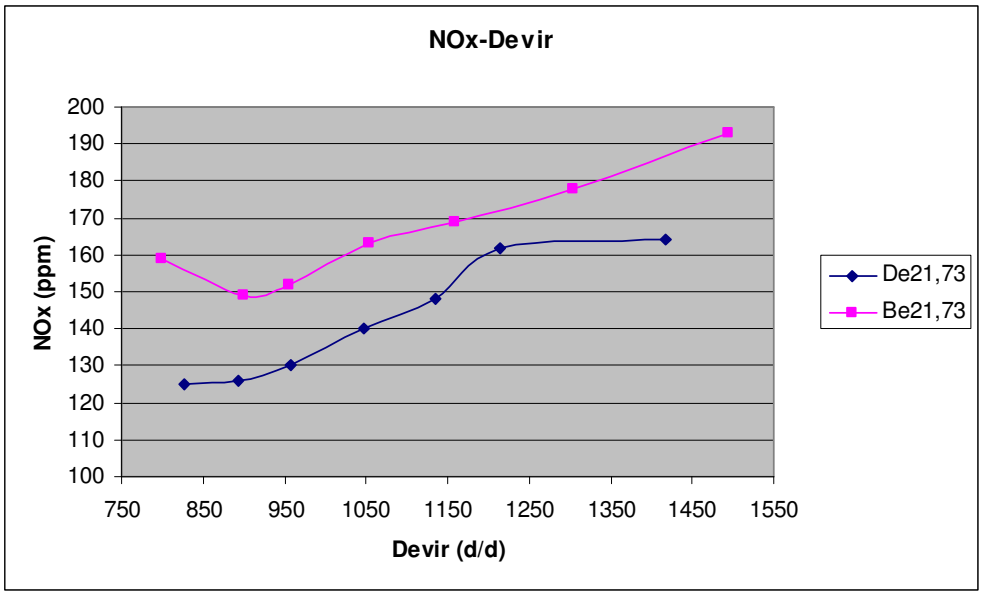
Tablo 6.16: Dizel' in ε = 21,73 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1418	0,077	26	3,99	14,63	164	3,509	109,43
1214	0,043	17	4,22	14,68	162	3,412	108,19
1134	0,039	16	4,43	14,33	148	3,247	98,41
1048	0,045	16	4,39	14,35	140	3,267	93,58
958	0,068	18	4,26	14,53	130	3,348	86,95
893	0,11	22	4,2	14,55	126	3,354	84,15
828	0,15	26	4,22	14,51	125	3,309	83,59

Tablo 6.17: B15' in ε = 21,73 için elde edilmiş emisyon değerleri (Tam Yük)

Devir	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	NOx (ppm)	Lambda	NO (ppm)
1494	0,037	9	4,77	13,86	193	3,024	128,96
1303	0,038	10	4,46	14,22	178	3,219	118,42
1157,9	0,042	9	4,57	13,93	169	3,12	113,04
1054,43	0,066	10	4,73	13,8	163	3,017	108,44
956	0,088	14	4,59	14,02	152	3,097	101,71
900	0,091	10	4,35	14,3	149	3,255	99,35
800	0,151	14	4,57	13,92	159	3,057	106,31

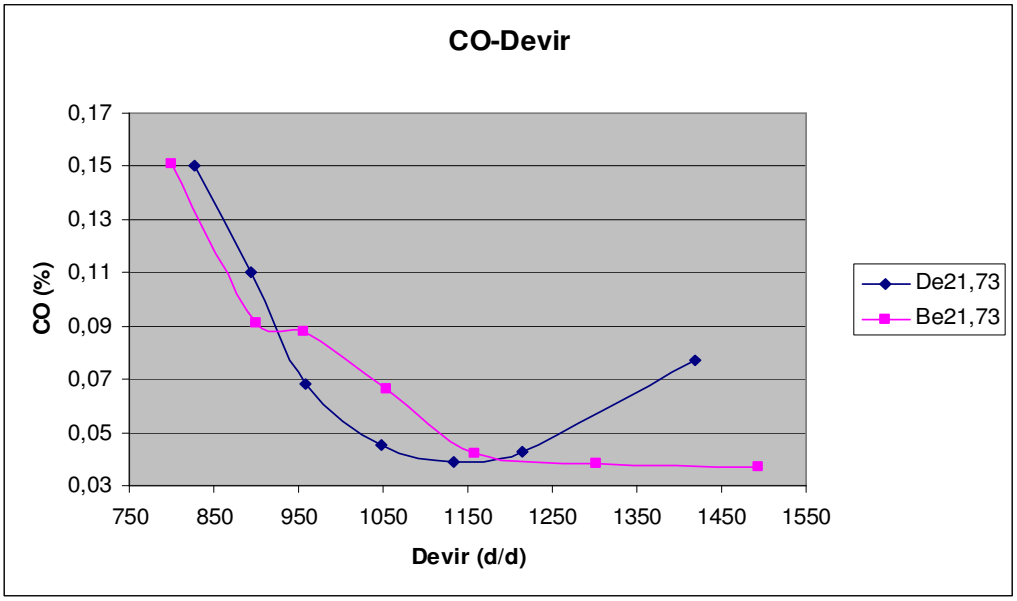
Şekil 6.33' te sıkıştırma oranı 21,73 için elde edilmiş olan NOx grafiği görülmektedir.



Şekil 6.33: NOx Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

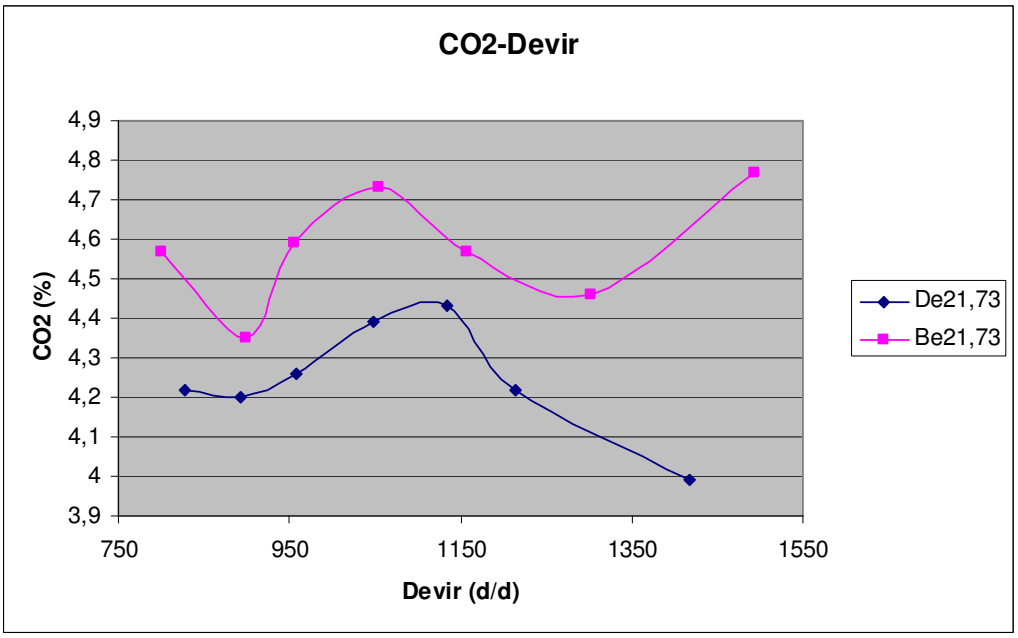
Grafikten de görüldüğü üzere, tüm yük ve devirlerde B15 daha yüksek NOx emisyonu değerlerine sahiptir. Her iki yakıtın NOx değerleri devir düştükçe (yük arttıkça) artma eğilimindedir. B15' in NOx değerleri dizele göre 1494 d/d' da %18, 1157 d/d' da %14, 956 d/d' da %17 ve 800 d/d' da %27 daha yüksek çıkmıştır.

Şekil 6.34' te sıkıştırma oranı 21,73 (ε = 21,73) için CO emisyon değerleri görülmektedir. İki yakıttan elde edilen değerler birbirlerine çok yakın gözükmektedir. Yüksek yüklerde (düşük devirlerde) ve düşük yüklerde (yüksek devirlerde) dizelin değerleri biraz daha yüksektir. 1418 d/d' da dizelin CO değeri B15' inkinden %108 büyük, 956 d/d' da ise B15'in CO değeri dizelinkinden %29 büyüktür.



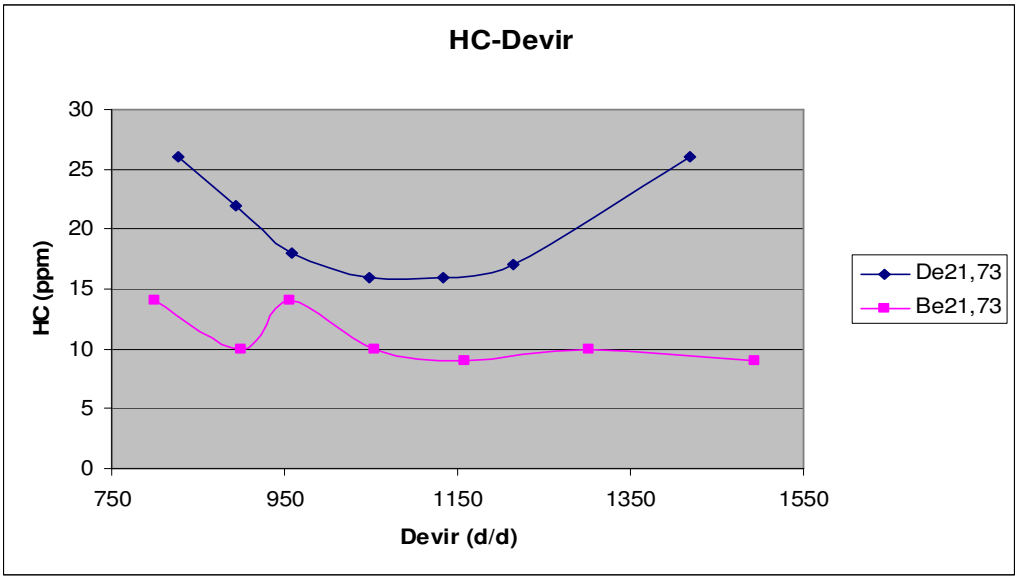
Şekil 6.34: CO Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Şekil 6.35' te dizelin ve B15' in CO_2 emisyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Bütün yük ve devirlerde B15 daha yüksek CO_2 emisyonu değerlerine sahiptir. İki grafik arasındaki fark devir arttıkça (yük azaldıkça) artmaktadır. B15, 1494 d/d' da %20, 1157 d/d' da %3 ve 800 d/d' da %8 daha yüksek CO_2 değerlerine sahiptir.



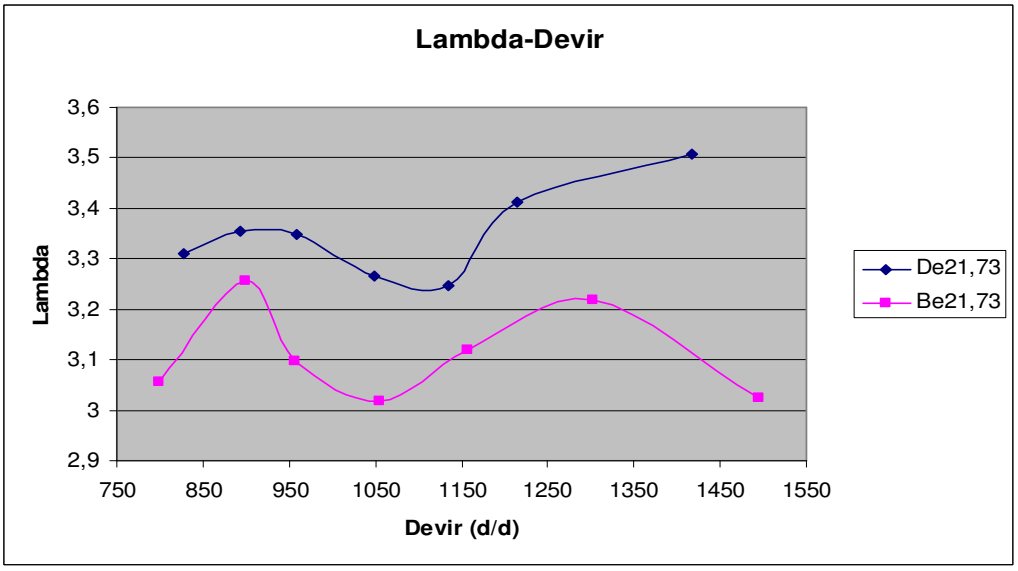
Şekil 6.35: CO_2 Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

Şekil 6.36' da HC emisyonlarının değeri görülmektedir. Dizelin HC değerler tüm yük ve devirlerde B15' e göre daha yüksektir. Özellikle düşük ve yüksek devirlerde artma eğilimi göstermektedir. 950-1250 d/d arasında minimum değerlere ulaşmıştır. B15' in HC değerleri ise çok büyük salınım göstermemektedir. Dizelin HC değerleri B15' e göre 1418 d/d' da %188, 1134 d/d' da %77, 958 d/d' da % 29 ve 828 d/d' da %86 daha yüksektir.



Şekil 6.36: HC Emisyonlarının Karşılaştırılması (Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

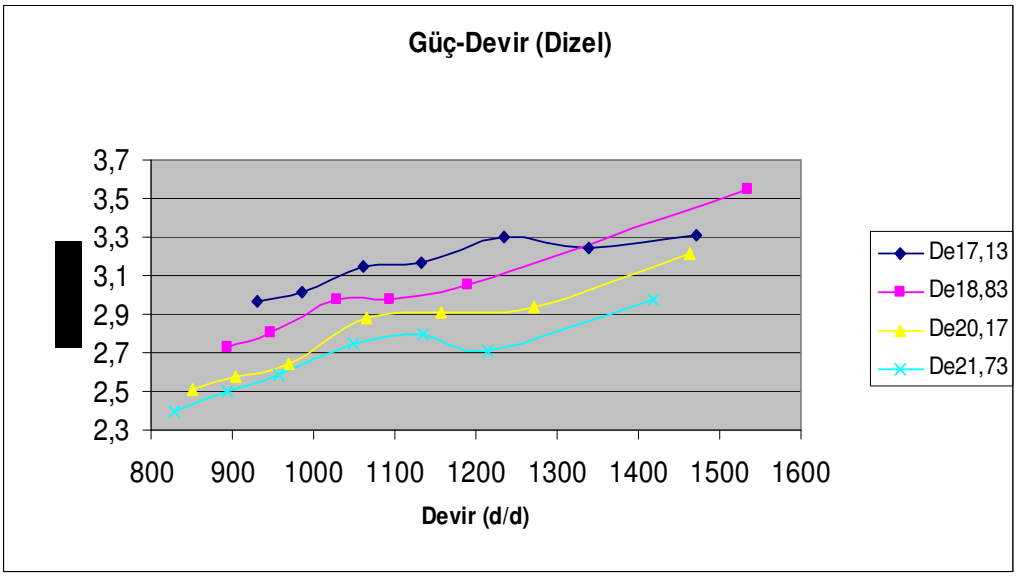
Şekil 6.37' de dizel ve B15 karışımının λ değerleri görülmektedir. İki yakıtın da lambda değerleri dalgalanmakla birlikte B15' in dizele göre daha zengin karışıma sahip olduğu söylenebilir. B15' in lambda değerleri dizele göre 1418 d/d' da %14, 1157 d/d' da %4 ve 900 d/d' da %3 daha düşüktür.



Şekil 6.37: Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması(Tam Yükte, 8 yük kademesinde m_D=0,0324 g/ç, m_{B15}=0,0334 g/ç; 20 yük kademesinde m_D= 0,041 g/ç, m_{B15}=0,041 g/ç) De21,73: Dizel / ε = 21,73; Be21,73: B15 / ε = 21,73

6.3.5. Sıkıştırma Oranının Performansa ve Emisyonlara Etkisi

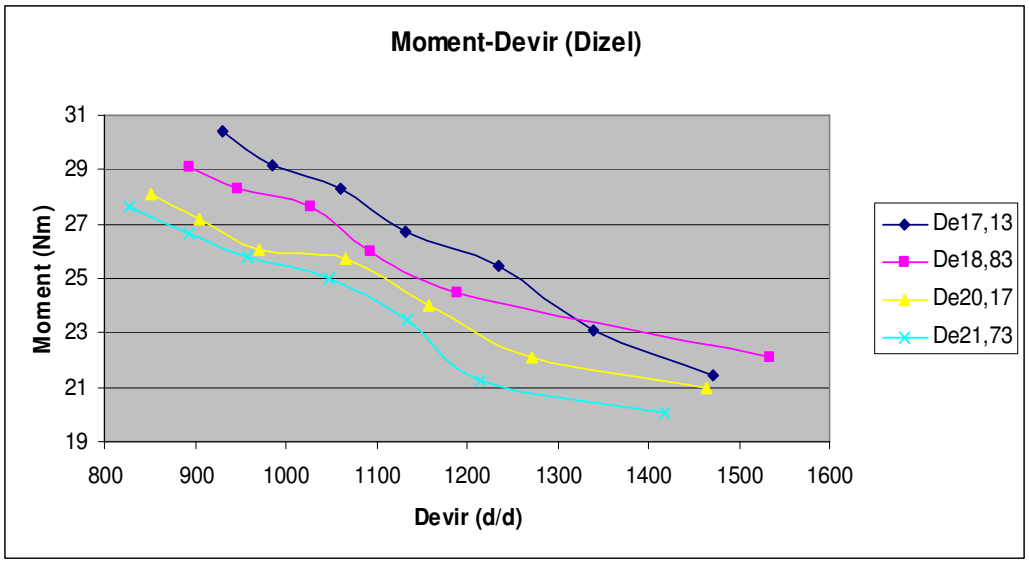
Şekil 6.38 ve Şekil 6.39' da dizel ve B15 yakıt ile yapılmış olan deneylerde elde edilmiş sıkıştırma oranına bağlı güç-devir grafikleri görülmektedir.



Şekil 6.38: Farklı Sıkıştırma Oranları İçin Dizel' in Güç-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.38' de görüldüğü gibi motor dizelle en iyi güç değerlerini ε = 17,13 için vermiştir. Sıkıştırma oranı arttıkça güç değerleri düşmüş ve en kötü değerler ε =21,73' te elde edilmiştir. Bu genel eğilime ters olarak sadece 1300 d/d' dan sonra ε = 18,13' ün değerleri ε = 17,13' ün üstüne çıkmaktadır. Bu istisnai bir durum olup ölçüm hatası olabilme ihtimali de mevcut bulunmaktadır.

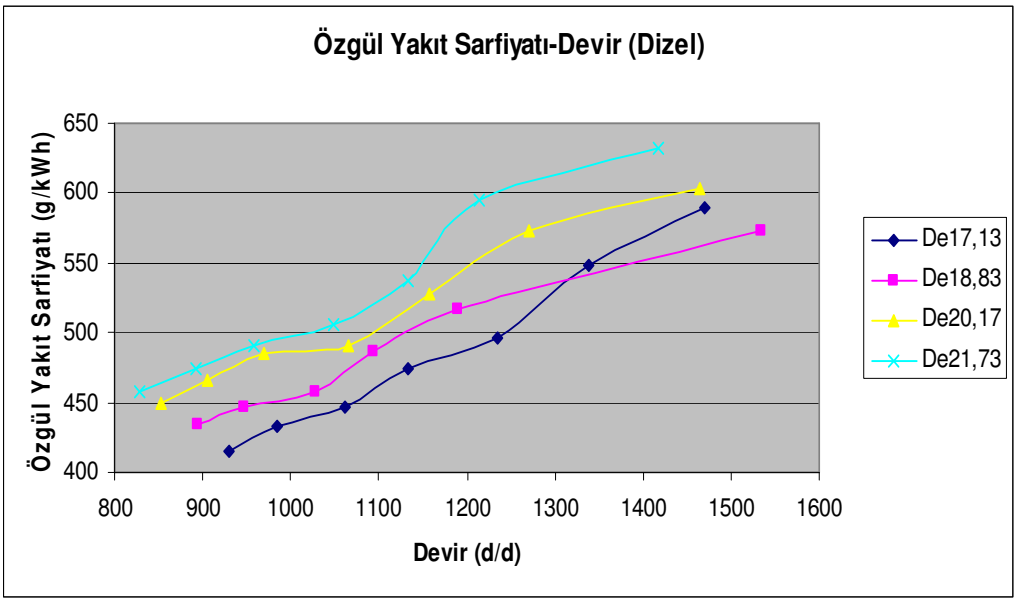
Şekil 6.39' da farklı sıkıştırma oranları için elde edilmiş moment-devir grafiği görülmektedir. Benzer şekilde burada da en iyi moment değerleri sıkıştırma oranı 17,13' te elde edilmiştir.



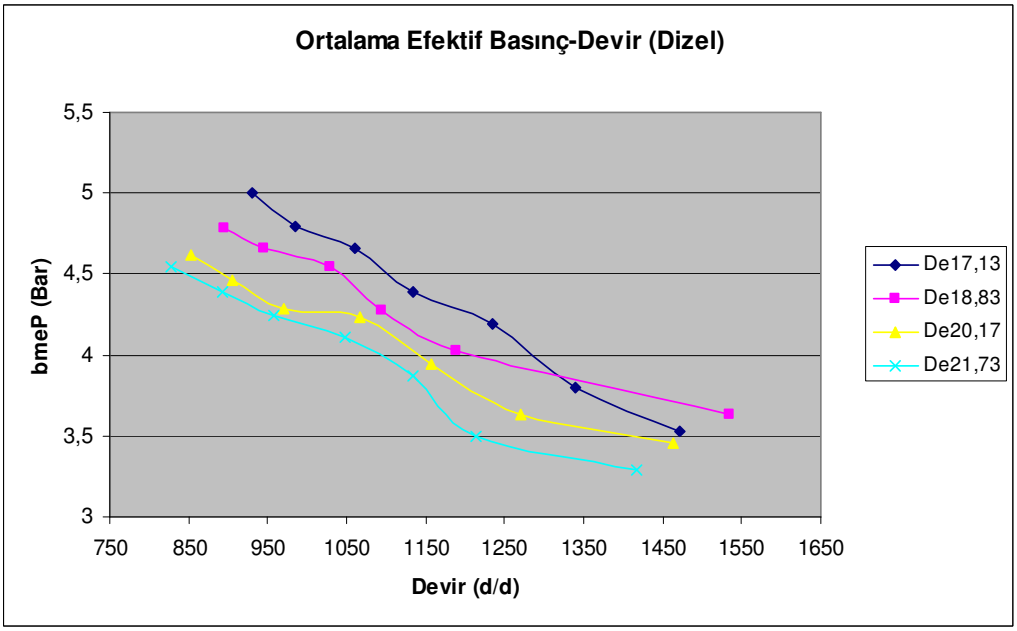
Şekil 6.39: Farklı Sıkıştırma Oranları İçin Dizel' in Moment-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.40' ta sıkıştırma oranına bağlı olarak dizel yakıtından elde edilmiş özgül yakıt sarfiyatı-devir grafiği görülmektedir. Beklendiği gibi güç eğrilerinin yansıması olarak sıkıştırma oranı 17,13' te en iyi özgül yakıt sarfiyatı değerlerine ulaşılmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça motor performansı kötüleşmesine bağlı olarak yakıt tüketimi de kötüleşmektedir.

Şekil 6.41' de ise farklı sıkıştırma oranlarındaki ortalama efektif basınç graifiği görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi türetilmiş bir büyüklük olan ortalama efektif basıç moment grafiğiyle aynı karakteristikleri taşımaktadır. En iyi ortalama efektif basınç sıkıştırma oranı 17,13 için elde edilmiş olup, sıkıştırma oranı arttıkça ortalama efektif basınç değerleri düşmektedir.

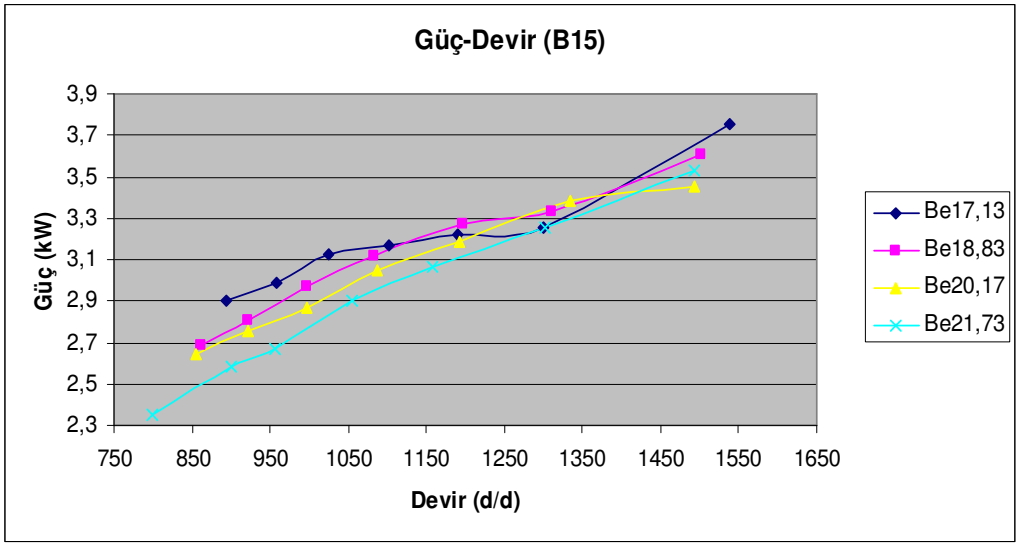


Şekil 6.40: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizelin Özgül Yakıt Sarfiyatı-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.



Şekil 6.41: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizelin bmeP-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

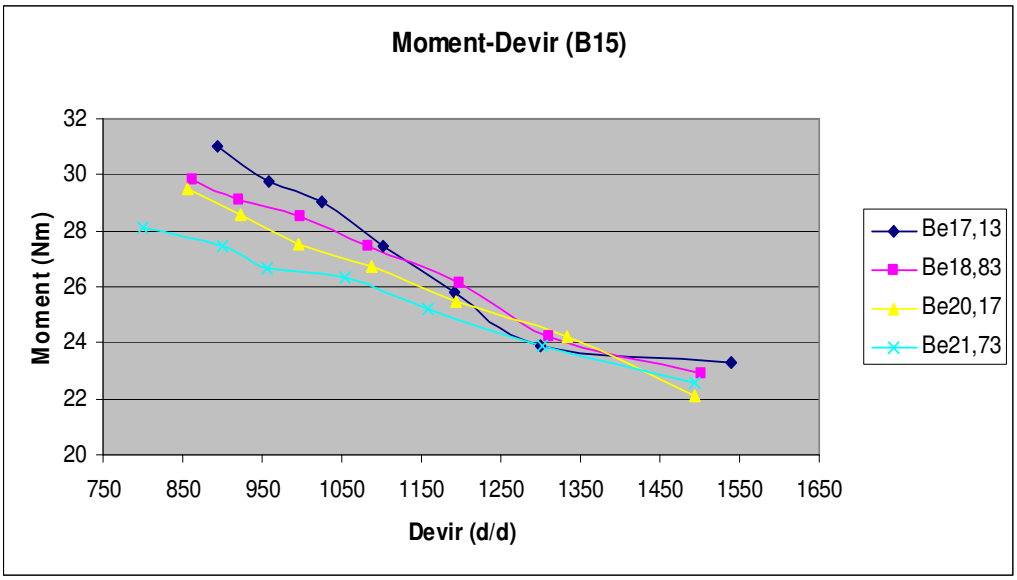
Şekil 6.42' de B15' in farklı sıkıştırma oranlarında elde edilmiş olan güç-devir grafiği görülmektedir. B15' ten elde edilmiş güç-devir grafikleri dizelden elde edilenlerle aynı karakteristiği izlemektedir. Sıkıştırma oranı 17,13' te en iyi güç değerleri elde edilmiş olup sıkıştırma oranı arttıkça değerler kötüleşmektedir. Sadece 1250-1350 d/d arasında sıkıştırma oranı 18,83 ve 20,17'nin değerleri 17'13' ten daha iyidir. Dizelden elde edilmiş güç grafiklerinden farklı olarak, B15'in farklı sıkıştırma oranlarındaki güç grafikleri arasındaki fark daha az gözükmektedir ve bu fark devir arttıkça kapanmaktadır.



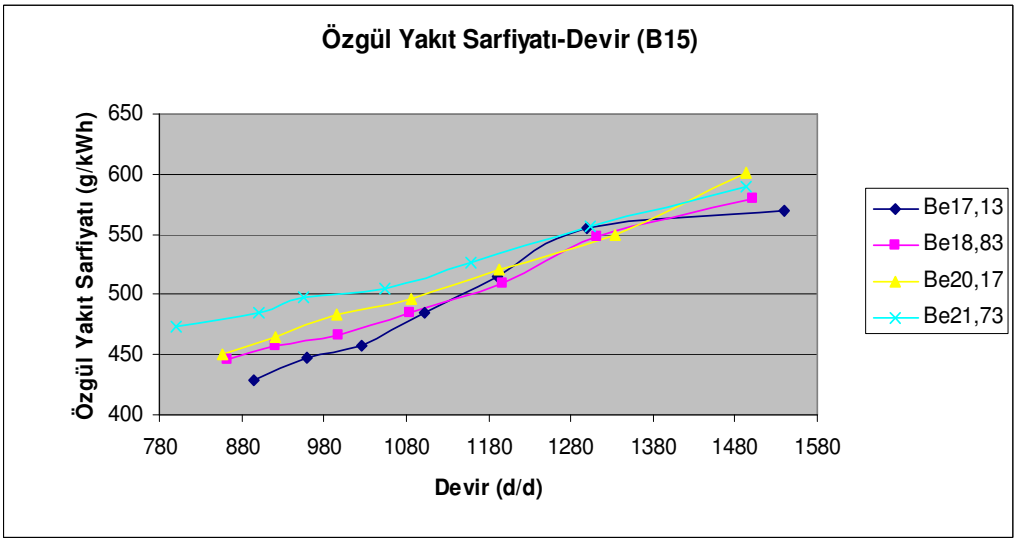
Şekil 6.42: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in Güç-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.43' te farklı sıkştırma oranlarında B15' en elde edilmiş olan moment-devir grafiği görülmektedir. Sıkıştırma oranı 17,13 moment değerleri bakımından da en iyi sonuçları vermektedir.

B15' in farklı sıkıştırma oranlarındaki özgül yakıt sarfiyatı-devir grafiği Şekil 6.44' te görülmektedir. Beklendiği gibi özgül yakıt sarfiyatı, sıkıştırma oranı arttıkça azalan güç miktarına bağlı olarak kötüleşmektedir. Yüksek devirlerde farklı sıkıştırma oranları arasındaki fark azalmaktadır.

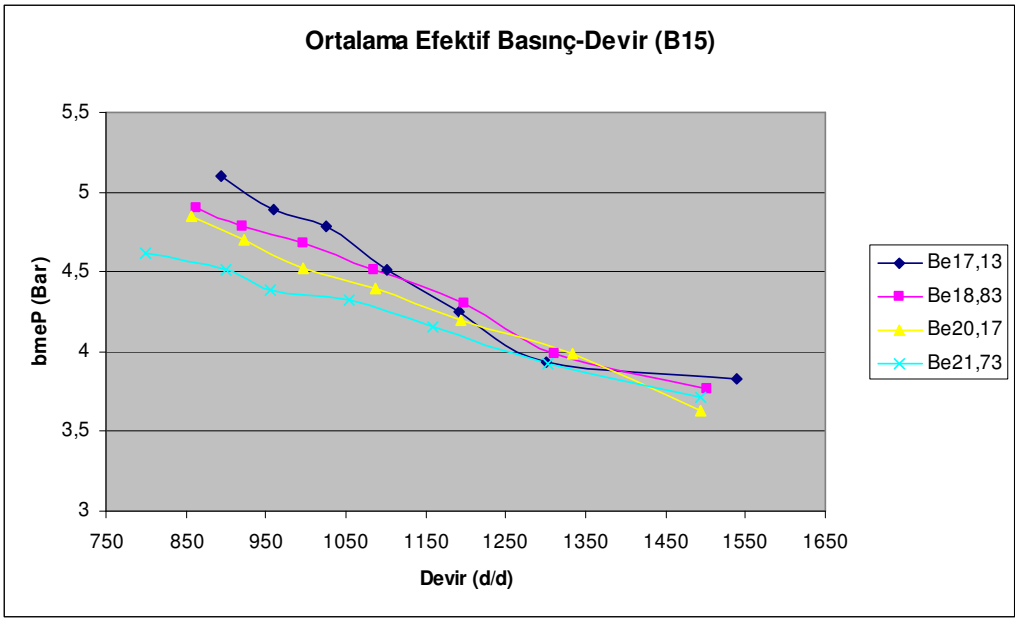


Şekil 6.43: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in Moment-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.



Şekil 6.44: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in Özgül Yakıt Sarfiyatı-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.45' te B15 karışımından farklı sıkıştırma oranlarında elde edilmiş ortalama efektif basınç-devir grafiği görülmektedir.



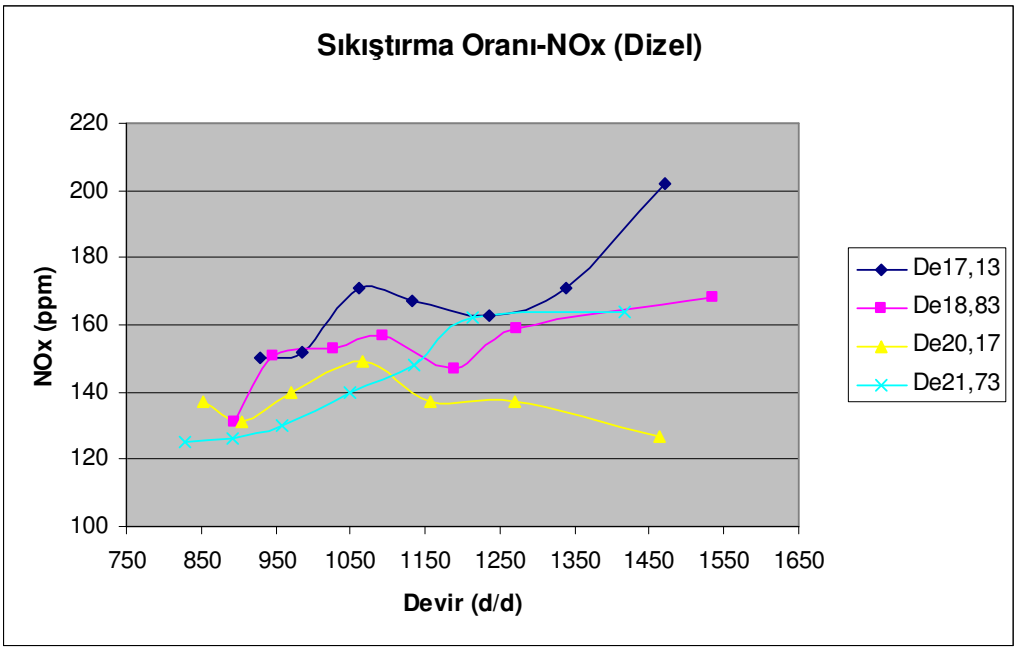
Şekil 6.45: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in bmeP-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.45' te görüldüğü gibi moment grafiğine benzer bir durum ortalama efektif basınç için de söz konusudur. En iyi ortalama efektif basınç ε = 17,13' te elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı arttıkça ortalama efektif basınç azalmaktadır. Yüksek devirlerde farklı sıkıştırma oranları arasındaki fark azalmaktadır.

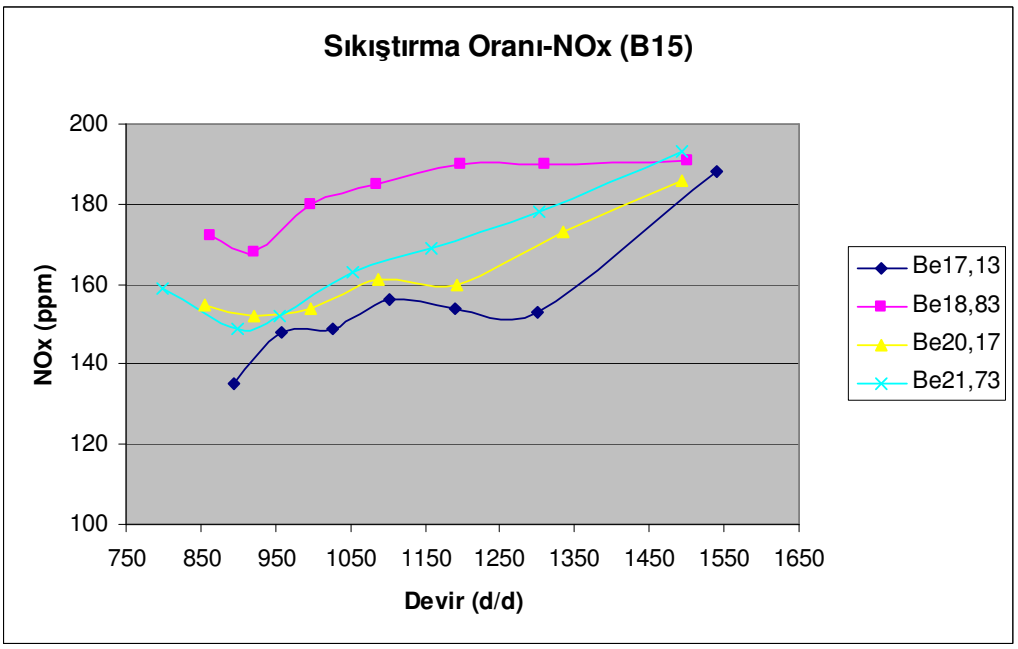
Şekil 6.46 ve Şekil 6.47' de sırasıyla dizel ve B15 için farklı sıkıştırma oranlarında elde edilmiş NOx-devir grafikleri görülmektedir.

Şekil 6.46' da görüldüğü gibi en iyi NOx değerleri genel olarak sıkıştırma oranı 20,17 ve 21,73' te elde edilmiştir. En kötü değer ise sıkıştırma oranı 17,13' te elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 21,73 düşük devirlerde en iyi NOx değerlerini verirken 1100 d/d' dan sonra yükselişe geçmektedir. Bu devirden sonra ε = 21,73' ten elde edilen değerler en iyi duruma gelmektedir.

Şekil 6.47' de görülen B15' in NOx değerleri dizelden elde edilen değerlerden farklıdır. Dizelde en kötü NOx değerleri sıkıştırma oranı 17,13' te elde edilirken, B15 için en iyi değerler bu sıkıştırma oranında elde edilmektedir. En kötü değerler ise ε = 18,83' de elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 18,83' ten sonra sırasıyla ε = 21,73 ve ε = 20,17 gelmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarında NOx emiyonu devirle birlikte artma eğilimi göstermektedir.



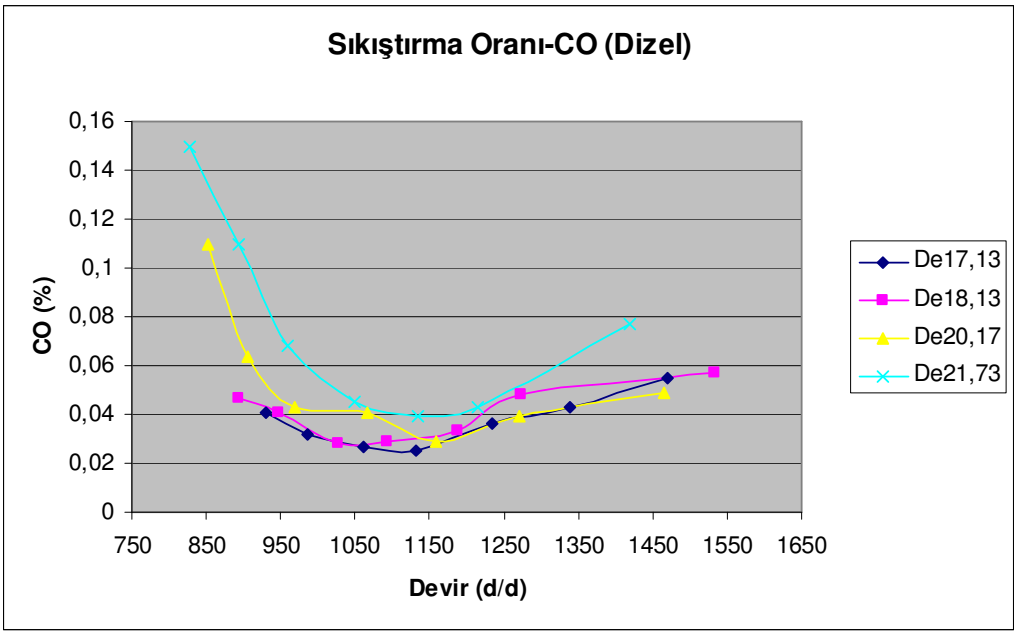
Şekil 6.46: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizel' in NOx-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.



Şekil 6.47: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in NOx-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

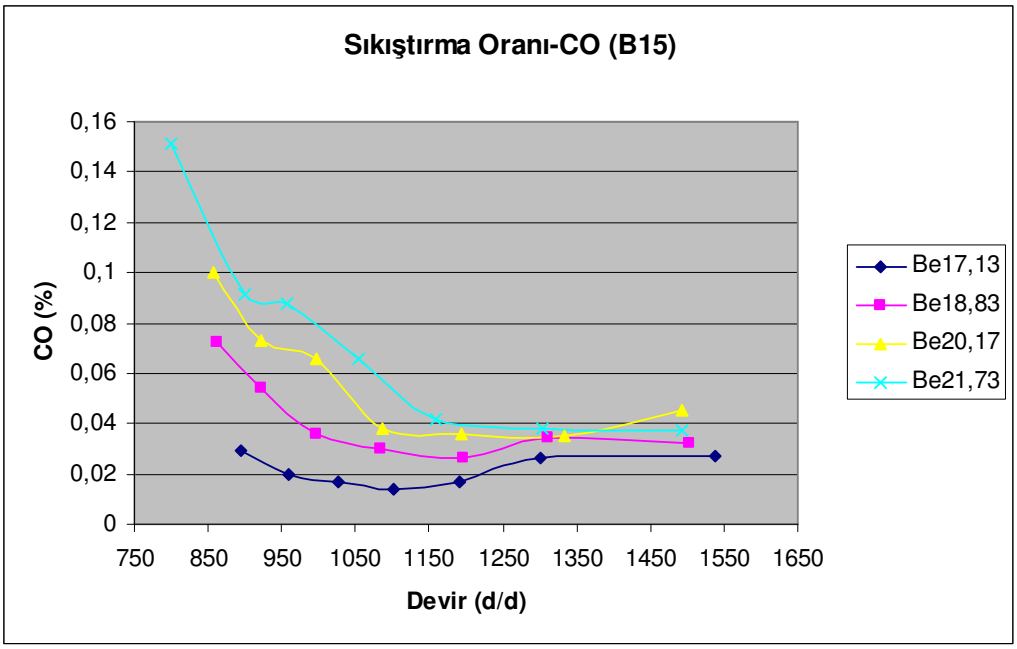
Şekil 6.48 ve Şekil 6.49' da sırasıyla dizel ve B15 yakıtlarından farklı sıkıştırma oranlarında elde edilmiş olan CO emisyonu değerlerinin devire bağlı değişimleri görülmektedir.

Dizel yakıtın CO emisyonu değerlerine bakıldığı taktirde CO miktarının sıkıştırma oranıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu sonuç dizelin sıkıştırma oranlarına bağlı olarak elde edilmiş güç-devir grafikleriyle de uyumludur denilebilir. CO emisyonlarında en iyi değer ε = 17,13' te en kötü değer ise ε = 21,73' te elde edilmiştir. Dizelden elde edilen CO değerleri Şekil 6.48' de gçrülen B15 yakıtından elde edilmiş CO değerlerine kıyasla daha dar bir alana sıkışmış bulunmaktadır. Tüm sıkıştırma oranlarında CO değeri yaklaşık 1150 d/d' da minimum yapmaktadır. Bu noktadan sonra tüm sıkıştırma oranlarındaki CO değerleri tekrar artma eğilimi göstermektedir.



Şekil 6.48: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizel' in CO-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.49' da görüldüğü gibi B15' ten elde edilen sonuçlar dizelden elde edilenlerle aynı karakteristiği göstermektedir. Burada da en kötü değerler ε = 21,73' ten, en iyi değerler ise 17,13' ten elde edilmiştir. 1300 d/d' da sonra grafikler birbirlerine yaklaşıp yatay olarak seyretmektedirler. Tüm ε' larda devir düştükçe CO miktarı artmaktadır.

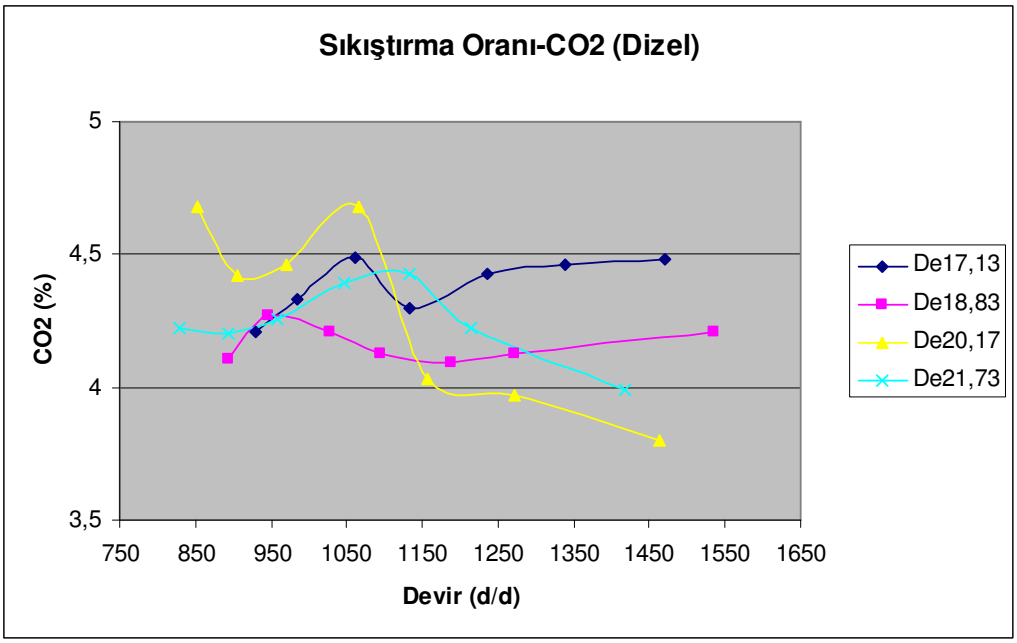


Şekil 6.49: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in CO-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

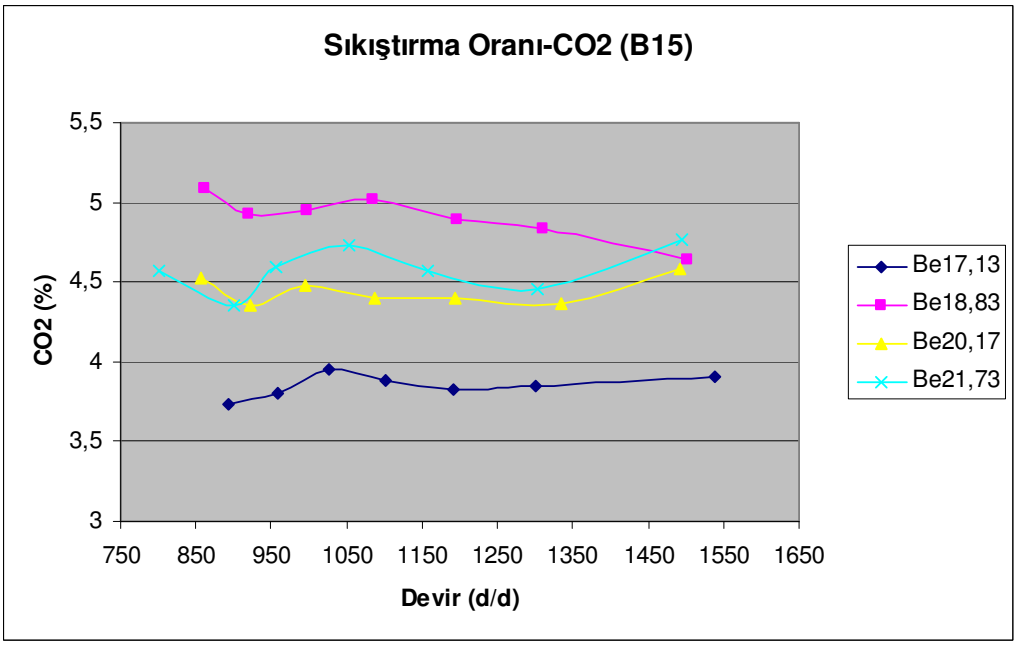
Şekil 6.50 ve Şekil 6.51' de farklı sıkıştırma oranlarında, dizel ve B15 yakıtlarıyla elde edilmiş olan CO_2-devir grafikleri görülmektedir.

Dizelden elde edilmiş CO_2 grafikleri genel bir karakteristk taşımamaktadır. 1150 d/d' dan küçük devirlerde ε = 18,83' ten elde edilen CO_2 değerleri daha düşükken, bu devirden sonra ε = 20,17' den elde edilen değerler daha düşüktür. Ancak genel olarak en az salınım yapan ve en düşük değerlere sahip olan grafik ε = 18,83' e ait olan grafiktir.

B15' in sonuçları ise dizele göre kendi içinde daha tutarlıdır. Şekil 6.50' de görüldüğü üzere en iyi CO_2 değerleri ε = 17,13' de, en kötü CO_2 değerleri ise ε=18,83' te elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 20,17 ile 21,73' ün emisyon değerleri ise bu ikisinin arasında yer almaktadır.



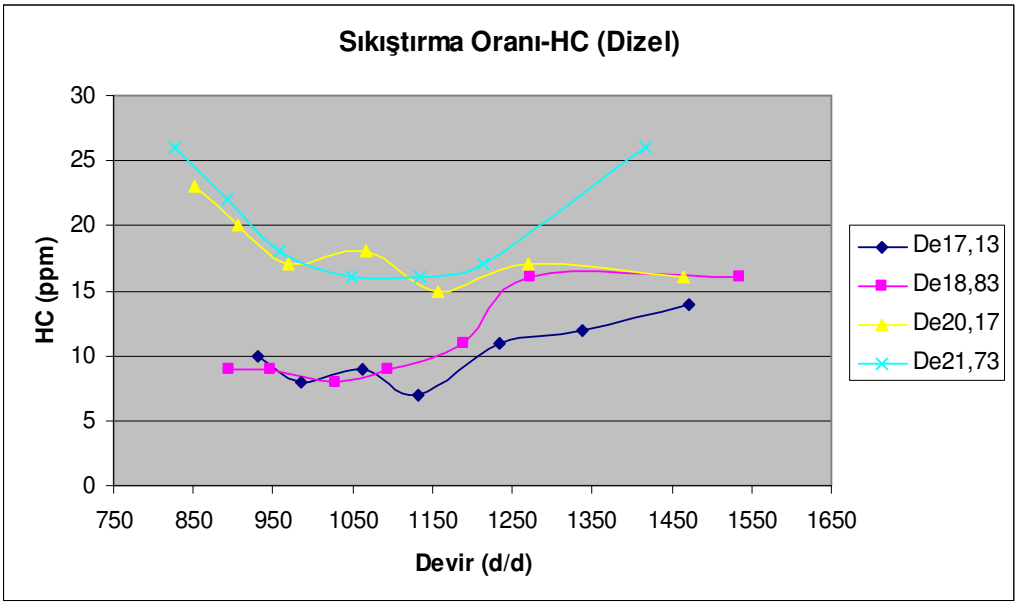
Şekil 6.50: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizel' in CO_2-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.



Şekil 6.51: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in CO_2-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

Şekil 6.52 ve Şekil 6.53' de farklı sıkıştırma oranlarında dizel ve B15 ile elde edilmiş HC emisyonu değerleri görülmektedir. Görüldüğü üzere B15 dizele göre tüm sıkıştırma oranlarında genel olarak daha düşük HC emisyon değerleri sergilemektedir.

Dizel yakıt en iyi HC değerlerini ε = 17,13' te en kötü değerlerini de ε = 21,73' te yakalamıştır. Tüm sıkıştırma oranlarında 950-1150 d/d aralığı minimum HC değerleri yakalanmaktadır. 1150 d/d' dan sonra HC değerleri artma eğilimi göstermektedir.

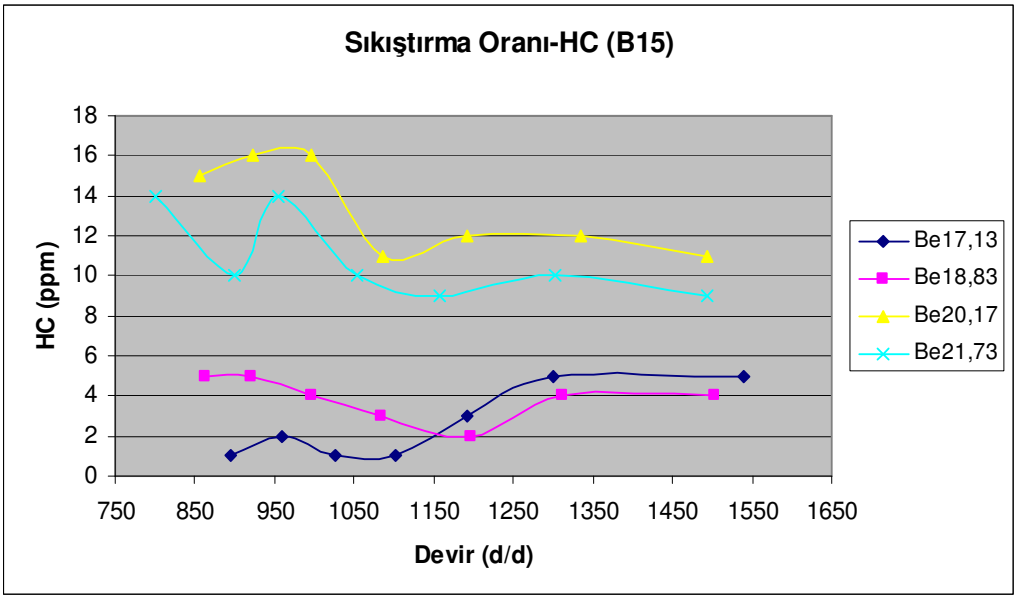


Şekil 6.52: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizel' in HC-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

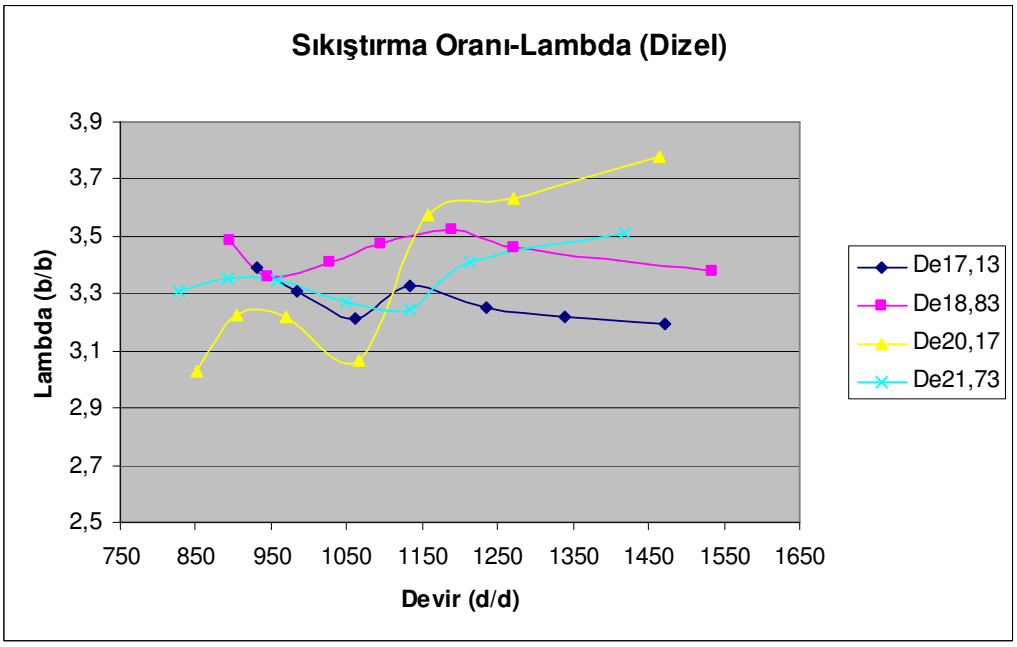
B15' le yapılan deney sonucunda en iyi HC değerleri, 1150 d/d' dan düşük devirler için ε = 17,13' de, 1150 d/d' dan yüksek devirlerde ise ε = 18,83' de elde edilmektedir. Sıkıştırma oranları 20,17 ve 21,73' ün HC değerleri ise 17,13 ve 18,83' ten oldukça yüksek çıkmaktadır.

Şekil 6.54 ve Şekil 6.55' te dizel ve B15' in farklı sıkıştırma oranlarındaki lambda değerleri görülmektedir.

Dizelden elde edilmiş lambda-devir eğrileri belirgin bir karekteristik göstermemektedir. 850-1050 d/d arasında ε = 20,17, 1050 d/d' dan sonra ise ε =17,13 en düşük lambda değerlerini vermektedir.

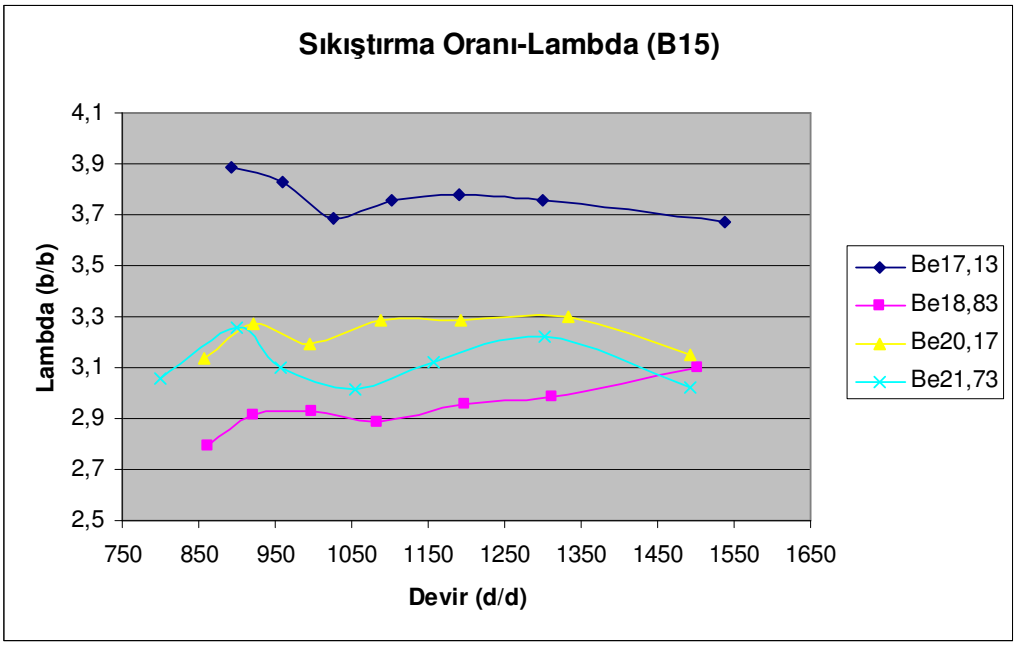


Şekil 6.53: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in HC-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.



Şekil 6.54: Farklı Sıkıştırma Oranlarında Dizel' in λ-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

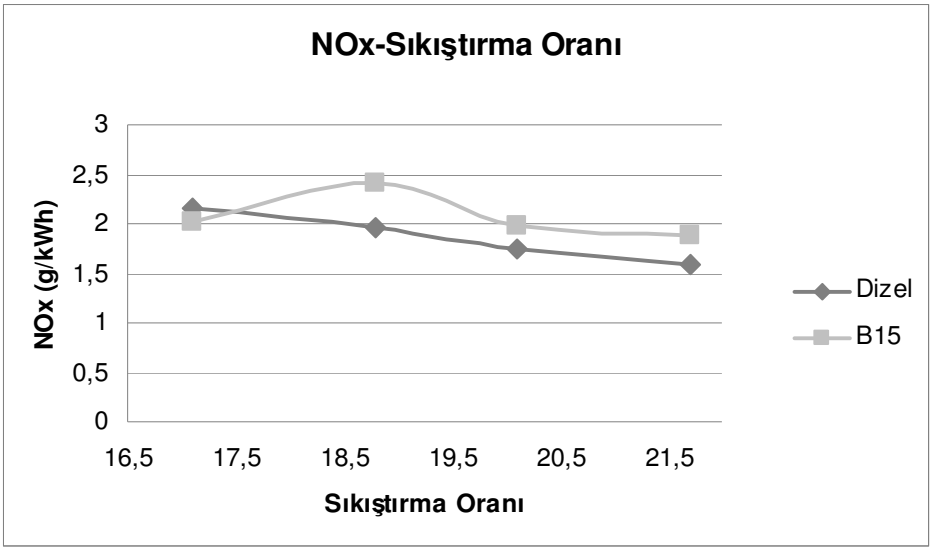
B15' in lambda değerleri dizele kıyasla daha tutarlı gözükmektedir. Motor, B15' le en zengin karışım oranını ε = 18,83' de, en fakir karışım oranını ise ε = 17,13' te yakalamaktadır. 20,17 ve 21,73' ün grafikleri ise bu ikisinin arasında yer almaktadır.



Şekil 6.55: Farklı Sıkıştırma Oranlarında B15' in λ-Devir Grafiği (Tam Yük) De17,13: Dizel / ε = 17,13; De18,83: Dizel / ε = 18,83; De20,17: Dizel / ε = 20,17; De21,73: Dizel / ε = 21,73.

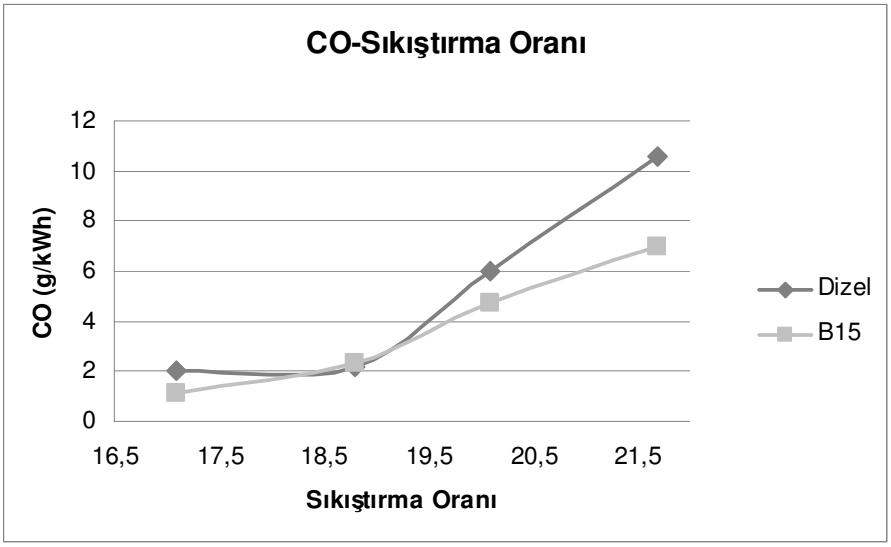
Farklı sıkıştırma oranlarında ve farklı yüklerde alınan emisyon ve basınç değerleri Matlab yardımıyla interpole edilerek maksimum momentin yakalandığı yüke denk gelen ortalama efektif basınç değeri olan bmeP = 4,5 bar' daki emisyon miktarları kütlesel olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin sıkıştırma oranına bağlı değişimi aşağıda yer almaktadır.

Şekil 6.56' da sabit yükte hesaplanan kütlesel NOx emisyon miktarının sıkıştırma oranına bağlı değişim grafiği görülmektedir. B15, ε=17,13 hariç tüm sıkıştırma oranlarında dizele göre yüksek NOx değerlerine sahip bulunmaktadır. En yüksek değere ε=18,83' te, en düşük değere ise 21,73' te ulaşmaktadır. Dizel ise en yüksek NOx değerine ε =17,13' te ulaşmakta ve bu değerden sonra artan sıkıştırma oranına bağlı olarak azalmaktadır.



Şekil 6.56: Sabit Yükte Hesaplanmış Kütlesel NOx Miktarı-Devir Grafiği (Tam Yük)

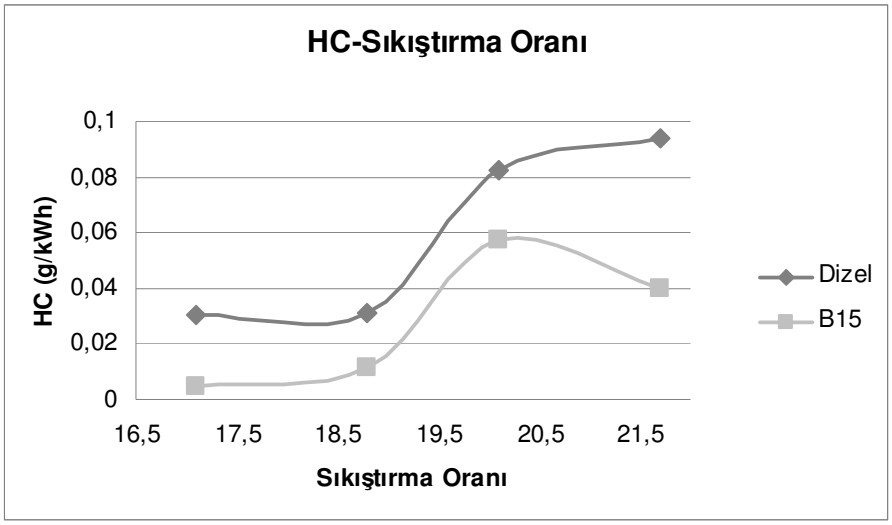
Şekil 6.57' de sabit yükteki kütlesel CO miktarlarının sıkıştırma oranına bağlı değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranı 18,83' de dizel ve B15 yakıtından elde edilmiş CO miktarı aynı iken diğer sıkıştırma oranlarında dizelin CO miktarları daha yüksektir. İki yakıtta da sıkıştırma oranı arttıkça CO miktarı da artmaktadır.



Şekil 6.57: Sabit Yükte Hesaplanmış Kütlesel CO Miktarı-Devir Grafiği (Tam Yük)

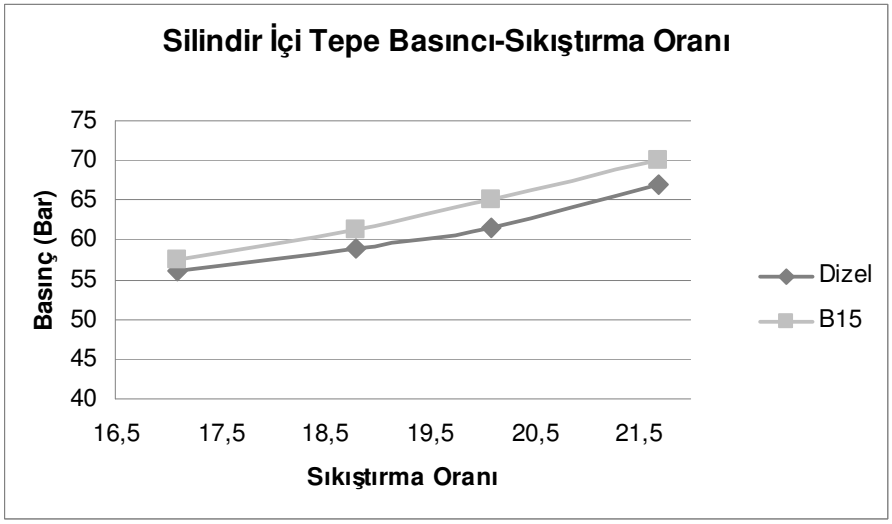
Şekil 6.58' da sabit yükte kütlesel HC miktarının sıkıştırma oranına bağlı değişimi görülmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarda dizelden elde edilen HC değerleri B15' ten

elde edilenlerden yüksek çıkmaktadır. İki yakıtta da kütlesel HC değerleri sıkıştırma oranı arttıkça artmaktadır.



Şekil 6.58: Sabit Yükte Hesaplanmış Kütlesel HC Miktarı-Devir Grafiği (Tam Yük)

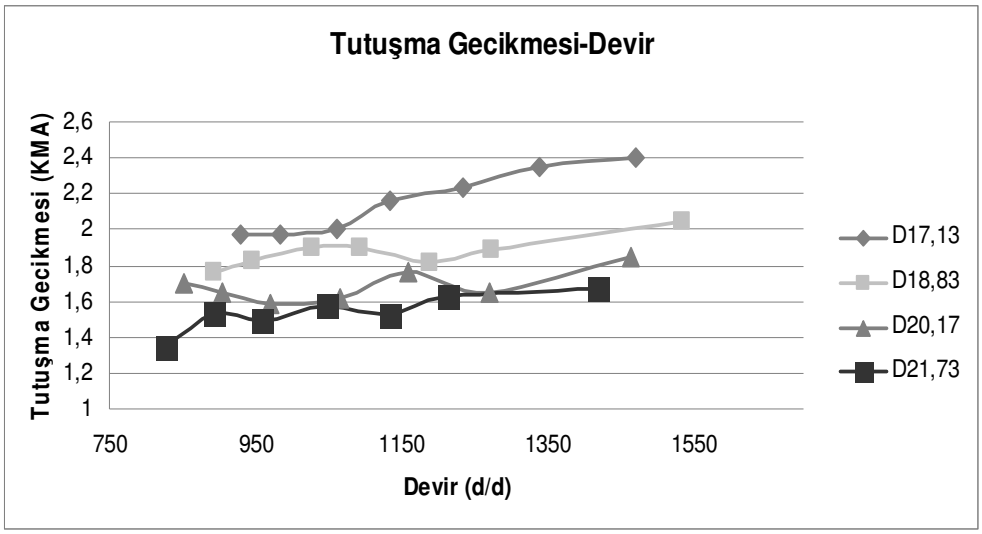
Şekil 6.56' da dizel ve B15 yakıtlarının sabit yükteki silindir içi tepe basınçlarının sıkıştırma oranına bağlı değişimleri görülmektedir. Her iki yakıtta da silindir içi tepe basınçları sıkıştırma oranı arttıkça hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır. B15' in silindir içi tepe basıncı değerleri tüm devirlerde dizelin üstünde yer almaktadır.



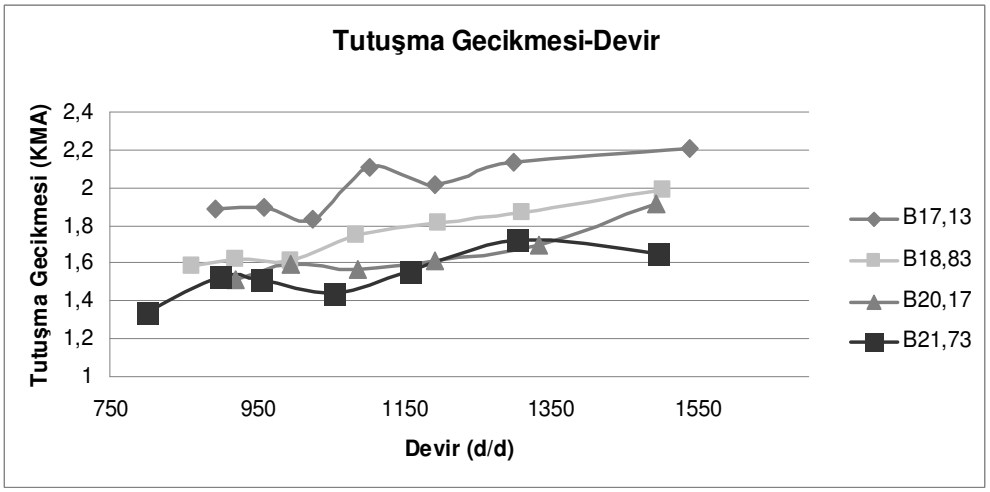
Şekil 6.59: Sabit Yükte Silindir İçi Tepe Basıncı-Sıkıştırma Oranı Grafiği (Tam Yük)

Şekil 6.60 ve Şekil 6.61' de dizel ve B15' in farklı sıkıştırma oranlarındaki tutuşma gecikmelerinin devire bağlı değişim grafikleri yer almaktadır. Tutuşma gecikmeleri

artan sıkıştırma oranına dolayısıyla artan silindir içi tepe basıncına bağlı olarak azalmaktadır. Aynı sıkıştırma oranında azalan yükle (artan devirle) birlikte dizelin ve B15' in tutuşma gecikmesi de artmaktadır.

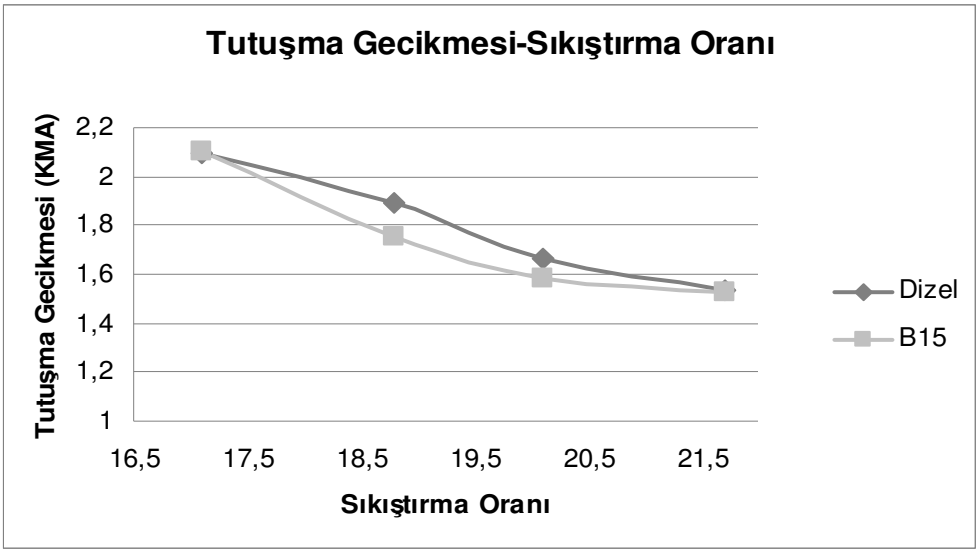


Şekil 6.60: Dizel' in Tutuşma Gecikmesi-Devir Grafiği (Tam Yük)



Şekil 6.61: B15' in Tutuşma Gecikmesi-Devir Grafiği (Tam Yük)

Şekil 6.62' de dizel ve B15' in sabit yükteki tutuşma gecikmelerinin sıkıştırma oranına bağlı değişimi yer almaktadır. Her iki yakıtın tutuşma gecikmeleri de artan sıkıştırma oranı ile birlikte düşmektedir. Dizel ve B15 sıkıştırma oranı 17,13 ve 21,73' te hemen hemen aynı tutuşma gecikmelerine sahip bulunmaktadır. Sıkıştırma oranı 18,83 ve 20,17' de ise dizelin tutuşma gecikmesi B15' e göre daha fazladır. Bunun sebebi olarak B15' in sahip doluğu dizele kıyasla yüksek silindir içi tepe sıcaklıkları ve setan sayısı gösterilebilir.



Şekil 6.62: Dizel ve B15' in Tutuşma Gecikmesi-Sıkıştırma Oranı Grafiği (Tam Yük)

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney sonuçlarının verildiği tablo ve grafiklerden anlaşılacağı üzere, B15, $\varepsilon = 17{,}13$ haricindeki diğer tüm sıkıştırma oranlarında dizele kıyasla güç ve moment artışına sebep olmaktadır. Lauperta ve diğerlerinin (2007) yayınlamış olduğu literatür taramasına göre SCI Journals'da 1992-2005 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların yaklaşık %96'sı tam yükte biyodizelin efektif güçte azalmaya sebep olduğunu belirtmiştir. Bu durum elde edilen sonuçla tezat oluşturmaktadır.

B15' te yakalanmış olan bu güç artışının sebebi olarak biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve sıkıştırılamazlık modülü sebebiyle oluşabilecek muhtemel bir erken püskürtme gösterilebilir. Yüksek viskoziteden ötürü biyodizelin pompa kayıpları azalmakta ve bu da yüksek sıkıştırılamazlık modülüyle birlikte basıncın enjektöre daha erken iletilmesine yol açabilmektedir. Silindir içine püskürtülen yakıt miktarı böylelikle hacimsel olarak artabilmektedir. Bir de buna biyodizelin sahip olduğu dizele kıyasla yüksek yoğunluk dahil edilirse, içeri giren yakıt miktarı kütlesel olarak da artmaktadır. Şayet bu artış biyodizelin düşük ısıl kapasitesini kompanse edebilecek boyutlarda gerçekleşirse bunun sonucunda olası bir güç ve moment artışı gözlemlenebilir. Tat (2003) ve Usta (2005) yukarıdaki sebeplerden ötürü oluşabilecek muhtemel bir erken enjeksiyonun püskürtülen yakıt miktarında hacimsel olarak %1,2-3,2' lik artışlara yol açabileceğini ortaya koymuşlardır. Ancak bu artış yük arttıkça azalabilmektedir. Bunun sebebi olarak artan yük ve dolayısıyla sıcaklıkla birlikte viskozitenin azalması gösterilmektedir.

Ancak öndeneyler sırasında yapılan ölçümler ile bu olay doğrulanmıştır. Deney öncesi, enjektör her iki yakıtla belirli bir süre dışarıda püskürtülmüş ve püskürtülen yakıt miktarı ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde B15 yakıtının püskürtme miktarının kütlesel olarak dizel yakıtı miktarından yaklaşık %5 fazla olduğu görülmüştür. B15 karışımının yoğunluğu dizel yoğunluğunun %1 fazlası olduğu hesaba katılırsa erken enjeksiyondan ötürü oluşabilecek muhtemel kütlesel yakıt fazlalığı %4 olmaktadır.

E=21,73 'teki %19 luk ve %10' luk güç, %12-13' lük moment artışları hariç diğer tüm sıkıştırma oranlarında gerçekleşen güç ve moment artışları %2-7 aralığında gerçekleşmiştir. Yine de tüm güç ve moment artışlarını sadece silindir içine gönderilen yakıt miktarı artışıyla açıklamak yeterli görünmemektedir.

Güç ve moment artışına sebep olabilecek bir diğer faktör de erken enjeksiyon ve/veya yüksek setan sayısı sebebiyle yanmanın erken başlaması gösterilebilir. Oluşan erken püskürtmeden ötürü silindir içi sıcaklık ve basınç artmakta böylece termik verim ve elde edilen iş artmaktadır. Bu da güç ve moment artışına yol açmaktadır. Alam ve diğ. (2004) ile Szybist ve diğ. (2005) de bu savı desteklemektedirler. Gerek Şekil 6.56' daki silindir içi tepe sıcaklıklarını gösteren grafik gerekse Şekil 6.57, 6.58 ve 6.59' daki tutuşma gecikmesi grafikleri bu açıklamayı desteklemektedir. Bu grafiklerde B15' in sahip olduğu dizele göre yüksek silindir içi basınçları ve düşük tutuşma gecikmeleri görülmektedir.

Bir diğer görüş de biodizelin yapısında ihtiva ettiği fazla oksijenden ötürü yanma karakteristiklerinin düzelmesidir. Ancak Rakopoulos ve diğ. (2004) belirttiği gibi bu oksijen artışının ısıl kapasiteyi düşürdüğü de gözden kaçırılmamalıdır.

Her ne kadar Lauperta ve diğ. (2007)' lerinin yapmış odluğu literatür taramıasnda %98 gibi yüksek bir oranla biyodizelin yakıt sarfiyatını arttırdığı söylense de, bu çalışmada B15' in özgül yakıt sarfiyatı $\varepsilon = 17,13$ haricinde genellikle tüm sıkıştırma oranlarında dizelin altında kalmaktadır. Kütlesel yakıt sarfiyatı dizele göre fazla olan B15' in hemen hemen aynı güç eğrilerine sahip olunduğu $\varepsilon = 17,13$' te özgül yakıt sarfiyatı bakımından dizelin altında kalması beklenen bir sonuçtur. Diğer sıkıştırma oranlarında ise artan güçle birlikte dizelin altında bir özgül yakıt sarfiyatına sahip olmaktadır. Genellikle düşük devirlerde B15 ile dizelin özgül yakıt sarfiyatları birbirlerini yakalamakta hatta $\varepsilon = 21,73$' te B15' inki dizeli geçmektedir. Bunun sebebi olarak Tat (2003) ve Usta (2005)' nın ileri sürdükleri artan yüke bağlı viskozite düşüşleri neticesinde erken püskürtmenin azalması gösterilebilir. Özgül yakıt sarfiyatındaki bu düşüş iyileşen termik verimle de açıklanabilir. Performans değerlerinin yer aldığı tablolara bakılacak olursa hemen hemen tüm sıkıştırma oranlarında ve devirlerde B15' in termik veriminin dizelden daha iyi olduğu görülmektedir. Labeckas ve Slavinskas (2006) ile Ramadhas ve diğ. (2005)' nin öne sürdüğü üzere en iyi termik verim B5, B10 ve B20 yakıtlarda elde edilmektedir.

ε = 17,13 hariç tüm sıkıştırma oranlarında B15' in NOx miktarı dizele göre fazla bulunmuştur. Bu sonuç Lauperta ve diğ. (2007)' nin literatür çalışmasında yer alan ve SCI Journals'da 1992-2005 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların yaklaşık %85' ini oluşturan sonuçlarla uyumludur. NOx miktarı genel bir karakteristik izlemese de genellikle devirle beraber artma eğilimi göstermektedir. Oysa Hamasaki ve diğ. (2001) yine tek silindirli bir motorda bunun tersi bir sonuç ortaya koyarak yüksek yüklerde (düşük devirlerde) NOx miktarının arttığını belirtmiştir.

B15' de elde edilen NOx miktarı artışları tüm sıkıştırma oranlarında geniş bir aralıkta dalgalanmakta olup %10 ile %46 arasındadır. Bu artış oranları literatürde elde edilenlere kıyasla yüksek gözükmektedir. Schumacher ve diğ. (1994) yaptığı çalışmada maksimum NOx miktarını B40 ile %15 oranında yakalamıştır. Bir başka araştırmada Marshall ve diğ. (1995) B20 ile %3.7' lik, B30 ile %1,2 ' lik artışlar yakalamıştır. Bulunan artış oranlarının büyüklük sebebi olarak yakıttın kimyasal yapısı ve motor konstrüksiyonu gösterilebilir. Elde edilen bu artışların sebebi olarak ilk olarak biyodizelin yapsında bulunan fazla oksijen gösterilmektedir (Song ve diğ, 2004). Bir başka sebep ise yüksek viskoziteden ve yüzey geriliminden ötürü oluşan kötü atomizasyon gösterilmektedir (Kegl, 2007). Deney motorunda kullanılan enjektörün açma basıncının sadece 100 bar olması bu sebebi göz önünde tutma gereği doğurmaktadır. Bunun yanında yüksek setan sayısı ve erken püskürtme sebebiyle oluşan erken yanma neticesinde silindir içi sıcaklıkların yükselmesi de NOx artışına sebep olabilmektedir. McCormick ve diğ. (2005) ise yüksek iyot sayısını sebep olarak göstermektedir. Cheng ve diğ. (2006) bu artışı biyodizeldeki düşük PM sebebiyle azalan ışıma neticesinde artan alev sıcaklığına bağlamaktadır.

HC değerleri tartışmasız tüm sıkıştırma oranlarında dizele göre düşük çıkmıştır. Bu Lauperta ve diğ. (2007) yapmış oldukları literatür taramasında araştırdıkları çalışmaların %90' ıyla uyumlu bir sonuçtur. Çoğu araştırmacı bu olayı biyodizelin bünyesinde bulunan fazla oksijen sebebiyle gerçekleşen iyi yanmaya bağlamaktadır. Monyem ve diğ. (2001), Hansen ve diğ (1997) ve Pinto ve diğ. (2005) ise yüksek setan sayısı sebebiyle oluşan erken yanmaya (azalan tutuşma gecikmesine) bağlamaktadır. Storey ve diğ. (2005) de HC azalışını erken püskürtme kaynaklı erken yanmaya dayandırmaktadır. Bir kısım araştırmacı ise biyodizelin yapısındaki düşük aromatik oranı sebebiyle HC' ların azaldığını ifade etmektedir. Biyodizel için elde edilmiş olan düşük tutuşma gecikmeleri ve yüksek silindir içi tepe basınçları bu

savları desteklemektedir. HC düşüşleri değişken bir yapı sergilemekle birlikte %90' lara varan azalmalar kaydedilmiştir. Last ve diğ. (1995) yaptıkları çalışmada B10 ve B20 için sırasıyla %28 ve %32' lik azalmalar kaydetmişlerdir.

CO için $\varepsilon = 17,13$ hariç bir genellemede bulunmak mümkün gözükmemektedir. Sıkıştırma oranı 17,13' de B15 ile dizele göre daha düşük CO değerleri yakalanmıştır. Sıkıştırma oranı 17,13 haricindeki tüm sıkıştırma oranlarında genelde devir düştükçe B15' in CO değerleri artarak dizelin üstüne geçmektedir; yüksek devirlerde ise bunun tersi bir durum gerçekleşmektedir. Sıkıştırma oranı 17,13' te %50' lere varan CO düşüşleri kaydedilmiştir. Last ve diğ. (1995) ise B10 ve B20 ile yaptıkları çalışmada sırasıyla %10 ve %8' lik düşüşler ortaya koymuşlardır. Erken püskürtme ve yüksek setan sayısı sebebiyle oluşan erken yanma CO gibi yanma ara ürünlerinin azalmasına sebep olabilmektedir. Bazı devirlerde yüksek çıkmasının sebebi olarak ise biyodizelin sahip olduğu yüksek oksijen miktarı gösterilebilir.

CO_2 emisyonları $\varepsilon = 17,13$ hariç hemen tüm sıkıştırma oranlarında B15 için daha yüksek çıkmıştır. Bu artışlar %8 ile %24 oranları arasında gerçekleşmiştir. Ergeneman ve diğ. (1997b)' nin yaptığı çalışmada 4 farklı bitkisel yağ dizelle karşılaştırılmış ve CO_2 emisyonlarında kayda değer bir fark gözlemlenememiştir.

Sıkıştırma oranının hem dizel hem de B15 için güç, moment, özgül yakıt sarfiyatı ve ortalama efektif basınç üzerine etkileri hemen hemen aynı olmaktadır. Literatürdeki genel kabulün aksine sıkıştırma oranı arttıkça motor gücü ve momenti artmamakta, tam aksine azalmaktadır. Ogumave diğ. (2002)' nin DME ve dizel yakıtlarıyla yaptığı deneyde dizelin termik ve yanma verimleri sıkıştırma oranıyla birlikte artarken, mekanik verimi azalmaktadır. Bu çalışmada ise hesaplanmış olan efektif termik verimler devir ve sıkıştırma oranı arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Genel olarak zaten motor düşük bir efektif termik verime sahip bulunmaktadır. Bunun sebebi olarak geniş yanma yüzeyi alanı dolayısıyla artan ısı kayıpları, sahip olunan uzun straktan dolayı oluşan kayıplar ve yatak kayıpları gösterilebilir. Özellikle yatak kayıplarının çarpıcı boyutlarda olduğu daha önce yapılan motoring testlerinde belirlenmiştir. Motor ürettiği güce yakın bir gücü yatak kayıplarına harcamaktadır. Bu da termik ve mekanik verimi belirgin bir şekilde etkilemektedir.

Dizel ve B15 maksimum gücü $\varepsilon = 17,13$' te yakalamış olup diğer sıkıştırma oranlarının hepsi bu eğrinin altında kalmış ve $\varepsilon = 18,83$, $\varepsilon = 20,17$ ve $\varepsilon = 21,73$

sırasıyla yer almıştır. B15' in güç, moment, özgül yakıt sarfiyatı ve ortalama efektif basınç grafiklerinin tümünde sıkıştırma oranlarına ait eğriler dizele göre daha dar bir şeritte yer almakta ve 1350 d/d' ya geldikçe birbirlerine yaklaşmaktadır. Bunun sebebi olarak yüksek setan sayısı ve buna bağlı oluşan düşük tutuşma gecikmeleri gösterilebilir. B15' in grafiğinde 1150-1350 d/d arasında ε = 17,13 eğrisinde bir düşüş gerçekleşmiş ve bu aralıkta ε = 18,83 ile ε = 20,17 eğrileri tarafından geçilmiştir. Moment, ortalama efektif basınç ve termik verim güçle aynı karakteristikleri taşımaktadır.

Özgül yakıt sarfiyatı da güçlere bağlı olarak en düşük sıkıştırma oranlarında en iyi değerleri vermektedir. Artan devir ve sıkıştırma oranına bağlı olarak kötüleşmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi B15 yakıtının sarfiyatında gerçekleşen kütlesel artışa rağmen, yüksek termik verim ve bunun sonucunda oluşan güç değerleri sebebiyle özgül yakıt sarfiyatı dizele kıyasla daha iyi çıkmaktadır.

Dizel' in ve B15' in lambda değerleri benzerlik taşımamaktadır. Dizel en zengin karışımı düşük devirlerde ε = 20,17, yüksek devirlerde ε = 17,13 için yakalarken en fakir karışımı düşük devirlerde ε = 18,83, yüksek devirlerde ε = 20,17 için yakalamıştır. B15 ise en zengin karışımı ε = 18,83' te, en fakiri ε = 17,13' te elde etmiştir. Ancak genel olarak ε = 17,13 hariç B15 dizele göre daha zengin karışım oranlarında çalışmıştır. Bu sahip olduğu fazla oksijen miktarı göz önünde bulundurulursa beklenmedik bir sonuçtur. Ancak bu sonuç B15' in gerek erken enjeksiyon gerekse yoğunluk fazlalığı sebebiyle kütlesel yakıt sarfiyatının artması gerçeğiyle uyumludur.

Maksimum momenti yakaladığımız yüke denk gelen 4,5 bar değerindeki ortalama efektif basınç değerine interpole edilen emisyon değerleri Şekil 6.56, 6.57 ve 6.58 de verilmiştir. Görüldüğü üzere NOx emiyonları sıkıştırma oranı arttıkça azalma eğilimi sergilemektedir. Bu sonuç Oguma ve diğ. (2002) yaptıkları araştırmada elde ettikleri sonuçlarla tezat oluşturmaktadır. Maksimum NOx değerleri maksimum gücün elde edildiği, termik verimin maksimum olduğu ancak silindir içi tepe sıcaklıklarının minimum dolayısıyla tutuşma gecikmelerinin maksimum olduğu ε = 17,13' te elde edilmiştir. Bu NOx artışının sebebi olarak düşük silindir içi basınçlar dolayısıyla oluşan kötü atomizasyon gösterilebilir. Ancak bu açıklamada elde edilen yüksek termik verim ve güç ile çelişmektedir. HC ve CO emisyonlarının sıkıştırma oranıyla birlikte artması yanma karakteristiğinin bozulduğuna işaret etmektedir. CO miktarı

artışıyla azot atomlarının reaksiyona gireceği oksijen miktarının azalması NOx miktarının artan sıkıştırma oranıyla birlikte azalması hakkında öne sürülebilecek en mantıklı sebep olarak gözükmektedir. Sıkıştırma oranıyla birlikte artan HC ve CO emisyonları yine Oguma ve diğ. (2002) yaptığı çalışmayla ters düşmektedir. Birer ara ürün olan HC ve CO' in artan sıkıştırma oranıyla birlikte artan sıcaklık ve termik verim sebebiyle azalması ve CO_2 gibi nihai ürünlerin artması beklenmektedir. Tüm sıkıştırma oranlarında, $\varepsilon = 17{,}13$ hariç, B15' ten elde edilen NOx miktarları dizele göre yüksek çıkarken, HC ve CO ($\varepsilon = 18{,}83$' te birbirlerine çok yakın) değerleri düşük çıkmıştır.

Silindir içi tepe basınçları beklenildiği gibi artan sıkıştırma oranıyla birlikte artmaktadır. Bunun sonucu olarak da tutuşma gecikmeleri düşmektedir. Çünkü artan basınçla birlikte SMD (Sauter Ortalama Çap) de azalmakta ve karışım daha sağlıklı, hızlı oluşmaktadır. Oguma ve diğ. (2002) de bu sonuçlara koşut bulgulara ulaşmışlardır. Şekil 6.62' den görüldüğü üzere setan sayısı daha yüksek olan (setan sayısı =51) B15' in tutuşma gecikmesi tüm sıkıştırma oranlarında dizelden (setan sayısı = 49) daha iyidir. Şekil 6.60 ve 6.61' de ise dizel ve B15' in tutuşma gecikmelerinin artan devirle (azalan yük, frenleme momentiyle) arttığı görülmektedir.

Sonuç olarak, bulunan sonuçların yakıt ve motor tipine sıkı sıkıya bağlı olduğu unutulmamalıdır. Başka araştırmacılar başka koşullarda farklı sonuçlar elde edebilir. Bulduğumuz sonuçlar içerisinde literatürdeki sonuçlarla örtüşmeyenlerin üzerine daha çok eğilinmesi önerilmektedir. Yeterli teknik donamıma sahip olunamadığı için değişen sıkıştırma oranıyla birlikte püskürtme avansı ve şiddeti değiştirilememiş olup; bir başka araştırmacının değişen sıkıştırma oranıyla birlikte bu iki parametrenin de emisyon ve performansa etkilerini incelemesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Alam M, Song J, Acharya R, Boehman A, Miller K., 2004. Combustion and emissions performance of low sulfur, ultra low sulfur and biodiesel blends in a DI diesel engine. *SAE paper*, 2004-01-3024.

Alpgiray B., Gürhan R., 2007. Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3) 231-239, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi.

Canakci M., Van Gerpen J.H., 2001. Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel. *ASAE Annualinternational meeting* , 016050.

Canakci M., Erdil A. Arcaklioglu E., 2005. Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine., *Applied Energy*.

Chang DY, Van Gerpen JH., 1997. Fuel properties and engine performance for biodiesel prepared from modified feedstocks, SAE paper, 971684.

Cheng AS, Upatnieks A, Mueller CJ., 2006. Investigation of the impact of biodiesel fuelling on NOx emissions using an optical direct injection diesel engine, *Int J Engine Res*, 7:297–318.

Choi C.Y., Bower G.R., Reitz R.D., 1997. Effects of biodiesel blended fuels and multiple injections on D.I. diesel engines. *SAE paper*, 970218.

Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F., 2004. Engine and winter road test performances os used cooking oil orginated biodiesel, *En. Con. Man,* 46,1279-1291

Demirbas, A., 2001. Biodiesel from vegetable oils via tranesterification in supercritical methanol. *Energy Conversion and Management* 2001 1620.

Durbin TD, Collins JR, Norbeck JM, Smith MR., 2000. Effects of biodiesel, biodiesel blends, and a synthetic diesel on emissions from light heavy-duty diesel vehicles. *Environ Sci Technol*, 34(3):349–55.

EPA, 2002. Assessment and Standards Division (Office of Transportation and Air Quality of the US Environmental Protection Agency).
A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, *EPA,* 420-P-02-001.

Erdogan, D., 1991. Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. *Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı*, 25 – 27 Eylül 1991, Konya.

Ergeneman M., Özaktas T., Karaosmanoglu F., Arslan H. E., 1997a. Ignition Delay Characteristics of some Turkish vegetable oil-diesel fuel blends., *Petroleum Science and Technology*, Volume 15, Issue 7 & 8 August 1997 , pages 667 -683.

Ergeneman M., Ozaktas T., Cigizoglu K.B., Karaosmanoglu F., Arslan H.E., 1997. The effect of some Turkish vegetable oil-diesel fuel blends on exhaust emissions., *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects,*Volume 19, Issue 8 October 1997 , pages 879 – 885.

Gomez G., Howard-Hildige R., Leahy J.J., O'Reilly TO., Supple B., Malone M., 2000.Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota van operating on esterified waste cooking oil and mineral Diesel fuel, *Env. Mon. Ass.,*65, 13-20.

Graboski M.S., McCormick R.L., 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progr Energy Combust Sci* , 24:125–64.

Hamasaki K, Kinoshita E, Tajima H, Takasaki K, Morita D., 2001. Combustion characteristics of diesel engines with waste vegetable oil methyl ester. In: *The 5th international symposium on diagnostics and modeling of combustion in internal combustion engines, 2001(COMODIA 2001).*

Hansen K.F., Jensen M.G., 1997. Chemical and biological characteristics of exhaust emissions from a DI diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester (RME). *SAE paper*, 971689.

Kaminato, T., Kobayashi,H., 1991.Combustion Processes in Diesel Engines. *Prog. Energy Combust. Sci.,* 17, 163-189.

Kegl B., 2007. Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine, *SAE.*

Knothe, G., 2001.Historical Perspectives on Vegetable Oil-Based Diesel Fuels (PDF). *INFORM*,Vol. 12(11), p. 1103-1107 (2001). Retrieved on 2007-7-11.

Krawczyk, T., 1996. Biodiesel-Alternative fuel makes inroad but hurdles remain. INFORM 7, 801-829.

Kusdiana, D. and S. Saka., 2000. A Novel process of the biodiesel fuel production in supercritical methanol. *1st World conference and exhıbition on biomass for energy and ındustry,* 1: 563-566, 5-9 June 2000, Sevilla, Spain.

Labeckas G, Slavinskas S., 2006. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Energy Convers Manage* , 47:1954–67.

Lapuerta, M., Armas, O., Fernandez, J.R., 2007. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *ScienceDirect., Progress In Energy and Combustion Science.*

Last R.J., Krueger M., Durnholz M., 1995. Emissions and performance characteristics of a 4-stroke, direct injected diesel engine fueled with blends of biodiesel and low sulfur diesel fuel. *SAE paper*, 950054.

Leung, DYC., 2001. Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong used cooking oil,*Water, Air Soil Pollu*t. 130, 277-282.

Marshall W, Schumacher LG, Howell S., 1995. Engine exhaust emissions evaluation of a cummins L10E when fuelled with a biodiesel blend. *SAE paper,* 952363.

McCormick R.L., Tennant CJ, Hayes RR, Black S, Ireland J, McDaniel T, et al., 2005. Regulated emissions from biodiesel tested in heavy-duty engines meeting 2004 emission standards, SAE paper, 2005-01-2200.

Monyem A., Van Gerpen J.H., Canakci M., 2001a. The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engines., *Trans ASAE,* 44(1):35–42.

Monyem A., Van Gerpen J.H., 2001b. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions., *Biomass and Bioenergy* 20 (2001) 317-325.

Nwafor O.M.I., 2003. The Effect of elevated fuel inlet temperature on performance of diesel engine running on neat vegetable oil at constant speed conditions., *Renewable Energy* 28 (2003) 171-181.

Nye, M.J., Willamson, T.W., Deshpande, S., Schrader, J.H., Snively, W.H., 1983. Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification: preliminary test , *J.Am.Oil Soc. Chem.*, 60(8),1598-1601.

Oguma M., Hyun G., Goto S., Konno M., Kajitani S., 2002. Atomization Characteristics for Various Ambient Pressure of Dimethyl Ether (DME)., *SAE Paper,* 2002-01-1711.

Oğuz H., Öğüt H., 2001. Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ kullanımı. *Selçuk-Teknik Online Dergisi,* ISSN 1302-6178, Vol : 2, No : 2.

Ozaktas T., Cigizoglu K.B., Karaosmanoglu F., 1997. Alternative Diesel fuel study on four different types of vegetable oils of Turkish origin., *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects,* Volume 19, Issue 2 February 1997 , pages 173 – 181.

Pinto A.C., Guarieiro L.L.N., Rezende J.C., Ribeiro N.M., Torres E.A., Lopes E.A., et al., 2005. Biodiesel: an overview. *J Braz Chem Soc*, 16(6B):1313–30.

Rakopoulos CD, Hountalas DT, Zannis TC, Levendis YA., 2004. Operational and environmental evaluation of diesel engines burning oxygen-enriched intake air or oxygen-enriched fuels: a review. *SAE paper*, 2004-01-2924.

Ramadhas AS, Muraleedharan C, Jayaraj S., 2005. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renew Energy* ,30:1789–800.

Schmidt K, Van Gerpen JH., 1996. The effect of biodiesel fuel composition on diesel combustion and emissions, *SAE paper,* 961086.

Schumacher LG, Borgelt SC, Hires WG, Fosseen D, Goetz W., 1994. Fueling Diesel engines with blends of methyl ester soybean oil and diesel fuel. *İnternet Erişimi :* /www.missouri.edu/_pavt0689/ASAED94.htmS. Ziyaret Tarihi : 24.11.2007

Serdari A, Fragioudakis K, Teas C, Zannikos F, Stournas S, Lois E., 1999. Effect of biodiesel addition to diesel fuel on engine performance and emissions., *J Propul Power,*15(2):224–31.

Song J., Zello V., Boehman A.L., 2004. Comparision of the impact of intake oxygen enrichment and fuel oxygenation on diesel combustion and emissions, *Energy Fuels,* 18:1282–90.

Springer G.S., Patterson D.J, 1973. *Engine Emissions. Plenium Press*, New York-London.

Storey J.M., Lewis S.A., West B.H., Huff S.A., Slucer C.S., Wagner R.M., et al., 2005. Hydrocarbon species in the exhaust of diesel engines equipped with advanced emissions control devices. *CRC projet no*. AVFL- 10b-2 2005.

Syassen O., 1992. *Chancen und Problematik Nachwachsender Kraftstoffe*. MTZ, 1, Nr. 11-12.

Szybist JP, Boehman AL, Taylor JD, McCormick RL., 2005. Evaluation of formulation strategies to eliminate the biodiesel NOx effect. Fuel Process Technol , 86:1109–26.

Tat M.E., 2003. Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines. PhD thesis, Iowa State University. *İnternet Erişimi:* /http://www3.me.iastate.edu/biodiesel/Technical%20Papers/Dissertation_link.htm> Ziyaret Tarihi :18.11.2007.

Toyota Motor Corporation., 2006. Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions of automotive fuels in the Japanese context. İnternet Erişimi:/http://www.mizuhoir.co.jp/english/knowledge/documents/wtwghg041130.pdf

Ullman T.L., Spreen K.B., Mason R.L., 1994. Effects of cetane number, cetane improver, aromatics, and oxygenates on 1994 heavy-duty diesel engine emissions. *SAE paper,* 941020.

Ulusoy Y., Alibaş K., 2002. Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg., (2002) 16: 37-50.

Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., 2004. The engine tests of biodiesel from used frying oil, *Energy Sources,* 26, 927-932.

Usta N., 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a Diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. *Energy ConversManage,*46:2373–86.

Wagner, H.G.G., 1978. *Soot formation in Combustion*, Symp.İnt. Combust. Proc., 17th, p.3.

Zhang, Y., 2002. Design and Economic Assesment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, *Ottowa*, Canada

İnternet Kaynakları

www.biomotorin-biodiesel.com, Ziyaret Tarihi : 27.10.2007

http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html, Ziyaret Tarihi : 03.11.2007

www.wikipedia.com, Ziyaret Tarihi : 27.10.2007

EKLER

Ek 1: Biyodizel TS EN 14214 Analiz Raporu

ÇEVRESEL KİMYA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

TS EN 14214 ANALİZ RAPORU

Firma Adı	: ÇEVRESEL KİMYA San. Tic. A.Ş.	**Rapor Tarihi :**	17.10.2007
		Rapor No :	ÇK-BDS-10-07-0012
Adres	: Eski Petrol Ofisi Tesisleri Nato Yanı Edincik / Bandırma/ BALIKESİR	**NUMUNE :**	STK-2007001 (nt-5)
		Tanımı :	SARI REMOLİ
		Geliş Tarihi :	07.10.2007
Telefon - Faks No	: 0 266 727 10 70 / Fax: 0 266 727 14 15	**Geliş Şekli :**	ELDEN TESLİM

Analiz Adı (Analysis Name)	Metod (method)	Analiz Sonucu (Analysis Result)	Ölçüm Belirsizliği (uncertainty) (u)	En Az (min.)	En Çok (max.)	Birim (unit)
Ester Muhtevası (Ester Content)	TS EN 14103	96,9	0,4	96,5	-	%(m/m)
Yoğunluk 15°C (Density 15°C)	TS EN ISO 12185	883,6	1,8	860,0	900,0	kg/m³
Kinematik Viskozite 40°C (Viscosity 40°C)	TS 1461 EN ISO 3104	4,39	0,18	3,50	5,00	mm²/s
Parlama Noktası (Flash Point)	TS EN ISO 3679	189	2	120	-	°C
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (CFPP)	TS EN 116	-6	1	-	+	°C
Kükürt Muhtevası (Sulfur Content)	TS EN ISO 20846	-	-	-	10,00	mg/kg
Karbon Kalıntısı %10 (Carbon Residue)	TS 6148 EN ISO 10370	0,40	0,09	-	0,30	%(m/m)
Sülfatlanmış Kül Muhtevası (Sulfated Ash)	ISO 3987	0,0002	0,002	-	0,0200	%(m/m)
Su Muhtevası (Water Content)	Spleme İçi Metod LAB-TL 42	406	32	-	500,0	mg/kg
Toplam Kirlilik (Total Contamination)	TS EN 12662	99,02	19,60	-	24,00	mg/kg
Bakır Şerit Korozyonu (Copper Strip Cor.)	TS 2741 EN ISO 2160	1A	-	-	-	Corr.Deg.
Oksidasyon Kararlılığı (Oxidation Stability) 110°C	TS EN 14112	9,59	0,03	6	-	saat/h
Asit Sayısı (Acid Value)	TS EN 14104	0,16	0,005	-	0,500	mg KOH/g
İyot Sayısı (Iodine Value)	TS EN 14111	116,1	2,4	-	120,0	g iyot/100g
Linolenik Asit Metil Esteri (Linolenic Acid Methylester)	TS EN 14103	6,38	0,01	-	12,00	%(m/m)
Metanol Muhtevası (Methanol Content)	TS EN 14110	0,0039	0,0002	-	0,2000	%(m/m)
Serbest Gliserol (Free Glycerol)	TS EN 14105	0,0016	0,001	-	0,0200	%(m/m)
Monogliserit Muhtevası (Monoglyceride Content)	TS EN 14105	0,24	0,01	-	0,80	%(m/m)
Digliserit Muhtevası (Diglyceride Content)	TS EN 14105	0,06	0,00	-	0,20	%(m/m)
Trigliserit Muhtevası (Triglyceride Content)	TS EN 14105	0,19	0,01	-	0,20	%(m/m)
Toplam Gliserol (Total Glycerol)	TS EN 14105	0,09	0,02	-	0,25	%(m/m)
Fosfor Muhtevası (Phosphorous Content)	TS EN 14107	-	-	-	10,00	mg/kg
Grup I Metaller Na + K (Metals I Na + K)	TS EN 14108 TS EN 14109	-	-	-	5,00	mg/kg
Grup II Metaller Ca + Mg (Metals II Ca + Mg)	prEN 14538	-	-	-	5,00	mg/kg

* 01.04-30.09 (±15 gün/dayı) min.+5°C / 01.10-31.03 (±15 gün/dayı) max.-15°C

NOT : Parlama Noktası Tayini 101,6 kPa atmosferik basınç altında yapılmıştır.

SONUÇ :

(A) işaretli olan deneyler Akreditasyon Kapsamındadır.	Deney Yapan:	Kontrol Eden:
- Orijinal rapor, laboratuvarımızın yazılı izni olmadan çoğaltılamaz.		
- Test sonuçları bir bütün halinde verildiğinden, rapordan bölümler halinde alıntı yapılamaz.		
- Numune, analizi talep eden kurum/kişi tarafından alınıp firmamıza gönderilmiştir.*	Onaylayan:	
- Analiz sonuçları testi yapılan ve raporda tanımlanan numunelere aittir.		
- İmzasız ve mührsüz raporlar geçersizdir.		

Merkez: Altunizade, Oymacı Sk. No:51 Üsküdar 34662 İSTANBUL Tel: (0216) 556 94 75 Faks: (0216) 556 91 54 Tic. Sic. No: 218715 / 68270 Üsküdar V.D. 464 006 1394
Fabrika: Hatb Yanı, Eski Petrol Ofisi Tesisleri, Edincik, Bandırma 10640 BALIKESİR. Tel: (0266)727 10 70 (pbx) Fax: (0266) 727 14 15 Tic. Sic. No: 8604
İrtibat Bürosu: Ovacılar 2.Cad. 81.Sok. No: 12/1 Dikmen 06460 ANKARA Tel: (0312) 473 53 70 Faks: (0312) 473 53 71

Sayfa

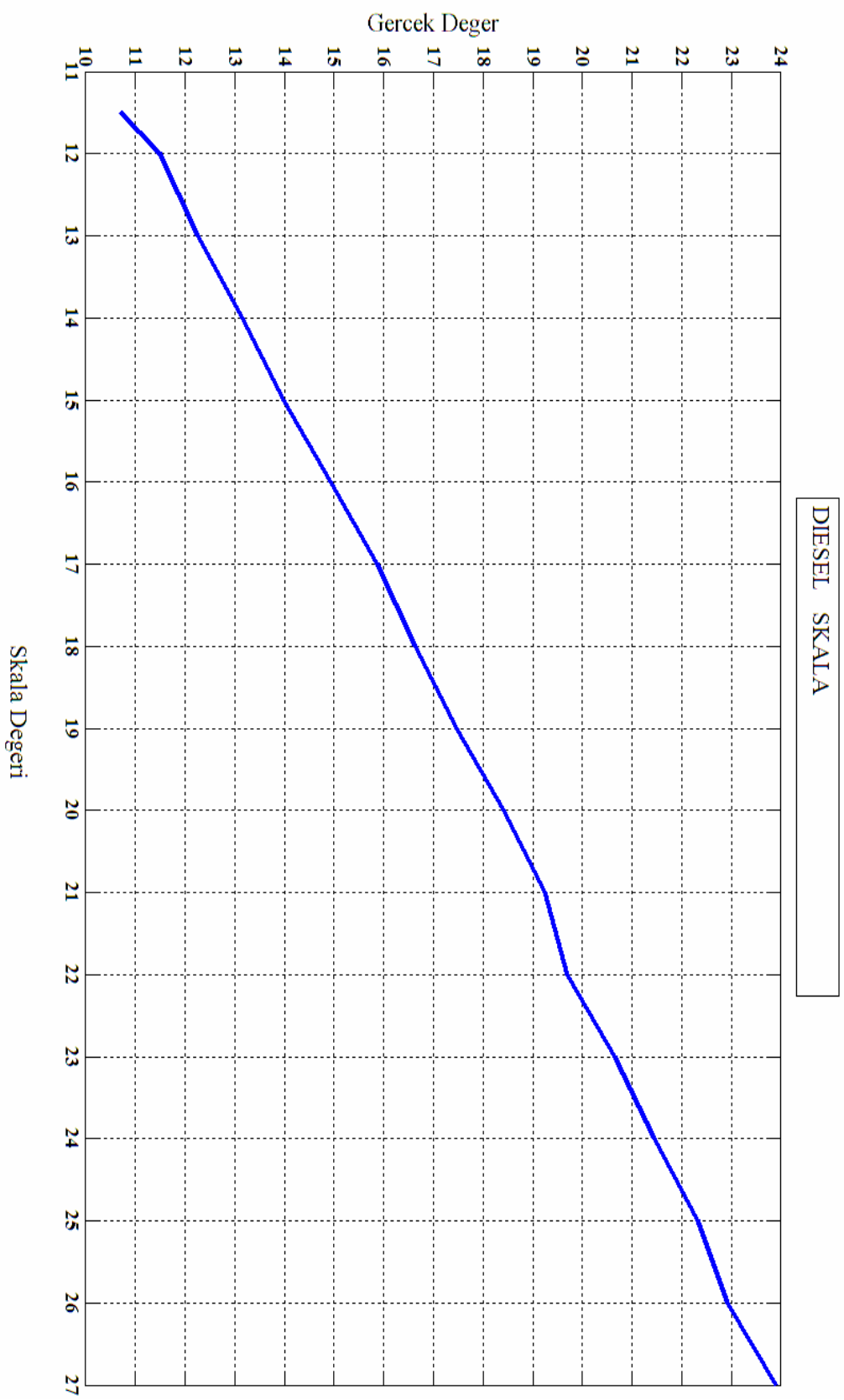
AB-RP-01/27.07.2007/Rev.03

1/1

Ek 2: Motorin 2000 ppm Analiz Raporu

			Akreditasyon Kurum Adı:TURKAK Akreditasyon Belge No:AB-0196-T Geçerlilik Tarihi:				Rapor No: 32	
Motorin 2000 ppm Analiz Raporu								
Numune	Alınan	Yükümlünün Adı Soyadı/Unvanı						
	Alanın	Adı, Soyadı				Unvanı		
		Şirketi ve Adresi						
	Alımının	Yöntemi	LABORATUVARA TESLİM			Tarihi	10.12.2007	
		Yeri	TANK-112					
Teslim	Edenin	Adı, Soyadı				Unvanı		
		Şirketi ve Adresi						
	Tarihi ve Saati	10.12.2007			No			
ÖZELLİK		ÖZELLİK KODU	BİRİM	REFERANS SINIR DEĞERLERİ		ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	ÖLÇÜM DEĞERİ	DENEY YÖNTEMİ
				EN AZ	EN ÇOK			
Yoğunluk		100	kg/m^3	820	860	± 0.4	839,7	TSE EN ISO 12185
Viskozite (Akmazlık)		110	mm^2/s	2,00	4,50			
Toplam Kirlilik		160	mg/kg	-	24	± 0.5	1,96	TS EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı		170	g/cm^3	-	25			
Parlama Noktası		200	°C	55	-	± 1	75	TS EN ISO 2719
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası		210	°C	-	+5 (Yaz) -15 (Kış)	± 1	-18	TS EN 116 /AC
Damıtma	250 ºC	311	% (V/V)	-	65	± 1,22	19,9	TS 1232 EN ISO 3405
	350 ºC	312	% (V/V)	85	-	± 0.37	92,7	
	%95'te Sıcaklık	314	°C	-	370	± 1.47	362	
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)		330	% (m/m)	-	0,30			
Su		500	mg/kg	-	200	± 12	89,68	TS 6147 EN ISO 12937
Kül		510	% (m/m)	-	0,01			
Kükürt		540	mg/kg	-	2000	± 25	800	TSE 6838 EN ISO 8754
YAME		630	% (V/V)	-	5			
Aromatik Hidrokarbonlar		710	% (m/m)	-	11			
Setan sayısı		820	-	(……)	-			
Setan İndisi		830	-	46,0	-	± 0.22	56,3	TS 2883 EN ISO 4264
Yağlama Özelliği		840	µm	-	460			
Bakır şerit korozyonu		910	Derece	1				
* Akredite değildir								
NOT: Motorin 2000 ve Motorin 7000 için setan sayısı en az 49,0 olarak uygulanır. Diğer Motorin Türleri için ise 51,0 olarak uygulanır.								
Akredite Laboratuvar Yetkilileri tarafından doldurulup imzalanacaktır) Analiz Raporu tanzim yükümlülüğü olan Shell&Turcas Petrol A.Ş Körfez Terminali' dan alınan Motorin 2000 ppm numunesinin, yukarıda yer alan deney yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonucu, Teknik Düzenlemede yer alan özelliklere (uygun / ~~aykırı~~) olduğu tespit edilmiştir.								

Ek 3: Skaladaki Sıkıştırma Oranı – Gerçek Değer



ÖZGEÇMİŞ

Volkan KIZILKAN, 19.09.1980 tarihinde İzmir' de doğmuştur. İlkokulu Tuğsavul İlköğretim okulunda, ortaokulu ise Alsancak Ortaokulu' nda okumuş; lise eğitimini İzmir Atatürk Lisesi' nde tamamlamıştır. 1999 senesinde girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2004 yılında başarıyla bitirmiştir (İlk senesinde hazırlık sınıfı okumuştur). Aynı yıl İ.T.Ü Otomotiv ve İşletme (Tezsiz) Yüksek Lisanslarını kazanmıştır. 2007 senesinde İ.T.Ü İşletme Yüksek Lisansını bitirmiş olup halen Otomotiv Yüksek Lisansı' na devam etmektedir. 2006-2007 yıllarında İzmir' de kurulu olan Özteknik A.Ş' de üretim mühendisi olarak çalışmıştır.