

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZELİN BİR GEMİ DİZEL MOTORUNUN EGZOZ EMİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Recep Uğur ÖZCUMALI**

Anabilim Dalı : GEMİ İNŞAATI MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEMİ İNŞAATI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**BİYODİZELİN BİR GEMİ DİZEL MOTORUNUN EGZOZ EMİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Recep Uğur ÖZCUMALI
508031021**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr.Selma ERGİN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr.Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU (İTÜ)
Doç.Dr.Osman Azmi ÖZSOYSAL (İTÜ)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

İçten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere alternatif yakıt arayışlarının devam ettiği günümüzde, yenilenebilir ve çevreyi daha az kirletici bir yakıt olan biyodizelin kullanımı konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Burada yapılan çalışmada da sabit devirli bir gemi dizel motorunda biyodizel, dizel ve karışımlarının yakıt olarak kullanımının, egzoz gazları içinde değişik yüklerde oluşan CO, CO₂, HC ve NO_x gibi kirleticilere olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Yaptığım çalışmada, en başından itibaren değerli bilgi birikimlerini benimle paylaşan ve sürekli destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Selma ERGİN'e, yardım ve katkılarından dolayı Sayın Metin DEMİR, Mak.Yük.Müh. Ayber GÜRLER ve Mak.Yük.Müh. Ahmet Tekin YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007

Recep Uğur Özcumalı

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyodizel ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
2. DİZEL MOTOR KAYNAKLI KİRLETİCİ MADDELER	3
2.1. Yanma Sonucu Üretilen Kirletici Maddeler	3
2.2. Kirletici Maddelerin İnsan Ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri	4
2.2.1. Karbonmonoksit	5
2.2.2. Azotoksitler	5
2.2.3. Hidrokarbonlar	5
2.2.4. Partiküller	6
2.2.5. Kükürtdioksit:	6
2.3. Kirletici Maddelerin Oluşumu	6
2.3.1. Karbonmonoksit	6
2.3.2. Azotoksitler:	7
2.3.3. Hidrokarbonlar	8
2.3.4. Partiküller	9
2.3.5. Kükürtdioksit	9
2.4. Motorun Çalışma Koşullarının Emisyona Etkileri	9
2.4.1. Hava fazlalık katsayısı:	10
2.4.2. Motor gücü	11
2.4.3. Egzoz karşı basıncı	11
2.4.4. Supap bindirmesi	12
2.4.5. Emme manifoldu basıncı	12
2.4.6. Yanma odası cidarındaki birikimler	13
2.4.7. Yanma odası yüzey sıcaklıkları	13
2.4.8. Havadaki nem oranı	14
2.4.9. Supap zamanlaması	14
2.5. Motor Yapısının Emisyona Etkileri	15
2.5.1. Yanma odası yüzey/hacim oranı	15
2.5.2. Sıkıştırma oranı	15
2.5.3. Yanma odası şekli	16
2.5.4. Emme kanalı şekli	17
2.5.5. Yakıt püskürtme sistemi	17
2.5.6. Aşırı doldurma	17

3. GEMİ DİZEL MOTORLARI İÇİN ULUSLARARASI EMİSYON DÜZENLEMELERİ	18
3.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü Düzenlemeleri	18
3.2. Çevre Koruma Kuruluşu (US EPA) Düzenlemeleri	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
4.1. Deney Düzeneği Ve Tanımı	21
4.2. Kullanılan Ölçüm Sistemleri	23
4.3. Ölçülen Değerler	26
4.4. Kullanılan Yakıtların Özellikleri	27
4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi	27
4.5.1. Gaz konsantrasyonunun hesaplanması	27
4.5.2. Emisyon kütle debisinin hesaplanması	28
4.5.3. Ortalama emisyon değerlerinin hesaplanması	28
4.5.4. Şaft fren gücünün hesaplanması	28
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	29
5.1. Egzoz Gaz Sıcaklıkları	29
5.2. CO Emisyon Değerleri	30
5.3. CO ₂ Emisyon Değerleri	31
5.4. HC Emisyon Değerleri	33
5.5. NO _x Emisyon Değerleri	34
5.6. Dizel-Jeneratör Grubunun Ortalama Emisyon Değerleri	36
5.7. Değerlendirme ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41

KISALTMALAR

MAK	: Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu
MİK	: Maksimum İşyeri Konsantrasyonu
DTK	: Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Zararlı Maddelerin Tehlike Sınırları.....	4
Tablo 3.1. EPA 1. Aşama Standartları.....	20
Tablo 3.2 EPA 2. Aşama Standartları.....	20
Tablo 4.1 Dizel Motor Teknik Özellikleri.....	22
Tablo 4.2 Alternatör Teknik Özellikleri.....	22
Tablo 4.3 Elektronik Ölçüm Cihazları Özellikleri.....	24
Tablo 4.4 Emisyon Ölçüm Cihazı Özellikleri.....	24
Tablo 4.5 Emisyon Cihazı Ölçüm Parametreleri.....	24
Tablo 4.6 Multimetre Teknik Özellikleri.....	25
Tablo 4.7 Multimetre Ölçüm Parametreleri.....	25
Tablo 4.8 Egzoz Borusu Çıkışındaki Ölçülen Ortalama Egzoz Hızları	26
Tablo 4.9 Egzoz Borusu Çıkışındaki Ölçülen Ortalama Sıcaklıklar.....	26
Tablo 4.10 Yakıt Özellikleri.....	27

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1 : Emisyon Ölçüm Sistem Şeması.....	21
Şekil 4.2 : Emisyon Ölçüm Sistemi.....	22
Şekil 4.3 : Dizel Motor Ve Alternatör.....	23
Şekil 4.4 : Elektronik Ölçüm Cihazları A) Ampermetre B) Faz Açısı Ölçer C) Frekansmetre D) Voltmetre.....	24
Şekil 4.5 : Emisyon Ölçüm Cihazı.....	25
Şekil 4.6 : Multimetre.....	25
Şekil 5.1 : Egzoz Gaz Sıcaklıkları.....	29
Şekil 5.2 : CO Konsantrasyonunun Yükle Değişimi.....	30
Şekil 5.3 : CO Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi.....	31
Şekil 5.4 : CO ₂ Konsantrasyonunun Yükle Değişimi.....	32
Şekil 5.5 : CO ₂ Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi.....	32
Şekil 5.6 : HC Konsantrasyonunun Yükle Değişimi.....	33
Şekil 5.7 : HC Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi.....	34
Şekil 5.8 : NO _x Konsantrasyonunun Yükle Değişimi.....	35
Şekil 5.9 : NO _x Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi.....	35
Şekil 5.10 : Ortalama CO Emisyon Değerleri.....	36
Şekil 5.11 : Ortalama CO ₂ Emisyon Değerleri.....	37
Şekil 5.12 : Ortalama HC Emisyon Değerleri.....	37
Şekil 5.13 : Ortalama NO _x Emisyon Değerleri.....	38

SEMBOL LİSTESİ

n	: Devir sayısı (d/d)
M_{GAS}	: Egzoz kütleli debisi (g/h)
<i>conc</i>	: Konsantrasyon (g/m ³)
V_{EXHD}	: Kuru egzoz hacim debisi (m ³ /h)
M	: Moleküler kütle (g/mol)
M_v	: Moleküler hacim (lt/mol)
T_o	: Referans sıcaklığı (K)
P_o	: Referans basıncı (kPa)
T	: Sıcaklık (K)
P	: Basınç (kPa)
M_{GASi}	: Her bir gazın kütle debisi (g/h)
P_i	: Şaft fren gücü (kW)
W_{Fi}	: Ağırlık faktörü (-)
$\cos\Phi$	: Faz açısı değeri (-)
η	: Alternatör verimi (-)
$GASx$	: Ortalama emisyon (g/kW h)

BIYODİZELİN BİR GEMİ DİZEL MOTORUNUN EGZOZ EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

İçten yanmalı motorların egzozundan kaynaklanan kirlетici maddelerin insan hayatını tehdit eder boyutta artış göstermesi ve fosil yakıtların tükenecek olması gerçeğı tüm dünyada alternatif yakıtlar üzerinde yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Alternatif yakıtlar içerisinde ise biyodizel; yenilenebilir ve daha az kirlетici bir yakıt olması nedeni ile ön plana çıkmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada soya yağından elde edilen biyodizelin tek silindirli, dört zamanlı, doğal hava emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda yanması sonucu oluşan egzoz gazlarının emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Yakıt olarak; biyodizel (B100), dizel yakıtı (Euro dizel, B0) ve dizel yakıtı ile %10 (B10), %20 (B20), % 50 (B50), %75 (B75) oranlarında karıştırılmış olan biyodizel kullanılarak emisyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneylerde, deniz dizel jeneratör grubu içinde yer alan dizel motor, 3000 d/d sabit devirde ve değişik yüklerde (%0, %25, %50, %90, %110) çalıştırılmıştır. Egzoz gazı içindeki CO, CO₂, HC ve NO_x konsantrasyonları gaz analiz cihazı ile ölçülmüş ve ayrıca ölçülen hız, sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak emisyonlar hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlar, maksimum sürekli güçte (%90 yükte), biyodizel dizel yakıt ile karşılaştırıldığında, biyodizelin CO konsantrasyonlarına etkisinin az olduğunu, fakat B100 için CO konsantrasyonunda % 33 gibi belirgin bir azalma olduğunu göstermiştir. Bunun yanısıra sonuçlar, biyodizel kullanıldığında HC konsantrasyonlarında genel bir azalma olduğunu ve en çok azalmanın (% 50) B100 kullanıldığında meydana geldiğini, NO_x ve CO₂ konsantrasyonlarında ise genel bir artış olduğunu göstermiştir. NO_x konsantrasyonunda en çok artış % 63 ile B100 kullanıldığında, CO₂ konsantrasyonunda ise en çok artışın % 58 ile B10 kullanıldığında olduğu görülmüştür.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BIODIESEL ON EXHAUST EMISSION CHARACTERISTICS OF A MARINE DIESEL ENGINE

SUMMARY

Pollutants which is produced by the internal combustion engines increase by threatening the human life, and the fact that fossil fuels will be depleted, have been started an intensive work on alternative fuels all over the world. Because of being renewable and less pollutant, biodiesel is in the most important fuel among the other alternative fuels.

In this experimental study, the effects of soybean biodiesel fuel on the emission characteristics of a single cylinder, four stroke, naturally aspirated and direct injection diesel engine were investigated. As a fuel, biodiesel (B100), diesel fuel (Eurodiesel, B0) and the blends of 10 % (B10), 20 % (B20), 50 % (B50), 75 % (B75) of biodiesel with diesel fuel were used and their emission results were compared. During experiments, the diesel engine which is in the marine diesel generating set was run at the constant speed of 3000 rpm with different loads (0 %, 25 %, 50 %, 90 % and 110 %). The concentrations of CO, CO₂, HC and NO_x in the exhaust gas were measured by a gas analyser and the emissions were calculated by using the measured velocity, temperature and pressure of the exhaust gas.

The experimental results show that, at the maximum continuous power (90 % load), when the biodiesel is compared with diesel fuel, the biodiesel has a small effect on the CO concentrations, however there is a significant reduction, 33 % on the CO concentrations for B100. Furthermore, the results show that for biodiesel, HC concentrations are generally reduced and the maximum reduction, 50 % is obtained for B100, and concentrations of NO_x and CO₂ are generally increased. The maximum increase in the NO_x concentration is 63 % by using B100 and the maximum increase in the CO₂ concentration is 58 % by using B10.

1. GİRİŞ

1.1 Biyodizel ve Önemi

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında % 40 ile en büyük paya sahip olan petrolün büyük bir kısmı içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Dünya güç üretim tesislerinin ve ulaşım sektörünün genişlemesi petrol ürünlerine olan talebi de artırmaktadır. Buna karşılık petrol rezervlerinin sınırlı olması, dünyanın belirli bölgelerinde toplanması ve petrol krizleri motorlu taşıtlar için yeni enerji kaynaklarının araştırılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Petrol türevi yakıtlar için de en çok kullanılan ise motorindir [1].

Fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir yakıtlar üzerine uzun zamandan beri çalışmalar devam etmektedir. Dizel motorlar için de hem yenilenebilir hem de emisyonları iyileştirici özelliklere sahip farklı alternatif yakıtlar araştırılmaktadır. Alternatif yakıtların motor yapısında ve motor ayarlarında fazla bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir olması önemli bir avantaj olarak değerlendirilir. Ayrıca yakıtların yenilenebilir olması petrol bağımlılığının azalmasına sebep olacaktır. Alternatif yakıtların motorda yalnız başına veya dizel yakıt ile karışım olarak kullanımı, kullanılan yakıtın yakıtsal özelliğine bağlıdır.

Bitkisel yağların dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısı değerleri düşüktür. Bundan dolayı dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtının yerine kullanımına akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar sınırlama getirmektedir. Bu sorunları gidermek için ön ısıtma, diğer yakıtlar ile karıştırma ve çözme, esterleştirme ve ısı parçalanma/proliz bulunmaktadır. Esterleştirme bu teknikler arasında en önemli ve en yaygın tercih edilenidir. Esterleştirme işlemi için geliştirilen farklı metodlar bulunmaktadır. Genel olarak işlem bir katalizörün bulunduğu ortamda metanol veya etanolün bitkisel yağ ile karıştırılmasıdır. Katalizör olarak baz ve/veya asit kullanılmaktadır. Bu işlem kısaca bir trigliserit molekül veya kompleks yağ asitlerinin alınması, serbest yağ asitlerinin nötürleştirilmesi, gliserinin uzaklaştırılması ile alkol esterinin oluşturulmasıdır. Bitkisel yağların alkol esterleri dizel yakıtına yakın özellikler göstermekte ve biyodizel olarak adlandırılmaktadır. Esterleştirmeyi etkileyen ana faktörler; gliseritlerin alkole molar oranı, katalizör cinsi, reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, reaksiyon zamanı ve bitkisel yağ içerisindeki

serbest yağ asitleri ve su miktarıdır. Yan ürün olarak ortaya çıkan gliserin sabun sanayinde kullanılabilir. Biyodizeller dizel yakıt ile oldukça iyi bir şekilde homojen olarak karışabilmekte ve karışım kararlı halde kalabilmektedir. Bu yüzden biyodizeller dizel yakıt ile karışım halinde kolaylıkla kullanılabilir [2].

Yapılan araştırmalar biyodizelin emisyon bakımından daha az kirlletici bir yakıt olduğunu ortaya koymuştur. Hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) emisyonlarında dizel yakıtı değerlerine göre önemli azalmalar olduğu ve karbondioksit (CO₂) emisyonlarında artış olduğu görülmüştür. Azotoksit (NO_x) emisyonları ise genelde artmakla beraber biyodizelin kullanıldığı motora göre değişim göstermiştir[2-13].

Biyodizelin kütle bazda yaklaşık %10'luk oksijen içeriği yanma odasındaki yanma olayına katılan oksijen miktarını artırarak motorine kıyasla daha iyi bir yanma sağlar. Motorine yakın güç ve tork eğrileri elde edilir. Biyodizelin setan sayısı motorininkinden daha yüksek olduğundan tutuşma gecikmesi daha kısadır ve böylece motor daha az vuruntulu çalışır. Ayrıca çok üstün bir yağlayıcılık özelliği vardır. Motorine %1'lik bir biyodizel ilavesi dahi motorin yağlayıcılığını %65 geliştirebilir. Bilindiği üzere asit yağmurlarını azaltabilmek amacıyla motorinin kükürt içeriği gittikçe azaltılmaktadır. Kükürt ise motorinin yağlayıcılığını iyileştiren bir bileşendir. Yani bunun sonucunda kükürt içeriği azaltıldıkça bununla birlikte ister istemez yakıtın yağlayıcılığı da azalacak ve bunun sonucunda ise yakıt pompalarının ömrü kısalmaktadır. Bu durumda biyodizelin yağlayıcılık özelliğinin önemi daha dikkat çekici olarak ortaya çıkmaktadır[1].

Biyodizel alanındaki çalışmalar tarımsal alanların daha verimli ve etkin kullanımını sağladığı gibi çevre kirliliğinin azaltılmasına ve istihdamın artırılmasına yardımcı olacaktır. Bundan dolayı petrol üretimi yönünden dışa bağımlı olan birçok ülke tarafından yerel olarak üretilen ve yenilenebilir özelliğe sahip olan biyodizel vergi indirimleri, ucuz krediler ile teşvik edilmektedir[3].

1.2 Çalışmanın Amacı

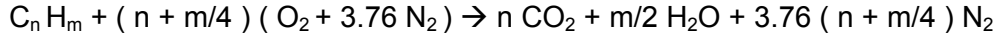
Küresel ısınma ve hava kirliliğinin giderek insan hayatını tehdit eder boyutta artması egzoz emisyonlarının düşürülmesine olan gereksinimi artırmıştır. Bu maksatla üretilen/kullanılan dizel motorlara egzoz emisyon sınırlandırmaları getirilmiştir. Tüm dünyada dizel motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının düşürülmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Biyodizel ile dizel yakıtının karıştırılarak kullanılması da bu çalışmaların bir parçasıdır. Yapılan çalışmada alternatif dizel yakıtı olarak soya yağından elde edilmiş olan biyodizel

(B100), dizel yakıtı (Euro dizel, B0) ve dizel yakıtı ile % 10 (B10), % 20 (B20), % 50 (B50), % 75 (B75) oranlarında karıştırılmış biyodizel kullanılarak 10 kVA çıkış gücüne sahip bir dizel-jeneratör grubunun çeşitli yüklerde (% 0, % 25, % 50, % 90, % 110) ürettiği zararlı egzoz emisyonlarına (CO, CO₂, HC, NO_x) olan etkisi incelenmiştir.

2. DİZEL MOTOR KAYNAKLI KİRLETİCİ MADDELER

2.1 Yanma Sonucu Üretilen Kirletici Maddeler

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucu elde edilen yanma ürünleri CO₂ ve H₂O ile havadaki N₂'den oluşmaktadır.



Bu maddelerden su buharı (H₂O) zararlı değildir ve kirletici bir özellik taşımamaktadır. Karbondioksit (CO₂) ise doğrudan insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak yanma sonucu üretilen CO₂'nin yaklaşık %50' si atmosferde birikerek CO₂ konsantrasyonunun giderek artmasına neden olmaktadır.

Atmosferde mevcut CO₂ miktarının hava şartlarını etkilemesi özelliği olduğu için, bu artış sonucunda “Sera Etkisi” olarak adlandırılan atmosferin giderek ısınması olayı meydana gelmektedir.

Ayrıca hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak yanma sonucu ortaya çıkan asıl kirletici maddeler ideal şartların sağlanamaması ve yanmanın tam olmaması sonucunda oluşan HC, CO ve NO_x (NO, NO₂ v.b.) gibi maddelerdir. Yanma sırasındaki ara ürünler ve disosiyasyon reaksiyonları sonucunda oluşan ürünler de ortaya çıkan kirletici maddeleri belirlemektedir. Hava yakıt karışımının stokiometrik olmaması ve karışımın tam sağlanamaması nedeniyle zengin veya fakir karışım oranlarının yerel olarak mevcudiyeti yanma ürünleri arasında yukarıda belirtilen zararlı maddelerin bulunmasını sağlamaktadır. Ayrıca çeşitli nedenlerle yakıta eklenen katkı maddeleri de zararlı yanma ürünleri oluşturmaktadır.

Sonuçta, içten yanmalı motorlarda hidrokarbon yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı maddeler olarak;

- Yanmamış hidrokarbonlar, HC
- Karbonmonoksit, CO
- Azotoksitler, NO_x
- Is ve partiküller
- Kükürtdioksit, SO₂ sayılabilir.

2.2 İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri

İnsan sağlığına olumsuz etki eden yanma ürünü zararlı maddelerin etkileri alınış sürelerine ve alınış miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bakımdan üç farklı konsantrasyon tanımlamak mümkündür.

1. MAK (Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu) Sürekli olarak solunum sonucunda zarar vermeyecek miktar.

2. MİK (Maksimum İşyeri Konsantrasyonu) 8 saat süre ile solunum sonucunda zarar vermeyecek miktar.

3. DKT (Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu) Çok kısa süre içinde tehlike doğuracak miktar.

Bu tanımlamalara uygun olarak insan sağlığı açısından mevcut sınırlamaları Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1: Zararlı Maddelerin Tehlike Sınırları (ppm).

	MAK	MİK	DTK
CO	9	50	5000
HC	20	300	30000
HCHO	0.02	1	650
NO	0.15	-	-
NO ₂	0.05	5	200
SO ₂	0.1	5	400

2.2.1 Karbonmonoksit

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Kandaki oksijeni taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla 200 kere daha fazla olduğundan CO ortamında bulunan bir kişinin kanındaki karboksi hemoglobin (O_2 yerine CO taşımakta olan hemoglobin) miktarı zamana ve CO konsantrasyonuna bağlı olarak artış gösterir. Böylece vücut hücrelerinin oksijen alma olanağını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur.

2.2.2 Azotoksitler

Azotoksitler (NO , NO_2 , N_2O_2 v.b) de CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak azotoksitlerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmalarıdır. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikim özelliği bulunduğu için özellikle solunum hastalığı bulunan kişiler için tehlike yaratmaktadır. Azotoksitler kimyasal sis oluşumuna da etki etmektedir. Atmosferde mevcut su ile birleşerek nitrik asit oluştururlar. Azotoksitler içinde NO renksiz, kokusuz bir gazdır. NO_2 ise kırmızı-kahverengi, kötü kokulu, tahriş edici bir gazdır. Yanma ürünleri arasında genelde NO bulunmasına rağmen atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO_2 'ye dönüşmektedir. NO gazının felç yapıcı özellikleri de vardır.

2.2.3 Hidrokarbonlar

Yakıt deposundan buharlaşma yolu ile veya motordan egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Bu tür HC' lar arasında parafinler ve olefinler solunum yollarındaki mikrozyayı (iç deriyi) tahriş edici etkiye sahip olup, aynı zamanda bayıltıcı etkileri de bulunmaktadır. Aromatların ise kanser yapıcı özellikleri vardır. Aldehitler keskin kokuları nedeniyle göz ve burun için rahatsız edici etkiye sahiptirler.

Gaz halindeki hidrokarbonlar güneş ışığı altında azotoksitlerle birleşerek "fotokimyasal sis" olarak adlandırılan bir sis tabakası oluştururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasına ve sulanmasına, solunum sisteminin etkilenmesine neden olurken, aynı zamanda bitkiler için de zararlı olmaktadır.

2.2.4 Partiküller

Yanmamış karbon partiküllerinin özellikle dizel motorlarında oluşturduğu is zararlı birleşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde biriktirerek insan sağlığına zararlı olmaktadır. Dizel motorların egzozundan atılan partiküller karbon/hidrojen zincirinden oluşmakta olup, bünyelerinde yanmamış HC' ları polinükleer aromatikleri, SO₂, NO₂ ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenleri bulundurmaktadır.

2.2.5 Kükürtdioksit

Renksiz sert kokulu bir gaz olan SO₂ solunum yolları akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca su buharı ile birleşerek oluşturduğu sülfirik asidin insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır.

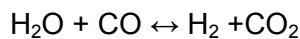
2.3 Kirletici Maddelerin Oluşumu

Motorlarda ideal yanma durumunda, yanmanın tam olması sonucunda yanma ürünleri arasında zehirli etkileri olmayan CO₂ ve H₂O bileşenleri ile havadaki N₂ bulunacaktır. Ancak uygulamada yanmanın tam olmaması ve disosiyasyon nedeniyle oluşan ara ürünler egzoz gazları içerisinde ek olarak HC, NO_x, CO gibi zararlı maddelerin oluşmasına neden olur. Ayrıca yakıtın içinde bulunan kükürt ve katkı maddeleri nedeniyle SO₂ bileşenleri gibi zararlı maddeler de yanma ürünleri arasında yer almaktadır.

2.3.1 Karbonmonoksit

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genelde yetersiz olabileceği gibi yanma odasının belirli bir konumunda yerel olarak da yetersiz olabilir.

Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan;



Denklemleri ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO₂ Miktarına oranla daha fazla CO elde edilir.

Ancak sıcaklık düştükçe CO' nun CO₂ şeklinde oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir ve stokiometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda O₂ yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır.

Yanma sırasında, alev cephesinin iç tarafında, ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Ancak gazların daha sonra genişlemesi ve soğuması sırasında oksidasyon sonucu CO, CO₂' ye dönüşmektedir. Sıcakların genişleme zamanında daha da düşmesi halinde denge reaksiyonu sıcaklıktaki düşüşü takip edemediğinden egzoz gazları içerisindeki CO miktarı beklenilenden daha fazla olmaktadır.



Şeklinde tanımlanan bu denge reaksiyonu sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır. Bu nedenle yanma odası sıcaklığının düşürülmesi CO emisyonunu azaltmaktadır.

Dizel motorları genellikle fakir karışım oranları ile çalıştığından, CO emisyonu düşük olmaktadır. Yakıt demetinin civarında, yanmanın gerçekleştiği bölgede karışım yerel olarak zengindir. Ancak genelde karışımın fakir olması, CO emisyonunun düşük düzeylerde kalmasını sağlamaktadır.

2.3.2 Azotoksitler

Yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler oluşur. NO_x içerisinde ana eleman olarak genellikle NO vardır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijenle temasında NO'nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir. Bu bakımdan NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır. Ayrıca kimyasal hızları da etkili olmaktadır. Ancak hızlar da sıcaklığa bağlıdır. Kimyasal denge hesapları sonucu saptanan NO_x miktarı motordaki yanma koşullarında elde edilen miktar ile uyuşmamaktadır. Çünkü motor koşullarında yanma ürünlerinin kimyasal dengeye ulaşması için yeterli zaman yoktur. Kimyasal denge durumundan diğer bir sapma da yanmış gazların soğuması sırasında gerçekleşir. Sıcaklığın düşmesi ile NO_x'lerin tekrar N₂ ve O₂' ye ayrışması beklenirken reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olmasından bu reaksiyonlarda yavaşlar. Böylece daha yüksek sıcaklıklarda elde edilmiş olan NO_x miktarları dondurulmuş olur.

NO_x oluşumu oksijen miktarına da bağlıdır. Bu nedenle zengin karışımlarda NO seviyesi düşmektedir. Maksimum değere ise %10 fakir karışımlarda ulaşılmaktadır.

Karışımın hava miktarı daha da arttırıldığı zaman yanma sıcaklıkları da düşeceği için NO miktarı da azalacaktır.

Dizel motorlardaki heterojen yanmada, önceden hazırlanmış bir karışım bulunmamakta, yakıt ile havanın karışımı ve yanma olayları iç içe olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda NO oluşumunu belirleyen kimyasal reaksiyonlar değişmediği halde ortamın fiziksel şartları farklılık göstermektedir.

Yakıt damlasının buharlaşması ve yanması sonucu damlacık etrafında oluşan alev bölgesinde yüksek sıcaklıklar vardır. Damlacıktan uzaklaşıldıkça sıcaklık düşerken, oksijen ve hava konsantrasyonu artmaktadır. Bu nedenle benzin motorlarındaki homojen karışıma oranla burada daha karmaşık bir durum vardır. Burada toplam NO oluşumu sıcaklığa ve damlacık etrafındaki akış alanını etkileyen birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca dizel motorlarında karışım oranı (HFK) motorun yük durumuna göre değiştirildiğinden, artan yükte birlikte NO_x miktarı da artmaktadır.

2.3.3 Hidrokarbonlar

Egzoz gazları içerisinde HC'ların bulunuş nedeni, CO ve NO_x' lerin tersine yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti değildir. Yanma ürünleri arasında HC' ların bulunmasına neden sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması gibi etkiler sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır.

Bu durum, yerel karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaş oluşması ve alevin ısı kayıpları nedeniyle sönmesi, yanma odasının çeşitli bölümlerinde bulunan karışım için yüzey/hacim oranının büyük olması nedeniyle ısı kayıplarının buradaki karışımın tutuşmasını önleyecek kadar büyük olması, yanma odasının soğuk cidarlarına olan ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi nedeniyle oluşmaktadır. Karışımın zengin veya fakir olması da HC emisyonunu etkilemektedir. HFK' nın 1.1 değeri civarında HC'lar minimumdan geçerek, bu değerin her iki yanında da artış göstermektedir. HFK' nın büyük olması durumunda yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma olmaz ve HC'lar artar. Karışımın zengin olması durumunda ise yeterli oksijen bulunmadığı için yakıtın tümü yanamaz ve tekrar HC'lar artış gösterir.

2.3.4 Partiküller

Dizel motorlarında oluşan difüzyon alevinde, genelde hidrojenin karbona oranla oksijene karşı daha aktif olması nedeniyle yanmanın tamamlanması için zaman ve özellikle oksijen bulunmadığı durumlarda is oluşacaktır. İS, bu durumda oluşan katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü arttırmak amacıyla yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır. İS oluşumu silindirin aşınmasına, segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır.

2.3.5 Kükürtdioksit

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle dizel motorlarında yanma sonucu kükürtün hava ile birleşmesi ile SO_2 oluşmaktadır. Daha sonra egzoz gazları içindeki su buharı ile SO_2 'nin birleşmesi sonucunda da silindir içerisinde ve atmosfere atıldıktan sonra H_2SO_4 oluşmaktadır. Oluşan sülfirik asit motor elemanlarının korozyonuna neden olmaktadır.

2.4. Motorun Çalışma Koşullarının Emisyona Etkileri

Motorun soğukta ilk hareketi, ivmelenmesi veya yük değiştirilmesi gibi durumlarda egzoz gazları içindeki CO, HC ve NO_x miktarları değişim göstermektedir. Motorun çeşitli çalışma koşullarındaki değişimlerinin etkisi kirletici emisyonun azaltılması bakımından önem taşımaktadır.

2.4.1 Hava fazlalık katsayısı

Dizel motorlarında hava fazlalık katsayısının değişimi emisyon miktarını önemli ölçüde etkiler. Karışım oranı motorun yük durumuna ve dönme sayına göre değiştirilmekte ve motor genellikle fakir karışım ile çalışmaktadır. Bu durumda yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO, yanmanın tamamlanması sırasında yeterli oksijen bulunduğu için CO_2 'ye dönüşmektedir. Ancak yanma sıcaklığının çok düşük olması, oksidasyon için yeterli zaman bulunmaması veya oksijen miktarının az olması gibi durumlarda CO'nun tümü okside olmadan yanma odasını terk edecektir.

Özellikle direkt püskürtmeli dizel motorlarında CO oluşumu HFK ile önemli ölçüde değişmektedir. Düşük yüklerde motor oldukça fakir karışım ile çalıştığı ve sıcaklıklar düşük seviyede olduğu için CO oksidasyonu az olmaktadır. Yük arttırıldıkça sıcaklıklar da artacağından CO' nun dönüşümünü sağlayan reaksiyonlar hızlanacak ve CO emisyonu azalacaktır. Ancak yükün ve buna bağlı olarak HFK'nın belli bir sınırın üzerine çıkması durumunda sıcaklıkların yüksek olmasına karşın oksijen konsantrasyonu az olduğundan ve reaksiyon için zaman kısıtlı olduğundan CO emisyonu tekrar artış gösterecektir.

Dizel motorlarında, volümetrik verimin değişimi dikkate alınmazsa yanma odasına giren hava miktarı hep sabit kalmaktadır. Yük durumuna göre ayarlama ise giren yakıt miktarının kontrolü ile sağlanmaktadır. Bu durumda yakıt demetinin yapısı, cidarlarda toplanan yakıt miktarı, silindirdeki gaz basıncı, sıcaklığı, püskürtme süresi gönderilen yakıtın miktarı ile etkilenmektedir. Genellikle püskürtülen yakıt miktarının arttırılması cidarlarda biriken miktarın ve demetin çekirdeğini oluşturan bölgenin artmasına ve demetin dış kısmında oluşan yerel fakir karışım bölgesinin azalmasına neden olmaktadır.

Boşta çalışmada ve düşük yüklerde, yakıt demeti genellikle cidarlara çarpmamaktadır. Bu şartlarda oluşan HC emisyonunun ana kaynağı demetin dış kısımlarında yanma sıcaklıklarının düşük olduğu fakir karışım bölgesidir. Buradaki yakıtın hava içerisinde difüzyonu ile giderek daha da düşük karışım oranlarının oluşması sonucunda yanma sıcaklıkları azalacak ve yanmamış HC' lar artacaktır. Yük arttırıldıkça karışım zenginleşecek ve cidarlarda biriken yakıt miktarı ile demetin merkezindeki çekirdek bölgesindeki yakıt konsantrasyonu da artacaktır. Böylece bu bölgelerde oluşan yanmamış HC' lar da artacaktır. Ancak sıcaklıkların yüksek olması sonucu bunların bir kısmı okside olarak egzoz gazları arasındaki HC miktarının daha az olmasını sağlamaktadır.

Heterojen yanma sistemlerinde egzoz gazları içerisindeki emisyon miktarlarının ölçümü yanıltıcı olmaktadır. Kısmi yüklerde karışım oranı stokiyometrik değerden daha fakir olması sonucu egzoz gazları fazla hava ile seyreltilmiş durumdadır. Bunun sonucu olarak karışımın zenginleştirilmesi durumunda ölçülen HC emisyonu artış göstermektedir.

Dizel motorlarında egzoz gazları içindeki NO konsantrasyonu da artan yakıt miktarına bağlı olarak artmaktadır. Ancak burada da kısmi yüklerde egzoz gazlarının fazla hava ile seyreltilmesi söz konusu olduğundan, stokiyometrik değere göre düzeltme yapıldığında NO emisyonu karışımın zenginleşmesi ile başlangıçta artmakta, ancak daha sonra azalmaktadır.

2.4.2 Motor gücü

Dizel motorlarında motorun gücünü arttırmak için daha fazla yakıt göndererek karışımı zenginleştirmek gerekmektedir. HFK'nın değişiminin gerektirdiği etkiler burada da geçerlidir. Ayrıca püskürtülen yakıt miktarının artırılması, püskürtme süresini ve yanma süresini etkileyecektir. Bu durumda yanmanın tamamlanması için zaman azalacak ve HC emisyonu artış gösterecektir. Ancak önce artış gösteren NO_x emisyonu, yükün belirli bir sınırdan fazla artırılması durumunda azalmaya başlayacaktır. Bu sınır yanma odası konstrüksiyonuna bağlı olarak değişim gösterir.

2.4.3 Egzoz karşı basıncı

Egzoz karşı basıncının artışı sonucunda, silindirde bir önceki çevrimden kalan artık gazların miktarı da artar. Artık gazların yeni dolguyu seyreltici etkisi yanmayı da etkileyecek kadar fazla değil ise HC emisyonu azalma gösterir. Bu duruma neden fazla miktarda HC içeren egzoz gazlarının son kısmının yanma odasında kalmasıdır. Egzoz subabının kapanmasına yakın civardaki alev sönme tabakasının piston tarafından kazınması sonucu egzoz gazlarının bu bölümündeki HC konsantrasyonu artmaktadır. Zengin karışımlarda, yetersiz oksijen nedeniyle oluşan HC miktarı, alev sönme bölgesinden kaynaklanan HC miktarına oranla daha fazla olduğu için karşı basıncın etkisi de daha az olmaktadır.

Zengin karışımlarda, alevin ilerlemesi açısından sorun bulunmadığı için egzoz karşı basıncındaki artış sonucu karışımın seyreltilmesi HC emisyonunda bir miktar azalma sağlamaktadır. Ancak fakir karışımlarda, karışımın daha da seyreltilmesi sonucu yanma açısından sorun çıkacağından HC emisyonu bu durumda artacaktır. Aynı şekilde karşı basıncın boşta çalışma koşullarında artırılması durumunda HC emisyonu artış gösterir, çünkü bu durumda da fazla miktarda artık gazlar içeren karışımın daha fazla seyreltmeye toleransı yoktur.

2.4.4 Supap bindirmesi

Egzoz supabı açıldığında, yanma odası ile dış ortam arasındaki basınç farkı nedeniyle egzoz gazlarının debisi yüksek bir değere sahip olacaktır. Daha sonra da debi azalacak ve ÜÖN' dan yaklaşık 70 derece önce maksimum piston hızına ulaşıldığında tekrar artacaktır. Egzoz sistemindeki HC debisi de egzoz gazları debisini takip edecektir. Ayrıca pistonun ÜÖN'ya doğru hareketi sırasında alev sönme bölgesindeki HC'ların kazınması sonucu HC konsantrasyonu ÜÖN civarında bir tepe noktasına sahip olacaktır. Supap bindirmesi

durumunda, karışım oranı da etkili olmaktadır. Stokiyometrik karışımlar için, supap bindirmesi arttırıldığında yanma odasındaki artık gazların miktarı artacak, yanma hızı azalacak, sıcaklıklar düşecek ve alev sönme bölgesi büyüyecektir.

Bu durumda HC emisyonu da artar. Zengin karışımlarda ise alevin ilerlemesine ve karışımın aşırı seyreltilmesine ilişkin sorunlar bulunmadığı için supap bindirmesi arttırıldığında, HC emisyonu azalmaktadır, çünkü artık gazlar içerisinde bulunan HC'lar silindirde tutularak yakılmaktadır. Genelde minimum HC emisyonu, düşük karşı basınç ve minimum supap bindirmesi ile sağlanmaktadır. Supap bindirmesinin azalması ile motorun maksimum gücünde bir azalma olacaktır. Fakat fakir karışım ile kararlı yanma sağlanabilirse, yakıt tüketimi de azaltılabilecektir. Karışım oranı sabit tutulduğu sürece, supap bindirmesinin CO emisyonu üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. NO_x emisyonları ise, supap bindirmesi ile dahili egzoz gazları resirkülasyonu yapıldığı için sıcaklıklar düşeceğinden ve oksijen konsantrasyonu azalacağından, azalma gösterecektir.

2.4.5 Emme manifoldu basıncı

Emme manifoldu basıncının artmasıyla, dolgu debisi de artmaktadır. Bunun sonucu olarak da hem CO, hem de HC debisinde artış görülür. Püskürtme zamanı değiştirilmeden emme manifoldu basıncının artırılması durumunda, yanma daha geç tamamlanacaktır. Bu durumda yanmanın son kısımları genişleme zamanında gerçekleşeceği için sıcaklıklar düşecek ve NO_x emisyonu azalacaktır. Ancak genelde püskürtme zamanı da değiştirildiğinden NO_x emisyonu da basıncın artışı ile birlikte artış gösterir.

Stokiyometrik değerden biraz daha fakir karışımlar için (NO_x' in HFK ile değişiminin maksimum olduğu bölgede) emme manifoldu basıncı ile etkilenme en fazla olacaktır. Burada basıncın artması ile dolgu miktarı artacak ve önceki çevrimden kalan egzoz gazları miktarı azalacaktır. Böylece NO_x oluşumu da artış gösterecektir.

2.4.6 Yanma odası cidarındaki birikimler

Cidarlarda oluşan karbon birikimleri de sünger şeklindeki yapılarından dolayı yakıtı bünyelerinde biriktirerek yanmasını önlerler ve böylece HC emisyonu artış gösteririr. Burada biriken yakıt, genişleme zamanında basınç düştüğünde tekrar serbest bırakılır, ancak bu arada sıcaklık da düşmüş olduğundan bu yakıtın tümünün yanması gerçekleşmez.

Cidarlarda oluşan birikimler aynı zamanda sıkıştırma oranını da arttırarak HC emisyonunun tekrar artmasına neden olmaktadır. Yanma odası cidarlarındaki karbon birikimleri zamanla artış göstermekte ve belli bir zamandan sonra da kendi kendilerine kopmaktadır. Bu birikimlerin temizlenmesi sonucu HC emisyonu düşüş göstermektedir. Cidarlarda oluşan bu birikimlerin CO emisyonu üzerinde ise etkisi yoktur.

2.4.7 Yanma odası yüzey sıcaklıkları

Yanma odası cidar sıcaklıklarının değişimi motorun soğutma sistemi ile ilgilidir. Soğutma suyu sıcaklığının artması sonucu soğutma suyuna giden ısı miktarı azalır ve yanma odası sıcaklığı artış gösterir. Bu durumda alev sönme bölgesi azalacağı için HC emisyonu da azalacaktır. Ancak bu arada sıcaklıkların yükselmesi nedeniyle NO_x emisyonu da artış gösterir. Yanma odası yüzey sıcaklığının değişimi aynı zamanda motorun vuruntu meyili, volümetrik verim ve yağlama sorunu gibi etkenlerle de sınırlandırılmıştır.

2.4.8 Havadaki nem oranı

Karışımın içerisindeki nem miktarının artışı, maksimum alev sıcaklığını düşüreceği için NO_x oluşumunu da azaltacaktır. Moore tarafından yapılan deneylerde su buharının %1 oranında (kütlesel) artışı, alev sıcaklığını 200 derece düşürerek NO_x emisyonunu yaklaşık %25 azaltmaktadır. (H_2 - hava ve etilen-hava yanmasından) Nem oranının değişimi HC emisyonu üzerinde fazla bir etki yapmamaktadır.

2.4.9 Supap zamanlaması

Supap zamanlaması, yanma koşullarını etkilemekte olduğundan motor performansı ile birlikte egzoz gazları emisyonunu da etkilemektedir. Supap açılma ve kapanma zamanlamasına bağlı olarak yanma odasındaki türbülans şiddeti, karışımın homojenliği, dolgunun sıcaklığı ve basıncı, artık gazların miktarı etkilenmektedir. Supap zamanlaması sonucunda, bir çeşit egzoz gazları iç resirkülasyonu oluşumu da söz konusudur. Bu nedenle yanma sonucu sıcaklıkları, dolayısıyla emisyon değerleri ayrıca etkilenir.

Egzoz subabının standart zamanlamaya göre erken veya geç açılması emisyon değerini değiştirmektedir. Zamanından önce egzoz subabın açılması durumunda, yanma tamamlanmadan gazlar dışarı atılacağı için HC ve CO emisyonunda artış olacaktır. Erken açılmayı karşılayacak şekilde, gücün sabit tutulabilmesi amacıyla dolgunun bir miktar

arttırılması sonucu sıcaklık ve basınç artacağından NO_x emisyonu da artar. Bu durumda ayrıca dolgu debisinin artışı sonucu HC ve CO emisyonu artış göstermektedir.

Emme subabının erken açılması durumunda, egzoz sıcaklıkları düşmektedir. Bu durumda HC emisyonları azalır. Erken açılan emme subabı, supap bindirme sürecini arttırmakta ve bir kısım artık gazların önce emme kanalına kaçmasına ve daha sonra tekrar yanma odasına girerek yanmasına neden olmaktadır. Bu durumda da HC emisyonu azalır. Ayrıca karışımın seyreltilmesi de NO_x emisyonunu azaltacaktır. Emme supabı açılma zamanının standart değerine göre geciktirilmesi ise HC emisyonunda belirgin bir değişiklik yaratmamaktadır. Ancak aynı durumda NO_x emisyonunda bir miktar artış görülmektedir. Emme supabı açılış zamanlamasının CO emisyonu üzerinde ise belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

Emme supabının kapanma zamanının değiştirilmesi HC ve NO_x emisyonları üzerinde belirgin bir etki yaratmamaktadır. Aynı şekilde CO emisyonu, egzoz gazı sıcaklıkları ve yakıt tüketimini de etkilememektedir.

2.5 Motor Yapısının Emisyona Etkileri

Dizel motorlarında motor yapısına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi de egzoz gazları içerisindeki HC, CO ve NO_x miktarlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

2.5.1 Yanma odası yüzey/hacim oranı

Yanma odası yüzeyi ve hacmi pistonun ÜÖN'da bulunduğu konumdaki değerlerdir. Yanma odası cidarlarının alanı büyüdükçe cidarlara yakın bölgede bulunan alev sönme bölgesi de büyüyecektir. Bu bölgelerde yanma tamamlanmadığı için HC emisyonu alev sönme bölgesinin büyümesiyle birlikte artış gösterir.

Aynı şekilde motorun yüzey/hacim oranı da büyüdükçe alev sönme bölgesi büyür ve yanmamış HC emisyonu artar. Bu durumda CO emisyonu etkilenmez. Yüzey/hacim oranının arttırılması ile yanma odasının soğutulması kolaylaştırıldığından NO_x emisyonu ise bir miktar azalma gösterecektir.

2.5.2 Sıkıştırma oranı

Motorun sıkıştırma oranının arttırılması, termik verimin artmasına neden olmakta, özgül yakıt tüketimini azaltmakta ve motordan elde edilebilen maksimum gücün de artmasını

sağlamaktadır. Sıkıştırma oranının azaltılması ile motorun sıkıştırma hacmi önemli ölçüde artarken, ÜÖN'daki yanma odası yüzeyi de bir miktar artacaktır. Böylece Yanma odası yüzey/hacim oranı da azalacağından, HC emisyonu azalacaktır. Ancak bu durumda Motor performansı olumsuz etkilenmektedir. Sıkıştırma oranının azaltılması sonucu ayrıca motorun termik veriminde azalma olacağından egzoz gazları sıcaklığı artacaktır. Bu durumda egzoz sistemindeki reaksiyonlar iyileşecek ve HC emisyonu azalacaktır. Aynı zamanda motor verimi de düştüğünden aynı gücü elde etmek için gerekli dolgu miktarı fazlalaştırıldığında özgül HC emisyonu artmış olacaktır. Ayrıca motorun sıkıştırma oranının artışı sonucu sıcaklıkların yükselmesi NO_x emisyonunu da olumsuz etkilemektedir.

2.5.3 Yanma odası şekli

Egzoz gazları emisyonunu ve motor performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri yanma odası şeklidir. Motorun sıkıştırma hacmi sabit tutulduğunda, yanma odası şekli değiştirilerek yüzey/hacim oranı önemli ölçüde değiştirilebilir. Yanma odası şekli yüzey sıcaklıklarını, alev sönme bölgesinin kalınlığını etkileyerek hem HC ve NO_x emisyonunu hem de motorun vurutuya dayanıklılığını etkiler. Yanma odası şekli ayrıca türbülans etkilerini belirleyerek karışımın daha iyi oluşmasını, yanma hızının artmasını, alev sönme bölgelerinin azalmasını da sağlamaktadır.

Yanma odasında yanmamış HC oluşumunun kaynaklarından biri de pistonun üst yüzeyi ile kompresyon segmanı arasında kalan piston çevresel boşluğudur. Silindir cidarı ile piston arasındaki açıklığın belirlediği bu hacim alev sönme bölgesi oluşturmaktadır. Bu bölge çok geniş olduğunda pistonun yatay olarak hareketi artacaktır.

Dizel motorlarında yanma odasının tipleri ve şekli emisyon miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. HC emisyonları açısından direkt püskürtmeli motorlarla ön yanma odalı motorlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Düşük yüklerde bu fark daha da belirgindir. Direkt püskürtmeli motorlarda püskürtmenin yapıldığı piston içerisindeki çanak şeklindeki oyuğun geometrisi ve boyutlarının önemi büyüktür. Bu nedenle yanma odası geometrisine püskürtme sisteminin özelliklerinin uydurulması konusu önem taşımaktadır. Direkt püskürtmeli dizel motorlarında piston içerisine oyulmuş olan yanma odası yardımıyla ÜÖN civarında hava hareketleri oluşturularak, karışımın oluşumu iyileştirilmekte ve yanmanın hızlı gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Piston içerisindeki çanağın üst kısmındaki daralma da ek çevresel hava hareketleri yaratmaktadır.

Son yıllarda geliştirilen yüksek devirli, direkt püskürtmeli dizel motorlarında, yakıtın iyi parçalanması için enjektörden çıkış hızları arttırılmaktadır. Bu durum küçük yanma odası hacmine sahip motorlarda, yakıt demetinin karşı cidara çarparak burada bir miktar yakıtın toplanması ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle silindir başına küçük strok hacimli motorlara gidildikçe HC emisyonu artış gösterir.

2.5.4 Emme kanalı şekli

Motorlarda karışım ve yanma olaylarının iyileştirilmesi için yanma odası içerisindeki hava hareketlerinin, silindirdeki çevresel gaz akımının ve türbülansın arttırılması istenmektedir. Bunu sağlamanın yollarından biri de emme kanalı şeklinin ayarlanmasıdır. Ancak emme kanalı, yanma odasındaki hava hareketlerini arttıracak şekilde tasarlandığında motorun volümetrik verimi bir miktar azalacak ve motorun maksimum gücü düşecektir. Bu nedenle amaca göre durumun optimize edilmesi gerekmektedir.

2.5.5 Yakıt püskürtme sistemi

Dizel motorları yakıt püskürtme sisteminin yapısı, püskürtme zamanlaması, yanma odasına giren yakıt miktarının debisi vb. özellikler yanma performansını ve kirletici emisyon miktarını önemli ölçüde etkilenmektedir. Karışımın iyi oluşmaması ve yakıtın tam yanmaması sonucu oluşan is, motorun çalışmasını etkilediği gibi çevreyi de kirletmektedir. Ayrıca HC, NO_x, CO gibi diğer kirletici bileşenlerin oluşumu da yakıt püskürtme sistemi yapısı ve mevcut motora olan uyumu ile yakından ilgilidir. Yakıt demetinin yapısı ve konumu, püskürtme zamanlaması, püskürtme süresi ve gönderilen yakıt debisi gibi etkenler kirletici emisyon miktarını belirlemektedir.

Yanma odasına giren yakıt miktarının azalması NO_x emisyonunu etkilemektedir. Yakıtın debisinin fazla olması sonucu hızlı karışım ve yanmanın gerçekleşmesi NO_x miktarını arttıracaktır. Püskürtme zamanının geciktirilmesi ile NO_x emisyonu bir miktar düşürülebilir, ancak bu durumda da yanmanın tamamlanmasına ilişkin sorunları ortaya çıkacağından HC emisyonu artış gösterecektir.

2.5.6 Aşırı doldurma

Tüm karışım oranlarında, aşırı doldurma bütün çevrim boyunca sağlanan ortalama gaz sıcaklığını arttırmaktadır. Aynı oksijen konsantrasyonu için, sıcaklıkların yükselmesi yanmanın daha iyi olmasına ve yanmamış HC emisyonunun azalmasına buna karşın NO_x

emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Ayrıca aşırı doldurma sonucunda egzoz gazı sıcaklıkları da artmakta, egzoz sürecindeki oksidasyon reaksiyonları için zaman uzamaktadır. Aşırı doldurma sonucunda, yanma odasının daha iyileştirilmesi ile yanma da iyileşmektedir. Sonuç olarak hem direkt püskürtmeli dizel motorlarında, hem de bölünmüş yanma odalı dizel motorlarında aşırı doldurma sonucunda HC emisyonu azalacaktır[14-18].

3. GEMİ DİZEL MOTORLARI İÇİN ULUSLARARASI EMİSYON DÜZENLEMELERİ

3.1 Uluslararası Denizcilik Örgütü Düzenlemeleri(IMO MARPOL 73/78) (Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi, 1973 Ve 1978 Protokolü)

IMO genel kurulu 1973 yılında yalnızca deniz kirliliği konusunu ele alan bir konferans toplanmasını kararlaştırmıştır. 1973 yılında toplanan konferansta yeni bir sözleşme gündeme getirilmiş ve Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi kabul edilmiştir. Sözleşmenin denizlerin petrol, zehirli sıvılar, ambalajlı zararlı maddeler, pis sular ve çöpler ile kasıtlı kirlenmesinin önlenmesi ve gemilerin neden olduğu kaza sonucu doğabilecek deniz kirlenmesinin en aza indirilmesi olmak üzere iki amacı vardır. MARPOL 73/78 bir sözleşme, protokol ve altı ekten oluşmaktadır. 19 Mayıs 2005 tarihinde IMO nezdinde yürürlüğe giren ek VI “ Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Kurallar ” ile dizel motorlarının azotoksit ve sülfüroksit emisyonlarının kontrollerine ilişkin teknik kriterleri içermektedir. 400 GRT'den büyük ve uluslararası sefer yapan tüm gemiler ile platformlar ve delme takımlarına sürvey, sertifika ve denetleme zorunluluğu getirilmektedir. Yetkilendirilmiş kuruluşlar tarafından sürvey yapılan gemilere “ Uluslararası Hava Kirliliğini Engelleme Sertifikası ” verilmesini öngörmektedir. Fuel oilin sülfür içeriği %4.5 m/m oranında global bir tavan içermektedir. Gemilerden kaynaklanan deniz çevresinin kirliliğinin kontrolü ve önlenmesi hakkındaki teşkilat faaliyetlerinin koordinasyonundan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee-MEPC) sorumludur. Gemide dizel motorun kullanım amacına göre test ve ağırlık faktörleri belirlenmiştir. NO_x emisyonları kontrolü Ek VI, düzenleme 13'e göre yapılmaktadır.

Devir Sayısına Göre NO_x İçin Maksimum Limitler

$$n < 130 \text{ d/d} \quad \rightarrow 17.0 \text{ g/ kWh}$$

$$130 \leq n < 2000 \text{ d/d} \rightarrow 45 n^{-0.2} \text{ g/ kWh}$$

$$n \geq 2000 \text{ d/d} \quad \rightarrow 9.8 \text{ g/ kWh olarak belirlenmiştir.}$$

3.2 A.B.D. Çevre Koruma Kuruluşu Düzenlemeleri EPA (The U.S. Environmental Protection Agency)

Deniz motorları için motor tipine (benzinli ya da dizel) silindir hacmi ve gücüne göre çeşitli standartları kapsamaktadır. Burada sadece dizel motor kısımları ele alınmıştır.

- Küçük Deniz Dizel Motorları (< 37 kW) Emisyon limitleri tablo 3.1-2'de gösterilmiştir.
- Kategori-1 Ticari ve Kategori-2 Deniz Dizel Motorları

1. Aşama standartları MARPOL 73/78 Ek-VI standartlarıdır.

2. Aşama standartları ise 2007 itibarı ile 1. Aşama standartları yerine geçmiştir. (Tablo 3.2)

- Kategori-3 Deniz Dizel Motorları

Okyanus aşırı sefer yapan büyük deniz araçlarının sevk sistemlerinde kullanılan deniz dizel motorlarıdır. Bu tip motorlar için de EPA standartları MARPOL 73/78 Ek-VI ile aynıdır.

- Özel Deniz Dizel Motorları

Özel maksatla (eğlence/dinlenme) kullanılan deniz araçlarına ait 37 kW' dan büyük ve 5 lt/silindir deplasmanından küçük motorları kapsamaktadır. 2. Aşama standartlarına (Tablo 3.2) uyulması öngörülmektedir.

Tablo 3.1: EPA 1. Aşama Standartları

KATEGORİ	GÜÇ& DEPLASMAN (LT/SİLİNDİR)	HIZ	MODEL/ YIL	NOX (g/kWh)	HC+ NOX (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO (g/kWh)
KÜÇÜK	< 8 kW	-	2000	-	10,5	1.0	8.0
	8 ≤ kW < 19	-	2000	-	9,5	0.8	6.6
	19 ≤ kW < 37	-	1999	-	9,5	0.8	5.5
ÖZEL 1, 2, 3	≤ 37 kW & ≤2.5 l/cyl	rpm ≤ 2000	2004	9.8	-	-	-
		130 ≤ rpm <	2004	45 X rpm ^{-0.2}	-	-	-
		2000 rpm < 130	2004	17			

Tablo 3.2: EPA 2. Aşama Standartları

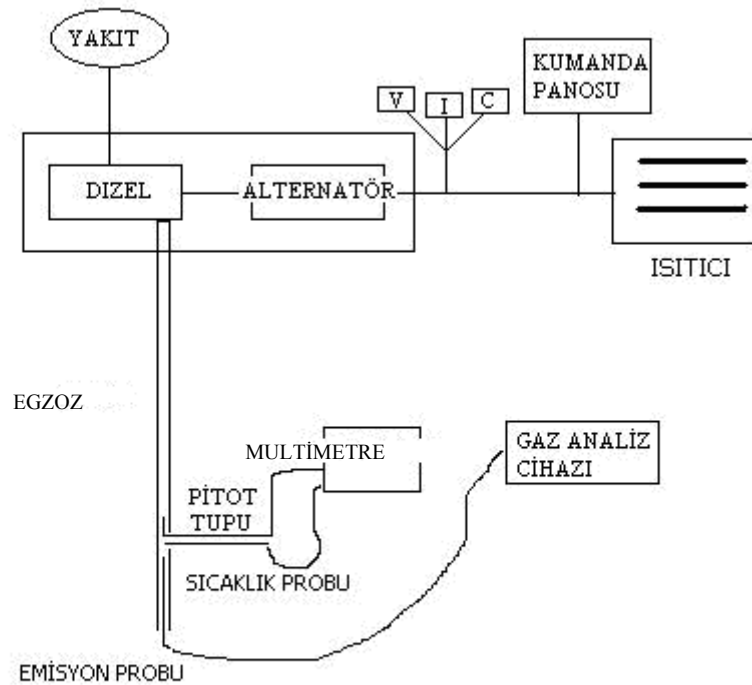
K A T E G O R İ	DEPLASMAN (LİTRE/SİLİNDİR)	GÜÇ (kW)	MODEL/YIL	HC-NOX (g/kWh)	PM (g/kWh)	Co (g/kWh)
K Ü Ç Ü K	-	< 8 kW	2005	7.5	0.80	8.0
	-	8 ≤ kW <19	2005	7.5	0.80	6.6
	-	19 ≤ kW <37	2004	7.5	0.60	5.5
T İ C A R İ	Dep. < 0.9	≥ 37 kW	2005	7.5	0.40	5.0
	0.9 ≤ dep. <1.2	-	2004	7.2	0.30	5.0
	1.2 ≤ dep. <2.5	-	2004	7.2	0.20	5.0
	2.5 ≤ dep. <5.0	-	2007	7.2	0.20	5.0
C 2	5.0 ≤ dep. <15	-	2007	7.8	0.27	5.0
	15 ≤ dep. <20	< 3300kW	2007	8.7	0.50	5.0
	15 ≤ dep. <20	≥ 3300kW	2007	9.8	0.50	5.0
	20 ≤ dep. <25	-	2007	9.8	0.50	5.0
	25 ≤ dep. <30	-	2007	11.0	0.50	5.0
Ö Z E L C 1	Dep. < 0.9	≥ 37 kW	2007	7.5	0.40	5.0
	0.9 ≤ dep. <1.2	≥ 37 kW	2006	7.2	0.30	5.0
	1.2 ≤ dep. <2.5	≥ 37 kW	2006	7.2	0.20	5.0
	2.5 ≤ dep. <5.0	≥ 37 kW	2009	7.2	0.20	5.0

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Deney Düzeneği ve Tanımı

Emisyon ölçüm sisteminin oluşturulmasında ve çalıştırılmasında ISO 8178-1 (İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Emisyon Ölçümü) standardına uygun hareket edilmesi esas alınmıştır[19]. Emisyon ölçümü için kullanılan tüm cihazların kalibrasyon geçerlilik tarihleri, ölçüm tip ve aralıkları ISO 8178-1'e uygundur.

Emisyon ölçüm sistemi şekil 4.1 ve 4.2' de olduğu gibi oluşturulmuştur. Dizel motor şekil 4.3'teki gibi 10 kVa gücündeki alternatöre bağlanmıştır. Alternatör çıkışı elektrik beslemesi kumanda panosuna girmektedir. Panoda voltaj ve akım değerleri kontrol edilerek dirençlerin bulunduğu ısıtıcıya şalterler vasıtasıyla kumanda edilmektedir.



EMİSYON ÖLÇÜM SİSTEM ŞEMASI

Şekil 4.1: Emisyon Ölçüm Sistem Şeması



Şekil 4.2: Emisyon Ölçüm Sistemi

Dizel motor teknik özellikleri Tablo 4.1’de ve alternatör teknik özellikleri Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Dizel Motor Teknik Özellikleri

Silindir Adedi	1
Silindir Çapıx Strok	90x105 mm.
Silindir Hacmi	0.668 Lt.
Ortalama Piston Hızı	10.5 m/s
Sıkıştırma Oranı	18,8
Devamlı Güç	11 kW (3000 d/d)
Strok Sayısı	4
Yakıt Sistemi	Direkt Püskürtmeli
Yakıt Tüketimi	270 g/kWh

Tablo 4.2: Alternatör Teknik Özellikleri

MODEL	ET2LBR
TİP	SİNKRO 2 KUTUPLU OTO-VOLTAJ REGÜLASYONLU FIRÇALI
GÜÇ	10.0 kVA
STANDART VOLTAJ	231/400 V - 50 HZ
COS	0,8
VERİM	%83
DEVİR	3000 d/d



Şekil 4.3: Dizel Motor Ve Alternatör

4.2 Kullanılan Ölçüm Sistemleri

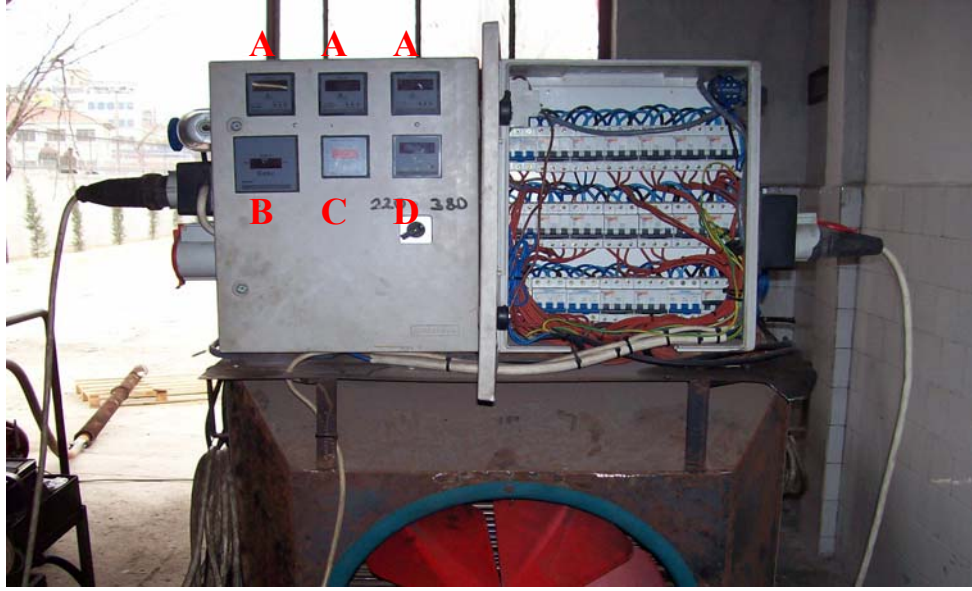
Her bir ölçüm periyodunda dizel motoru istenilen yük değerine getirebilmek için alternatör çıkışı voltaj, akım ve faz açısı değerleri şekil 4.4'teki pano vasıtasıyla takip edilerek yük sabitlemesi yapılmıştır. Yükleme jeneratörün beslediği elektrikli ısıtıcıya ait değişik değerlerdeki dirençler vasıtasıyla sağlanmıştır.

Şekil 4.5'teki Gaz analiz cihazına ait emisyon probu egzoz çıkışından içeriye doğru gaz akışına zıt yönde yerleştirilmiştir Şekil 4.6'teki multimetreye ait pitot tüpü egzoz boru çıkışından içeriye doğru 0.5 m'ye tüp girişi egzoz akışına zıt yönde yerleştirilmiştir. Sıcaklık probu ise pitot tüpüne gelen akışı etkilemeyecek şekilde monte edilmiştir. Ölçüm cihazları, özellikleri Tablo 4.3 -7'de verilen

1. Voltmetre
2. Ampermetre
3. Faz açısı ölçer
4. Multimetre
5. Gaz analiz cihazlarıdır.

Tablo 4.3: Elektronik Ölçüm Cihazları Özellikleri

Cihaz adı		Marka/model
A	Elektronik Ampermetre	EPM-4D ENTES
B	Elektronik CosΦmetre	ECR-3 ENTES
C	Dijital Frekansmetre	ENTES
D	Elektronik Voltmetre	EVM-3 ENTES



Şekil 4.4: Elektronik Ölçüm Cihazları

Tablo 4.4: Emisyon Ölçüm Cihazı Özellikleri

Marka / model	AVL DİCOM 4000
Ölçüm prensibi	CO,HC,CO2 için İnfrared Ölçüm
Ölçüm prensibi	O2,NOX için Elektrokimyasal Ölçüm
Çalışma sıcaklığı	+5 - +45 C
Çalışma nemi	Max %90
Güç desteği	195 - 253 V, 47 - 65 HZ
Max.egzoz gaz sıcaklığı	200 C
Kalibrasyon süresi	12 AY

Tablo 4.5: Emisyon Cihazı Ölçüm Parametreleri

ÖLÇÜM ARALIĞI	ÇÖZÜNÜRLÜK
CO % 0-10 hac	% 0.01 hac
CO2 % 0-20 hac	% 0.1 hac
HC 0-20000 ppm hac	1 ppm hac
NOX 0-4000 ppm hac	1 ppm hac



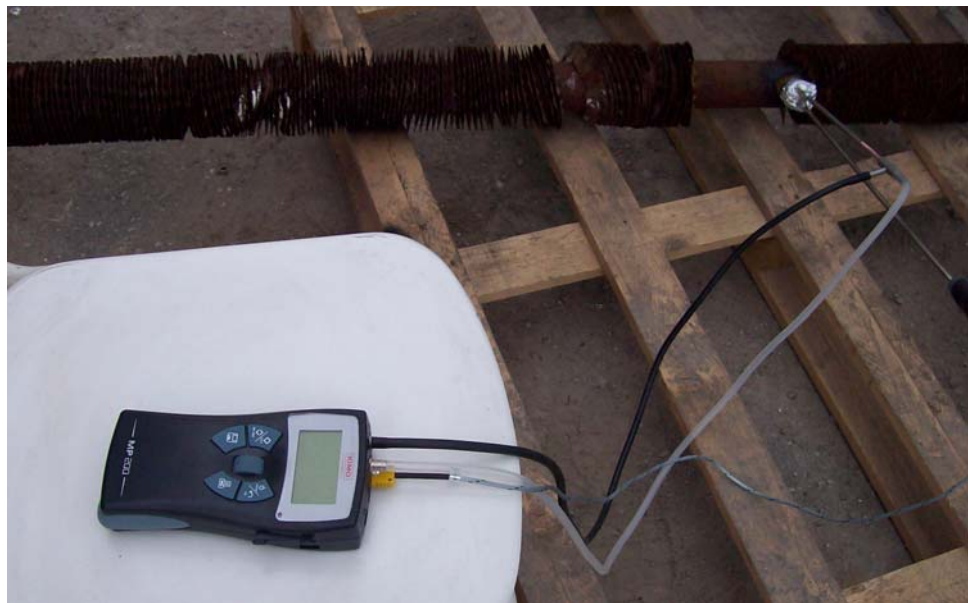
Şekil 4.5: Emisyon Ölçüm Cihazı

Tablo 4.6: Multimetre Teknik Özellikleri

Marka / model	KIMO MP200
Ölçüm prensibi	Hız için pitot tüpü
Ölçüm prensibi	Sıcaklık için sıcaklık probu
Kalibrasyon süresi	12 ay

Tablo 4.7: Multimetre Ölçüm Parametreleri

Ölçüm aralığı	Çözünürlük
Hız 4-100 m/s	0.1 m/s
Sıcaklık -200 - +999 C°	0.1 C°



Şekil 4.6: Multimetre

4.3 Ölçülen Değerler

Her bir yakıt karışımı ve yük değişimine karşılık gelen 30 deney periyodu uygulanmıştır. Deneylerde istenilen yük değerinin sabit hale gelmesinden itibaren 3 dakika boyunca 5 saniyede bir egzoz borusu çıkışında hız ve sıcaklık ölçümleri yapılarak ortalamaları alınmıştır (Tablo 4.8-9). Gaz emisyonları için cihaz ekranında sabit durum tespit edildiğinde emisyon sonuçları alınmıştır. Ayrıca silindir çıkışı egzoz sıcaklığı değerleri de ölçülerek kaydedilmiştir.

Deneylerde ölçülen değerler

1. Voltaj (Volt)
2. Akım (Amper)
3. Faz Açısı ($\cos\Phi$ 'nin değeri)
4. Egzoz gaz sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
5. Egzoz borusu çıkışındaki gaz hızı (m/s)
6. Egzoz borusu çıkışındaki gaz sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
7. CO (% Hacim)
8. CO₂ (% Hacim)
9. HC (PPM hex)
10. NO_x (PPM Hacim)

Tablo 4.8: Egzoz Borusu Çıkışındaki Ölçülen Ortalama Egzoz Hızları (m/s)

	EURODİZEL	B10	B20	B50	B75	B100
YÜKSÜZ	36,55	37,89	49,24	37,15	39,7	42,26
%25 YÜK	42,02	43,51	38,15	33,6	30,74	35,64
%50 YÜK	41,71	36,31	48,3	48,57	45,65	53,4
%90 YÜK	48,54	56,11	57,7	53,2	50,24	45,52
% 110 YÜK	51,47	48,73	45,99	47,16	52,21	50,48

Tablo 4.9: Egzoz Borusu Çıkışındaki Ölçülen Ortalama Sıcaklıklar ($^{\circ}\text{C}$)

	EURODİZEL	B10	B20	B50	B75	B100
YÜKSÜZ	80,7	81,7	71,5	84,2	86	117,7
%25 YÜK	103,9	91	83,5	74,2	86,6	92,3
%50 YÜK	125,4	113,3	96,9	104,4	108,1	115,7
%90 YÜK	190,3	156,4	159,2	137,5	172,9	151,8
% 110 YÜK	200,9	177,4	181,6	155	180,5	188,9

4.4 Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Yakıt olarak; biyodizel (B100), dizel yakıtı (Euro dizel, B0) ve dizel yakıtı ile %10 (B10), % 20 (B20), % 50 (B50), % 75 (B75) oranlarında karıştırılmış olan biyodizel kullanılmış olup yakıt özellikleri tablo 4.10'da sunulmuştur.

Tablo 4.10: Yakıt Özellikleri

Numune Adı	Yoğunluk	Viskozite	Isıl Değer	Yoğunluk	Viskozite
	15 C g/cm ³	40 C cst (cm ² /s)	cal/g	40 C g/cm ³	40 C mPa.s(dinamik)
Eurodizel	0,8357	1,2566	10944,27	0,8691	1,64
B-10	0,8402	1,519	10779,127	0,8197	1,03
B-20	0,8452	1,5712	10663,404	0,8226	1,25
B-50	0,8605	1,6861	10155,981	0,8274	1,3
B-75	0,8738	1,72	9824,6889	0,8422	1,42
B-100	0,8873	1,887	9490,6853	0,8553	1,47

4.5 Sonuçların Değerlendirilmesi

4.5.1 Gaz konsantrasyonunun hesaplanması

Her bir ölçüm periyodu için gaz konsantrasyonu, ölçüm cihazı probunun yerleştirildiği egzoz çıkış borusu kesitindeki ölçülen sıcaklık ve basınç ortalamaları ile ölçülen konsantrasyon kullanılarak hesaplanmıştır.

$$conc(g/m^3) = \frac{m}{m_v} \times \frac{T_o}{T} \times \frac{p}{p_o} \times \frac{conc(ppm)}{10^6} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki denklemde;

conc (g/m³) Konsantrasyon olup ISO 8178-1 Annex D'ye göre hesaplanır.

1 percent 10⁴ ppm

M Moleküler ağırlık (g/mol)

M_v Moleküler hacim (22.414 lt/mol ideal gazlar için)

T_o Referans sıcaklığı (273.15 K)

P_o Referans basıncı (101.325 kpa)

T	Sıcaklık (K)
P	Basınç (kpa), olarak kullanılmaktadır.

4.5.2 Emisyon kütle debisinin hesaplanması

Her bir ölçüm periyodu için kütle debisi ; ölçülen ortalama egzoz hızı, egzoz kesit alanı (0.00255 m²) ve denklem (1) 'de hesaplanan konsantrasyon ile hesaplanmıştır

$$M_{GAS} = conc \times V_{EXHD} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemde;

M_{GAS}	Egzoz kütle debisi (g/h)
$Conc$	Konsantrasyon (g/m ³)
V_{EXHD}	Kuru egzoz hacim debisi (m ³ /h), olarak kullanılmaktadır.

4.5.3 Ortalama emisyon değerlerinin hesaplanması

Dizel motorun kullanılan yakıtlara göre ortalama emisyon değerleri, ağırlık faktörleri (Dizel-jeneratör setleri için) ile hesaplanmıştır.

$$GAS_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} M_{GASi} \times W_{Fi}}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \times W_{Fi}} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde;

M_{GAS}	Her bir gazın kütle debisi (g/h)
P_i	Şaft fren gücü (kw)
W_{Fi}	Ağırlık faktörü (ISO 8178-4'e göre jeneratör setleri için D2 test tipi tablosundan alınmıştır[20].), olarak kullanılmaktadır.

4.5.4 Şaft fren gücünün hesaplanması

Şaft fren gücü ;ölçülen voltaj,akım ve faz açısı değerleri ile hesaplanmıştır.

$$P_i = \frac{V \times I \times \cos \Phi \times \sqrt{3}}{\eta} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki denklemde;

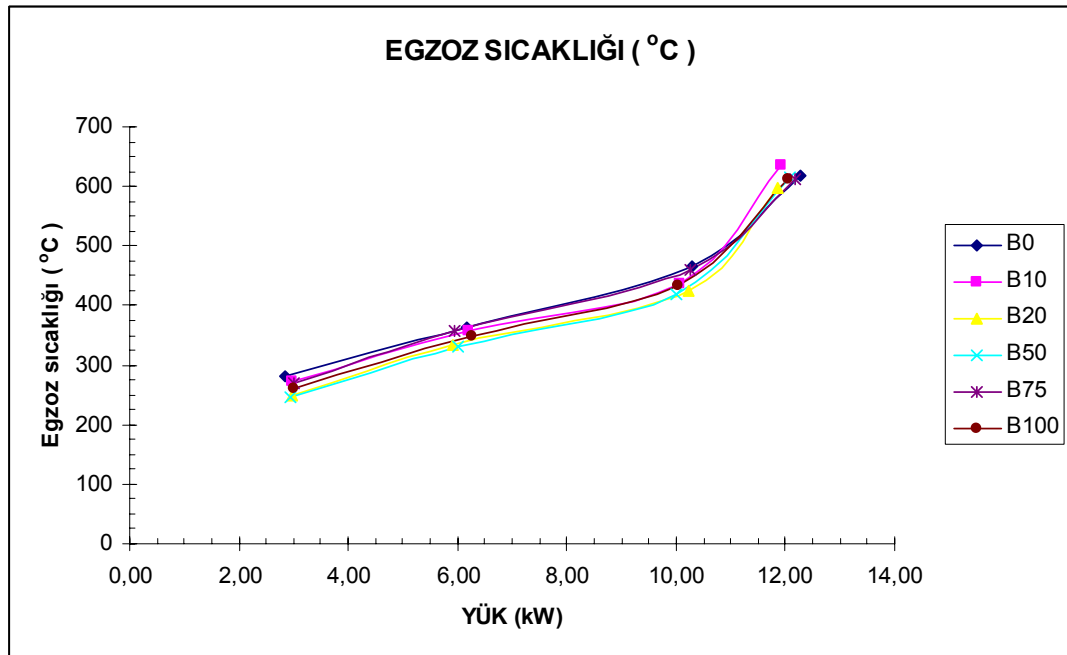
P_i	Düzeltilmemiş Şaft Fren Gücü (kw)
V	Voltaj (V)
I	Akım (A)
$\cos\Phi$	Faz açısı değeri (-)
η	Alternatör verimi (-), olarak kullanılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerin sonuçları aşağıdaki başlıklar altında değerlendirilecektir.

5.1 Egzoz Gaz Sıcaklıkları

Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi, yük artışıyla birlikte egzoz sıcaklıklarında artış meydana gelmiştir. Ayrıca %100 yüke kadar dizel yakıtı egzoz sıcaklıkları biyodizele göre daha yüksek, sonrasında ise O₂ eksikliği nedeniyle yanmanın oldukça bozulması neticesinde düşüş göstermiştir.

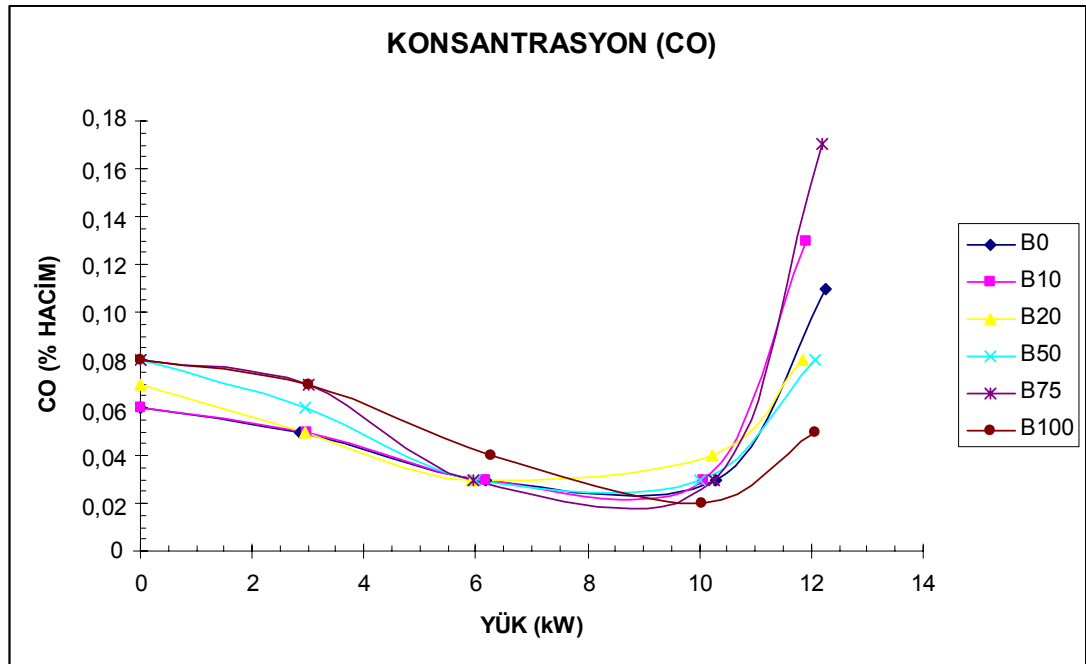


Şekil 5.1: Egzoz Gaz Sıcaklıkları

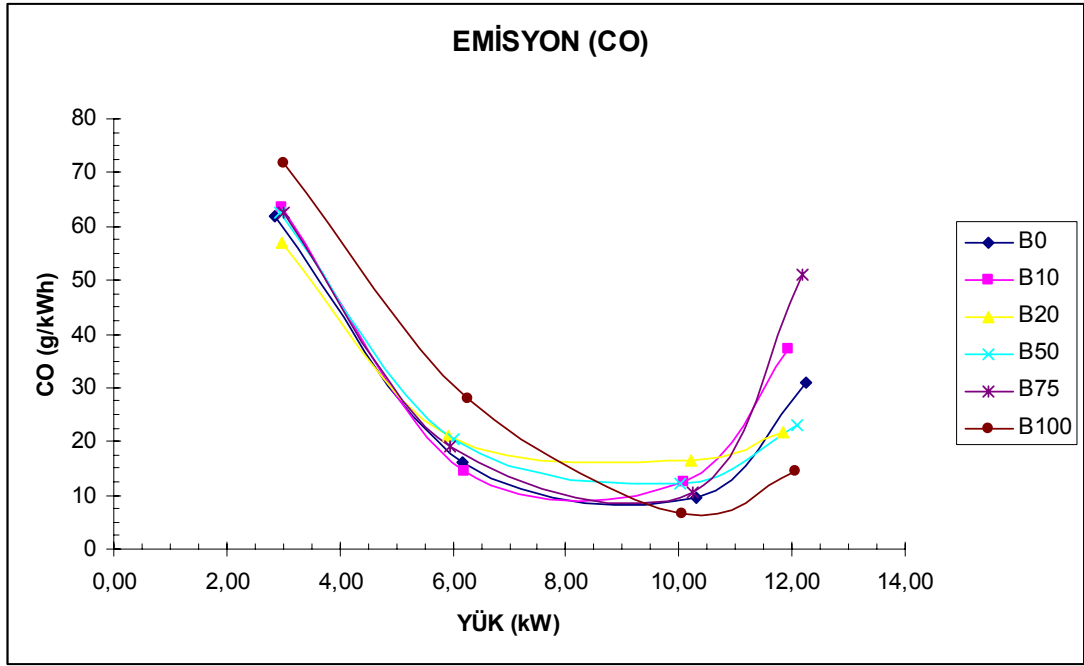
5.2. CO Emisyon Değerleri

Şekil 5.2-3' te görüldüğü gibi yük artışıyla birlikte silindir içindeki artan sıcaklık nedeni ile daha iyi bir yanma meydana gelmesi %90 yük civarına kadar CO emisyonlarında azalma sağlamıştır. Ancak dizel jeneratörün %110 yüklenmesinde motorun aşırı zorlanmasıyla hava/yakıt oranı düşerek aşırı zengin karışım oluşmuş ve oksijen yetersizliği nedeniyle yanmanın bozulması CO emisyonlarını artırmıştır.

Çalışmada kullanılan biyodizel karışımlarında %50 yüke kadar dizelin üstünde, %50 ve %100 yüklerde biyodizel CO emisyonunun dizel CO emisyonuna yakın değerler aldığı görülmüştür. Biyodizelin yüksek viskozitesinin neden olduğu zayıf atomizasyon ve spreyleme sonucu yükün artması ile yanma, dizel yakıtına göre daha çok bozulmaktadır. Ancak bu olayın etkisi biyodizeldeki oksijen fazlalığı sayesinde yanmayı fazla etkilememektedir.



Şekil 5.2: CO Konsantrasyonunun Yükle Değişimi

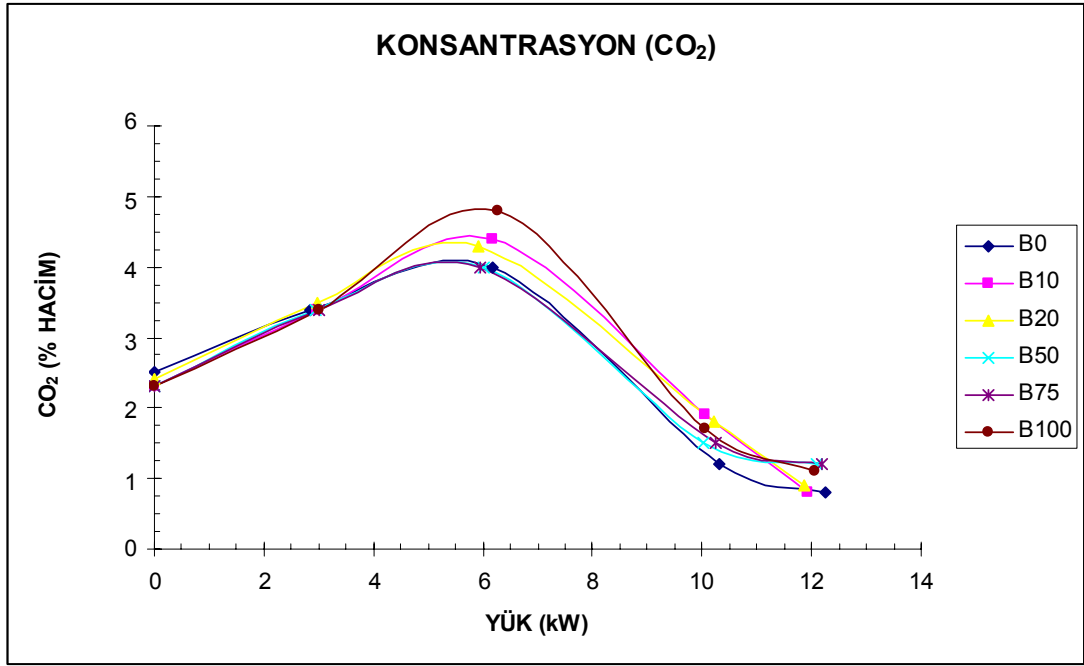


Şekil 5.3: CO Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi

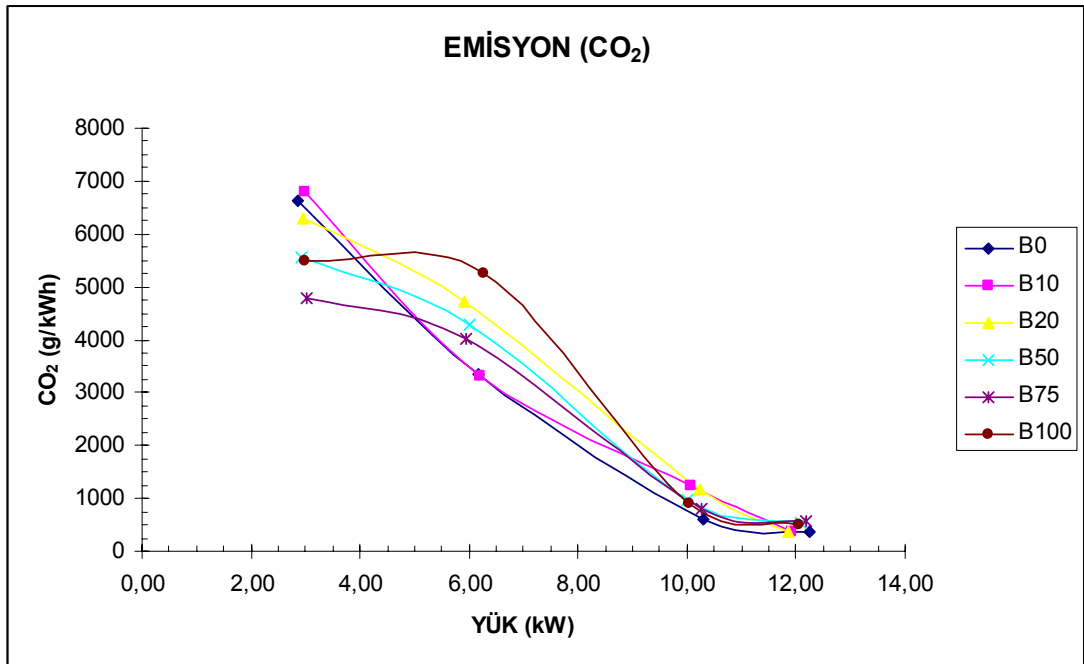
5.3. CO₂ Emisyon Değerleri

Şekil 5.4-5' te görüldüğü gibi CO₂ emisyonları yük artışı ile birlikte yanmanın iyileşmesi sonucu artış göstermektedir. Çünkü CO₂ oluşumu yanma etkinliğinin bir sonucudur. %50 yük civarında CO₂'nin maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu noktalarda hem sıcaklıklar yükselmiş hem de silindir içinde bol miktarda oksijen mevcuttur. Motorun doğal hava emişli olması nedeni ile HFK yük artışı ile birlikte (%50 yükten sonra) düşmektedir. Bu yüzden CO₂'nin azaldığı görülmüştür.

Biyodizel karışım oranının artması ile yakıttaki oksijen miktarı da artış gösterir. Böylece yüksek yük kademelerinde yanmanın daha az bozulması sağlanır. Bu yüzden biyodizel CO₂ emisyonlarının dizel emisyonlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



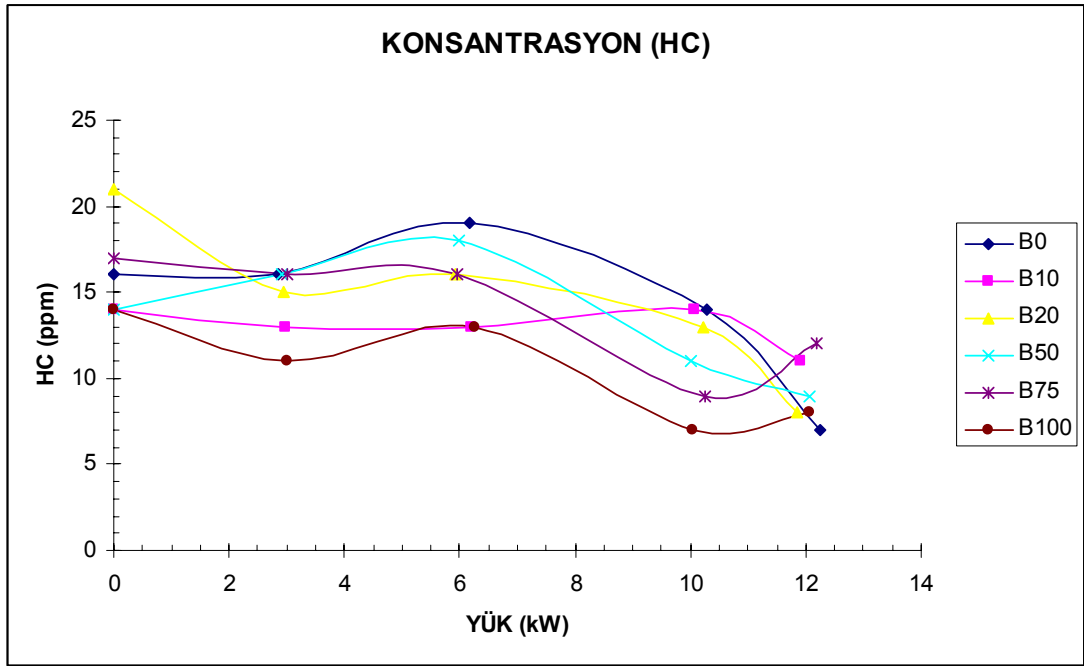
Şekil 5.4: CO₂ Konsantrasyonunun Yükle Değişimi



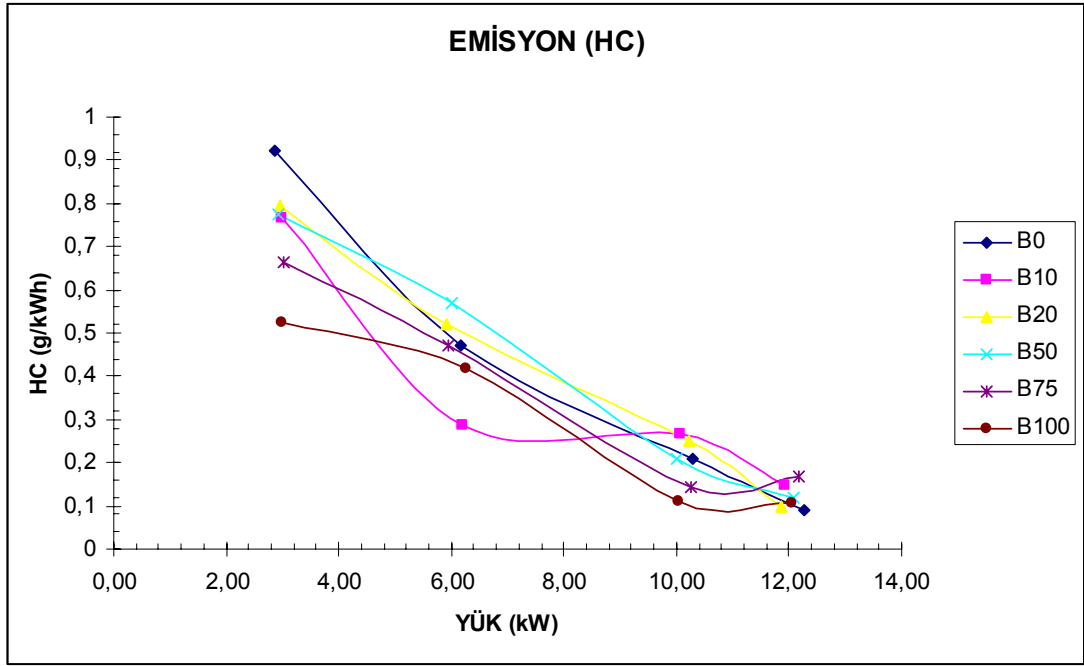
Şekil 5.5: CO₂ Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi

5.4. HC Emisyon Değerleri

Şekil 5.6-7' de görüldüğü gibi HC emisyonları yük artışına paralel olarak yanmanın iyileşmesi neticesinde azalmaktadır. Yanmamış hidrokarbon emisyonları motorun yapısına, yakıtın atomizasyonuna, silindirdeki hava-yakıt karışımının hareketine bağlıdır ve sıcaklıkların/oksijenin yetersizliğinden yanmanın tamamlanamamasından kaynaklanır. Bünyesindeki oksijen fazlalığı nedeni ile biyodizel HC emisyonlarının dizel yakıtına göre azaldığı görülmüştür.



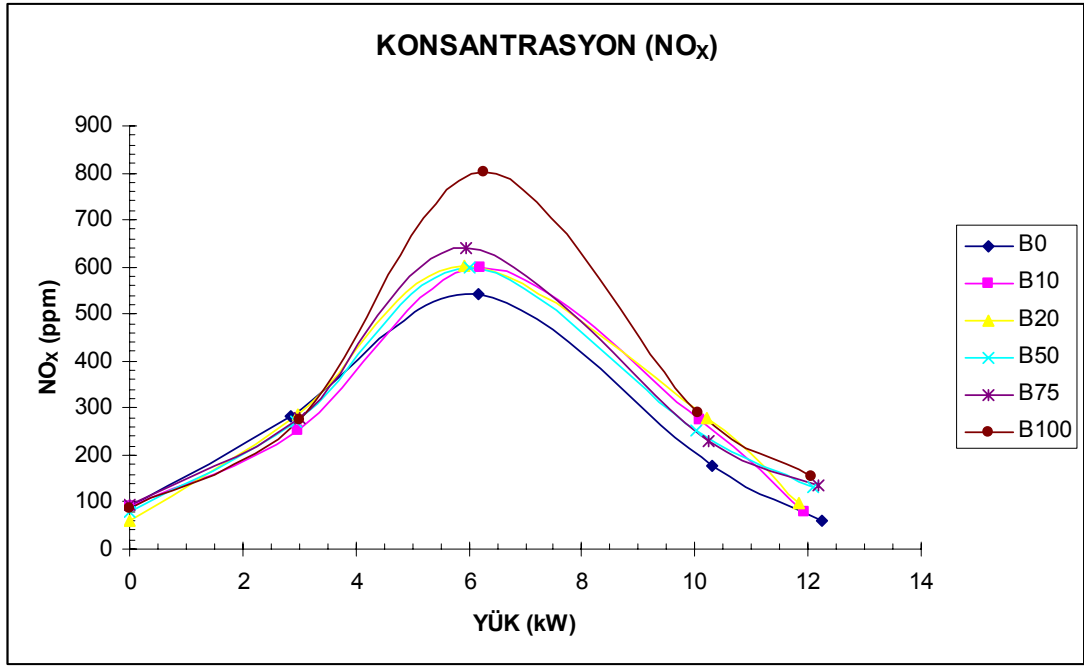
Şekil 5.6: HC Konsantrasyonunun Yükle Değişimi



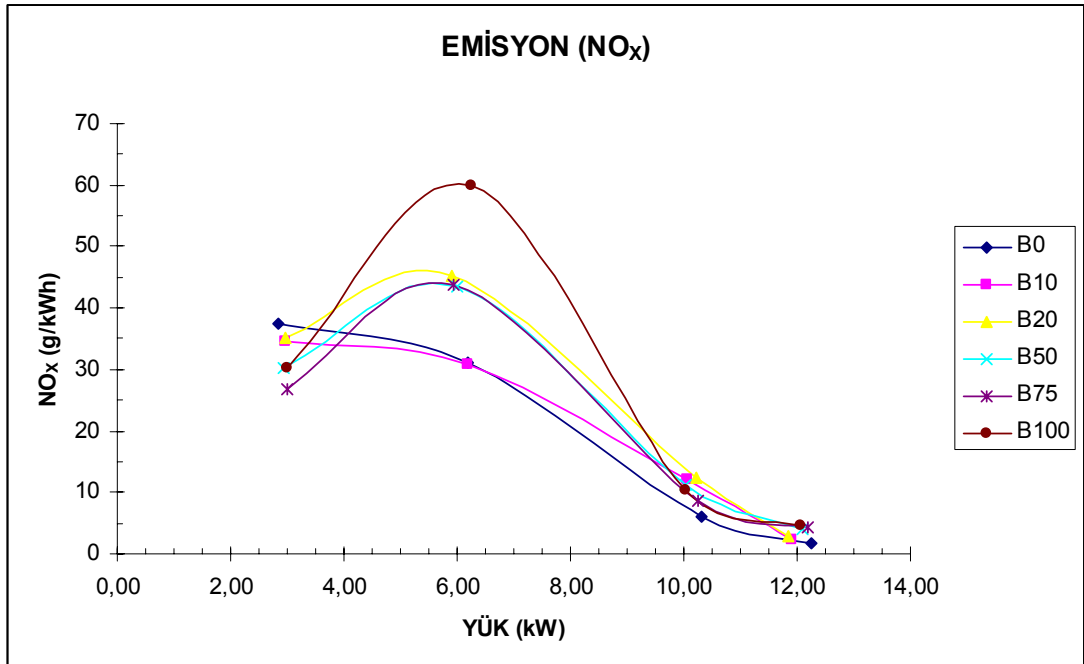
Şekil 5.7: HC Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi

5.5 NO_x Emisyon Değerleri

Şekil 5.8-9' de görüldüğü gibi NO_x emisyonları yüke bağlı olarak %50' den itibaren azalma göstermektedir. NO_x yüksek sıcaklıkta (1800 K) alev sınırları boyunca oksijenin havadaki azot ile birleşmesiyle oluşur. Yanmanın %50 yük civarında daha yüksek hava fazlalık katsayısı ile gerçekleşmesinden dolayı genel olarak NO_x emisyonları artmıştır. Sonrasında ise oksijenin azalması ile NO_x emisyonları düşmüştür. Biyodizelin bünyesinde fazla oksijen bulunması NO_x oluşum reaksiyonunu hızlandırır. Biyodizelin yüksek setan sayısı, viskozitesi, yoğunluğu ve kinematik viskozitesi ile düşük ısı değeri NO_x emisyonlarını arttırır. Yapılan çalışmada da biyodizel NO_x emisyonlarının dizel yakıtı emisyonlarının üzerinde olduğu görülmüştür.



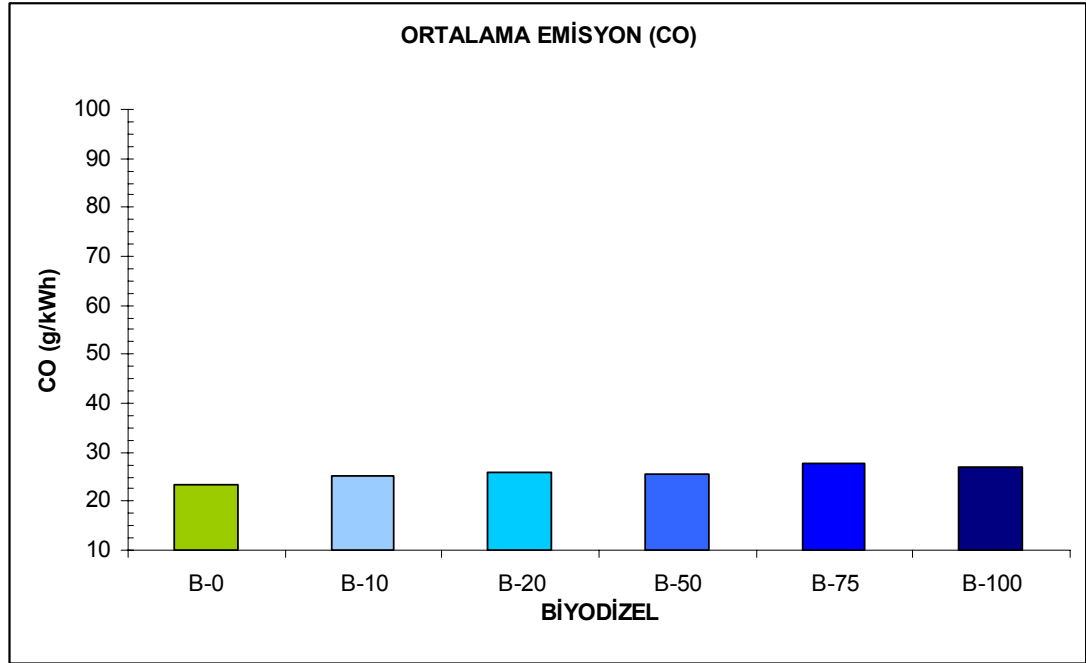
Şekil 5.8: NO_x Konsantrasyonunun Yükle Değişimi



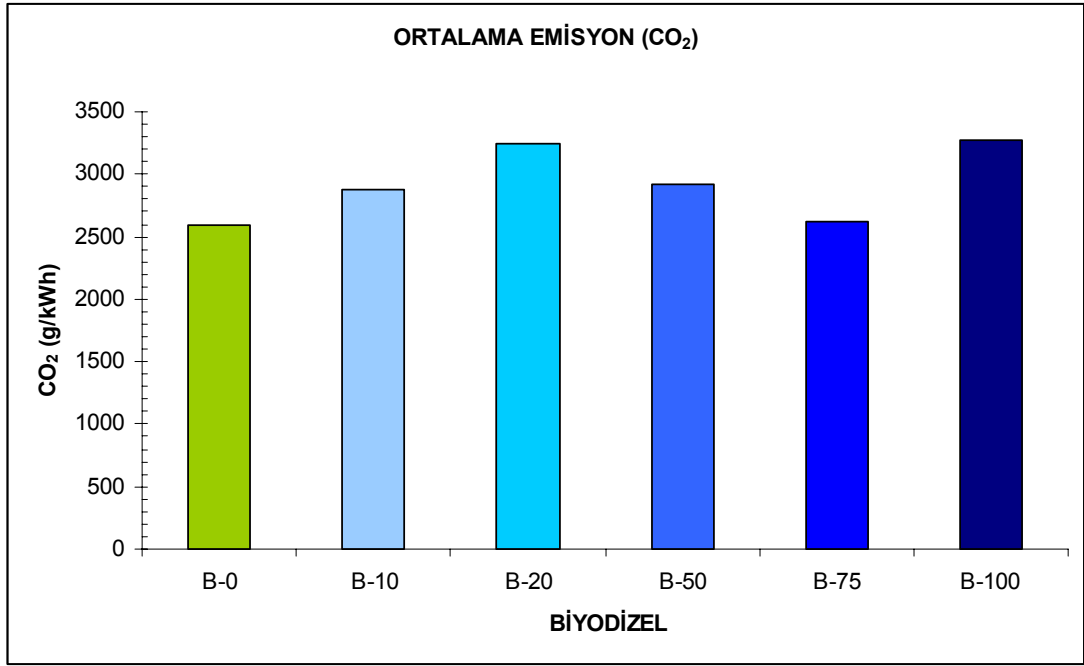
Şekil 5.9: NO_x Emisyon Değerlerinin Yükle Değişimi

5.6 Dizel-Jeneratör Grubunun Ortalama Emisyon Değerleri

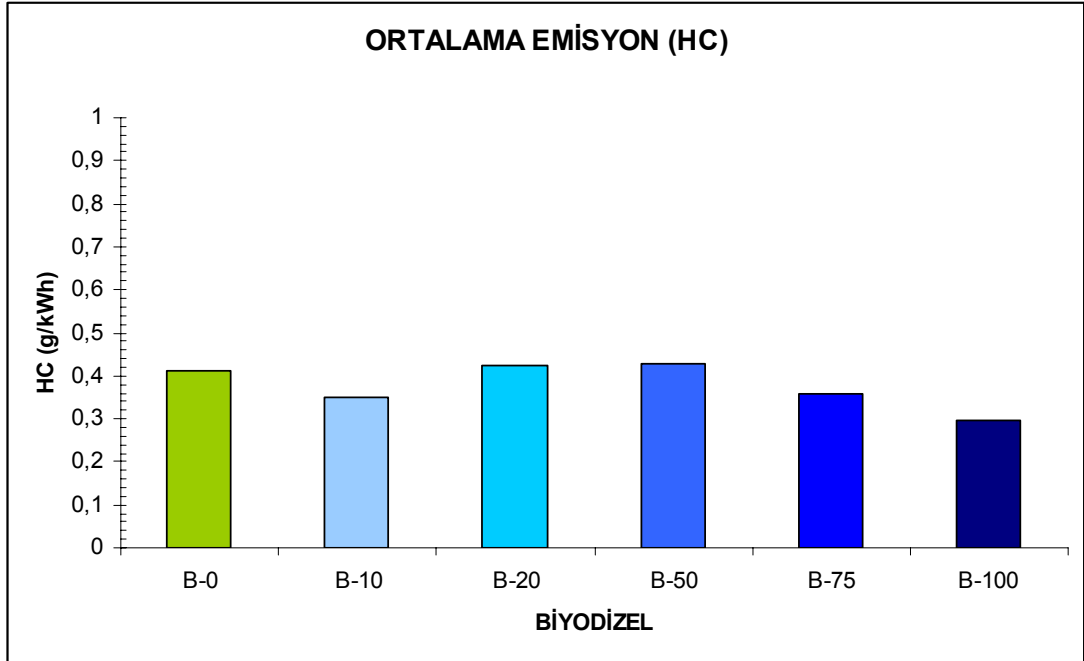
Dizel motorun sabit devirde ve değişken yüke bağlı olarak bir deniz dizel jeneratör grubu içinde kullanıldığı durumda ortaya çıkan ortalama emisyonları şekil 5.10-13'te sunulmuştur. Soya biyodizeli kullanımı ile genel olarak ortalama CO, CO₂ ve NO_x emisyonunun dizele göre arttığı, HC emisyonunun ise azaldığı görülmüştür. Ortalama emisyonların hesaplanmasında, dizel motorun bir jeneratör grubu içinde çalıştırılması dolayısıyla kullanılan ağırlık faktörlerinin sonuçlardaki katkısı büyük olmaktadır. Aynı motor farklı bir kombinasyonda kullanıldığında ağırlık faktörleri de değişeceğinden ortalama emisyonlarda da değişim olacaktır.



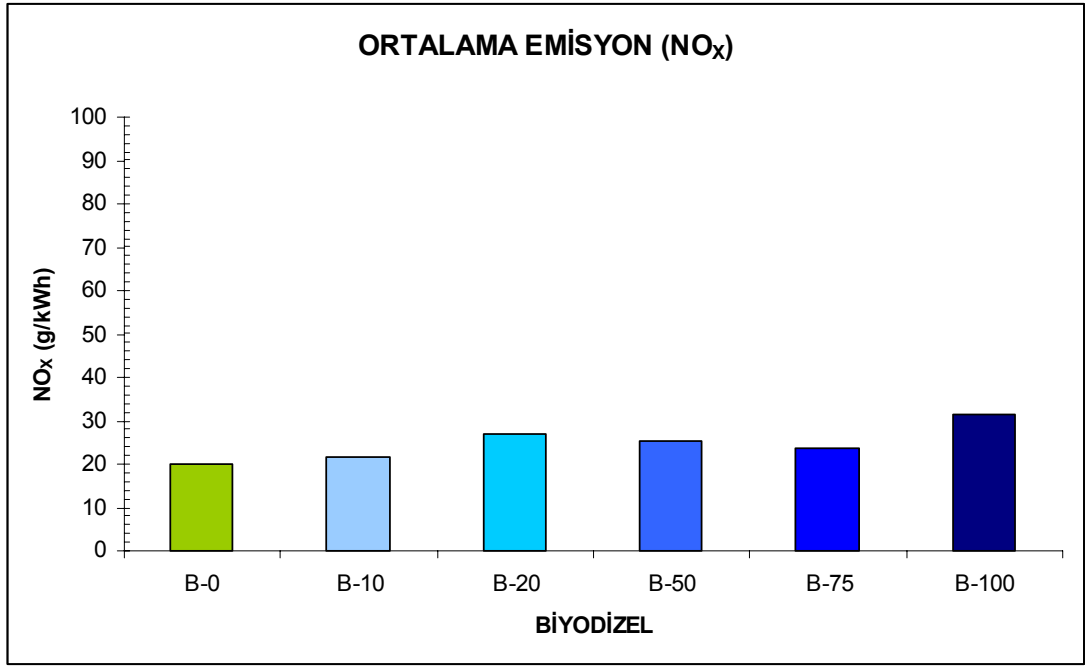
Şekil 5.10: Ortalama CO Emisyon Değerleri



Şekil 5.11: Ortalama CO₂ Emisyon Değerleri



Şekil 5.12: Ortalama HC Emisyon Değerleri



Şekil 5.13: Ortalama NO_x Emisyon Değerleri

5.7 Değerlendirme ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmada, biyodizelin tek silindirli, dört zamanlı, doğal hava emişli ve direkt püskürtmeli bir gemi dizel motorunun değişik yüklerdeki egzoz emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, soya yağı biyodizel yakıtının uzun süreli kullanımı test edilmemiş olmakla birlikte; bu motorda üreticisinin tavsiye ettiği %50-%90 yük aralığında, biyodizelin CO emisyonunun dizele yakın ve HC emisyonunun düşük olması sebebi ile tercih edilebileceği düşünülmektedir. Fakat, NO_x emisyonları göz önüne alındığında, biyodizelin bu motorda NO_x emisyonları yakıt enjeksiyon sisteminin iyileştirilmesi, püskürtme zaman ayarı optimizasyonu yada diğer yöntemler ile düşürüldükten sonra kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Bu konuda daha sonra yapılacak çalışmalarda, dizel motor, jeneratör setinden farklı bir kombinasyonda kullanıldığında (kompresör, pompa motoru v.b.) ortaya çıkacak emisyonlar değerlendirilerek motor için en uygun kombinasyon belirlenebilir. Ayrıca, motor üzerinde biyodizelin uzun süreli kullanımı test edilerek motor parçalarında oluşabilecek etkileri belirlenebilir ve kullanılan yakıta göre enjeksiyon sisteminde ve püskürtme zaman ayarında değişiklikler yapılarak emisyon sonuçları karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Şanlı, H. ve Çanakçı, M.**, Dizel motorlar için yükselen bir alternatif yakıt biyodizel. *Kocaeli Üniversitesi Yayınları*.
- [2] **Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E.**, 2005. Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması . *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11**, 325-334.
- [3] **Keskin, A., Gürü, M. ve Altıparmak, D.**, 2007. Tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının alternatif dizel yakıtı olarak incelenmesi . *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **22**, 57-63.
- [4] **Dorado, M.P., Ballesteros,E., Arnal, J.M., Gomez, J. and Lopez, F.J.**, 2003. Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, *Fuel*, **82**, 1311-1315.
- [5] **Kwancharon, P., Luengnaruemithcai, A. and Jai-In, S.**, 2007. Solubility of diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine, *Fuel* , **86**, 1053-1061.
- [6] **Pang, X., Shi, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Chen, H., and Li, R.**, 2006. Characteristics pf carbonyl compounds emission from a diesel-engine using biodiesel-ethanol-diesel as fuel, *Athmospheric Environment*, **40**, 7057-7065
- [7] **Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Granada, E. and Moran, J.C.**, 2007. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines, *Fuel*(2007).
- [8] **Agarwal,D. , Sinha, S. and Agarwal, A.K.**, 2006. Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine, *Renewable Energy*, **31**, 2356-2369.
- [9] **Labeckas, G., Slavinskas, S. ,** 2006. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Energy Conversion and Management*, **47**, 1954-1967.
- [10] **Çanakçı, M., Erdil, A. ve Arcaklioğlu, E.**, 2006. Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine, *Applied Energy*, **83**, 594-605.

- [11] **Wiznia, D., Geist, G., and Ellis, H.**, 2006. Implementation and Emission Analysis, *YaleBiofuels*.
- [12] **Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., Jayaraj, S.**, 2005, Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil, *Renewable Energy*, **30**, 1789-1800.
- [13] **Kegl, B.**, 2006. Experimental Investigation of Optimal Timing of the Diesel Engine Injection Pump Using Biodiesel Fuel, *University of Maribor*, **20**, 1460-1470
- [14] **Akman, Ö.S.**, 1999, Bir taşıtın şehir çevrimi boyunca egzoz emisyonlarının simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Okşar, M.**, 1997, Gemi Dizel Motorlarından kaynaklanan emisyonların kontrolü ve SCR teknolojisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Ersoy, F.**, 2006, Motorsikletlerde egzoz emisyonu ölçümü için bir yaklaşım, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Springer, G.S., Patterson, D.J.**, 1973, Engine Emissions Pollutant Formation and Measurement, *Plenum Press New York-London*.
- [18] **Patterson, D.J., Henein, M.A.**, 1972, Emissions From Combustion Engines and Their Control, *Ann Arbor Michigan*.
- [19] **ISO 8178-1**, 1996, İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Emisyon Ölçümü, (Bölüm-1), *International Standard*.
- [20] **ISO 8178-4**, 1996, İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Emisyon Ölçümü (Bölüm-4), *International Standard*.

ÖZGEÇMİŞ

Recep Uğur Özcumalı, 1975 yılında Amasya'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Amasya'da tamamladıktan sonra 1993 yılında Deniz Lisesi'nden, 1997 yılında ise Deniz Harp Okulu'ndan mezun olmuştur. Halen Sahil Güvenlik Komutanlığı'nda çalışmakta olup ileri düzeyde İngilizce bilmektedir.