

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖN ISITMA UYGULANARAK KULLANILAN
BİYODİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ERGEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖN ISITMA UYGULANARAK KULLANILAN
BİYODİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ERGEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 15/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ

Jüri Başkanı

Prof. Dr. İsmet ÇEVİK

Üye

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ

Üye

ÖNSÖZ

Sanayileşme ve artan nüfus sebebiyle dünyada her geçen gün artan enerji ihtiyacı, birçok ülkenin sorunu haline gelmiş ve bu ihtiyacı karşılamaya yönelik yapılan çalışmalar ise ayrı bir önem kazanmıştır. Günümüz taşıtları esas alındığında, taşıt sayılarında oluşan belirgin artışa karşılık, petrol kökenli (fosil yakıt kaynakları) yakıtların hızla tükenmesi sonucunda alternatif yakıt arayışları ön plana çıkmıştır. Dizel taşıtlarının sayılarında görülen benzer artış sonucu, dizel yakıtı da bu arayışlardan doğrudan payını almış ve özellikle alternatif bir dizel motor yakıtı olan biyodizel üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu çalışmada pamuk yağından üretilen biyodizel (pamuk metil esteri) farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanarak tek silindirli, direk enjeksiyonlu, hava soğutmalı dizel bir motorda alternatif yakıt olarak kullanılmış, farklı sıcaklıklardaki ön ısıtmanın motor performans ve emisyon parametrelerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmalarım sırasında büyük desteklerini gördüğüm danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Murat KARABEKTAŞ'a, katkı ve yorumlarından ötürü Sn. Doç. Dr. Adnan PARLAK'a, gerek çalışmalarımındaki katkısı nedeniyle, gerekse bilgi ve tecrübesiyle desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Can HAŞİMOĞLU'na, çalışmalarımındaki yardımlarından ötürü Sn. Arş. Gör. Murat KAPSIZ'a, Sn. Hasan GÜREL'e, Sn. Sadi YAPICIOĞLU'na ve Sn. Vedat ÇİL'e, çalışmaya desteklerinden ötürü tüm Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi ve öğretim elemanlarına, ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Sakarya, 2006

Gökhan ERGEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ	6
2.1. Dizel Motorlarda Yanma.....	6
2.1.1. Tutuşma gecikmesi.....	7
2.1.2. Kontrolsüz yanma.....	8
2.1.3. Difüzyon kontrollü yanma	9
2.1.4. Art yanma	9
2.2. Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlar.....	10
2.2.1. Karbonmonoksit (CO)	10
2.2.2. Hidrokarbonlar (HC)	12
2.2.3. Azotoksitler (NO _x)	14
2.2.4. Partikül maddeler (PM)	15
2.2.5. Aldehitler	16
2.2.6. Kükürtdioksit (SO ₂)	16
2.3. Dizel Motor Yakıtı	17

2.3.1. Dizel motor yakıtlarının genel özellikleri	17
2.3.1.1. Setan sayısı	17
2.3.1.2. Viskozite	18
2.3.1.3. Isıl değer	19
2.3.1.4. Özgül ağırlık	19
2.3.1.5. Duman ve akma noktaları	20
2.3.1.6. Parlama ve alevlenme noktası	20
2.3.1.7. Uçuculuk	21
2.3.1.8. Kükürt ve kül.....	21
2.3.2. Dizel yakıtından istenen özellikler	22
2.3.3. Hidrokarbon esaslı dizel yakıtların kimyasal yapısı	23
2.3.3.1. Parafinler (Alkanlar)	24
2.3.3.2. Naftenler (Sikloparafinler)	25
2.3.3.3. Olefinler (Alkenler)	25
2.3.3.4. Alkinler (Asetilenler)	26
2.3.3.5. Aromatikler (Benzen türevleri)	26

BÖLÜM 3.

BİTKİSEL YAĞLAR VE BİYODİZEL	28
3.1. Bitkisel Yağlar	28
3.1.1. Pamuk ve pamuk yağı	29
3.1.1.1. Ekonomik önemi	31
3.2. Bitkisel Yağlar ve Yakıt Özellikleri	31
3.3. Dizel Yakıtı Olarak Bitkisel Yağların Performansı	32
3.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin Geliştirilmesi	33
3.4.1. Seyreltme	34
3.4.2. Piroliz	34
3.4.3. Mikroemülsiyon	34
3.4.4. Transesterifikasyon	35
3.5. Biyodizel	35
3.5.1. Biyolojik olarak bozunabilirlik	38
3.5.2. Toksik etki	38
3.5.3. Depolama	39

3.5.4. Soğukta akış özellikleri	39
3.5.5. Motor yakıtı özellikleri	39
3.5.6. Biyodizelin emisyon özellikleri	41
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD.....	42
4.1. Biyodizel Üretimi	42
4.2. Deney Düzenegi	45
4.2.1. Deney motoru	46
4.2.2. Dinamometre	47
4.2.3. Hava debi ölçeri	47
4.2.4. Yakıt debi ölçeri	48
4.2.5. Ön ısıtma düzenegi	49
4.2.6. Egzoz emisyon cihazı	49
4.2.7. Barometre	49
4.2.8. Higrometre	50
4.2.9. Termometre	50
4.2.10 Kronometre	51
4.3. Deneyin Yapılışı ve Hesaplama Yöntemleri	51
4.3.1. Deneyin yapılışı	51
4.3.2. Hesaplama yöntemleri	51
4.3.2.1. Motor momenti (tork) ve efektif güç	51
4.3.2.2. Özgül yakıt tüketimi	52
4.3.2.3. Hava fazlalık katsayısı	52
4.3.2.4. Efektif verim	53
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	54
5.1. Efektif Güç	54
5.2. Motor Döndürme Momenti (Motor Torku)	56
5.3. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	58
5.4. Yakıt Tüketimi	60
5.5. Efektif Verim	61

5.6. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)	62
5.7. CO Emisyonu	63
5.8. NO _x Emisyonu	65
5.9. İs Emisyonu	67
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

AID	: Alt Isıl Değer
AÖN	: Alt Ölü Nokta
API	: American Petroleum Institute
ASTM	: American Society for Testing Materials
be	: Özgül Yakıt Tüketimi
C	: Karbon
CNG	: Compressed Natural Gas
CO	: Karbonmonoksit
Co	: Kobalt
CO ₂	: Karbondioksit
cSt	: Centistokes
d/d	: Devir/Dakika
ETBE	: Etil Tetra Bütil Eter
F	: Kuvvet (N)
g	: Gram
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su / Su Buharı
H ₂ SO ₄	: Sülfürikasit
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HP	: Hourse Power
Hu	: Alt Isıl Değer
K	: Fosfor
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
kj	: Kilojoule

KMA	: Krank Mili Açısı
KOH	: Potasyumhidroksit
kW	: Güç
l	: Kuvvet Kolu Uzunluğu
LNG	: Liquid Natural Gas
LPG	: Liquified Natural Gas
m	: Metre
MAK	: Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu
Md	: Motor Döndürme Momenti
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MTBE	: Metil Tetra Bütül Eteri
n	: Devir
N ₂	: Azot
NaOH	: Sodyumhidroksit
Nm	: Newton Metre
NO _x	: Azotoksit
O ₂	: Oksijen
ÖA	: Özgül Ağırlık
P	: Fosfor
Pe	: Efektif Güç
PM	: Partikül Madde
PYME-120	: 120 °C ön ısıtma uygulanmış pamuk yağı metil esteri
PYME-90	: 90 °C ön ısıtma uygulanmış pamuk yağı metil esteri
PYME-60	: 60 °C ön ısıtma uygulanmış pamuk yağı metil esteri
ppm	: Parts Per Million
S	: Kükürt
s	: Saniye
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO ₃	: Kükürttrioksit
SO _x	: Kükürtoksit
STD-PYME	: Standart pamuk yağı metil esteri (30°C)
TG	: Tutuşma Gecikmesi

ÜİD	: Üst Isıl Değer
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
YAMAE	: Yağ Asidi Mono Alkali Esteri
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
Zn	: Çinko
η_e	: Termik Verim
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
μ_m	: Mikron Metre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dizel mortolarda yanma işlemi	6
Şekil 2.2.	Dizel motorda yanma safhaları	7
Şekil 2.3.	Krank mili açısına bağlı olarak ısı açığa çıkışı	9
Şekil 2.4.	Düz yanma odalı (direk püskürtmeli) bir dizel motorun egzoz emisyon konsantrasyonları	11
Şekil 2.5.	HC yayımının TG süresine bağlı değişimi	13
Şekil 2.6.	Motorun çalışma rejimine bağlı HC değişimi	14
Şekil 2.7.	HC'lerin genel sınıflandırılması	23
Şekil 2.8.	İlk dört aklanın yapıları; açık ve kapalı gösterimleri	24
Şekil 2.9.	Bazı izo-parafinlerin yapısı	25
Şekil 2.10.	İlk dört siklo-alkanın yapısı ve basitleştirilmiş şekilleri	25
Şekil 2.11.	Hegzen ve bütadienin açık gösterimi	26
Şekil 2.12.	1-bütün ve 2-bütün'in açık gösterimi	26
Şekil 2.13.	Benzen ve etil benzenin açık gösterimi	27
Şekil 3.1.	Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi	29
Şekil 3.2.	Pamuğun kullanım alanları	30
Şekil 3.3.	Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyonu	35
Şekil 4.1.	Biyodizel üretimi	42
Şekil 4.2.	Biyodizel yakıtın sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi	44
Şekil 4.3.	Biyodizel yakıtın sıcaklığa bağlı viskozite değişimi	45
Şekil 4.4.	Deney düzeneğinin şematik görünüşü	45
Şekil 4.5.	Deney motorunun görünüşü	46
Şekil 4.6.	Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü	47
Şekil 4.7.	Kontrol Panosu	47
Şekil 4.8.	Hava debisi ölçümü için kullanılan eğik manometre ve sönümlenme tankının görünüşü	48
Şekil 4.9.	Yakıt debi ölçeri	48

Şekil 4.10.	Yakıt ön ısıtma düzeneği	49
Şekil 4.11.	Egzoz emisyon cihazı	49
Şekil 4.12.	TFA, barometre	50
Şekil 4.13.	TFA, higrometre	50
Şekil 4.14.	Çubuk termometre.....	50
Şekil 5.1.	Efektif güç değişimi	55
Şekil 5.2.	Motor döndürme momenti değişimi	57
Şekil 5.3.	Özgül yakıt tüketimi değişimleri	58
Şekil 5.4.	Yakıt tüketimi değişimleri	60
Şekil 5.5.	Efektif verim değişimleri	61
Şekil 5.6.	HFK değişimleri	63
Şekil 5.7.	CO emisyonu değişimleri	64
Şekil 5.8.	NO _x emisyonu değişimleri	65
Şekil 5.9.	İs emisyonu değişimleri	68

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Motorin ve bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri	32
Tablo 3.2.	Çeşitli ülkelerde uygulanan biyodizel standartları	36
Tablo 3.3.	Çeşitli firmaların biyodizel için garanti bilgileri	37
Tablo 3.4.	Biyodizelin bazı yakıt özellikleri	40
Tablo 4.1.	Üretimde kullanılan malzemeler ve birim fiyatları	43
Tablo 4.2.	DeneYler sırasında kullanılan yakıtların bazı yakıt özellikleri	44
Tablo 4.3.	Biyodizel yakıtın istenilen ön ısıtma sıcaklığına ulaşabilmesi için gereken ısı miktarları	45
Tablo 4.4.	Deney motorunun teknik özellikleri	46

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Alternatif Yakıt, Pamuk Yağı Metil Esteri, Egzoz Emisyonu, Motor Performansı, Ön Isıtma

Petrole bağı olarak yaşanan çeşitli sorunlar nedeniyle, petrol kökenli yakıtlara yönelik alternatif yakıt arayışları üzerindeki çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Dizel motorlu taşıtların mevcut taşıtlar arasında en büyük paya sahip olması dizel yakıtları üzerinde alternatif çalışmaları hızlandırmıştır. Bu hususta dizel yakıtına yakın özelliklere sahip, bitkisel kökenli bir dizel yakıtı alternatifi olan biyodizel ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, pamuk yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretilmiş ve yakıt testleri yapılmıştır. Belirgin bir yakıt özelliği olarak motorinden daha yüksek viskoziteye sahip olan biyodizelin bu özelliğinin iyileştirilmesi için belirli sıcaklıklarda (60 °C, 90 °C ve 120 °C) ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Ön ısıtma uygulanan biyodizel tek silindirli, dört zamanlı, direk enjeksiyonlu, hava soğutmalı dizel bir motorda kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çalışmanın sonucunda ön ısıtmanın motor performans ve emisyonları üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. En iyi değerler 90 °C'de yapılan ön ısıtmada elde edilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise bazı yakıt sistemi sorunlarına rastlanmış, motor performansında olumsuz değerler saptanmıştır.

THE INVESTIGATION OF EFFECT OF PREHEATED BIODIESEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

SUMMARY

Key Words: Biodiesel, Alternative Fuel, Cotton Seed Oil Methyl Esters, Exhaust Emissions, Engine Performance, Preheating

There has been much interest on alternative fuels because of variety problems emerged from petroleum. Vehicles with diesel engine have big proportion among all of the transportation vehicles. So, the researches have been especially focused on diesel engine fuel and interest has increased about this fuel.

At the conducted studies about alternative fuels for diesel engine, biodiesel has been attracted due to its some fuel properties very closed to conventional diesel fuel.

In this study, firstly biodiesel was produced from cotton seed oil and was tested to determine its fuel properties. Biodiesel has higher viscosity compared to conventional diesel fuel. So, different degrees preheating (30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C) was performed to biodiesel to reduce viscosity and then were used as fuel in a direct injection, a single cylinder, four stroke, air cooled diesel engine. Finally, results obtained from the tests performed with preheated biodiesel fuels were showed as well as conventional diesel fuel.

At the end of the study, it was determined that the engine performance parameters and exhaust emissions were improved by preheating. The optimum results was obtained by preheating performed at 90 °C (PYME-90). But, there were some fuel system problems and engine performance deterioration with preheated biodiesel above 90 °C especially 120 °C.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren önemli bir ölçüttür. Sahip olduğumuz uygarlık düzeyinin muhafazası ve konforlu yaşamın devamı için bu tüketimine ihtiyaç duyulması ise enerjinin yaşamımızdaki önemini göstermektedir. Bunun yanı sıra nüfusa ve ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak enerji tüketiminin gün geçtikçe artması ve bu artışın katlanarak devam etmesi bu fikri destekleyen önemli bir unsurdur [1].

Enerji kaynağı olarak genellikle petrol kökenli benzin ve motorin yakıtlarının kullanıldığı içten yanmalı motorlar, icadından sonra hızlı bir şekilde gelişme göstermiş, endüstride ve günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olmuştur. İçten yanmalı motorlar deniz, kara ve hava taşımacılığının büyük bir bölümünde kullanılır hale gelmiştir. Sahip olduğu bu potansiyele karşın özellikle son yıllarda gerek enerji kaynakları doğrultusunda yaşanan sorun ve sıkıntılar, gerekse bu kaynakların kullanımı neticesinde meydana gelen çevresel tehditler kaynak kullanımı doğrultusunda yeni arayışlara yönelimi doğurmuş, alternatif kaynak arayışlarını gündeme getirmiştir [2, 3].

Günümüz rezervleri göz önüne alındığında dünya petrol rezervinin yaklaşık 135,4 milyar ton, ve doğalgaz rezervinin yaklaşık 124 trilyon m³ olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut kaynakların üretim ve tüketiminin bugünkü düzeylerde sürdürülmesi halinde, petrol kaynaklarının ortalama 35-40 yıl, doğalgaz kaynaklarının ise 50-60 yıllık ömrünün kaldığı hesaplanmaktadır. Bu verilere bakıldığında özellikle motorin ve benzinin ana kaynağı olan petrol rezervlerinin dünya ölçeğinde son derece kısa sayılacak bir rezerv ömrüne sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanında yerel bazda ülkemiz enerji kaynaklarına baktığımızda dünya toplam rezervleri içinde düşük paylara sahip olduğu görülmektedir. Türkiye üretilebilir petrol rezervleri yaklaşık 40 milyon ton, doğalgaz rezervi ise yaklaşık 8,5

milyar m³ olarak belirtilmektedir. Üretim seviyesine bakıldığında ilave rezerv olmadığı düşünüldüğünde ülkemizde petrol için 14 yıl, doğalgaz için 16 yıl üretim yapılabilecektir. Görüldüğü gibi dünya ve yurdumuz için enerji kaynakları ve özellikle petrol rezervleri sınırlı olarak görülmektedir[4].

Özellikle 1970'lerdeki petrol krizlerinin ardından, alternatif motor yakıtı arayışlarına yönelik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Bunun yanı sıra, çevresel sorunların da beraberinde gelmesi, bu arayışların çevresel dengeyi bozmayacak şekilde planlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu hususta yapılan kaynak arayışlarının kapsamı genişlemiş ve ifade edilen problemlerle karşı karşıya gelinecek olunması imkanlarımızı sınırlandırmıştır. Bu doğrultuda yenilenebilir alternatif yakıtlara yönelim kaçınılmaz olmuş, çevresel dengeye zarar vermeyecek alternatif yakıt arayışlarını gündeme getirmiştir. Bunun yanı sıra; sınırlı kaynaklar ve çevre sorunlarının yanında petrol arzında meydana gelebilecek azalmada, talebin başka yakıtlar tarafından kolayca karşılanabilmesi, uzun vadede yakıt talebi karşılanabilme güvencesi ve enerji ihtiyacının ülkelere yerel ve yenilenebilir kaynaklardan temini alternatif yakıtlar üzerindeki çalışmaları destekleyen önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır [5, 6, 7].

Enerji üretiminde mümkün olduğunca yerel kaynakların kullanılması, çevre korunumuna dikkat edilmesi, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliği ve sürekliliğinin sağlanması da bu bakımdan önem kazanmaktadır. Özellikle içerisinde bulunduğumuz yarışa karşın, bu talepteki hızlı artışa karşılık; yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliği ve bunlardan rasyonel bir şekilde yararlanmak amacıyla, ihtiyaç duyulan önemin verilmesinin gerekliliği açıktır. Bu hususta enerji politikalarında temel alınması gereken unsur; teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılamak üzere; sürekli, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yöneltmek olarak vurgulanmaktadır [5, 6, 8].

Alternatif yakıtların kullanımında günümüzde dünya üzerinde bölgeden bölgeye değişen yaklaşımlar görülmektedir. Örneğin, Brezilya gibi tarım potansiyeli yüksek bir ülkede, yerel tarım kaynaklarından üretilen etanol yakıtı uzun yıllardır geniş bir kapsamda kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise gittikçe daralan emisyon

standartlarını sıvı yakıtlara göre daha iyi karşılamalarından dolayı ve özellikle hava kirliliğine yaptığı olumlu katkılar nedeniyle LPG ve doğalgaz gibi gaz yakıtların tercih edildiği görülmektedir.

Dünyada alternatif yakıt çalışmaları yanında hızla devam eden diğer çalışmalar alternatif yakıt sistemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hibrid araçlar, elektrikli sistemler, yakıt pilleri gibi çalışmalar üzerinde önemli aşamalar kaydedilmiş ve ticari duruma dahi getirilmişlerdir. Örneğin hibrid araçlar artık ticari olarak Toyota, Ford, Honda gibi firmalar tarafından önemli miktarlarda üretilmektedir. Gelecekte küresel ısınmaya neden olan CO₂ emisyonlarının azaltılması için kullanılacak kaynak olarak hidrojen yakıtı görülmektedir. Bu yakıtın kullanımında en önemli sistem, yakıt pilleri olarak değerlendirilmektedir. Hibrid ve diğer sistemler günümüz motorlarından yakıt pili sistemlerine geçişte uygulanan sistemler olarak görülebilmektedir.

Günümüzde kullanılan ve üzerinde çalışmalar sürdürülen alternatif motor yakıtları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır [9];

-Gaz yakıtlar

Hidrojen

LPG

Doğalgaz (LNG-CNG)

-Sıvı yakıtlar

Metanol

Etanol

MTBE (metil tetra bütül eter), ETBE (etil tetra bütül eter), bütanol (yakıt katkısı olarak)

Biyodizel

-Elektrik

Elektrikli araçlar

Fuel-Cell (yakıt pili)

Bu yakıtlar arasında biyodizel, özellikle dizel motorlarda çok fazla modifikasyon yapılmadan kullanılabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı üzerinde

çalışmaları sürdürülmekte ve dizel yakıtı alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyodizel yakıtının önemli bir özelliği olarak yenilenebilirliği ve yerel kaynaklardan üretilmesi ön plana çıkmaktadır. Birçok yağ çeşidi biyodizel yakıtı üretiminde potansiyel kaynak olarak değerlendirilebilmektedir. Dünya üzerinde farklı ülkeler, ürettikleri yağlardan genellikle üretimi en fazla olanını biyodizel üretiminde hammadde olarak değerlendirmektedir. Türkiye’de en fazla üretilen yağ bitkileri mısır, pamuk, ayçiçeği olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yağ bitkileri arasında üretimi en fazla olan bitki ise pamuktur. Piyasada satılan yağlar arasında en ucuz olanı da pamuk yağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yönüyle pamuk, yurdumuzda biyodizel üretimi için önemli bir kaynak olarak görülebilmektedir [10].

Elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri incelendiğinde; özellikleri her ne kadar dizel yakıt özelliklerine yakın olsa da, önemli bir faktör olarak viskozitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksek oluşu da beraberinde bazı olumsuzlukları getirmektedir. Bu doğrultuda viskozitenin daha da iyileştirilebilmesi ve dizel motorlarda daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi açısından biyodizelin ön ısıtma uygulanarak kullanılması karşımıza çıkan çözüm yollarından birisidir.

Bu çalışmada, pamuk yağından elde edilen biyodizel yakıtının (pamuk yağı metil esteri) farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutularak kullanılmasının motor performans karakteristikleri ve emisyonlarındaki etkileri deneysel olarak incelenmiş, optimum performans ve emisyon değerlerini veren ön ısıtma sıcaklığı araştırılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) yöntemiyle pamuk yağından biyodizel (pamuk metil esteri) elde edilmesini ve yakıt özelliklerinin belirlenmesini içermektedir. Çalışmamızda ikinci aşama ise; elde edilen biyodizel yakıtının farklı ön ısıtma sıcaklıklarında tek silindirli dizel bir motorda alternatif yakıt olarak kullanılmasını ve tam yük testlerinin yapılarak motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin tespit edilmesini içermektedir.

Çalışma sonunda, farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarının tam yük testleri neticesinde elde edilen değerleri, standart motorinle elde edilen

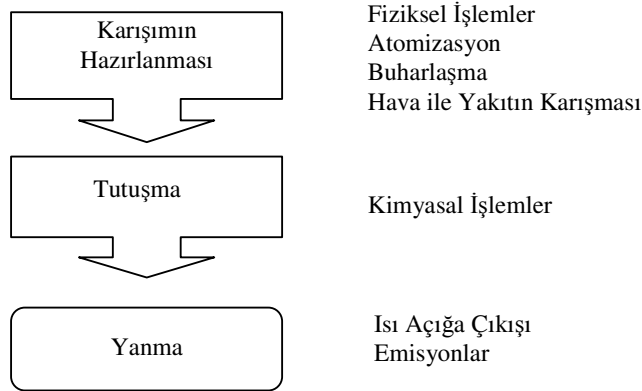
değerlerle karşılaştırılmış, sonuçlar grafikler halinde gösterilerek farklılıklar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ

2.1. Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlarda yanma, yakıtın yanma odasına püskürtülmeye başladığı andan itibaren yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Bu işlem Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmektedir. Yanma bölgesi baz alındığında, bölgedeki sıcaklık, basınç, karışım oranı ve O_2 miktarı bu olayı etkileyen ve devam ettiren önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır [11].

Dizel motorlarda hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindirlere doldurulmaktadır. Sıkıştırma oranı 1:12 – 1:22 arasında olduğundan, sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirlerde hava sıcaklığı oldukça yüksektir. Yakıt, bu durumdaki hava içerisine ÜÖN’den önce püskürtülmeye başlanır, yüksek sıcaklık ve basınç etkisiyle tutuşur ve yanmaya başlar [12].



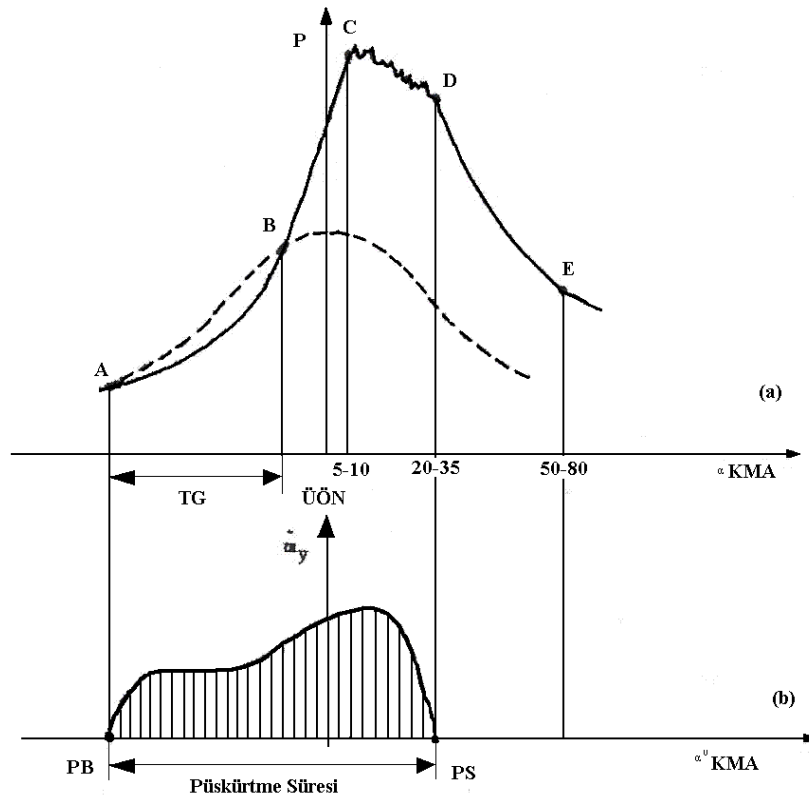
Şekil 2.1. Dizel motorlarda yanma işlemi [13]

Dizel motorlarda yanma olayı dört fazda gerçekleşmektedir [11];

- Tutuşma gecikmesi (TG)
- Kontrolsüz yanma
- Difüzyon kontrollü yanma
- Art yanma

2.1.1. Tutuşma gecikmesi (TG)

Yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlanmasıyla birlikte sırasıyla; damlacıklara ayrılma, buharlaşma ve ufak moleküllere parçalanma gibi olaylar meydana gelmekte, sonrasında kimyasal reaksiyonlar başlamaktadır. Kimyasal reaksiyonların ardından alev meydana gelmekte; ancak reaksiyonların başlaması ve alevin oluşması arasında belli bir süre geçmektedir. Püskürtme başlangıcından alevin gözükmesine ve P-V diyagramında basıncın ani olarak artmasına kadar geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılmaktadır [11].



Şekil 2.2. Dizel motorlarda yanma safhaları [14]

Şekilde 2.2’de tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırası ile yakıt hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısı değerlerini ifade etmektedir. Sadece birinci durumda ateşleme olacağından, iki eğri B noktasında birbirinden ayrılmaktadır. TG yakıtın buharlaşması ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların olduğu safhalardan ibarettir [14].

TG kendi arasında dört safhaya ayrılmaktadır;

- Fiziksel tutuşma gecikmesi : Bu sürede püskürtülen yakıt demeti parçalanarak damlacıklara ayrılmakta ve buharlaşma meydana gelmektedir.
- Kimyasal gecikme: Kimyasal reaksiyonun başladığı andan soğuk alevin olduğu ana kadar geçen süredir.
- Alev oluşumu : Alev için geçen süredir.
- Patlama alevi

Püskürtme basıncı artınca ve enjektör memesi çapı küçüldükçe, silindir hacmi küçüldükçe, yanma odası sıcaklık ve basıncı arttıkça, sıkıştırma sonunda yanma odası içerisindeki havada yer alan O_2 yoğunluğu arttıkça, yakıtın setan sayısı arttıkça, sıkıştırma oranı arttıkça, püskürtülecek olan yakıt atomizasyonu iyileştikçe; TG azalmaktadır [14, 15].

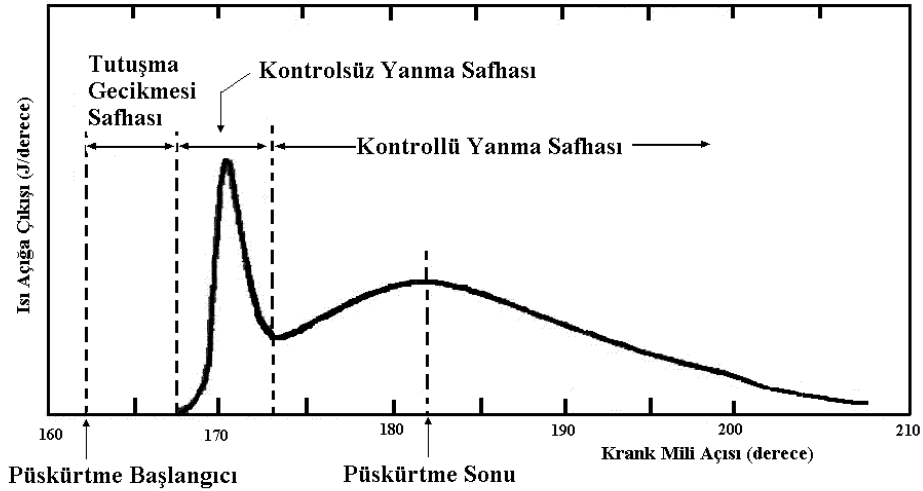
2.1.2. Kontrolsüz yanma

TG süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmakta, bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile karışmaktadır. Yanma başladığı anda ise O_2 ile temas eden yakıt büyük bir hızla yanmakta, bu ise basınçta ani bir yükselme (B-C arası) ile silindir, piston, piston pernosu gibi elemanların birbirleriyle çarpışmasını; dolayısı ile bu parçalar üzerinde tahribata sebep olan ve dizel vuruntusu olarak adlandırdığımız hadiseyi meydana getirmektedir.

Bu safhada yakıtın atomizasyon derecesi, tutuşma süresince püskürtülen yakıt miktarı ve TG süresince hava-yakıt karışımının durumu önemli faktörler arasında yer almakta, bu safhadaki basınç artışı TG’ye doğrudan bağlı olmaktadır [11, 14,16].

2.1.3. Difüzyon kontrollü yanma

Dizel yanmasının esas yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanmadır. TG sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma safhasına geçilir. Kontrolsüz yanma sona erdiğinde silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık enjektörden püskürtülen yakıtı doğrudan doğruya yakabilecek bir değere ulaşmakta ve püskürmeye devam eden yakıt hiçbir gecikme olmadan silindire girdikçe yanmaktadır [11, 16]. Bu fazda buharlaşma hızı ve yakıt buharının havayla karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Yakıt demetinin kalitesi (ortalama damlacık çapı), hava hareketleri ve HFK'nın yerel olarak 1'den büyük değere sahip olması bu faz için önemlidir. Isıl verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN'ye mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenmektedir [13, 14].



Şekil 2.3. Krank mili açısına bağlı olarak ısı açığa çıkışı [13]

Şekil 2.3'te bir dizel motorda yanma safhası süresince krank mili açısına bağlı olarak değişen ısı açığa çıkışı gösterilmektedir.

2.1.4. Art yanma

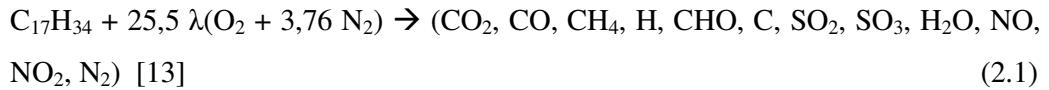
Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma safhası başlamakta olup, yakıtın silindire püskürtülmesi bitmiş ve motor genişleme zamanına geçmiştir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamayan yakıt, O_2 buldukça

yanmakta ve bu safhayı meydana getirmektedir (C-D arası). Art yanma, ÜÖN'den sonra 70-80⁰ KMA'ya kadar devam edebilmektedir [11, 16].

2.2. Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlar

Dizel motor yakıtı temelde hidrojen (H₂) ve karbondan (C) meydana gelmekte olup, yanma esnasında silindire alınan hava ile reaksiyona girmekte ve bu reaksiyon sonucunda yanma olayı gerçekleşmektedir. Yanma sonrasında, yanma şekline bağlı olarak, yanma sonrası ürünler meydana gelmektedir. İdeal yanmada (teorik tam yanma) hava içerisindeki oksijen (O₂), yakıt içerisindeki C ile birleşerek karbondioksiti (CO₂), H₂ ile birleşerek su buharını (H₂O) oluşturmakta, hava içerisindeki azot (N₂) ise reaksiyona girmeyerek doğrudan dışarı atılmaktadır. Teorik tam yanmadaki bu ürünlerden H₂O ve N₂'nin bir zararı olmamakta; ancak oluşan CO₂ doğrudan insan ve çevre üzerinde olmasa da, atmosferik olarak sera etkisine yol açmaktadır [14].

Çalışma koşullarına bağlı olarak tam yanmanın gerçekleşmemesi ve bazı kimyasal parçalanmalar nedeni ile yanma sonucunda CO₂, H₂O ve N₂ yanında karbonmonoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), kükürtoksitler (SO_x), partikül maddeler (PM), azotoksitler (NO_x), is ve aldehitler gibi kirletici emisyon olarak adlandırılan ürünler meydana gelmektedir. Taşıt emisyonlarının hava kirliliği üzerinde %50'lik bir kısmını oluşturduğu dikkate alınacak olursa, emisyonların çevre açısından ne derecede önemli olduğu açıkça görülebilmektedir [17]. Denklem 2.1'de motorinin yanması ile oluşan ürünler yer almaktadır.

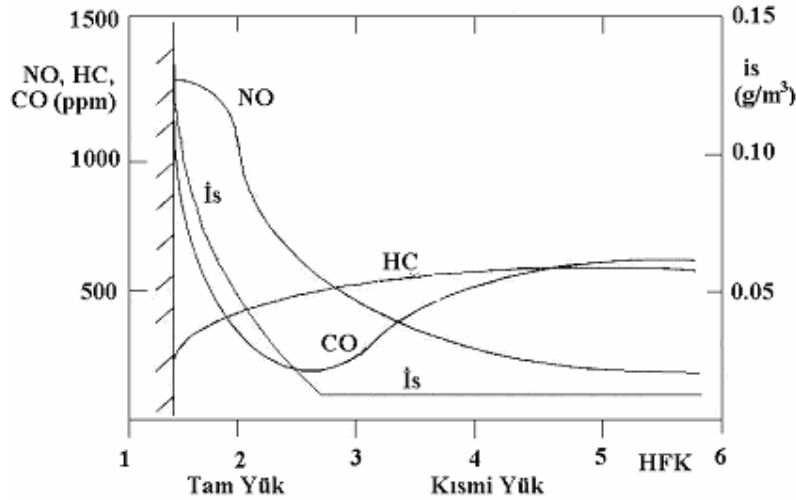


2.2.1. Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz, renksiz ve zararlı bir gazdır. Kandaki O₂'yi taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği O₂'ye oranla 200 kat daha fazladır. Bu özelliği ile

kandaki hemoglobini bozmakta ve O_2 alma olanağını engelleyerek CO ortamında bulunan kişinin zehirlenmesine ve boğulmasına sebep olmaktadır [17, 18].

Yanma ürünlerinin arasında CO bulunmasının ana nedeni O_2 'nin yetersiz olmasıdır. 1 kg motorinin tam yanabilmesi için, benzin için gereken 14.5 kg'lık hava miktarına kıyasla 1.5-2 katı kadar daha fazla hava gerekmektedir. HFK'nın 1'den düşük olması durumunda silindirlere daha az havanın alınması söz konusu olduğundan yanma yetersiz O_2 ortamında gerçekleşecek ve yakıt içerisinde yer alan C, CO_2 'ye dönüşemeyerek CO olarak kalacaktır. Motorda silindir içinin tümü ele alındığından, O_2 genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda, silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, CO oluşumu büyük oranla HFK'ya bağlıdır [15, 17]. HFK'ya bağlı dizel motorlarda ana kirletici emisyonların değişimi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Düz yanma odalı (direk püskürtmeli) bir dizel motorun egzozundaki kirletici konsantrasyonlar [18]

Motor silindirlerinde CO oluşma sebeplerinden biri de “ayrışma” yada “disosiasyon” olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarında yanma ürünleri veya son ürünler olan CO_2 ve H_2O parçalanarak element durumlarına dönüşmekte ve bu dönüşüm sırasında belirli miktarda ısı emmektedirler. Böylece gazların sıcaklık ve basıncı ayrışmadan önceki basıncı ve sıcaklıktan daha düşük olmakta ve indike iş azalmaktadır. Ancak, indike iş

ayrışan elementlerin (C, H) sonraki yanmaları sırasında kısmen normal değerine erişmektedir. Bu arada CO₂'nin ayrışmasında CO ve O₂, H₂O'nun ayrışmasında da H ve O₂ meydana gelmektedir. CO₂'nin ve H₂O'nun ayrışması yüksek sıcaklıkta artış göstermektedir.

Disiasasyon olayı sırasında H, C'ye göre daha aktif bir element olduğundan O₂ ile birleşerek H₂O'yu meydana getirmekte; ancak küçük bir bölümü de açıkta kalmaktadır. Dolayısı ile 1800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda disosiasyon ve ardından CO oluşumu başlamaktadır [14].

2.2.2. Hidrokarbonlar (HC)

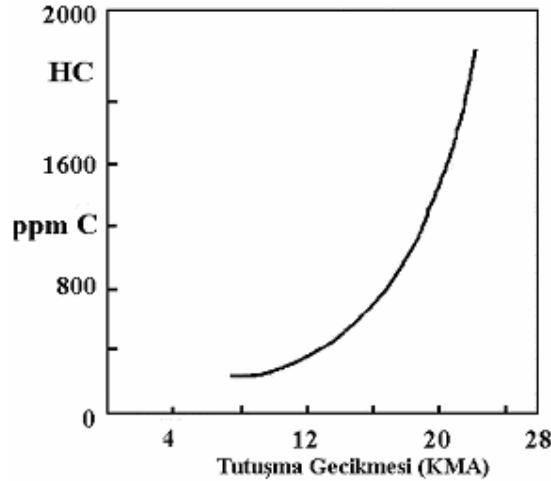
Kötü kokulu ve tahriş edici bir madde olup, solunum yollarındaki mukozayı (iç deriyi) tahriş edici ve bileşimlerine bağlı olarak az yada çok uyuşturucu etkisi bulunmaktadır. Kısmi oksidasyonu ile oluşan aldehit ile kanserojen etkiye sahip olup, özellikle keskin kokuları nedeniyle göz ve burun için rahatsız edici bir özelliğe sahiptirler. Aynı zamanda gaz halindeki HC'ler güneş ışığı altında NO_x'lerle birleşerek fotokimyasal sis-smog olarak adlandırılan bir sis tabakası oluşturmakta, bu oluşum ile gözlerin yanmasına, sulanmasına ve solunum sisteminin etkilenmesine sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra bitkiler için de zararlı etkileri olduğu bilinmektedir [13, 17].

Yakıtın tam olarak yakılamaması sonucu oluşmaktadır. Ana nedeni sıcaklıkların veya O₂'nin yetersiz olması sonucunda yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. Silindir içerisinde bazı bölgelerde yakıt-hava karışım oranının çok zengin veya çok fakir olması sonucu, oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamaması, silindir içerisindeki soğuk cidarlardaki ısı kayıpları nedeniyle (silindir, silindir kafası ve piston üst yüzeyi vb.) bu bölgeye ulaşan alevin sönmesi, piston-silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyemeyerek sönmesi nedeniyle oluşmaktadır [12].

Segman boşluklarında, yanma odasının köşelerinde biriken yakıt ve yağ kalıntıları, cidara çarpan yakıt zerreleri benzer şekilde HC oluşumunun sorumlularındandır.

Yanmanın ikinci ayağında O_2 türbülanslı difüzyon yoluyla yakıt hüzmesinin çekirdeğine nüfuz ederek reaksiyona girer. Mükemmel karışım sağlamak için yeterli zaman yoktur ve sonuç eksik yanmadır. Yağlama yağının silindir cidarlarında oluşturduğu ince filmin yanması sonucunda yine HC artmaktadır. Özellikle normal emişli direk püskürtmeli motorlar hafif yüklerde HC yayımlamak gibi olumsuz bir özelliğe sahiptir. Bölünmüş yanma odalı motorlar bu bakımdan çok daha iyidir.

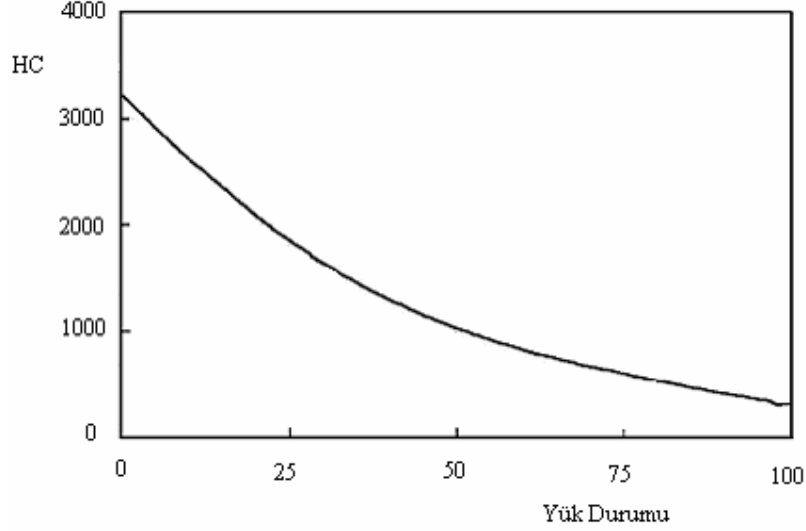
TG arttıkça dizel motorlarda HC artmaktadır (Şekil 2.5). TG evresinde yakıt hüzmesinin sınırında karışımın aşırı fakir olması, özellikle TG'nin uzun olduğu hallerde HC yayımına yol açmaktadır. Bilindiği üzere ilk tutuşma yakıt hüzmesinin dış yüzeyinde oluşmaktadır. Bu bölgeler enjektör ucunda, bir önceki püskürtmeden kalan yakıt zerrecelerini ihtiva etmektedir. Yakıt hüzmesinin en dış yüzeyi çok fakir karışımlardan oluşur. Bu karışımlar tutuşabilmek için çok fakirdir ve sürdürülebilir hızlı bir reaksiyonun bu bölgelerde başlaması zordur. Bu bölgelerde ancak yavaş oksidasyon reaksiyonları meydana gelir, dolayısı ile sonuç yine eksik yanmadır.



Şekil 2.5. HC yayımının TG süresine bağlı değişimi

Genel olarak motorlarda HC oluşumunun büyük bir bölümü, motorun ilk hareketi sırasında, soğuk çalışma durumunda ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda egzoz emisyonlarındaki HC miktarı, motorun çalışma şartlarından ve daha çok motor yükünden fazlası ile etkilenmektedir (Şekil 2.6). Tam yükte çalışan motor, boşta veya kısmi yükte çalışan motora göre daha az HC üretir. Çünkü yük artışı ile birlikte

silindire giren yakıt miktarı artmakta, sıcaklıkların artması ile reaksiyon hızlanmakta ve yanmamış HC azalmaktadır. Ayrıca motorun yakıt tüketimi arttığı zaman HC emisyonlarında artma görülmektedir [14].



Şekil 2.6. Motorun çalışma rejimine bağlı HC değişimi

2.2.3. Azotoksitler (NO_x)

NO_x 'ler de (NO, NO₂, N₂O_x vb. bileşiklerinin tümü NO_x olarak tanımlanmaktadır) CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak en önemli etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Oluşan asit miktarının konsantrasyonuna bağlı olarak etkisi değişmekte; konsantrasyonun azlığı etkiyi de azaltmaktadır. Ancak zamanla birikim özelliği bulunduğundan özellikle solunum hastalığı olan kişiler için tehlike yaratmaktadır. NO_x'ler ayrıca kimyasal sis oluşumunu da etkilemektedirler. Atmosferdeki su ile (yağmur, sis vb.) birleşerek nitrik asit oluşumu ile asit yağmurlarını meydana getirmektedirler. Renksiz ve kokusuz bir gaz olmasına rağmen, aralarından NO₂ kırmızı renkli ve kötü kokulu, tahriş edici bir gazdır. Yanma ürünleri arasında NO bulunmasına karşın atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO₂'ye dönüşmektedir. NO gazının ayrıca felç yapıcı özelliği de bulunmaktadır [17].

NO_x'lerin oluşumu silindir içi sıcaklığın büyük ölçüde etkilediği 1600 °C üzerindeki sıcaklıklarda alevin kalış süresi, O₂'nin yeterli miktarda bulunduğu bölgelerdeki

maksimum sıcaklık değeri ve silindir içerisinde bulunan O_2 ve N_2 miktarına bağlıdır. Yanma zamanında ulaşılan yüksek sıcaklıklar genişleme zamanında düştüğü için NO_x miktarı giderek azalmakta, fakat denge durumunda elde edilecek olandan daha yüksek NO_x konsantrasyonları elde edilmektedir. NO_x içerisinde genellikle NO miktarı fazla olmakta; ancak egzoz sistemi içerisindeki bir miktar NO , O_2 ile birleşerek NO_2 'ye dönüşmektedir. Sonuç olarak NO_x 'lerin oluşumunu silindir içi sıcaklığın büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça NO_x 'lerin hızla arttığı görülmektedir [12, 14].

NO_x oluşumunu etkileyen bir diğer parametre HFK'dır (Şekil 2.4). 1:1 civarında (yani N_2 ile birleşecek O_2 bulunması durumunda) NO_x 'lerin oluşumu en fazla olmaktadır. HFK 1:1'den büyük olursa, yani fakir karışım söz konusu olduğunda, silindir içi sıcaklık reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO_x emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir [17].

2.2.4. Partikül maddeler (PM)

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümü is oluşturmaktadır. İs, yanmamış karbon partiküller olarak özellikle dizel motorlarda oluşmakta ve gerek zararlı bileşikleri bünyesinde taşıyarak gerekse solunum sisteminde birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır [13, 17].

İs teşekkülü, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısıl parçalanması (termik kriting); özellikle hidrojenlerin kolayca oksitlenmesi, karbonların ise oksitlenmeden ortamda çoğalması şeklinde tasvir edilebilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte (polimerizasyon) ve iri molekül gruplarının bir araya toplanması ile is zerreciklerini oluşturmaktadırlar [12]. Bir başka ifadeyle; dizel motorlarda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içerisindeki H_2 molekülleri hızlı bir şekilde reaksiyona girerek O_2 ile birleşmekte ve geriye kalan C yeterli O_2 bulamadığından yanamayıp is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun başlıca nedeni, dizel yakıtının silindir içerisinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızlı bir şekilde hava ile karışmaması ve buharlaşmaması şeklinde özetlenebilmektedir. Bu nedenle dizel motorları her

zaman tam yanma için gerekenden daha fazla hava ile çalıştırılmakta ve hava miktarı genellikle 1 kg yakıt için 20 kg havanın altına düşürülmemektedir [17]. Ayrıca yağlama yağının kısmen yanmasının da bu oluşuma yaklaşık %25 - %45 oranlarında etkisi olabilmektedir. 500 °C'nin üzerindeki partiküller yüzeylerinde bir miktar H₂ bulunan küçük kürelerin oluşturduğu parçacıklar şeklindedir. Partiküllerin ortalama çapı 15-30 (µm)'dir [15].

Motorun yük durumuna göre, değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is emisyonu da değişmektedir. Motorun is emisyonu sınır değeri, motor gücünü sınırlayan bir etkidir. Dizel motorlarında HFK<1.3 şartlarındaki tam yük veya aşırı yük durumlarında yanma odasındaki isin büyük bir kısmı egzozdan çıkmaktadır. Direk püskürtmeli dizel motorlarda en yüksek parçacık konsantrasyonu yakıt demetinin merkezindeki aşırı zengin karışım bölgesinde oluşmaktadır. Aynı zamanda partikül emisyonu maddelerinin bileşimi motor egzoz şartlarına bağlı olarak değişmektedir [12, 14].

2.2.5. Aldehitler

Aldehitler, HC'lerin kısmi oksidasyonu sonucu oluşan ürünler olup, özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarda meydana gelmektedirler. Genellikle formaldehit (HC, HO) ve rolein (C₂H₃, CHO)'den oluşmaktadırlar. Dizel egzozundaki kötü kokulu, gözleri ve solunum sistemini tahriş edici etkinin önemli kaynağı formaldehittir. MAK değeri 0,6 mg/m³'tür [13, 17].

2.2.6. Kükürtdioksit (SO₂)

Dizel yakıtı içerisindeki kükürtün (S), miktarına bağlı olarak hava içerisindeki O₂ ile birleşmesiyle SO₂ oluşmaktadır. Atmosferdeki su buharı ile sülfürik asite ve sülfata dönüşmekte ve atmosferde asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Renksiz, sert kokulu bir gaz olup, solunum yolları, akciğer, karaciğer hastalıklarına neden olmakta ve özellikle. mukoza zarını tahriş etmektedir [13, 14, 17].

2.3. Dizel Motor Yakıtı

2.3.1. Dizel yakıtlarının genel özellikleri

Dizel motorlarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü, silindir içerisinde hava ile yakıtın karışmasıyla oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelmektedir. Yanma olayı, hava ile yakıtın karışması itibarı ile kısa bir süre içerisinde oluşmaktadır. Bu süre içerisinde havayla reaksiyona girebilecek ve reaksiyonu gerçekleştirebilecek özellikte yakıtlar kullanılması gerekmektedir.

2.3.1.1. Setan sayısı

Setan sayısı, yakıtın kendi kendine tutuşma eğilimi ile ilgili ön plana çıkan önemli özelliklerden biridir. Setan sayısının artışı kendi kendine tutuşma eğilimini arttırmaktadır. Dizel motorlarında yakıt-buharı-hava karışımının sıkıştırma sonucu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için tutuşma meyilinin benzinin aksine yüksek olması gerekmektedir. Dizel motorlarda bu husus dolayısı ile setan sayısının yüksek olması istenmektedir.

Setan sayısı düşük yakıtın tutuşma eğilimi de düşük olmaktadır; dolayısı ile TG süresi artmakta, bu da yanma için ayrılan KMA aralığının azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından, mekanik zorlanmalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde dizel yakıtının setan sayısı en az 40 olarak belirlenmiştir. Bu durum taşıtta ilk hareketin kolaylaşması, tutuşma gecikmesinin azalması ve yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanması ile meydana gelen ani basınç artışının önlenmesi gibi olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Bunun yanı sıra setan sayısının aşırı yüksek oluşu TG'yi çok fazla kısaltacağından, yakıtın yanma odasına iyi bir şekilde dağılamaması ve tamamen buharlaşma olmadan tutuşması gibi bir sonucu karşımıza çıkarmaktadır. Yakıtın bu şekilde tutuşması ise is oluşturmakta ve tutuşmanın

enjektör memesinin hemen ardında başlaması gibi bir durum söz konusu olacağından enjektör deliği üzerinde karbon birikintisine sebep olmaktadır [11, 15, 16, 17].

2.3.1.2. Viskozite

Viskozite bir akışkanın çekim ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle akma eğilimine karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanmaktadır. Bu yönden viskozite yakıtın çeşitli tabakalarının birbiri üzerindeki hareketinin karşılaşacağı zorluk halinde kendini göstermektedir. Kısaca; viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite, kinematik ve dinamik viskozite olarak ikiye ayrılmaktadır. Birbirinden 1m uzaklıktaki iki düzlem arasında $1m^2$ alandaki sıvı tabakasının $1m/s^2$ hızla kayması için gerekli olan newton kuvvetine “dinamik viskozite”, dinamik viskozitenin yoğunluğa oranına ise “kinematik viskozite” adı verilmektedir [11, 20].

Kinematik viskozite, sıvı ve katı yakıtların en önemli özelliklerinden birisidir. Birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt $1 mm^2/s$ karşılığındadır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların, yakıt sistemini yağlama özellikleri olduğundan viskoziteleri yüksek, buna nazaran enjektör deliklerinden püskürtülerek kolay parçalanmalarının sağlanması gerektiği içinse düşük olmalıdır [12, 16]. Viskozitenin yüksek oluşu yakıt zerrecilerinin ayrılmasını azaltmakta ve bu da yakıtın nüfuz derinliğini arttırmaktadır. Bu olay, püskürtülen yakıt zerrecilerinin soğuk silindir cidarlarına temas etmeden parçalanmamasına ve yanmayı olumsuz etkileyerek egzoz emisyonlarında is artışına sebep olmaktadır [21].

Sıcaklık viskoziteye etki eden önemli bir parametredir ve “engler derecesi” olarak ifade edilmektedir. Motor yakıtlarının viskoziteleri $50^{\circ}C$ 'de 1,5-5 Engler derecesi arasında olmalıdır. 5 Engler derecesi üzerinde viskoziteye sahip olan yakıtların ise ısıtılarak viskoziteleri düşürülebilmekte ve bu şekilde kullanılabilirler [11].

2.3.1.3. Isıl değer

Yakıt içerisindeki saklı kimyasal enerjinin yanma reaksiyonu ile serbest hale dönüşüm şeklidir. Bir başka ifadeyle; yakıtın sahip olduğu enerjinin bir ölçüsüdür. Yakıtın birim kütesinin sahip olduğu enerji olarak kj/kg veya kcal/kg şeklinde ifade edilmektedir [22]. Birim kütle ve sahip olduğu enerji söz konusu olduğundan eşdeğer enerjinin, ısıl değeri düşük olan yakıtta daha fazla tüketimi gerektirdiğinden, özellikle depolama ve tüketim yönlerinde önem arz etmektedir [12].

Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğundan ısıl değer, alt ısıl değer (Hu) olarak verilmekte olup; petrol yakıtlarının API (American Petroleum Institute) özgül ağırlıklarına göre ısıl değerlerinin belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır [11];

$$\dot{U}ID = 42.860+93(API-10) \quad (2.2)$$

$$AID = 0,7190(\dot{U}ID)+10.000 \quad (2.3)$$

$\dot{U}ID$ -Üst Isıl Değer (kj/kg)

AID-Alt Isıl Değer (kj/kg)

API-Derece Cinsinden API Özgül Ağırlığı [23].

2.3.1.4. Özgül ağırlık

Özgül ağırlık çeşitli akaryakıt ve yağları birbirinden kolay ve çabuk ayırabilecek özelliklerden birini oluşturur. Ham petrolden üretilen akaryakıtların özgül ağırlıklarının tayin edilmesi, bunların tanınması yönünden oldukça önemlidir. Özgül ağırlık sıvı yakıtların yoğunluğunun bir ölçüsüdür. 15,6°C (60°F) sıcaklıktaki yakıtın yoğunluğunun, aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranı "özgül ağırlık" olarak tanımlanmakta olup, kısaca birim hacmin ağırlığı olarak da ifade edilmektedir. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar daha fazla karbon taşımakta ve yüksek ısıl enerjiye sahip olmaktadır [11]. Özgül ağırlık ne kadar küçük ise yakıt o kadar kolay tutuşmakta, sıcaklık artışı özgül ağırlığı düşürür bir etki göstermektedir .

API, özgül ağırlıklar için özel bir ölçek düzenlemiş olup, API derecesi olarak isimlendirilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [24];

$$\text{API derecesi} = (141/\text{Ö.A.})-131,5 \quad (2.4)$$

2.3.1.5. Duman ve akma noktaları

Sıvı yakıtlar soğumaya başladığında, belirli bir sıcaklık değerine geldiğinde yakıt molekülleri daha büyük sıvı kristalleri oluşturmakta ve katılaşıp kademeler kristaller yığılmaktadır. Kristallerin yığılmaya başladığı bu sıcaklık değeri “donma noktası”, yakıt akışının durduğu en yüksek sıcaklık değeri ise “akma noktası” olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık olarak dumanlanma noktası akma noktasının 4,5~5,5 °C üzerindedir. Özellikle soğuk havalarda, dizel yakıtının motor üzerindeki akışını yakıtın akma noktası belirlediğinden, daha yüksek kaynama aralığındaki ağır yakıtlar için oldukça önemli bir özelliği teşkil etmektedir.

Yüksek akma noktasına sahip dizel yakıtı, yakıt sisteminin tıkanmasına ve motorun çalışmamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yakıtın akma noktasının ortam sıcaklığından 5~10 °C düşük olması gerektiği yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir [11, 24].

2.3.1.6. Parlama ve alevlenme noktası

Parlama noktasının dizel yakıtlarda özellikle depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65-150 °C arasında olmalı 36 °C nin altına düşmemelidir [11].

İçlerinde yanabilecekleri sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda buhar durumuna geçebilen maddelerin bulunmasından dolayı yakıtlar, yanma sıcaklıklarından daha düşük sıcaklıklarda alev yaklaştırıldığı zaman parlamaktadır. Parlama olduğundaki sıcaklık değeri “parlama noktası” olarak adlandırılmaktadır. Tutuşma buharının sönmeden devam ettiği sıcaklık değeri ise “alevlenme noktası” olarak adlandırılmaktadır.

Yakıtların parladıkları noktadaki sıcaklık değeri, o yakıtın alev alma tehlikesinin tanınmasına yaramaktadır. Parlama noktası çok düşük olan yakıtlara kibrit, sigara gibi açık bir ateş veya alev yaklaştırılması oldukça tehlikelidir. Alevlenme sıcaklığı, parlama sıcaklığından biraz yüksektir ve genellikle bir yakıtın kaynama noktası ne kadar düşük olursa, alev alma noktası da o kadar düşük olmaktadır. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler [12, 20].

2.3.1.7. Uçuculuk

Sıvı yakıtların yanmadan önce buharlaşması gerekir. Uçuculuk sıvı yakıtların buharlaşabilme yeteneğini ifade etmekte olup, sıvıların sıvı durumdan gaz duruma geçme sıcaklıklarına “uçuculuk noktası” denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtma sıcaklığının %90’ı ile ifade edilmektedir. Bir yakıt, damıtım sıcaklığına kadar ısıtılırsa, miktarının %90’ı buhar haline geçebilmelidir. Düşük sıcaklıklarda kolayca buharlaşabilen yakıtlar, buharlaşabilmek için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyan yakıtlardan daha fazla uçucudurlar [24].

Uçuculuk, soğuk hava şartlarında motorun ilk hareketini kolaylaştırması açısından ve yanma sonucunda oluşacak is emisyonunun miktarı açısından önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Uçuculuk özelliği yüksek yakıtlar, egzoz sıcaklığını, yakıt sarfiyatını ve is miktarını azaltıcı bir etki göstermektedir [11, 14].

2.3.1.8. Kükürt ve kül

Kül, küçük katı parçacıklardan, yağ yada yakıtın içerisinde bulunan suda çözülebilir metalik bileşiklerden oluşmakta olup, yakıtların önemli özelliklerinden birisini teşkil etmektedir. Ham petrolün içerisinde kükürt bileşikleri bulunmakta, bunların çoğu damıtma sırasında arıtılmaktadır. Ham petrolün damıtılması anında atılmayıp yakıt içerisinde kalan kükürt, yanma zamanında O_2 birleşerek SO_2 veya biraz daha fazla O_2 bulması koşuluyla SO_3 oluşturur. Bu gazlardan SO_2 pek tehlikeli değilse de, SO_3 gazı yanma artıklarından olan H_2O ile birleşerek H_2SO_4 oluşturur. Şiddetli bir

aşındırıcı olan H_2SO_4 motor parçalarının kısa sürede aşınmasına ve özellikle silindir cidarı ile segmanların arızalanmasına sebep olmaktadır.

Yanmayan artıklar kül olarak isimlendirilmekte ve özellikle dizel yakıtı için; enjeksiyon sistemindeki kapalı rekor parçalarının aşınmasını arttırmasından ve yakıt filtresi ile enjektör deliklerinin tıkanmasına yol açmasından dolayı oldukça önemlidir [24].

2.3.2. Dizel yakıtından istenilen özellikler

Dizel motorlarda yakıt, sıkıştırma zamanı sonuna doğru yanma odasına püskürtülmeye başlamakta ve bu andan itibaren yanma olayı meydana gelmektedir. Dizel yakıtının püskürtülmeye başladığı sıkıştırma zamanı sonlarına doğru sıcaklık $400-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmakta ve püskürtmenin başlaması ardından tutuşması istenmektedir. Bu husus dikkate alınarak dizel motoru için birinci derecede önemli olan özellik, yakıtın kendi kendine tutuşma özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel motorunda yakıt-buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarda kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin, benzinin aksine yüksek olması istenmektedir. TG'nin büyük olması durumunda yanma için ayrılan KMA aralığı azalacak; TG süresince yanma odasında biriken yakıt ani olarak yanacak ve yüksek basınç etkisiyle mekanik zorlanmaları meydana getirecektir [11, 15].

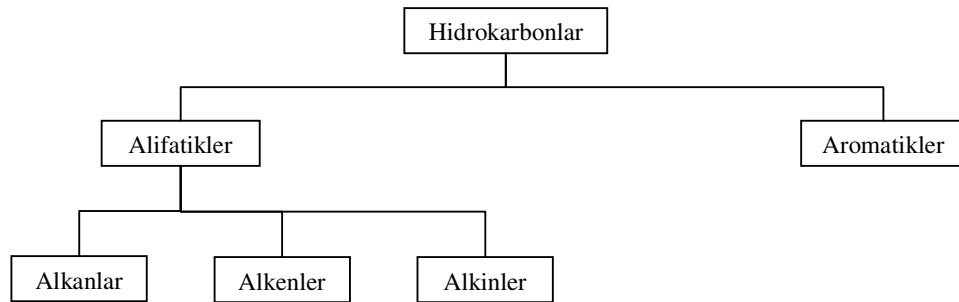
Dizel motor yakıtlarında aranan bir diğer özellikte viskozite özelliğidir. Yakıt viskozitesi dizel motorlarda özellikle püskürtme kalitesi bakımından oldukça önemlidir. Akma noktası ise, yakıtın soğuk hava şartlarında, depodan motora gelmesi ve filtrelerden süzülmesi açısından önemlidir. Bunların yanı sıra yağlama özelliği, yakıtlar ve motor ömrü açısından dikkate alınması gereken bir diğer özelliktir. Yakıtın yüzey gerilimi de önemli bir faktör olup, yakıtın sahip olduğu yüzey gerilmesi değeri azaldıkça damlacık çapı küçülmektedir. Damlacık çaplarının büyük olması yakıtın tam yanamamasına sebep olacak, is değerlerinde artış olarak karşımıza çıkacaktır [11, 15].

Bu özelliklerin yanı sıra her bir yakıtın kendine has özelliği ve bu özelliklerinde aynı olsalar bile farklı etkileri olduğu unutulmamalıdır. Bir açıdan çok iyi olan bir yakıt, başka bir açıdan çok kötü bir özellikte olabilmektedir. Örneğin parafin oranının yüksek olması, dizel motorlarda tutuşma özelliklerini olumlu etkilerken, düşük sıcaklık performansını kötüleştirmekte, benzer şekilde aromatik yüzdesi yakıtın ısı değerini artırırken, motorun sert çalışmasına ve is oluşumuna yol açmaktadır [15].

2.3.3. Hidrokarbon esaslı dizel yakıtlarının kimyasal yapısı

Motor yakıtlarının büyük kısmını petrol kökenli sıvı yakıtlar oluşturmakta olup, temelde H₂ ve C içeren bir yapıya sahiptirler. Ham petrolün damıtılmasıyla, kimyasal parçalanma yada kimyasal kreaking yöntemleriyle üretilebilmektedirler. Ana elementlerine atfen hidrokarbon olarak adlandırılan bu yakıtlar, HC sembolüyle ifade edilmektedirler. Dizel yakıtı içerisinde bulunan hidrokarbonlar; parafinler, naftenler, olefinler ve aromatiklerdir. Bunların yanı sıra az miktarda N₂, S, O₂, Co, Zn, P, K ve Mg içermektedirler [21, 25].

Hidrokarbonlar, alifatik hidrokarbonlar ve aromatik hidrokarbonlar olarak iki kısma ayrılmaktadırlar (Şekil 2.7). Genel özellik olarak alifatikler benzen grubu yada benzen halkası içermemekte, aromatikler ise benzen (tek yada daha fazla) halkası içermektedirler. Aromatikler yapılarından beklenmeyecek kadar kararlı bir yapıya sahiptirler. Bunun yanı sıra alifatikler de kendi aralarında karbon atomları arasındaki bağ sayılarına göre alkanlar, alkenler ve alkinler olarak üç gruba ayrılmaktadırlar [26, 27, 28].



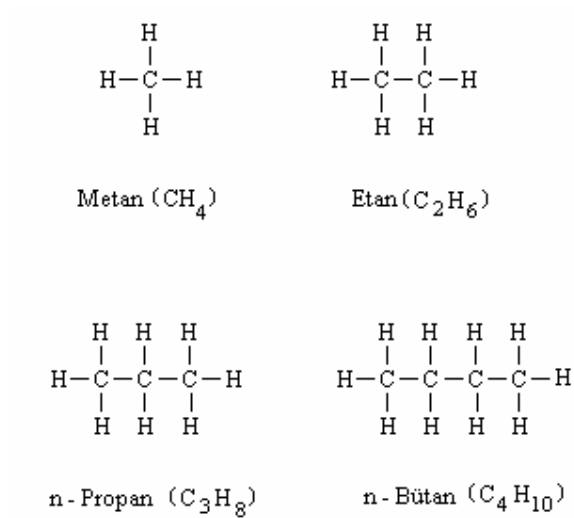
Şekil 2.7. HC'ların genel sınıflandırılması [23]

2.3.3.1. Parafinler (Alkanlar)

Genel formülleri C_nH_{2n+2} ($n=1,2,3\dots$) olan ve tek kovalent bağa sahip doymuş hidrokarbonlardır. Isıl değerleri yüksek ve yoğunlukları düşüktür ($620-770 \text{ kg/m}^3$). C atomlarının birbirine bağlanış biçimlerine göre düz ve çatallı zincir gurupları olarak iki guruba ayrılmaktadırlar;

- Normal parafinler (düz zincir grubu)

C atomları sıra şeklinde bağlıdır ve “-an” son takısı getirilerek yada izomerlerden ayırmak için “n-“ ön takısı getirilerek ifade edilmektedirler. Şekil 2.8’de ilk dört ($n = 1-4$) alkanın yapıları görülmektedir.



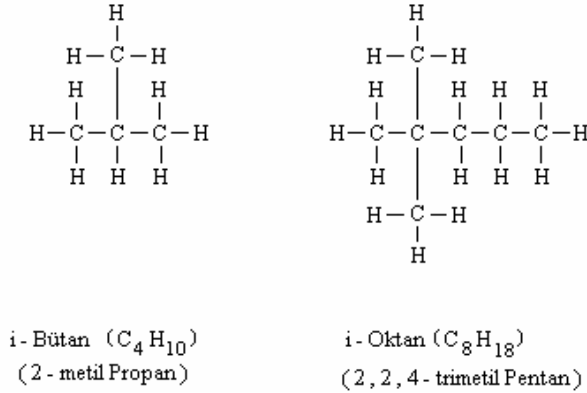
Şekil 2.8. İlk dört alkanın yapıları, açık ve kapalı gösterimleri [23].

Sahip oldukları bağlar kolayca parçalanabilmektedir. Bu özelliği ile tutuşma meyilleri genel olarak yüksek bir değere sahip olmakta ve dizel motorları için uygunluk göstermektedirler [11, 21, 23, 26, 27, 28].

- İzo parafinler (çatallı zincir grubu)

Dallanmış bir zincir yapısına sahip olup, moleküllerin kimyasal özellikleri farklılık göstermektedir. Düz zincir gurubunda olduğu gibi doymuş hidrokarbon yapısına

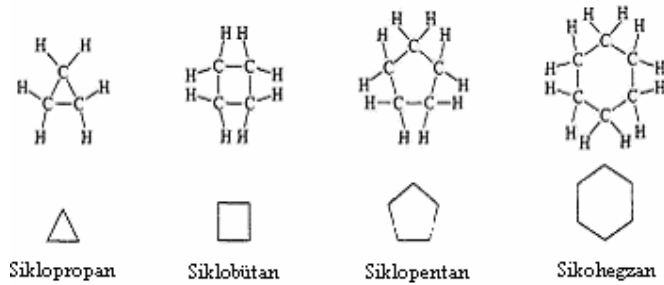
sahiptirler. “-i” yada “-izo” ön eklerini alarak adlandırılmaktadırlar. Tutuşma meyilleri düşük olup, benzin motoru yakıtı olarak uygunluk göstermektedirler. Şekil 2.9’de bazı izo-parafinlerin yapısı gösterilmiştir [11, 26, 27, 28].



Şekil 2.9. Bazı izo-parafinlerin yapısı [11]

2.3.3.2. Naftenler (Sikloparafinler)

Genel formülleri C_nH_{2n} olup “-siklo“ ön takısı eklenerek adlandırılmaktadırlar. Yapıları halka şeklinde kapalı olup bu özelliklerinden dolayı tutuşma meyilleri azdır. Düşük ısı değere ve yüksek yoğunluk değerine sahiptirler. Hem benzin hem de dizel motor yakıtı olarak kullanılabilirler [14, 21, 26]. İlk dört sikloalkanın yapısı ve basitleştirilmiş şekilleri Şekil 2.10’te gösterilmektedir.

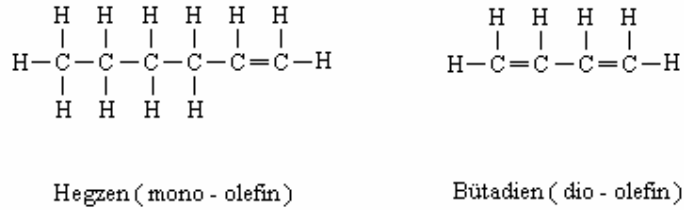


Şekil 2.10. İlk dört siklo alkanın yapısı ve basitleştirilmiş şekilleri [23]

2.3.3.3. Olefinler (Alkenler)

Komşu C atomları arasında çift bağ taşıyan hidrokarbonlardır. Moleküllerinde tek çift bağ varsa “-en” ön eki alarak mono-olefin (C_nH_{2n}), iki adet çift bağ varsa “-ien”

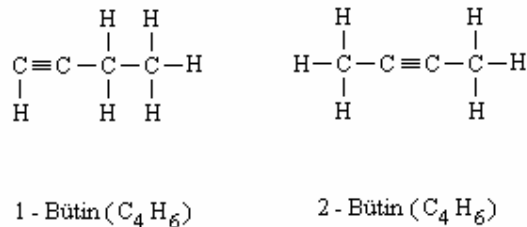
ön eki olarak dio-olefin (C_nH_{2n-2}) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.11’te hegzen ve bütadienin açık gösterimleri yer almaktadır. Tutuşma meyilleri düşük olup, bu özelliği ile benzin motoru yakıtı olarak kullanılabilirler. Aktif bir yapıya sahiptirler ve özellikle H_2 ile kolayca birleşerek parafin veya naftenleri oluşturabilmektedirler [11, 21, 27].



Şekil 2.11. Hegzen ve bütadien’in açık gösterimi [11]

2.3.3.4. Alkinler (Asetilenler)

Alkinler en az bir tane üçlü C-C bağı içermekte olup genel formülleri C_nH_{2n-2} ($n = 2,3,4,\dots$)’ biçimindedir. Üçlü bağ içeren bileşik isminin sonuna “-in” eki getirilerek adlandırılmaktadır. Şekil 2.12’te 1-bütin ve 2-bütin alkinleri gösterilmektedir [23, 26, 27].

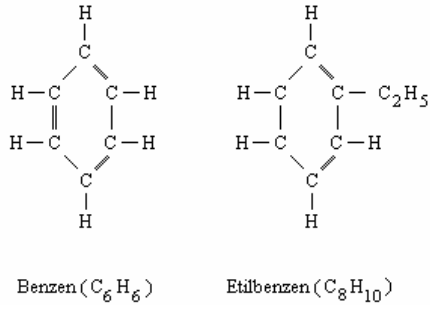


Şekil 2.12. 1-bütin ve 2-bütin’in açık gösterimi

2.3.3.5. Aromatikler (Benzen türevleri)

En az bir tane altılı halka taşıyan hidrokarbonlardır. Diğer doymamış hidrokarbonlara göre daha kararlı bir yapıya sahiptirler. Yapılarındaki çok sayıda çift bağı C atomu sebebiyle tutuşma meyilleri düşüktür. C_nH_{2n-6} kapalı formülüyle ifade edilmektedirler. Vuruntu mukavemetlerini arttırmak amacıyla genellikle benzin içerisinde katılmakta olup, kanserojen etkileri sebebiyle katkı miktarları sınırlı

tutulmaktadır. Yanma sonrası is oluşumuna, çözücü etkiye, contaların bozulmasına neden olabilmektedirler. Diğer yakıtlardan daha fazla su içermekte olup bu nedenle bazı problemlere yol açabilmektedirler. C atomları arasındaki bağların kuvvetli olması nedeniyle vuruntu mukavemetleri yüksektir. Ticari anlamda benzen olarak adlandırılırlar. Yoğunlukları yüksek olup hacim başına yüksek ısı değere kütlelesel bazda en düşük ısı değere sahiptirler [11, 15, 21, 26]. Şekil 2.13’da benzen ve etil benzenin açık gösterimleri yer almaktadır.



Şekil 2.13. Benzen ve etil benzen’in açık gösterimi [21]

BÖLÜM 3. BİTKİSEL YAĞLAR VE BİYODİZEL

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar, genellikle petrol kökenli olarak üretilen yakıtlar olmuştur. Ancak petrol kökenli yakıt kaynaklarının azalması, ortaya çıkan çevre sorunları, enerjinin yerel ve yenilenebilir kaynaklardan üretilebilme isteği gibi birçok nedenlerden dolayı son dönemlerde alternatif motor yakıtları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

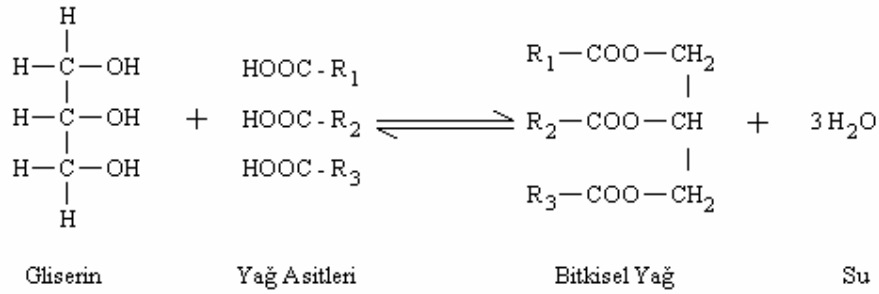
Bu çalışmalar sonucunda ülkemiz gibi tarımsal potansiyele sahip olan ülkelerde enerji içerikli, petrol kökenli yakıtlara yakın enerji içeriğine sahip yenilenebilir yakıt olarak bitkisel yağlar ve bitkisel yağlardan elde edilen metil esterler (biyodizel) alternatif aday olarak gündeme gelmektedir [14, 29, 30, 31].

Türkiye’de en çok üretilen bitkisel yağlardan bazıları şöyle sıralanabilmektedir; ayçiçek yağı, zeytinyağı, mısır yağı, pamuk tohumu yağı, yerfıstığı yağı, soya yağı, susam yağı, kolza yağı, aspir yağı, haşhaş yağı, keten ve kenevir tohumu yağı [29, 30].

3.1. Bitkisel Yağlar

Bazı tarımsal ürünlerin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucu elde edilen bitkisel yağlar, petrol esaslı yağlardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptirler. Yağ asitlerinin (R-COOH) gliserinle yapmış olduğu esterlerdir ve gliserid olarak adlandırılmaktadırlar [32].

Yağlar yüksek moleküllü yağ asitlerinin, üç değerli bir alkol olan gliserinle meydana getirdiği esterlerdir. Bir başka ifadeyle trigliserid olarak adlandırılmaktadırlar [14]. Yağ asitlerinin trigliseridle esterleştirilmesi Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



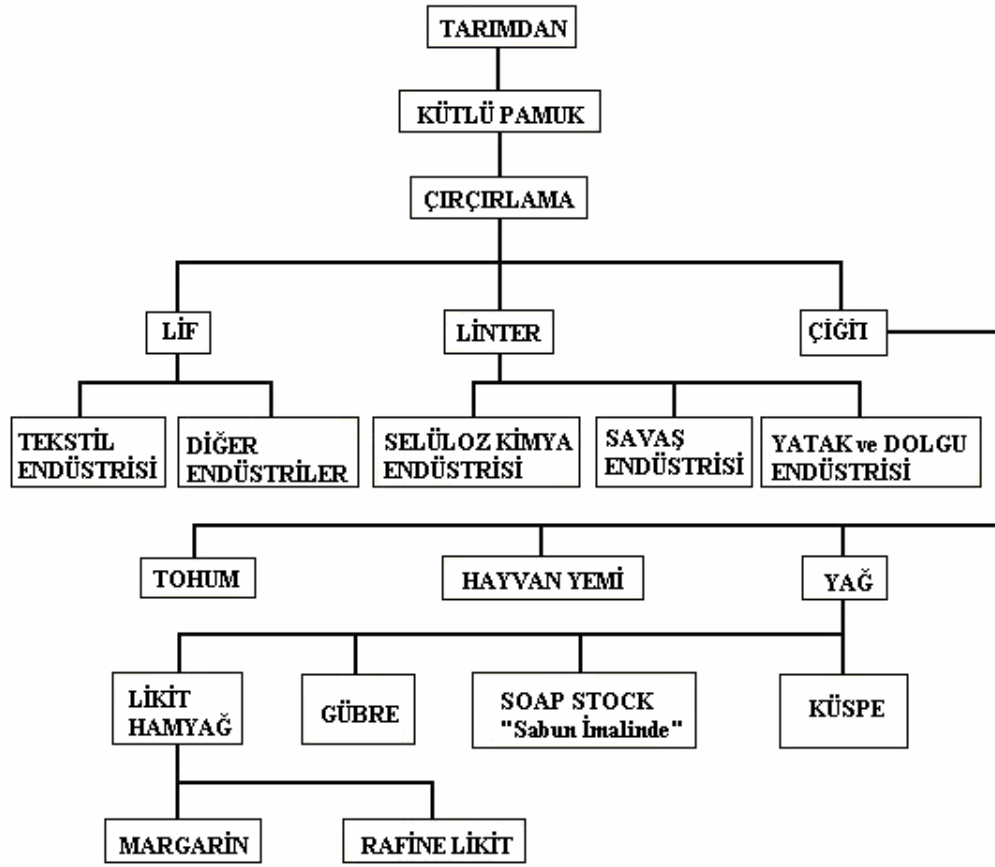
Şekil 3.1. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi [32]

Gliserin, üç hidroksil grubu taşıyan bir alkol olup, yağ ve yüksek yağ asitlerinin aksine; klorofon, benzen, petrol eteri ve eter gibi çözücülerde çözünmeyip, su ve alkol içerisinde çözünebilen bir yapıya sahiptir. Kokusuz, hafif, tatlı, ergime noktası 20⁰C ve kaynama noktası 290⁰C olan bileşiklerden oluşmaktadır [12, 14].

3.1.1. Pamuk ve pamuk yağı

Pamuk, Malvales takımından, Malvaceae familyasından, Gossypium cinsinden bir bitkidir. Anavatanı konusunda tam bir kesinlik bulunmamakla birlikte, Asya, Amerika ve Afrika'nın sıcak bölgelerinden dünyaya yayıldığı tahmin edilmektedir. Pamuk bitkisi her türlü toprakta yetişebilen bir bitki olmakla birlikte, yüksek verim ve kaliteye ulaşabilmek için toprağın derin profilli ve alüviyal olması gerekmektedir. Derin, kumlu-killi su tutma yeteneği yüksek, geçirgenliği, işlenmesi ve sulanması kolay topraklar pamuk tarımı için ideal topraklardır.

Endüstri bitkileri içinde lif ve yağ bitkilerinin her ikisine de giren pamuk, birçok sanayinin temel hammaddesini karşılayan önemli bir bitkidir. Lifi ile tekstil sanayinin, çekirdeğinden elde edilen pamuk yağı ile bitkisel yağ sanayinin, küspesi ile yem sanayinin, ayrıca lifleri ile de selüloz sanayinin hammaddesini teşkil etmektedir [33, 34]. Şekil 3.2'de pamuğun çeşitli kullanım alanları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Pamuğun kullanım alanları

Günümüzde 69 ülkede tarımı yapılan pamuk, gerek lifi gerekse çığitinden elde edilen yağı ve diğer yan ürünleriyle ekonomik değeri çok yüksek olan bir bitkidir. Lifinin doğal oluşu, teri absorbe edişi, ısıtılıp kaynatıldığında diğer liflere göre sağlam kalışı, statik elektriği daha az iletmesi, hava geçirgenliği ve hijyenik özellik taşıma avantajları ile beşeri ihtiyaçların karşılanmasında diğer bitkisel ve sentetik elyaflara tercih edilmektedir.

Pamuk tohumlarında ortalama %20 oranında bulunan çığit yağı ile bitkisel yağ, linteri ile de selüloz sanayinin hammaddesini teşkil etmekte, kalan aminoasitlerce zengin küspesi ise hayvan beslenmesine katkıda bulunmaktadır. Pamuk bitkisi dünyada soya fasulyesinden sonra ikinci önemli bitkisel yağ kaynağıdır. Dünya pamuk yağı üretimi 3,8-4,3 milyon ton arasında değişirken ülkemizde 130-150 bin ton arasında olup bitkisel yağ ihtiyacımızın %25 'ini karşılamaktadır [33].

3.1.1.1. Ekonomik önemi

Bitkisel bir tekstil hammaddesi olan pamuk, değişik kullanım alanlarıyla ülkemiz ve dünya tarım, sanayi ve ticaretinde önemli bir konuma sahiptir. Dünya nüfusunun hızla artması, öte yandan sanayileşen ve kalkınan toplumlarda hayat seviyesinin yükselmesi pamuk tüketim ve gereksinimini arttırmıştır. Pamuk lifi kullanımı son verilere göre, tüm kullanılan lifler içerisinde % 49'luk bir paya sahip olup, tüketilen tekstil bitkileri içerisinde de son 10 yıl içerisinde en yüksek olan lifdir. Geçtiğimiz 30 yıl içerisinde toplam dünya pamuk tüketimi % 50'nin üzerinde artarak, yaklaşık 19 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye'de ise bu rakam yaklaşık 900 bin ton değerinde olup; dünyada önemli bir yere sahiptir [7]. Kimyasal lifler, hala tüketilen lifler içerisinde daha yüksek bir paya sahip olmalarına rağmen, insanların doğal maddelere olan tutkularının artması ve kimyasal liflere doğal liflerdeki birçok özelliğin kazandırılmaması sebebiyle pamuk, cazibesini artan bir şekilde muhafaza etmektedir [33, 34].

3.2. Bitkisel Yağlar ve Yakıt Özellikleri

Dizel motorlarının mucidi Rudolph Diesel'den bu zamana kadar bitkisel yağlarla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Uzun yıllar petrol ve buna bağlı olarak petrol kökenli yakıtlar üzerinde herhangi bir sorun yaşanmadığı, özellikle bol ve ucuz olduğundan dolayı, gerek bitkisel yağlar gerekse diğer alternatif yakıtlar üzerindeki çalışmalar sınırlı sayıda kalmıştır. Ancak, 1970'lerdeki petrol krizleri ardından alternatif yakıt çalışmaları yeniden hız kazanmış ve özellikle tarımsal potansiyeli yüksek olan ülkelerde; enerji içerikli ve yenilenebilir özelliğe sahip olan bitkisel yağlar üzerinde önemle durulmuştur.

Bitkisel yağların dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Tablo 3.1'de motorin ve bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 3.1. Motorin ve bazı bitkisel yağların yakıt özellikleri [29]

	Özgül ağırlık (g/ml)	Kinematik viskozite (cSt)	Isıl değer (kJ/kg)	Setan Sayısı (ASTM D613)
Ayçiçek	0,92	34,9	39.644	33
Soya	0,92	36,4	39.390	39
Pamuk	0,91	37,4	37.420	51
Kolza	0,92	39	39.913	37,6
Motorin	0,86	2,9	42.450	50,8
Karbon kalıntısı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,22-0,30 (ASTM sınır değeri % 0,35)			
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,01 (ASTM sınır değeri % 0,5)			
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,005-0,01 (ASTM sınır değeri % 0,01)			
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda % 0,05 (ASTM sınır değeri % 0,05)			

ASTM sınır değerleri ile kıyaslandığında; bitkisel yağların, molekül ağırlıklarının fazla olmasından dolayı dizel yakıtına kıyasla viskozite değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. İçeriğindeki O₂ sebebiyle ısıl değerleri motorine oranla daha düşüktür. Yapılan çalışmalarda donma ve akma noktaları açısından uygun oldukları görülmektedir. Tutuşma noktası değeri dizel yakıtına göre yüksektir. Yakıt içerisindeki su ve tortu miktarı, karbon kalıntısı, kül ve kükürt oranı açısından sınır değerler arasında yer almaktadır. Setan sayısı açısından ASTM alt sınır değeri olan 40'a yaklaştıkları görülmektedir. Oksitlenme süreleri incelendiğinde ise olumsuz bir özellik olarak karşımıza çıkmakta, dizel yakıtının yaklaşık 150 saatlik oksitlenme süresine nazaran 9-10 saatlik oksitlenme süresine sahip olmaktadır [4, 25, 30, 35].

3.3. Dizel Yakıtı Olarak Bitkisel Yağların Performansı

Bitkisel yağlar, alternatif yakıt olarak doğrudan kullanılabilmelerine karşın, yapılan testler sonucunda dizel motorlarında ileriki zamanlarda pek çok problemin doğmasına sebebiyet verebileceği görülmüştür [36]. Yapılan kısa süreli testlerde herhangi bir problem görülmemesine rağmen uzun süreli testlerde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır [14]. Bu problemler;

-Pistonlarda, supap, yanma odası ve manifoldlarda olağan sayılamayacak oranda karbon birikimi, motorda aşınma, segmanlarda yapışkanlaşma, vuruntu, ilk hareket zorlukları, yağ filtrelerinde tıkanma.

-Yağlama yağının kalınlaşması, seyrelmesi, asitlik artışı, viskozite artması, bozunması, yanma artıkları, yanmamış yakıt ile karışmasıyla kirlenmesi, katı madde içeriğinin artması, temas yüzeylerinde birikinti oluşması.

-Enjektörlerde karbon birikimi, püskürtme karakteristiğinde bozulma, atomizasyon sorunu, enjeksiyon başlangıç ve bitiş süresinin belirsizleşmesi, enjektör memelerinde yapışkanlaşma oluşumu.

-Motor karakteristik değerlerinde ve egzoz gazı bileşiminde olumsuz değişiklikler.

Bu sorunların önemli bölümünün bitkisel yağların sahip oldukları yüksek viskoziteden ve düşük uçuculuk değerinden kaynaklandığı görülmektedir. Yüksek viskozite özellikle atomizasyonu ve dolayısı ile yanmayı kötüleştirmekte, eksik yanmaya sebep olmaktadır. Yüksek viskozite nedeniyle enjektörlerde ve yakıt filtresinde tıkanmaya, segmanlarda, yanma odası ve enjektör memelerinde karbon birikintilerine sebep olmaktadır. Yağlama yağının bozulmasının da en önemli nedenlerinden birisidir. Uçuculuk değerinin düşük oluşu da bu sorunların oluşumunda önemli bir faktördür. Yanma odasında ve enjektörlerde karbon birikintisine, segmanların yapışmasına ve özellikle ilk harekette soğumaya sebep olmaktadır [12, 37, 38].

3.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin Geliştirilmesi

Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarda doğrudan kullanılması ile, araştırmalar sonucu ortaya çıkan problemlerin giderilmesi ve bitkisel yağların dizel motor yakıt özelliklerine daha da yaklaşması için uygulanan yöntemler modifikasyon teknikleri yada iyileştirme çalışmaları şeklinde tanımlanmakta olup, kimyasal (seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon ve transesterifikasyon) ve ısı yöntemleri (yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağın sıcaklığı ön ısıtma ile artırılarak viskozitenin düşmesi amaçlanmaktadır) olarak karşımıza çıkmaktadır [35].

3.4.1. Seyreltme

Seyreltme yönteminde bitkisel yağlara belirli oranlarda dizel yakıtı ve/veya organik bileşenler (solvent, etanol, normal bütanol, aseton ve etanol-metanol gibi maddeler) katılmakta ve viskozite düşürülmektedir [14]. Viskozitenin düşürülmesi ve karışımlarla birlikte yakıt karakteristiği dizel yakıt karakteristiklerine yaklaşmakta ve dizel motorlarda kullanılabilir bir hal almaktadır.

3.4.2. Piroliz

Piroliz gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozundurulmasıdır. Bu yöntemde moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu şekilde viskozite düşürülmekte; fakat olumsuz bir taraf olarak işlemler ilave maliyet gerektirmektedir [39].

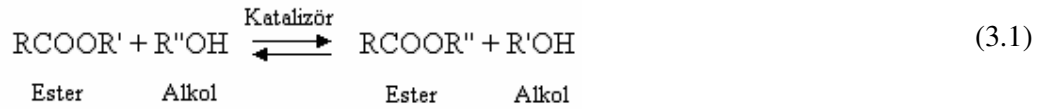
Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birisi, bitkisel yağları ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Isı etkisiyle parçalanmış bitkisel yağın sıvı fraksiyonlarının özellikleri dizel yakıtıninkine daha yakındır.

3.4.3. Mikroemülsiyon

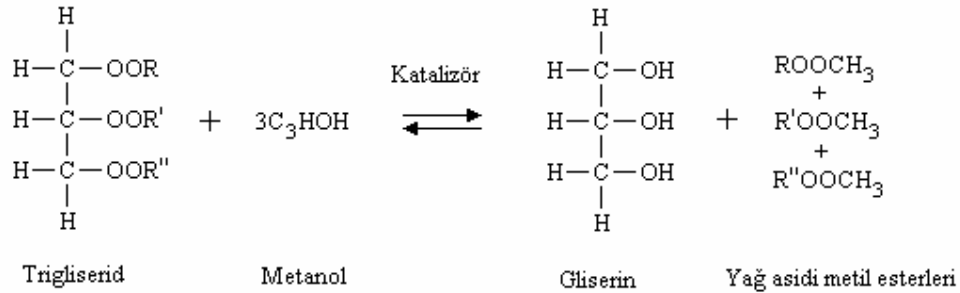
Bitkisel yağların viskozitelerini düşürmek amacıyla uygulanan bir diğeri yöntem de mikroemülsiyon yöntemidir. Metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilmesinden ibarettir [39]. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 µm arasında olan, optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olmaktadır. Normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla yüzey aktif maddesinin bir araya gelmesiyle oluşmakta ve kullanılan yüzey aktif maddelerinin devamlı fazı ile dağılım fazı arasındaki gerilimi düşürmesi ile birlikte mikroemülsiyon meydana gelmektedir [14].

3.4.4. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlem olup, viskoziteyi azaltmada etkili bir yöntemdir. Denklem 3.1’de transesterifikasyon işleminin genel reaksiyon denklemi ifade edilmektedir [40];



Reaksiyonda metanol kullanılması durumunda işlem metanoliz olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.3’te trigliseridin metanol ile reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 3.3. Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyonu

Yağ asidi metil esterleri biyodizel olarak bilinmekte olup, alternatif bir dizel motor yakıtı olarak son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Üretiminde bitkisel yağ olarak özellikle kolza, soya, ayçiçek, pamuk gibi yağlar ile atık yağlar kullanılmaktadır. Katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) veya sodyum hidroksit (NaOH), alkol olarak metanol veya etanol kullanılmaktadır [25, 41].

3.5. Biyodizel

Biyodizel biyokütle kökenli (hammaddesi yağlı tohum bitkileri, atık bitkisel yağlardır), orta uzunlukta C_{16} - C_{18} yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Alternatif bir dizel yakıtı olarak, kullanılacak en uygun yakıtlar

arsında yer almaktadır. O₂ içeriği biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayıran önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [42].

Biyodizel farklı yöntem ve kaynaklarla üretilbildiğinden dolayı yakıt özellikleri ve kalitesi de farklı olmakta, bu ise çeşitli standartların oluşturulmasını zorunluluk haline getirmektedir. Tablo 3.2’de bazı ülkelerde uygulanan biyodizel standartları verilmektedir.

Tablo 3.2. Çeşitli ülkelerde uygulanan biyodizel standartları [43, 44]

	Birim	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	ABD
Standart / Özellikler		ÖN C 1191		DIN E 51606	UNI 10635	ASTM PS121-99
Tarih		1997	1997	1997	1997	1999
Uygulama		YAME	BYME	YAME	BYME	YAMAE
Yoğunluk (15°C)	g/cm ³	0,85-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	-
Viskozite (40°C)	cSt	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Damıtma (% 95)	°C	-	≤ 360	-	≤ 360	-
Parlama Noktası	°C	≥ 100	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100
Akma Noktası	°C	-	< -10	-	-	-
Kükürt	% kütle	≤ 0,02	-	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,05
Kül	% kütle	-	-	-	≤ 0,01	-
Su	mg/kg	-	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ % 0,05
Bakır korozyonu	3h/50°C	-	-	1	-	≤ No.3
Setan sayısı	-	≥ 49	≥ 49	≥ 49	-	≥ 40
Asit sayısı	MgKOH/g	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8
Metanol içeriği	% kütle	≤ 0,20	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,2	-
Ester içeriği	% kütle	-	≥ 96,5	-	≥ 98	-
Monoglisid	% kütle	-	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	-
Diglisid	% kütle	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,2	-

Tablo 3.2. (Devam) Çeşitli ülkelerde uygulanan biyodizel standartları [43, 44]

Trigliserid	% kütle	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,1	-
Serbest gliserol	% kütle	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,02
Toplam gliserol	% kütle	≤ 0,24	≤ 0,25	≤ 0,25	-	≤ 0,24
İyot sayısı	-	≤ 120	≤ 115	≤ 115	-	-
Fosfor içeriği	mg/kg	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Alkalın (Na,K)	mg/kg	-	≤ 5	≤ 5	-	-

Biyodizel otomobil üreticisi birçok firma tarafından dizel motorlarda kullanımı için garanti kapsamına alınmaktadır. Bu garanti kapsamındaki firma sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Tablo 3.3'te ise bazı firmaların garanti bilgileri görülmektedir [39, 44].

Tablo 3.3. Çeşitli firmaların biyodizel için garanti bilgileri

Audi	Tüm TDI Modelleri – 1996'dan beri
Case-IH	Traktörler- Tüm Modeller-1971'den beri
BMW	Model 525 tds-1997'den beri
Claas	Biçerdöverler- Traktörler
Forvman Diesel	Motorlar
Fiatagri	Traktörler: Yeni modeller için
Ford AG	Traktörler: Yeni modeller için
Holder	Traktörler
Iseki	Traktörler: 3000 ve 5000 Serileri
John Dere	Traktörler ve biçerdöverler- 1987'den beri,
KHD	Traktörler
Kubota	Traktörler: OC , Super Mini, 05, 03 Serileri
Lamborghini	Traktörler: 1000 Serisi
Mercedes-Benz	C , E 220, C 200 ve 220 CDI Serileri, Kamyon, Otobüs : BR 300, 400, Unimog Serileri-1988'den Traktörler-1990'dan beri
Same	Tüm TDI Serisi- 1996'dan beri
Seat	Tüm TDI-Serisi- 1996'dan beri

Tablo 3.3. (Devam) Çeşitli firmaların biyodizel için garanti bilgileri

Skoda	Traktörler- 1988'den beri
Stevr	Botlar : M 16 TCAM ve M 14 TCAM Serileri, Traktörler- 1991'den beri
Valment	Tüm TDI Serisi- 1996'dan beri
Volkswagen	Otomobiller:Tüm yeni SDI Serisi (EURO-3)
Volvo	S80-D, S70-TDI ve V70-TDI Serileri

3.5.1. Biyolojik olarak bozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan C_{16} - C_{18} metil esterleri, doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunabilmekte, 10000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermemektedir. Suya bırakıldığında biyodizelin 28 günde % 95'i, motorinin ise % 40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği şekere benzemektedir [41]. Herhangi bir kaza sonucu dökülmesi daha az çevre problemi yaratmaktadır.

3.5.2. Toksik etki:

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü bir etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte % 4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir [41].

Yalnızca 1 litre petrol içme su kaynaklarına ulaştığında, 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine sebep olurken, biyodizel ise yapılan incelemeler sonucunda sudaki bütün yaşayan canlılara karşı toksik etkisi olmayan bir yakıttır. Bu da herhangi bir kaza halinde kirlenme tehlikesini ve dolayısıyla çevreyi tekrar temiz hale getirme çalışması durumlarını ortadan kaldırmaktadır [45].

3.5.3. Depolama

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depoloma, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, kauçukların kullanımı sakıncalıdır. Çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir. Bu özelliklerin yanında olumsuz bir özellik, olarak uzun süreli depolamada yakıt özelliklerinin değişmesi gibi bir sorun da karşımıza çıkmaktadır [41, 45].

3.5.4. Soğukta akış özellikleri

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahip olduğundan soğuk çalışma şartlarında sorun çıkarmakta, fakat bu sorun uygun katkı maddeleri kullanılarak iyileştirilebilmektedir [41].

Kış şartlarında biyodizelin (0°C 'nin altı) kristalize olması ve dizel yakıtından ayrışması gibi bir problemle karşılaşılabilir. Oluşan kristaller yakıt borularını ve filtrelerini tıkayabilmekte, yakıtın pompalanmasında ve motorun çalışmasında sorun çıkarabilmektedirler. Bu sorun ise izopropil ester gibi dallanmış zincir yapıdaki esterlerin kullanılması yada vinterizasyon (kademeli olarak soğutulan ve düşük sıcaklıklarda yavaş bir karıştırma eşliğinde bekletilen yağda oluşan kristallerin süzülerek uzaklaştırılması işlemi) ile çözülebilmektedir [24, 46].

3.5.5. Motor yakıtı özellikleri

Biyodizelin dizel yakıtına oranla sahip olduğu en önemli fark, içeriğinde O_2 bulundurmasıdır. Bunun yanında alt ısı değer motorine oranla düşüktür. Setan sayısı motorine oranla fazla, viskozitesi ise daha yüksektir. Bunun sonucu olarak biyodizelin motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımında motor efektif gücünde ve torkunda motorine oranla bir miktar azalma olmaktadır. Ayrıca ÖYT'de artış ortaya

çıkmaktadır. Biyodizel motorine oranla yaklaşık % 10 seviyesinde daha düşük alt ısı değerine sahip olmasına rağmen, efektif güçteki azalma %5-%7 seviyesinde olmaktadır. Bunun ana sebebi olarak biyodizelin sahip olduğu O₂ içeriği gösterilebilmektedir. O₂ içeriği dolayısı ile motorlarda yanma daha verimli olmakta, bu kendisini ısı verimindeki artış olarak da göstermektedir [22, 38, 40, 47, 48, 66, 67,69].

Biyodizel saf olarak motorlarda kullanıldığı gibi karışım olarak da kullanılabilmekte olup; efektif güçteki ve momentteki azalmayla beraber yakıt tüketimindeki artış, karışım yakıt kullanımında, karışım içindeki biyodizel oranı artışına paralel olarak değişim göstermektedir [49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 69, 73, 74].

Bunun yanında motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahip olması biyodizeli kullanım, taşınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt yapmaktadır. Tablo 3.4'de bazı bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel yakıtların özellikleri görülmektedir. Tablo incelendiğinde dikkat çekici bir husus olarak biyodizel karakteristiklerinin dizel yakıtına yakın özelliklere sahip olduğu görülmektedir [25, 30, 41, 56].

Tablo 3.4. Biyodizelin bazı yakıt özellikleri [12, 30]

Yağ asidi metil esteri	Yoğunluk (g/cm ³)	Kinematik viskozite (cSt)	Alt Isıl değer (kJ/kg)	Setan Sayısı (ASTM D613)	Parlama noktası (°C)
Ayçiçek	0,88	4,6	40.579	49	183
Soya	0,885	4,5	39.760	45	178
Fıstık	0,883	4,9	33.600	54	176
Motorin	0,84	3,25	45.000	46	55

Günümüzde değişik ülkelerde %5-%50 oranda farklı karışımlar motorlarda kullanılmaktadır. Biyodizel yakıtının ana ürünü yağ olduğundan bugünkü üretim seviyeleriyle mevcut üretilen yağ ile motorin yerine geçebilecek kadar yakıt üretimi mümkün görünmemektedir. Bunun yerine kısmen hava kirliliğinin yoğun olduğu

bölgelerde ve zirai araçlarda saf biyodizel kullanımı sıklıkla görülürken başka bir kullanım şekli olarak da motorin ile karışım yapılarak kullanımı yaygınlaşmaktadır [25, 41, 45].

3.5.6. Biyodizelin emisyon özellikleri

Biyodizel kullanımı ile yapılan emisyon ölçümlerine bağlı olarak, motorine oranla daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Genel olarak CO, CO₂, HC, PM, emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, biyodizelin önemli bir karakteristiği olarak NO_x emisyonlarının belirgin bir artış gösterdiği yapılan çalışmalarda sıklıkla belirtilmektedir. Biyodizel ve karışımları ile yapılan çalışmalarda, egzoz sıcaklığında motorinle çalışmaya göre bir miktar azalma olmasına rağmen, NO_x emisyonlarındaki artışın en önemli sebebi biyodizel içeriğinde bulunan ve yanma ortamına katılan O₂ olarak değerlendirilmektedir [54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 67]

Yağ kökenli bir yakıt olarak içeriğinde çok az oranla S içeren (kütlesel olarak %0,001 den daha az) biyodizel yakıtı ile dizel motorlarda kullanımı ile yanma sonucu SO₂ oluşmamaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan SO₂ emisyonunun oluşturduğu asit yağmurlarının önlenmesinde bu özellik önemli bir katkı olarak değerlendirilebilmektedir [22, 46, 47, 53, 57, 50, 63, 66, 67, 68].

Biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile CO₂'yi dönüştürebilmekte, karbon döngüsünü hızlandırmaktadır. Sera etkisini arttırıcı yönde etkisi bulunmamaktadır. Son yıllarda özellikle yanma ürünlerinde net CO₂ üretiminin azaltılması yönünde yenilenebilir alternatif yakıtlar ilgi çekmektedir. Bilindiği gibi CO₂ küresel ısınmada sera etkisi ortaya çıkaran emisyon olarak kabul edilmektedir. [40, 64, 65, 69, 70, 71].

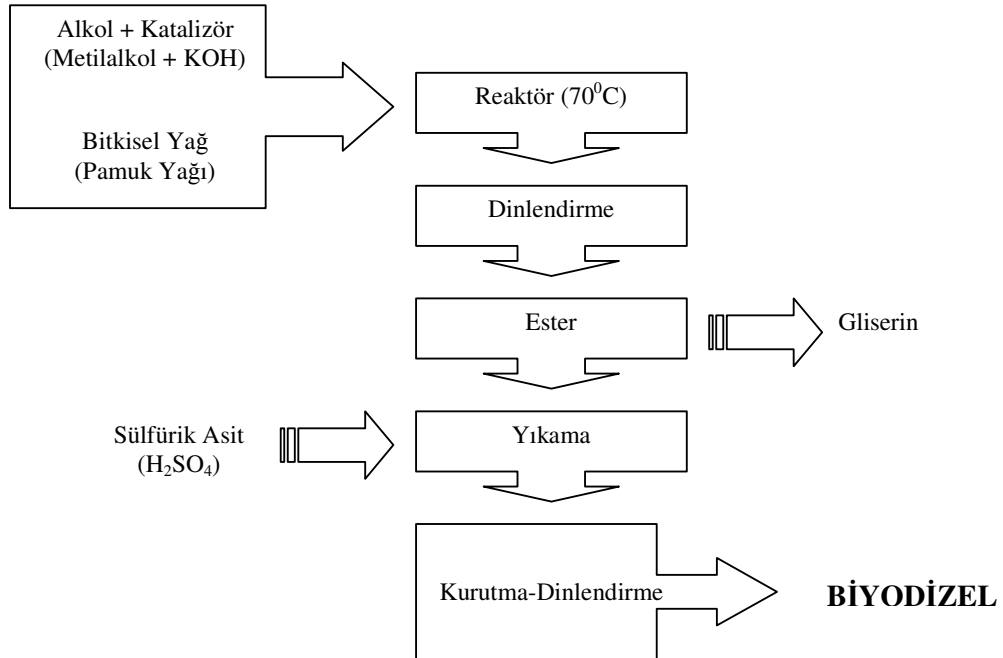
Bu emisyonlar yanında yapılan çalışmalarda, yine önemli dizel emisyonları arasında yer alan is emisyonlarında da önemli azalmaların olduğu görülmektedir [50, 57, 58, 59, 72, 73, 74, 75].

BÖLÜM 4. MATERYAL ve METOD

Yapılan çalışma iki aşamadan meydana gelmektedir. Çalışmanın birinci aşamasında rafine pamuk yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel (pamuk yağı metil esteri) elde edilmiş ve laboratuvar testleriyle yakıt özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise üretilen yakıt farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanarak bir dizel motorunda kullanılmış, motor performans ve emisyon testleri yapılmıştır.

4.1. Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretimi, T.C. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de rafine pamuk yağının transesterifikasyon yöntemiyle esterleştirilmesinden meydana gelen biyodizel üretim akış şeması yer almaktadır.



Şekil 4.1. Biyodizel üretimi

Biyodizel üretiminde, 10 litre kullanılmamış rafine yağ için 35 gram KOH ve 2 litre metil alkol kullanılmıştır. Rafine pamuk yağı reaktöre konularak 70 °C'ye ısıtılmış, bu esnada metil alkol içerisinde katalizör çözdürülmüştür. Reaktör içerisindeki yağ sıcaklığı (70 °C) kontrol edilmiş ve mikser yardımıyla yaklaşık 1200 d/d'de karıştırılmaya başlanmıştır. Bu esnada içerisinde katalizör çözdürülerek elde edilen alkol-katalizör karışımı reaktör içerisine boşaltılmış ve karıştırma işlemi 1 saat süresince devam etmiştir. 1 saat sonunda elde edilen karışım reaktörden ayrı bir hazneye alınmış ve gliserinin çökmesi beklenmiştir. Gliserin çökeldikten sonra üst kısımda kalan ester farklı bir hazneye alınmış ve yıkama işlemi yapılmıştır. Haznedeki metil estere 1:1 ölçeğinde saf su ilave edilmiş ve bir hava motoru vasıtasıyla içerisine hava üflenmiş, hava verme işlemi yaklaşık olarak 10-12 saat sürdürülmüştür. Karışımın asidik ve bazik durumu pH 7 olacak şekilde içerisine H₂SO₄ ilave edilerek ve pH kağıdıyla sürekli kontrol edilerek ayarlanmıştır. İşlem sonunda ester beklemeye alınmış, bekleme sonunda su, sabun ve biyodizel olarak karışım üç faza ayrılmıştır. En üst kısımda kalan biyodizel ayrı bir kaba alınarak son işlem olan kurutma basamağına geçilmiştir. Kurutma işleminde biyodizel içerisindeki suyun buharlaştırılması için yaklaşık yarım saat 100 °C'de bekletilmiş ve biyodizel soğuduktan sonra bir kaba konarak depolanmıştır.

Üretim maliyeti incelendiğinde üretim basamakları kapsamında gerçekleştirilen uygulamalara bağlı olarak Tablo 4.1'de gösterilen değerler doğrultusunda bir hesaplama yapılmış ve üretim maliyeti 2.86 YTL/lt olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Üretimde kullanılan malzemeler ve birim fiyatları

Değerler	Birim Tanımlaması	Birim Fiyatı (YTL)
Bitkisel Yağ	lt	1.15
Metil Alkol	lt	7.20
Katalizör Madde	kg	4.00
Saf Su	lt	0.20
pH Kağıdı	Kutu (100 adet)	7.50
H ₂ SO ₄	lt	4.00
Elektrik Sarfiyatı	kW/h	0.1581

Dizel yakıtı fiyatına kıyasla yüksek çıkan sonuç, ürünlerin deneysel amaçlı olarak düşük miktarlardaki alımı neticesinde gerçekleşmiş olup, bu maliyet yüksek

miktarlardaki alımlarda oldukça düşük değerlere inebilmektedir. Bunun yanı sıra hesaplamalarda bitkisel yağ üretimi neticesinde elde edilen yan ürünlerin geri dönüşümü bu hesaba dahil edilmemiştir.

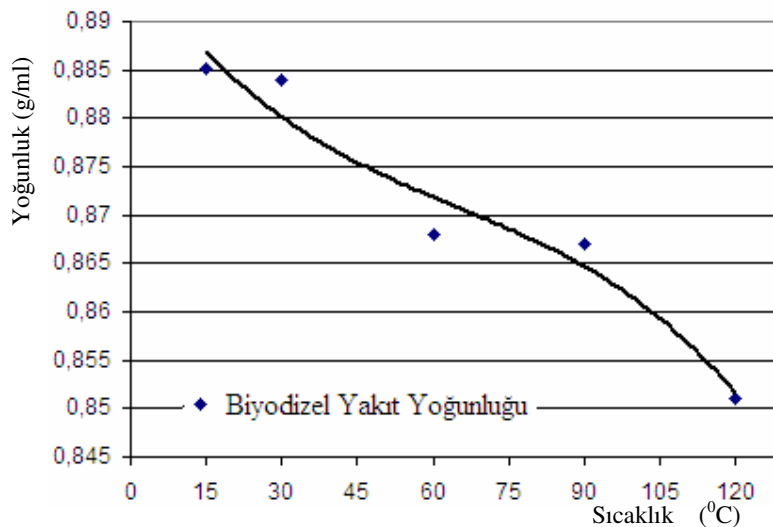
Üretilen yakıtın analizi ODTÜ Petrol Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır. Dizel yakıtının özellikleri ise TÜPRAŞ'tan alınmıştır. Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı özellikleri Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı yakıt özellikleri

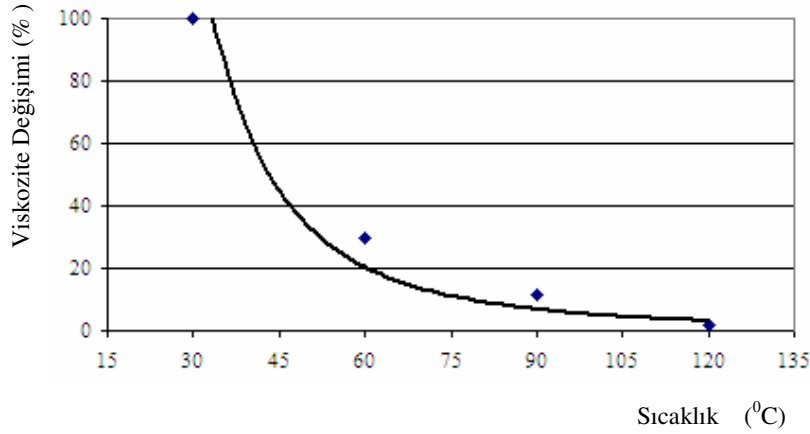
ÖZELLİKLER	DİZEL YAKITI	BİYODİZEL
Kinematik Viskozite 40°C'de (cst)	3,25 ^a	5,94
Alt Isıl değer (kJ/kg)	42550 ^a	36896
Yoğunluk 15°C'de (kg/l)	0,84 ^a	0,8851
Setan İndeksi	46 ^b	52,544
Alevlenme Noktası (°C)	55 ^b	200

^a TÜPRAŞ Tarafından garanti edilen değerlerin ortalaması ^b TÜPRAŞ Tarafından garanti edilen minimum değer c TÜPRAŞ Tarafından garanti edilen maksimum değer

Yakıtı uygulanan ön ısıtma neticesinde elde edilen yoğunluk ve viskozite değişimleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde sıcaklığın yakıt yoğunluğu ve viskozitesi üzerinde önemli oranda etsinin olduğu görülmekte, deney sonuçlarının da elde edilen değerlere bağlı olarak değişeceği düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Biyodizel yakıtın sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi



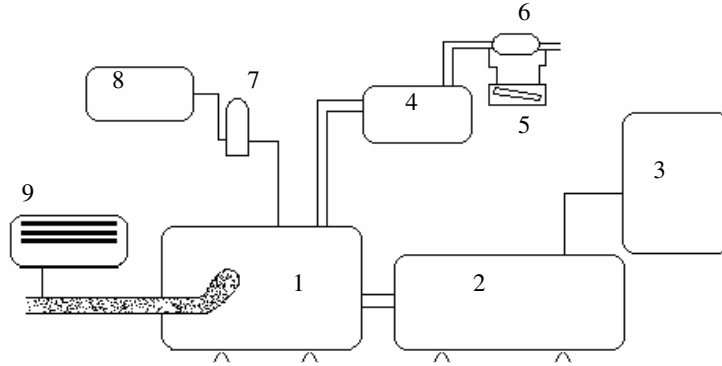
Şekil 4.3. Biyodizel yakıtın sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Üretilen biyodizel yakıtın 1 kg'ını istenilen sıcaklıklara ulaştırabilmek için verilmesi gereken ısı miktarı $Q=m.c_p.\Delta t$ formülüne esas alınarak hesaplanmış ve istenilen ön ısıtma sıcaklıklarına göre Tablo 4.3'teki değerler elde edilmiştir. Formülde kullanılan c_p özgül ısı değerleri Marta M. Conceição ve ark. [82] tarafından yapılan çalışma neticesinde elde edilen değerler doğrultusunda baz alınmıştır.

Tablo 4.3. Biyodizel yakıtın istenilen ön ısıtma sıcaklığına ulaşabilmesi için gereken ısı miktarları

Sıcaklık Değerleri	Verilmesi Gereken Isı Miktarı
60 °C	58.920 kJ/kgK
90 °C	128.1 kJ/kgK
120 °C	212.58 kJ/kgK

4.2. DeneY Düzeneyi



1. DeneY Motoru 2. Dinamometre 3. Kontrol Paneli 4. Hava Sönümleme Tankı 5. Eğik Manometre 6. Orifis Plakası 7. Hacimsel Yakıt Ölçer 8. Yakıt Deposu 9. Egzoz Emisyon Cihazı

Şekil 4.4. DeneY düzeneyinin şematik görünüşü

Motor deneyleri T.C. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 4.4'de deney düzeneğinin şematik görünüşü yer almaktadır.

4.2.1. Deney motoru

Deneylerde Antor (6 LD 400) marka tek silindirli, direk püskürtmeli, hava soğutmalı, bir dizel motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri Tablo 4.4'de, görünüşü de Şekil 4.5'te yer almaktadır.

Tablo 4.4. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Antor / 6 LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Silindir stroku (mm)	68
Toplam silindir hacmi (cm ³)	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum devir sayısı (devir/dakika)	3600
Maksimum Motor gücü (HP/ d/d)	8.5 / 3600
Maksimum döndürme momenti (Nm/ d/d)	20 / 2200



Şekil 4.5. Deney motorunun görünüşü

4.2.2. Dinamometre

Deneyler sırasında 3600 d/d'de maksimum 10 HP güce sahip elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometre Şekil 4.6'te, kontrol panosu ise Şekil 4.7'te görülmektedir.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü



Şekil 4.7. Kontrol Panosu

4.2.3. Hava debi ölçeri

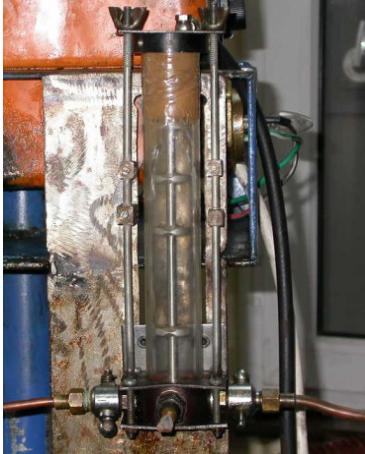
Deneylerde hava debisi ölçümü için eğik manometre kullanılmıştır. Şekil 4.8'da deneylerde kullanılan eğik manometre görülmektedir.



Şekil 4.8. Hava debisi ölçümü için kullanılan eğik manometre ve sönümleme tankının görünüşü

4.2.4. Yakıt debi ölçeri

Deney motorunun tükettiği yakıt miktarının bulunması için 25 ve 50 cm³'lük ölçüm yapabilen yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü kronometre yardımıyla hacimsel olarak ölçülmüştür. Şekil 4.9'de yakıt debi ölçeri yer almaktadır.



Şekil 4.9. Yakıt debi ölçeri

4.2.5. Ön ısıtma düzeneği

Deneylerde kullanılan biyodizel yakıtına ön ısıtma uygulanabilmesi için deney motoru girişine bir kelepçe ısıtıcı (0.611 kW) yerleştirilmiştir. İstenilen sıcaklık değerlerinin sabit tutulması için bir anahtar konumlandırılmıştır. ± 3 °C hassasiyetinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10'de ön ısıtma düzeneği görölmektedir.



Şekil 4.10. Yakıt ön ısıtma düzeneği

4.2.6. Egzoz emisyon cihazı

Deneyler sırasında MRU 95 3CD marka emisyon cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.11)



Şekil 4.11. Egzoz emisyon cihazı

4.2.7. Barometre

Deneyler esnasında Şekil 4.12'da görölen TFA marka bir barometre kullanılmıştır.



Şekil 4.12. TFA, barometre

4.2.8. Higrometre

Deneyler esnasında Şekil 4.13'da görülen TFA marka %1 hassasiyetinde bir higrometre kullanılmıştır.



Şekil 4.13. TFA, higrometre

4.2.9. Termometre

Deneyler esnasında 1⁰C hassasiyetinde çubuk termometre kullanılmıştır (Şekil 4.14). Aynı zamanda 1⁰C hassasiyetinde dijital termometre de deneylerde kullanılmıştır.



Şekil 4.14. Çubuk termometre

4.2.10. Kronometre

Deneyler esnasında 1 salise hassasiyetinde elektronik bir kronometre kullanılmıştır.

4.3. Deneyin Yapılışı ve Hesaplama Yöntemleri

4.3.1. Deneyin yapılışı

Deney motoru tam yük değişik hız testlerine tabi tutulmuştur. Deney aralıkları; 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200 devir/dakika olmak üzere 200 d/d aralıklı olarak belirlenmiştir. Deneylerde yakıt olarak motorin ve biyodizel (pamuk yağı metil esteri) kullanılmıştır. Biyodizele 60 °C, 90 °C ve 120 °C'lerde ön ısıtma uygulanmıştır.

Deneylerde motor performans kriterleri olarak; motor döndürme momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlendirmeleri yapılmıştır. Emisyon değerleri olarak karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO_x) ve is değerleri tespit edilmiştir.

Öncelikle motor karakteristiklerini belirlemek amacıyla motorin kullanılarak testler gerçekleştirilmiş ve daha sonra biyodizel testlerine geçilmiştir.

4.3.2. Hesaplama yöntemleri

4.3.2.1. Motor momenti (tork) ve efektif güç

Değişik uygulamalarla belirlenebilen döndürme momenti ve efektif güç çalışmamızda elektrikli bir dinamometre ile ölçülmüştür. Motor döndürme momenti ve güç hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır [76, 77]

$$M_d = F.l \quad (4.1)$$

$$P_e = \frac{M_d \times n}{9549,3} \quad (4.2)$$

- M_d : Döndürme momenti (Nm)
 F : Kuvvet (N)
 L : Kuvvet Kolu Uzunluğu (m)
 P_e : Efektif güç (kW)
 n : Motor devri (devir/dakika)

4.3.2.2. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT)

50 ve 25 cm³'lük hacimsel yakıt debi ölçeri ve kronometre yardımıyla, aşağıdaki eşitlik kullanılarak özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır [76]

$$b_e = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (4.3)$$

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y = Yakıt tüketimi (gr/h)

4.3.2.3. Hava fazlalık katsayısı

Birim ağırlıktaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına kimyasal olarak doğru veya stokiyometrik hava miktarı denilmekte ve $h_{\min} = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{teorik}}$ olarak ifade edilmektedir. Gerçek çalışma durumu ise, $h = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{gerçek}}$ olarak ifade edilmektedir. HFK ise gerçek hava/yakıt oranının teorik hava/yakıt oranına oranı olarak ifade edilmektedir [77].

$$\lambda = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_{\xi}}{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_t} = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_{\xi}}{h_{\min}} \quad (4.4)$$

λ : Hava Fazlalık Katsayısı

\dot{m}_h : Kütleli Hava Debisi (kg/s)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (kg/s)

4.3.2.4. Efektif verim

Efektif verim hesaplaması Denklem 4.5'ye göre yapılmıştır [76]

$$\eta_e = \frac{3,6 \times 10^6}{b_e \times H_u} \quad (4.5)$$

η_e : Efektif Verim (%)

H_u : Alt ısı değeri (kJ/kg)

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

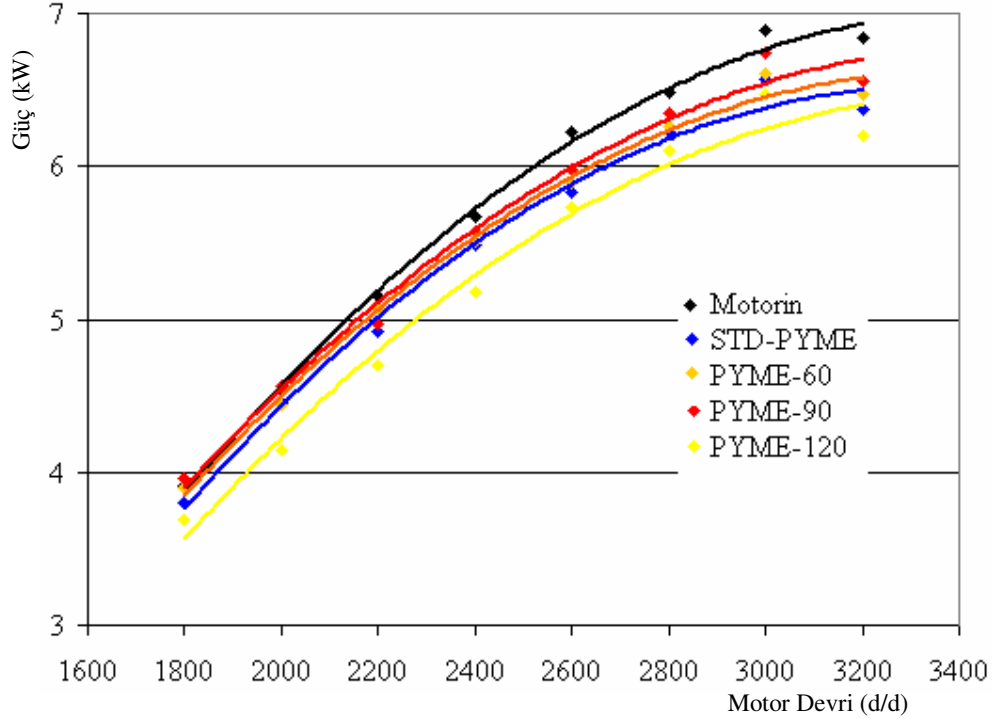
Farklı sıcaklıklarda biyodizele uygulanan ön ısıtmaya bağlı motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin incelenebilmesi için motor tam yükte değişik devirlerde (1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200) çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Biyodizelin (pamukyağı metil esteri) standart sıcaklığı 30 °C olup (STD-PYME), ön ısıtma sıcaklıkları 60 °C (PYME-60), 90 °C (PYME-90) ve 120 °C (PYME-120) olarak belirlenmiştir.

5.1. Efektif Güç

Standart motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel ile motor devrine bağlı olarak elde edilen motor efektif gücü değişimleri Şekil 5,1'de görülmektedir. Motor efektif gücü, motor devrine bağlı olarak gerek motorinde gerekse farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan tüm biyodizel değerlerinde artış göstermektedir. En yüksek efektif güç değerleri genel olarak motorin ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan bütün biyodizel değerlerine bakıldığında, motorine oranla daha düşük efektif güç değerleri saptanmıştır. Biyodizele uygulanan ön ısıtma motor efektif gücü artışına olumlu bir katkı sağlamıştır. Motorine göre STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtları ile motor efektif gücünde artış görülmekte, fakat buna karşın, PYME-120 yakıtı ile elde edilen motor efektif gücü değerlerinde tüm test aralıklarında belirgin bir azalma görülmektedir.

Düşük motor devirlerinde motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarının değerleri arasında çok fazla güç farkı bulunmamaktadır. 1800 d/d'de STD-PYME, PYME-60 ve PYME-120 yakıtları ile motorine oranla sırasıyla % 2.76, % 0.27 ve % 5.71 güç azalması, PYME-90 yakıtıyla % 1.37'lik bir efektif

güç artışı saptanmıştır. Motor devri artışına bağlı olarak motorin ve ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtlarının değerleri arasındaki efektif güç farkı artış göstermektedir. 3200 d/d'de STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla motorine göre elde edilen güç azalması sırasıyla % 7, % 5.41, % 4.25 ve % 9.38 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Efektif güç değişimi

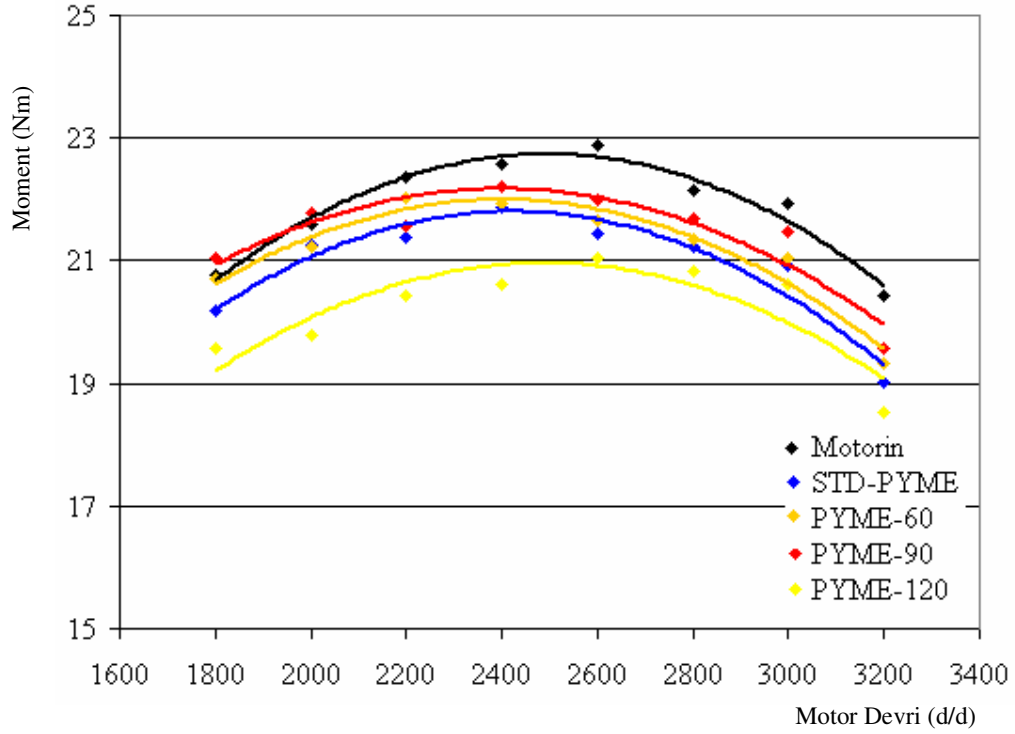
Tüm devirlerin ortalama efektif güç değişimleri hesaplandığında STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarının motorin değerlerine göre değişimleri sırasıyla % 4.26, % 3.1, % 1.92 ve % 7.59'luk azalmalar olarak belirlenmiştir. Ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel değerlerinin STD-PYME'ye göre değişimleri PYME-60 ve PYME-90 yakıtları için sırasıyla % 1.22 ve % 2.44 azalma şeklindedir. STD-PYME yakıtına göre PYME-120 yakıtı değerlerinde ise % 3.45 dolayında efektif güç azalması saptanmıştır. Ramadhas ve ark. [50] bitkisel yağlar ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtları ile yaptıkları çalışmalarında, biyodizel kullanımında motorine göre efektif güçte bir miktar düşüş meydana geldiğini belirlemişlerdir. Altıparmak ve ark. [78] tek silindirli, direk enjeksiyonlu dizel bir motorda mısır yağı metil esteri üzerinde çeşitli çalışmalar yapmış, biyodizel

kullanımında motorine oranla motor gücünde ortalama % 4.65 oranında bir düşüş tespit etmişlerdir. Haşimoğlu [77], ayçiçek metil esteri kullanarak yaptığı çalışmalarda biyodizelde motorine oranla daha düşük efektif güç değerleri elde edildiğini belirtmiştir.

Biyodizelin düşük ısı değerinden dolayı motorine oranla efektif güçte daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Ön ısıtma 90 °C'ye kadar yakıt viskozitesinde azalma meydana getirdiğinden dolayı motor efektif gücünde önemli artış sağlamıştır. Bu, yakıtın damlacık çaplarının azalması ve daha iyi karışım sonucu yanmanın iyileşmesinin bir neticesi olarak belirtilebilir. 120 °C'deki ısıtmada ise yoğunluk ve karışımın ısı değerinin azalmasından dolayı motor efektif gücünde düşüşe sebep olduğu belirtilebilir. Ayrıca 120 °C'deki ön ısıtmada aşırı viskozite azalmasına bağlı olarak yakıt sisteminden geri dönüşlerin arttığı gözlemlenmiştir. Bu da PYME-120 ile yapılan testlerde ortaya çıkan güç azalmasının önemli bir sebebi olarak belirtilebilir.

5.2. Motor Döndürme Momenti

Motor devrine bağlı, motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtları ile elde edilen motor döndürme momenti değişimleri Şekil 5.2'de görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi test edilen tüm yakıtlarda düşük ve yüksek devirlerde döndürme momentleri orta devirlerdeki değerlere göre bir miktar düşük elde edilmiştir. En yüksek döndürme momenti değerleri motorin ile elde edilmiş, en düşük değerler ise PYME-120 yakıtı ile elde edilmiştir. STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtları ile yapılan deneylerde ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak motor momentinde iyileşme görülmüştür. Bu iyileşme test edilen tüm motor devirleri için geçerli olmuştur. Altıparmak ve ark. [78] tek silindirli direk enjeksiyonlu dizel bir motorda yaptıkları çalışmalarında, motor döndürme momentinde ortalama olarak %4.5 oranında bir düşüş tespit etmişlerdir. Çetinkaya ve ark. [48] tek silindirli, direk enjeksiyonlu, dizel bir motorda biyodizel kullanarak yaptıkları çalışmalarında, biyodizel oranına bağlı olarak, testler sonucunda motor döndürme momentinde düşüşlerin meydana geldiği sonucunu elde etmişlerdir.



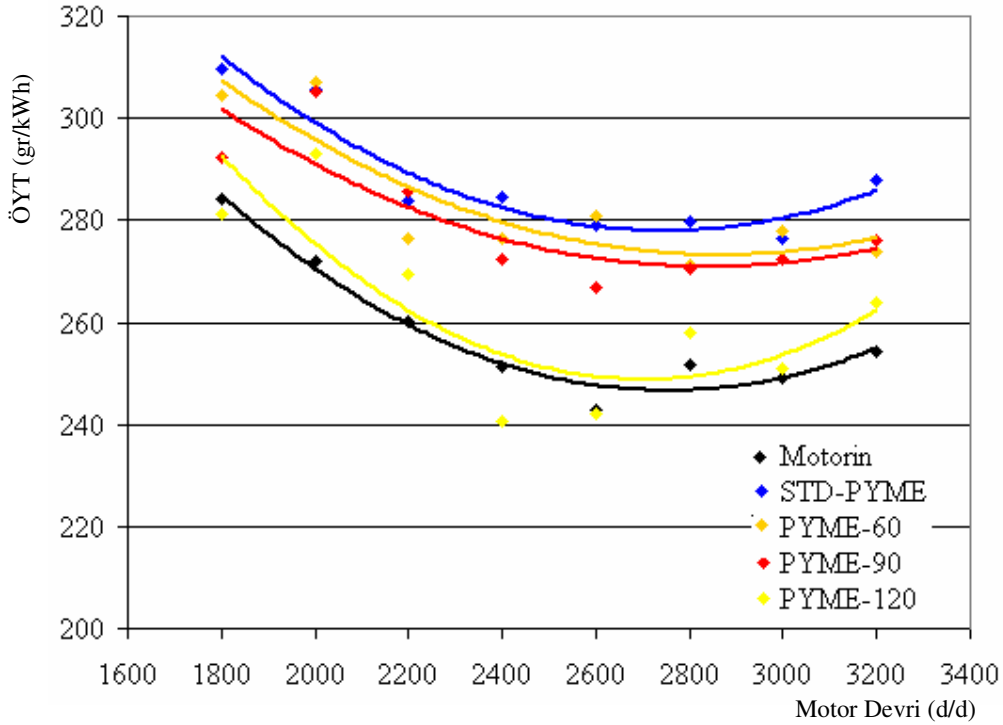
Şekil 5.2. Motor döndürme momenti değişimi

Motorin değerleri baz alındığında 1800 d/d'de STD-PYME, PYME-60 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilen değerler için motorine oranla sırasıyla % 2.76, % 0.27 ve % 5.71 moment azalması ve PYME-90 yakıtında ise % 1.37'lik bir moment artışı tespit edilmiştir. Maksimum motor döndürme momentinin elde edildiği durumda motorine göre STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilen değerlerde sırasıyla % 3.14, % 2.84 % 1.63 ve % 8.60 oranlarında azalma ortaya çıkmıştır. 3200 d/d'de ise motorine oranla STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 değerlerinde sırasıyla % 7, % 5.4, % 4.25 ve % 9.38 azalma tespit edilmiştir. Bütün motor devirleri göz önüne alındığında motorine göre STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 ile elde edilen değerlerde ortalama % 4.26, % 3.1, % 1.92 ve % 7.5 değerlerinde azalma görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizelde STD-PYME değerleri baz alındığında, PYME-60 ve PYME-90 ile sırasıyla % 1.22 ve % 2.44 oranlarında artış gerçekleşmekte; ancak PYME-120 ile % 3.45 oranlarında azalma ortaya çıkmaktadır.

Motor döndürme momenti değişimleri göz önüne alındığında, ön ısıtmanın motor döndürme momentinin iyileştirilmesinde olumlu bir etki sağladığı anlaşılmaktadır.

Ancak bu etki 90 °C'ye kadar yapılan ön ısıtmalarda önem kazanmıştır. Bu sıcaklıktan sonra yapılan ısıtmada motor döndürme momentinde herhangi bir iyileşme elde edilememekte, tersine azalma görülmektedir. Bu etkinin önemli bir sebebi olarak yakıtın ısıtılması neticesinde viskozitesinin ve yoğunluğunun önemli oranda azalması gösterilebilir. 90 °C'ye kadar yapılan ön ısıtmalarda viskozite azalması yakıt ve havanın daha iyi karışmasıyla daha iyi bir yanmaya sebep olmaktadır. Bu da motor gücü ve motor döndürme momentindeki iyileşme olarak kendisini göstermektedir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi 90 °C üzerinde olan ısıtmada viskozite ve yoğunluk azalmasına bağlı olarak yakıt geri dönüşünün artışı ve karışımın ısıl değerinin azalması kendini belirgin bir motor döndürme momenti azalması olarak göstermektedir.

5.3. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)



Şekil 5.3. Özgül yakıt tüketimi değişimi

ÖYT değerleri genellikle düşük ve yüksek motor devirlerinde daha yüksek değerlerde, orta motor devirlerinde ise minimum değerlerde görülmektedir. Motor

devrine bağlı olarak, motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtının ÖYT değişimi Şekil 5.3'te görölmektedir.

Minimum ÖYT değerleri motorin ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutularak test edilen biyodizel yakıtlarının ÖYT değerlerinde ısıtmaya bağlı olarak düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel değerleri incelendiğinde en düşük ÖYT değerleri PYME-90 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilmiştir. En yüksek ÖYT değerleri ise STD-PYME ile yapılan testlerde elde edilmiştir. motorine oranla STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilen değerler incelendiğinde ortalama olarak sırasıyla % 11.72, % 9.89, % 8.58 ve % 1.58 oranlarında ÖYT artışı şeklinde tespit edilmiştir.

Çanakçı [79] tek silindirli, direk enjeksiyonlu, turbo şarjlı bir dizel motorda biyodizel üzerinde çeşitli çalışmalar yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmalarda ÖYT değerlerinde ortalama % 11.9 oranında artış belirlemiştir. Altıparmak ve ark. [80] tek silindirli dizel bir motor üzerinde yaptıkları çalışmalara bağlı olarak biyodizel kullanılması sonucunda dizel yakıtına kıyasla ÖYT değerlerinde ortalama % 9 oranlarında artış olduğunu belirlemiştir. Antolin [63] ve ark. ayçiçek metil esteri kullanarak yaptıkları çalışmalarda, biyodizel kullanılması sonucunda elde ettikleri ÖYT değerlerinin motorin değerlerine kıyasla yaklaşık olarak % 20 oranında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Haşimoğlu [78], tek silindirli direk enjeksiyonlu dizel bir motorda ayçiçek metil esteri üzerinde çalışmalar yapmış; ve motorine göre biyodizelin sahip olduğu ısıl değerin düşük olmasından dolayı ÖYT'de artışların belirlendiğini ifade etmiştir.

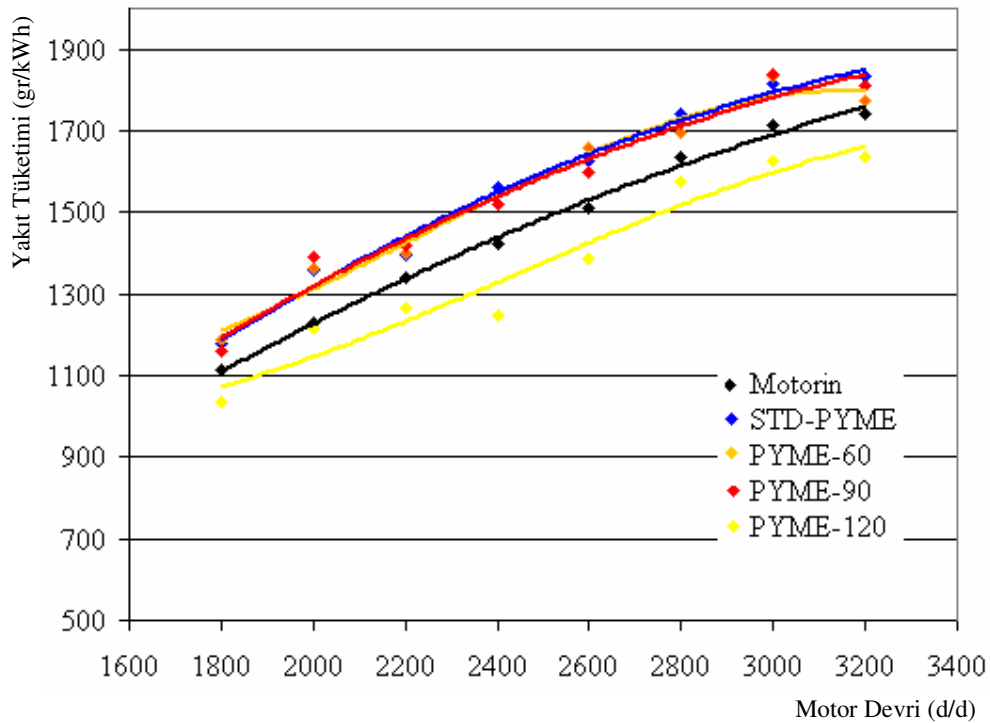
Ön ısıtma uygulanan biyodizel değerleri STD-PYME baz alınarak değerlendirildiğinde, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilen değerler arasındaki genel ortalama değişimleri sırasıyla % 1.64, % 2.83 ve % 9.04 azalma olarak saptanmıştır. Isıtmanın ÖYT'nin iyileşmesinde önemli oranda etkili olduğu görölmektedir.

Burada 120 °C'de yapılan ön ısıtmada ÖYT'de motorine yakın değerler görölmektedir, ancak 120 °C'de yapılan ön ısıtmada motor efektif gücü ve motor

döndürme momentinde önemli oranlarda ön ısıtma uygulanan diğer test yakıtlarına göre bir düşüş belirlenmiştir. Motor gücü ve döndürme momentindeki bu azalmaya rağmen ÖYT’de elde edilen değerler, deneyler esnasında PYME-120’nin ortaya koyduğu aşırı miktarda yakıt geri dönüşünün bir sonucu olarak açıklanabilir.

5.4. Yakıt Tüketimi

Motorin ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanmış biyodizel yakıtların motor devrine bağlı yakıt tüketimi değişimleri Şekil 5.4’te görülmektedir.



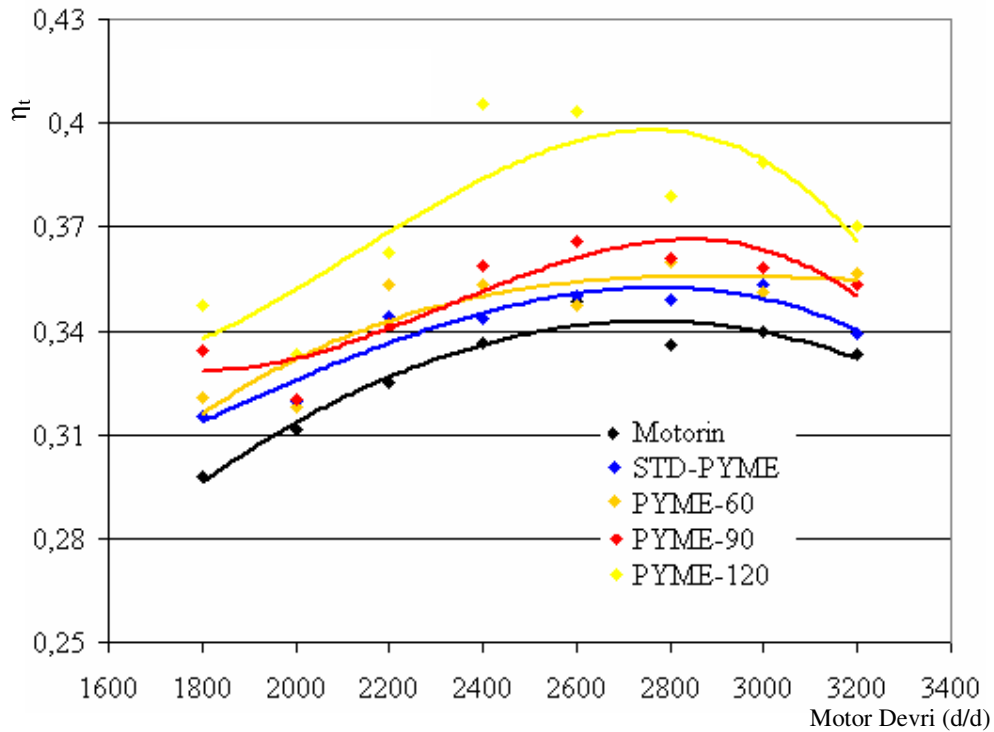
Şekil 5.4. Yakıt tüketimi değişimleri

Genel bir eğilim olarak motor devri ile yakıt tüketimi tüm test yakıtları için artış göstermektedir. Motorine göre farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtlarının değerleri PYME-120 yakıtı haricindeki diğer test yakıtlarında yakıt tüketiminde artış olarak görülmektedir. STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtları için kendi aralarında çok belirgin bir fark görülmemektedir. Motorine göre STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtları ile elde edilen değerler arasında ortalama olarak % 6.94, % 6.46 ve % 6.47 oranlarında artış belirlenmiştir.

PYME-120 yakıtı ile elde edilen değerlerde ise motorine oranla bütün değerler göz önüne alındığında ortalama % 6.14 oranında azalma belirlenmiştir. STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtları ile elde edilen yakıt tüketimi değerlerindeki artış, biyodizelin motorine oranla daha düşük ısısal değere sahip oluşundan kaynaklanmaktadır. PYME-120 yakıtında elde edilen yakıt tüketimi değerlerindeki düşüşünün sebebinin ise aşırı ısınmadan kaynaklanan aşırı viskozite düşüklüğüne bağlı olarak geri dönüş hattında görülen artışın sebep olduğu gösterilebilmektedir.

5.5. Efektif Verim

Şekil 5.5'te motor devrine bağlı motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtının efektif verim değişimleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Efektif verim değişimleri

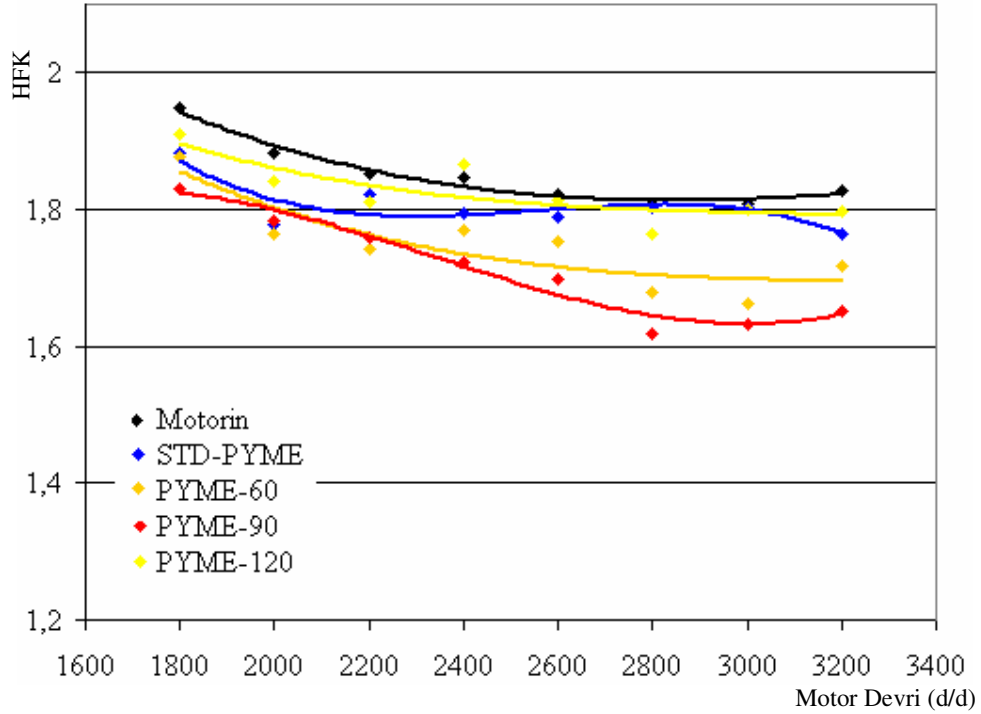
Genel bir eğilim olarak motorun düşük ve yüksek devirlerinde motorun orta devirlerde çalışmasına göre efektif verim değerleri düşme göstermektedir. En düşük efektif verim değerleri motorin yakıtıyla elde edilmiştir. Ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarıyla daha yüksek efektif verim değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Ön ısıtma sıcaklık değerleri arttıkça yakıttan elde edilen efektif verim değeri de artma eğilimi göstermektedir. Bu bağlamda PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla diğer tüm test yakıtlarından daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bütün devir aralıkları göz önüne alındığında motorin yakıtı baz alınırsa

STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla sırasıyla % 3.32, % 5.09, % 6.34 ve % 13.72 oranlarında efektif verim artışı saptanmıştır. Burada ön ısıtma yoğunluğu ve viskozitesi azalan biyodizel yakıtının yanma karakteristiklerinin iyileştiği ve sonuçta efektif verim değerlerinin arttığı söylenebilir. Motorine göre biyodizelin efektif verim değerlerinin artmasında önemli bir etken olarakta, diğer performans parametrelerinin iyileşmesinde olduğu gibi biyodizelin O₂ içeriği gösterilebilir. STD-PYME yakıtı baz alındığında ise PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla sırasıyla % 1.71, % 2.93 ve % 10.11 oranlarında artış görülmektedir.

5.6. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)

Motorin ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtlarının tam yük testleri sonucu elde edilen motor devrine bağlı HFK değişimleri Şekil 5.6'da verilmektedir. Elde edilen tüm değerler göz önünde bulundurulduğunda motor devri artışına bağlı olarak HFK'nın azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum HFK değerleri motorin ile elde edilirken PYME-90 yakıtı ile minimum HFK değerleri elde edilmiştir. Ortalama HFK değerleri motorin baz alındığında STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtları ile elde edilen değerlerde sırasıyla % 2.37, % 5.61, % 7.42 ve % 1.32 oranlarında düşüş olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.6. HFK değişimleri

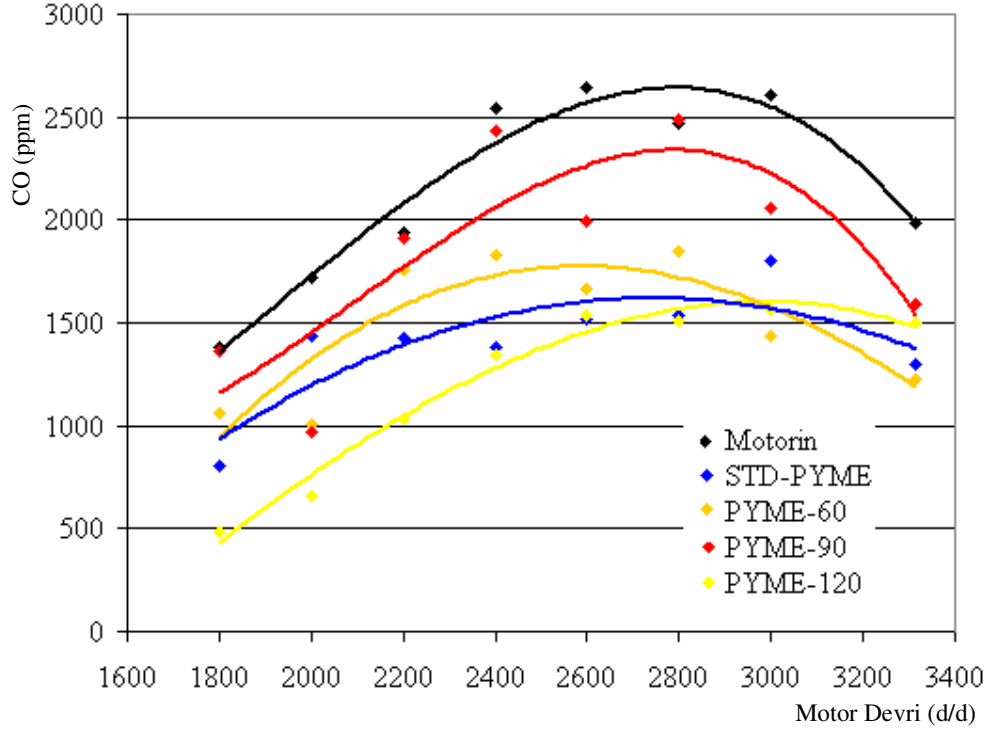
Biyodizelin sahip olduğu ısıl değer motorinin sahip olduğu değerden daha düşük bir değere sahip olmasına bağlı olarak, aynı motor performansının elde edilebilmesi amacıyla motora daha fazla yakıt gönderilmesi HFK'nın motorin kullanımından daha düşük değerler göstermesine sebep olmaktadır. Biyodizelin ısıtılması neticesince yakıt viskozitesi düşmekte ve silindire alınan yakıt miktarı arttığından HFK düşüş göstermektedir. Ancak PYME-120 yakıtı ile ölçülen yakıt tüketim değerleri düşük olduğundan HFK değerleri diğer ön ısıtma sıcaklıklarındaki biyodizel değerlerine göre daha yüksek değerler göstermektedir.

5.7. CO Emisyonu

Şekil 5.76'de motorin ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların motor devrine bağlı CO emisyonları değişimi verilmektedir. CO emisyonu genellikle motorun 2400 – 3000 d/d aralıklarında düşük ve yüksek devirlere göre daha yüksek değerler göstermektedir. CO emisyonu değişimi göz önüne alındığında, en yüksek değerler motorin yakıtı ile elde edilmiştir. Baldassari ve ark [53] 6 silindirli turboşarjlı dizel bir motorda kolza yağı ve kolza yağı metil esterleri

üzerinde yaptıkları çalışmalarda elde ettikleri değerler neticesinde, motorine oranla CO emisyonlarında belirgin azalmalar tespit ederek, bu değerleri ortalama % 9 oranında ifade etmişlerdir. Schumacher [58] 3.3 lt, direk enjeksiyonlu su soğutmalı dizel bir motorda soya metil esteri kullanarak çeşitli çalışmalar yapmış ve çalışmalarını neticesinde biyodizel yakıtında motorine kıyasla CO emisyonunda % 32 oranlarında bir düşüş saptamıştır.

Ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtlarda ise daha düşük CO emisyonu değerleri elde edilmiştir. Ortalama değerler göz önüne alındığında motorin yakıtına göre STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla elde edilen değerler sırasıyla % 34.42, % 30.82, % 14.40 ve % 45.66'lık azalma olarak tespit edilmiştir. Motorine en yakın değerler PYME-90 yakıtıyla, en düşük değerler ise PYME-120 yakıtıyla elde edilmiştir. STD-PYME yakıtına göre PYME-60 ve PYME-90 yakıtlarıyla sırasıyla ortalama olarak % 7.69, % 34.44 artış belirlenmiştir. PYME-120 yakıtında ise STD-PYME yakıtına göre % 15.37 oranında bir düşüş saptanmıştır.

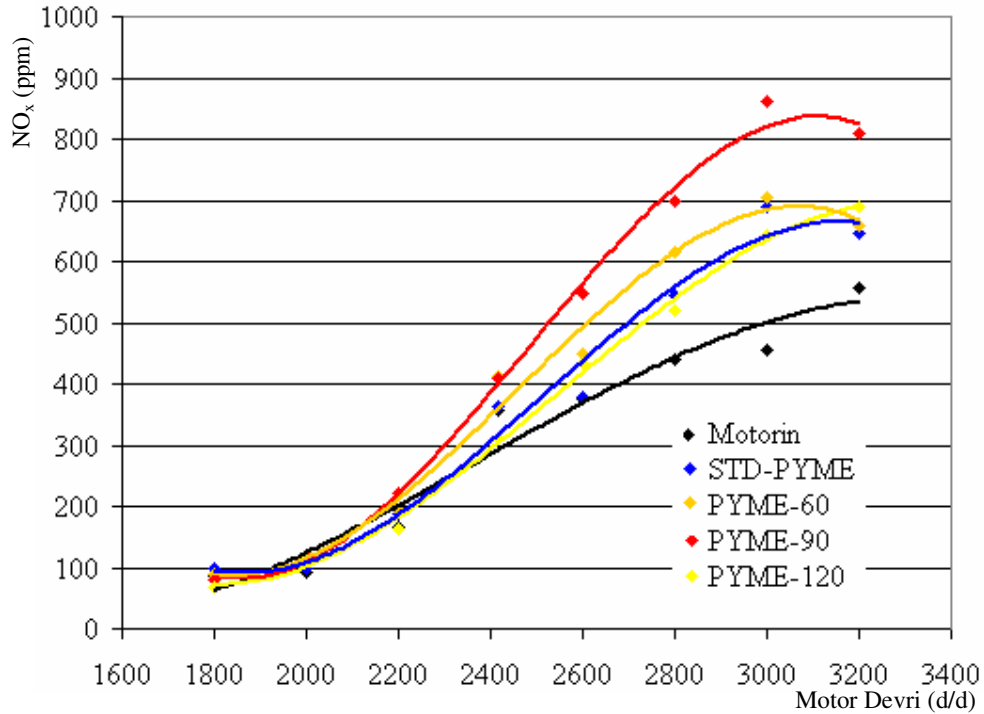


Şekil 5.7. CO emisyonu değişimleri

CO emisyonunun biyodizel kullanımında azalmasının ana sebebi molekül yapısında O_2 bulunması ve setan sayısının dizel yakıtına göre yüksek olması sonucu iyileşen yanma karakteristikleridir. Motorun test edildiği düşük ve yüksek devirlerinde ön ısıtma uygulanan yakıtlar için CO emisyonları birbirine daha yakın değerler göstermektedir. Ön ısıtma uygulanan yakıtların HFK değerlerine bağlı olarak CO emisyonu değerleri de değişmektedir.

5.8. NO_x Emisyonu

NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı olarak motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtlara göre değişimi Şekil 5.8’de görülmektedir. Genel eğilim motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonlarının artışı yönündedir. Burada düşük motor devirlerinde tüm test yakıtlarında daha yakın değerler elde edilirken motor devrinin artışına bağlı olarak emisyon değerleri arasındaki fark büyümektedir.



Şekil 5.8. NO_x emisyonu değişimleri

1800 d/d’de motorin yakıtına göre STD-PYME ve PYME-60 yakıtları ile NO_x emisyonlarında sırası ile % 14.12 ve % 5.88 artış, PYME-90 ve PYME-120

yakıtlarıyla ise % 4.7 ve % 18.82 oranlarında bir azalma gözlenmiştir. 3200 d/d'de ise yakıtlar arasında ölçülen NO_x emisyon değerleri STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla motorine göre sırasıyla % 15.59, % 18.28, % 44.98 ve % 23.66 oranlarında artış olarak belirlenmiştir. Bütün motor devirleri göz önüne alındığında motorine oranla ortalama değerleri ise STD-PYME, PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarıyla sırasıyla % 16.09, % 24.44, % 39.01 ve % 11.21 artış olarak belirlenmiştir. Kalam ve ark. [61], hindistancevizi yağından elde ettikleri metil ester yakıtının testleri sonucunda NO_x emisyonlarında motorine oranla ortalama % 8.42 oranında bir artış belirlemişlerdir. Rahemon ve ark. [59] tek silindirli, su soğutmalı direk enjeksiyonlu 7.5 kW'lık dizel bir deney motorunda karanja metil esteri kullanmışlar ve çalışmaları sonucunda, NO_x emisyonlarında motorine oranla % 26 oranlarında artış belirlemişlerdir.

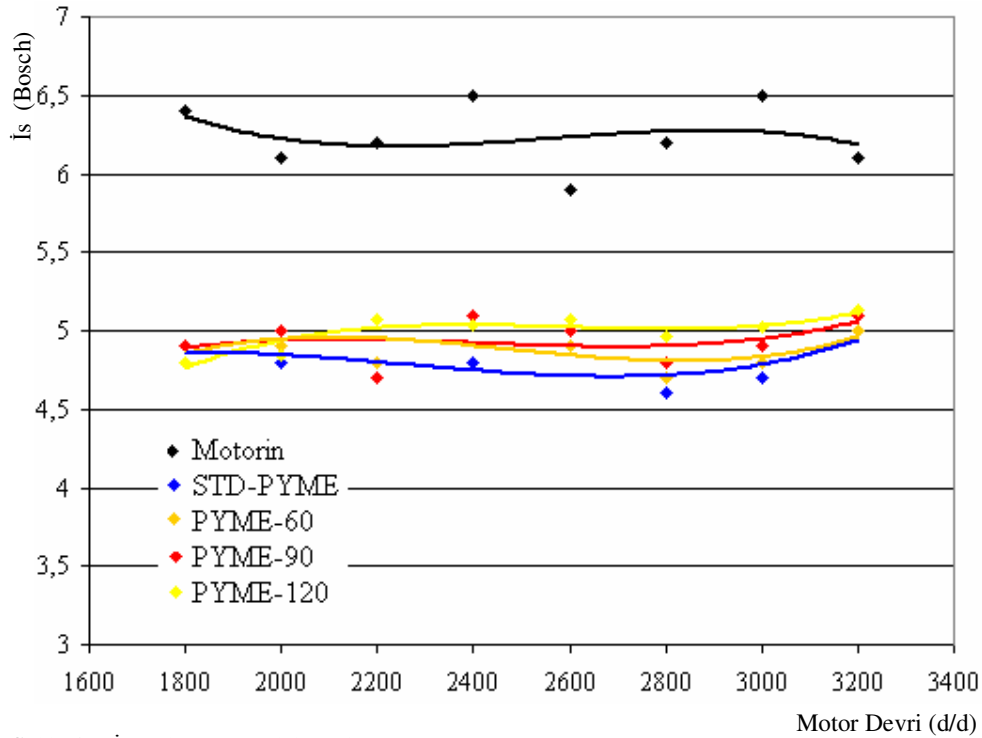
Genel eğilim ön ısıtma uygulanan yakıtlar için de geçerli olarak görülmüştür. Yakıtın ısıtılmasına bağlı olarak NO_x emisyonlarında artış ortaya çıkmıştır. Bu artış 30 °C, 60 °C, 90 °C ve 120 °C sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimine sahiptir. STD-PYME yakıtına göre bütün test aralıkları göz önüne alındığında ön ısıtma yapılan PYME-60 ve PYME-90 yakıtlarında sırasıyla % 7.67 ve % 19.68 oranlarında artış saptanırken, PYME-120 yakıtıyla % 3.82 oranında küçük bir azalma belirlenmiştir.

Motorin yakıtına göre NO_x emisyonlarındaki artışın önemli bir sebebi biyodizelin içerdiği O₂ miktarıdır. Çünkü NO_x emisyonunun artışında en önemli iki etken yakıtın birleşecek yeterli O₂ bulması ve yanma sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Egzoz sıcaklıklarının yani yanma sıcaklıklarının biyodizel yakıtlarında motorine oranla bir miktar düşük olduğu yapılan çalışmalarda sıklıkla vurgulanmaktadır. Biyodizel yakıtları ile yaptığımız testler esnasında da motorine oranla egzoz sıcaklıklarında benzer şekilde bir miktar düşüş olduğu gözlenmiştir. Burada en önemli etken yakıtın O₂ içeriği olarak görülmektedir. Çanakçı ve ark. [80], biyodizel kullanımındaki NO_x artışının, püskürtme basıncına daha erken ulaşılması sonucu yanmanın erken başlaması olarak değerlendirmektedir. Avans artışının NO_x emisyonlarının azalmasında bir çözüm olacağını belirtmektedir.

Ön ısıtma yapılan biyodizel yakıtlarındaki NO_x değişimi incelendiğinde, STD-PYME, PYME-60 ve PYME-90 yakıtlarındaki motora gönderiliş esnasındaki sıcaklık artışı silindir içi sıcaklıklara etki etmekte, ayrıca karışımın daha iyi oluşması ve yanma sıcaklıklarında artışa neden olmaktadır. Bu da ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtların sıcaklık artışına bağlı olarak NO_x artışı şeklinde kendini göstermektedir. PYME-120 yakıtında ise silindire gönderilen daha az yakıtla bağlı olarak silindir içi sıcaklıkların düşmesi NO_x emisyonlarındaki değişim olarak kendini göstermektedir.

5.9. İS Emisyonu

Motor devrine göre motorin ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarının motor devirlerine göre is emisyonu değişimleri Şekil 5.9'da görülmektedir. Genel olarak bakıldığında bütün motor devirlerinde motorinle elde edilen is emisyonu değerlerinin ön ısıtmaya tabi tutulan tüm biyodizel yakıtı ile elde edilen değerlerden oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Dizel motorları benzinli motorlara göre daha yüksek HFK değerleri ile çalışmakta, ancak karışımın oluşumu ve yanması, yanma zamanı süresince silindire püskürtülen yakıt ile sağlanmaktadır. Yüksek HFK'ya rağmen karışımın oluşum süresinin kısalığından dolayı silindir içerisinde yakıt demetinin bir kısmı havayla yeterince karışmamakta ve bu damlacıkların yanması tam olarak gerçekleşemediğinden is emisyonu meydana gelmektedir. Biyodizel yakıtının motorine oranla çok önemli bir özelliği olan % 10 dolaylarındaki O_2 içeriği sebebiyle yakıt damlacıklarının oksidasyonu daha iyi olduğundan bu da kendisini is emisyonunda azalma olarak göstermektedir. Altıparmak ve ark. [78], yaptıkları çalışmada biyodizelin motorine oranla is emisyonunda yaklaşık % 30 oranında bir azalma belirlemişlerdir. Çanakçı ve ark. [51], yaptıkları bir çalışmada, biyodizel kullanımında motorine oranla is emisyonunda yaklaşık % 50 civarında azalma tespit etmişlerdir. Puhan ve ark [81] mahua yağı metil esteri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, is emisyonunda motorine oranla % 11 düşüş tespit etmişlerdir.



Şekil 5.9. İis emisyonu değışimleri

İis emisyonu değerlerine bakıldığında tüm test aralıkları göz önüne alındığında motorine göre ortalama olarak STD-PYME, PYME-60, PYME-90, ve PYME-120 yakıtlarında sırasıyla % 22.94, % 21.56, % 20.75 ve % 19.88 oranlarında bir azalma tespit edilmiştir. Farklı ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarında elde edilen is emisyonları incelendiğinde, ısıtmanın kısmen de olsa is emisyonu üzerinde bir etkisi olduğu görülmektedir. STD-PYME yakıtı baz alındığında ise PYME-60, PYME-90 ve PYME-120 yakıtlarında sırasıyla % 1.84, % 2.88 ve % 4.03 oranlarında artış olmaktadır.

İis emisyonu oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hava ile karışamaması ve buharlaşmaması olarak bilinmektedir. Ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtların is emisyonları kendi aralarında karşılaştırıldığında belirgin bir fark görülmemektedir. Ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtların sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkan HFK değışimlerinden dolayı, silindir içerisinde yeterli havanın bulunamaması neticesinde is emisyonunda bir miktar değışim görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Petrol kaynaklarının azalması, başta büyük kentler olmak üzere birçok kentte hava kirliliğinin artması gibi ana etkenler dolayısı ile alternatif motor yakıtlarına bir yönelim olmaktadır. Özellikle motor yakıtlarının yerel kaynaklardan üretilebilme ihtiyacı ve ekolojik dengenin korunabilmesi gibi kavramlar biyoyakıtların önemini arttırmaktadır. Bu alternatif yakıtlar arasında dizel yakıtına yakın fiziksel özelliklere sahip biyodizel önemli ölçüde dikkat çekmektedir. Yapılan bu çalışmada Türkiye’de üretimi yaygın olarak yapılan ve fiyat bakımından diğer yağlara göre önemli oranda avantaja sahip bulunan pamuk yağı, biyodizel üretimi için kaynak olarak düşünülmüştür. Bu amaçla rafine pamuk yağı kullanılarak transesterifikasyon metoduyla biyodizel (pamuk yağı metil esteri) elde edilmiştir. Elde edilen yakıtın fiziksel özellikleri yapılan testlerle belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen biyodizel yakıtı farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutularak, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, direk enjeksiyonlu, bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutulmuş, motorin yakıtı kullanılarak elde edilen sonuçlarla, farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtı arasındaki fark karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir.

Üretilen pamuk yağı metil esterinin yakıt özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar testleri sonucunda; biyodizel kinematik viskozitesinin motorine göre yaklaşık 1.82 kat fazla, yoğunluğunun % 5.36 daha yüksek, alevlenme noktasının ise yaklaşık 3.63 kat fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanında alt ısı değerinin yaklaşık % 13.28 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bitkisel yağların saf olarak kullanımında yakıt özellikleri motorinden çok farklı olmaktadır. Ancak görüldüğü gibi esterleştirilen yağların yakıt özellikleri motorine benzer değerlere yaklaşmaktadır. Benzer sonuçlar daha önceleri yapılan çalışmalarda belirtilmektedir.

Motor testlerinin yapılması sürecinde biyodizel kullanımında ilk harekete geçiş, ivmelenme ve yavaşlama süresince herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır.

Motor biyodizelle çalıştırıldığında, motorinle çalıştırılmaya benzer karakteristikler sergilemiştir. Daha önceki çalışmalarda belirtilen yakıt hatlarındaki ve malzemelerdeki bozulma; yapılan kısa süreli testler sonucunda görülmemiştir. Yalnızca yakıtın aşırı ısıtılmasında yakıt geri dönüşünün arttığı gözlemlenmiştir.

Biyodizel kullanımında özellikle düşük motor devirlerinde motorine daha yakın değerler elde edilirken, motor devrinin artışına bağlı olarak orta ve yüksek devirlerde motorine oranla daha düşük motor efektif gücü ve döndürme momenti değerleri elde edilmiştir. Burada özellikle viskozite ve yoğunluğun yüksek olması sebebiyle motorun yüksek devirlerindeki karışım hazırlanma ve yanma sürecinin kısılmasına bağlı olarak güç ve momentteki azalma belirgin olmaktadır. Biyodizel yakıtının ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla viskozite ve yoğunluk değerleri azalmakta bu da kendisini bütün motor devirlerinde güç ve efektif momentteki artış olarak göstermektedir. Özellikle PYME-90 yakıtıyla bütün ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtlar arasında motorine yakın en iyi güç ve moment değerleri elde edilmiştir. 120 °C'de yapılan ön ısıtma sonucunda viskozite azalmasına bağlı olarak yakıt geri dönüşündeki aşırı artış motorda güç ve moment değerlerinin azalması şeklinde kendisini göstermiştir.

Biyodizelin motorinden farklı olarak belirgin özelliklerinden bir tanesi yaklaşık % 10 oranlarında O₂ içeriğine sahip olmasıdır. Bunun yanında biyodizelin alt ısı değeri motorinin alt ısı değerinden %13.28 kadar düşüktür. Bu özellik, yapılan testlerde biyodizel kullanımında motorine oranla yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminde artış olarak kendisini göstermiştir. Biyodizelin ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla ÖYT değerleri düşme eğilimi göstermiştir. Burada ön ısıtmaya bağlı olarak ÖYT değerlerinin düşmesi, sıcaklığa bağlı olarak viskozite ve yoğunluğun azalması ve daha iyi atomizasyon neticesinde yanma karakteristiklerindeki iyileşmenin bir göstergesi olarak kendisini göstermektedir.

HFK değerleri motorine göre ortalama olarak daha düşük değerler göstermiştir. Ön ısıtmaya tabi tutulan yakıt sıcaklığının artışına bağlı olarak HFK değerleri düşme eğilimi göstermiştir. Burada önemli bir etken olarak, silindire gönderilen yakıt sıcaklığına bağlı ortalama silindir içi sıcaklıklarının yükselmesi ve içeri alınan

havanın azalması görülmektedir. 120 °C gibi ön ısıtmada ise aşırı geri dönüşe bağlı olarak yakıt tüketiminin azalması sonucu HFK artışı gözlemlenmiştir.

Deneylerde biyodizel kullanımı sonucu CO emisyonlarında motorin yakıtına göre belirgin bir azalma saptanmıştır. Ortalama değerlere bakıldığında CO emisyonları ile PYME-90 yakıtıyla en yüksek CO değerleri elde edilmiştir. Düşük ve orta motor devirlerinde ön ısıtmaya tabi tutulan yakıtlarla ilgili elde edilen CO değerleri farklı değerler gösterirken, bu değerler yüksek devirlere yaklaştıkça birbirlerine yakın olarak belirlenmiştir. CO emisyonları, HFK ve yanma verimine göre değişebilmektedir. Burada biyodizelin içerdiği O₂'ye bağlı olarak yanmanın iyileşmesi CO emisyonlarının azalması için en önemli sebep olarak görülmektedir. Ayrıca ön ısıtmanın CO emisyonlarının azalması yönünde önemli etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Biyodizel kullanımı göz önüne alındığında, motorin kullanımına göre NO_x emisyonlarında belirgin artışlar görülmüştür. Düşük motor devirlerinde yakıtlar arasında NO_x emisyonlarında belirgin farklılıklar görülmemekte; orta ve yüksek devirlerde ise bu fark belirginleşmektedir. Yakıtın ısıtılması NO_x artışı için önemli bir etken olarak görülmüştür. 90°C'den sonra yapılan ısıtmada ise maksimum sıcaklıkların düşüşüne bağlı olarak NO_x emisyonlarında belirgin bir azalma olmaktadır.

Diğer motor performans parametrelerini etkilediği gibi biyodizelin O₂ içeriği is emisyonlarını da olumlu etkilemektedir. Biyodizel kullanımı sonucu yakıtın oksidasyonunun iyileşmesi neticesinde is emisyonlarında azalmalar tespit edilmiştir. Motor devrine bağlı olarak biyodizelin is emisyonu değerleri motorine oranla daha düşük elde edilmiştir. Ön ısıtma uygulanan yakıtlar arasında ise belirgin farklılıklar görülmemiştir. Elde edilen is değerlerinin ön ısıtmada uygulanan sıcaklık değerine göre düşük de olsa artış gösterdiği belirlenmiştir.

Efektif verim değerlerinde ÖYT değerlerine bağlı olarak, biyodizel yakıtları ile motorine oranla daha yüksek değerler elde edilmiştir. Biyodizel ve motorin arasında %13.28 ısı verim farkına rağmen STD-PYME yakıtıyla motorine göre elde edilen

%4.26'lık fark bize biyodizel ile yanmanın daha iyi olduğunu, dolayısı ile efektif verimin artabileceğini göstermektedir. Ayrıca PYME-90 yakıtıyla %1.92 oranında elde edilen fark ise ön ısıtmanın efektif verim üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir.

Yapılan yakıt üretimi ve üretilen yakıtın motor testleri sonucunda pamuk yağından elde edilen biyodizelin, içten yanmalı motorlarda kullanımı için uygun olduğu saptanmıştır. Bu saptama motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyon değerlerinin bütünü göz önüne alındığında da söylenebilmektedir. Ayrıca biyodizele uygulanan yakıt ön ısıtmasının viskozite ve yoğunluk azalmasına bağlı olarak motordaki yanma verimini artırdığı belirlenmiştir. Motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonlarındaki en iyi değerler optimum olarak PYME-90 yakıtıyla elde edilmiştir. PYME-120 yakıtıyla motor gücünde azalma ve aşırı yakıt geri dönüşleri belirlenmiştir. Emisyonlarda görülen iyileşmeye karşılık bu iyileşmenin silindir içerisine alınan düşük yakıt miktarı ve aynı zamanda geri dönüş hattındaki aşırı dönüşüne dayanarak dikkate alındığında, bu durumun motor çalışması için sorun yaratabileceği sonucuna varılmıştır.

Biyodizel yakıtları herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan direk olarak dizel motorda kullanılmış ve testler esnasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Biyodizelin alevlenme noktası motorine oranla daha yüksektir. Bu özellik ise biyodizelin motorinden gerek taşıma ve gerekse depolama yönünden daha emniyetli olduğunu ifade etmektedir.

Biyodizel yakıtı çok az kükürt içerdiğinden yapılan testler esnasında herhangi bir SO_x değerleri gözlenmemiştir.

Biyodizelle yapılan testler esnasında; literatürde bazı çalışmalarda belirtilen koku belirgin bir şekilde hissedilmemiştir.

Biyodizelle yapılan çalışmalarda filtre ve enjektörlerde tıkanma gibi herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Yapılan literatür çalışmaları, yakıt üretimi, deneysel testler sonucunda daha sonra yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından şu öneriler yapılabilir;

Pamuk yağının, ülkemizdeki mevcut üretimi ve üretim potansiyelinin yüksekliği, yağ olarak fiyatı, biyodizel üretimine (esterleştirme) uygunluğu göz önüne alındığında ülkemiz şartlarında biyodizel için uygun bir yakıt olduğu görülmüştür. Bu konuda yönetimlerce biyodizel üretimi amaçlı pamuk üretimi teşvik edilebilir.

PYME-120 yakıtının yakıt geri dönüşünde tespit edilen artış dolayısıyla, PYME-90 ve PYME-120 yakıtları arasında daha hassas sıcaklık artışları yapılarak yakıt geri dönüşünün maksimum olduğu sıcaklıklar belirlenebilir.

Yüksek sıcaklıklarda yapılan ön ısıtmanın yakıt sistemi elemanları üzerinde herhangi bir sorun yaratıp yaratmayacağı daha uzun süreli testlerle belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] “Enerji Kaynakları-Çevre Sorunları Ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları”, Standard Dergisi 39/468 S28-36 Aralık 2000
- [2] THRING, R. H., “Alternative Fuels For Spark Ignition Engines”, SAE Paper 831685, 1983.
- [3] GÜRLEYÜK S.S. ve AKPINAR S., “Yeni Enerji Kaynakları : Biodizel”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları II. Sempozyum, YEKSEM'2003, Ekim 2003 İZMİR
- [4] YEŞİL, M., “2000’li yıllarda Türkiye’deki Enerji Sektörüne Bir Bakış”, Doğalgaz Dergisi, Sayı: 41
- [5] İÇİNGÜR, Y., YAMIK, H., “Metil ve Etil Esterin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Politeknik Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, s. 459-464, 2003.
- [6] www.tubitak.gov.tr
- [7] MONYEM, A., “The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions”, PhD. Thesis, Iowa State University, 1998.
- [8] OĞUZ, H., “Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2004.
- [9] NICHOLS, R. J., “The Challenges Of The Auto Industry: Why Alternative Fuels?”, Transaction Of The Asme, Vol: 116, October 1994
- [10] ERGEN, G., KARABEKTAŞ, M., KAPTI, A., “Türkiye’de İçten Yanmalı Motor Yakıtı Projeksiyonu Ve Biyodizel Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, Uluslar arası 4. İleri Teknolojiler Sempozyumu, 28-30 Eylül 2005, Konya
- [11] SAFGÖNÜL, B., ERGENEMAN, M., ARSLAN, H., ARSLAN, H., SORUŞBAY, C., “İçten Yanmalı Motorlar”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1995.
- [12] ALTIN, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.

- [13] HAŞİMOĞLU, C. “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2000.
- [14] YAMIK, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [15] ÖZ, İ.H., BORAT, O., SÜRMEŒN, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
- [16] BİLGİNPEK, H., “Dizel Motorları”, MEB Basımevi, s. 30, İstanbul, 1991.
- [17] ERGENEMAN, M., ARSLAN, H., MUTLU, M., “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998
- [18] BORAT, O., BALCI, M., SÜRMEŒN, A., “Hava Kirilenmesi ve Kontrol Tekniği”, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, İstanbul/ Ankara/ Bursa, 1992
- [19] İÇİNGÜR, Y., HAŞİMOĞLU, C., SALMAN, S., “Effect of Comrex Supercharging on Diesel Emissions”, Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 1745-1753, 2003.
- [20] KADAYIFÇILAR, S. ve ACAR, A., “Yakıtlar ve Yanma”, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1260, Ders Kitabı: 362, Ankara, 1992.
- [21] BORAT, O., BALCI, M., SÜRMEŒN, A., “İçten Yanmalı Motorlar Cilt 1”, DAYM Matbaası, Ankara, 1992.
- [22] M.E. GONZALEZ, R. HOWARD-HİLDİGE, J.J. LEAHY, T. O'REİLLY, “Emission And Performance Characteristics Of A 2 Litre Toyota Diesel Van Operating On Esterified Waste Cooking Oil And Mineral Diesel Fuel”
- [23] CHANG, R., “Chemistry”, 5th ed., McGraw-Hill Publishing, USA, 1994.
- [24] GOERING, C.E., “Engine and Tractor Power”, Breton Publishers, Boston, Massachusetts, 1992.
- [25] SRIVASTAVA, A., PRASAD, R., “Triglycerides-based Diesel Fuels”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 4, pp.111-133, 2000.
- [26] OYMAN, Ü., ANAÇ, O., “Organik Kimya” , İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, 1987
- [27] UYAR, T., “Temel Organik Kimya”, Hacettepe-Taş Kitapçılık, 1984
- [28] L. G. WADE, JR., “Organic Chemistry”, Pearson Education Inc, 2003

- [29] ULUSOY, Y., ALİBAŞ, K., “Ayçiçek Yağı ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yakıtı Olarak Kullanımında Avans Ayarı Değişimlerinin Motor Performans Değerlerine Olan Etkileri”, Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi, Erzurum, 399-405, 2000.
- [30] ERDOĞAN, D., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması”, Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi, Konya, 30-37, 1991.
- [31] MA, F., HANNA, M.a., “Biodiesel Production: A Review”, Bioresource Technology, 70, 1999.
- [32] ERDOĞAN, D., MOHAMMED, A. A., “Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel Motor Performansına Etkileri”, Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi. Tokat, 1997
- [33] www.tarim.gov.tr
- [34] www.taris.com.tr
- [35] ALİBAŞ, K., ULUSOY, Y., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları”, Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, Bursa, 147-156, 1995.
- [36] CZERWINSKI, J., “Performance Of Hd-Dı Diesel Engine With Addition Of Ethanol And Rapeseed Oil”, Sae Paper 940545, 1994.
- [37] KARAOSMANOĞLU, F., CİĞİZOĞLU, K. B., TÜTER, M., ERTEKİN, S., “Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production”, Energy and Fuel, Vol. 10, pp 890 – 895, 1996.
- [38] RAO, P. S., GOPALAKRISHNAN, K. V., “Vegetable Oils And Their Methylesters As Fuels For Diesel Engines”, Indian Journal of Technology, Vol. 29(6), pp 292-297, 1991.
- [39] OĞUZ, H., ÖĞÜT, H., “Bitkisel Kökenli Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanım İmkanları”, Selçuk Teknik Online Dergisi, Sayı : 2, Konya, 2002
- [40] SCHUMACHER, L., BORGELT, S., HIRES, W., SPURLING, C., HUMPHREY, J., FINK, J., “Fueling Diesel Engines with Esterified Soybean Oil”, ASAE Paper MC 93-101, 1993.
- [41] KARAOSMANOĞLU, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu-Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin”, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı, s. 50-56, 2002.

- [42] ÇALIŞKAN, M., MALKOÇ, Y., AR, F., AKDAĞ, F., “ Ankara Anakent Belediyesi’ne Ait Toplu Taşıma Otobüslerinde Biyomotorin Kullanımı İmkanlarının Araştırılması” , V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs 2004..
- [43] OĞUZ, H., “Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2004
- [44] KÖRBİTZ, W., “Biodiesel Production in Europe and North America, an Encouraging Prospect”, Renewable Energy, vol. 16 pp 1078-1083, 1999.
- [45] <http://homepage.uludag.edu.tr/~yahyau/biyodizel.htm>
- [46] M.A. KALAM, H.H. MASJUKİ, “Biodiesel From Palmoil-An Analysis Of İts Properties And Potential” Biomass and Bioenergy, Volume 23, Issue 6, December 2002, Pages 471-479
- [47] JEFFREY S., TABERSKİ and CHARLES L. PETERSON, “Dynamometer Emissions Test Comparisons On A 5.9 L Direct İnjected Diesel Powered Pickup”
- [48] ÇETİNKAYA, M., KARAOSMANOĞLU, F., “Biodiesel As A Generator Fuel”, 8. Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [49] KARABEKTAS, M. “ Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biodizel Yakıtının Deneysel Olarak İncelenmesi” SAU Fen Bil.Enst. Dergisi , cilt 6 ,sayı 2, 2004
- [50] A. S. RAMADHAS, S. JAYARAJ and C. MURALEEDHARAN, “Renewable Energy, Volume 29, Issue 5, April 2004, Pages 727-742
- [51] ÇANAĞÇI, M., “Atık Hayvansal Ve Bitkisel Yağlardan Üretilen Biyodizelin Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi” 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs 2004
- [52] MONYEM, A., GERPEN, J. H., “The Effect Of Biodiesel Oxidation On Engine Performance And Emissions”, Biomass And Bioenergy, 20 (2001) 317-325
- [53] BLADASSARİ, L. T., BATTİSTELLİ, C. L., CONTİ, L., CREBELLİ, R., BERARDİZ, B., IAMİCELLİ, A. L., GAMBİO, M., IANNACCONE, S., “Emission Comparison Of Urban Bus Engine Fueled Diesel Oil And Biodiesel Blend”,
- [54] DORADO, M. P., “ Exhaust Emissions From A Diesel Engine Fueled With Transesterified Waste Olive Oil”, Fuel And Energy, Vol:45, Issue:2, 123-124, March

- [55] HUZAYYİN, A. S., BAWADY, A. H., RADY, M. A., DAWOOD, A., “Experimental Evaluation Of Diesel Engine Performance And Emissions Using Blends Of Jajoba Oil And Diesel Fuel”, *Energy Conversion And Management*, Vol: 45, Issues 13-14, Pages 2093-2112, August 2004
- [56] SOYLU,S., KARABEKTAŞ, M.,ERMİS,K.,’’ Otomobiller İçin Alternatif Enerji Kaynaklarının İncelenmesi’’ 2. Ege Enerji Sempozyumu Kütahya 2004
- [57] LEE, S. W., HERAGE, t., YOUNG, B., “Emission Reduction Potential From The Combustion Of Soy Methyl Ester Fuel Blended With Petroleum Distillate Fuel”, *Fuel*, Vol:83, Issues 11-12, 1607-1613, August 2004
- [58] SCHUMACHER, L. G., “The Use Of Strata-Fire İn Blends Of Soydiesel”, *Proceedings Of The American Society Of Agricultural Engineers Winter Meeting*, Atlanta, GA
- [59] RAHEMAN, H. and PHADATARE, A. G., “Diesel Engine Emissions And Performance From Blends Of Karanja Methyl Ester And Diesel”, *Biomass And Bioenergy*, 27 (4) 393 397, 2004
- [60] N. USTA, “ Biomass and Bioenergy, Volume 28, Issue 1, January 2005, Pages 77-86”
- [61] M. A. Kalam, M. Husnawan and H. H. Masjuki, “Renewable Energy, Volume 28, Issue 15, December 2003, Pages 2405-2415”
- [62] ALTIPARMAK, D., KESKİN, A., YILDIRIM, H. M., METİN, G., “Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi”, 8. Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [63] ANTOLİN, G., TİNAUT, F. V., BRÍCENO, Y., CASTANO, V., PEREZ, C., RAMÍREZ, A. I., “Optimisation Of Biodiesel Production By Sunflower Oil Transesterification”, *Bioresource Technology* 83 (2002) 111-114
- [64] JÜRGEN KRAHL, AXEL MUNACK, MÜFİT BAHADIR, LEON SCHUMACHER, “Survey About Biodiesel Exhaust Emissions And Their Environmental Effects”
- [65] CARRARETTO, C., MACOR, A., MİRANDOLA, A., STOPPATO, A., TONON, S., “Biodiesel As Alternative Fuel, Experimental Analysis And Energetic Evaluations”,
- [66] GONZALES, M. E., “Emissions And Performance Characteristics Of A 2 Litre Toyota Diesel Van Operating On Esterified Waste Cooking Oil And Mineral Diesel Fuel”, *Environment Monitoring And Assesment* 65: 13.20, 2000
- [67] ALTIN, Ç., ÇETİNKAYA, S., “The Potential Of Using Vegatable Oil As Fuel For Diesel Engines”, *Energy Comersion Management* 42, 529-538, 2001

- [68] KALAM, M.A., “ Biodiesel From Palmoil-An Analysis Of Its Properties And Potential” Biomass And Bioenergy 23 (2002), 471-479
- [69] KARABEKTAŞ, M., SARAÇ, H. İ., “Alternatif Motor Yakıtı Olarak Biodizel Yakıtının Deneysel Olarak İncelenmesi” SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6.Cilt, 2. Sayı, 2002
- [70] SCHUMACHER, L. G., “An Alternative Fuel For Urban Buses- Biodiesel Blends”, 2. Biomass Conference Of The Americans Portland, Or Pp. 893-901-1995
- [71] KALLİYEROS, S., “An Investigation Of Using Biodiesel-Marine Diesel Blends On The Performance Of Stationing Diesel Engine”, Biomass And Bioenergy 24 (2003) 141-149
- [72] MARSHALL, W., “Engine Exhaust Emissions Evaluation Of A Cummins L10 E When Fueled With A Biodiesel Blend”, SAE paper 952363
- [73] SCHOLL, V. W., “Combustion Of Soybean Oil Methyl Ester In A Direct Injection Diesel Engine” SAE paper 930394
- [74] ARKOUEAS, P., “Study Of Using JP-8 Aviation Fuel And Biodiesel In CI Engines”, Energy Conversion And Management, 44 (2003) 1013-1025
- [75] NORBERT, H., “Performance, Exhaust Emissions And Durability Of Modern Diesel Engines Running On Rapeseed Oil” SAE paper 910848
- [76] KAPSIZ, M., “ Bir Buji ateşlemeli motorda Segman üst boşluklarından kaynaklanan HC emisyonunun azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2004, Sakarya
- [77] HAŞİMOĞLU, C., “Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans Ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”, Doktora Tezi, Ekim 2005, Sakarya
- [78] ALTIPARMAK, D., KESKİN, A., METİN, G., “ Mısır Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması”, 8. yanma sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [79] ÇANAKÇI, M., “Combustion Characteristics Of A Diesel Engine Fueled with biodiesel from soybean oil”, 8. yanma sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara
- [80] ALTIPARMAK, D., KESKİN, A., METİN, G., “Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı” 8. Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara

- [81] S. PUHAN, N. VEDARAMAN, BOPPANA V. B. RAM, G. SANKARNARAYANAN AND K. JEYCHANDRAN, "Mahua Oil (Madhuca Indica Seed Oil) Methyl Ester As Biodiesel-Preparation And Emission Characteristics ", "Biomass and Bioenergy, Volume 28, Issue 1, January 2005, Pages 87-93"
- [82] MARTA M. CONCEIÇÃO, ROBERLUCIA A. CANDEIA, FERNANDO C. SILVA, ALINE F. BEZERRA, VALTER J. FERNANDES JR., ANTONIO G. SOUZA, "Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel", "Renewable and Sustainable Energy Reviews, www.sciencedirect.com, Available online 2 November 2005"

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. Kocaeli Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü’nden 1998 yılında mezun oldu. Lisans Eğitimini 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programı’nda tamamladı. 2003 yılında yüksek lisans yabancı dil hazırlık sınıfını tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. 1 Ocak 2005 tarihinde Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Sakarya Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını devam ettirmektedir.