

**PIROLİZE EDİLMİŞ LASTİK YAĞI VE KATKI
MADDESİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN
YAKITIN TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ramazan ÇOŞTU

**PİROLİZE EDİLMİŞ LASTİK YAĞI VE KATKI MADDESİ
KULLANILARAK ELDE EDİLEN YAKITIN TEK SİLİNDİRLİ DİZEL
MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Ramazan ÇOŞTU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Nisan 2019

Ramazan ÇOŞTU tarafından hazırlanan “PİROLİZE EDİLMİŞ LASTİK YAĞI VE KATKI MADDESİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN YAKITIN TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK

Tez Danışmanı, İstanbul Aydın Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/04/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Kemal BALKİ (SNÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ramazan ÇOŞTU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİROLİZE EDİLMİŞ LASTİK YAĞI VE KATKI MADDESİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN YAKITIN TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Ramazan ÇOŞTU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK

Nisan 2019, 95 sayfa

Gerçekleştirilen deneysel uygulamada pirolize edilmiş lastik yağının dizel motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, pirolize lastik yağı (PLY), euro dizel (ED) ve Motor Silk dizel yakıt katkısı (MS) kullanılmıştır.

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorda; ED, ED-PLY ve ED-PLY-MS karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Testler; tek silindirli bir dizel motorda standart dizel yakıtı (ED100) , EPLY10 (%10 PLY+%90 ED), EPLY20, EPLY30, EPLY10MS1 (%1 MS+%99 EPLY10), EPLY20MS1 ve EPLY30MS1 yakıtları ile değişik yük (500, 750, 1000, 1250, 1500 W) ve sabit motor hızında (3600 d/d) gerçekleştirilmiştir.

Deneylelerden elde edilen veriler ile motor performansı ve egzoz emisyon değerleri grafikselsel olarak çıkarılmıştır. Ayrıca, karışım yakıtlarından elde edilen test sonuçları dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, motor yakıt sisteminde herhangi bir değişikliğe gidilmeksizin ED içerisine %30 PLY ilavesinin egzoz emisyonu ve özgül yakıt tüketimini artırdığı tespit edilmiştir.

EPLYMS yakıtı ile çalışan motorda, egzoz emisyonlarında is, hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksitin (CO) azaldığı, azot oksitin (NO_x) arttığı tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre MS kullanımının efektif verim değerlerini artırdığı ve özgül yakıt tüketimini azalttığı görülmüştür. EPLY10MS1 test yakıtına ilişkin efektif verimdeki artış motor referans yakıtının (ED100) efektif verim değerleriyle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Szckler : Dizel Yakıt, dizel yakıt katkısı, egzoz emisyonu, motor performans, pirolize edilmiş lastik yağı.

Bilim Kodu : 914.3.026

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF FUEL OBTAINED FROM PYROLIZED TIRE OIL AND ADDITIVE ON SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Ramazan OŞTU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisors:

Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Assist. Prof. Süleyman ŞİMŞEK

April 2019, 95 pages

In the experimental application, the use of pyrolyzed tire oil was evaluated as an alternative fuel source for diesel engines. For this purpose, pyrolyzed tire oil (PLY), euro diesel (ED) and Motor Silk diesel fuel additives (MS) were used.

In this study, the effects of ED, ED-PLY and ED-PLY-MS mixture on the emissions and engine performance were tested experimentally on a single cylinder diesel engine. The engine tests were performed in a single cylinder diesel engine under various engine loads (500, 750, 1000, 1250, 1500 W load) and constant engine speeds (3600 rpm) by using standard diesel fuel (ED100), EPLY10 (10% PLY+90% ED), EPLY20, EPLY30, EPLY10MS1 (1% MS+99% EDPLY10), EPLY20MS1 and EPLY30MS1 fuel blends.

With the data obtained from the experiments, performance and exhaust emissions of the engine have been attained. Moreover, test results obtained from blend fuels were presented as comparing with those obtained from diesel fuel. Without any modification in the engine fuel system, it was determined that PLY addition into diesel fuel up to 30% increase engine emissions and specific fuel consumption.

The engine running on EPLYMS fuel is also observed that smoke, hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) decreases, and nitrogen oxides (NO_x) increases in exhaust emissions. Experimental results show that the use of MS increases the effective efficiency, reduces specific fuel consumption. The increase in the effective efficiency of the EPLY10MS1 test fuel was found to be comparable to the efficiency of the engine reference fuel (ED100).

Key Word : Diesel Fuel, diesel fuel additive, exhaust emission, engine performance, pyrolyzed tire oil.

Science Code : 914.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Hocam ve Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN'a, yüksek lisans eğitimim boyunca kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilgi ve birikimiyle her türlü zorluğu aşmamda bana yardım eden, çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılması konusunda değerli önerileri ile yol gösteren İkinci Danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Motor performans ve emisyon deneylerinin yapılması aşamasında yardımlarını esirgemeyen, fikir ve görüşleriyle bana katkıda bulunan Sayın Arş. Gör. Dr. Mustafa AYDIN'a, yüksek lisans eğitimine başlamam konusunda beni yönlendiren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Mustafa ERER'e ve pirolize edilmiş lastik yağı temini konusunda yardımcı olan Sayın Yazgan Yenilenebilir Enerji ve Endüstriyel Kimya Sanayi Dış Ticaret Ltd. Şti. yetkililerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren, hayatım boyunca büyük bir gayret ile maddi ve manevi tüm olanakları sağlayan sevgili aileme ve üzerimde emek sarf eden herkese tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	9
TAŞIT LASTİĞİ VE ATIK LASTİK YÖNETİMİ	9
3.1. TAŞIT LASTİĞİ	9
3.1.1. Kauçuk.....	11
3.1.1.1. Doğal Kauçuk	11
3.1.1.2. Yapay Kauçuk.....	12
3.1.2. Karbon Siyahı	14
3.1.3. Dolgu Maddesi.....	15
3.2. ATIK LASTİK YÖNETİMİ	15
3.2.1. Doğrudan Değerlendirme Yöntemi	17
3.2.2. Termik Değerlendirme Yöntemi.....	18
3.2.3. Malzeme Olarak Değerlendirme Yöntemi.....	19
3.2.4. Ham Madde Olarak Değerlendirme Yöntemi.....	20

Sayfa

3.2.4.1. Piroliz Metotları	24
3.2.4.2. Piroliz İşlemi Sonucu Elde Edilen Ürünler.....	28
 BÖLÜM 4	32
DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ, EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	32
4.1. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ	32
4.1.1. Viskozite	35
4.1.2. Yoğunluk ve API Gravitesi	36
4.1.3. Isıl Değer	37
4.1.4. Distilasyon Özelliği	37
4.1.5. Parlama ve Alevlenme Noktası	38
4.1.6. Bulutlanma ve Akma Noktası.....	39
4.1.7. Setan Sayısı.....	40
4.1.8. Setan İndisi	43
4.1.9. Anilin Noktası ve Dizel İndeksi	44
4.1.10. Aromatik Yüzdesi.....	44
4.1.11. Karbon Kalıntısı.....	45
4.1.12. Kül İçeriği	45
4.1.13. Kükürt İçeriği.....	45
4.1.14. Bakır Korozyon Özelliği.....	46
4.1.15. Su ve Tortu İçeriği	46
4.1.16. Oksidasyon Kararlılığı.....	47
4.2. EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	47
4.2.1. Karbonmonoksit (CO)	48
4.2.2. Azot Oksit (NO _x)	49
4.2.3. Kükürt Oksit (SO _x)	50
4.2.4. Partikül Madde (PM)	50
4.2.5. Hidrokarbon (HC).....	52
 BÖLÜM 5	54
MATERYAL VE METOT	54
5.1. MATERYAL.....	54

	<u>Sayfa</u>
5.1.1. Uygulama Alanı Ve Düzenegi.....	54
5.1.2. Uygulama Jeneratörün Ve Motorunun Özellikleri	56
5.1.3. Egzoz Gazı Ölçüm Cihazları	57
5.1.4. Yakıt Sarfıyatı Tespit Mekanizması	58
5.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklık Ölçüm Cihazı	59
5.1.6. Deney Yükleme Ünitesi.....	60
5.1.7. Deney Yakıtları.....	60
5.1.7.1. Deney Yakıt Katkısı.....	61
5.1.7.2. Deney Yakıt Karışımları	63
5.2. METOT	64
BÖLÜM 6	66
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	66
6.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ.....	66
6.2. EFEKTİF VERİM	69
6.3. EGZOZ GAZI SICAKLIĞI	72
6.4. AZOT OKSİT (NO _x) EMİSYONU	73
6.5. İS EMİSYONU	75
6.6. KARBONMONOKSİT (CO) EMİSYONU.....	76
6.7. HİDROKARBON (HC) EMİSYONU	78
BÖLÜM 7	80
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
7.1. SONUÇLAR	80
7.2. ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	84
EK AÇIKLAMALAR.....	91
PERFORMANS VE EMİSYON VERİLERİ	91
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yenileme lastik pazarı ve toplanan ÖTL değişimi (Haliç Çevre, 2018).....	2
Şekil 3.1. Lastik bileşenlerinin şematik gösterimi (Yakaboylu, 2010).	10
Şekil 3.2. İzopren monomeri ve polizopren yapısı (Yakaboylu, 2010).	12
Şekil 3.3. Bütadien yapısı (Megep-S, 2011).	12
Şekil 3.4. Piroliz akış şeması ve ürünleri (Yakaboylu, 2010).	21
Şekil 3.5. Piroliz prosesi birincil ve ikincil ürünleri (Sinoplugil, 2017).	28
Şekil 4.1. Damıtma prosesi (Fest., 2019).	32
Şekil 4.2. Setan sayısına bağlı parçacık emisyonu dağılımı (Ejder, 2007).	41
Şekil 4.3. Setan celtveli (Öcal, 2006; Pireli, 2006; Bilsen, 2009).	41
Şekil 4.4. Partikül maddelerin dağılımı (Özer, 2010).	51
Şekil 4.5. HFK ve HC ilişkisi (Özbakış, 2012).	53
Şekil 4.6. Motor yük durumu ve HC emisyon ilişkisi (Özbakış, 2012).	53
Şekil 5.1. Uygulama alanının genel görüntüsü.	55
Şekil 5.2. Uygulama alanının şematik görüntüsü.	55
Şekil 5.3. Dikomsan JS-B terazi.	59
Şekil 5.4. TT T-ECHNI-C A930C dijital multimetre.	59
Şekil 5.5. Deney yükleme ünitesi.	60
Şekil 5.6. Borik asit reaksiyonu (Altboron, 2019).	62
Şekil 6.1. PLY oranının ve motor gücünün özgül yakıt tüketimine etkisi.	67
Şekil 6.2. Test yakıtlarının ve motor gücünün özgül yakıt tüketimine etkisi.	68
Şekil 6.3. PLY oranının ve motor gücünün efektif verime etkisi.	69
Şekil 6.4. Test yakıtlarının ve motor gücünün efektif verime etkisi.	70
Şekil 6.5. PLY oranının ve motor gücünün egzoz sıcaklığına etkisi.	72
Şekil 6.6. Test yakıtlarının ve motor gücünün egzoz sıcaklığına etkisi.	73
Şekil 6.7. Test yakıtlarının ve motor gücünün NO _x emisyonlarına etkisi.	75
Şekil 6.8. Test yakıtlarının ve motor gücünün İs emisyonlarına etkisi.	76
Şekil 6.9. Test yakıtlarının ve motor gücünün CO emisyonlarına etkisi.	77
Şekil 6.10. Test yakıtlarının ve motor gücünün HC emisyonlarına etkisi.	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Lastik bileşimlerinin ağırlıkça yüzdeleri (Brentin ve Sarnacke, 2011).	11
Çizelge 3.2. Taşıt türüne bağlı ortalama tekerlek ağırlıkları (Doğan, 2012).	16
Çizelge 3.3. Yakıtların kalorifik değerleri ve emisyon miktarları (WBCSD, 2008).	18
Çizelge 3.4. Granür kauçuk kullanım alanları (Gönüllü, 2004).	20
Çizelge 3.5. Ürün tane boyutu ve piroliz ürün verimi (Yılgin ve diğ.).	22
Çizelge 3.6. Piroliz metodları (Özay ve diğ., 2014).	25
Çizelge 3.7. İkincil ürünler ve yöntemleri (Onay, 2001).	31
Çizelge 4.1. Dizel, ASTM D 975 (Bilsen, 2009).	33
Çizelge 4.2. Dizel No.1 ve No.2'nin bileşimi, % hacimce (Bilsen, 2009).	34
Çizelge 4.3. Dizel Yakıt İçin ASTM D 975 Standartları (Bilsen, 2009).	34
Çizelge 4.4. Dizel ve Palm Biyodizel yakıtları için yakıt özellikleri (Özgür, 2017).	40
Çizelge 4.5. CFR-Dizel motoruna ait bilgiler ve genel görünümü (Öcal, 2006).	42
Çizelge 5.1. Datsu DDJ8000E genel görünümü ve teknik özellikleri.	56
Çizelge 5.2. Datsu 186FAE genel görünümü ve teknik özellikleri.	57
Çizelge 5.3. ITALO Plus Spin genel görünümü ve teknik özellikleri.	58
Çizelge 5.4. SMOKY Opacimetre genel görünümü ve teknik özellikleri.	58
Çizelge 5.5. Euro Dizel ve Pirolize Edilmiş Lastik Yağı özellikleri.	60
Çizelge 5.6. Motor Silk bazı özellikleri (Tartakovsky ve diğ., 2006).	61
Çizelge 5.7. Motor Silk yakıt katkısı özellikleri.	62
Çizelge 5.8. Deney yakıtların hacimsel karışımların oranları.	63
Çizelge 5.9. Deney yakıtların hacimsel karışımların oranları.	64
Çizelge 5.10. Deney yakıtları ve karışımlarının özellikleri.	64
Çizelge Ek.1. Özgül yakıt tüketimi (g/kWh).	92
Çizelge Ek.2. Efektif verim (%).	92
Çizelge Ek.3. Egzoz gazı sıcaklığı (°C).	92
Çizelge Ek.4. Azot oksit (ppm).	93
Çizelge Ek.5. İş emisyonu (%).	93
Çizelge Ek.6. Karbonmonoksit (%).	93
Çizelge Ek.7. Hidrokarbon (ppm).	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ar	: argon
B	: yakıt sarfıyatı
Be	: özgül yakıt tüketimi
B ₂ O ₃	: borik oksit
C	: karbon
CO	: karbonmonoksit
CO ₂	: karbondioksit
H ₂	: hidrojen
H ₃ BO ₃	: boric asit
H ₂ O	: su
HNO ₃	: nitrik asit
H ₂ S	: hidrojen sülfür
HNO ₃	: nitrik asit
H ₂ SO ₄	: sülfürik asit
N ₂	: azot
NO	: azot mono oksit
NO ₂	: azot dioksit
O ₂	: nikel
Pe	: motor gücü
PM	: partikül madde
SO ₂	: kükürtdioksit
SO ₃	: kükürttrioksit
ZSM-5	: zeolit socony mobil-5
Hu	: alt ısıl değer
η	: efektif verim
ρ _y	: yoğunluk

KISALTMALAR

API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
ASTM	: Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu
°C	: Santigrat
cc	: Santimetre Küp
cal	: Kalori
CFR	: Sıkıştırma Oranı Değiştirilebilen Araştırma Motoru
cm ³	: Santimetreküp
ED	: Euro Dizel
EN	: Avrupa Standartları
°F	: Fahrenheit
g	: Gram
HP	: Horsepower (Beygir Gücü)
KMA	: Krank Mili Açısı
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojul
L	: Litre
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
MJ	: Megajul
MOGD	: Mobil Yöntemi İle Benzine Dönüşüm
MS	: Motor Silk Dizel Yakıt Katkısı
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
PLY	: Pirolize Edilmiş Lastik Yağı
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
s	: Saniye
SI	: Setan İndisi
SuS	: Saybolt Universal Saniye
T50	: Distilasyon değeri (Yakıtın hacimsel %50'sinin buharlaştığı sıcaklık °C)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, özellikle sanayi devriminin başlamasıyla insanlık tarihinde önemli bir yer edinmiştir. Petrol ise temel enerji kaynakları arasında kullanımı en yaygın olan enerji çeşididir. Ekonomik kalkınmayı enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği belirlemektedir. Kişi başı enerji tüketimi ülkenin gelişmişliğinin bir göstergesidir. Bu nedenle ülkeler enerji kaynaklarını milli refahın anahtarı olarak görmektedirler ve enerjinin ekonomik, yenilenebilir, çevre ve insan sağlığına duyarlı olmasını istemektedirler.

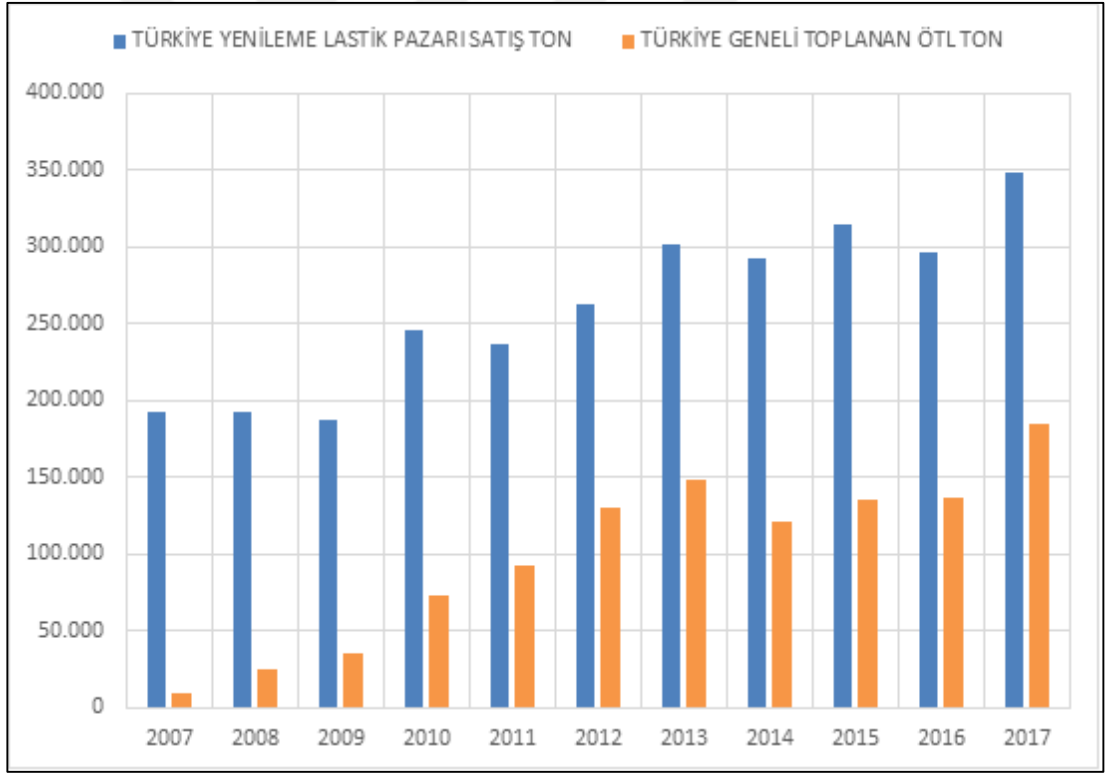
Petrolün özellikle ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılması ve rezervlerinin sınırlı olması dünya ekonomisi için kırılgan bir yapı oluşturmaktadır. Bu kırılgan yapıdan kurtulmak için alternatif yakıtlar konusunda çalışmalar yürütülmektedir ve özellikle atıkların geri dönüşümü üzerine yapılan araştırmalara yoğunlaşmıştır. Gün geçtikçe insan nüfusunun artması ve artan nüfusa paralel oluşan atıkların çevre ve insan sağlığına etkileri ortaya çıktıkça, her atık için çeşitli yönetim biçimlerinin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir.

Otomotiv sektörünün ülkemizde olduğu gibi dünya ekonomisinde de önemli bir paya sahiptir. Artan otomotiv üretimi beraberinde lastik üretimini de artırmıştır. Alternatif yakıtlar oluşturulmasına yönelik yapılan çalışmalarda atık lastiklerin değerlendirilmesi, atık lastiklerin çevre ve insan sağlığına etkilerinin minimize edilmesi ve ekonomik kazanç açısından önemlidir.

Azami ömrünü tamamlayan lastiklerin çevreye atılması lastik geri dönüşümünü zorunlu kılmıştır. Çünkü lastiklerin çevrede çok uzun süreler sonunda yok olmaları büyük problemleri beraberinde getirmektedir. Kimyasal sızıntıların habitata verdiği zararlar ve lastik yığınlarının kontrolsüz yanması sonucu çıkan yangınlar, bu yangınların atmosfere saldıgı emisyonlar büyük sorunlar oluşturmaktadır.

Ömrünü tamamlamış lastiklerin kontrolü, ülkeler tarafından kanunlar ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Ülkeden ülkeye değişen bu kontrol mekanizmasının temelini ise atıkların ülke ekonomisi için bir servet olduğu ve geri dönüşümün gerekli olduğu prensibi ile oluşturulmaktadır. Bu bağlamda, ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2006 yılında resmi gazetede yayımlanan “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği” ile atık lastiklerin kontrolü konusunda çalışmalar yürütmektedir.

Türkiye lastik sektöründe 155 kayıtlı üretici ve ithalatçı mevcuttur. 2017 verilerine göre 347.638 ton lastik piyasada yer almış ve toplanan ömrünü tamamlamış lastiklerin miktarı ise 184.313 tondur. Aşağıda yer alan Şekil 1.1’de yıllara göre piyasaya sürülen ve toplanan ömrünü tamamlamış lastik miktarına ilişkin veriler yer almaktadır (Haliç Çevre, 2018).



Şekil 1.1. Yenileme lastik pazarı ve toplanan ÖTL değişimi (Haliç Çevre, 2018).

Atık lastik pazarının bu denli büyük olması lastik geri dönüşüm proseslerinin çeşitlenmesine neden olmuştur. Petrol türevi yakıtların yapı taşını hidrokarbonlar oluşturmaktadır ve bu yapı taşını atık lastikler de ihtiva etmektedir. Çeşitli proseslerde geçirilen

atık taşıt lastiği, dizel yakıtın kalorifik değerine yaklaşarak alternatif yakıt olma potansiyelini barındırmaktadır.

Bu çalışma, endüstriyel lastik geri kazanım tesisinden (Yazgan Yenilenebilir Enerji ve Endüstriyel Kimya Sanayi Dış Ticaret Ltd. Şti.) temin edilen pirolize lastik yağı temel olarak oluşturulan test yakıtlarının ve bu yakıtlara %1 oranında yakıt katkısı ilavesinin (Motor Silk dizel yakıt katkısı) dizel motorlarda performans ve emisyon (İs, HC, CO, NOx) değerlerine etkilerini deneysel olarak araştırılmasını hedeflemektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde konuya ilişkin literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde araç lastiğinin genel yapısı ve geri kazanım yöntemleri hakkında bilgi verilmiş, dördüncü bölümde dizel yakıt özellikleri, emisyonlar ve çevresel etkileri, beşinci bölümde deneysel uygulamaya ilişkin materyal ve metot yer almış, altıncı bölümde araştırma bulguları ve tartışma bulunurken son bölüm olan yedinci bölümde sonuçlar ve öneriler konusunda çalışma yer almaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde artan enerji ihtiyacına paralel azalan doğal enerji kaynakları, araştırmacıları alternatif yeni kaynaklar bulmaya yönlendirmiştir. Özellikle fosil temelli yakıtların, enerji kaynaklarının önemli bir bölümünü oluşturması ve bu yakıtların oluşturduğu kirletici emisyonların çevre ve insan sağlığı için büyük bir sorun teşkil etmesi araştırmalar için başlıca nedenlerdir. Hava kalitesinin gün geçtikçe kötüleşmesi ve bu kaliteyi büyük kısmının antropojenik kaynakların neden olduğu emisyonların oluşturması, çalışmaları antropojenik kökenli problemleri ortadan kaldırmaya yönlendirmiştir. Özellikle ekonominin itici gücü olan otomotiv sektörünün gelişmesiyle artan içten yanmalı motor üretimi ve buna bağlı artan fosil yakıt tüketimi minimize etmek için alternatif yakıtlara yönelmek büyük önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmalar daha çok biyodizel ve alkol içeren yakıtlar üzerine yapılmaktadır. Alkol üzerine yapılan bir çalışmada, n-butanol (%3, %5, %8, ve %10) hacimsel olarak farklı oranlarda dizel ile karıştırılmış ve bu karışımların farklı enjeksiyon basınçlarında emisyonlar üzerindeki etkileri ölçülmüştür. Butanol oranındaki artış ile birlikte emisyonlarda (is, NO_x ve CO) iyileşmeler tespit edilmiştir (Özdalyan, 2012).

Ülkemizde 2017 yılında resmi gazetede (Sayı: 30098) yayımlanan tebliğ, yerli tarım ürünlerinin ve atık bitkisel yağdan elde edilen biyodizelin en az %0,5 oranında motorine harmanlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu tebliğin amacı enerjide dışa bağımlılığı kademeli bir şekilde azaltmaya yönelik araştırmaların artırılması ve atık bitkisel yağın geri dönüşümünü hızlandırmayı amaçlamaktadır. Atıkların geri dönüşümü sadece ekonomik kazanımdan ibaret değildir bunun yanında atıkların oluşturduğu çevresel etkilerinin ortadan kaldırılması açısından büyük önem arz etmektedir.

Son dönemlerde atıkların geri dönüşümü hız kazanmıştır. Özellikle atık kızartma yağlarından biyodizel eldesi günümüzde revaçtadır. Atık, kullanılan ana ürünün nihai kullanım ömrünü tamamladığına inanılan malzemelerin bütünüdür. Atığın geri dönüşümü, çöpten altın çıkarma olarak tanımlanmaktadır.

Dizel motorlarda yapılan biyodizel üzerine çalışmalar, biyodizelin motor performans ve emisyon parametrelerine etkilerini ortaya koymuş ve dizel yakıtı göre karşılaştırılabilecek sonuçlar elde edildiği literatürde yer almaktadır. Özellikle atık yağlardan elde edilen biyodizelin ortaya koyduğu bu sonuçlar alternatif yakıtların gelişimi açısından önemlidir (Lin ve diğ., 2007; Altun, 2011).

Atık kızartma yağlarının yanı sıra, yağ eldesi için bitkisel ürünlerin üretimi de son dönemlerde hız kazandığı görülmektedir. Kanola, pamuk, soya gibi yağ oranı yüksek bitkilerden elde edilen biyodizelin dizel motorlarda değerlendirilmesi konusunda çalışmalar mevcuttur. Soya yağı biyodizelinin dizel motor (%50-90 yük aralığında) CO emisyonunun referans yakıtı olan dizel yakıt verilerine yakın olduğu, HC emisyon verilerinin ise daha düşük değerler sergilediği literatürde yer almaktadır (Özcumalı, 2007).

Yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalarda biyokütlenin büyük potansiyel taşıyan bir alternatif enerji kaynağı olduğu belirtilmiştir. Bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerden elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Bitkilerin fotosentez tepkimesi sonucu ile elde ettikleri yıllık enerji miktarı dünyanın harcadığı enerjiyi on kata kadar karşılayabilecek düzeydedir. Odunlar, bitkisel ve hayvansal atıklar ile evsel ve endüstriyel atıklar biyokütle enerjisinin elde edilebileceği bazı kaynaklardır (Nişancı, 2007). Bu kadar yüksek potansiyele sahip biyokütle enerjisinin değerlendirilmesi fosil temelli yakıtların oluşturduğu kırılgan ekonomik pazarın dengelenmesi açısından önemlidir.

Fiziksel, biyolojik ve kimyasal proseslerden geçirilerek biyokütlenin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Termokimyasal prosesin bir parçası olan piroliz, ham madde ve elde edilecek nihai ürüne göre farklılık gösteren, ham maddenin oksijensiz ortamda termal bozulmaya maruz kalmasını sonucu farklı formlarda ürünlerin elde edilebildiği

bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde bitkisel ve hayvansal atıklar ile evsel ve endüstriyel atıkların oluşturduğu biyokütlenin değerlendirilmesi sonucunda kalorifik değeri yüksek petrol ürünü yakıtlara eşdeğer biyo yakıtların eldesi mümkün olmuştur (Ertaş, 2010).

Odun parçalarının pirolizi sonucu elde edilen odun piroliz yağı analiz sonuçları incelendiğinde oksijen içerikli bir yakıt olduğu, kinematik viskozitesinin dizel yakıtı göre çok yüksek seviyede yer aldığı ve kalorifik değerinin ise çok düşük olduğu literatürde tespit edilmiştir. Dizel (%90) ve odun piroliz yağı (%10) hacimsel olarak karıştırılması ile oluşturulan test yakıtına dietil eter (%2-4) eklenmesiyle oluşturulan yakıt karışımlarının dizel motor performans ve emisyon değerlerine ilişkin testler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen verilere göre; odun piroliz yağı ve dizel karışımı içeren test yakıtlarıyla yapılan testlerde dizel yakıtı göre daha yüksek egzoz gazı sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü, CO emisyonlarında ise karışımın viskozitesinin yükselmesi nedeniyle enjektörlerin atomizasyonu verimli bir şekilde gerçekleştirememesi sonucunda artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dietil eter içeren test karışımlarında ise termal verimde pozitif sonuçlar elde edilirken NO_x emisyonlarında artış olduğu ölçülmüştür (Prakash ve diğ., 2011). Başka bir araştırmada odun piroliz yağı ve etanol karışımının dizel yakıtı göre HC ve CO emisyonlarındaki artış eğiliminde olduğu ifade edilmiştir (Lee ve Kim, 2015). Atık motor yağının yakıt olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmada, atık motor yağından elde edilen yakıtın (42,5 MJ/kg) alt ısı değeri referans yakıtı olan dizele (42,7 MJ/kg) yaklaştığı tespit edilmiştir. Atık motor yağından elde edilen yakıtın (3500 ppm) sülfür oranının dizel yakıtı (650 ppm) göre çok yüksek olduğu analiz sonuçlarında yer almıştır. Motor performans değerleri dizel yakıt verilerine yakın iken emisyon (SO₂, NO_x ve CO) değerlerinde artış olduğu ölçülmüştür (Arpa ve diğ., 2010).

Kaynak araştırmalarında atık plastik maddelerden piroliz sonucu elde edilen yakıt özellikleri dizel yakıt ile eşdeğer özellikler sergilediği belirlenmiştir. Atık plastik piroliz yağına %5 ve %10 oranında dietil eter eklenen test yakıtı ile beraber saf atık plastik piroliz yağı ve dizel yakıt kullanılarak deneyler yapılmıştır. Motor termik verimi en yüksek %10 sonra %5 dietil eter ilaveli test karışımında görülmüştür, verimde artı-

şın nedeni olarak dietil eter ilavesinin karışımın viskoziteni düşürerek yakıt atomizasyonunu iyileştirmesi gösterilmiştir. Motor emisyon verileri incelendiğinde özellikle HC emisyonlarında dizel yakıt, atık plastik piroliz yağı içeren test yakıtlarına göre daha az salınım yaptığı tespit edilmiştir (Devaraj ve diğ., 2015). Yapılan başka bir araştırma uygulamasında atık plastik piroliz yağı ve dizel yakıt temel alan test yakıtları oluşturulmuş ve bu yakıtlar ile testler yapılmıştır. Yapılan testlerde plastik piroliz yağının karışımda oranının artmasına paralel emisyonlarda (NO_x , CO ve is) artış ölçülmüştür. Motor performans verileri incelendiğinde dizel yakıt ile karşılaştırılabilecek termik verim değerleri tespit edilmiştir (Mani ve diğ., 2011).

Atık plastik maddelerden ve atık taşıt lastiklerinden elde edilen piroliz yağı temelinde yakın özellikler sergileyen yakıtlar olduğu literatürde yer almaktadır. Ancak piroliz prosesine giren maddelerin ihtiva ettikleri kimyasal formülasyonları ve proses metotların çeşitliliği nihai ürünün farklılaşmasına neden olmaktadır.

Açık literatürde pirolize lastik yağının dizel motorlarda kullanılabilirliği üzerine çalışmalar mevcuttur. Desülfürizasyon işleminden geçirilen pirolize lastik yağı içindeki sülfür oranı %0,9 değerine kadar düşürülmüş ve pirolize lastik yağı, dizel ve farklı oranlarda karışımları (%5-10-15-25-35-50-75) ile motor testleri yapılmıştır. Veriler incelendiğinde %5-10-15-25-35 oranlarına sahip karışımın dizel yakıt verilerine yakın sonuçlar içerdiği ifade edilmiştir. Pirolize lastik yağı (%100) yakıtının özgül yakıt tüketimi ve emisyon (is, HC, CO ve SO_2) değerlerinde diğer yakıtlara göre daha yüksek artış olduğu ölçülmüştür (İlkılıç ve Aydın, 2011).

Atık lastik üzerine yapılan başka bir araştırmada, lastikten elde edilen yakıtın iyileştirilmesi sonucu dizel motorlarda %90 orana kadar kullanılabilirliğin mümkün olduğu belirlenmiştir. Emisyonlar açısından lastikten elde edilen yakıtın karışımda artmasıyla HC, is ve CO azalış eğilimi göstermiş NO_x emisyonunda ise artış eğilimi gerçekleşmiştir. Referans yakıtı dizele göre yakıt sarfıyatı ve termik verim değerleri yakın sonuçlar içerdiği ifade edilmiştir (Doğan ve diğ., 2012).

Pirolize lastik yağı ve biyodizel karışımlarını içeren deneysel uygulamalar yapılmıştır. Farklı oranlarda karışımlar oluşturulmuştur; dizel yakıt (%97) ile lastik yağı (%3) veya

biyodizel (%3), dizel yakıt (%94) ile lastik yağı (%3) ve biyodizel (%3). Test sonuçlarına göre dizel yakıt ve biyodizel karışımı, lastik yağı içeren karışıma göre daha yüksek oranda NO_x emisyonu oluşturduğu ölçülürken üçlü yakıt karışımının dizel ve lastik yağı içeren yakıtı göre daha az CO emisyonu salınımı yaptığı tespit edilmiştir (Koc ve diğ., 2010).

Bir diğ er araştırmada tek silindirli dizel motorda pirolitik lastik yağının %10, %30 ve %50 oranlarında standart dizel ile yaptığı karışımların etkileri incelenmiştir. İnceleme sonunda karışımda dizel yakıt konsantrasyonunun azalmasıyla is, CO, NO_x ve HC emisyonlarında yükselmeye neden olduğu ölçülmüştür. Ve tutuşma gecikmesinin lastik yağı oranındaki yükselme ile arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yük artışına paralel lastik yağı içeren yakıtların egzoz gaz sıcaklıklarında artış olduğu ifade edilmiştir (Murugan ve diğ., 2008).

Yakıt sisteminde modifikasyon yapılmadan pirolize lastik yağının kullanıldığı tek silindirli dizel motorda yapılan uygulamada, standart dizel yakıt ve pirolize lastik yağı hacimsel olarak yarı yarıya karıştırılarak testler gerçekleştirilmiştir. Test karışımının emisyonlar üzerinde etkilerinin az olduğu motor performans verilerine ise pozitif etki sağladığı gözlemlenmiştir (Doğan ve diğ., 2009).

Pirolize lastik yağı üzerine yapılan birçok çalışma incelendiğinde farklı deney verilerinin olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi piyasada çok çeşitli lastik markalarının bulunması ve bu markaların lastik üretim formülasyonlarının farklılık göstermesidir. Atık lastiklerden elde edilen pirolize lastik yağı, geri dönüşüm tesislerinin her çeşit lastiği toplaması sonucunda elde edilmektedir. Bu durum deneysel uygulamalarda kullanılan pirolize lastik yağının farklılaşmasına ve bunun neticesinde test verilerinin birbirinden farklı sonuçlar ortaya çıkarmasına neden olmaktadır. Bir başka neden de kullanılan test ekipmanlarının (yakıt katkısı, motor tercihi vb.) ve bazı proseslerin (iyileştirme, desülfürizasyon vb.) deney uygulamasından uygulamasına farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

BÖLÜM 3

TAŞIT LASTİĞİ VE ATIK LASTİK YÖNETİMİ

3.1. TAŞIT LASTİĞİ

Araç lastiği; aracın hareket ve yük taşıma gibi ihtiyaçlarına göre dizayn edilmiş, kauçuk, karbon siyahı, çelik tel ve çeşitli materyallerin bileşiminden oluşan bir mühendislik ürünüdür. Lastik; gövde, yanak, topuk, omuz ve sırt olmak üzere 5 temel omurgadan oluşur. Şekil 3.1’de lastiğin çeşitli bileşenleri şematik olarak verilmiştir (Yakaboylu, 2010). Lastiğin bu ana bileşenlerinin açıklaması aşağıda yer almaktadır (Erol, 2011).

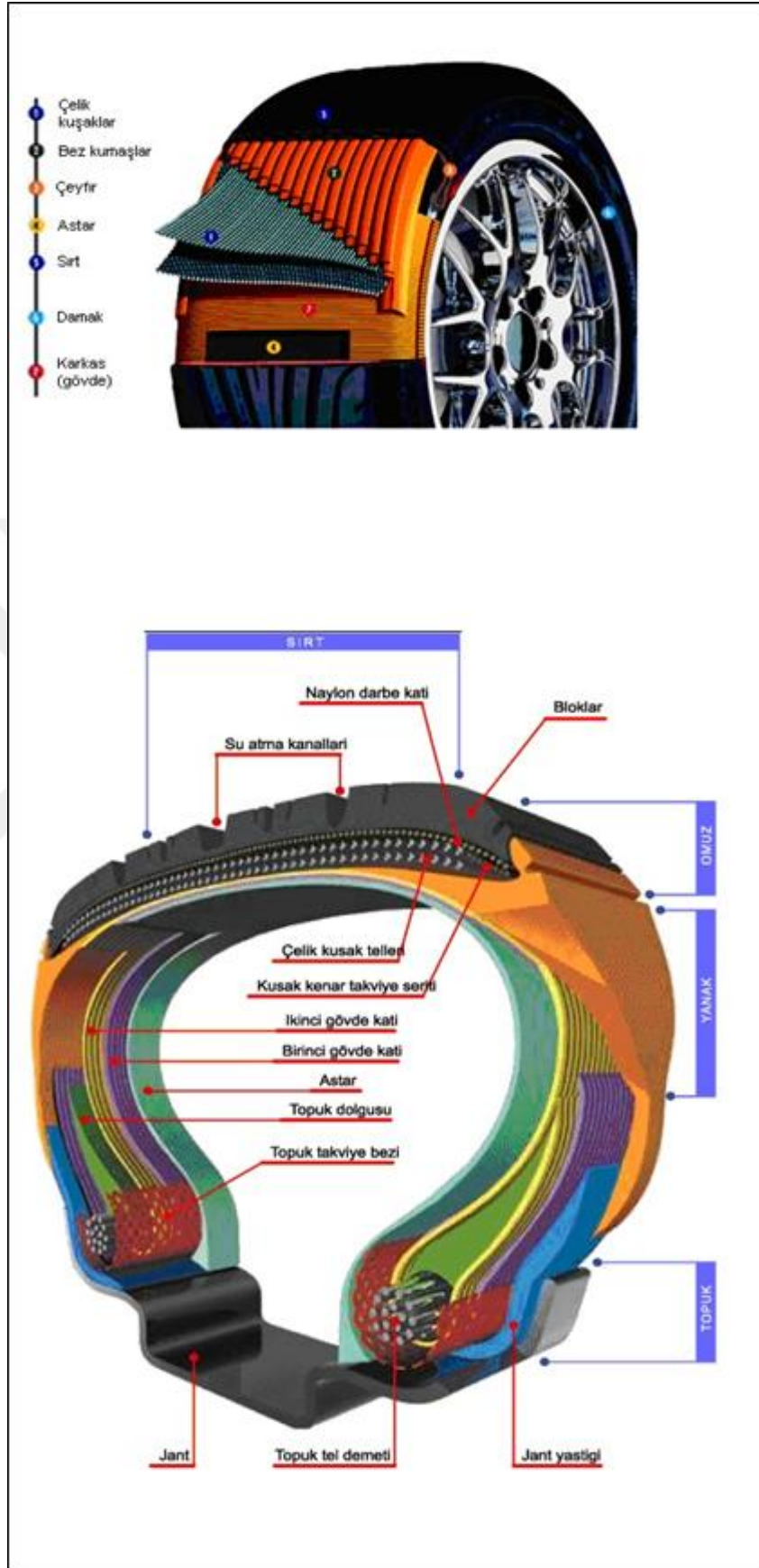
Gövde: Temas yüzeyinden gelen titreşim ve sarsıntıları absorbe eden, yükü taşıyan ve lastik içi hava basıncını muhafaza eden bölgedir.

Sırt: Lastiğin zemine temas eden, yola tutunma, su tahliyesi ve çekiş gibi işlevlere yarayan üzerinde kanalları barındıran kısmıdır. Üzerindeki kanallar ve desenler çeşitli mühendislik tasarımları sonucu lastiğin pişirme prosesinde meydana gelmektedir.

Topuk: Jant ile lastiğin temas bölgesindeki alandır. Temel görevi, lastik ile jantın birbirlerine sorunsuz şekilde oturmalarını sağlamaktır.

Yanak: Lastiğin topuk ile sırt kısımlarının arasında yer alan ve üzerinde araçlara uygun ebat, marka, yük taşıma ve hız kapasitesi gibi çeşitli bilgilerin bulunduğu kısımdır.

Omuz: Lastik sırt kısmı ile yanak kısmının birleştiği yoğun kauçuk malzeme içeren bölgedir.



Şekil 3.1. Lastik bileşenlerinin şematik gösterimi (Yakaboylu, 2010).

Araç lastikleri üretimi markalara göre farklılık gösterse de içeriğinde temel olarak kauçuk, çelik ve karbon siyahı ile çeşitli kimyasallar bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de binek ve kamyonet lastiklerinin bileşimlerin ağırlıkça yüzdeleri verilmiştir (Brentin ve Sarnacke, 2011).

Çizelge 3.1. Lastik bileşimlerinin ağırlıkça yüzdeleri (Brentin ve Sarnacke, 2011).

Bileşim (Ağırlıkça %)	Binek Lastiği	Kamyon Lastiği
Doğal Kauçuk	14	27
Yapay Kauçuk	27	14
Karbon Siyahı	28	28
Çelik	9,6-15	9,6-15
Diğer maddeler (Dolgu maddesi vs.)	16-17	16-17
Ortalama Ağırlık (kg)	6,5 -10	54

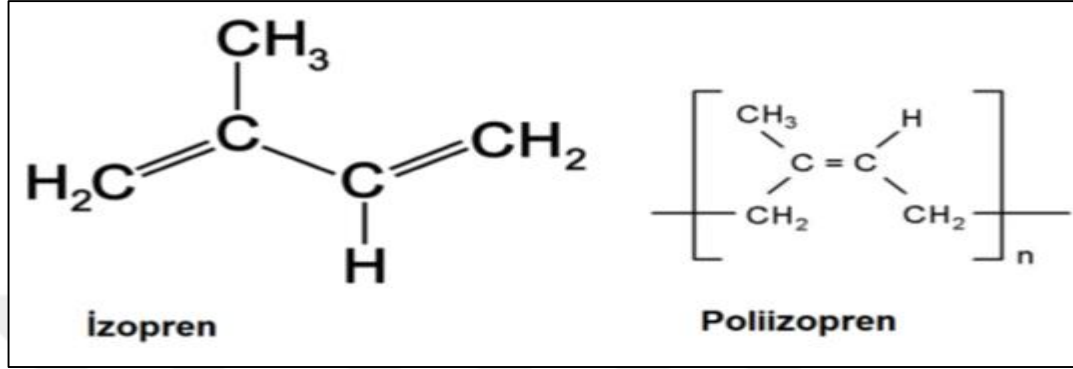
3.1.1. Kauçuk

Kauçuklar, kendi arasında doğal ve sentetik kauçuk olmak üzere ikiye ayrılır. Kauçuk elastomer yapının bir üyesidir. Elastomer ise oda sıcaklığında kendi boyunun yaklaşık iki katına kadar esneyebilen ve bırakıldığında eski haline dönme kabiliyeti olan makromoleküller bir malzemedir (Megep-D, 2011).

3.1.1.1. Doğal Kauçuk

Amerika’nın keşfi ile gün yüzüne çıkan kauçuk, Hevea Brasiliensis adı verilen Brezilya menşei ağaçtan elde edilmektedir. İlk kez kauçuk bilimsel anlamda Paris Akademisi’nde bilim insanı La Condamine tarafından ele alınmıştır. Bu ağacın tohumları ile Malezya ve çevresinde kauçuk üretim alanları kurulmuştur. Ağaç tropikal mevsim özelliklerini barındıran yerlerde ticari amaçlı olarak yetiştirilmektedir. Doğal kauçuk Hevea Brasiliensis ağacının üzerinde kesikler açılarak sütümsü görünüme sahip lateks denilen sıvı elde edilir. Bu sıvı içerisinde kauçuğun yanı sıra su, reçine, protein, kül ve şeker içerir. Elde edilen lateks içine formik asit katılarak pıhtılaşma (koagülüm) gerçekleştirilir. Ve çeşitli işlemler sonucunda su gibi istenmeyen maddeler uzaklaştırılarak kauçuk eldesi sağlanır (Megep-D, 2011).

Doğal kauçuk 1826 senesinde Michael Faraday'ın çalışmaları sonucunda kimyasal formülü ortaya çıkarılmıştır. Doğal kauçuk cis 1-4 poli izopren olarak kimyada adlandırılmaktadır. Aşağıda Şekil 3.2'de izopren monomeri ve polizopren yapısı gösterilmiştir (Yakaboylu, 2010).

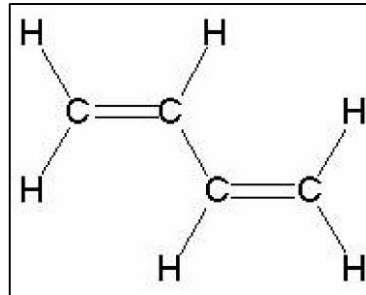


Şekil 3.2. İzopren monomeri ve polizopren yapısı (Yakaboylu, 2010).

Doğal kauçuk birçok üretim alanında kullanılır, bu üretim alanlarının ilk sırasını büyük oran ile araç lastiği üretimi almaktadır. Geri kalan kullanım alanları ise hortum, ayak-kabı, kablo, yer döşemesi ve bazı sağlık ürünleri gibidir (Gönüllü, 2004).

3.1.1.2. Yapay Kauçuk

Doğal kauçuğun hızla birçok sanayi alanında kullanılmasıyla kauçuğa rabet artmıştır. 1909 yılına gelindiğinde Alman Bayern firması çalışanı Holman'ın araştırmaları sonucunda sentetik kauçuğun üretimi gerçekleşmiştir. Petrol ürünü olan bütadieni polimerleştirilmesi sonucu yapay kauçuk üretimi sağlanmıştır. Şekil 3.3'de bütadien yer almaktadır (Megep-S, 2011).



Şekil 3.3. Bütadien yapısı (Megep-S, 2011).

Yapay kauçuk sanayide büyük bir alan kaplamaya başlamış ve günlük kullanım ürünlerimizin en temel ham maddesi olmuştur. Yapay kauçuğun tercih edilmesinin başlıca nedeni ise doğal kauçuğa göre daha kısa sürede üretilmesi ve maliyetlerin daha düşük olmasıdır. Sanayide bu kadar yaygın üretim alanında kullanılması ve ürünlerin istenilen özellikleri karşılayabilmesi için çeşitli yapay kauçuklar üretilmiştir. Sanayide en çok kullanılan yapay kauçuklar hakkında aşağıda bilgi verilmiştir (Megep-S, 2011).

Poli İsoopren Kauçuk:

Goodrich'in 1954 senesinde yaptığı çalışmalar ve bu çalışmaları takiben Firestone'nun yürüttüğü araştırmalar neticesinde isopren maddesinin doğal kauçuğa yakın özellikler sergilediğini tespit edilmiştir. Poli isopren rengi doğal kauçuğa göre daha iyidir. Kokusuzdur ve kalitesi daha sürekli. İşlenmesi kolay ve elastik özelliği iyidir. Poli isopren daha çok otomotiv sektöründe kullanılmaktadır bunun yanında ayakkabı tabanı, biberon emziği ve bant gibi ürünlerin üretiminde kullanılır (Megep-S, 2011).

Stiren Bütadien Kauçuklar:

Stiren bütadien kauçuklar üretimi en çok gerçekleşen kauçuklardandır. Bunun sebebi doğal kauçuğun kullanım alanlarında tercih ediliyor olmasıdır. Doğal kauçuğa göre daha kolay hazırlanma prosesine sahiptir. Stiren bütadien kauçuklar özellikle araç lastiklerinin yola temas eden yüzeylerinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra hortum, paspas, kablo kılıfı, yer döşemesi gibi kullanım alanları mevcuttur (Megep-S, 2011).

Polibütadien Kauçuklar:

Stiren bütadien kauçuktan sonra kullanımı en fazla olan sentetik kauçuk polibütadien kauçuktur. Bütadienin polimerizasyonu sonucu elde edilir. İşleme zorluğu ve kopma mukavemetinin düşük olması sebebiyle stiren bütadien ve doğal kauçuk ile beraber tercih edilmektedir. Özellikle aşınmaya dayanımı yüksek olduğundan araçların dış aksamalarında kullanılmaktadır (Megep-S, 2011).

Akrilonitril Bütadien Kauçuklar:

Akrilonitril 1934 yılında Almanya’da üretimi gerçekleşmiştir. Bütadienin ve akrilonitril polimerizasyonu ile ortaya çıkmıştır. Kullanım amaçlarına göre içeriğinin değiştirilmesi sonucu özellikle nitril oranı ile farklı alanlar için kauçuk üretimim sağlanabilmektedir. Akrilonitril bütadien kauçuklar petrokimya ürünlerine olan dayanımı yüksek olduğundan petrol ürünleri için üretilen hortumlar, contalar vb. için kullanılır (Megep-S, 2011).

Kloropren Kauçuklar:

Bütadien ve kloroprenin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Üretim piyasasında daha çok neopren olarak adlandırılır. Aşınmaya, ozona, hava ve ısıya karşı direnci iyidir. Daha çok araç lastik üretimi ve bazı yapıştırıcı türlerinin üretiminde kullanılır. Bunun yanı sıra motor contası, elektrik kablosu, kimyasal sıvı ve su için üretilen tanklar gibi kullanım alanları mevcuttur (Megep-S, 2011).

Bütil Kauçuklar:

İzobütilenin ve isoprenin karışımı ile elde edilen bütil kauçuklar; gaz geçirgenlik özelliği düşük bir kauçuk türüdür. Bu yüzden özellikle araç lastiklerinin iç kısmında tercih edilmektedir. Sıcaklığa, neme, ozon ve hava gibi etmenlere karşı yüksek dirence sahip bir üründür. Bu özelliklere ek olarak asite, yırtılma, aşınma ve yorulmaya dayanımın yüksektir. Kimyasal ürünlerde sızdırmaz tıkaç, yapılarda ısı yalıtım malzemesi olarak, bazı türleri ise yüksek voltajlı kablo üretiminde ve tanker kaplama gibi alanlarda kullanılmaktadır (Megep-S, 2011).

3.1.2. Karbon Siyahı

Karbon siyahı hidrokarbonların tam yanmaması sonucu oluşan, siyah renkli ve bilinen adıyla "is karası" olarak isimlendirilen ince tanecikli maddedir (ICBA, 2004). Sanaide fırınlama işlemi olarak tabir edilen proses sonucunda elde edilmektedir. Kauçuk ile karıştırıldığında kauçuğun zincir yapısında değişimlere neden olur ve

radikallerin oluşmasına yol açar. Ortaya çıkan radikaller ve karbon siyahı etkileşimi sonucu karbon-polimer bağı oluşmaktadır. Kauçuğun mevcut sertliğinin yumuşatarak kopma olayı gerçekleşmeden şekil alabilmesini sağlar (Yakaboylu, 2010).

Karbon siyahının %90'lık kısmı araç lastiği üretiminde kullanılırken, %9'luk kısmı matbaa, plastik, boya sanayinde ve %1'lik kısmı ise diğer alanlarda kullanılmaktadır (Crump, 2000). İngiltere'de 1910 yılında yapılan çalışmalarda karbon siyahının lastikte kullanılmasının lastik ömrüne önemli katkıları olduğu ortaya çıkarılmıştır. Karbon siyahı araç lastiklerin yaklaşık %25-28 gibi oranlarda kullanılır. Araç lastiğinin sırt, yanak, karkas ve iç astarında tercih edilmektedir (Brentin ve Sarnacke, 2011). Karbon siyahı kullanım alanlarına göre çeşitlenmektedir. Araç lastiğin yol ile temas ettiği aşınmanın gerçekleştiği alanlarda kullanılan karbon siyahı sert türde, gövde ve yanak kısmında ise yumuşak türde olan karbon siyahı tercih edilmektedir (Yakaboylu, 2010).

3.1.3. Dolgu Maddesi

Kauçuklara kuru toz halinde katılan çok küçük tane boyutlu maddeler, güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda genellikle termoplastiklere (ısı değişimine göre yumuşayan ya da sertleşen plastik) ağırlıkça yaklaşık % 30, termosetlere (ısı ile şekil verilen ve bu işlem sonrası tekrardan şekillendirilemeyen plastik) ise yaklaşık % 60 oranında dolgu katılır (Karabörk, 2012). Araç lastiğinin üretim aşamasında verimim artırmak ve vulkanizasyon (malzemenin daha dayanıklı malzemeye dönüştürme işlemi) prosesinin sağlanması için çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddelerin başlıcaları kükürt, demir oksit, çinko, silis ve kalsit gibi maddelerdir. Dolgu maddelerinin yanı sıra araç lastiklerinde, çelik ve testil iplikleri lastiğin omurgasını ve mukavemetini sağlamak için kullanılmaktadır (Yakaboylu, 2010).

3.2. ATIK LASTİK YÖNETİMİ

Araç lastiği yol ile teması sonucunda birçok yıpratıcı etki ile karşı karşıya gelmektedir. Özellikle sürtünme kuvvetinin ortaya çıkardığı aşınma lastik diş derinliğini

düşürmektedir. Sürtünmeden kaynaklı bu kayıpların lastik ağırlığına oranı yaklaşık %10-20 düzeylerindedir. Ortalama 8 kg olan otomotiv lastiğini ele alırsak yaklaşık olarak 1-1,5 kg gibi kayıp ortaya çıkmaktadır (Yakaboğlu, 2010; Doğan, 2012). Çizelge 3.2’de ortalama tekerlek ağırlıklarına ilişkin bilgi verilmiştir (Doğan, 2012).

Çizelge 3.2. Taşıt türüne bağlı ortalama tekerlek ağırlıkları (Doğan, 2012).

Taşıt Türü	Ortalama ağırlık (kg)
Otomobil	6,5-10
Orta ölçekli taşıtlar (4x4 sınıfı dahil)	11,0
Ağır vasıta	52,5

Kısaca atık lastik; nihai kullanım ömrünü doldurmuş, tekrar kullanılma ihtimali olmayan veya üretim aşamasında herhangi bir nedenle değerinin yitirmiş lastiklere verilen addır.

Bu atık lastiklerin büyük kısmını karayolları araçlarının atık lastikleri oluşturmaktadır. Günümüzde atık lastiklerin değerlendirilmesine yönelik tesislerin yaygın olamamasından dolayı değeri olmayan atık olarak görülmektedir. Atık lastikler içerdiği birçok kimyasal malzeme nedeniyle çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri mevcuttur. Ortaya çıkan bu sorunları bertaraf etmenin en temel yolu geri dönüşüm prosesine bu atık lastikleri sokmaktır. Gelişmiş ülkelerde yapılan geri dönüşüm sahalarıyla atık lastikler çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri büyük ölçüde kontrol altına alınmıştır (Megep-A, 2011).

Atık lastik depolama sahalarının çevreye olan etkileri üzerine birçok çalışma yürütülmüştür. Uzun süreli depolanan lastik sahalarında bulunan toprak ve su kaynakları üzerinde yapılan çalışmalarda normal kabul edilen sınır pH değerlerinin üzerinde sonuçlar tespit edilmiştir. Farklı nötr, asidik ve bazik ortamlarda bekletilen lastiklerde farklı çözümlerin olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bazik ortamlarda organik madde değerlerinin; asidik ortamda ise metal iyonlarının çevreye yayıldığı ölçümlerle ifade edilmiştir. Bu ölçümlerde atık lastiğin bünyesinde barındırdığı maddelerin toprak ve yeraltı sularına karışması sonucu bu alanlarda mikroorganizmalar ve böcek vb. canlıların direk olarak olumsuz etkilendiği sonucuna varılmıştır (Batır, 2002; Gönüllü, 2004).

Atık lastik depolama sahalarında en büyük sorun kontrol altına alınması zor olan yan-
gınlardır. Lastiklerin yanması sonucu atmosfere birçok madde salınır. Bunlar uçucu
organik maddeler, karbon monoksit, azot oksit, kükürt oksit, yarı uçucu inorganik
maddeler ve karbon siyahı gibi maddelerdir. Atmosfere karışan bu maddeler başta
hava olmak üzere, yağış ile su kaynaklarını ve toprak örtüsünü kirletmektedir (Sugözü
ve Mutlu, 2009).

Artan üretim ve buna paralel artan atıklar çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde et-
kileyen en önemli unsurdur. Bu sorunları sırasıyla; atığın oluşmasını engellemek,
azaltmak, tekrar kullanımını sağlamak, geri dönüştürmek, enerji elde etmek ve depo-
lamak gibi yönetim şekliyle ortadan kaldırılabilmektedir. Başlıca atık lastik değerlendirme
yöntemlerini; doğrudan, termik, malzeme ve ham madde olarak değerlendirme yön-
temleri adıyla sınıflandırılmaktadır.

3.2.1. Doğrudan Değerlendirme Yöntemi

Doğrudan değerlendirme işlemi atık lastiklerin mevcut özelliklerinin değiştirilmeden
yeniden kullanılmasıdır (Yakaboylu, 2010). Atık lastikler doğrudan değerlendirme
olarak birçok alanda kullanılabilir. İnşaat sektöründe yüksek esnekliğe sahip olma,
gürültü ve titreşim absorbe gibi özellikleriyle tercih sebebidir. Kara yollarında bari-
yerlere destek amaçlı ve limanlarda gemilerin yanaşmalarına yardımcı olabilmek için
takoz olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda çocuk parklarında oyun ekipmanı,
toprak erozyonu önlemede set ve deniz kıyılarında dalga kırıcı gibi birçok alanda
kullanılabilmektedir. Bunların yanı sıra deniz ekolojisine uyum sağladığına ilişkin
çalışmalar yürütülmüş ve yapay resif oluşturmak için ideal olduğu ifade edilmiştir
(Sullivan, 2006; Sienkiewicz ve diğ., 2012).

Doğrudan değerlendirmenin bir diğer ayağı, atık lastiklerin deforme olmuş yüzeyinin
kaplama yapılması veya tekrardan diş açma işlemi yapılarak araç lastiği olarak
kullanılmasıdır. Deforme olmuş lastiğin yeniden diş açmak için gerekli derinliğe sahip
ise diş açma yöntemi seçilmektedir. Yüzey tekrar diş açma işlemine uygun değilse
kaplama işlemi tercih edilmektedir. Hem diş açma hem de kaplama işlemi sıfır lastiğe

göre daha ucuz maliyetli lastik eldesi mümkün olduğundan özellikle kamyon ve otobüs lastiklerinde bu yöntem tercih edilmektedir (Batır, 2002; Yakaboylu, 2010).

3.2.2. Termik Değerlendirme Yöntemi

Termik değerlendirme yöntemi atık lastiklerden enerji kazanım işlemidir. Bu yöntem atık lastiklerin içinde bulunduğu bileşenlerden enerji elde edilmesi işlemi olarak adlandırılmaktadır (Yakaboylu, 2010). Atık lastik kalorifik değeri 32 MJ/kg gibi yüksek düzeydedir ve bu durum yakıt olarak kullanılan maddelere alternatif olarak kullanılabilecek bir kalorifik değer seviyesidir. Aşağıdaki Çizelge 3.3'te bazı yakıtların kalorifik değerleri ve emisyon miktarları verilmiştir (WBCSD, 2008).

Çizelge 3.3. Yakıtların kalorifik değerleri ve emisyon miktarları (WBCSD, 2008).

Yakıt	Kalorifik Değer (MJ/kg)	Emisyon Değerleri
		kgCO ₂ /ton
Odun	10,2	1122
Kömür	27,0	2430
Doğalgaz	39,0	1989
Motorin	46,0	3220
Lastik	32,0	2270

Atık lastiğin yüksek kalorifik değere sahip olması nedeniyle çimento ve kireç fabrikalarında, elektrik üretim santralleri gibi birçok tesisde kullanılmaktadır. Çimento fabrikaları gibi yakıt olarak kullanan üretim sahalarında lastik yakma işlemine uygun lisanslı fırınlar tercih edilmektedir. Atık lastikler; mevcut kalorifik değerinin odun ve kömür gibi yakıtlara göre yüksek olması tercih sebebi olsa da lastiğin yakılması sonucu çevreye zararlı maddeler yaymaktadır. Bunların başında azot oksit, kükürt oksit ve uçucu maddelerin kontrolü için sisteme entegre emisyon cihazları kurulmalıdır (Gönüllü, 2004; Yakaboylu, 2010).

3.2.3. Malzeme Olarak Değerlendirme Yöntemi

Atık lastiklerin değerlendirme yöntemlerinden birisi de "malzeme olarak değerlendirme" yöntemidir. Lastiğin içinde bulundurduğu bileşenler, sürtünme vb. karşı dirençli materyallerdir. Lastiğin içerdiği kauçuk, çelik ve tekstil ürünü lifler gibi maddeler ayrıştırma tesislerinde geri kazanımı sağlanabilmektedir. Bu geri kazanım parçalama veya granüle etme işlemi olarak tanımlanmaktadır (Pangaliyev, 2014).

Oda sıcaklığında parçalama işleminde mekanik olarak parçalama prensibi ele alınmaktadır. Bu işlemin ilk safhasında ön parçalama işlemi gerçekleşir ve böylece mevcut atık lastiğin kapladığı alan azaltılarak taşıma vb. gibi maliyetlerden tasarruf sağlanmaktadır. Bu parçalama işleminin sonucunda atık lastik granül haline dönüşmekte ve içerisinde kalan metal parçacıklar mıknatıs yardımıyla ayrılırken, içerisinde tekstil ürünü lifler rüzgar yardımıyla ayrılmaktadırlar (De ve diğ., 2005).

Kriyojenik parçalama işleminde sıvı azot gibi dondurucu özelliğe sahip madde yardımıyla -80 °C veya -100 °C dolaylarında soğutulan atık lastik kırılğan yapıya sahip olmaktadır. Bu kırılğanlıktan yararlanılarak atık lastik pürüzsüz bir granül eldesi mümkündür. Bu işlem atık lastikten elde edilen taneciklerin temiz ve ince olması gereken kullanım alanları için ideal bir seçimdir (Myhre ve MacKillop, 2002; De ve diğ., 2005).

Elde edilen granül haldeki kauçuk birçok alanda tercih edilmektedir. Aşağıdaki Çizelge 3.4'te granül haldeki kauçuğun bazı kullanım alanları verilmiştir (Gönüllü, 2004).

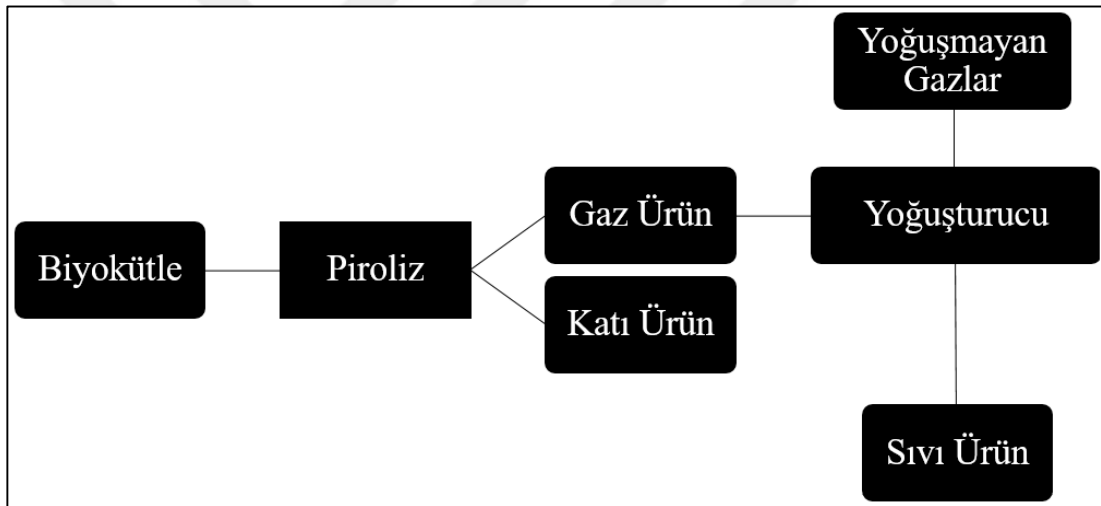
Çizelge 3.4. Granür kauçuk kullanım alanları (Gönüllü, 2004).

Otomobil Endüstrisi	Yapı Sektörü
*Kayışlar *Oto fren balatasında bağlayıcı *Oto tamponları *Araba kaportasında sızdırmazlık conta- ları *Araç içi paspaslar *Contalar *Darbe absorblayıcılar *Teker arkasında çamur/su sıçramasını önleyen lastik perdeler *Araç lastikleri ve iç lastikler	*Spor alanları yüzeylerinde *Tekne içinde kaymayı önleyici yüzey *Tutkallar ve izolasyon sıvıları *Teneke içi reçine kaplaması *Genel ekstüzyon ürünleri *Genel döküm kalıp ürünleri *Bina zemin kaplamaları *Su basmanı su önleyici *Kaymayı önleyici yüzey malzemesi *İnşaat boyası
Zemin ve Asfalt Uygulamaları	Termoplastik Elastomerik Ürünler
*Drenaj boruları *Civa ve metalik yüzeyler için filtrele-y ici malzeme *Demiryolu ray bağlantıları *Karayolu inşası ve tamiri *Asfalt yol çatlakları kapama malzemesi *Karayollarda lastik katkılı asfalt *Toprak iyileştirici ve zemin örtüsü *At yarış pisti malzemesi *Trafikte araç ve insan geçiş barikatları	*Radyo, TV vs. parçaları *Kablo yalıtkanı *Boru biçimli çekme malzeme *Esnek lastik uygulamaları *Dökümle şekillendirilmiş inşa ürünleri *İzolasyonlar *Yarı havalı tekerler *İçi dolu endüstriyel tekerler *Tepsiler, bidonlar ve kutular

3.2.4. Ham Madde Olarak Değerlendirme Yöntemi

Organik madde içeren tüm maddelere sıvılaştırma, yanma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri uygulanabilmektedir ve işlemler sonucunda katı, sıvı ve gaz ürünlerin eldesi mümkündür. Piroliz işlemi atık lastiklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir (Karabörk, 2012).

Termokimyasal işlemler arasında biyokütlenin yararlı enerji olarak dönüştürülmesinde en temel yöntem piroliz işlemidir. Piroliz oksijensiz ortamda biyokütlenin ısıl bozunması olarak tanımlanmaktadır. İşlem ürünü olarak yağ, gaz ve katı ürün eldesi gerçekleşmektedir (Demirbas, 2009). Ham maddenin içindeki mevcut su sistemden buhar halinde atılır ve sistemde katı ürün ile bir miktar gaz ürün kalır. Gaz haldeki ürün katıdan ayrılarak soğutulup yoğuşması sağlanır. Yoğuşan gaz ürün piroliz yağı olarak dönüştürülür. Bu yoğuşma prosesinin tamamlayamayan gaz ise gaz ürün olarak sistemde elde edilmektedir. Bu süreçte katı ürün ise toplanır ve endüstride satılmak üzere pazarlaması gerçekleşir veya sistem için gerekli enerjiyi oluşturmak üzere yakıt olarak değerlendirilir (Basu, 2010). Şekil 3.4'te piroliz akış şeması ve ürünleri verilmiştir (Yakaboylu, 2010).



Şekil 3.4. Piroliz akış şeması ve ürünleri (Yakaboylu, 2010).

Piroliz ürünlerin çeşidi ve miktarı piroliz işlemindeki bazı parametrelere göre değişmektedir. Bu parametrelerin başında ise reaktör çeşidi gelmektedir. Reaktör, ürün çeşit ve miktarını belirlemenin yanında proses maliyetinde en önemli kalemi oluşturmaktadır. En çok tercih edilen reaktör çeşitleri serbest düşmeli ve sürüklemeli akış reaktörleri ile akışkan ve sabit yataklı reaktörlerdir (Pangaliyev, 2014). Piroliz işleminde, reaktör tipi haricinde etkileyen başka parametreler de bulunmaktadır. Bu parametreleri; reaktöre giren parçacıkların boyutu, basınç, sıcaklık, katalizörün etkisi, alıkonma süresi ve ısıtma hızı oluşturmaktadır.

Reaktöre Giren Parçacıkların Boyutu:

Piroliz işleminde reaktöre aktarılan parçacıkların boyutu elde edilecek ürün çeşidi ve verimine doğrudan etkisi vardır. Parçacıkların boyutuna göre reaktördeki ısı transfer değişmektedir. Büyük boyutlu malzeme yavaş ısındığı için ısı transfer daha geç gerçekleşecek ve gaz ürün eldesi düşük olacaktır. Parçacık boyutlarının etkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır, bu çalışmalardan birisi de kömür üzerine yürütülmüş ve 50 mikron düzeyine kadar olan parçacıkların verime etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir (Pangaliyev, 2014). Yüksek sıcaklıklarda parçacık boyutundaki artış sıvı ürün veriminde artış sağlamaktadır (Antoniou ve Zabaniotou, 2013). Parçacık boyutunun etkileri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler yardımıyla birçok yeni teknolojik gelişmeler yaşanmış, büyük parçacıklar için sıcak gaz yeniden değerlendirilmeli sabit yataklı reaktörler geliştirilirken, küçük parçacıklar için ise akışkan yataklı ve döner fırınlı reaktörler geliştirilmiştir (Yakaboylu, 2010). Aşağıdaki Çizelge 3.5'de ürün tane boyutu ve piroliz ürün verimi ilişkisi verilmiştir (Yılgin ve diğ., 2005).

Çizelge 3.5. Ürün tane boyutu ve piroliz ürün verimi (Yılgin ve diğ.).

Sıcaklık		400 °C			500 °C		
Odun türü	Boyut mm	%Sıvı	%Katı	%Gaz	%Sıvı	%Katı	%Gaz
Meşe	8	45,87	30,84	23,29	53,15	22,68	24,17
	10	52,53	27,83	19,64	60,63	21,19	18,18
	12	56,03	31,94	12,03	57,47	26,12	16,41
Çam	8	50,76	24,80	24,44	50,55	22,44	27,01
	10	63,87	22,68	13,44	63,33	24,13	12,54
	12	64,29	26,92	8,79	63,07	24,48	12,45

Basınç:

Uçucu ürünlerin verimine etkisi olan en önemli etmen basınçtır. Basınç reaksiyonun hızına etki etmektedir. Yüksek basınçta reaksiyon hızlanır ve hidrokarbon temelli gazların verimi artar; düşük basınç değerlerinde ise hafif yağ ve katranın veriminde artış

sağlamaktadır. Bu basınç değerlerinde artış ve düşüşünün etkisi ise 350 °C düzeyleri ve üstünde ortaya çıktığı çalışmalarca tespit edilmiştir (Bridgwater, 2006).

Sıcaklık:

Piroliz işlemde ürün verim ve bileşenlerine etki eden önemli bir parametre olan sıcaklık; prosesde 3 aşamada ele alınmaktadır. İlk aşama katı ürünlerin veriminin yüksek olduğu ve sıcaklık değerlerinin 100 °C ile 300 °C düzeylerinde değiştiği aşamadır. İkinci aşama sıvı ürünlerin veriminin yüksek olduğu ve sıcaklık değerlerinin 500 °C düzeylerinde değiştiği aşamadır. Üçüncü aşamada ise 700 °C seviyelerinin aşan yüksek bir ısı değerine ulaşılır ve bu aşamadan sonra genellikle CO, CH₄ ve H₂ gazları oluşmaktadır (Basu, 2010; Pangaliyev, 2014). Sıcaklık etkisi lastik pirolizinde gaz ve sıvı nihai ürün 250 °C verimi artış eğilimi gösterirken, 400 °C sıcaklık değerlerinin üzerinde ise sıvı ve katı nihai ürün verimi gaza göre azalış eğilimi gösterdiği çalışmalarda tespit edilmiştir (Antoniou ve Zabaniotou, 2013).

Katalizör Etkisi:

Piroliz sonucu oluşan ürünler katalizör yardımıyla daha verimli ürünlere dönüştürülebilmektedir. Prosesde tercih edilen katalizörlerden birisi de zeolittir. Zeolit, piroliz sırasında oluşan buhar üzerinde katalitik etki ile onu parçalar ve benzin gibi çeşitli hidrokarbon ürünlerinin oluşumunda önemli rol oynar. Tercih edilen katalizörün gözenek genişliği ve yüzey alanı gibi parametreler katalitik parçalanma işlemini etkileyen parametrelerden bazılarıdır (Taşcı, 2010).

Alıkonma Süresi:

Alıkonma süresi, sistemde işlemler süresince meydana gelen buhar halindeki bileşiklerin reaksiyon ortamında bekletilme zamanıdır. Uzun bekleme sürelerinde karbon atıklarının gaz forma dönüştükleri saptanmıştır. Kısa bekleme sürelerinde ise işlem sıcaklığındaki artış neticesinde sistemi besleyen maddedeki oksijen oranını azaldığı gözlemlenmiştir (Sadıkoğlu Özek, 2014).

Alıkonma süresi üzerine çok sayıda deneyler yapılmış ve farklı bekletilme süresinde, farklı sıcaklıklarda çeşitli veriler elde edilmiştir. Bu çalışmaların birinde 600 °C sıcaklık değerinde 35 dakika alıkonma süresince %16'lık sıvı ürün verimi alırken, aynı sıcaklık değerinde 5 dakika alıkonma süresince %27'lik bir sıvı ürün verimi elde edildiği tespit edilmiştir (Taşcı, 2010).

Isıtma Hızı:

Pirolizde ısıtma hızı, işlem sonu meydana gelen ürünlerin çeşidini ve ürünlerin kimyasal yapısını belirleyen önemli bir parametredir. Ancak ürün çeşitlerini ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi konusunda ısıtma hızı, sıcaklık ve alıkonma süresi bir bütün olarak değerlendirilmelidir (Altunbaş, 2015). Isıtma hızına bağlı piroliz işlemi temel olarak hızlı piroliz ve yavaş piroliz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yavaş piroliz işlem basamakları yavaş gerçekleşmektedir ve bu yüzden reaktörde alıkonma süresi uzundur. Prosesde ham maddenin ısıtma hızı yavaş ise katı ürün eldesi yüksektir. Bu işlemin tam tersi olan hızlı piroliz işleminde ise ısıtma hızı yüksek olması sonucu uçucu bileşiklerin verimi artar, sıcaklığa bağlı olarak sıvı ve gaz ürün verimi yüksek seviyelere çıkmaktadır (Sadıkoğlu Özek, 2014). Özetlemek gerekirse ısıtma hızı yüksek olan işlemlere hızlı, ultra ve flash piroliz olarak gruplandırılırken, ısıtma hızı düşük olan işlemlere yavaş piroliz olarak sınıflandırılır (Altunbaş, 2015).

3.2.4.1. Piroliz Metotları

Piroliz metodları; alıkonma süresi, sıcaklık, ısıtma hızı ve nihai ürünleri içeren sınıflandırılma Çizelge 3.6'da verilmiştir. Bu metotlar; elde edilmek istenilen ürünün çeşidi ve verimi için farklı teknolojilerin geliştirilmesi sonucunda elde edilmiştir (Özay ve diğ., 2014).

Çizelge 3.6. Piroliz metodları (Özay ve diğ., 2014).

Piroliz Yöntemi	Kalma Süresi	Isıtma Hızı	Sıcaklık °C	Ürünler
Karbonizasyon	günler	çok düşük	400	odun kömürü
Yavaş piroliz	5-30 dakika	düşük	600	yağ, gaz, katı ürün
Hızlı piroliz	0,5-5 saniye	çok yüksek	650	biyoyağ
Flaş-sıvı	<1 saniye	yüksek	<650	biyoyağ
Flaş-gaz	<1 saniye	yüksek	<650	kimyasallar, gaz
Ultra piroliz	<0,5 saniye	çok yüksek	1000	kimyasallar, gaz
Vakum piroliz	2-30 saniye	orta	400	biyoyağ
Hidropiroliz	<10 saniye	yüksek	<500	biyoyağ
Metnopiroliz	<10 saniye	yüksek	>700	kimyasallar

Piroliz metodlarını kısaca üç tip olarak incelenmektedir; yavaş, hızlı ve flaş (ani) piroliz. Bu temel piroliz metodlarına ek ürün ihtiyacına göre çeşitli piroliz metodları da geliştirilmiştir (Sinoplugil, 2017).

Yavaş Piroliz:

Yavaş piroliz, uzun yıllar boyunca genel amacı kömür elde etmek olan ve geleneksel piroliz metodu olarak isimlendirilen bir piroliz metodudur. Yavaş piroliz işlemi 5-30 dakika alıkonma süresinde, düşük ısıtma hızında 600 °C sıcaklık değerlerinde gerçekleşmektedir (Özay ve diğ., 2014).

Bu piroliz metodu verimli ve ekonomiktir. Geleneksel piroliz sonucunda sıvı, katı ve gaz ürün eldesi gerçekleşebilir. Yüksek sıcaklık değerleri gaz ürün verimini artırırken, düşük değerler sıvı ürün verimi üzerine olumlu etkiler yaratır. Düşük sıcaklık değerlerinde ve uzun alıkonma sürelerinde katı ürün eldesi için ideal parametrelerdir. Bu parametrelerden yararlanılarak kömür eldesi gerçekleşmektedir (Sinoplugil, 2017). Kömür eldesinde sistem sıcaklığı 500 °C seviyesine hazırlanır ve buharın alıkonma süresi 5-30 dakika dolaylarında tutulmaktadır. Yavaş pirolizde reaktöre giren madde yavaş

yavaş ısıtılmaktadır veya önceden belirlenen sabit bir ısıl değerde bekletilmektedir, bunun nedeni sistemde oluşan buharın tamamını ortamdaki uzaklaştırmak ve odunun kömüre verimli bir şekilde dönüşmesini sağlamaktır (Şekerci, 2012).

Hızlı Piroliz:

Geleneksel piroliz ile düşük ısıtma hızlarında daha çok katı ürün verimi elde edilmektedir. Geleneksel piroliz metodunun sıvı ürün ihtiyacına yönelik düşük verimli sonuçları nedeniyle, sıvı ürün ihtiyaçlarını karşılamak için hızlı piroliz metodu tercih edilmektedir. Hızlı piroliz, kısa alıkonma süresi içerisinde yüksek ısıtma hızlarında gerçekleşen bir piroliz metodudur. Piroliz reaktörüne giren madde, çok kısa sürede ısıtılır sistemden buhar uzaklaştırılır ve yoğunlaşarak koyu bir sıvı ortaya çıkar. Bu ortaya çıkan sıvı madde pirolitik yağ, piroliz sıvısı, biyoyağ ve biyoyakıt gibi çeşitli adlara sahiptir (Özay ve diğ., 2014).

Hızlı piroliz reaktörüne giren maddenin ağırlıkça %60-75 oranında sıvı ürün verimi elde edilmektedir (Şekerci, 2012). Asıl amaç sıvı ürün veriminin olduğu için katı ürün verimi düşüktür. Piroliz işlemi sonucu elde edilmiş olan katı ürün genellikle sistemin ihtiyacı olan enerjiyi karşılamaya yönelik kullanılır veya farklı ticari ürünlere dönüştürülür (Sinoplugil, 2017).

Piroliz sırasında elde edilecek ürünün verimini yüksek olması isteniyorsa proses esnasında dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar mevcuttur. Hızlı pirolizde dikkat edilmesi gereken birinci unsur ısıtma hızının çok yüksek seviyede olmasıdır. İkinci unsur işlem sıcaklığının yüksek seviyelerde tutulmasıdır. Üçüncü unsur ise alıkonma süresinin oldukça düşük olması ve oluşan buharın ani bir şekilde soğutulmasıdır. Bu unsurlara dikkat edilmezse, uzun sürelerde ısı ile temas halinde olan buharın barındırdığı yüksek ağırlıklı moleküller parçalanarak kaybolur ve bunlar gaz maddelere dönüşür (Şekerci, 2012). Sıvı veriminin yüksek seviyelerde tutulması için reaktör içindeki gaz kısa alıkonma süresi içinde soğutulması gerekmektedir. Aynı zamanda kömürleşmeyi minimum seviyede tutabilmek için hızlı ısıtma uygulanmalıdır. Hızlı ısıtma için ise reaktörüne giren maddenin küçük tanecik boyutlarına sahip olması gerekmektedir (Ertaş, 2010).

Özellikle reaktör içinde gerçekleşen proses sonucu ortaya çıkan gazın soğutma işlemine kadar geçen sürede farklı reaksiyonların oluşmaması için işlemin gerçekleştiği süre çok kısa olmalıdır. Bunun yanı sıra işlem sonrası elde edilen piroliz sıvısının bekletilmesi barındırdığı kül vb. gibi maddeler nedeniyle kimyasal tepkimeler gerçekleşme olasılığını artırır. İstenmeyen kimyasal reaksiyonların önüne geçmek için elde edilen piroliz sıvısının bekletilmeden nihai ürüne işlenmesi gerekmektedir (Üçgöl ve Akgöl, 2010).

Hızlı piroliz işleminde verimi artırmaya yönelik reaktörler üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu reaktörlerden en çok tercih edileni akışkan yataklı reaktörlerdir ve bu reaktörlerin tercih nedeni reaktöre giren maddenin kısa sürede sıcaklık ile buluşmasını sağlamasıdır (Üçgöl ve Akgöl, 2010). Diğer bir neden ise diğer reaktörlere nazaran bazı özelliklere (basit kontrol, kolay şekilde nihai ürün elde edilmesi, ısıtma hızının yüksek olması vb.) sahip olmasıdır (Pangaliyev, 2014).

Flash (Ani) Piroliz:

Ani piroliz adıyla da tanınan flaş piroliz metodu, reaktöre giren biyokütlenin pirolizi konusunda tercih edilen önemli metotlardan birisidir. Flaş piroliz metodunun geleneksel pirolize göre farkı alıkonma süresinin çok kısa olması ve ısıtma hızının yüksek olmasıdır. Bu ısıtma hızı 10^2 °C/s değerlerinin üstünde ve alıkonma süresi saniye hatta milisaniye seviyesindedir (Doğru, 1997).

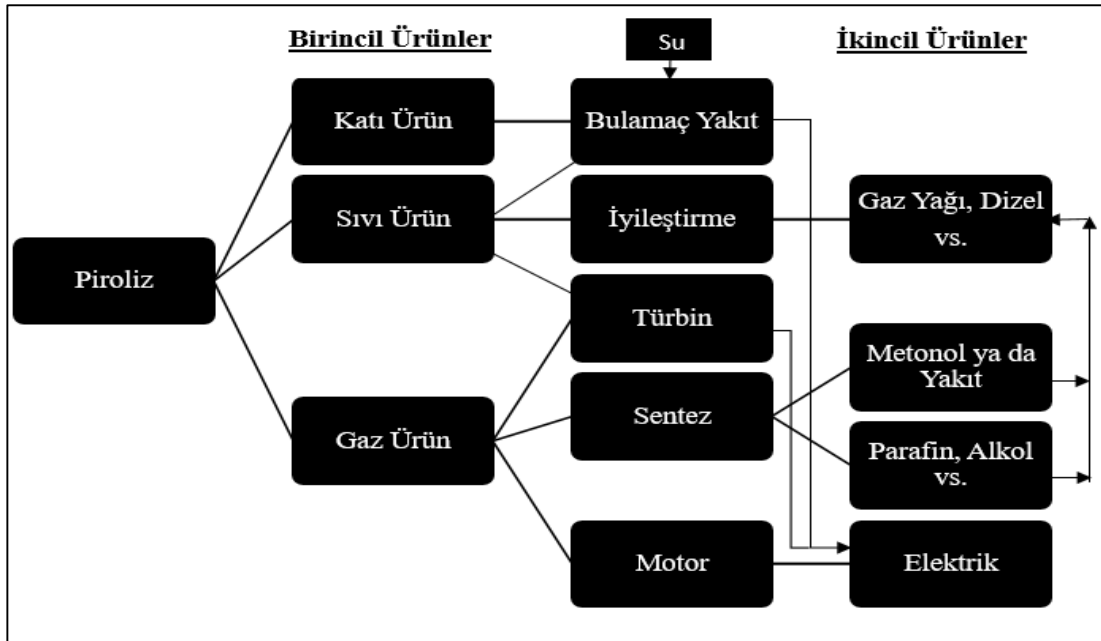
Ani piroliz işleminde, reaktöre giren maddenin hızlı ısıtmaya maruz kalması gerekir ve bunun verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için ham madde boyutunun çok küçük olarak sisteme dahil edilmesi sağlanmalıdır. Flash piroliz koşullarına cevap verebilecek reaktörler özenle seçilmelidir. Bu piroliz metoduna akışkan yataklı ve sürükleyici akım reaktörleri uygun olduğu çalışmalarda tespit edilmiştir (Pangaliyev, 2014).

Reaktörde gerçekleşen reaksiyonlar, çok karmaşık ve ard arda gerçekleşen hem de birbirini paralel takip eden yapıdadır. Bu reaksiyonlar sonucunda birçok ürün elde edilmektedir. Bu ürünlerin verimi reaktöre giren maddenin türü ve sürecin yapısına göre

değişmektedir. Piroliz sonucu elde edilen sıvı ürün genellikle birtakım iyileştirmeler sonucu akaryakıt türevi olarak değerlendirilmektedir (Doğru, 1997). Reaktöre giren maddenin ağırlıkça (ıslak ağırlık) %80 seviyelerinde sıvı ürün eldesi gerçekleştirilebilir (Sinoplugil, 2017).

3.2.4.2. Piroliz İşlemi Sonucu Elde Edilen Ürünler

Piroliz prosesinin sonucunda elde edilen ürünler iki ana grupta incelenmektedir. Bu iki ana grup; birincil ve ikincil ürün olarak adlandırılır. Ortaya çıkan ürünleri etkileyen temel faktörler ise; reaktöre giren maddenin içeriği, piroliz ortamı (parçacıkların boyutu, basınç, sıcaklık, katalizörün etkisi, alıkonma süresi gibi parametreler) ve piroliz metodu (yavaş, hızlı vb.) olarak sıralanmaktadır. Bu faktörlerin etkisiyle farklı verimde ve farklı özelliklere sahip ürünler elde edilebilmektedir. Birincil ürünler; katı, sıvı ve gaz ürün olabilir. Birincil ürünler direkt olarak değerlendirilebilen ürünler olabildiği gibi çeşitli işlemler sonucunda ikincil ürünler olarak da kullanılmaktadırlar. Genellikle ikincil ürünler sıvı ürünlerin proselerden geçirilmesi sonucu elde edilen değerli kimyasal ve yakıt olarak kullanılabilen ürünlerdir (Fagbemi ve diğ., 2001; Sadıkoğlu Özek, 2014). Şekil 3.5’de piroliz sonucu elde edilen birincil ve ikincil ürünlere yer verilmiştir (Sinoplugil, 2017).



Şekil 3.5. Piroliz prosesi birincil ve ikincil ürünleri (Sinoplugil, 2017).

Birincil Ürünler:

Piroliz İşlemi sonucu elde edilen birincil ürünler katı, gaz ve sıvı olarak üç kola ayrılır. Katı ürün verimi yüksek olduğu için geleneksel piroliz metodu tercih edilmektedir. Geleneksel piroliz metodunda uzun alıkonma süreleri sonucunda yüksek verimde katı ürün eldesi gerçekleştirilmektedir. Hızlı ve ani piroliz metodunda ise çok yüksek ısıtma hızından yararlanılarak katı ürün eldesi sağlanır ancak bu ürün verimi geleneksel pirolize göre düşüktür (Sadıkoğlu Özek, 2014). Çar (char) olarak da adlandırılan katı ürün; hidrojen, elemental karbon ve inorganik madde barındırmaktadır (Goyal ve diğ., 2008). Karbon içeriği yüksek olan katı ürün gözenekli yapıya sahiptir. Direkt veya aktifleşme prosesinden sonra aktif karbon olarak kullanılabilir (Ayan, 2011). Aynı zamanda katı ürün ısı değeri (6000 cal/g) yakıt olarak tercih edilebilir seviyelerde olması nedeniyle evsel ısıtma ve elektrik üretim tesisleri gibi alanlarda kullanılabilir (Sinoplugil, 2017).

Piroliz sonucunda ortaya çıkan gaz ürün; sistemde yoğunlaşan gazlar ve yoğunlaşmayan gazlar olarak iki kısımda ortaya çıkar. Yoğunlaşan buhar soğutma sıvısı sisteminden geçerek sıvı forma dönüşmektedir. Yoğunlaşmayan gazlar ise doymuş ve doymamış hidrokarbon molekülleri içermektedir. Bu gazlar kalorifik değeri az olan CO ve CO₂ veya kalorifik değeri daha yüksek olan H₂, NH₄ gibi gaz ürünlerdir (Basu, 2010). Hızlı ya da ani piroliz metodunda %80 (ağırlıkça) seviyelerinde gaz ürün verimi elde edilebilir. Gaz ürünün kalorifik değeri doğal gaza oranla %30-65 civarındadır (Sinoplugil, 2017). Bu gaz ürün güç santrallerinde enerji ihtiyacı ve ısıtma amaçlı kullanılabilir (Ayan, 2011).

Piroliz prosesinde ortaya çıkan sıvı ürün; piroliz metoduna ve ayrıştırma yöntemlerine göre %15-30 dolaylarında su barındırmaktadır (Ertaş, 2010). Bu sıvı ürün genellikle piroliz sıvısı, biyoyağ olarak adlandırılmaktadır. Sıvı ürünün içerdiği molekül ağırlığı yüksek olan bileşikler suda çözünmezken, molekül ağırlığı düşük olan bileşikler suda çözünmektedir. Bu karmaşık yapı fenolik maddelerin meydana gelmesi, lignin bozunması vb. etkileşimler neticesinde gerçekleşmektedir. Ve sıvı ürünün özelliklerinin belirlenmede önemli rol oynamaktadır. Ürünün pH ve kalorifik gibi değerleri üstünde etkili olabildiği gibi viskozitenin belirlenmesinde de etkiye sahiptir (Ayan, 2011).

Pirolitik sıvısı; reaktöre giren maddenin bileşimi ve piroliz metoduna göre farklı renkler almaktadır. Genel gözlem rengi koyu kahverengidir. Aynı zamanda koyu kırmızı, siyah gibi renklerde de sıvı ürün bulunmaktadır. Azot içeri fazla olan pirolitik sıvı ürünün rengi koyu yeşil olarak tespit edilmiştir (Ertaş, 2010).

İkincil Ürünler:

İkincil ürünler; birincil ürünlerin çeşitli proseslerden geçirilmesi sonucu oluşan ürünlerdir ve bu ürünler üretim sektörünün birçok alanında kullanılmaktadır. Prosesler sonucu meydana gelen çeşitli kimyasallar (amonyak vb.), oksijen ve hidrokarbon içeren bazı maddeler ikincil ürünleri oluşturmaktadır (Sadıkoğlu Özek, 2014; Altunbaş, 2015). Elde edilen piroliz sıvısı yüksek oksijen ihtiva eden, kalorifik değeri yaygın olarak kullanılan çoğu yakıtı göre düşük ve kimyasal özellikler bakımından karmaşık bir yapıya sahiptir. Piroliz sıvısının üzerine yapılan araştırmalarda; yaygın olarak kullanılan petrol yakıtlarının yerine kullanılabilmesi için bazı proseslerden geçmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Ayan, 2011).

Piroliz sıvısındaki oksijen miktarını azaltmak için hidrojen prosesinden geçirilir ve oluşan su sistemden atılır. Geride ise arındırılmış bir tür hidrokarbon eldesi gerçekleşir. Katalitik prosesde zeolit katalizör olarak tercih edilmektedir ve zeolit yardımıyla yüksek aromatik ürünlerin eldesi gerçekleşmektedir. Katalizör olarak ZSM-5 adı ile alınan madde kullanılmaktadır ve bu madde ile yüksek oksijen ihtiva eden maddelerin dönüşümü kolaylıkla sağlanabilmektedir (Şimşek, 2006).

Aşağıdaki Çizelge 3.7’de ikincil ürünler ve yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir (Onay, 2001).

Çizelge 3.7. İkincil ürünler ve yöntemleri (Onay, 2001).

İkincil Ürün	Isıl Süreç	Saflaştırma Yöntemi
Hidrokarbon yakıtları		
Benzin	Piroliz Piroliz Sıvılaştırma Metanol ile gazlaştırma	Hidrojenle zenginleştirme + arıtma Zeolit katalizörü kullanımı + arıtma Hidrojenle zenginleştirme + arıtma Mobil yöntemi ile benzine dönüşüm (MOGD)
Dizel	Piroliz Piroliz Sıvılaştırma Metanol ile gazlaştırma	Hidrojenle zenginleştirme + arıtma Zeolit katalizörü kullanımı + MOGD Hidrojenle zenginleştirme + arıtma
Fuel-Oil	Piroliz Sıvılaştırma	MOGD Kararlı hale getirme Kararlı hale getirme
Oksijenli Yakıtlar		
Metanol Yakıt Alkolü	Gazlaştırma Gazlaştırma	Sentez Sentez
Güç	Piroliz Gazlaştırma Yanma	Türbin Motor, türbin veya Rankine çevrimi Rankine çevrimi
Kimyasal maddeler		
Hidrojen Amonyak Özel kimyasallar	Gazlaştırma Gazlaştırma Piroliz Sıvılaştırma	Dönüşüm Sentez Özütleme veya dönüşüm Özütleme veya dönüşüm

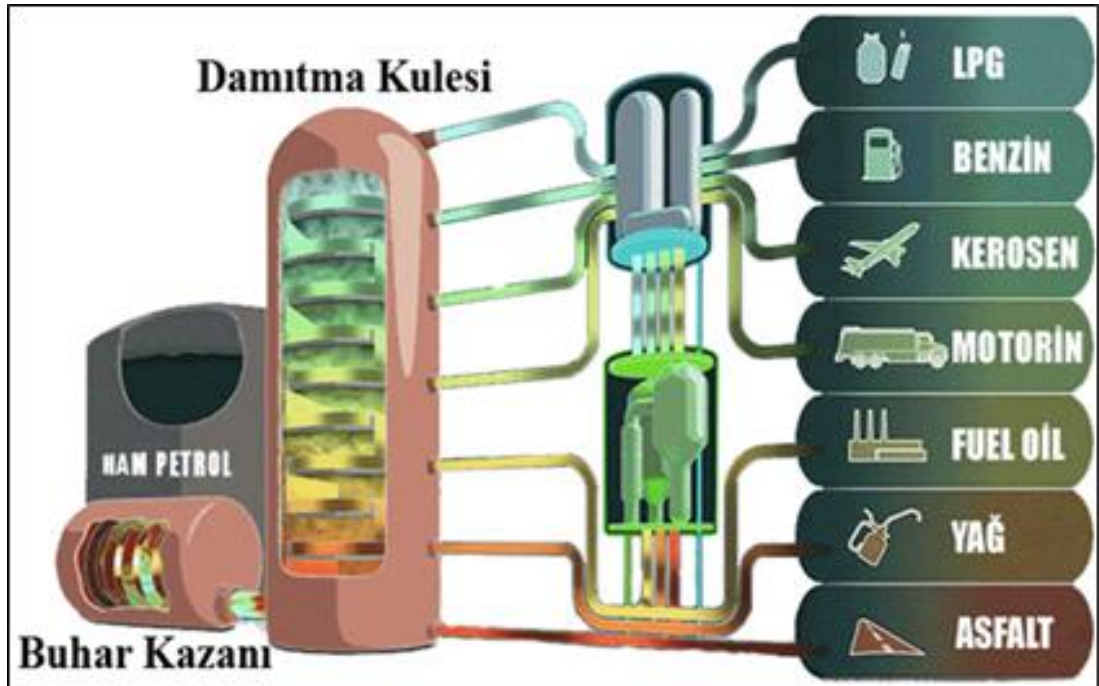
BÖLÜM 4

DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ, EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

4.1. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ

İçten yanmalı motorlarda yanma odasında yakıt ile havanın reaksiyonu sonucu amaçlanan enerji eldesi gerçekleşir. Burada elde edilen enerjiye doğrudan etki eden en önemli faktör yakıtın temel özellikleridir. İçten yanmalı motorlarda birçok yakıt kullanılmaktadır ve petrol ürünü yakıtların kullanılması yaygındır. Ham petrol çeşitli bileşikler içerir, bu bileşiklerin sahip oldukları farklı kaynama noktalarından yararlanılarak damıtma işlemi gerçekleştirilir ve işlem sonunda çeşitli petrol ürünleri elde edilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 4.1’de temel damıtma prosesine ilişkin bilgi verilmiştir (Fest., 2019).



Şekil 4.1. Damıtma prosesi (Fest., 2019).

Yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri, ham petrolün kimyasal bileşim özelliklerine ve rafinasyon prosesine göre farklılık göstermektedir. Yakıta ait bu özelliklerin değişmesi, silindirde gerçekleşecek yanma reaksiyonunun verimine ve emisyon değerleri gibi parametrelere etki etmektedir. Hidrokarbon türü olan parafin, yüksek setan sayısına sahiptir dolayısıyla elde edilecek yakıt içindeki parafin oranı yakıtın setan sayısına etki etmektedir. Yakıttaki setan sayısının yüksek olması sonucunda; tutuşma gecikmesi periyodu kısaltmakta, motor çalışma koşulları iyileşmektedir. Aromatik bileşiklerin ise setan sayıları düşüktür ancak parafinlere göre soğuk ortam koşullarındaki davranış özellikleri daha iyidir (Ejder, 2007; Bilsen, 2009). Ayrıca C/H oranları yüksek yakıtlar daha düşük C/H oranlarına sahip yakıtlara göre daha çok ısı emisyonu ürettiği çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır (Doğan, 2012). Elde edilen dizel yakıt ASTM D 975 standartlarına göre üç ana grupta sınıflandırılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de bu sınıflandırmaya ilişkin bilgi verilmiştir (Bilsen, 2009).

Çizelge 4.1. Dizel, ASTM D 975 (Bilsen, 2009).

Numarası	Bileşimi	Kullanım yeri
No. 1-D S15	Hafif orta distilat yakıt	Dizel motorlar
No. 1-D S500		
No. 1-D S5000		
No. 2-D S15	Orta distilat yakıt	Dizel motorlar, özellikle değişken hız ve yük altında çalışanlar
No. 2-D S500		
No. 2-D S5000		
No. 4-D	Distilat ve kalıntı yağ harmanı	Düşük ve orta hızlı dizel motorlarında; sabit hız ve sabit yük altında çalışanlar

No.1 olarak adlandırılan yakıtın kaynama değer aralıkları 260-570 °F seviyelerindedir. C9-16 değer aralıklarında karbon ihtiva eden bir tür yakıttır. No.2 tip yakıt kaynama değer aralıkları 320-680 °F seviyesinde olan, C9-24 değer aralıklarında karbon içeren ve daha çok endüstriyel işlerde kullanılan motorlarda yakıt olarak tercih edilen bir türdür. No.4 ise düşük ve orta hız motorlarda yakıt olarak kullanılan, bileşimi distilat ve kalıntı yağlarından meydana gelen yakıt türüdür (Bilsen, 2009; Özbakış, 2012).

Aşağıda yer alan Çizelge 4.2’de No.1 ve No.2 tip yakıtlara ait % hacimce bileşimleri verilmiştir (Bilsen, 2009).

Çizelge 4.2. Dizel No.1 ve No.2'nin bileşimi, % hacimce (Bilsen, 2009).

Hidrokarbon Tipi	No.1	No.2
Parafinik	50,5	55
Naftenik	30,9	12
Aromatik	19,6	24
Olefinik		5
Kalıntı		4

Rafinasyon sonucunda elde edilen yakıtın; depolama, nakliye, ekonomik koşullar, farklı özelliklere sahip motorların varlığı, yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar ve bu emisyonların çevresel etkileri gibi birçok parametre nedeniyle yakıtlar belirli bir standarta göre üretilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi ASTM D 975 standartlarına göre belirli parametreler oluşturulmuştur (Bilsen, 2009).

Çizelge 4.3. Dizel Yakıt İçin ASTM D 975 Standartları (Bilsen, 2009).

Özellik	No.1	No.2	Test ASTM*
API gravite, maks.	43	39	D 287
Alevlenme noktası, °C, min.	38	52	D 93
Distilasyon, % hac. °C 90 toplanan	288 maks.	282-338	D 86
Viskozite, 40 °C	1.3-2.4	1.9-4.1	D 445
Setan sayısı, min.	40	40	D 613
Setan indeks (düşük S) min.	40	40	D 976
veya aromatikler, maks.	35	35	D 1319
Oksidasyon stabilitesi, mg/L, maks.	15	15	D 2274
Yağlayıcılık, g. dak.	3100	3100	D 6078, 6079
Yakıt injektörü temizliği			L-10 İnjektör
Akış kaybı, % maks.	6	6	Depozit testi
CRC derecesi, % maks.	10	10	Depozit testi
Korozyon, Cu, 3sa. 50 °C, maks.	No. 3	No. 3	D 130
Su, ppm, maks.	200	200	D 1744
Tortu, ppm	10	10	D 2276, 5452
Su ve tortu, %hac. maks.	0.05	0.05	D 2709, 1796
Sülfür, % ağı. maks.	0.50	0.50	D 2622
Düşük sülfürlü yakıt	(0.05)	(0.05)	
Karbon kalıntısı, son %10'da, maks.	0.15	0.35	D 524
Kül, %ağı. maks.	0.01	0.01	D 482

4.1.1. Viskozite

Viskozitenin bilinen en genel tanımı; sıvının akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozite ölçüm metodları kullanım alanlarına göre çeşitlenmektedir. Yaygın olarak kullanılan viskozimetrelerden birisi de saybolt viskozimetresi olarak adlandırılan cihazdır. Bu cihazda belirli bir zaman diliminde belirli bir miktar yakıtın akması ve bu değerlerin belirlenmesi esasına dayanır. Zaman dilimi uzadıkça akan sıvının viskozite değerinin yüksek; kısaldıkça ise viskozite değerinin düşük olduğu ortaya çıkar. Saybolt viskozimetresinde elde edilen sonuçlar ölçümün gerçekleştiği sıcaklık değeriyle beraber (100 °F 35-70 saybolt universal saniye) ifade edilmektedir (Özdemir, 2011).

Viskozite; mutlak (dinamik) ve kinematik olarak iki başlığa ayrılmaktadır. Mutlak viskozite sıvı katmanların kayma hareketine karşı ortaya çıkan direnç olarak ifade edilmektedir. Bir başka ifade ile sıvı katmanların kayma hareketi gerçekleştirebilmesi için gerekli olan Newton kuvveti olarak tanımlanmaktadır. Kinematik viskozite; ölçüm gerçekleştirilen sıcaklık değerinde mutlak viskozite ölçüm sonucunun, akışkan yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır (Ergenç, 2009; Özdemir, 2011).

Dizel motorlarda verimli bir yanmanın gerçekleşebilmesi için ideal hava-yakıt oranının silindir içine girmesi gerekmektedir ve yakıtın viskozitesi de bu ideal oranın belirlenmesine etki eden önemli bir unsurdur. Yakıtın viskozitesi yakıt tanecik boyutunu kontrol etmektedir. Viskozite değerindeki azalma sonucunda enjektörlerin püskürttüğü yakıt taneciklerinde küçülme meydana gelmekte ve hava ile homojen karışım sayesinde verimli bir yanma silindir içerisinde gerçekleşmektedir. Viskozite değerindeki artış ise yakıt tanecik boyutunun artırır ve enjektörler büyük tanecikli yakıtın tam anlamıyla atomizasyonu gerçekleştiremez bunun sonucunda yanma odasına yakıt homojen olarak dağılım sergileyemediğinden dolayı verimli bir yanma elde edilememektedir. Verimsiz gerçekleşen bu yanma sonucu yanmamış hidrokarbon artışı ortaya çıkmaktadır. Viskozite değerinin yüksek olması özellikle soğuk havalarda enjektörlerin püskürtme işlemini yapmasında zorluklara neden olabilmektedir (Ergenç, 2009; Örs 2016). Öte yandan çok düşük viskozite değerleri ise, yakıtı depodan motora kadar iletilmesini sağlayan pompalama sisteminin parçalarında sızmaya neden olabilir. Bu sızıntı yanma odasına giden yakıtın miktarında azalmaya neden olur ve bunun neticesinde yanma

veriminde düşüş gerçekleşir. Bu durum motor performans ve emisyonlarına etki etmektedir. Düşük viskozite değerlerinin bir diğer olumsuz etkisi de ideal dizel yakıt yağlama özelliklerinin düşürüleceğinden, dizel yakıt aracılığıyla yağlanmaya ihtiyaç duyulan motor parçalarında aşınmalara yol açmasıdır (Doğan, 2012).

4.1.2. Yoğunluk ve API Gravitesi

Birim hacimde bulunan maddenin miktarına yoğunluk (özkütle) denilmektedir. Yakıtın yoğunluk değeri ölçülürken ortam koşullarının etkisi dikkate alınmalıdır. Bu yüzden ölçüm sonuçları referans sıcaklıklarıyla beraber (15 °C 900,0 kg/m³) ifade edilmektedir (Doğan, 2012). Özgül ağırlık ise belirli hacimdeki yakıt ağırlığı ile aynı hacim değerine sahip suyun ağırlığının oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçüm değerlerinin yüksek olması yakıtın içerdiği karbon içeriğinin de yüksek olması anlamı taşıdığından, yakıt ısı enerjisinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir (Sel, 2013; Örs 2016).

Amerikan Petrol Enstitüsü tarafından oluşturulan API gravitesi özgül ağırlık ifadesinin tersi olarak tanımlanmaktadır (Doğan, 2012). Petrolün yoğunluğu ölçülürken API gravitesinden yararlanılmaktadır. Uluslararası platformda kabul edilen su (1 gr/cc de API değeri 10) standart değerlerine göre petrol yoğunluğu ortaya çıkarılmıştır ve petrol yoğunluğunun su yoğunluğuna oranı SG (Spesifik Gravite) olarak ifade edilmektedir. Petrol piyasasında kabul gören ve petrol piyasasının üçte ikisine hakim olan Brent petrolün API değeri 38'dir. API değerindeki artış petrolün hafif olduğunu göstermektedir. Yoğunluktaki artış ise API değerinde düşüşe neden olmaktadır. En hafif API değerine sahip petrol 57 ve en ağır petrol ise 7 API değerinde olduğu ölçülmüştür (TPAO, 2019). Yakıtın tutuşma özellikleri ve viskozite değerlerinin izin verdiği limitler dahilinde API gravite değerleri düşük tercih edilmelidir. Bu tercihin sebebi maksimum ekonomik koşullarda yüksek özgül ağırlığa sahip yakıt eldesi sağlanmasıdır (Örs, 2016).

Motorin (mazot) yakıtı dizel motorlarda kullanıldığı için zamanla dizel ismi ile anılan bir yakıt olmuştur. Dizel yakıtlar hidrokarbon ihtiva eden ve farklı yoğunluklarda bulunan bir yakıttır. Yakıt yoğunluğu başta enjektörlerin püskürtme işlevine ve buna

bağlı yanma verimine etki etmektedir. Özellikle is emisyonlarına olan etkisi yüksektir. Enjektörlerin silindir içine püskürttüğü yakıt, yakıt pompası aracılığıyla hacimsel ölçüm gerçekleştirilerek silindire ulaştırılır. Yakıt yoğunluğundaki değişim doğrudan püskürtülen yakıtın enerjisine etki ettiğinden yüksek yoğunluğa sahip dizel yakıt ortalama indike basıncı yükselmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda yakıt yoğunluğunun artması silindire giren yakıt/hava oranını artırır ve zengin karışım ortaya çıkartır bu da bazı emisyonların (özellikle is emisyonu) artmasına neden olmaktadır (Doğan, 2012).

4.1.3. Isıl Değer

Isıl değer genel tanımıyla; yakıtın birim miktarının yakılması sonucu ortaya çıkan enerjidir. Motorin gibi sıvı yakıtlar için ısı değer kilogram başına ortaya çıkan enerjiyi ifade (kJ/kg) etmektedir. Isıl değer; alt ısı değer ve üst ısı değer olmak üzere iki başlıkta ele alınmaktadır. Motorin temelinde hidrokarbon içeren sıvı bir yakıttır. Temel yanma reaksiyonunda ortaya çıkan su, alt ve üst ısı değerinin hesaplanmasında ana etmendir. Birim yakıtın tam yanma reaksiyonunda meydana gelen su; buhar fazı olması anında ortaya çıkan enerjiye alt ısı değer, sıvı fazı olması anında ölçülen enerjiye üst ısı değer denir. Alt ısı değer ve üst ısı değer ölçümleri cihazlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak yakıtın kimyasal formülünden yararlanılarak da ölçüm sağlanabilmektedir. Dizel motorlarda başta motorin olmak üzere çeşitli yakıtlar ve yakıt katkıları kullanılmaktadır bu çeşitlik kullanılan yakıtlarının ısı değerlerinin farklı olması anlamı da taşımaktadır. Motorda yanma reaksiyonu sonucu meydana gelen su ortam şartları sebebiyle buhar fazında olduğundan yakıt alt ısı değeri dikkate alınmaktadır.

4.1.4. Distilasyon Özelliği

Uçuculuk noktası; sıvının mevcut sıvı fazından gaz fazına dönüşürken ki sıcaklık değerine denilmektedir. Uçuculuk yakıtın sıcaklık değerlerine göre buharlaşmaya yönelme eyleminin bir elemanıdır. Sıvının kaynama noktası ile uçuculuk noktası zıt kavramlardır. Uçuculuk sıvı molekülleri arasındaki bağların zayıflığı ile doğru orantılıdır. Sıvı karışımlarının içeriğindeki çeşitli maddelerin sahip oldukları farklı

uçuculuk noktalarından yararlanılarak bu maddelerin ayrılması işlemine distilasyon denilmektedir.

Petrol ürünün olan motorin distilasyon sıcaklık değerine kadar ısıtıldığında sıvı fazından buhar fazına %90 oranında bir dönüşüm gerçekleşmektedir. Distilasyon aralığı yakıtın kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Ve distilasyon prosesi nihai ürünün viskozitesini, yoğunluğu vb. özelliklerinde etkilidir (Ejder, 2007). Distilasyon sıcaklığın en üst noktası ağır hidrokarbon ürünlerinin bir göstergesidir. Büyük oranda ağır hidrokarbonların varlığı yakıtın buharlaşma ve tutuşma karakteristikleri üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Distilasyonda, yakıtın ihtiva ettiği ağır hidrokarbon kontrol edilebilir ve böylece silindirde daha verimli bir yanmanın gerçekleşmesi sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda yüksek distilasyon sıcaklığının emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki yaratarak artırdığı tespit edilmiştir. Özellikle yüksek distilasyon bitiş sıcaklıkları ağır hidrokarbonların artırdığı tespit edilmiştir (Doğan, 2012).

Soğuk havalarda motorun çalışmasını kolaylaştırmak için uçuculuk özelliğinin yüksek olması tercih sebebidir. İdeal yanma için gerekli hava yakıt karışımının kolayca oluşturulmasında ve duman oranını düşürmede yüksek uçuculuk etkilidir. Küçük dizel motorlarda yüksek uçuculuk özelliğine sahip yakıtların kullanılması sonucu yakıt tüketimi azalmakta, egzoz sıcaklıkları ve emisyon değerleri düşmekte olduğu saptanmıştır. Düşük uçuculuk değerine sahip yakıtlardan verimli yanma elde etmek için ise yüksek devir aralıklarına sahip motorlar tercih edilmektedir (Ejder, 2007; Sel, 2013; Albayrak, 2014).

4.1.5. Parlama ve Alevlenme Noktası

Yakıtları sınıflandırılırken dikkat edilen unsurlardan birisi de yakıtın parlayıcı bir tür yakıt olup olmadığıdır. Parlayıcı tür yakıtlar kolayca buharlaşarak hava ile karışım haline gelip tutuşma kabiliyetine sahip yakıtlardır. Bu tür yakıtların başında normal şartlar altında kolayca buhar fazına geçen benzin ve türevi yakıtlar yer almaktadır. Parlama noktası ise hava ile karışım haline gelip tutulabilecek buharın olduğu en düşük sıcaklık değeri olarak nitelendirilmektedir.

Parlama noktası tespit edilirken hazırlanan deney düzeneğinde belirli periyotlarda kontrollü ısıtma (5 °C) gerçekleştirilerek düzeneğe alev kaynağı tutulur ve parlamanın (yanma devam etmez söner) gerçekleştiği ölçüm değeri parlama noktası olarak tespit edilir (Tillem, 2005; Ejder, 2007). Parlama noktası, yakıtların güvenli bir şekilde muhafaza edilmesi ve nakliyesi için önemli bir unsurdur. Parlama noktasının düşük değerlerde olması tutuşma kabiliyetini artıracığından yangın oluşma olasılığını yükseltmektedir.

Yakıtın bir diğer özelliği ise alevlenme noktasıdır. Alevlenme noktası; parlama noktası anındaki tutuşan buhar fazının yanmaya devam ettiği sıcaklık değerine verilen addır. Bu nedenle parlama noktası sıcaklığına göre alev noktası sıcaklığı daha yüksek değerlerdir. Benzin gibi normal şartlarda kolayca buhar fazına geçen yakıtların alevlenme noktaları daha düşük sıcaklık değerlerinde gerçekleşmektedir. Dizel gibi yakıtlar ise benzin türevi yakıtlara nazaran daha yüksek sıcaklık değerlerinde buhar fazına geçtiğinden dolayı taşıma ve depolama güvenliği daha yüksektir. Dizel yakıtların bazı türleri için deniz seviyesinde alevlenme sıcaklık değerleri 340-420 Kelvin dolaylarındadır (Pireli, 2006).

4.1.6. Bulutlanma ve Akma Noktası

Motorin önemli oranda parafin ihtiva eden bir yakıttır. Yakıtın içerdiği parafinler düşük sıcaklık değerlerinde kristalleşmeye başlar ve bu durum yakıt filtresinin tıkanarak görevini yapmasına engel olabilir. Bulutlanma noktasının tayini için alınan numune deney düzeneğinde kontrollü olarak soğutma işlemine maruz kalır ve kademeli olarak gözlenir. Bulutlanma noktası, kristalleşmenin ilk kez gözüküğü sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık değerinin daha da altına düşmesi durumunda yakıt akıcılık özelliği yitirmektedir. Akma noktası tespiti için soğutulmaya devam eden yakıt belirli sıcaklık (3°C) aralıklarında kademeli olarak gözlenir. Akma noktası; numunenin akma özelliğinin son kez gözüküğü sıcaklık değeridir (Ergenç, 2009).

Bulutlanma ve akma noktalarının tespiti soğuk çalışma koşullarında yakıt karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli bir özelliktir. Düşük sıcaklık değerinde yakıtın akıcılık özelliği kaybetmeden depodan silindirlere ulaşması gerekmektedir. Bu

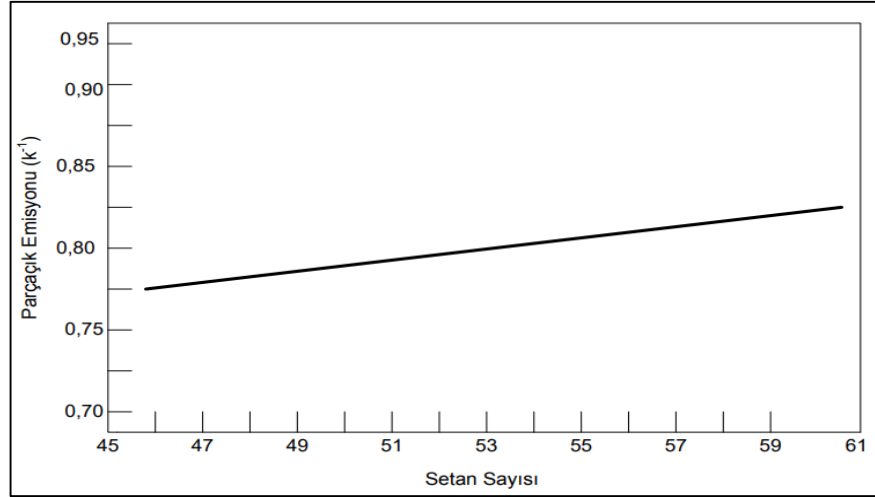
nedenle yakıtın soğuk koşullarda sorunsuz kullanılabilmesi için çeşitli katkı maddeleriyle soğuk koşullara dayanıklı yakıtlar oluşturulmaktadır. Bazı bölgelerde motorinin içerisine bir miktar benzin ya da gaz yağı eklenmektedir. Aşağıdaki Çizelge 4.4’de Palm Biyodizel ve Standart Dizel yakıta ilişkin akma, bulutlanma ve soğuk filtre tıkanma noktalarına ilişkin ölçüm değerleri verilmiştir (Özgür, 2017).

Çizelge 4.4. Dizel ve Palm Biyodizel yakıtları için yakıt özellikleri (Özgür, 2017).

Yakıt Özellikleri	Dizel	Palm Biyodizel
Akma Noktası °C	-19	12
Bulutlanma Noktası °C	-15	15
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası °C	-18	13

4.1.7. Setan Sayısı

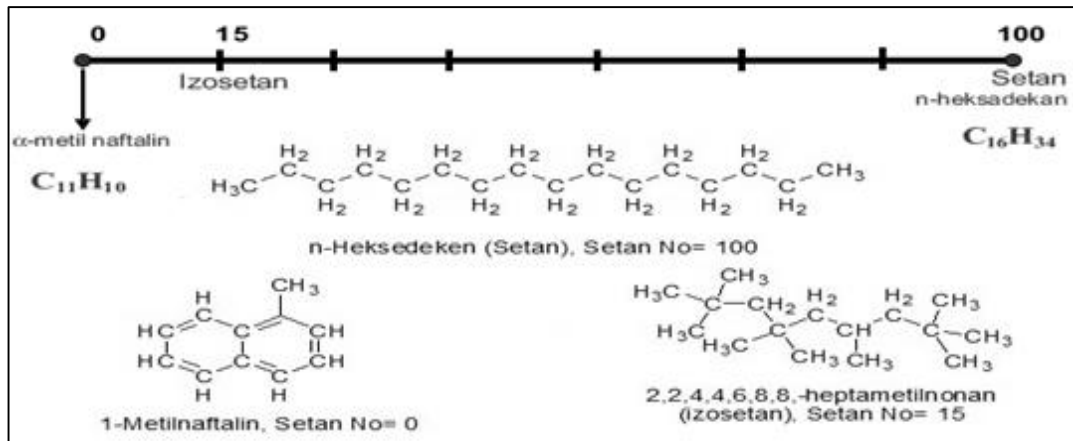
Silindir içerisinde sıkıştırılmış havanın üzerine enjektör yardımıyla püskürtülen dizel yakıt kendi kendine tutuşmaktadır. Setan sayısı, dizel yakıtın tutuşma kabiliyetinin bir göstergesidir. Yüksek setan sayısına sahip yakıt, tutuşma gecikme süresine etki ederek kısalmasına neden olmaktadır. Bu kısalma yakıt/hava karışımının homojen bir şekilde karışması için gerekli süreyi kısaltmaktadır. Tutuşma gecikme süresinin kısalması sebebiyle hızlı yanma periyodunda basınç yükselme oranı azalmakta ve kontrollü yanma periyodunda yakıtın büyük kısmı yandığından dolayı silindir içerisindeki meydana gelen maksimum basınç değeri daha az olmaktadır. Yüksek setan oranına sahip yakıt, silindir içerisinde daha kolay tutuşur ve özellikle soğuk havalarda motorun daha kolay çalışmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca motorun daha sessiz çalışmasına ve yanma reaksiyonun daha temiz gerçekleşmesine neden olmaktadır. Fakat setan sayısının fazla standart değerlerin çok çok üstünde olması yakıtın yanma odasında etkin bir şekilde dağılmasını önler ve dumanlı bir yanmanın gerçekleşmesine neden olmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.2 'de setan sayısı ve parçacık emisyonu arasındaki ilişki verilmiştir (Ejder, 2007).



Şekil 4.2. Setan sayısına bağlı parçacık emisyonu dağılımı (Ejder, 2007).

Yakıtın ihtiva ettiği setan sayısının motor performansına etkilerini incelemek için birçok çalışma yürütülmüştür ve bu çalışmalarda setan sayısı yüksek olan yakıtların NO_x , HC emisyonları üzerinde azaltmaya yönelik etkisi olduğu, is emisyonları üzerinde ise artırmaya yönelik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Setan sayısı çok düşük olan yakıtlar soğuk çalışma koşullarında motorun çalışmasını güçleştirir ve emisyonlarda negatif anlamda etkiler yaratmaktadır (Doğan, 2012).

Setan sayısı belirlenmesi için iki adet referans sıvı kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi setan sayısı 100 olarak kabul edilen n-hexadecane, ikincisi ise setan sayısı 15 olan heptamethylnonane sıvısıdır (Yanowitz ve diğ., 2017). Aşağıdaki Şekil 4.3'de setan celtveli verilmiştir (Öcal, 2006; Pireli, 2006; Bilsen, 2009).



Şekil 4.3. Setan celtveli (Öcal, 2006; Pireli, 2006; Bilsen, 2009).

Bu iki sıvının karışımı ile numune yakıt karşılaştırılarak setan sayısı tespiti sağlanır. Setan sayısının hesaplanması için aşağıdaki Denklem 4.1'den yararlanılmaktadır (Yanowitz ve diğ., 2017).

$$\text{Setan sayısı} = \% \text{ n-setan} + 0,15 (\% \text{ heptamethylnonane}) \quad (4.1)$$

Referans karışımından elde edilen vuruntu eğer numune yakıt vuruntusuna eşit ise numune yakıtın setan sayısı tespit edilmiş olunur. Dizel vuruntusuna etki eden parametre tutuşma gecikmesidir. Dolayısıyla tutuşma gecikmesine etki eden parametreler dizel vuruntusuna da etki etmektedir. Tutuşma gecikmesinin tespiti için kritik sıkıştırma oranı yöntemi kullanılmaktadır (Pireli, 2006). Bu yöntem için kullanılan CFR-Dizel motoruna ait bilgiler ve motor genel görünümü Çizelge 4.5'te verilmiştir (Öcal, 2006).

Çizelge 4.5. CFR-Dizel motoruna ait bilgiler ve genel görünümü (Öcal, 2006).

Firma	Waukesha
Silindir Sayısı	1
Motor Devri	900 1/min
Soğutma Suyu Sıcaklığı	373 K
Emme Havası Sıcaklığı	339 K
Püskürtme Avansı	13° KMA
Tutuşma Gecikmesi	Önce ÜÖN: 13° KMA
Sıkıştırma Oranı	Değişken



Setan sayısını belirlemek için ASTM D 613 deney standardı belirlenmiş ve bu standartta göre CFR-Dizel motoru çalıştırılmaktadır. CFR-Dizel motor; dört zamanlı, tek silindirli ve sıkıştırma oranı değiştirilebilen türde bir motordur. Tutuşma gecikmesini etkileyecek olan enjektörün püskürttüğü yakıt basıncı, yanma odasının sıcaklık değeri gibi etmenler bu motorda sabit olarak kontrol altındadır. İlk olarak setan sayısı ölçülmesi istenilen numune yakıt deposun birinci haznesine konulur ve 13°'lik krank mili açısı değerinde tutuşma gecikmesi verecek şekilde motor sıkıştırma oranı ayarlanır. Bu ayarlanan sıkıştırma oranı setan sayısı ölçülmesi istenilen numuneye ait kritik sıkıştırma oranı olarak ifade edilir. Daha sonra referans sıvılardan n-hexadecane CFR-Dizel motorun ikinci haznesine; diğer referans sıvısı olan heptametilnonan üçüncü hazneye konulur. Bu hazne sistemi yakıtları belirli hacimde karıştırarak silindire gönderilir. Buradaki amaç referans karışım ile setan sayısı ölçülmesi istenilen numune yakıtı ait motor değerlerine ulaşmaktır. Sistemde 13°'lik krank mili açısı değerindeki tutuşma gecikmesi elde edildiğinde referans karışım ile setan sayısı ölçülmesi istenilen numune yakıtın setan sayısı eşit olduğu kabul edilir (Öcal, 2006; Pireli, 2006).

4.1.8. Setan İndisi

Setan sayısını belirlemede kullanılan CFR-Dizel motor metodunun maddi olarak külfetli ve meşakkatli olması sebebiyle yakıtın tutuşma kabiliyeti belirlemek için setan indisi kavramı ortaya çıkmıştır. Setan indisi, yakıtın yoğunluk ve distilasyon değerlerinden yararlanarak hesaplanan bir kavramdır. Kısaca yakıtın tutuşma kabiliyetini yakıtı ait fiziksel özellikler kullanılarak belirlenmesidir. Bu amaçla birçok denklem türetilmiştir ve genellikle kullanılan deney standardı ASTM D 976 göre ortaya çıkarılmış setan indisi denklemidir ve aşağıdaki Denklem 4.2'den yararlanılmaktadır (Öcal, 2006; Doğan, 2012).

$$SI=(454,74-(1641,416*py)+(774,74*py^2)-(0,554*T50)+97,803*(\log^2(T50))^2) \quad (4.2)$$

SI: Setan İndisi,

py: Yakıt Yoğunluğu (kg/m³, 15 °C),

T50: Distilasyon değeri (Yakıtın hacimsel olarak %50'sinin buharlaştığı sıcaklık °C).

Setan indisinden elde edilen değer günümüzde yakıt kalitesini belirlenmesinde tercih edilen bir yöntemdir ve setan sayısının kontrolü için ek bir test olarak kullanılmaktadır. Setan indisi ve setan sayısı temelde yakıt kalitesini ortaya koymaktadırlar. Fakat yakıtın içerdiği bileşenler ve yakıtın rafinasyonu sırasındaki farklılıklar sebebiyle birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Ayrıca setan sayısını ek katkılar ile artırmak mümkün iken bu setan artırıcılar setan indisi üzerinde bir etki yaratmamaktadır (Ejder, 2007; Doğan, 2012).

4.1.9. Anilin Noktası ve Dizel İndeksi

Anilin bir hidrokarbon sınıfı maddedir ve çok etkili eritgendir. Anilin noktası tayininde motorin ile anilin hacimsel olarak eşit bir biçimde kaba konulur ve ısıtılarak tek faz olana kadar karıştırılır. Bu ısıtım işlemi sonucunda motorin, anilin içerisinde erir. Daha sonra bu karışım soğumaya bırakılır soğuma sırasında ilk kez karışımın ayrışmaya başladığı nokta anilin noktası olarak tespit edilir (Özer, 2010).

Motorinin tutuşma kabiliyetinin (kalitesi) ifade etmek için kullanılan bir diğer yöntem dizel indeksidir. Dizel indeksi hesaplanırken denklemden yararlanılır. Bu hesap için dizel yakıtın API Gravit (60 °F'ta) değeri ile Anilin noktası (°F) değerine ihtiyaç vardır. Aşağıda Denklem 4.3 verilmiştir (Pireli, 2006; Ergenç, 2009).

$$\text{Dizel İndeksi} = \text{API Gravit (60 °F'ta)} * \text{Anilin Noktası (°F)} / 100 \quad (4.3)$$

4.1.10. Aromatik Yüzdesi

Aromatikler yoğunluk bakımından en yüksek değere sahip hidrokarbonlardan birisidir. Hidrokarbonlar arasında bu kadar yüksek yoğunluğa sahip olmasından dolayı birim hacime göre alt ısıtım değeri yüksektir ve yanmaları ısıtım biçiminde gerçekleşir. Silindirde yanması sonucu karbon birikintisinde artış meydana gelir ve bu artış enjektör ve subaplarında kurum birikmesine neden olarak yanma reaksiyonunun verimini düşürür. Bu sebeplerden ötürü yakıtlarda aromatik yüzdesi (jet yakıtı %25) kontrol altında tutulmak istenir. Dizel yakıtta aromatik yüzdesinin düşmesi özellikle HC emisyon değerlerinin azaltılmaya neden olmaktadır (Nişancı, 2007).

4.1.11. Karbon Kalıntısı

Yakıtın ısı parçalanma sonucu geride kalan kalıntılara karbon kalıntısı denilmektedir. Karbon kalıntısı; özellikle tam yanma reaksiyonunun gerçekleşmemesi durumunda ortaya çıkan is, karbon oluşumunun bir göstergesidir (Tillem, 2005; Ejder, 2007).

Yüksek karbon kalıntısına sahip yakıtlar motor yakıt sistemi (yakıt deposu, yakıt pompası ve enjektör) olmak üzere subap, silindir segmanı ve cidarında birikme yaparlar (Pireli, 2006; Doğan, 2012). Kalıntıların oluşturduğu birikintiler silindir içerisinde sıcak hücreler oluşturur ve bu durum motorun standart ısı iletimi değiştirerek aşırı ısınmaya, parçaların korozyona ve çatlamalara maruz kalmasına sebebiyet verir. Ayrıca kalıntıların meydana getirdiği sıcak hücreler yanma performansına ve emisyon değerlerine etki eder. Özellikle HC ve is emisyonlarında negatif anlamlı etki ederek artmalarına neden olur (Doğan, 2012).

4.1.12. Kül İçeriği

Kül içeriği, yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan kalıntıların bir göstergesidir. Petrol ürünlerinin içerdiği inorganik maddelerin oluşturduğu kalıntılar olarak ifade edilebilir. Bunlar doğal olarak petrolün ihtiva ettiği inorganik bileşikler olabildiği gibi rafinasyon ve dış etkiler ile petrol ürünlerine dahil olan maddelerdir (Bilsen, 2009; Doğan, 2012).

Yüksek oranda kül ihtiva eden yakıtların yanması sonucu özellikle egzoz supabı olmak üzere motor parçalarında kalıntılara neden olur ve bu kalıntılar zımpara etkisi yaratarak motor parçalarında korozyona sebebiyet verir. Aynı zamanda kül oranının yüksek olması yakıt sisteminde sorunlara neden olur, enjektör uçlarında tıkanmalar nedeniyle silindir içine püskürtülen yakıt oranında değişimler meydana gelir ve motor performansında düşüşler gözlenir (Doğan, 2012).

4.1.13. Kükürt İçeriği

Kükürt bileşikleri ham petrolün rafinasyonu sonucunda motorinin bileşenlerinden birisi olur. Kükürt oranı rafinasyon sırasında kontrol altında tutulmaktadır. Rafinasyon

işlemi sırasında hidrodesülfürizasyon metodu ile yakıtın içindeki kükürt, hidrojen ile tepkimeye girerek H_2S (Hidrojen Sülfür) bileşiklerini oluşturarak desülfürizasyon işlemi gerçekleştirilir. Yakıtın ihtiva ettiği kükürt yanma sonunda oluşan egzoz emisyonlarından is emisyonunun oluşmasında etkilidir. Yanma reaksiyonunda kükürt (S) oksijen ile birleşmesi sonucunda kükürtdioksit (SO_2) meydana gelir ve SO_2 is parçacıklarının boyutunu artırmaktadır (Doğan, 2012).

Oluşan SO_2 ortamdaki oksijen ile tepkimesi sonucu kükürttrioksit (SO_3) meydana gelir. SO_3 yanma sonucunda oluşan su buharı ile tepkimeye girmesi sonucunda, çok büyük aşındırıcı özelliğe sahip bir asit türü olan sülfürik asit (H_2SO_4) ortaya çıkmaktadır. Bu asidik özellik nedeniyle motor aksamaları kolayca aşınmaktadır. Ayrıca H_2SO_4 emisyonu başta canlı yaşamına ve bitki örtüsüne zarar verecek asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır (Tillem, 2005; Megep-E, 2011).

Ek olarak motorinin ihtiva ettiği kükürt, motorda yağlayıcı etki yaratmaktadır. Kükürt oranının bu yağlama özelliğini yok edecek kadar düşürülmesi beraberinde bazı sorunlar ortaya çıkarabilir bu sebeple kaybolan yağlama özelliğini tekrardan motorine kazandırmak için ek katkı maddeleri kullanılması gerekmektedir. Bu durum aşırı düşük kükürt oranlı yakıtlar kullanan motorlardaki motor yağının; daha yüksek kükürt içeren yakıt kullanan motora göre daha sık değiştirilmesi anlamı taşımaktadır (Doğan, 2012).

4.1.14. Bakır Korozyon Özelliği

Bu terim motorinin bakır ve bakır türevi (pirinç, bronz) malzemeden imal edilmiş olan yakıt sistemi üzerinde meydana getirebileceği korozyonu ifade eder. Yakıtın ihtiva ettiği asit oranının bir göstergesidir (Tillem, 2005). Korozyon testi bakır şeritlerin yakıt içerisinde renk değiştirmemesi için geçen süre belirlenerek bakır ve bakır türevi malzemeden imal edilmiş parçaların korunması amaçlanır (Bilsen, 2009).

4.1.15. Su ve Tortu İçeriği

Suyun varlığı, bir şekilde yakıt deposuna girmiş mikroorganizmaların çoğalmasına zemin hazırlar bu mikroorganizmalar yakıt içinde peltemsi bir katman meydana getirir

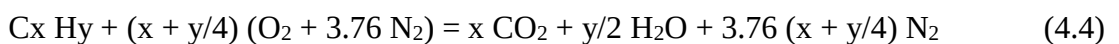
ve yakıt sistemini tıkayarak aksaklıklar oluşturur. Dizel yakıt deposundaki hava sıcak ortam koşullarında genişler ve hapsolür ve daha sonra soğuk ortam koşullarında yoğunlaşması sonucu su meydana gelir. Bu nedenle boş deponun büyük oranda doldurulması ve tortu gibi katı maddelerden kurtulmak için de süzölerek yakıtın depoya eklenmesi gerekmektedir (Parker, 2016).

4.1.16. Oksidasyon Kararlılığı

Yakıtın oksidasyonu, yakıtın oksijen ile etkileşime girip bozulması anlamı taşımaktadır. Oksidasyon kararlılığı da bu bozulmaya karşı yakıtın direncini ifade etmektedir. Oksidasyon sonucunda yakıtının akışkan özelliğı bozulur, tortu ve peltemsi yapılar meydana gelir ve yakıt renginde değışimler ortaya çıkar. Bu bozulma sonucu oluşan tortu ve peltemsi yapılar yakıt sisteminde tıkanmalara neden olmaktadır (Doğın, 2012). Bu tarz sorunları ortadan kaldırmak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Bunlardan birisi oksidasyona meyilli maddeleri yakıt içinden uzaklaştırmaktır. Dizel yakıtların ihtiva ettiğı katkı maddelerinden (antioksidan gibi) bazıları oksidasyon kararlılığını korumak için eklenmektedir (Bilsen, 2009).

4.2. EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Hidrokarbon tabanlı maddelerin teorik olarak yanması sonucunda; su (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) yanma sonu ürünleridir. Ancak yanma reaksiyonunda hidrokarbon içeren madde ile oksijen haricinde havanın ihtiva ettiğı çeşitli gazlar da reaksiyona dahil olmaktadır. Genel olarak hava hacimce %78 gibi büyük oranda azot (N₂), %21 oranında oksijen (O₂) ve geri kalan oranda ise karbondioksit ve argon (Ar) gazı gibi çeşitli maddelerden oluşmaktadır. Azot gazının hava içerisinde hacimce bu kadar büyük oranlarda bulunması yanma reaksiyonu ürünlerinde var olmasına neden olmaktadır. Temel olarak yanma reaksiyonu aşağıdaki denklem 4.4'te gösterildiğı gibidir.



Teorik yanma reaksiyonu ürünlerine ek olarak silindirde gerçekleşen gerçek yanma reaksiyonunda partikül madde (PM), kükürt oksit (SO_x), azot oksit NO_x), karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbon, is gibi çevre ve canlı sağlığına olumsuz yönde etkileri olan ürünler oluşmaktadır (Özveren, 2013).

4.2.1. Karbonmonoksit (CO)

Karbon içeren maddenin yanma reaksiyonu sonucunda CO ve CO₂ oluşmaktadır. Hidrokarbon içeren dizel yakıtın, yanma reaksiyonu sırasında silindir içerisinde yeterince oksijen olmamasından dolayı eksik yanma meydana gelir ve ürün olarak CO ortaya çıkar. Bu durum hava fazlalık katsayısının bir göstergesidir. Temelde yakıt oranı yüksek olan karışımlar ortamda yeterince oksijen olmadığından dolayı reaksiyon ürünü olarak CO meydana getirir. Dizel motorlarda hava yakıt karışım oranı motor yük durumuna göre değişmektedir ve genel çalışma koşulları fakir karışım ile gerçekleşmektedir. Bu durum; CO ortamda bulunan oksijen ile oksidasyonu gerçekleşeceği anlamı taşımaktadır. Fakat sadece oksijen miktarı emisyon üzerindeki tek parametre değildir. Ek olarak reaksiyonun gerçekleşebilmesi için gerekli süre ve sıcaklık değerlerinin varlığı CO oluşumuna etki etmektedir. Yanma sırasında CO oluşumu ile ilgili olarak aşağıdaki Denklem 4.5 baz alınmaktadır.



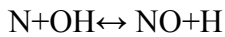
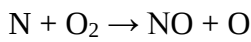
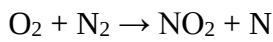
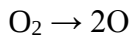
Su gazı reaksiyon denklemi olarak adlandırılan bu denklemde CO ve ortamdaki H₂O (su buharı) tepkimeye girer ve tepkime sonucunda CO₂ ve H₂ oluşmaktadır. Bu reaksiyonda sıcaklık değerlerine bağlı olarak denge ürünlerinde değişimler meydana gelmektedir. Su gazı reaksiyon denkleminde, yüksek sıcaklık değerindeki artış sonucunda CO oluşmasına yönelme meydana gelmektedir. Yakıtın fakir veya stokiyometrik karışımında CO miktarı daha az, zengin karışımında soğuk egzoz gazları içerisinde bile O₂ yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır (Özveren, 2013).

CO gazı ortamda tespiti duyu organlarıyla zor olan, zehirli türde kokusuz ve renksiz bir gazdır. Kandaki oksijenin yerine alarak oksijen yetersizliğine bağlı hastalıkların

meydana gelmesine neden olur. CO₂ ise zararsız gaz sınıfında tanımlanmaktadır. Atmosferdeki seviyesi son dönemlerde fosil kaynaklı kirleticiler nedeniyle artmış durumdadır. Güneş ışınları yer küreye çarparak yansır, yansıyan ışınlardan bazıları atmosferde tutulur ve bu durum sayesinde yeryüzünün ısınması gerçekleşir. Karbondioksit güneş ışınlarını hapseden bir tür gazdır. Karbondioksit miktarındaki artış yansıyan güneş ışınlarının daha fazla atmosferde tutulacağı ve bunun sonucunda dünyanın ortalama sıcaklığının artacağı anlamına gelmektedir.

4.2.2. Azot Oksit (NO_x)

Yanma reaksiyonu için gerekli olan havanın içinde büyük oranda azot gazı bulunmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan yüksek sıcaklıkların etkisiyle azot ve oksijen birleşerek NO_x bileşiklerinin oluşturmaktadır. NO_x emisyonlarını oluşturan iki temel parametre vardır bunlar yakıt/hava oranı ve ortam sıcaklığıdır. Bunlara ek olarak reaksiyon hızını dahil edilmektedir ancak bu etmen sıcaklıkla beraber dikkate alınmaktadır. NO_x emisyon oluşumuna ilişkin birçok denklem oluşturulmuştur. Bunların arasında en bilineni "Zeldovich denklemi" olarak adlandırılan reaksiyon denklemidir (Kılıçaslan, 2010; Doğan, 2012). Denklem aşağıdaki gibidir:



NO oluşumu stokiyometrik orana yakın bölgelerde daha hızlı gerçekleşmektedir (Kılıçaslan, 2010). Zeldovich denklemine göre; silindire alınana hava içersindeki O₂ ve N₂ ortam koşulları nediyle N ve O atomlarına ayrılmaktadır ve denklemde yer aldığı gibi NO_x oluşumu gerçekleşmektedir (Doğan, 2012; Özveran, 2013). N ve O atomlarına ayrışma sistematığı, piston içinde ani yanma periyodunda oluşan yüksek basınç

ve sıcaklık değerleri etkisiyle gerçekleşmektedir. Silindir içerisinde 2000 Kelvin sıcaklık değerlerine ulaşılır ve bu sınır değerlerinde NO_x oluşmasına neden olan reaksiyonlar gerçekleşmektedir (Özbakış, 2012).

Atmosfere salınan NO havada oksidasyonu gerçekleşerek nitrojen dioksit (NO_2) oluşmaktadır. NO_2 gazı kötü kokan zehir bir gaz türüdür. Solunması halinde akciğerlerin tahrip olmasına ve sönmesine neden olmaktadır. Ayrıca reaksiyonlar sonucunda nitrik asit (HNO_3) oluşur ve asit yağmurları meydana gelmektedir (Özcan, 2018). Ek olarak atmosferde çeşitli reaksiyonlara girerek yaz aylarında sis oluşurlar (Özveran, 2013).

4.2.3. Kükürt Oksit (SO_x)

Dizel yakıtın içerdiği kükürt (S) yanma reaksiyonu sonucunda oksijen ile birleşerek kükürtdioksit (SO_2) moleküllerini meydana getirirler. SO_2 solunum sistemini tahrip edici bir özelliğe sahip türde bir gazdır. SO_2 'nin ortamdaki su buharı ile reaksiyonu girmesi sonucunda suda çözülebilen bir asit türü olan sülfirik asit (H_2SO_4) oluşmaktadır. H_2SO_4 başta canlı sağlığı olmak üzere korozyon etkisiyle çevreye büyük zararlar vermektedir.

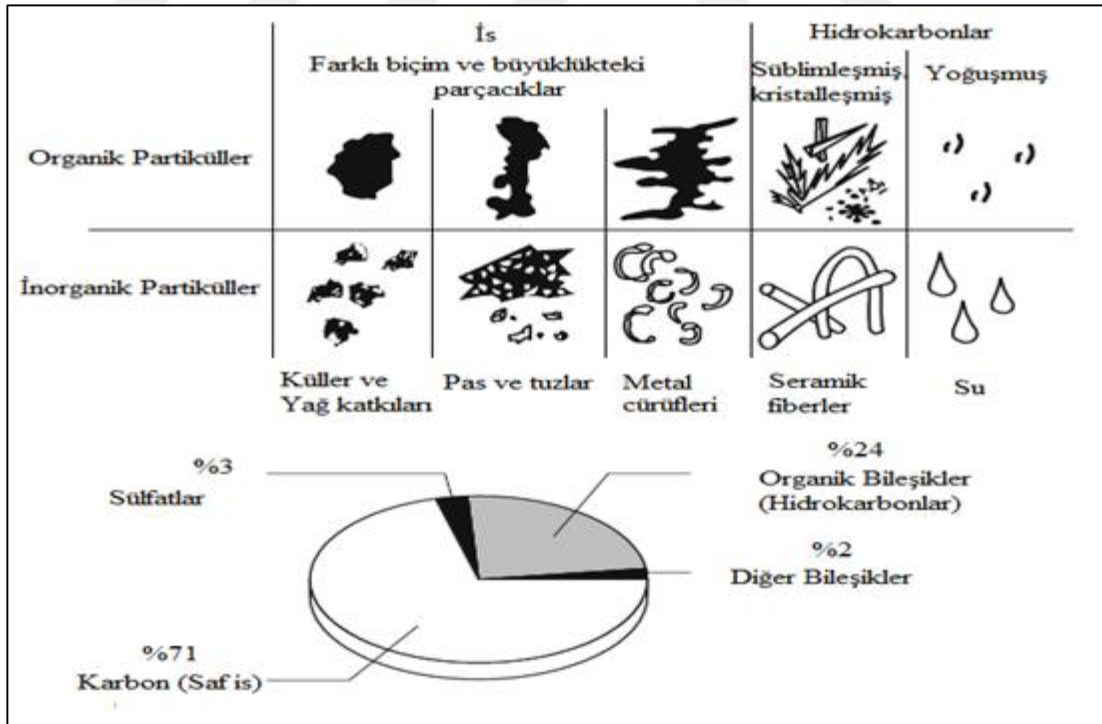
4.2.4. Partikül Madde (PM)

Genel tanımıyla partikül madde; havada asılı kalabilen, çok çeşitli boyutlara sahip olan kompleks maddelerdir. Geniş boyut aralıkları olan partikül maddelerin bazı türleri göz ile görülebilen büyüklüktedir. Bunlara toz, duman, is gibi türleri örnek verilebilir. Ayrıca mikroskop yardımıyla görülebilen boyutlarda da partikül maddeler bulunmaktadır. Çok ince partikül madde olarak tanımlanan türlerin çapı 100 nanometrenin altındayken, kaba partikül maddelerin çapları 2.5 mikrometre değerinin üzerindedir (TC.Sağlık Bakanlığı, 2010).

Yakıt içerisindeki hidrojen molekülleri, karbona göre oksijen ile daha kolay oksitlenerek ortamdaki oksijeni azaltır ve bu nedenle tüm karbon moleküllerin oksitlenmesi için gerekli olan oksijen ortamda bulunmaz. Ortamda oksitlenemeyen karbon birikintileri

oluşur. Normalde tam yanma reaksiyonu sırasında karbon, oksijen ile birleşerek egzozdan CO₂ olarak salınır ancak ortamda yeteri kadar oksijen olmaması nedeniyle egzozdan CO ve C olarak atılmaktadır. Egzoz gazında C oranının artmasıyla duman renginde değişim meydana gelir ve bu renk değişimine neden olan C birikintileri is olarak adlandırılan emisyonların temel yapı taşıdır (Kılıçaslan, 2010).

İs oluşumu bazı parametreler dahilinde farklılık göstermektedir. Silindir içindeki sıcaklık, hava miktarı ve yanma periyodu için geçen süre temel parametrelerdir. Motor yükündeki artış ile hava fazlalık katsayısı azalmakta ve silindir içine alınan hava miktarı yani oksijen azalmaktadır, bunun sonucunda karbon tanecikleri oksitlenemediği için is meydana gelmektedir. İs oluşumuna etki eden bir diğer parametre yanma periyodu için geçen süredir. Motor devrinin artmasıyla bu süre kısalmır ve yanma periyodu tamamlanmadan emisyonlar salınır bu emisyonlarda is oluşur. Kısaca is oluşumu motor gücünü sınırlayan bir parametredir. Dizel motorda oluşan partikül maddelerin dağılımı aşağıdaki Şekil 4.4'te verilmiştir (Özer, 2010).



Şekil 4.4. Partikül maddelerin dağılımı (Özer, 2010).

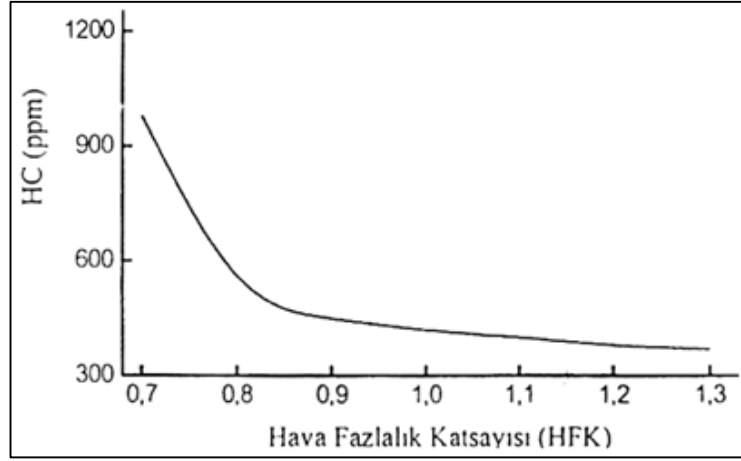
Motordan atılan egzoz gazının rengi, emisyonlara ilişkin değerlendirme yapmamıza yardımcı olmaktadır. Dizel motorun farklı çalışma koşulları dahilinde dört türde partikül madde emisyonları meydana gelmektedir. Soğuk havalarda rastlanan ve içerisinde su buharı barındıran beyaz duman evre için zararsızdır. Yakıtın tam yanmamasından kaynaklanan veya motorda oluşmuş aşınmalar nedeniyle yağ taneciklerinin meydana getirdiği dumanın rengi mavi renkte olmaktadır. Siyah duman ise C parçacıkları içeren, hava/yakıt oranı düşük ve tam yük durumunda çalışmış motor egzozunun duman rengidir. Ayrıca yağlama yağı, sülfat ve yakıtın içerdiği katkı maddelerinden dolayı oluşan partikül madde emisyonları vardır (Megep-E, 2011).

Dizel motorda is oluşumu sonucunda silindir ve pistonlarda aşınmalar meydana gelir ve bu durum motor parçalarının azami ömürlerini kısaltmaktadır (zcumalı, 2007). Solunabilir düzeylerde olan partikül maddeler bronşlarda birikerek insan ve hayvan sağlığına etki etmektedir. Özellikle partikül maddelerin bünyelerinde barındırdıkları ağır metaller (kurşun vs.) kanserojen etki yaratmaktadır (TC.SağlıkBakanlığı, 2010).

4.2.5. Hidrokarbon (HC)

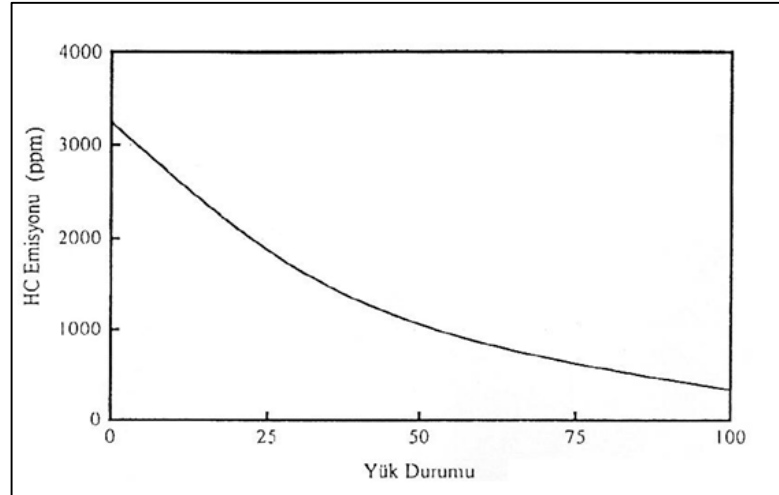
Dizel yakıt hidrokarbon içeren türde bir yakıttır. Silindir içerisindeki ısı kayıpların alevin sönmesine neden olması ve bazı bölgelerde karışımın tutuşmaması gibi sorunlar sebebiyle yakıtın eksik yanması sonucu egzozda hidrokarbon emisyonları gözükmektedir (zcumalı, 2007). Silindir cidarlarında oluşan yakıt tanecikleri hidrokarbon emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (zer, 2010).

Hava/yakıt karışımının durumu doğrudan HC emisyonlarına etki etmektedir. Hava fazlalık sayısının etkisi şekil 4.5’de gösterilmiştir ve bu katsayı eğer 1 den kk olursa HC emisyonlarında artış gözlenmektedir (zbakiş, 2012).



Şekil 4.5. HFK ve HC ilişkisi (Özbakış, 2012).

Dizel motorda yük artışıyla beraber yanma odasına alınan yakıt miktarı artmaktadır aynı zamanda silindir içi sıcaklık değerleri yükselmektedir, bu yükselme sonucunda reaksiyon hızında artış HC emisyonlarının düşmesine sebep olmaktadır. Düşük yüklerde ise reaksiyonu hızlandırmaya yönelik sıcaklık değerleri bulunmadığından dolayı HC emisyonlarında artış gözlenmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.6'da motor yük durumu ile HC emisyonları arasındaki ilişki verilmiştir (Özbakış, 2012).



Şekil 4.6. Motor yük durumu ve HC emisyon ilişkisi (Özbakış, 2012).

HC ve NO_x tepkimeye girmesi sonucunda sis oluşmaktadır. Solunum sistemi ve mukoza üzerinde tahrip edici özelliğe sahip olan hidrokarbon emisyonları, kan kanseri gibi bazı kanser türlerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOT

Yapılan deneysel uygulamada, tek silindirli dizel motor sabit devir şartları ve beş farklı yük altında ED, PLY ve motor silk dizel yakıt katkısı kullanılarak oluşturulan karışımlar ile testler yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında yakıt karışımlarının emisyonlara (HC, NO_x, CO ve is) ve motor performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

5.1. MATERYAL

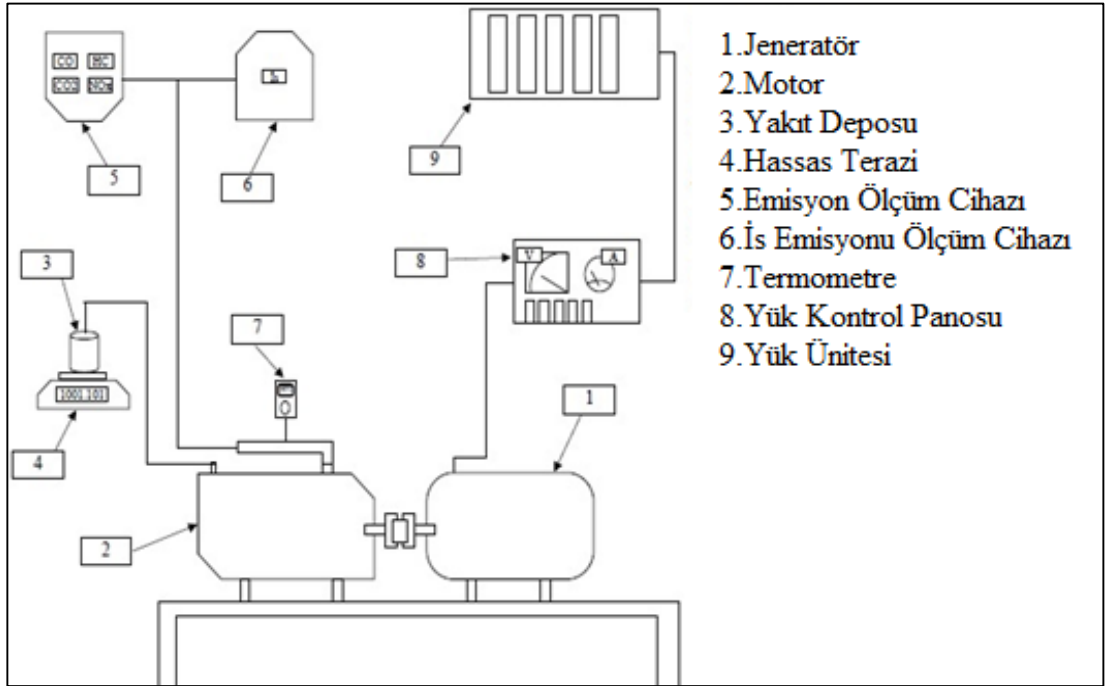
Deneysel uygulamada kullanılan test yakıtlarına ilişkin veriler, test yakıtlarının motor performans ve emisyon etkilerinin analizi için gerekli materyaller ve hesaplama yöntemleri hakkında bilgiler aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir.

5.1.1. Uygulama Alanı ve Düzeneği

Uygulamanın gerçekleştirildiği alan olarak Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı bünyesinde bulunan motor test laboratuvarı kullanılmıştır. Şekil 5.1’de uygulama alanının genel görüntüsü Şekil 5.2’de ise şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama alanının genel görüntüsü.



Şekil 5.2. Uygulama alanının şematik görüntüsü.

5.1.2. Uygulama Jeneratörün ve Motorunun Özellikleri

Gerçekleştirilen testler için Datsu marka DDJ8000E jeneratör ve jeneratöre entegre 186FAE tek silindirli, hava soğutmalı dizel motor kullanılmıştır. Çizelge 5.1’de kullanılan jeneratörün genel görünümü ve jeneratör teknik özellikleri yer almaktadır. Çizelge 5.2’de ise entegre motorun genel görünümü ve motorun teknik özelliklerine ilişkin bilgiye yer verilmiştir.

Çizelge 5.1. Datsu DDJ8000E genel görünümü ve teknik özellikleri.

Datsu DDJ8000E Marşlı Dizel Monofaze Jeneratör	
Motor Gücü (HP)	11
Maks.-Sürekli Çıkış Gücü (kVa)	7-6
Frekans (Hz)	50
Faz Sayısı	Monofaze
Çıkış Voltajı (V)	220
	

Çizelge 5.2. Datsu 186FAE genel görünümü ve teknik özellikleri.

Datsu 186FAE 4 Zamanlı Marşlı Dizel Motor	
Maks. Çıkış Gücü (HP/rpm)	10-3600
Motor Hacmi (cc)	406
Çap x Strok (mm)	86x70
Sıkıştırma Oranı	20:1
Silindir Sayısı	1
	

5.1.3. Egzoz Gazı Ölçüm Cihazları

Deney sırasında ortaya çıkan HC, NO_x, CO emisyonları için ITALO Plus Spin egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Ayrıca, is emisyonunu ölçmek için SMOKY Smokemeter Opacimetre test cihazından yararlanılmıştır. Çizelge 5.3'te kullanılan egzoz gaz analiz cihazı genel görünümü ve teknik özellikleri yer almaktadır. Çizelge 5.4'te ise opasimetrenin genel görünümü ve teknik özelliklerine ilişkin bilgiye yer verilmiştir.

Çizelge 5.3. ITALO Plus Spin genel görünümü ve teknik özellikleri.

ITALO Plus Spin Egzoz Gaz Analiz Cihazı	
CO (% hacimsel)	0-15,00 $\pm$ 0,01
CO2 (% hacimsel)	0-20,00 $\pm$ 0,01
NOx (ppm)	0-4000 $\pm$ 5
HC (ppm)	0-20000 $\pm$ 12



The image shows the ITALO Plus Spin Exhaust gas Analyser. It is a black rectangular device with a red frame. The front panel features four digital displays for CO, HC, CO2, and a multi-range display for NOx. The multi-range display has a scale from 0 to 5 with units: 0-100ppm, 0-1000ppm, 0-10000ppm, 0-100000ppm, and 0-1000000ppm. The device has several control buttons including PUMP, PRINT, NOx TEST, and a multi-range selector. A label on the right side reads 'ALFAPANEL'.

Çizelge 5.4. SMOKY Opacimetre genel görünümü ve teknik özellikleri.

SMOKY Smokemeter Opacimetre	
İs (Opasite) (% hacimsel)	0-100 $\pm$ 2



The image shows the SMOKY SMOKEMETER OPACIMETRE. It is a black rectangular device with a white front panel. The front panel features a large digital display for smoke opacity. The device has several control buttons and a label on the right side that reads 'MOD. SPAC OP F LPC'. A label on the left side reads 'SMOKY SMOKEMETER OPACIMETRE'. A probe is connected to the bottom of the device.

5.1.4. Yakıt Sarfıyatı Tespit Mekanizması

Motorun yakıt sarfıyatını ölçmek için kütleli olarak tespitini mümkün kılan mekanizma kurulmuştur. Kullanılan terazi 0,1 g hassasiyet ile çalışan Dikomsan JS-B marka olup Şekil 5.3'te genel yakıt sarfıyatı tespit mekanizması verilmiştir. Yakıt sarfıyatının süresinin tespiti için ise 1 salise hassasiyete sahip Stopwatch telefon uygulamasından faydalanılmıştır.



Şekil 5.3. Dikomsan JS-B terazi.

5.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Deney anında egzoz gazı sıcaklığını ölçümü TT T-ECHNI-C A930C dijital multimetre ve K tipi termokupul kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.4'te sıcaklık ölçüm cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.4. TT T-ECHNI-C A930C dijital multimetre.

5.1.6. Deney Yükleme Ünitesi

Yapılan bu çalışma sırasında motor yük kontrolü sağlamak için jeneratöre Şekil 5.5’de deney yükleme ünitesinde yer alan yük kontrol panosu ve yük ünitesi halojen ampulleri (250, 500, 1000 W) vasıtasıyla yükleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.5. Deney yükleme ünitesi.

5.1.7. Deney Yakıtları

Bu çalışmada; endüstriyel lastik geri kazanım tesisinden (Yazgan Yenilenebilir Enerji ve Endüstriyel Kimya Sanayi Dış Ticaret Ltd. Şti.) pirolize lastik yağı, ulusal akaryakıt ağı olan şirketten (Petrol Ofisi A.Ş.) eurodizel ve piyasadan Motor Silk dizel yakıt katkısı temin edilerek kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 5.5’de pirolize lastik yağı ve eurodizel yakıtı ilişkin bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 5.5. Euro Dizel ve Pirolize Edilmiş Lastik Yağı özellikleri.

Özellikler	Euro Dizel	Pirolize Lastik Yağı
Kinematik viskozite (40 °C, mm ² /s)	2,96	1,6540
Kül (%)	0,01	0,0061
Yoğunluk (15 °C, kg/cm ³)	829	878,02
Karbon kalıntısı (%)	0,30	0,0980
Kükürt (mg/kg)	6,50	8784,0
Toplam su (ppm)	200	1624,7
Parlama noktası (°C)	65,0	-*
Alt Isıl değer (MJ/kg)	42,9	41,110
Setan İndisi	56,0	-*
-* İlgili değer ölçülememiş veya ölçüm alınmamıştır.		

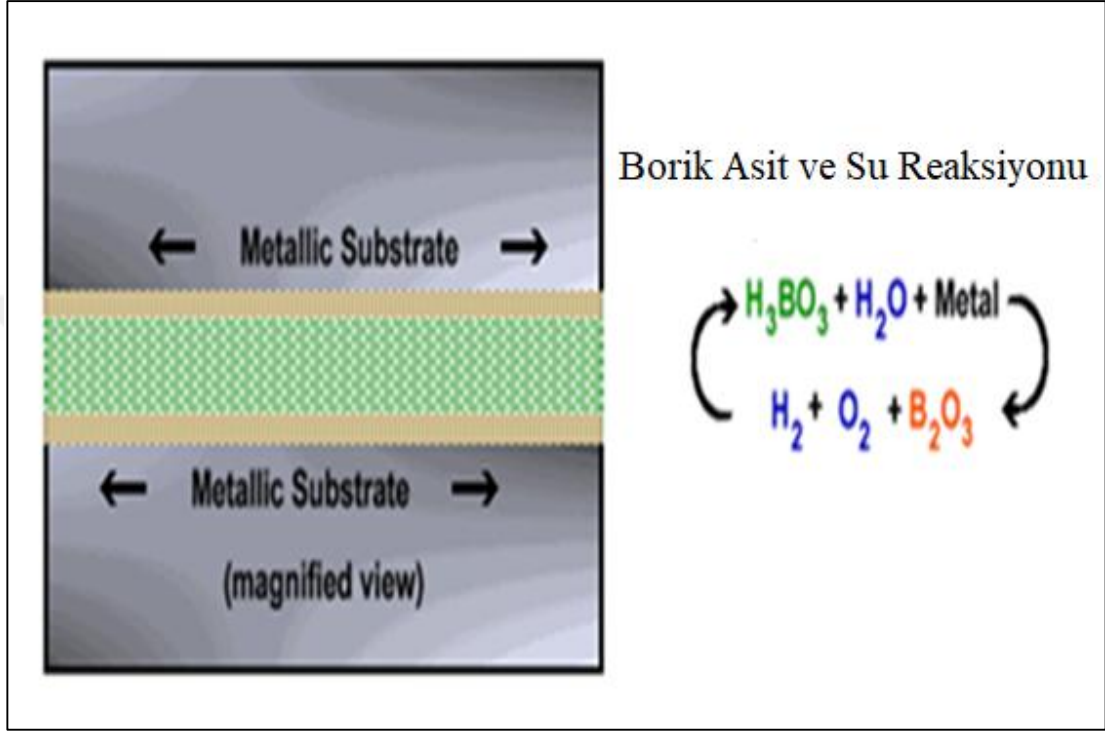
5.1.7.1. Deney Yakıt Katkısı

Deneyde içeriğinde borik asit ihtiva eden Motor Silk dizel yakıt katkısı kullanılmıştır. Yakıt katkısında bulunan borik oksit, oluşturduğu ince tabaka ile sürtünme yüzeyleri arasında sürütünme katsayısını 0,01 değerine kadar düşürmektedir. Bu yakıt katkısı, dizel yakıtı ait setan numarasını (8-10 numara kadar) artırarak yakıtın tutuşma kabiliyetine olumlu yönde yarar sağlamaktadır. Soğuk ortam koşullarında motorun çalışmasını kolaylaştırmakta ve vuruntulu çalışmayı önlemektedir. Ayrıca, kükürt (500 ppm değerinden 15 ppm değerine kadar) oranını düşürmede etkili olduğu ve karbon kalıntılarını minimize ettiği saptanmıştır. Dahası dizel yakıt katkısı kullanılması sonucu egzoz emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Motor Silk dizel yakıt katkısı için oluşturulan raporda yakıt katkısına ilişkin bazı özellikler ve genel görünümü Çizelge 5.6'da yer almaktadır (Tartakovsky ve diğ., 2006).

Çizelge 5.6. Motor Silk bazı özellikleri (Tartakovsky ve diğ., 2006).

Motor Silk Dizel Yakıt Katkısı	
Renk	Hafif yarı saydam
Parlama Noktası	181 °F
Viskozite	32,6 - 40.0 SuS @ 100 °F
Akma Noktası	-45 °C
	

Yakıt katkısının içeriğinde bulunan borik asit (H_3BO_3) ve ortamdaki su buharı (H_2O) reaksiyona girerek korozyona dirençli kendi kendini yenileyen borik oksit (B_2O_3) yüzeyini oluşturur. Aşağıdaki Şekil 5.6’da gerçekleşen reaksiyon ve metal parçalar arasında oluşan tabaka yüzeyi gösterilmiştir (Altboron, 2019).



Şekil 5.6. Borik asit reaksiyonu (Altboron, 2019).

Yüksek lisans tezi için yapılan bu deneyde motor performans değerlerini artırmak, egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimi düşürmek amacıyla Motor Silk marka dizel yakıt katkısı piyasadan temin edilmiştir. Motor Silk dizel yakıt katkısına ilişkin analizler TÜBİTAK-MAM tarafından yapılmıştır.

Çizelge 5.7. Motor Silk yakıt katkısı özellikleri.

Analiz	Birimi	Analiz Sonucu	Analiz Yöntemi
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	999,300	TS EN ISO 12185
Üst Isıl Değer	MJ/kg	30,241	ASTM D 240
Alt Isıl Değer	MJ/kg	31,783	ASTM D 240 (hesap ile)

5.1.7.2. Deney Yakıt Karışımları

Deney yakıtları; euro dizel (ED100), pirolize lastik yağı (PLY) ve Motor Silk dizel yakıt katkısı (MS) kullanılarak hacimsel karışımlar yapılarak oluşturulmuştur. Motor Silk dizel yakıt katkısına ilişkin rapor incelendiğinde bu tez çalışması için %1 hacimsel oranında kullanılmasına karar verilerek testler üç temel yakıt çeşidi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yakıt çeşitleri ED100, EPLY ve EPLYMS1 olarak belirlenmiştir. Yakıt karışımlarına ait bilgi Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da verilmiştir. Ayrıca bu yakıt çeşitlerine ilişkin ısı değeri ve yoğunlukları Çizelge 5.10’da yer almaktadır.

Çizelge 5.8. Deney yakıtların hacimsel karışımların oranları.

Yakıt Karışımın İsmi	Euro Dizel (%)	Pirolize Lastik Yağı (%)	Motor Silk Dizel Yakıt Katkısı (%)
ED100	100	0	0
EPLY10	90	10	0
EPLY20	80	20	0
EPLY30	70	30	0

%100

%30

%20

%10



*Tüm karışımların renk skalasında gözle tespit edilebilir bir değişim gerçekleşmemiştir.

Çizelge 5.9. Deney yakıtların hacimsel karışımların oranları.

Yakıt Karışımın İsmi	EPLY (%)	Motor Silik Dizel Yakıt Katkısı (%)
EPLY10MS1	99	1
EPLY20MS1	99	1
EPLY30MS1	99	1

Çizelge 5.10. Deney yakıtları ve karışımlarının özellikleri.

Yakıt	Alt Isıl Değer (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/m ³)
Euro Dizel (ED100)	42,900	829,000
Pirolize Lastik Yağı (PLY)	41,110	878,020
Motor Silik Dizel Yakıt Katkısı (MS)	31,783	999,300
EPLY10	42,711	833,902
EPLY20	42,525	838,804
EPLY30	42,341	843,706
EPLY10MS1	42,580	835,555
EPLY20MS1	42,397	840,408
EPLY30MS1	42,216	845,261

5.2. METOT

Bu araştırma esnasında üç farklı (ED, EPLY, EPLYMS) yakıt hazırlanmış ve beş farklı (500, 750, 1000, 1250, 1500 W) yükte jeneratör vasıtasıyla motor yüklenerek testler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ED100 ile referans değerlerinin tespiti sağlanmıştır. Testler; ED ve PLY hacimsel olarak üç farklı (EPLY10, EPLY20, EPLY30) oranda karıştırılarak sürdürülmüş ve daha sonra ED ve PLY hacimsel karışımlarına Motor Silik dizel yakıt katkısı (MS) %1 oranında eklenerek yeni karışımlar (EPLY10MS1, EPLY20MS1, EPLY30MS1) elde edilmiştir. Testler yedi adet yakıt ile beş farklı yükte gerçekleştirilerek verilerin tespiti sağlanmıştır. Elde edilen deneysel veriler ile

motorun egzoz gaz sıcaklık değeri, HC, NO_x, CO, is emisyonlarının tespiti, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim sonuçları tespit edilmiştir. Yakıt sarfıyatı mekanizması vasıtasıyla birim zamanda motorun yakıt tüketimi tespit edilmiştir. Elde edilen verilerin analizi aşağıdaki eşitlik kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki Eşitlik 5.1'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$be = \frac{B \cdot 1000}{Pe} \quad (5.1.)$$

be : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

Pe : Motor gücü (kW)

B : Yakıt sarfıyatı (kg/h)

Efektif verim aşağıdaki Eşitlik 5.2'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{Pe \cdot 3600}{B \cdot Hu} \quad (5.2.)$$

η : Efektif verim

Pe : Motor gücü (kW)

B : Yakıt sarfıyatı (kg/h)

Hu : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

BÖLÜM 6

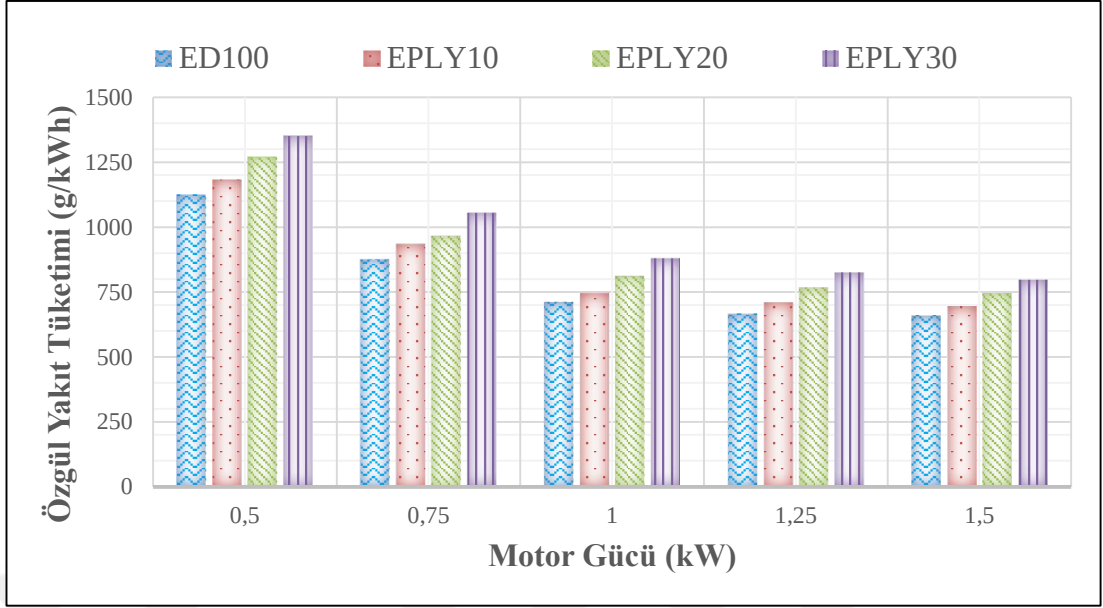
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu araştırmada pirolize edilmiş lastik yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak tercih edilebilirliği deneysel uygulamalarla tespit edilmeye çalışılmıştır.

Deneysel uygulama sırasında tek silindirli dizel motor Çizelge 5.10'da yer alan yakıtlar ile farklı yüklerde (500, 750, 1000, 1250, 1500 W) test edilmiştir. Tespit edilen özgül yakıt tüketimi, efektif verim, egzoz gaz sıcaklığı ve emisyon (CO, HC, NO_x ve is) verileri ile test yakıtların motor performans ve emisyon değerlerine etkileri bu bölümde yer verilmektedir.

6.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ

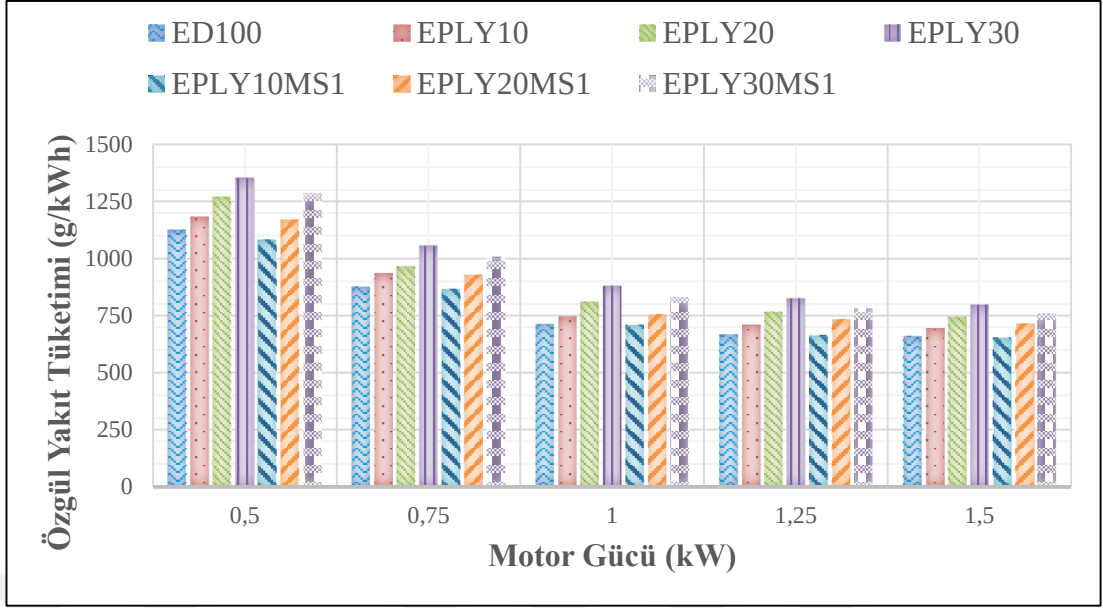
Bu bölümde, test yakıt içeriklerinin farklı yüklemelerde motor özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiştir. Birim güç başına yapılan yakıt sarfiyatına özgül yakıt tüketimi olarak nitelendirilmektedir. Test yakıtlarının ihtiva ettiği farklı yoğunluk ve kalorifik değerleri yakıt tüketiminin bir göstergesidir. Yakıt kimyasal özellikleri silindir içerisinde gerçekleşen yanma reaksiyonunun verimini belirleyen ana etkenlerden birisidir. Aşağıdaki Şekil 6.1'de farklı oranlarda oluşturulan yakıt karışımlarının farklı motor yüklerinde ölçülen özgül yakıt miktarına ait veriler gösterilmiştir. Bu verilere göre yakıt içerisinde PLY oranındaki artış ile düşen alt ısı değer neticesinde ED100 referans yakıtına göre yakıt sarfiyatında yükselme tespit edilmiştir.



Şekil 6.1. PLY oranının ve motor gücünün özgül yakıt tüketimine etkisi.

EPLY10 karışımı, ED100 yakıtına göre farklı yüklerde (500 W’da %5,062; 750 W’da %6,605; 1000 W’da %4,761; 1250 W’da %6,586; 1500 W’da %5,44) daha fazla yakıt tüketim değerleri sergilediği tespit edilmiştir. Bu değerlerdeki artış yakıt karışımının içerdiği PLY oranı ile doğru orantılı bir biçimde artmaktadır. Özellikle EPLY30 yakıtının hacimce içerdiği PLY miktarı %30 seviyelerine çıktığında ED100 referans yakıtımıza göre (500 W’da %19,982; 750 W’da %20,159; 1000 W’da %23,249; 1250 W’da %23,502; 1500 W’da %20,574) daha fazla yakıt sarfiyatı gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Motor Silk dizel yakıt katkısını konu alan çalışmalar incelendiğinde bu yakıt katkısının yakıt sarfiyatını düşürdüğü yönünde sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Yakıt sarfiyatı üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle yaptığımız bu deneysel uygulamada kullanılması yönünde karar alınmıştır. ED ve PLY hacimsel karışımları ile elde ettiğimiz EPLY karışımlarının üç türüne Motor Silk dizel yakıt katkısı %1 oranında ilave edilerek yeni karışımlar oluşturulmuş ve bu karışımların motor yakıt sarfiyatına ilişkin sonuçları Şekil 6.2’de oluşturulan grafikte verilmiştir.

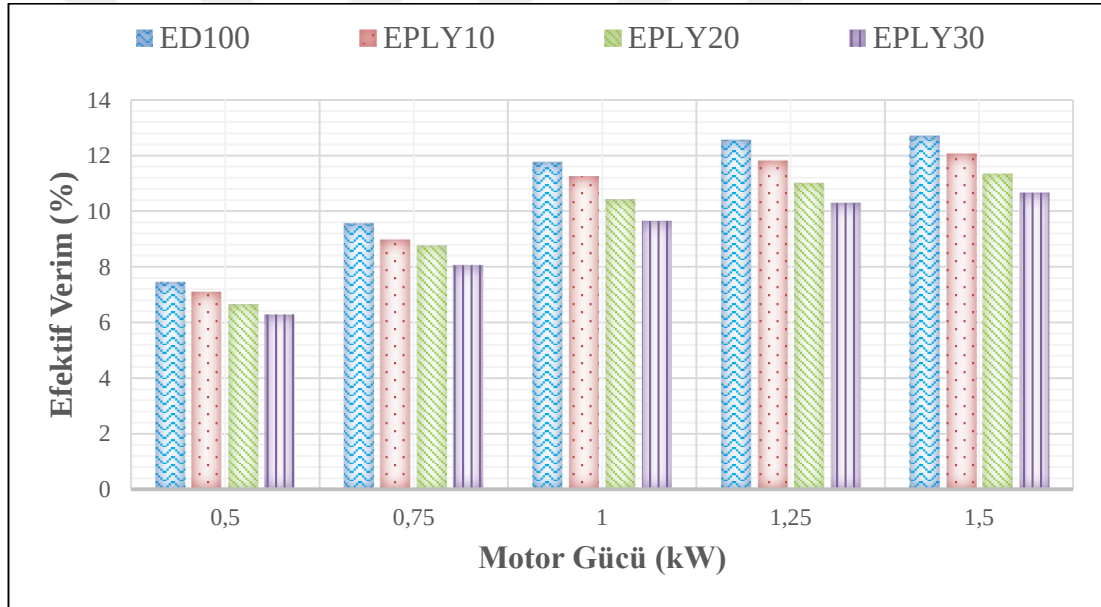


Şekil 6.2. Test yakıtlarının ve motor gücünün özgül yakıt tüketimine etkisi.

Bu deneysel uygulamada Motor Silk dizel katkısının yakıt karışımlarına %1 oranda eklenmesi yakıt sarfiyatına olumlu yönde etki yarattığı Şekil 6.2’de açıkça tespit edilmiştir. Referans yakıtı olan ED100, EPLY10 yakıtına göre (500 W’da %5,062; 750 W’da %6,605; 1000 W’da %4,761; 1250 W’da %6,586; 1500 W’da %5,446) daha az yakıt sarfiyatı ölçülmüştür. EPLY10 yakıtına %1 oranında MS eklenmesiyle oluşturulan EPLY10MS1 yakıtı incelendiğinde, EPLY10 yakıtına göre farklı yüklerde (500 W’da %8,453; 750 W’da %7,371; 1000 W’da %4,946; 1250 W’da %6,601; 1500 W’da %6,169) daha az yakıt tüketim değerleri sergilediği ve hatta MS yakıt katkısının eklenmesiyle EPLY10MS1 yakıt sarfiyatının ED100 referans yakıtı tüketim değerlerinden daha iyi hal aldığı ölçülmüştür. Yakıt sarfiyatındaki bu iyileşme EPLY20MS1 ve EPLY30MS1 verilerinde görüldüğü gibi devam ettiği PLY yakıtının, yakıt sarfiyatına yaptığı olumsuz etkilerinin minimize edildiği tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada bu durumun MS’nin eklenmesiyle yakıtların tutuşma kabiliyetini artırmasında kaynaklandığı ifade edilmiştir (Tartakovsky ve diğ., 2006). Grafikler incelendiğinde özgül yakıt tüketimi yük artışıyla ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Bu davranışın temel nedeni olarak silindir içindeki sıcaklık ve basınç değerlerindeki artış gösterilebilir. Özgül yakıt tüketimindeki düşüş efektif verim değerlerinde artış olarak kendini göstermektedir.

6.2. EFEKTİF VERİM

Efektif (termik) verim; yakıtın yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkardığı ısı enerjisinin ne kadarlık kısmının yararlı işe dönüştüğünün bir tanımıdır. Yakıtın yanması ile elde edilen ısı enerjisi içten yanmalı motorlarda tamamı faydalı güce dönüşmemektedir. Isı enerjisinin bir kısmı soğutma suyu, egzoz gazları ve yağlama sistemi tarafından motordan uzaklaştırılmaktadır. Uzaklaşan bu ısı değerinden arta kalan miktar efektif verim değerini oluşturan enerjiyi temsil etmektedir. Efektif verim kısaca; faydalı güç/yakıtın verdiği ısı olarak ifade edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 6.3'te ED yakıt ve PLY oranlarındaki değişikliklerin farklı motor yüklerindeki sonuçları grafik halinde verilmiştir.

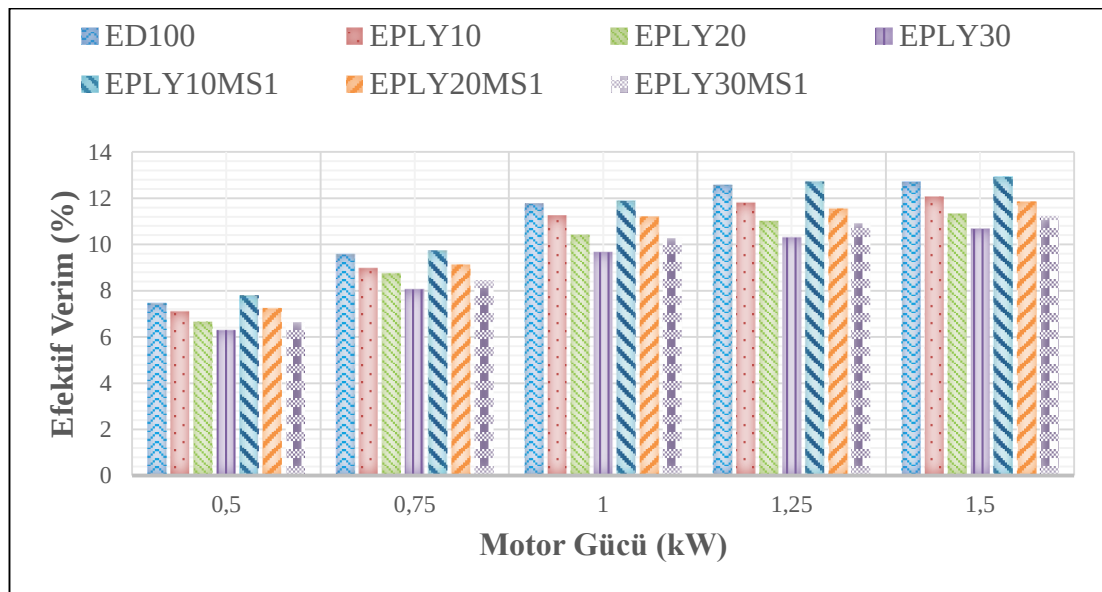


Şekil 6.3. PLY oranının ve motor gücünün efektif verime etkisi.

Şekil 6.5 incelendiğinde ED100 yakıtına PLY eklendikçe efektif verim değerinde düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Literatür araştırmasında iyileştirme proseslerinden geçirilen pirolize lastik yağının bile setan (<40) değerinin dizel yakıtının setan (>50) değerine göre düşük olduğu rastlanmıştır (Doğan, 2012). Bu deneysel çalışmada hiçbir işleminden geçirilmeden kullandığımız ham pirolize lastik yağına ilişkin Çizelge 5.5'de yer alan analiz sonuçlarında setan tespiti sağlanamamıştır. Setan oranındaki düşüş yakıtın tutuşma kabiliyetinin bir göstergesi olduğundan PLY oranındaki

artış (EPLY10, EPLY20, EPLY30) tutuşma gecikmesinin daha da fazla artmasına neden olmakta ve efektif verimin düşmesine sebebiyet vermektedir. Şekil 6.3'te yer aldığı gibi ED100 (500 W'da %7,452; 750 W'da %9,557; 1000 W'da %11,753; 1250 W'da %12,547; 1500 W'da %12,695) referans yakıtımıza ait efektif verim sonuçları ölçülmüştür. PLY yakıtının eklenmesiyle oluşturulan; EPLY10 (500 W'da %7,120; 750 W'da %8,997; 1000 W'da %11,261; 1250 W'da %11,822; 1500 W'da %12,081), EPLY20 (500 W'da %6,661; 750 W'da %8,762; 1000 W'da %10,420; 1250 W'da %11,009; 1500 W'da %11,337), EPLY30 (500 W'da %6,289; 750 W'da %8,056; 1000 v %9,652; 1250 v %10,296; 1500 W'da %10,666) test yakıtlarına ait verilere göre PLY oranındaki artışa paralel olarak motor efektif verim değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

Test yakıtlarımızdaki bu setan düşüşünü iyileştirme adına MS dizel yakıt katkısı seçilmiştir. Tartakovsky vd.'nin 2006 yılında MS dizel yakıt katkısı üzerine oluşturduğu raporda MS katkısının yakıt setan sayısının artışı yönünde etki eden bir ürün olduğu ve yakıt katkısında bulunan borik oksitin oluşturduğu ince tabaka ile sürtünme yüzeyleri arasında sürtünme katsayısını 0,01 değerine kadar düşürerek sürtünme kuvvetine harcanan enerji miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Şekil 6.4'te MS yakıt katkısının kullanılmasıyla oluşan; EPLY10MS1, EPLY20MS1, EPLY30MS1 test yakıt karışımlarına ilişkin efektif verim verilerinin içeren grafik verilmiştir.



Şekil 6.4. Test yakıtlarının ve motor gücünün efektif verime etkisi.

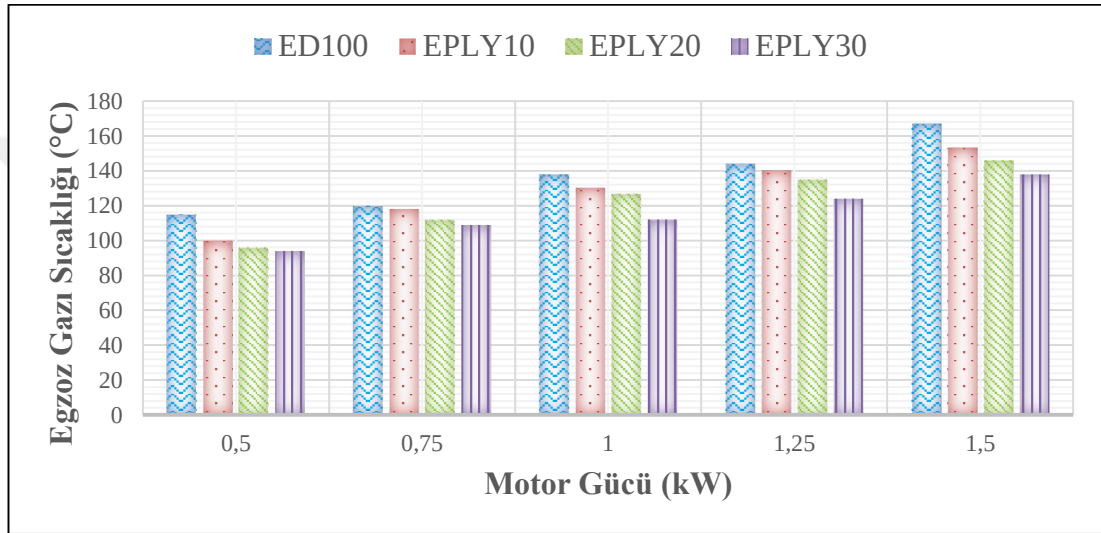
Şekil 6.4 yer aldığı gibi MS yakıt katkısının eklenmesiyle oluşturulan EPLY10MS1 (500 W'da %7,806; 750 W'da %9,744; 1000 W'da %11,885; 1250 W'da %12,711; 1500 W'da %12,922), EPLY20MS1 (500 W'da %7,250; 750 V %9,126; 1000 W'da %11,207; 1250 W'da %11,557; 1500 W'da %11,853) ve EPLY30MS1 (500 W'da %6,631; 750 W'da %8,454; 1000 W'da %10,266; 1250 W'da %10,915; 1500 W'da %11,242) test yakıtlarının efektif verim sonuçları ölçülmüştür. EPLY10MS1 test yakıtına ilişkin efektif verimdeki artış motor referans yakıtının efektif verim değerleriyle karşılatırılabilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Efektif verim ile özgül yakıt tüketimi arasında ters orantılı bir değişim söz konusudur. Çünkü efektif verim, özgül yakıt tüketimin bir fonksiyonudur. Özgül yakıt tüketiminde azalma gerçekleşirken efektif verimde artış meydana gelmektedir. Deney yakıt ve karışımlarının özelliklerini içeren Çizelge 5.10'da yer aldığı gibi karışımdaki PLY oranındaki artış ısıl değerde düşüşe neden olmaktadır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde yakıtın alt ısıl değerindeki azalma, yakıt yanma sonu sıcaklık değerinde azalmaya neden olduğundan efektif verim üzerinde düşüş meydana getirdiği görülmüştür (Al- Hasan ve Al- Momany, 2008).

Çizelge 5.10'daki karışımın alt ısıl değer düşüşü, efektif verimde büyük oranlarda azalmaya neden olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi PLY yakıtının viskozite oranını düşürmesidir. Literatüre göre dizel motorlarda verimli bir yanmanın gerçekleşebilmesi için ideal hava-yakıt oranın silindir içine girmesi gerekmektedir ve yakıtın viskozitesi de bu ideal oranın belirlenmesine etki eden önemli bir unsurdur. Yakıtın viskozitesi yakıt tanecik boyutunu kontrol etmektedir. Viskozite değerindeki azalma sonucunda enjektörlerin püskürttüğü yakıt taneciklerinde küçülme meydana gelmekte ve hava ile homojen karışım sayesinde verimli bir yanma silindir içerisinde gerçekleşmektedir (Ergenç, 2009; Örs 2016). PLY daha düşük viskoziteye sahip olması tutuşma gecikmesi süresi zarfınca daha iyi hava/yakıt karışımının oluşmasına yardım etmektedir. Ayrıca motor yükündeki değişime paralel sıcaklık ve basınç değerlerindeki artış, yanma verimine pozitif etki yaratarak efektif verim değerlerinde yükselme eğilimi olarak kendini göstermektedir.

6.3. EGZOZ GAZI SICAKLIĞI

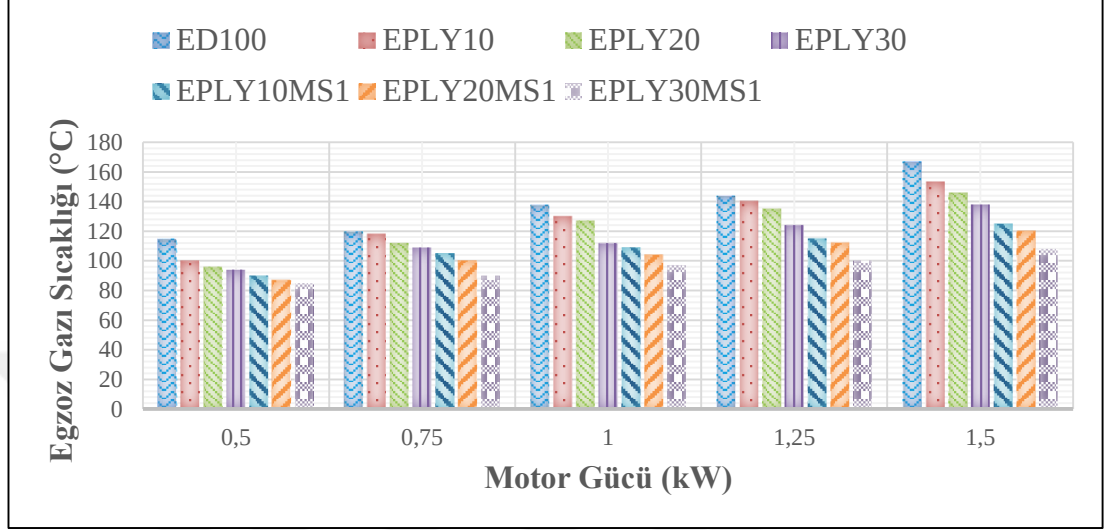
Yakıtın silindir içerisinde yanma reaksiyonu sonucunda ısı açığa çıkmaktadır. Bu ısı-
nın bir miktarı faydalı güce dönüşür, bir kısmı soğutma ve yağ vasıtasıyla motordan
uzaklaşmaktadır geri kalan kısım ise egzoz gazları ile motordan atılmaktadır. Şekil 6.5
ve Şekil 6.6’da yer alan grafiklerde motorda kullandığımız yakıtların oluşturdukları
egzoz gaz sıcaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 6.5. PLY oranının ve motor gücünün egzoz sıcaklığına etkisi.

Şekil 6.5 incelendiğinde ED100 yakıtına PLY eklendikçe egzoz sıcaklık değerinde düşüş meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durumun temel nedeni Çizelge 5.5’de yer aldığı gibi PLY ısı değeri ED100 yakıtına göre daha düşük olması bir yakıt olmasındandır. Literatüre bakıldığında PLY gibi uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar yanma odasında diğer yakıtlara göre daha çok ısı emerek buharlaşmaya yönelmek isterler ve ortamdaki sıcaklık değerinin düşürdükleri tespit edilmiştir (Hall, 2008). Ek olarak borik asit ihtiva eden katkı, 0,2 mikron bor partikülleri sayesinde metal yüzeylerinin kaplayarak ince bir tabaka oluşturur ve sürtünme katsayısının 0,01 seviyelerine düşürerek parçalar arasında sürtünmeden kaynaklı problemleri ortadan kaldırır ve ani sıcaklık artışlarını ince bor yüzeyi sayesinde absorbe ederek dengeler (MSTurkey, 2019). Bir önceki bölümde Şekil 5.6’da gerçekleşen reaksiyon ve metal parçalar arasında oluşan tabaka yüzeyi gösterilmiştir. Alt ısı değeri egzoz gazına etkisi MS yakıt katkısı için de geçerlidir. TUBİTAK-MAM analizinde elde edilen Çizelge 5.10’daki

verilere göre MS alt ısııl değeri ED100 referans yakıtına göre düşük seviyelerdedir ve %1 oranında eklenmesiyle Şekil 6.6 görüldüğü gibi farklı yüklerde diğer test yakıtlarına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri ölçülmüştür.



Şekil 6.6. Test yakıtlarının ve motor gücünün egzoz sıcaklığına etkisi.

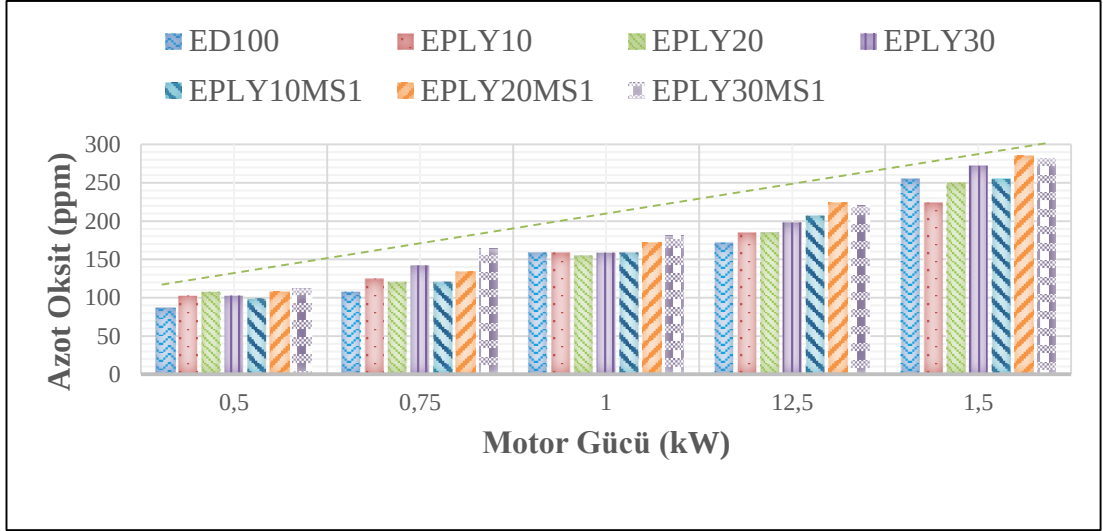
Ayrıca yük artışıyla beraber egzoz gazı sıcaklıkları artmıştır bunun temel sebebi yanma odasının sıcaklık ve basınç değerlerinin artması ve daha fazla silindire giren yakıtın yanma reaksiyonuna katılmasıdır. Motorun 1500 W ile yüklendiğinde, tüm yakıtlarda (ED100 167 °C; EPLY10 153 °C; EPLY20 146 °C; EPLY30 138 °C; EPLY10MS1 125 °C; EPLY20MS1 120 °C; EPLY30MS1 108 °C) en yüksek egzoz sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

6.4. AZOT OKSİT (NO_x) EMİSYONU

Yanma reaksiyonun gerçekleşebilmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Oksijen temini için silindire alınan hava içerisinde büyük oranda (%79) azot barındırmaktadır. İdeal yanma reaksiyonunda azot tepkimeye girdiği gibi tepkime sonu çıkar ancak silindir içerisindeki yanma koşulları (yüksek sıcaklık ve basınç) nedeniyle azot ve oksijen tepkimeye girerek NO_x emisyonlarını oluşturur. Aynı zaman yakıt özellikleri NO_x emisyonu oluşmasında etkilidir. Daha önceki yapılan çalışmalarda, yakıtın ihtiva ettiği oksijen oranındaki artış NO_x emisyonunun artmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Azi, 2017). PLY üzerine yapılan çalışmalarda PLY içeriğinde oksijen ve azot barındırdığı

tespit edilmiştir (Islam, 2016). Emisyonlara birçok parametre etki etmektedir bu nedenle emisyon değerlendirmesi yapılırken geniş perspektiften bakmak gerekmektedir.

Literatürde; PLY yakıt oranının %60 seviyesine kadar NO_x emisyon değerine etkisinin az olduğu saptanmıştır ve ayrıca PLY yakıtının yüksek yoğunluk ve aromatik içeriklerinin fazla olması NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada, yakıt yoğunluğundaki artış yanma odasındaki yakıt miktarında artışa neden olduğundan bölgesel sıcaklık değerlerini yükseltmektedir. Yakıtın aromatik içeriğinin fazla olması adyabatik alev sıcaklığına etki ederek NO_x emisyonunu yükselttiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değerlerindeki artış NO_x emisyonlarının oluşmasına yardımcı olmaktadır (Doğan, 2012). Çizelge 5.10'da test yakıtlarının yoğunluk değerleri verilmiştir. En düşük yoğunluk ED100 referans yakıtında ($829,0 \text{ kg/m}^3$), en yüksek yoğunluk ise EPLY30MS1 test yakıtında ($845,261 \text{ kg/m}^3$) tespit edilmiştir. Yoğunluktaki bu artış sonucunda EPLY30MS1 yakıtına ait NO_x emisyonu ED100 referans yakıtına göre ortalama %26,882 oranında artmıştır. Bir önceki bölümde Şekil 5.6'da yer aldığı gibi borik asidin silindir içerisindeki su buharı ile reaksiyona girmesi sonucu borik oksit, oksijen ve hidrojen molekülleri meydana gelir (Altboron, 2019). Bu reaksiyon sonucu artan oksijen azot molekülleri ile reaksiyona girerek NO_x emisyonlarının oluşumunu artırmaktadır. Silindir içerisindeki oksijen konsantrasyonu NO_x emisyonlarının oluşumunda etkili olduğu literatür araştırmasında tespit edilmiştir (Şimşek ve Özdalyan, 2018). Şekil 6.7'de deneysel uygulamada elde ettiğimiz NO_x emisyon verileri incelendiğinde daha çok NO_x emisyonlarındaki eğilim motor yüküne endeksi olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Test yakıtlarının 500 W ve 1500 W motor yüklerinde gerçekleşen NO_x emisyon (ED100 %196,511; EPLY10 %117,475; EPLY20 %131,481; EPLY30 %164,077; EPLY10MS1 %157,575; EPLY20MS1 %163,888; EPLY30MS1 %151,785) miktarlarındaki artış eğilimini net olarak tespit edilmiştir. Bu eğilimin ana nedeni motor yük artışı ile gerçekleşen sıcaklık değerindeki yükselme ve buna bağlı oluşan NO_x emisyonlarıdır.



Şekil 6.7. Test yakıtlarının ve motor gücünün NO_x emisyonlarına etkisi.

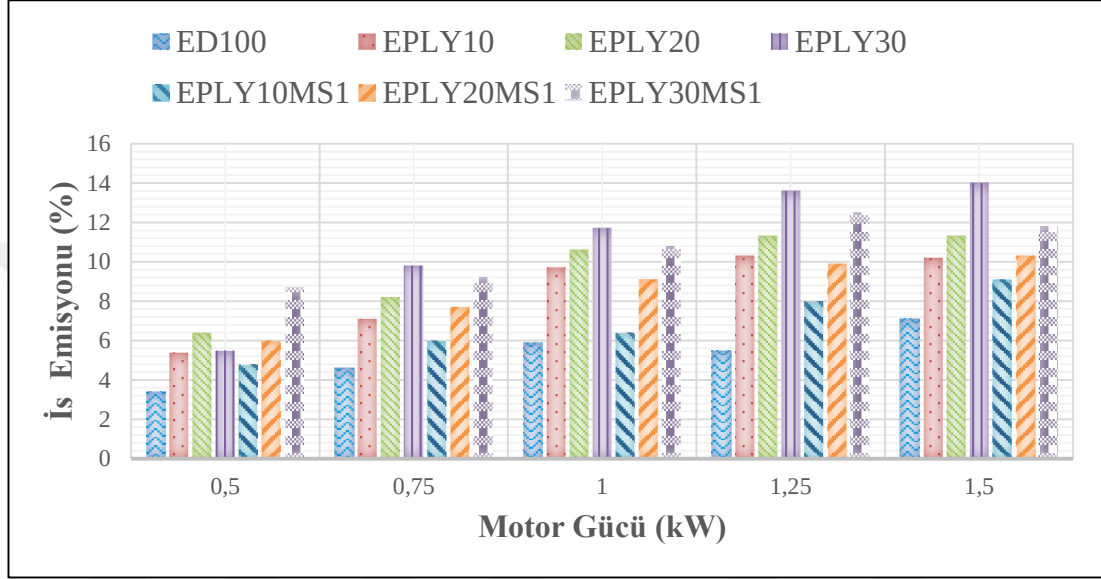
6.5. İS EMİSYONU

ED100 ve PLY gibi hidrokarbon ihtiva eden yakıtların yanma reaksiyonu sırasında hidrojen molekülleri karbon moleküllerine nazaran daha aktif davranarak ortamdaki oksijeni bünyelerine katarak ortamda karbon moleküllerinin tamamının yanması için gerekli oksijen bırakmazlar. Bu durumda karbon birikmesi meydana gelir ve egzozda is emisyonu olarak atmosfere atılmaktadır.

Çizelge 5.5’de yer aldığı gibi PLY kükürt (8784 mg/kg) miktarı, ED100 referans yakıtının kükürt (6,5 mg/kg) miktarı göre çok yüksektir. Yakıtın yüksek oranda kükürt içermesi is emisyonlarına etki etmektedir. Çünkü kükürt, is parçacıklarının boyutu artırmaktadır (Doğan, 2012). MS yakıt katkısının karbon kalıntısını azalttığı ve kükürt oranını düşürdüğü önceki çalışmalarda tespit edilmiştir (Tartakovsky ve diğ., 2006). Bu iyileştirmeler neticesinde is emisyonlarına olumlu etkilerinin ortaya koyan veriler elde edilmiştir.

Ayrıca motor yükündeki artış ile silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı da artmaktadır. Yakıt miktarının artmasıyla, hava/yakıt oranı değişmekte ve bu değişim is emisyon miktarını yükselmesine neden olmaktadır. Kısaca is emisyonu motor yükü ile doğru orantılı bir şekilde gerçekleşmektedir. Literatürde benzer çalışmalara rastlanmıştır, PLY is emisyonlarındaki değişim sonuçlarıyla paralellik tespit edilmiştir (İlkılıç

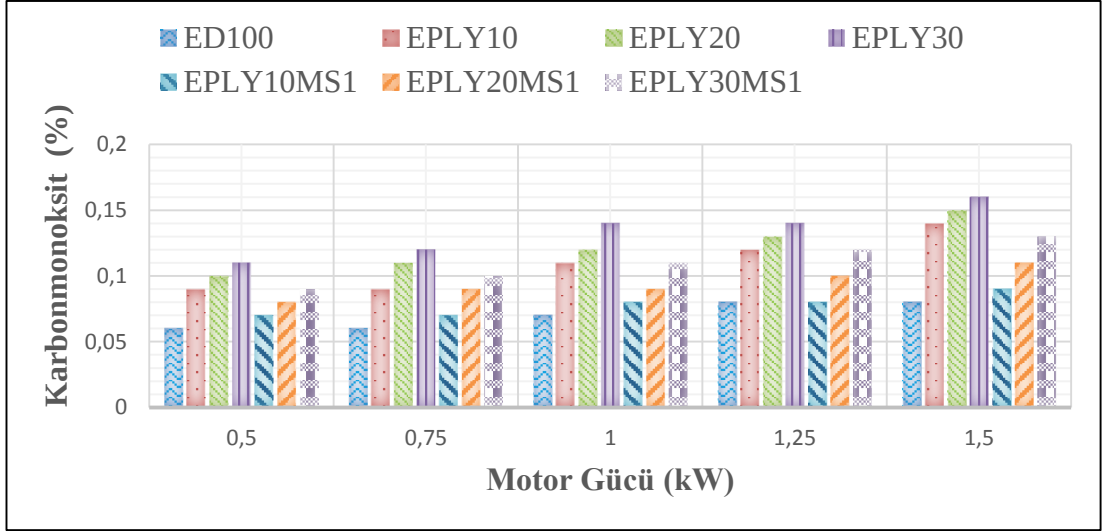
ve Aydın, 2011). Ölçülen verilere göre en yüksek is miktarı EPLY30 (1500 W'da %14) test yakıtına aittir ve bu yakıtta %1 oranında MS yakıt katkısı eklenmesiyle oluşturulan EPLY30MS1 (1500 W'da %11,8) yakıtında bu is miktarı azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 6.8'de bahsettiğimiz parametreler dahilinde test yakıtlarından atmosfere salınan is miktarını gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Test yakıtlarının ve motor gücünün İs emisyonlarına etkisi.

6.6. KARBONMONOKSİT (CO) EMİSYONU

Hidrokarbon içeren yakıtların silindir içerisinde yanma reaksiyonu için sürenin kısıtlı olması nedeniyle eksik yanması sonucunda CO emisyonları oluşmaktadır (Şimşek, 2018). Karbon, silindir içerisinde oksijen yetersizliği nedeniyle CO₂ yerine CO molekülleri olarak egzozdan atmosfere salınmaktadır. Aşağıdaki Şekil 6.9'da deneysel uygulamada ortaya çıkan CO emisyonuna ilişkin grafik verilmiştir.



Şekil 6.9. Test yakıtlarının ve motor gücünün CO emisyonlarına etkisi.

CO emisyon oluşumunu etkileyen bir diğer unsur reaksiyon sıcaklığıdır. Reaksiyon sıcaklığındaki artış reaksiyonu hızlandırarak CO oksidasyonuna yardımcı olmaktadır. Daha önceki çalışmalarda, PLY yakıtının uçuculuk kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle yanma odasından ısı emerek ortam sıcaklık değerini düşürdüğü ve CO oksidasyonu yavaşlatarak egzoz emisyonunda CO oranının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Doğan, 2012). Literatürdeki bu durum, yaptığımız çalışmada farklı motor yüklerinde kendisini göstermiştir. Referans yakıtı ED100 (500 W’da %0,06; 750 W’da %0,06; 1000 W’da %0,07; 1250 W’da %0,08; 1500 W’da %0,08) ve PLY eklenmiş olan EDPLY10 (500 W’da %0,09; 750 W’da %0,09; 1000 W’da %0,11; 1250 W’da %0,12; 1500 W’da %0,14), EPLY20 (500 W’da %0,10; 750 W’da %0,11; 1000 W’da %0,12; 1250 W’da %0,13; 1500 W’da %0,15) ve EPLY30 (500 W’da %0,11; 750 W’da %0,12; 1000 W’da %0,14; 1250 W’da %0,14; 1500 W’da %0,16) yakıtlarına ait CO verileri incelendiğinde emisyon değerleri PLY oranındaki artışa bağlı olarak yükselmiştir.

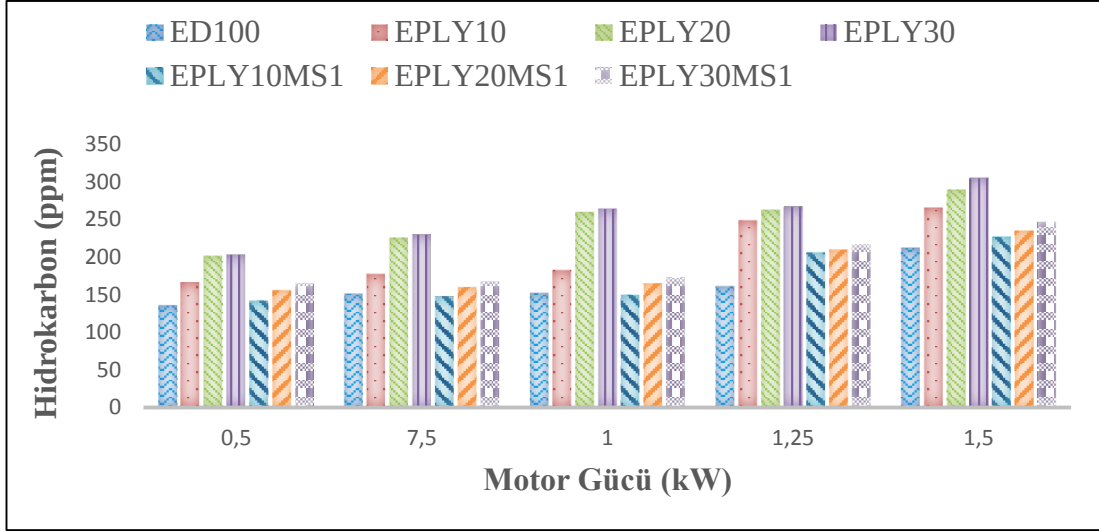
Motor Silk dizel yakıt katkısı üzerine 2006 yılında çalışma yapan Tartakovsky vd.’nin verilerine göre MS, yakıtların setan numarasını artırmaktadır. Setan numarasındaki artış yakıtın tutuşma kabiliyetini iyileştirerek yanma reaksiyonun daha temiz gerçekleşmesine neden olmaktadır (Ejder, 2007). EPLY10MS1 (500 W’da %0,07; 750 W’da %0,07; 1000 W’da %0,08; 1250 W’da %0,08; 1500 W’da %0,09), EPLY20MS1 (500 W’da %0,08; 750 W’da %0,09; 1000 W’da %0,09; 1250 W’da %0,10; 1500 W’da

%0,11) ve EPLY30MS1 (500 W'da %0,09; 750 W'da %0,10; 1000 W'da %0,11; 1250 W'da %0,12; 1500 W'da %0,13) kullanılan MS içerikli bu test yakıtları genel sonuçları itibariyle CO emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. Bu durum literatürde bahsedilği gibi yakıtın tutuşma kabiliyeti ile paralellik göstermektedir. Ayrıca borik oksit reaksiyonu sonucunda oksijen ve hidrojen molekülleri meydana gelmektedir (Altboron, 2019). Bu durum ortamda oksijen konsantrasyonunda değişime neden olmaktadır ve literatürde yakıt oksijen içeriğinde artış neticesinde CO emisyonlarında iyileşme gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şimşek ve diğ., 2019)

Şekil 6.9 incelendiğinde motor yükündeki artış ile CO emisyon artışı doğru orantılı bir hal seyretmektedir. Motor yükü artıkça silindire giren yakıt miktarı artmaktadır ve bu durumun sonucunda hava/yakıt oranı azalarak CO emisyon oranını yükselmektedir. Çünkü ortamdaki oksijen azlığı CO emisyonlarının oluşmasının temel nedenidir.

6.7. HİDROKARBON (HC) EMİSYONU

Egzoz gazında yer alan HC emisyon oranı, silindir içine püskürtülen yakıtın kısmen ya da büyük kısmının yanma reaksiyonuna katılmadan motoru terkettiği anlamı taşımaktadır. Silindir içerisinde bazı bölgelerde oksijen azlığı nedeniyle oksidasyon gerçekleşmemesi HC emisyonlarını oluşmasında etkilidir. Silindir içerisinde artan basınç yakıt taneciklerini yanma odasında ve piston üzerindeki bazı boşluklara sıkıştırılmaktadır. Ve bu bölgelere alevin ulaşması yakıtların egzozdan yanma reaksiyonuna katılmadan atılmasına neden olmaktadır (Özdemir, 2011). Egzozda tespit edilen HC emisyonunun konsantrasyonu yanmadan atılan yakıtın bir göstergesidir (Şimşek, 2018). Motor yükünün ve test yakıtlarının HC emisyonları üzerindeki etkileri Şekil 6.10'da yer verilmiştir.



Şekil 6.10. Test yakıtlarının ve motor gücünün HC emisyonlarına etkisi.

Şekil 6.10’da ölçülen veriler incelendiğinde, karışımdaki PLY oranı artışıyla beraber HC emisyonları artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. ED100 referans yakıtına göre karşılaştırma yapıldığında; EPLY10 (500 W’da %22,794; 750 W’da %17,880; 1000 W’da %20,394; 1250 W’da %54,658; 1500 W’da %25,471), EPLY20 (500 W’da %48,529; 750 W’da %49,668; 1000 W’da %71,052; 1250 W’da %63,354; 1500 W’da %36,792) ve EPLY30 (500 W’da %49,264; 750 W’da %52,317; 1000 W’da %73,684; 1250 W’da %65,838; 1500 W’da %43,867) test yakıtlarında değişik oranlarda artış ölçülmüştür. Karışımda PLY içeriğinin yükselmesi ile birlikte, Çizelge 5.10’da yer aldığı gibi test yakıtlarının yoğunluklarında artış gerçekleşmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda yakıt yoğunluğundaki artış HC emisyonlarını yükselmesine etki ettiği tespit edilmiştir (Yamane ve diğ., 2001).

Ayrıca yüksek aromatik içerik ve düşük setanlı yakıtlar diğer yakıtlara göre egzoz gazında daha yüksek oranda HC emisyonu içerdiği daha önceki yapılan çalışmalarda yer almaktadır. (Zannis ve Hountalas, 2004; Ickes, 2009). MS yakıt katkısının setan sayısı üzerindeki etkisi HC emisyonlarında azalma olarak kendini göstermiştir. Buna ek olarak borik asit reaksiyonu sırasında ortaya çıkan oksijen HC emisyonunun azalmasına katkı sağlamaktadır. MS yakıt katkısı eklenmeden önceki ve eklendikten sonraki HC emisyon verilerinin ortalaması alındığında (EPLY10-EPLY10MS1 %16,299; EPLY20-EPLY20MS1 %25,382; EPLY30-EPLY30MS1 %23,561) MS yakıt katkısının HC emisyonlarını tüm motor yüklerinde azalttığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Atık lastiklerin proseslerden geçirilmesi sonucu elde edilen PLY, alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi hem ekonomik bakımından hem de çevre ve canlı hayatının korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Gerçekleştirilen deneysel uygulamada PLY dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla tek silindirli dizel motor farklı yüklemelerinde (500 W, 750 W, 1000 W, 1250 W, 1500 W) farklı test yakıtları ile çalıştırılmıştır. ED100, PLY ve MS dizel yakıt katkısı olarak test yakıtları üç temel başlıkta yer almaktadır. Motorumuz ilk olarak referans yakıtımız olan ED100 ile çalıştırılmıştır. Üç temel yakıt belirlenen oranlarda karıştırılması ile oluşturulan; EPLY10, EPLY20, EPLY30, EPLY10MS1, EPLY20MS1 ve EPLY30MS1 yakıtları kullanılarak motor performans ve emisyon (CO, HC, NO_x ve is) testleri yapılmıştır. Bölüm 6'da bu testlere ilişkin tespit edilen veriler ve bu verilerden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Bu bölümde ise deneysel uygulamada tespit edilen önemli sonuçlara ilişkin değerlendirmeler özet halinde verilmiştir.

Yakıtlara ait yoğunluk ve kalorifik değerlerinin özgül yakıt tüketimine doğrudan etki ettiği tespit edilmiştir. Karışımda PLY oranındaki artış neticesinde yakıt sarfiyat değerlerinde yükselme olduğu ölçülmüştür. Bu yüksek yakıt sarfiyatı ED100 ve EPLY30 arasında gerçekleşmiştir. EPLY30 test yakıtı en yüksek fark 1500 W motor yükünde %20,574 olarak daha fazla yakıt sarfiyatı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. MS yakıt katkısının kullanılmasıyla yakıt sarfiyatında iyileşme olduğu tespit edilmiştir. EPLY10MS1 yakıtı ortalama %6,708 daha az özgül yakıt tüketimi gerçekleştirdiği ölçülmüştür.

Test yakıtlarının efektif verim analiz sonuçlarına göre karışımda PLY oranındaki artışa paralel efektif verim değerinde bir miktar düşüş tespit edilmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar neticesinden bu durumun PLY yakıtına ait kalorifik değer ED100 yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. ED100 yakıtının ortalama efektif verim sonucu %10,800 ölçülürken, en düşük ortalama efektif verim değeri EPLY30 yakıtında %8,991 olarak ölçülmüştür. MS dizel yakıt katkısının eklenmesiyle yakıtların tutuşma kabiliyetlerini artırdığı daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir. MS yakıt katkısının eklenmesiyle oluşturulan EPLY10MS1 (ortalama %11,013) test yakıtına ilişkin efektif verim sonuçları incelendiğinde ED100 (ortalama %10,800) referans yakıtına göre daha iyi efektif verim değerleri sergilediği tespit edilmiştir.

ED100 yakıtına PLY ve MS eklenmesi ile egzoz sıcaklık değerinde düşüş meydana geldiği gözlenmektedir. Bir önceki paragrafta bahsedildiği gibi yakıtın kalorifik değerindeki düşüşten kaynaklanmaktadır. Ayrıca literatürde PLY yakıtının uçuculuk kabiliyetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma göre buharlaşmaya yönelim ortamdan ısı çekerek gerçekleşmekte ve ortam sıcaklık değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Test verileri incelendiğinde motor yükündeki artışa paralel egzoz sıcaklık değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Motor yükündeki artış ile silindire giren yakıtın miktarı artarak yanma reaksiyonuna katılması ve silindir içi sıcaklık değerinin yükselmesidir. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı motorun 1500 W ile yüklendiğinde ED100 yakıtında 167 °C olarak ölçülmüştür.

NO_x emisyonlarındaki değişim motor yükündeki artışa bağlı yükselen silindir içi sıcaklığa paralel bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Motor yükünün 1500 W seviyelerine gelmesiyle motor sıcaklık değerleri yükselmiş ve tüm test yakıtlarında bu yükte en yüksek NO_x emisyonları ölçülmüştür. ED100 referans yakıtına PLY eklenmesi büyük emisyon değişimlerine neden olmadığı tespit edilmiştir. MS ve PLY yakıtlarının yüksek yoğunluk miktarlar artış tespit edilmiştir ve en yüksek NO_x emisyon değeri 1500 W motor yükte 282-285 ppm (EPLY30MS1-EPLY20MS1) olarak tespit edilmiştir.

PLY ihtiva ettiği yüksek kükürt oranı is parçacıklarının boyutlarını artırarak is emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Bu durumu kontrol altına almak için kükürt emisyonlarını minimize eden MS yakıt katkısı kullanılmıştır. EPLY30 yakıtının 1500 W motor yükünde is miktarı %14 olarak ölçülürken, EPLY30MS1 test yakıtında aynı yükte is miktarı %11,8 olarak ölçülmüştür.

Test yakıtlarının CO emisyonunun değerlendirilmesinde büyük ölçüde yakıtlara ait özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. EPLY10, EPLY20 ve EPLY30 yakıtlarında, PLY yakıtının uçuculuk özelliği etkili olmuş ve silindir içi sıcaklık değerlerini düşürerek CO oksidasyon reaksiyonunu yavaşlatması sonucunda CO emisyonlarında artış tespit edilmiştir. Yakıtın setan sayısındaki azalma CO emisyonunda artışa neden olduğu tespit edilmiştir. EPLYMS test yakıtları incelendiğinde, MS dizel yakıt katkısının setan sayısı üzerindeki etkileri sonucunda CO emisyonlarında azalma ölçülmüştür.

HC emisyon verileri değerlendirildiğinde PLY oranına paralel artan yakıt yoğunluğun etkili olduğu tespit edilmiştir. Tüm motor yüklerinde PLY artışı HC emisyon artışı olarak kendini göstermiştir. Bu test yakıtlarına MS eklenmesi ile iyileşme gözlenmiş bunun temel sebebi MS yakıt katkısının yakıtın tutuşma kabiliyeti yükselterek yanmamış HC moleküllerinin yanma reaksiyonuna katılımını sağlamasıdır. EPLY30 yakıtına göre EPLY30MS1 test yakıtı ortalamada %23,561 daha az HC emisyon salınımı gerçekleştirmiştir.

Bu sonuçlara göre PLY yakıtının %10, %20 ve %30 oranlarında ED100 yakıtına eklenmesi motor performans ve emisyon değerlerinde çok yüksek oranlarda kötüleşmeye

neden olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca MS dizel yakıt katkısının PLY karışımlarına dahi edilmesiyle motor performans ve emisyon verilerinde iyileşmeler gerçekleştiği tespit edilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Atık lastik geri dönüşüm prosesleri irdelenip geri dönüşüm tesisinin yapılabilirliği üzerine çalışmalar yapılabilir. Atık lastiklerin geri dönüşüm ürünlerinden birisi olan ham PLY iyileştirilmesi konusunda araştırmalar gerçekleştirilerek yeni alternatif bir yakıt oluşturulabilir ve dizel yakıtların içerisine eklenmesinin ekonomik sonuçları incelenerek satılabilirliği tespit edilebilir.

PLY yakıtının içerdiği yüksek kükürt oranının kükürt oksit emisyonlarına etkileri ölçülebilir. Bu emisyonların azaltılmasına yönelik çözümler belirlenebilir. Ayrıca bu yüksek kükürt miktarının PLY yakıtından uzaklaştırılması konusunda çalışmalar yapılabilir. PLY yakıtının yüksek yoğunluk değerlerinden kaynaklı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için bu yoğunluk değerinin düşürecek ek katkıların tespiti sağlanabilir. Ayrıca PLY yakıtının tutuşma kabiliyetini artıracak alternatif yakıt katkılarının etkileri üzerine çalışmalar yürütülebilir.

Gerçekleştirdiğimiz deneysel uygulamadaki yakıt oranlarını artırarak bu artışın sonuçları üzerine tespitlerde bulunulabilir. Ek olarak bu test yakıtlarının dizel motor enjeksiyon basınç ve püskürtme avansı etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Al-Hasan, M. I. ve Al-Momany, M. "The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance." **Transport**, 23(4): 306-310. (2008).

Albayrak, S. "Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon Ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), **Düzce Üniversitesi**, Düzce, (2014).

İnternet: Altboron "Motor Silk Technical Data." Erişim: 17 Şubat, 2019, <https://www.altboron.com>. (2019).

Altun, Ş. "Performance and exhaust emissions of a DI diesel engine fueled with waste cooking oil and inedible animal tallow methyl esters." **Turkish Journal of Engineering Environmental Sciences**, 35(2): 107-114. (2011).

Altunbaş, O. "Pelemir bitkisinin pirolizi." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), **Selçuk Üniversitesi**, Kayseri, (2015).

Antoniou, N. ve Zabaniotou, A. "Features of an efficient and environmentally attractive used tyres pyrolysis with energy and material recovery." **Renewable Sustainable Energy Reviews**, 20: 539-558. (2013).

Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Argunhan, Z. "Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission." **Fuel processing technology**, 91(10): 1241-1249. (2010).

Ayan, E. A. "Üzüm Küspesinin Pirolizi ve Elde Edilen Ürünlerin Analizi." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi**, Eskişehir, (2011).

Basu, P. "Biomass Gasification and Pyrolysis." **Elsevier**, (2010).

Batır, B. "Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, (2002).

Bilsen, B. "Yağlar Yakıtlar." **Ege Üniversitesi Yayını**, İzmir, (2009).

Brentin, R. ve Sarnacke, P. "Rubber Compounds-A Market Opportunity Study." **United Soybean Board**. (2011).

Bridgwater, T. "Biomass for energy." **Journal of the Science of Food Agriculture**, 86(12): 1755-1768. (2006).

Crump, E. L. "Economic impact analysis for the proposed carbon black manufacturing NESHAP." *US Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards. Innovative Strategies and Economics Group. Durham: US Environmental Protection Agency (EPA).* (2000).

De, S. K., Isayev, A. ve Khait, K. "Rubber recycling." *CRC Press, Taylor & Francis Group*, Boca Raton, FL 33487–2742. (2005).

Demirbas, A. "Pyrolysis mechanisms of biomass materials." *Energy Sources, Part A*, 31(13): 1186-1193. (2009).

Devaraj, J., Robinson, Y. ve Ganapathi, P. "Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine." *Energy*, 85: 304-309. (2015).

Doğan, O. "Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Karabük Üniversitesi*, Karabük, (2012).

Doğan, O., Çelik, M. B. ve Özdalyan, B. "The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions." *Fuel*, 95: 340-346. (2012).

Doğan, O., Özdalyan, B., Dörtbölük, C., Candan, S. ve Candan, E. "The effect of scrap tyre fuel on diesel engine performance and emissions." *5th International Advanced Technologies Symposium-IATS'09*. Karabuk, Turkey.

Doğru, M. "Ayçiçek Pres Küspesinin Sürükleyici Akım Reaktöründe Flash Pirolizi" (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Eskişehir, (1997).

Ejder, S. B. "Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2007).

Ergenç, A. T. "Biodiesel Yakıt İle Çalışan Motordaki Püskürtmenin Performans Ve Emisyon Yönünden Optimizasyonu." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2009).

Erol, D. "Taşıt Lastikleri." *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3: 37-50. (2011).

Ertas, M. "Bazı Artık Biyokütlelerin Yavaş Pirolizi Ve Piroliz Ürünlerinin Karakterizasyonu." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, Kahramanmaraş, (2010).

Fagbemi, L., Khezami, L. ve Capart, R. "Pyrolysis products from different biomasses: application to the thermal cracking of tar." *Applied energy*, 69(4): 293-306. (2001).

İnternet: Fest. "Oil Refining." Erişim: 17 Şubat, 2019, www.festanks.com.au/crude-oil-refining-in-australia-infographic/. (2019).

Goyal, H., Seal, D. ve Saxena, R. "Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review." *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 12(2): 504-517. (2008).

İnternet: Gönüllü, M. T. "Atık Lastikler Yönetimi." Erişim: 3 Mart, 2019, <http://www.yildiz.edu.tr/~gonul/bildiriler/b85.pdf>. (2004).

İnternet: Haliç Çevre, L. "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği ve Uygulamaları." Erişim: 5 Mart, 2019, <http://haliccevre.com/wp-content/uploads/2018/12/Ömrünü-Tamamlamış-Lastiklerin-Kontrolü-Yönetmeliği-ve-Uygulamaları.pdf>

Hall, D. "Automotive Engineering." **Global Media**, Delhi, India, (2008).

ICBA, I. C. B. A. "Carbon Black User's Guide." *Safety, Health, & Environmental Information*. (2004).

Ickes, A. M. "Fuel Property Impact on a Premixed Diesel Combustion Mode." (2009).

İlkılıç, C. ve Aydın, H. "Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine." *Fuel processing technology*, 92(5): 1129-1135. (2011).

Karabörk, F. "Atık araç tekerlek lastiklerinde mikrodalga devulkanizasyon parametrelerinin lastiğin mekanik özelliklerine etkileri." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Selçuk Üniversitesi* Kayseri, (2012).

Kılıçaslan, K. "İsobütanol-Dizel Karışımlarının Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *Marmara Üniversitesi* İstanbul, (2010).

Koc, A. B., M. K. Abdullah, L. G. Schumacher ve S. Borgelt. "Exhaust emissions of a 4-cylinder diesel engine fueled with biodiesel, tire oil and diesel fuel blends." *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. (2010).

Lee, S. ve Kim, T. Y. "Feasibility study of using wood pyrolysis oil–ethanol blended fuel with diesel pilot injection in a diesel engine." *Fuel*, 162: 65-73. (2015).

Lin, Y.-f., Wu, Y.-p. G. ve Chang, C.-T. "Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends." *Fuel*, 86(12-13): 1772-1780. (2007).

Mani, M., Nagarajan, G. ve Sampath, S. "Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine." *Energy*, 36(1): 212-219. (2011).

Megep-A "Atık Lastikler." Ankara, (2011).

Megep-D "Doğal Kauçuk Özellikleri Ve Testleri." Ankara, (2011).

Megep-E "Egzoz Emisyon Kontrolü." Ankara, (2011).

Megep-S "Sentetik Kauçuk Özellikleri ve Testleri." Ankara, (2011).

İnternet: MSTurkey "Motor Silk Motor Katkısı." Erişim: 17 Şubat, 2019, <http://www.motorsilkturkey.com>. (2019).

Murugan, S., Ramaswamy, M. ve Nagarajan, G. "The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines." *Waste Management*, 28(12): 2743-2749. (2008).

Myhre, M. ve MacKillop, D. A. "Rubber recycling." *Rubber Chemistry and Technology*, 75(3): 429-474. (2002).

Nişancı, S. "Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2007).

Onay, Ö. "Kolza Yağlı Tohumunun Yavaş, Hızlı Ve Hidrojen Pirolizi." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Anadolu Üniversitesi* Eskişehir, (2001).

Öcal, M. "Setan Sayısı Hakkında 6 Soru." *Mühendis ve Makine*, 48(568): 24-25. (2006).

Örs , A. "Biyodizel Bütanol Karışımlarının Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *Karabük Üniversitesi*, Karabük, (2016).

Özay, Y., Ateş, H. ve Taner, F. "Biyokütle Dönüşüm Süreçleri." *ISEM2014*. Adıyaman- TÜRKİYE, (2014).

Özbakış, Y. "Bir Dizel Motorun Fazla Miktarda Hava İle Çalıştırılmasının Performans Ve Emisyonlara Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *Karabük Üniversitesi* Karabük, (2012).

Özcan, C. "Dizel Yakıtı İle Birlikte Lpg Kullanan Dual Yakıtlı Bir Dizel Motorun Verimlilik Performans Ve Emisyon Yönünden Deneysel Olarak İncelenmesi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2018).

Özcumalı, R. U. "Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2007).

Ozdalyan B., "The Effect Using n-Butanol-Diesel Fuel Blends at Different Injection Pressures on the Performance and Emissions of Diesel Engines". *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, Volume (issues) 28(2): 1107-1116, ISSN:1308772X, January 2012.

Özdemir, M. "Bir Dizel Motorda Biyodizel Ve Etanol Kullanımının Motor Performansına Ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Karabük Üniversitesi** Karabük, (2011).

Özer, S. "Bütanol Kullanımının Dizel Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneyisel Olarak Araştırılması." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Karabük Üniversitesi**, Karabük, (2010).

Özgür, C. "Palm Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Tahmini." **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 32(1): 81-88. (2017).

Özveran, O. "Tek Silindirli Diesel Motorlarda Egr Uygulamasının Motor Performansı İle Emisyonlara Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, (2013).

Pangaliyev, Y. "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerden Piroliz/Gazlaştırma İle Değerlendirilebilir Ürün Eldesi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, (2014).

İnternet: Parker "Su - Bir Dizel Motorun En Büyük Düşmanı." Erişim: 4 Mart, 2019, <http://blog.parker.com/tr/su-bir-dizel-motorun-en-buyuk-dusmani>. (2016).

Pireli, E. "Biodizel ve Dizel Yakıtı İle Çalışan Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi**, Zonguldak, (2006).

Prakash, R., Singh, R. ve Murugan, S. "Performance and Emission studies in a diesel engine using Bio Oil-Diesel blends." **2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology**. (2011).

Sadıkoğlu Özek, H. "Arıtma Çamurlarının Pirolizinde Uçucu Metal Bileşiklerin Kontrolü." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, (2014).

Sel, Ö. F. "Atık Biyodizel Kullanılan Bir Motorda Yakıt Katkısının Performans Ve Emisyonlara Etkisi." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Karabük Üniversitesi**, Karabük, (2013).

Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H. ve Balas, A. "Progress in used tyres management in the European Union: a review." **Waste Management**, 32(10): 1742-1751. (2012).

Sinoplugil, H. "Atık Meprenyeli Kağıtların Pirolizi: Örnek Bir Çalışma." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), **Balıkesir Üniversitesi**, Balıkesir, (2017).

Sugözü, İ. ve Mutlu, İ. "Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri." **Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 1(1): 35-46. (2009).

Sullivan, J. P. "An assessment of environmental toxicity and potential contamination from artificial turf using shredded or crumb rubber." *Turfgrass Producers International*, 43. (2006).

Şekerci, T. "Sarmaşık Ağacının Hızlı Pirolizi." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2012).

Şimşek, S. "Fuzel Yağı Özelliklerinin İyileştirilmesi Ve Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Karabük Üniversitesi*, Karabük, (2018).

Şimşek, S. ve Özdalyan, B. "Improvements to the Composition of Fusel Oil and Analysis of the Effects of Fusel Oil–Gasoline Blends on a Spark-Ignited (SI) Engine's Performance and Emissions." *Energies*, 11.3: 625, (2018).

Şimşek, S., Özdalyan, B. ve Saygın H. "Improvement of the Properties of Sugar Factory Fusel Oil Waste and Investigation of its Effect on the Performance and Emissions of Spark Ignition Engine." *BioResources*, 14(1), 440-452., Doi: 10.15376/biores.14.1.440-452 (Yayın No: 4492565), (2019)

Şimşek, Y. E. "C3 Enerji Bitkisi olan Enginar (Cynara-Cardunculus L. Saplarının Pirolizi ve Biyoyakıt Üretiminin İncelenmesi." (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Eskişehir, (2006).

İnternet: Tartakovsky, L., Veinblat, M., Baybikov, V. Gutman, M. ve Zvirin, Y. "Effects of Motorsilk Oil and Fuel Additives on Fuel Consumption and Emissions of Diesel Engine." Erişim: 19 Şubat 2019, https://www.altboron.com/tech_data/pdf/motorsilkreport.pdf. (2006).

Taşcı, A. "Piroliz edilmiş atık araç lastiklerinden elde edilen atık yağ ve karbon siyahı ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), *Selçuk Üniversitesi*, Kayseri, (2010).

İnternet: TC. Sağlık Bakanlığı "Türkiye'nin Hava Kirliliği Ve İklim Değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım." http://www.ihsm.gov.tr/ihsmkronik/dosya/turkiyenin_havakirliligi_veiklimdegisikligi_sorunlari.pdf. (2010).

Tillem, İ. "Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimine Kullanımı." (PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi), *Pamukkale Üniversitesi*, Denizli, (2005).

İnternet: TPAO "Petrole Dair Merak Edilenler." Erişim: 17 Şubat, 2019, www.tpa.gov.tr/tpfiles/userfiles/files/petrolmerak.pdf. (2019).

Üçgül, İ. ve G. Akgül "Biyokütle Teknolojisi." *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 1(1). (2010).

İnternet: WBCSD "Managing end of life tires, World Business Council for Sustainable Development." Erişim: 3 Mart, 2019, <https://docs.wbcsd.org/2008/08/EndOfLifeTires-FullReport.pdf>. (2008).

Yakaboylu, O. "Atık Lastik Yönetimi Ve Atık Lastik Pirolyzi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması." (PhD Thesis.,Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2010).

Yamane, K., Ueta, A. ve Shimamoto,Y. "Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine." *International Journal of Engine Research*, 2(4): 249-261. (2001).

Yanowitz, J., M. A. Ratcliff, R. L. McCormick, J. D. Taylor ve M. J. Murphy "Compendium of experimental cetane numbers." (2017).

İnternet: Yılgin, M., Deveci Duranay, N. ve Pehlivan, D. "Odunun Flash Pirolyzi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü." Erişim: 3 Mart, 2019, http://www.emo.org.tr/ekler/81b41df0cd50ace_ek.pdf. (2005).

Zannis, T. ve Hountalas, D. "Effect of fuel aromatic content and structure on direct-injection diesel engine pollutant emissions." (2004).



EK AÇIKLAMALAR

PERFORMANS VE EMİSYON VERİLERİ

Çizelge Ek.1. Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh).

Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
	ED100	1126	878	714	668	661
	EPLY10	1183	936	748	712	697
	EPLY20	1270	966	812	768	746
	EPLY30	1351	1055	880	825	797
	EPLY10MS1	1083	867	711	665	654
	EPLY20MS1	1171	930	757	734	716
	EPLY30MS1	1286	1008	830	781	758

Çizelge Ek.2. Efektif verim (%).

Efektif Verim (%)	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
	ED100	%7,452	%9,557	%11,753	%12,547	%12,695
	EPLY10	%7,120	%8,997	%11,261	%11,822	%12,081
	EPLY20	%6,661	%8,762	%10,420	%11,009	%11,337
	EPLY30	%6,289	%8,056	%9,652	%10,296	%10,666
	EPLY10MS1	%7,806	%9,744	%11,885	%12,711	%12,922
	EPLY20MS1	%7,250	%9,126	%11,207	%11,557	%11,853
	EPLY30MS1	%6,631	%8,454	%10,266	%10,915	%11,242

Çizelge Ek.3. Egzoz gazı sıcaklığı (°C).

Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
	ED100	115	120	138	144	167
	EPLY10	100	118	130	140	153
	EPLY20	96	112	127	135	146
	EPLY30	94	109	112	124	138
	EPLY10MS1	90	105	109	115	125
	EPLY20MS1	87	100	104	112	120
	EPLY30MS1	85	90	97	100	108

Çizelge Ek.4. Azot oksit (ppm).

	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
Azot Oksit (ppm)	ED100	86	108	159	172	255
	EPLY10	103	125	159	185	224
	EPLY20	108	121	155	185	250
	EPLY30	103	142	159	198	272
	EPLY10MS1	99	121	159	207	255
	EPLY20MS1	108	134	172	224	285
	EPLY30MS1	112	164	181	220	282

Çizelge Ek.5. İş emisyonu (%).

	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
İş Emisyonu (%)	ED100	3,4	4,6	5,9	5,5	7,1
	EPLY10	5,4	7,1	9,7	10,3	10,2
	EPLY20	6,4	8,2	10,6	11,3	11,3
	EPLY30	5,5	9,8	11,7	13,6	14,0
	EPLY10MS1	4,8	6,0	6,4	8,0	9,1
	EPLY20MS1	6,0	7,7	9,1	9,9	10,3
	EPLY30MS1	8,7	9,2	10,8	12,5	11,8

Çizelge Ek.6. Karbonmonoksit (%).

	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	1,25	1,5
Karbonmonoksit (%)	ED100	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08
	EPLY10	0,09	0,09	0,11	0,12	0,14
	EPLY20	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15
	EPLY30	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16
	EPLY10MS1	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09
	EPLY20MS1	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11
	EPLY30MS1	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13

Çizelge Ek.7. Hidrokarbon (ppm).

Hidrokarbon (ppm)	Yakıt Türü	Motor Gücü (kW)				
		0,5	0,75	1	12,5	1,5
	ED100	136	151	152	161	212
	EPLY10	167	178	183	249	266
	EPLY20	202	226	260	263	290
	EPLY30	203	230	264	267	305
	EPLY10MS1	142	148	150	206	227
	EPLY20MS1	156	160	165	210	235
	EPLY30MS1	165	168	173	217	247

ÖZGEÇMİŞ

Ramazan ÇOŞTU 1991 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Safranbolu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Programı'nda öğrenime başlayıp 2015 yılında Otomotiv Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Halen; 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Atatürk Mah. Harun Reşit Sok. No:10/2

Merkez / KARABÜK

Tel : (530) 812 1630

E-posta : costuramazan@gmail.com