

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DİZEL MOTORDA ÖN ISITMA UYGULANMIŞ BİYODİZEL
YAKITI KULLANIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Orhan İLHAN

Yüksek Lisans Tezi

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hanbey HAZAR

AĞUSTOS-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORDA ÖN ISITMA UYGULANMIŞ BİYODİZEL YAKITI
KULLANIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORHAN İLHAN
(141136104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hanbey HAZAR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

Dr. Öğr. Üyesi Emine ŞAP

TEMMUZ-2019

ÖNSÖZ

Hemen hayatımızın her safhasında kullandığımız motorlu araçların insana faydası yanında zararları da tartışılır hale gelmiştir. Özellikle içten yanmalı olarak çalışan ve fosil kökenli yakıt tüketen bu araçlar doğaya saldıkları ekzoz emisyonları sebebiyle insan sağlığına ve çevreye zararları kaçınılmaz kılmiştir. Bu zararların tespiti için yapılan çalışmalar kadar emisyon değerlerinin düşürülmesi için yapılan deney ve çalışmalar her geçen gün artmış ve bir çok başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu tez çalışmasında da fosil yakıtlara alternatif olarak kabul edilen bitkisel yağlardan (Siyah Hardal, Badem, Biber Çekirdeği) elde edilen normal ve ön ısıtma uygulanmış biyodizel kullanılmış ve motor ekzoz emisyon değerleri gözlemlenmiştir.

Tez çalışmam boyunca, sahip olduğu engin tecrübelerini, bilgi birikimini benimle paylaşan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Hanbey HAZAR'a yaptığı tüm katkılarından dolayı teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Serhat ŞAP, Mahmut Nedim TANSU, Hüseyin SEVİNÇ ve Tugay TELÇEKEN'e teşekkür eder ve şükranlarımı sunarım. Değerli eşim Nilüfer İLHAN'a ve aileme bu zorlu süreçte yanımda oldukları ve beni her konuda destekledikleri için teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca tezime proje kapsamında destekte bulunan FÜBAP birimine teşekkür ederim. Hazırlamış olduğum tezimi, çocuklarıma ve sevgili eşim Nilüfer İLHAN'a ithaf ederim.

Orhan İLHAN

Elazığ-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. BİYODİZEL.....	6
3.1. Biyodizelin Tanımı ve Tarihçesi	6
3.2. Biyodizel Standartları	10
3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	11
3.4. Biodizelin Emisyon Avantajları	12
3.5. Biyodizel Üretim Tekniği	12
3.5.1. Titrasyon işlemi	13
3.5.2. Alkol ve katalizörün karışımı	15
3.5.3. Gliserin Ayrıştırma	16
3.6. Transesterifikasyon Yöntemi.....	17
3.6.1. Transesterifikasyon reaksiyonlarını etkileyen parametreler	18
3.6.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler Biyodizel üretimde kullanılabilecek yağ kaynakları	19
3.6.3. Biyodizel Üretiminde Transesterifikasyon Yöntemiyle İlgili Çalışmalar	20
3.7. Biyodizelde Kullanılan Bitkiler	22
3.7.1. Siyah Hardal	22
3.7.2. Acı Badem	23
3.7.3. Biber Çekirdeği.....	24
4. EGZOZ EMİSYONLARI VE PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	26
4.1. Karbon Monoksit (CO).....	26
4.2. Karbon Dioksit (CO ₂).....	27

4.3.	Hidrokarbonlar (HC)	27
4.4.	Azot Oksitler (NO _x)	28
4.5.	Duman (İs) Yoğunluğu	29
4.6.	Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT)	30
4.7.	Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS)	31
5.	MATERYAL VE METOT.....	32
5.1.	Motor Test Düzeneği	33
5.1.1.	Deney Motoru	33
5.1.2.	Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	35
5.1.3.	Termometre.....	36
5.2.4.	Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel	37
5.2.5.	Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel	38
5.2.6.	Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel.....	39
6.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	41
7.	SİYAH HARDAL	42
7.1.	Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi	42
7.1.1.	Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.	42
7.2.	EGS Değerlendirilmesi	44
7.2.1.	Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.	44
7.3.	CO Değerlendirilmesi	46
7.3.1.	Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.	46
7.4.	CO ₂ Değerlendirilmesi	48
7.4.1.	Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ değerleri.	48
7.5.	HC Değerlendirilmesi.....	50

7.5.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.	50
7.6. O ₂ Değerlendirilmesi.....	52
7.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ değerleri.	52
7.7. NO _x Değerlendirilmesi.....	54
7.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO _x değerleri.	54
8. ACI BADEM	56
8.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi	56
8.1.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile Dizel Yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.	56
8.2. EGS Değerlendirilmesi.....	58
8.2.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.	58
8.3. CO Değerlendirilmesi.....	60
8.3.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.	60
8.4. CO ₂ Değerlendirilmesi.....	62
8.4.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ değerleri.	62
8.5. HC Değerlendirilmesi.....	64
8.5.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.	64
8.6. O ₂ Değerlendirilmesi.....	66

8.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ Değerleri	66
8.7. NO _x Değerlendirilmesi.....	68
8.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) No _x Değerleri.	68
9. BİBER ÇEKİRDEĞİ.....	70
9.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi	70
9.1.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT Değerleri.....	70
9.2. Egzoz Gaz Sıcaklık (EGS) Değerlendirilmesi.....	72
9.2.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS Değerleri.	72
9.3. Karbonmonoksit (CO) Değerlendirilmesi	74
9.3.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO Değerleri	74
9.4. Karbondioksit (CO ₂) Değerlendirilmesi	76
9.4.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ Değerleri.....	76
9.5. Hidrokarbon (HC) Değerlendirilmesi.....	78
9.5.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC Değerleri	78
9.6. Oksijent (O ₂) Değerlendirilmesi.....	80
9.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ Değerleri	80
9.7. Azotoksit (NO _x) Değerlendirilmesi	82

9.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO _x Değerleri.	82
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKÇA.....	89
ÖZGEÇMİŞ	92



ÖZET

İnsanların ulaşım sorunlarına yardımcı olmak amacıyla üretilen araçlar günümüzde kara ulaşımının yanında, hava ve deniz ulaşımında da kullanılmaktadır. Günümüzde ulaşım ile beraber motorlu araçların kullanılmadığı alan hemen hemen yok gibidir. Kullanılan bu araçların insan refah düzeyini artırdığı gibi insan ve çevreye zararlı yönleri mevcuttur. Bu zararlı etkilerin başında ekzoz emisyonları gelmektedir. Fosil yakıt kullanan bu motorlu araçların her geçen gün sayıları artmakta ve çevreye bıraktıkları emisyon miktarının artmasını da kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çevre kirliliğini azaltmak ve insan sağlığına olan zararları minimuma indirmek amacıyla bu tez çalışması yapılmış ve emisyon değerlerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Bu deneyler çok çeşitli olmakla beraber araçların ekzoz emisyonlarının azaltılması çalışmaları hız kazanmıştır. Fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelen zararlı gazların azaltılması ile beraber son yıllarda fosil yakıtlara alternatif yakıtların kullanılması da ön plana çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında üç ham bitkisel yağ dizel motorda yakıt olarak kullanılmıştır. Siyah hardal yağı, Acı badem yağı ve biber çekirdeği yağlarından laboratuvar ortamında transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş biyodizel kullanılmıştır. Biyodizel olarak kullanılan yakıt normal şartlarda %20, %60 ve %100 olarak dizel yakıt ile hacimsel olarak karıştırılmış tek silindirli, içten yanmalı bir dizel motorunda kullanılarak egzoz emisyon değerleri kaydedilmiştir. Aynı bitkilerden elde edilmiş biyodizel aynı oranlarda dizel yakıt ile karıştırılmış ve motorda kullanılmadan önce fırında ön ısıtmaya tabi tutulmuş akabinde motorda kullanılmış ve egzoz emisyon değerleri tekrar alınmıştır. Deneyler her karışım ve oran için tekrarlandığı gibi ön ısıtma uygulandıktan sonra da tekrarlanmıştır. Deneylerde, karışım yakıtlarının kullanımında ÖYT(Özgül Yakıt Tüketimi), EGS(Egzoz Gaz sıcaklığı), CO(Karbonmonoksit), CO₂(Karbondioksit), HC(Hidrokarbon) ve NO_x(Azotoksit) emisyonlarının sonuçları bulunmuş ve normal şartlar ile ön ısıtma uygulanmış karışım sonuçlarından alınan değerler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına baktığımızda farklı yağlardan farklı değerler alındığı görülmüştür. Aynı zamanda ön ısıtma uygulanmış biyodizel yakıtların emisyon üzerindeki etkileri bazı değerlerde yaklaşık %10 bir düşüş görülse de bazı değerlerin yükseldiği tespit edilmiştir. Ön ısıtma uygulanmış biyodizel karışımlarının normal şartlarda kullanılan karışım sonuçlarını kıyasladığımızda belli bir oranda yükseliş göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Hardal Yağı, Badem Yağı, Biber Çekirdeği Yağı, Egzoz Emisyon

SUMMARY

Investigation of The Effect of Using Biodiesel Fuel with Preheating in Diesel Engine

The vehicles produced to help people with transportation problems are used in land and air transportation as well as land transportation. Today, the area where motor vehicles are not used with transportation is almost absent. These tools increase human welfare and have harmful aspects to human and environment. Exhaust emissions are the most important of these harmful effects. The number of these motor vehicles that use fossil fuels is increasing day by day, making it inevitable to increase the amount of emissions they leave to the environment. In order to reduce this environmental pollution and minimize the harm to human health, this thesis has been conducted and experimental studies have been carried out to improve the emission values. Although these experiments are very diverse, the studies on reducing the exhaust emissions of the vehicles have accelerated. Along with the reduction of harmful gases resulting from the combustion of fossil fuels, the use of alternative fuels to fossil fuels has become prominent in recent years.

In this thesis, three crude vegetable oils were used as fuel in diesel engines. Black mustard oil, bitter almond oil and pepper seed oils were obtained by biodiesel obtained by transesterification method in laboratory. Exhaust emission values were recorded in a single cylinder internal combustion diesel engine mixed with 20%, 60% and 100% diesel fuel under normal conditions. Biodiesel obtained from the same plants was mixed with diesel fuel in the same proportions and preheated in the oven before being used in the engine and then used in the engine and exhaust emission values were taken again. The experiments were repeated for each mixture and ratio as well as after preheating. In the experiments, the results of ÖYT (Specific Fuel Consumption), EGS (Exhaust Gas Temperature), CO (Carbon Monoxide), CO₂ (Carbon Dioxide), HC (Hydrocarbon) and NO_x (Nitrogen Oxide) emissions in the use of mixture fuels were found and the results of the mixture were applied under normal conditions. When the results of the experiment were compared, it was seen that different values were taken from different oils. At the same time, the emission effects of preheated biodiesel fuels have been found to increase, although some values have decreased by approximately 10%. When we compare the mixture results of preheated biodiesel mixtures used under normal conditions, it has increased to a certain extent.

Keywords: Biodiesel, Mustard Oil, Almond Oil, Pepper Seed Oil, Exhaust Emission

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimi	22
Tablo 3.2. Acı Badem Değerleri	24
Tablo 3.3. Dünya Biber Üretimi (1000 Ton)	25
Tablo 3.4. Ülkemiz Biber Üretimi (1000 Ton)	25
Tablo 5.1. No 2-D Dizellin Özellikleri	32
Tablo 5.2. Antor 6LD 400 dizel motoruna ait teknik özellikler	34
Tablo 5.3. Bosch egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti	36
Tablo 5.4. Siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimi	37
Tablo 5.5 Acı Biber Yağı Değerleri.....	40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Bitkisel Yağlardan Transesterifikasyon Yöntemiyle Biyodizel Üretimi Metodu.	8
Şekil 3.2. Ön İyileştirme Reaksiyonu.....	8
Şekil 3.3. Biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynakları	11
Şekil 3.4. Bitkisel Yağlardan Transesterifikasyon Yöntemiyle Biyodizel Üretimi Metodu	17
Şekil 3.5. Siyah Hardal Resmi	22
Şekil 3.6. Acı Badem Resmi	23
Şekil 5.1. Cussons P8160 motor test düzeneği.....	33
Şekil 5.2. Antor 6LD 400 dizel motor.....	34
Şekil 5.3. Bosch marka emisyon ölçüm cihazı.....	35
Şekil 5.4. Extech Instruments 421502 Model K/J Tipi Termometre	36
Şekil 5.5. Siyah Hardal Yağından Üretilmiş Biyodizel.....	38
Şekil 5.6. Acı Badem Yağından Üretilmiş Biyodizel	39
Şekil 5.7. Biber Çekirdeği Yağından Üretilmiş Biyodizel.....	40
Şekil 6.1. Motor Test Düzeneğinin Şematik görünümü.....	41
Şekil 7.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.....	43
Şekil 7.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.....	44
Şekil 7.3 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.....	46
Şekil 7.4 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ değerleri.....	48
Şekil 7.5 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.....	50

Şekil 7.6 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ değerleri.....	52
Şekil 7.7 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO _x değerleri.	54
Şekil 8.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) OYT değerleri.....	56
Şekil 8.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.....	58
Şekil 8.3. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.....	60
Şekil 8.4. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ değerleri.....	62
Şekil 8.5. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.....	64
Şekil 8.6. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ Değerleri.....	66
Şekil 8.7. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) Nox Değerleri.	68
Şekil 9.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT Değerleri.	70
Şekil 9.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS Değerleri.....	72

Şekil 9.3. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO Değerleri.....	74
Şekil 9.4 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO ₂ Değerleri	76
Şekil 9.5 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC Değerleri.....	78
Şekil 9.6 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O ₂ Değerleri.....	80
Şekil 9.7 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO _x Değerleri	82

KISALTMALAR LİSTESİ

DY	: Dizel Yakıt
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
NBDY	: Normal Biyodizel Yakıt
NDY	: Normal Dizel Yakıt
NM	: Normal Motor
ÖIUBDY	: Ön Isıtma Uygulanmış Biyodizel Yakıt
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
PPM	: Milyondaki Partikül Miktarı

1. GİRİŞ

Son yıllarda, biyodizel üretiminde bitkisel yağların kullanılması, yağlı tohum olan bitkilerin önemini artırmıştır. Ülkemizdeki yağ ve yakıt amaçlı bitkisel yağ talebinin artması, yağlı tohum üretiminin artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Ülkemiz bitkisel yağ ve biyodizel yakıt olarak kullanılabilecek bitkilerin üretiminin yapılacağı toprak koşullarına sahiptir (Taner & Murat Kadir, 2014). Hidrokarbon kökenli yakıt kaynaklarının sınırsız olmaması, petrol mücadeleleri ve artan emisyon kirliliği içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu araştırmaların en önemlilerinden birisi de bitkilerden elde edilen yağlardan üretilen biyodizel yakıttır. Biyodizel, fosil kökenli dizel yakıtı yerine kullanılabilecek çevre dostu alternatif bir yakıttır. Biyodizel bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, atık yemeklik yağlardan üretildiği gibi alglerden de üretilir. İlk yıllarda kullanılan bitkisel yağlar kolza, soya, ayçiçeği, pamuk tohumu, mısır gibi bitki yağları iken günümüzde birçok bitkisel yağlardan biyodizel üretilmektedir (Taner & Murat Kadir, 2014).

Yıllardan beri İç Anadolu bölgesi başta olmak üzere diğer bölgelerde aynı ürünü erken ve yetiştirmektedir. Yıllarca aynı ürünü ekerek toprağın fiziksel ve kimyasal yapıları bozulmuştur. Günümüzde toplumun taleplerine göre üretim modelleri oluşturulduğu gibi endüstriyel amaçlı olarak da birçok ürün Türkiye’de artık yetiştirilmektedir. Endüstriyel olarak kullanılan badem bu ürünlerden bir tanesidir. Tarihi eski Babillere kadar dayanan ve Orta Asyadan gelen badem ülkemizde yetiştirilmektedir.

Uluslararası Fındık ve Kuru Meyve Konseyi’nin (INC) 2012 yılı verilerine göre dünyada iç badem üretimi 1,06 milyon tona ulaşmıştır. 845 bin ton ile ABD iç badem üretim ve % 79 payla ilk sırada yer alırken, 70 bin ton üretimle %7 pay alan Avustralya ikinci, 40 bin ton üretim ve %4 payla İspanya üçüncü sırayı almaktadır. Türkiye’de yaklaşık 13 bin ton iç badem üretimi ve yüzde 1,3 payla dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye’nin badem üretimi 1997 yılında yaklaşık 33 bin ton iken, 2012 yılında, 1997’ye göre % 143,2 artışla 80 bin 261 tona çıkmıştır. Toplu badem meyveliklerinin alanı ise aynı dönemde yüzde 214 artışla 75 bin hektardan 235 bin 547 hektara ulaşmıştır (ankaradagundem.net).

Biyo dizel olarak kullanılan bitkilerden bir diğeri olan hardal, ülkemizde yetişen sarı çiçekli 40-70 boylarında ve geniş yapraklı bir bitkidir. Siyah, beyaz ve kırmızı renkleri fazla olan hardalın ülkemizde diğ er renkleri de mevcuttur.

Son yıllarda biyodizel olarak çok kullanılan ürünlerden biber ülkemizde azımsanmayacak miktarda üretilmektedir. Sebze olarak bilinen biber şek il yönünden türler arasında büyük farklılık bulunan biberde yaygın olarak ancho, dolma, jalepeno, pasilla, new mexican, yellow wax meyve tipleri taze ve gıda sanayinde iş lenmektedir. Uzun yıllardan beri yetiştiriciliğ i yapılan biber ülkemiz toplam sebze üretim miktarı içerisinde önemli bir paya sahiptir. 2004 yılı verilerine göre 88.000 ha alanda 410.000 ton dolmalık 1.350.000 bin ton uzun sivri biber yetiştiriciliğ i yapılmaktadır. Biber üretim bölgelerinin baş ında gelen Ege, Marmara, Güney ve Güneydoğ u Anadolu ve Karadeniz'de gelmektedir. Ege ve Marmara Bölgelerinde taze sofralık veya gıda endüstrisinde farklı şek illerde iş lenmek üzere biber yetiştiriciliğ i yapılırken, Doğ u ve Güneydoğ u Anadolu Bölgelerinde özellikle toz ve pul biber üretimine yönelik biber üretimi yapılmaktadır. Akdeniz Bölgesi baş ta olmak üzere Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde toplam üretimin %85'i gerçekleştirilmektedir. Üretimin büyük bir kısmı iç pazarda tüketilmekte az bir miktar (%2) ihraç edilmektedir (<https://turkals.wordpress.com>, 2018).

Güçlü bir tarım ülkesi olan Türkiyede artık hayvansal yağlardan olduğ u gibi bitkisel yağlardan da biyo dizel üretimi yapılmaktadır. Ülke olarak enerji sınıfında ithalata bağı mlı olmamız ve dış ticaret açığının büyük bir kısmını enerji sektöründeki ithalatta olduğ unu düşünürsek biyodizelin önemi daha da artmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür taraması yapıldığında hayvansal yağların yanında bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin son yıllarda yaygınlaştığı ve bu konuda çalışmaların arttığı görülmektedir. Bitkisel kökenli biyodizel çalışmaları yıl geçtikçe daha da önem kazanmakta ve üretimi artmaktadır. Yurtiçi ve yurtdışı akademik ve sanayi endeksli çalışmalarına baktığımızda bu konuda çalışmaların artışı görmektediriz.

Aksoy 2010 yılında yaptığı “ Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri” çalışması ile biyodizelin üretimi proseslerini araştırmış ve biyodizel olarak alternatif enerji olma durumunu araştırmış ve özellikle transesterifikasyon yöntemi üzerinde durmuştur (Aksoy, 2010).

Alptekin ve E. Çanakcı 2006 yılında Türkiye’de biyodizelin durumunu incelemiş ve Türkiye olarak 2006 yılında biyodizel üretiminde nerede olduğumuzu araştırmıştır (Alptekin, 2006).

Türkiyede Kalkınma Ajansları (TKA) TR83 Bölgesi’nin (Tokat, Amasya, Samsun ve Çorum) son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerin gündeminde olan alternatif enerji kaynakları ile ilgili bugünkü çalışmaları saptamak ve yarına ışık tutmak amacıyla çalışma yapılması ve TR83 bölgesi başta olmak üzere ülkemizde, dünyada ve Avrupa’da alternatif (yenilenebilir) enerji kaynaklarına yönelik değerlendirmeler ve potansiyel incelemelerinin yanı sıra, yatırım şartları, maliyetleri ve uygulanan politikalar belirlenmiştir. Aynı çalışmada teşvik mekanizmalarına da yer verilerek yenilenebilir enerji konusunda yatırım yapmak isteyen girişimcilere yön vermek hedeflenmiştir (Anonim, 2011).

Demirbaş, 2009, “Biofuels from Agricultural Biomass. Energy Sources” çalışmasıyla biyodizel üzerinde çalışmış ve tarım temelli biyoyakıtlar arasında biyoetanol, biyodizel, biyometanol, metan ve biyo-yag bileşenlerini deneysel olarak incelemiştir (Demirbaş, 2009).

Güler 2008 de yaptığı çalışmada küçük kapasiteli bir biyodizel üretim sistemini geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanılan bitkisel yağdan biyodizel elde edilmiştir. Elde edilen biyodizelin testleri yapılmıştır (Güler, 2008).

Koç, M., 2011’ de yaptığı çalışmayla “Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi” ile

geliştirilen modelde, yakıt olarak kullanılmak istenen bir bitkinin, bitkisel özellikleri, kullanım alanları, fiziksel, kimyasal özelliklerine bağlı olarak en uygun üretim teknolojileri saptanmış ve standartlar oluşturulmuştur (Koç, 2006).

Türkyılmaz, O. ve Özgiresun, C., 2012, yılında yaptığı çalışma ve Türkiye'nin Enerji Görünümü, Makine Mühendisleri Odası Raporu olarak yayımlanmıştır (Tmmob, 2012).

Berrios, M., ve RL. Skelton. «Comparison of purification methods for biodiesel.» 2008 çalışmasıyla biyodizel yakıtı için Avrupa Standardı'nda (EN 14214) belirtilen çok yüksek saflık gereksinimlerini karşılamak için, önemli miktarda transesterifikasyon sonrası saflaştırmaya ihtiyaç duyulmasını anlatmış. Yakın zamana kadar tercih edilen yöntem suyla yıkama idi, ancak iyon değiştirici reçineler ve magnezyum silikatın katı bir adsorban olarak kullanımı ile arıtmaya devam edildiğini belirtmiştir. Üç yöntem, daha iyi sonuçlar veren karşılaştırmak için birkaç reaksiyon koşulu altında (sıcaklık, konsantrasyon, çalkalama oranı, vb.) test edilmiştir. Adsorbanların doymasını önlemek için önceki bir metanol gideriminin gerekli olduğu bulunmuştur (Koehler, 1994).

Emine Şap , HANBEY HAZAR yaptığı “Yanma Odası Elemanları ZrO_2 (alt indis yapılmalı) Kaplı Bir Dizel Motorda Badem Yağının Kullanılması” adlı çalışma ile badem yağı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Badem yağı burada B15 olarak adlandırılan %15B-%85 D2 (dizel yakıt), B35 olarak adlandırılan %35B -%65 D2 ve B65 olarak adlandırılan %65 B-%35 D2 oranlarında hacimsel olarak karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlar ve normal dizel yakıtı, 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda kullanılmış ve deney sonuçları alınmıştır. Daha sonra yukarıda bahsedilen deney yakıtları piston başı yüzeyi ve emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO_2 seramik malzeme ile kaplanmış bir dizel motorda deneyler tekrar edilerek tespitler yapılmış. Bu çalışmayla literatüre büyük katkı sunmuşlardır (Hazar & Emine, 2018).

İçten yanmalı motorlarda birbirine bağlı birçok parametreyi kendi bünyesinde barındırır. Fosil yakıtları dışındaki yakıtların kullanımı motor performansını dolayısıyla emisyon değerlerini pozitif yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Motorun çalışması esnasında sürekli devrim halinde bulunan yanma odası elemanları, gerek çalışma ortamı ve gerekse alçaktan yükseğe devir aralıklarında tekrarlı zorlamalar altında tribolojik deformasyonlara maruz kalmaktadır.

Bu çalışmada içten yanmalı bir dizel motorda, alternatif yakıtlar kullanılacaktır. Alternatif yakıt olarak; ön ısıtma uygulanmış ve bu yağlardan üretilmiş biyodizel ve yakıt katkı maddeleri kullanılacaktır. Bu çalışma ile petrol kökenli yakıtlardaki azalma ve fiyat

artışlarına önlem olarak yenilenebilirlik payı bulunan ve çevre dostu alternatif bir yakıt olan bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizelin ön ısıtma uygulayarak kullanımının motor performans karakteristikleri ve emisyon ürünleri üzerindeki etkilerinin tespiti amaçlanmaktadır. Böylece dizel motorda viskozitesi yüksek olan ve dizel yakıtına göre daha az kaliteli yakıtların kullanımı sağlanacaktır. Bu çalışmada, bitkisel yağlar belli oranda kullanılarak elde edilen biyodizele ön ısıtma uygulandıktan sonra yakıt olarak kullanılacaktır.

Bitkisel yağların normal (modifikasyon yapılmamış) dizel motorlarında kullanımı motor parçalarında ciddi hasarlara neden olmaktadır. Bu çalışmayla hem daha az kalitedeki yakıtların kullanım imkânı oluşacak hem de yanma odası elemanları olan piston, egzoz ve emme supapları gibi motor parçaların da ömrünün artması amaçlanmıştır. Böylece mevcut bir içten yanmalı motorun konstrüksiyon herhangi bir değişikliğe gitmeden uygulanabilecek alternatif yakıtlı bir sistem meydana getirilecektir.

3. BİYODİZEL

3.1. Biyodizelin Tanımı ve Tarihçesi

Kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir yakıt türüdür. Biyodizel, fosil kökenli yakıtlara alternatif bir yakıt olma yolunda büyük gelişme sağlamıştır. Biyodizel, hayvansal ve bitkisel yağlardan üretildiği gibi mum yağından ve evsel atık yağlardan da üretilmesi mümkündür. Bu yağların biyodizele dönüştürülmesini sağlayan süreçlerin en önemlilerinden biri de transesterifikasyon olarak bilinmektedir.

Günümüzde üretilen çoğu biyodizel endüstriyel gıda üreticilerinin ve büyük restoranların atık bitkisel yağı kullanılarak yapılmakla beraber bitki olarak biyodizel üretimi amacıyla üretilen ekinlerin maliyeti, atık yağların maliyetinden çok daha yüksek olduğundan, atık biyodizel miktarı çok daha fazla olmaktadır.

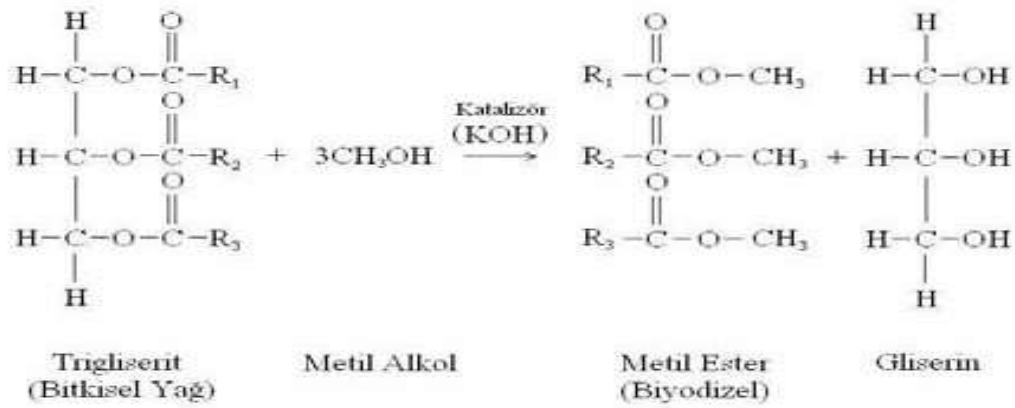
Biyodizel çevre kirliliği bakımından çok büyük önem arz etmektedir. Biyodizel nötral karbon olarak kabuledilmelidir. Bunun anlamı, yakıt olarak kullanıldıktan sonra karbondioksit formunda fazladan karbon çıkışının olmamasıdır. Bu etkinin oluşma nedeni, biyodizel üretiminde kullanılan bitkilerin büyüme aşamasında, yakıt olarak yanma aşamasında etrafa saldıgı miktarda karbondioksiti absorbe etmesidir. Ancak üretilen bitkilerin yetiştirme aşamasında kullanılan gübrelerin de önemli ölçüde karbondioksit salınımı yaptığı da unutulmamalıdır. Biyodizel üretimi ile ilgili olan kirlilik kaynaklarını da sadece gübre ile sınırlamak da doğru olmayacaktır. Biyodizel üretimi esnasında karşılaşılan diğer kirlilik kaynakları da; esterifikasyon, yağın solvent ekstraksiyonu, rafinasyon, kurulama ve nakletme süreçleridir. Bununla birlikte toprakta hızlı bir şekilde bozunabilmesi ve hiçbir toksik etkisinin olmaması, biyodizel atıklarını fosil yakıtlarının atıklarından çok daha az riskli kılar ve bu özellikleri en önemli artılarından biri olarak sayılır. Önemli sayılabilecek bir detay da parlama noktasının fosil yakıtlara nazaran daha yüksek olmasıdır. Bu özelliği de özellikle kazalarda patlama riskini daha aşağı çekmektedir (<http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapilir,2015>).

Dünyada kullanılan enerji miktarının, 2030 yılına gelindiğinde 2000 yılında tüketilen enerji miktarının yaklaşık 2 katı olacağı, 2050 yılında geldiğinde ise 3 katı olacağı ön görülmüştür. Bununla beraber petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerji gibi yenilenemeyen, enerji kaynakları çevreyi ve insan sağlığını giderek daha fazla tehdit edecek duruma gelmiştir. Dünyada kullanılan enerji kaynaklarının, ulaştırma başta olmak üzere, konutta ve sanayi sektöründe oldukça kullanılması, sorunu daha da önemli kılmıştır. Enerji tüketiminin ulaştırmada yaklaşık %90'ı hidrobarbon yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu oranın önümüzdeki yıllarda, gelişmiş ülkelerde yılda % 2 gelişmekte olan ülkelerde ise % 4 düzeyinde artacağı düşünülmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarı ormanların azalmasıyla giderek artmakta, bu nedenle atmosferdeki diğer gazlarla birlikte güneş ışınlarının yansımaları engellemektedir. Bu suretle, sera etkisi oluşmakta ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan gazlardan biri olan karbon monoksit vücuttaki oksijen oranını azaltarak ölümlere yol açarken, kükürt dioksit kansere sebep olmaktadır. Aynı zamanda doğalgazın yanması sonucunda meydana gelen kokusuz ve gözle görülemeyen azot oksit atmosferde diğer gazlarla etkileşime girerek vücudun bağışıklık sistemine zarar vermektedir. Atmosferin kirlenmesinin önlenmesi amacıyla, 1970'li yıllarda sanayileşmiş birçok ülke tarafından alınmaya başlanmış önlemlerle birlikte, kirleticilerin hava olaylarıyla birlikte taşınmasının ve sınır ötesi etkiler yaratmasının engellenmesi başarılamamıştır. Kirleticilerin uzun mesafeler katetmesi, insan sağlığına zarar vermeye devam etmiş, toprakta ve su kaynaklarında asit oranının artmasına neden olarak bazı canlı türlerinin yok olmasına sebep olmuş, ayrıca metal yüzeyleri, binaları olumsuz yönde etkilemiştir (Şener & Çakar, 2008).

Günümüzde yağlardan biyodizel üretimi için üç temel yol izlenmektedir. Bunlar; baz katalizi ile yağın transesterifikasyonu, doğrudan asit katalizi ile yağın transesterifikasyonu ve yağın, yağ asitlerine çevrilmesiyle biyodizele dönüştürülmesi yöntemleridir. Neredeyse tüm biyodizeller, en ekonomik yöntem olan ve sadece düşük sıcaklık ve basınç gerektirip yaklaşık % 98 verim elde edilebilen, baz katalizli transesterifikasyon yöntemi ile üretilmektedir (<http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapilir>, 2015).

İkinci Dünya Savaşı akabinde güven duyulan nükleer enerji bugün dünyada elektrik tüketiminin yaklaşık olarak % 16,5 sini karşılarsa da, meydana gelen nükleer reaktör kazaları bu çalışmalara duyulan güveni azaltmıştır. Günümüzde benzin ve dizel yakıtına

alternatif yakıtlar etanol iel birlikte biyodizel olma yolunda büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Tarım ülkesi olan ülkemizde, biyodizel önemli bir yer almaktadır. Kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesine yardımcı olurken ilgili alanlarda yan sanayinin de gelişmesine katkısı kaçınılmaz olacaktır. Ancak biyodizelin bitkisel yağlardan üretiliyor olması dizel yakıtına nazaran daha pahalı olmasına neden olmaktadır. Atık yağlardan biyodizel üretilmesi maliyetleri pozitif yönde etkilemiştir (Sabancı, Atal, & Yaşar, 2006). Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi metodu Şekil3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bitkisel Yağlardan Transesterifikasyon Yöntemiyle Biyodizel Üretimi Metodu

Biyodizel üretim yöntemlerinden biri olan transesterifikasyon prosesi, trigliseridin alkol ile reaksiyona girip ester ve gliserol oluşturmasıdır. Bir trigliseridin temel yapısını üç uzun zincirli yağ asidi bulunduran gliserin molekülleri oluşturmaktadır. Ön iyileştirme reaksiyonu Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Ön İyileştirme Reaksiyonu

Katalizör olarak genellikle kuvvetli bir baz olan sodyum hidroksit yada potasyum hidroksit kullanılmaktadır. Potasyum hidroksit biyodizel üretimi esnasında etil esterler için daha kullanışlı iken, metil esterler için her ikisi de kullanılmaktadır. En yaygın

transesterifikasyon prosesi RME olarak geçen kolza yağının metanol ile reaksiyonudur. Yağ ve alkol arasındaki tersinir bir reaksiyon gerçekleşir. Bu nedenle verimin artırılması için ortama aşırı miktarda alkol konulması gerekir (<http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapılır>, 2015).

Biyodizel üretimi, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı üzerine çalışan birçok araştırmacının ilgi odaklarından birisidir. Kurumsal bazda gelişmiş bazı ülkeler, konuyu planlama kapsamında değerlendirirken, kişisel olarak araştırmacıların üretim tekniği konusunda bilgi ve tecrübeleri artmaya devam etmektedir. Ülkemizde ise girişimcilerin konuya ilgisi oldukça yoğun olmakla birlikte teknik bilgi, devlet politikası ve yasal düzenleme eksiklikleri mevcuttur. Yeni enerji kaynakları üzerine bir denetleme, düzenleme, yasa oluşturma ve girişim yönlendirme acil ihtiyaçtır. Konunun önemi ve değeri girişimciler tarafından anlaşılmakta ve günden güne ilgi artmaktadır(www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Başarılı bir transesterifikasyon reaksiyonu elde etmek için, reaksiyon tamamlandıktan sonra gliserol ve ester tabakalarının ayrılması gereklidir. Daha ağır olup dibe çöken gliserol ortamdan ayrıştırıldıktan sonra ilaç ve kozmetik gibi farklı endüstrilerde kullanılmak amacı ile saflaştırılabilir.

Aynı zamanda bazı bitkisel yağlar da doğrudan fosil dizeli yerine kullanılabilse de ciddi motor problemlerine yol açma riski çok yüksektir. Çok yüksek viskoziteye sahip olan bazı bitkisel yağlar, yakıtın düşük atomlaşmasına, yanma aşamasının tamamlanmamasına, enjektörlerin kurum bağlamasına ve yakıtın makine yağında birikmesine neden olur.

Transesterifikasyon prosesi, oluşabilecek bu problemlerin engellenmesini sağlamaktadır. Yağlarda transesterifikasyon prosesinin yapılmasının faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Viskozitenin azalması
- Gliseridlerin tamamen uzaklaştırılması
- Kaynama noktasının azalması
- Parlama noktasının azalması
- Akışkanlık derecesinin artması (<http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapılır>, 2015).

Dizel araçların bitkise yağlar ile çalıştırılması yeni bir düşünce değildir. Rudolph Diesel icat ettiği motorda değişik bitki yağlarını ve özellikle yer fıstığı yağını denemiştir. Bitkisel yağların maliyeti ve petrolün ucuz olması bu fikrin uygulanmasını geciktirmiştir.

Bununla beraber petrol fiyatlarındaki artış ihtimali, petrolün tükenme korkusu, küresel kirlenme ve petrol savaşları yüzünden maliyet ve gelecek analizleri petrole olan bağımlılığı azaltmanın gerekli olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı petrole alternatif enerji kaynak ve modelleri her zaman araştırma konusu olmuştur. Biyodizel yapılan bu çalışmaların başında gelmektedir. Bu kapsamda biyodizel; zehirsiz, biyolojik bir yakıt olmasıyla dikkat çekmektedir. Hatta kullanılmış yağlardan bile elde edilmesi cazibesini artırmaktadır.

Genel olarak biyodizel

- Bitkisel veya hayvan yağlarından elde edilme durumu mevcuttur.
- Kullanılmış yağlardan elde edilir.
- Metanol ve sodyum hidroksitten elde edilir.
- Araçlarda saf olarak veya petrol dizele belirli bir yüzde katılarak kullanılır.
- Üretimi ve depolanması daha güvenlidir.
- Zararlı egzoz emisyonu azdır.

Birçok ülkede ve Amerika’da posta araçlarında, üniversitelerde, ulusal parklarda, çöp ve geri dönüşüm şirketlerinin çoğunda zorunlu kullanıma hale gelmiştir.

3.2. Biyodizel Standartları

Biyodizel saf ve dizel-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi gruplandırılmaktadır.

B5 : %95 Dizel +% 5 Biyodizel

B20 : %80 Dizel+ % 20 Biyodizel

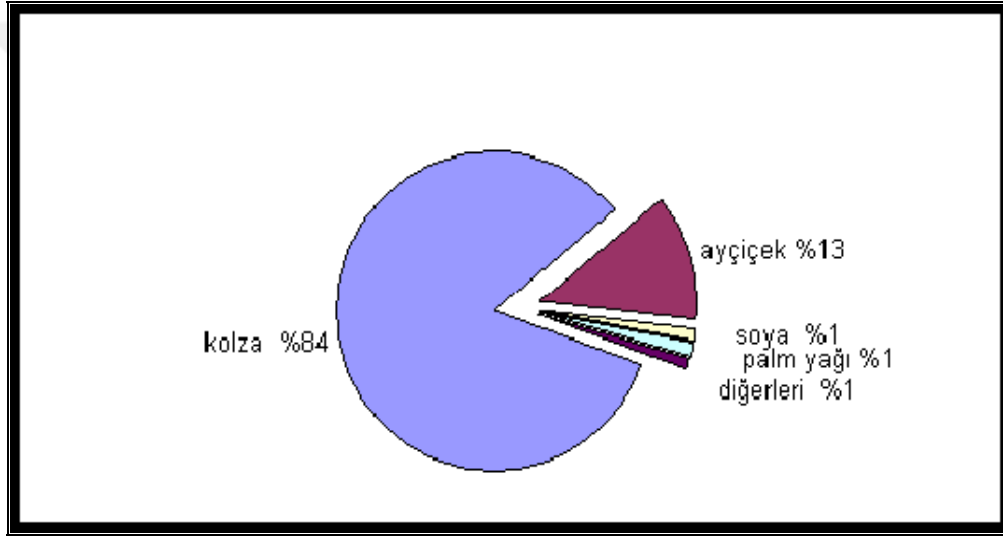
B50 : %50 Dizel + % 50 Biyodizel

B100 : %100 Biyodizel olarak kullanılmaktadır.

3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Biyodizel üretiminde kullanılan bitkiler çeşidi her geçen gün artarken, bu konudaki çalışmaları incelediğimizde;

- Bitkisel Yağlar: Soya, Ayçiçek, Aspir, Kolza, Palm Yağları, Pamuk, Hardal, Badem, Biber Çekirdeği vb
- Geri kazanıma dayalı ev ve sanayi artık yağları
- Hayvansal Yağlar: Balık Yağları, Kanatlı Yağları Don Yağları, ve Kuyruk Yağları vb
- Atık Bitkisel Yağlar: Kullanılmış Yemeklik Yağlar



Şekil 3.3. Biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynakları

Şekil 3.3'de biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının dağılımı görülmektedir. Buna göre kolza yağı %84 ile en çok kullanılan hammadde olurken, onu ayçiçek yağı %13 miktarı ile takip etmektedir. Soya, palm yağı ve diğer hammaddeler ise üretimde %1'lik paya sahiptir. Kolza türlerinden elde edilen kolza yağı (kanola yağı) transesterifikasyonda kullanılan en önemli bitkisel yağ çeşidi olup, kanola yağı yüksek kalitede biyodizel üretimi için çok uygundur. Almanya ve Avusturya kanola kökenli biyodizel üretiminde lider ülkelerdir. Ayçiçek yağı Güney Fransa ve İtalya'da, soya yağı ABD'de, palm yağı Malezya'da biyodizel üretiminde yaygın kullanılmaktadır. ABD, Avusturya ve İngiltere kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyodizel üretimini gerçekleştiren lider ülkelerdir (Sabancı, Atal, & Yaşar, 2006).

3.4. Biodizelin Emisyon Avantajları

- Karbondioksit emisyonundaki azalma %100,
- Kükürt dioksit emisyonundaki azalma %100,
- Araç yaşına ve motor ayarı olarak, azot oksit emisyonundaki azalma %5-10,
- İs ve kurum miktarındaki azalma %40-60,
- Karbon monoksit emisyonundaki azalma %10-50,
- Hidrokarbon emisyonundaki azalma %10-50,
- Bütün hidrokarbon çeşitlerinde azalma,
- Dizel kokusu yerine hoş bir patates kızartma kokusu yayması.

Biyodizel yakıt kullanımında bazen azotoksit emisyonunda artış olabilmektedir. Bu sorun motor ayarları veya katalitik konvertör kullanılarak giderilebilmektedir. Soğuk iklimlerde kullanılması yoğunluğunda artışa neden olmaktadır (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

3.5. Biyodizel Üretim Tekniği

Biyodizel üretimi karmaşık bir işlem gözüksede günümüzde üretim yöntemleri artmış ve basitleştirilmiştir. Bu yöntemlerden önemli safhalarından bir tanesi araçlarda güç kaybına neden olmaması için bitkisel yağın viskozitesini azaltarak akışkanlığını artırmak gereklidir. Viskosite değeri yüksek olan biyodizellerin motor performans değerlerini negatif yönde etkilemesi kaçınılmaz olmuştur. Yüksek akışkanlık istenen dizel motor yakıtlarına eşdeğer hale getirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda biyodizel akışkanlığını artırıp viskositesini düşürmek için yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. Yapısı gereği bitkisel yağların bir gliserin molekülüne tutunmuş 3 bitkisel yağ molekülü veya esterinden meydana gelmektedir. Gliserin bitkisel yağı kalın ve yapışkan özellik kazandırır. Biyodizel elde etmek için, gliserini ayırmak ve yerine alkol koymak gerekir. Bu işlem esterleme ile adlandırılır. Alkol olarak metanol kullanılmaktadır. Reaksiyon oluşturmak için katalizör kullanılır. Bitkisel yağ bir asittir ve molekülünü ayırmak için kuvvetli baz kullanmak gerekir. Bu amaçla sodyum hidroksit (NaOH) kullanılan malzemelerden biridir. Yeni yağ kullanıldığında NaOH miktarı sabit olarak işlem yapılır. Yağ kullanılmış ise serbest yağ asitleri sıcaklıkla değiştiğinden NaOH

miktarı farklılık gösterir. Serbest yağ asidi miktarı titrasyon ile belirlenir (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Her çeşit saf yağdan biyodizel elde etmek amacıyla reaksiyon oluşturmak için yağ miktarının %1'i civarında NaOH kullanılır. Bu, her litre yağ için 3.5 gram NaOH demektir. Kullanılmış yağlar, yeni yağlara göre daha asidiktir. Çünkü yağı ısıtmak serbest yağ asidi oluşturur. Serbest yağ asitleri damarlarda olduğu gibi yakıt borularında da tıkanmaya sebep olur. Bu yüzden biyodizel işleminde nötr hale getirilmelidir. Bu asitler trigliserin içerisinde serbest olarak yüzer ve NaOH gibi bazik olan herhangi bir şeye tutunmaya çalışır. Bu yüzden eklenecek katalizör miktarını belirlemek gerekir. Titrasyon için metanol değil bitkisel yağ ile reaksiyona girmeyen izopropil alkol kullanılır. Böylece bitkisel yağ solüsyonda kalır (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

3.5.1. Titrasyon işlemi

- Bir gr NaOH hazırlanmış bir lt distile su içerisinde eritme işlemi yapılır.
- Bir ml bitkisel yağ on ml isopropil asit ile eritilir.
- NaOH'lu solüsyonu seyreltilmiş bitkisel yağa damlatılırken her mililitrede bir PH miktarı ölçülür.
- PH miktarı 8 veya 9 değerine çıkarsa serbest yağ asidi nötürleştirilmiş demektir.
- PH seviyesi artıkça alkalinite, azaldıkça asitlik oluşur. PH 8.3 civarında solüsyon renksizdir. Diğer yükseldikçe pembe oranı artar ve sonrasında yaklaşık olarak 10.4 değerlerine ulaşınca kırmızıya döner.
- Bitkisel yağa eklenen her mililitre, biodizel reaksiyonu için her bir litre bitkisel yağa kaç gram NaOH katılacağını gösterir.
- Değişik miktarlarda biyodizel üretimi yapılabilir. Kullanılan miktara orantılı olarak yağ miktarları ayarlanır. Biyodizel üretiminde kullanılacak alkol etanol veya metanol, katalizör olarak ise NaOH veya KOH kullanılır. Farklı alkol veya katalizör kullanıldığında bunların eklenme oranları değişir. Metanol ve NaOH kullanılmış ise bunlar birlikte karıştırılır. Karışım bir organik tuz olan sodyum metoksit (NaOCH_3) oluşturur. Bitkisel yağ ile karıştırılan sodyum metoksit sonuçta biyodizel ve gliserin üretiminin en temel yolunu oluşturur. Bir litre biyodizel üretim aşamaları;
 - NaOH belirlemek için titrasyon işlemleri yapılır.
 - NaOH 'yı 200 ml metanol içerisinde eritme işlemleri yapmak,

- 1 lt bitkisel yağ ile elde edilen sodyum metoksidi 20 dakika karıştırmak,
- Gliserin oluşması için yaklaşık sekiz saat beklemek ve 10 lt biodizel karşılığında 2 lt gliserin meydana getirmek,
- Hazır olan yakıtı saf veya katkılı olarak kullanmaktır (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Üretim aşamasında bitkisel yağı 50°C civarına ısıtmak yağın akışkanlığını artıracak için işlemi hızlandırır. Denemeler sonunda ideal sıcaklık 55°C olarak belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda metanol buharlaşacağı için işlem verimi azalır (metanolün kaynama derecesi 64.7 °C'dir). Karıştırma işlemi süresince sıcaklığı sabit tutmak verimi artırmaktadır. Eğer kapalı çevrim sistem tasarlanırsa alkolü geri kazanmak ve yeniden kullanmak mümkündür.

Bazı çevreci üreticiler metanol fosil yakıtlardan üretildiği için biyolojik olan etanolü tercih etmektedir. Etanol fazla zararlı değildir. Metanol ise öldürücü bir zehirdir. İçildiğinde iki saat içerisinde önce kör eder sonra ölüme sebep olur. Fakat etanol kullanarak biyodizel üretmek biraz daha karmaşıktır (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Elde edilen biyodizel içerisinde su olup olmadığını belirlemek için 50°C civarına kadar ısıtılır. Kabarcıklar ve çıtırdama varsa yakıtta su vardır. 60°C civarına kadar çıkıldığında bir reaksiyon yoksa su mevcut değildir. Bitkisel yağı 60°C civarında 15 dakika tutup sonra üretime başlamak daha kolay bir yöntemdir. Bu sıcaklıkta bekletilen yağdaki su dibe çöker, böylece ayırtmak ve yağı kurutmak kolaylaşır. Suyu kaynatıp buharlaştırarak ayırmak zordur. Çünkü yağ ısındıkça üste çıkar. Kullanılmış yağda tuz varsa suyu kurutmak daha zordur. Titrasyon sonucunun yüksek çıkması da su oranının fazla ve ayırmanın zor olduğunun bir göstergesidir.

Elde edilen biyodizeli yıkayıp kullanmak; içindeki sabun, NaOH, metanol, gliserin ve diğer kalıntılardan arıtmak için gereklidir. Yakıtın kalitesini artırır. Bu konudaki birçok araştırmacı bu kalıntıların motor için zararlı miktarda olmayacağı düşüncesi ile yıkamanın gerekli olmadığı görüşündedir (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Petrol dizel kullanımı sırasında yakıt tankında kalıntılar oluşur. Biyodizelin çözücü etkisi vardır ve bu kalıntıların çoğunu ortadan kaldırır. Yakıt olarak saf biyodizel kullanıldığında yakıt sistemindeki lastik hortum gibi aksamlar zarar görebilir. Yeni model araçlarda yakıt sistemi boyunca daha dayanıklı malzemeler kullanılmaktadır. Eski model araçlarda ise ya yakıt sistemindeki lastik aksamlar değiştirilmeli veya saf biyodizel kullanılmamalıdır.

Biyodizel üretim sahası havalandırılmalı, çocuk ve hayvan girmemeli, vücut ve ayaklar korumalı giysi ile kapatılmalı, ellerde kimyasallara dayanıklı eldiven kullanılmalı, gözler korunmalı, ağızda maske olmalı ve karışım kapalı bir sistemde tutularak koklanmamalıdır. Karışımın kapalı ortamda olması son derece önemlidir. Oda sıcaklığında metanol buharlaşması az olmasına rağmen karışımın sıcaklığı yüksek olduğu için metanol buharlaşır. Açık kapta metanol buharı ortama yayılır ve ağız maskesi uzun işlem süresince yetersiz kalır. Metanol kabı havadan nem almaması için kapalı tutulmalıdır. Metanol katmak için en güvenli yol; kapalı bir kap ve kapalı sistem kullanmaktır. Metanol pompa ile kapalı bir sisteme yavaş yavaş katılabilir. Karışım ilk başta metanol katmanın etkisiyle ısınsa da, kapalı sistemden bir gaz çıkışı olmaz. Elde edilen metoksiti yine aynı şekilde kapalı sistemde tutulan yağa pompalayarak katmak en güvenli yoldur (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

3.5.2. Alkol ve katalizörün karışımı

Katalizör olarak sodyum hidroksit (kostik) ve potasyum hidroksit (potas) kullanılmaktadır. Bu katalizörler standart bir karıştırıcı yardımı ile alkolde çözünürler. Alkol/ katalizör karışımı daha sonra kapalı reaksiyon kaplarına aktarılarak üzerine reaksiyona gireceği yağ eklenir. Bu sistem, reaksiyon sırasında alkol kaybı yaşanmaması için tamamen kapalıdır. Reaksiyon karışımı, reaksiyon süresinin hızlı olması için alkolün kaynama noktasının hemen üzerinde bir sıcaklıkta tutulur. Tavsiye edilen reaksiyon zamanı 1 ile 8 saat arasındadır ve bazı sistemler için reaksiyonun oda sıcaklığında gerçekleştirilmesini önerilmektedir. Dönüşümün tamamen sağlanabilmesi için ortama alkolün aşırısı katılır. Reaksiyona katılacak olan yağdaki serbest yağ asitleri ve su miktarının iyi gözlenmesi gerekir. Eğer yağ asidi veya su miktarı seviyesi çok yüksek olursa, sabun oluşumu ve gliserini ortamdan uzaklaştırma zorluğu gibi problemler yaşanabilir (<http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapilir>, 2015).

3.5.3. Gliserin Ayırıştırma

1779 yılında İsveçli bilim adamı K.W. Shele tarafından keşfedilmiştir. Yunanca glykys kelimesinden türetilmiştir ve adından anlaşılacağı gibi oldukça tatlıdır. Gliserol veya gliserin olarak isimlendirilir; temiz, renksiz, kokusuz ve kıvamlı bir sıvıdır. Dokununca yağ hissi verir. Üç-hidroksil grubu (OH) bir alkoldür. Diğer eşanlamları 1,2,3-üç-hidroksil propan veya 1,2,3-propanetriol'dur. Suda veya alkolde çözünür fakat eter, benzen veya yağlarda çözünmez. Kimyasal ifadesi $C_3H_8O_3$ 'dür, teknik özellikleri ise; erime noktası $20^{\circ}C$, kaynama derecesi $290^{\circ}C$, hava ile karıştığında en düşük yanabilirlik derecesi $177^{\circ}C$ 'dir. Normal ortamında kimyasal olarak dengelidir. Kendi kendine reaksiyon oluşturma, yanma ve patlama özelliği yoktur. Potasyum klor veya potasyum mangan gibi sağlam oksitleyici ajanlar ile temasa geçtiğinde patlayıcı haline gelmektedir. (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

Keşfedildiği ilk yıllarda yapıştırıcı ve şişe mantarı olarak kullanılmıştır. 1867 yılında A.B. Nobel gliserinden dinamit yapmıştır. Bu olay gliserin kullanımında bir devrim oluşturdu ve bugün gliserin 1500'den fazla çeşit üründe kullanılmaktadır. Doğal olarak bitkilerden ve sentetik olarak petrolden elde edilir (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

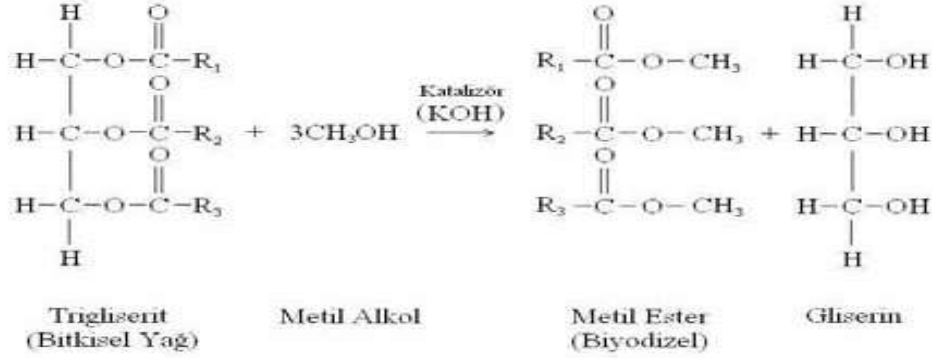
Biyodizel üretiminde, esterleme ile gliserin yan madde olarak üretilir. Esterleme ile ham gliserin elde edilir. Değişik oranlarda sabun, alkol, katalizör (sodyum hidroksit: NaOH veya potasyum hidroksit: KOH) ve su karıştırılır. Kullanılan oranlara bağlı olarak katı veya sıvı halde olabilir. Rengi ise şeffaftan açık sarı, opak veya koyu kahverengiye kadar değişebilir. Bu karışımdaki gliserin oranı yaklaşık %40 civarındadır.

Biyodizel işlemi sırasında bir miktar da sabun üretilir. Sabun miktarı serbest yağ asidine ve kullanılan suya bağlıdır. Serbest yağ asit oranı düşük ise, az su ve az katalizör kullanılırsa yan ürün olarak daha az sabun elde edilir. Az su ve katalizör kullanabilmek için ön işlem aşamasında sülfürik asitli ve iki aşamalı asit-baz metodu bir teknik olarak tercih edilebilir.

Biodizel üretiminde yan ürün olarak mümkün olduğu kadar fazla gliserin elde etmenin bir yolu da asitleme işlemidir. Sabun, fosforik asit (H_3PO_4) kullanarak serbest yağ asidi ve tuzlarına ayrılır. Bu işlemde 3 katlı tabaka oluşur. Üst tabakada serbest yağ asidi, orta tabakada gliserin ve alt tabakada tuzlar oluşur. Elde edilen gliserin %95 saflıktadır. Metanol ile alkol, tuz ve serbest yağ asitlerinden ayrıştırılarak saflaştırılır. Karışımdan

alkol ayrıştırılıp daha sonra bu tekniği uygulamak gliserin saflığını ilk aşamada %80 değerine ulaştırır (www.3eelectrotech.com.tr, 2018).

3.6. Transesterifikasyon Yöntemi



Şekil 3.4 Bitkisel Yağlardan Transesterifikasyon Yöntemiyle Biyodizel Üretimi Metodu

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi metodu alkoliz olarak da adlandırılabilen transesterifikasyon, trigliseridlerin viskozitesini azaltmak amacıyla uygulanan bir işlemdir (Aslan & Alibaş, 2015).

Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizörler asidik katalizörler (H_2SO_4 "sülfürik asit" ve HCl "hidroklorik asit"), bazik katalizörler ise KOH "potasyum hidroksit", NaOH "sodyum hidroksit" (Dorado, Ballesteros, Arnal, & Go’mez, 2003).

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle, katalizör eşliğinde reaksiyona girerek yağ asidi alkil esterleri ve gliserin oluşturmaktır. Yöntemler arasında en çok bilinen ve kullanılan yöntem transesterifikasyondur. Transesterifikasyon reaksiyonu viskozitenin düşürülmesindeki en etkili yöntemdir. Örneğin; hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde, ham hint yağının viskozitesi 100°F ’ta 1100 Redwood-saniye iken, transesterifikasyon işleminden sonra bu değer aynı sıcaklıkta 74 Redwood-saniye’ye düşmüştür (Acaroğlu, 2013).

Reaksiyonda kullanılabilecek alkoller; metil alkol, etil alkol, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkollerdir. Bununla birlikte, bu alkoller arasında pratikte en sık kullanılanları metil ve etil alkoldür. Etil alkol, tarımsal ürünlerden elde edilebilen yenilenebilir bir kaynak ve ekolojik denge içerisinde biyolojik olarak daha kabul edilebilir olması nedeni ile metil alkole karşı daha avantajlı olmasına rağmen, metil alkolün daha ucuz olması ve daha kısa alkol zincirlerine sahip olması gibi kimyasal ve fiziksel avantajları vardır. Reaksiyonda alkali, asidik ve enzimatik katalizörler kullanılabilir. Katalizörün buradaki görevi, reaksiyon hızını ve verimini arttırmaktır (Fukuda vd 2001). Transesterifikasyon reaksiyonu, bitkisel yağların viskozitesini ısıl değerini etkilemeden düşürür. Böylece yakıt atomizasyonu, yanma ve emülsiyon özellikleri için, motorda ham yağ kullanıldığında elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilir. Bu yöntemle, bitkisel kökenli yağların viskozitelerinin yaklaşık 70 mm² /s'den, dizel yakıt eşdeğeri 4,5 mm² /s'ye indirilebilmesi mümkün olmaktadır (Acaroğlu, 2013).

3.6.1. Transesterifikasyon reaksiyonlarını etkileyen parametreler

Serbest yağ asidi ve nem etkisi genel olarak alkali katalizli esterleşme proseslerinde iyi bir dönüşüm elde edebilmek için serbest yağ asidi miktarı %1'den daha az ve reaksiyona giren tüm reaktantlar susuz olmalıdır. Asit değerinin yüksek olması durumunda bu asitleri nötralize edebilmek için daha fazla alkali katalizör (NaOH ya da KOH) kullanımı gerektirecektir. Serbest yağ asidi miktarının artmasıyla ürün oluşumunun azaldığını ve en iyi sonuçları elde edebilmek için serbest yağ asidi içeriğinin %0,5'in altında su içeriğinin ise %0,06'nin altında tutulması gerekmektedir (Solomons & Fryhle, 2002).

Atık kızartma yağlarının esterleştirilmesinde serbest yağ asidinin içeriğinin %1'den daha az su içeriğinin ise %0,3'den az olması gerekmektedir.

Bu şartlar sağlanmasa da biyodizel ürünün yine de elde edilebilmekte fakat reaksiyon ürünü katalizör deaktivasyonu ve sabun oluşumundan dolayı azalmaktadır.

Katalizör tipi ve konsantrasyonu Transesterifikasyon reaksiyonlarında alkali katalizörler, asit katalizörler ve enzimler kullanılmaktadır. Alkali katalizör olarak sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum metoksit, sodyum hidrit, potasyum amid ve potasyum hidrit kullanılmaktadır. Asit katalizörler olarak sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit kullanılır (Kontominas, Georgogianni, Avlonitis, & V.,2007).

Alkali katalizörler asit katalizörlerden daha hızlıdır. Yüksek ürün eldesi için genellikle NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃ tercih edilmektedir. Orta katalitik etkiye sahip olan NaOH diğerlerine göre daha ucuzdur ve daha düşük molar kütleye sahip olmasıyla 17 birlikte daha iyi özelliklere sahip olmasından dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Leung, 2006).

Alkali ve asit katalizörler içeren kimyasal katalizli prosesler enzimatik metotla karşılaştırıldığında daha pratiktir. Alkali katalizli proseslerle kısa zamanda yüksek saflıkta biyodizel ürünü elde edilebilmektedir ancak reaktanların saflığına karşı duyarlıdır. Asit katalizli proseslerde H₂SO₄'in kullanımıyla yüksek dönüşüm elde edilebilmekte fakat reaksiyon zamanı uzun olduğundan ve asidik etkiden dolayı ekipman fiyatlarını arttırmakta ve katalizörün tekrar kullanılamaması gibi dezavantajlara sahiptir. Onun yerine heterojen asit katalizör gibi davranan Fe₂SO₄'un transesterifikasyon prosesinde iyi bir aktiviteye sahip olmasıyla birlikte sistemden kolayca ayrılarak tekrar kullanılabilen ve antikorozyon olduğundan dolayı daha ekonomiktir (Fessenden, 2001).

Hayvansal yağ ve bitkilerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji olarak tanımlanması ve kimyasal bazda, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlayan birçok kişi vardır. Dizel kelimesi ile dizel bir yakıt olduğunu ve Biyo kelimesi ile kökü biyolojik olduğunu göstermektedir. Hayvansal ve bitkisel kökenli yakıt olarak bilinen biyodizelin ev ve sanayi artık yağlarında da elde edilmektedir. Saf halde ve %100 biyodizel olan yakıtlar B100 olarak tanımlanırken %20 biyodizel ve %80 Dizel olan yakıt B20 olarak tanımlanmaktadır.

3.6.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler Biyodizel üretimde kullanılabilecek yağ kaynakları

Bitkiler ve onların çekirdek ve yağlarından elde edilen Soya başta olmak üzere Ayçiçek, Kolza, Soya, Pamuk, Aspir, Hardal, Badem, Ceviz vb yağlar elde edilmektedir.

Bitkisel endüstrisinin yan ürünleri, hurda yağları gibi yağlar biyodizel elde edilmesinde kullanılmaktadır. Kentse ve Endüstriyel Atık yağları olarak bilinen yağlar tekrar geri kazanılması için biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. Bununla beraber hayvansal olarak bilinen Don Yağları, Kanatlı Yağları ve Balık Yağları, vb mevcuttur. Kullanılmış ve atık olarak nitelenen yağların da biyodizel olarak değerlendirilmesi elde edilen yakıtın önemi kadar çevreye verdiği zararı azaltmak o kadar önemlidir.

3.6.3. Biyodizel Üretiminde Transesterifikasyon Yöntemiyle İlgili Çalışmalar

Son yıllarda ham yağ veya atık yağlardan biyodizel üretim yöntemlerine ilave olarak doğrudan yağlı tohumlardan biyodizel üretimi ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. In situ transesterifikasyon adı verilen bu yöntemle aradan ham yağ üretim prosesi çıkarılarak daha kolay ve ucuz biyodizel üretimin mümkün olduğu ifade edilmektedir. Bu konudaki ilk çalışmalardan birini Marinkovic ve Tomasevic (1998) ayçiçek yağını in situ yöntemiyle transesterifikasyona tabi tutarak gerçekleştirmişler ve in situ yöntemle konvansiyonel yöntemin yağ asidi ester verimi ve özellikleri bakımından birbirine çok yakın olduklarını ortaya koymuşlardır.

Kolza tohumundan ekonomik olarak kolza tohumundan in situ transesterifikasyon ile biyodizel üretmişlerdir (Georgogianni, Kontominas, Pomonisa, Avlonitis, & Gergisc, 2008). Araştırmacılar tohumdaki yağın yağ asidi esterlerine dönüşüm oranını 0.02 N katalizör konsantrasyonunda, 720/1 metanol/yag molar oranında, 1 saat reaksiyon süresi ve 65°C (üst indis olmalı) sıcaklıkta % 90 olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada ayrıca in situ transesterifikasyonun konvansiyonel yöntemle göre daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Georgogianni ve ark. (2008) ayçiçek ve pamuk yağlarından hem konvansiyonel hem de in situ transesterifikasyonu ile biyodizel ürettikleri çalışmalarında her iki yöntemde de metil ester dönüşüm oranlarının birbirine yakın olduğunu bildirmişlerdir (Ana, Carrapiso, & Garcia, 2000).

Çalışmada her iki yöntem de düşük frekanslı ultrasonikasyon (24 kHz) ve 600 rpm'de mekanik karıştırma uygulanmıştır. Konvansiyonel yöntemde metanol kullanılarak 20 dakikada % 95 oranında FAME verimi elde edilmişken, etanol verimi istatistiksel olarak daha düşük bulunmuş, in situ yönteminde ise etanolle 40 dakikalık reaksiyonda % 98, 4 saatlik reaksiyonda ise % 88 FAME verimi elde edilmiştir. En yüksek FAME verimini sağlayan katalizör % 3 konsantrasyon ile NaOH olarak bulunmuştur.

In situ alkali transesterifikasyonu uygulayarak genetik, biyotik ve abiyotik faktörlerin kanola biyodizeli kalitesine etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada in situ reaksiyonu için 40 g öğütülmüş (Dağdelen A., Yüksel).

Kanola unu 6 saat ve 60°C'de, 275:1:1.05 metanol trigliserit: KOH molar oranında işleme tabi tutulmuş ve % 80 FAME dönüşümü saptanmıştır. Bir diğer çalışmada ise en yüksek verim için tespit edilen koşullar 60°C, metanol/açilgliserol/NaOH oranı için 226:1:1,26 ve 8 saatlik inkübasyon şeklindedir Haagenson ve Wiesenborn (2011). Kuzey

Dakota yetiştirme bölgesinin kanola biyodizeli kalitesine etkilerini in situ reaksiyonu uygulayarak belirlemişlerdir (Haagenson & Wiesenborn, 2011). Çalışmada ürünün bulutlanma noktasının -0,1 ile -2.4°C arasında tespit edildiği çalışmada bu duruma bitkinin yetiştirme yılı ve lokasyonun istatistiksel olarak önemli derece etkide bulunduğu, elde edilen biyodizellerin ASTM standartlarına uygun olduğu, fakat uzun süren tohum depolamasının stabiliteyi düşürdüğü ortaya konulmuştur.

Yeşil kanola tohumlarının biyodizel üretiminde değerlendirilmesi konusunda çalışan Kulkarni ve ark. (2006) yemeklik kullanım için uygun olmayan yeşil tohumlara metanol, etanol ve bunların çeşitli karışımları ile KOH katalizörü kullanarak in situ transesterifikasyon uygulamışlar, reaksiyon sonunda klorofil içeriğinin 22,1 ppm değerinden 10,3 ppm değerine düştüğünü ve elde edilen esterlerin ASTM standartlarına uygun olduğunu rapor etmişlerdir. Buna karşın oksidatif stabilite indeksi 100°C’de 6 saat olan Avrupa standartlarından daha aşağıda ve 110°C’de 4,9 saat olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılar ayrıca klorofil içeriğini düşürmek için aktif karbon uyguladıkları yağın klorofil içeriğini 22,1 ppm değerinden 2,2 ppm değerine indirmeyi başarmışlardır (Kulkarni, Dalai, & Bakhshi, 2006). Harrington ve D'arcy-Evans tarafından yapılan bir çalışmada ise, in situ yöntemiyle üretilen biyodizelin yağ asidi metil ester veriminin konvansiyonel yöntemle elde edilene göre önemli derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca verim artışının % 20 'den fazla gerçekleştiği ve biyodizel kompozisyonu ile bulutlanma noktasının biyodizel üretim yöntemine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Haagenson & Wiesenborn, 2011).

3.7. Biyodizelde Kullanılan Bitkiler

3.7.1. Siyah Hardal



Şekil 3.5. Siyah Hardal Resmi

Şekil 3.5.'de görülen siyah hardal, Helenistik ve Roma döneminden şimdilere kadar bilinen ve kullanımına devam edilen hardal tohumunun asıl yetişme alanı gerçekleştirilen kazılarda Batı Asya ve Avrupa olduğu tespit edilmiştir. Hardalın pek çok türü bulunmaktadır. En çok bilinen türleri, beyaz hardal, kahverengi hardal ve siyah hardaldır. Hardal siyah, beyaz kırmızı ve sarı çeşitleri mevcuttur. Kozmetik ve baharat başta olmak üzere bir çok alanda kullanılmaktadır. Beyaz hardal olarak bilinen hardalın yağ oranı yaklaşık olarak %28, siyah hardal ise %33 yağ oranına sahiptir. Boyları 25-110 cm ve kökleri 30-40cm arasındadır. Nisan ayında ekimi yapılan hardalın asidik toprakların dışında diğer toprak çeşitlerinde yeşermektedir. Tablo 3.1'de Siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimi (İlisulu 1973)

Ursurlar	Ortalama değır	En az %	En çok %
Su	8.0	6.5	12.4
Ham yağ	32.8	30.4	35.6
Ham protein	1.000	0.800	1.200
Öz maddeler	30.2	26.0	33.6
Selüloz	20.6	17.2	24.8
Madeni maddeler	8.2	6.3	10.4
Diğır	4.8	3.2	5.5

Hardal olarak en çok büyüyen siyah hardaldır. Boyları 150 cm ve kök derinliği ise yaklaşık 50 cm olmaktadır. Yuvarlak bir tohum şekline sahip olan hardal tohumu bin adedi 1,5-2,5 gr arasında gelmektedir. Fazla soğuk olmayan iklimlerde bahar aylarında ekimi yapılan hardal kısmi donlara karşıda dayanıklıdır. Adasidik topraklardan fazla verim alınmayan hardal susuzluğada dayanıklıdır. Ekim sırası olarak 30-40 cm ve ekim derinliği ise 2 cm olacak şekilde ayarlanır. Alt yapraklarda sararma olduğu zaman tohumlar toplanır ve elenerek temizlenir.

3.7.2. Acı Badem



Şekil 3.6 Acı Badem Resmi

Şekil 3.6’da gösterilen acı badem gülgiller familyasında yer alan badem ülkemizde üretimi yapılmaktadır. Prunus'un alt cinsi Amygdalusun içinde yer alan badem üyelerinin dışında etli dış kabuğa sahip değildir.

Küçük ağaç sınıfına giren ve badem aynı isimli ağacın meyvesidir. Türkiyede badem alanları son on yılda 3 katına çıkmıştır.

Türkiye’de 2005 yılında 80 bin dekarı. 2010 yılında 108 bin, 2012’de ikiyüzbin dekarı geçmiş bulunmaktadır. 2015’de 270 bin 200 dekara çıktı. Üretim, 2005’de 38000 tondur. 2015’de 85 bin tona yükseldi. Tablo 3.2’de acı badem değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Acı Badem Değerleri

Porsiyon Miktarı:	100 g
Kalori (kcal) :	575
Toplam yağ:	49 g
*Doymuş Yağ:	3,7 g
*Çoklu Doymamış Yağ:	12 g
*Tekli Doymamış Yağ:	31 g
*Trans yağ:	0 g
Kolesterol:	0 mg
Sodyum:	1 mg
Potasyum:	705 mg
Karbonhidrat:	22 g
*Diyet Lifi:	12 g
*Şeker:	3,9 g
Protein	21 g
*A Vitamini	1 IU
*Kalsiyum	264 mg
*D Vitamini	0 IU
*B12 vitamini	0 µg
C Vitamini	0 mg
Demir	3,7 mg
B6 Vitamini	0,1 mg
Magnezyum	268 mg

3.7.3. Biber Çekirdeği

Biberin orijininin Orta Amerika olduğu bilinmesine karşın yapılan taksonomik çalışmalar ile biber orijinlerinin türlere göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Özellikle acı biberlerin Güney Brezilya ile Bolivya orijinli olduğu bildirilmektedir (McLeod et al. 1983; Pickersgill 1984).

Biberin Türkiye'ye Girişi ve Yayılışı Biberin ülkemize Avrupa ülkeleri ile kurulan ilişkiler ile girdiği düşünülmesine karşın yapılan son araştırmalarda farklı görüşler ortaya çıkmıştır.

Türkiye'ye biberin üç değişik noktadan girme ihtimali üzerinde dururken, bunlardan birincisi biberin İspanya'dan deniz yolu ile Güney Afrika kıyılarından Hindistan'a ulaştığını buradan Asya kıtasına yayıldığını belirtirken Basra Körfezi veya Kızıldeniz yolu ile Suriye'ye buradan. Türkiye'ye girdiği düşünülmektedir.

Dünya Biber üretimi aşağıdaki tabloda da görüleceği üzere 2014 yılında 32,7 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Yıllar itibariyle dünya Biber üretim rakamlarına bakıldığında üretimin ortalama 31,2 milyon ton civarında gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 3.3'de dünya biber üretimi (1000 Ton) ve Tablo 3.4'de ülkemiz biber üretimi (1000 Ton) değerleri verilmiştir.

Tablo 3.3 Dünya Biber Üretimi (1000 Ton)

ÜRÜN	2010	2011	2012	2013	2014
Biber (0709.60)	30.018	30.492	31.273	31.614	32.787

Tablo 3.4. Ülkemiz Biber Üretimi (1000 Ton)

ÜRÜN	2010	2011	2012	2013	2014
Biber (0709.60)	2.042	2.159	2.232	2.307	2.458

4. EGZOZ EMİSYONLARI VE PERFORMANS PARAMETRELERİ

Dizel motorlar hava ve yakıtın silindir içerisinde karıştırıldığı ve tutuşmanın kendi kendine gerçekleştiği motorlardır. Yanma için gerekli olan hava, yanma odası içerisinde sıkıştırılmaktadır. Yüksek basınçlarda sıkıştırılan bu hava üzerine dizel yakıtı püskürtülerek, yakıtın kendi kendine tutuşması ve bu tutuşma sonucunda dizel yakıtının içerdiği kimyasal enerjinin açığa çıkması sağlanmaktadır. Bu kimyasal enerjinin açığa çıkması sonucu oluşan ısı enerjisi, mekanik enerjiye dönüştürülerek bir iş elde edilmektedir.

Birçok yakıt türünde olduğu gibi dizel yakıtı da içeriğinde yüksek oranda karbon ve hidrojen elementlerini barındırmaktadır. Tam yanma reaksiyonunda, dizel yakıtının yanması sonucu, yanma odasında sadece CO₂ ve H₂O açığa çıkmaktadır.

Ancak bir çok neden (hava-yakıt karışımı, tutuşma süresi, yanma odasındaki türbülans, hava-yakıt konsantrasyonu, yanma sıcaklığı vb.) bu durumu imkansız kılmakta ve yanma esnasında bir çok zararlı ürün oluşmaktadır. Bu zararlı gazlardan en çok açığa çıkanlar CO, HC, NO_x ve PM emisyonlarıdır.

Kirletici emisyonların egzoz gazındaki oranının %1'den daha düşük olduğu görülmektedir. Dizel motorlardaki kirletici emisyonlar arasında %50 oranla NO_x emisyonu en yüksek değere sahiptir. NO_x emisyonlarından sonra PM emisyonları ikinci en yüksek orana sahip kirletici emisyon türüdür.

Dizel motorlar fakir karışımlı motorlar olduğundan dolayı benzinli motorlara göre CO ve HC emisyon değerleri daha düşük orandadır. Aynı zamanda kirletici emisyonlar arasında dizel yakıtının özelliklerine ve kalitesine bağlı olarak değişim gösteren, bir miktar kükürt dioksit (SO₂) yer almaktadır. Bu emisyon türü dizel yakıtı içerisinde bulunan kükürten dolayı oluşmaktadır.

4.1. Karbon Monoksit (CO)

CO emisyonları, oksidasyon sürecinin tam olarak meydana gelmediği eksik yanma sonucu oluşan bir üründür. Bu emisyonun oluşumu büyük bir oranda hava-yakıt karışımına bağlıdır ve hava-yakıt oranının (λ) 1.0' den düşük olduğu zengin karışımlarda artış göstermektedir.

Dizel motorlar hava-yakıt oranının devamlı olarak yüksek değerlerde olduğu ($\lambda > 1$) fakir karışımli motorlardır. Bu nedenden dolayı dizel motorlarda CO oluşumu benzinli motorlara göre oldukça düşük ve azdır. Yinede dizel motorlarda, yanma odasında yakıt damlacıklarının büyük olduğu veya yeterli türbülansın olmadığı durumlarda eksik yanma ürünü olarak CO emisyonu ortaya çıkabilmektedir.

CO oluşumu hidrokarbonun yanma mekanizmasında birkaç reaksiyon basamağında meydana gelir. CO oluşum reaksiyonu Denklem 5.1’de ifade edilmektedir (Alptekin, 2006).



Burada R hidrokarbon kökü olarak kullanılmıştır. Yanma işleminde oluşan CO oksitlendikten sonra CO₂’ye dönüşmektedir (Dorado, Ballesteros, Arnal, & Go’mez, 2003).

4.2. Karbon Dioksit (CO₂)

İnsan sağlığına direk etkisi olmayan CO₂ çevre üzerinde direk etkisi bulunmaktadır. Atmosferdeki yoğunluğunu artıran CO₂ yanma sonucunda yüzde 50 oranında etkilmektedir.

Son 20 milyon yılda maksimum düzeye ulaşmıştır ve atmosfere yayılan CO₂ gazının büyük bir bölümü insan kaynaklıdır. İnsan kaynaklı bu kirleticilerin asıl kaynağı fosil yakıtlardır. Son yirmi yılda, atmosferdeki CO₂ gazının yıllık artışı %0,4 olmuş, 1990’dan sonra ise yıllık artış %0,2-0,8 arasında değişmiştir. Küresel ısınmadan dolayı kutuplardaki buz ve kar azalmıştır. Küresel ısınmadan dolayı eriyen özellikle kutuplarda kar ve buz kütleleri deniz seviyesini yükseltmiştir. Tüm dünyada karaya düşen yağış miktarı %1 artmıştır.

4.3. Hidrokarbonlar (HC)

HC emisyonları, yakıtın tam olarak yakılamaması sonucu açığa çıkan bir eksik yanma ürünüdür. HC oluşumunun temel nedeni, silindir içi sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucu yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. HC’ ler alkanlar, 44 alkenler ve aromatikler gibi binlerce farklı türleri içermekle birlikte, genel olarak C₃H₆ (propilen) formunda bulunmaktadır. Dizel motorlar genellikle düşük oranda HC

emisyonu yayarlar. Dizel motorunun oluşturduğu HC emisyonları özellikle düşük ve yüksek motor yüklerinde hava-yakıt karışımından dolayı meydana gelmektedir. Karışımın fakir olduğu düşük yüklerde, yanmamın, iş zamanında tamamlanabilmesi için alev hızı oldukça düşük olmakta ve bunun sonucunda yanma gerçekleşemeyebilmektedir. Yüksek motor yüklerinde karışımın zenginleşmesinden dolayı bir miktar yakıt yakılmadan dışarıya atılmaktadır. Bu durumlar, yüksek oranda hidrokarbon emisyonlarının oluşmasına yol açmaktadır. Ayrıca egzoz gazı içerisinde bulunan HC emisyonları düzgün olmayan çalışma koşullarından da oluşabilmektedir. Motor hızında gerçekleşen yüksek orandaki ivme değişiklikleri, aşırı enjektör meme deliği miktarı ve enjektör iğnesindeki aşınmalar önemli miktarda yanmamış hidrokarbonun egzoz gazına geçişine yol açmaktadır[79]. Egzoz gazı hidrokarbonları toplam HC emisyonlarının %50-60'nı oluştururken, karterden ve buharlaşmadan kaynaklanan HC emisyon oranları sırasıyla %20-35 ve %15- 25 aralığında değişim göstermektedir.

Hidrokarbonlar insan ve çevre sağlığı üzerinde oldukça zararlı bir etkiye sahiptir. Diğer kirletici emisyonlarla birlikte sera etkisinin tahribatında önemli bir rol oynamaktadırlar. Hidrokarbonlar solunumu tahriş edici bir etkiye sahip olmasıyla birlikte oldukça zehirlidir ve kansere yol açabilmektedir.

4.4. Azot Oksitler (NO_x)

Dizel motorlar, yakıtı tutuşturmak için yüksek basınçta sıkıştırılmış sıcak hava kullanmaktadır. Temel olarak oksijen ve nitrojenden oluşan hava ilk olarak silindire alınmakta ve daha sonra yanma odası hacmine doğru sıkıştırılarak üzerine yakıt püskürtülmektedir. Püskürtülen yakıt yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı tutuşarak yanmakta ve ısı açığa çıkmaktadır. Normal olarak bu süreçte nitrojen yanma odası içerisinde oksijen ile reaksiyona girmemekte, aynı haliyle motor dışına salınmaktadır. Ancak 1600 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar, nitrojenin oksijenle reaksiyona girmesine ve bu duruma bağlı olarak NO_x emisyonlarının oluşmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak NO_x emisyonlarının oluşumundaki en önemli faktörler sıcaklık ve yanma odasında bulunan oksijen konsantrasyonudur.

NO_x emisyonun oluşumu, silindirdeki maksimum sıcaklık değeri, oksijen konsantrasyonu ve yanma zamanının bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. NO_x salınımının çok büyük bir kısmı maksimum sıcaklığın elde edildiği iş stroğunda, piston en

üst ölü noktaya çok yakın iken oluşmaktadır. Yanma sıcaklığının yükselmesi, oluşan NO_x emisyonu miktarında artış etkisi yaratmaktadır. Yanma sonu sıcaklığındaki her 100 °C' lik bir artış, oluşan NO_x emisyonları miktarında üç kat artışa yol açmaktadır. NO yanmış gazların alevin gerisinde kalan bölgesinde meydana gelen ve ilk defa 1946'da Zeldovich tarafından açıklanan bir mekanizmayla oluşur. Zeldovich tarafından basit bir şekilde izah edilen reaksiyon mekanizması 1991'de Baulch vd. tarafından geliştirilmiştir. Bu haliyle genişletilmiş Zeldovich mekanizması 3 temel reaksiyondan oluşur. Reaksiyonlar Denklem 5.2 – 5.4' de görülmektedir.



NO_x emisyonu ortamdaki sıcaklığın etkisiyle N₂ ve O₂ moleküllerinin reaksiyonu ile oluşur. Buradan anlaşılabacağı üzere NO_x emisyon oluşumunu yanma odasındaki sıcaklık etkiler. NO_x emisyonu genellikle yüksek yanma sıcaklığında ve daha uzun yanma süresinde çok daha yüksektir. Ayrıca, motor yükü, hız, yanma odasındaki içerik, homojenlik ve karışım yoğunluğu da NO_x emisyonları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Sıcaklığın düşmesi ile NO_x'lerin tekrar N₂ ve O₂'ye ayrışması beklenirken, reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlar da yavaşlar. Böylece daha yüksek sıcaklıklarda elde edilmiş olan NO_x miktarları dondurulmuş olur. Belli bir zaman aralığından sonra ise, sıcaklıkların düşmesi sonucunda reaksiyonlar donar ve egzoz gazları içerisindeki miktar daha önce erişilen maksimum sıcaklık miktarına orantılı bir seviyede kalır. Çünkü NO_x oluşumu ayrıca reaksiyon hızına ve reaksiyonların tamamlanması için mevcut zamana da bağlıdır.

4.5. Duman (İs) Yoğunluğu

Dizel motorların çevresel ve sağlık yönünden en büyük dezavantajı, yanmamış karbonlu bileşiklerden oluşan, artan siyah kurum (özellikle: dizel partiküler madde) üretimidir. Bunun nedeni, yakıtın tamamen okside olmadığı lokal soğuk noktalardır. Yanma odasının duvarlarında ve kötü buharlaşmış büyük yakıt damlacıklarının dışında, nispeten düşük sıcaklıklar görülür. Yoğunlaşmış yakıtın yüzeyi yanmak için daha az havaya sahiptir ve nihayetinde kurum oluşumuna götüren bir karbon yatağına dönüşmesi için kısmen pirolize olur. Dizel yakıtta aromatik bileşiklerin varlığı tipik olarak aromatik

birimleri daha kolay poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) oluşturmak için kolay yoğuşurma yoluyla kurum emisyonunu artırırken, alifatik bileşikler hidrojen çıkarma ve ardışık (poli) asetilen ilavesi yoluyla büyüme mekanizmasını destekler. Dizel motorlardan kaynaklanan PM emisyonları benzinli motorlara göre 6-10 kat daha yüksektir. Dizel PM emisyonları üç temel başlığa ayrılabilir: İs, çözülebilir organik fraksiyon (SOF) ve inorganik fraksiyon (IF). İs yanmamış karbon partikülleridir. Dizel motorlarında silindir içinde bulunan yakıtın içinde bulunan H_2 , hızlı bir şekilde tepkimeye girmekte ve arda kalan C yeterli O_2 bulamadığından tepkimeye giemeyerek is partikülleri halinde ortamdan uzaklaştırılmasıdır. İs oluşumu yakıtın yeteri kadar hava ile yanmaya girmemesi sonucunda tam yanmamış partiküllerin oluşmasıdır.

PM emisyonlarının insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, partikül maddelerin solunmasının prematüre ölümü, astım, akciğer kanseri ve diğer kardiyovasküler sorunlar gibi önemli sağlık problemlerine yol açtığı ortaya konulmuştur. Bu emisyonlar hava, su ve toprak kirliliğine de katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda binaların kirlenmesine yol açmakta, görüş uzaklığını azaltmakta, tarım verimliliğini etkilemekte ve küresel iklim değişikliğine yol açmaktadır.

4.6. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Bir birim zaman içinde bir güç birimi üretmek için tüketilen yakıtın miktarı (ağırlıkça). Belirli yakıt tüketimi (ÖYT), atmosferik motor performansının yaygın olarak kullanılan bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, ÖYT, herhangi bir güçteki çalışma sırasında, saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranıdır. ÖYT' nin; zamana, motor gücüne ve tüketilen yakıtın ağırlığına bağlı olarak değişimini gösteren formül 5.5'de verilmiştir.

$$be = B \times 1000 / Ne \quad (5.5)$$

Burada;

be: Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh),

B: Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (gr/h),

Ne: Efektif motor gücüdür.

Bir motorun en avantajlı çalışma durumları; maksimum güç (P_{max}), maksimum tork (M_{max}), veya en az ÖYT (bemin)'i sağladığı durumlardır. Bu çalışma durumları, motorun kullanım amacı ve yaptığı işin özellikleri tarafından belirlenir.

4.7. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS)

İçten yanmalı motorlarda EGS, motorlar için önemli bir parametredir. EGS yanma odasında meydana gelen yanma olayının verimi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Egzoz çıkışından, egzoz manifoldundan ya da yanma odası çıkışından ölçülebilen EGS'ye bağlı olarak, yanma odasındaki sıcaklık parametresinden; yanmanın iyileşmesi yada kötüleşmesi ve egzoz emisyon gazlarının oluşumu hakkında yorumlar yapılabilmektedir.



5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada serbest yağ asidi içeren (FFA) siyah hardal, acı badem ve biber çekirdeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretim safhası tamamlanmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonunda önemli etkenlerden sıcaklık değerleri, katalizör ve alkol oranı değiştirilerek uygun şartlarda yağlardan biyodizel elde edilmiştir. Çalışmada siyah hardal, acı badem ve biber çekirdeği yağlarından elde edilen biyodizelin %20, %60 ve %100 olarak dizel yakıt No 2-D (Tablo 5.1) karıştırılmıştır. Bu karışımlardan 1800, 2100 ve 2400 dev/dak motor çalıştırılmış emisyon değerleri alınmıştır. Aynı oranlardaki karışımlar ön ısıtmaya (60 °C) tabii tutulmuş ve 1800, 2100 ve 2400 dev/dak egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Çalışma tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılarak egzoz değerleri alınmıştır.

Tablo 5.1. No 2-D Dizellin Özellikleri

Özellik	2-D
Setan sayısı minimum	40
Parlama noktası 0F	125
Viskozite S (saybolt) 100 0F'da	33-45
% Kül kütleselel	0,02
% Kükürt kütleselel	1,0

Biyodizellerden oluşan karışımların farklı oranlarda ve motorun farklı devirlerinde alındığı gibi normal ve ön ısıtma uygulanmış karışımların değerleri ayrıca alınarak deneylerin sonuçları bize karşılaştırılma olanağı vermiştir. Deneylerden önce motor çalışma sıcaklığı 90°C'ye ulaştıktan sonra veriler kayıt altına alınmıştır ve deney süresince bu sıcaklık muhafaza edilmiştir. Deney tekrarlarında motor bir süre dinlendirildikten sonra yeniden başlanmıştır.

5.1. Motor Test Düzeneği

Deneylerde kullanılan motor, Cussons P8160, dinamometre (elektrikli) özelliğine sahip, deneyler için hazırlanan motorda yapılmıştır. şekil 5.1’de görölen Cussons P8160 Model motor test tezgahının görünümü gösterilmektedir. Deney düzeneğinde yakıt deposu, egzoz emisyon cihazı, test motoru, termometre, yakıt ölçüm tüpü, dinamometre, ve kontrol ünitesi bulunmaktadır.



şekil 5.1 Cussons P8160 motor test düzeneği

Deneylerde kullanılan yakıt ölçüm tüpü, mekanik kontrollü hacimsel tiptedir. Silindirik bir yapıya sahip olan 10 ml ve 20 ml’lik iki boğumlu camdan oluşmaktadır. Deneyde kullanılan motorun yakıt tüketimi ve hacimsel ölçeklendirmeye sahip bu kapta, 20 ml’ lik bölüme tam dolu konumdan, tam boş konuma geçmesi için gerekli süre kronometre yardımıyla ölçülerek, tespit edilmiştir.

5.1.1. Deney Motoru

Deneylerde kullanılan motor, Antor 6LD 400 marka, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı direkt enjeksiyonlu bir dizel motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dizel motor şekil 5.2’ de gösterilmektedir. Tablo 5.2’ de deney motoruna ait teknik özellikler gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Antor 6LD 400 dizel motor

Tablo 5.2 Antor 6LD 400 dizel motoruna ait teknik özellikler

Motorun Markası ve Modeli	6LD 400 Antor Dizel Motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 - 2000
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 dev/dk
Sıkıştırma Oranı	18:1
Yağ Tüketimi	11,5 gr/h
Karter Yağ Kapasitesi	1,2 lt

5.1.2. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyde motor farklı devirlerde yarım yük koşullarında çalışırken, emisyon değerleri Bosch marka emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deney çalışmalarında kullanılan Bosch marka emisyon cihazı Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Bosch marka emisyon ölçüm cihazı

Egzoz emisyon cihazı ile dizel ve benzinli motorlarda; CO, CO₂, NO_x, HC, O₂, Pusluluk ölçümleri anlık olarak yapılabilen cihazın Tablo 5.3’ de teknik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Bosch egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.00 – 10.00% Hac	0.001 % Hac.
CO ²	0.00 – 18.00 % Hac.	0.01 % Hac.
HC	0 – 9.999 ppm Hac.	1 ppm Hac.
O ²	0.00 – 22.00 % Hac.	0.01 % Hac
Lambda	0.5 00 – 9.999	0.001
NO	0 – 5000 ppm Hac.	≤ 1 ppm Hac.

5.1.3. Termometre

Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometre deney motorlarının egzoz gaz sıcaklıklarını ölçmek için kullanılmıştır. Termometrenin ölçüm ucu motorun egzoz çıkışına termometrenin gövdesi motor test düzeneği üzerine, belli bir konumda sabitlenmiştir. Elde edilen verilerin daha istikrarlı olması sağlanmıştır. Kullanılan Extech Instruments 421502 Model K/J tipi termometrenin görüntüsü Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Extech Instruments 421502 Model K/J Tipi Termometre

5.2.4. Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel

Bu çalışmada biyodizel üretimi için siyah hardal bitkisi tercih edilmiştir. Ülkemizde çokça yetişen hardal tohumunun dayanıklı olması ve tarımın nispeten diğer bitkilere göre kolay oluşu, soğuk iklimde dahi kolayca yetişmesi sebebiyle siyah hardal deneylerde kullanılmıştır. Siyah hardal hızlı büyüeyebilen bir bitki olmakla beraber, kazık tipi köke sahiptir gövdesi ise 70 ila 160 cm arasında değişiklik gösterir. Hemen her iklimde kolayca yetişen bitki, hafif donlara dayanıklı olmaktadır.

Beyaz hardal ve siyah hardal en çok bilinen çeşitleri olmakla birlikte, kırmızı ve sarı gibi türleride vardır. Hardal yağı, kozmetik başta olmak üzere birçok alanda kullanıldığı gibi kimya sanayinde de kullanılmaktadır. Ortalama olarak, beyaz hardalın yağ oranı %27.8, kara hardalın yağ oranı ise %32.8 dir.

Tablo 5.4 Siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimi (İlisulu 1973)

Unsurlar Ortalama değer	% En az	% En çok	% Çizelge
Su	8.0	6.5	12.4
Ham yağ	32.8	30.4	35.6
Ham protein	1.000	0.800	1.200
Öz maddeler	30.2	26.0	33.6
Selüloz	20.6	17.2	24.8
Madeni maddeler	8.2	6.3	10.4
Diğer	4.8	3.2	5.5

Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş siyah hardal yağı, %20, %60 oranlarında standart dizel yakıt (No 2-D) ile karıştırılarak ve ayrıca %100 siyah hardal yağı olarak egzoz emisyon ve motor performans verileri kayıt altına alınmıştır. Şekil 5.5’da kullanılan siyah hardal yağı görülmektedir. Aynı zamanda laboratuarda elde edilen biyodizellerin %20,%60 standart dizel yakıt (No 2-D) karıştırılarak ve ayrıca %100 siyah hardal yağı olarak motorda kullanılmadan ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrar edilmiştir. Tablo 5.4’de siyah hardal tohumu yüzdesel bileşimleri verilmiştir.



Şekil 5.5 Siyah Hardal Yağından Üretilmiş Biyodizel

5.2.5. Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel

İçeriğinde asitler bulunan acı badem yağı, insan vücuduna birçok faydası olmakla beraber badem yağında yüzde 68 oleik asit, yüzde 25 linoleik asit, yüzde 4 palmitik asit, yüzde1 olacak şekilde dağılmış oranlarda stearik asit, linolenik asit, palmitoleik asitler yer alıyor.

Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş acı badem yağı, %20, %60 oranlarında standart dizel yakıt (No 2-D) ile karıştırılarak ve ayrıca %100 acı badem yağı olarak egzoz sürüm ve motor performans verileri kayıt altına alınmıştır. Şekil 5.6'da kullanılan acı badem yağı görülmektedir.



Şekil 5.6 Acı Badem Yağından Üretilmiş Biyodizel

5.2.6. Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel

Kırmızı Biber çekirdeği, yüksek miktarda C vitamini barındırmaktadır. Bunun yanı sıra Omega 6, B1, B2, B3 vitaminleri, Sodyum, Magnezyum, Demir bulundurur. Kaliteli bir antioksidan kaynağı olduğu bilinir. İnsan sağlığı açısından son derece önemli ve faydalı olan biber çekirdeği yağı ensüstride kullanıldığı gibi artık birçok çalışmada biyodizel yakıt olarak da kullanılmaktadır. Biber çekirdeği yağının teknik değerleri Tablo 5.5’de görülmektedir.

Tablo 5.5 Acı Biber Yağı Değerleri

Besin Değeri	100 gramda	% Günlük Değer *
Kalori	37 kcal	% 1.85
Karbonhidrat	6.4 g	% 2.13
Lif	3.59 g	% 14.36
Protein	1.3 g	% 2.6
Yağ	0.5 g	% 0.77
Kolesterol	0 mg	% 0
A Vitamini	354 IU	% 7.08
C Vitamini	140 mg	% 233.33
Potasyum	260 mg	% 7.43
Kalsiyum	10 mg	% 1
Demir	0.55 mg	% 3.06

Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş biber çekirdeği yağı, %20, %60 oranlarında standart dizel yakıt (No 2-D) ile karıştırılarak ve ayrıca %100 biber çekirdeği yağı olarak egzoz emisyon ve motor performans verileri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca aynı oranlarda karışımlar ön ısıtmaya(60 °C) tabi tutularak deneyler tekrar edilmiş ve emisyonlar kıyaslanmıştır. Şekil 5.7’ da kullanılan biber çekirdeği yağı görülmektedir.



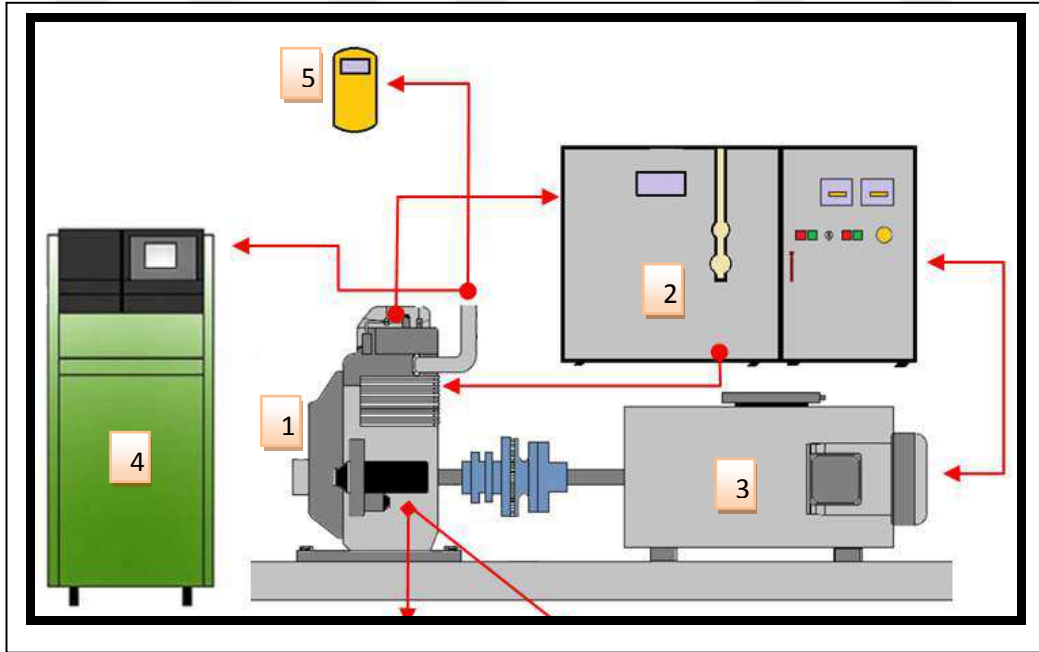
Şekil 5.7. Biber Çekirdeği Yağından Üretilmiş Biyodizel

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmada; üç ayrı bitkisel yağ kullanılmıştır. Bu yağlar siyah hardal, acı badem ve biber çekirdeği yağıdır. İçersinde serbest yağ asitleri barındıran bu yağlar ticari olarak alınmış ve bu yağlardan labaratuvar şartlarında biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon yöntemi ile bu yağlardan biyodizel üretimi yapılmıştır.

Elde edilen bu yağlar yine ticari olarak satın alınmış olan dizel yakıt (No 2-D) ile önce %20 biyodizel %80 dizel yakıt, %60 biyodizel %40 dizel yakıt ve %100 biyodizel olarak deneyde kullanılmış ve emsiyon (ÖYT, EGS, CO, CO₂, HC, O₂, NO_x) değerleri alınmıştır.

Aynı motor ve şartlarda yine aynı biyodizel (siyah hardal, acı badem, biber çekirdeği) yakıtları yine aynı oranda (%20-%80, %60-%40, %100) karışımlara 60°C ön ısıtma uygulayarak deneyler tekrarlanmış ve emsiyon değerleri alınmıştır. Ön ısıtma uygulanmış ve normal şartlarda çalıştırılan motorda alınan değerlerin karşılaştırılması sağlanmıştır. Şekil 6.1’de Motor test düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 6.1 Motor Test Düzeneğinin Şematik görünümü

7. SİYAH HARDAL

7.1. Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi

7.1.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.

ÖYT, birim güç başına tüketilen yakıt miktarı veya birim zaman içinde güç birimi üretmek için tüketilen yakıtın miktarı olarak tanımlanır. Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve ÖYT değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve ÖYT verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve ÖYT değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.1'de gösterilmiştir.

Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının ÖYT değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %14.8, B60 yakıtında %32 ve B100 yakıtında %42 oranında bir artış tespit edilmiştir.

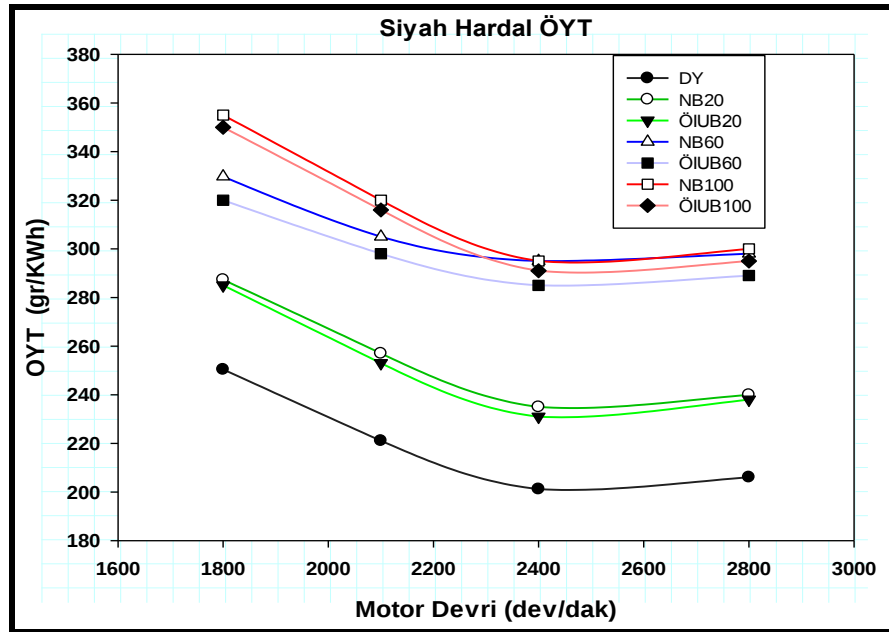
Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 1, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %3 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 7.1'de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük ÖYT dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Elde edilen bu sonuçların meydana gelmesinde birinci neden olarak, kullanılan yakıtlar arasındaki yoğunluk farkının olmasıdır. Biyodizel olarak kullanılan yakıtların yoğunluğunun daha yüksek olduğundan oranı arttıkça ÖYT değerlerinin artmasına neden

olmuştur. Hacimsel değerleri aynı da olsa kütlesele değerleri daha yüksek olması kaçınılmaz olmuştur. Farklı bir ifade ile yoğunluğu yüksek olan biyodizel yakıtları silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazla olduğundan biyodizel ÖYT değerleri dizel ÖYT değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.(Gürü, Koca, Can, & Çınar, 2010). İkinci neden olarak aynı ejektör basınçlarına maruz kalan yakıtlardan viskozitesi yüksek olan biyodizel yakıt tanecikleri daha büyük olduğundan hava/yakıt karışımı ideal değerlerinde değişim olduğundan yanma verimi düşmüştür. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Bundan dolayı yakıtın buharlaşma ve yanma verimini düşürecekler. Bu durum tüketilen yakıt miktarını arttıracğından, ÖYT değerlerini de o oranda yükselecektir (Ali & Hanna), (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

ÖYT değerlerini yüksek çıkmasının diğer bir sebebide yakıtın ısı değeri dır. Aynı enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt tüketilmiştir. Yapılan bu çalışmada ÖYT değerlerini artıran sebepler olarak, püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri olarak düşünülmektedir.

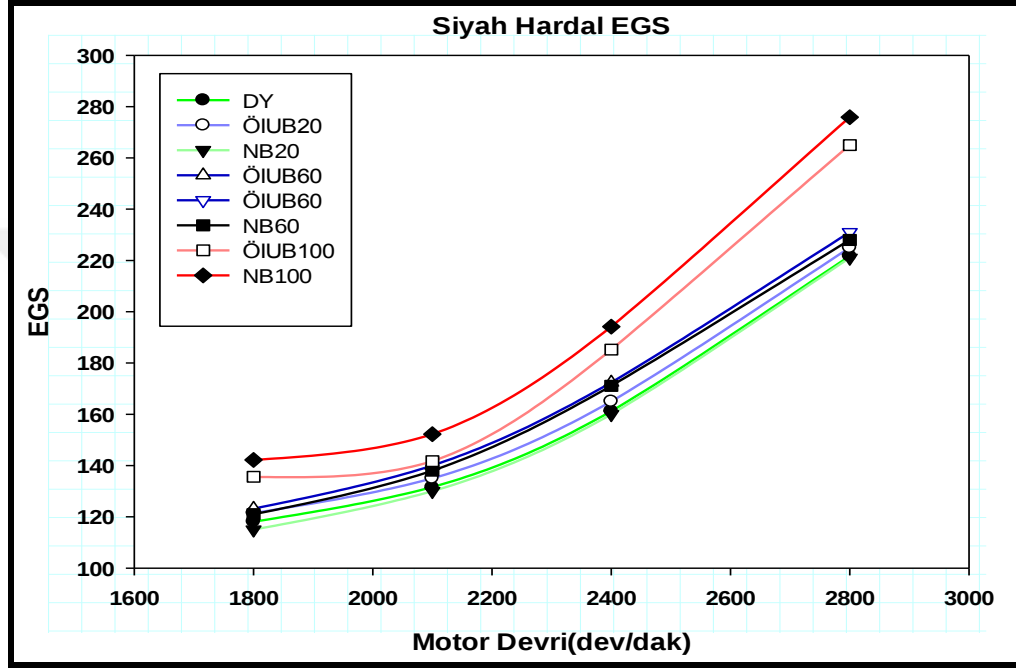
Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY'nın NBDY'na göre ÖYT değerlerindeki düşüşün sebebi olarak ısınan biyodizel yakıtları ısı değeri ve viskozitesinde meydana gelen düşüş olarak düşünülmektedir. (Sims & Ralph, 1985)



Şekil 7.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.

7.2. EGS Değerlendirilmesi

7.2.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.



Şekil 7.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve EGS değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve EGS değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

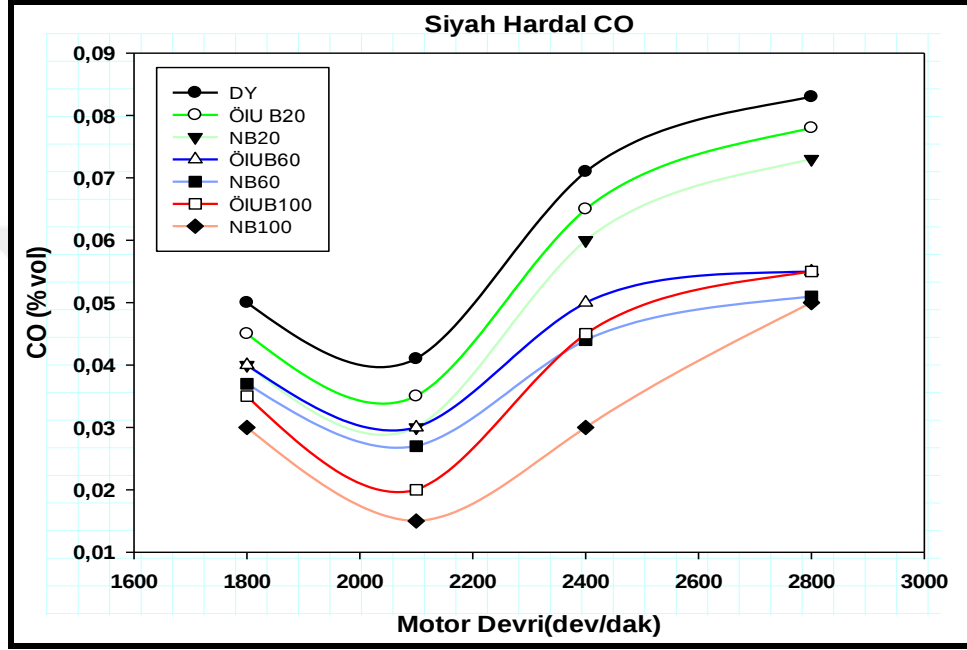
Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %3,2, B60 yakıtında %6,1 ve B100 yakıtında %13,8 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 1 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre % 1.4 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 7.2’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük EGS DY’ı kullanıldığında ve en yüksek EGS’de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının EGS değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının EGS değerleri yükselmiştir. Güç için ısı enerjisine ihtiyaç duyulduğundan dolayı egzoz sıcaklığı artması kaçınılmaz olmuştur. Yanma odasında tüketilen yakıt miktarı arttığından dolayı egzoz sıcaklığının artışına pozitif yönde etkisi olduğu düşünülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının EGS değerlerindeki farklı olması, biyodizel içerisinde bulunan oksijen ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığının oluşmasına sebep olarak gösterilebilir. (Puhana, Vedaramana, & Rama, 2005). Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir (Çakmakçı, 2005).

7.3. CO Değerlendirilmesi

7.3.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.



Şekil 7.3 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbonmonoksit (CO) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.3'de gösterilmiştir.

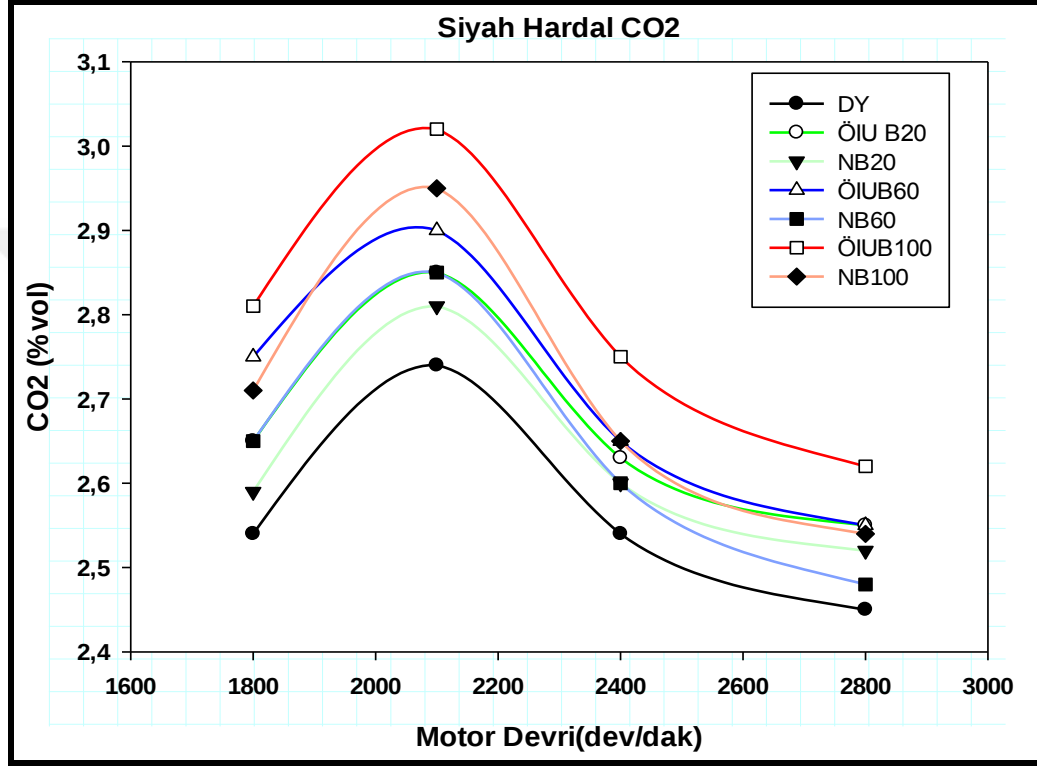
Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.8, B60 yakıtında %19.5 ve B100 yakıtında %28.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 10,5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %8,9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %13,4 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 7.3’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek CO DY’ı kullanıldığında ve en düşük CO’de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azalmıştır.

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO değerleri 2100 dev/dak’da en düşük ve 2800 dev/dak en yüksek değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil7.3’den görülmektedir. Devir sayısı arttıkça tüketilen yakıt miktarındaki artış CO değerinin yükselmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 7.3’de görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtlarda CO emisyon değerleri 2100 dev/dak da yanma şartlarının optimum değerlere yaklaşması CO değerini kısmen düşürmüş olsada 2400 ve 2800 dev/dak’da CO değerleri yükselmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artırılması ve ön ısıtmaya tabi tutulması setan sayısı, viskozite ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir(Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

7.4. CO₂ Değerlendirilmesi

7.4.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ değerleri.



Şekil 7.4 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbondioksit (CO₂) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO₂ değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO₂ verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO₂ değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

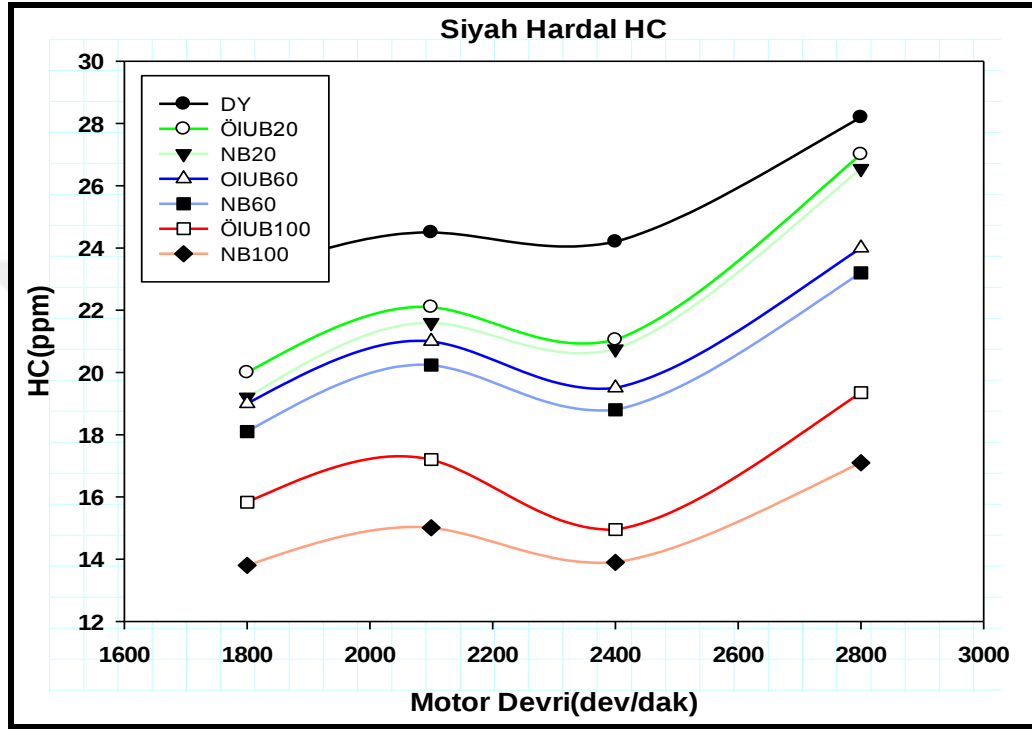
Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %4.1, B60 yakıtında %8.5 ve B100 yakıtında %17.3 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.1, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.5 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2.6 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 7.4’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük CO₂ değeri B100’ı kullanıldığında ve en düşük CO₂ değeride DY kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO₂ değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 7.4’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO₂ değerleri 2100 dev/dak’da en yüksek ve 2800 dev/dak en düşük değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO₂ emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 7.4’den görülmektedir. Şekil 7.4’de kullanılan yakıtlarının tamamında devir sayısı arttıkça CO₂ emisyon değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Motordaki devir sayısının artmasına paralel bir artış gösteren ÖYT ve EGS değerlerinin, CO₂ emisyonlarındaki artışa sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Tablo 7.4’deki veriler incelendiğinde, dizel yakıtının içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla CO₂ emisyon değerleri artmıştır. Dizel yakıtına kıyasla biyodizelin yapısında daha fazla bulunan oksijenin, silindir içindeki yanma esnasında karbon atomu ile reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarını oluşturduğu düşünülmektedir.

7.5. HC Değerlendirilmesi

7.5.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.



Şekil 7.5 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Hidrokarbon (HC) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve HC değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve HC verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve HC değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.5'de gösterilmiştir.

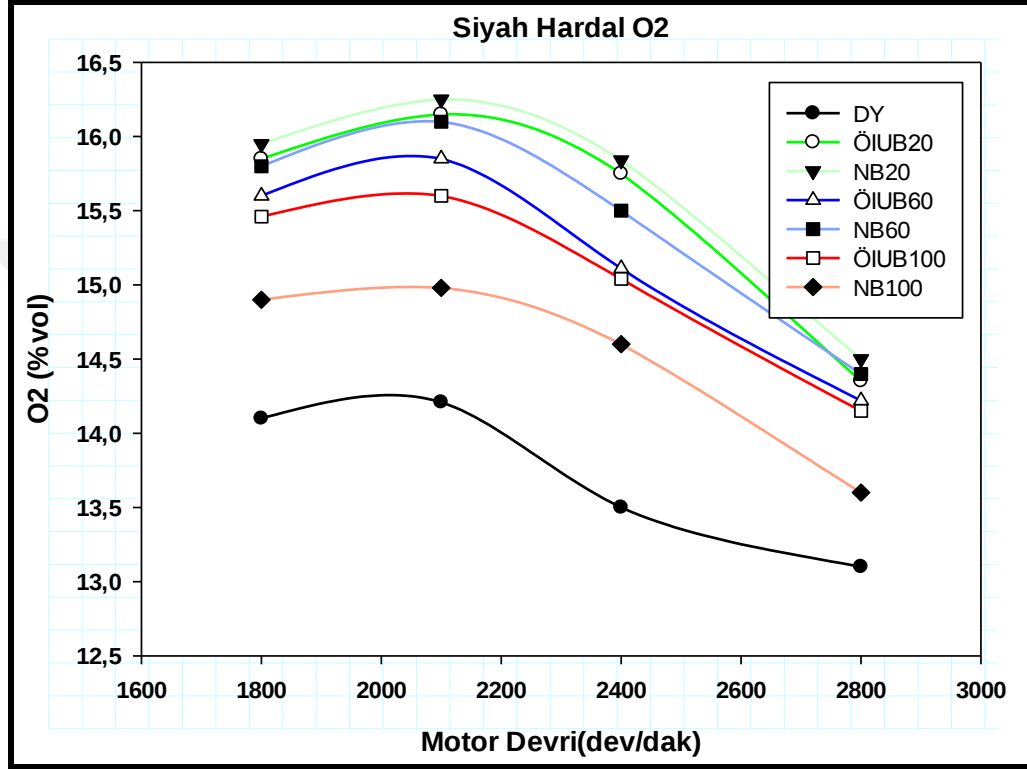
Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %16.3, B60 yakıtında %21.2 ve B100 yakıtında %41.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.1, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %0.2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %0.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 7.5’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek HC emisyon değerini DY’ı kullanıldığında ve en düşük HC emisyon değerini ise B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının HC emisyon değerleri, dizel yakıtı çerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azalmıştır.

Biyodizel yakıtının içerisindeki oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna iyileştirmiş, HC değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtların HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 7.5’de verilmiştir. Kullanılan yakıtların kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki devirin artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; yükün artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturmaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının olduğu belirtilmiştir. Biyodizel karışimli yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007),(Lapueta, Rodriguez-Fernandez, & J., 2008).

7.6. O₂ Değerlendirilmesi

7.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O₂ değerleri.



Şekil 7.6 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O₂ değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, oksijen (O₂) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve O₂ değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve O₂ verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve O₂ değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.6'da gösterilmiştir.

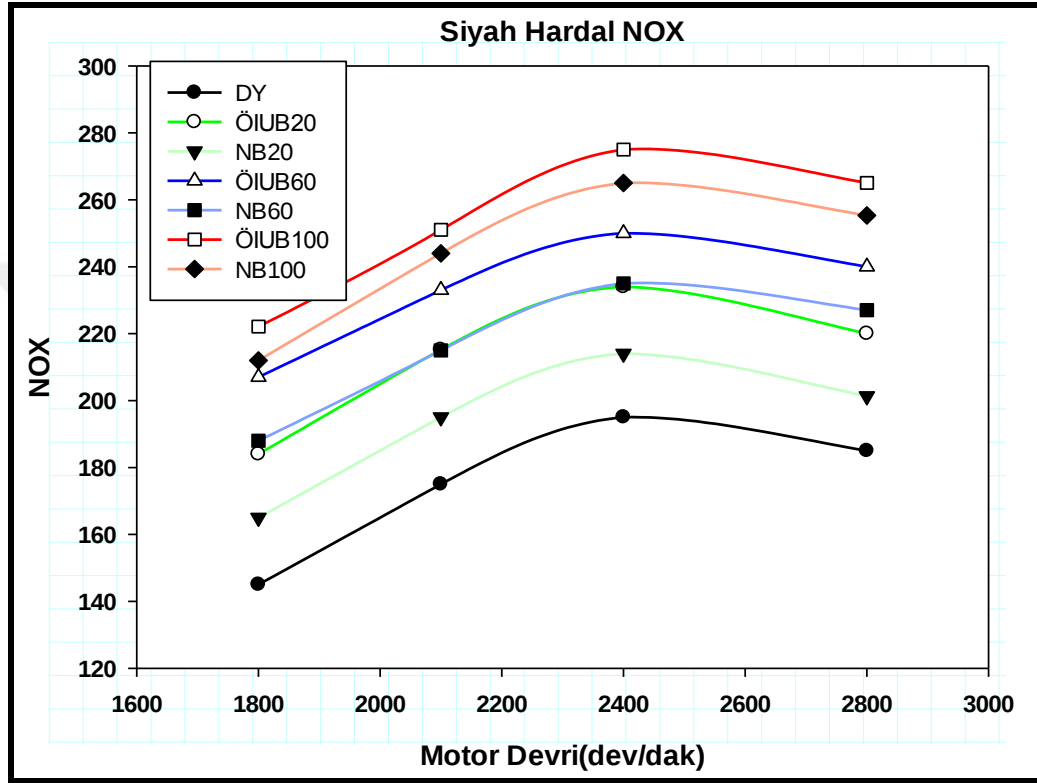
Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O_2 değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %14.1, B60 yakıtında %21.6 ve B100 yakıtında %24.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış B20, B60 ve B100'nin NB100 yakıtına göre yanma veriminin arttığı görülmüştür.

Şekil 7.6'da görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının O_2 değerleri 2100 ve 2400 dev/dak'da en yüksek ve 2700, 2800 dev/dak en düşük değerlere ulaşmıştır. Düşük devirlerde yakıt içerisinde bulunan O_2 'nin silindir içi sıcaklığın düşük olmasından dolayı karbon ile yeteri kadar reaksiyon oluşturamadığı düşünülmektedir. Bundan dolayı düşük devirlerde O_2 ve EGS emisyon değerleri düşük çıktığı aynı zamanda CO_2 değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Kullanılan test yakıtlarını içerisindeki biyodizel oranın artması ile yakıt içerisinde bulunan O_2 miktarının artmasına bağlı olarak O_2 emisyon değeride artmıştır. Kullanılan test yakıtlarının ön ısıtma uygulandıktan sonra O_2 emisyon değerlerinde belirgin düşüşler görülmüştür. Ön ısıtma uygulanmış biyodizel karışımları silindir içerisinde daha yüksek sıcaklığa neden olduğundan dolayı EGS değerleri yükselirken oksijenin karbon ile reaksiyona girme oranı arttığından dolayı O_2 emisyon değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

7.7. NO_x Değerlendirilmesi

7.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO_x değerleri.



Şekil 7.7 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Siyah Hardal Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO_x değerleri.

NO_x'ler genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında meydana gelmektedir. NO_x terimi NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, NO_x emisyon ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve NO_x değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 siyah hardal yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 siyah hardal(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20,

B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve NO_x değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 7.7’de gösterilmiştir.

Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NO_x değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.1, B60 yakıtında %17.2 ve B100 yakıtında %21.9 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.7 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %10.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %8.9 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 7.7’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük NO_x DY’ı kullanıldığında ve en yüksek NO_x’de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının NO_x değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

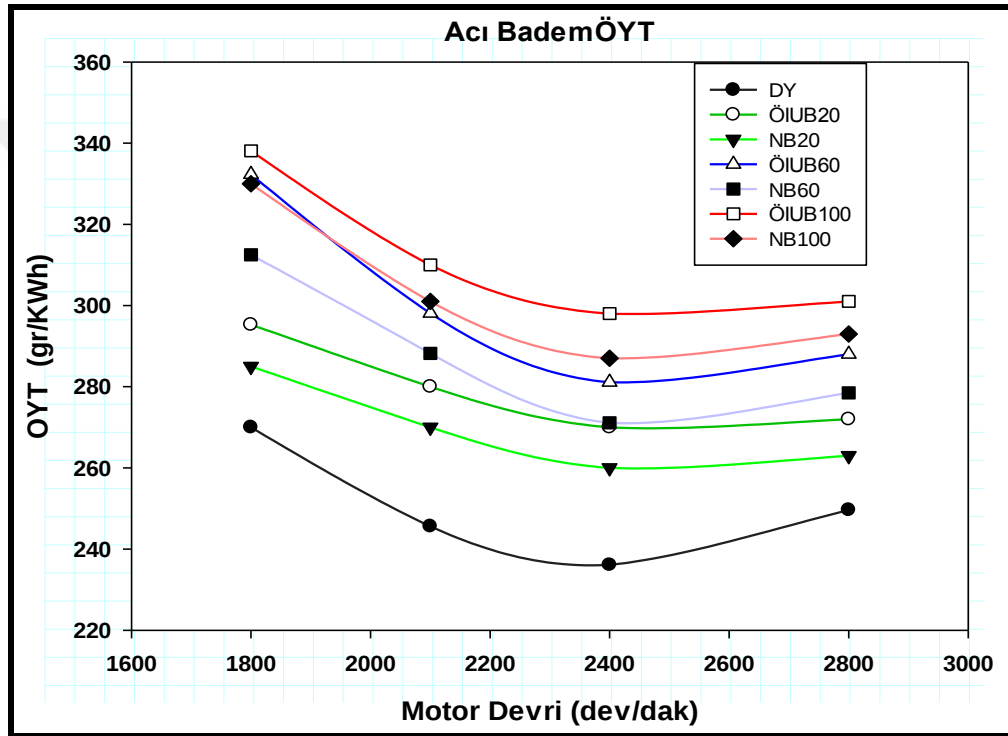
Şekil 7.7’de görüldüğü gibi, düşük devirlerde silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki devir sayısının artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Devrin artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Altın, Çetinkaya, & Yücesu, 2001). Fakat dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla sıcaklık değerleri daha da yükselmekte, bu yükselmenin neticesinde ise; basınç, havahareketliliği gibi oluşumların daha hızlı gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı yük şartlarında NO_x emisyonu değerleri arasındaki farklılığın bir diğer nedeni ise, yakıt numunelerin ısı değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının, aynı enerjiyi elde edebilmeleri için kütleli olarak daha fazla kullanılması gerekir. Gram cinsinden daha fazla yakıtın kullanılması, NO_x emisyonlarının artmasına sebep olarak gösterilebilir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY’nin NBDY’na göre NO_x değerlerindeki yükselmesinin sebebi olarak ısıtılmış yakıt içerisinde O₂ daha fazla yanma reaksiyonuna girmesiyle hem EGS hemde NO_x değerlerini yükselttiği düşünülmektedir.

8. ACI BADEM

8.1. Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi

8.1.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile Dizel Yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.



Şekil 8.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT değerleri.

ÖYT, birim güç başına tüketilen yakıt miktarı veya birim zaman içinde güç üretmek için tüketilen yakıtın miktarı olarak tanımlanır. Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) emisyon değerleri ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve ÖYT değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından

elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve ÖYT verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve ÖYT değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.1'de gösterilmiştir.

Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının ÖYT değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %13,2, B60 yakıtında %28,1 ve B100 yakıtında %31,5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2,5 ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %3,2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2,1 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 8.1'de görüldüğü gibi tüm yakıt çeşitleri arasında en düşük ÖYT değeri dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Elde edilen bu sonuçların meydana gelmesinde birinci neden olarak, kullanılan yakıtlar arasındaki yoğunluk farkının olmasıdır. Biyodizel olarak kullanılan yakıtların yoğunluğunun daha yüksek olduğundan oranı arttıkça ÖYT değerlerinin artmasına neden olmuştur. Hacimsel değerleri aynı da olsa kütsel değerleri daha yüksek olması kaçınılmaz olmuştur. Farklı bir ifade ile yoğunluğu yüksek olan biyodizel yakıtları silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazla olduğundan biyodizel ÖYT değerleri dizel ÖYT değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.(Gürü, Koca, Can, & Çınar, 2010). İkinci neden olarak aynı ejektör basınçlarına maruz kalan yakıtlardan viskozitesi yüksek olan biyodizel yakıt tanecikleri daha büyük olduğundan hava/yakıt karışımı ideal değerlerinde değişim olduğundan yanma verimi düşmüştür. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Bundan dolayı yakıtın buharlaşma ve yanma verimini düşürecek. Bu durum tüketilen yakıt miktarını arttıracığından, ÖYT değerlerini de o oranda yükselecektir (Ali & Hanna), (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

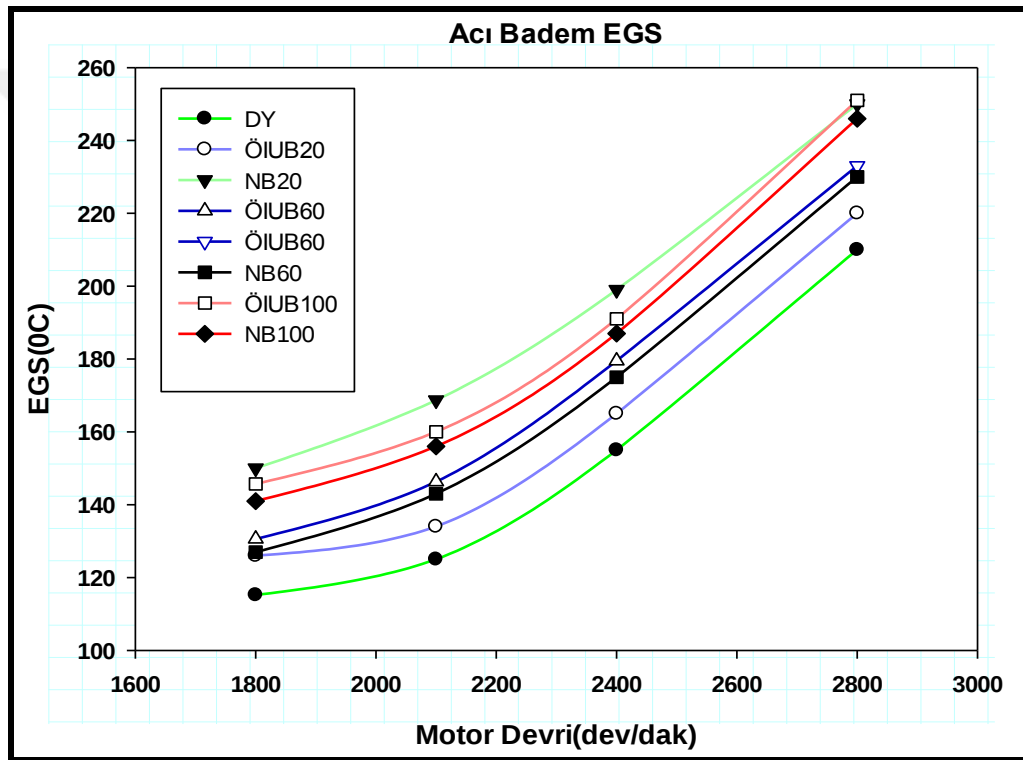
ÖYT değerlerini yüksek çıkmasının diğer bir sebebidir yakıtın ısı değeridir. Aynı enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt tüketilmiştir. Yapılan bu çalışmada ÖYT değerlerini artıran sebepler olarak, püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri olarak düşünülmektedir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY'nın NBDY'na göre ÖYT değerlerindeki düşüşün sebebi olarak

ısınan biyodizel yakıtları ısıl değerleri ve viskozitesinde meydana gelen düşüş olarak düşünülmektedir. (Sims & Ralph, 1985)

8.2. EGS Değerlendirilmesi

8.2.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.



Şekil 8.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve EGS değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem(B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800

dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve EGS değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.2'de gösterilmiştir.

Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.2, B60 yakıtında %13.1 ve B100 yakıtında %26.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

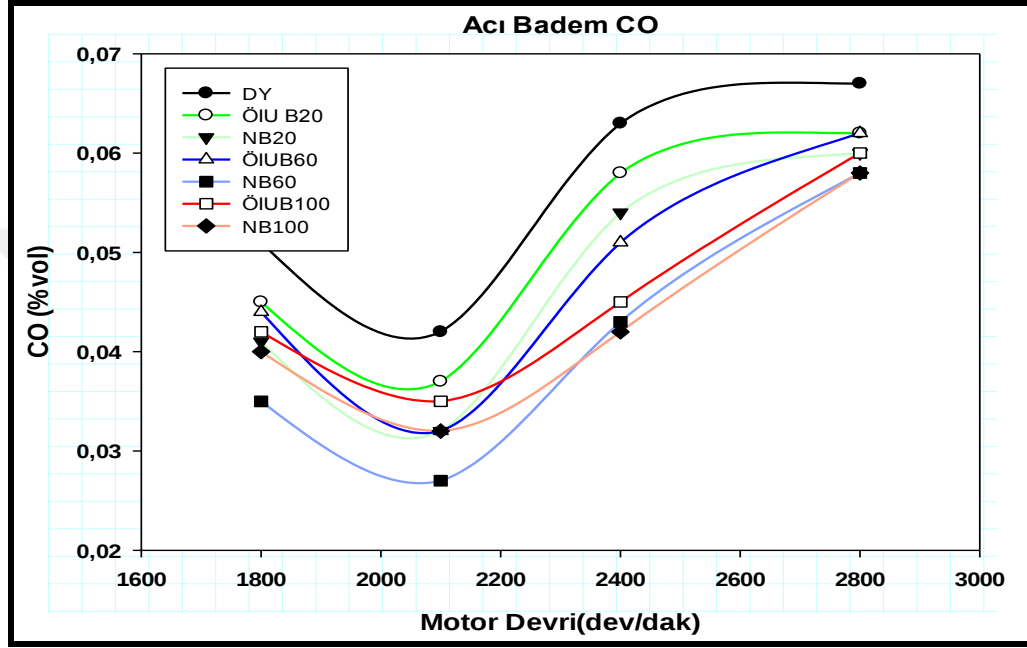
Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 8.2'de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük EGS DY'ı kullanıldığında ve en yüksek EGS'de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının EGS değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 8.2'de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının EGS değerleri de yükselmiştir. Güç için ısı enerjisine ihtiyaç duyulduğundan dolayı egzoz sıcaklığı artması kaçınılmaz olmuştur. Yanma odasında tüketilen yakıt miktarı arttığından dolayı egzoz sıcaklığının artışına pozitif yönde etkisi olduğu düşünülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının EGS değerlerindeki farklı olması, biyodizel içerisinde bulunan oksijen ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığın oluşmasına sebep olarak gösterilebilir (Puhana, Vedaramana, & Rama, 2005). Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir (Çakmakçı, 2005).

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY'nın NBDY'na göre EGS değerlerindeki düşüşün sebebi olarak ısınan biyodizel yakıtları ısı değerleri ve viskozitesinde meydana gelen düşüş olarak düşünülmektedir. (Sims & Ralph, 1985)

8.3. CO Değerlendirilmesi

8.3.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.



Şekil 8.3. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbonmonoksit (CO) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.3'de gösterilmiştir.

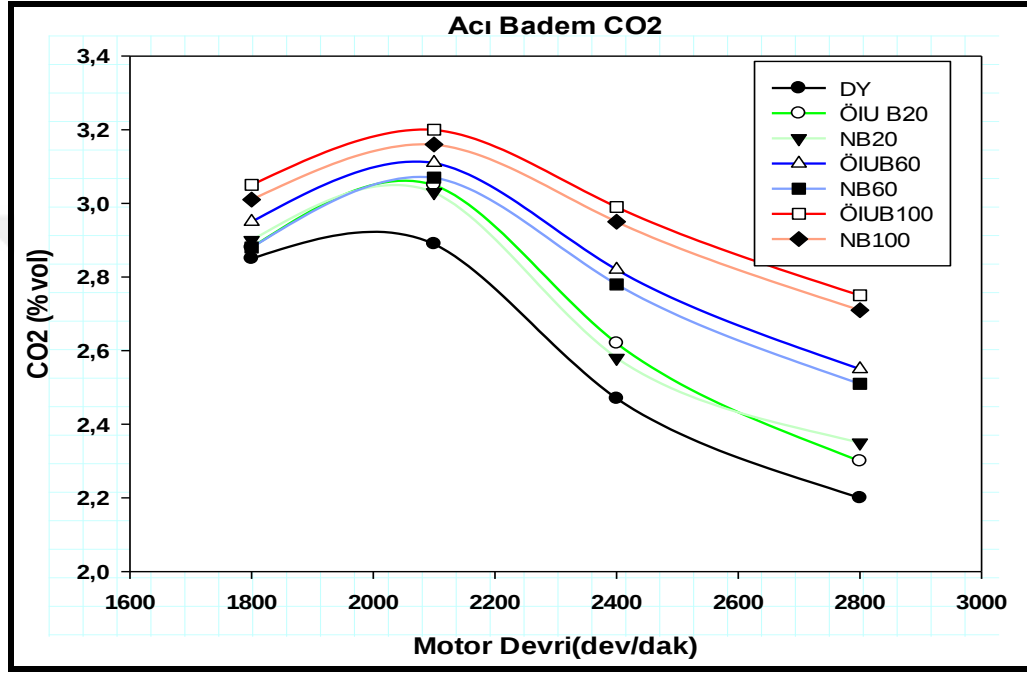
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.4, B60 yakıtında %14.5 ve B100 yakıtında %20.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %12.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 8.3’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek CO emisyon değeri DY’ı kullanıldığında ve en düşük CO emisyon değeri de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azalmıştır.

Şekil 8.3’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO değerleri 2100 dev/dak’da en düşük ve 2800 dev/dak en yüksek değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki devir arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 8.7’de görülmektedir. Devir sayısı arttıkça tüketilen yakıt miktarındaki artış CO değerinin yükselmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 8.3’de görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında daha fazla oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtlarda CO emisyon değerleri 2100 dev/dak da yanma şartlarının daha iyi olması CO emisyon değerini kısmen düşürmüş olsada 2400 ve 2800 dev/dak’da CO değerleri yükselmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının arttırılması ve ön ısıtmaya tabi tutulması setan sayısı, viskozite ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir(Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

8.4. CO₂ Değerlendirilmesi

8.4.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ değerleri.



Şekil 8.4. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbondioksit (CO₂) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO₂ değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO₂ verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO₂ değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.4'de gösterilmiştir.

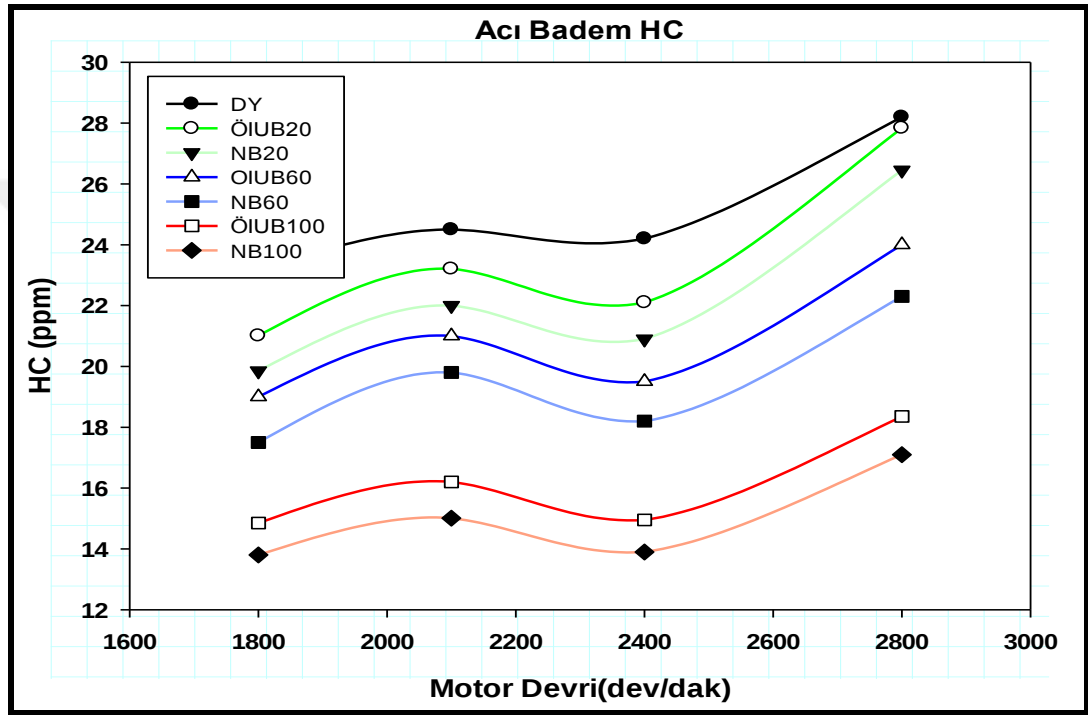
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %2.1, B60 yakıtında %9.5 ve B100 yakıtında %16,1 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.4, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.6 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1.8 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 8.4'da görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük CO₂ değeri B100'ı kullanıldığında ve en düşük CO₂ değeride DY kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO₂ değerleri, dizel yakıtı çerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 8.4'de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO₂ değerleri 2100 dev/dak'da en yüksek ve 2800 dev/dak en düşük değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki yük arttıkça CO₂ emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 8.10'dan görülmektedir. Şekil 8.4'de, kullanılan yakıtlarının tamamında devir sayısı arttıkça CO₂ emisyon değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Motordaki devir sayısının artmasına paralel bir artış gösteren ÖYT ve EGS değerlerinin, CO₂ emisyonlarındaki artışa sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Dizel yakıtına kıyasla biyodizelin yapısında daha fazla bulunan oksijenin, silindir içindeki yanma esnasında karbon atomu ile reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarını oluşturduğu düşünülmektedir.

8.5. HC Değerlendirilmesi

8.5.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.



Şekil 8.5. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Hidrokarbon (HC) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve HC değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve HC verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve HC değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.5'de gösterilmiştir.

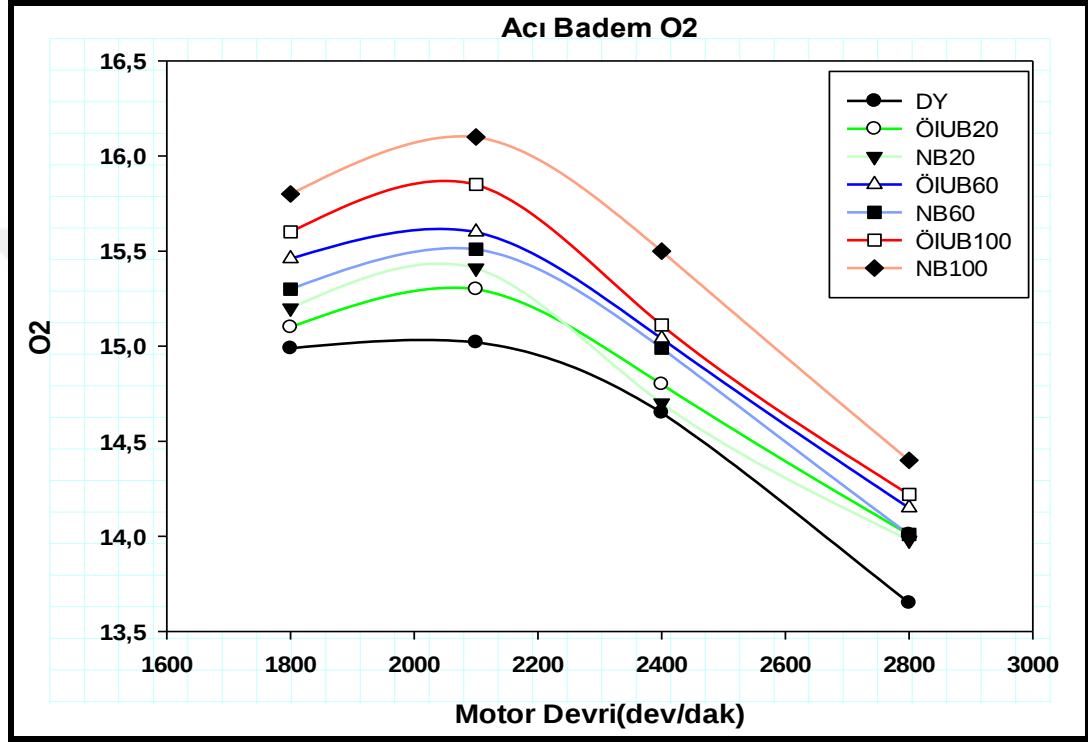
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %12.3, B60 yakıtında %40.2 ve B100 yakıtında %45.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.8, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %0.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %0.6 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 8.5’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek HC emisyon değerini DY’ı kullanıldığında ve en düşük HC emisyon değerini ise B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının HC emisyon değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azaldığı görülmüştür.

Tüm test yakıtları için motordaki devir sayısı arttıkça HC emisyonlarında aynı paralelde arttığı Şekil 8.5’de görülmektedir. Bu artışın, biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden miktarına bağlı olduğu düşünülmüştür. Biyodizel yakıtının içerisindeki oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna iyileştirmiş, HC değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtların HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 8.5’de verilmiştir. Kullanılan yakıtların kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki devrinin artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; yükün artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturmaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının olduğu belirtilmiştir. Biyodizel karışımlı yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007),(Lapuerta, Rodriguez-Fernandez, & J., 2008).

8.6. O₂ Değerlendirilmesi

8.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O₂ Değerleri



Şekil 8.6 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) O₂ Değerleri

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, oksijen (O₂) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve O₂ değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve O₂ verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan Siyah Hardal karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve O₂ değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.6'da gösterilmiştir.

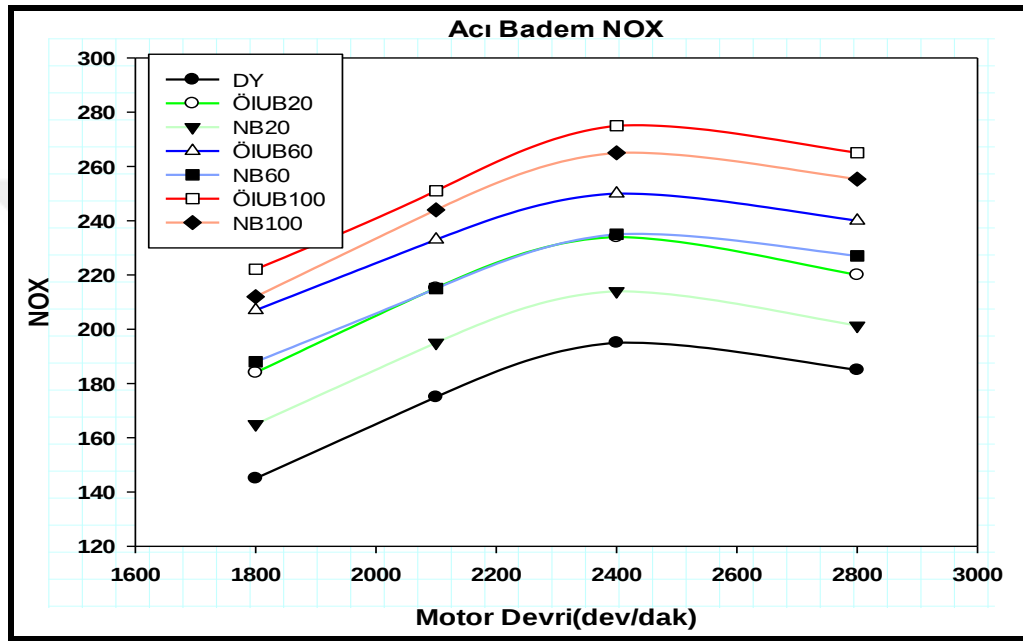
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O_2 değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.1, B60 yakıtında %12.6 ve B100 yakıtında %14.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış B20, B60 ve B100'nin NB100 yakıtına göre yanma veriminin arttığı görülmüştür.

Şekil 8.6'da görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının O_2 değerleri 2100 ve 2400 dev/dak'da en yüksek ve 2700, 2800 dev/dak en düşük değerlere ulaşmıştır. Düşük devirlerde yakıt içerisinde bulunan O_2 'nin silindir içi sıcaklığın düşük olmasından dolayı karbon ile yeteri kadar reaksiyon oluşturamadığı düşünülmektedir. Bundan dolayı düşük devirlerde O_2 ve EGS emisyon değerleri düşük çıktığı aynı zamanda CO_2 değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Kullanılan test yakıtlarını içerisindeki biyodizel oranın artması ile yakıt içerisinde bulunan O_2 miktarının artmasına bağlı olarak O_2 emisyon değeride artmıştır. Kullanılan test yakıtlarının ön ısıtma uygulandıktan sonra O_2 emisyon değerlerinde belirgin düşüşler görülmüştür. Ön ısıtma uygulanmış biyodizel karışımları silindir içerisinde daha yüksek sıcaklığa neden olduğundan dolayı EGS değerleri yükselirken oksijenin karbon ile reaksiyona girme oranı arttığından dolayı O_2 emisyon değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

8.7. NO_x Değerlendirilmesi

8.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) No_x Değerleri.



Şekil 8.7. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Acı Badem Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO_x Değerleri.

NO_x'ler genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında meydana gelmektedir. NO_x terimi NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, NO_x emisyon ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve NO_x değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 acı badem yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 acı badem (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100)

ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve NO_x değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.7’de gösterilmiştir.

Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NO_x değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.2, B60 yakıtında %16.2 ve B100 yakıtında %20.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 6.7, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %5.9 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 8.7’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük NO_x emisyon değerini DY’ı kullanıldığında ve en yüksek NO_x emisyon değerinde B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının NO_x değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

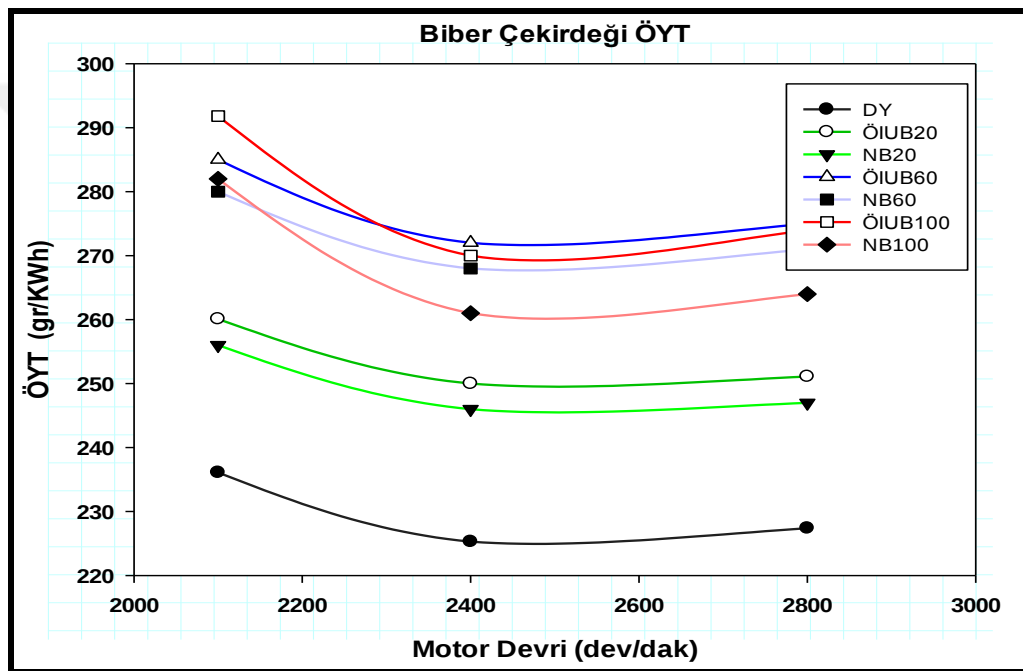
Şekil 8.7’de görüldüğü gibi, düşük devirlerde silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki devir sayısının artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Yükün artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Altın, Çetinkaya, & Yücesu, 2001). Fakat dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla sıcaklık değerleri daha da yükselmekte, bu yükselmenin neticesinde ise; basınç, havahareketliliği gibi oluşumların daha hızlı gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı yük şartlarında NO_x emisyonu değerleri arasındaki farklılığın bir diğer nedeni ise, yakıt numunelerin ısı değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının, aynı enerjiyi elde edebilmeleri için kütsel olarak daha fazla kullanılması gerekir. Gram cinsinden daha fazla yakıtın kullanılması, NO_x emisyonlarının artmasına sebep olarak gösterilebilir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY’nın NBDY’na göre NO_x emisyon değerlerindeki yükselmesinin sebebi olarak ısıtılmış yakıt içerisinde O₂ daha fazla yanma reaksiyonuna girmesiyle hem EGS hemde NO_x değerlerini yükselttiği düşünülmektedir.

9. BİBER ÇEKİRDEĞİ

9.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) Değerlendirilmesi

9.1.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT Değerleri.



Şekil 9.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) ÖYT Değerleri.

ÖYT, birim güç başına tüketilen yakıt miktarı veya birim zaman içinde güç üretmek için tüketilen yakıtın miktarı olarak tanımlanır. Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) emisyon değerleri ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt(DY) ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve ÖYT değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor

çalıştırılmış ve ÖYT verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan biber çekirdeği karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve ÖYT değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.1’de gösterilmiştir.

Deney sonucunda biber çekirdeği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının ÖYT değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.2, B60 yakıtında %18.1 ve B100 yakıtında %26.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 3.5 ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %4.2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %3.1 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 9.1’de görüldüğü gibi tüm yakıt çeşitleri arasında en düşük ÖYT değeri dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının ÖYT değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

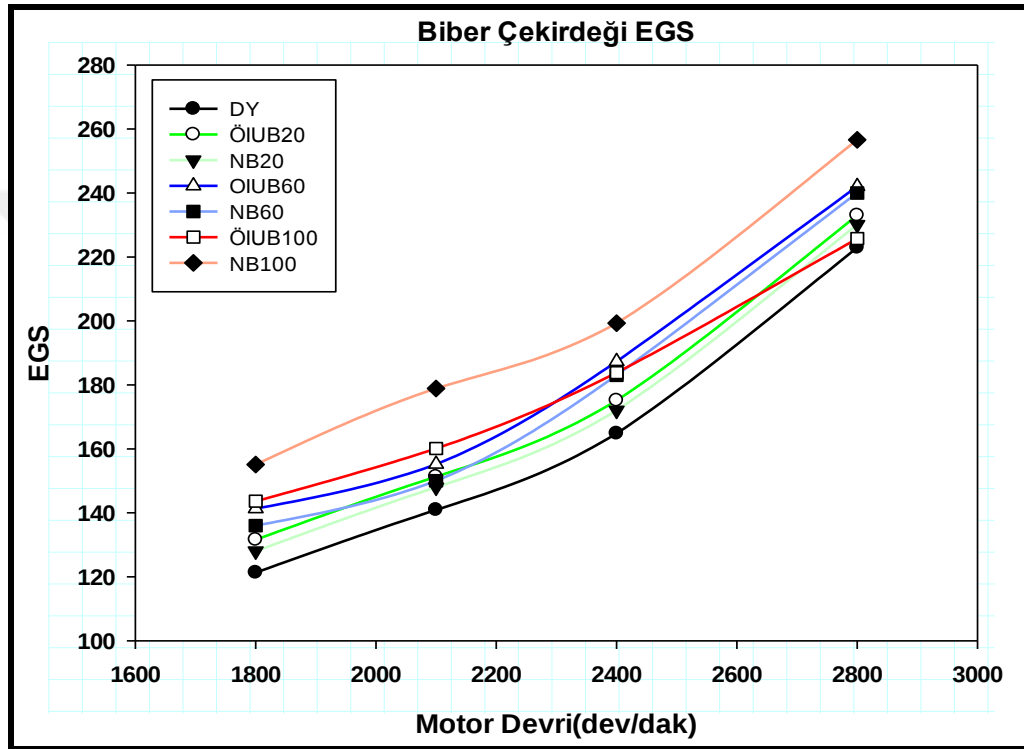
Elde edilen bu sonuçların meydana gelmesinde birinci neden olarak, kullanılan yakıtlar arasındaki yoğunluk farkının olmasıdır. Biyodizel olarak kullanılan yakıtların yoğunluğunun daha yüksek olduğundan oranı artıkça ÖYT değerlerinin artmasına neden olmuştur. Hacimsel değerleri aynı da olsa kütsel değerleri daha yüksek olması kaçınılmaz olmuştur. Farklı bir ifade ile yoğunluğu yüksek olan biyodizel yakıtları silindirlere gönderilen gram cinsinden değeri fazla olduğundan biyodizel ÖYT değerleri dizel ÖYT değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.(Gürü, Koca, Can, & Çınar, 2010). İkinci neden olarak aynı ejektör basınçlarına maruz kalan yakıtlardan viskozitesi yüksek olan biyodizel yakıt tanecikleri daha büyük olduğundan hava/yakıt karışımı ideal değerlerinde değişim olduğundan yanma verimi düşmüştür. Bu durumda yakıt molekülleri, sıkıştırılmış hava ile iyi bir karışım gerçekleştiremeyecektir. Bundan dolayı yakıtın buharlaşma ve yanma verimini düşürecekler. Bu durum tüketilen yakıt miktarını arttıracığından, ÖYT değerlerini de o oranda yükselecektir (Ali & Hanna), (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

ÖYT değerlerini yüksek çıkmasının diğer bir sebebide yakıtın ısı değeri. Aynı enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt tüketilmiştir. Yapılan bu çalışmada ÖYT değerlerini artıran sebepler olarak, püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri olarak düşünülmektedir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY’nın NBDY’na göre ÖYT değerlerindeki düşüşün sebebi olarak ısınan biyodizel yakıtları ısı değerleri ve viskozitesinde meydana gelen düşüş olarak düşünülmektedir. (Sims & Ralph, 1985)

9.2. Egzoz Gaz Sıcaklık (EGS) Değerlendirilmesi

9.2.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS Değerleri.



Şekil 9.2 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) EGS Değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve EGS değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeğinden elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler

tekrarlanmış ve EGS değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.2’de gösterilmiştir.

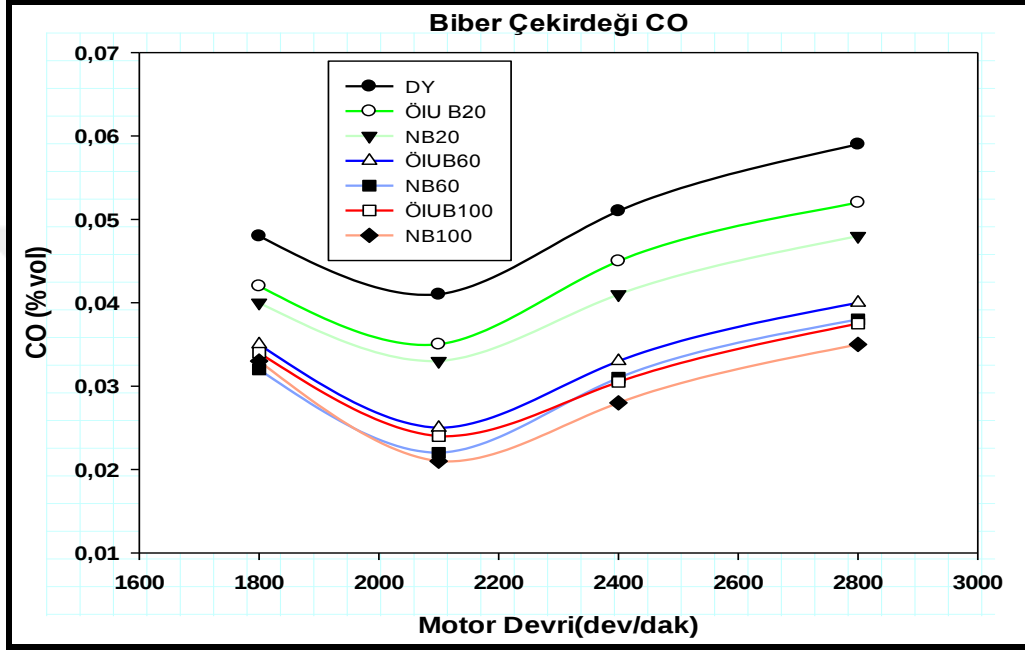
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.2, B60 yakıtında %13.1 ve B100 yakıtında %28.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 7.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %6.5 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %7.5 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 9.2’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük EGS DY’ı kullanıldığında ve en yüksek EGS’de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının EGS değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 9.2’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının EGS değerleri de yükselmiştir. Güç için ısı enerjisine ihtiyaç duyulduğundan dolayı egzoz sıcaklığı artması kaçınılmaz olmuştur. Yanma odasında tüketilen yakıt miktarı arttığından dolayı egzoz sıcaklığının artışına pozitif yönde etkisi olduğu düşünülmektedir. Dizel yakıtı ile biyodizel yakıtının EGS değerlerindeki farklı olması, biyodizel içerisinde bulunan oksijen ve setan sayısının yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite ve setan sayısından dolayı daha yavaş ve uzun bir yanmanın gerçekleşiyor olması biyodizel kullanımında daha yüksek egzoz sıcaklığının oluşmasına sebep olarak gösterilebilir (Puhana, Vedaramana, & Rama, 2005). Dizel motorlarda yakıt olarak biyodizel kullanıldığında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığını belirtmiştir. Egzoz gazı sıcaklığının tutuşma gecikmesinden etkilendiğini ve biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından dolayı daha düşük tutuşma gecikmesi periyodu sergilediğini ve bunun da biyodizel kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığını artırdığını belirtmiştir (Çakmakçı, 2005).

9.3. Karbonmonokist (CO) Değerlendirilmesi

9.3.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO Değerleri



Şekil 9.3 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO Değerleri

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbonmonoksit (CO) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekireği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekireği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekireği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan biber çekireği yağı karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.3'de gösterilmiştir.

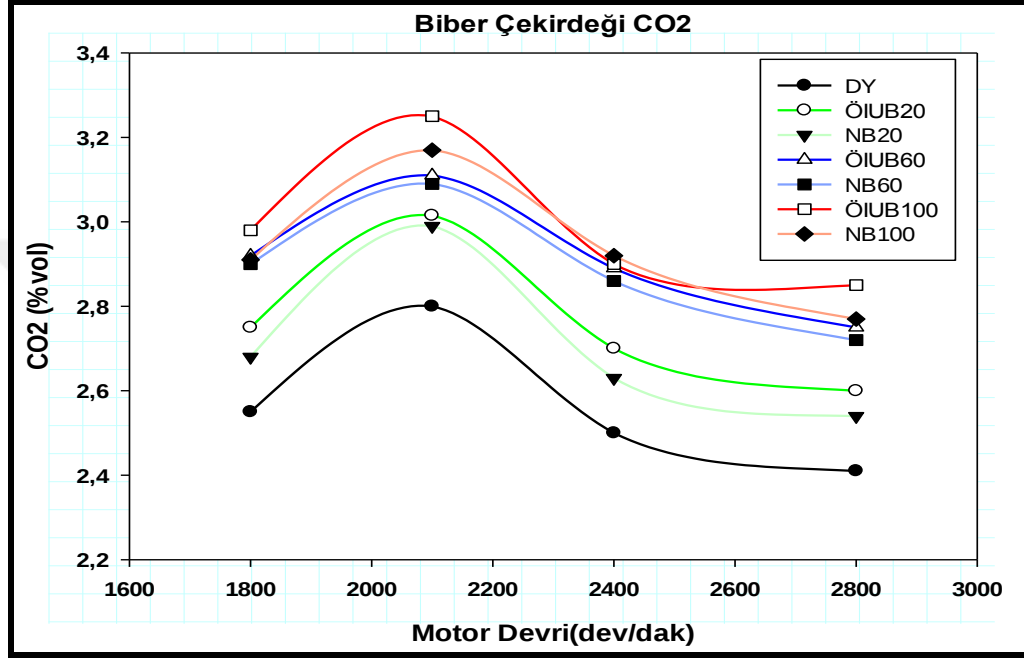
Deney sonucunda biber çekireği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %13.4, B60 yakıtında %23.5 ve B100 yakıtında %31.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 5.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.8 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %11.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 9.3'da görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek CO emisyon değeri DY'ı kullanıldığında ve en düşük CO emisyon değeri de B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azalmıştır.

Şekil 9.3'de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO değerleri 2100 dev/dak'da en düşük ve 2800 dev/dak en yüksek değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki devir arttıkça CO emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil9.7'dan görülmektedir. Devir sayısı arttıkça tüketilen yakıt miktarındaki artış CO değerinin yükselmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının, dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu Şekil 9.3'da görülmektedir. Biyodizel yakıtının setan sayısının yüksek olması ve kimyasal bağ yapısında daha fazla oksijen bulundurması biyodizel yakıtlarının CO emisyonu değerlerindeki azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtlarda CO emisyon değerleri 2100 dev/dak da yanma şartlarının daha iyi olması CO emisyon değerini kısmen düşürmüş olsada 2400 ve 2800 dev/dak'da CO değerleri yükselmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının arttırılması ve ön ısıtmaya tabi tutulması setan sayısı, viskozite ve oksijen içeriği gibi değerlerin arttığı ve bu durumun ise test yakıtları arasındaki CO emisyonlarının farklı değerlerde oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yakıtların yanma performansını etkileyecek özellikleri ne kadar iyi olursa, CO emisyon değerlerinin de o nispette düşük olacağı düşünülmektedir(Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007).

9.4. Karbondioksit (CO₂) Değerlendirilmesi

9.4.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ Değerleri



Şekil 9.4 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) CO₂ Değerleri

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Karbondioksit (CO₂) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve CO₂ değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve CO₂ verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan acı badem karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve CO₂ değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.4'de gösterilmiştir.

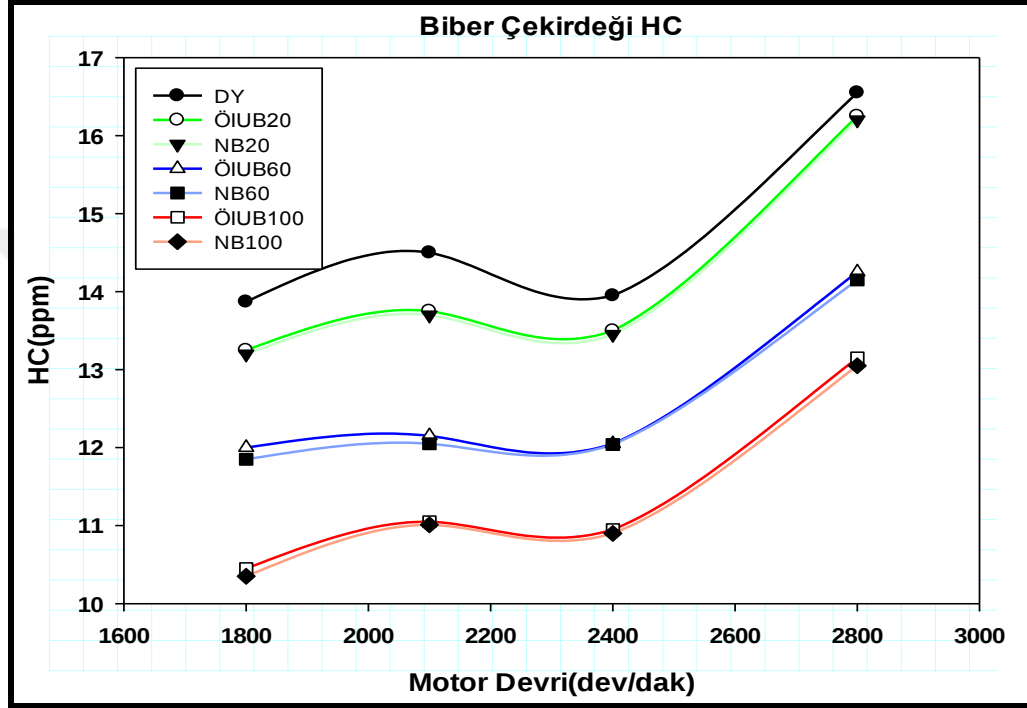
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.1, B60 yakıtında %10.5 ve B100 yakıtında %18,1 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.8, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2.4 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 9.4’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük CO₂ değeri B100’ı kullanıldığında ve en yüksek CO₂ değeride DY kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının CO₂ değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 9.4’de görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının CO₂ değerleri 2100 dev/dak’da en yüksek ve 2800 dev/dak en düşük değere ulaşmıştır. Tüm test yakıtları için motordaki devir arttıkça CO₂ emisyonlarının da aynı paralelde arttığı Şekil 9.4’den görülmektedir. Motordaki devir sayısının artmasına paralel bir artış gösteren ÖYT ve EGS değerlerinin, CO₂ emisyonlarındaki artışına sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Dizel yakıtına kıyasla biyodizelin yapısında daha fazla bulunan oksijenin, silindir içindeki yanma esnasında karbon atomu ile daha fazla reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarını oluşturduğu düşünülmektedir.

9.5. Hidrokarbon (HC) Değerlendirilmesi

9.5.1 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC Değerleri



Şekil 9.5 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) HC Değerleri

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, Hidrokarbon (HC) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve HC değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve HC verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan biber çekirdeği karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve HC değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.5'de gösterilmiştir.

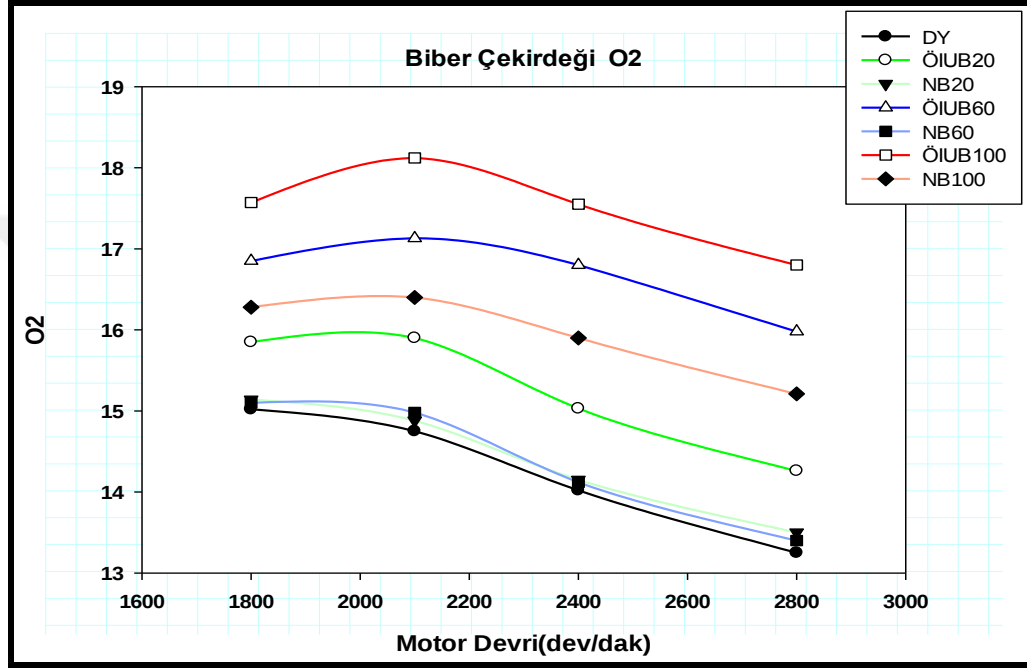
Deney sonucunda acı biber çekirdeği elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.3, B60 yakıtında %23.2 ve B100 yakıtında %28.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.9, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %1.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1.6 oranında bir düşüş tespit edilmiştir. Şekil 9.5’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en yüksek HC emisyon değerini DY’ı kullanıldığında ve en düşük HC emisyon değerini ise B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının HC emisyon değerleri, dizel yakıtı çerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde azaldığı görülmüştür.

Tüm test yakıtları için motordaki devir sayısı arttıkça HC emisyonlarında aynı paralelde arttığı Şekil 9.5’den görülmektedir. Bu artmanın, biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden miktarına bağlı olduğu düşünülmüştür. Biyodizel yakıtının içerisindeki oksijen içeriğinin fazla olması yanma reaksiyonuna iyileştirmiş, HC değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Kullanılan yakıtların HC emisyon değerlerinde belirgin farklılığın olduğu Şekil 9.5’de verilmiştir. Kullanılan yakıtların kimyasal içeriğinde değişken oranda oksijen bulunması ve dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla setan sayısı değerinin de aynı paralelde artış göstermesi bu belirgin farklılığın sebebi olarak gösterilebilir. Motordaki devrinin artmasıyla beraber tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni; devrin artmasına paralel olarak kütleli yakıt sarfiyatının artması şeklinde açıklanabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda; dizel yakıtının, yanma odasında hava ile istenen düzeyde bir karışım oluşturamaması neticesinde yüksek CO ve HC emisyonlarının olduğu belirtilmiştir. Biyodizel karışimli yakıtların yapısında oksijen bulunması sebebiyle; CO, HC ve duman emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Çünkü yakıtın oksijen içeriği yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tam yanmayı geliştirmekte ve bu durumun HC emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Bununla beraber setan sayısı, kaynama noktası, kükürt ve aromatik bileşen içeriği gibi özelliklerin de CO, HC ve duman emisyonlarındaki değişim üzerinde etkili olduğunu ifade edilmiştir (Keskin, Gürü, & Altınparmak, 2007),(Lapuerta, Rodriguez-Fernandez, & J., 2008).

9.6. Oksijen (O_2) Değerlendirilmesi

9.6.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış ($60^\circ C$) O_2 Değerleri



Şekil 9.6 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış ($60^\circ C$) O_2 Değerleri.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, oksijen (O_2) ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve O_2 değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve O_2 verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan biber çekirdeği karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya ($60^\circ C$) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve O_2 değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 9.6'da gösterilmiştir.

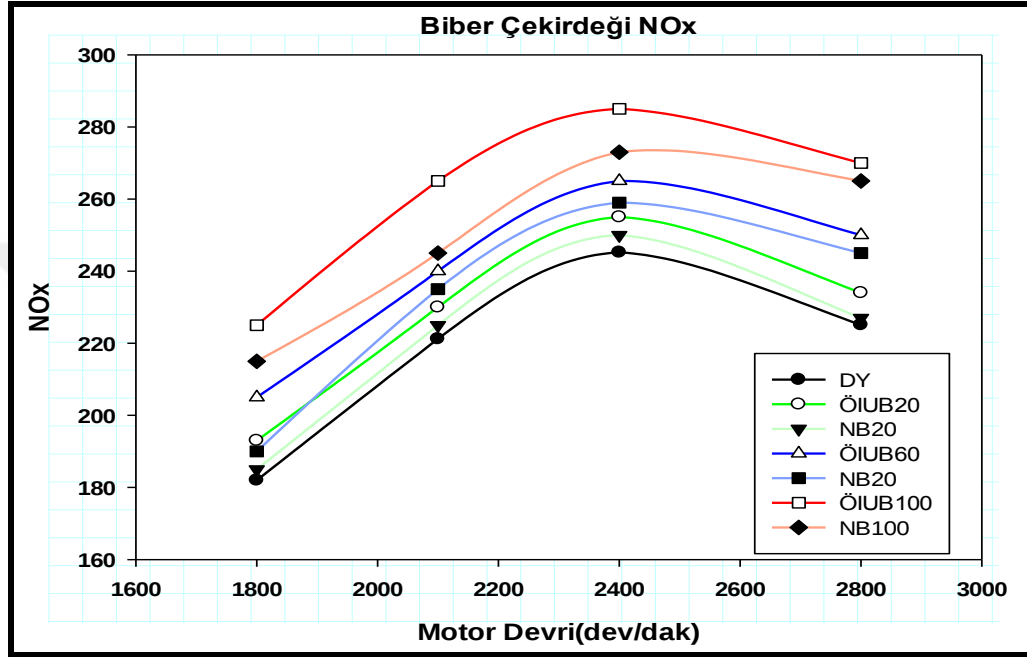
Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O_2 değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %6.1, B60 yakıtında %12.5 ve B100 yakıtında %13.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış B20, B60 ve B100'nin NB100 yakıtına göre yanma veriminin arttığı görülmüştür.

Şekil 9.6'da görüldüğü gibi, motordaki devir sayısının artmasıyla beraber yakıtlarının O_2 değerleri 2100 ve 2400 dev/dak'da en yüksek ve 2700, 2800 dev/dak en düşük değerlere ulaşmıştır. Düşük devirlerde yakıt içerisinde bulunan O_2 'nin silindir içi sıcaklığın düşük olmasından dolayı karbon ile yeteri kadar reaksiyon oluşturamadığı düşünülmektedir. Bundan dolayı düşük devirlerde O_2 ve EGS emisyon değerleri düşük çıktığı aynı zamanda CO_2 değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Kullanılan test yakıtlarını içerisindeki biyodizel oranın artması ile yakıt içerisinde bulunan O_2 miktarının artmasına bağlı olarak O_2 emisyon değeride artmıştır. Kullanılan test yakıtlarının ön ısıtma uygulandıktan sonra O_2 emisyon değerlerinde belirgin düşüşler görülmüştür. Ön ısıtma uygulanmış biyodizel karışımları silindir içerisinde daha yüksek sıcaklığa neden olduğundan dolayı EGS değerleri yükselirken oksijenin karbon ile reaksiyona girme oranı arttığından dolayı O_2 emisyon değerlerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

9.7. Azotoksit (NO_x) Değerlendirilmesi

9.7.1. Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO_x Değerleri.



Şekil 9.7 Dizel yakıtı ile %20, %60 ve %100 Biber Çekirdeği Yağından Elde Edilmiş Biyodizel ile dizel yakıt (No 2-D) karışımının normal ve ön ısıtma uygulanmış (60°C) NO_xDeğerleri

NO_x'ler genellikle, motorun yüksek sıcaklıklardaki çalışma şartlarında meydana gelmektedir. NO_x terimi NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir.

Bu çalışmada motor sabit yükte, farklı devirlerde çalıştırılmış, NO_x emisyon ölçümü yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çalışma şartlarına getirilen deney motorunda önce %100 dizel yakıt ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da kullanılmış ve NO_x değerleri alınmıştır. Aynı motorda % 20 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %80 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı(B20), % 60 biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel ile %40 normal dizel yakıt (No 2-D) karışımı (B60) ve % 100 biber çekirdeği (B100) yağından elde edilen biyodizel ile 1800, 2100, 2400 ve 2800 dev/dak'da motor çalıştırılmış ve EGS verileri tekrar alınmıştır. Aynı deneyde kullanılan biber çekirdeği karışımları (B20, B60, B100) ön ısıtmaya (60 °C) tabi tutulmuş ve deneyler tekrarlanmış ve NO_x değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 9.7'de gösterilmiştir.

Deney sonucunda biber çekirdeği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NO_x değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %6.2, B60 yakıtında %14.2 ve B100 yakıtında %32.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 4.7 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6.9 oranında bir artış tespit edilmiştir. Şekil 9.7’de görüldüğü gibi tüm yakıt türleri arasında en düşük NO_x emisyon değerini DY’ı kullanıldığında ve en yüksek NO_x emisyon değerinde B100 kullanıldığında elde edilmiştir. Test yakıtlarının NO_x değerleri, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarının artmasıyla orantılı bir şekilde artmıştır.

Şekil 9.7’de görüldüğü gibi, düşük devirlerde silindir içi sıcaklığının düşük olması, bütün test yakıtları için NO_x emisyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Motordaki devir sayısının artışı ile NO_x emisyonlarında da aynı paralelde bir artış gözlemlenmiştir. Devrin artmasıyla beraber NO_x emisyon değerlerindeki bu artış; silindir içi sıcaklığın artması ve daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Silindir içi sıcaklığın artması, silindir içi hava hareketliliğini oluşturarak NO_x emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Altın, Çetinkaya, & Yücesu, 2001). Fakat dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla sıcaklık değerleri daha da yükselmekte, bu yükselmenin neticesinde ise; basınç, havahareketliliği gibi oluşumların daha hızlı gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı yük şartlarında NO_x emisyonu değerleri arasındaki farklılığın bir diğer nedeni ise, yakıt numunelerin ısı değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyodizel yakıtlarının, aynı enerjiyi elde edebilmeleri için kütleli olarak daha fazla kullanılması gerekir. Gram cinsinden daha fazla yakıtın kullanılması, NO_x emisyonlarının artmasına sebep olarak gösterilebilir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY’nın NBDY’na göre NO_x emisyon değerlerindeki yükselmesinin sebebi olarak ısıtılmış yakıt içerisinde O₂ daha fazla yanma reaksiyonuna girmesiyle hem EGS hemde NO_x değerlerini yükselttiği düşünülmektedir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile farklı özelliklere sahip bitkilerden elde edilmiş yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmektir. Siyah hardal, acı badem ve biber çekirdeği yağından elde edilen biyodizel (B100) yakıtlarını hacimsel olarak %20, 60 ve 100 oranlarında dizel yakıt (D2) ile karıştırılarak her oran için ayrı ayrı motor emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Aynı orandaki biyodizel yakıtlarına ön ısıtma (60 °C) uygulandıktan sonra tekrar motor emisyon testlerine tabi tutulmuş elde edilen değerleri kıyaslanmış ve değerleri kayıt altına alınmıştır.

Siyah Hardal: Biyodizel ile hacimsel olarak %20, 60 ve 100 oranlarında normal dizel (D2) yakıt ile karıştırılmış ve motor testlerine tabi tutulmuştur ve ön ısıtma uygulanarak deneyler tekrarlanarak sonuçlar alınmıştır.

ÖYT; ÖYT değerlerini yüksek çıkmasının diğer bir sebebide yakıtın ısı değeri. Aynı enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt tüketilmiştir. Yapılan bu çalışmada ÖYT değerlerini artıran sebepler olarak, püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri olarak düşünülmektedir.

Aynı oranlarda yakıtlar ön ısıtma uygulandıktan sonra deney sonuçlarına baktığımızda ÖIUBDY'nın NBDY'na göre ÖYT değerlerindeki düşüşün sebebi olarak ısınan biyodizel yakıtları ısı değerleri ve viskozitesinde meydana gelen düşüş olarak düşünülmektedir.

EGS; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %3,2, B60 yakıtında %6,1 ve B100 yakıtında %13.8 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 4 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %3 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %3 oranında bir artış tespit edilmiştir.

CO; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.8, B60 yakıtında %19.5 ve B100 yakıtında %28.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 10.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %8.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %13.4 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

CO₂; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %4.1, B60 yakıtında %8.5 ve B100 yakıtında %17.3 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.1, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.5 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2.6 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

HC; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %16.3, B60 yakıtında %21.2 ve B100 yakıtında %41.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.1, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %0.2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %0.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

O₂; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %14.1, B60 yakıtında %21.6 ve B100 yakıtında %24.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 7, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %7.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6.8 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

NOx; Deney sonucunda siyah hardal yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NOx değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.1, B60 yakıtında %17.2 ve B100 yakıtında %21.9 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.7 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %101 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %8.9 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Acı Badem; Biyodizel ile hacimsel olarak %20, 60 ve 100 oranlarında normal dizel (D2) yakıt ile karıştırılmış ve motor testlerine tabi tutulmuştur ve ön ısıtma uygulanarak deneyler tekrarlanarak sonuçlar alınmıştır.

ÖYT; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının ÖYT değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %13.2, B60 yakıtında %28.1 ve B100 yakıtında %31.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.5 ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %3.2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2.1 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

EGS; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.2, B60 yakıtında %13.1 ve B100 yakıtında %26.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6 oranında bir artış tespit edilmiştir.

CO; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.4, B60 yakıtında %14.5 ve B100 yakıtında %20.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 9.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %12.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

CO₂; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %2.1, B60 yakıtında %9.5 ve B100 yakıtında %16.1 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.4, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.6 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1.8 oranında bir artış tespit edilmiştir.

HC; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %12.3, B60 yakıtında %40.2 ve B100 yakıtında %45.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.8, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %0.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %0.6 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

O₂; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %9.1, B60 yakıtında %12.6 ve B100 yakıtında %14.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 8, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %5.8 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

NO_x; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NO_x değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.2, B60 yakıtında %16.2 ve B100 yakıtında %20.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 6.7 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %5.9 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Biber Çekirdeği; Biyodizel ile hacimsel olarak %20, 60 ve 100 oranlarında normal dizel (D2) yakıt ile karıştırılmış ve motor testlerine tabi tutulmuştur ve ön ısıtma uygulanarak deneyler tekrarlanarak sonuçlar alınmıştır.

ÖYT; Deney sonucunda biber çekirdeği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının ÖYT değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.2, B60 yakıtında %18.1 ve B100 yakıtında %26.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 3.5 ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %4.2 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %3.1 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

EGS; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının EGS değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.2, B60 yakıtında %13.1 ve B100 yakıtında %28.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 7.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %6.5 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %7.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

CO; Deney sonucunda biber çekirdeği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %13.4, B60 yakıtında %23.5 ve B100 yakıtında %31.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 5.5, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.8 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %11.2 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

CO₂; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının CO₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %8.1, B60 yakıtında %10.5 ve B100 yakıtında %18,1 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 2.8, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %2.7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %2.4 oranında bir artış tespit edilmiştir.

HC; Deney sonucunda acı biber çekirdeği elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının HC değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %7.3, B60 yakıtında %23.2 ve B100 yakıtında %28.45 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 0.9, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %1.9 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %1.6 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

O₂; Deney sonucunda acı badem yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının O₂ değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %6.1, B60 yakıtında %12.5 ve B100 yakıtında %13.7 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 7, ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %8.1 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6.8 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

NO_x; Deney sonucunda biber çekirdeği yağından elde edilmiş biyodizel yakıtları, dizel yakıtının NO_x değerleri ile kıyaslandığında; B20 yakıtında %6.2, B60 yakıtında %14.2 ve B100 yakıtında %32.5 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Aynı deneyde ön ısıtma uygulanmış (ÖIU) B20 yakıtı normal(N) B20 yakıtına göre % 4.7 , ÖIUB60 yakıtı NB60 yakıtına göre %9.7 ve ÖIUB100 yakıtı NB100 yakıtına göre %6.9 oranında bir artış tespit edilmiştir.

Kullanılan yakıtların biyodizel oranları arttıkça emisyon değerlerinden ÖYT, EGS, NO_x ve CO₂ artarken CO ve HC azalmıştır. Kullanılan siyah hardal, acı badem ve biber çekirdeği yağlarının tamamının viskozite değerlerinin yüksekliği, yoğunluğu, parlama noktası ve ısıl değerlerinin yüksek olması yukarıda elde edilen istenmeyen emisyon değerlerinin sebepleri olarak gösterilebilir. Isıl işlemler ve motor üzerinde yapılacak değişiklikler ile istenmeyen ÖYT, EGS, NO_x emisyon değerlerinin düşürülmesi sağlanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kimyasal yollarla biyodizellerin içerisinde bulunan oksijen fazlalığını da kullanarak yüksek olan emisyon değerleri iyileştirilebilir. Biyodizel yakıtlarının kimyasal yapısı göz önünde bulundurularak dizel motorlar için basınçları farklı olan enjektörler imal edilebilir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M.** (2013). *Alternatif Enerji Kaynakları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Ali, Y., & Hanna, M.** (tarih yok). Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends. *Bioresource Technology* , 47, 131-134.
- Alptekin, E.** (2006). Biyodizel ve Türkiye'nin Durumu. *Mühendis ve Makine Dergisi* , 47(561), 57-64.
- Altın, R., Çetinkaya, S., & Yücesu, H.** (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for Diesel engines. *Energy Conversion and Management* , 42, 529-538.
- Ana, I., Carrapiso, A., & Garcia, C.** (2000). Development in Lipid Analysis: Some New Extraction Techniques and in situ Transesterification” *Lipids*, 35:11, 1167-1177, 2000. *Lipids* , 1167-1177.
- Ankaradagundem.net.** (2018). 2018 tarihinde <http://ankaradagundem.net>. adresinden alındı
- Anonim.** (2011). *World Energy Council Conseil Mondial De L'energie For Sustainable Energy Turkish National Committee Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, enerji rapor*. TR 83 bölgesi: <http://www.ctso.org.tr>.
- Aslan, M., & Alibaş, K.** (2015). Laboratuvar Ölçekli Biyodizel Üretim Tesisinin Projelendirilerek İmal Edilmesi ve Bu Tesiste Çeşitli Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üreti. *U. Ü. ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ* , 107-113.
- Çakmakçı, M.** (2005). Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics. *Biomass and Bioenergy* , 28, 87–93.
- Demirbaş, A.** (2009). Biofuels from Agricultural Biomass. *Energy Sources* , s. 1573–1582.
- Dorado, M., Ballesteros, E., Arnal, J., & Go'mez, J.** (2003). *Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified* , s. 1311–1315.
- Fessenden, e. a.** (2001). Ginkgo Biloba: A case report of herbal medicine and bleeding postoperatively from a laparoscopic cholecystectomy. s. 33.
- Georgogianni, K., Kontominas, M., Pomonisa, P., Avlonitisb, D., & Gergisc, V.** (2008). Georgogianni, K.G., Kontominas, M.G., Pomonisa, P.J. Conventional And In Situ Transesterification Of Sunflower Seed Oil For The Production Of Biodiesel, 89, 503-509, 2008. *Fuel Processing Technology* , 89, 503-509.

- Güler, K.** (2008). S.D.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi. *Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneyisel Olarak Biyodizel Üretimi* .
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., & Çınar, C.** (2010). Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine . *Renewable Energy* , s. 35, 637–643.
- Haagensohn, D., & Wiesenborn, D.** (2011). Haagensohn, Impact of the North Dakota Growing Location on Canola Biodiesel Quality. *Journal of American Oil Chemists Society* , 88,1439-1445.
- Hazar, H., & Emine, Ş.** (2018). (Yanma Odası Elemanları ZrO₂ Kaplı Bir Dizel Motorda Badem Yağının Kullanılması Hanbey HAZAR 1 , Özkan GÜRBÜZ 2 , Emine ŞAP*3). *Hanbey HAZAR 1 , Özkan GÜRBÜZ 2 , Emine ŞAP*3* .
- <http://www.toyotaikizler.com/2015/06/biyodizel-nedir-uretimi-nasl-yapilir>. (2015, 6). 11 26, 2018 tarihinde www.toyotaikizler.com. adresinden alındı
- <https://turkals.wordpress.com>. (2018, 2 28). 2 28, 2018 tarihinde https://turkals.wordpress.com. adresinden alındı
- Keskin, A., Gürü, M., & Altınparmak, D.** (2007). Biodiesel production from tall oil synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions. *Fuel* , 86, 1139–1143.
- Koehler, E.** (1994). Petrol ve bitkilerin ticareti.
- Kontominas, M., Georgogianni, K., Avlonitis, D., & V., G.** (2007). Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology* , 7,22-52.
- Kulkarni, M., Dalai, A., & Bakhshi, N.** (2006). Utilization of green seed canola oil for biodiesel production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* , 1886-1893.
- Laçine, A.** (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi* , 45-52.
- Lapuerta, M., Rodriguez-Fernandez, J., & J., R.** (2008). Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel. *Bioresource Technology* , , 99, 731-740.
- Leung, T.** (2006). <https://zfin.org/ZDB-PUB-060323-16>. 2019 tarihinde <https://zfin.org>. adresinden alındı
- Puhana, S., Vedaramana, N., & Rama, B.** (2005). Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics. *Biomass and Bioenergy* , 28, 87–93.

- Sabancı, A., Atal, M., & Yaşar, A.** (2006). Türkiye'de Biyodizel Kullanım ve Olanakları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* , 33-39.
- Sims, & Ralph, E.** (1985). Tallow esters as an alternative diesel fuel, transactions of ASAE. s. 28, 716-721.
- Solomons, G., & Fryhle, G.** (2002). *Lipitler*. Ankara: Organik Kimya.
- Şener, B., & Çakar, A.** (2008). Biyodizel. *Biyodizel* , s. 1-10.
- Taner, E., & Murat, Y.** (2014, 1 31). *ziraatdergi.gop.edu.tr*. 07 01, 2018 tarihinde *ziraatdergi.gop.edu.tr*. adresinden alındı
- Tmmob.** (2012). *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Ankara: MMO/588.
- www.3eelectrotech.com.tr.** (2018, 11 30). 06 14, 2019 tarihinde <http://www.3eelectrotech.com.tr/uncategorized/biodizel-uretim-teknidi/>. adresinden alındı

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladım. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Otomotiv öğretmenliği bölümünü bitirdim. 2000 yılında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Adıyaman Endüstri Meslek Lisesinde Otomotiv öğretmeni olarak çalışmaya başladım. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladım. Halen Adıyaman Mimar Sinan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Müdür Yardımcısı olarak çalışmaktayım. Evliyim, Adıyaman ilinde ikamet etmekteyim.

