



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ATIK ŞANZİMAN YAĞINDAN PİROLİZ
YÖNTEMİ İLE DİZEL YAKIT ÜRETİMİ VE
BİR DİZEL JENERATÖR MOTORUNDA
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Serkan DEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Danışman

Dr.Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

**ARALIK-2021 BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Serkan DEMİR tarafından hazırlanan “Atık Şanzıman Yağından Piroliz Yöntemi İle Dizel Yakıt Üretimi Ve Bir Dizel Jeneratör Motorunda Kullanımının Araştırılması” adlı tez çalışması 30/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir AYANOĞLU

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Tarık ARAL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Serkan DEMİR

Tarih: 30/12/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK ŞANZİMAN YAĞINDAN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE DİZEL YAKIT ÜRETİMİ VE BİR DİZEL JENERATÖR MOTORUNDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Serkan DEMİR

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMLERİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

2021, 62 Sayfa

Juri

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir AYANOĞLU

İklim değişikliği, insanların neden olduğu küresel bir çevresel tehdit olarak kabul edilmektedir. Dünyanın karşı karşıya kaldığı ve yaşamı olumsuz yönde etkileyen sonuçlara yol açan ikinci en ciddi sorun olarak görülmektedir. Sürekli artan enerji talebi, azalan fosil yakıt yatakları, ulusal güvenlik ve küresel ısınma ve daha yüksek hava kirliliği seviyeleri gibi çevresel konular yenilenebilir yakıtlara geçişi gerektirmektedir. Fosil yakıtlar için daha temiz, daha güvenli, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir alternatif geliştirmek gerekmektedir. Termokimyasal işlemler kullanılarak bu tür yakıtların üretilmesi için atık şanzıman yağının dönüştürülmesi önerilmiştir. Bu tez çalışmasında atık şanzıman yağından piroliz yöntemiyle dizel yakıt üretimi yapılmıştır. Üretilen atık şanzıman yağı dizel yakıtı ile %80 dizel ve %20 atık şanzıman yağı şeklinde karışım halinde bir dizel jeneratör motorunda motor testlerine tabi tutulmuştur. Motor testi olarak 6 farklı yanma test parametresi kullanılmıştır. Bunlar; basınç artış hızı, kümülatif ısı salınım hızı, kütleli yanma oranı, net ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı, silindir gaz basıncıdır. Motor testlerinden sonra emisyon testleri yapılmıştır. Emisyon testleri kapsamında; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar (HC), azot oksitleri (NO_x) ve Oksijen (O₂) emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimleri incelenmiştir. Son olarak yakıtların performans parametreleri belirlenmesi için üç farklı parametre için test yapılmıştır. Bu testler, yakıt tüketim, özgül yakıt tüketim ve efektif verim ölçümü ve hesaplanması olarak sıralanmaktadır. Genel olarak karışım yakıt kullanımında yanma ve performans verilerinde benzerlik olup değişim % (1-3) seviyelerindedir. NO_x emisyon değerlerinde % (13-20) artış, CO₂ emisyonunda % (20-30) artış gözlenmiştir. Yapılan test sonuçlarında üretilen atık şanzıman yağı katkılı karışım yakıtın amacına uygun şekilde dizel yakıtın yerine kullanılabileceği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Dizel Jeneratör, Dizel Yakıt, Geri Dönüşüm, Piroliz Yöntemi, Şanzıman Atık Yağı.

ABSTRACT

MSTHESIS

DIESEL FUEL PRODUCTION FROM WASTE TRANSMISSION OIL WITH PYROLYSIS AND INVESTIGATION OF ITS USE IN A DIESEL GENERATOR ENGINE

Serkan DEMİR

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst.Prof Mehmet Zerrakki IŞIK

2021, 62 Pages

Jury

Asst.Prof Mehmet Zerrakki IŞIK

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Asst.Prof. Abdulkadir AYANOĞLU

Climate change is recognized as a global environmental threat caused by humans. It is seen as the second most serious problem facing the world and causing consequences that negatively affect life. Environmental issues such as ever-increasing energy demand, declining fossil fuel deposits, national security and global warming, and higher air pollution levels require a switch to renewable fuels. It is necessary to develop a cleaner, safer, sustainable and renewable alternative to fossil fuels. It has been proposed to convert waste transmission oil to produce such fuels using thermochemical processes. In this thesis, diesel fuel was produced from waste transmission oil by pyrolysis method. The produced waste transmission oil diesel mixture fuel is 80% diesel and 20% waste transmission oil. Engine tests were carried out and necessary comparisons were made by using the produced blended fuel and pure diesel fuel in a diesel generator engine. 6 different combustion test parameters were used as engine test. These; pressure increase rate, cumulative heat release rate, mass combustion rate, net heat release, average gas temperature, cylinder gas pressure. Emission tests were carried out after the engine tests. Within the scope of emission tests; The changes in carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x) and oxygen (O₂) emissions depending on engine load were investigated. Finally, three different parameters were tested to determine the performance parameters of the fuels. In general, there is a similarity in the combustion and performance data in the use of mixed fuels, and the change is at the level of (1-3) %. An increase of 13-20% in NO_x emission values and an increase of 20-30% in CO₂ emissions was observed. These tests are listed as fuel consumption, specific fuel consumption and effective efficiency measurement and calculation. It can be said that the waste transmission oil additive mixed fuel produced in the test results can be used instead of diesel fuel in accordance with its purpose.

Keywords: Diesel Generator, Diesel Fuel, Pyrolysis Method, Recycling, Transmission Waste Oil.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının belirlenmesi, oluşumu ve araştırılması boyunca her fırsatta eleştirileriyle beni yönlendiren, ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK'a, deneylerin yapılmasında bilgi, birikim ve tecrübelerini bizden esirgemeyen Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emek sahibi olan aileme şükranlarımı sunarım.

Serkan DEMİR

BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
TEZ BİLDİRİMİ	iii
DECLARATION PAGE	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER	xii
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. DİZEL YAKITLAR	4
1.1.1. Dizel Yakıtın Özellikleri	4
1.1.2. Dizel Motorlarda Yanma	5
1.1.2.1. Tutuşma gecikmesi	7
1.1.2.2. Ani yanma (kontROLSÜZ yanma) safhası	8
1.1.2.3. Kontrollü yanma	9
1.1.2.4. Art yanma	10
1.2. Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri	10
1.2.1. Karbon monoksit (CO)	11
1.2.2. Azot oksit (NOx)	12
1.2.3. Hidrokarbonlar (HC)	13
1.2.4. Isı	14
1.3. Yağlar ve Atık Yağlar	15
1.3.1. Atık Madeni Yağ (Şanzıman Yağı) Oluşumu Zararları ve Dikkat Edilecek Hususlar	16
1.3.2. Atık Madeni Yağların (Şanzıman Yağının) Geri Kazanımı ile Bertarafı	18
1.4. Atık Dönüşüm Prosesleri	18
1.4.1. Doğrudan Yakma	19
1.4.2. Gazlaştırma	20
1.4.3. Sıvılaştırma	21

1.4.4. Piroliz.....	21
1.4.4.1. Piroliz ürünleri	22
1.4.4.2. Piroliz için kullanılan teknikler ve süreç	23
1.4.4.3. Piroliz türleri.....	23
1.4.4.4. Piroliz sürecini etkileyen parametreler	25
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
3. MATERYAL VE METOT	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Motor Testleri.....	36
4.1.1. Basınç Artış Hızı	36
4.1.2. Kümülatif Isı salınım Hızı	39
4.1.3. Kütleli yanma oranı	41
4.1.4. Net Isı salınım.....	44
4.1.5.Ortalama Gaz Sıcaklığı.....	46
4.1.6. Silindir Gaz Basıncı	49
4.2. Emisyon Testleri.....	51
4.2.1. Oksijen (O_2)	51
4.2.2. Karbon monoksit (CO).....	52
4.2.3. Karbondioksit (CO_2).....	53
4.2.4. Hidrokarbonlar (HC)	54
4.2.5. Azot oksitleri (NO_x)	55
4.3. Performans Parametreleri	56
4.3.1. Termik verim (n_{termik})	57
4.3.2. Yakıt Tüketim	57
4.3.3. Özgül Yakıt Tüketim	58
4.3.4. Efektif Verim	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dizel motorun yanmasının görüntülenmesi	6
Şekil 1.2. Dizel Motorlarda Yanma aşamaları (Charlton, 2007)	7
Şekil 1.3. Dizel yanma aşamaları(Pickett ve Siebers, 2006)	8
Şekil 1.4. Dizel yanma aşamaları (Bosch 2005)	9
Şekil 1.5. Dizel egzoz gazı bileşimleri(Khair ve Majewski 2006)	11
Şekil 1.6. Atık yağın kaynaklara göre dağılımı (Abnisa ve Wan Daud, 2014).....	18
Şekil 1.7. Piroliz Döngüsü (Abnisa ve Wan Daud, 2014).....	22
Şekil 1.8. Biyokütlenin pirolizinde elde edilen ürünler (Venderbosch ve Prins, 2010).....	22
Şekil 3.1. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü(Mahmut Uyar,2020)	31
Şekil 3.2. CaO katkı maddesi kullanılarak hazırlanan dizel benzeri yakıt numunesi	32
Şekil 3.3. Emisyon cihazı görünümü	33
Şekil 3.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.5. Deney düzeneğinin görünümü.....	35
Şekil 4.1. Basınç Artış Hızı (Yüksüz)	37
Şekil 4.2. Basınç Artış Hızı (5 Kg)	37
Şekil 4.3. Basınç Artış Hızı (7,5 Kg)	38
Şekil 4.4. Basınç Artış Hızı (10 Kg)	38
Şekil 4.5. Kümülatif Isı salınımı (Yüksüz)	39
Şekil 4.6. Kümülatif Isı salınımı (5 Kg)	40
Şekil 4.7. Kümülatif Isı salınımı (7,5 Kg)	40
Şekil 4.8. Kümülatif Isı salınımı (10 Kg)	41
Şekil 4.9. Kütlesel yanma oranı (Yüksüz)	42
Şekil 4.10. Kütlesel yanma oranı (5 kg)	42
Şekil 4.11. Kütlesel yanma oranı (7,5 kg)	43
Şekil 4.12. Kütlesel yanma oranı (10 kg)	43
Şekil 4.13. Net Isı salınımı (Yüksüz)	44
Şekil 4.14. Net Isı salınımı (5 Kg)	45
Şekil 4.15. Net Isı salınımı (7,5 Kg)	45
Şekil 4.16. Net Isı salınımı (10 Kg)	46
Şekil 4.17. Ortalama Gaz Sıcaklığı (Yüksüz)	47
Şekil 4.18. Ortalama Gaz Sıcaklığı (5 Kg)	47
Şekil 4.19. Ortalama Gaz Sıcaklığı (7,5 Kg)	48
Şekil 4.20. Ortalama Gaz Sıcaklığı (10 Kg)	48
Şekil 4.21. Silindir Gaz Basıncı (Yüksüz)	49

Şekil 4.23. Silindir Gaz Basıncı (7,5 kg)	50
Şekil 4.24. Silindir Gaz Basıncı (10 Kg)	51
Şekil 4.25. O ₂ emisyonu	52
Şekil 4.26. CO emisyonu	53
Şekil 4.27. CO ₂ emisyonu	54
Şekil 4.28. HC emisyonu	55
Şekil 4.29. NO _x emisyonu	56
Şekil 4.30. Termik verim değerlerinin motor yakıtları için yüke bağlı karşılaştırılması	57
Şekil 4.31. Yakıt Tüketimi	58
Şekil 4.32. Özgül Yakıt Tüketimi	59
Şekil 4.33. Efektif Verim	60

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Piroliz türleri (Anonim,2015(b))	24
Tablo 3.1. Dizel ve dizel benzeri yakıtın hacimsel oranları.....	33
Tablo 3.2. Dizel motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti.....	34
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan yakıtların ısı değeri	59

SİMGELER

Bcm: metrekül

λ : aşırı hava faktörü

KISALTMALAR

CO :	Karbon monoksit
CO ₂ :	Karbon dioksit
C ₂ H ₄ :	Etilen
C ₂ H ₂ :	Asetilen
C ₂ H ₆ :	Etan
C ₆ H ₆ :	Benzen
CH ₄ :	Metan
CFB :	Dolaşan akışkan yataklı reaktör
DI :	Direk Enjeksiyon
DLF :	Dizel benzeri yakıt ()
H / C :	Hidrojen-karbon
HC :	Hidrokarbonlar
IDI :	İndirek Enjeksiyon
IF :	İnorganik fraksiyon
IPCC :	Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli
INL :	Idaho Ulusal Laboratuvarı
NO :	Azot oksit
NO ₂ :	Azot dioksit
NO _x :	Azot oksitler
NO _x :	Nitrojen oksitlerin
OECD :	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PAO :	Polialfaolefin
PVC :	Polivinil klorür
PVDC :	Poliviniliden klorür
SOF :	Çözünür organik fraksiyon
SO ₂ :	Sülfür dioksit
SO ₂ :	Sülfür emisyonları
VOC'ler :	Uçucu organik bileşikler
WHO :	Dünya Sağlık Örgütü
WEO100 :	%100 saflıktaki yakıt
WEO75 :	%75 saflıktaki yak

1. GİRİŞ

İklim değışikliği, insanların neden olduğu küresel bir çevresel tehdit olarak kabul edilmektedir. Dünyanın karşı karşıya kaldığı ve yaşamı olumsuz yönde etkileyen sonuçlara yol açan ikinci en ciddi sorun olarak görülmektedir (Avrupa Komisyonu, 2011). Bu etkilerin başlıcaları, endüstri devriminden öncesi seviyelerin üzerinde ortalama 0.8°C küresel ısınma, 1950’lerden bu yana okyanusun ısınması ve asitlenmesi, on yılda 3.2 cm deniz seviyesi, son on yılda olağanüstü sayıda aşırı ısı dalgası ve gıda mahsulü yetiştirme alanlarını etkileyen kuraklıktır (Levitus ve ark., 2012; Meyssignac ve Cazenave, 2012). Ülkelerin küresel ısınmayı azaltmak için taahhütlerini tam olarak uygulamadıkça, iklim değışikliğinin olumsuz etkileri devam edecektir. 2060’lı yılların başında 4°C’lik bir ısınmanın ve 0,5–1 m’lik deniz seviyesindeki yükselmenin meydana gelmesi beklenmektedir (Huddleston, 2012).

Sera etkisi, dünya iklimini şekillendirmede büyük rol oynayan doğal bir süreçtir. İnsan faaliyetleri, özellikle yanan fosil yakıtlar, doğal sera etkisinin artmasına katkıda bulunmuştur. Bu gelişmiş sera etkisi, sera gazları adı verilen atmosferik konsantrasyonlardaki bir artıştan kaynaklanmaktadır (Saxena, 2009). Atmosferdeki sera gazları iklim değışikliğine yol açmaktadır. İnsan faaliyetleri yoluyla atmosfere yayılan büyük sera gazları, karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu (hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar ve sülfür heksaflüorür)gazlardır (Venkataraman ve ark., 2012) .

Karbondioksit (CO₂) sera gazları arasında en büyük orana sahiptir ve küresel ısınmanın ana nedenidir. Küresel karbondioksit emisyonu 2011 yılında% 3 artışla 34 milyar tona ulaşmıştır (Olivier ve ark., 2012). Dünya genelinde CO₂ emisyonları şu anda yılda yaklaşık 35.000 milyon metrik tondur. Acil politikalar yürürlüğe girmedikçe, 2030’larda CO₂ emisyonlarının yılda 41.000 milyon mt artacağı öngörülmektedir. İklim sistemlerindeki ısınmaya ek olarak, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun yükselmesi, çözümler sonucunda okyanus asitleşmesine yol açmaktadır (Potsdam İklim Etki Araştırma ve İklim Enstitüsü, 2012).

Hükümetler Arası İklim Değışikliği Paneli (IPCC), Sentez Raporunda, “Ek iklim politikalarının yokluğunda, insan kaynaklarından gelen temel küresel sera gazı emisyonlarının artması 2000 ile 2030 yılı arasında % 25 ile % 90 arasında değışecektir (IPCC, 2007). Dördüncü Değerlendirme Raporunda IPCC, 1.1 ile 6.4°C arasında yükselen

bir küresel sıcaklık ve 2100 yılına kadar 0,178 ile 0,584metre arasında küresel deniz yükseliştahmini öngörmüştür. IPCC'ye göre, küresel ısınmayı 2-2,4 ° C ile sınırlamak için 2050 yılına kadar sera gazı emisyonları 2000 yılı seviyelerinin altında %50-85'e düşürülmelidir. Bu hedefe ulaşabilmek için, tüm sektörlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, çok kuşaklı bir çaba ile azaltılmalıdır (IPCC, 2007).

Ulaşım, çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olan ana sektördür. Taşımacılıktan ve özellikle motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, atmosferdeki sera gazı seviyelerine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (OECD, 2002). Ulaşım, % 22'lik küresel CO₂ emisyonu üretimiyle en büyük ikinci sektördür (Uluslararası Enerji Ajansı, 2012). Motorlu taşıtların hızla artması ve emisyon kontrol teknolojilerinin çok sınırlı kullanımı nedeniyle ulaşım, gelişmekte olan dünyanın birçok şehrinde önemli bir halk sağlığı sorunu olan en büyük kentsel hava kirliliği kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki hava kirliliği on binlerce ölüme ve milyarlarca dolar tıbbi maliyete neden olmaktadır (Faiz ve ark., 1996). Dünya Sağlık Örgütü, hava kirliliği nedeniyle her yıl yaklaşık 2,4 milyon kişinin öldüğünü tahmin etmiştir (WHO, 2007).

Günümüz dünyasında çevre koruma, iklim değişikliği ve hava kirliliği bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Dünya çapında birçok ajans, kuruluş (EPA, OECD, IPCC, IEA, AÇA, vb.) kurulmuştur.Bu kuruluşlar hava kirliliğini ve kirletici emisyonların neden olduğu iklim değişikliğini önlemek için çalışmaktadır. Çalışmalarında, kirletici emisyonlarının yaklaşık % 20-30'unun ulaşımdan kaynaklandığını ve bu emisyonların küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Bu kirletici emisyonların etkilerini önlemek için, çeşitli yasal düzenlemeler yapma, teknolojik gelişmeleri geliştirme, çeşitli model yapıları oluşturma, kontrol sistemleri geliştirme ve trafik yapısını düzenleme gibi konular üzerinde durmuşlardır (OECD, 2011; IPCC, 2007; OECD, 2002).

Sürekli artan enerji talebi, azalan fosil yakıt yatakları, ulusal güvenlik ve küresel ısınma ve daha yüksek hava kirliliği seviyeleri gibi çevresel konular yenilenebilir yakıtlara geçişi gerektirmektedir. Mühendis olarak fosil yakıtlar için daha temiz, daha güvenli, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir alternatif geliştirmek gerekmektedir. Termokimyasal işlemler kullanılarak bu tür yakıtların üretilmesi için atık şanzıman yağının dönüştürülmesi önerilmiştir (Roy ve Dias, 2017).

Çeşitli yakıtlar üretmek için termokimyasal dönüşüm, torrefaksiyon, piroliz ve gazlaştırma gibi çeşitli yollar kullanılarak elde edilebilir (Bridgwater, 2006). Hızlı piroliz, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir dizel yakıt ile sonuçlandığından önemli bir yoldur. Bu dizel yakıtlar, kullanılan dizel motor, benzinli motor, diferansiyel ve şanzıman, transmisyon, gres ile öteki özel taşıt yağları, türbin, hidrolik sistem ve kompresör, açık-kapalı dişli, kızak, sirkülasyon, metal işleme, kesme, çekme, ısı işlem, tekstil, izolasyon, ısı transfer ile koruyucu, trafo, izolasyon, buhar silindir, kalıp, pnömatik sistem koruyucu, ilaç endüstrisi ve gıda, kağıt makinesi, yatakla öteki özel endüstriyel yağlar ile endüstriyel gresler, koruyucu, kullanılmış kalınlaştırıcı, temizleyici ile benzer özel müstahzarlar ve de kullanıma uygun bulunmayan yağ ürünleri vs. gibi yakıtlardan üretilebilmektedir (Sipra ve ark., 2018). Türkiye'deki madeni yağ tüketimi miktarı ATAK, BP, AKPET- LUKOIL, MOIL, POAŞ, SHELL, TOTAL ve OPET, Türkiye Pazarlama firmalarının gönüllülük esasıyla katılmalarıyla elde edilen bilgiler, TÜİK'in yayınlarıyla Dış Ticaret İstatistikleriyle Çevre ile Şehircilik Bakanlığı'na sunulmakta olan veriler üzerinden tahmini şekilde hesaplanmaktadır. 2017'de 477.635 ton miktarında gerçekleşmiş olan Türkiye'deki madeni yağ tüketimi miktarı 2018'de % 14,04 oranında azalarak 410.579 ton olmuştur (PetDer, 2018). Yakıt üretim sürecine uygun hammadde bolluğu, termokimyasal dönüşümlerini teşvik etmektedir.

Yukarıdaki potansiyel hammadde yakıt türlerinden şanzıman atık yağı incelemek için seçilmiştir. Bu tez çalışmasında atık şanzıman yağından piroliz yöntemiyle dizel yakıt üretimi yapılarak motor deneyleri yapılmıştır. Üretilen atık şanzıman yağı dizel benzeri yakıtta %80 dizel ve %20 atık şanzıman yağı ile karışım halinde bir dizel motorunda test edilmiştir. Üretilen dizel benzeri yakıtın ve saf dizel yakıtın bir dizel jeneratör motorunda kullanımıyla motor testleri yapılmış ve gerekli araştırmalar yapılmıştır. Üretilen karışım yakıtın ve saf dizel yakıtın bir dizel jeneratör motorunda kullanımıyla motor testleri yapılmış ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Motor testi olarak 6 farklı yanma test parametresi kullanılmıştır. Bunlar; basınç artış hızı, kümülatif ısı salınım hızı, kütleli yanma oranı, net ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı, silindir gaz basıncıdır. Motor testlerinden sonra emisyon testleri yapılmıştır. Emisyon testleri kapsamında; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar (HC), azot oksitleri (NO_x) ve oksijen (O₂) emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimleri incelenmiştir. Son olarak yakıtların performans parametreleri belirlenmesi için üç farklı parametre için test yapılmıştır. Bu testler, yakıt tüketim, özgül yakıt tüketim ve efektif verim ölçümü ve hesaplanması olarak

sıralanmaktadır. Yapılan test sonuçlarında üretilen atık şanzıman yağı katkılı karışım yakıtın amacına uygun şekilde dizel yakıtın yerine kullanılabileceği söylenebilir.

1.1. DİZEL YAKITLAR

Bu çalışmanın temelini oluşturan dizel yakıtları daha iyi anlamak çalışmayı anlamaya katkı sağlayacaktır. Dizel yakıtların özellikleri hakkında bilginin bilime dayandırılması gerekmektedir. Bu literatür incelemesi, daha önce aşağıdaki konularda denenmiş kapsamlı araştırmaların bazılarını kapsayacaktır. Bunlar; dizel yakıtı özellikleri, dizel motorlarda yanma ve dizel motorlardan kaynaklanan egzoz kirleticileridir.

1.1.1. Dizel Yakıtın Özellikleri

Dizel yakıt No. 1 esas olarak bileşimi ve özellikleri jet yakıtı ve yakıt yağları üzerindeki monograflarda tartışılan kerosene eşdeğerdir. Normal ve dallı zincirli alkanlar (parafinler), sikloalkanlar (naftenler), aromatikler ve karışık aromatik sikloalkanlar içerir. Normal alkanlar genellikle baskındır ve nispeten yüksek setan sayısına sahip temiz yanan bir dizel yakıt elde edilmesini sağlamaktadır. Setan (n-hekzadekan) dizel motorlarda mükemmel performans sağlar ve setan sayı ölçeğinde keyfi olarak 100 değeri atanmıştır. a-metilnaftalin düşük dizel motor performansı verir ve sıfır değeri atanmıştır (Lane, 1980).

1 numaralı dizel yakıtın kaynama aralığı, büyük ölçüde benzen ve polisiklik aromatik hidrokarbonların varlığını hariç tutar. Çalışma Grubu için konsantrasyonlar hakkında doğrudan veri bulunmamakla birlikte, dizel yakıt No. 1'e yaklaşık olarak eşdeğer olan kerosen normalde % 0.02'den daha az benzen (CONCA WE, 1985; IARC, 1982, 1987) ve çok düşük seviyelerde üç yedi halkalı polisiklik aromatik hidrokarbonlara (Dukek, 1978).

Kimyasal bileşimin benzerliğinden dolayı, genellikle 2 numaralı dizel yakıt Avrupa otomotiv dizel yakıtları için de geçerlidir. Normal ve dallı zincirli alkanlar (parafinler), sikloalkanlar (naftenler), aromatikler ve karışık aromatik sikloalkanlar içerir. Karışım akışlarının biri veya daha fazlası olarak çatlamış stoklar içermesi muhtemel olduğundan, olefinler ve stirenler gibi karışık aromatik olefin türleri de içerir.

2 numaralı dizel yakıt, ağırlıklı olarak atmosferik damıtma akımlarından oluştuğunda, muhtemelen üç ila yedi üyeli, yoğunlaştırılmış halka aromatik

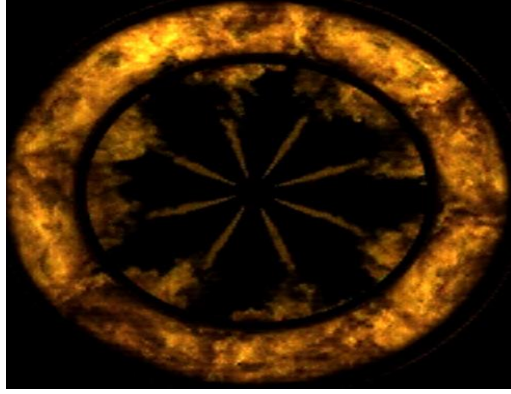
hidrokarbonların % 5'inden azını içerir (Petrol Enstitüsü'nün dimetil sülfoksit ekstraksiyon yöntemi ile ölçülür). Yüksek oranda ağır atmosferik, vakum ve hafif çatlak damıtlıkları içeren yakıtlarda, seviye % 10'a kadar çıkabilir (CONCA WE, 1985). Sorne deniz dizel yakıtları % 10'dan fazla polisiklik aromatik hidrokarbon içerebilir (CONCA WE, 1985). Dizel yakıtlar ayrıca n-heksan (% 0,1'in altında), benzen (% 0,02'nin altında), toluen, ksilenler ve etil benzen (% 0,25-0,5) gibi az miktarda bileşen içerebilir.

Rafineriler normalde kolay çalıştırma ve sorunsuz motor performansı sağlamak için karışım stoklarını seçer. Bu akışlarda kükürt, azot ve oksijen bileşikleri safsızlıklar olarak bulunur. Ancak bunların varlığı hidro-işlem ve diğer işlemlerle sınırlandırılabilir. 2 numaralı dizel yakıt ve özellikle Avrupa otomotiv dizel yakıtları normalde az miktarda olefin içerdiğinden, ürünün depolamadaki stabilitesi endişe vericidir. Uzun süreli depolama sırasında oluşan yakıt bozunma ürünleri, kirlenmeye yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar ve yağda çözünür metal bileşikleri (özellikle bakır içerenler) bozulmayı hızlandırabilir. Suyun varlığında depolanması, çamurla sonuçlanabilecek bakteri üremesini destekler. Rafineriler genellikle kalitesini artırabilir ve koruyabilmesine rağmen dizel yakıtta katkı maddesi kullanmamayı tercih ederler.

Ürünün tutuşma kalitesini artırmak için organik nitratlar gibi setan geliştiriciler ilave edilebilir. Ürünün bozulmasını önlemek için oksidasyon inhibitörleri eklenir; korozyon inhibitörleri ve metal deaktivatörler gerektiği gibi ilave edilebilir. Biyositler bazen depolamadaki bakteri üremesi bir sorun olabileceği zaman kullanılır ve özellikle depolama tesislerinde korozyonu en aza indirmek için pas önleyiciler eklenebilir.

1.1.2.Dizel Motorlarda Yanma

Bir dizel motorda gaz şarjı yakıt enjeksiyonundan önce sıkıştırılır. Sıkıştırma ile elde edilen basınç ve sıcaklık, yakıt enjekte edildiğinde, genellikle Turbo Diesel Common (TDC)'ye yakın olarak otomatik ateşleme yapmaktadır. Ateşleme gerçekleşmeden önce belirli bir gecikme olduğu için bir miktar yakıt veya hava ön karışımı devam etmektedir. Önceden karıştırılmış karışım yanmadan sonra yakıt difüzyon alevlerinde yanar. Şekil 1.1'de yüksek yükte bir yanma durumunda tamamen geliştirilmiş dizel difüzyon alevlerini göstermektedir.



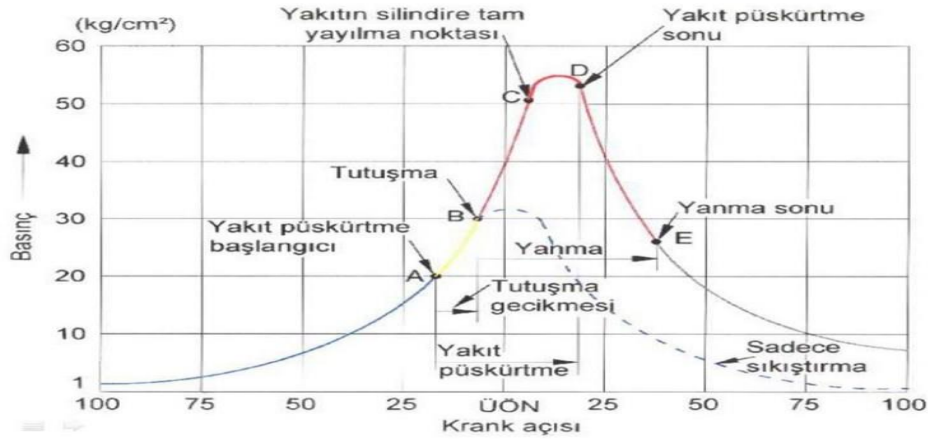
Şekil 1.1. Dizel motorun yanmasının görüntülenmesi

Dizel motor haline gelen şeyin orijinal vizyonu, bir hava yükünün 250 atmosfere sıkıştırılması gerektiği idi. Yakıt daha sonra genleşme stroku sırasında temelde tüm ısının hacimdeki artışla emileceği bir oranda sokulacaktır. Bu nedenle duvarlara ısı transferinin önemsiz olması bekleniyordu. Soğutmaya gerek kalmayacaktı ve çok yüksek bir verimlilik bekleniyordu. Teorik motor çevrimleri sıkça pratikte uygulanan birçok faktör, beklenen performansı oldukça ciddi şekilde bozmuştur (Cummins, 1989; Sass, 1962). Rudolf Diesel, çok iddialı araştırma ve geliştirme çabalarını takiben, pratik olarak ilk kullanışlı motorunu 1893'te inşa ettiğinde, o sırada mevcut olan ortalama ısı motorunun verimliliğinin iki katından daha fazla bir verime sahiptir (Glikin, 1985).

Rudolf Diesel, sıvıya doğrudan kuvvet uygulayarak ve ilk motorundaki bir enjektörle, yani sonraki dizel motorlarda kullanılan yöntemle püskürterek yakıt enjeksiyonu ile deneyler yapmıştır. O sırada mevcut olan donanımda bunun zor olduğu ortaya çıkmış ve ilk dizel motorlar, yakma odasına, yani hava püskürtme enjeksiyon yöntemi olarak yakıt enjekte etmek için basınçlı havaya güvenmek zorunda kalmıştır. Hava basıncı, krank mili tarafından beslenen bir pistonlu kompresör tarafından sağlanmıştır. Bu yöntem için gerekli olan donanım hantal ve pahalıdır. Havanın sıkıştırılabilirliği ve akış kayıpları nedeniyle, bu yaklaşımın enerji verimliliği, bazen katı enjeksiyon olarak adlandırılan doğrudan etkili sistemlerden daha düşüktür. Ancak hava üflemleri enjeksiyon yöntemi 1930'lara kadar büyük motorlarda kullanılmıştır (Lindström, 2011).

Geçen yüzyılın başında, katı enjeksiyon kullanılan sistemler ticari olarak kullanılmak üzere yeterince geliştirildi. İlk sistemler pislik pompaları idi. Bu pompalar, helisel kesimli bir manşonun içinde çalışan kamla çalışan bir pompa pistonuna sahiptir. Manşon döndürülerek, pompalama hareketinin etkili uzunluğu değiştirilebilir. Enjekte

edilen yakıt kütlesini ayarlamak için bu sistem, 1990'lı yıllarda elektrikle kontrol edilen birim enjektörlerin gelmesine kadar ağır araç dizel motorları için ana enjeksiyon ekipmanı olan daha sonraki sıralı pompalarda kullanıldı. Daha küçük motorlar için yaygın olarak dağıtıcı pompalar kullanılmıştır (Tonini ve ark., 2006).



Şekil 1.2. Dizel Motorlarda Yanma aşamaları (Charlton, 2007)

Geliştirilmiş kontrol kabiliyetlerine yönelik talepler arttıkça ve enjeksiyon zamanlamasının ayarlanmasına izin veren mekanizmalar tanıtıldığında sıralı pompalar gittikçe daha gelişmiş hale gelmiştir. Turbo şarjlı motorların şarj basıncı birikmesini beklemelerini sağlamak için enjekte edilen kütleyi artıran duman sınırlayıcılar kullanılabilir hale gelmiştir. Daha sonra yakıt enjeksiyon sistemlerindeki gelişmeler enjeksiyon basıncını arttırmaya ve kontrol kapasitesini geliştirmeye yönelik olmuştur. Daha yeni gelişmeler arasında elektronik kontrollü birim enjektör ve TDCI sistemleri bulunmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilmesi dizel motor performansının gelişiminin önemli bir parçası olmuştur. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin performansı bu nedenle yanma sisteminin diğer yönlerinin gelişimi ve kullanılan stratejiler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

1.1.2.1. Tutuşma gecikmesi

Yanma odasındaki, yakıt enjeksiyonunun başlaması ile yanmanın başlaması arasındaki süre, ateşleme gecikme süresi olarak adlandırılır.

Yanmanın başlaması, p diyagramındaki eğimdeki değişiklikten veya $p(\alpha)$ verilerinin ısı salım analizinden veya deneysel koşullarda parlaklık detektöründen belirlenir. Enjeksiyon başlangıcı, enjektör iğnesinin yuvasından kalktığı zamanı kaydetmek

için bir iğne kaldırma göstergesi ile belirlenebilir. Yanmanın başlangıcını kesin olarak belirlemek daha zordur. En iyisi, silindir basınç verilerinden belirlenen ısı salınım oranının eğimindeki değişiklikten tanımlanır (Charlton, 2007).

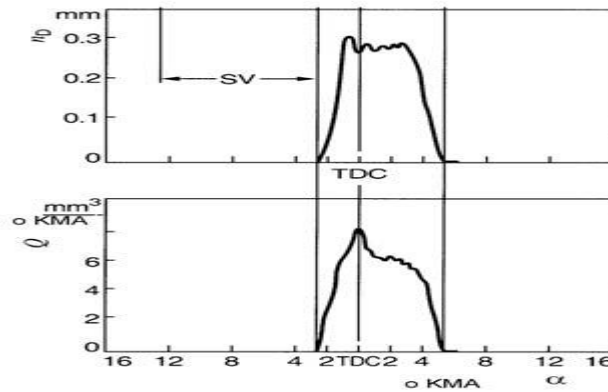
Direk Enjeksiyon (DI) motorlarında ateşleme iyi tanımlanmıştır, İndirek Enjeksiyon (IDI) motorlarında ateşleme noktasının belirlenmesi daha zordur.

Enjekte edilen sıvı yakıtın kimyasal enerjisinin önemli bir kısmı açığa çıkmadan önce hem fiziksel hem de kimyasal süreçler gerçekleştirilmelidir. Fiziksel süreçler; sıvı yakıt jetinin atomizasyonu, yakıt damlacıklarının buharlaştırılması, yakıt buharının hava ile karıştırılmasıdır. Kimyasal işlemler yakıt, hava ve artık gaz karışımının kendiliğinden tutuşmaya yol açan ön reaksiyonlarıdır. Kimyasal gecikme ateşleme gecikme süresi boyunca daha etkilidir (Pickett ve Siebers, 2004a).

Ateşleme gecikme süresi

- 0,6 ila 3 ms düşük sıkıştırma oranı DI dizel motorlar için,
- 0,4 ile 1 ms yüksek sıkıştırma oranı turboşarjlı DI dizel motorlar için,
- 0,6 ila 1,5 ms IDI dizel motorlar için

çok çeşitli çalışma koşullarında gerçekleşebilir.



Şekil 1.3. Dizel yanma aşamaları(Pickett ve Siebers, 2006)

1.1.2.2. Ani yanma (kontROLSÜZ yanma) safhası

Ateşleme gecikme süresi boyunca yanıcılık sınırları içinde hava ile karışan yakıtın yanması, birkaç krank açısı derecesinde hızlı bir şekilde gerçekleşir - bu aşamada yüksek ısı salınım özellikleri bulunmaktadır.

Ateşleme gecikmesi sırasında yanma odasında toplanan yakıt miktarı çok fazlaysa - yüksek ısı tahliye oranı, dizel vuruşuna neden olan hızlı bir basınç artışıyla sonuçlanır (Pickett ve Siebers, 2004b).

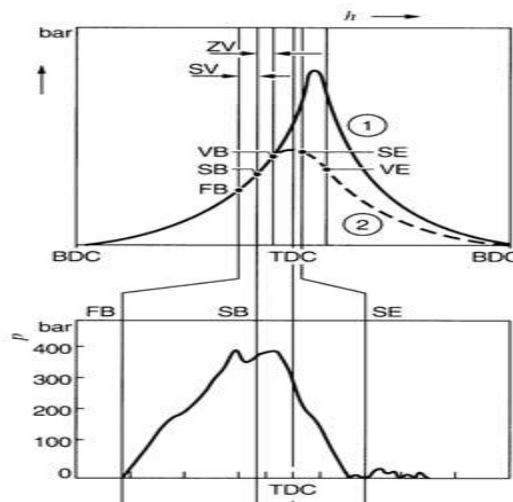
Düşük setan sayısı olan yakıtlar için, uzun ateşleme gecikmesi olan ateşleme, genleşme strokunun sonunda gerçekleşir - eksik yanma, düşük güç çıkışı, zayıf yakıt dönüşüm verimliliği oluşur (Pickett ve Siebers, 2006).

Basınç eğimi $0,4 - 0,5 \text{ MPa /}^\circ\text{CA}$ aralığındaysa, motor çalışması düzgün değildir ve dizel vuruşu başlamaktadır. Düzgün çalışma için bu değer $0,2$ ila $0,3 \text{ MPa /}^\circ\text{CA}$ arasında olmalıdır (izin verilen maksimum değer $1,0 \text{ MPa /}^\circ\text{CA}$ 'dır).

1.1.2.3. Kontrollü yanma

Ateşleme gecikmesi sırasında önceden karıştırılan yakıt ve hava tüketildikten sonra, yanma oranı (ısı salınım oranı), karışımın yanmaya hazır hale gelme hızı ile kontrol edilir. Bu aşamadaki yanma oranı esas olarak yakıt buharı ve havanın karıştırma işlemi ile kontrol edilir. Sıvı yakıt atomizasyonu, buharlaşma, preflame kimyasal reaksiyonlar da ısı salınım hızını etkiler.

Isı yayılma oranı bazen ikinci bir zirveye ulaşır (büyüklükte daha düşüktür) ve daha sonra faz ilerledikçe azalır. Genellikle düşük partikül (kurum) emisyonları ve yüksek performans (ve verimlilik) için yanma işleminin TDC yakınında olması arzu edilir.



Şekil 1.4. Dizel yanma aşamaları (Bosch 2005)

1.1.2.4. Art yanma

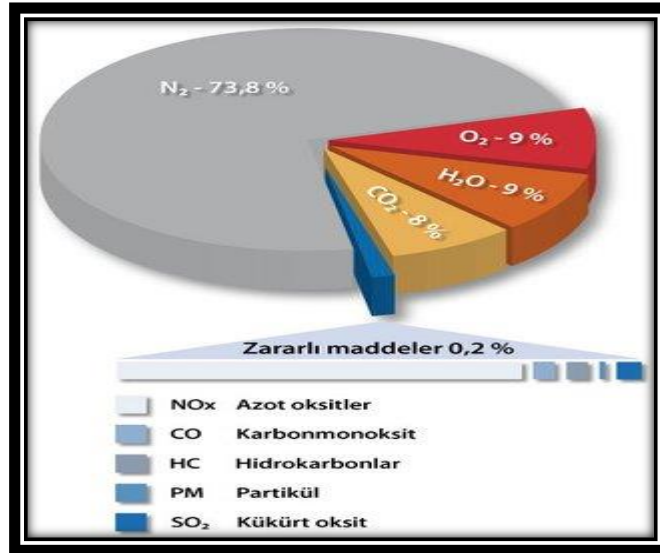
Isı yayılma oranı genleşme strokuna daha düşük bir oranda devam eder. Bunun birkaç nedeni vardır. Bunlar; yakıtın küçük bir kısmı henüz yanmamış olabilir, enerjinin bir kısmı kurum ve yakıt açısından zengin yanma ürünlerinde bulunur ve serbest bırakılabilir.

Silindir yükü düzgün değildir ve bu aşamada karıştırma daha tam yanmayı ve daha az ayrışan ürün gazlarını teşvik eder. Kinetik daha yavaştır.

1.2. Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri

Dizel motor, motor içerisindeki hava ile yakıtın karışmış olduğu otomatik ateşlemeli bir motordur. Yanma adına gerekli olan hava, yanma odası içerisindeki yüksek miktarda sıkıştırılmaktadır. Bu durum, dizel yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesinde kendi kendisine tutuşması adına yeterli miktarda yüksek sıcaklıklar üretmektedir. Bu şekilde dizel motor, dizel yakıtta bulunmakta olan kimyasal enerjiyi özgür bırakmak ve de onu mekanik bir kuvvete dönüştürmek adına ısı kullanmaktadır (Bosch 2005).

Karbon ve hidrojen, çoğu fosil yakıt gibi dizel yakıtın kökenini oluşturur. İdeal termodinamik denge için, dizel yakıtın tam yanması sadece motorun yanma odalarında CO_2 ve H_2O üretecektir (Prasad ve Bella 2010). Bununla birlikte, birçok neden (hava-yakıt oranı, ateşleme zamanlaması, yanma odasındaki türbülans, yanma formu, hava-yakıt konsantrasyonu, yanma sıcaklığı, vb.) bunu söz konusu yapmaktan çıkarır ve yanma sırasında bir dizi zararlı ürün üretilir. En önemli zararlı ürünler CO, HC, NO_x ve Partikül Madde (PM)'dir.



Şekil 1.5. Dizel egzoz gazı bileşimleri(Khair ve Majewski 2006)

Şekil 1.5, dizel egzoz gazının yaklaşık bileşimini göstermektedir (Khair ve Majewski 2006). Kirlетici emisyonları, dizel egzoz gazında % 1'den daha düşük bir orana sahiptir. NO_x, %50'den fazla bir oranda en yüksek dizel kirlетici emisyon oranına sahiptir. NO_x emisyonlarından sonra PM, kirlетici emisyonlarında ikinci en yüksek orana sahiptir. Çünkü dizel motorlar yalın yanmalı motorlardır ve CO ve HC konsantrasyonu minimumdur. Ayrıca, kirlетici emisyonları yakıtın özelliklerine ve kalitesine bağlı olarak bir SO₂ modumumunu içerir. Dizel yakıtta bulunan sülfatlar tarafından üretilir. Şimdilik, SO₂'yi ortadan kaldırmak için katalitik konvertör gibi herhangi bir son işlem sistemi yoktur. Günümüzde, petrol distribütörlerinin ve müşterilerin çoğu SO₂'nin zararlı etkisini önlemek için dizel motorlar için ultra düşük kükürtlü dizel (ULSD) tercih etmektedir (Reşitoğlu ve ark., 2015).

Bu bölümde dizel motordan kaynaklanan dört ana kirlетici emisyonu (CO, HC, PM ve NO_x) açıklanmaktadır. Her bir emisyon türü ayrı ayrı incelenmekte ve her bir emisyonun çevre ve sağlık sorunları üzerindeki etkileri de ortaya çıkmaktadır.

1.2.1. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit, oksidasyon işleminin tamamen gerçekleşmediği eksik yanmadan kaynaklanır. Bu konsantrasyon büyük ölçüde hava veya yakıt karışımına bağlıdır ve aşırı hava faktörünün (λ) zengin karışım olarak sınıflandırılan 1,0'dan düşük olduğu yerlerde en yüksektir (Wu ve ark. 2004). Özellikle zengin karışımların gerekli olduğu motorun başlatılması ve ani hızlanması sırasında ortaya çıkabilir. Zengin karışımlarda, hava

eksikliği ve reaktan konsantrasyonu nedeniyle, tüm karbon CO₂'ye dönüşmemekte ve CO konsantrasyonu oluşturmamaktadır. Zengin karışımlarda operasyon sırasında CO üretilmesine rağmen, kimyasal kinetik etkiler nedeniyle az miktarda CO'da zayıf koşullar altında yayılır (Faiz ve ark. 1996).

Dizel motorlar, sürekli olarak yüksek hava-yakıt oranına ($\lambda > 1$) sahip yalın yanmalı motorlardır. Dolayısıyla dizel motorlarda CO oluşumu minimaldir. Bununla birlikte, bir dizel motordaki damlacıklar çok büyükse veya yanma odasında yetersiz türbülans veya girdap olursa CO üretilir (Demers ve Walters 1999).

Karbon monoksit kokusuz ve renksiz bir gazdır. İnsanlarda, havadaki CO akciğerler tarafından solunur ve kan dolaşımına iletilir. Hemoglobine bağlanır ve oksijen aktarma kapasitesini engeller. Havadaki CO konsantrasyonuna bağlı olarak, boğulmaya yol açtığı için, bu durum farklı organların işlevini etkileyerek konsantrasyon, yavaş refleksler ve karışıklığa neden olabilir (Kampa ve Castanas 2008; Walsh 2011).

1.2.2. Azot oksit (NO_x)

Dizel motorlar yakıtı ateşlemek için yüksek basınçlı sıcak hava kullanır. Esas olarak oksijen ve azottan oluşan hava başlangıçta yanma odasına çekilir. Daha sonra sıkıştırılır ve yakıt, yanma odasındaki sıkıştırma strokunun üst kısmına doğrudan bu basınçlı havaya enjekte edilir. Yakıt yanar ve ısı açığa çıkar. Normalde bu işlemde, havadaki azot yanma odasındaki oksijenle reaksiyona girmemekte ve motordan aynı şekilde yayılır. Bununla birlikte, silindirlerde 1600°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar azotun oksijenle reaksiyona girmesine ve NO_x emisyonları üretmesine neden olur. Bu nedenle, NO_x oluşumunun ana etkilerinin yanmadaki oksijen sıcaklığı ve konsantrasyonu olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Üretilen NO_x miktarı, silindirdeki maksimum sıcaklığın, oksijen konsantrasyonlarının ve kalma süresinin bir fonksiyonudur. Yayılan NO_x'in çoğu, piston hala inme üst kısmına yakın olduğunda yanma işleminin erken aşamalarında oluşur. Bu alev sıcaklığı en yüksek olduğu zamandır. Yanma sıcaklığının arttırılması, her 100°C artış için NO_x miktarını üç kat arttırır (Bosch 2005; Lee ve ark. 2013).

Azot oksitler, azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) olarak adlandırılır. NO, NO_x'un % 85-95'ini oluşturur. Atmosferik havada kademeli olarak NO₂'ye dönüştürülür. NO ve NO₂, NO_x olarak bir araya getirilirken, bu iki kirletici arasında bazı belirgin farklılıklar

vardır. NO renksiz ve kokusuz bir gazdır, NO₂ keskin kokulu kırmızımsı kahverengi bir gazdır (Chong ve ark. 2010; Hoekman ve Robbins 2012).

Karayolu taşımacılığı, NOx'un % 40-70'ine katkıda bulunan dünya çapındaki kentsel NOx emisyonlarının en önemli nedenidir. Çeşitli araç türleri arasında, NOx emisyonlarına en önemli katkıda bulunan dizel araçlardır. Benzinli motorlarla karşılaştırıldığında, sıkıştırma ateşlemeli motorlar oldukları için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar. Dizel motorlar, başta NO şeklinde olmak üzere mobil kaynaklardan kaynaklanan tüm NOx emisyonlarının yaklaşık % 85'inden sorumludur (Lee ve ark.2013; Wang ve ark.2012).

Araçlardan kaynaklanan azot oksit emisyonları büyük miktarda çevresel ve sağlık tehlikesinden sorumludur. NOx emisyonları, dünya çapında birçok büyük şehirde önemli sorunlar haline gelen asitleşmeye, ozon oluşumuna, besin zenginleşmesine ve duman oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Grewe ve ark.2012). Atmosferde NOx emisyonları, troposferik ozon (fotokimyasal dumanın birincil bileşeni) ve diğer toksik kirleticileri oluşturmak için diğer kirleticilerle kimyasal olarak reaksiyona girmektedir.

NO ve NO₂ toksik olarak kabul edilir; ancak NO₂, NO'dan beş kat daha fazla toksisiteye sahiptir ve aynı zamanda insan akciğer hastalığının doğrudan bir endişesidir. Azot dioksit akciğerleri tahriş edebilir ve solunum yolu enfeksiyonuna (grip gibi) karşı daha düşük direnç gösterebilir. NOx emisyonları, hem karasal hem de su ekosistemlerini etkileyebilecek asit yağmuru için önemli öncülerdir. Azot dioksit ve havadaki nitrat da görünürlüğü bozan kirletici bulanıklığa katkıda bulunur (Kagawa 2002; Hoeft ve ark.2012).

1.2.3. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbon emisyonları, silindir duvarının yakınında meydana gelen yetersiz sıcaklık nedeniyle yanmamış yakıtlardan oluşur. Bu noktada, hava-yakıt karışım sıcaklığı silindirin merkezinden önemli ölçüde daha düşüktür (Demers ve Walters 1999; Correa ve Arbilla 2008). Hidrokarbonlar alkanlar, alkenler ve aromatikler gibi binlerce türden oluşur. Normal olarak eşdeğer CH₄ içeriği cinsinden ifade edilirler (Hiroyuki ve ark. 2011).

Dizel motorlar normal olarak düşük seviyelerde hidrokarbon yaymaktadır. Dizel hidrokarbon emisyonları esas olarak hafif yüklerde meydana gelmektedir. Hafif yük hidrokarbon emisyonlarının ana kaynağı zayıf hava-yakıt karışımıdır. Yağsız karışımlarda

alev hızları, güç darbesi sırasında yanmanın tamamlanması için çok düşük olabilir veya yanma meydana gelmeyebilir ve bu koşullar yüksek hidrokarbon emisyonlarına neden olmaktadır (Zheng ve ark. 2008).

Dizel motorlarda yakıt tipi, motor ayarı ve tasarımı hidrokarbonların içeriğini etkiler. Ayrıca, egzoz gazındaki HC emisyonları düzensiz çalışma koşullarına bağlıdır. Motor devri, düzensiz enjeksiyon, aşırı meme boşluğu hacimleri ve enjektör iğnesi sıçramasında yüksek seviyelerde ani değişiklik, egzoz içine önemli miktarlarda yanmamış yakıtın geçmesine neden olabilir (Payri ve ark. 2009).

Sıcaklık 600°C'nin üzerindeyse ve oksijen mevcutsa yanmamış hidrokarbonlar egzozda reaksiyona girmeye devam eder, bu nedenle egzoz borusundan gelen hidrokarbon emisyonları silindiri terk eden hidrokarbonlardan önemli ölçüde daha düşük olabilir (Faiz ve ark. 1996).

Hidrokarbon emisyonları sadece araç egzozunda değil, aynı zamanda motor karterinde, yakıt sisteminde ve yakıt dağıtımı ve dağıtımı sırasında buharların atmosferik havalandırmasından kaynaklanır (Faiz ve ark., 1996). Karter hidrokarbon emisyonları ve hidrokarbon emisyonlarının buharlaşma kayıpları sırasıyla % 20-35 ve % 15-25, egzoz borusu hidrokarbon emisyonları toplam hidrokarbon emisyonlarının % 50-60'ına sahiptir (Dhariwal 1997).

Hidrokarbonların çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri vardır. Diğer kirletici emisyonları ile, yer seviyesindeki ozon oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Araçlar, ozon oluşturan emisyonların yaklaşık % 50'sinden sorumludur. Hidrokarbonlar solunum yolu tahrişi potansiyeli ile toksiktir ve kansere neden olur (Diaz-Sanchez 1997; Krzyzanowski ve ark., 2005).

1.2.4. İs

Egzoz gazındaki partikül madde emisyonları yanma işleminden kaynaklanır. Bunlar, kısmen yanmış yakıt, kısmen yanmış madeni yağ, akaryakıtın kül içeriği ve silindir madeni yağ veya sülfatlar ve sudan oluşan çok küçük parçacıkların birikmesinden kaynaklanabilir (Demers ve Walters 1999; Maricq 2007). Çoğu partikül madde yakıt ve madeni yağdaki hidrokarbonların eksik yanmasından kaynaklanır. Deneysel bir çalışmada, ağır hizmet dizel motorunun tipik parçacık bileşimi % 41 karbon, % 7 yanmamış yakıt, % 25 yanmamış yağ, % 14 sülfat ve su, % 13 kül ve diğer bileşenler olarak sınıflandırılmıştır

(Kittelson 1998). Başka bir çalışmada, PM'nin elementel karbon ($\cong$ % 31), sülfatlar ve nem ($\cong$ % 14), yanmamış yakıt ($\cong$ % 7), yanmamış yağlama yağı ($\cong$ % 40) ve kalan metaller ve diğer maddeler (Agarwal 2007).

Dizel partikül maddeleri tipik olarak yaklaşık 15-40 nm çapında kürelerdir ve PM'nin yaklaşık % 90'ından fazlası çapı 1 μ m'den küçüktür. PM emisyonlarının oluşum süreci, yanma ve genleşme süreci, yakıt kalitesi (kükürt ve kül içeriği), yağlama yağı kalitesi ve tüketimi, yanma sıcaklığı, egzoz gazı soğutması gibi birçok faktöre bağlıdır (Burtscher 2005).

Dizel motorlardan gelen partikül madde emisyonları, benzinli motorlardan önemli ölçüde daha yüksektir (altı ila on kat). Dizel partikül emisyonları üç ana bileşene ayrılabilir. Bunlar; kurum, çözünür organik fraksiyon (SOF) ve inorganik fraksiyon (IF). Toplam PM emisyonlarının % 50'sinden fazlası siyah duman olarak görülen kurumdur. SOF, kurum üzerinde adsorbe edilen veya yoğunlaştırılan ağır hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Kısmen yağlama yağından, kısmen yanmamış yakıttan ve kısmen de yanma sırasında oluşan bileşiklerden elde edilir. Egzoz sıcaklıkları düşük olduğunda hafif motor yüklerinde SOF değerleri çok yüksektir (Sarvi ve ark., 2011; Tighe ve ark., 2012).

PM emisyonlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisini tespit etmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda, bu partiküllerin solunmasının erken ölüm, astım, akciğer kanseri ve diğer kardiyovasküler sorunlar gibi önemli sağlık sorunlarına neden olabileceği belgelenmiştir. Bu emisyonlar hava, su ve toprak kirliliğine katkıda bulunur; binaların kirlenmesi; görünürlükte azalma; tarım verimliliğini etkilemek; küresel iklim değişikliği (Englert 2004; OECD 2002; Michael ve Kleinman 2000).

1.3.Yağlar ve Atık Yağlar

Çevre ve insan sağlığına zarar vermeden geçici bir süre için taşınmasını depo edilmesinibertaraf edilmesini, atık olan yağların yönetimi konusunda gerekli idari-teknik standartların sağlanmasını, geçici olarak depolamayla geri kazanım tesislerinin kurulması ile bu tesislerin çevreyle uyumlu yönetimi adına buna göre politika, politikayla programların belirlenmesi adına hukuki ve deteknik kıstasların düzenlenmesine yardımcı olmaktadır.

Atık yağ, kullanılmış olan taşıt yağları (dizel motor, benzinli motor, şanzıman ve diferansiyel transmisyon, gres iki zamanlı motor antifiriz, hidrolik fren, ile diğer özel taşıt yağları); endüstriyel yağları, (türbin ile kompresör, sistem, açık-kapalı dişli, hidrolik kızak, metal çekme, sirkülasyon, metal kesme ile işleme, ısı transfer, tekstil, izolasyon ve koruyucu, pas ve korozyon, ısı işlem, izolasyon, trafo, kalıp, sistem koruyucu, pnömatik buhar silindir, genel amaçlı kağıt makinesi, yatak ve endüstriyel gresleri ve diğer özel endüstriyel yağları) özel müstahzarları (temizleyici, kalınlaştırıcı, koruyucu vb.) ile kontamine olan yağ ürünleridir.

Atık yağlar, Çevre ile Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan yönetmelikte üç kategori içinde sınıflandırılmıştır (Tehlikeli Atık Yönetmeliği, 2008).

1. Kategori Atık Yağ: Bu kategoride bulunan atık yağlardaki PCB, toplam halojen ile ağır metal vs. gibi kirleticiler sınır değerlerin altında bulunmaktadır. Bu kategoride bulunan atık yağların öncelikle rejenerasyon ile rafinasyon yoluyla geri kazanımlarının sağlanması gereklidir. Bu kategorideki yağlar, yönetmeliğin alakalı maddesinde bahsedilen hususlara bağlı olarak enerji geri kazanım niyetiyle kullanılabilir.

2. Kategori Atık Yağ: Bu kategoride bulunan atık yağlar, Bakanlıktan lisans almış olantesisler içinde enerji geri kazanımı hedefiyle kullanıma uygun olan atık yağlardır. Fakat klorür, toplam halojen (2000 ppm) ile PCB (50 ppm) parametrelerini geçmeyen endüstriyel atık yağların rejenerasyon ile rafinasyonla geri kazanımı için kullanılır.

3. Kategori Atık Yağ: Bu kategori içinde bulunan atık yağlardaki ağır metaller, sınır değerlerin üzerindedir. Klorürle toplam halojenler, 2000 ppm'in, PCB ise 50 ppm'in üzerinde seyretmektedir. Rejenerasyon ile rafinasyona uygun olmayan, yakıt şeklinde kullanılması insanla çevre sağlığı bakımından risk oluşturan ve lisanslı tehlikeli atık yakma tesisleri içinde yakılmasıyla zararsız hale getirilmesi lumumlu olan atık yağlardır. Bunlar, geri dönüşüm için kullanılmaz.

1.3.1. Atık Madeni Yağ (Şanzıman Yağı) Oluşumu Zararları ve Dikkat Edilecek Hususlar

Herhangi bir madeni yağ yahut herhangi sentetik yağ sanayisi içinde ya da sanayi dışı alanlarda özellikle de yağlama amacıyla belli bir süre kullanım sonucu kimyasal ilefiziksel şekilde kirlenir ve orijinallliğini kaybeder. Yağ, içinde bulunan katkı maddelerinin kırılması, normal kullanım anında kir, metal sürtünmeleri, su

yahutkimyasallar ile karışarak kirlenir ve rengi koyulaştığı için kullanılamaz hale gelir. Yağ zaman içinde uzun kullanım yüzünden iyi performans göstermez. Bu yüzden motorun daha iyi çalışabilmesi adına kullanılmış yağ, yeni yağ ile değiştirilir.

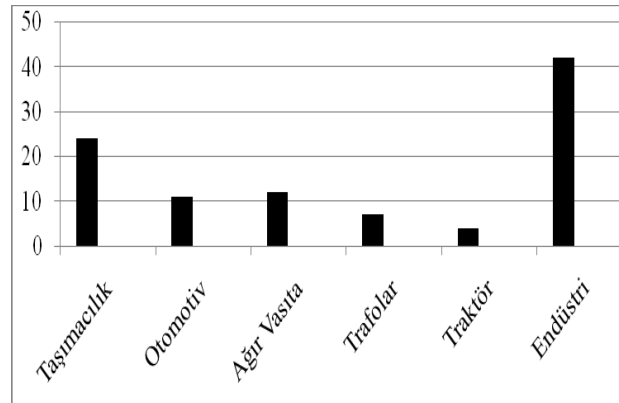
Teknik önlemler, alınmadığı surette uzun zaman boyunca atık madeni yağ ile haşır neşir olanlarda bu belirtiler ortaya çıkmıştır; ciltte kanser, nefes darlığı, egzamatik sorunlar, ciltte pigmentlerin bozukluğu (renk gitmesi), deride ve yağ bezlerinde çürükler, baş ağrısı, araç sürücülerinde sinir sisteminde titreme, yağ ile benzinle 5-35 yıl arası çalışan bireylerde akciğer ile bronşlarda dinlenmeyi engelleyici olumsuzluklar, ağır metaller yüzünden oluşan görme bozukluğu, kanserojen etki, unutkanlık, anemi, ayak tabanında siğiller, solunum yollarında tahriş ve gözde tahriş yapar (Aşır, 2009). Çalışma ortamı içinde yağ emisyonu limiti 5 mg/m³ geçmemelidir.

Atık yağların ekotoksik özelliği mevcuttur. Bulunmakta olduğu ortamı kirletir. Ortam içinde yaşayan tüm canlılara zarar verir. Bu sebeple toprakla suya atılmamalıdır. Soba veya küçük fırın vs. gibi yerlerde imha edilmesi yasaktır. Bunun sebebi atık yağ içinde bulunan ağır metal ile klor bileşimleri atık havayla beraber atmosfere salınarak havayı kirletmesi ve insan sağlığına zarar vermesidir. Bir litre yağ, 1000 ton suyu kullanılamaz, 5000 ton suyu içilemez durumagetirir. Bir litre kullanılmış olan motor yağıysa 800.000 ton içme suyunu kullanılamaz duruma getirir. Atık yağlarla ilgili uyarılar;

Almış olunan ürün, kullanım süresi dolduktan, atık yağ haline geldikten sonra insan ile çevre sağlığının korunması niyetiyle en yakınlarda bulunan atık yağ geçici süreyle depolama, geri kazanım yahut bertaraf tesisine götürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple atık yağ temiz, boş ve de ağız sıkıca kapatılabilir, dar ağızlı, sızdırmaz, yere dökülmesine sebep olmayacak bir kap içine olabiliyorsa kendi orijinal kabına konulmalıdır. Atık yağa muhakkak, deterjan, boya, çözücü, benzin, fuel oil antifriz ya da mazot vs. gibi başka bir sıvı karıştırılmamalıdır, muhakkak kanalizasyon sistemine, çöp konteynerine toprağa, suya, v.b. ortamına dökülmemelidir, soba ile kazanlarda yakılmamalıdır. Yağ filtresiyırtık olmayan, plastik ve yırtılma ile delinmeye dayanıklı olan polietilen plastik bir torbaya koyulmalıdır. Atık yağı ile yağ filtresi ulu orta herhangi bir yere bırakılmamalıdır, bu kaplar, çocuklardan uzak tutulmalıdır ve 24 saatte en yakın atık yağ geçici depolama, geri kazanım yahut nihai bertaraf tesisi içinde sorumlu operatöre ücretsiz şekilde verilmelidir. Çocuklardan uzak tutulmalıdır.

1.3.2. Atık Madeni Yağların (Şanzıman Yağının) Geri Kazanımı ile Bertarafı

Madeni yağlar, kullanım hedeflerine bağlı olarak farklı katkı maddeleriyle karıştırılarak piyasaya sunulmakta ve tüketilmektedir. Madeni yağların kullanılması sonucunda gerek bu katkı maddeleri yüzünden ve gerekse yağın fazla ısıda işlem görmesi sebebiyle meydana gelen safsızlıklar yüzünden geri kazanım işlemleri içinde bu safsızlıkların yok edilmesi gerekmektedir. Yağ katkı maddeleri genel anlamda Dispersing (homojenasyon), Antioksidant (yükseltgenme önleyici), Antiwear (aşınma önleyici), (köpük kesici), Extreme pressure (yüksek basınç) şeklinde süksinimidler, Antirust (pas önleyici), Detergents aminler, poliüre, fosfatlar, naftenatlar, sülfonatlar, şeklinde çeşitli kükürt, fosfonatlar, kurşun, çinko, sodiyum, silisyum vb. gibiorganometalik bileşiklerden meydana gelmektedir. Atık madeni yağlar, genel anlamıyla otomotivtekstil endüstrisi , tarım endüstrisi, makina sanayi ile enerji dağıtım ağından oluşmaktadır. Gelişmiş ülkelerdeki atık yağ kaynakları aşağıda grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 1.6. Atık yağın kaynaklara göre dağılımı (Abnisa ve Wan Daud, 2014)

1.4. Atık Dönüşüm Prosesleri

Günümüzde kullanılan yakıtlar ısıtma ve diğer enerji ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi çevre kirliliğinin ana nedenidir. Baca gazları, egzoz gazları, sülfür dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar ve endüstriyel tesislerden gelen parçacıklar en yaygın kirleticilerdir. Bu kirleticiler 2-7 gün boyunca havada asılı kalmaktadır. Nem ve yağmur suyuyla birleştikten sonra aside dönüşerek asit yağmuru sonucu toprak kirliliğine neden olmaktadır. Aynı şekilde, ağır metaller (Hg, Cd, Al) gibi zehirli endüstriyel atıklar, gıda zinciri ve içme suyu

yoluyla bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde toksik etkilere neden olarak nem ve asit yağmuru ile reaksiyona girebilirler (Abnisa ve Wan Daud, 2014). Çevre sorunları su, hava ve toprak kirliliği nedeniyle insanlığın geleceğini tehdit etmektedir. Çevresel sorunların en büyük nedeni endüstriyel faaliyetlerdir, özellikle küresel ısınma üzerindeki etkinin % 49'unu oluşturan fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimidir (Krasulina ve ark., 2012). Politikacılar Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli tarafından iklim değişikliği felaketi tehlikesine karşı bilgilendirilmiştir. Aralık 2015'te Paris'te imzalanmış anlaşma, küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamaya çalışmak için küresel bir taahhütte bulunmuştur. Sözleşme uyarınca, her ülke beş yılda bir değerlendirilecek olan bireysel iklim performansı programını uygulayacaktır (Safdari ve ark., 2018). Ancak Türkiye halen anlaşmayı imzalamayı reddeden ülkeler arasındadır. 2019 verilerine göre, Türkiye yılda 290,4 milyar kWh elektrik tüketmekte, bu nedenle dünyanın en çok enerji tüketen 20 ülkesi arasındadır. Emisyon seviyeleri 1980'de 75 milyon metrik ton karbondioksitten 2019 yılında 350 milyon metrik ton karbondioksit'e yükseltilmiştir. Oranlardan da anlaşılacağı üzere Türkiye sürdürülebilir bir ekonomi ve çevre için gerekli önlemleri almalı ve planlama yapılmalıdır (Riddel ve ark., 2020).

1.4.1. Doğrudan Yakma

Doğrudan yakma, atık maddelerin yakılmasını içeren bir bertaraf yöntemidir (Kan, 2009). Yakma ve diğer yüksek sıcaklıkta atık işleme sistemleri bazen "ısıl işlem" olarak tanımlanmaktadır.

Yang ve ark. (2007) tarafından belirtildiği gibi, katı atık yakma fırını, belirli tasarım koşullarında tasarlanan, inşa edilen ve işletilen bir tesis türüdür. Tipik bir yakma fırını, girdi malzemesi olarak toplanan atıkları işlemekte ve amacına ulaşmaktadır. Yani atık malzemenin işlenmesi ve ikincil fayda olarak yanma sürecinden ısı enerjisini geri kazanmaktadır.

Yakma işlemi hem bireyler tarafından küçük ölçekte hem de büyük ölçüde sanayi tarafından gerçekleştirilmektedir. Katı, sıvı ve gaz halindeki atıkları bertaraf etmek için kullanılır. Belirli tehlikeli atık malzemelerin (biyolojik tıbbi atık gibi) atılması için pratik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Yakma, gazlı kirletici maddelerin emisyonu gibi sorunlar nedeniyle tartışmalı bir atık bertaraf yöntemidir. Katı atık yakma, dip külü ve hava kirliliği kontrol atıkları gibi katı atıklar üretir. İnorganik bileşiklerin yüksek içeriğinin yanı sıra, yakma kalıntıları ayrıca, tamamlanmamış yanmadan kaynaklanan bol miktarda karbon

bileşikleri, yanmamış organik maddeler ve yakma işlemi sırasında oluşan karbon bileşikleri içerir (Ecke ve Svensson, 2008). Ek olarak, fosil karbonun yakılması küçük CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır.

1.4.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, kömür, petrol kok ve biyokütle gibi hidrokarbonları kimyasallar, gübre, sıvı yakıtlar, hidrojen ve elektrik üretmek için daha fazla işlenebilen bir sentez gazına dönüştüren ticari olarak kanıtlanmış bir üretim sürecidir (Anonim,2015(a)).

Bir gazlaştırma tesisinde, hidrokarbon besleme stoğu, yüksek sıcaklıklı, basınçlı bir reaktöre, hammaddenin kimyasal bağları kopana kadar hava, oksijen ve buharla enjekte edilir. Ortaya çıkan reaksiyon sentez gazı üretir. Sentez gazı daha sonra kükürt, cıva, partiküller ve eser mineraller gibi safsızlıkları gidermek için temizlenir.

Sentez gazı yanmadan önce temizlendiğinden, gazlaştırma tesisleri, nitrojen oksitler ve sülfür dioksit gibi bu tür kriter hava kirleticilerinden önemli ölçüde daha az miktarlarda üretirler. Öncelikle karbon monoksit ve hidrojenden oluşan temizlenmiş sentez gazı, buhar veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Ayrıca ek bir kimyasal işlemle metanol, etanol, diğer yakıt sıvıları ve kimyasalları üretmek için de kullanılabilir (Anonim,2015(a)).

Atık gazlaştırma teknolojileri bir dizi önemli yolla farklılık gösterir:

Hammadde hazırlama;bazı gazlaştırma teknolojileri, atığın boyut küçültme veya malzemelerin uzaklaştırılması için işlenmesini gerektirirken, diğerleri atıkları alındığı şekilde işler.

Fırın tipi;gazlaştırma fırınları, sabit ve akışkan yataklı reaktörleri içerir. Ek olarak, bazı teknolojiler, atığın gazlaştırılması için plazma arklı ısıtma ünitelerine dayanır (Anonim,2015).

Ek yakıtlar;bazı teknolojiler, kok kömürü gibi ek yakıtların fırına enjekte edilmesini gerektirir.

Enerji ürünleri;bazı gazlaştırma teknolojileri, yanma için veya etanol, metanol gibi sıvı yakıtlara dönüştürmek için temizlenmiş bir sentez gazı üretmek için tasarlanırken, diğerleri yalnızca sentez gazı yanması için tasarlanmıştır (Anonim,2015(a)).

1.4.3. Sıvılaştırma

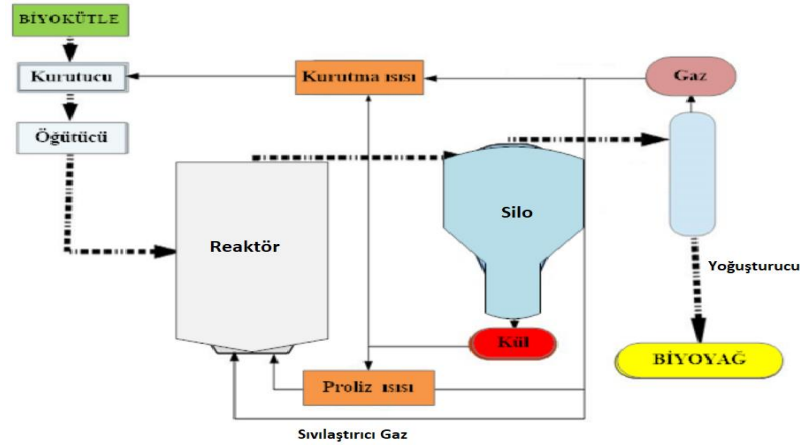
Linyoselülozik kalıntıların sıvılaştırılması, yüksek sıcaklıklarda depolimerizasyon yoluyla biyokütleyi poliollere dönüştüren, sıvı bir çözelti üretmek için en yaygın işlemlerden biridir. Odun, mantar ve tarımsal atık gibi farklı türlerde linyoselülozik biyokütleler kullanılabilir. Bu bol malzemeler, poliüretan köpüklerin üretiminde kullanılan hidroksil grupları içeren sıvılaştırılmış ürünler üretmek için alternatif bir kaynaktır. Biyokütle, yeni malzemelere dönüştürülebilen, değerini artıran ve çevrenin korunmasına katkıda bulunan endüstriyel atıklardan kaynaklanabilir (Stevens, 2000). Çözücü sıvılaştırma sırasında önemli bir rol oynar ve optimize edilmiş koşullar altında doğru kullanımı çeşitli ürünler üretir. Çözücü, atmosferik basınçta yüksek sıcaklıkların (150°C-250°C) uygulanmasıyla biyokütleyi düşük moleküler ağırlıklı moleküller halinde parçalamak için kullanılır. Ek olarak, işlem bir asit veya bazik katalizör (organik veya inorganik) içerir. Biyokütlenin kimyasal bileşimi, reaksiyonun nihai veriminde belirleyici bir faktördür. Linyoselüloz, hidroksil grupları bakımından zengin selüloz, hemiselüloz ve linyin olan birincil bileşenlerin C-O ve C-C bağlarının çapraz bağlarından oluşan makromoleküler bir polimerdir. Sıvılaştırma sırasında kimyasal bileşikler, farklı yapıları nedeniyle farklı aşamalarda sıvılaştırılacaktır. Düzenli olarak ilk bileşikler, selüloz, hemiselüloz ve linyin gibi düzensiz bir yapıya sahip olanlar sıvılaştırılır. Çözücünün yüksek dönüşüm oranı nedeniyle bu bileşikler hızla sıvılaşmıştır (Stevens, 2000; Huang ve Yuan, 2015).

1.4.4. Piroliz

Piroliz, oksijen veya başka bir reaktifin yokluğunda ısının neden olduğu organik maddenin termokimyasal ayrışmasıdır. Piroliz işlemi sırasında, büyük karmaşık hidrokarbon molekülleri farklı daha küçük gaz, sıvı ve kömür moleküllerine dönüştürülür. Bu nedenle, bu işlemin amacı, bu molekülleri maksimum verim değerinde üretmek için, maksimum sıcaklıkta oksijen yokluğunda besleme stoğunu ısıtan yoğunlaşamayan gazlar, katı kömür ve sıvı ürün elde etmektir.

Bu süreç farklı adımlardan oluşmaktadır. Her şeyden önce, hammadde, parçalanmanın başlayacağı piroliz sıcaklığına (maksimum sıcaklık) kadar ısıtıldığı reaktöre verilmektedir. Bundan sonra, besleme stoğundan serbest bırakılan hem yoğunlaşabilen hem de yoğunlaşmayan buharlar bölmeyi terk etmektedir. Üretilen katı kömür haznede kalır ama aynı zamanda kısmen gazın içinde kalmaktadır. Dolayısıyla, bir sonraki adım,

gazı kömürden ayırmak ve reaktörün aşağı akışını soğutmaktan ibarettir. Son olarak, yoğunlaşabilir buhar piroliz yağı olarak yoğunlaşır, yoğunlaşmayan gazlar reaktörden bir ürün gazı olarak ayrılır ve katı kömür ticari bir ürün olarak toplanır veya piroliz için gerekli ısıyı üretmek için yanıcı olarak kullanılır (Basu, 2013).

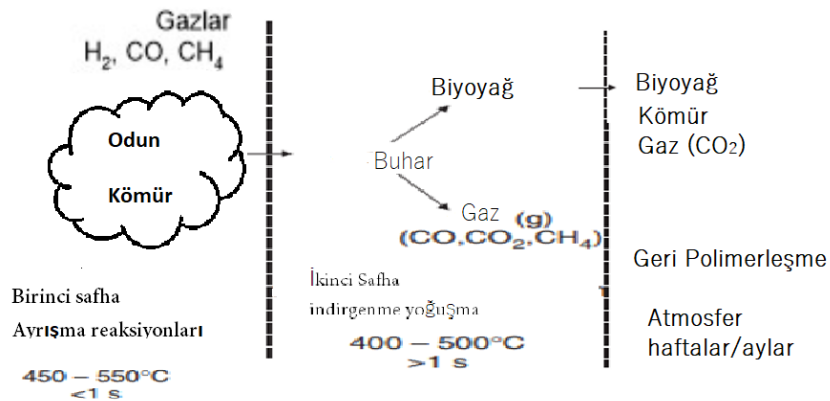


Şekil 1.7. Piroliz Döngüsü (Abnisa ve Wan Daud, 2014)

1.4.4.1. Piroliz ürünleri

Piroliz yöntemi ile elde edilecek en önemli ürün sıvı üründür çünkü doğası farklı parametrelere bağlı olan fosil yakıtlar için önemli bir ikame olabilir. Bu faktörler, işlemde kullanılan hammadde türü, hammaddenin özelliklerine bağlı olarak sıcaklık, ısıtma hızı, reaksiyon süresi ve beslemenin partikül boyutudur (Abnisa ve Wan Daud, 2014).

Daha önce de bahsedildiği gibi piroliz işlemi ile üç tip ürün elde edilmektedir; Şekil 1.8’de gösterildiği gibi gazlar, katı kömür ve sıvı üründür.



Şekil 1.8. Biyokütlenin pirolizinde elde edilen ürünler (Venderbosch ve Prins, 2010)

Gaz, odadan çıktığında yoğunlaşmayan gazlardan elde edilir. Pirolizden sonra elde edilen yoğunlaşmayan gazların bileşimi uçucu organik bileşikler (VOC'ler), su ve küçük miktarlarda hafif hidrokarbonlardır. Bu organik bileşikler temelde işlem sırasında kullanılan hammaddeye bağlıdır. En tipik uçucu organik bileşikler karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), asetilen (C₂H₂), etilen (C₂H₄), etan (C₂H₆), benzen (C₆H₆) ve metandır (CH₄) (Zafar, 2009).

Sıvı, reaktörden kondensere yönlendirilen yoğunlaşabilir gazlardan elde edilir. Bir yandan, biyokütlenin hammadde olarak kullanılması, piroliz ürünü katran (biyo-yağ veya biyokütle olarak da adlandırılır), daha ağır hidrokarbonlar ve su karışımıdır. Bu sıvı, % 20'ye kadar su içeren siyah katranlı bir sıvıdır ve genellikle selüloz, hemiselüloz ve lignin polimerlerinin moleküler parçalarından oluşmaktadır. Öte yandan pirolizin hammaddesinin yağlı şeyl olması durumunda elde edilebilecek ürün şeyl yağıdır. Bu sıvı sarıdır ve karmaşık bir hidrokarbon karışımı içerir ve bileşimi petrol şeylinin kökeni ve bileşimine bağlıdır. Bu bileşim büyük miktarlarda olefinik ve aromatik hidrokarbonlardan ve oksijen, nitrojen ve sülfür gibi bazı heteroatom miktarlarından oluşmaktadır (Basu, 2013).

Piroliz işleminden sonra üretilen katı bileşen odacık içinde kömür veya karbon formunda kalmaktadır. Bu katı kömür veya karbon, ticari bir ürün olarak veya ısı üretmek için yanıcı olarak da kullanılabilir. Örneğin, bu katı ürün, piroliz işlemi için gerekli ısıyı elde etmek için kullanılabilir (Sharma ve ark., 2004).

1.4.4.2. Piroliz için kullanılan teknikler ve süreç

Piroliz veya ko-pirolizi gerçekleştirmek için farklı teknikler ve süreçler hakkında bilgiler verilecektir. Bu nedenle, bu işlemin gerçekleştirilmesi söz konusu olduğunda şu anda en yaygın kullanılan piroliz türlerine odaklanacaktır. Modern reaktörler sabit yataklı, akışkan yataklı ve sürüklenmiş yataklı olarak sınıflandırılabilir ve daha sonra tasarım özelliklerine göre yapılabilir. Bu nedenle, şu anda en yaygın pirolizörler sabit veya hareketli yatak, kabarcıklı akışkan yatak, dolaşımdaki akışkan yatak (CFB), dönen koni, ablatif reaktör ve vakum reaktörüdür.

1.4.4.3. Piroliz türleri

Piroliz işlemi iki türe ayrılabilir. Bunlar; yavaş piroliz ve hızlı pirolizdir. Bu tür piroliz iki parametreye bağlıdır; yakıtı piroliz sıcaklığına (t_{heat}) kadar ısıtma süresi ve karakteristik

piroliz reaksiyon süresi (t_{reaction})dir. t_{heat} , t_{reaction} dan çok daha büyükse, yavaş pirolizdir ve t_{heat} , t_{reaction} dandaha küçükse, hızlı pirolizdir (Walker, 2013).

Tablo 1.1. Piroliz türleri (Anonim,2015(b))

Mod	Isıtma oranı	T (°C)	Kalış süresi	Malzeme Boyutu (Çap)	Ana Ürünler
Yavaş Piroliz	Yavaş 1-20°C / m	400-650	Dakikalarca, günlerce	1 - 200 mm	Petrol gazı, her biri ~ 1/3 kömür
Hızlı Piroliz	Çok hızlı> 300°C / sn	700	Saniye	<1 mm	Biyo-yağ,% 75 Her biri,% 10-% 20
Gazlaştırma	2-100°C / m	> 800	5-30 dak.	5-20 mm	Gaz,% 80 Her biri,% 10-20

Yavaş pirolizde, piroliz bölgesinde buhar kalış süresi dakikalar ve hatta günler cinsindendir. Amacın sıvı üretimi olduğu geleneksel pirolizin aksine, kömür üretmek için yavaş piroliz yöntemi kullanılır. İki tür yavaş pirolize ayrılabilir. Bunlar;

- Kömürleşme: Bu işlemin ana amacı odun kömürü elde etmek ve en eski piroliz yöntemi olmasıdır. Bu teknikte hammadde, oksijen yokluğunda düşük sıcaklıkta, 400°C civarında ve kömür oluşumunu en üst düzeye çıkarmak için çok zaman kullanılarak yavaşça ısıtılmaktadır (Ronsse ve ark., 2015).

- Torrefaction: Bu termal işlemin amacı, biyokütleyi orijinal hammaddeden daha iyi yakıt özelliklerine sahip olan kömürü elde edecek şekilde dönüştürmektir. Bu yöntemde hammadde, oksijen yokluğunda yavaşça 200 ile 400°C arasında bir sıcaklığa ısıtılmaktadır (Anonim,2020).

Hızlı pirolizde, piroliz bölgesinde buhar kalış süresi saniye veya milisaniye düzeyindedir ve bu teknik biyo-yağ ve gaz üretmek için kullanılmaktadır. Hızlı pirolizin amacı, sıvı veya biyo-yağ üretimini en üst düzeye çıkarmaktır. İki türe ayrılabilir. Bunlar; flaş ve çok hızlı pirolizdir.

- Flash Piroliz: Bu işlemde biyokütle, oksijen yokluğunda 450 ile 600°C arasındaki bir sıcaklığa hızla ısıtılmaktadır. Bu tür piroliz ile elde edilebilen ürün bio-yağ denilen sıvı yakıttır ve verimi toplam piroliz ürününün yaklaşık % 70-75'idir (Onay ve Kockar, 2003).

- Ultra hızlı Piroliz: Bu yöntemde biyokütle, oksijen yokken son derece hızlı bir şekilde gaz için yaklaşık 1000°C ve sıvı için yaklaşık 650°C'ye ısıtılmaktadır. Bu sıcaklıklar, gazın ürün verimini maksimize etmektedir (Basu, 2013).

1.4.4.4. Piroliz sürecini etkileyen parametreler

Bu başlık altında piroliz sürecini etkileyen parametreler açıklanmaktadır. Daha önce de söylendiği gibi, bu parametreler, işlemde kullanılan hammadde türü, aynı zamanda hammaddenin özelliklerine bağlı olan sıcaklık, ısıtma hızı, reaksiyon süresi ve yemin partikül boyutudur. Bu faktörler, piroliz ile elde edilebilen katı, sıvı ve gaz halindeki ürünlerin verimini doğrudan etkileyebilir (Abnisa ve Wan Daud, 2014).

Hammaddenin tipi: Pirolizde kullanılan hammadde türü önemlidir çünkü biyokütlenin her bir bileşeni farklı termal ayrışma sıcaklıkları sergilemektedir. Bu, yöntemin sonuçlarına farklı bir şekilde katkıda bulundukları anlamına gelmektedir. Biyokütlenin hidrojen-karbon (H / C) atomik oranı, piroliz verimi üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle, seçilen hammaddenin türüne bağlı olarak, elde edilen ürünler farklı olabilir (Prakash Bamboriya ve ark., 2019).

Sıcaklık: Piroliz ürünlerinin nihai sonuçları söz konusu olduğunda sıcaklık oldukça etkilidir. Örneğin, biyokütlenin pirolizi sırasında, farklı ürün gazlarının kaçışı, farklı sıcaklıklarla değişir ve ayrıca üretilen kömür miktarı da bu parametreye bağlıdır. Daha yüksek sıcaklıklar için işlemin sentez gazı veya sentetik gaz ($\text{CO} + \text{H}_2$) gibi büyük miktarlarda yoğunlaşmayan gazlar sağladığı bilinmektedir. Bunun yerine, işlem daha düşük sıcaklıklarda yapılırsa, odun kömürü, biyo-kömür veya işlenmiş yakıtlar gibi katı ürünlerin üretilmesini sağlamaktadır (Prakash Bamboriya ve ark., 2019).

Isıtma hızı: Isıtma hızı önemlidir çünkü piroliz işleminden sonra elde edilebilecek ürün verimi ve bileşimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin işlem orta sıcaklıklarda hızlı ısıtma ile yapılırsa daha fazla sıvı elde edilecek ve işlem daha yavaş ısıtma ile yapılırsa daha fazla kömür üretecektir (Prakash Bamboriya ve ark., 2019).

Reaksiyon süresi: Tepkime süresi, katı ürünün termal dönüşüm derecesini ve buharın kalış süresini etkilemektedir. Buharın bu kalma süresi, buharların bileşimini etkilemekte, bu da bunların yoğunlaşabilir veya yoğunlaşmayan bir fazda olup olmadıklarını etkilemektedir (Abnisa ve Wan Daud, 2014).

Yem partikül boyutu: Yem partikül boyutu, materyalin piroliz sürecine boyun eğme hızını etkilediği için önemli bir parametredir. Normalde, daha düşük partikül boyutlu malzemeler, termal ayrışmadan daha hızlı etkilenmekte ve bu nedenle, daha büyük partikül boyutuna göre daha fazla miktarda piroliz yağı elde etmektedir (Prakash Bamboriya ve ark., 2019).

Literatürde bazı örnek partikül boyutu örnekleri bulunabilir. Örneğin, yağlı şeyl ve plastiklerin ko-pirolizinden bahseden çalışmada (Aboulkas ve ark., 2012), yağlı şeyl örnekleri öğütülmekte ve elenerek 0,1 mm parçacık boyutu elde edilmektedir. Diğer bir örnek, tüm örneklerin ilk olarak havayla kurutulduğu, ezildiği ve ≤ 3 mm'lik bir tane boyutuna elendiği yağlı şeyl ve buğday samanının ko-pirolizinden bahseden çalışmadır (Chen ve ark., 2017). Son olarak, başka bir örnek, Estonya kukersit yağlı şeylinin turba ve çam kabuğu ile birlikte sıvılaştırılması üzerine yapılan çalışmadır, burada tüm numuneler havada kurutulmuştur ve 0.1 mm'den daha küçük bir boyutla ince toz haline getirilmiştir (Krasulina ve ark., 2012).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Arpa ve ark. (2010a), motor performansı ve egzoz emisyonu değişimine yönelik dizel benzeri yakıt (DLF) üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüştür. Test sonuçlarından her 100 cc atık yağdan yaklaşık 60 cc'nin DLF'ye dönüştürüldüğü gözlemlenmektedir. Üretilen DLF'nin dizel motorlarda motor performansı açısından sorunsuz bir şekilde kullanılabildiğini göstermektedir. DLF, torku, fren ortalama efektif basıncını, fren termal verimliliğini artırmış ve tam çalışma gücü için motorun fren özgül yakıt tüketimini azaltmıştır.

Çalışmada, DLF ve dizel yakıt için tork, Bmep, termal verimlilik ve Bsfc eğilimlerinin benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. tork ve Bmep'in doğru orantılı olduğu bilinmektedir ancak Bsfc, verilen motor freni gücü ile dolaylı olarak orantılıdır. DLF için elde edilen T, Bmep ve ısı verimlilik değerleri dizel yakıt için elde edilenlerden biraz daha yüksektir. Ancak Bsfc tüm devirlerde daha düşüktür. DLF için tork ve Bmep değerlerinin ortalama artışları yaklaşık % 0,69'dur. Bu, DLF'nin dizel yakıttan daha yüksek damıtma sıcaklığından kaynaklanmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda motor hızının artmasıyla tork maksimum noktaya yükselmektedir. Bu kritik noktadan sonra, genellikle tork adım adım azalmaktadır (Mani ve Nagarajan, 2009). DLF ve dizel yakıt için 2000 rpm'de ölçülen verilerden elde edilen maksimum T ve Bmep değerleri sırasıyla 33,86 ve 33,71 Nm, 1048,21 ve 1043,38 kPa'dır. Aynı yakıtlar ve motor devri için karşılık gelen termal verimlilik ve Bsfc sırasıyla % 40.68 ve % 37.88, 213.23 ve 224.52 g/kWh'dir. Bu parametrelerin maksimum ve minimum değerlerinden sonra yavaş yavaş motor devri ile azalmakta ve artmaktadır (Arpa ve ark., 2010a,b).

İlkılıç ve Aydın (2011), atık taşıt lastiklerinin pirolizi ile elde edilen alternatif bir yakıt üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar saf dizel, saf lastik piroliz yağı ve bunların farklı fraksiyonlarda bir karışımını kullandılar. Piroliz yakıtı ve dizel yakıtların tüm yakıt karışımlarının güç değerlerinin, motor devrindeki artışa göre artan eğilimler gösterdiğini bulmuşlardır. Ancak, özellikle yüksek motor devirlerinde mekanik kayıpların artması nedeniyle güç değerlerinin artması doğrusallığa sahip değildir.

Dizel motor güç değerleri tüm test yakıtları arasında en yüksektir. Yakıtta karışımındaki piroliz yağı (WEO) miktarı ne kadar yüksekse, motorun ilgili çalışma

koşulunda gücü o kadar düşük olur. Yani, en düşük motor gücü değerleri WEO100 yakıtı için, ardından sırasıyla WEO75 ve WEO75 yakıtları için elde edilmiştir. WEO ve WEO harman yakıtların güç değerlerinin azalması, WEO yakıtının biraz daha düşük kalorifik değerine bağlanabilir. Ancak, test yakıtlarının güç değerlerindeki farklılıklar düşük motor devirlerinde düşüktür. Özellikle 1500 d/d motor devrinde tüm test yakıtları için elde edilen güç oldukça benzerdir.

Yakıtların özellikleri ve damıtılma sıcaklıkları performans parametreleri üzerindeki diğer etkilere (Koç ve ark., 2009). Bu özellikler yakıtların daha iyi karışım ve yanma özellikleri vererek ısı kaybının azalmasına neden olmaktadır. Daha düşük damıtılma sıcaklığını daha iyi performans verdiği vurgulanmıştır (Al-Ghouti ve ark., 2008; Koç ve ark., 2009). Damıtma sıcaklığı, performans parametrelerindeki bu farklılıkları açıklamayı mümkün kılmaktadır. Dizel yakıt, DLF'den daha hafiftir. DLF'nin damıtma sıcaklıkları, 100 cc hacimde 80 cc'ye kadar dizel yakıttan daha yüksektir. Bu, DF'nin atık motor yağından elde edilen yakıttan daha uçucu bir yakıt olduğunu göstermektedir. Yüksek uçuculuk, hacimsel verimi düşürür ve sıcak iklim koşullarında buhar tıkanmasına neden olur. Düşük uçuculuğa sahip yakıtlar veya yüksek sıcaklıklarda damıtılan yakıtlar kademeli olarak motorun yanma odasında yakıldığında, yanma odasındaki sıcaklık ve basınç artacak, bu da motorun performans parametrelerini iyileştirecektir (Al-Ghouti ve ark., 2008; Koç ve ark., 2009). Sonuç olarak, DLF için ateşleme zamanlaması, hava-yakıt oranı, karakteristikler ve daha yüksek damıtma sıcaklıkları, dizel yakıttan biraz daha iyi performans parametreleri vermektedir. Bu nedenle tork, Bmep ve ısı verim artar ve Bsfc azalır. Çalışmadan elde edilen test sonuçları, DLF'nin motorun performans parametreleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve benzinli motorda yakıt olarak sorunsuz bir şekilde kullanılabileceğini açıkça göstermiştir.

İlkılıç ve Aydın (2011), en düşük tork değerlerinin sırasıyla WEO100, WEO75 ve WEO50 yakıtları için elde edildiğini bulmuşlardır. Tork azaltmanın ana nedeni, WEO yakıtının biraz daha düşük kalorifik değeri olarak kabul edilir. Bu nedenle, WEO harmanlarının tork değerlerindeki azalma, karışımda bulunan WEO miktarı ile doğrusal olmuştur. Elde edilen WEO5, WEO10, WEO15, WEO25, WEO35, WEO35, WEO50, WEO75 ve sırasıyla test yakıtlarının ortalama bsfc'si 322.91, 322.81, 325.46, 325.86, 329.76, 333.64, 343.25, 354.21 ve 367.17 gr/kWh dir. Bsfc, yakıt tüketiminden, ilgili motor devrindeki güç değerinden ve yakıtın kalori değerinden doğrudan etkilenir. WEO

karışım yakıtlarının ve dizel yakıtlarının kalorifik değeri dizel yakıtinkinden daha düşük olduğu için WEO karışımlarının bsfc değerleri dizel yakıtlara göre daha düşüktür. Tüm test yakıtları için egzoz gazı sıcaklık değerleri motor devrinin artmasıyla birlikte artmıştır. En düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri WEO100 yakıtı için elde edilmiştir. En yüksek egzoz gazı sıcaklık değerleri WEO5, WEO15 ve dizel yakıtlarda gözlenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı, yanma sıcaklığı, tam ve gecikmeli yanmadan etkilenmiştir. Saf WEO ve WEO karışım yakıtları ile motor çalışmasının daha düşük egzoz sıcaklığı yukarıda verilen tüm nedenlere bağlanabilir.

DLF numunesi kullanıldığında, egzoz sıcaklığı dizel numunesine göre daha yüksektir ve motor devri ile birlikte artar. Ölçülen egzoz sıcaklığı, dizel için 397 ve 477°C'ye kıyasla DLF için 414 ile 515°C arasında değişmiş ve bu da egzoz sıcaklığında dikkate değer bir değişiklik olduğunu göstermiştir. DLF için sıcaklıklarda daha yüksek değerler, daha yüksek damıtma sıcaklıklarına bağlıdır, çünkü daha yüksek sıcaklıkta damıtılan herhangi bir yakıt, yakıldığında yanma sıcaklığını artırır. Daha yüksek yanma sıcaklığının bir sonucu olarak, egzoz gazı sıcaklığı artacaktır. Egzozda yüksek sıcaklıklar, yanma odasından çevreye daha yüksek enerji transferine neden oldukları için arzu edilmemektedir. Yüksek ısı transferi, motorun ısıl verimini sonlu bir değerde düşürmüştür (Arpa ve ark., 2010a,b). Motorun neredeyse tüm hızlarında WEO100 en yüksek CO emisyonunu vermiştir. Motorun yüksek hızlarında en düşük CO emisyonları dizel yakıttan elde edilmiştir. WEO dışında dizel yakıtın tüm harmanlanmış yakıtları, WEO100, WEO75 ve WEO50 çok benzer CO emisyonları sunmuştur. Bununla birlikte, artan motor hızı, motor silindirindeki hava hareketlerini artırarak daha homojen hava-yakıt karışımını ve böylece daha iyi bir yanma ve dolayısıyla daha düşük CO emisyonları ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle motor devri arttıkça CO emisyonları tüm test yakıtları, özellikle WEO100 ve WEO75 yakıtları için artmıştır (İlkılıç ve Aydın, 2011; Arpa ve ark., 2010a,b).

En yüksek HC emisyonları WEO100 için ölçülmüştür. En düşük HC emisyonları dizel yakıt, WEO5 ve WEO10 yakıtlarında gözlenmiştir. Bununla birlikte, WEO25 ve WEO35 yakıtları için HC emisyonları WEO100 yakıtından oldukça düşüktür ve kabul edilebilir değerlerdedir. Genel olarak, yüksek WEO konsantrasyonları içeren WEO-dizel karışımları, egzoz gazlarında oldukça yüksek miktarda HC emisyonuna yol açmaktadır. WEO yakıtları için artan HC ve CO emisyonlarının ana nedenleri zayıf atomizasyon, daha düşük setan sayısı ve daha uzun tutuşma gecikmeleri olarak kabul edilmektedir. WEO'nun

daha yüksek yoğunluğu, kütle bazında daha fazla miktarda yakıt enjekte edilmesine neden olmuş ve bu da zengin karışım yanma koşullarına yol açmış, WEO ve karışım yakıtlar için artan HC ve CO emisyonlarının en önemli nedeni olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, WEO'nun daha yüksek nihai damıtma sıcaklığı HC emisyonlarını artırabilir. Eksik yanmaya neden olan tüm bu nedenler, HC emisyonunun ve CO emisyonlarının artmasına da neden olur (İlkılıç ve Aydın, 2011; Arpa ve ark., 2010a,b).

Motorun düşük ve orta hızlarında ve daha düşük WEO konsantrasyonlu karışımlarda daha büyük bir NO_x oluşumuna neden oldu. İyileştirilmiş yanma ile daha yüksek yanma sıcaklığına bağlanabilir. En düşük NO_x emisyonları, WEO100 yakıtı için daha düşük motor çalışma hızlarında elde edilmiştir. Bununla birlikte, motorun daha yüksek çalışma hızlarında WEO100 yakıtı, diğer test yakıtlarına kıyasla daha yüksek NO_x emisyonlarına neden olmuştur. Bu artışın nedeni, WEO100 yakıtının daha yavaş yanması ve daha uzun bir yanma periyodu ile sonuçlanması olarak kabul edilmektedir (İlkılıç ve Aydın, 2011; Arpa ve ark., 2010a,b).

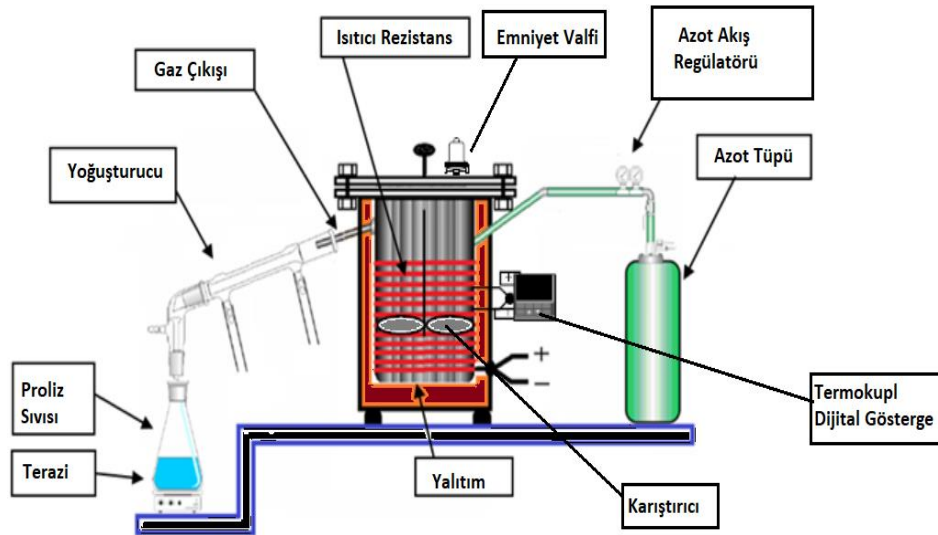
Motor egzozunda bulunan SO_2 emisyonu miktarları, karışımda bulunan WEO miktarı ile neredeyse doğrusaldır ve WEO, dizel yakıttan 4,5 kat daha yüksek bir kükürt miktarı içerdiğinden, dizel yakıtından önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle WEO yakıtının kükürt miktarının azaltılması önerilebilir (İlkılıç ve Aydın, 2011, 2011; Arpa ve ark., 2010a,b).

3. MATERYAL VE METOT

Dizel jeneratörler, enerji gereksinimi temin etmek adına oluşturulmuş olan ve sonucunda kimyasal enerjiyi birkaç aşamayla elektrik enerjisine dönüştürmekte olan bir makinedir. Dizel jeneratörler, içten yanmalı olarak çalışan motorlu otomobillerin kullanmış olduğu teknolojiyi kullanmaktadırlar.

Bu bölümde yakıtın hazırlanması ve deneysel motor kurulumu gibi bu deney serisinde kullanılan malzemeler ve deneysel prosedürler sunulmuştur. Atık şanzıman yağı, piroliz reaktörü, ve deneylerde kullanılan dizel motor ve emisyon test cihazı tanıtılmıştır.

Şekil 3.1'de yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü(Mahmut Uyar,2020)

Azot tüpü ile reaktör arasına monte edilen regülatör yardımı ile reaksiyon şartlarına uygun debide gaz akışı temin edilmiştir. Piroliz reaktörünün çeşitli sıcaklık şartlarında test çalışması yapılmıştır. Sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı tespit edildikten sonra deneysel çalışmalar sürdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında şanzıman yağlarından dizel benzeri yakıt elde etmek için piroliz yöntemi kullanılmıştır. Batman sanayi sitesinden alınan, şanzıman yağları bir toplama tankında bekletilmiş ve atıkların süzülmesinden sonra piroliz işlemi için hazırlanmıştır.

Atık şanzıman yağları, iki kilogram olarak piroliz reaktörüne doldurulmuş ve reaktörün sıcaklığı kademeli olarak arttırılmıştır. Atık şanzıman yağları, 30-500 °C sıcaklık değerleri arasında, ısı parçalanmaya maruz bırakılarak, gaz çıkış borusundan buhar halinde çıkışı sağlanmıştır. Buhar fazındaki bu moleküller, bir kondenser yardımı ile soğutulup yoğunlaştırulmak suretiyle sıvı ürün elde edilmiştir. Bu piroliz reaksiyonu neticesinde haznede kalan atıklar çıkarılarak hassas terazide tartılmıştır. Reaktör dışına çıkan sıvı ürünler de ayrıştırılarak ayrı ayrı tartılmıştır. Reaksiyon neticesinde dizel yakıt elde edilmiştir.

Birinci aşama piroliz işlemi tamamlandıktan sonra dizel yakıt ve atıklar birbirlerinden ayrıştırılmıştır. Bu ön ayrıştırma işleminden sonra elde edilen 1 litre dizel yakıt numunesi, tekrar reaktöre koyularak reaksiyon sıcaklığı kademeli olarak 25'er derece arttırılmıştır. Dizel benzeri yakıtın elde edilme sıcaklığının yüksek olması ve reaktör içerisindeki hidrokarbonların yanmadan bozundurulması gerektiği hususu dikkate alınarak reaktör içerisine N_2 gazı basılmıştır. N_2 gazının akış hızını ayarlayabilmek için azot tüpü ile reaktör arasına ayarlı manometre bağlanmıştır. Bu düzeneyle yüksek sıcaklıklarda oksijensiz bir reaksiyon ortamı temin edilmiştir. Belirtilen bu reaksiyon şartlarında, ilk ürün 170 °C 'de elde edilmiştir. Sıcaklık kademeli olarak 170-400 °C aralığında arttırılarak dizel benzeri verimi arttırılmıştır. Dizel benzeri yakıt numunesinin kükürt oranının azaltılması kapsamındaki yapılan çalışmada, 1 litre yakıt numunesi içerisine kütleli olarak %10 oranında; kalsiyum hidroksit (CAO Kireçtaşı) isimli katalizör ilave edilerek piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur.



Şekil 3.2. CaO katkı maddesi kullanılarak hazırlanan dizel benzeri yakıt numunesi

Tablo 3.2’de deneylerde kullanılacak yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.2. Dizel motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti

Özellikler	DY	Pirolitik yakıt
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,830	0,860
Viskozite (mm ² /sn)	2,90	3,60
Parlama Noktası (°C)	60	51,5
Alt Isıl Değer (kj / kg)	43200	40400
Kükürt Miktarı (ppm)	50	>1000
Setan sayısı	53	48

Deneysel çalışmada elde edilen dizel benzeri yakıt özellikleri kaynakların sıkıntılı olması nedeniyle, ulaşılabilir şartlarla kısmen belirlenmiştir. Yoğunluk, viskozite, parlama noktası, ısı değeri, setan sayısı gibi önemli özelliklerin belirlenmiş olması ve kullanılan güvenilir tedarikçilerce kullanıma sunulan dizel yakıt değerlerine yakın özelliklere sahip olması çalışma için yeterli görülmüştür. Süreç içerisinde yanma, performans ve emisyon değerlerinin birarada incelenecek olması nedeniyle tolerans dışı veriler bulunması durumunda hassasiyet arttırabilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Enerji, sanayileşme, yaşam standartlarında artış ve ekonomik refaha erişmek için en temel ihtiyaçtır. Fakat günümüz dünyasında kullanılan enerji kaynakların çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir, yani bir gün tükenecektir. Her geçen gün enerji talebindeki artışı karşılamak için iki seçenek vardır. Birincisi, yeni enerji kaynakları veya yenilenebilir enerji kaynakları bulmaktır. İkincisi ise atıklardan yakıt elde etmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için doğayı kirleten atık şanzıman yağlarının (AŞY) motorlarda kullanılabilecek hale dönüştürülmüştür. Ardından yanma, performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Tüm bulguların sunulmasının yanında gerekli başlıklarda önceki çalışmaların sonuçlarıyla tartışılmıştır.

Yanma deneylerinde 6 farklı parametre incelenmiştir. Bunlar; basınç artış hızı, kümülatif ısı salınımhızı, kütleli yanma oranı, net ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı ve silindir basıncıdır. Motor testlerinden sonra emisyon testleri yapılmıştır. Emisyon testleri kapsamında; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x) ve oksijen (O₂) emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimleri incelenmiştir. Son olarak yakıtların performans parametrelerinin belirlenmesi için üç farklı parametre için test yapılmıştır. Bu testler, yakıt tüketim, özgül yakıt tüketim ve efektif verim ölçümü ve hesaplanması olarak sıralanmıştır.

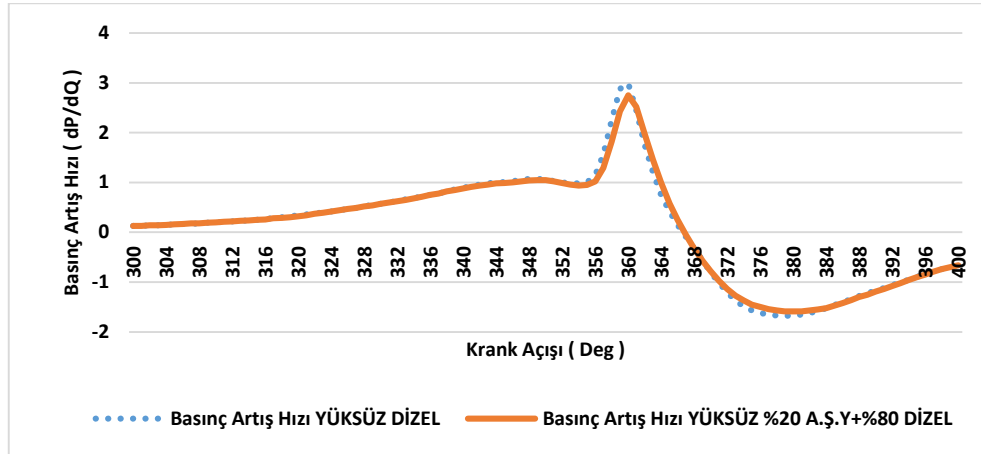
4.1. Motor Testleri

Deneylerde iki çeşit yakıt kullanılmıştır. Bu yakıtlar 4 farklı yük altında motor testlerine tabi tutulmuştur. Bu yükler sırasıyla; yüksüz, 5 kg, 7.5 kg ve 10 kg'dır. Farklı yükler altında iki farklı yakıtın motor test bulguları aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

4.1.1. Basınç Artış Hızı

Silindir basıncı kontrolsüz yanma aşamasında yakılan yakıt oranına bağlıdır. Yüksek tepe basıncı kontrolsüz yanma aşamasında yakılan yakıtın büyük miktarına karşılık gelir.

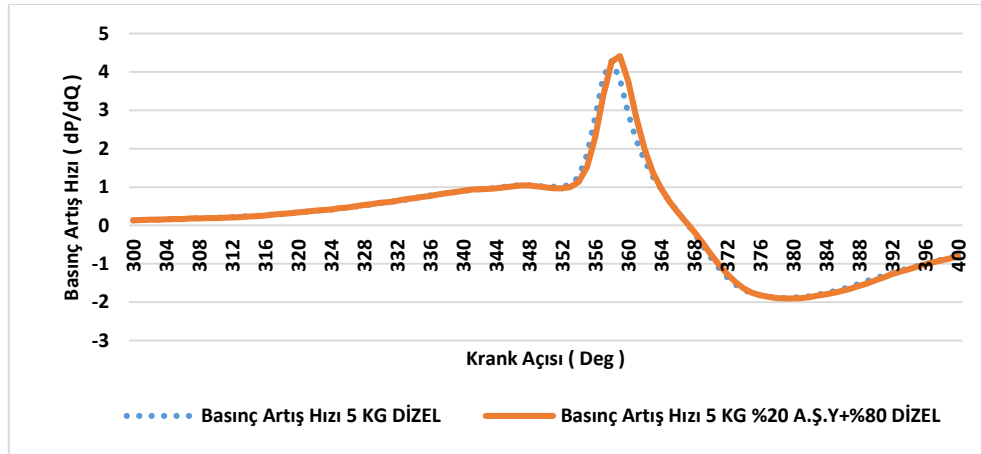
Yüksüz şekilde basınç artış hızı motor testi bulguları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Basınç Artış Hızı (Yüksüz)

Krank mili açısı 348°'ye kadar basınç artış hızı D80AŞY20 ve dizel yakıtlarında aynıdır. Fakat 348°'den 360°'ye kadar dizel yakıtın basınç artış hızı D80AŞY20 yakıttan biraz daha fazladır. 360°'de maksimum basınç artış hızı olarak 3 dP/dQ değerine ve minimum -1.5 dP/dQ değerine ulaşmıştır. Ardından, 360°'den sonra dizel yakıtın basınç artış hızındaki düşüş D80AŞY20 yakıttan biraz daha fazladır.

5 kg yük altında basınç artış hızı motor testi bulguları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

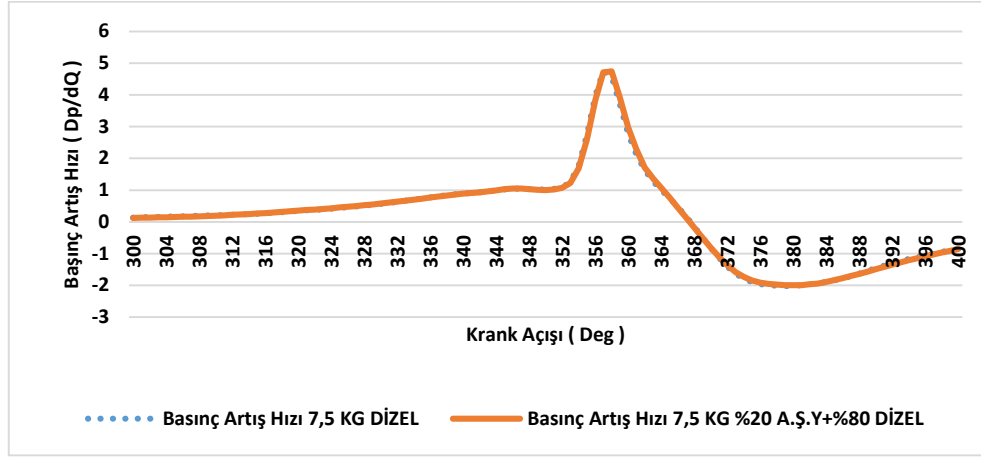


Şekil 4.2. Basınç Artış Hızı (5 Kg)

5 kg yük taşıırken krank mili açısı ile basınç artış hızı ilişkisi incelenirken D80AŞY20 ve dizel yakıtları yüksüz oldukları testin karakteristiğine benzer hareket etmiştir. Yüksüz ile 5 kg yük arasındaki tek fark maksimum basınç artış hızıdır. Yüksüz

testte maksimum 3 ve minimum -1.5 dP/dQ değerleri görülmüşken, 5 kg yük altındaki testte maksimum 4 ve minimum -2 dP/dQ olarak bulunmuştur.

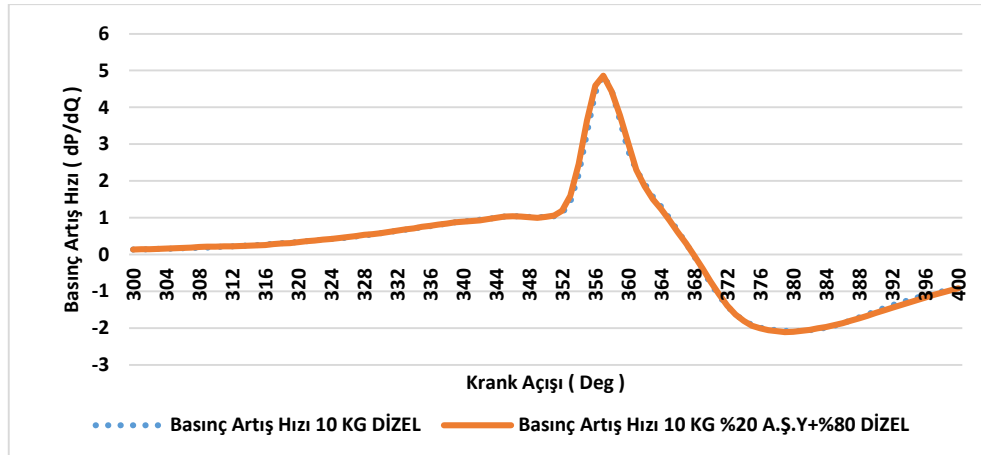
7.5 kg yük altında basınç artış hızı motor testi bulguları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç Artış Hızı (7,5 Kg)

7.5 kg yük altında iki farklı yakıt türünün performansı neredeyse her krank açısında aynıdır. Diğer testlerdeki değerlerden farklıdır. Bunun yanında basınç artış hızı maksimum 4.5 ve minimum -2 dP/dQ değerine ulaşmıştır. Bu değerlerde önceki test değerlerinden daha yüksek olmuştur.

10 kg yük altında basınç artış hızı motor testi bulguları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Basınç Artış Hızı (10 Kg)

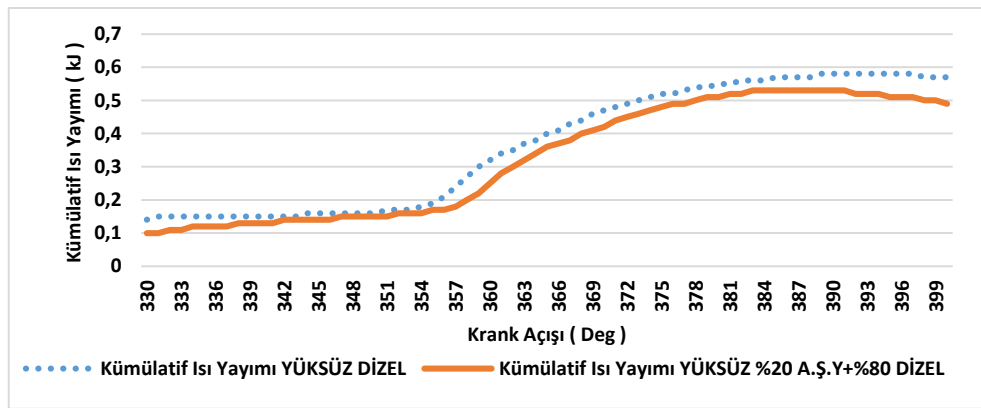
10 kg yük altında iki farklı yakıtın basınç artış hızı ile krank açısı ilişkisi neredeyse aynıdır. Fakat basınç artış hızının maksimum 4.8 ve minimum -2.1 dP/dQ değerinde olduğu görülmüştür.

Basınç artış hızı testi sonucunda, yük miktarı arttıkça yakıt türlerinin karakteristiği yaklaşmakta hatta aynı hale gelmiştir. Yük miktarı artışıyla birlikte basınç artış hızında da artış görülmüştür.

4.1.2. Kümülatif Isı salınım Hızı

Sonraki motor yanma parametresi olarak, saf dizel yakıtla D80AŞY20 karşılaştırıldığında krank açısına göre kümülatif ısı salınım hızının varyasyonlarını göstermiştir.

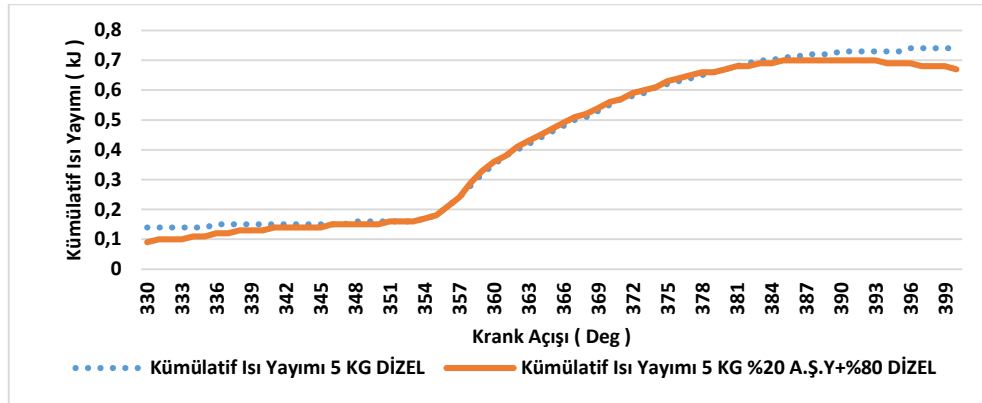
Yüksüz olarak kümülatif ısı salınım testi Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kümülatif Isı salınımı (Yüksüz)

Kümülatif ısı salınımı, 357°'ye kadar dizel yakıt 0.12 kJ'den 0.2 kJ'e kadar yükselmiştir. D80AŞY20 yakıtı da 0.1 kJ'den 0.18 kJ'e kadar yükselmiştir. Tüm krank açılarındaki kümülatif ısı salınımında dizel yakıt D80AŞY20 yakıttan daha yüksek değeri sahip olmuştur. Maksimum kümülatif ısı salınım değeri 0.58 kJ'dir ve dizel yakıtta elde edilmiştir. Normal motor koşullarında, minimum kümülatif ısı salınım 0.1 kJ ile enjeksiyonun başlamasıyla gerçekleşir.

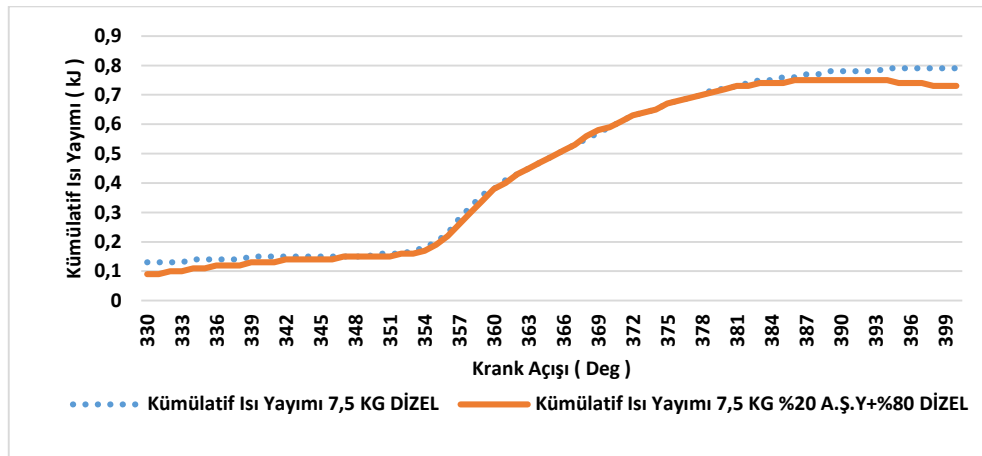
5 kg yük altında kümülatif ısı salınım motor testi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kümülatif Isı salınımı (5 Kg)

Kümülatif ısı salınım başlangıç ve bitiş değerleri hariç diğer değerleri yüksüz testle benzerdir. Fakat 357°'ye kadar gerçekleşen artışta bir azalma görülmüştür. Fakat sonraki krank açılarındaki artış daha fazladır. Maksimum değer olarak 0.75 kJ görülmüştür. Tepe noktasını D80AŞY20 yakıtı görmüş ve ardından düşüşe geçmiştir. Fakat dizel yakıtta bir tepe noktası görülmemektedir ve sürekli artış devam etmiştir. İki yakıtın karakteristiği yaklaşık olarak aynıdır, bazı açılarda farklılıklar görülmüştür.

7.5 kg yük altında kümülatif ısı salınım motor testi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

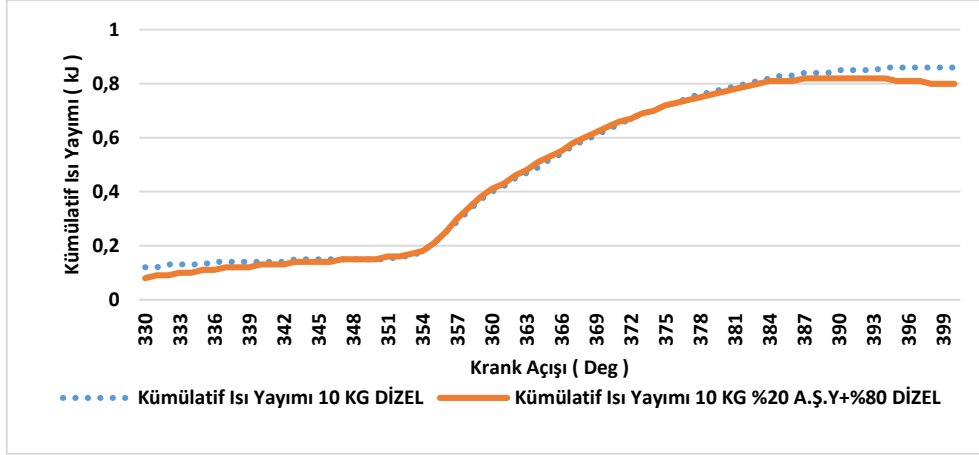


Şekil 4.7. Kümülatif Isı salınımı (7,5 Kg)

İki yakıt türünün karakteristiği 5 kg'lık teste göre daha yakın çıkmıştır. 5 kg'lık teste olduğu gibi D80AŞY20 yakıtı tepe noktadan sonra düşüşe geçmesine rağmen, dizel

yakıtta bir tepe noktası görülmemiştir. Önceki testlerdeki maksimum değerden daha yüksek bir değerler bu teste görülmüştür. Maksimum değer 0.8 kJ olarak kayda geçmiştir.

10 kg yük altında kümülatif ısı salınım motor testi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kümülatif Isı salınımı (10 Kg)

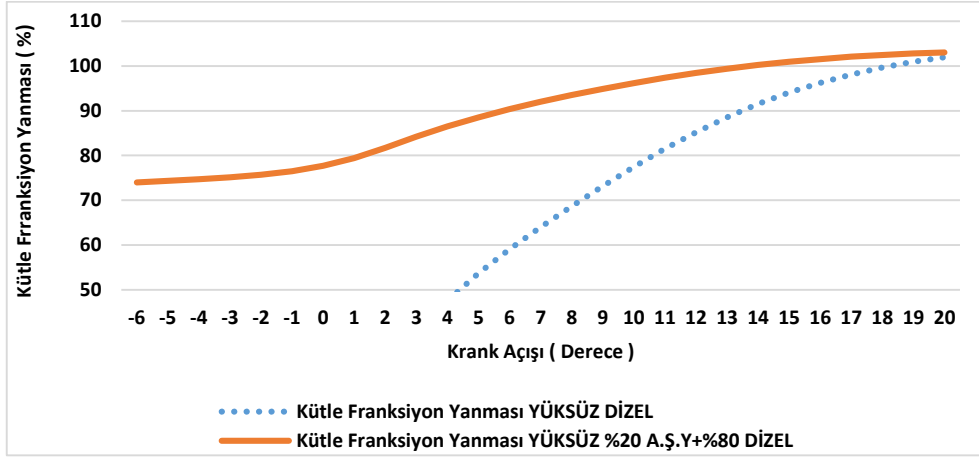
Önceki testlerde görülen daha hafif yüklere göre başlangıç kümülatif ısı yayılımı değerleri daha düşüktür. İki farklı yakıt arasındaki benzerlik azalmıştır. Ek olarak maksimum değerde de artış görülmüştür.

Yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı yakıtların içeriğine bağlı olarak farklılık göstermektedir. D80AŞY20 için kümülatif ısı salınımının yüksek değeri 10 kg’de görülmüş (0.8 kJ) ve yük miktarı arttıkça sürekli olarak artmıştır. Fakat sürekli olarak dizel yakıttan düşük kümülatif ısı salınım değerine sahiptir. Bu durumun sebebi, karışım haline getirilmiş karışımın düşük ısı içermesidir. Perumal ve Ilangkumaran, 201 ve Raheman ve Kumari (2014) tarafından yapılan önceki çalışmalarda buharlaşma sürecinin ve ilave su kütlelerinin sıcaklığı düşürdüğünü bildirmiştir. Dizel yakıtında, maksimum 0.85 kJ olan en yüksek kümülatif ısı salınımı kaydedilmiştir.

4.1.3. Kütlesel yanma oranı

Bir diğer motor testi ise kütlesel yanma oranıdır. Kütlesel yanma oranı, yanma işlemi boyunca silindir içinde yakılan yakıt oranını yansıtmaktadır. Kütlesel yanma oranının belirlenmesi, büyük ölçüde tutuşma gecikme süresine ve silindir içi basıncın tepe noktasına bağlı olduğu görülmüştür.

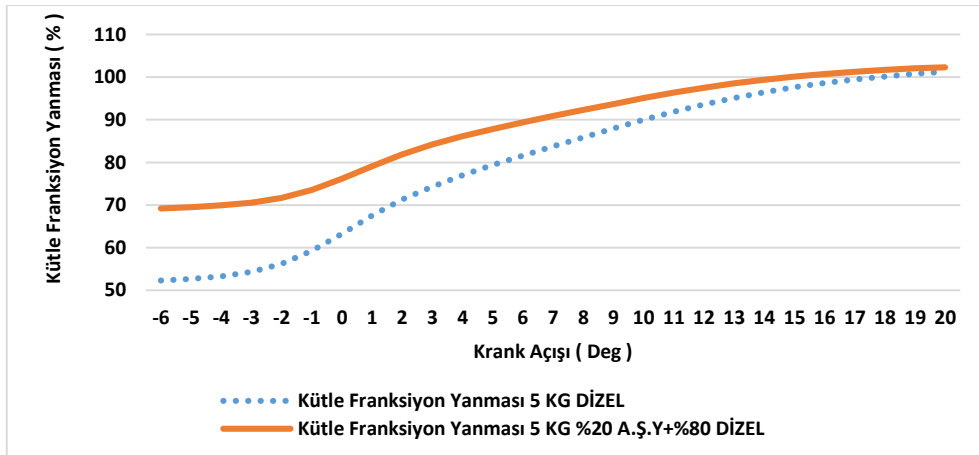
Yüksüz şekilde kütleli yanma oranı motor testi Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kütleli yanma oranı (Yüksüz)

Düşük krank açısında dizel yakıtta %75'ten başlayan sürekli olarak artan bir kütleli yanma oranı görülmüştür. Fakat D80AŞY20 yakıtında kütleli yanma oranı %50'nin altında kalmıştır. %50 yanma oranına 4.5 krank derecesinde ulaşılmıştır. Saf dizel yakıtta yanma oranı yüksek değerden başlasa da D80AŞY20 yakıtının yanma oranını en yüksek değer olan %100 oranına ulaşmıştır. D80AŞY20 yakıtının yanma oranının artış hızı saf dizele göre daha yüksek çıkmıştır.

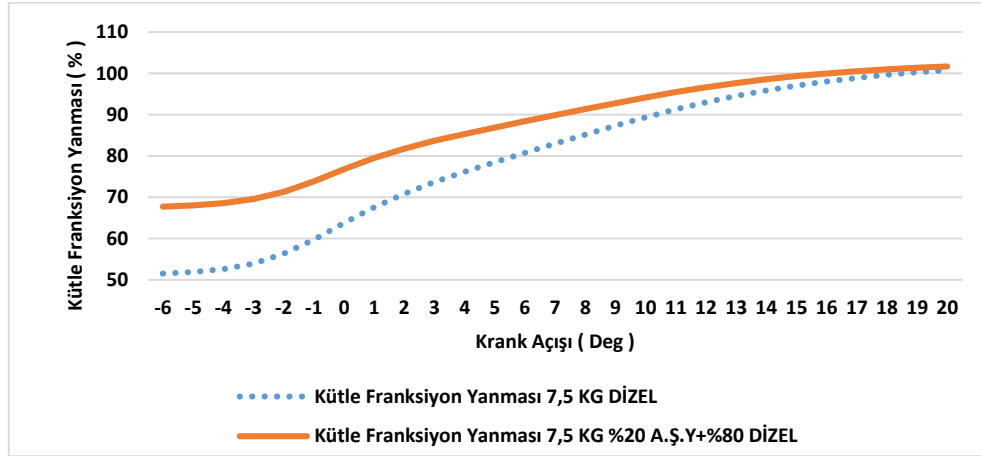
5 kg yük altında kütleli yanma oranı motor testi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kütleli yanma oranı (5 kg)

5 kg yük altında iki yakıtında yanma oranında düşüş görülmüştür. Bunun yanında D80AŞY20 yakıtındaki yanma oranı artış hızında da azalma görülmüştür. Fakat ulaşılan yanma oranında az da olsa bir düşüş görülmüştür. Saf dizel ile D80AŞY20 yakıtının artış hızları yaklaşmıştır.

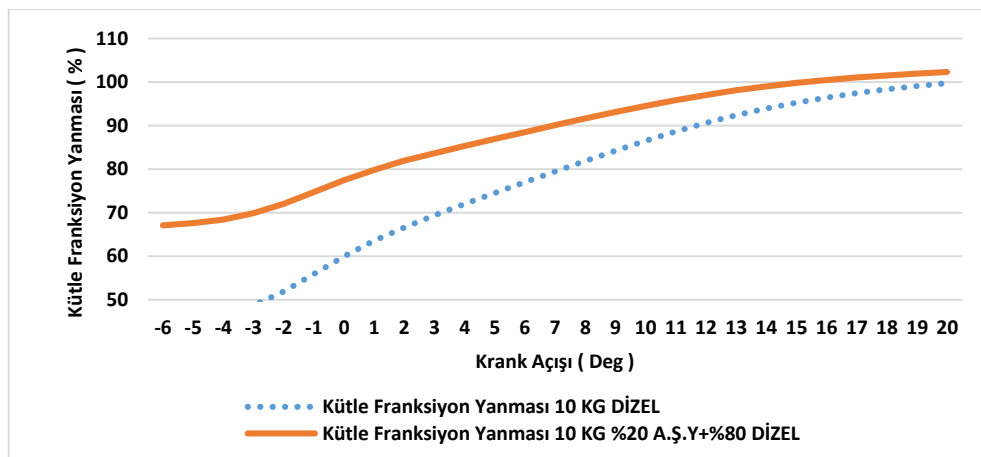
7.5 kg yük altında kütleli yanma oranı motor testi Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kütleli yanma oranı (7,5 kg)

7.5 kg yük altındaki testin başlangıç, son değerleri, artış hızları gibi iki yakıtın karakteristikleri 5 kg yük altındaki ile aynı çıkmıştır. Farklılaşma olmamıştır. Bir diğer ifadeyle yükteki artışın kütleli yanma oranı üzerinde etkisi olmamıştır.

10 kg yük altında kütleli yanma oranı motor testi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kütleli yanma oranı (10 kg)

10 kg yük altında dizel yakıtın yanma oranı başlangıç değerinde değişim olmamıştır. Fakat %50 yanma oranına -3 krank açısında ulaşmıştır. Yüksüz durumda %50

yanma oranına 4.5 krank derecesinde ulaşılmıştır. Bu yönüyle ilginçtir. D80AŞY20 yakıtının yanma oranındaki artış dizel yakıtı göre daha yüksektir.

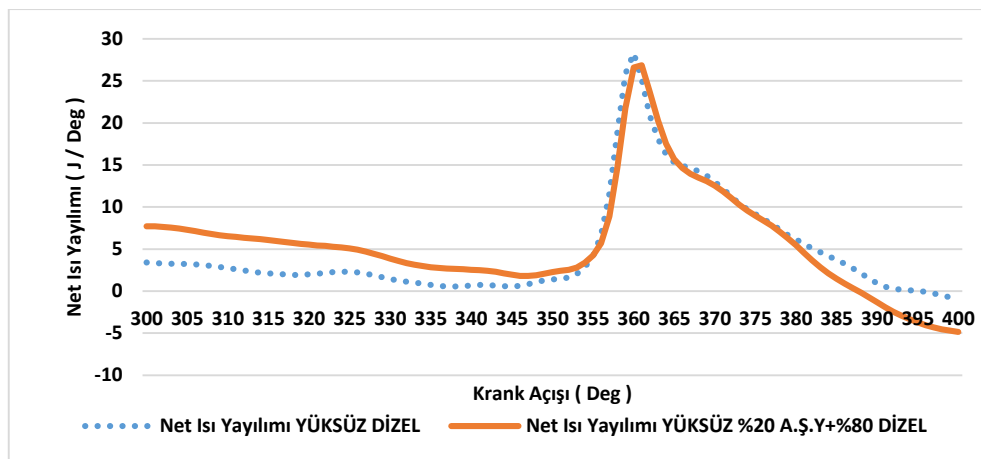
Kütlesel yanma oranı için bir diğer önemli gösterge de yanmanın ne kadar hızlı gerçekleştiğini göstermesidir. Baskar ve Senthil Kumar (2017) ve Maawa ve ark. (2019) çalışmalarında dizel yakıtı göre karışımların %100 yanma oranına ulaşma hızı daha yüksektir. Fakat çalışmamızda bu durum iki yakıtta aynı zamanda %100 seviyesine ulaşmıştır. Düşük yüklerde karışım için yanma viskozite, buharlaşma kaynaklı etkilerle geçikmeli başmakta sürecin tamamlanması dizel yakındır. Yükleme arttıkça gelişim süre yakıt tüketimi ve reaksiyon hızının artışıyla benzerliği artmaktadır.

4.1.4. Net Isı salınım

Bir çevrim sürecinde toplam ısı salınımı kümülatif ısı salınımı veya sadece ısı salınımı olarak isimlendirilir. Kümülatif ısı eğrisi yanma oluşumu için önemli bir göstergedir. Buharlaşma ve karıştırma özellikleri yanısıra ayrıca dizel çevrimde sıvı yakıtların alev özelliklerinden etkilenir.

Dizel yakıtında yanma başlangıcının erken gelişmesi karışım yakıtın setan sayısından daha yüksek olması ile açıklanmaktadır.

Yüksüz durumda net ısı salınım motor testi bulguları Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

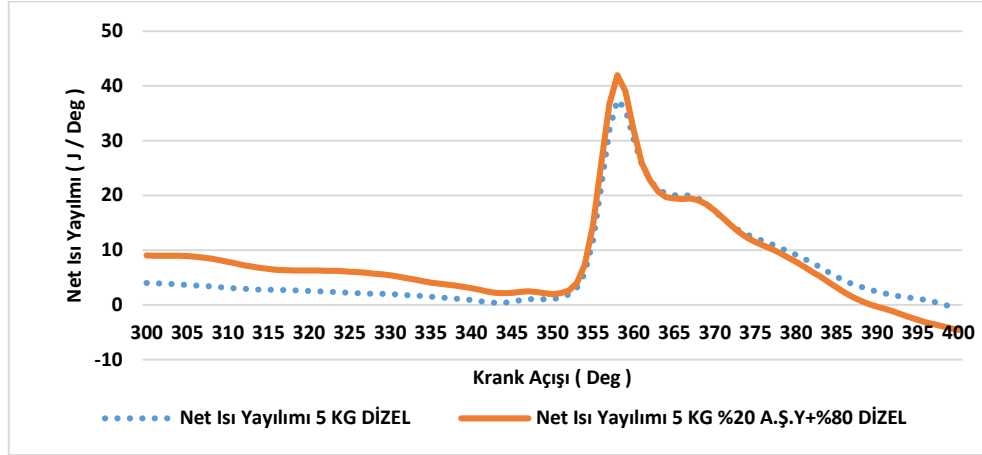


Şekil 4.13. Net Isı salınımı (Yüksüz)

Yüksüz durumda net ısı salınım incelendiğinde, başlangıç değerleri D80AŞY20 için 4 J/Deg ve dizel için 8 J/Deg'dir. 352 krank açışına kadar net ısı salınım açısından

D80AŞY20 yakıtı dizele göre daha düşük çıkmıştır. Dizel yakıt için tepe noktası 27 J/Deg iken D80AŞY20 için tepe noktası 26 J/Deg'dir. Dizel yakıtın maksimum değeri D80AŞY20 maksimum değerinden yüksek bulunmuştur.

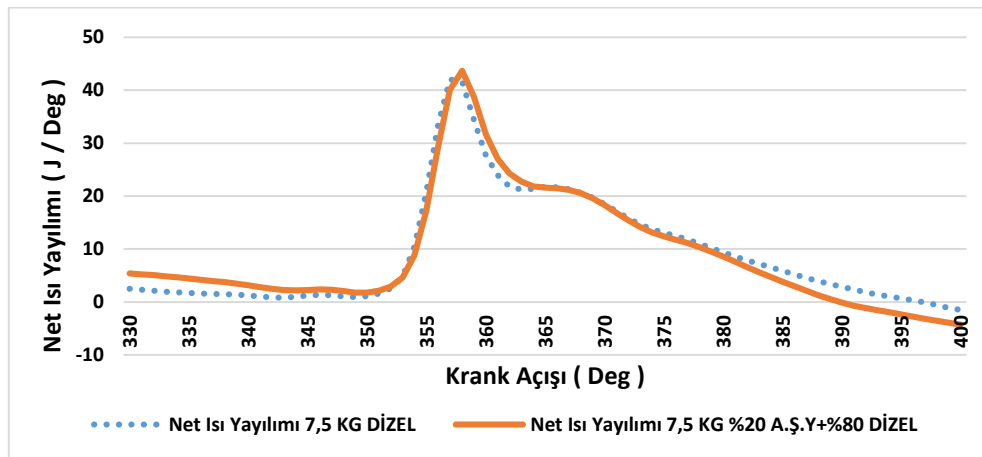
5 kg yük altında net ısı salınım motor testi bulguları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Net Isı salınımı (5 Kg)

Yüksüz duruma göre iki yakıtın karakteristiği benzerdir. Fakat net ısı salınımı başlangıç ve tepe noktası değerlerinde artış görülmüştür. Fakat tepe noktalarda yüksüz duruma göre farklılık görülmüştür. D80AŞY20 yakıtının tepe noktası 42 J/Deg iken dizel yakıtın tepe noktası 38 J/Deg'dir. Yüksüz durumun aksine D80AŞY20 yakıtının maksimum değeri dizel yakıtın maksimum değerinden yüksektir.

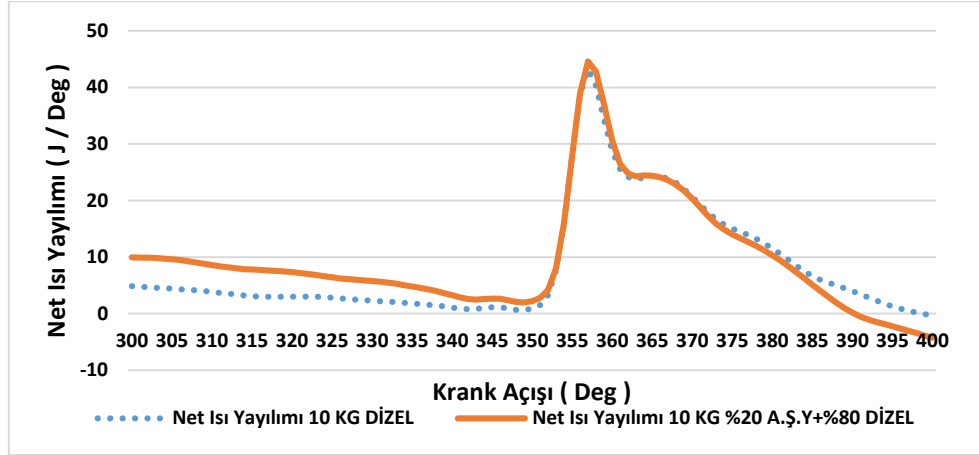
7.5 kg yük altında net ısı salınım motor testi bulguları Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Net Isı salınımı (7,5 Kg)

7.5 kg yük altındaki net ısı salınım test bulguları incelendiğinde, tepe noktalarda artış görülmüştür. 5 kg yük altındaki testin bulgularına benzer şekilde D80AŞY20 yakıtının maksimum değeri dizel yakıtın maksimum değerinden yüksek çıkmıştır.

10 kg yük altında net ısı salınım motor testi bulguları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



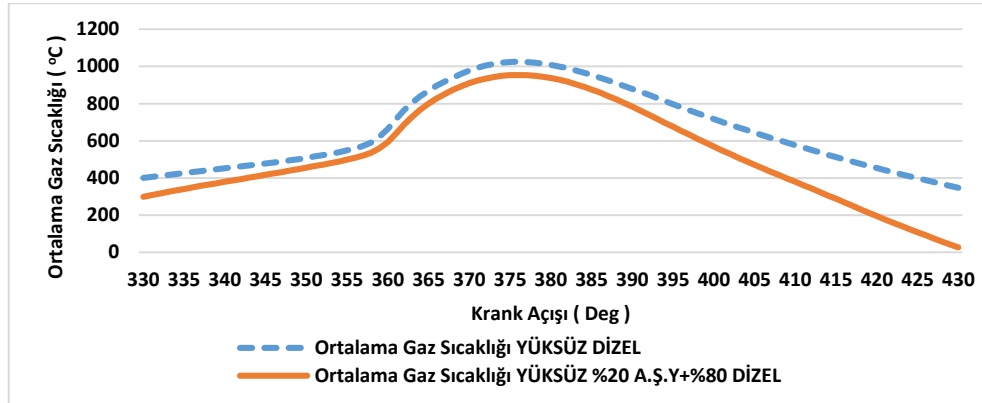
Şekil 4.16. Net Isı salınımı (10 Kg)

5 kg ve 7.5 kg yük altındaki test bulgularındaki başlangıç değerleri ile aynıdır. Benzer şekilde yine tepe noktası değerlerinde artış görülmüştür. Tepe noktası değerleri D80AŞY20 için 45 J/Deg ve dizel için 44 J/Deg'tir. Yine D80AŞY20 yakıtının net ısı salınımının maksimum değeri dizel yakıtın maksimum değerinden yüksektir. Yük artışıyla ısı transfer kayıplarının dizele oranla karışımli yanma için azalması, tutuşma gelişiminin gecikmesi, tepe sıcaklığı düşüşleri yanı sıra yüksek sıcaklık bölgelerini piston yüzeyinden uzakta tutulması ile cidar kayıplarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tutuşma noktaları karışım için daha geç olması, tutuşma gecikmesinin daha uzun olması karışımın düşük olan setan sayısına bağlanabilir.

4.1.5.Ortalama Gaz Sıcaklığı

İki yakıt türünün motor testlerinden birisi de ortalama gaz sıcaklığı testidir. Testten elde edilen bulgular Şekil 4.17-4.20'de gösterilmiştir.

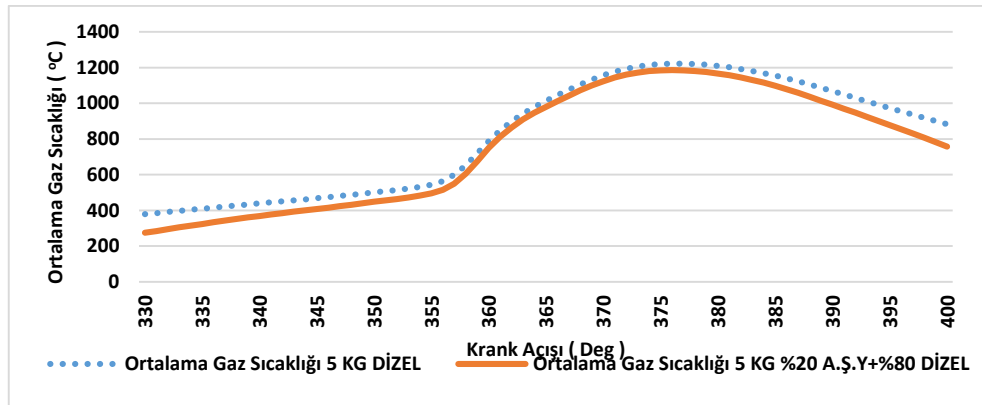
Yüksüz durumda ortalama gaz sıcaklığı bulguları Grafik 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Ortalama Gaz Sıcaklığı (Yüksüz)

Yüksüz durumda ortalama gaz sıcaklığında 375°’ye kadar sürekli artış görülmüştür. Bunun yanında dizel yakıtın ortalama sıcaklık değeri her zaman D80AŞY20 yakıtından yüksektir. 375°’den sonra D80AŞY20 yakıtının ortalama sıcaklık düşüş hızı dizel yakıtı göre daha fazladır. Tepe noktası değerleri dizel yakıt için 1100°C ve D80AŞY20 yakıtı için 960°C’dir.

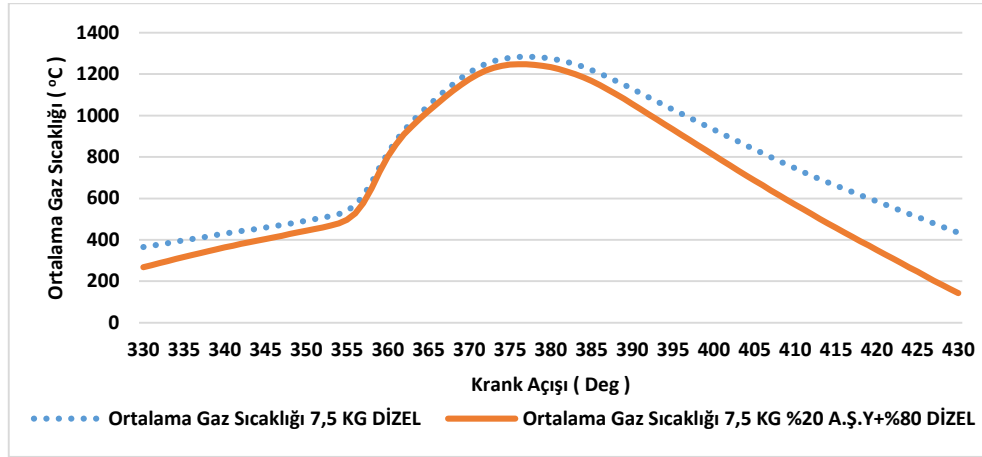
5 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığı bulguları Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Ortalama Gaz Sıcaklığı (5 Kg)

5 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığında 375°’ye kadar sürekli artış görülmüştür. D80AŞY20 yakıtının ortalama sıcaklık değeri 303°’ye kadar 0°C’nin altında olduğu görülmüştür. Bunun yanında dizel yakıtın ortalama sıcaklık değeri her zaman D80AŞY20 yakıtından yüksek çıkmıştır. Tepe noktası değerlerinde yüksüz duruma göre artış görülmüştür. Tepe noktası değerleri dizel yakıt için 1220°C ve D80AŞY20 yakıtı için 1190°C’dir.

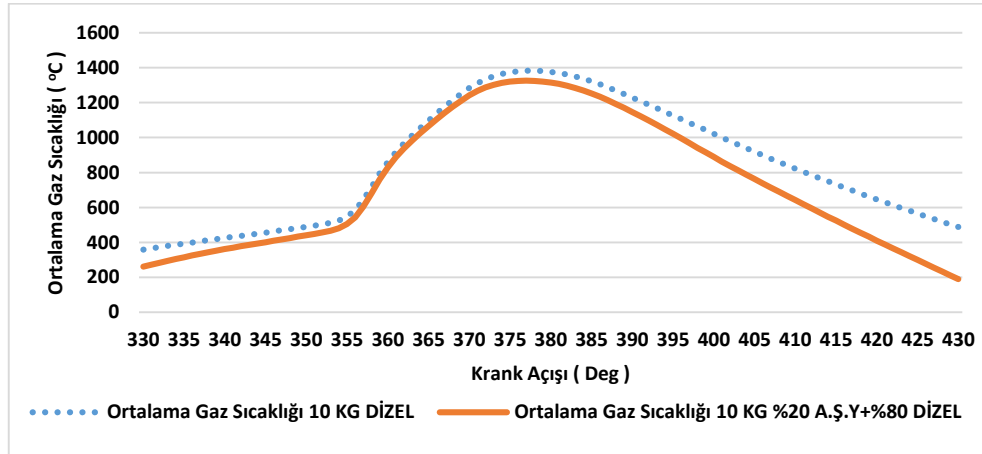
7.5 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığı bulguları Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Ortalama Gaz Sıcaklığı (7,5 Kg)

7.5 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığında D80AŞY20 yakıtının ortalama sıcaklık değeri 303°'ye kadar ve dizel yakıtın ortalama sıcaklık değeri 274°'ye kadar 0°C'nin altındadır. Tepe noktası değerlerinde yüksüz duruma göre artış görülmüştür.

10 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığı bulguları Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Ortalama Gaz Sıcaklığı (10 Kg)

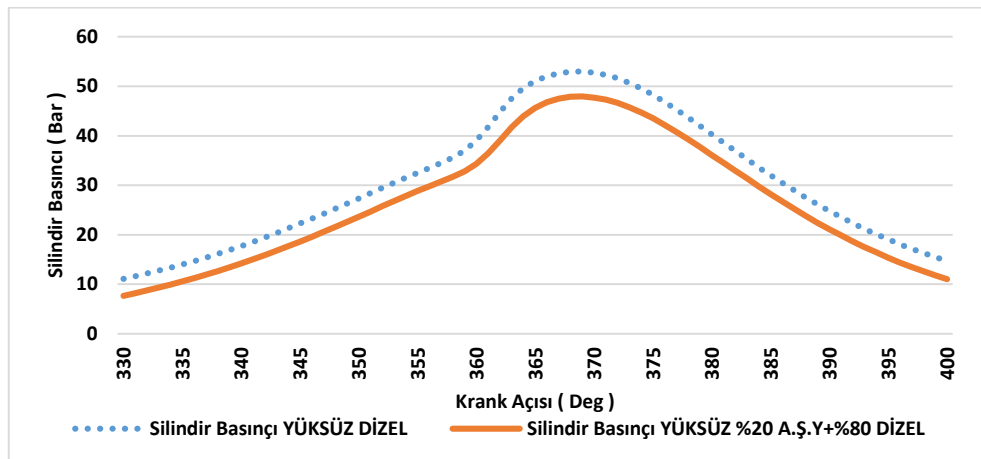
10 kg yük altında ortalama gaz sıcaklığında 375°'ye kadar sürekli artış görülmüştür. Bunun yanında dizel yakıtın ortalama sıcaklık değeri her zaman D80AŞY20 yakıtından yüksek olduğu görülmüştür. Tepe noktası değerlerinde yüksüz duruma göre artış görülmüştür. Tepe noktası değerleri dizel yakıt için 1390°C ve D80AŞY20 yakıtı için 1350°C'dir. Yük miktarı arttıkça ortalama sıcaklık değerinde artış her iki yakıtta da

görülmüştür. Karışım uygulamalarında dizele oranla alev sıcaklığının azaldığı, oksijen içeriğinin düşüklmesi ve uçuculuğuna bağlanabilir.

4.1.6. Silindir Gaz Basıncı

Silindir içi basınç, sıkıştırma ve genişleme strokları sırasında tüm yakıt türleri için aynıdır. Aksine, yanma strokunun gerçekleştiği zaman önemli bir fark vardır.

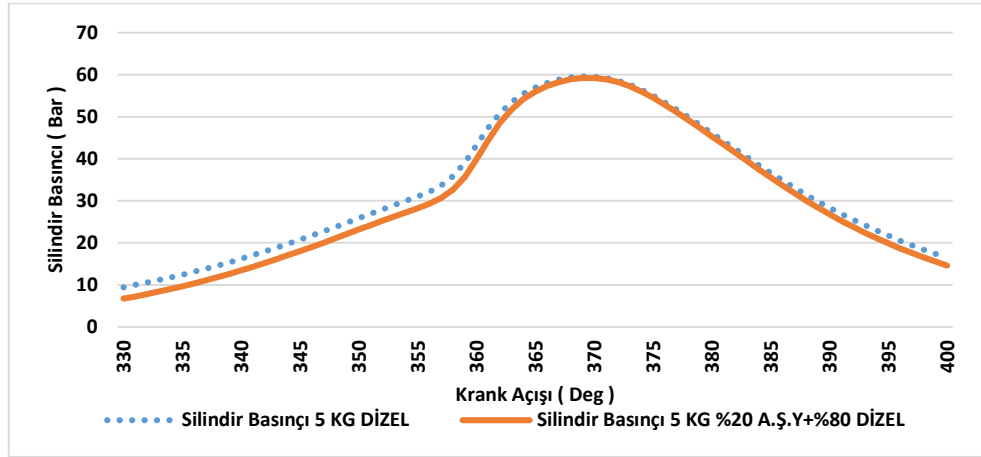
Yüksüz durumda silindir gaz basıncı bulguları Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Silindir Gaz Basıncı (Yüksüz)

Başlangıç silindir basınçları D80AŞY20 yakıtı için 8 bar iken dizel için 11 bar'dır. Dizel yakıtı dizel yakıtla karşılaştırıldığında, yüksüz durumda 360°de 33 bar'dan 52 bar'a artmıştır. Fakat D80AŞY20 yakıt 360°de 31 bar'dan 48 bar'a artmıştır. Dizel yakıtındaki silindir basıncı D80AŞY20 yakıttan her zaman fazladır.

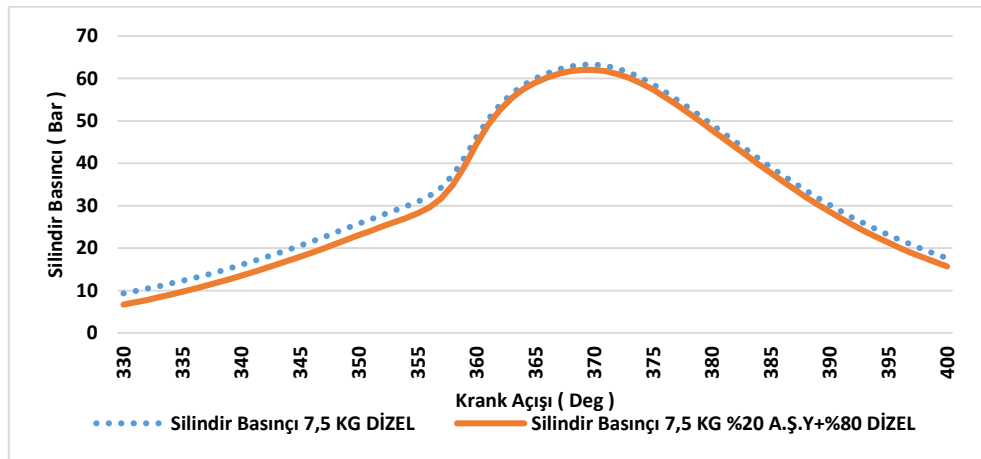
5 kg yük altında silindir gaz basıncı bulguları Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Silindir Gaz Basıncı (5 kg)

Başlangıç silindir basınçları yüksüz durumda benzer olmuştur. Fakat tepe noktası değerlerinde artış bulunmuştur. Ek olarak D80AŞY20 yakıtın tepe noktası değeri dizel yakıtı çok yaklaşmıştır. Fakat yine de dizel yakıttaki silindir basıncı D80AŞY20 yakıttan her zaman fazladır.

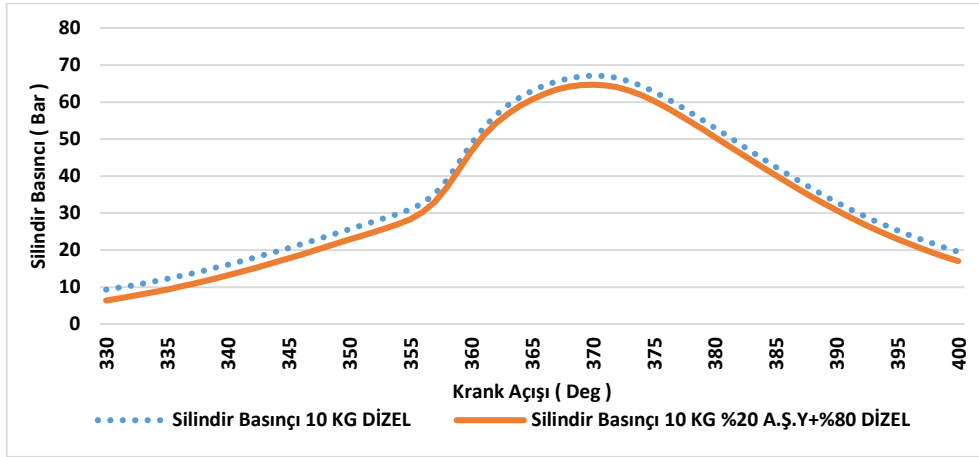
7.5 kg yük altında silindir gaz basıncı bulguları Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Silindir Gaz Basıncı (7,5 kg)

Başlangıç silindir basınçları yüksüz ve 5 kg yük altındaki durumlarla benzerdir. Fakat tepe noktası değerlerinde artış bulunmuştur. 5 kg altında yaklaşan tepe noktası değerleri 7.5 kg altında yine uzaklaşmıştır. 7.5 kg yük altında dizel yakıtın silindir basıncı daha fazla çıkmıştır.

10 kg yük altında silindir gaz basıncı bulguları Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Silindir Gaz Basıncı (10 Kg)

Başlangıç silindir basınçları diğer durumlarla benzerdir. Fakat tepe noktası değerlerinde yine artış bulunmaktadır. Yine dizel yakıtın tepe noktası değeri D80AŞY20 yakıtının değerinden daha yüksektir. Bu, karışım yakıtın yüksek oksijen içeriği ve setan sayısının katkısından kaynaklanmaktadır (Hoekman ve ark., 2012; Yusri ve ark., 2016). Sharonve ark. (2012), artan karışım yüzdesinin, bu çalışmaya benzer şekilde maksimum silindir basıncındaki artışı sağlayacağını bulmuşlardır. Görüldüğü üzere, yük artışıyla birlikte silindir basıncının tepe noktasında sürekli olarak artış görülmüştür.

4.2. Emisyon Testleri

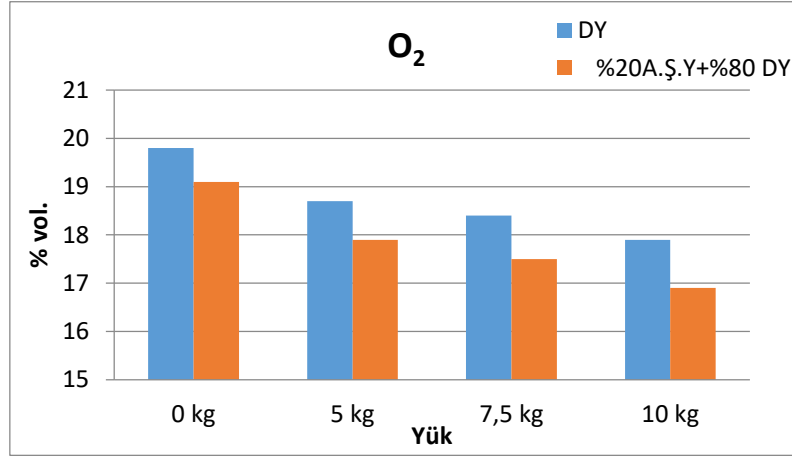
Bu başlık altında emisyon testleri sonucunda ulaşılan bulgular ve grafikler gösterilmiş ve gerekli yorumlar yapılmıştır.

4.2.1. Oksijen (O₂)

Oksijen emisyonu ölçümü egzozdan dışarıya atılan toplam havanın hacimsel yüzdesi şeklinde ölçülmüştür. Motorin olarak da adlandırdığımız Euro-diesel yakıt ile çalıştırılan test motorunun hızı artırıldıkça egzozdan attığı oksijen miktarı azalmaktadır. Buna sebep olan parametrenin yanma verimi olduğudur. Yanmada oksijen azlığı olduğunda karbon (C) yeterince yanmayıp hidrojen (H) ile birleşerek hidrokarbonları (HC) ve is oluşumuna sebebiyet verir. Hızartırıldığında birim zamanda yakılması gereken yakıt miktarı ve yanma tepkimesinde kullanılacak O₂ miktarı da artacaktır. Bu nedenle hız artışına bağlı olarak yakıt karışımında ihtiyaç duyulan oksijen miktarı artmış böylece

tepkimeye giren oksijen miktarı fazlalaşmıştır. Bu nedenle egzozdan dışarıya atılan O_2 'nin azaldığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada O_2 emisyonları verileri Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



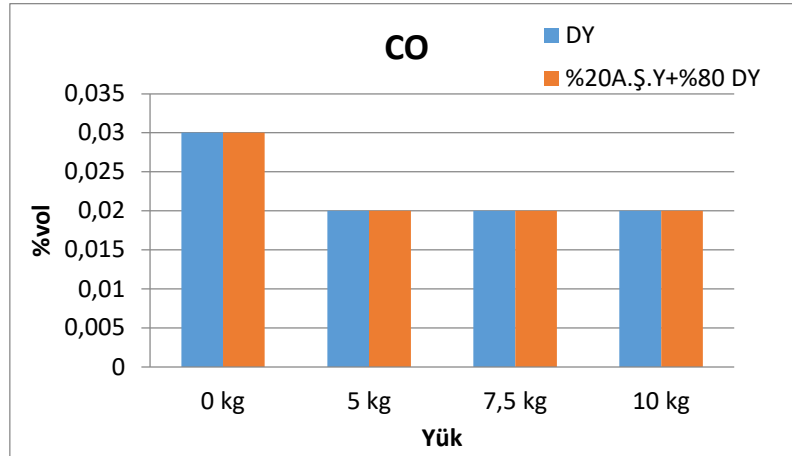
Şekil 4.25. O_2 emisyonu

Şekil 4.25'te egzoz gazıyla dışarı atılan O_2 miktarınağırlıklara göre değişimi yer almıştır. Dizel ve D80AŞY20yakıtlarının egzozdan attığı oksijen miktarı yük miktarı artışıyla ters orantılı çıkmıştır. Diğer bir ifadeyle, Yük miktarı arttıkça atılan O_2 miktarı azalmıştır. Buradan anlaşılabacağı üzere yanma veriminin iyigerçekleştiği söylenebilir.

4.2.2. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit (CO) insan vücuduna fazla alındığında hemoglobine yapışarakkanın oksijen taşıma kapasitesini azaltmaktadır. Temel yaşam organları olan beyin ve kalpte oksijen yetersizliği nedeniyle fonksiyon bozuklukları meydana gelir (Tekbaş ve ark. 2005). Bu sebeple taşıt egzoz atıklarında CO miktarının çok olması arzu edilen bir durum değildir.

Bu çalışmada CO emisyonları verileri Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



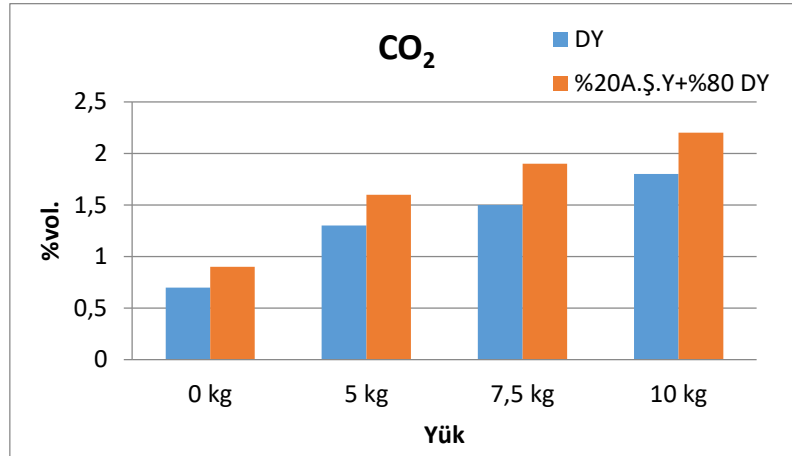
Şekil 4.26. CO emisyonu

Grafikte görüldüğü gibi yükün artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun iki yakıt için de azalmıştır. CO salınımı yüksüz durumda en fazladır. Diğer yük miktarlarında CO salınımı aynı miktardadır. Bunun yanında her iki yakıtında salınım miktarları aynı çıkmıştır. CO salınımı en yüksek 0.03 %vol iken diğer salınım miktarları 0.02 %vol'dür. Ancak bu iki yakıt örneğinde de emisyonlar kabul edilebilir düzeydedir. Yüksek sıcaklık, eksik hava ve eksik yanma düşük devirlerde CO miktarını artırmıştır. Bizim çalışmamızın aksine, Arpa ve ark. (2010b) çalışmasında dizel benzeri yakıtın CO emisyonu dizele göre yüksek olduğu kaydedilmiştir.

4.2.3. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit (CO₂) kokusuz, renksiz ve tatsızdır. CO₂ zehirli bir gaz olarak karşımıza çıkmamaktadır. %30 oranının üzerine çıktığında solunumu tıkamaktadır (Ayaz, 2003).

Bu çalışmada CO₂ emisyonları verileri Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. CO₂ emisyonu

Şekil 4.27’de görüldüğü üzere, İki yakıt türünde de ağırlık artışıyla birlikte CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Fakat D80AŞY20 yakıtının CO₂ emisyonun miktarı her ağırlık miktarında dizelden fazladır. Yük miktarı arttıkça artan hava hareketleri nedeniyle yanma daha iyi olmuştur. Ayrıca düşük yüklerde yanma daha iyi gerçekleşmiştir. Bu durumda CO miktarı azalırken ve CO₂’nin artmasına neden olmuştur. CO₂ emisyonların da artış olması yanmanın iyileşmesi ve bu nedenle daha çok CO’ in CO₂’e dönüşmüş olmasıyla açıklanabilir.

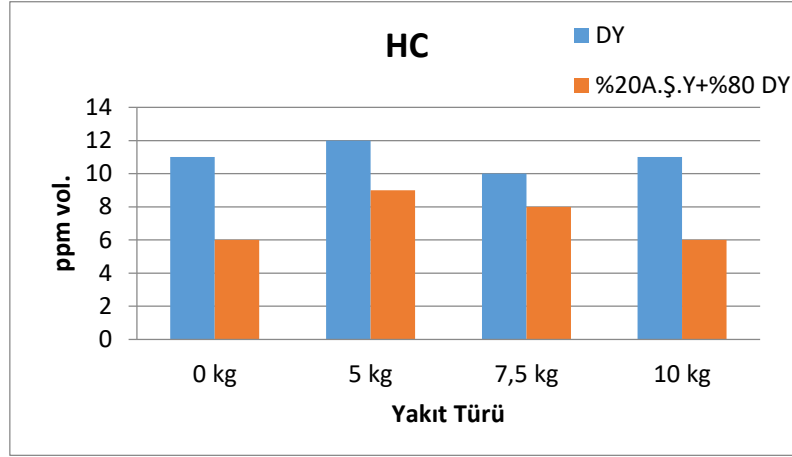
4.2.4. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar (HC) yanmanın istenilen ölçüde gerçekleşmediği düzensiz bir tepkimenin sonucu olarak ortaya çıkan yanmamış yakıt bileşenleridir. Egzozdan farklı biçimlerde çıkabilen bu bileşenlerin insan sağlığı üzerinde kanser gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır (Aydoğan, 2006).

İyi bir yanmanın gerçekleştiği silindirden dışarıya atılan karbon sayısında düşüş olması beklenirken kötü yanma sonucunda da egzozdaki karbon miktarının artması beklenir. Bununla birlikte HC miktarında da artış gözlemlenmesi beklenen bir durumdur. Dizel yakıtta HC miktarı daha fazladır. D80AŞY20 HC miktarı yönüyle dizele

göre daha verimli olmuştur. HC salınımı sadece 7.5 kg yük altında D80AŞY20 yakıt dizel yakıttan daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada HC emisyonları verileri Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. HC emisyonu

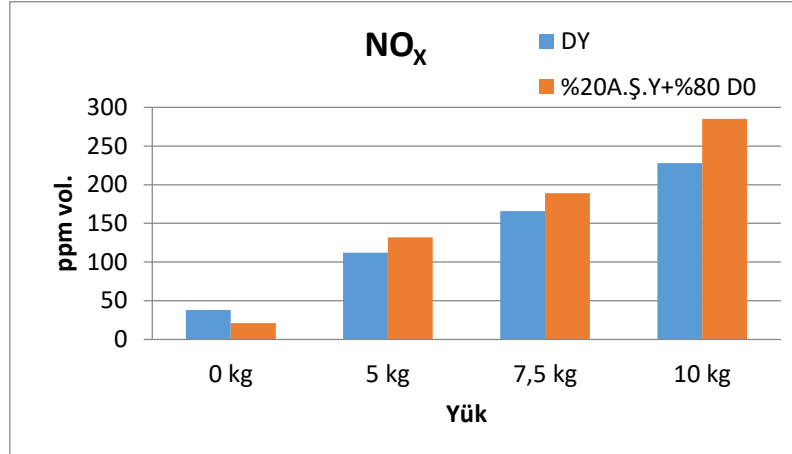
Şekil 5.28’e göre, HC emisyonlarının yüksek olmasının sebebi eksik yanma olduğu söylenebilir. Yakıtların yüksek HC emisyonu üretmesinin nedeni sıcaklığın düşük olmasına bağlı sönme bölgesi kalınlığının artması gösterilmiştir.

4.2.5. Azot oksitleri (NO_x)

Dizel yakıtla çalışan içten yanmalı motorlar benzinli motorlardan daha fazla NO_x oluşturmaktadır. Bunun temel sebebi dizel yakıtın yanma için daha fazla havaya ihtiyaç duymasıdır. Yanma esnasında yüksek sıcaklığın etkisiyle azot (N₂) ve oksijen (O₂) yüksek sıcaklıklarda birleşerek Azot oksitleri (NO_x) meydana getirmektedir. Benzin ile çalışan motorların atmosfere attıkları bir ton egzoz gazında 18.42 kg NO_x bulunmaktadır. Motorin ile çalışan motorlarda bu miktar bir tonda yaklaşık 123.71 kg’dır (İlkılıç ve ark.2009).

Arpa ve ark. (2010b) çalışmasında dizel benzeri yakıtların NO emisyonları dize göre yüksek çıkmıştır. Ağırlığın en çok olduğu anda NO_x değerleri en yükseğe çıkmıştır.

Bu çalışmada NO_x emisyonları verileri Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. NO_x emisyonu

Şekil 4.29’da azot oksitlerin NO_x emisyonlarına veriler gösterilmiştir. Grafik ele alındığında, bütün yük miktarlarında karışım yakıtın NO_x emisyonu dizel yakıttan çok daha fazladır. D80AŞY20 yakıtı incelendiğinde yük miktarının artırılmasıyla NO_x emisyonlarında doğru orantılı arttığı görülmüştür. Düşük devirlerde fazla yük ve eksik havadan dolayı kötü yanmagerçekleştiği söylenebilir. Yüke bağlı sıcaklık artışı NO_x miktarını artırmıştır.

Yakıtın buharlaşması, hava ile etkileşimi, viskozitesi, gibi özelliklerine bağlıdır. Bütün bu etkenler püskürtme avansına, tutuşma gecikmesine, ön yanmaya ve alev yayılımına netice olarak NO_x oluşumuna etki ederler.

4.3. Performans Parametreleri

Motor jeneratör grubundan enerji çekimi için eşdeğer ısıtıcı rezistans grupları kullanılmıştır.

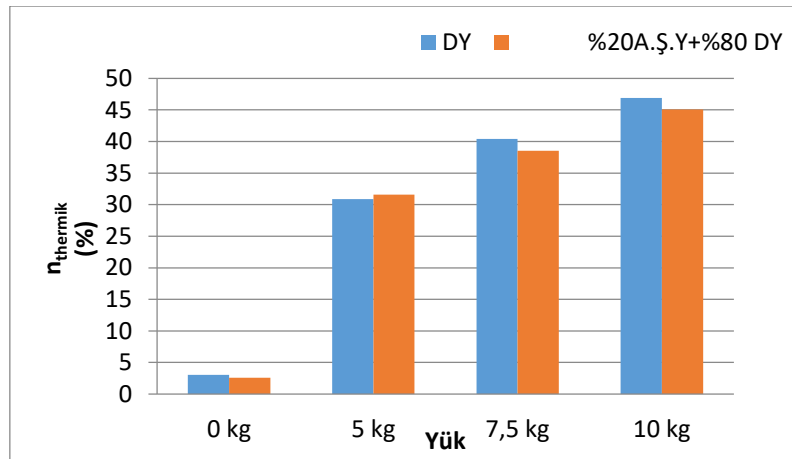
Deney düzeneğinde motor performans parametrelerinin belirlenmesi için yakıt tüketim değerleri hassas terazilerden alınmıştır. Bu amaçla yakıt değişimlerinde motor çalışma şartlarının istikrarlı hale gelmesi için en az 5 dakikalık bekleme süresi sonrasında 1 dakikalık yakıt tüketim değerleri belirlenmiş ve elde edilen ortalama değer aşağıdaki

formülle kg/h olarak yakıt tüketim değeri kabul edilmiştir. Bu uygulama ikili yakıt uygulamalarında toplam yakıt tüketim esas alınarak kullanılmıştır.

4.3.1. Termik verim (n_{termik})

Şekil 4.30'dan anlaşıldığı üzere, karışım yakıtın dizel yakıtı göre n_{termik} değerleri tüm yükler için birbirine çok yakın bulunmuştur. İki yakıt türünde de yüksüz durumdaki değerler diğer yüklerdeki n_{termik} değerlerine göre oldukça düşüktür. Ek olarak iki yakıtta da yük miktarı arttıkça n_{termik} değerleride artmıştır. Diğer bir ifadeyle aralarında doğru orantı bulunmuştur.

Bu çalışmada Termik verim değerleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Termik verim değerlerinin motor yakıtları için yüke bağlı karşılaştırılması

4.3.2. Yakıt Tüketim

Yakıt tüketim formülü aşağıdaki gibidir. Aşağıdaki formül kullanılarak iki yakıt türü için tüketim miktarları hesaplanmış ve Şekil 4.31'de gösterilmiştir.

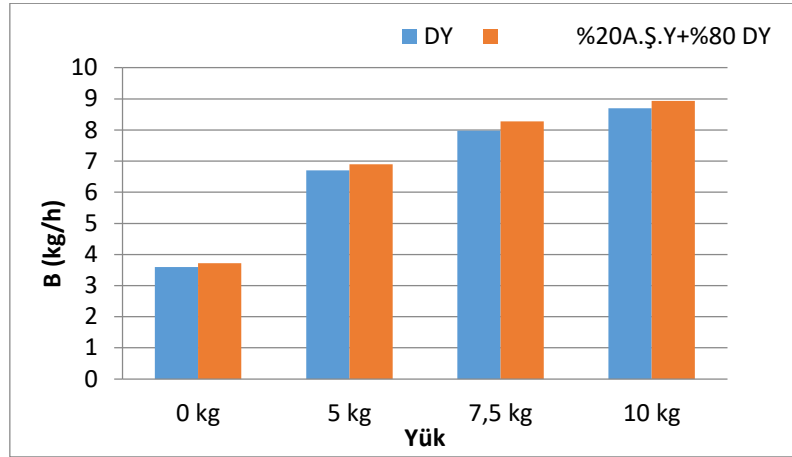
$$B = (m_y / t) * (60 / 1000) \text{ (kg/hr)} \quad (4.1)$$

m_y : ölçülen yakıt miktarı (gr)

t: zaman (dak)

B: yakıt tüketimi (kg/h)

Bu çalışmada Yakıt tüketim değerleri Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Yakıt Tüketimi

Şekil 4.31’de görüldüğü üzere, dizel ve karışım yakıtın tüm yük gruplarındaki tüketim miktarları çok yakındır. Fakat tüm yük türlerinde karışım yakıtın tüketim miktarı dizele göre biraz daha fazladır. Yakıt tüketimi yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisini ifade etmektedir. Aynı yük şartlarında karışım için ısı değeri düşüreceğinden yakıt tüketimi artar. Yük artışında yakıt ısı değeri değişmediği için yakıt tüketimi artar.

4.3.3. Özgül Yakıt Tüketim

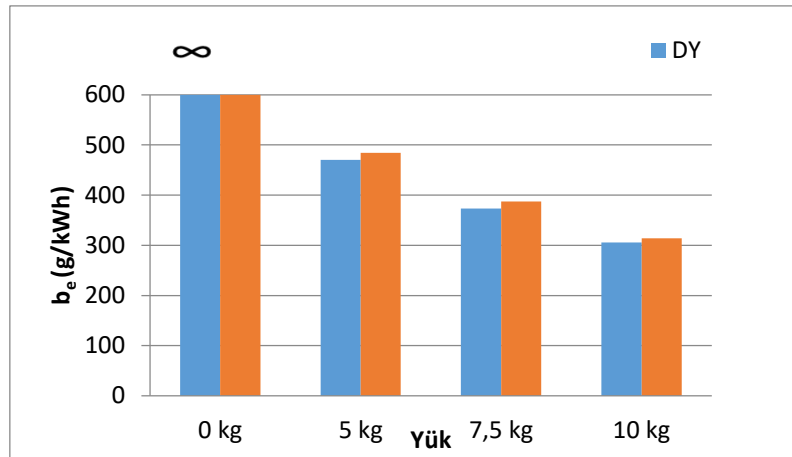
Özgül yakıt tüketimi; motorun stabil çalışma durumunda kWh’lik iş başına tüketmesigereken yakıtın gram cinsinden değeri (g/kW.h) olarak ifade edilmektedir. Özgül yakıt tüketim formülü aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Testten elde edilen verilerin gösterimi Şekil 4.32’te yer almıştır.

$$Pe = Md \cdot n \cdot 1,36 / 716,2 \quad (4.2)$$

Burada;

$$Pe = kW \quad n = \text{dev/dk.} \quad Md = \text{kg.m'dir}$$

Bu çalışmada Özgül Yakıt tüketim değerleri Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 4.32’de görüldüğü üzere, en yüksek özgül yakıt tüketimi yüksüz durumda kaydedilmiştir. Yük miktarı arttıkça özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Yani aralarında ters orantı gözlenmiştir. Bunun yanında karışım yakıtın özgül yakıt tüketimi dizele göre biraz fazladır. Özgül yakıt tüketimi motorlarda performans belirleme için önemli bir parametre olup, birim gücüneldesi için harcanması gereken yakıt miktarı olarak tanımlanabilir. B Karışımın kullanımında ısı değeri düştüğü için dizele oranla daha yüksek özgül yakıt tüketimleri söz konusudur.

4.3.4. Efektif Verim

Efektif verim; motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilmektedir. Efektif verim aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$n_e = (3,6 \cdot 10^6) / b_e \cdot H_u \quad (4.3)$$

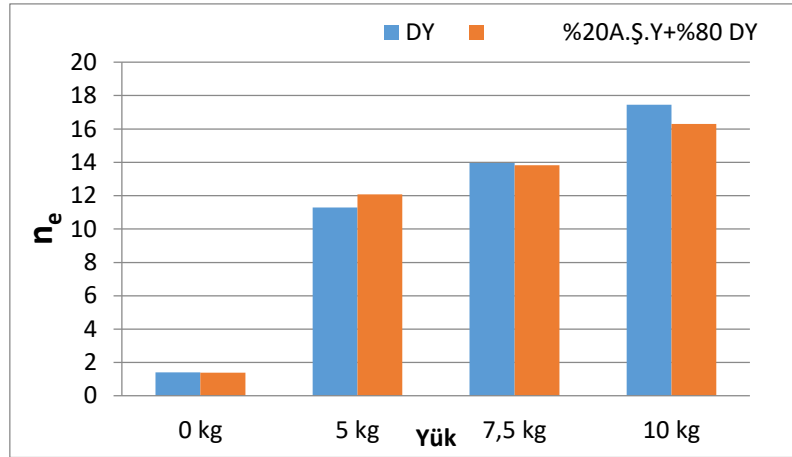
H_u : yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

Deneylerde kullanılan yakıtların ısı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan yakıtların ısı değerleri

Yakıt	Isıl Değer (kJ/kg)
Benzin	42700
Atık Şanzıman Yağı	41500

Bu çalışmada Efektif verim değerleri Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Efektif Verim

Şekil 4.33’te gösterilen verilere göre, iki yakıt türünde de yük miktarı arttıkça efektif verim artmıştır. Yüksüz durumdaki efektif verim yük altındaki durumlara göre oldukça düşüktür. Karışım yakıtın efektif verimi dizele yakın olmakla beraber yük artışıyla yanma sürecinin gelişimi, süresi ve ısı değere bağlı olarak kısmi düşüşler olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel araştırma neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Basınç artış hızı, yük miktarının artışıyla yakıt türlerinin değişim karakteristiğinin benzerliği artmıştır. Yük miktarı artışıyla birlikte basınç artış hızında da artış görülmüştür.
2. Yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınım, yakıtların içeriğine bağlı olarak farklılık göstermiştir. D80AŞY20 için kümülatif ısı salınım yük miktarı arttıkça sürekli olarak artmıştır. Fakat sürekli olarak dizel yakıttan düşük kümülatif ısı salınım değerine sahiptir. Bu durumun sebebi, emülsiyon haline getirilmiş karışımın düşük ısı içermesidir.
3. D80AŞY20 yakıtının kütle fraksiyon yanma oranındaki artış dizel yakıta göre daha yüksek çıkmıştır. Karışım için yanma vüskozite, buharlaşma kaynaklı etkilerle geçikmeli başmakta sürecin tamamlanması dizel yakıta yakın olup, yük arttıkça gelişim süresi, yakıt tüketimi ve reaksiyon hız artışıyla benzerliği artmaktadır.
4. Dizel yakıtın net ısı salınımı maksimum değeri D80AŞY20 maksimum değerinden yüksektir. Yük artışıyla ısı transfer kayıplarının dizele oranla karışımli yanma için azalması, tutuşma gelişiminin gecikmesi, tepe sıcaklığı düşüşleri karışımın düşük olan setan sayısına bağlanabilir.
5. Dizel yakıtın ortalama gaz sıcaklık değeri her zaman D80AŞY20 yakıtından yüksektir. Karışım uygulamalarında dizele oranla alev sıcaklığının azaldığı, oksijen içeriğinin düşük olması ve uçuculuğuna bağlanabilir.
6. Yük miktarının artmasıyla silindir basıncı artmaktadır. Karışım yakıtın ısı değeri dizele kıyasla düşük olması nedeniyle silindir basıncı D80AŞY20 yakıtta her zaman düşük kalmıştır.
7. Karışım yakıtın özgül yakıt tüketimi ısı değeri nedeniyle dizel yakıttan göre düşük seviyede fazla olduğu görülmüştür.
8. D80AŞY20 yakıt karışımının egzozdan attığı oksijen miktarının taşıdığı yükteki artışla ters olduğu tespit edilmiştir. Verimli bir yanmanın gerçekleştiği söylenebilir.

9. Yük miktarının artışıyla birlikte CO emisyonu karışım yakıt için azalmıştır.

10. Yük miktarının artmasıyla CO₂ emisyonu da dizel ve karışım yakıtlarda arttığı görülmüştür. Fakat dizel yakıtı göre karışım yakıtın CO₂ salınımı daha yksektr.

11. Hidrokarbonların (HC) istenilen düzeylerde yanma tepkimesine girdiği iinegzozdan tahliye olan O₂ ve HC miktarı dizel yakıtlara göre düşük çıkmıştır.

Atık şanzıman yağının fazla olması sebebiyle yakıt yerine kullanılması hem evre hem de yakıt ekonomisi için faydalı olacaktır. Yapılan alışmalar neticesinde, atık yağların oksijensiz ortamda ısı verilmesiyle kimyasında değişim sağlanabilir ve yeni bir yapıya kavuşturulması sağlanabilir. Anlatılan işlemlerin gerekli önlemler alındığında çevreye zarar vermediği bilinmektedir. Tüm bu işlemlerin yapılmasıyla atık şanzıman yağları enerji döngüsüne girmekte ve çevreye, içme sularına zarar vermemektedir.

KAYNAKLAR

- Abnisa F. and W. M. A. Wan Daud, “A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain a high-grade pyrolysis oil,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 71–85, Nov. 2014.
- Aboulkas, A. T. Makayssi, L. Bilali, K. El harfi, M. Nadifiyine, and M. Benchanaa, “Co-pyrolysis of oil shale and plastics: Influence of pyrolysis parameters on the product yields,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 96, pp. 209–213, Apr. 2012.
- Agarwal AK (2007) Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Prog Energy Combust Sci* 33:233–271
- Al-Ghouti MA, Al-Degs YS, Amer M (2008). Determination of motor gasoline adulteration using FTIR spectroscopy and multivariate calibration. *Talanta* 76:1105e12.
- Altuntaş Atakan (2006) Hardal Yağı Biyodizeline Depolama Süresi Ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arpa O, Recep Y, Zeki A (2010a). Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. *Fuel Process. Technol.* 91:1241- 1249
- Arpa O, Yumrutas R, Alma MH (2010b). Effects of turpentine and gasoline-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. *Energy* 35:3603-3613.
- Anonim(2015(a))“<https://www.mswmanagement.com/collection/article/13014762/six-waste-conversion-technologies-you-should-know>
- Anonim(2015(b)) “Basic Principles of Biochar Production - Biochar for Sustainable Soils.” [Online]. Available: <https://biochar.international/guides/basic-principles-of-biocharproduction/#introduction>.
- Anonim(2020) Biomass Technology Group BV, “Torrefaction.” [Online]. Available:<http://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction>.
- Aşır, M., 2009. Bazı Kaliksaren Türevlerinin Atık Madeni Yağların Geri Kazanımında Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aydoğan, H. (2006). Dizel Motorlarında Çeşitli Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinin EgzozEmisyonlarına Etkilerinin Deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Ayaz, M. E. (2003). Hacıali ve Karayün (Sivas) Çevresinin Jeolojisi ve

Doğal Karbondioksit Potansiyeli. FÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(4), 523-538.

Baskar P and Senthil Kumar A 2017 Experimental investigation on performance characteristics of a diesel engine using diesel-water emulsion with oxygen enriched air Alexandria Engineering Journal 56 137-46

Basu, P. Biomass gasification, Pyrolysis and Torrefaction, Second Edi. 2013.

Benjumea, P., Agudelo, J., Agudelo, A., “Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends”, Fuel, 87:2069-2075, (2008)

Bosch (2005) Emissions-control technology for diesel engines. Robert Bosch GmbH, Germany

Bridgwater, T. Biomass for energy, J. Sci. Food Agric. 86 (2006) 1755–1768.

Burtscher H (2005) Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. Aerosol Sci 36:896–932

Charlton S. J., “US Perspective on Engine Development” SAE Heavy-Duty Diesel Emissions Control Symposium, 2007

Chen, B., X. Han, M. Mu, and X. Jiang, “Studies of the Co-pyrolysis of Oil Shale and Wheat Straw,” Energy & Fuels, vol. 31, no. 7, pp. 6941–6950, Jul. 2017.

Chong JJ, Tsolakis A, Gill SS, Theinnoi K, Golunski SE (2010) Enhancing the NO₂/No_x ratio in compression ignition engines by hydrogen and reformat combustion, for improved after treatment performance. Int J Hydrog Energy 35:8723–8732

Correa SM, Arbilla G (2008) Carbon only emissions in diesel and biodiesel exhausts. Atmos Environ 42:769–775

CONCA WE (1985) Health Aspects of Petroleum Fuels. Potential Hazards and Precautions for Individual Classes of Fuels (Report No. 85/51), The Hague, pp. 23-29, 47

Cumali I, Hüseyin A (2011). Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine. Fuel Process. Technol. 92:1129-1135.

Cummins, C. L., “Internal Fire”, Society of Automotive Engineers, 1989

Demers D, Walters G (1999) Guide to exhaust emission control options. BAeSAME, Bristol

Dhariwal HC (1997) Control of blowby emissions and lubricating oil consumption in I.C. engines. Energy Convers Manag 38:1267–1274

- Diaz-Sanchez D (1997) The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease. *Allergy* 52:52–56
- Dukek, W.G. (1978) Aviation and other gas turbine fuels. In: Grayson, M., ed., *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., Vol. 3, New York, John Wiley & Sons, pp. 328-351
- Ecke H, Svensson M. Mobility of organic carbon from incineration residues. *Waste Manage* 2008;28:1301–9.
- Englert N (2004) Fine particles and human health—a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett* 149:235–242
- Faiz A, Weaver CS, Walsh PW (1996) Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions. The World Bank, Washington
- Glikin, P. E., “Fuel injection in diesel engines”, *Proceedings of IMechE*, Vol. 199, No D3, p 161- 174, 1985
- Grewe V, Dahlmann K, Matthes S, Steinbrecht W (2012) Attributing ozone to NO_x emissions: implications for climate mitigation measures. *Atmos Environ* 59:102–107
- Hacıkadıroğlu, H., “Bitkisel Yağ Esterleri-Motorin Karışımın Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 124s., (2007)
- Hiroyuki Y, Misawa K, Suzuki D, Tanaka K, Matsumoto J, Fujii M, Tanaka K (2011) Detailed analysis of diesel vehicle exhaust emissions: nitrogen oxides, hydrocarbons and particulate size distributions. *Proc Combust Inst* 33:2895–2902
- Hoefl I, Steude K, Wrage N, Veldkamp E (2012) Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland. *Agric Ecosyst Environ* 151:34–43
- Hoekman SK, Robbins C (2012) Review of the effects of biodiesel on NO_x emissions. *Fuel Process Technol* 96:237–249
- Hoekman S, Broch A, Robbins C, Cenicerós E and Natarajan M 2012 Review of biodiesel composition, properties, and specifications vol 16
- Huang, H, Yuan, X., Recent progress in the direct liquefaction of typical biomass, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2015, 49, 59-80.
- Huddleston N (2012) Climate change: evidence, impacts and choices. National Research Council

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Climate change 2007: synthesis report. Valencia, Spain
- İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., & Aydın, H. (2009). Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15.
- Kagawa J (2002) Health effects of diesel exhaust emissions-a mixture of air pollutants of worldwide concern. *Toxicology* 181–182:349–353
- Kampa M, Castanas E (2008) Human health effects of air pollution. *Environ Pollut* 151:362–367
- Kan A. General characteristics of waste management: a review. *Energy Educ Sci Technol Part A* 2009;23:55–69
- Keskin, A., “Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 147s., (2005)
- Khair MK, Majewski WA (2006) Diesel emissions and their control. SAE International. ISBN: 978-0-7680-0674-2
- Kittelson DB (1998) Engines and nanoparticles: a review. *J Aerosol Sci* 29(5–6):575–588
- Koç M, Sekmen Y, Topgul T, Yucsu HS (2009). The effect of ethanol/leaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a sparkignition engine. *Renew. Energy* 34:2101-2106.
- Krasulina, J. H. Luik, V. Palu, and H. Tamvelius, “Thermochemical co-liquefaction of Estonian kukersite oil shale with peat and pine bark,” *Oil Shale*, vol. 29, no. 3, p. 222, 2012.
- Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J (2005) Health effects of transport-related air pollution. WHO, Denmark
- Lane, J.C (1980) Gasoline and other motor fuels. In: Grayson, M., ed., *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., Vol. 11, New York, John Wiley & Sons, pp. 652-695
- Lee T, Park J, Kwon S, Lee J, Kim J (2013) Variability in operation-based NOx emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles. *Sci Total Environ* 461–462:377–385
- Levitus S, Antonov II, Boyer TP, Baranova OK, Garcia HE, Locarnini RA, Mishonov AV, Reagan JR, Seidov D, Yarosh ES, Zweng MM (2012)

- World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophys Res Lett* 39:l10603
- Lindström, M. (2011). Methods for Characterization of the Diesel Combustion and Emission Formation Processes. Doctoral thesis Department of Machine Design ISSN 1400–1179 Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Maawa W N, Mamat R, Najafi G, Ali O M and Aziz A 2019 Engine performance and emission of compression ignition engine fuelled with emulsified biodiesel-water IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 100 012061
- Mani M, ve Nagarajan G (2009). Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil. *Energy* 34:1617–1623.
- Maricq MM (2007) Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Aerosol Sci* 38:1079–1118
- Meyssignac B, Cazenave A (2012) Sea level: a review of present-day and recent-past changes and variability. *J Geodyn* 58:96–109
- Michael RA, Kleinman MT (2000) Incidence and apparent health significance of brief airborne particle excursions. *Aerosol Sci Technol* 32:93–105
- Olivier JGJ, Maenhout GJ, Peters JAHW (2012) Trends in global CO₂ emissions-2012 report. Netherlands Environmental Assessment Agency, Hague
- Onay O. and O. M. Kockar, “Slow, fast and flash pyrolysis of rapeseed,” *Renew. Energy*, vol. 28, no. 15, pp. 2417–2433, Dec. 2003.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) (2002) Strategies to reduce greenhouse gas emissions from road transport: analytical methods. OECD, Paris
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) (2011) Environmental outlook to 2050—climate change chapter
- Özen Fırat (2014) Kömür Ve Atık Pamuk Yağının Birlikte Pirolyzi İle Elde Edilen Sıvı Yakıtın Dizel Motorlarda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Payri F, Bermudez VR, Tormos B, Linares WG (2009) Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts. *Atmos Environ* 43:1273–1279
- Mahmut UYAR (2020) Atık Petrol Çamurlarından Dizel ve Benzin Benzeri Yakıt Üretimi ve Motorlarda Kullanımın Deneysel Olarak Araştırılması
- Perumal V and Ilangkumaran M 2018 Water emulsified hybrid pongamia biodiesel as a modified fuel for the experimental analysis of performance,

combustion and emission characteristics of a direct injection diesel engine
Renewable Energy 121 623-31

- PetDer (2018). Atık Motor Yağlarının Yönetim Projesi Faaliyet Raporu - 2018
<http://www.petder.org.tr/Uploads/Document/120224f1-583b-4655-a5d7-b44ebc20f431.pdf?v-637021544468508926> Erişim Tarihi [12.05.2020]
- Pickett, L.M., Siebers, D.L., (2004a) “Non-Sooting, Low Flame Temperature Mixing Controlled DI Diesel Combustion”, SAE Technical Paper 2004-01-1399
- Picket, L.M., Siebers, D.L., (2004b) “Soot in diesel fuel jets: effects of ambient temperature, ambient density, and injection pressure”, Combustion and Flame 138, p 114-123, 2004
- Picket, L.M., Siebers, D.L., “Soot formation in diesel fuel jets near the lift-off length”, International Journal of Engine Research, Vol 7, p. 103-130, 2006
- Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate (2012) Turn down the heat: Why a 4oC warmer world must be avoided. The World Bank, Washington
- Prakash Bamboriya, O. L. Singh Thakur, H. Parmar, A. Verma, and V. Kumar Hinge, 2019. A review on mechanism and factors affecting pyrolysis of biomass.
- Prasad R, Bella VR (2010) A review on diesel soot emission, its effect and control. Bull Chem React Eng Catal 5(2):69–86
- Raheman H and Kumari S 2014 Performance and Emissions of Emulsified Biodiesel Operated Diesel Engine. In: International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering, (Dubai, UAE
- Reşitoğlu, İ.A., Altinişik, K. & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Techn Environ Policy 17, 15–27.
- Ronsse, F., R. W. Nachenius, and W. Prins, “Carbonization of Biomass,” Recent Adv. Thermo-Chemical Convers. Biomass, pp. 293–324, Jan. 2015.
- Roy, P. ve Dias, G. Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 77 (2017) 59–69.
- Sarvi A, Lyyranen J, Jokiniemi J, Zevenhoven R (2011) Particulate emissions from large-scale medium-speed diesel engines: 1. Particle size distribution. Fuel Process Technol 92:1855–1861
- Sass, F. “Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918”, (In German), Springer, Berlin, 1962

- Saxena AK (2009) Greenhouse gas emissions—estimation and reduction. Asian Productivity Organization, India
- Sharma, R. K., Wooten, J. B., V. L. Baliga, X. Lin, W. Geoffrey Chan, and M. R. Hajaligol, “Characterization of chars from pyrolysis of lignin,” *Fuel*, vol. 83, no. 11–12, pp. 1469–1482, Aug. 2004.
- Sipra, A.T. Gao, N. Sarwar, H. (2018). Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts, *Fuel Process. Technol.* 175 (2018) 131–147.
- Stevens, J., An overview of biomass thermochemical liquefaction research sponsored by the U.S. Department of energy, 2000.
- Tighe CJ, Twigg MV, Hayhurst AN, Dennis JS (2012) The kinetics of oxidation of diesel soots by NO₂. *Combust Flame* 159:77–90
- Tillem, İ., “Dizel Motorları için Alternatif Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 60s., (2005)
- Tonini, S., Gavaises, M., Arcoumanis, C., Theodorakakos, A., “Prediction of Liquid and Vapor Penetration of High Pressure Diesel Sprays”, SAE Technical Paper 2006-01-0242
- US Navy (1985) Military Specification. Fuel, Naval Distillate (MIL-F-16884 H), Washington DC, US Government Printing Office
- Venderbosch R. and Prins, W. “Fast pyrolysis technology development,” *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 4, no. 2, pp. 178–208, Mar. 2010
- Venkataraman SV, Iniyan S, Goic R (2012) A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renew Sustain Energy Rev* 16:878–897
- Walker, K. “What is Pyrolysis?,” 2013. [Online]. Available: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=336>.
- Walsh MP (2011) Mobile source related air pollution: effects on health and the environment. *Encyclopedia of Environ Health* 3:803–809
- Wang X, Wasterdahl D, Jingnan H, Wu Y, Yin H, Pan X, Zhang KM (2012) On-road diesel vehicle emission factors for nitrogen oxides and black carbon in two Chinese cities. *Atmos Environ* 46:45–55
- World Health Organization (2007) Estimated deaths & DALYs attributable to selected environmental risk factors, by WHO member state. Department of Public Health & Environment
- Wu CW, Chen RH, Pu JY, Lin TH (2004) The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels. *Atmos Environ* 38:7093–7100

- Yang W, Nam H, Choi S. Improvement of operating conditions in waste incinerators using engineering tools. *Waste Manage* 2007;27:604–13.
- Yusri I M, Mamat R, Azmi W H, Najafi G, Sidik N A C and Awad O I 2016 Experimental investigation of combustion, emissions and thermal balance of secondary butyl alcoholgasolineblends in a spark ignition engine *Energy Conversion and Management* 123 1-14
- Zafar, S. “Biomass Pyrolysis,” 2009. [Online]. Available:
<https://www.altenergymag.com/article/2009/02/biomass-pyrolysis/502/>.
- Zheng M, Mulenga MC, Reader GT, Wang M, Ting DS, Tjong J (2008) Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel* 87:714–722

ÖZGEÇMİŞ