

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİODİESEL YAKITI İLE ÇALIŞTIRILAN BİR DİESEL MOTORUNDA
HAVA FAZLALIK KATSAYISI KONTROLÜ İLE AZOT OKSİT
EMİSYONUNUN AZALTILMASI**

Mak.Müh.Berk ÖZOĞUZ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makineleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Muammer ÖZKAN

İSTANBUL,2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. FOSİL KAYNAKLI YAKITLARIN KULLANIMININ NEDEN OLDUĞU SORUNLAR	3
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	8
4. YAKIT OLARAK BİODİESEL.....	10
4.1 Tanımı ve Özellikleri.....	10
4.2 Teknik Özellikler.....	11
5. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA EGZOZ EMİSYONLARI	15
5.1 Karbonmonoksit (CO) Oluşumu	15
5.2 Hidrokarbon (HC) Oluşumu	17
5.2.1 Benzinli Motorlarda HC Oluşumu	17
5.2.2 Diesel Motorlarda HC Oluşumu.....	20
5.3 Azot Oksitlerin (NO _x) Oluşumu.....	21
5.3.1 Benzinli Motorlarda NO _x Oluşumu.....	23
5.3.2 Diesel Motorlarda NO _x Oluşumu	24
5.4 Partikül Madde (PM) Oluşumu	25
5.4.1 Benzinli Motorlarda PM Oluşumu	25
5.4.2 Diesel Motorlarda PM Oluşumu	25
6. BİODİESELİN EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	27
6.1 Giriş	27
6.2 Konu Hakkında Yapılmış Örnek Çalışmalar	28
7. NO _x EMİSYONLARININ AZALTILMASI İÇİN UYGULANAN YÖNTEMLER	35
7.1 Uygulanmış Örnek Yöntemler	35
7.2 Hava Fazlalık Katsayısının Etkisi	39

8.	TEST DÜZENEĞİNİN ve DENEY PROSEDÜRÜNÜN AÇIKLANMASI	42
8.1	Test Düzenegi.....	42
8.2	Deney Prosedürünün Açıklanması	44
9.	DENEYSSEL SONUÇLAR	47
9.1	Performans Deneyleri	47
9.1.1	Tam Yük Pozisyonu İçin Performans Deneylerinin Sonuçları	47
9.1.2	Kısmi Yük Pozisyonu (%50) İçin Performans Deneylerinin Sonuçları	51
9.2	Emisyon Deneyleri	54
9.2.1	Tam Yük Pozisyonu İçin Emisyon Deneylerinin Sonuçları	54
9.2.2	Kısmi Yük (%50) Pozisyonu İçin Emisyon Deneylerinin Sonuçları	59
10.	DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	64
10.1	Tam Yük Konumu Performans Deneylerinin Analizi	64
10.2	Tam Yük Konumu Emisyon Deney Sonuçlarının Analizi	70
10.3	Kısmi Yük (%50) Performans Deney Sonuçlarının Analizi	80
10.4	Kısmi Yük (%50) Emisyon Deney Sonuçlarının Analizi	85
11.	SONUÇ.....	92
	KAYNAKLAR.....	94
	ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGE LİSTESİ

b_e	Özgül yakıt tüketimi
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
HC	Hidrokarbon
H ₂ O	Su/su buharı
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
L _{min}	1 kg yakıtın yakılması için gereken minimum hava miktarı
L _{ger}	1 kg yakıtın yakılması için gerçekte kullanılan hava miktarı
N ₂	Moleküler nitrojen
N _e	Efektif güç
NH ₃	Amonyak
NO	Azot oksit
NO ₂	Azot dioksit
NO _x	Azot oksitler
O ₂	Moleküler oksijen
O ₃	Ozon
O _{min}	1 kg yakıtın yakılması için gereken minimum oksijen miktarı
O _{ger}	1 kg yakıtın yakılması için gerçekte kullanılan oksijen miktarı
PM	Partikül madde
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
Φ	Eşdeğerlilik oranı
λ	Hava fazlalık katsayısı
η _{th}	Termik verim

KISALTMA LİSTESİ

Bxx	Yakıt karışımındaki biodiesel yüzdesi (%xx)
bmep	Fren ortalama efektif basıncı
CFPP	Soğukta filtre tıkama noktası
Dxx	Yakıt karışımındaki Diesel yakıtı yüzdesi (%xx)
EGR	Egzoz gazı geri dönüşümü
EPA	Environment Protection Agency
IEA	International Energy Agency
Max.	Maksimum
Min.	Minimum
PP	Bulutlanma noktası
SOF	Çözülebilir organik parçacıklar

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Dünya Petrol İhtiyacı..... 3
Şekil 2.2	Petrolün ulaştırmadaki payı ve Ulaştırma sektöründe petrol kullanım oranı 4
Şekil 2.3	Keşfedilen yeni sahalara bağlı olarak dünya petrol rezervlerindeki artış..... 4
Şekil 2.4	Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklanan CO ₂ emisyonu 1980-2004 [1]..... 5
Şekil 2.5	Türkiye’de fosil yakıtlardan kaynaklanan CO ₂ emisyonu 1980-2004 [1]..... 6
Şekil 3.1	Türkiye 2004 yılı primer enerji dağılımı [2]..... 8
Şekil 4.1	Biodiesel ve Diesel yakıt karışımlarının bozunma oranları..... 14
Şekil 5.1	Eşdeğerlilik oranına bağlı olarak emisyonların değişimi 16
Şekil 6.1	Biodiesel kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkisi 28
Şekil 6.2	%50, %75, %100 yükleme koşullarında CO emisyonlarının değişimi 29
Şekil 6.3	%50, %75, %100 yükleme koşullarında CO ₂ emisyonlarının değişimi 29
Şekil 6.4	%50, %75, %100 yükleme koşullarında SO ₂ emisyonlarının değişimi 30
Şekil 6.5	%50, %75, %100 yükleme koşullarında NO _x emisyonlarının değişimi..... 31
Şekil 6.6	Farklı yükleme koşulları için CO emisyonları değişimi..... 32
Şekil 6.7	Farklı yükleme koşulları için CO ₂ emisyonları değişimi 32
Şekil 6.8	Farklı yükleme koşulları için İis yoğunluğu değişimi 33
Şekil 6.9	Farklı yükleme koşulları için egzoz gazı sıcaklığı değişimi..... 33
Şekil 6.10	Farklı yüklerde motor hızına göre NO _x emisyonlarının değişimi 34
Şekil 7.1	EGR oranlarına göre NO _x emisyonu değişimleri..... 36
Şekil 7.2	Deney koşullarına göre NO _x emisyonları (K:konverter, Ü:üre enjeksiyonu)..... 37
Şekil 7.4	Farklı çalışma koşulları için emisyon değerleri 38
Şekil 7.5	Yakıtların λ değişimine göre L _{ger} değerleri 40
Şekil 7.6	Yakıtların L _{ger} değişimine göre λ değerleri 41
Şekil 8.1	Deney düzeneği prensip şeması 42
Şekil 8.2	Deney test düzeneği..... 43
Şekil 9.1	Motor hızına göre motor gücü değişimi (Tam yük) 48
Şekil 9.2	Motor hızına göre tork değişimi (Tam yük) 48
Şekil 9.3	Motor hızına göre özgül yakıt sarfiyatı değişimi (Tam yük)..... 49
Şekil 9.4	Motor hızına göre termik verim değişimi (Tam yük)..... 50
Şekil 9.5	Motor hızına göre motor gücü değişimi (Kısmi yük)..... 51
Şekil 9.6	Motor hızına göre tork değişimi (Kısmi yük)..... 52
Şekil 9.7	Motor hızına göre özgül yakıt sarfiyatı değişimi (Kısmi yük) 52
Şekil 9.8	Motor hızına göre termik verim değişimi (Kısmi yük) 53
Şekil 9.9	Motor hızına göre CO emisyonlarının değişimi (Tam yük) 54
Şekil 9.10	Motor hızına göre CO ₂ emisyonlarının değişimi (Tam yük)..... 55
Şekil 9.11	Motor hızına göre NO _x emisyonlarının (ppm) değişimi (Tam yük) 55
Şekil 9.12	Motor hızına göre NO _x emisyonlarının değişimi (Tam yük)..... 56
Şekil 9.13	Motor hızı değişimine göre HC emisyonlarının değişimi (Tam yük)..... 57
Şekil 9.14	Motor hızı değişimine göre is miktarı (Tam yük)..... 58
Şekil 9.15	Motor hızına göre CO emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)..... 59
Şekil 9.16	Motor hızına göre CO ₂ emisyonlarının değişimi (Kısmi yük) 60
Şekil 9.17	Motor hızına göre NO _x emisyonlarının (ppm) değişimi (Kısmi yük)..... 61
Şekil 9.18	Motor hızına göre NO _x emisyonlarının değişimi (Kısmi yük) 61
Şekil 9.19	Motor hızına göre HC emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)..... 62
Şekil 9.20	Motor hızı değişimine göre is miktarı (Kısmi yük)..... 63
Şekil 10.1	Tam yük konumu için performans deneyi sonuçları 64
Şekil 10.2	Motor hızına göre biodieselin motor gücü üzerindeki etkisi (Tam yük)..... 65
Şekil 10.3	Ortalama % Güç değişim grafiği (Tam yük) 65
Şekil 10.4	Motor hızına göre biodieselin motor torku üzerindeki etkisi (Tam yük) 66

Şekil 10.5	Motor hızına göre biodieselin özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisi (Tam yük)	67
Şekil 10.6	Motor hızına göre biodieselin termik verim üzerindeki etkisi (Tam yük)	68
Şekil 10.7	Ortalama % Termik verim değişim grafiği (Tam yük)	69
Şekil 10.8	Tam yük konumu için emisyon deneyi sonuçları	70
Şekil 10.9	Motor hızlarına göre % CO değişimi (Tam yük)	71
Şekil 10.10	Motor hızlarına göre λ değişimi (Tam yük)	71
Şekil 10.11	Motor hızlarına göre % CO ₂ değişimi (Tam yük)	72
Şekil 10.12	Farklı motor hızlarındaki NO _x emisyonları (ppm) (Tam yük)	73
Şekil 10.13	Motor hızlarına göre %NO _x değişimi (Tam yük)	74
Şekil 10.14	Minimum hava kelebeği pozisyonundaki NO _x emisyonu değişimi	75
Şekil 10.15	NO _x emisyonları ve b _e ilişkisi (Tam yük)	75
Şekil 10.16	Motor hızına göre NO _x ve hava fazlalık katsayısı değişimleri (Tam yük)	76
Şekil 10.17	Limit değerlere göre NO _x emisyonlarının durumu (Tam yük)	77
Şekil 10.18	Limit değerlere göre HC emisyonlarının durumu (Tam yük)	78
Şekil 10.19	Üretilen motor gücüne göre toplam egzoz emisyonu miktarı (Tam yük)	78
Şekil 10.20	Üretilen motor gücüne göre NO _x miktarı (Tam yük)	79
Şekil 10.21	Kısmi yük konumu için performans deneyi sonuçları	80
Şekil 10.22	Ortalama % Güç değişim grafiği (Kısmi yük)	81
Şekil 10.23	Motor hızına göre biodieselin motor gücü üzerindeki etkisi (Kısmi yük)	81
Şekil 10.24	Ortalama % özgül yakıt tüketimi değişim grafiği (Kısmi yük)	82
Şekil 10.25	Motor hızına göre biodieselin özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisi (Kısmi yük)	82
Şekil 10.26	Ortalama % termik verim değişim grafiği (Kısmi yük)	83
Şekil 10.27	Motor hızına göre biodieselin termik verim üzerindeki etkisi (Kısmi yük)	83
Şekil 10.28	Kısmi yük konumu için emisyon deneyi sonuçları	85
Şekil 10.29	Hava fazlalık katsayısına göre CO değişimi (Kısmi yük)	86
Şekil 10.30	Motor hızlarına göre % NO _x değişimi (Kısmi yük)	87
Şekil 10.31	Hava fazlalık katsayısına göre NO _x değişimi (Kısmi yük)	88
Şekil 10.32	Tüm deney koşullarında yaşanan λ değişimi	89
Şekil 10.33	Ortalama λ değişimi	89
Şekil 10.34	Limit değerlere göre NO _x emisyonlarının durumu (Kısmi yük)	90
Şekil 10.35	Limit değerlere göre HC emisyonlarının durumu (Kısmi yük)	91

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Örnek yakıtların alt ısı değerleri 11
Çizelge 4.2	Örnek biodiesellerin soğukta akış özellikleri..... 12
Çizelge 4.3	Farklı bitkilerden üretilmiş biodiesellerin setan sayıları 13
Çizelge 5.1	Benzinli bir motorun egzoz gazındaki HC yapısı 17
Çizelge 5.2	HC emisyon kaynakları 18
Çizelge 5.3	Yakıtlardaki ortalama azot içerikleri 21
Çizelge 6.1	B20 yakıt kullanıldığında egzoz emisyonlarında sağlanan değişimler 27
Çizelge 7.1	Bazı NO _x azaltım teknolojileri 38
Çizelge 7.2	Örnek yakıtlardaki elementlerin kütle oranları 39
Çizelge 7.3	Teorik hesaplama sonuçları 39
Çizelge 8.1	Deney motorunun teknik özellikleri 42
Çizelge 8.2	AVL DiCom4000 Teknik özellikleri..... 44
Çizelge 8.3	Kullanılan Diesel yakıtının analizi 44
Çizelge 8.4	Kullanılan biodiesel yakıtının analizi 45
Çizelge 10.1	Minimum hava keleşi pozisyonundaki Ne değişimi 66
Çizelge 10.2	Minimum hava keleşi pozisyonundaki be değişimi 67
Çizelge 10.3	Biodiesel yakıtının farklı hava keleşi pozisyonundaki η_{th} değerleri 69

ÖNSÖZ

İnsanoğlunun, kullandığı temel enerji kaynaklarına bağlı olarak dünyadaki yaşam dengesine verdiği zararlar gün geçtikçe artmaktadır. Böyle bir ortamda bu zararların baş sorumlularından biri olarak görülen fosil kaynaklı yakıtlar yerine kullanılabilir alternatif kaynakların geliştirilmesi üzerinde durulması gereken bir konudur.

Bu çalışma da sözü edilen alternatif enerji kaynaklarından biri olarak görülen biodiesel teknolojisinin içten yanmalı motorlarda kullanımı konusunda yeni açılımlar getirebilmeyi amaçlamıştır.

Bu çalışmanın başından itibaren bana yol gösteren başta Anabilim Dalı Başkanımız Prof. İrfan YAVAŞLIOL ve Yrd. Doç. Dr. Muammer ÖZKAN olmak üzere tüm hocalarıma; test düzeneğinin kurulmasında ve deney sırasında bana büyük yardımlarda bulunan Yrd. Doç. Dr. Tarkan SANDALCI ve Arş. Gör. Alptekin ERGENÇ ile birlikte tüm çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler ederim. Bu çalışmanın benzer konularda çalışanlara yardımcı olabilmesini dilerim.

Mayıs 2006

Berk ÖZOĞUZ

ÖZET

Dünyadaki enerji ihtiyacı sürekli bir artış eğilimindedir. Bununla beraber bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmının karşılandığı konvansiyonel enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz vb.) sınırlı rezervlere sahiptir. Bu rezervlerin hızlı bir şekilde azalıyor olması ülkeleri alternatif kaynaklar bulmaya yöneltmiştir.

Bu alternatiflerin bir tanesi de bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biodieseldir. Bu yakıt konvansiyonel enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azalmasını sağlarken, aynı zamanda da sahip olduğu özellikler sayesinde çevreyle daha barışık bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Bu çevresel avantajlarının başında doğada ~%99 oranında çözünebilmesi ve kükürt dioksit, hidro karbon ve karbon monoksit gibi emisyonlarda motorine göre çok daha düşük değerlere sahip olması gösterilebilir. Bunun yanında bu yakıtta kaynaklık eden bitkiler sayesinde doğadaki karbon dioksit döngüsü de daha sağlıklı gerçekleşebilmektedir.

Tüm bu avantajlarının yanında biodiesel yüksek viskozite, düşük ısı değeri ve bazı malzemeler üzerinde aşındırıcı/çözücü etkiye sahip olmak gibi bazı olumsuz özelliklere de sahiptir. Bunlarla birlikte azot oksit emisyonlarında artışlara neden olduğu da görülmektedir.

Bu sorunun aşılabilmesi amacıyla çok farklı teknolojiler geliştirilmiş ve denemeler yapılmıştır. Hazırladığımız bu çalışmada; azot oksit emisyonlarının artışına bir çözüm getirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla 4 silindirli turbo beslemeli bir Diesel motoru üzerinde denemeler yapılmış; performans ve emisyon değerleri alınmıştır. Deney kapsamında hava fazlalık katsayısı üzerinde yapılacak ayarlamaların emisyon değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak hava fazlalık katsayısının bir miktar düşürülmesi ile özellikle yüksek motor hızlarında azot oksit azaltımında verimli sonuçlar alınmıştır. Hava fazlalık katsayısının azaltılması ile tam yük şartında %2,3'lük bir güç kaybına karşılık azot oksit emisyonlarında %9,6'lık bir azalma sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biodiesel, egzoz emisyonu, azot oksit, hava fazlalık katsayısı

ABSTRACT

Energy demand of the world consistently shows an increase. Conventional energy resources (coal, petrol, natural gas etc.) which are used as primary energy sources in the world, have limited reserves. Reduction of these reserves forced all countries to do researches on alternative energy resources.

One of these alternatives is biodiesel which produced from vegetable oils and animal fats. Biodiesel decreases the dependence on conventional energy resources. Biodiesel also have some chemical specialities which make it cleaner than Diesel fuel.

Most important advantages of biodiesel is to have %99 biodegradability at the nature and to reduce sulfur dioxide, hydrocarbon and carbon monoxide emissions . Furthermore, plants which are used as a raw material for biodiesel production make the carbon dioxide cycle better in the nature.

However biodiesel have some disadvantages like high viscosity, low heat capacity and it's also not compatible with some materials. In addition to these disadvantages biodiesel increases nitrogen oxide emissions.

To solve this problem so many different researches have been done. Aim of our study is to develop a solution for the increase in nitrogen oxide emissions. For this purpose some performance and emission tests have been made using a 4 cylinder, turbo-charged Diesel engine. With in the context of this study, effects of excess air factor on nitrogen oxide emissions have been analysed. As a result of reduced excess air factor we could manage to decrease nitrogen oxide emissions by %9,6 with the power loss by %2,3.

Keywords: Biodiesel, exhaust emission, nitrogen oxide, excess air factor.

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, gelişen teknoloji ve sanayiye paralel olarak ülkelerin enerjiye olan ihtiyaçları da artmaktadır. Ülkeler bu ihtiyaçlarının büyük kısmını kömür, petrol, doğal gaz, hidroelektrik ve nükleer enerji gibi temel enerji kaynaklarından karşılamaktadırlar. Bu kaynakların bir çoğu doğanın uzun yıllar içerisinde oluşturduğu ve yerine konması mümkün olmayan kaynaklardır. Elimizdeki sınırlı rezervler ile her geçen gün artan ihtiyacı karşılamak giderek zorlaşmaktadır.

Eldeki rezervlerin sınırlı olmasının yanı sıra bu rezervlerin dünya geneline eşit olarak dağılmamış olması enerji tekellerinin oluşmasına neden olmuştur. Bir ülkenin enerji açısından bağımlı hale gelmesi politik, stratejik ve ekonomik açıdan endişe verici bir durumdur.

Alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi işte bu sınırlı kaynaklara ve enerji bağımlılığına bir çözüm getirme çabalarının sonucudur.

Yenilenebilir enerji kaynakları yaşanan enerji sorununa yeni bir açılım getirebilmeyi amaçlamaktadır. Bu kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji, okyanus enerjisi ve hidro elektrik enerji şeklinde sıralayabiliriz. Tüm bu enerji kaynakları temelinde güneş enerjisine dayanmaktadır. Bu nedenle sonsuz kaynaklar olarak görülmektedirler. Tüm bu kaynaklar üzerindeki araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmektedir. Bu sayede uygulanabilirlikleri ve ekonomiklikleri artmaktadır.

Alternatif enerji kaynakları arasında üzerinde en çok durulanlardan biri de biokütle enerjisidir. Tarım ve orman ürünleri, bu ürünlerin artıkları, organik bazlı kentsel ve sanayi atıkları biokütle enerjisinin kaynakları olarak gösterilebilirler.

Biokütle enerjisi sıvı olarak üretilebilmesi sayesinde ulaşım sektöründe kullanıma son derece uygundur. Bu yakıtlar gerek benzinli gerekse Diesel motorlu araçlarda doğrudan veya yapılacak küçük değişikliklerle kullanılabilirler.

Günümüzde birçok alanda hali hazırda kullanılmakta olan biodiesel hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde yakıtın performans ve emisyon dahil pek çok özelliği ortaya konarak optimum kullanma koşulları belirlenmeye çalışılmaktadır.

Ortaya konan sonuçlara göre biodiesel, çevreye olan olumsuz etkiler konusunda iyimser sonuçlar vermiştir. Egzoz emisyonlarının birçoğunda (CO, HC, SO₂) klasik Diesel yakıtına oranla oldukça düşük değerlere sahiptir.

Tüm bunların yanında bu yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin getirdiği bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan biri azot oksit emisyon değerlerinde neden olduğu artıştır.

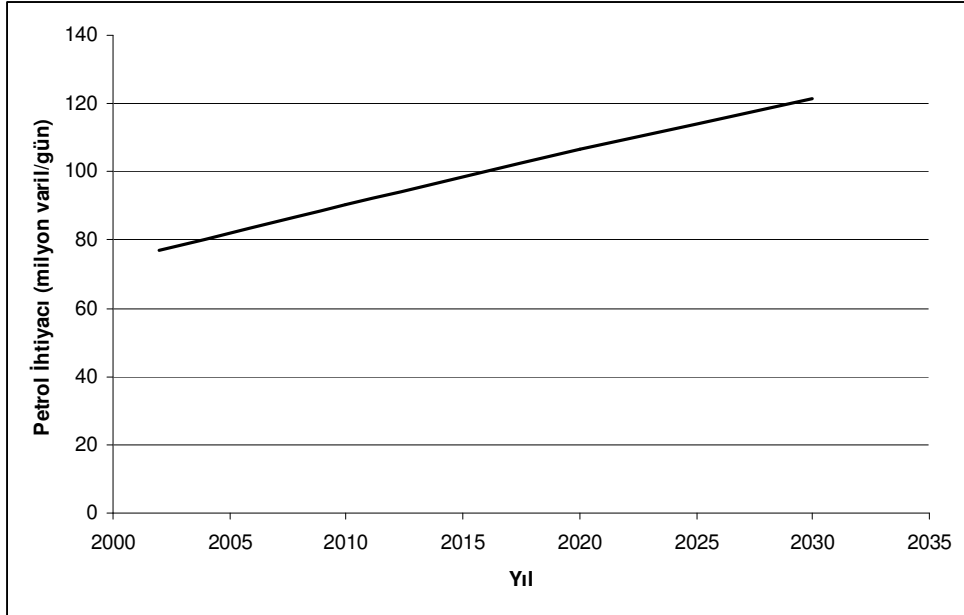
Bu artışı gidermek amacıyla birçok teknoloji geliştirilmiştir. Bunların temel amacı NO_x oluşumunu direkt olarak etkileyen silindir içi sıcaklıklarını düşürmektir. Egzoz gazı geri dönüşümü (EGR), su enjeksiyonu, silindir içine alınan hava miktarının ayarlanması bu amaçla yapılmış uygulamalara örnek olarak verilebilir.

Bu çalışma kapsamında da hava fazlalık katsayısının ayarlanması ile NO_x emisyonlarının kontrolü amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde dört silindirli bir Diesel motoru kullanılmış ve elde edilen performans ve emisyon verileri analiz edilmiştir.

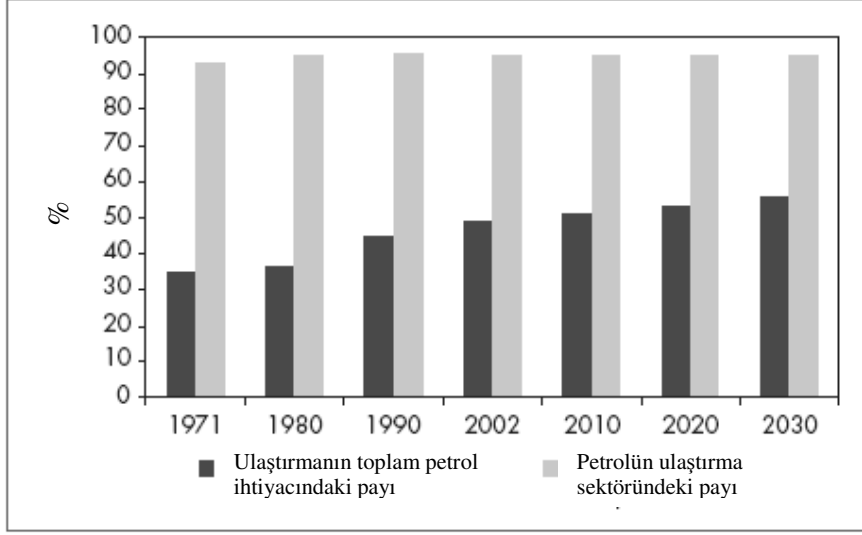
2. FOSİL KAYNAKLI YAKITLARIN KULLANIMININ NEDEN OLDUĞU SORUNLAR

Dünyadaki enerji talebinin 2002-2030 yılları arasında %60 oranında artarak 16,5 milyar ton eşdeğer petrole ulaşması beklenmektedir. Bu artışın 2/3 'lük kısmı Türkiye'nin de aralarında bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar global enerji piyasasında baskın durumdadır. Fosil kaynaklı yakıtların 2002 yılında toplam enerji talebindeki payı %80'dir. Bu oranın 2030 da %82'ye yükselmesi beklenmektedir. (IEA,2004)

Petrol bazlı yakıtlar, fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanan enerji miktarı içinde önemli bir paya sahiptir. Bu pay ve de petrole olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2004 yılı raporuna göre 2002 yılında dünyadaki günlük petrol ihtiyacı 77 milyon varildir ve oluşturulan gelecek senaryosuna göre bu ihtiyaç 2030 yılında 121,3 milyon varile yükselecektir. Petrol gereksiniminin hemen hemen yarısı ulaştırma sektöründeki ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu ihtiyaç dünya üzerindeki araç sayısının artmasına bağlı olarak artma eğilimindedir.

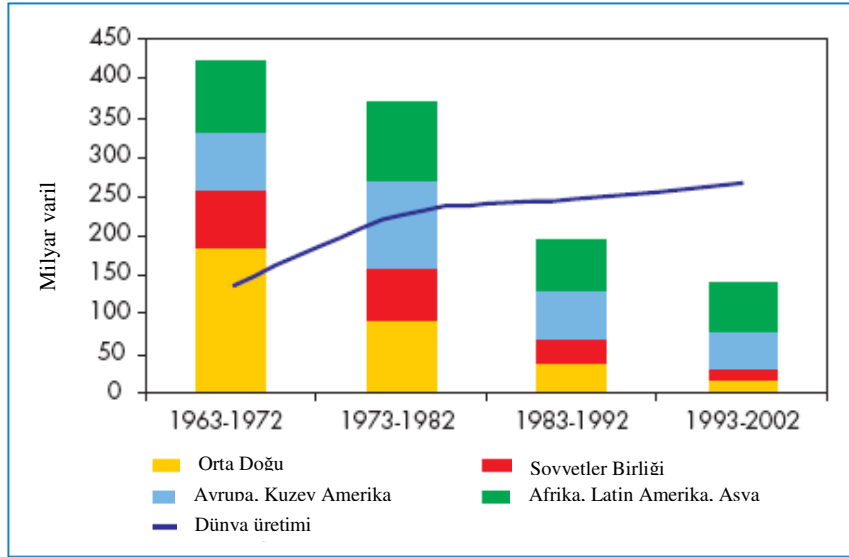


Şekil 2.1 Dünya Petrol İhtiyacı (IEA,2004)



Şekil 2.2 Petrolün ulaştırmadaki payı ve Ulaştırma sektöründe petrol kullanım oranı (IEA,2004)

Ülkelerin fosil kaynaklı yakıtlara bu denli bağımlı olmaları ülke ekonomileri ve siyasi ilişkiler üzerinde bir baskı unsuru teşkil etmektedir. Bununla beraber sürekli artan ihtiyaca rağmen bilinen petrol rezervlerinde önemli bir artış olmamıştır; bu da enerji piyasası üzerindeki bir diğer baskı unsurudur.

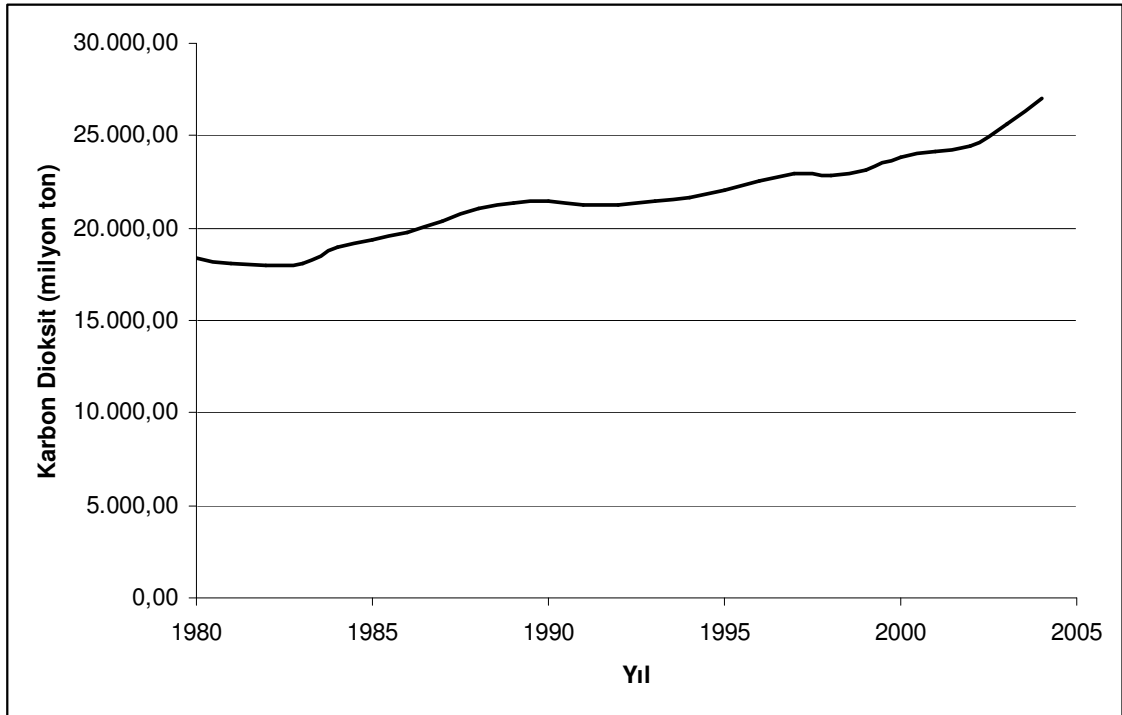


Şekil 2.3 Keşfedilen yeni sahalarla bağlı olarak dünya petrol rezervlerindeki artış (IEA,2004)

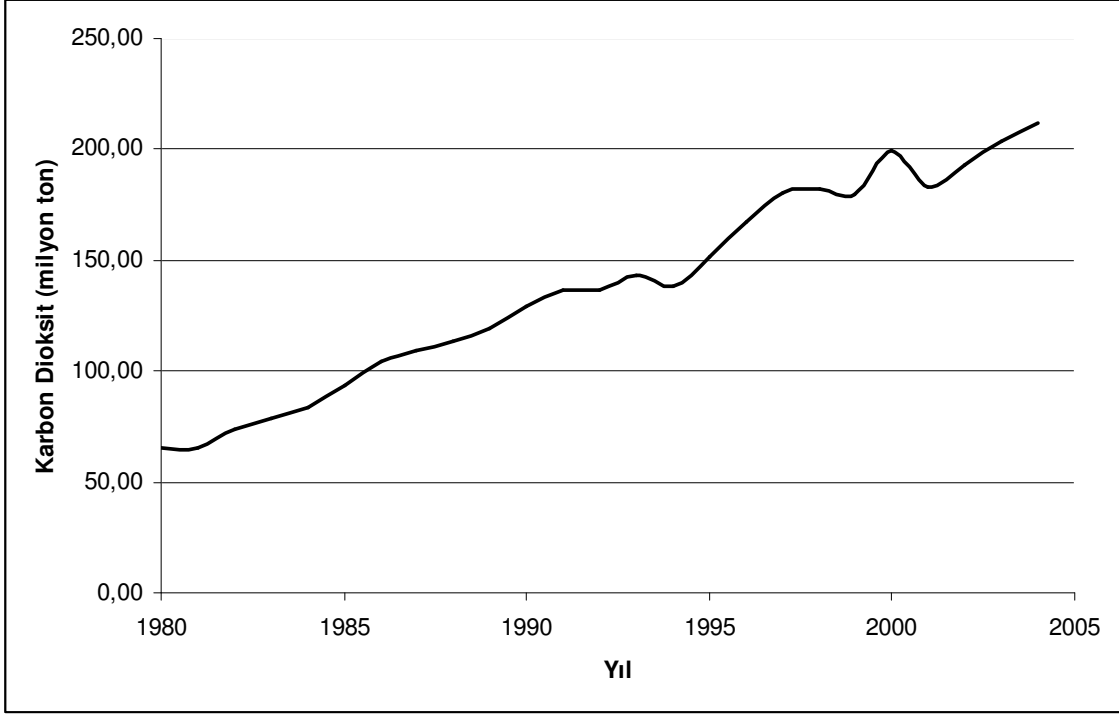
Fosil kaynaklı yakıtların ekonomik ve stratejik etkilerinin yanında bu yakıtların aşırı kullanımı ile yoğun bir şekilde ortaya çıkan çevresel etkileri de bulunmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu oluşan birçok kirlenici ve/veya zehirleyici madde doğanın dengesi ve canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan kirleticilere örnek olarak karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO₂) gibi karbon bileşikleri, azot oksitler (NO_x), kükürt bileşikleri, hidro karbonlar (HC), partikül maddeler (PM) ve kurşun gibi çeşitli ağır metaller verilebilir.

Karbon bileşikleri karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (C₂O) gibi karbon temelli bileşiklerdir. Karbon dioksit içeriğinde karbon bulunan her yakıtta ortaya çıkan bir yanma ürünüdür. Karbon dioksit 15µm dalga boyuna sahip kızıl ötesi ışınları absorbe eder. Bu dalga boyu dünyadan yayılan enerjinin büyük kısmını oluşturan dalga boyudur. Yayılan bu kızıl ötesi radyasyonun absorbe edilerek tekrar dünya yüzeyine yollanması yeryüzünün ısınmasına neden olur ki bu olay sera etkisi olarak adlandırılır. Atmosferdeki karbon dioksit oranının artması absorbe edilen kızıl ötesi radyasyon miktarını arttıracığından küresel ısınma üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Karbon monoksit zengin yanma koşullarında ortaya çıkan renksiz, kokusuz ve zehirleyici bir gazdır. Kanda bulunan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijenin 240 katı daha fazladır. Bu bağlanma yeteneği nedeniyle düşük konsantrasyonlarda ve kısa sürede etkili olarak dokulara giden oksijen miktarını azaltır. 100ppm baş ağrısına neden olurken 1000ppm'in üzerindeki yoğunluklar ölüme neden olabilir.



Şekil 2.4 Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonu 1980-2004 [1]



Şekil 2.5 Türkiye’de fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonu 1980-2004 [1]

Doğada bulunan azot kökenli bileşiklerin %95’i azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) şeklinde olduğundan etkileri en çok hissedilen bileşikler de bunlardır. İki bileşen birlikte NO_x olarak adlandırılmışlardır. Azot oksit tüm fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan bir gazdır. Hemoglobine bağlanma yeteneği karbon monoksitin 1000 katıdır. Bu özelliği ile canlılarda dokuların oksijensiz kalmasına neden olabilmektedir. Azot oksit atmosferde uğradığı fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda azot dioksit dönüşür. Azot dioksit canlılarda solunum sistemi özellikle akciğerler üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. NO_x ‘lerin atmosferde reaksiyona girmesi sonucu bir ikincil kirletici olan nitrik asit (HNO₃) oluşur. Bu asit kar, sis ve çığ gibi çeşitli yollar ile yeryüzüne inerek canlılar, toprak, su kaynakları ve yapılar üzerinde olumsuz etkiler gösterir.

Atmosfere yayılan kükürdün ana kaynağı olan kükürt bileşiği kükürt dioksittir (SO₂). SO₂, kükürt içeren tüm yakıtlarda yanma ürünü olarak oluşmaktadır. Canlılarda özellikle solunum sistemi üzerinde orta derecede tahriş edici etkiye sahiptir. Bununla birlikte bağışıklık sistemini olumsuz etkilediğinden diğer kirleticilerin olumsuz etkilerde bulunma riskini artırır. Kükürt dioksit atmosferde girdiği etkileşimler sonucunda kükürt trioksit (SO₃) ve sülfürik aside (H₂SO₄) dönüşmektedir. Sülfürik asit tıpkı nitrik asit gibi asit yağmurlarının oluşmasına neden olarak doğal yaşama zarar verir.

Hidro karbonlar çok geniş yelpazede incelenebilecek bir gruptur. Çoğunluğunun zehirleyici ve kanserojen etkileri bulunmaktadır.

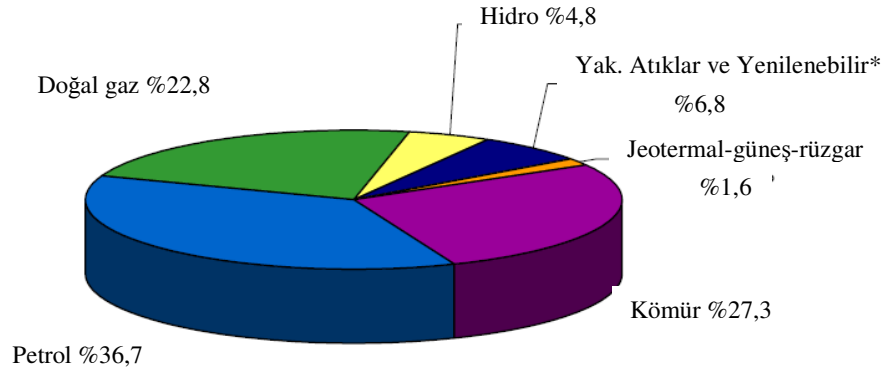
Kurşun hiçbir biyolojik faydası olmayan nadir metallere aittir. Vuruntuya karşı motor yakıtlarında kullanılan kurşun daha çok solunum yolu ile vücuda girmektedir. Dolaşım ve sinir sistemi olumsuz etkilere sahiptir ve vücuttan atılması oldukça uzun bir periyotta (~30 yıl) mümkün olmaktadır. Günümüzde kullanılan yakıtlardaki kurşun miktarı çok düşük seviyelere indirilmiştir. TÜPRAŞ 'ın şu anda rafinerilerinde ürettiği kurşunsuz benzinler Aralık 2005 tarihli TS EN228 kurşunsuz benzin standartlarına uygun olarak en çok 5 mg/lt. kurşun içermektedirler.

Çevre ve canlılar üzerinde oluşan tüm bu olumsuz etkilere rağmen fosil kaynaklı yakıtları bir günde terk edebilmek mümkün değildir. Yapılması gereken bu yakıtların kullanımının kademeli olarak azaltılmasıdır. Bunun için alternatif teknolojiler ve alternatif yakıtlar geliştirilerek gündelik hayatta kullanılabilmesi sağlanmalıdır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ

Dünya kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı yakıtların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltabilmek ve insanlığın bu yakıtlara olan bağımlılığını azaltabilmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu alternatiflerin başında yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklı yakıtlar gibi tükenme tehlikesi ile karşı karşıya değildirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini dünyamızın güneşten aldığı enerji oluşturur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Biokütle, Hidrojen enerjisi, Okyanus enerjisi, Jeotermal enerji, Hidro elektrik enerjisi şeklinde sıralayabiliriz.



Şekil 3.1 Türkiye 2004 yılı primer enerji dağılımı [2]

**Yakılabilir atıklar ve yenilenebilir enerji kaynakları*

Belirtilen yenilenebilir enerji türleri içerisinde çalışmamıza konu olan biokütle enerjisi ilk insanların ateşi bulmasından beri kullanılan bir enerji kaynağıdır. Başlangıçta odunları yakarak ısınan ve yemeğini pişiren insanoğlu ilerleyen zaman içerisinde yeni bioenerji türlerini de kullanmaya başlamıştır. Tarım ve orman ürünleri, bu ürünlerin artıkları, organik bazlı kentsel ve sanayi atıkları biokütle enerjisinin elde edilebileceği kaynaklar olarak gösterilebilir.

Biokütle ve tüm yenilenebilir enerji türleri ülkelerin enerji ihtiyaçlarını bir kısmını dışa bağımlı olmadan karşılayabilmelerine imkân tanımaktadır. Bu Türkiye gibi önemli fosil yakıt kaynaklarını elinde bulundurmayan ülkeler açısından çok daha önemlidir.

Biokütle enerjisinin kullanımının yaygınlaşması ile küresel ısınmaya etki eden sera gazlarının miktarı azaltılabilecektir. Biokütlenin yakılması ile oluşan CO₂ miktarı fosil kaynaklı yakıtlarla hemen hemen aynıdır. Fakat biokütlenin yaydığı CO₂ yine bu enerji türüne kaynaklık eden bitkiler tarafından emilecek olduğundan doğada bir denge kurulabilecektir.

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak biokütle, direkt olarak sıvı yakıt olarak üretilme şansına sahiptir. Bu tip yakıtlar biyoyakıt olarak isimlendirilirler ve özellikle ulaşım sektöründeki ihtiyacı karşılamak yönünde bir alternatif oluşturmaktadırlar. En yaygın türleri etanol ve biodiesel 'dir.

Etanol bir alkoldür ve bira mayalanmasına benzer bir işlemle herhangi bir biokütlenin fermantasyonu sonucunda üretilmektedir. Genellikle oktan sayısını yükseltmek ve CO başta olmak üzere emisyonları azaltmak amacıyla katık olarak kullanılır. [3]

Biodiesel alkol (genellikle metanol) ile bitkisel veya hayvansal yağların reaksiyonu sonucu elde edilir. Klasik Diesel yakıtı ile çeşitli oranlarda karıştırılabildiği gibi direkt olarak da kullanılabilir. Diesel motorlarda herhangi bir müdahale gerektirmeden veya küçük değişimlerle kullanılabilir oluşu, bu yakıtı ulaşım sektörünün ihtiyaçlarının karşılanması konusunda önemli bir alternatif konumuna getirmiştir.

4. YAKIT OLARAK BİODİESEL

4.1 Tanımı ve Özellikleri

Biodiesel bitkisel ve hayvansal yağlar gibi doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen mono-alkali ester bazlı bir yakıttır. Klasik Diesel yakıtı ile benzer fiziksel ve termik özelliklere sahiptir. Klasik Diesel yakıtı ile uyumludur ve karıştırılarak kullanılabilir. (Agarwal^a,2006)

Biodiesel çevreye etkileri bakımından birçok avantaja sahiptir. Biyolojik bazlı olduğundan doğada rahatlıkla ayrışabilir. Kolza tohumundan elde edilen biodieselin %99,6 'sının 21 gün içerisinde ayrıştığı görülmüştür. (Öğüt,2006)

Yakıt olarak biodiesel kullanıldığında motorların çevreye yaydıkları karbonmonoksit, partikül madde, yanmamış hidrokarbon miktarlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Ayrıca oluşan karbondioksit biodieselin elde edildiği bitkiler tarafından kullanıldığından doğadaki çevrim daha dengeli olacaktır. Bu tip yakıtlarda kükürt içeriği yok denecek kadar azdır.

Klasik Diesel yakıtının aksine biodiesel, bünyesindeki oksijen (~%9-11) sayesinde daha verimli bir yanmanın oluşmasına imkân tanır. Bu, yanma verimini iyileştirir, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde olumlu bir etki yapar.

Tüm bunların yanında biodiesel kullanımının neden olacağı bazı sorunlar ve getirdiği dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunların başında klasik Diesel yakıtlara oranla daha düşük olan alt ısıl değer gelmektedir. Bu motorlarda bir miktar güç düşüşüne neden olabilmektedir.

Azot oksit emisyonlarında artışlara neden olabilmektedir. Buna neden olarak yakıtın içerdiği oksijenin yanmayı iyileştirmesi ve buna bağlı olarak sıcaklıkların yükselmesi gösterilmektedir.

Biodiesel, klasik Diesel yakıtlarına göre daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu özellikle soğuk havalarda kullanımı sınırlayıcı bir özelliktir.

Saf (B100) kullanılması durumunda, başta yakıt sistemindeki hortum ve contalar olmak üzere çeşitli parçaların değiştirilmesi/geliştirilmesi gerekmektedir. Çünkü biodiesel çeşitli malzemeler üzerinde olumsuz etiler gösterebilmektedir.

4.2 Teknik Özellikler

Parlama noktası: Parlama noktası yakıtların taşınma ve depolanma güvenliği açısından önemli bir etkidir. Bu işlemlerdeki riski en aza indirebilmek için parlama noktasının yüksek olması istenir. Genelde klasik Diesel yakıtı ile karşılaştırıldığında biodieselin parlama noktasının daha yüksek (ASTM D6751'e göre min.130°C, EN14214'e göre min. 120°C olmalıdır) olduğu görülmektedir. Buradan hareket edildiğinde biodieselin saklama ve taşıma sırasında güvenlik açısından bir avantajı olduğu söylenebilir.

Kalori değeri: Kalori değeri motorun performans değerlerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Bir yakıt türü için belli bir kalori değeri belirlemek zordur. Çünkü bu değer yakıtın üretildiği hammadde, üretim teknolojisi ve buna benzer birçok faktörden etkilenmektedir. Ancak genel duruma bakıldığında biodiesel yakıtlarının klasik Diesel yakıtına göre daha düşük kalori değerlerine (alt ısı değeri) sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.1 Örnek yakıtların alt ısı değerleri (Ramadhas, 2005)

	Alt ısı değeri (MJ/kg)
Ayçiçeği metil ester	40,56
Kolza metil ester	37,00
Soya metil ester	39,76
Diesel No2	42,50

Kinematik Viskozite: Viskozite bir akışkanın yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Yüksek viskozite yakıtın enjektörden püskürtülmesi sırasında iyi bir şekilde atomize olamamasına buna bağlı olarak da yanmanın bozulmasına neden olabilir. Tüm bunlar performans düşüşlerine, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına neden olabilir. Bitkisel yağların Diesel motorlarda doğrudan kullanılmaları önündeki engellerden biri yüksek olan viskozite değerleridir. Transesterifikasyon işlemi ile üretilen bir biodiesel yakıtı, hammaddesi olan bitkisel yağa göre daha düşük viskozite değerine sahiptir. Bu kullanımda bir avantaj oluşturmaktadır. Biodieseller klasik Diesel yakıtlarına göre genelde daha yüksek viskoziteye sahiptirler. ASTM D6751 standardına göre biodiesel yakıtının 40°C de kinematik viskozitesi 1,9-6,0 mm²/s ve EN14214 standardına göre 3,5-5,0 mm²/s aralığında olmalıdır.

Soğukta akış özelliği: Benzinin aksine Diesel ve biodiesel yakıtları soğuk havalarda donma ve jelleşme eğilimdedirler. Bunun nedeni erime sıcaklıkları yüksek olan doymuş yağ asitleri içermeleridir. Yakıtın içeriğindeki doymuş yağ asidi oranı düştükçe bulutlanma noktası (PP), soğukta filtre tıkanma noktası (CFPP) ve akma noktası (PP) gibi değerler düşmektedir. Bu durum filtreler ve enjektörler başta olmak üzere yakıt sisteminin ve motorun birçok parçasında sorunlar yaratabilmektedir.

Çizelge 4.2 Örnek biodiesellerin soğukta akış özellikleri (Knothe, 2005)

Üretildiği hammadde	Alkali grup	Bulutlanma noktası [°C] (ASTM D2500)	Akma noktası [°C] (ASTM D97)	Filtre tıkanma noktası [°C] (ASTM D6371)
Kanola	Metil	1	-9	
	Etil	-1	-6	
Keten tohumu	Metil	0	-9	
	Etil	-2	-6	
Palm	Metil	13	16	
	Etil	8	6	
Kolza	Metil	-2	-9	-8
	Etil	-2	-15	
Soya	Metil	0	-2	-2
	Etil	1	-4	
Ayçiçeği	Metil	2	-3	-2
	Etil	-1	-5	

Soğuk havalarda karşılaşılabilecek sorunların engellenebilmesi için kullanılacak sistemin (yakıt deposu, iletim hatları, yakıt pompası vs.) iyi bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Biodieselin hammaddesi seçilirken yakıtın kullanılacağı yer, bu yerdeki iklim koşulları gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Biodieselin klasik Diesel yakıtı ile karıştırılarak kullanılması, çeşitli iyileştirici katıkların eklenmesi ve üretim aşamasında bazı iyileştirmelerle soğukta akış özelliklerinde gelişme sağlanabilir.

Setan sayısı: Yakıtın kendi kendine tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Yakıtın setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Motor performansı, egzoz gazı emisyonları ve çalışma gürültüsü açısından önemli bir karakteristik özelliktir. Kullanılan yakıtın setan sayısının çok yüksek veya çok düşük olması yanma kalitesini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Biodieselin setan sayısı üretildiği hammaddeye bağlı olarak

değişmektedir. ASTM D975 standardına göre klasik Diesel yakıtları için istenen minimum setan sayısı 40'iken ASTM D6751 biodiesel standartlarında bu değer minimum 47 olarak alınmıştır. Avrupa için bu değer EN 14214 standardına göre en az 51 olmalıdır.

Çizelge 4.3 Farklı bitkilerden üretilmiş biodiesellerin setan sayıları (Zappi, 2003)

Hammadde	Setan sayısı
Pamuk	51,2
Kolza	54,4
Aspur	49,8
Soya	46,2
Ayçiçeği	46,6

Kükürt içeriği: Bitkisel yağların kullanılması ile üretilen biodiesellerde klasik Diesel yakıtları ile karşılaştırıldığında kükürt muhteviyatında önemli bir azalma sağlanmaktadır.

Su içeriği: Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak üretim prosesleri esnasında ve saklama sürecinde yakıtlara su karışabilmektedir. Belli değerlere kadar su içeriği olumlu etkiler gösterebilir. Belli miktardaki suyun yanmaya katılması yanma sıcaklığını buna bağlı olarak da NO_x emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Fakat aşırı su içeriği depolama ve kullanımda sorunlar çıkarmaktadır. Genelde su içeriğinin hacmen %0.05'i geçmemesi istenir.

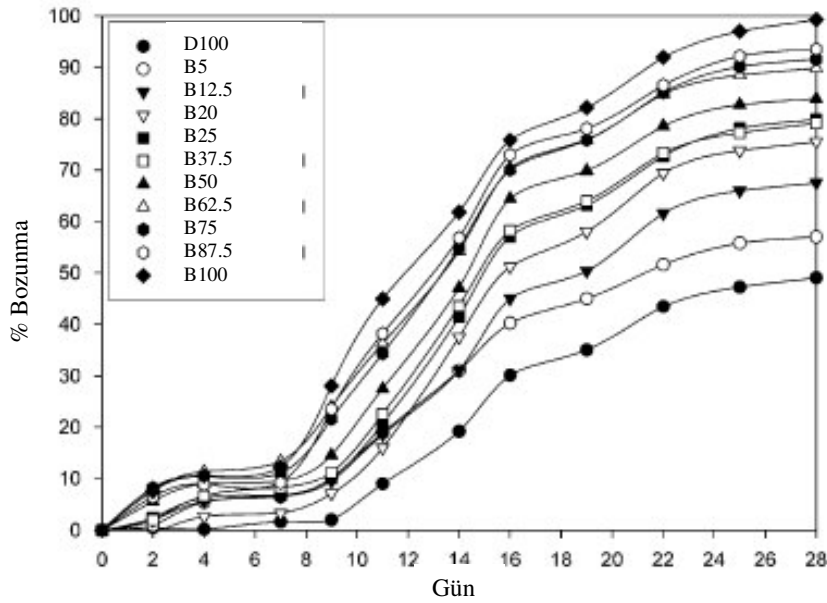
Malzemelerle uyuşabilirlik: Biodiesel bazı malzemeleri çözebilir, aşındırabilir veya bunlardan sızabilir. Bu özelliklerinden dolayı temas ettiği malzemeleri yıpratır, bu malzemelerin özelliklerini değiştirerek (yumuşaklık, mukavemet, elastikiyet vb.) görevlerini tam olarak yapmalarını engelleyebilir. Çözücü özelliğinden dolayı oluşan partiküller sistemde (yakıt filtresi ve enjektörler gibi) tıkanmalara neden olabilmektedir. Buradan hareketle yakıt olarak biodieselin kullanıldığı bir sistemde parçaların uygun malzemelerden seçilmesi gerekmektedir.

Yakıt deposu malzemesi olarak alüminyum, çelik, teflon, fluorinat polietilen, fluorinat poliproben tavsiye edilmektedir. Kauçuk ve plastik parçaların çoğunda sertleşme ve mukavemetlerinde düşme görüldüğünden bunlar uygun malzemelerle (viton vb.) değiştirilmelidir.

Pirinç, bronz, bakır, kurşun, kalay ve çinko hem klasik Diesel yakıtıyla hem de biodiesel ile okside olmakta ve tortu oluşumuna neden olmaktadır. Aşınan bu parçalar yerine çelik ve alüminyum tercih edilmelidir. (NREL, 2006)

Biolojik ayrışabilirlik: Fosil kaynaklı yakıtların çevreye birçok olumsuz etkileri (sera gazlarındaki artış, asit yağmurları vb.) olduğu bilinen bir gerçektir. Bu yakıtların karşısında biodiesel temiz bir alternatif oluşturmaktadır. Sahip olduğu avantajlarda biri de biolojik ayrışabilirlik (bozunabilirlik) 'dir. Farklı ham maddelerden üretilen biodiesel yakıtlarının çeşitli ortam şartlarında büyük oranda bozulduğu görülmüştür.

Yapılan örnek bir çalışmada biolojik bozunmanın ölçüsü olarak ortamda oluşan CO₂ miktarı izlenmiştir. Üzerinde çalışılan karışımdaki tek karbon kaynağı incelenen yakıt olduğunda ortamdaki mikro organizmaların ürettiği CO₂ miktarı biolojik bozunmaya uğrayan yakıt miktarı ile paralellik göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında biodiesel yakıtının hemem hemen tamamının bozulduğu, bu oranın klasik Diesel yakıtında %50, benzinde ise %56 olduğu görülmüştür. Biodiesel-diesel yakıtlarının oluşturduğu karışımlara bakıldığında artan biodiesel oranı ile bozunmanın arttığı görülmüştür. (Pasqualino,2006)



Şekil 4.1 Biodiesel ve Diesel yakıt karışımlarının bozunma oranları (Pasqualino,2006)

5. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA EGZOZ EMİSYONLARI

20. yüzyılın ortalarına kadar içten yanmalı motorların sayısı az olduğundan neden oldukları kirlilikler tolere edilebilir seviyelerdeydi. Dünya nüfusunun hızla artması ile fabrikaların, enerji santrallerinin ve tabii ki taşıtların sayısı ve bunlara bağlı olarak neden oldukları çevre kirliliğinin miktarı artmıştır. İlerleyen zamanla birlikte oluşan bu kirlilikte taşıtlardan çıkan egzoz gazlarının önemli bir payı olduğu daha açık bir şekilde ortaya konmuştur. Buna paralel olarak başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa Birliği ülkeleri ve Japonya olmak üzere egzoz emisyonlarına sınırlamalar getirmek üzere çalışmalar yapılmıştır.

Sadece karbon ve hidrojenden oluşan bir yakıtın, tam olarak yanması sağlanabilirse oluşacak egzoz gazları sadece karbondioksit (CO_2) ve su buharı olacaktır. Ancak gerçekte bunun gerçekleşmesi önünde çeşitli engeller bulunmaktadır. Tam olarak homojen bir hava yakıt karışımının sağlanamaması durumunda yakıt molekülleri yeterli oksijen (O_2) ile buluşamadıklarından ideal bir yanmanın oluşması engellenmiş olur. Bunun yanında motor içindeki yanma işleminin kısa bir sürede tamamlanma zorunluluğu, sıcaklık farklılıkları ve oluşan hızlı sıcaklık değişimleri nedeniyle karışımın termik dengeye ulaşamaması yanmanın bozulmasına ve egzoz gazları içerisinde yanmamış veya yanmasını tam olarak tamamlayamamış gazların bulunmasına neden olur. Ayrıca yakıt içerisinde bulunması istenmeyen kükürt, yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla katılan çeşitli katkı maddeleri ve yakıtta karışmış yabancı maddeler yanmaya katılmaları sonucunda çeşitli kirleticiler üretebilmektedirler.

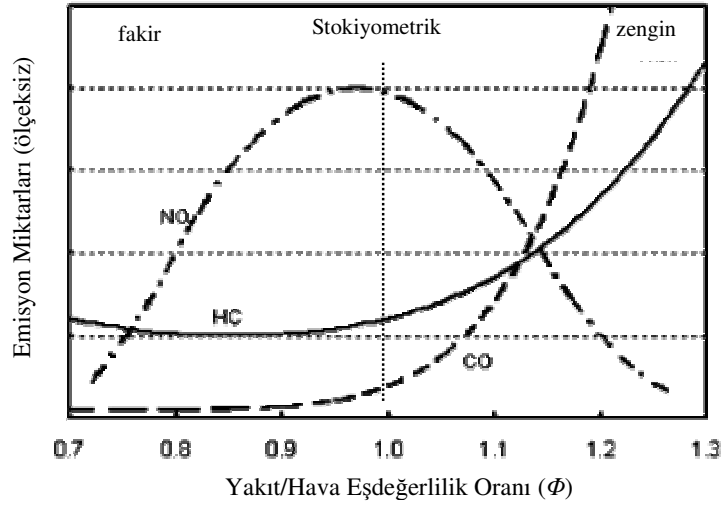
5.1 Karbonmonoksit (CO) Oluşumu

Karbonmonoksit renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. CO aslında son ürünü karbondioksit olan hidrokarbon oksidasyon prosesi içinde bir ara üründür. Ortamdaki tüm karbonları karbondioksite (CO_2) çevirmeye yetecek kadar oksijen bulunmadığında yakıtın bir kısmı yanmaya katılmazken bir kısmı da tam olarak yanmadığından CO oluşumu gerçekleşmektedir.

CO oluşumu sadece zararlı bir gazın oluşması şeklinde değerlendirilmemelidir. Bu aynı zamanda kaybedilmiş bir kimyasal enerjidir. CO tekrar oksitlenmesi ile ısı elde edilebilecek bir gazdır.



CO emisyonu oluşumundaki ana parametre yakıt/hava karışım oranıdır. Motor zengin karışım oranı ile çalıştırıldığında CO oluşumu artmaktadır. Bu durum motor ilk çalıştırıldığında ve ani hızlanmalarda da benzer sonuçlara neden olur. Fakat fakir karışım oranlarında dahi tam olarak homojen bir karışım sağlanamaması, yanma odasının bazı noktalarında bölgesel olarak zengin karışımın bulunması, yanmanın çeşitli nedenlere bağlı olarak sağlıklı bir şekilde gerçekleşmemesi nedeniyle CO oluşumu görülebilmektedir.



Şekil 5.1 Eşdeğerlilik oranına bağlı olarak emisyonların değişimi (DEH,2002)

Genelde benzinli motorlar kısmi yük aralığında hava fazlalık katsayısının 1'e yakın olduğu şartlarda çalışırlar. Tam yükte ve ilk harekette ise zengin karışım oranları kullanılmaktadır. Bu koşullarda önemli miktarda CO emisyonu oluşabilmektedir.

Diesel motorlar fakir karışım oranlarında çalıştırıldıklarından CO emisyonları benzin motorlarına göre oldukça düşüktür. Fakat yanma odası içindeki karışımın homojen olmayışı, yerel oksijen eksiklikleri ve farklı sıcaklık seviyeleri CO oluşumuna neden olabilmektedir.

5.2 Hidrokarbon (HC) Oluşumu

Hidro karbon oluşumu yakıtların tam olarak yanmaması sonucu gerçekleşmektedir. Egzoz emisyonlarındaki yanmamış HC seviyesi genelde toplu olarak ifade edilse de bu emisyon etkilerini belirlemede tam olarak yeterli değildir.

Egzoz emisyonları çok farklı HC bileşenleri içermektedir. Bunların reaksiyon özellikleri, çevreye ve insan sağlığına etkileri farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak kendi aralarında sınıflandırılmaktadırlar. Örnek olarak olefinler oldukça reaktif olduklarından fotokimyasal reaksiyonlara çokça girerek HC a bağlı kirlilikte önemli bir paya sahiptirler.

Çizelge 5.1 Benzinli bir motorun egzoz gazındaki HC yapısı (Heywood, 1989)

HC içerisindeki bileşiklerin yaklaşık yüzdeleri				
	Parafinler	Olefinler	Asetilenikler	Aromatikler
Katalitik Konvertörsüz	33	27	8	32
Katalitik Konvertörlü	57	15	2	26

5.2.1 Benzinli Motorlarda HC Oluşumu

Benzinli bir motorun oluşturduğu egzoz gazları yanma odasını terk ederken 6000 ppm'e kadar hidrokarbon (HC) içerebilmektedir. Bu değer yaklaşık olarak yakıtın %1-1.5 'ne karşılık gelmektedir. Bunun %40 'ını yanmamış yakıt oluştururken geri kalan %60 'lık kısmını kısmen reaksiyona girmiş bileşikler oluşturur. HC oluşumu yakıtın yapısı ve bileşimi, yanma odası geometrisi ve motor çalışma koşulları gibi birçok değişkenden etkilenmektedir. (*Pulkrabek, 1997*)

Silindir içine gönderilen yakıtın %9'u ilk etapta yanmaya katılmamaktadır. Bu hidrokarbonların %7'lik kısmı daha sonraki aşamalarda okside olmakta ve %2 'lik kısım egzoz gazları ile atılmaktadır. (*Cheng, 1993*)

Çizelge 5.2 HC emisyon kaynakları (Cheng, 1993)

Kaynak	Yanmaya katılmayan yakıt %	% HC
Küçük hacimler	5.2	38
Yağ filmindeki absorpsiyon	1.0	16
Tortulardaki absorpsiyon	1.0	16
Sıvı Yakıt	1.2	20
Alevin sönmesi	0.5	5
Egzoz supabından olan kaçaklar	0.1	5
Toplam	9.0	100

HC 'lar kokuları olan tahriş edici emisyonlardır. Büyük bir kısmı atmosferde reaksiyona girerler ve kanserojen etkiye sahiptirler.

Yakıt/hava karışım oranı HC oluşumu üzerinde oldukça etkilidir. Karışım zenginleştikçe karbon molekülleri ile reaksiyona girecek yeterli oksijen bulunmadığından HC emisyonunda artış görülmektedir. Karışım oranı aşırı fakir olduğunda da yanmanın gerçekleşmemesinden ötürü HC emisyonu artış gösterir.

Küçük hacimler, silindir içersinde dar girişleri olan ve bu nedenle alevin tam olarak ulaşamayabileceği hacimler olarak tarif edilebilir. Küçük hacimler yanmamış HC 'nun önemli nedenlerinden biridir. Piston, segman ve silindir duvarları arasında kalan boşluklar, buji bağlantı noktası, egzoz ve emme sübap kafalarının çevresi ve silindir kafa contası çevresi yanma odası içindeki başlıca küçük hacim bölgeleridir. Artan basınçla birlikte yakıt hava karışımı bu hacimlere dolmaya başlar. Yanma sırasında alev küçük hacme ulaştığı zaman buradaki karışımı yakabileceği gibi küçük hacmin girişinde sönerek buradaki karışımın yanmadan kalmasına da neden olabilir. Silindir içi basıncı düştüğünde bu hacimlerdeki gazlar ters yönde bir akış gösterirler. Bu şekilde gerçekleşen HC emisyonlarını azaltmak için yanma odası tasarımına başta buji olmak üzere elemanların konumlandırılmalarına dikkat etmek gereklidir.

Alev küçük hacimlerin girişinde sönebileceği gibi bu olay yanma odası yüzeylerinde ince bir sınır tabakada da gerçekleşebilir. Alev soğutma sistemi tarafından soğutulan silindir duvarlarına yaklaştığında arada ince bir sınır tabaka (0.05-0.4 mm) bırakacak şekilde sönebilir.

Alev söndüğünde silindir kafası, piston, silindir cidarı gibi yüzeylerde yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbon tabakalarının oluşmasına neden olabilir.

Motorlarda silindir ile piston arasındaki sürtünmeyi azaltmak için yüzeylerde ince bir tabaka şeklinde yağlama yağı bulunmaktadır. Bu yağ tabakası ortam basıncına göre gaz moleküllerini absorbe ve desorbe edebilmektedir. Sıkıştırma ve yanma sırasında silindir içi basınçlar yüksek olduğundan yakıt buharının bir kısmı yağ filmi tarafından absorbe edilebilir. Daha sonra basınç düştüğünde yağın absorpsiyon kapasitesi düşer ve içerisindeki yakıt buharının bir kısmını tekrar dışarı salar. Salınan gazın bir kısmı tekrar okside olurken bir kısmı reaksiyona girmeden egzozdan atılır. Bu etki yakıtın yağ içerisindeki çözünme miktarı ile orantılıdır.

Motorların uzun süre kullanılmalarının sonucu olarak segman ve silindir duvarlarında oluşan aşınma sonucu yağ filmi kalınlığı artmaktadır. Bunun sonucu olarak hem yağlama yağının yanmaya katılması hem de yağ filminin absorpsiyon kapasitesi artar. Sonuç olarak HC emisyonlarında artış görülür.

Yanma odası cidarlarında biriken tortular (kurşun oksit, karbon partikülleri gibi) yağlama yağına benzer bir etki göstererek HC emisyonlarının artışına neden olabilmektedirler.

Yukarıda açıklanan çeşitli mekanizmalar sayesinde silindir içinde gerçekleşen birincil (asıl) yanmadan kaçan HC 'lar egzozdan atılana kadar tekrar okside olabilmektedirler. Yağlama yağı ve yanma odası içindeki tortular tarafından emilen, yanma odası yüzeylerindeki sınır tabakalarda ve küçük hacimler içinde kalarak yanmaya katılmayan hidrokarbonlar tekrar yanma odası içersine yayıldıklarında buradaki sıcak gazlar sayesinde okside olabilmektedirler.

Hidrokarbonların oksidasyonu egzoz sistemi dahilinde de gerçekleşebilir. Bunun için yeterli oksijenin ortamda bulunmasına rağmen gaz sıcaklıklarının egzoz sistemi boyunca hızlı bir şekilde düşmesi bu şansı giderek azaltmaktadır. Gaz fazındaki HC 'ların okside olabilmesi için ez az 50 ms süreye ve 700°C 'nin üzerinde bir sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır. Motorun çalışma koşullarına bağlı olmakla birlikte egzoz gazları silindiri terk ederlerken yaklaşık olarak 800°C ,egzoz manifolduna girerken ise 600 °C sıcaklıklara sahiptirler. Buradan da anlaşılacağı gibi HC 'ların okside olmaları için en elverişli bölge egzoz kanalıdır; sonrasında sıcaklıklar yeterli gelmemektedir. Silindirden çıkan HC 'ların yaklaşık %40'ı egzoz sisteminde reaksiyona girmektedirler. Egzoz sisteminin sıcaklıklarını ve gazların yeterli süre

bu ortamda kalmalarını sağlayacak işletme koşulları ve tasarım değişiklikleri HC ların okside olma miktarını arttıracaktır. (Heywood, 1989)

5.2.2 Diesel Motorlarda HC Oluşumu

Diesel motorlar normalde fakir bölgede çalıştıklarından HC emisyonları benzinli motorlara göre oldukça düşüktür. Bu tip motorlarda yanma verimi yaklaşık olarak %98 'dir. Bu sayede yanmaya katılmayan kısmın daha az olduğunu söyleyebiliriz.

Diesel motorlarında yanma odası içersindeki karışım homojen olmadığından yanma için yeterli oksijenin bulunmadığı aşırı zengin ve düzgün bir yanmanın gerçekleşmeyeceği aşırı fakir bölgeler oluşabilmektedir. Bu bölgelerde ki yakıtın bir kısmı sonradan okside olabilse de bir kısmı da yanmadan kalabilmektedir.

Aşırı fakir bölgeler özellikle düşük yüklerde çalışırken oluşan HC emisyonlarının başlıca nedenlerindedir. Aşırı fakir bölgelerden kaynaklanan HC emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen karışım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinin uzaması ile oluşan HC emisyonlarının giderek arttığı söylenebilir.

Aşırı zengin bölgelerin oluşumunda iki faktör etkilidir. Bunlardan ilki enjektör memesindeki boşlukta biriken yakıttır. Yakıt enjeksiyonunun sonunda enjektör iğnesi kapandığı sırada enjektör ucundaki boşlukta bir miktar yakıt kalabilmektedir. Yanma ve genişleme proseslerinde bu bölgedeki yakıt ısınır ve buharlaşarak düşük bir hızla silindir içine dolar. Bu yakıt buharının bir kısmı tamamen yanarken bir kısmı da bu prosesi tamamlayamadan veya yanmaya hiç katılmadan atılır. Bu durum HC emisyonlarında artışa neden olur. Diğer neden ise silindir içine fazla yakıt alınmasından ve/veya karışımın heterojen olmasından kaynaklanan tam olarak yanamayan aşırı zengin bölgelerdir.

Yanma odası cidarlarının sıcaklığı alevin sönme mekanizması üzerinde etkilidir. Alevin bu cidarlara yaklaştığında sönmesi ve arada ince bir sınır tabaka oluşarak yanmamış yakıt moleküllerinin kalması HC emisyonlarını arttıran bir durumdur. Bir Diesel motorunda yağlama yağı ve soğutucu sıcaklıkları 40°C den 90 °C ye yükseltildiğinde HC emisyonları yaklaşık %30 azalmaktadır. (Heywood, 1989)

Bunların dışında enjektörlerin dizaynı da dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yakıtın püskürtülmesi tamamlandığında enjektörden herhangi bir kontrolsüz püskürtme veya damlama gerçekleşmemelidir. Aksi bir durum HC emisyonlarının artmasına neden olabilmektedir. Buna ek olarak benzinli motorlarda etkin olan diğer HC oluşum mekanizmaları (küçük hacim, tortu, yağ filmi vb.) Diesel motorlarında da gerçekleşmektedir.

5.3 Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu

İçten yanmalı motorların oluşturduğu azot oksit emisyonlarının temel kaynağı havadaki azottur. Yakıtların içeriğindeki azot miktarı oldukça küçüktür ve genelde yok sayılabilir. Benzinle karşılaştırıldığında bu miktar Diesel yakıtında daha yüksektir.

Çizelge 5.3 Yakıtlardaki ortalama azot içerikleri

Ortalama % (ağırlık)	
Ham petrol	0,65
Hafif yakıtlar	0,07
Ağır yakıtlar	1,40

Azot oksit emisyonlarının büyük bölümü nitrojen monoksit (NO) ve nitrojen dioksit (NO₂) yapısındadır. Nitrojen monoksitlerin miktarı nitrojen dioksitlere oranla daha fazladır. NO₂/NO oranı özellikle Otto motorlarda oldukça küçüktür (max. ~%2). Diesel motorlarda ise NO₂ miktarı toplam azot oksitlerin %10-30 'nu oluşturur. Bunların dışındaki nitrojen ve oksijen kombinasyonları eser miktardadır. Egzoz gazlarındaki tüm azot oksit içeriği NO_x olarak anılır.

NO_x emisyonları yanma esnasında ve yanmanın hemen ardından gerçekleşen reaksiyonlar sonucu oluşur. Bu reaksiyonlar alev cephesinde gerçekleşebileceği gibi ardında bıraktığı sıcak gazların bulunduğu ortamda da gerçekleşebilir. Alev cephesindeki oluşum, özellikle yüksek basınç altında çalışan motorlarda bu bölgenin oldukça ince ve kısa ömürlü olmasından dolayı, nispeten daha azdır. Oluşturulan mekanizmalar arasında en geçerli olanı Zeldovich (termal) oluşum mekanizmasıdır. NO oluşum mekanizmaları;



NO₂ oluşum mekanizmaları ise;



şeklindedir.

NO₂ ;soğutucu bir akışkanla karşılaşmadığı sürece; oluştuktan hemen sonra bozunma reaksiyonları ile tekrar NO formuna dönüşebilir. Ortam sıcaklığının ani bir şekilde düşmesi bu reaksiyonların durmasına neden olmaktadır. Örneğin düşük yükteki bir Diesel motorunda bu nedenden ötürü NO₂/NO oranı görece daha yüksektir.

Azot, genelde atmosferik ortamda (özellikle düşük sıcaklıklarda) iki atomlu bir molekül olarak bulunur; oksitleri çok azdır. Fakat yanma odasındaki yüksek sıcaklık değerlerine maruz kaldığında bazı N₂ 'ler reaktif olan azot atomlarına bölünebilirler.



Düşük sıcaklıklarda kararlı ve durağan olan diğer gazlar da (O₂ ve su buharı gibi) artan sıcaklık ile birlikte daha reaktif hale gelerek NO_x oluşumuna katılırlar.



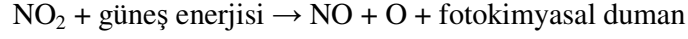
N₂, O₂ ve H₂O parçalanmaları artan sıcaklık ile artmaktadır. Buna bağlı olarak da NO_x oluşumu artan sıcaklıklar ile birlikte artmaktadır. Sonuç olarak azot oksit oluşumlarının sıcaklığa fazlası ile bağlı olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak motor yükünün; silindir içi sıcaklıkları üzerindeki etkilerinden dolayı; NO_x oluşumu için etkili bir değişken olduğu ve motor soğukken (örneğin ilk hareket durumu) NO_x oluşumunun daha az olduğu söylenebilir.

Genelde en yüksek alev sıcaklıklarına Φ=1 durumunda ulaşılır. Bunun yanında maksimum NO_x oluşumu Φ=0,95 civarında gerçekleşmektedir. Bunu nedeni yüksek sıcaklık ile birlikte ortamda fazla oksijenin de bulunmasıdır.

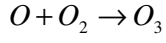
NO_x oluşumu sıcaklığın yanı sıra basınca, hava fazlalık katsayısına ve yanma süresine bağlıdır.

Yakıt bazlı NO oluşumu temelde hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Oluşum miktarı fakir karışımlarda yüksekken zengin karışımlarda daha düşüktür. Atmosfer bazlı NO oluşumu ortam sıcaklığından fazlasıyla etkilenirken yakıt bazlı NO oluşumu bundan çok etkilenmez.

NO_x istenmeyen bir emisyonudur ve hakkındaki sınırlamalar tüm dünyada giderek sertleşmektedir. Atmosferde girdiği fotokimyasal reaksiyonlar olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bunlar egzoz gazlarının güneş ışığı ile birlikte gerçekleştirdikleri reaksiyonlardır.



Mono atomik oksijen oldukça reaktiftir. Birçok reaksiyona girebilir. Bunlarda birinin sonucunda ozon (O_3) gazı oluşmaktadır.



(6.10)

Dünyamızda yaşam açısından son derece önemli olan ozon gazı yeryüzüne yakın seviyelerde (0,1 ppm'in üzerinde) zararlı olabilmektedir. Başta solunum sistemi olmak üzere birçok dokuya zararlıdır. Ozon astım hastalarının solunum sistemi üzerinde çok güçlü etkiye sahiptir. Ozonun kanserojenik ve mutajenik etkisi henüz kanıtlanamamıştır. Bununla birlikte kauçuk ve plastik gibi malzemeler üzerinde olumsuz etkileri vardır.

5.3.1 Benzinli Motorlarda NO_x Oluşumu

Benzinli motorlarda emme prosesi sırasında yanma odası içerisinde yakıt hava karışımı ve bir önceki çevrimden kalmış art gazlar (varsa geri dönüştürülmüş egzoz gazları) bulunur. Bunlar hemen hemen homojen bir karışım oluştururlar.

NO emisyonlarını etkileyen en önemli değişkenler hava fazlalık katsayısı, yanma odası içerisindeki yanmış gaz miktarı ve ateşleme avansıdır. Bunu yanında yakıt özelliklerindeki farklılıklar değişimlere neden olabilmektedir.

NO miktarı yakıt/ hava karışım oranından oldukça etkilenmektedir. Eşdeğerlilik oranının (Φ) $\approx 1,1$ olduğu durumlarda maksimum yanmış gaz sıcaklıklarına ulaşılmaktadır. Fakat bu şartlarda ortamdaki oksijen miktarı düşüktür. Hem yüksek sıcak hem de yeterli oksijen miktarı $\Phi \approx 0,9$ koşulunda sağlanır ve maksimum NO oluşumu gerçekleşir. Fakir karışımlarda genişleme strokunda NO konsantrasyonu daha erken sabitlenir ve NO bozunum reaksiyonları daha az olur.

Yanma odası içerisinde bir önceki çevrimden kalan ve/veya EGR sistemi dahilinde yeniden silindir içersine gönderilmiş olan yanmış gazlar bulunabilir. Bu gazların miktarı motorun yapısı, ayarları ve işletme koşullarına (yük, sübap zamanlaması vb.) bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu gazlar ortamın ısıl kapasitesini arttırdığından alev sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Sonucunda NO_x oluşumları düşer.

Ateşleme avansı yanmanın başladığı anın belirlenmesinde en öncelikli değişkendir. Ateşleme avansının maksimum yanma basıncının üst ölü nokta civarında gerçekleşeceği şekilde ayarlanması durumunda silindir içi basınç ve sıcaklık değerleri artacağından NO oluşumu da artış gösterir.

5.3.2 Diesel Motorlarda NO_x Oluşumu

Diesel motorlarında yakıt, sıkıştırma prosesinin sonlarına doğru sıkıştırılmış havanın bulunduğu silindir içersine sıvı fazda püskürtülmektedir. Bu süreç sonucunda yakıt silindir içersinde heterojen bir dağılım sergilemektedir. Bu durum sıcaklık ve yanmış gazlarında aynı şekilde heterojen bir yapıda olmasına neden olur.

Diesel yanmasını ön karışımın yanması ve hemen ardından gelişen alevin yayılması safhaları olarak iki bölümde incelemek mümkündür.

Yanmanın ilk fazında yanan karışım miktarı belirli basınç ve sıcaklık değerlerine ulaşılmasını sağlar. Bu değerler henüz yanmamış karışımın sıcaklık değerlerini ve buna bağlı olarak NO oluşum miktarını etkilediğinden önemlidir.

Daha sonraki aşamada (genişleme stroku) silindir içi basınçları ve sıcaklıkları hızla düşer. Yanmış gazlar bu aşamada soğuk akışkanlar ile (hava veya daha soğuk yanmış gazlar) karşılaştıkları takdirde sıcaklıkları düşer ve bu NO bozunma reaksiyonu sürecini durdurur.

Yapılarından dolayı Diesel motorlarda NO bozunma eğilim benzinli motorlara göre daha azdır.

5.4 Partikül Madde (PM) Oluşumu

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansının yaptığı tanıma göre egzoz gazlarının belirli koşullarda filtrelenmesi halinde suyun dışında elde edilen maddeler partikül madde olarak tanımlanmıştır. (*Ferguson, 2001*)

5.4.1 Benzinli Motorlarda PM Oluşumu

Benzinli motorlarda oluşan partiküllerin üç farklı kaynağı vardır. Bunlar yakıtın bünyesinde bulunan kurşun, yine yakıtın içerisinde bulunan kükürdün neden olduğu sülfatlar ve is dir.

Sülfat emisyonları araçların egzoz sistemlerinde bulunan katalitik konverterler tarafından üretilirler. Kurşunsuz bir benzinde ağırlık olarak 150-600 ppm kadar sülfür bulunur ve bunlar yanma odasında sülfür dioksit (SO_2) dönüşür. SO_2 'nin bir kısmı daha sonra okside olarak SO_3 ardından da su ile tepkimeye girerek sülfürik asit (H_2SO_4) 'e dönüşür.

Litre başına 0.15 g kurşun içeren bir yakıt kullanıldığında 100-150 mg/km partikül emisyonu oluşmaktadır. Oluşan partiküllerin bir kısmı egzoz gazı ile atılırken bir kısmı egzoz sisteminde birikme yapmaktadır. Biriken bu partiküller egzoz sistemi içindeki akışın ani olarak artması sırasında dışarı atılabilir.

Kükürdün ve kurşunun neden oldukları emisyonların seviyeleri kullanılan yakıt içerisindeki oranlarına bağlıdır. İs oluşumu ise ayarları düzgün olarak yapılmış bir benzinli motor için anormal bir durumdur. Ancak aşırı zengin çalışma koşullarında is oluşumu ortaya çıkabilmektedir.

5.4.2 Diesel Motorlarda PM Oluşumu

Diesel partikülleri temelde bir karbon oluşumudur. Diesel motorlarda yanma sırasında aşırı zengin bölgelerde katı karbon / is partikülleri oluşmaktadır. Bunun nedeni yanma odası içerisinde heterojen bir karışım bulunması ve bahsi geçen bölgelerde tüm karbonları CO_2 'e çevirmeye yeterli O_2 'nin bulunmamasıdır. Tam yük gibi enjekte edilen yakıt miktarının arttığı durumlarda bu oluşum artmaktadır.

İs partikülleri katı karbon kürelerinin birleşmesi ile oluşmaktadır. Bu karbon kürelerinin çapı 10nm ile 80nm aralığında (genellikle 10-30nm) değişmektedir.

Oluşan is partiküllerinin toplam kütesinin %2-25 'i yağlama yağından kaynaklanmaktadır. Artan motor hızı ile yağlama yağının is kütesindeki oranı artış göstermektedir. (*Heywood, 1989*)

Ortamda bulunan bazı bileşenler ortam koşullarına bağlı olarak is partikülleri üzerinde yoğunlaşabilirler. Bunlar çözülebilir organik parçacıklar (SOF) olarak isimlendirilirler. Bu parçacıklar genelde yanmamış hidrokarbonlar ve bunların türevlerinden, SO₂, NO ve NO₂ den oluşmaktadır. Bunların dışında eser miktarda sülfür, çinko, fosfor, demir, kalsiyum gibi maddelerde içerebilirler. Yanma odası sıcaklıklarının düşmesi ile (genelde 500°C 'nin altında) bu maddelerin is partikülleri üzerinde yoğunlaşması mümkün olur. Düşük yüklerde silindir içi sıcaklıkları daha düşük olacağından bu maddelerin is partikülleri üzerinde yoğunlaşma oranı artar. Böyle bir durumda is partikülü kütesinin %50 kadarını SOF 'lar oluşturabilir. (*Pulkrabek, 1997*)

Motorda oluşan karbon partiküllerinin %90 nından fazlası daha sonraki bir aşamada okside olur. Bu olayın büyük kısmı yanma odası sınırları içersinde gerçekleşir. Egzoz sürecinde gazların hızlı bir şekilde soğumasına bağlı olarak reaksiyon hızlı bir şekilde sona erer. Sonuç olarak egzozdan atılan is toplamda oluşan is miktarından daha azdır.

6. BİODİESELİN EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

6.1 Giriş

Diesel motorlar dünyanın bir çok ülkesinde sahip oldukları emisyon değerleri yönünden kontrol edilirler. Egzoz emisyonları hakkında giderek yaygınlaşan ve sertleşen standartlar ve sınırlamalar bulunmaktadır.

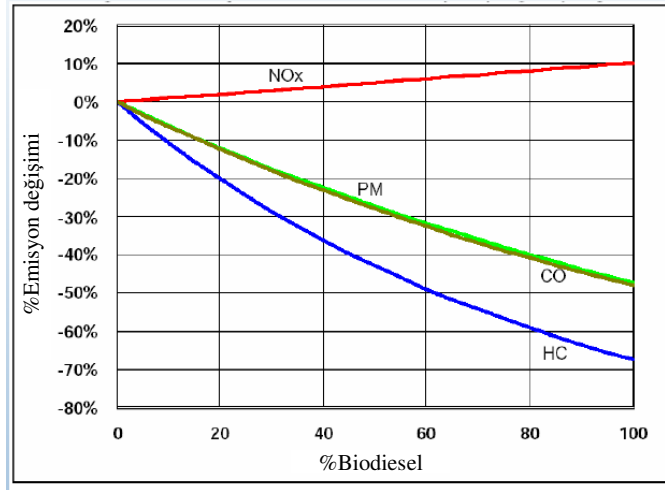
Bu standartlar sayesinde egzoz gazlarının olumsuz etkileri kontrol altına alınmak istenmektedir. Emisyon değerlerini istenilen standartlara uygun hale getirebilmek için birçok çalışma yapılmakta ve farklı yöntemler denenmektedir. Bu yöntemlerden biri olan biodiesel bir alternatif yakıt olarak klasik Diesel yakıtlarına göre bir takım olumlu emisyon özelliklerine sahiptir.

Diesel motorlar açısından baskın emisyonlar azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler (PM) 'dir. Karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonu miktarları benzinle çalışan motorlar ile karşılaştırıldığında genelde daha küçük değerler vermektedir. Bu nedenle biodieselin egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenirken öncelikli olarak üstünde durulması gereken emisyonlar NO_x ve PM 'dir.

Aşağıdaki grafikte biodiesel yakıtlı bir Diesel motorunun egzoz emisyonlarındaki değişimler kullanılan biodiesel yüzdesine bağlı olarak görülmektedir. Grafikten de izlenebileceği gibi PM, CO ve HC emisyonlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Bununla birlikte NO_x emisyonlarında ise artış görülmektedir. Bu değerler ve eğilimler kullanılan yakıtın özelliklerine ve yapılan deneylerin göstereceği farklılıklar nedeniyle değişimler gösterebilir.

Çizelge 6.1 B20 yakıt kullanıldığında egzoz emisyonlarında sağlanan değişimler (EPA, 2002)

Kirleticiler	% değişim
Azot oksit	+2,0
Partikül madde	-10,1
Karbon monoksit	-11,0
Hidrokarbon	-21,1



şekil 6.1 Biodiesel kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkisi (EPA, 2002)

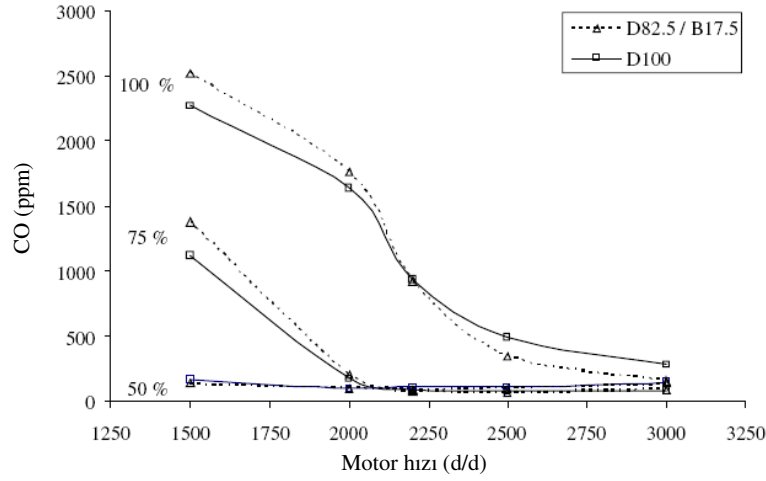
6.2 Konu Hakkında Yapılmış Örnek Çalışmalar

Yakıt olarak biodiesel kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını yakından inceleyelim.

Biodiesel farklı bitkisel yağlardan üretilerek klasik Diesel yakıtına alternatif olarak kullanılabilir bir yakıttır. Fakat bu kullanımın yaygınlaşması önündeki engellerden biri yenilebilir yağların ve bu yağlardan üretilen biodiesel yakıtının maliyetinin yüksek oluşudur. Bunu gidermenin yollarından biri hammadde olarak atık ve yenilmeyen yağların kullanılmasıdır.

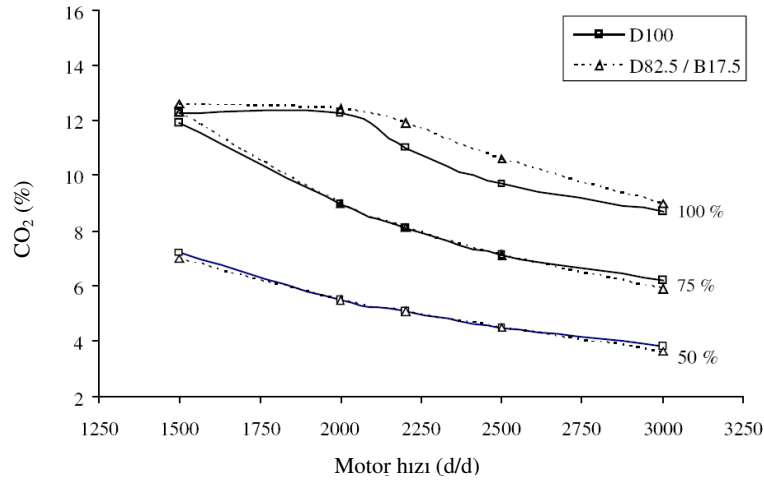
Buradan yola çıkılarak yapılan çalışmada (*Usta^a, 2004*) fındık ve ayçiçeği yağlarının yan ürün ve atıklarından üretilen metil ester yakıt olarak kullanılmıştır. Yakıtın performans ve emisyon değerleri 4 silindirli, 4 stroklu, turbo şarjlı, ön yanma odalı bir Diesel motorda yapılan deneyler ile belirlenmiştir.

1500-2000 d/d aralığında biodiesel yakıtı kullanılan motorun karbon monoksit (CO) emisyonları klasik Diesel yakıtlı motorunkilere göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni biodieseldeki yüksek viskozitenin püskürtme ve atomizasyon üzerindeki olumsuz etkilerinin düşük hızlarda daha da belirginleşmesidir. Yüksek hızlarda turbonun da daha verimli çalışması ile karışım oluşumu iyileşmiş ve CO emisyonları düşmüştür. %50 yükleme durumunda hava/yakıt oranının yükselmesi ile CO emisyonları düşmüş ve iki yakıt arasında belirgin bir fark kalmamıştır.



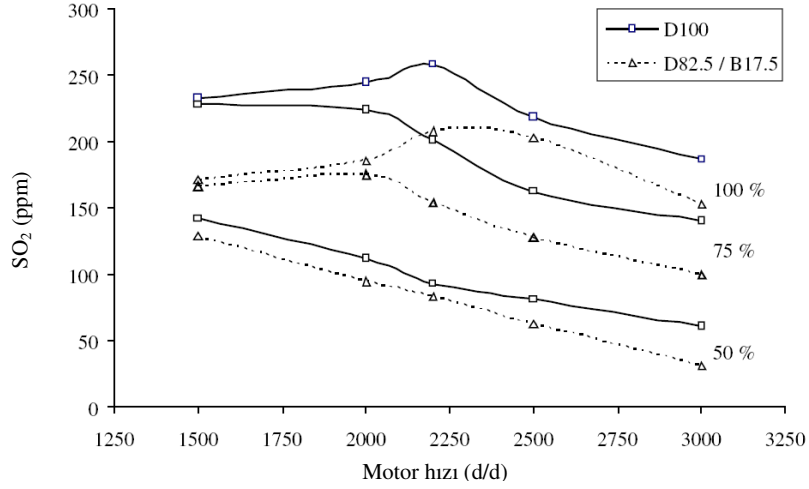
Şekil 6.2 %50, %75, %100 yüklemelerde CO emisyonlarının değişimi (Usta^a, 2004)

Karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının miktarı yakılan yakıt miktarına bağlıdır. Tüketilen yakıt ile birlikte üretilen CO₂ gazları da artacaktır. Biodiesel tam yük durumunda daha yüksek CO₂ emisyonu üretmiştir. Bunun nedeni püskürtülen yakıtın hacimsel olarak aynı olmasına rağmen kütleli olarak daha fazla olmasıdır. Bunun yanında yakıtın içerdiği oksijen sayesinde daha iyi bir yanma gerçekleşmekte ve bir tam yanma ürünü olan CO₂ gazı miktarı artmaktadır. Düşük yüklerde ise D100 ile B17.5 yakıtları arasındaki emisyon değerleri hemen hemen aynıdır. Bu durumda biodieselin oksijen içermesinin sağladığı avantajın etkisi azalmaktadır. Çünkü ortamda (her iki yakıt için de) yeterli hava dolayısıyla O₂ mevcuttur.



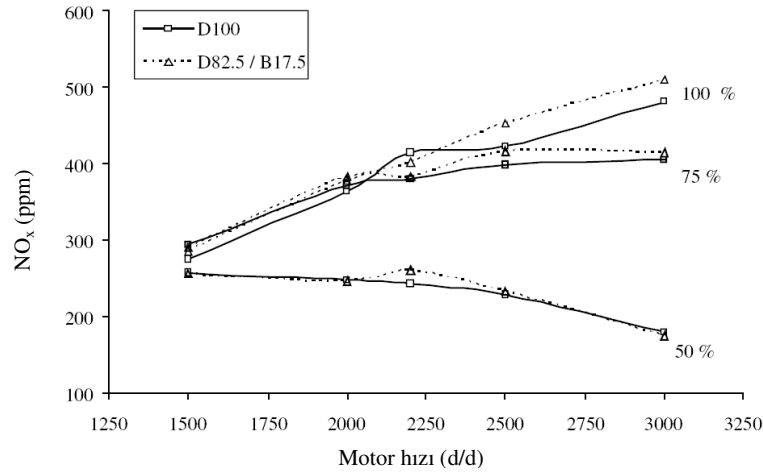
Şekil 6.3 %50, %75, %100 yüklemelerde CO₂ emisyonlarının değişimi (Usta^a, 2004)

Klasik Diesel yakıtları ile karşılaştırıldıklarında oldukça düşük seviyelerde sülfür içeren biodiesel yakıtları bu sayede kükürt dioksit (SO_2) emisyonları yönünden avantajlı duruma geçmektedirler. Karışımlardaki biodiesel yüzdesi arttığında SO_2 emisyonlarında sağlanan düşüş de (B17.5 için %49) artmaktadır.



Şekil 6.4 % 50, % 75, % 100 yükleme koşullarında SO_2 emisyonlarının değişimi (Usta^a, 2004)

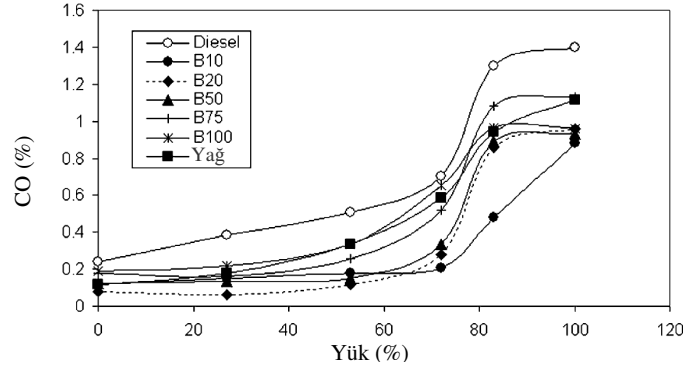
Biodiesel yakıtlı motorların NO_x emisyonlarında tam yükte ve ara gaz konumlarında küçük yükselmeler gözlenmiştir. Yüksek orandaki O_2 miktarı ve yüksek yanma sıcaklıkları bunun nedeni olarak gösterilmiştir. Değerlerin motor hızına göre gösterdikleri değişim her iki yakıt için de benzer çıkmıştır. NO_x oluşumuna etki eden üç temel faktör vardır; O_2 konsantrasyonu, ortam sıcaklığı ve süre. Ara gaz konumlarında oksijen miktarı fazla olsa da sıcaklık yeterli olmadığından daha düşük NO_x değerleri ölçülmüştür. Oksijenin NO_x oluşumu üzerindeki etkilerinden bahsedilirken belirtilmesi gereken önemli bir konu hava kaynaklı O_2 'nin NO_x oluşumunda yakıt kaynaklı O_2 kadar etkili olmadığıdır.



Şekil 6.5 %50, %75, %100 yüklenme koşullarında NO_x emisyonlarının değişimi (Usta^a, 2004)

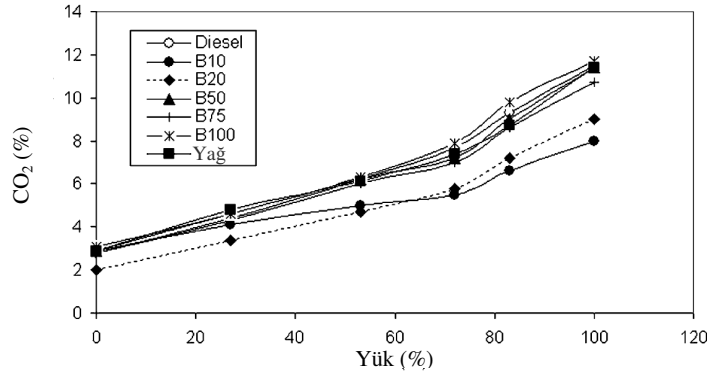
Biodiesel üretiminde doğal olarak yerel kaynaklardan ucuz ve kolaylıkla temin edilebilecek hammaddeler tercih edilmektedir. Dünyanın birçok yerinde o bölgede zaten var olan bitkilerin kullanıldığı araştırmalar yürütülmektedir. Kauçuk tohumu yağından üretilen biodiesel yakıtının kullanıldığı bir çalışmada (Ramadhas, 2005) tek silindirli, 4 stroklu, doğal emişli bir Diesel motoru ile yapılan çalışma ile yakıtın performans ve emisyon değerleri araştırılmıştır. Çalışmada altı farklı yakıt (D100, B10, B20, B50, B75, B100) ve ham kauçuk tohumu yağı kullanılmıştır.

Tüm içten yanmalı motorlarda gözlendiği gibi artan yük ile birlikte CO emisyonları her yakıt için artış göstermektedir. Diesel yakıtı her koşulda en yüksek CO emisyon değerlerine sahiptir. Biodiesel içerdiği ~%11 O₂ (kütle) sayesinde daha düşük CO değerlerini sağlayabilmektedir. Artan biodiesel miktarı ile bu iyileşmenin devam edeceği belirtilmiştir. Ham kauçuk tohumu yağının yüksek viskozitesi ve buna bağlı olarak yetersiz pulverizasyonu nedeni ile yanmanın bozulduğundan ve CO emisyonlarının artış gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 6.6 Farklı yüklemeye koşulları için CO emisyonları değişimi (Ramadhas, 2005)

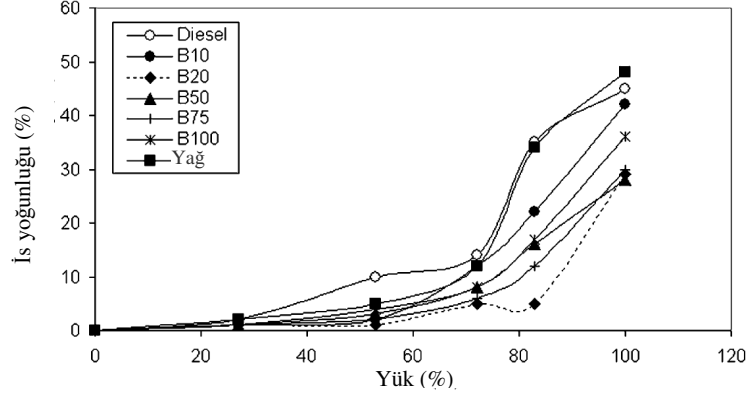
İncelenen çalışmada %10 biodiesel %90 klasik Diesel yakıtı ile hazırlanan karışım en düşük CO₂ emisyon değerini vermiştir. Bununla birlikte artan biodiesel yüzdesi ile CO₂ emisyonları artmış ve en yüksek CO₂ değerine (D100 den de yüksek) B100 ile ulaşılmıştır. Bu tam yanmanın sonucu olarak açıklanmıştır.



Şekil 6.7 Farklı yüklemeye koşulları için CO₂ emisyonları değişimi (Ramadhas, 2005)

Bio-yakıtlar da tıpkı fosil kaynaklı yakıtlar gibi atmosfere CO₂ gazı yaymaktadırlar. Fakat bio-yakıtların kaynağı olan bitkiler bu gazları absorbe edeceklerinden doğal döngü dengede kalabilecektir.

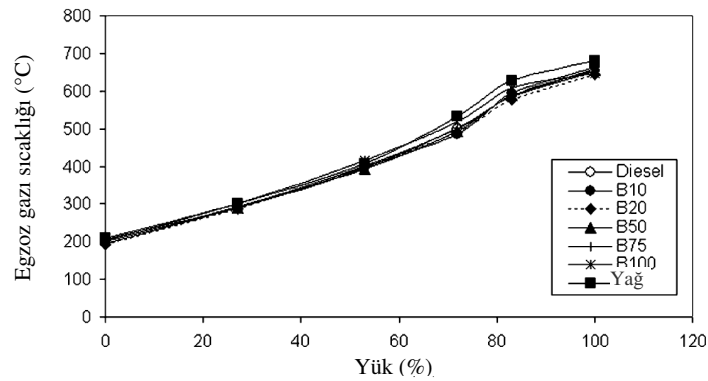
İs yoğunluğu biodiesel ve biodiesel karışimli yakıtlar kullanıldığında genelde daha düşük değerler vermiştir. Biodiesel önceden de bahsedildiği gibi yanmanın olumlu yönde değişmesini sağlamaktadır. Eksik yanmanın azalmasıyla yanmamış hidro karbon (HC) ve buna bağlı olarak is oluşumu da azalmaktadır. Rafine edilmemiş ham yağın değerleri ise klasik Diesel yakıtıninkilere yakın çıkmıştır.



Şekil 6.8 Farklı yükleme koşulları için İş yoğunluğu değişimi (Ramadhas, 2005)

Aşağıdaki grafikte değişen yükleme şartlarına göre egzoz gazı sıcaklıklarının değişimi verilmiştir. %20 'ye kadar biodiesel içeren karışımların egzoz gazı sıcaklıkları düşük çıkmıştır. Bu efektif yanmanın erken safhalarda olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Bu egzoz gazları ile oluşan enerji kaybını azaltmakta ve termik verim ve özgül yakıt tüketimi değerlerini iyileştirmektedir.

Bu noktadan sonra artan biodiesel miktarı ile egzoz gazı sıcaklıkları da artmış ve en yüksek değerlere B100 'de ulaşılmıştır. Yanma odası sıcaklıkları NO_x oluşumunda birincil etkindir. Egzoz gazı sıcaklıklarının bunun bir ölçütü olduğu kabul edilerek biodieselin NO_x emisyonlarını artırma potansiyeli olduğu söylenmiştir.



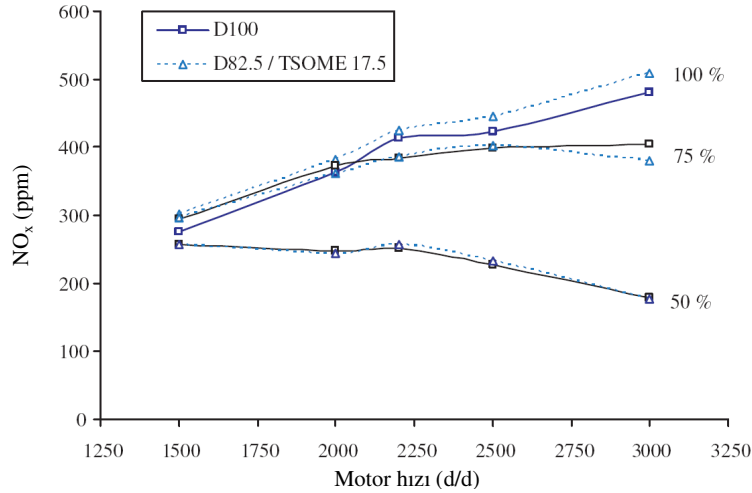
Şekil 6.9 Farklı yükleme koşulları için egzoz gazı sıcaklığı değişimi (Ramadhas, 2005)

Bilindiği üzere dünyadaki tarım arazileri sınırlıdır. Artan dünya nüfusu ile de önemleri her geçen gün artmaktadır. Böyle bir ortamda arazileri sadece biodiesel üretimi amacıyla kullanmak pek mümkün olamamaktadır.

Bu durumun önüne çeşitli tarım ve sanayi bitkilerinin yan ürünlerini biodiesel hammaddesi olarak kullanılması ile geçilebilir. Bu yola ışık tutabilecek önemli bir çalışma da (Usta^b, 2004) tütün yaprağı üretiminde bir yan ürün olarak kalan tütün tohumu hammadde olarak kullanılmıştır.

Tütün tohumu yağı metil esteri içerdiği ~%11,4 O₂ (kütleli) sayesinde yanmayı iyileştirmekte ve buna bağlı olarak CO emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca çok düşük oranda kükürt içermesi sayesinde SO₂ emisyonları da oldukça azalmıştır.

Çalışmanın azot oksitler üzerine olan kısmına yoğunlaştığımızda genelde tüm yük koşulları için biodieselin yakıt karışımına eklenmesi sonucunda NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. Tam yük durumunda %5 oranında bir artış gözlenirken bu fark kısmi yüklerde daha önemsiz boyutlardadır.



Şekil 6.10 Farklı yüklerde motor hızına göre NO_x emisyonlarının değişimi (Usta^b, 2004)

7. NO_x EMİSYONLARININ AZALTILMASI İÇİN UYGULANAN YÖNTEMLER

7.1 Uygulanmış Örnek Yöntemler

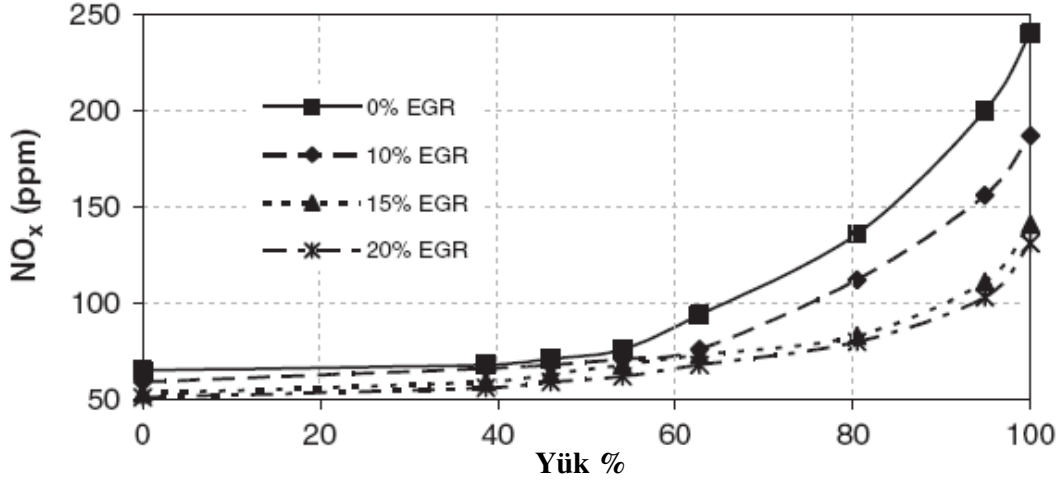
Dünyanın giderek artan bir enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyacı karşılarken doğal yaşamın bundan mümkün olduğunca az etkilenmesi öncelikle gözetilmesi gereken konulardan bir tanesidir. Bu amaçla çevre ile daha barışık alternatif yakıtların kullanılması gerekmektedir. Diesel motorlar için bu özellikleri taşıyan ve günümüzde kullanılabilirliği hayli yüksek olan alternatif yakıt biodieseldir.

Artan enerji kullanımına karşı doğal hayatı korumak amacıyla uygulanmaya çalışılan emisyon standartları ve getirilen sınırlamalar her geçen gün sertleşmektedir. Klasik teknolojilerle bu değerlere ulaşılması mümkün değildir. Biodiesel, klasik Diesel yakıtlarına göre genelde daha düşük emisyon değerlerine sahip olduğundan bize önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak bu yakıtın genel eğilimi NO_x emisyonlarını arttırma yönündedir. Bu duruma çözüm getirmek amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde geliştirilen bu teknolojilerden bazılarını kısaca inceleyelim.

NO_x azaltımının en etkili yollarından biri silindir içi sıcaklıklarını düşürmektir. Reaksiyonun gerçekleştiği ortamın sıcaklığı oluşum üzerindeki etkili değişkenlerdendir.

Bu amaçla en çok kullanılan yöntemlerin başında egzoz gazı geri dönüşümü (EGR) gelmektedir. Bu sistemde bir miktar egzoz gazı (taze dolgunun ~%10-25 ' kadarı) tekrar emme kanalı vasıtası ile silindir içerisine yönlendirilmektedir. Egzoz gazı silindir içersinde yanmaya katılmamasına rağmen açığa çıkan ısının bir kısmını absorbe ederek ulaşılan sıcaklık değerlerinin düşmesine neden olur. Bu bir miktar performans kaybına neden olmakla birlikte NO_x miktarında %80 'lere varan düşüşler sağlanabilmektedir.

Agarwal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (Agarwal, 2005) EGR kullanımı ile NO_x emisyonlarının azaltılabildiği görülmüştür. Artan EGR oranı ile NO_x emisyonları düşmüştür. Buna neden olarak da düşen oksijen konsantrasyonunun ve alev sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 7.1 EGR oranlarına göre NO_x emisyonu değişimleri (Agarwal, 2005)

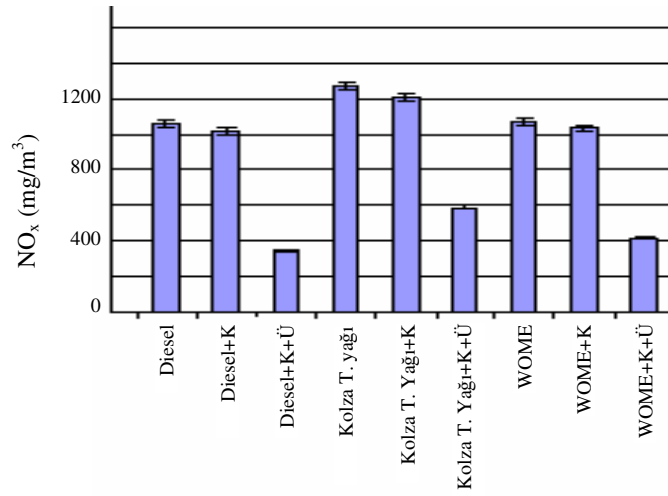
NO_x emisyonlarının kontrolünde kullanılan bir diğer yöntem de üç yollu katalitik konvertörlerdir. Bu sistemde aşağıdaki reaksiyonlarla, NO_x gazları N₂, CO ve CO₂ gazlarına, yanmamış hidro karbonlar ise H₂O 'a dönüştürülmektedir.



Katalizörlerde kullanılan materyallerin çok pahalı olması bir dezavantajdır. Bunun yanında bu sistemler en iyi performansı stokiyometrik orana sahip çalışma koşullarında vermektedir. Bu fakir karışım ile çalışan Diesel motorlar için sistemin verimliliği etkileyen bir durumdur.

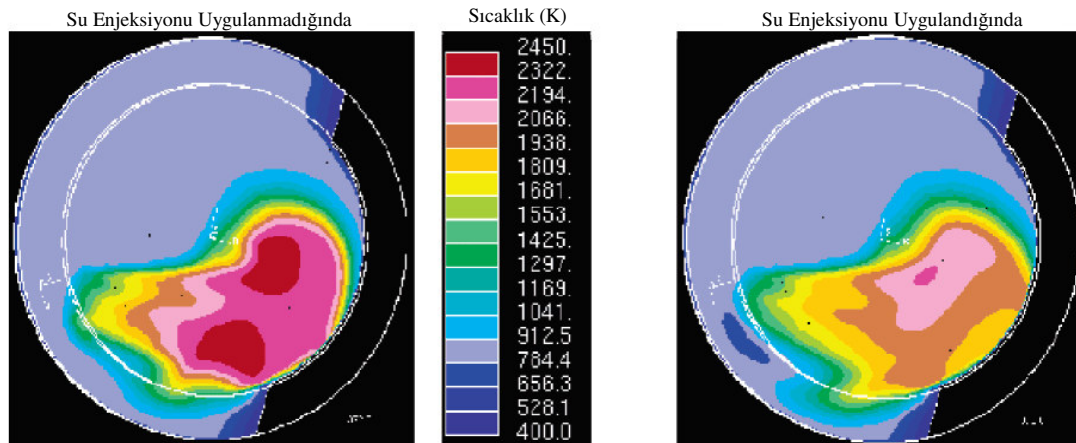
Bu amaçla denenen yöntemlerden biri de SCR (selective catalytic reduction) 'dir. SCR aktif azaltıcı olarak üre veya amonyak kullanmaktadır. Bu sistem oldukça iyi bir performans göstermesinin yanı sıra kükürde karşı da daha dayanıklıdır. Ürenin kaynaklık ettiği amonyak (NH₃) NO_x 'i %90 verimlilikle parçalamaktadır. Ancak belirsizliğini koruyan bazı noktalar vardır. Taşıt kullanıcılarının üre kullanmadan araçlarını çalıştırmalarının nasıl engelleneceği ve ürenin tüm benzin istasyonlarında bulunmasının ne şekilde sağlanacağı henüz belirlenmemiştir. Bir diğer sorun da özellikle aracın ivmelenme anlarında oluşan amonyak kaçaklarıdır. Katalizörü reaksiyona girmeden terk eden amonyak düşük konsantrasyonlarda çevre ve insan sağlığı açısından çok da zararlı olmasa da rahatsız edici bir koku üretir.

SCR teknolojisi hakkında örnek bir çalışma Russ Winfried ve arkadaşları (Winfried, 2006) tarafından yapılmıştır. Denemeler iki adet ön yanma odalı stasyonier (sabit) Diesel motoru üzerinde yapılmıştır. Yakıt olarak kolza tohumu yağı, atık bitkisel yağlardan üretilen metil esterler (WOME) ve klasik Diesel yakıtı kullanılmıştır. Bu yakıtlar ile çalıştırılan motorların performans ve emisyon değerlerine bakılmış ve sonuç olarak katalitik konvertör ve üre enjeksiyonu birlikte uygulandığında NO_x emisyonlarında %53-%67 oranında azalma sağlandığı görülmüştür.



Şekil 7.2 Deney koşullarına göre NO_x emisyonları (K:konvertör, Ü:üre enjeksiyonu) (Winfried, 2006)

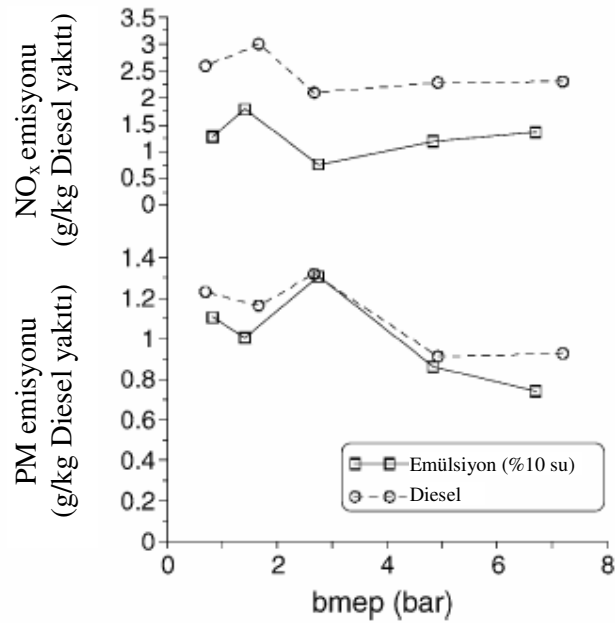
Direkt su enjeksiyonu bu amaçla kullanılan bir diğer yöntemdir. Silindir içersine yapılan su enjeksiyonu sayesinde ortam sıcaklığı buna bağlı olarak da NO_x oluşumu düşmektedir. Bu sistem düşük bir maliyetle ve mevcut sistemler üzerinde önemli değişikliklere gerek kalmadan uygulanabilmektedir. Fakat bazı çalışmalarda yakıt ve su karışımının düşen yağlayıcılık özellikleri nedeniyle mevcut enjektörlere zarar verebileceğini göstermektedir.



Şekil 7.3 Su enjeksiyonunun silindir içi sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi (Australian Maritime College, 2005)

Silindir içi sıcaklıkları direkt su enjeksiyonu ile düşürülebileceği gibi emme havasının nemlendirilmesi ile de benzer etkiler elde edilerek NO_x emisyonlarının azaltılması sağlanabilir. (Fernando, 2005).

Tüm bunların yanında yakıt olarak su-yakıt karışımı ile oluşturulan emülsiyonlar azot oksit emisyonlarının azaltılmasında kullanılan bir diğer yöntemdir. Armas ve arkadaşları (Armas, 2004) bu yöntemle bir Diesel motoru üzerinde yaptıkları araştırma sonucunda kütleli olarak %10 su içeren karışımın, saf Diesel yakıtına göre daha az azot oksit emisyonu ürettiğini görmüşlerdir. Buna neden olarak suyun buharlaşmak için ortamdan çektiği ısının noktasal olarak sıcaklıkları düşürmesi olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Farklı çalışma koşulları için emisyon değerleri (Armas, 2004)

Çizelge 7.1 Bazı NO_x azaltım teknolojileri (Fernando, 2005)

NO_x azaltım teknolojileri	Azaltım (%)
Hava fazlalık katsayısının optimizasyonu	0-15
Su enjeksiyonu	40-60
EGR	50-80
SCR	70-90

7.2 Hava Fazlalık Katsayısının Etkisi

NO_x oluşumu üzerinde etkisi olan bir faktör de silindir içerisine alınan hava miktarıdır. Emilen hava miktarı arttığında buna bağlı olarak nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) miktarları da artacak ve NO_x oluşum reaksiyonlarında etkin olan bu moleküller azot oksit oluşumunun artmasına neden olacaklardır. Buradan hareketle hava fazlalık katsayısının motorun o anki çalışma şartlarına bağlı olarak optimum değerlere çekilmesi ve fazla havanın azaltılması ile NO_x emisyonlarında belirli miktarlarda azalma sağlanabileceği ön görülmektedir. Biz de yaptığımız deneysel çalışmada bu teorinin izinden gitmeyi amaçladık.

Bu amaçla ortaya konulması gereken ilk nokta biodiesel ve Diesel yakıtlarının tam olarak yanabilmeleri için gerekli olan hava miktarlarıdır. Bu sayede bu yakıtların farklı hava fazlalık katsayıları altındaki davranışları hakkında bir fikir edinmemiz amaçlanmıştır. Bu amaçla kimyasal formülleri belirlenmiş iki örnek yakıt üzerinden bazı teorik hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 7.2 Örnek yakıtlardaki elementlerin kütleli oranları

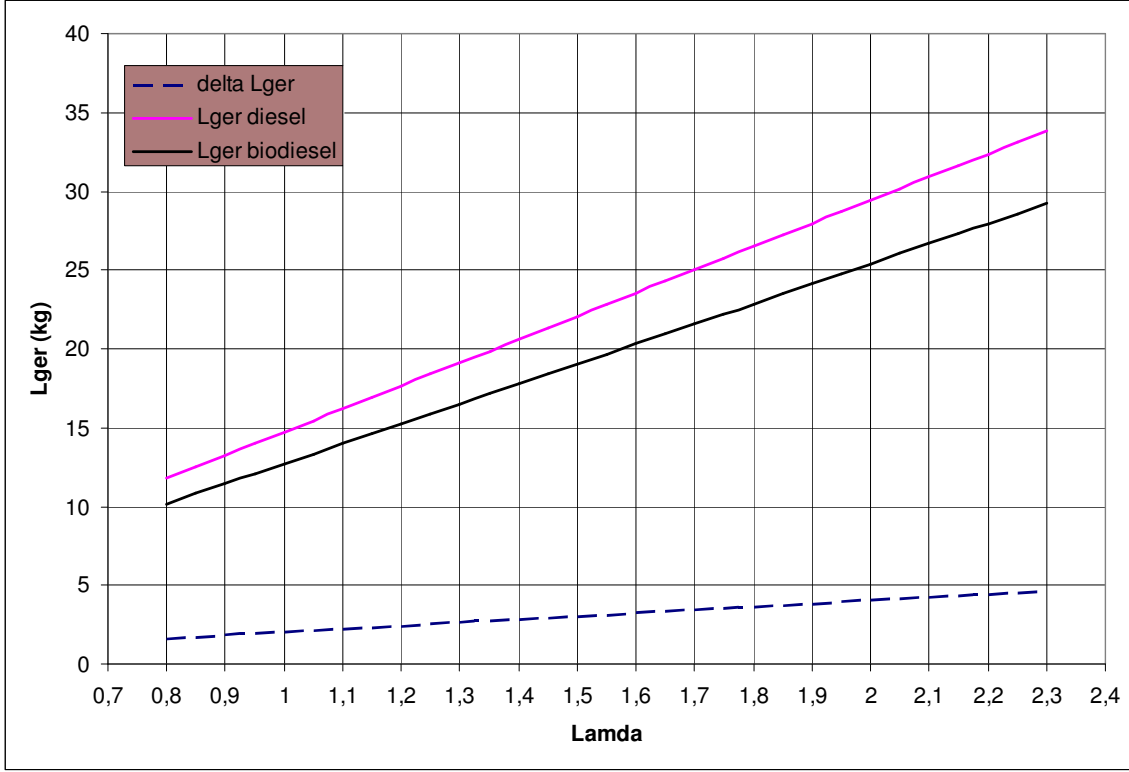
	C	H	N	O	S
Diesel	0,86	0,14	-	-	-
Biodiesel	0,756	0,1305	-	0,1135	-

Çizelge 7.3 Teorik hesaplama sonuçları

	Diesel	Biodiesel
O_{min} (kmol O₂ / kg Yakıt)	0,1066	0,0920
O_{min} (kg O₂ / kg Yakıt)	3,4133	2,9460
L_{min} (kmol hava / kg Yakıt)	0,5079	0,4384
L_{min} (kg hava / kg Yakıt)	14,7126	12,7004

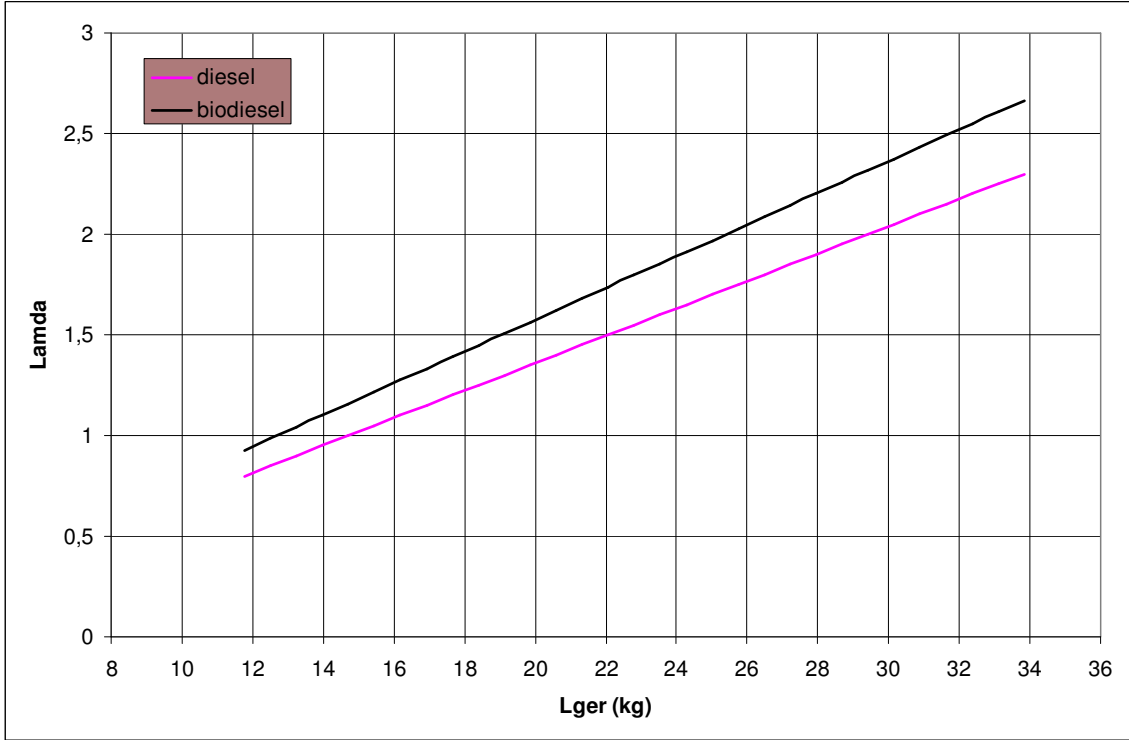
Yapılan hesaplamalar sonucunda görülmüştür ki 1 kg Diesel yakıtını yakmak için ~14,7 kg hava gerekirken bu değer biodiesel yakıtı için ~12,7 'dir. Sonuç olarak biodieselin teoride tam olarak yanabilmesi için Diesel yakıtına göre daha az havaya ihtiyacı vardır.

Bilindiği gibi motorlar her zaman tam yanma için gerekli olan minimum hava miktarı ile çalışmazlar. Gerçekte alınan hava miktarı ile tam yanma için gerekli olan minimum hava miktarının oranı hava fazlalık katsayısı olarak tanımlanır.



Şekil 7.5 Yakıtların λ değişimine göre L_{ger} değerleri

Yukarıdaki grafiklere bakıldığında biodieselin benzer hava fazlalık katsayısı ile çalıştığında Diesel yakıtına göre daha az havaya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Aynı grafikte Diesel yakıtı ile biodieselin L_{ger} değerleri arasındaki fark da gösterilmiştir. Bu ifade ayarları değiştirilmemiş bir Diesel motorunda yakıt olarak biodiesel kullanıldığında gereksiz olarak alınan hava miktarını göstermektedir. Teoride emme havasının bu miktar kadar azaltılması durumunda yanmanın herhangi bir şekilde olumsuz olarak etkilenmeyeceği söylenebilir.



Şekil 7.6 Yakıtların L_{ger} değişimine göre λ değerleri

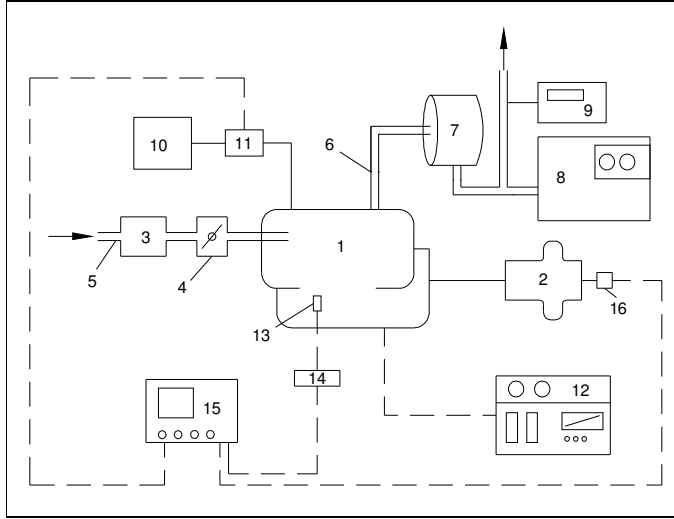
İki yakıtında aynı L_{ger} değeri ile yandığını düşündüğümüzde ise biodieselin hava fazlalık katsayısının daha fazla olduğunu görüyoruz. Bu da ilk grafikte benzer sonuçları işaret etmektedir.

Sonuç olarak biodieselin teorik olarak tam yanabilmesi için benzer koşullar altında Diesel yakıtına göre daha az havaya ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Daha az hava ise azot oksit oluşumlarına kaynaklık eden O_2 ve N_2 moleküllerinin ortamda daha az bulunması olarak yorumlanabilir. Bu sayede çalışmalara başlamadan önce yapılan teorik yaklaşımla hava fazlalık katsayısının düşürmesi ile azot oksit emisyonlarına müdahale edilebileceği söylenebilir.

8. TEST DÜZENEGİNİN ve DENEY PROSEDÜRÜNÜN AÇIKLANMASI

8.1 Test Düzenegi

Deney düzenegi bünyesinde bir Diesel motoru, motor test düzenegi, emisyon analiz cihazı ve is ölçüm cihazı bulunmaktadır.



Şekil 8.1 Deney düzenegi prensip şeması

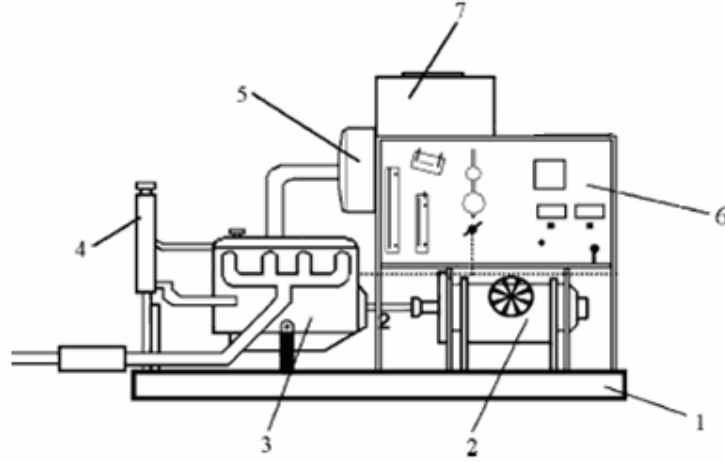
(1—Diesel motor, 2—Hidrokinetik dinamometre, 3—MAF, 4—Hava keleşi, 5—Emme manifoldu, 6—Egzoz manifoldu, 7—Egzoz tankı, 8—İs ölçüm cihazı, 9—Emisyon analiz cihazı, 10—Yakıt tankı, 11—Yakıt akış sensörü, 12—Deney seti kontrol paneli, 13—Silindir içi basınç sensörü, 14—Yük amplifikatörü, 15—Dijital osiloskop, 16—Artımsal kodlayıcı)

Deneyisel çalışmalar sırasında 1753 cm^3 strok hacmine sahip, sıra tipi dört silindirli, dört stroklu, su soğutmalı, endirekt enjeksiyonlu Ford XLD418 tipi bir Diesel motor kullanılmıştır. Motor hakkındaki detaylı teknik veriler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 8.1 Deney motorunun teknik özellikleri

Motor tipi	Ford XLD418
Strok hacmi	1753cc
Silindir çapı	82,5 mm.
Strok	82 mm.
Sıkıştırma oranı	21,5:1
Max. Güç	44kW/4800 d/d
Max. Tork	110Nm/2500 d/d

Motor test düzeneği (Cussons-P8601) bünyesinde kontrol ve ölçüm elemanlarının yanı sıra 112 kW yükleme kapasitesinde ve 9000 d/d'ya kadar çalışabilen bir su soğutmalı hidrokinetik dinamometre içermektedir. Motorun ne kadar yükleneceği setin kontrol paneli üzerinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 8.2 Deney test düzeneği

(1—Düzenek şasesi, 2—Hidrokinetik dinamometre, 3—Diesel motor, 4—Motor soğutma düzeneği, 5—Hava tankı, 6—Kontrol paneli, 7—Yakıt tankı)

Dinamometre üzerindeki yük bir yük sensörü tarafından ölçülmektedir. Motor hızı da yine anlık olarak test düzeneği dahilindeki bir sensör tarafından belirlenmektedir. Her iki değer de düzeneğin kontrol paneli üzerinden dijital olarak okunmaktadır.

Test düzeneğine harici olarak ÜÖN tespiti için bir artımsal kodlayıcı(IVO-GI355), yakıt debisini belirlemek amacıyla bir akış sensörü ve emme havasının debisinin belirlenmesi için bir MAF eklenmiştir. Motorun emme kanalının ucuna orijinalinde bulunmayan bir kelebek monte edilmiş ve böylece kanaldan geçen hava miktarının değiştirilebilmesi amaçlanmıştır. Emme havasının debisi ve kelebek pozisyonu harici olarak hazırlanmış bir elektronik devre ve dijital ekran yardımıyla okunabilmektedir.

Emisyon analizleri için AVL DiCOM 4000 tipi bir emisyon cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂, HC emisyonlarını kızıl ötesi ölçümlerle; O₂ ve NO_x emisyonlarını ise elektro kimyasal ölçümlerle hassas olarak belirleyebilmektedir. Cihazın kalibrasyonu referans gaz ile yapılmıştır.

Çizelge 8.2 AVL DiCom4000 Teknik özellikleri

Ölçüm parametreleri	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Opasite	0-100 %	0,1 %
Absorpsiyon (k-değeri)	0-99,99 1/h	0,01 1/h
Motor hızı	250-8000 d/d	10 d/d
Yağ sıcaklığı	0-120 °C	1 °C
CO	0-10 % (hacmen)	0,01 % (hacmen)
CO ₂	0-20 % (hacmen)	0,1 % (hacmen)
HC	0-20000 ppm (hacmen)	1 ppm (hacmen)
O ₂	0-22 % (hacmen)	0,1 % (hacmen)
NO _x	0-4000 ppm (hacmen)	1 ppm (hacmen)

8.2 Deney Prosedürünün Açıklanması

Deneyle sırasında klasik Diesel yakıtı (EN590'a uygun) ve %100 biodiesel (B100) kullanılmıştır. Diesel yakıtı olarak piyasada satışı yapılan bir ticari Diesel yakıtı seçilmiştir. Biodiesel üretiminde hammadde olarak soya yağı kullanılmıştır. Kullanılan yakıtların analiz sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 8.3 Kullanılan Diesel yakıtının analizi

Testler	Birim	Test Metodu	Limit	Sonuçlar
Yoğunluk, 15°C	kg/m ³	ASTM D4052	820-860	838,0
Alevlenme Noktası	°C	ASTM D93	≥55	66
Su Miktarı	mg/kg	ASTM D6304	≤200	98
Kükürt Miktarı	mg/kg	ASTM D2622	≤7000	1471
Setan İndisi	Hesaplanan	ASTM D4737	≥46	51,4
Viskozite, 40°C	mm ² /s	ASTM D445	2,0-4,5	2,812
SFTN	°C	IP	≥-15 (kış)	-20

Çizelge 8.4 Kullanılan biodiesel yakıtının analizi

Testler	Birim	Test Metodu	Limit	Sonuçlar
Korozyon Bakır Şerit	50°C, 3 saat	EN ISO 2160	En çok No:1	1A
Yoğunluk, 15°C	gr/cm ³	ISO 12185	0,860-0,900	0,8878
Viskozite, 40°C	cSt	EN ISO 3104	3,5-5,0	4,6838
Parlama Noktası	°C	EN ISO 3679	≥120	46,5
Kükürt	mg/kg	ISO 20846	≤10,0	2,68
Karbon Kalıntısı	% (ağırlıkça)	EN ISO 10370	≤0,30	0,083
Setan Sayısı	Hesaplanan	EN ISO 5165	≥51	52,1
Sülfatlanmış Kül	% (ağırlıkça)	ISO 3987	≤0,02	0,0203
Su	mg/kg	EN ISO 12937	≤500	415,18
Partikül Madde	mg/kg	EN 12662	≤24	4,30
Asit Sayısı	mgKOH/g	EN14104	≤0,50	0,10
İyot Sayısı	g/100g	EN 14111	≤120	130
Ester Muhtevası	% (m/m)	EN 14103	≥96,5	86,6
Linolenik Asit Metilesteri	% (m/m)	EN 14103	≤12	7,01
Çoklu Doymamış Metil Esterleri	% (m/m)	EN 14103	≤1	0,0
Metanol Muhtevası	% (ağırlıkça)	EN 14110	≤0,2	0,5
1.Grup Metaller Na K	mg/kg mg/kg mg/kg	EN 14108 EN 14109	≤5,0	12,37
2.Grup Metaller Ca Mg	mg/kg mg/kg mg/kg	EN 14538 EN 14538	≤5,0	23,09
Fosfor	mg/kg	EN 14107	≤10	13,43
Oksidasyon Kararlılığı (100°C)	Saat	EN14112	≥6,0	4,0

Deneyle tam yük (%100) ve kısmi yük (%50) pozisyonlarında yürütülmüştür. Bu motor üzerindeki gaz kolu ile ayarlanmıştır. Gaz kolu tertibatı motorun çalışması sırasında kolun pozisyonunda meydana gelebilecek değişimleri en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Motorun püskürtme avansı ve basıncında yakıt farklılıklarına göre herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu sayede modifikasyonsuz bir motorda biodiesel kullanılması durumunda oluşabilecek sonuçlara yaklaşılması amaçlanmıştır.

Her iki yakıt için de motor rejim sıcaklığına (~65°C) ulaştıktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Diesel yakıtı ile yapılan deneylerde ilk değerler 1000d/d motor hızı için alınmış ve daha sonrasında 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500d/d motor hızları için tekrarlanmıştır. Motorun yükü kontrol paneli üzerinden ayarlanmıştır.

Değerlerin alınmasında evvel motorun belirlenen motor hızlarında kararlı olarak kalabilmesine dikkat edilmiştir. Ölçümler yapılırken artımsal kodlayıcıdan, yakıt debisi sensöründen ve silindir içi basınç sensöründen gelen sinyaller dijital bir osiloskop tarafından toplanmış ve kaydedilmiştir.

Motor hızı ve motor yükü test setinin kontrol paneli üzerindeki göstergelerden; emisyon değerleri ise analiz cihazının ekranından okunarak bilgisayar ve video kamera yardımı ile kayıt altına alınmıştır.

Daha sonrasında yakıt biodiesel ile değiştirilmiş. Benzer işlemler tekrarlanmıştır. Motor biodiesel yakıtı ile belli bir motor hızında çalışırken ilk ölçümler alındıktan sonra hava keleşi kısılarak emilen hava miktarı değiştirilmiştir. Hava keleşinin kısılma miktarında esas olarak anlık olarak analiz cihazından gözlemlenen NO_x emisyonları baz alınmıştır. Aynı ölçümler bu konumda da tekrarlanmış ve bu işlem 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500d/d 'lık motor hızlarında uygulanmıştır.

9. DENEYSEL SONUÇLAR

9.1 Performans Deneyleri

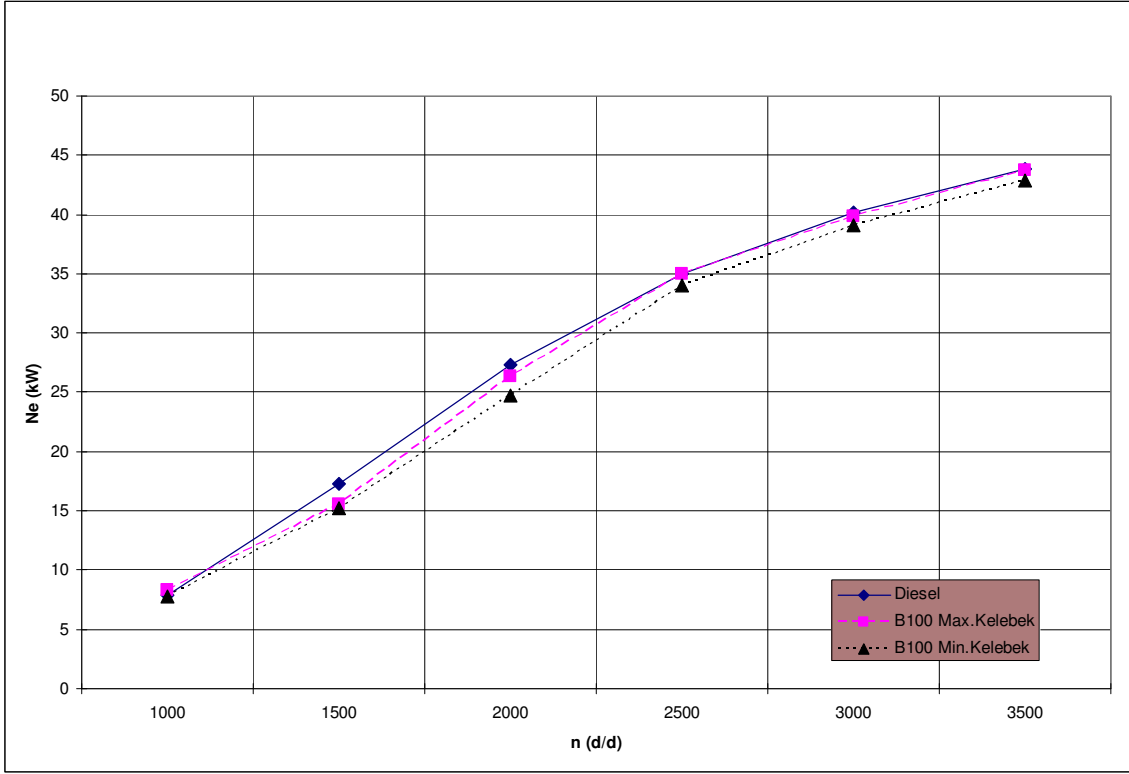
Yapılan deneylerde değişen yakıt ve işletme şartlarına bağlı olarak motor performansının gösterdiği değişimler gözlenmiştir. Literatürdeki bazı çalışmalarda (*Usta^{a,b}, 2004*) klasik Diesel yakıtına belli oranlarda biodiesel yakıtı karıştırıldığında motor performansında sınırlı da olsa bazı iyileşmeler görüldüğü belirtilmiştir. Bunlara neden olarak Diesel yakıtı ile aynı hacimdeki biodieselin silindir içine alınması durumunda bu yakıtın görece olarak daha yüksek olan yoğunluğuna bağlı olarak silindir içindeki yakıt kütesinin artması ve doğal içeriğinde oksijen olan biodieselin daha verimli bir yanma sağlaması gösterilmiştir. Bunun yanında Agarwal A. K. 'nın yayımladığı bir çalışmada (*Agarwal, 2006*) farklı biodiesellerle yapılan çalışmalar sonucunda motor gücünün ve torkunun Diesel yakıtına göre belirli oranlarda düştüğü belirtilmiştir.

Bu konudaki literatür bilgileri farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların nedeni öncelikle kullanılan yakıt ve bu yakıtın üretildiği hammaddeye bağlıdır. Bunun yanında deney düzeneği ve test prosedüründeki farklılıklar değişimlere neden olabilmektedir.

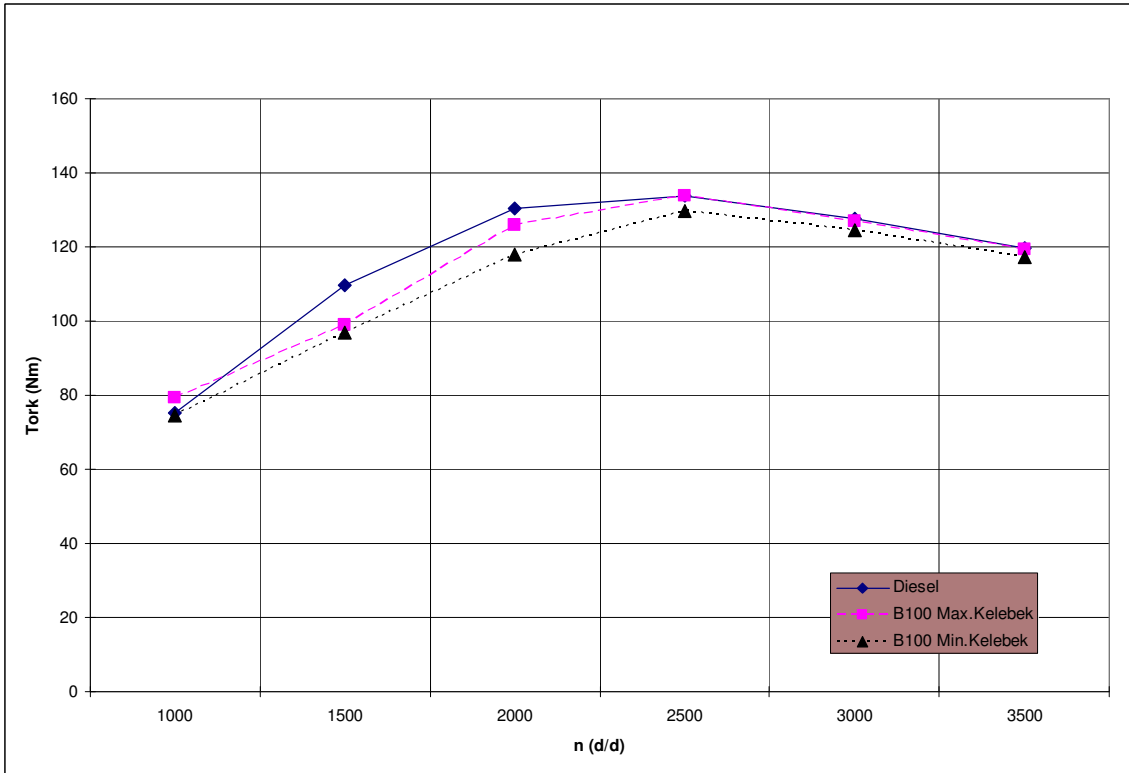
9.1.1 Tam Yük Pozisyonu İçin Performans Deneylerinin Sonuçları

Tam yük pozisyonunda klasik Diesel yakıtı ve biodiesel yakıtı ile performans deneyleri yapılmış ve farklı motor hızlarındaki karakteristik değerler hesaplanmıştır. Biodiesel yakıtı için iki farklı koşul altında deneme yapılmıştır. İlkinde hava kelebeği maksimum açıklığında bırakılmıştır. İkincisinde ise hava kelebeği performansta önemli bir düşüş görülene kadar kısılmıştır. Performans eğrileri aşağıda gösterilmiştir.

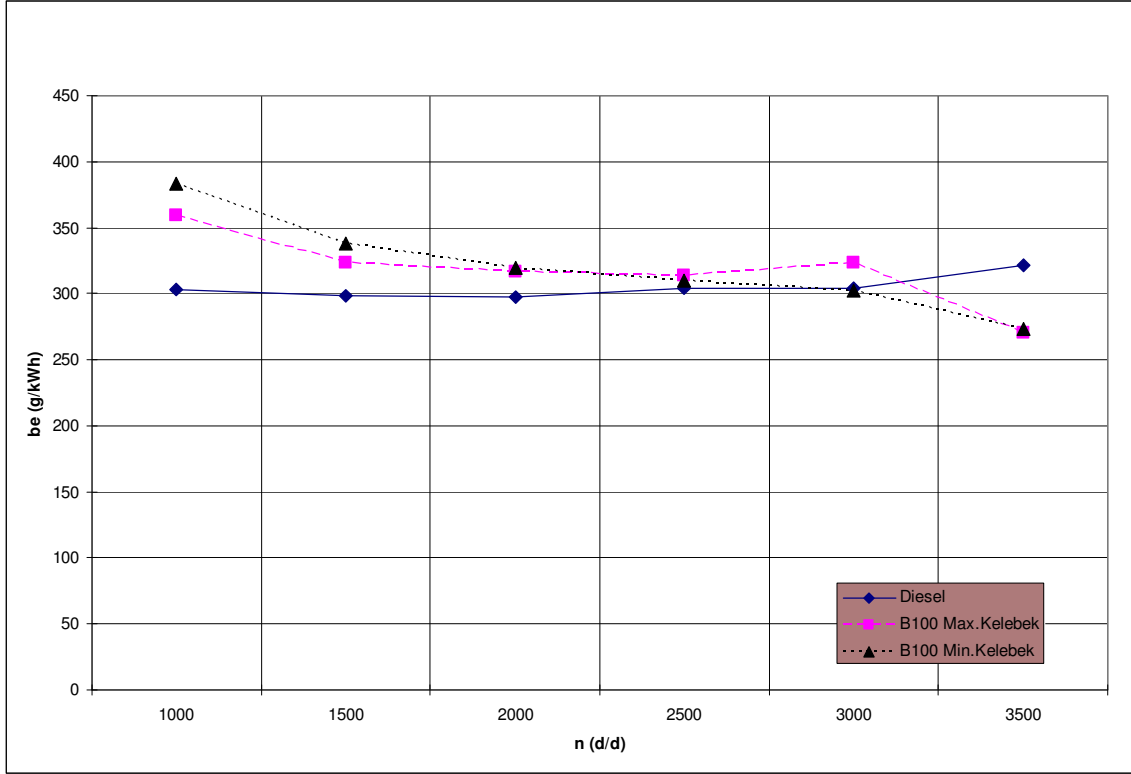
Güç ve tork eğrilerinin karakterleri her üç deney koşulu için de literatürdeki genel eğilime benzer çıkmıştır. Hiçbir modifikasyon yapılmamış deney motorunda yakıt olarak biodiesel kullanılması durumunda motor gücünün ve torkunun klasik Diesel yakıtının ortaya koyduğu değerlere göre düştüğü görülmektedir. Hava kelebeğinin kısılması sonucunda da değerlerin bir miktar düştükleri görülmektedir. Bu düşüş ve değerler arasındaki farklar yüksek motor hızlarında (>2000 d/d) azalmaktadır.



Şekil 9.1 Motor hızına göre motor gücü değişimi (Tam yük)

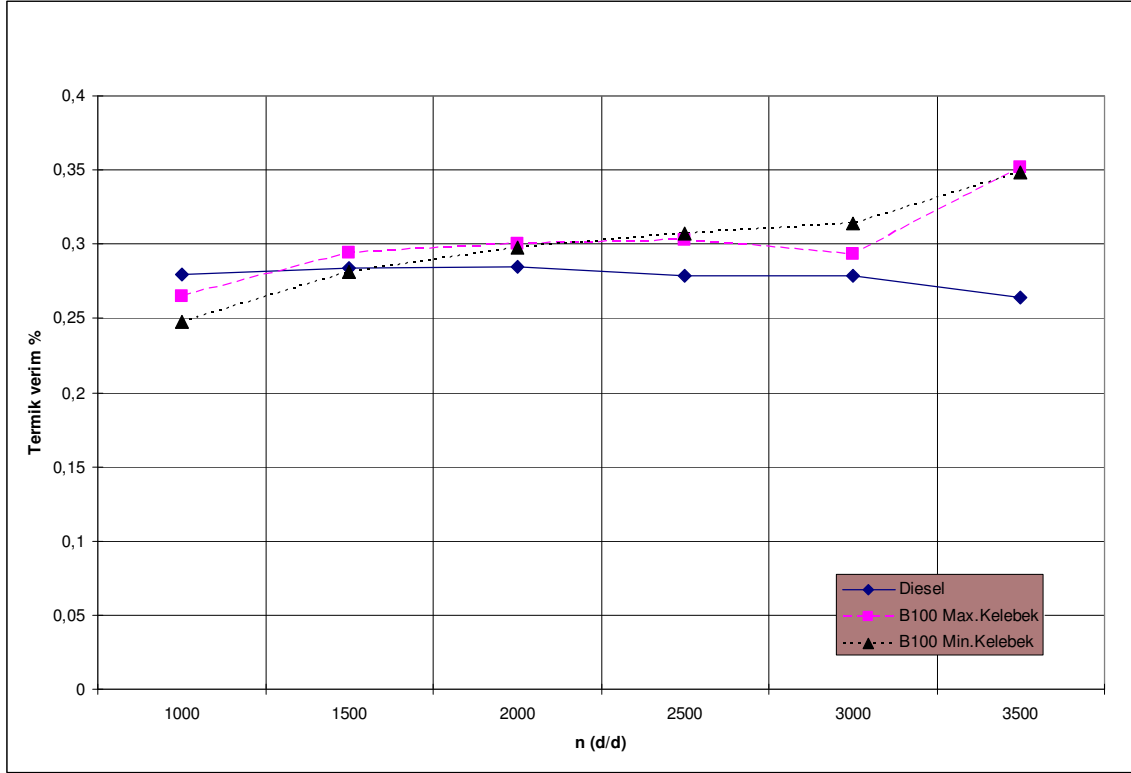


Şekil 9.2 Motor hızına göre tork değişimi (Tam yük)



Şekil 9.3 Motor hızına göre özgül yakıt sarfiyatı değişimi (Tam yük)

Her iki yakıtın özgül yakıt tüketimleri karşılaştırıldığında biodieselin genelde daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Diesel yakıtı ile çalıştırılan motorun farklı motor hızlarında oldukça kararlı bir özgül yakıt tüketimi karakteri sergilediği gözükmemektedir. Biodieselin her iki hava kelebeği pozisyonu içinde artan motor hızı ile birlikte klasik Diesel yakıtının değerlerine yaklaştığı söylenebilir.



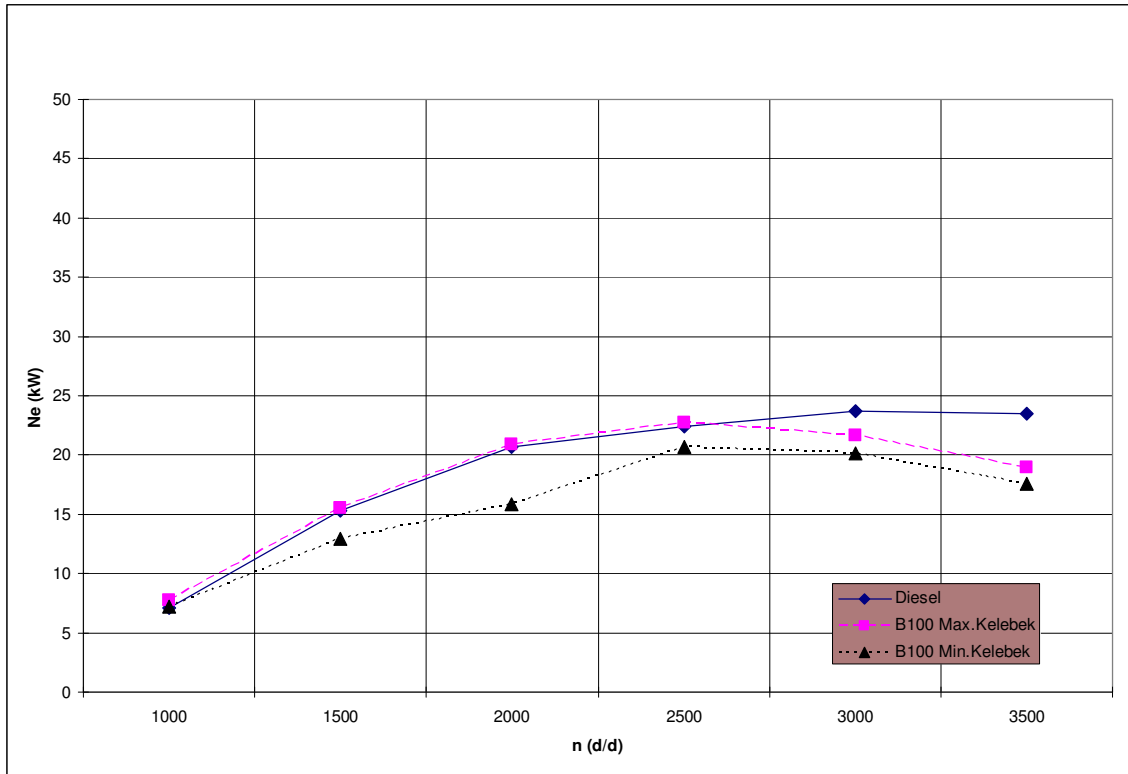
Şekil 9.4 Motor hızına göre termik verim değişimi (Tam yük)

Termik verim değerlerine bakıldığında biodieselin daha verimli bir yanma sağladığı söylenebilir. Dikkat edilmesi gereken nokta düşük motor hızlarında (<1500 d/d) biodieselin termik veriminin düşüş göstermesidir. Aynı koşullar için hava kelebeğinin kısılması ve buna bağlı olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi de termik verimde düşüğe neden olmuştur. Karışım oluşturmada sıkıntı yaşanan düşük devirlerde ortamda bulunan hava miktarının azalması yanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Motor hızının artmasıyla bu olumsuzluk azalmıştır.

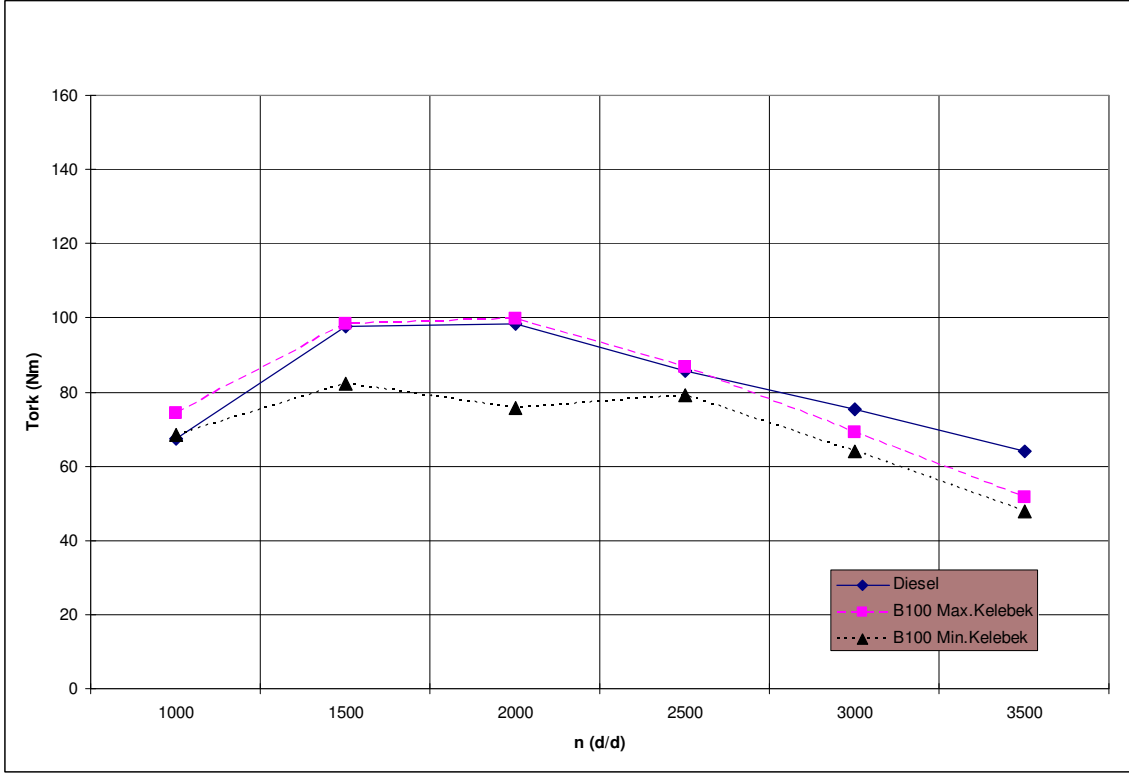
9.1.2 Kısmi Yük Pozisyonu (%50) İçin Performans Deneylerinin Sonuçları

Kısmi yük pozisyonunda klasik Diesel yakıtı ve biodiesel yakıtı ile performans deneyleri yapılmış ve farklı motor hızlarındaki karakteristik değerler hesaplanmıştır. Biodiesel yakıtı için hava kelebeğinin konumu değiştirilerek iki ayrı deneme yapılmıştır. Motor karakter eğrileri aşağıda verilmiştir.

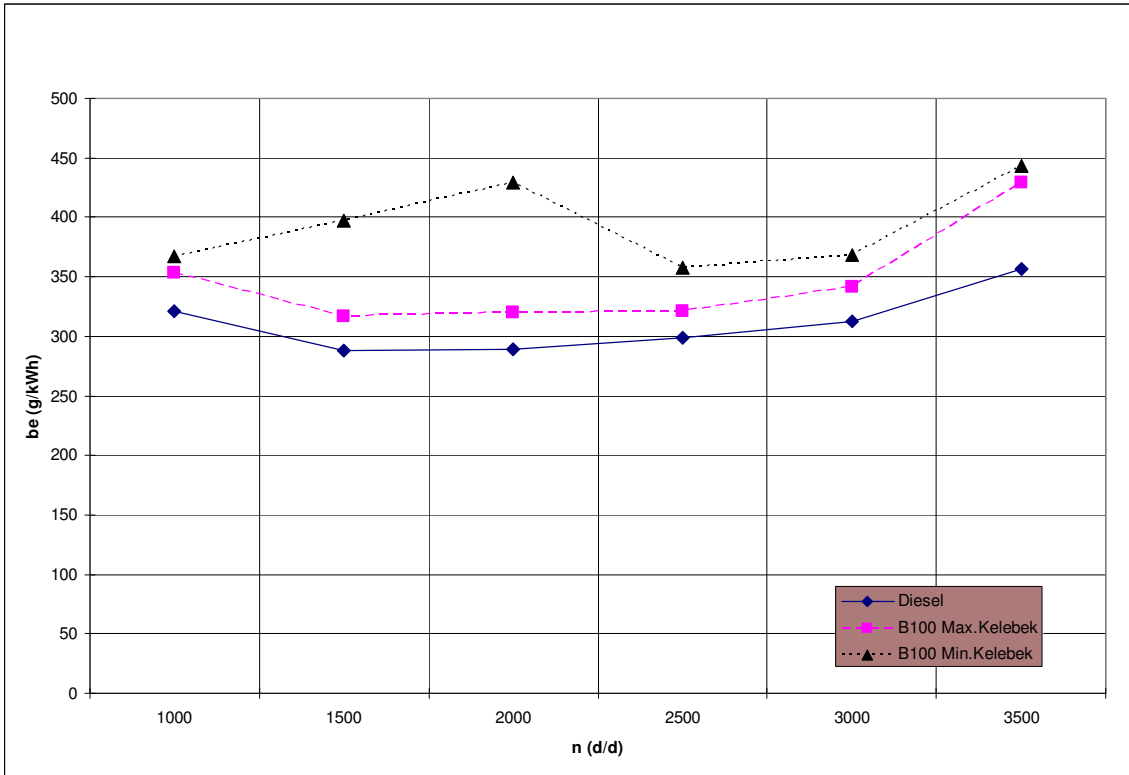
Güç ve tork eğrilerinin karakterleri her üç deney koşulu için de literatürdeki genel eğilime benzer çıkmıştır. Özel olarak biodiesel kullanımı için tasarlanmamış ve ayarlarında herhangi bir değişiklik yapılmamış deney motorunda yakıt olarak biodiesel kullanılması durumunda motor gücünün ve torkunun 2500 d/d ve sonrasındaki motor hızlarında klasik Diesel yakıtının ortaya koyduğu değerlere göre düştüğü görülmektedir. Öncesinde ise bir birine çok yakın değerler ortaya çıkmıştır. Hava kelebeğinin kısılması sonucunda da motor gücü ve torkunun diğer iki koşula göre bir miktar düştükleri görülmektedir. Son şart için gözlemlenen bu düşüş yüksek motor hızlarında (>2000 d/d) azalmaktadır.



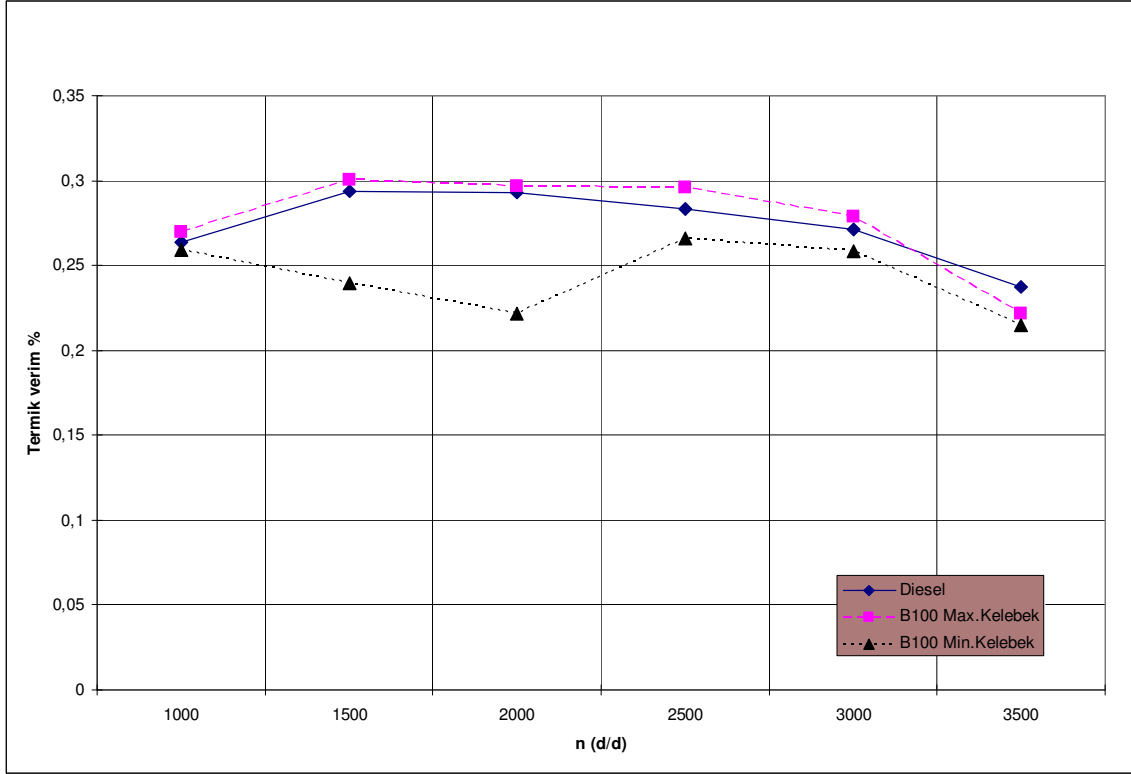
Şekil 9.5 Motor hızına göre motor gücü değişimi (Kısmi yük)



Şekil 9.6 Motor hızına göre tork değişimi (Kısmi yük)



Şekil 9.7 Motor hızına göre özgül yakıt sarfıyatı değişimi (Kısmi yük)



Şekil 9.8 Motor hızına göre termik verim değişimi (Kısmi yük)

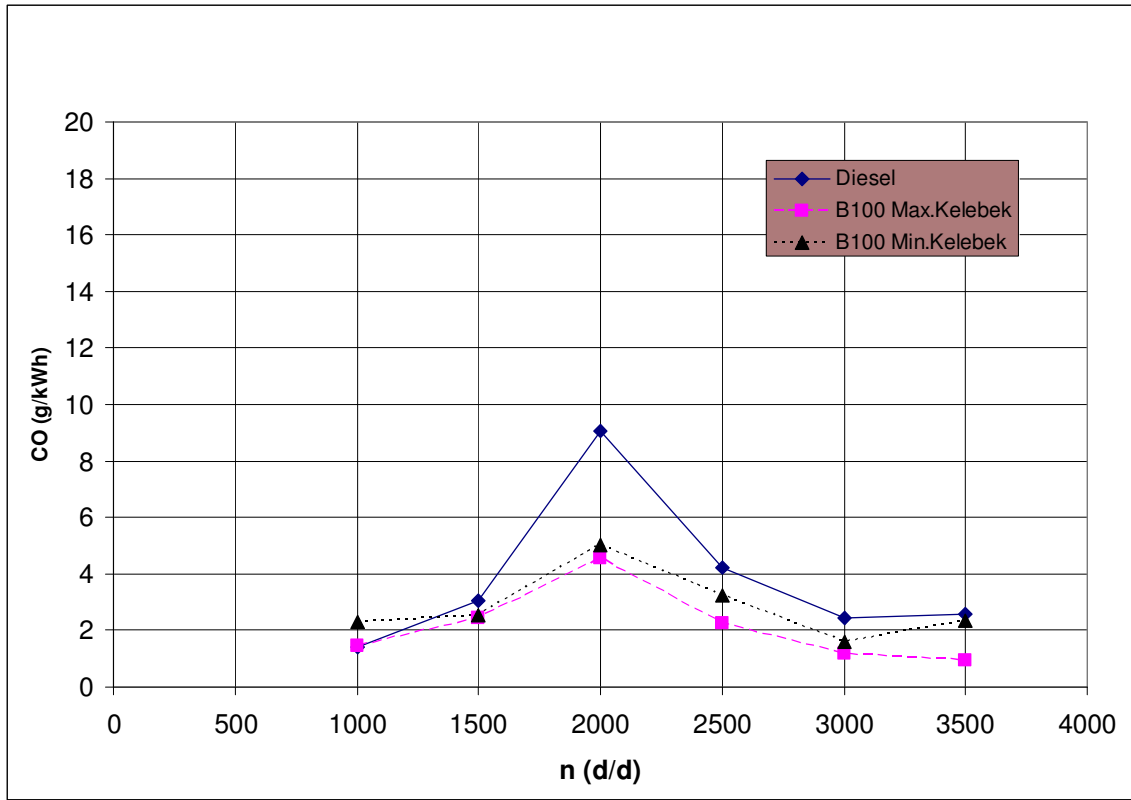
Her iki yakıtın özgül yakıt tüketimleri karşılaştırıldığında biodieselin (her iki hava kelebeği pozisyonu için de) daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Diesel yakıtı ile çalıştırılan motorun özgül yakıt tüketimi karakteri literatür ile uyumludur. Biodieselin emme havasının kısılması sonucu ortaya koyduğu artış yüksek motor hızlarında azalmıştır

Termik verim değerlerine bakıldığında biodieselin daha verimli bir yanma sağladığı söylenebilir. Aynı koşullar için hava kelebeğinin kısılması ve buna bağlı olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi de termik verimde düşüne neden olmuştur. Bu şartın termik verim ve özgül yakıt tüketimi için sergilediği karakterler birbirini sağlamaktadır.

9.2 Emisyon Deneyleri

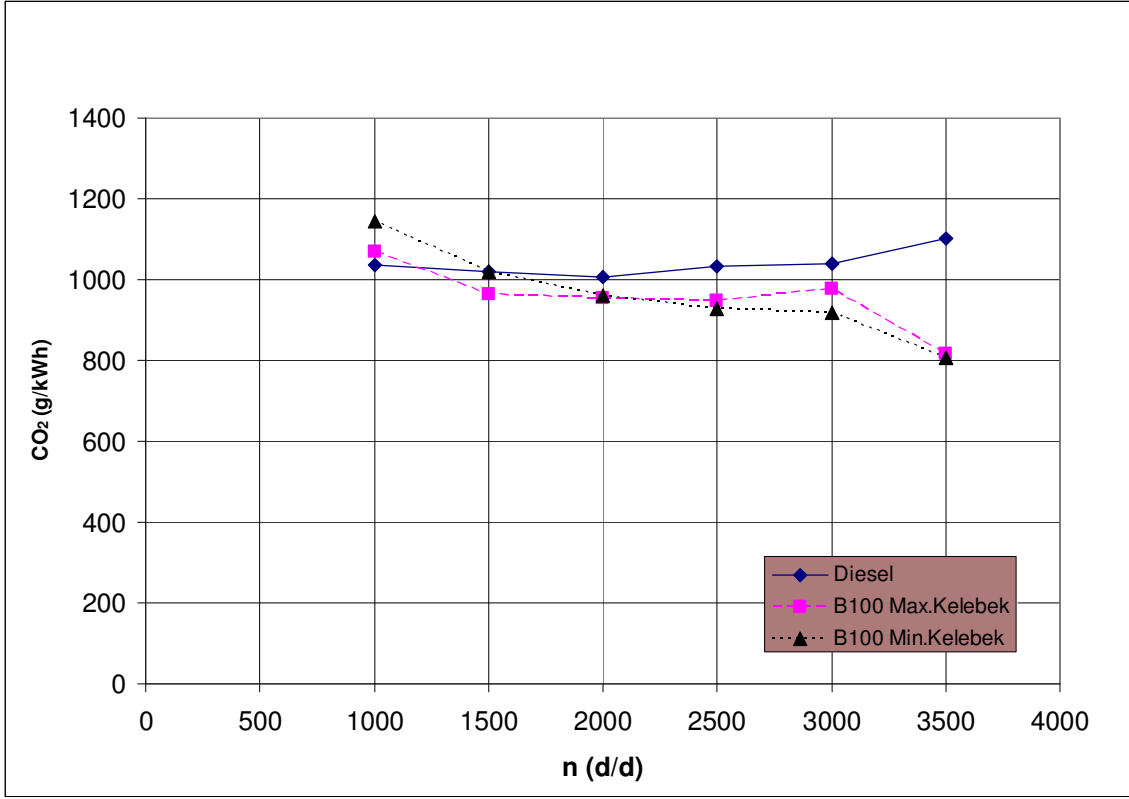
Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar sırasında elde edilen egzoz emisyonu değerleri derlenmiştir. Kullanılan farklı yakıtların ve değişen bazı çalışma koşullarının (motor hızı ve gaz pozisyonu gibi) egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini ifade eden grafikler aşağıda gösterilmektedir.

9.2.1 Tam Yük Pozisyonu İçin Emisyon Deneylerinin Sonuçları



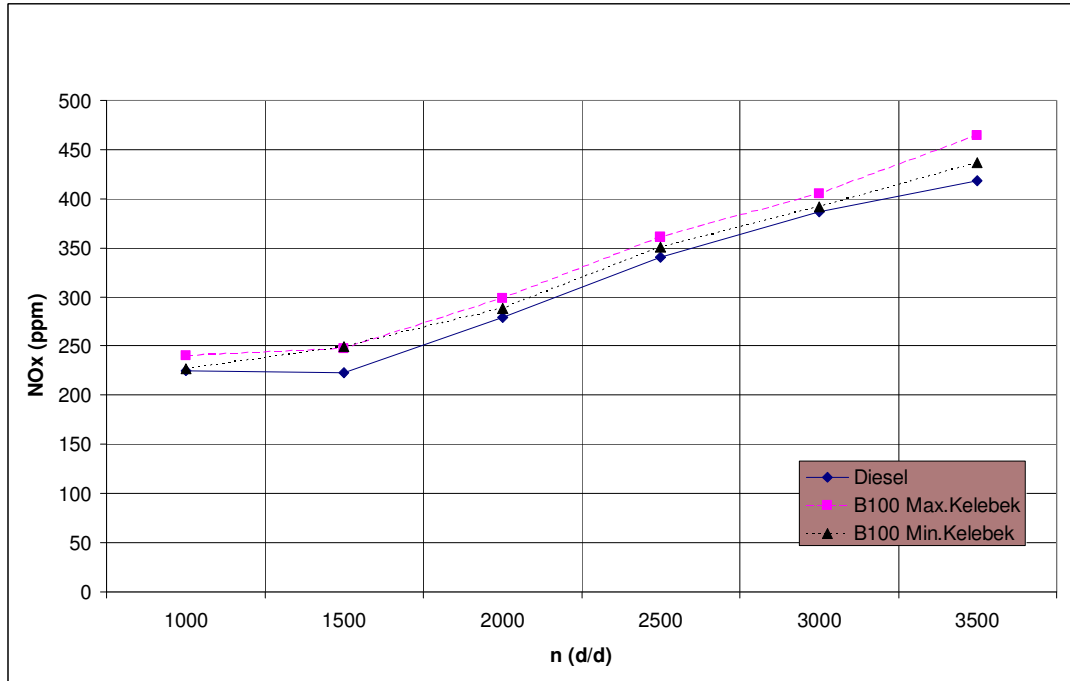
Şekil 9.9 Motor hızına göre CO emisyonlarının değişimi (Tam yük)

Tam yük pozisyonu için karbon monoksit (CO) emisyonlarının değişimi Şekil.9.9 'da gösterilmiştir. 1000 d/d motor hızında biodiesel yakıtı her iki hava kelebeği pozisyonu için de Diesel 'e göre daha yüksek CO emisyonu değerleri vermiştir. Artan motor hızına bağlı olarak değişen parametreler ve çalışma koşulları sonucunda biodiesel, Diesel yakıtına göre daha düşük CO değerleri vermektedir. Biodiesel yakıtının kullanıldığı deneyler sırasında hava kelebeği kısıldığında CO emisyonlarında bir artış görülmektedir.

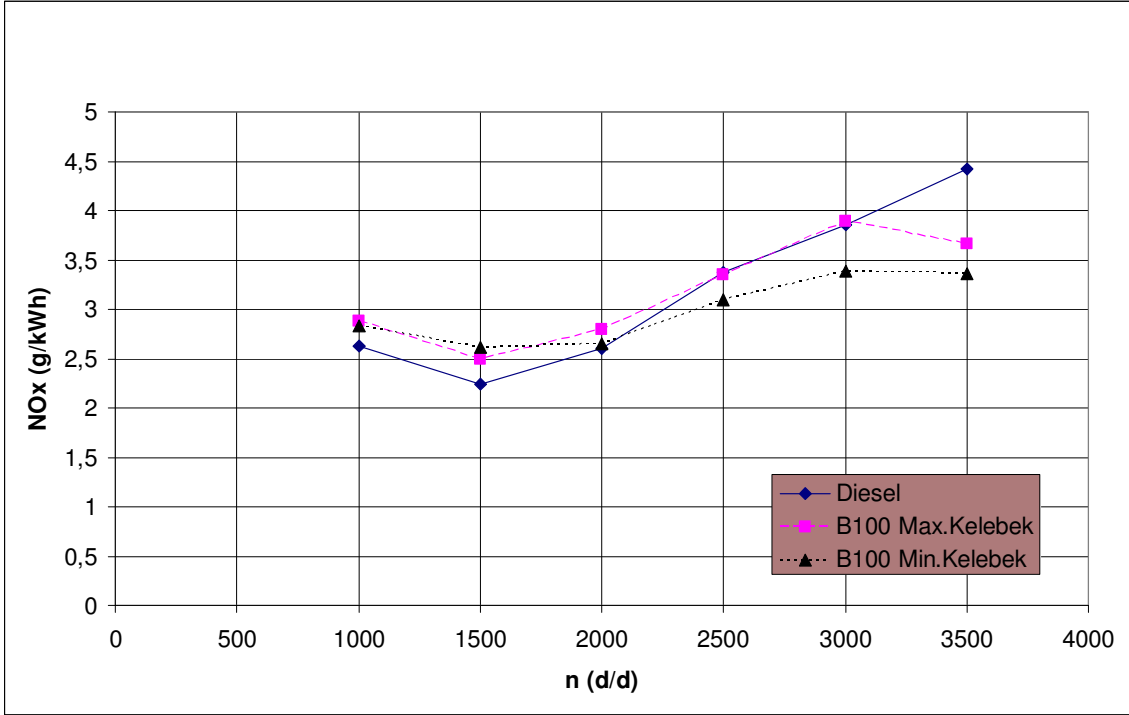


Şekil 9.10 Motor hızına göre CO₂ emisyonlarının değişimi (Tam yük)

Karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının motor hızına göre değişimi Şekil.9.10 'da verilmiştir. Tam yük konumuna göre çizilen bu grafikte biodiesel genelde her iki hava kelebeği pozisyonu için de klasik Diesel yakıtına oranla daha düşük CO₂ değerleri vermiştir.



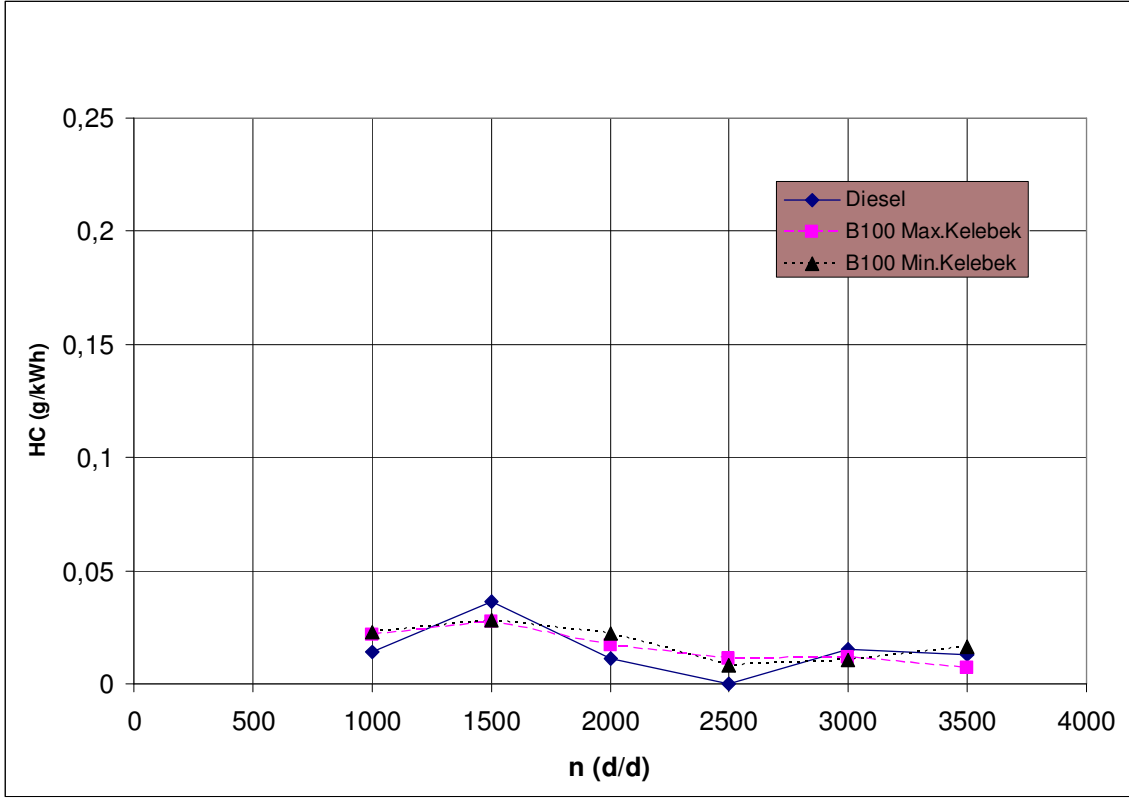
Şekil 9.11 Motor hızına göre NO_x emisyonlarının (ppm) değişimi (Tam yük)



Şekil 9.12 Motor hızına göre NO_x emisyonlarının değişimi (Tam yük)

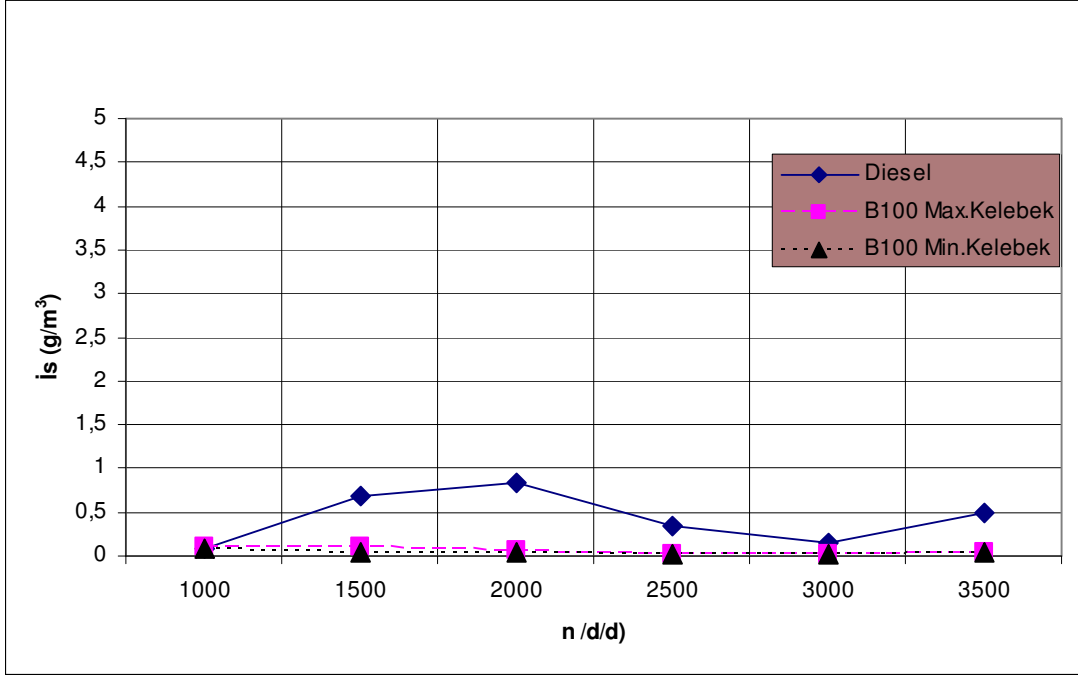
Egzoz gazındaki azot oksit emisyonlarının motor hızına göre değişimleri Şekil 9.11 ve 9.12 'de gösterilmiştir. Motorun tam yük şartında çalıştırıldığı bu koşullar için NO_x emisyonlarını hacimsel yüzde olarak gösteren grafiğe bakıldığında literatürün geneli ile uyduğu söylenebilir. Yakıt olarak biodiesel kullanıldığında beklenildiği gibi NO_x emisyonlarında yakıt olarak klasik Diesel yakıtının kullanıldığı durumlara göre bir artış görülmüştür. Bu artış max. hava kelebeği açıklığı durumunda yaklaşık %7 olarak gerçekleşmiştir. Hava kelebeğinin kısılması ile max. kelebek açıklığı konumuna oranla daha düşük azot oksit emisyonları elde edilmiştir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi birim güç başına üretilen azot oksit kütlesi bazında yapıldığında elde edilen grafik ilk grafiğe göre bir takım farklılıklar göstermektedir. Düşük motor hızlarında biodiesel, klasik Diesel yakıtına göre yine daha yüksek NO_x değerleri vermiştir. Grafiğin devamında ise artan motor hızları ile farklı yakıtların NO_x değerlerinin birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus yakıt olarak biodieselin kullanıldığı deneylerde hava kelebeği üzerinde yapılan değişikliklerin NO_x emisyonları üzerindeki etkisinin yapılan ilk değerlendirme ve buna bağlı oluşturulan grafik ile benzerlik göstermiş olmasıdır.



Şekil 9.13 Motor hızı değişimine göre HC emisyonlarının değişimi (Tam yük)

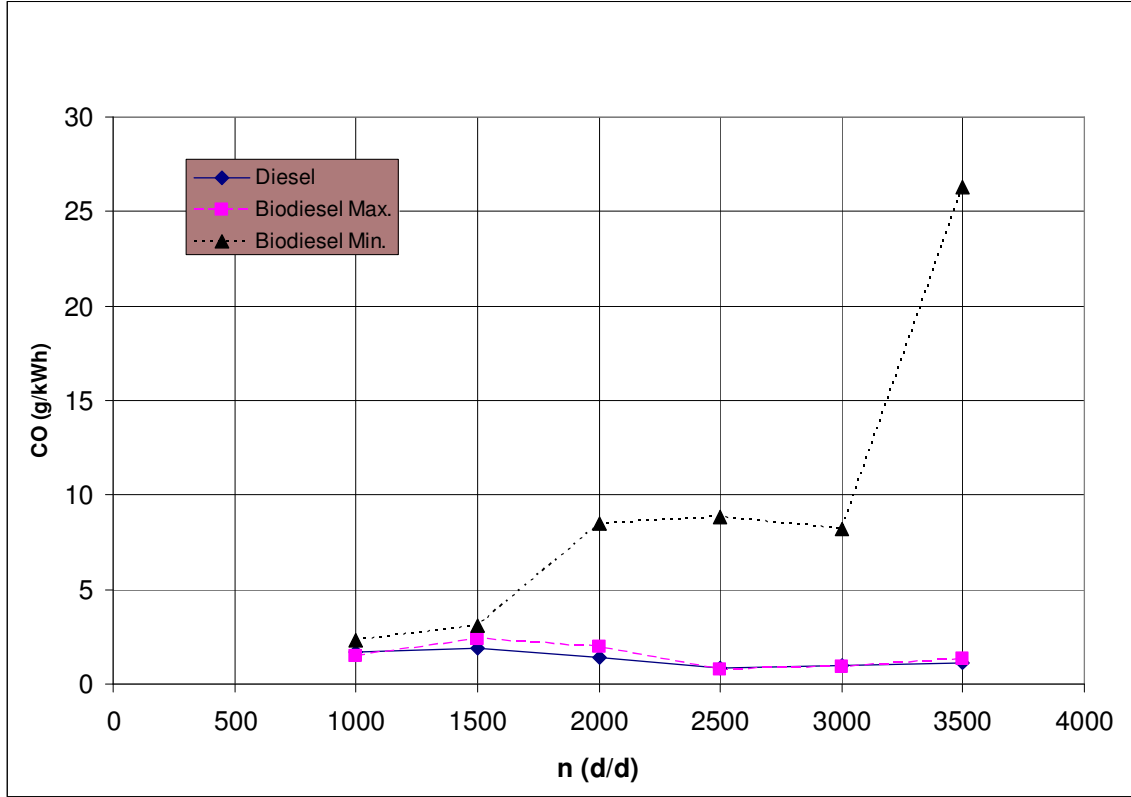
Motorun farklı yakıt ve çalışma koşulları için verdiği HC emisyonu değerlerine bakıldığında kullanılan yakıtların değerler üzerinde önemli değişimlere neden olmadıkları görülmüştür. Özellikle dikkat edilmesi gereken nokta hava kelebeği üzerinden yapılan müdahaleler sonucunda HC emisyonlarının önemli değişiklikler göstermemiş olmasıdır. Azot oksitleri azaltmak maksadı ile yapılan bu müdahalenin HC emisyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir.



Şekil 9.14 Motor hızı değişimine göre is miktarı (Tam yük)

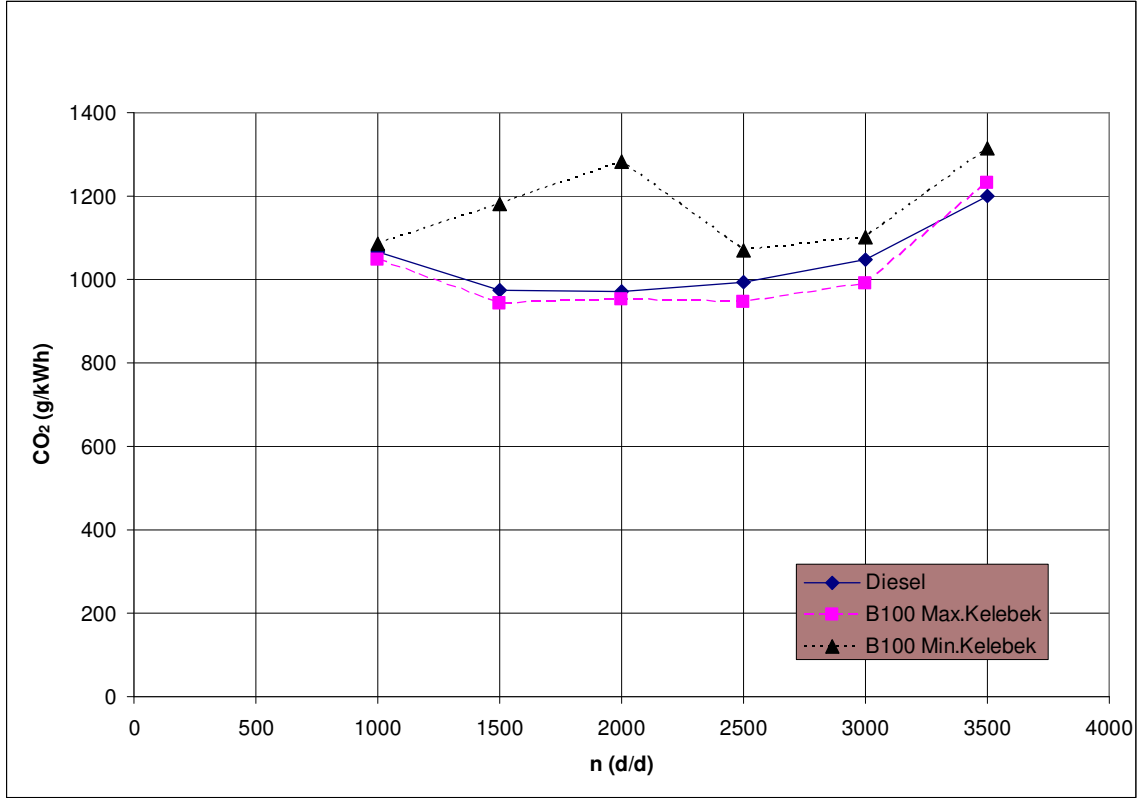
Şekil 9.14 'e bakıldığında biodieselin oluşan is miktarında önemli bir azalma sağladığı görülmüştür. Azot oksitleri azaltmaya yönelik olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi oluşan is üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmamıştır.

9.2.2 Kısmi Yük (%50) Pozisyonu İçin Emisyon Deneylelerinin Sonuçları



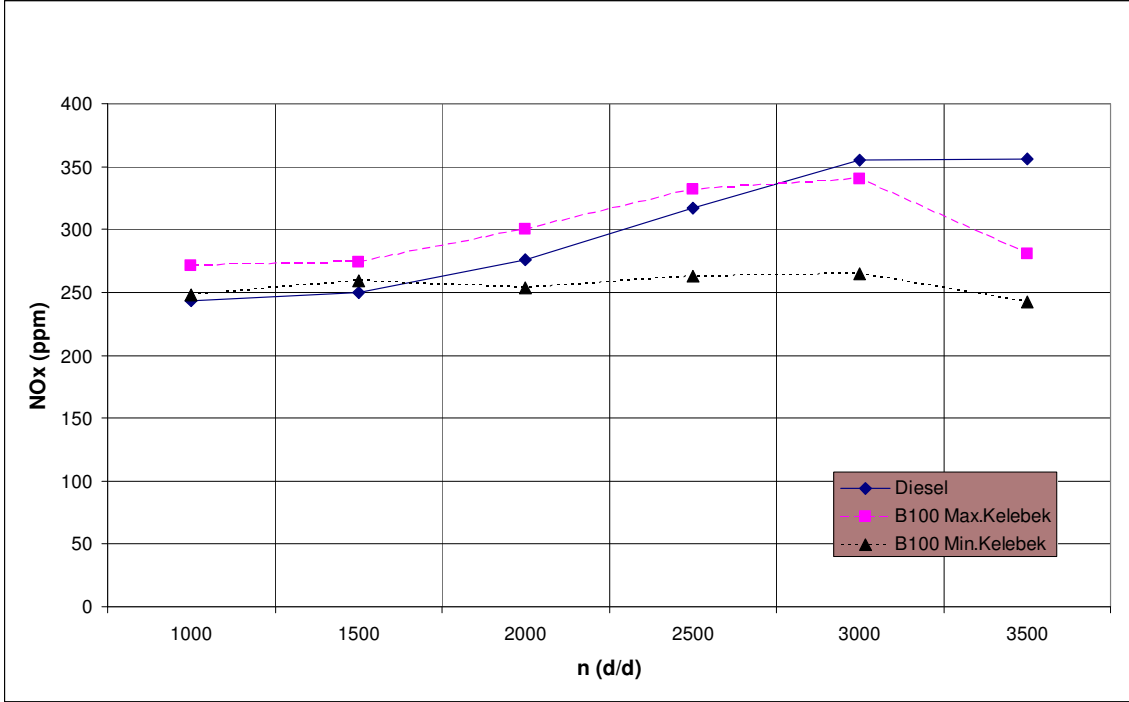
Şekil 9.15 Motor hızına göre CO emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)

Kısmi yük pozisyonu için karbon monoksit (CO) emisyonlarının değişimi Şekil.9.15 'de gösterilmiştir. 1000 d/d ve 1500 d/d motor hızında her üç çalışma koşulu içinde yapılan ölçümler birbirlerine yakın emisyon değerleri vermişlerdir. Daha sonrasında hava kelebeği kısık konumda biodiesel yakıtı ile çalıştırılan motorda gözle görülür bir CO emisyonu artışı gerçekleşmiştir. Hava kelebeği tam açık konumda iken biodiesel yakıtı ile çalıştırılan motor klasik Diesel yakıtınıninkine çok benzer CO değerleri vermiştir.

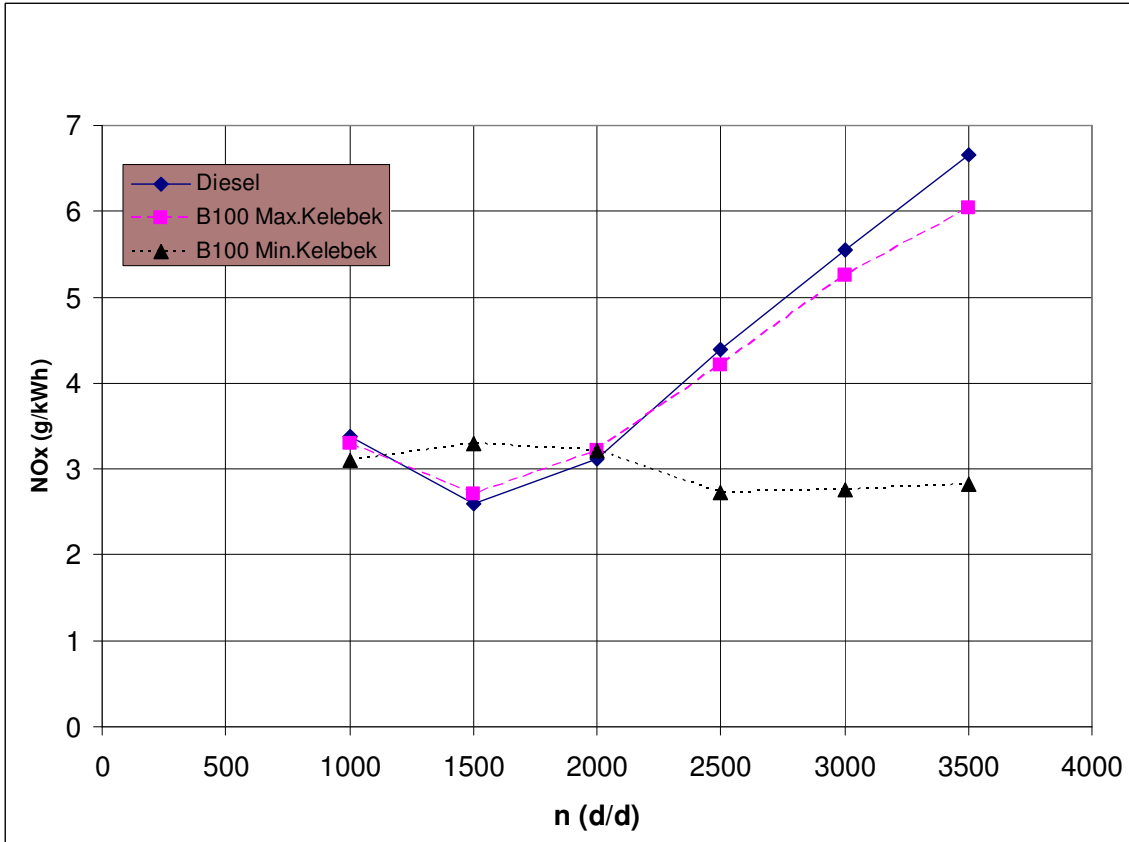


Şekil 9.16 Motor hızına göre CO₂ emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)

Karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının motor hızına göre değişimi Şekil.9.16 'da verilmiştir. Kısmi yük konumuna göre çizilen bu grafikte biodiesel emilen hava miktarına müdahale edilmediği çalışma koşulu için Diesel yakıtı benzer değerlere sahiptir. Hava kelebeği kısıldığında üretilen CO₂ emisyonlarının arttığı görülmektedir. Bu durum altında çalıştırılan motorun CO₂ emisyon değerleri motor hızı arttıkça diğer koşullardaki değerlere yaklaşmaktadır.



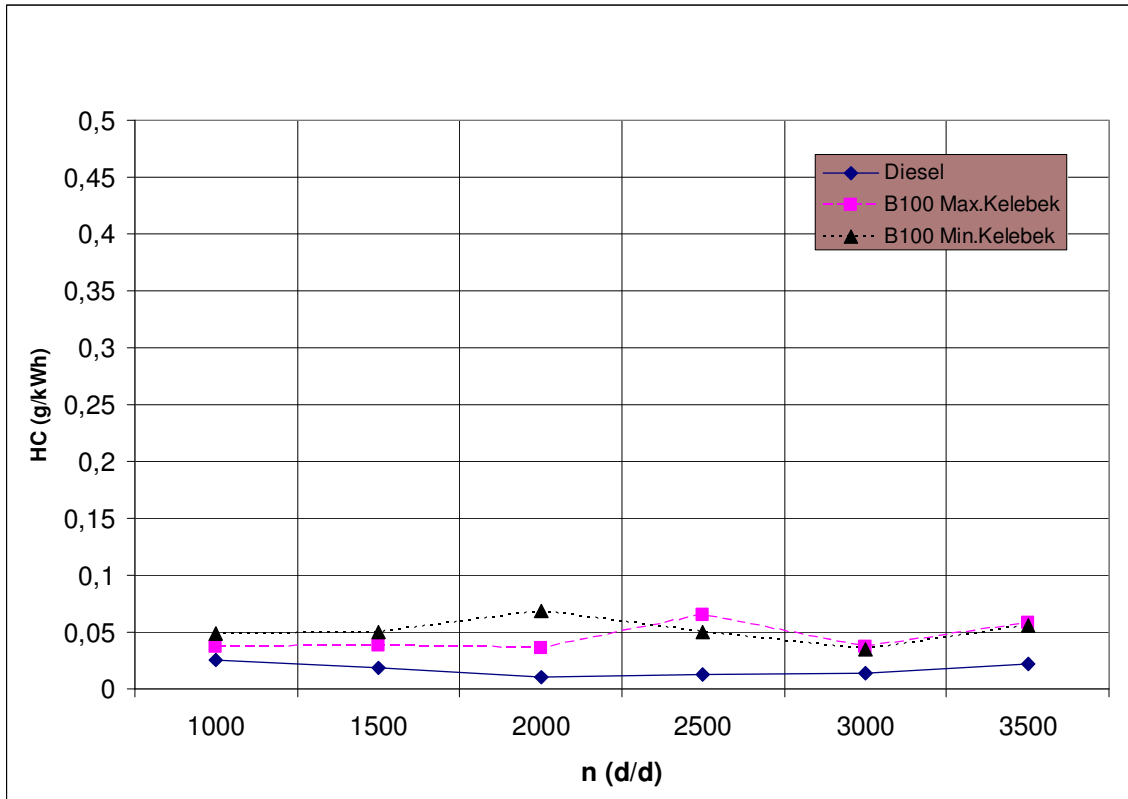
Şekil 9.17 Motor hızına göre NO_x emisyonlarının (ppm) değişimi (Kısmi yük)



Şekil 9.18 Motor hızına göre NO_x emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)

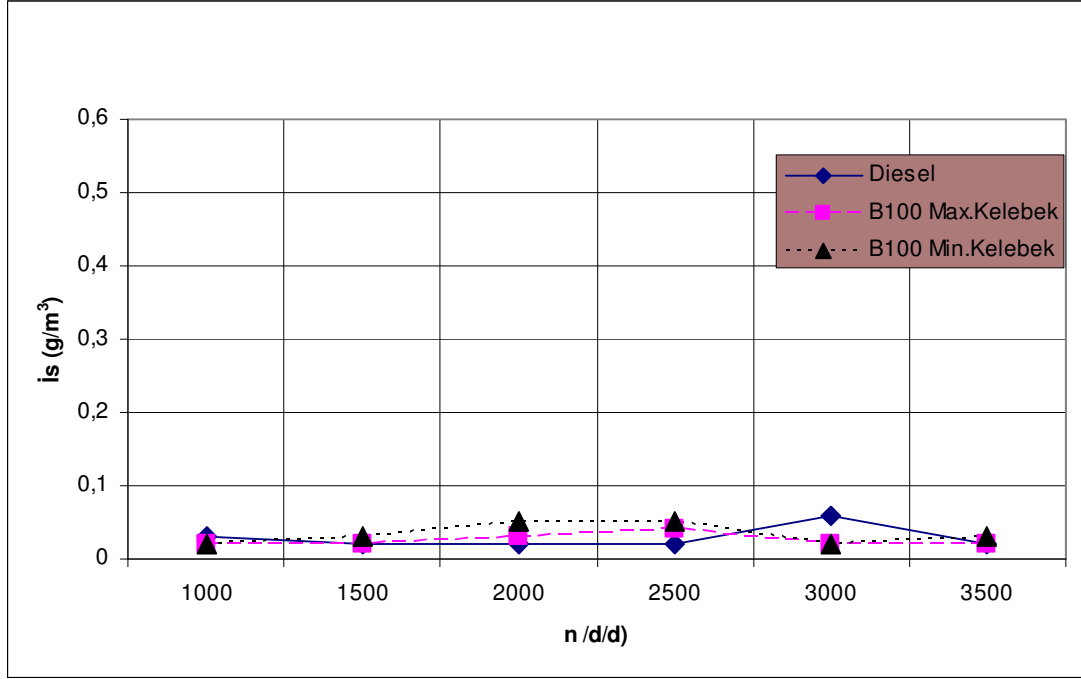
Egzoz gazındaki azot oksit emisyonlarının motor hızına göre değişimleri Şekil 9.17 ve 9.18 'de gösterilmiştir. Motorun kısmi yük şartında çalıştırıldığı bu koşullar için NO_x emisyonlarını hacimsel yüzde olarak gösteren grafiğe bakıldığında Diesel yakıtı kullanılırken açığa çıkan azot oksit emisyonlarının artan motor hızı ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. B100 max kelebek şartında bu eğilim benzer bir karakter göstermiştir. B100 min kelebek şartında ise NO_x emisyonlarının motor hızı değişimlerinden fazla etkilenmediği görülmektedir.

Deney sonuçlarının değerlendirmesi birim güç başına üretilen azot oksit kütlesi bazında yapıldığında B100 min kelebek şartında açığa çıkan NO_x emisyonları eğrisinin tüm motor hızlarında yine yatay bir karakter çizdiği görülmektedir. Diğer iki koşul benzer eğilimler içindedirler. Biodieselin ürettiği NO_x emisyonları başlangıç devirlerinde Diesel yakıtına göre daha yüksek değerlere sahipken 2500 d/d ve sonrasında bu değerlerin altına düşmüştür.



Şekil 9.19 Motor hızına göre HC emisyonlarının değişimi (Kısmi yük)

HC emisyonu değerlerine bakıldığında kullanılan yakıtların değerler üzerinde önemli değişimlere neden olmadıkları görülmüştür. Özellikle dikkat edilmesi gereken nokta hava kelebeği üzerinden yapılan müdahaleler sonucunda HC emisyonlarının önemli değişiklikler göstermemiş olmasıdır. Azot oksitleri azaltmak maksadı ile yapılan bu müdahalenin HC emisyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir.

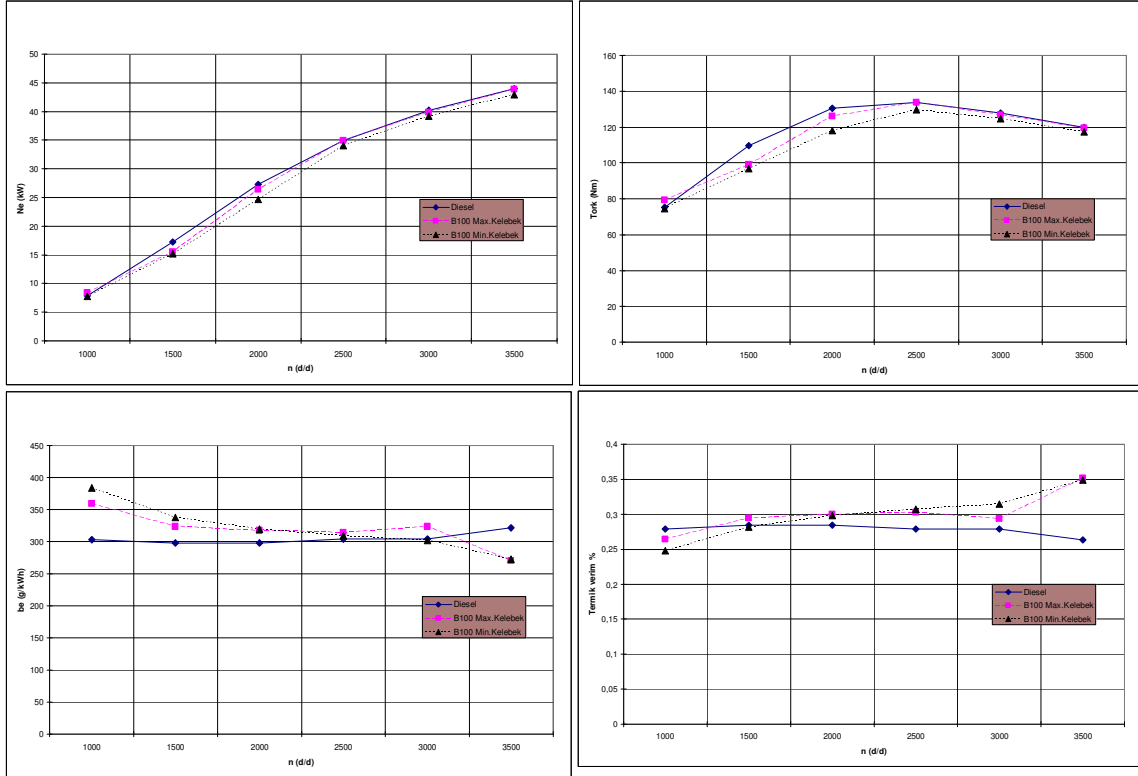


Şekil 9.20 Motor hızı değişimine göre is miktarı (Kısmi yük)

Şekil 9.20 'de deneyler sırasında ölçülen is miktarları görülmektedir. Üç deney koşulu birbirlerine yakın değerlere sahiptirler. Önemli olan nokta azot oksitleri azaltmaya yönelik olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi oluşan is üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmamıştır.

10. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

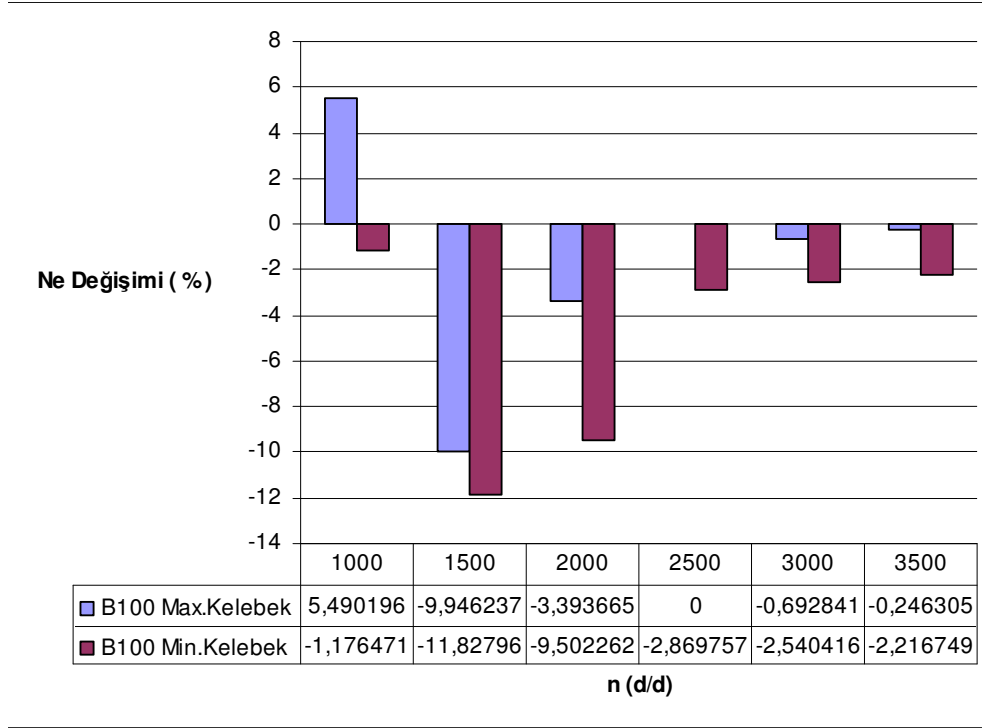
10.1 Tam Yük Konumu Performans Deneylerinin Analizi



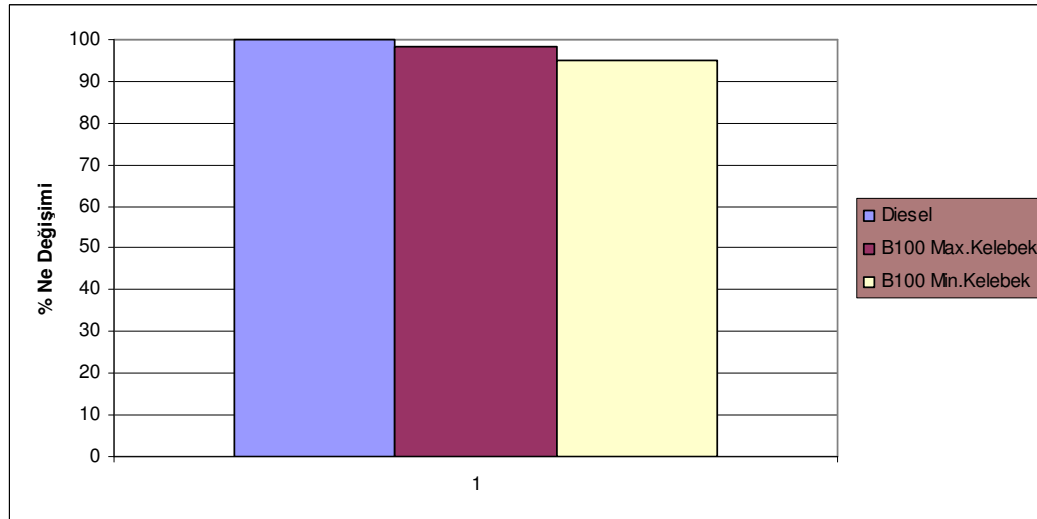
Şekil 10.1 Tam yük konumu için performans deney sonuçları

Güç ve tork eğrileri her üç deney şartı için de için benzer eğilimler göstermiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi biodiesel yakıtı Diesel yakıtına oranla motor gücünde ve torkunda bir miktar düşüşe neden olmuştur. Bunun sebebi biodieselin alt ısı değerinin Diesel yakıtına oranla yaklaşık %10 düşük oluşu olarak gösterilebilir. Bununla beraber biodieselin özgül ağırlığı daha yüksek olduğundan birim hacimdeki enerji düşüşü yaklaşık olarak %5'dir (Agarwal ,2006). Biodiesellerin Diesel yakıtı ile gösterdikleri fark motor hızı arttıkça iyice azalmaktadır. Buna neden olarak hava hareketlerinin iyileşmesine bağlı olarak biodieselin sahip olduğu yüksek viskozitenin olumsuz etkisinin azalması gösterilebilir.

Devam eden grafikte farklı motor hızları için biodiesel kullanılması durumunda yaşanan güç değişimleri % olarak ifade edilmiştir. Grafiğin genelinde biodiesel kullanılması durumunda (her iki kelebek pozisyonu için de) güç kaybı yaşandığı görülmektedir.



Şekil 10.2 Motor hızına göre biodieselin motor gücü üzerindeki etkisi (Tam yük)



Şekil 10.3 Ortalama % Güç değişim grafiği (Tam yük)

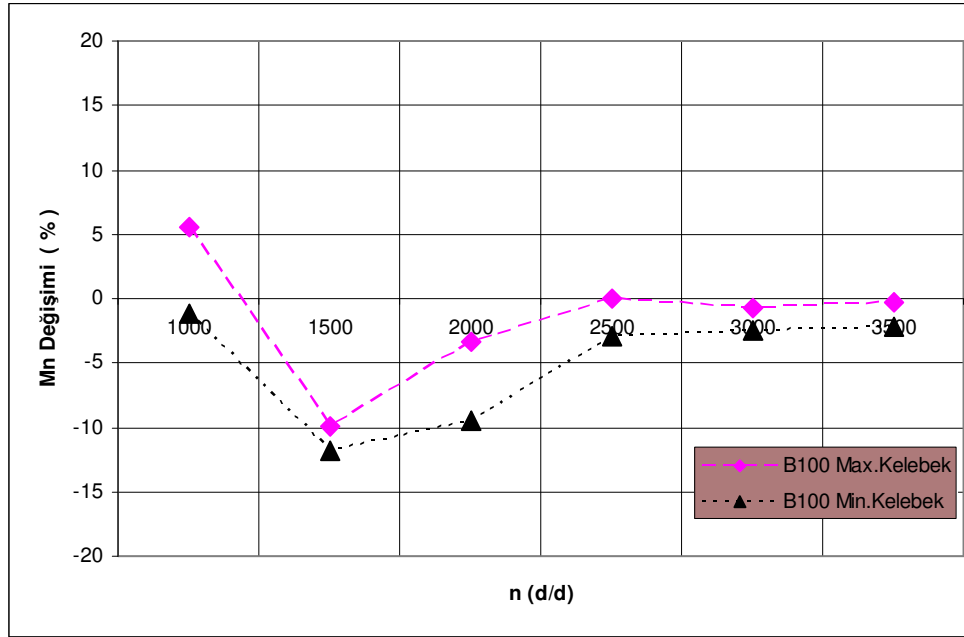
Ortalama güç değişimi değerlerine bakıldığında, biodiesel kullanıldığı durumlar için Diesel yakıtına göre max. ve min. kelebek açıklıklarında sırasıyla %1,5 ve %5 güç düşüşü yaşanmıştır. Özellikle max kelebek açıklığı durumunda yaşanan %1,5'lik düşüş kabul edilebilir bir değer olarak görülebilir. Hava kelebeğinin kısılması sonucu tam açık olduğu duruma göre güçte ortalama %3,6 'lık bir düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş yüksek devirlerde daha az olmaktadır. Bu nedenle hava kelebeğini kısma işlemi yüksek motor hızlarında güç ve tork

açısından daha kullanışlı olabilir. Buradan yola çıkarak hava kelebeğinin motor gücü üzerindeki etkisini daha detaylı görmek için aşağıdaki çizelge incelenebilir.

Çizelge 10.1 Minimum hava kelebeği pozisyonundaki Ne değişimi

n (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	Δ %Ne
%Ne	93,68	97,91	93,67	97,13	98,14	98,02	<u>%3,6</u>
	--	--	--	97,13	98,14	98,02	<u>%2,23</u>

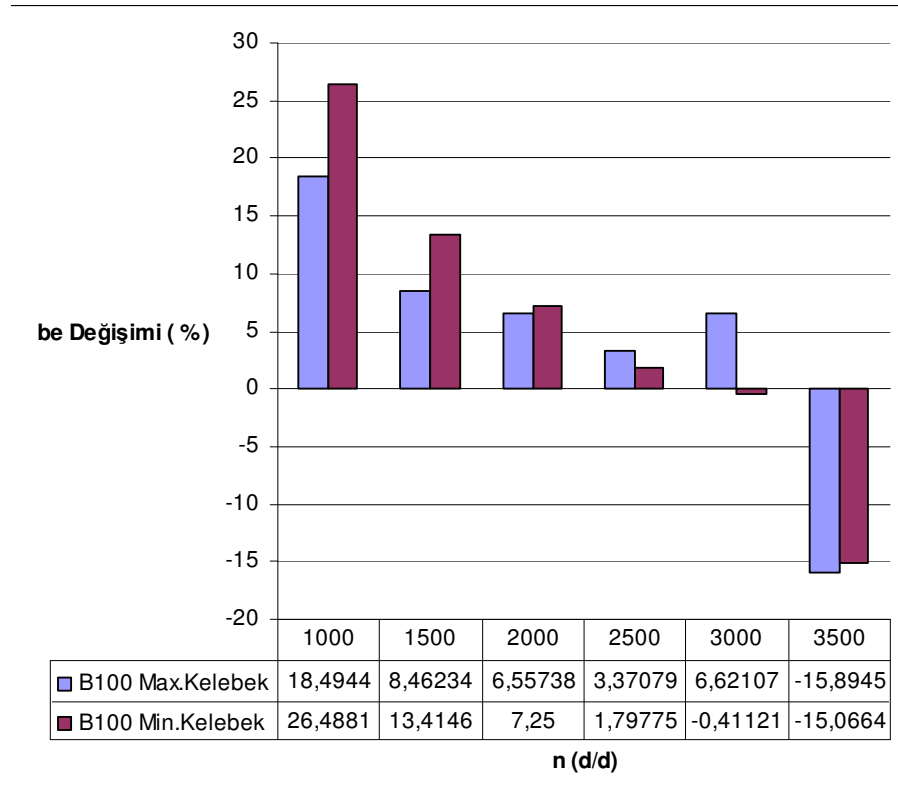
Değerlerden görüldüğü üzere hava kelebeğine yapılan müdahale sonucunda motor gücünde bir düşüş yaşanmıştır. Tüm motor hızlarındaki değerlere bakıldığında bu değer %3,6 dır. Ancak 2500 d/d ve sonrasındaki motor hızlarına bakıldığında yaşanan kayıp %2,23 gibi daha küçük bir değerdir. Buradan hareketle hava kelebeğine yapılan müdahalenin aracın o anki çalışma şartlarına göre optimum olarak ayarlanabilecek bir sistem olarak tasarlanması halinde daha verimli sonuçlar alınabileceği söylenebilir.



Şekil 10.4 Motor hızına göre biodieselin motor torku üzerindeki etkisi (Tam yük)

Biodiesel kullanımı haline motor torkunda yaşanan değişimler güçte yaşananlara paralellik göstermektedir. Klasik Diesel yakıtı ile yaşanan farkın burada da artan motor hızlarıyla birlikte azaldığı görülmektedir.

Her iki yakıtın özgül yakıt tüketimleri karşılaştırıldığında biodieselin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni biodieselin klasik Diesel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olmasıdır. Bundan dolayıdır ki birim enerji eldesi için daha çok yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Motor hızı arttıkça biodiesel açısından karışım teşkilinin ve yanmanın iyileşmesine bağlı olarak değerler olumlu yönde değişmiştir.



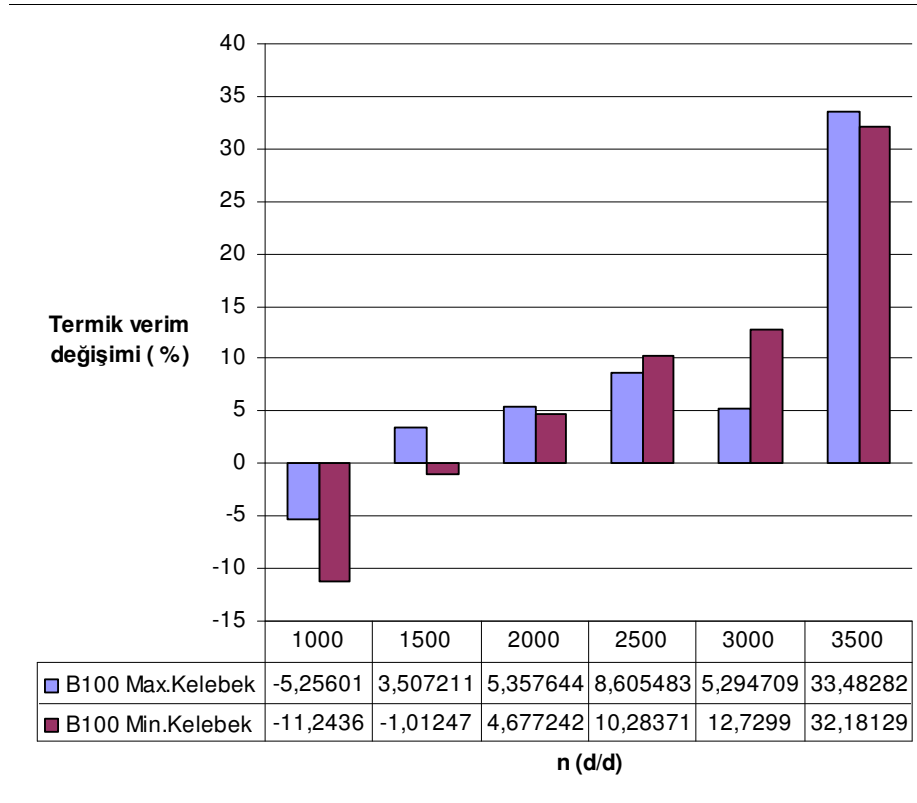
Şekil 10.5 Motor hızına göre biodieselin özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisi (Tam yük)

Yakıt olarak biodieselin kullanıldığı deneylerin sonuçlarını kendi aralarında incelersek aşağıdaki tablodan da görülebileceği gibi özgül yakıt tüketimi açısından endişe edilecek bir fark oluşmadığı görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında hava kelebeğinin kısılması sonucunda oluşan yakıt tüketimi artışı sadece %0,8 'dir.

Çizelge 10.2 Minimum hava kelebeği pozisyonundaki be değişimi

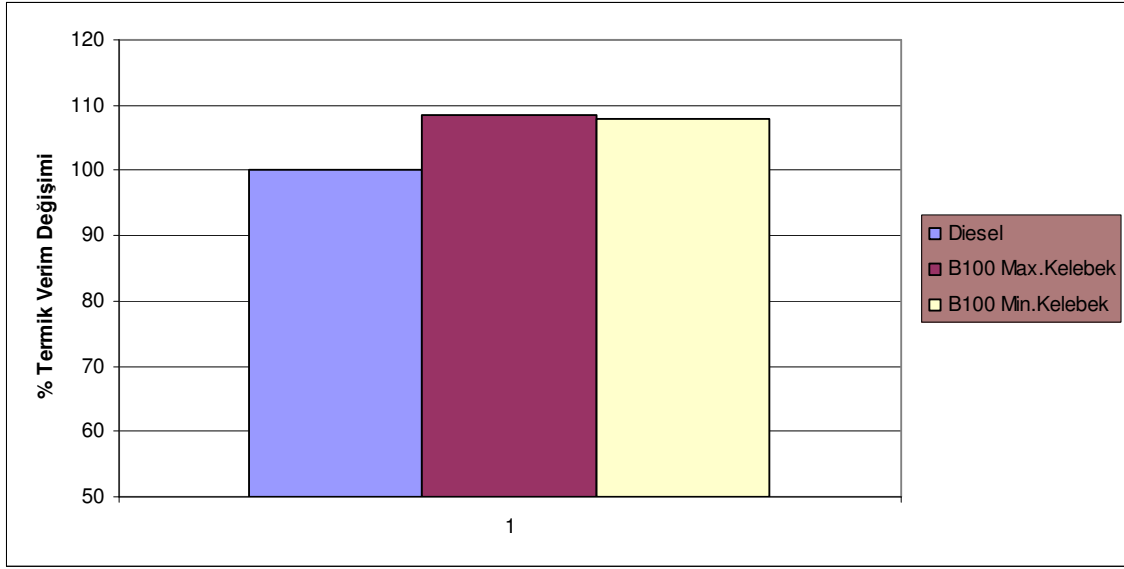
n(d/d)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	Δ %Ne
% be	106,74	104,56	100,65	98,47	93,40	100,98	<u>%0,8</u>

Termik verim değerlerine bakıldığında biodieselin daha verimli bir yanma sağladığı söylenebilir. İçerdiği oksijen sayesinde daha iyi bir yanma sağladığından termik verim değerleri Diesel yakıtına göre olumlu şekilde değişmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta düşük motor hızlarında biodieselin termik veriminin düşüş göstermesidir. Bunun nedeni zayıf pulverizasyon ve iyi bir şekilde gerçekleşemeyen karışım teşkiline bağlanabilir. Hava kelebeğinin kısılması ve buna bağlı olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi de benzer sonuçlar doğurur. Karışım oluşturmada sıkıntı yaşanan düşük devirlerde ortamda bulunan hava miktarının azalması yanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Motor hızı arttığında silindir içi hava hareketleri, pulverizasyon ve buna bağlı olarak yanma iyileşeceğinden bu sıkıntı giderek azalacaktır.



Şekil 10.6 Motor hızına göre biodieselin termik verim üzerindeki etkisi (Tam yük)

Yakıt olarak biodieselin kullanıldığı deneylerde hesaplanan termik verim değerlerinin ilk ölçüm noktası olan 1000 d/d dışında klasik Diesel yakıtına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Termik verim değerinde max ve min hava kelebeği açıklıkları için sağlanan iyileşme sırasıyla %8,49 ve %7,93 'dür. Yapılan çalışma dahilinde biodieselin termik verim üzerinde olumlu bir etki gösterdiği söylenebilir.



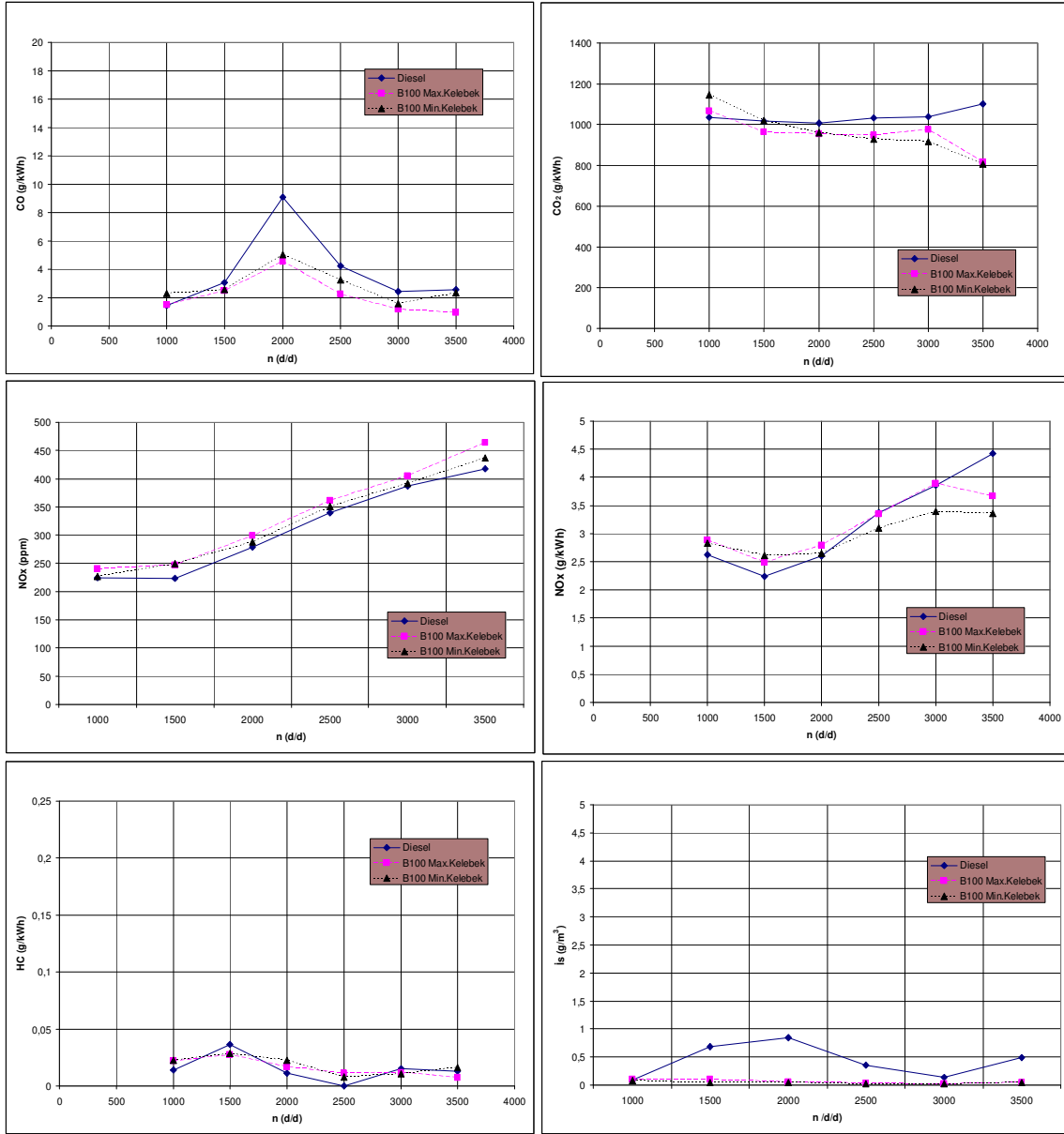
Şekil 10.7 Ortalama % Termik verim değişim grafiği (Tam yük)

Çizelge 10.3 Biodiesel yakıtının farklı hava keleşi pozisyonundaki η_{th} değerleri

n (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000	3500
η_{th} (max. keleş)	0,264	0,294	0,299	0,302	0,293	0,352
η_{th} (min. keleş)	0,247	0,281	0,298	0,307	0,314	0,348

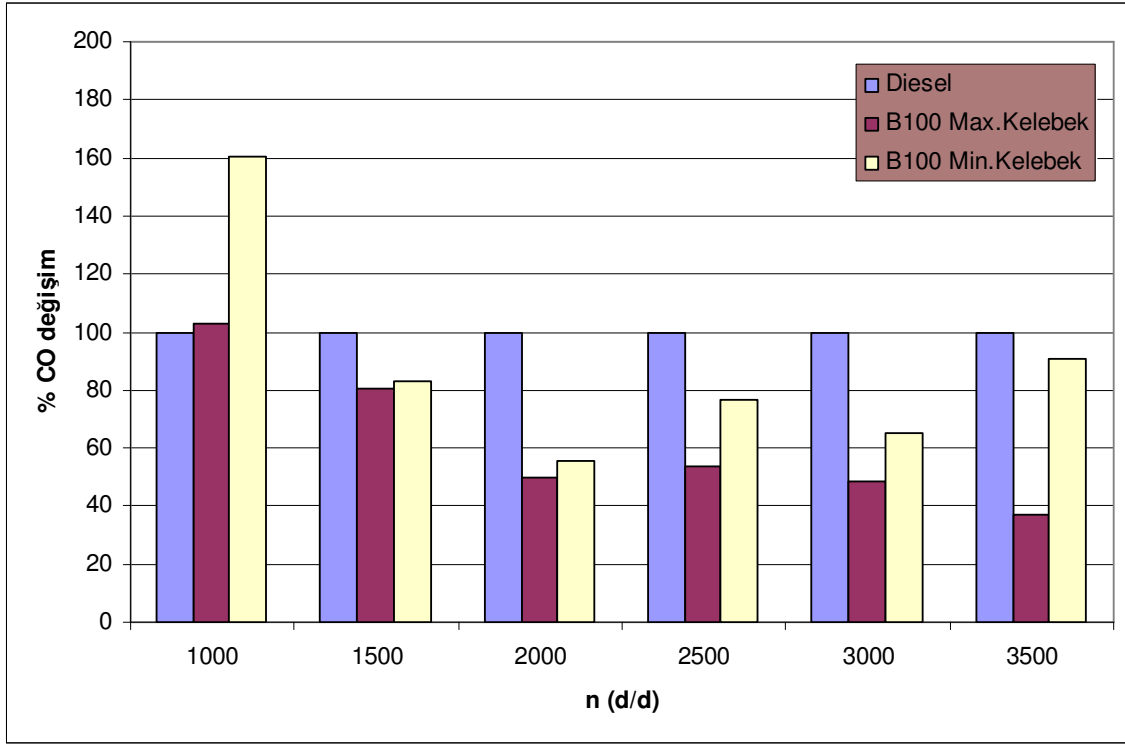
Yukarıdaki değerler üzerinden hareket edilerek hava keleşi pozisyonun değiştirilmesinin termik verim üzerindeki etkisine bakıldığında değişimin ~%-0,6 olduğu görülmektedir. Bu müdahalenin verimde ciddi bir düşüşe neden olmadığı söylenebilir.

10.2 Tam Yük Konumu Emisyon Deney Sonuçlarının Analizi



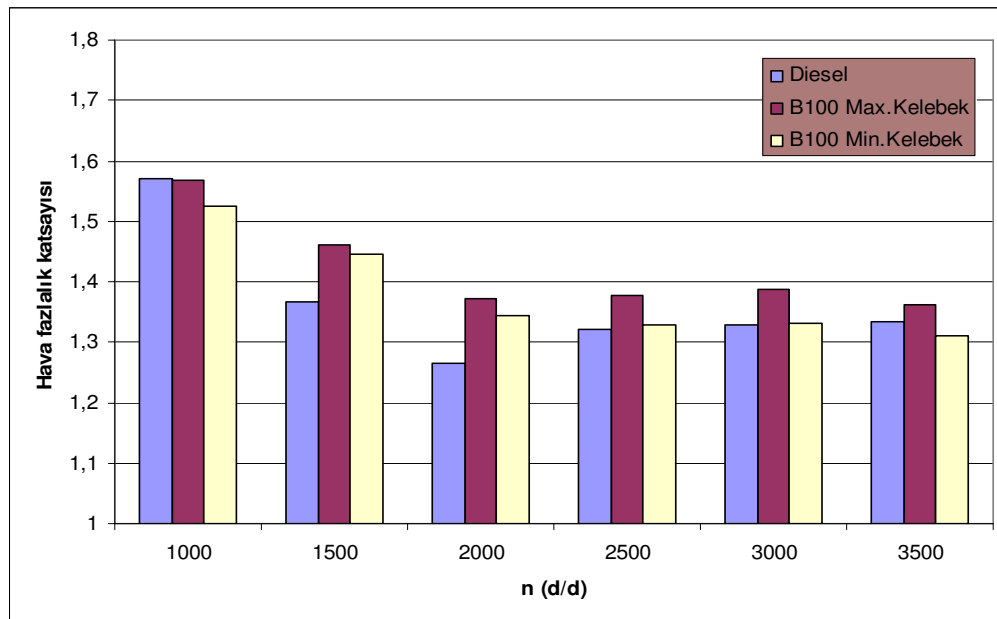
Şekil 10.8 Tam yük konumu için emisyon deneyi sonuçları

Tam yük şartı için karbon monoksit (CO) emisyonlarının değişimi deney sonuçlarında görülmektedir. 1000 d/d motor hızında biodiesel yakıtı her iki hava kelebeği pozisyonu için de Diesel 'e göre daha yüksek CO emisyonu değerleri vermiştir. Bunun nedeni biodieselin sahip olduğu yüksek viskozitenin pülverizasyon üzerindeki olumsuz etkilerinin düşük devirlerde daha net görülmesi olarak açıklanabilir. Özellikle min. hava kelebeği pozisyonunda hava hareketlerinin yetersizliği azalan hava miktarı ile birleşince CO emisyonları fazlasıyla yükselmiştir.



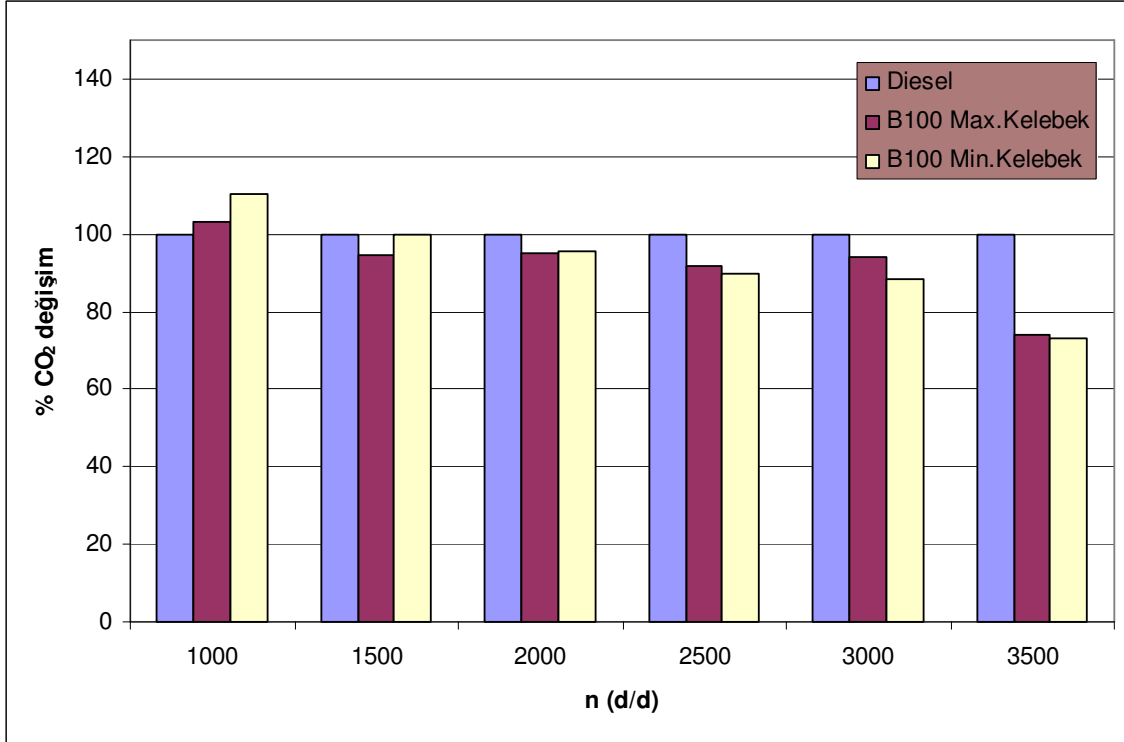
Şekil 10.9 Motor hızlarına göre % CO değişimi (Tam yük)

Artan motor hızı ile turbonun da daha verimli çalışmasıyla pülverizasyon iyileştiği ve daha sağlıklı bir yanma olduğu düşünülmektedir. Bu noktadan sonra biodiesel oksijen içeriği sayesinde daha iyi bir şekilde yanmakta ve Diesel yakıtına göre daha düşük CO değerleri vermektedir.



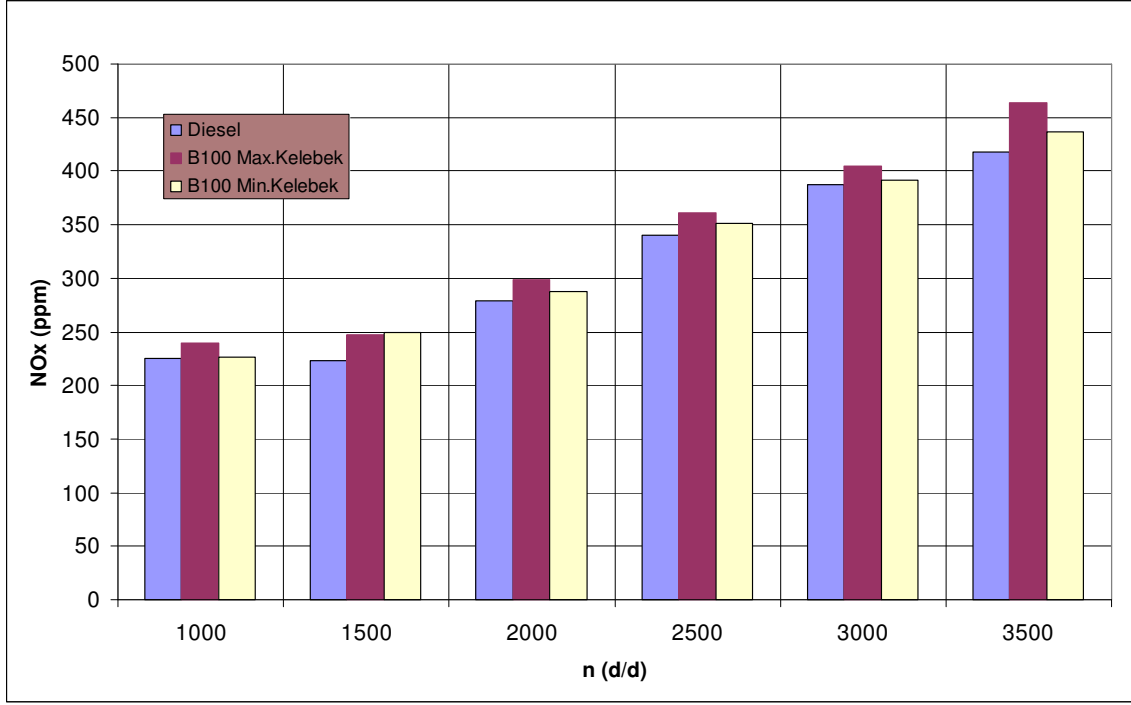
Şekil 10.10 Motor hızlarına göre λ değişimi (Tam yük)

Biodiesel yakıtının kullanıldığı deneyler sırasında hava kelebeği kısıldığında hava fazlalık katsayı değerleri (λ) düşüş göstermiştir. Beklenildiği gibi tam açık hava kelebeği konumundaki şartlara göre daha zengin bir karışım oluşmuştur. Bunun sonucu olarak da CO emisyonlarında artış gözlenmiştir.



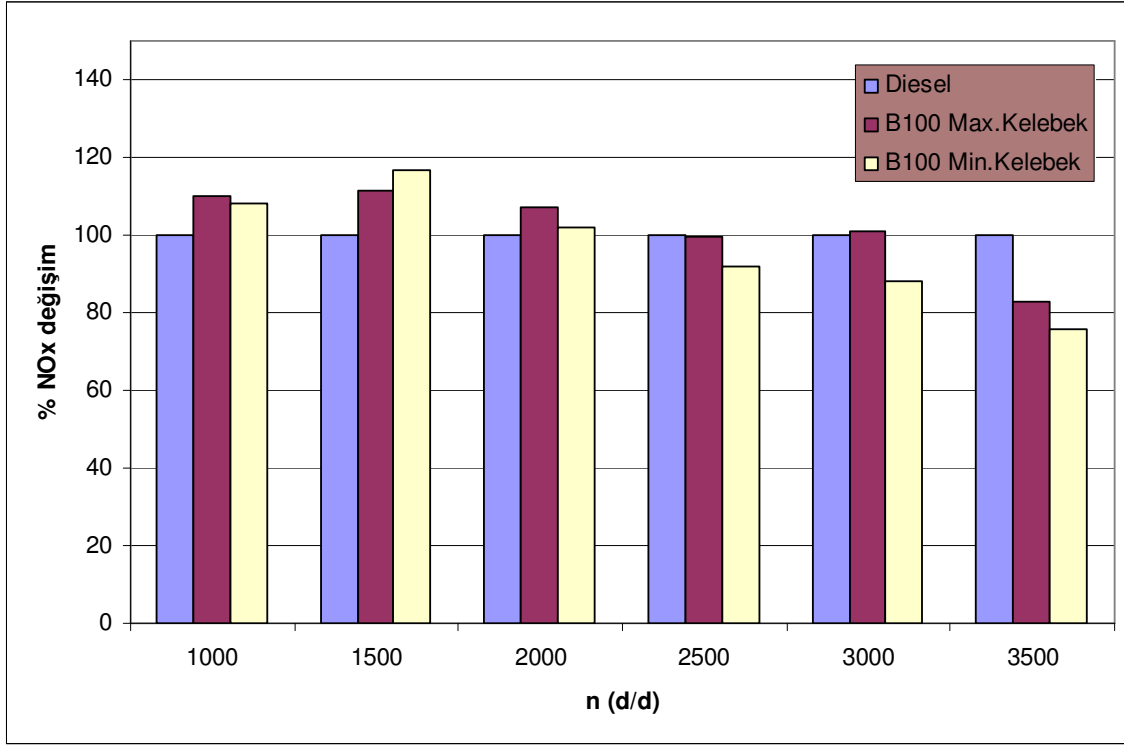
Şekil 10.11 Motor hızlarına göre % CO₂ değişimi (Tam yük)

Tam yük şartına göre çizilen karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının değişimi grafiğinde biodiesel her iki hava kelebeği pozisyonu için de klasik Diesel yakıtına oranla daha düşük CO₂ değerleri vermiştir. Bunun nedeni biodieselin düşük karbonlu bir yakıt olması ve karbon hidrojen oranının Diesel yakıtına göre daha düşük oluşudur. Bunun sonucu olarak biodiesel yandığında klasik Diesel yakıtına oranla daha az CO₂ emisyonu üretmektedir.



Şekil 10.12 Farklı motor hızlarındaki NO_x emisyonları (ppm) (Tam yük)

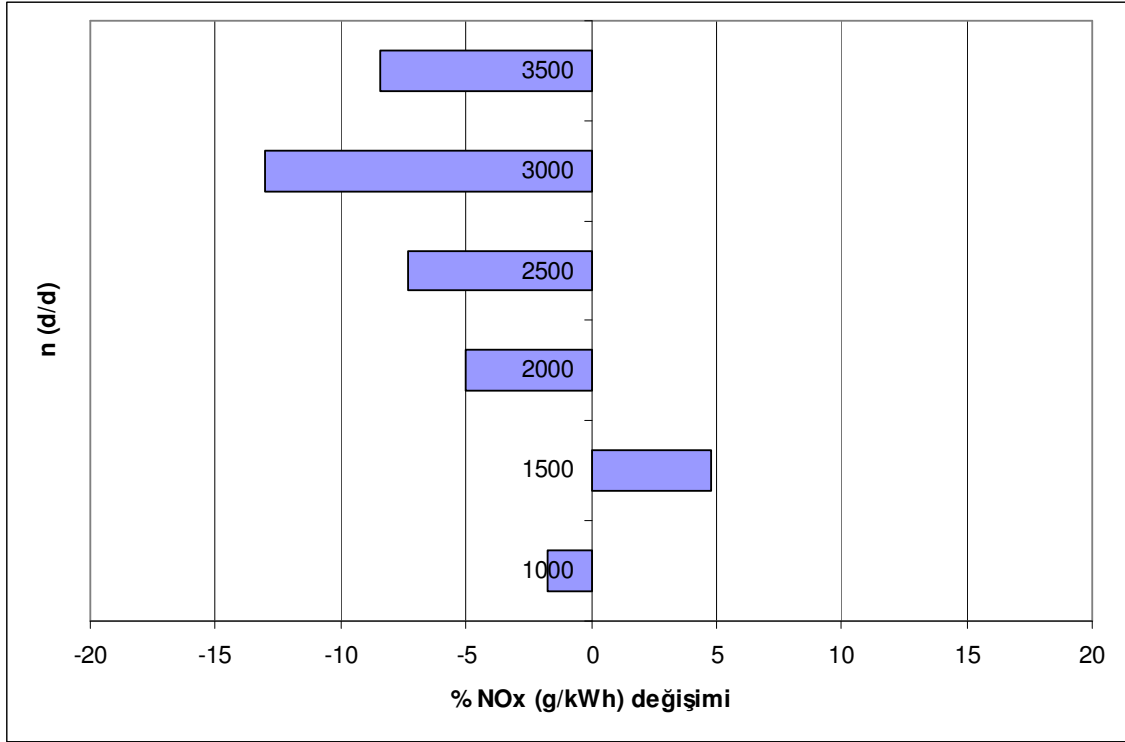
Motorun tam yük şartında çalıştırıldığı bu koşul için NO_x emisyonlarını hacimsel yüzde olarak gösteren grafiğe bakıldığında literatürün geneli ile uyduğu söylenebilir. Yakıt olarak biodiesel kullanıldığında beklenildiği gibi NO_x emisyonlarında yakıt olarak klasik Diesel yakıtının kullanıldığı durumlara göre bir artış görülmüştür. Bu artış max. hava kelebeği açıklığı durumunda yaklaşık %7 olarak gerçekleşmiştir. Buna neden olarak yanmanın NO_x 'leri arttıracak şekilde iyileşmesi gösterilebilir.



Şekil 10.13 Motor hızlarına göre %NO_x değişimi (Tam yük)

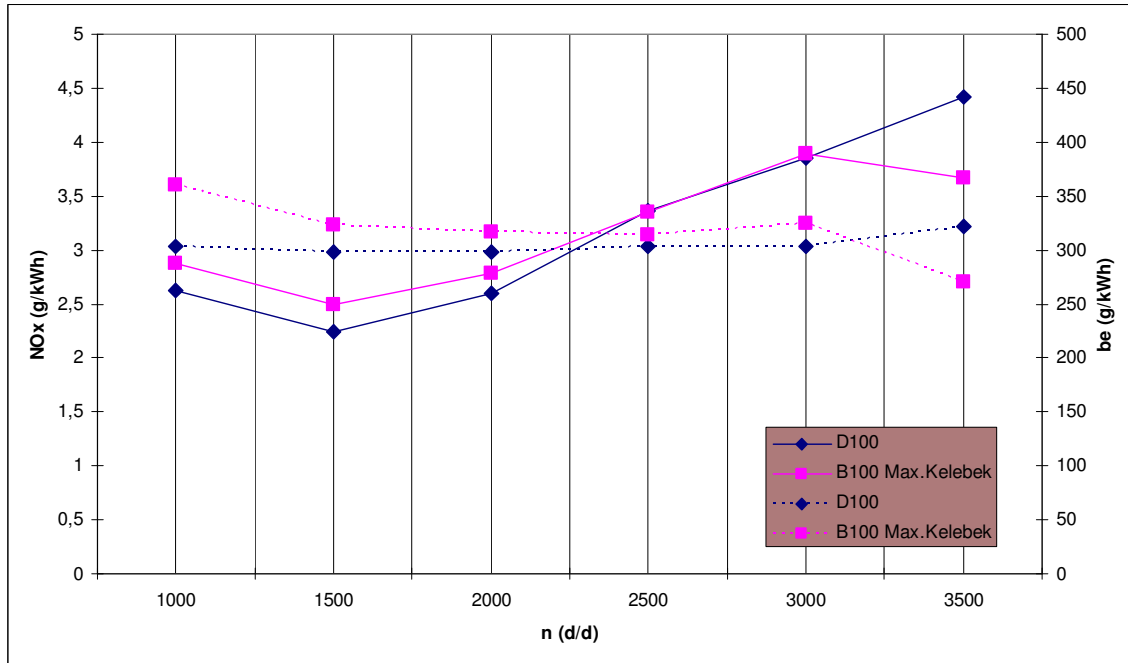
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi birim güç başına üretilen azot oksit kütlesi bazında yapıldığında elde edilen grafik ilk grafiğe göre bir takım farklılıklar göstermektedir. Düşük motor hızlarında biodiesel, klasik Diesel yakıtına göre yine daha yüksek NO_x değerleri vermiştir. Grafiğin devamında ise artan motor hızları ile Diesel ve max kelebek açıklığındaki biodieselin NO_x değerlerinin birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. Buradaki değişim özgül yakıt tüketimi değerlerinin seyri ile ilişkilendirilebilir. Artan motor hızlarıyla birlikte max kelebek pozisyonu için biodieselin özgül yakıt tüketimi değerleri düşmektedir. Birim enerji eldesi için tüketilen yakıt miktarının düşmesi NO_x emisyonlarını azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Birim güç için yakılan yakıt oransal olarak düşmüş bu da ortam sıcaklığına yansımıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus yakıt olarak biodieselin kullanıldığı deneylerde hava kelebeği üzerinde yapılan değişikliklerin NO_x emisyonları üzerindeki etkisinin yapılan ilk değerlendirme ve buna bağlı oluşturulan grafik ile benzerlik göstermiş olmasıdır.

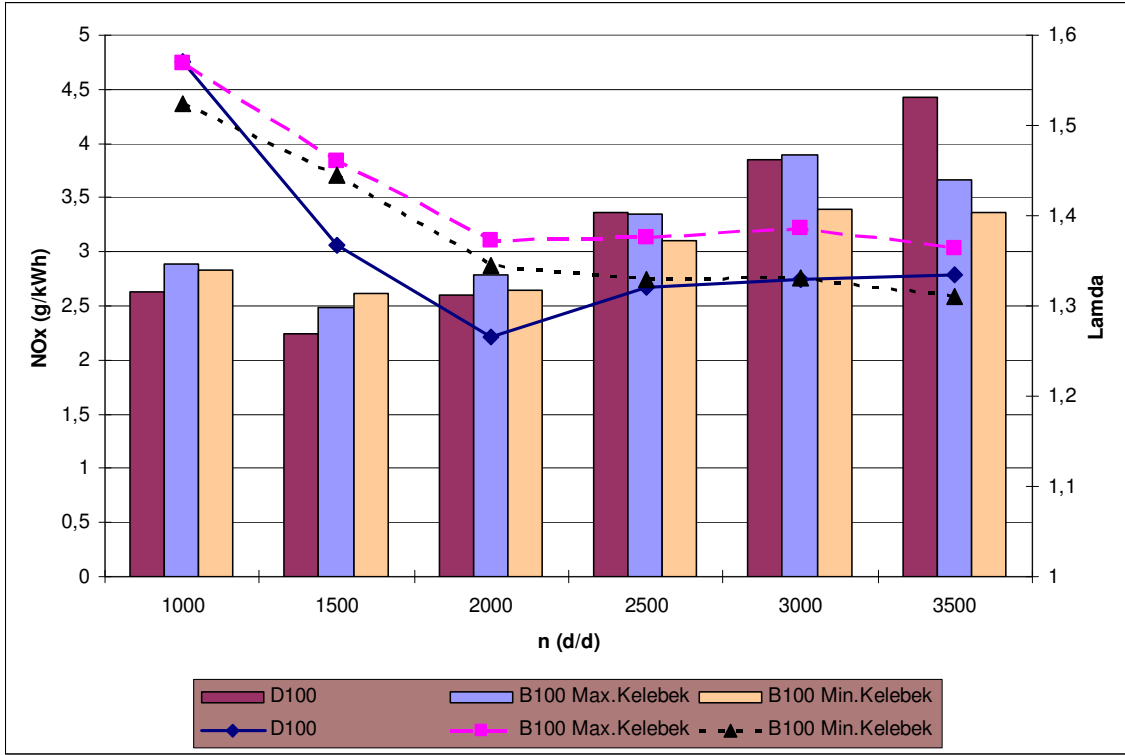


Şekil 10.14 Minimum hava keleşi pozisyonundaki NO_x emisyonu değişimi

Tıpkı motor gücünde ortaya çıkan tablo gibi NO_x kontrolünde de hava keleşine yapılan kısma müdahalesinin yüksek motor hızlarında daha verimli olduğu görülmektedir.

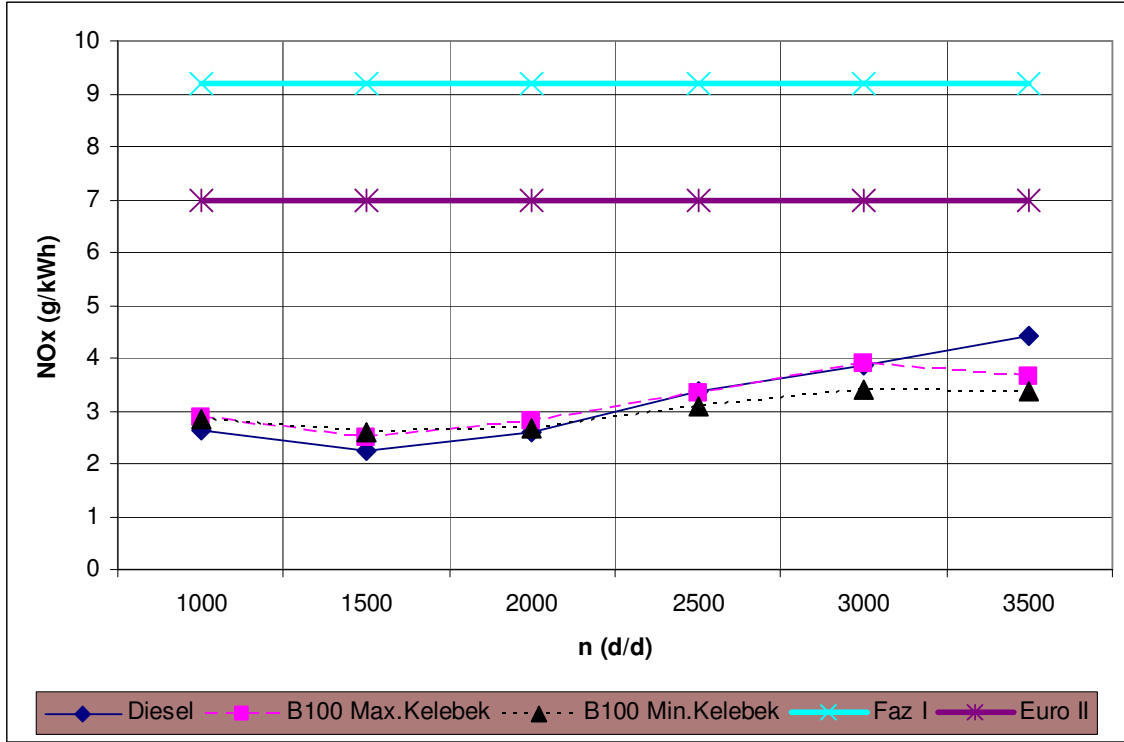


Şekil 10.15 NO_x emisyonları ve b_e ilişkisi (Tam yük)



Şekil 10.16 Motor hızına göre NO_x ve hava fazlalık katsayısı değişimleri (Tam yük)

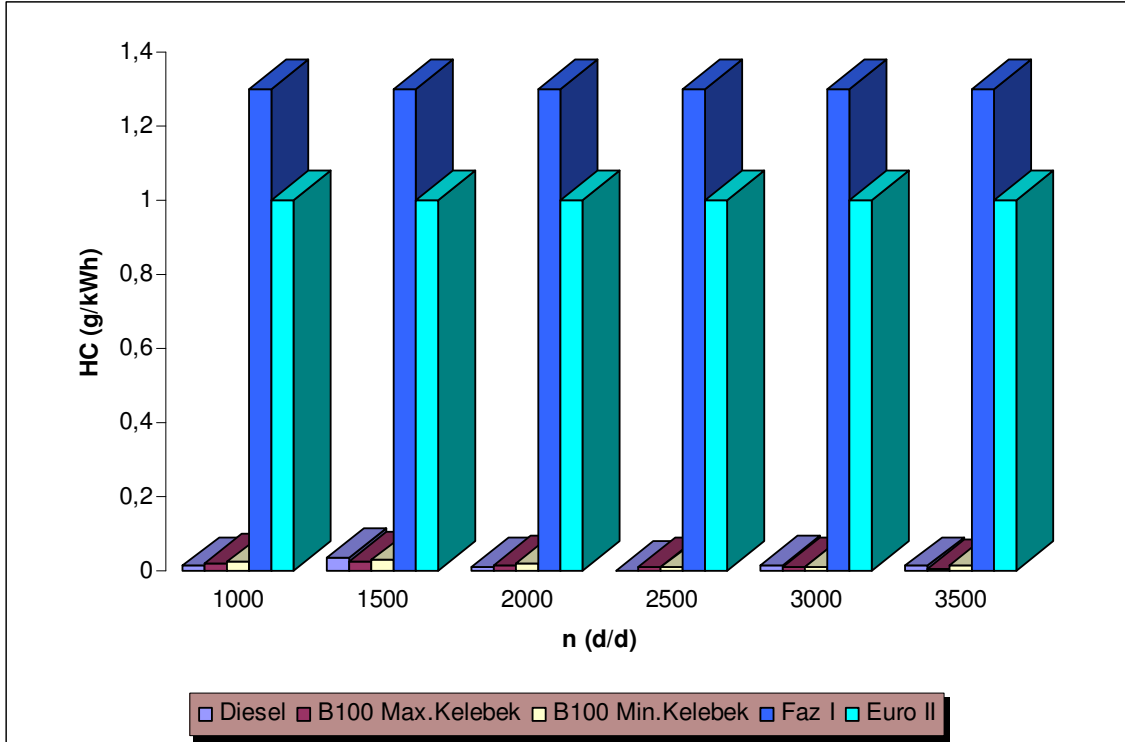
Yukarıdaki grafik incelendiğinde yapılan çalışmanın temel amacı yönünde bazı sonuçlar görülmektedir. Öncelikle motorda kullanılan yakıtın Diesel 'den biodiesele çevrilmesiyle hava fazlalık katsayısında açıkça görülen bir artış olmuştur. Yakıt olarak biodieselin kullanıldığı durumlarda hava fazlalık katsayısındaki artışın motora sonradan eklenen hava kelebeği düzeneği sayesinde düşürülmesi amaçlanmıştır. Şekilden de rahatlıkla görülebileceği gibi bu düşüş gerçekleşmiştir. Bu verilerin ışığında motorun ürettiği NO_x emisyonları incelendiğinde biodieselin klasik Diesel yakıtı yerine kullanıldığında NO_x emisyonlarının artışına neden olduğu söylenebilir. Biodiesel ile çalıştırılan motorun hava kelebeğinin kısılması sonucu NO_x emisyonlarında düşüş görülmüştür. Buradan yola çıkarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi ile azot oksit emisyonlarının kontrolünün mümkün olduğu görülmektedir.



Şekil 10.17 Limit değerlere göre NO_x emisyonlarının durumu (Tam yük)

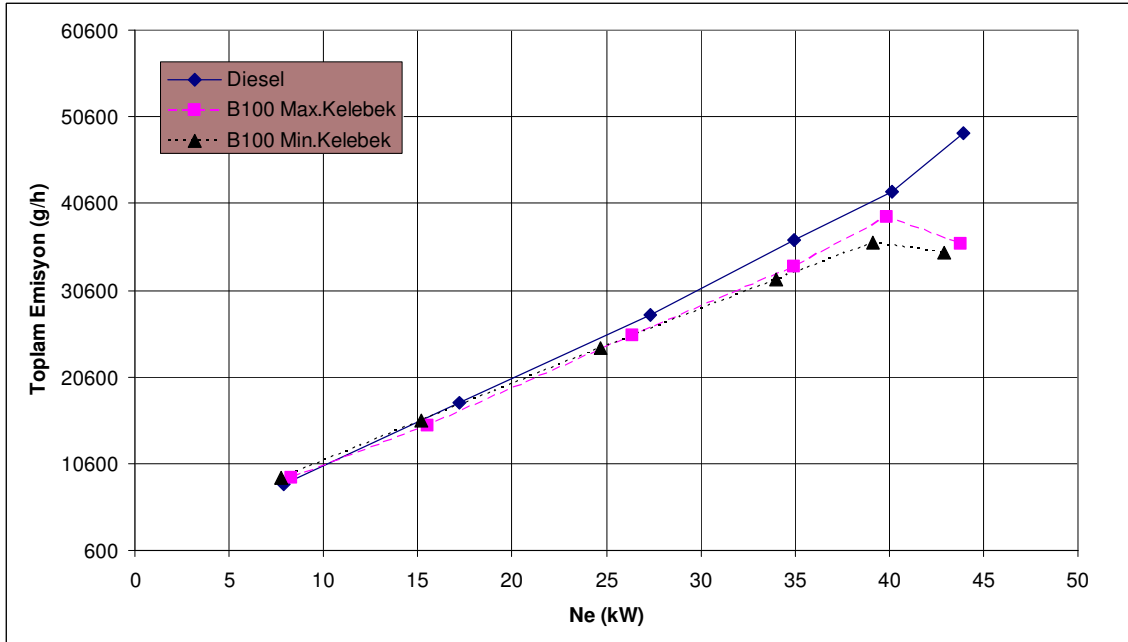
Motorun farklı yakıt ve çalışma koşulları için verdiği HC emisyonu değerlerine bakıldığında kullanılan yakıtların değerler üzerinde önemli değişimlere neden olmadıkları görülmüştür. Özellikle dikkat edilmesi gereken nokta hava kelebeği üzerinden yapılan müdahaleler sonucunda HC emisyonlarının önemli değişiklikler göstermemiş olmasıdır. Azot oksitleri azaltmak maksadı ile yapılan bu müdahalenin HC emisyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir.

HC emisyonları hava fazlalık katsayısı üzerine yapılan müdahalelerde sınırlayıcı bir faktör oluşturmamaktadırlar. İşletme koşullarında yapılan değişikliklere rağmen elde edilen değerler öngörülen sınır değerlerin çok altında kalabilmektedirler. TC Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nın Avrupa Birliği'nin 2004/26, 2002/88/AT ve 97/68/EC direktiflerine paralel olarak hazırladığı taslak metne göre HC emisyonları için müsaade edilen azami HC emisyonu (deney motorunun tabii olduğu sınıf için) 1,3 g/kWh 'dir. Bu hiçbir art işleme tabi tutulmadan direkt motor çıkışı için öngörülen bir değerdir. Bununla birlikte araç egzoz çıkışı değerleri üzerinden kısıtlamalar getiren Euro II standartları uyarınca sınır değer 1 g/kWh 'dir. Her iki durumda da elde edilen değerler limitlerin çok altında kalmakta ve bir sorun teşkil etmemektedir.

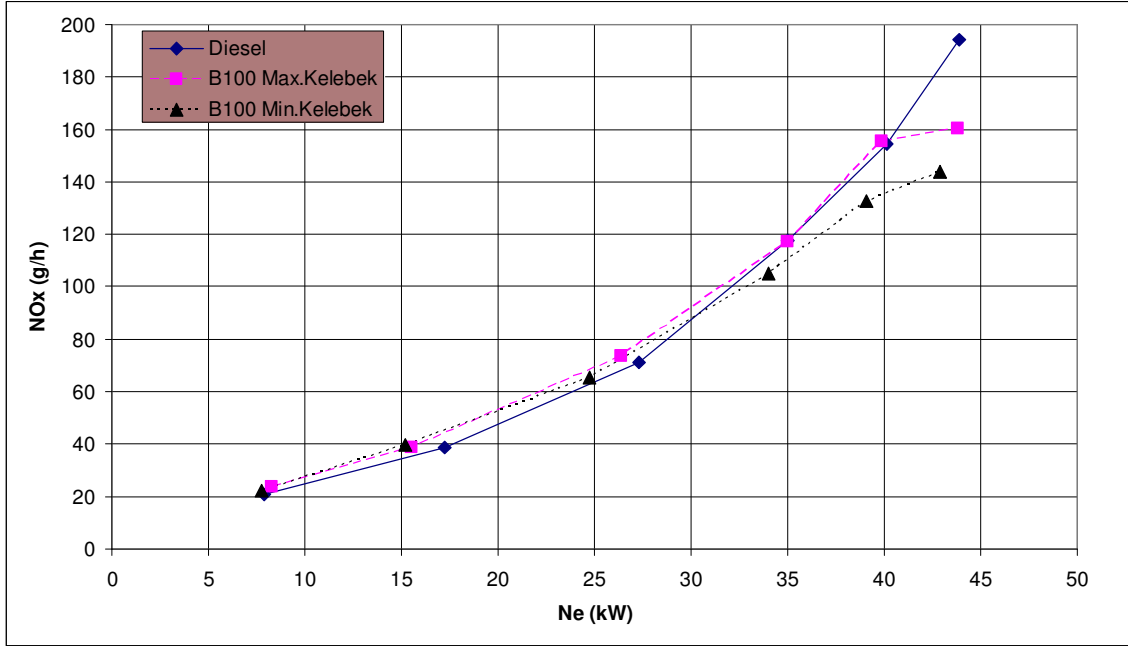


Şekil 10.18 Limit değerlere göre HC emisyonlarının durumu (Tam yük)

Biodieselin oluşan is miktarında önemli bir azalma sağladığı görülmüştür. Azot oksitleri azaltmaya yönelik olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi oluşan is üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmamıştır.



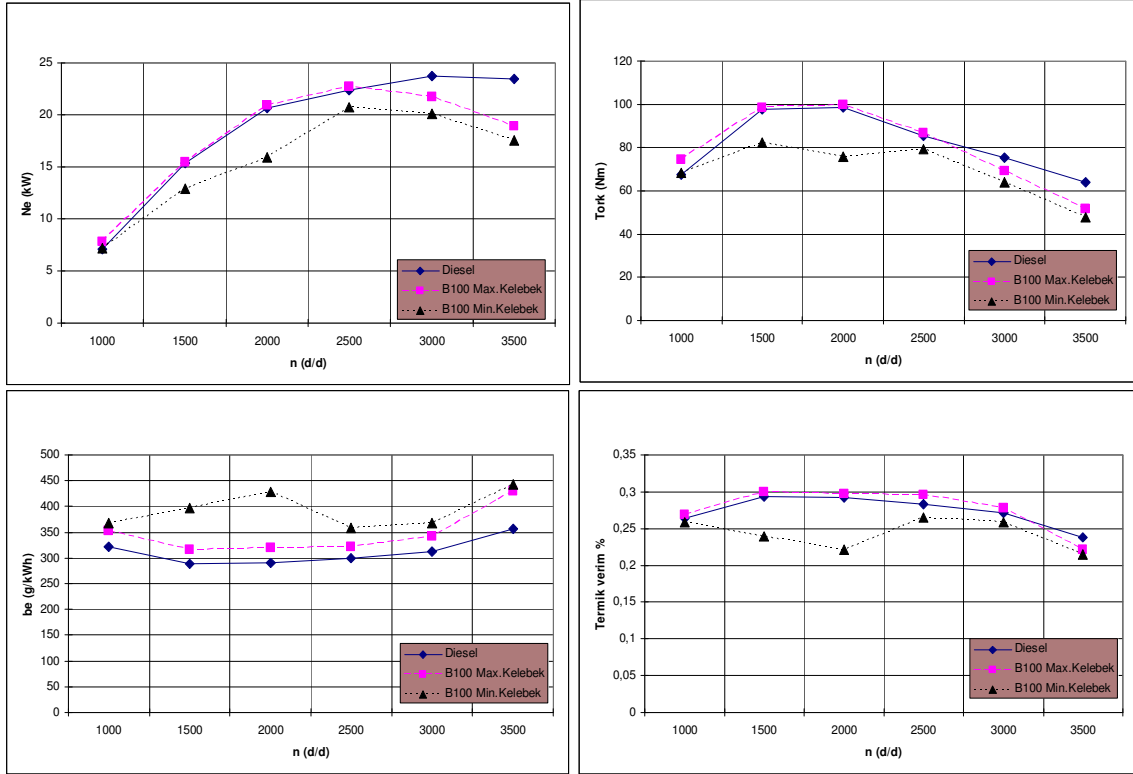
Şekil 10.19 Üretilen motor gücüne göre toplam egzoz emisyonu miktarı (Tam yük)



Şekil 10.20 Üretilen motor gücüne göre NO_x miktarı (Tam yük)

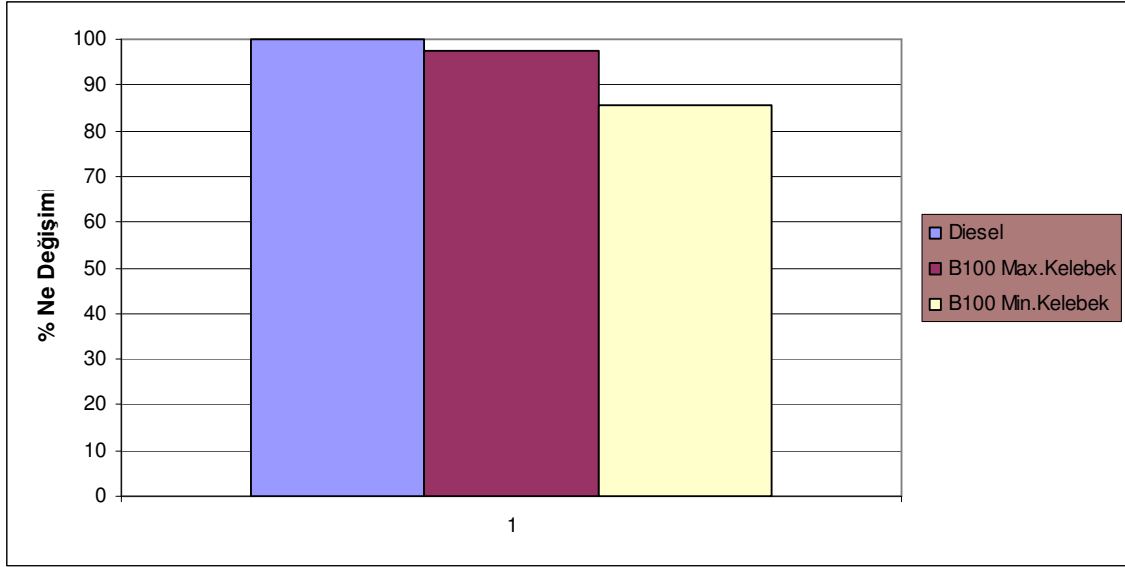
Yukarıdaki grafikte anlık motor gücüne göre üretilen toplam emisyon (CO+CO₂+HC+NO_x) miktarı verilmiştir. Motordan çekilen güç miktarına paralel olarak üretilen emisyonun arttığı görülmektedir. Aynı grafik azot oksitler özelinde incelendiğinde benzer eğilimlerle karşılaşmıştır. Yakılan yakıt miktarının ve buna bağlı olarak sıcaklıkların artmasıyla NO_x emisyonları da artmıştır.

10.3 Kısmi Yük (%50) Performans Deney Sonuçlarının Analizi



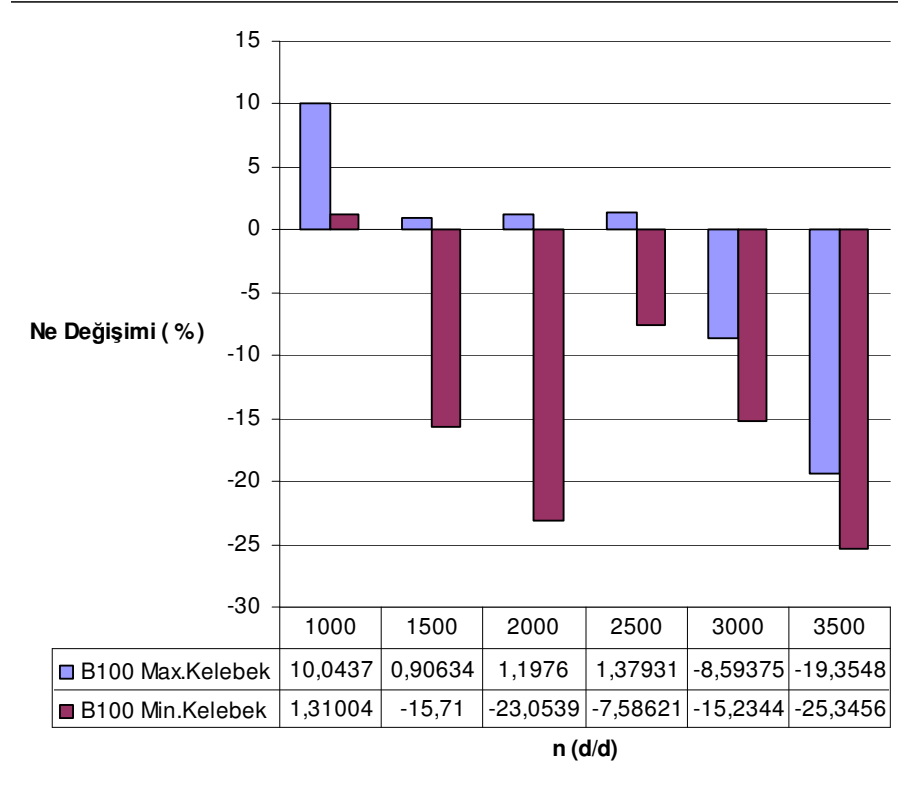
Şekil 10.21 Kısmi yük konumu için performans deneyi sonuçları

DeneySEL sonuçlara göre çizilen grafiklere bakıldığında genel motor karakteristiklerine uyduğu görülmektedir. Genele bakıldığında Diesel ve max. hava kelebeği konumunda biodiesel için yapılan ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. Hava kelebeğinin kısılması ise tüm değerler için belli bir miktar kötüleşmeye neden olmuştur.

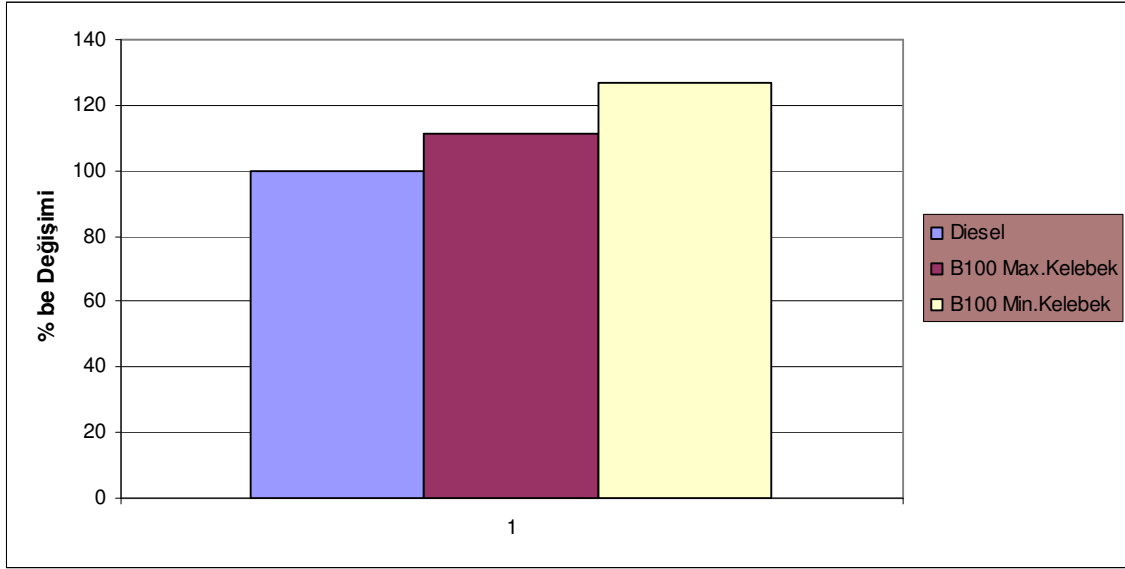


Şekil 10.22 Ortalama % Güç değişim grafiği (Kısmi yük)

Yakıt olarak biodiesel kullanıldığında motor gücünde klasik Diesel yakıtında ölçülen değerlere göre bir miktar düşüş görülmüştür. Bu düşüş max. ve min. hava kelebeği pozisyonu için sırasıyla $\sim\%2,4$ ve $\sim\%14,3$. değerlerdeki bu değişimler motor torku içinde benzer şekildedir.

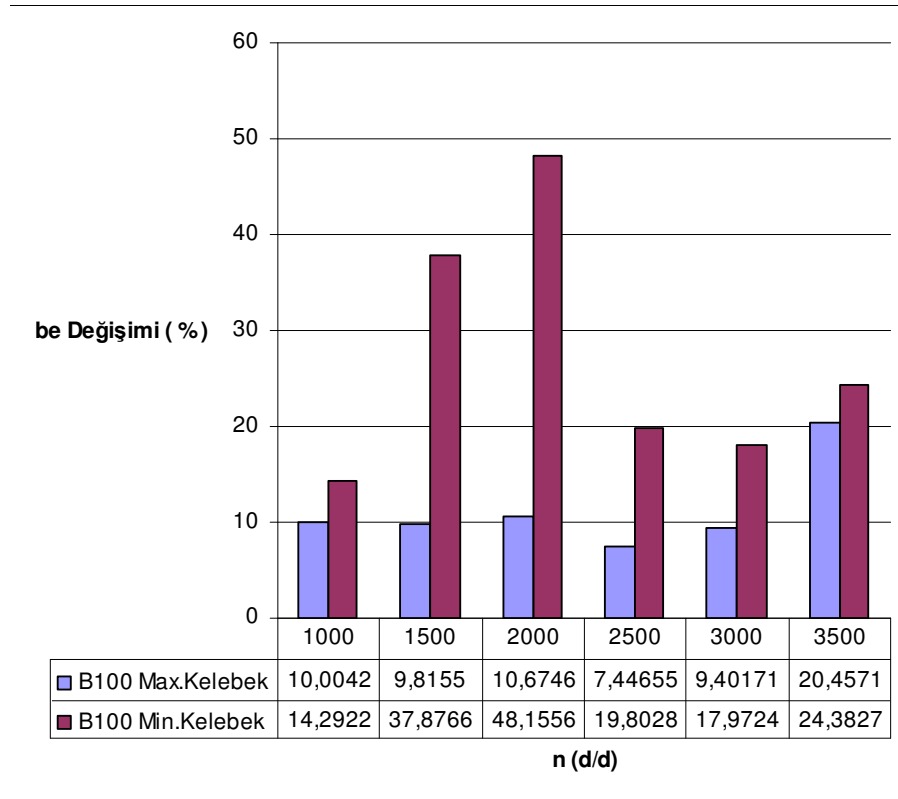


Şekil 10.23 Motor hızına göre biodieselin motor gücü üzerindeki etkisi (Kısmi yük)

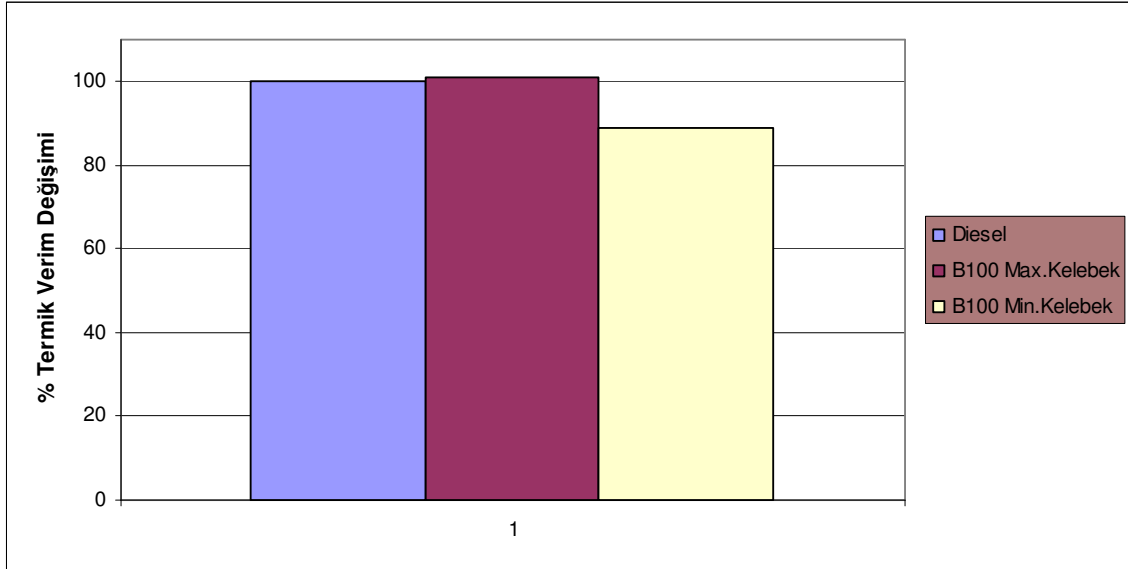


Şekil 10.24 Ortalama % özgül yakıt tüketimi değişim grafiği (Kısmi yük)

Bilindiği gibi biodiesel Diesel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahiptir. Bunun bir sonucu olarak sistem birim enerji eldesi için daha fazla yakıtı ihtiyaç duymaktadır. Sonuçlarda bu tespiti desteklemektedir. Yakıt olarak biodiesel kullanılması durumunda özgül yakıt tüketimi klasik Diesel yakıtı değerlerine göre ~%11,3 artmıştır. Hava kelebeğinin kısılması ile bu fark daha da artarak ~%27 e yükselmiştir.

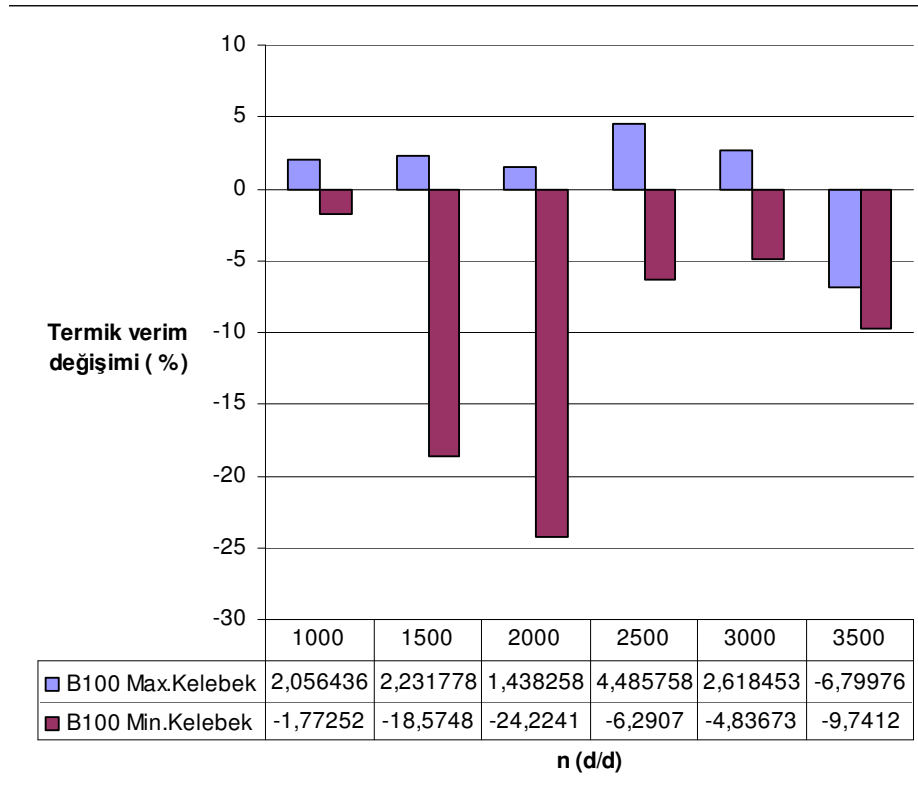


Şekil 10.25 Motor hızına göre biodieselin özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkisi (Kısmi yük)



Şekil 10.26 Ortalama % termik verim değişim grafiği (Kısmi yük)

Termik verim değerlerine bakıldığında ilk iki deney koşulunda çıkan değerlerin hemen hemen aynı oldukları görülmektedir. Minimum hava kelebeği konumunda ise termik verim değeri Diesel yakıtı ile çalışırken hesaplanan değerlerden ortalama olarak ~%11 daha düşüktür.



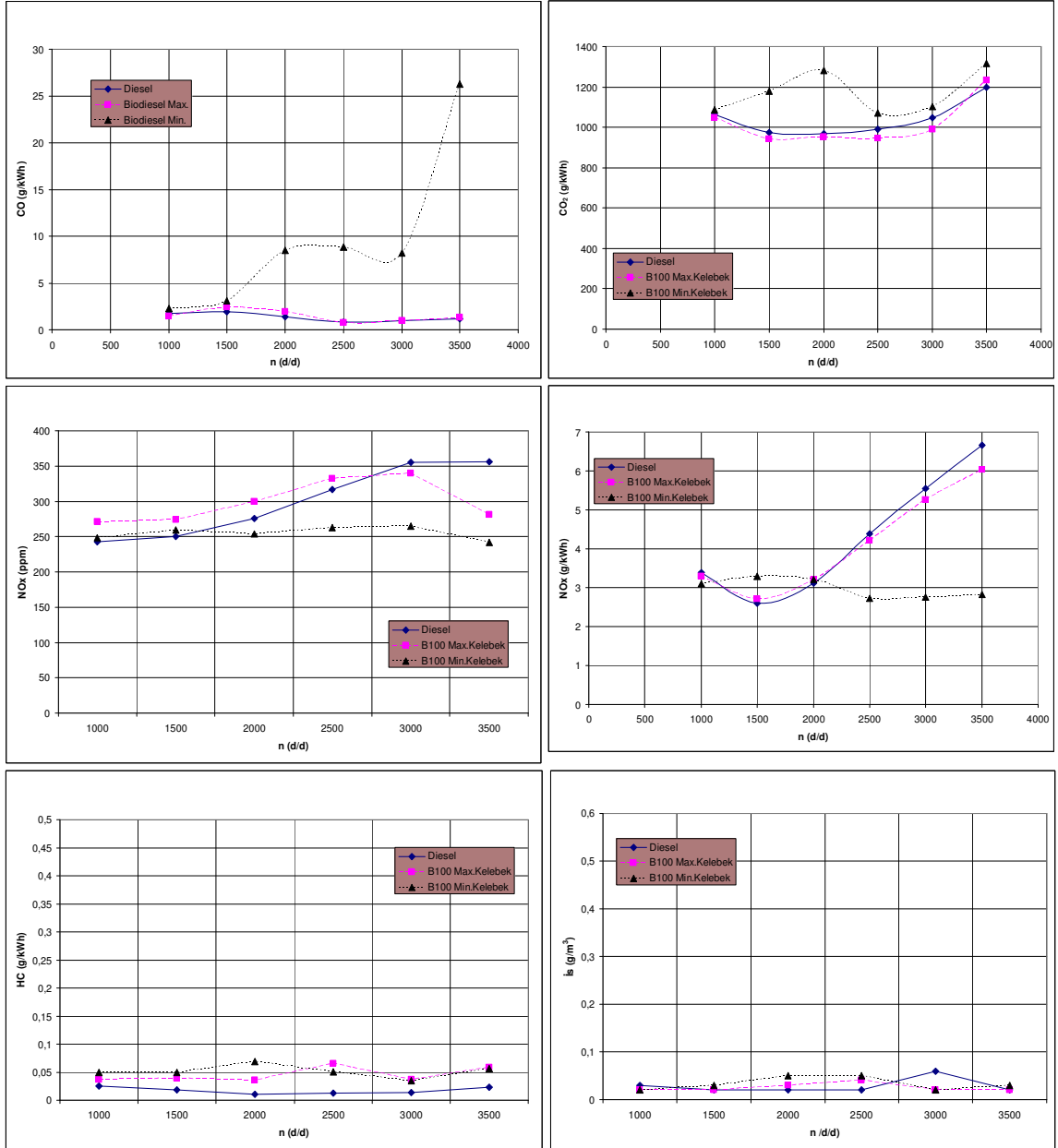
Şekil 10.27 Motor hızına göre biodieselin termik verim üzerindeki etkisi (Kısmi yük)

Kısmi yük şartında motorun karakteristik değerlerine bakıldığın hava kelebeğinin kısılmasının hepsi üzerinde olumsuz etkileri olduğu söylenebilir. Bu değişimler beklenen şekilde olmasına rağmen değişim miktarları beklenenin üzerinde olmuştur. Örneğin biodiesel ile çalıştırılan bir motorda güçte düşüş veya özgül yakıt tüketimindeki artış öngörülen değişimler olarak tanımlanabilir. Fakat belirtildiği gibi deney sonuçlarındaki bu değişimlerin miktarları beklenenden fazla olmuştur. Bunun nedeni hava kelebeğinin kısılması sırasında belirleyici parametre olarak azot oksit emisyonlarının alınmış olmasıdır.

Hava kelebeğine yapılacak müdahalelerle azot oksit emisyonlarının düşürülmesinin amaç olduğu bu çalışmada bu işlemin sınırlarını görmek asıl hedef olarak belirlenmiştir. Bu nedenle mümkün olan en kabul edilebilir noktaya kadar NO_x azatlımı için çalışılmıştır. Elbet ki bu sırada performans değerlerinde yaşanan bozulmalar doğal karşılanmalıdır.

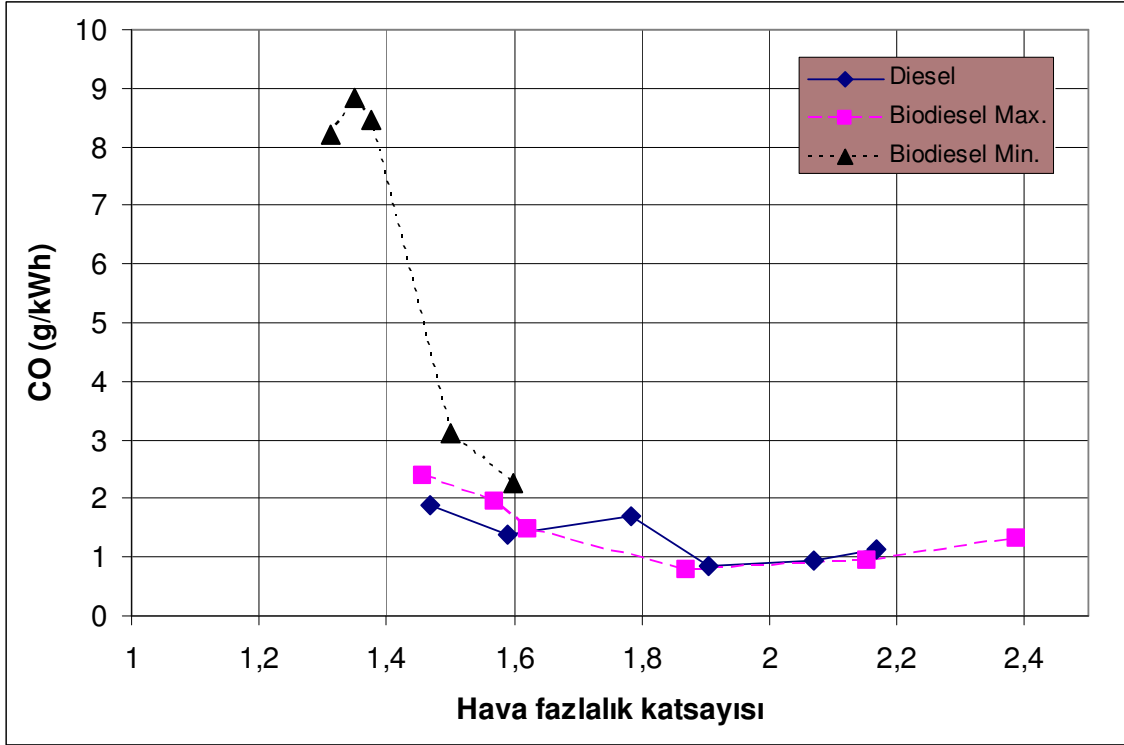
Bu fikir ışığında farklı denemeler yapılarak eldeki veri sayısı arttırıldığı takdirde motorun optimum değerlerde çalışabileceği bir işletim haritasına ulaşılabilir. Böyle bir çalışma koşulunda maruz kalınan kayıplar çok daha kabul edilebilir seviyelerde kalacaktır. Buradaki amaç ise bu kayıpları belli bir noktaya kadar göze alarak azot oksitler açısından sınırların görülebilmesini sağlamak olarak açıklanabilir.

10.4 Kısmi Yük (%50) Emisyon Deney Sonuçlarının Analizi



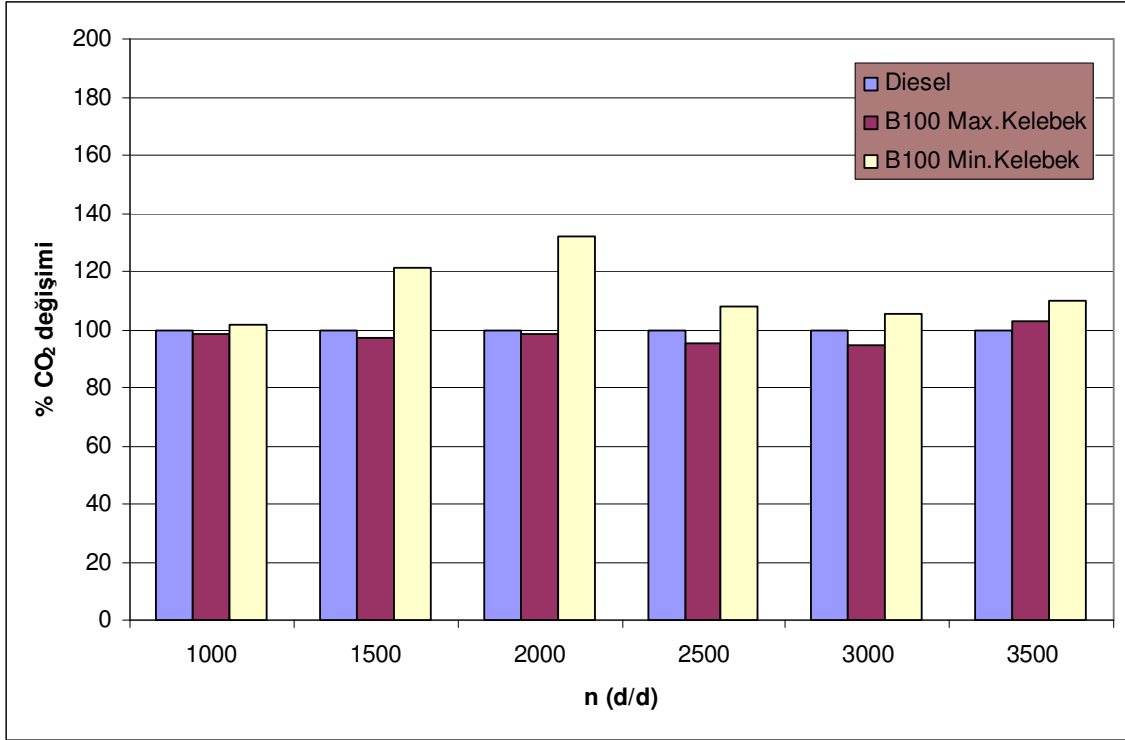
Şekil 10.28 Kısmi yük konumu için emisyon deneyi sonuçları

Bu deneyler sırasında belirli motor hızlarında (1000-3500 d/d) ölçümler yapılmıştır. Fakat deneylerimizin bu aşamasında motor hızından daha önemli olan değişken hava fazlalık katsayısıdır. Bu nedenle hava fazlalık katsayısı değişiminin egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini ifade eden grafikler yapılan müdahalenin etkilerini görmek için daha uygun olacaktır.



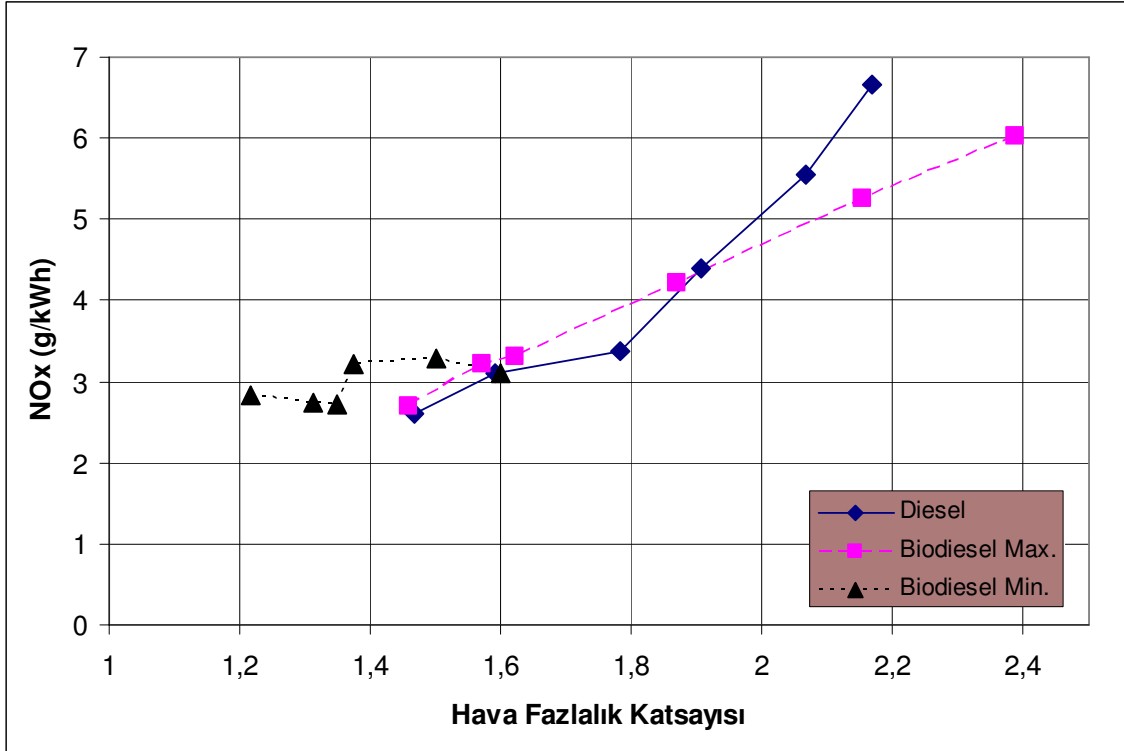
Şekil 10.29 Hava fazlalık katsayısına göre CO değişimi (Kısmi yük)

Azot oksit emisyonlarının kontrolü amacıyla hava fazlalık katsayısı düşürülmesi beklenildiği gibi CO emisyonlarının artmasına neden olmuştur. Burada unutulmaması gereken nokta deneyler sırasında hava kelebeğinin manüel olarak kontrol edildiğidir. Yapılacak deneyler ve bunlardan elde edilecek veriler ışığında hava fazlalık katsayısı değişiminin tüm emisyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilerek optimum işletim koşulları belirlenebilir. Bu değerlere bağlı olacak bir sistem tarafından işletilen motorda bu grafikte görülen CO artışları daha kabul edilebilir değerlerde gerçekleşecektir. Sonuçlar değerlendirilirken amacın azot oksit emisyonlarının azaltılmasında sınır değerleri zorlamak olduğundan diğer emisyonlardaki kısmi artışların göze alındığı unutulmamalıdır.



şekil 10.30 Motor hızlarına göre % NO_x değişimi (Kısmi yük)

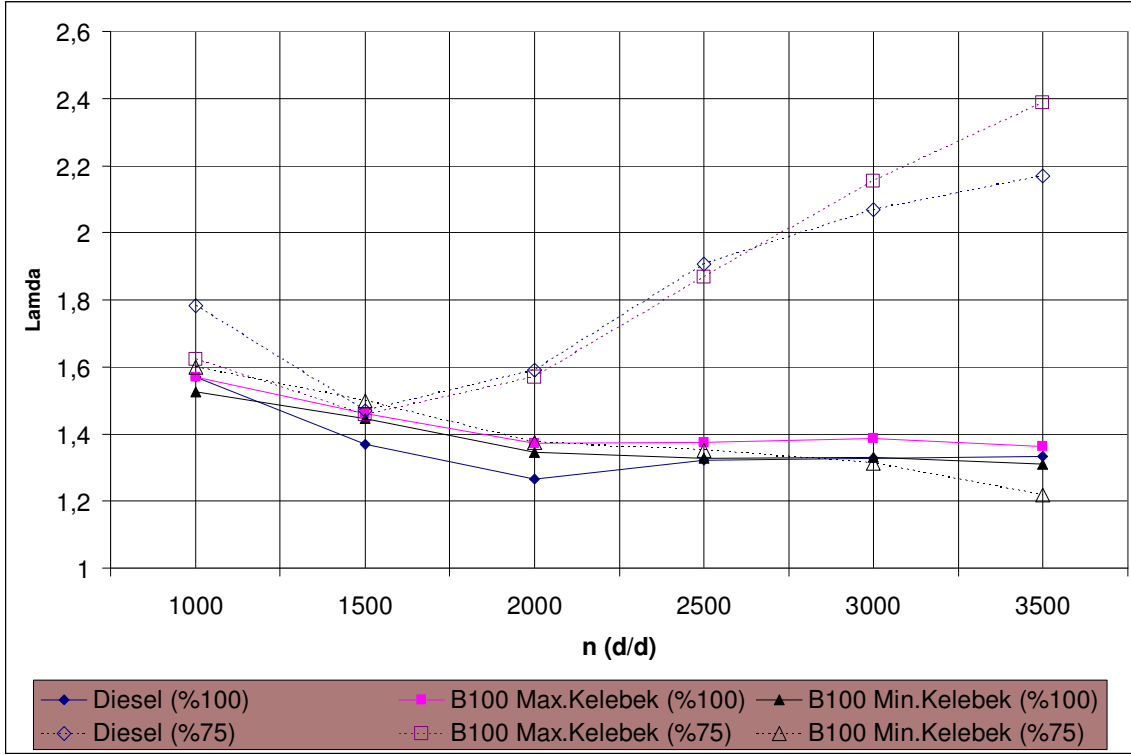
Karbon dioksit emisyonları değişen işletme koşulları altında hemen hemen yakın değerlere sahiptir. Motorun minimum hava kelebeği konumunda biodiesel yakıtı kullanılarak çalıştırıldığı durumlarda 1500 ve 2000 d/d motor hızlarında görülen artışın ise çalışma koşullarında anlık olarak meydana gelen değişimlere bağlı olduğu düşünülmektedir.



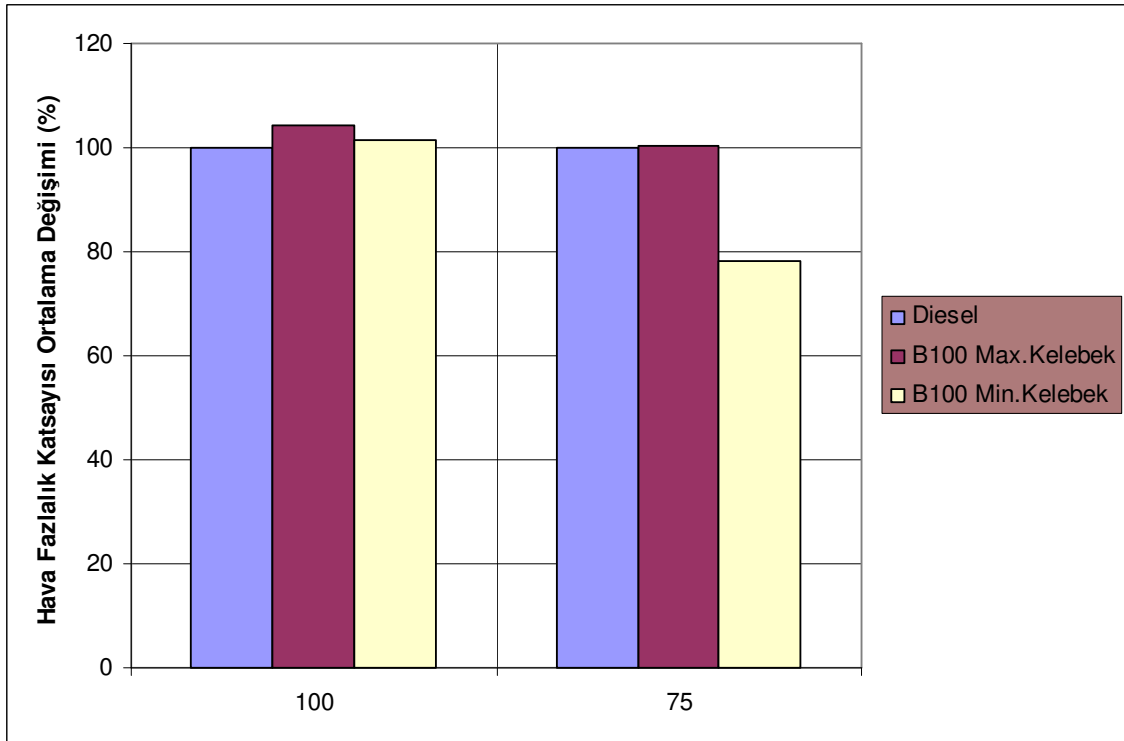
Şekil 10.31 Hava fazlalık katsayısına göre NO_x değişimi (Kısmi yük)

Yukarıdaki grafik incelendiğinde min. hava keleşi konumunda yapılan ölçümlerde hava fazlalık katsayısı değerlerinin diğer deney koşullarındaki değerlere göre düşük olduğu görülmektedir. Bu hava keleşinin kısılmasının λ 'ı düşürmekte etkili olduğu göstermektedir. Aynı grafikten hava fazlalık katsayısının kontrolü ile NO_x emisyonlarının değiştirilebileceği de görülmektedir. Motora giren havanın kısılması sonucunda azot oksit emisyonları diğer koşullara göre gözle görülür biçimde azaltılmıştır.

Bu şekilde sağlanan düşüşün yüksek motor hızlarında (>2000 d/d) önceki sonuçları destekler şekilde daha verimli olduğu söylenebilir. Belirtilen şartlarda, hava keleşinin tam açık olduğu ve yakıt olarak biodieselin kullanıldığı şartlara göre güçte yaşanan %7,9 'luk kayba karşılık azot oksitlerde %45,3 oranında bir azalma gözlenmiştir. Bu değer tam gaz pozisyonunda sağlanan düşüş değerinden (%9,6) oldukça fazladır. Bu noktada iki farklı gaz kolu pozisyonu için hava fazlalık katsayılarının değişime bakmak faydalı olacaktır.

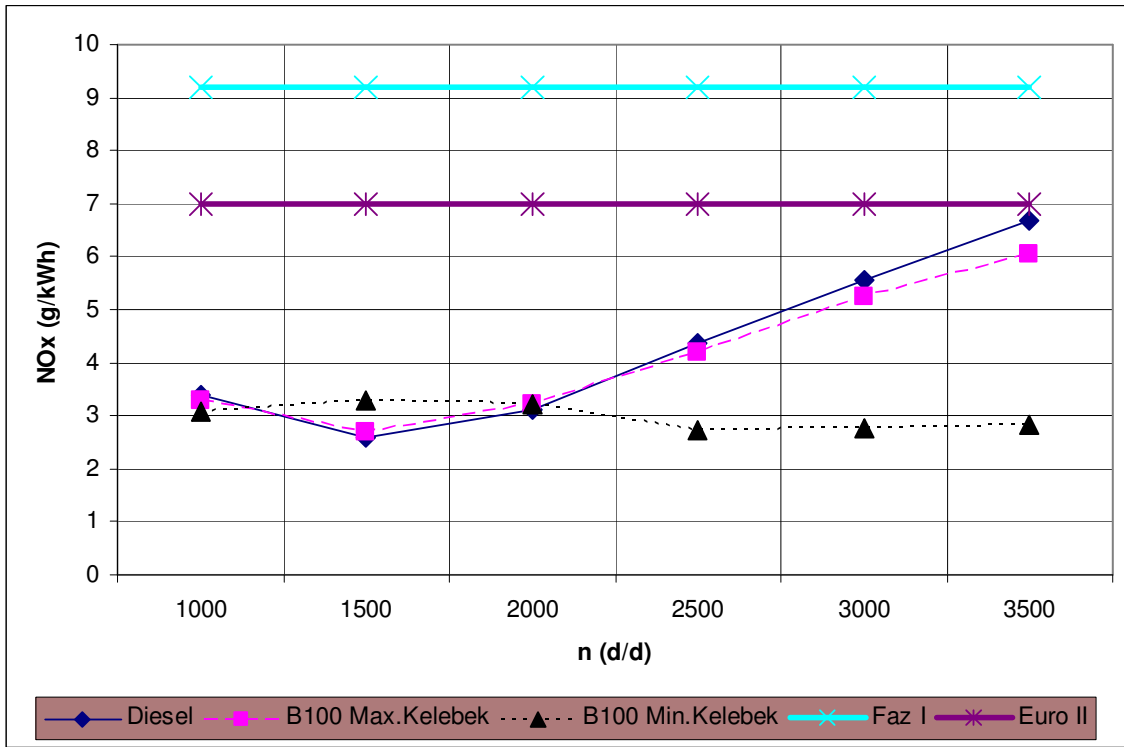


Şekil 10.32 Tüm deney koşullarında yaşanan λ değişimi



Şekil 10.33 Ortalama λ değişimi

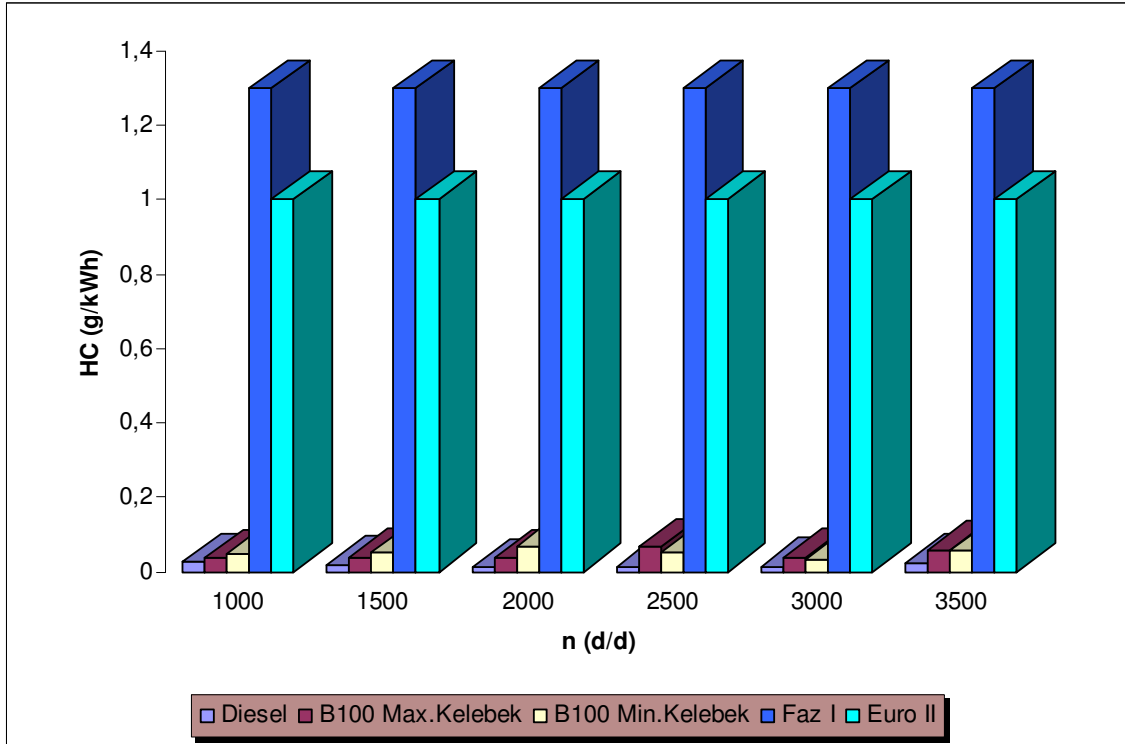
Yukarıdaki grafiklerden de görülebileceği gibi tam yük şartında, değişen işletme şartları ve kullanılan yakıt türüne göre hava fazlalık katsayısı değerlerinin değişim gösterdikleri aralık kısmi yük şartında gözlemlenenlere göre daha dar kalmıştır. Kısmi yük şartında hava kelebeğinin kısılması ile hava fazlalık katsayısında yaşanan düşüşler tam yük konumundakilere göre oldukça fazladır ve bu değişim miktarı artan motor hızı ile birlikte giderek artmıştır. Kısmi yük şartı için minimum hava kelebeği açıklığında; tam açık hava kelebeği pozisyonuna göre yaşanan; ortalama düşüş $\sim\%21,1$ 'dir. Bu değer tam yük konumunda $\%2,8$ 'dir. İşte; hava fazlalık katsayısı değişimlerindeki bu farklılık NO_x değişimlerindeki farklılığın nedeni olarak görülmektedir.



Şekil 10.34 Limit değerlere göre NO_x emisyonlarının durumu (Kısmi yük)

Motorun farklı yakıt ve çalışma koşulları için verdiği HC emisyonu değerlerine bakıldığında kullanılan yakıtların değerler üzerinde önemli değişimlere neden olmadıkları görülmüştür. Özellikle dikkat edilmesi gereken nokta hava kelebeği üzerinden yapılan müdahaleler sonucunda HC emisyonlarının önemli değişiklikler göstermemiş olmasıdır. Azot oksitleri azaltmak maksadı ile yapılan bu müdahalenin HC emisyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir.

Bu noktada tam yük şartının belirtilen bir noktayı kısmi yük şartındaki HC değerleri için de yinelemek gerekmektedir. HC emisyonları hava fazlalık katsayısı üzerine yapılan müdahalelerde sınırlayıcı bir faktör oluşturmamaktadırlar. İşletme koşullarında yapılan değişikliklere rağmen elde edilen değerler öngörülen sınır değerlerin çok altında kalabilmektedirler. Sınır olarak belirlenen değerlere örnek olarak geçmiş bölümlerde belirtilen Sanayi Bakanlığı' nın ilgili düzenlemesini ve Avrupa Birliği Euro II standartlarını aldığımızda elimizdeki verilerin sınır değerlerin çok altında olduğunu görmekteyiz.



Şekil 10.35 Limit değerlere göre HC emisyonlarının durumu (Kısmi yük)

Her üç deney koşulu için birbirine yakın is değerleri elde edilmiştir. Azot oksitleri azaltmaya yönelik olarak hava fazlalık katsayısının düşürülmesi oluşan is üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmamıştır.

11. SONUÇ

Çalışma kapsamında günümüzde önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak görülen biodiesel yakıtı üzerinde performans ve emisyon ölçümleri yapılmıştır. 4 silindirli bir Diesel motoru üzerinde Diesel ve biodiesel yakıtı ile çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunlara ek olarak biodiesel yakıtının farklı hava fazlalık katsayıları ile ortaya koyduğu performans ve emisyon değerleri incelenmiştir.

Performans deneyleri sonunda biodieselin klasik Diesel yakıtına göre güçte ve torkta düşüşe neden olduğu görülmüştür. Değişim miktarları her iki değer içinde benzerdir. Tam yük şartı için yapılan deneylerde güçteki düşüş max. ve min. hava kelebeği açıklıkları için sırasıyla %1,5 ve %5 'tir. Hiçbir modifikasyona uğramamış Diesel motorunda yakıt olarak biodiesel kullanılması halinde güçte yaşanan %1,5 'lik düşüş kabul edilebilir bir değerdir.

Kısmi yük halinde hesaplanan ortalama güç kayıpları yine aynı sıra ile yaklaşık %2,4 ve %14,3 'dür. Hava kelebeğinin tam açık olduğu konumda ortaya konan kayıp kabul edilebilir sınırlar dahilinde görülebilir. Minimum hava kelebeği konumunda yaşanan kaybın boyutu şartların NO_x emisyonlarının düşürülmesi yönünde zorlanmasından dolayı bir miktar artmıştır.

Biodiesel daha düşük ısı değere sahip olmasına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde Diesel yakıtına oranla daha yüksek değerler vermiştir. Bununla birlikte içeriğindeki oksijen sayesinde daha iyi bir yanma sağlamasına bağlı olarak termik verim değerleri klasik Diesel yakıtına oranla daha yüksektir. Kısılma yüzdesinin artırıldığı ve yanmanın bundan olumsuz etkilendiği kısmi yük-minimum hava kelebeği pozisyonu dışında termik verim değerleri artış göstermiştir.

Tam yük şartında biodiesel klasik Diesel yakıtına göre genelde (düşük motor hızları hariç) daha düşük CO ve CO₂ emisyon değerlerine sahiptir. Kısmi yük şartında özellikle CO emisyonu değerlerinde önemli farklılaşmalar görülmüştür. Bu konumda azaltılan hava miktarına bağlı olarak CO değerleri artış göstermiştir. Üç farklı çalışma koşulunda her iki gaz pozisyonu için de için HC emisyonları baz alındığında önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

Tam yük şartında yakıt olarak biodiesel kullanılması durumunda oluşan is miktarında azalma görülmüştür. Kısmi yük konumunda tüm koşullar için oluşan is miktarı azalmıştır. Her iki yük şartı içinde hava keleşine kısılması is miktarında ciddi değişimlere neden olmamıştır.

Çalışma sonunda hava keleşine yapılan müdahalelerle NO_x emisyonlarının azaltılabileceği görülmüştür. Bu işlem yüksek motor hızlarında (≥ 2000 d/d) daha olumlu sonuç vermiştir. Bu koşullarda tam yük için %2,3 güç kaybına karşılık olarak NO_x emisyon değerlerinde %9,6 düşüş sağlanmıştır. Kısmi yük şartı için bu değerler aynı sıra ile %7,9 ve %45,3 'dür. Her iki şartta da NO_x 'lerin değişimi hava fazlalık katsayısı değerleri ile paralellik göstermiştir. Hava fazlalık katsayısının azot oksit emisyonu değerlerini etkilediği açık olarak görülmüştür.

KAYNAKLAR

Agarwal D., Sinha S. ve Agarwal A. K., (2005), "Experimental Investigation of Control of NO_x Emissions in Biodiesel Fueled Compression Ignition Engines", *Renewable Energy*, 2356-2369.

Agarwal A.K., (2006), "Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume33, Issue3 233-271.

Armas O., Ballesteros R., Martos F.J. ve Agudelo J.R., (2004), "Characterization of Light Duty Diesel Engine Pollutants Emissions Using Water-emulsified Fuel", *Fuel*, 1011-1018

Australian Maritime College, (2005), "Marine Engine Research Projects", Australia.

Cheng W., Hamrin D., Heywood J., Hochgreb S., Min K. ve Norris M., (1993), "An Overview of Hydrocarbon Emissions Mechanisms in Spark Ignition Engines", *SAE Paper 932708*.

DEH, The Department of the Environment and Water Resources, (2002), "A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Vehicle Fleet", *Orbital Engine Company*, Australia.

EPA, United States Environmental Protection Agency, (2002), "A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions", *Draft Technical Report*, EPA420-P-02-001.

Ferguson C.R. ve Kirkpatrick A.T., (2001), "Internal Combustion Engines Applied Thermosciences", *John Wiley & Sons*, USA.

Fernando S., Hall C. ve Jha S., (2005), "NO_x Reduction from Biodiesel Fuels", *Energy & Fuels*, 20 376-382.

Heywood J.B., (1989), "Internal Combustion Engines Fundamentals", *McGraw-Hill*, Singapore

IEA, International Energy Agency, (2004), "World Energy Outlook 2004", France

Knothe G., Van Gerpen J. ve Krahl J., (2005), "The Biodiesel Handbook", *AOCS Pres*, Illinois.

Öğüt H. ve Oğuz H., (2006), "Üçüncü Milenyum Yakıtı Biodiesel", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.

Pasqualino J.C., Montane D. ve Salvado J., (2006), "Synergic Effects of Biodiesel in the Biodegradability of Fossil Derived Fuels", *Biomass & Bioenergy*, 874-879.

Pulkrabek W.W., (1997), "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", *Prentice Hall*, New Jersey.

Ramadhass A.S., Muraleedharan C. ve Jayaraj S., (2005), "Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil", *Renewable Energy*, 1789-1800.

Usta N., Öztürk E., Can Ö., Conkur E.S., Nas S., Çon A.H., Can A.Ç. ve Topcu M., (2004a), “Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock/waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine”, *Energy Conversion & Management*, 741-755.

Usta N., (2004b), “Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester”, *Energy Conversion & Management*, 2373-2386.

Winfried R., Roland M.P., Alexander D. ve Jürgen L.K., (2006), “Usability of Food Industry Waste Oils as Fuel for Diesel Engines”, *Journal of Environmental Management*.

Zappi M., Hernandez R., Sparks D., Horne J., Brough M., Arora S.H. ve Motsenbocker W.D., (2003), “A Review of the Engineering Aspects of the Biodiesel Industry”, MSU E-TECH Laboratory Report, ET-03-003.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1]www.eia.doe.gov

[2]www.iea.org

[3]www.nrel.gov

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.11.1983

Doğum yeri Ankara

Lise 1998-2001 F.M.V. Özel Işık Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi