T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK YAĞLAMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN DİZEL BENZERİ YAKIT-MOTORİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Mahmut DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Aralık 2018

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Mahmut Demir tarafından hazırlanan "Atık Yağlama Yağlarından Elde Edilen Dizel Benzeri Yakıt-Motorin Karışımlarının Motor Performans Ve Egzoz Emisyon Değerlerinin Deneysel İncelenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı	İmzası
Başkan: Doç. Dr. HÜSEYİN AYDIN	
Üye: Doç. Dr. ATİLLA GENCER DEVECİOĞLU	
Üye: Dr. Öğr. Üyesi ORHAN ARPA	

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 27/12/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20....

Prof.Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Öncelikle tüm yoğunluğuna ve akademik görevlerine rağmen anlayışlı yaklaşımıyla tez çalışmama zaman ayıran, benden bilgi, birikim ve tecrübelerini esirgemeyen, bana yol gösteren, birlikte çalışmaktan onur duyduğum danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Orhan ARPA ’ya teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Meslek sevgisini aşılayan, ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim ve her danıştığımda tüm nezaketiyle bana yardımcı olarak mesafelerin bilgiyi ulaştırmaya engel olmadığını gösteren sayın Doç. Dr. İbrahim ATMACA’ ya teşekkür ederim.

Derslerini alırken ve projemi devam ettirirken çalışmalarımı izleyerek destek verip motive eden sayın Doç. Dr. Vedat ORUÇ, Dr. Öğr. Üye. Ömer Faruk CAN ve hoşgörülü tutumuyla yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU hocalarıma teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve bu günlere gelmeme vesile olan canım annem Ayişe DEMİR’ e sonsuz sevgi ve şükranlarımla teşekkür ederim. Son olarak, tanıştığım ilk günden bugüne kadar üzerimde emeği olan ve yüksek lisans yaptığım süre boyunca gösterdiği sabır ve manevi destekleriyle varlığını her daim yanımda hissettiğim sevgili eşim Hülya KOÇ DEMİR ’e özel teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2018, Diyarbakır

Mahmut DEMİR

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR		I
İÇİNDEKİLER		II
ÖZET		IV
ABSTRACT		V
ÇİZELGE LİSTESİ		VI
ŞEKİL LİSTESİ		VII
EK LİSTESİ		VIII
KISALTMA VE SİMGELER		IX
1.	**GİRİŞ**	1
1.1.	Dizel Benzeri Yakıt Elde Etme Yöntemleri	4
1.1.1.	Transesterifikasyon	4
1.1.2.	Mikro-Emülsiyon Oluşturma	5
1.1.3.	İnceltme	5
1.1.4.	Piroliz	5
1.2.	İçten Yanmalı Motorlarda Yanma	7
1.2.1.	Tutuşma Gecikmesi Periyodu	8
1.2.1.1.	Fiziksel Gecikme	8
1.2.1.2.	Kimyasal Gecikme	8
1.2.2.	Kontrolsüz Yanma Periyodu	8
1.2.3.	Enjeksiyon Kontrollü (denetimli) Yanma	9
1.2.4.	Ard Yanma Periyodu	9
1.2.	Dizel Yakıtlı Motorların Emisyonları	9
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**	11
3.	**MATERYAL ve METOT**	17
3.1.	Giriş	17
3.2.	Materyal	18
3.3.	Metot	19
3.3.1.	Dizel Motor Özellikleri ve Test Ünitesi	19
3.3.2.	Emisyon Ölçüm Cihazı Ve Özellikleri	22

3.3.3. Hassas Elektronik Terazi……..….... 26
3.4. Motor Performans Hesaplamaları.…….....…… 27
3.4.1. Güç…….....…….....… 27
3.4.2. Özgül Yakıt Tüketimi…….....…….....… 28
3.4.3. Ortalama Efektif Basınç…….....…….....… 28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA…….. 29
4.1. Motor Performans Testleri…….....……..... 29
4.2. Egzoz Emisyon Testleri.…….....…… 33
4.2.1. O_2 Emisyonu……...……...……...……... 34
4.2.2. CO Emisyonu……...……...……...……...……... 35
4.2.3. CO_2 Emisyonu……...……...……...……..... 36
4.2.4. NO Emisyonu……...……...……...…….. 37
4.2.5. NO_X Emisyonu……...……...…….....……... 38
4.2.6. HC Emisyonu……...……...…...……...……... 39
4.2.7. H_2S Emisyonu……..……...…...……...……... 40
4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı……..……...……...……... 42
5. SONUÇ VE ÖNERİLER…….…….….... 45
6. KAYNAKLAR……..... 47
EKLER……..... 53
ÖZGEÇMİŞ……... 56

ÖZET

ATIK YAĞLAMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN DİZEL BENZERİ YAKIT-MOTORİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut DEMİR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Endüstrideki hızlı gelişime bağlı olarak atıkların da hızlı bir şekilde arttığı ve çevreyi kirlettiği bilinmektedir. Bu atıkların çevre üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak için geri dönüştürme yapılmalıdır. Bunu yaparken de çevreyi kirletmemek gerekir. Bu amaç ile bir çalışma yapılmıştır. Atık yağlama yağlarından (AYY) pirolit distilasyon yöntemiyle elde edilmiş olan yakıt hacimce %20, %40 ve %60 oranlarında standart motorine katılarak dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Motorun torku, Özgül yakıt tüketimi ve güç gibi performans parametreleri ile azot oksitler (NO_X), karbon monoksit (CO), oksijen (O_2), hidrokarbonlar (HC) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi emisyon parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Böylece yakıt karışımlarındaki atık yağlama yağlarının etkisi incelenmiştir.

Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte dizel yakıt ile karşılaştırıldığında CO_2 emisyonlarının yakıt numuneleri için daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 2500 motor devrindeki %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve NO_X emisyonlarının dizel yakıta göre daha az olduğu görülmektedir. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı her devirde dizelden yüksek HC emisyonu üretirken %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında dizelden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.

Anahtar Kelimeler: NO_X, CO, HC, Egzoz Emisyonları, Motor Performansı.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSION VALUES OF DIESEL LIKE FUEL OBTAINED FROM WASTE LUBRICANT OILS-DIESEL FUEL BLENDS

MASTER THESIS

Mahmut DEMİR

DICLE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

2018

It is known that due to the rapid development in the industry, wastes are also rapidly increasing and polluting the environment. Recycling should be done to reduce the harmful effects of these wastes on the environment. Therefore, it is necessary not to pollute the environment. We performed a study in this aim. The diesel-like fuel was obtained from waste lubricating oils (AYY) by pyrolite distillation method is used as fuel in the standard diesel engine in 20%, 40% and 60% volume. Motor torque, power, specific fuel consumption, such as performance parameters with NO_X, CO, O_2, HC and H_2S emission parameters were examined experimentally. Thus, the effect of waste lubricating oils in the fuel mixtures was examined.

Due to increased engine speed, CO emissions are reduced for all fuel mixtures. CO_2 emissions compared to diesel fuel are lower for fuel samples. 40% diesel-like fuel - 60% diesel fuel mixture has been found that it has high emission values compared to diesel at 1000 rpm and 2000 rpm. It is seen that all nitrogen oxide emissions except emission of 20% diesel-like fuel - 80% diesel fuel mixture fuel at 2500 engine speed are less than diesel fuel. The 40% diesel-like fuel - 60% diesel fuel mixture produces high hydrocarbon emissions from diesel at every cycle while the 20% diesel-like fuel - 80% diesel fuel mixture produces lower hydrocarbon emissions than diesel when the averages of all cycles are taken.

Keywords: NO_X, CO, HC, Exhaust Emission, Engine Performance.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	Ülkemiz İçin Madeni Yağların İthalatı, İhracatı ve Tüketim Miktarlarının Yıllara Göre Değişimi	3
Çizelge 1.2.	Dizel yakıt için Euro 6 egzoz emisyon değerleri	10
Çizelge 3.1.	Dizel yakıt ve dizel benzeri yakıtın özellikleri	19
Çizelge 3.2.	Test motorunun detaylı teknik özellikleri	22
Çizelge 3.3.	Egzoz gazı ölçüm cihazının detaylı teknik özellikleri	23
Çizelge 4.1.	Dizel ve dizel benzeri yakıtların hacimsel oranları	29

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Egzoz emisyonları	10
Şekil 3.1.	Arıtma ve damıtma sisteminin şematik diyagramı	18
Şekil 3.2.	Kontrol paneli	20
Şekil 3.3.	Motor test teçhizatının ve egzoz analiz cihazının şematik olarak gösterilmesi	21
Şekil 3.4.	Dizel test motoru ve dinamometresi	21
Şekil 3.5.	Testo 350 cihaz gövdesi	24
Şekil 3.6.	Testo 350 modüler baca gazı probu	24
Şekil 3.7.	Testo 350 kontrol ünitesi	25
Şekil 3.8.	Egzoz gazı ölçüm cihazı	25
Şekil 3.9.	Elektronik hassas terazi	26
Şekil 4.1.1.	DBY20	29
Şekil 4.1.2.	DBY40	29
Şekil 4.1.3.	DBY60	29
Şekil 4.1.4.	Dizel yakıt – Atık yağlama yağı (AYY) karışım oranlarına göre tork değişimi	31
Şekil 4.1.5.	Dizel yakıt- AYY karışım oranlarına göre güç değişimi	32
Şekil 4.1.6.	Dizel yakıt- AYY karışım oranlarına göre özgül yakıt tüketimi	33
Şekil 4.2.1.	Oksijen emisyonları grafiği	34
Şekil 4.2.2.	Karbon monoksit emisyonları grafiği	35
Şekil 4.2.3.	Karbondioksit emisyonları grafiği	36
Şekil 4.2.4.	Azot oksit emisyonları grafiği	37
Şekil 4.2.5.	Azot oksitleri emisyonları grafiği	39
Şekil 4.2.6.	Hidrokarbon emisyonları grafiği	40
Şekil 4.2.7	Hidrojen sülfür emisyonları grafiği	41
Şekil 4.2.8	Egzoz gazları sıcaklık grafiği	42
Şekil 4.2.9.	Egzoz gazları ölçüm noktası	43

EK LİSTESİ

Ek No		Sayfa
Ek 1.	Egzoz Gazı Emisyon Sınır Değeri	50
Ek 2.	Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlarla Teçhiz Edilen Araçlarda Kullanılacak Olan Piyasa Yakıtlarına İlişkin Çevresel Nitelikler	51
Ek 3.	Euro-6 Standartlarına Göre On-Board Diagnose (OBD) Sınır Değerleri	10

KISALTMA VE SİMGELER

AYY : Atık Yağlama Yağları

DBY : Dizel Benzeri Yakıt

DDS : Dakikada Devir Sayısı

DE : Doğrudan Enjeksiyon

DBY20 : %20 Dizel Benzeri Yakıt + %80 Dizel

DBY40 : %40 Dizel Benzeri Yakıt + %60 Dizel

DBY60 : %60 Dizel Benzeri Yakıt + %40 Dizel

KTY : Kullanılmış Trafo Yağı

LPY : Lastik Piroliz Yağı

OKG : Oksidatif Kükürt Giderme

PM : Partikül Madde

PPM : Milyondaki Partikül Sayısı

ÖYT : Özgül Yakıt Tüketimi

AB : Avrupa Birliği

cm^3 : Santimetreküp

CO : Karbon Monoksit

CO_2 : Karbon Dioksit

$Ca(NO_3)_2$: Kalsiyum Nitrat

HC : Hidrokarbon

HNO3 : : Nitrik Asit

g : Gram

kg : Kilogram

KOH : Potasyum hidroksit

KNO_3 : Potasyum Nitrat

NO_X	: Azot Oksitler
NaOH	: Sodyum hidroksit
nm	: Nanometre
MJ	: Megajoule
SO_2	: Kükürt Dioksit
SO_X	: Kükürt Oksit

1. GİRİŞ

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan, maddenin içinde yatan potansiyel veya kinetiksel gücün ışık ve ısı gibi farklı biçimler halinde ortaya çıkmasıdır. Enerji kaynaklarının üç temel grubu bulunmaktadır. İlki yenilenebilir enerji kaynakları, ikincisi ise nükleer enerji kaynaklarıdır. Bunlardan sonuncusu ve en popüler olanı fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağı güneştir. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, su, güneş enerjisi gibi kendisini yenileyebilen ve tükenmeyen olarak adlandırılan kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sera gazı salınımı yapmayan veya yaptığı sera gazı salınımı diğer enerji kaynaklarına göre çok az olan enerji kaynaklarıdır. Sera gazı salınımı açısından avantajlı olan bu enerji kaynaklarının dezavantajı her yerde ve her zaman üretilemiyor olmasıdır. Nükleer enerji kaynaklarından en fazla kullanılanı toryum ve uranyumdur. Nükleer enerji tesisi kurulum maliyetinin çok yüksek olması ve istenmeyen bir durumun oluşmasıyla çevresel felaketlere dönüşmesi yüzünden yaygın kullanılabilen bir enerji kaynağı değildir. Fosil enerji kaynakları ise; basınç, nem, sıcaklık ve zaman (milyonlarca yıl) etkisiyle canlı kalıntılarının karbon kökenli yakıtlara dönüşmesiyle oluşan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlı kaynakların büyük bir kısmı petrol ve türevi kaynaklar olup, artan dünya nüfusu ve sanayi ihtiyaçları göz önünde bulundurulunca bu kaynakların sınırsız olmadığı ve zamanla tükeneceği aşikârdır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkileri bilim insanlarını ve çevre bilimcileri farklı enerji kaynağı arayışına itmiştir. Çünkü bu yakıtların atıkları küresel iklim değişikliğini tetiklemekte ve solunan havanın kalitesini bozmaktadır. Araştırmacılar bu nedenlerden ötürü doğamızı kirletmeyen, ekonomik ve kullanımı kolay alternatif yakıt geliştirilmesi için veya doğaya atık olarak bırakılacak maddelerden enerji üretebilmek için çalışmalar yapmaktadır. Petrol kökenli yakıtların ve çevrenin hızla tükenmesi sorununa çözüm için alternatif yakıtlar konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Alternatif çözüm yöntemlerinden biri de atık maddelerin enerjiye dönüştürülmesidir.

Dizel motorlar, yüksek yakıt dönüşüm verimliliği, güvenilirliği ve sağlamlığı sayesinde en yaygın güç üretim birimleridir. Bu motorlar fosil yakıt olan motorin ile çalışırlar. Ancak alternatif enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgi, gelecekteki petrol rezervlerinin tükenmesi kaygısıyla yeni yakıt arayışları gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Gelecek nesillere ve canlı türlerine temiz bir yaşam alanı bırakmanın arayışını devam ettirmek gerekir.

Dizel yakıta (motorine) alternatif yakıt arayışları ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu biyodizelde yoğunlaşmış ve araştırmacılar konu ile ilgili birçok bitki yağı ile çalışmıştır. Bu bitkiler kolza, palm yağı, soya, ayçiçeği ve diğer bitkiler olarak çalışmacılar tarafından belirtilmiştir (Oğuz, H. ve ark (2012)). Kuşkusuz bu çalışmalar yeni yakıt arayışları için önemlidir. Biyodizelin ham maddeye bağlı oluşu ve temini konusunda yaşanan zorluklar yaygınlaşmasını geciktirmekle beraber maliyetini de artırmaktadır.

Dünyada artan nüfus ile beraber sanayileşme ve enerji talebi sürekli olarak artar. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkeler ve gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeni enerji kaynakları aramaktadırlar. İçten yanmalı motorlar tarafından büyük miktarda enerji tüketilmektedir. Şu anda, bu araçların ana enerji kaynağı petrol bazlı yakıtlar tarafından karşılanmaktadır (Cay ve ark. 2012). Petrole bağımlılığı azaltmak için kullanılabilecek alternatif enerji kaynağı olabilecek bazı maddeler vardır. Atık yağlar, plastikler, ağaçlar ve lastikler bunlardan bir kaçıdır. Ancak bunların direkt yakıt olarak kullanılması çevre ve canlı sağlığı açısından birçok olumsuz etkiye sahip olması sebebiyle arıtılmadan kullanılamazlar (Arpa ve ark. 2010). Atık yağlama yağları (AYY) önemli atık yakıt kaynakları arasında yer almaktadır. Petrol kaynaklarını korumak, çevreyi korumak gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır (Bhaskar ve ark. 2004). Dünyada her yıl milyarlarca galon atık yağlama yağı üretilmektedir. Atık duruma düşen motor yağları ve makinelerin mekanik parçalarında kullanılan yağların çevreye atılmadan enerjiye dönüştürülmesi canlı türlerinin sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir.

Atıl duruma gelmiş motor yağları direkt olarak çevreye atılmasının insanlara ve doğaya zarar verdiği birden fazla araştırmada yer almıştır. Motor yağlarının muhteviyatında içerdikleri kurşun gibi ağır metal olan bakır ve ayrıca halojenler gibi inorganik maddeler olduğu için bunların işlenmeden bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygun olmadığı vurgulanmıştır (Sakata ve ark. 1999, Mastral ve ark. 2000, Bhaskar ve ark. 2004,).

İnsan ve canlı yaşamına bu denli zarar veren motor yağlarından oluşan atıkların doğru yöntemlerle yok edildiğinde hem zararlı etkileri ortadan kaldırılmış olur hem de enerji olarak fosil yakıtlar yerine kullanılabileceği düşünülmektedir. Öte yandan mevcut atıkların ve gün geçtikçe oluşmakta olan yeni atıkların da çevreye zarar verilmeden

bertaraf edilmesi gerekliliği göz önüne alınırsa yeni çalışmalara hız vermek gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda bir çalışma yapma gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Atık yağlar ile ilgili dünyada her yıl farklı kuruluşlar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde bu türden çalışmalara sahip olan dernek PETDER 'dir.Petrol sanayi derneğinin (PETDER) 2016 yılında atık motor yağlarının yönetimi projesi faaliyet raporunda yer alan bilgilere göre 2015 senesinde 432.000 ton miktarında Türkiye 'de madeni yağ tüketimi gerçekleşmiştir. Bu rakam 2016 senesinde %7,40 artmış ve 464.000 ton miktarında kayıtlara geçmiştir.

Çizelge 1.1. Ülkemiz İçin Madeni Yağların İthalatı, İhracatı ve Tüketim Miktarlarının Yıllara Göre Değişimi (Kaynak: TÜİK, TÜPRAŞ)

Baz Yağ (Ton/Yıl)	2013	2014	2015	2016	2017
Baz Yağ İthalatı	743.795	591.346	552.358	396.292	405.183
Madeni Yağ İthalatı	114.495	99.292	100.339	125.844	128.468
Katkı ve Müstahzar İthalatı	72.350	68.648	80.963	85.267	106.455
Rafineri Baz Yağ Satışı	154.291	119.697	126.460	128.760	176.964
Piyasaya Arz (X)	1.084.931	878.982	860.090	736.163	817.071
Baz Yağ İhracatı	3.858	3.264	4.626	842	6.657
Madeni Yağ İhracatı	174.070	165.457	139.684	140.450	152.324
Katkı ve Müstahzar İhracatı	13.695	4.979	5.146	5.591	7.809
Madeni Yağ Yurtiçi Satışı	416.000	417.000	432.000	464.485	477.635
Toplam Talep (Y)	607.623	590.699	581.456	611.368	644.424
Piyasaya Arz – Toplam Talep (X-Y)	477.308	288.283	278.634	124.794	172.647

Türkiye Madeni Yağ İthalat, İhracat ve Tüketim Miktarları çizelge 1.1.'de verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında önceki yıllarda toplam talepten daha fazla yağ piyasaya arz edilmiş olduğu görülmektedir. Alınan tedbirlerle bu farkın 2013 yılından 2016'ya kadar azaldığı TÜİK ve TÜPRAŞ verilerinden anlaşılmaktadır.

Dünyadaki enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmasına karşın mevcut fosil rezerv miktarı da azalmaktadır. Mevcut kaynakların tüketime oranı baz alındığında 40-50 yıllık gibi kısa bir zamandaki ihtiyacı karşılayacak miktarda petrol kaynağı olduğu sanılmaktadır (Batmaz 2007).

Bazı çalışmalara göre, ham petrolün yaklaşık 80 yıl, gaz yakıtın 150 ve kömürün 230 yıl yetecek rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, dünyanın dört bir yanındaki bilim insanları ve araştırmacılar, gelecek için yeni enerji kaynakları bulmak için çok çalışmaktadır. Aynı zamanda, geri dönüşümün veya atık malzemenin bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına izin veren yeni teknolojiler geliştirmeye çalışmaktadırlar (Al-Omari 2008).

İnsanoğlu üretim ve tüketiminin bir sonucu olarak doğaya bırakılan yapay yağların zararlarını en aza indirerek yok edebilmek önem arz etmektedir. Doğaya atık olarak bırakılan veya ısınma amaçlı tüketilen kullanılmış motor yağlarının çevresel zararlarını en aza indirmek gelecek canlı yaşamı ve insan nesilleri için önemi büyüktür. Bu amaçla kullanılmış olan motor yağının yakıta dönüştürülmesinden elde edilen dizel benzeri yakıt temin edilmiştir. Bu yeni yakıt ile dizel yakıt belli hacimsel oranlarda karıştırılarak motor performans testleri yapılmış ve egzoz emisyon ölçümleri alınmıştır.

1.1. Dizel Benzeri Yakıt Elde Etme Yöntemleri

Yağların yakıt olarak kullanılmasının önündeki büyük engel viskozitelerinin yüksek olmasıdır. Viskozitelerini düşürmek amacıyla yağları bazı işlemlere tabi tutmak gerekmektedir. Bunlardan biri ısıl işleme maruz bırakmak bir diğeri ise kimyasal işlem yapmaktır. Isıl yöntemi hareket halindeki bir araca uygulamanın zorluğu ve tehlikesinden dolayı kullanıma elverişli olan yöntem kimyasal yöntemdir. Kaynak araştırmaları yapılırken kimyasal yöntemin; transesterifikasyon, mikro-asıltı oluşturma, inceltme ve piroliz olarak adlandırılan dört kısımda incelendiği görülmektedir (Vellguth 1983, Ulusoy 1999, Srivastava ve Prasad 2000).

1.1.1. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, hayvansal veya bitkisel yağların alkol ile reaksiyona sokularak yakıt elde edilen bir yöntemdir. Yani bir biyo-yakıt elde etme yöntemidir.

Transesterifikasyon, alkolün bir katalizör varlığında yağ asitlerinin (bitkisel yağ) trigliseritleriyle reaksiyona girdiği kimyasal reaksiyondur. Ester ve gliserol oluşturmak için yağın alkolle geri dönüşümlü bir reaksiyonudur (Sinha ve ark. 2008). Transesterifikasyon reaksiyonu hem homojen hem de heterojen katalizörler ile katalize edilebilir. Homojen katalizörler, alkalileri ve asitleri içerir. En yaygın olarak kullanılan alkali katalizörler NaOH, KOH ve karbonatlardır. Bunlardan başka kullanılan sodyum

metoksit ve sodyum etoksit gibileri de vardır. Ayrıca sodyum bütoksit ve potasyum alkoksitlerde yaygın kullanıma sahip olan katalizörler sınıfında yer almaktadır. (Freedman ve ark. 1986, Muniyappa ve ark. 1996, Lang ve ark. 2001, Vicente ve ark. 2004). Çeşitli deneysel araştırmalar bitkisel yağların yakıt özelliklerinin transesterifikasyon ile geliştirilebileceğini göstermiştir (Sinha ve ark. 2008).

1.1.2. Mikro-Emülsiyon Oluşturma

Sıvı asıltı olarak da adlandırılabilen emülsiyon, birbiri içinde çözünmeyen iki sıvının karışımını ifade eder. Mikro-emülsiyon, iç içe karışmayan 1 ile 150 nanometre boyutlarında iki sıvının iyonik olarak kendiliğinden karışmasıyla elde edilir. Kimi zaman bu karışım iyonik değildir ama kolloidal bir yayılım olarak da kendiliğinden oluşmuş olabilir (Aksoy 2010). Mikro emülsiyon işleminde kullanılan organik madde alkoldür. Emülsiyondaki alkollerin setan sayısının az olması ve düşük sıcaklığa bağlı olarak ayrışma eğiliminin yüksek olması bu yöntemin dejavantajı olarak görülmektedir (Aydın 2007).

1.1.3. İnceltme

Atık yağların ve bitkisel yağların bir çözücü ile karıştırılarak seyreltilmesi olayıdır. Çözücü olarak dizel yakıt da kullanılabilmektedir. Karıştırılan çözücü sayesinde yağın viskozitesi düşürülmektedir (Aksoy 2010, Oğuz 2004). Yakıt miktarı azaldığından yakıt ekonomisi sağlanarak tek başına dizel yakıt kullanımına göre maliyet düşürülmüş olmaktadır.

Biyodizel üretiminde seyreltme yöntemiyle kullanılan hammaddeler kolza, yer fıstığı, ayçiçek yağı, atık yağlar ve bitkisel yağlardır (Srivastava ve ark. 2000, Oğuz 2004).

1.1.4. Piroliz

Yüksek moleküllü bileşiklerin düşük moleküllü bileşiklere dönüştürmek için bileşiğe yüksek sıcaklık verilen bir termokimyasal yöntemdir (Aksoy 2010). Atık yağlar kapalı bir kapta ısıtılarak veya standart damıtma ile ısıl işlem uygulayarak iki şekilde piroliz işlemi gerçekleştirilebilir. Bu işlem havasız ya da azot gazı varlığında yapılabilmektedir (Srivastava ve ark. 2000). Piroliz yöntemi, yakıt elde etme biçimlerinden en sık kullanılan ve daha çok bilimsel araştırmaya konu olması sebebiyle

çalışmamızda diğer yöntemlere göre daha çok yer verilmektedir. Hammaddenin içeriği, hammaddenin parçacık boyutu, basınç, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, reaktör, işlemin yapıldığı ortam ve işlem hızı gibi faktörler piroliz yöntemini etkilemektedir.

Birçok araştırmacı dizel motorlara uygun ürünler elde etmek için trigliseritlerin pirolizi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmalar, hidrokarbon bazlı dizel yakıtlarda bulunanlara benzer parafin ve olefinlerin elde edilmesine yönelik olarak, elde edilen ürünlerin türüne, katalizörlere, büyük ölçüde metalik tuzların kullanımına, termal ayrışma ürünlerinin karakterizasyonuna etkisini kapsamaktadır (Srivastava ve ark. 2000).

Farklı ülkelerde yakıt elde etmek için Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında farklı trigliseritlerin pirolizi kullanılmıştır (Lima ve ark. 2004). Çinde İkinci Dünya Savaşı sırasında hidrokarbon elde etmek için tung yağı pirolizi yöntemi kullanılmıştır (Chang ve ark. 1947). Bu hidrokarbonlar, şimdi kullanılan dizel petrolü elde etme sürecine benzer bir sistemde benzin ve dizel benzeri yakıt üretimi için hammadde olarak kullanılmıştır. O zamandan beri bitkisel yağ pirolizi üzerinde çeşitli kimyasal çalışmalar yapılmaktadır. Yakıt elde etmek için alternatif bir yöntem olarak görülen piroliz işlemi için çeşitli çalışmalar literatüre girmiştir (Alencar ve ark. 1983, Idem ve ark. 1996, Fortes ve ark. 1999).

Kok kömürü üretmek için uzun bir süreden önce piroliz yöntemi kullanılmaktadır. Üretilen kok kömürünün verimini arttırmak için sıcaklık düşük, reaksiyon hızı yavaş tutulmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalarla birlikte piroliz mekanizmasında değişiklikler yapılmıştır. Isıtma hızı ve reaksiyonlarda değişiklikler yapılarak katı,sıvı ve gaz bileşimlerinin verimleri değiştirilebileceği görülmüştür (Dandik 1996).

Yağların pirolizi 100 yılı aşkındır petrol kaynağı bulunmayan ülkelerde araştırılmaktadır. Pirolizin işlem süreci zorlu ve biraz da maliyetlidir. Ancak çalışılan ürünlerin atık yağlar olması sebebiyle yakıtın maliyetini düşürmektedir. Piroliz ile elde edilen ürünler benzin ve dizel yakıta kimyasal yönden benzemektedir (Zhenyi ve ark. 2004). Dizel yakıta olan benzerlik içten yanmalı motorlarda herhangi bir modifikasyon yapmadan kullanım olanağı sağlaması açısından önem arz etmektedir.

Hammaddelerin çeşitliliği ve işleme teknolojisine bağlı olarak, bileşim ve fizikokimyasal özellikleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Ayrıca AYY bazı zararlı ağır elementleri (Pb, Cr, Cd ve benzeri) içermektedir. Bu nedenle, piroliz yağlarının özelliklerine işleme alınmadan önce daha fazla dikkat edilmelidir. Bazı

araştırmalar, esas olarak diğer üretim yöntemlerine ve zararlı ağır elementlerin saptanmasına odaklanarak gerçekleştirilmiştir (Lam ve ark. 2012, Kim ve ark. 2013, Salem ve ark. 2015).

Kim ve Kim (2000), tarafından atık otomobil yağlama yağının kinetiği, deneysel olarak incelenmiştir ve matematiksel olarak modellenmiştir. Boru reaktör hacmi 39 mililitrelik olan deneyleri, 420-440 °C ve 5-50 dakika reaksiyon süreleri arasında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar için boru reaktörlerine 5 gramlık bir numune ilavesi yapılmıştır. Atık yağlama yağının pirolizi için %59 KNO_3 (potasyum nitrat) , %41 $Ca(NO_3)_2$ (kalsiyum nitrat)'ın ötektik tuzu kullanılmıştır. Mükemmel ısı transfer özelliklerine sahip erimiş bu tuz banyosu, atık ve yağlama yağının pirolizi için kullanılmıştır. Gaz verimlerinin (C1–C4) 20 dakika reaksiyon süresine kadar arttığını ve daha sonra deney sıcaklıklarında reaksiyon süresinde daha fazla artış ile azaldığını bildirmişlerdir (Kim ve ark. 2000).

1.2. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma

Yanma olayı en basit tanımı ile maddelerin oksijen ile yaptıkları reaksiyonlardır. Her kimyasal reaksiyonda olduğu gibi yanma sonucunda bir ısı ve enerji açığa çıkmaktadır. Yanma olayı için yanıcı madde (yakıt), yakıcı gaz (oksijen) ve tutuşma sıcaklığına eriştirecek bir ısıya ihtiyaç vardır. Yakıt ister katı yakıt (odun, kömür gibi) ister sıvı yakıt (petrol, alkol gibi) veya gaz yakıt (doğalgaz, biyogaz gibi) olsun içeriğinde değişik bağ şekillerinde ve değişik oranlarda C, O, H veya S elementleri vardır. Bu elementler oksijenle tepkimeye girerek yanma olayı gerçekleşmektedir. Yakıtın kimyasal enerjisinin ortaya çıkması sonucu sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazları genişler ve pistonları hareket ettirir. Böylece piston, biyel ve krank mili enerjiyi mekanik enerjiye çevirir. İçten yanmalı dizel motorlarda yanma işleminin periyotları vardır. Bu periyotlar ise şöyledir.

1- Tutuşma gecikmesi safhası
   a- Fiziksel gecikme
   b- Kimyasal gecikme
2- Kontrolsüz yanma safhası
3- Enjeksiyon kontrollü (denetimli) yanma safhası
4- Art (son) yanma safhası

Yakıtın enerjiye dönüşüm hızı tüm pistonlu motorlarda önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Çünkü çevrim verimliliğini kontrol eder. Genel olarak motorlardaki yanma (enerjiye dönüşüm) işlemi şöyle gerçekleşmektedir; Piston silindir içerisinde yukarı-aşağı ekseninde hareket eder. Bu hareket sırasında hızın anlık olarak sıfır olduğu bir ölü nokta bölgesi vardır. Eğer bu nokta pistonun üst tarafında ise üst ölü nokta alt tarafta ise alt ölü nokta olarak adlandırılmaktadır. Başka bir deyişle piston yukarıya çıkarken ulaştığı en üst nokta üst ölü noktadır, alttaki de alt ölü noktadır. Alt ölü nokta ile üst nokta arasında hareket eden pistonun aldığı mesafeye strok denilmektedir. Bu mesafenin silindir çapıyla çarpılmasıyla strok hacmi elde edilmektedir. Yanma odası hacmi ise pistonun üst ölü noktaya vardığı anda piston ile silindir kapağı arasında kalan ve yanmanın gerçekleştiği bölgenin hacmidir. Hava silindire çekilir ve sıkıştırılır ve sıkıştırma strokunun sonuna yakın bir yerde, yüksek basınç altında ve ince partiküller halinde yanma odasına yakıt püskürtülerek enjekte edilir. İyice sıkıştırılan yakıt buji ile ısıtılır ve yanma olayı gerçekleşir. Yanma iş zamanının sonucunda egzoz gazları dışarı atılır.

1.2.1. Tutuşma Gecikmesi Safhası

Yanma püskürtme işlemi başlar başlamaz vuku bulmaz. Yakıt silindir içine püskürtüldüğünde sıcak hava ile temas etmesiyle yakıt damlacıkları buharlaşmaya başlar ve gerçek yanmaya kadar bir süre geçer buna tutuşma gecikmesi periyodu denir. Bu periyot fiziksel ve kimyasal gecikme olarak ikiye ayrılır.

1.2.1.1. Fiziksel Gecikme

Yakıtın yanmaya hazır hale gelmesi sürecidir. Sıvı yakıtın piston içine girdikten sonra yanmaya hazır olana kadar geçen süreyi ifade eder.

1.2.1.2. Kimyasal Gecikme

Fiziksel gecikmenin ardından tutuşma anının başlamasından önceki ilk reaksiyonların gerçekleştiği süre olarak ifade edilebilir.

1.2.2. Kontrolsüz Yanma Safhası

Yanmanın başladığı andan basıncın hızlı bir şekilde artmaya başladığı noktadan en büyük basıncın oluştuğu noktaya kadar geçen zamana hızlı yanma safhası ya da gerçek enerjinin meydana geldiği yanma olarak tanımlanır.

1.2.3. Enjeksiyon Kontrollü (denetimli) Yanma

Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma adımına geçilir. Dizel yakıtının yanmasını oluşturan ana evre üçüncü sırada gerçekleşen kontrollü yanma veya diğer adıyla denetimli yanma safhasıdır. Buna difüzyon kontrollü yanma da denir. Bu evrede yakıtın buharlaşması ve bu buharının havayla karışma hızı yanmanın süresini etkilemektedir (Çelik 2015).

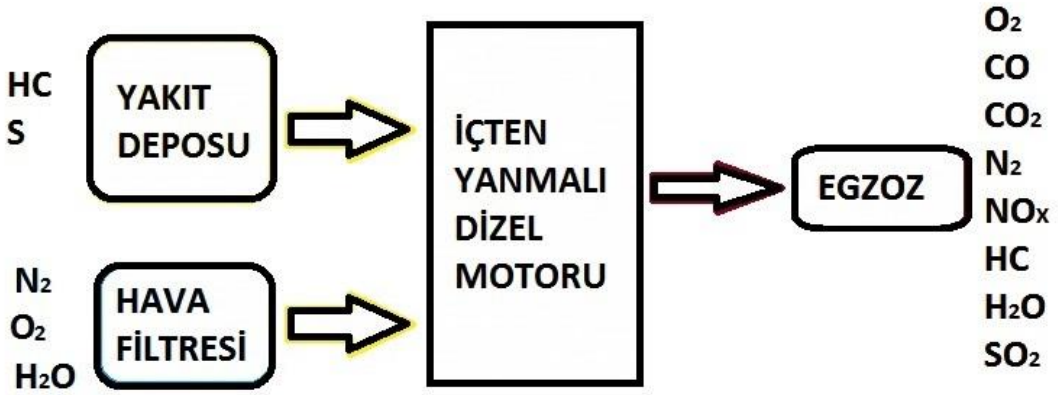
1.2.4. Art (Son) Yanma Safhası

Yanma püskürtme işlemi bittikten sonra da devam eder. Tepkimeye girmemiş ve yanma işlemi tamamlanmamış partiküller oksijenle teması sürdükçe tepkime devam eder. Bu evreye son yanma safhası denir.

1.3. Dizel Yakıtlı Motorların Emisyonları

Hava atmosferdeki gazlardan oluşmaktadır. Havanın canlılar açısından büyük bir öneme sahip olduğu bilinen bir olgudur. Bir insanın günlük tüketmesi gereken sıvı miktarı diyetisyenler tarafından çeşitli formüllerle kişiye özgü hesaplanmaktadır. Ancak bu değer bir gün için ortalama 2.5 litre olarak çıkmaktadır. Buna ek olarak 1.5 kilo besin tüketme ihtiyacı olan insanın günlük 10 ile 20 m^3 havaya ihtiyaç duyar. Hayatta kalabilme açısından değerlendirildiğinde açlık ve susuzluğa dayanmanın havasızlığa dayanmaya oranla çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Dünyamızın saf haldeki havası %78.04 oranında N_2, %20.94 oranında O_2, %0.93 oranında Ar, %0.03 oranında CO_2 ve geri kalan %0.039 oranında diğer gazlardan oluşur.

Atmosferdeki hava bileşimi insanlar tarafından gerçekleştirilen üretimler ve yapılan tüketimlerle her geçen gün daha fazla değişime uğrayarak kirlenmektedir. Hava kalitesinin bozulmasına sebebiyet veren ulaşım araçlarının egzoz salınımları küçümsenecek boyutlarda değildir. Bu nedenle AB çeşitli Euro standartlarıyla atmosferi kirleten bu gazlar için sınırlandırmalar getirmiştir. Motorinle çalışan motorların egzoz emisyonları Şekil 1.1 ‘deki şematik görselden de anlaşılacağı üzere HC (hidrokarbonlar) ve S (kükürt) yakıtın içinde yanma işlemine katılırken hava bileşenleri de hava filtresinden geçerek yanma odasındaki tepkimeye dahil olmaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki tepkimeler sonucunda da egzoz emisyonları oluşmaktadır.



Şekil 1.1. Egzoz emisyonları

Yanma işleminin sebebiyet verdiği egzoz gazı ürünleri CO, NO_X, HC ve Partikül maddedir (PM). Yakıt kaynaklı kirletici ise SO_2'dir. Dizel motorlarda en çok görülen emisyon NO_X 'dir (Alkaya ve Yıldırım 2000).

Egzoz emisyonlarıyla ilgili, ilk olarak 1968'de Kaliforniya'da bir düzenleme yapılmıştır. Daha sonra AB ülkelerinde sınırlamalar ve düzenlemeler getirilmiştir. Ocak 1992 yılında Euro 1 ile emisyon gereklilikleri başlamış olmakla beraber her geçen gün emisyon oranları azaltılmaktadır. Ülkemiz de bu kriterlere uymaktadır. AB 'deki ülkelerde Eylül 2014 itibariyle yürürlüğe konan yasalara göre, motorini yakıt olarak kullanan araçların kilometre başına aldıkları mesafede 80 ppm üzerindeki bir miktardaki azot oksit emisyonuna sahip olamaz. Euro 6 emisyon sınır değerleri aşağıdaki çizelgedeki gibidir.

Çizelge 1.2. Dizel yakıt için Euro 6 egzoz emisyon değerleri (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2012:1-3)

			Euro 6 Egzoz Emisyon Değerleri (dizel)			
	Referans Kütle (kg)		CO (ppm)	NO_X (ppm)	THC+ NO_X (ppm)	PM (ppm)
Binek araçlar	--		500	80	170	4.5
Hafif	1	m<1305	500	80	170	4.5
ticari	2	1305<m<1760	630	105	195	4.5
araçlar	3	1760<m	740	125	215	4.5

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fritz ve ark. (1998), 7.5 volta kadar kullanılan yağlama yağı ile harmanlanmış JP-8 ile beslenen iki ağır hizmet tipi dizel motorda egzoz emisyon testleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, CO veya NO_X emisyonlarında belirgin bir artış göstermemiştir ve motorda sadece HC, PM ve duman emisyonlarında kabul edilebilir düzeyde artışlar göstermiştir.

Tajima ve ark. (2001), kullanılmış yağlama yağı ve ağır yakıtın yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuçlar, kullanılmış kayganlaştırıcı yağın, nispeten kısa süreli ateşleme gecikmesini ve ağır yakıt yağından daha az kurum oluşumunu gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak, silindir duvarlarındaki tortular gözlenmiş ve bu da motora uygulamadan önce yağın ön arıtma ihtiyacını ortaya koymuştur.

Murugan ve ark. (2008), saflaştırılmış lastik piroliz yağı ile dizel karışımları kullanılarak direkt enjeksiyonlu dizel motorun performans ve emisyon verilerini incelemişlerdir. Atık otomobil lastiklerinden elde edilen Lastik piroliz yağının (LPY) özellikleri analiz edilmiş ve petrol ürünleri ile karşılaştırılmış ve içten yanmalı dizel motoru için bir yakıt olarak da kullanılabileceği bulunmuştur. Mevcut çalışmada, dizel benzeri lastik piroliz yağının- dizel harmanları herhangi bir motor modifikasyonu olmaksızın dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. NO_X emisyonu dizel yakıta göre daha düşük çıkmıştır. Ancak yapılan karışımlarda duman, HC ve CO daha yüksek çıkmıştır.

Murugan ve ark. (2009), lastik piroliz yağı kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada daha fazla duman, NO ve HC emisyonu olduğunu gözlemlemişlerdir. Viskozitenin arttığını ve yakıt uçuculuğunun daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada lastik piroliz yağının (TPO20) dizel yakıt ile kullanılabilmesi yakıt kalitesinin iyileştirme ile mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Arpa ve ark. (2010) atık yağlama yağının üzerinde yapılan işlemler sonucunda dizel benzeri yakıt elde edilmiştir. Bu yakıtın motor performansı ve egzoz gazları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Pirolitik damıtma yöntemiyle atık yağın 100 cc' lik miktarından 60 cc dizel benzeri atık elde etmişler ve hazırladıkları dizel benzeri yakıtın (DBY' nin) performans ve egzoz emisyon testlerini dizel test motoru kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Üretilen DBY' nin motor performansı açısından dizel

motorlarda sorunsuz olarak kullanılabileceği görülmüştür. DBY kullanıldığında, tork, fren ortalama efektif basıncı ve fren termal verimliliğinin dizel örneğinden daha yüksek olduğu, fren özgül yakıt tüketiminin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi 2200 devirde minimum iken tork ve fren ortalama etkili basınç maksimum değere ulaştı fark edilmiştir. DBY' deki kükürt değerinin standart değerlerden çok daha fazla olduğu tespit edilerek, kimyasal yöntemlerle azaltılması önerisinde bulunmuşlardır.

Arpa ve ark. (2010), pirolitik damıtma ile atık yağlardan dizel yakıt üretimi çalışması yapmışlardır. Bu amaç doğrultusunda atık motor yağını bir tankta toplamışlardır. Toz, ağır karbon kurumları, metal partikülleri, zamk gibi kirleticilerden arındırmışlar. Atık yağlama yağından %60 oranında dizel benzeri yakıt elde etmişlerdir.

Singhabhandhu ve Tezuka(2010), atık pişirme yağı, atık yağlama yağı ve atık plastiklerden elde edilen yağı çoklu atık entegrasyonu için çalışma yapmışlar. Bu çalışmaya göre, üç atığın bertaraf edilmesi sorununun çözülmesi ile beraber dizel yakıttan tasarruf edilerek enerji geri kazanımı da sağlanmış olur.

Behera ve ark. (2013), kullanılmış trafo yağının dizel motoruna doğrudan enjeksiyonu (DE) sonucunda yanma, performans ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. Dört zamanlı, Tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu dizel motorun yanma, performans ve emisyon parametreleri incelenmiştir. Kullanılmış trafo yağı (KTY) ve dizel yakıt karışımlardan altı farklı karışım yapılmıştır. KTY konsantrasyonu hacim bazında %10'undan düzenli aralıklarla %60'a kadar farklı karışımlar yapılarak sonuçlar analiz edilip dizel kullanımı ile karşılaştırılmış. KTY- dizel karışımlarının, dizel ile karşılaştırıldığında, dumanın azaltılmasında belirgin bir iyileşme ile ısıl verimde artış gözlenmiştir. KTY- dizel karışımların için NO emisyonları dizelinkinden daha yüksek çıkmasına karşın ateşleme gecikmesi dizelden daha kısa çıkmıştır. Sonuç olarak KTY sıkıştırmalı dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Belirli bir enerji tüketimi göz önüne alındığında, KTY40 test edilen karışımlar arasından kullanım için uygun bir karışım olarak ifade edilmiştir. Tutuşma gecikmesi, Kullanılmış trafo yağı ve dizel karışımları için tüm çalışma dizisinde dizelinkine kıyasla yaklaşık 1–3 °C daha kısa çıkmıştır. KTY- dizel karışımları için NO, HC ve CO emisyonları, tam yükte dizelinkinden daha yüksek çıkmıştır. Tam yükte KTY40'ın duman değeri dizelden yaklaşık %5,9 daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Arpa ve ark. (2013), atık yağlama yağından üretilen dizel benzeri yakıtın kükürtsüzleştirilmesi ve motor performansı ile egzoz emisyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Pirolitik damıtma yöntemiyle üretilen DBY' nin içindeki kükürt miktarını azaltmak için 50 °C 'de oksidatif kükürt giderme (OKG) yöntemi uygulanmıştır. Sıcaklığın, DBY' nin kükürt içeriğinin azaltılması üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Ticari dizel yakıtlara göre düşük kükürtlü dizel benzeri yakıtlar için tork, ortalama etkili basınç ve fren termal verimliliğinin biraz daha yüksek olduğu buna karşılık fren özgül yakıt tüketiminin, egzoz ısısı ve SO_2, CO ve NO_X emisyonlarının daha düşük olduğunu göstermiştir. Düşük kükürtlü dizel benzeri yakıtın, dizel motorda fiziko-kimyasal parametreler, distilasyon ve performans testleri açısından herhangi bir sorun olmadan kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada düşük kükürtlü dizel benzeri yakıtın kullanılan dizel yakıttan daha az kirletici olduğu sonucuna varılmıştır.

Yadav ve Saravanan (2015), atık trafo yağının geri dönüşümü ile elde edilen hidrokarbon yakıtın motor karakterizasyonu çalışmasında atık trafo yağının viskozitesini düşürmek ve dizel motor kullanılabilmesi için elverişli hale getirmek amacıyla kimyasal olarak arıtılması için çaba sarf etmişlerdir. Yaptıkları bir dizi çalışma sonucunda atık trafo yağının dizel motorda yakıt olarak kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gabiña ve ark. (2016), dizel deniz motorları için atık yağ bazlı alternatif yakıtlar ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Performansları karşılaştırmak için alternatif yakıt ve balıkçılık filosunda yaygın olarak kullanılan distilat yani damıtılmış yakıt için testler yapılmıştır. Damıtılmış yakıt, alternatif yakıttan daha iyi enerji verimliliği özellikleri (özgül enerji ve yakıt tüketimi) sağladığı gözlemlenmiştir. Alternatif yakıtın yani atık yağdan elde edilen yakıtın NO_X emisyonları damıtılmış yakıttan daha düşük çıkmıştır. Bu çalışma, dizel deniz motorların kullanımı için alternatif bir yakıtın teknik mümkün olduğunu göstermektedir.

Rinaldini ve ark. (2016), plastik atıklardan elde edilen bir yağı dizel bir motorda yakıt olarak kullanmayı denemişlerdir. Plastiklerin pirolizinden elde edilen atık plastik yağın hem evsel hem de endüstriyel faaliyetler tarafından üretilen çok büyük miktardaki plastik atıkların bertaraf sorununu hafifletmenin yanı sıra atıkların değerli enerji içeriğini geri kazanmanın iki avantajını da beraberinde getireceğini dile getirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada atık plastik yağı için motor performansında hafif bir azalma olduğunu

gösterirken yakıt tüketiminde tasarruf olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, atık plastik yağın tork ve motor gücü dizel yakıta göre %5 ile %10 kadar düşük olduğu görülmüştür. Atık yağın özgül yakıt tüketiminin az olduğu tespit edilmiştir. Motor atık plastik yağ ile çalışırken, egzoz emisyonunun her zaman daha düşük olduğu ve tam yükte %50'ye varan bir fark olduğunu dile getirmişlerdir.

Maceiras ve ark. (2017), atık motor yağını dizel yakıta dönüştürmeye çalışmışlardır. Atık motor yağını pirolitik damıtma yöntemiyle yeniden kullanılabilir bir ürüne yani dizel yakıtına dönüştürmeyi amaçlamışlardır. Yeni yakıtın saflaştırılmasında iki katkı maddesinin (sodyum hidroksit ve sodyum karbonat) etkisi de incelenmiştir. Elde edilen yakıtın kalitesini analiz etmek için bazı termal ve fiziko-kimyasal özellikler (yoğunluk, viskozite, renk, bulanıklık, asitlik değeri, damıtma eğrileri, setan sayısı, Cu, su içeriği, parlama noktası ve hidrokarbonlar için aşındırıcılık) belirlenmiştir. En iyi sonuçların %2 sodyum karbonat ve iki ardışık damıtma ile elde edildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, atık motor yağının pirolitik damıtılmasıyla motorlarda kullanılacak dizel yakıtın üretilmesi için mükemmel bir yol olduğunu göstermiştir.

Mahari ve ark. (2017), atık nakliye yağının mikrodalga destekli piroliz yoluyla dizel benzeri yağa dönüştürülmesi adlı çalışmasında elde ettikleri sonuçlara göre mikrodalga ile desteklenen pirolizin atık nakliye yağını alternatif bir yakıt kaynağına dönüştürmek için bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Wang ve Ni (2017), dizel yakıtlı motorun dizel benzeri atık yağlama yağından elde edilen yakıt ile çalıştırmayı denemişlerdir. Yaptıkları çalışmada yanma ve emisyon farklılıklarını tanımlamak için dizel motorunda herhangi bir değişiklik yapmadan hem dizel benzeri atık yağlama yağı hem de dizel yakıt ile çalıştırılan dizel motorun performansını ve emisyonlarını incelemişlerdir. Yakıtların yakıt ekonomisi, motor performansı, yanma özelliklerini ve hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO), azot oksit (NO_X) ve duman emisyonları test edilmiştir. DBY' nin dizel yakıttan daha uzun tutuşma gecikme süresi ve daha kısa yanma süresi göstermiştir. Özgül yakıt tüketimi (be) incelenip DBY' nin dizel ile karşılaştırıldığında hafif ve orta yükler altında 3000 rpm'de (devirde) yaklaşık %3 oranında azaltılmıştır. DBY orta ve ağır yüklerde biraz daha yüksek NO_X emisyonu ve biraz daha fazla duman emisyonuna neden olduğu, özellikle orta yüklerde dizel yakıttan daha yüksek HC ve CO emisyonları gözlemlenmiştir. DBY'nin yüksek hızlarda dizel motorlarında herhangi bir problem olmadan yakıt olarak

kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. DBY' nin dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapmadan yakıt olarak kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca DBY, saf dizelden daha düşük be' ye sahiptir.

Gabiña ve ark. (2019), dizel deniz motorunda alternatif yakıt olarak motoru atık yağ ile çalıştırıp performansını incelemişlerdir. Bu çalışmalarında dizel deniz motorlarının sera gazı emisyonları da dahil olmak üzere çok miktarda hava kirliliğinden sorumlu olduğuna dikkat çekmişlerdir. Endüstri kalıntıları içerisinde atık yağların bol miktarda olduğuna da vurgu yapmışlardır. Sonuç olarak, alternatif yakıtın hızlı bir şekilde yandığını, ancak bu tür bir yakıt için beklenen yanmadan daha gecikmeli bir yanma olduğunu gözlemlemişlerdir. Emisyonlara bakıldığında, alternatif yakıtın daha düşük NO_X ve CO_2 emisyonuna sahip olmakla birlikte, dizel yakıtlara göre biraz daha yüksek CO emisyonu ve daha çok duman çıkardığı tespit edilmiştir. Atık yağın kükürt emisyonu fazla olmasına karşın bunun deniz kurallarının sınır koyduğu maksimum seviyenin altındadır. Bu nedenle, atık yağ bazlı alternatif yakıtların bir gemi dizel motorunda kabul edilebilir emisyonlara sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yapılan çalışmalar bize fosil yakıtlara alternatif olabilecek yeni enerji kaynaklarının var olduğunu göstermektedir. Bu enerji kaynaklarının atık yağlama yağlarından elde edilen, kullanılmış trafo yağlarından elde edilen ve atık lastiklerden elde edilen yakıtlar olması çevre temizliği açısından değerli çalışmalardır. Atık yağlama yağlarının motorlarda kullanılmasıyla nispeten ateşleme gecikmelerinin olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber yağ kaynaklı atıkların geri dönüştürülüp yakıt olarak kullanılmasıyla hidrokarbon emisyonlarının yüksek olduğu söylenebilmektedir. Ancak özgül yakıt tüketiminin az miktarlarda da olsa azaldığı gelecekteki çalışmalar için umut verici olarak görülmektedir. Yakıt elde etme yöntemi olarak çoğunlukla piroliz işlemi tercih edilmiş olduğu görülmektedir. Elde edilen bu dizel benzeri yakıtların içerisindeki kükürt miktarının fazlalığı nedeniyle ek işlem gerektirmektedir. Atık yağlama yağlarının, kullanılmış trafo yağlarının ve lastik piroliz yağlarının kullanıldığı çalışmalarda HC, CO ve duman emisyonu dizel ile kıyaslandığın daha yüksek olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda bu emisyonlara ilaveten NO_X emisyonlarının da dizel ile kıyaslandığında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Toparlamak gerekirse, atıkların direkt olarak motorlarda kullanılmasının mümkün olmadığı ancak çeşitli işlemler ile motorlarda kullanılabilecek hale getirilebileceği

görülmektedir. Bu durum dezavantaj olsa da dizel motorların sistemlerinde, motor iç hacim veya motor işleyişinde herhangi bir değişiklik yapılmadan bu yeni yakıtların kullanılabiliyor olması iyi bir avantajdır. Kaldı ki dizel yakıtları da rafine haliyle kullanamamaktayız. Yani ham petrolü motorlarda kullanabilmek amacıyla bir dizi işlem yapılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Yapılan literatür taramasında atık yağların geri dönüşümü ile ilgili çeşitli çalışmaların olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda, geri dönüşüm sürecinden sonra elde edilen yakıtın dizel yakıt ile belli hacimsel oranlarda karıştırılarak motor performansı ve egzoz emisyonu parametreleri üzerinde bir araştırma olmadığı tespit edilmiştir. Atık yağlama yağının tek başına yakıt yerine kullanıldığı çalışmalarda motor parçalarında aşınma ve yıpranmanın olmadığı belirtilmektedir (Bechtold ve Lestz 1976). Ülkemizde dizel petrol kaynağının yok denecek kadar az olması ve neredeyse kullandığımız tüm yakıtı ithal ettiğimiz bilinmektedir. Bu nedenle alternatif bir yakıta ihtiyaç duyduğumuz veya miktarı fazla olan atık yağlardan yakıt elde etmemiz gerektiği konusunda bize fikir vermektedir.

Küresel fosil yakıt rezervleri sınırlı olduğundan, yakıt üretimi için alternatif karbon kaynaklarını bulmak için büyük çaba sarf edilmektedir. Literatürde, atıkların pirolizi üzerine yapılan araştırmaların çoğu çeşitli katı atıklardan elde edilirken (Sainz-Diaz ve ark. 1997) bazıları atık lastiklerden (Cao ve ark. 2008) ve bazısı da plastik atıklar ile ilgili (Shiraga ve ark. 1947) çalışmalar yapmıştır.

Yakıtların enerji kapasiteleri farklı farklıdır. Mesela benzinin enerji kapasitesi kilogram başına 46 MJ iken petrolün 42 MJ ve dizel yakıtınki ise 43 MJ' dür. Kömürün enerji kapasitesi 32-37 MJ/kg'dır (Ayhan 2008). İşlenmiş atık motor yağı 43.07 MJ / kg (Bhaskar ve ark. 2004) gibi yüksek enerji kapasitesine olup, bu da Petro-dizele yakındır. Ancak benzininkinden biraz daha düşük olmasına rağmen kömürden daha yüksektir (Arpa 2009).

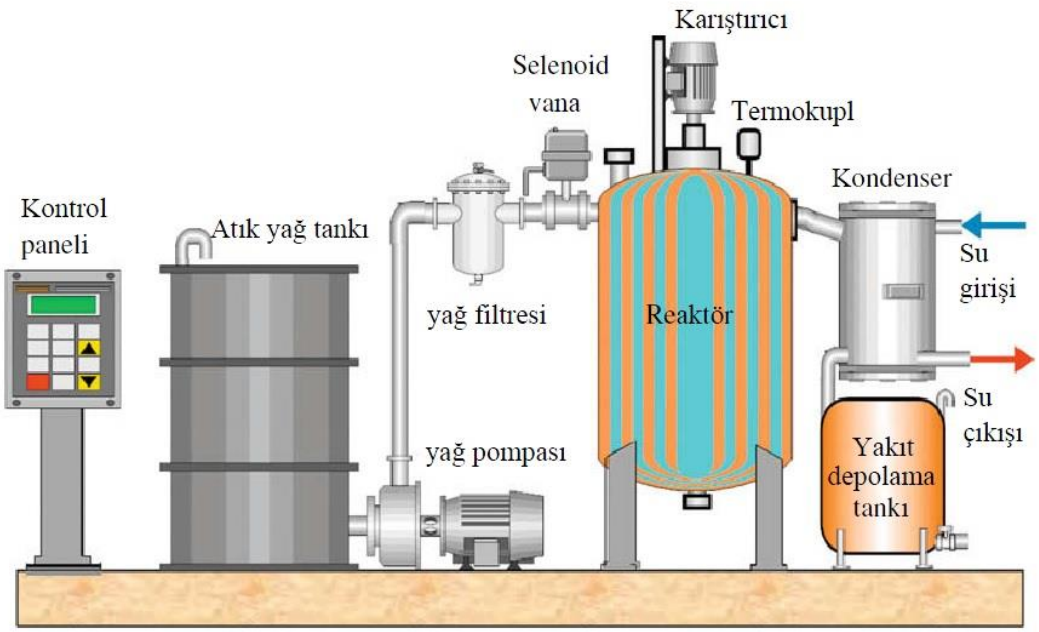
Bu çalışmada Arpa ve arkadaşları tarafından atık motor yağından pirolitik damıtma yöntemiyle elde edilen yakıt kullanılmıştır (Arpa ve ark. 2010). AYY'lerden elde ettikleri yakıt temin edilerek kullanılmıştır. Kullanmadan önce temin edilen yakıt 3 aylık yaz döneminde Dicle Üniversitesi, Diyarbakır'da dinlendirilmiş ondan sonra dizel yakıt ile hacimsel karışım hazırlanarak tek silindirli motorda egzoz emisyon ölçümleri alınmıştır.

Dizel benzeri yakıt için literatürde yapılan kısaltma DBY şeklindedir. Bu çalışmada da literatüre uyularak dizel benzeri yakıt DBY şeklinde kısaltma yapılmıştır.

3.2. Materyal

3.2.1. Atık Motor Yağı

Atık yağlama yağını tehlikeli maddelerden arındırmak ve atık yağlama motor yağını yeniden kullanılabilir hale getirilirken sterilize etmek için bir arıtma ve damıtma sistemi tasarlanarak yakıt üretilmiştir. Bu işlem için kurulan sistem, atık yağ depolama tankı, yağ pompası ve filtre, reaktör, kontrol paneli, yakıt depolama tankı, mikser ve yoğuşturucu (kondenser) gibi birkaç bileşenden oluşturulmuştur (Arpa ve ark. 2010). Yapılan bu çalışmada, atık yağlama motor yağlarının dizel benzeri bir yakıt olarak kullanımının fizibilitesi deneysel olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, pirolitik damıtma yöntemi uygulanarak dizel benzeri yakıt (DBY) olarak adlandırılan bir yakıt üretilmiştir. Arıtma ve damıtma sisteminin şematik diyagramı Şekil 3.1.'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Arıtma ve damıtma sisteminin şematik diyagramı[11].

Atık yağlama yağlarının viskozitesi yüksektir ve kükürt, karbon kurumları, küçük metal parçacıkları içerir (Arpa ve ark. 2010). AYY' yi bu haliyle yakıt olarak kullanmak mümkün olmadığından arıtma işlemine maruz bırakmak gerekir. Kükürt miktarını azaltmak için genellikle yağlama yağına çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir.

Bir maddenin yakıt olarak kullanılabilmesi için özelliklerine bakılması gerekmektedir. Elde edilen dizel benzeri yakıtın (DBY) özellikleri Çizelge 3.1 'de dizel yakıt özellikleriyle beraber verilmiştir. DBY' nin yoğunluk, parlama noktası, viskozitesi,

kükürt içeriği ve alt ısıl değeri gibi özellikleri test edilmiş ve dizel yakıtın değerlerine yakın bulunmuştur (Arpa ve ark. 2010).

Çizelge 3.1. Dizel yakıt ve çalışmada elde edilen dizel benzeri yakıtın özellikleri (Arpa ve ark. 2010)

Özellikler	Dizel yakıt TS3082-EN 590	DBY
Yoğunluk 15°C'de (kg/m^3)	820 - 845	818
Vizkozite 40°C'de (mm^2/s)	2 – 4.5	3.49
Parlama Noktası (°C)	> 55	57
Sülfür (ppm)	50	3500
Su (mg/kg)	< 200	130
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42,700	42,500
Maksimum Hacim, 250°C'de (% v/v)	65	20

3.3. Metot

3.3.1. Dizel Motor Özellikleri ve Test Ünitesi

Yakıtın kimyasal enerjisini içten yanmalı motorlar sayesinde işe çevirebilmekteyiz. Bu motorları çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür. Sınıflandırmayı kullandıkları yakıtlara göre kıvılcım ateşlemeli olan benzinli veya sıkıştırma ateşlemeli olan dizel motorlar, zamanlamalarına göre iki zamanlı veya dört zamanlı olarak sınıflandırılabilir. Buna ilaveten silindir sayılarına göre tek silindirli veya birden çok çift silindirli (2,4,6 gibi), silindir dizilişlerine göre düz sıra veya V motor, ateşleme şekillerine göre platin veya elektronik ateşlemeli motorlar olarak sınıflandırmak mümkündür (Crouse 1970, Taylor 1985, Heywood 1988). Bunun dışında piston hareketlerine göre (git-gel, dönel), soğutma sistemlerine göre (sulu, havalı) ve çevrimlerine göre (Otto, Dizel veya karma çevrim) gibi sınıflandırmaları vardır (Crouse 1970, Taylor 1985, Heywood 1988). Bu çalışmayı yapabilmek için en temel bileşenlerden biri motor seçiminde yerli üretim Antor 4 LD 820 dizel motor tercih edilmiştir. Temin edilen DBY-dizel yakıt karışımı numunelerinin motorda verimli bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağını test edilmeye çalışılmıştır. Dizel motorda numunelerin kullanımından sonra performans ve egzoz emisyonu sonuçları incelenip analiz edilmeye çalışıldı. Bu amaç doğrultusunda DBY-dizel yakıt örneği Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Antor 4 LD 820 dizel test motorunda uygulamalar yapılmıştır.

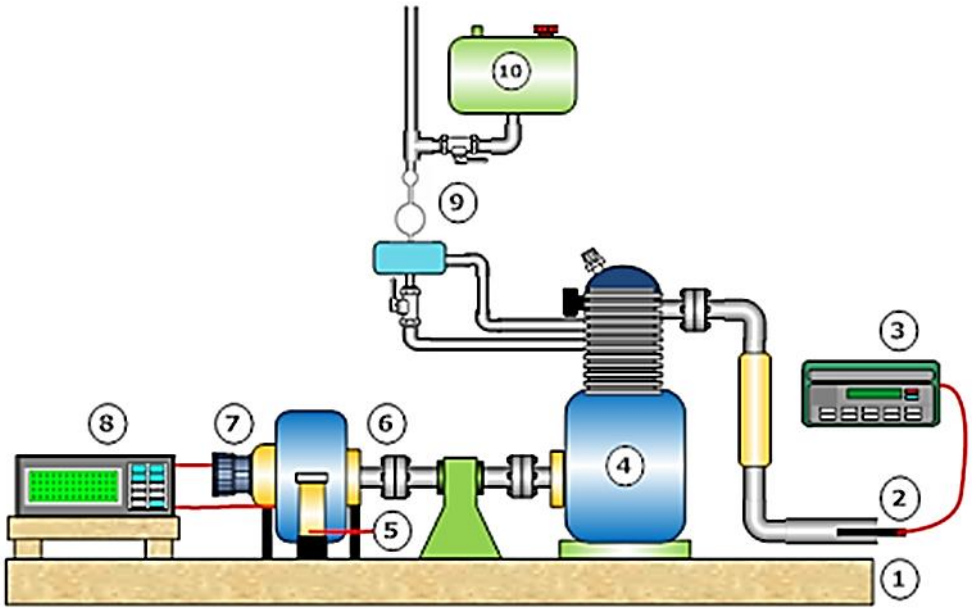
Bu laboratuvarda motor performans parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların irdelenmesine bulgular ve tartışma kısmında yer verilmektedir.

Motor performansı ve egzoz emisyonları tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli ve doğrudan enjeksiyonda (Antor 4 LD 820 dizel motor) gerçekleştirildi. Yükleri ayarlamak için dizel motorla su fren dinamometresi ile birleştirildi. Performans verilerini görüntülemek için bir elektronik kontrol ve ölçüm cihazı kullanıldı (Şekil 3.2.). Bu kontrol ve ölçüm cihazı hızı, yakıt ölçümünü ve fren gücünü sırasıyla ± 5 devir/dakika, % ± 0.5045, % ± 0.5055 hassasiyetle okuyabilmektedir. Ancak yakıt, depodan kontrollü bir akış yolu hazırlanan bir düzeneğin içinde yer alan 50 ve 100 mililitrelik haznelere sahip şiber vanalı bir cam kontrol ünitesinden geçirilerek ölçüm yapılmıştır. Test süreleri kronometre tutularak üçer tekrarın ortalaması alınması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece ölçümün hata oranı düşürülmek istenmiştir.



Şekil 3.2. Kontrol paneli

Motoru ısıtmak için her bir karışım test edilmeden önce öncelikle birkaç dakika boyunca Euro-Dizel yakıtla çalıştırılmıştır. Benzer şekilde, motor kapatılmadan önce dizel yakıtla çalıştırıldı ondan sonra durdurulmuştur. Şekil 3.3. motor test teçhizatını ve egzoz analiz cihazını şematik olarak göstermektedir. Şekil 3.4.'te ise dizel test motoru ve dinamometresinin görüntüsü yer almaktadır.



1) motor şasisi,

2) egzoz gazı analiz probu,

3) egzoz gazı analizörü,

4) tek silindirli dizel motor,

5) yük hücresi,

6) dinamometre,

7) hızölçer (takometre),

8) kontrol paneli,

9) yakıt büreti,

10) Yakıt deposu.

Şekil 3.3. Motor test teçhizatının ve egzoz analiz cihazının şematik olarak gösterilmesi



Şekil 3.4. Dizel test motoru ve dinamometresi

Motor performans ve emisyon testlerini gerçekleştirmek için motor ilk olarak 3000 dev/dak'da yük olmaksızın çalıştırıldı. Ardından su freni dinamometresi kullanılarak motor yükü arttırıldı. Motor devri sırasıyla 2500, 2000, 1500 ve 1000 dev/dak'ya düşürülerek ölçümler alındı. Motorun ayrıntılı özellikleri Çizelge 3.2.'de listelenmiştir.

Çizelge 3.2. Test motorunun detaylı teknik özellikleri

Motor Markası	Antor
Motor Modeli	4 LD 820
Motor Türü	Tek silindirli, dört zamanlı
Yakıt Türü	Dizel
Silindir Çapı	102 mm
Strok	100 mm
Hacim	817 cm^3
Sıkıştırma Oranı	17:1
Soğutma Tipi	Hava soğutmalı
Maksimum Devir	3000 dev/dak (üretici tarafından sınırlandırılmıştır)
Maksimum Güç	12.7 kW 3000 dev/dak
Maksimum Tork	50 Nm 1600 dev/dak
Püskürtme Basıncı	20 MPa
Özgül Yakıt Tüketimi	255 g/kWh 2800 dev/dak

3.3.2. Emisyon Ölçüm Cihazı ve Özellikleri

Test motorundan çıkan emisyonları (O_2, CO, HC, NO_X, NO ve egzoz gazı sıcaklığını) ölçmek için portatif emisyon cihazı Testo 350 gaz analiz cihazı kullanıldı. Cihaz kabaca, cihaz gövdesi (Şekil 3.5), modüler baca gazı probu (şekil 3.6) ve kontrol ünitesi (şekil 3.7) olmak üzere 3 parçadan oluşmaktadır. Egzoz gazı ölçüm cihazının görseli şekil 3.8'de yer almaktadır. Bu cihaz %0.8 hassasiyetle oksijen, %10 hassasiyetle karbon monoksit, kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarını ve ayrıca %5 hassasiyetle ile hidrokarbon ve azot dioksit emisyonlarını ölçmektedir. Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra cihazın ölçme probu egzoz borusuna yerleştirildi. Her test üç kez tekrar edildi. Ardından, cihaz tarafından ölçülen emisyon değerleri cihazdaki bir yazıcıdan yazdırıldı. Yazdırılan sonuçlar 2500, 2000, 1500 ve 1000 dev/dak için yapılan üçlü ölçümün ortalaması alındı. Emisyon ve performans parametreleri için sonuçlar deneysel

sonuçlar bölümünde verilerek irdelendi. Egzoz gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir. Cihazın görüntüsü şekil 3.8'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Egzoz gazı ölçüm cihazının detaylı teknik özellikleri (testo 350)

Ölçülen Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
O_2	0 … +25 % hacim	±0,8%
CO	0-10000 ppm	±10 %
SO_2	0 … +5000 ppm	±10 %
HC	100-40000 ppm	± 5 %
NO	0-4000 ppm	±10 %
NO_x	0-500 ppm	± 5 %
Egzoz Gazı Sıcaklığı (ºC)	-200 … +1370 ºC	±1ºC

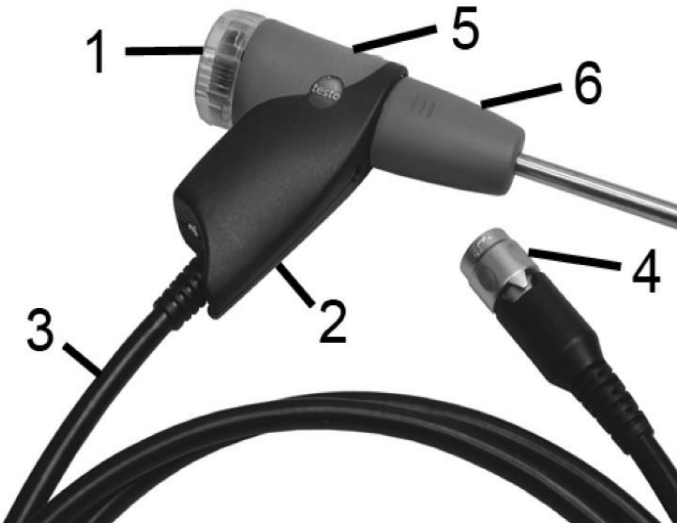
Testo 350 egzoz analiz cihazı emisyon ölçümlerini oksijen sensörüne ilaveten en az bir (oksijen sensörü ile beraber iki sensör) en fazla altı adet sensör ile ölçüm yapmaktadır. Ölçüm olanağı sunduğu emisyonlar O_2, CO, CO_2, SO_2, HC, NO, NO_X gibi egzoz gazlarıdır. Atık gaz miktarı artınca cihaz otomatik olarak ölçüm aralığını yükseltme özelliğine sahiptir. Bu sayede konsantrasyonlardaki ani değişmelere uyum sağlayan cihaz doğru sonuçların elde edilmesinde yardımcı olmaktadır.

Testo 350 cihazı ile yapılan ölçümlerde doğru sonuçlar alabilmek için deneyler öncesinde cihaz 15 dk açık tutularak cihazın kendini yenilemesine olanak sağlanmıştır. Deneyler arası ve deney sonrasında da cihaz dinlendirilerek farklı ölçümlerdeki parametrelerin karışma ihtimali ortadan kaldırılmıştır.



1) Yoğuşma haznesi,
2) Kontrol cihazı kilitleme/açma,
3) Partikül filtresi,
4) Temiz hava giriş filtresi,
5) Kontrol cihazı kontakt çubuğu,
6) Kontrol cihazı sabitleme pimleri,
7) Seyreltme hava filtresi,
8) Durum göstergesi.

Şekil 3.5. Testo 350 cihaz gövdesi



1) İzleme camlı partikül filtreli bölme,
2) Prob(sonda) tutma yeri ,
3) Bağlantı kablosu,
4) Ölçüm cihazı bağlantı soketi,
5) Sonda modülü kilidini açma,
6) Sonda modülü.

Şekil 3.6. Testo 350 modüler baca gazı probu



1) IrDA portu,

2) Açma/kapama,

3) Mıknatıslı braket (arka taraf),

4) Ekran,

5) Klavye,

6) Ana gövdeye bağlantı için kontakt çubuğu,

7) Portlar: USB 2.0, şarj cihazı, Testo veri yolu.

Şekil 3.7. Testo 350 kontrol ünitesi



Şekil 3.8. Egzoz gazı ölçüm cihazı

3.3.3. Hassas Elektronik Terazi

Sıklıkla laboratuvarlarda, ilaç sanayisinde ve değerli madenlerin tartılmasında kullanılan hassas teraziler 0.01 g'dan başlayarak hassas ölçüm yapmaya yarayan terazilerdir.

Yakıt olarak kullanılacak numunelerin yoğunluğunu ölçebilmek amacıyla şekil 3.9'daki unimaster fr-h marka hassas elektronik terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Elektronik hassas terazi

Hacmin bir birimindeki madde kütlesi olarak adlandırılan ve maddenin ayırt edici özelliklerinden biri olan yoğunluk, özgül yakıt tüketiminin hesaplanması için gerekli olan parametrelerden biridir.

Numuneler hazırlandıktan sonra yoğunluk hesaplamaları için ölçümler yapılmıştır. Karışımların yoğunlukları:

$\rho = \frac{m}{v}$ formülü ile hesaplanmıştır. (3.1)

ρ : yoğunluk (kg/m^3)

m : kütle (kg)

v : hacim (m^3)

3.4. Motor Performans Hesaplamaları

Bir yakıtın motorun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini gözlemlemek için performans ve egzoz emisyon testleri yapılır. Bu test sonuçları yakıtın bir motorda verimli kullanılıp kullanılmadığı konusunda fikir vermektedir. Bu nedenle, bir motorun performans parametrelerini belirlemek gerekir. Tork (T), güç (P), ortalama efektif basınç (OEB), özgül yakıt tüketimi (be) ve ısıl verimlilik gibi çeşitli performans parametreleri vardır. Bu performans parametrelerini bulmak yapılacak çıkarımlar için gereklidir.

3.4.1. Güç

Bir motorun iş yapabilme yeteneğini döndürme momenti sağlar. Tork da döndürme kuvveti olarak tanımlanabilir. Tork farklı bir yaklaşımla tarif edilmeye çalışılırsa, araç motorundaki krank mili dönüşünün bir dakikada döndüğü sayı şeklinde ifade edilebilir. Tork, motorun dönme kuvvetinin tekerlekleri itme kuvvetine dönüştürülmesini sağlar. Güç ise torkun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Heywood 1988). Döndürme momenti hidrolik, mekanik ve elektromanyetik dinamometreler vasıtasıyla ölçülebilmektedir. Tork 3.2'deki formül ile hesaplanmaktadır.

$$T = F \cdot d \tag{3.2}$$

Burada;

T: tork (Nm),

F: uygulanan kuvvet (N),

d: rotorun merkezinden metre (m) cinsinden mesafeyi göstermektedir.

Motor tarafından sağlanan ve dinamometre tarafından emilen güç, aşağıdaki denklemde verilen tork ve açısal motor hızının ürünüdür (Heywood 1988).

$$P_b = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot T}{1000}$$

(3.3)

Bu formülde;

P_b: güç (kW) ,

ω: açısal hızı (dev/sn) cinsinden ifade etmektedir.

3.4.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi literatürde fren özgül yakıt tüketimi şeklinde tanımlanmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin "fren" kelimesi ile birlikte kullanılmasının temel nedeni ise, dinamometre üzerinde içten yanmalı bir motorun karakteristik özelliklerinin belirleyen parametreler belirlenirken frenleme gücünün kullanılmasıdır. Özgül yakıt tüketimi bu çalışmada *be* şeklinde gösterilmiştir.

İçten yanmalı motorlar için önemli parametrelerden biri hacimsel yakıt tüketiminin bir ölçüsü olan frene özgü yakıt tüketimidir (Agarwal 1988).

$$be = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \cdot 10^3 \tag{3.4}$$

be: Özgül yakıt tüketimi (g/kW.h),

P_b: güç (kW),

$\dot{m}_f$: Yakıt Kütle Debisi (kg/h).

3.4.3. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç, içten yanmalı motorlar için belirli bir parametre olan başka bir motor performans parametresidir. Farklı tipte ve büyüklükte motorların karşılaştırılması için kullanılan bir parametredir. Ortalama efektif basınç bir çevrimde üretilen özgül işin özgül hacim değişimine oranıdır.

$$OEB = \frac{P_b \cdot n_r \cdot 1000}{V_d \cdot \omega} \tag{3.5}$$

OEB : Ortalama efektif basınç

P_b: güç (kW),

n_r: Tam bir döngü için krank devir sayısı, dört zamanlı bir motor için 2'dir.

V_d: Motor silindirlerinin toplam hacmi (dm^3),

ω: açısal hızı (dev/sn) cinsinden ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

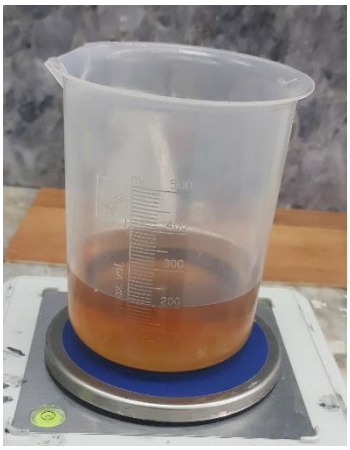
4.1. Motor Performans Testleri

Yakıt olarak incelenen DBY-dizel yakıt karışımlarının performans verilerini araştırmak amacıyla, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli dizel motor kullanılmıştır. Şematik çizim, resim ve kullanılan motorun ana özellikleri sırasıyla Şekil 3.3, 3.4 ve Tablo 6.2'de verilmiştir. Bu çalışmada, tork ve özgül yakıt tüketimi (be) gibi çeşitli performans parametrelerini değerlendirmek için iki yakıt numunesi DBY ve ticari dizel yakıt kullanılarak elde edilen hacimsel karışımlarla deneyler gerçekleştirilmiştir. Motor performans ve emisyon testlerini gerçekleştirmek için motor ilk olarak 3000 dev/dak' da yük olmaksızın çalıştırıldı. İlk testler yalnızca ticari dizel yakıt için 2500 dev/dak için üç ölçüm yapılıp ortalaması alındıktan sonra devir düşürülerek 2000 dev/dak için yine üç ölçüm yapılarak ortalaması alındı. Bu işlem 1500 dev/dak ve 1000 dev/dak için de tekrar edildi. Dizel yakıt için ölçümler aldıktan sonra farklı hacim oranlarında üç numune yakıt hazırlandı. Bu yakıtlar ve hacimsel oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dizel ve dizel benzeri yakıtların hacimsel oranları

KOD	Dizel yakıt Hacimsel yüzdesi	Dizel Benzeri Yakıt Hacimsel yüzdesi
D80DBY20	80	20
D60DBY40	60	40
D40DBY60	40	60

Hazırlanan DBY20, DBY40 ve DBY60 yakıt numunelerin görselleri sırasıyla şekil 4.1.1, şekil 4.1.2.ve şekil 4.1.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.1.1. DBY20



Şekil 4.1.2. DBY40



Şekil 4.1.3. DBY60

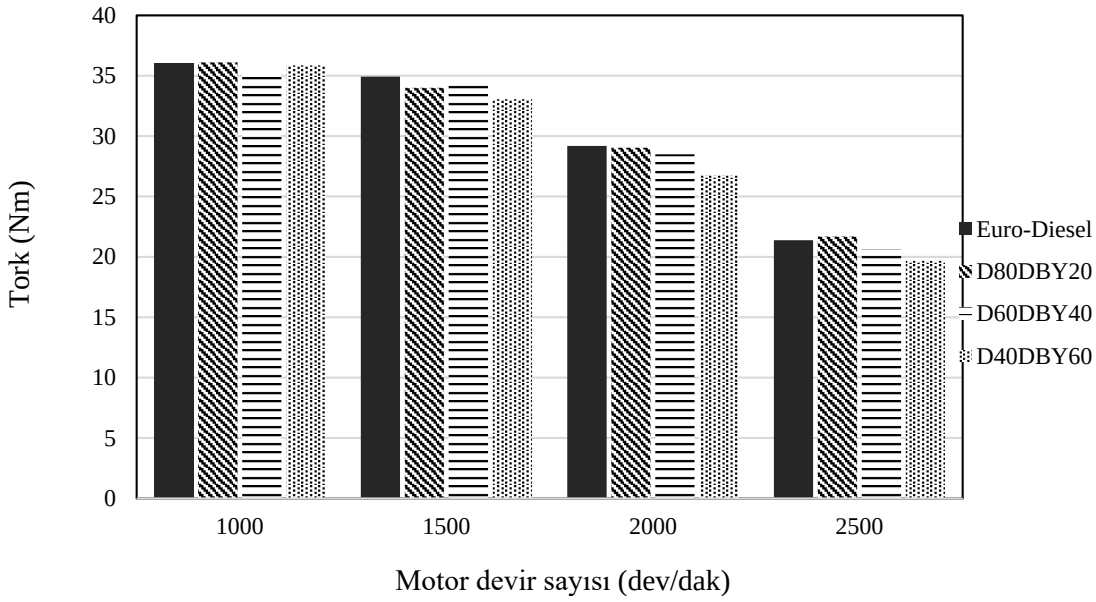
Otomobil ve diğer araçlarda motor tarafından üretilen güç araya montaj edilen diferansiyel ve kavrama gibi bazı ekipmanlarla tekerleklere iletilmektedir. Böylece motora yapılan yükleme ile istenen güç ve devirler yürüyen aksama iletilir. Yapılan çalışmada yükleme ve moment ölçümü için su freni kullanılmıştır. Hidrolik fren (su freni) için sıvı olarak su kullanılmıştır. Motor miline bağlı olan rotoru çevreleyen strator yataklar üzerine sabitlenerek stratora dinamometre bağlanmıştır. Araç kullanıldığı zamanki değişken yol koşullarının ve kalkış ile duruşların simülasyonu yapılabilmesi amacıyla testler farklı devirlerde yapılır. Bu amaç doğrultusunda motor sabit bir gazda çalışırken farklı devirler kullanılmaktadır. Motor çalıştırıldıktan ve ısındıktan sonra gaz verilerek gaz kolu istenen konuma getirilerek sabitlenmiştir. Böylece gaz değişiminin önüne geçilerek su freni yardımıyla ağır ağır yüklenebilmiştir. Motorun bu yük altındaki devir sayısı aslında az olan yani en az olan devir sayısıdır. Bunun akabinde devir sayısını artırmak amacıyla yük azaltılarak motorun karakteristik özellikleri ölçülerek not edilmiştir. Bir devri değiştirip başka bir devir ayarlanırken (mesela 2500 dev/dak' dan 2000 dev/dak' ya) motorun kendine gelebilmesi ve yapılacak ölçüm değerlerinde hata olmaması maksadıyla iki üç dakika geçmesi beklenerek yeni ölçümler yapılmıştır. İşlemin tekrarı yapılarak diğer devirler için istenen parametreler alınmıştır. Bu testler dizel motorda hiçbir değişiklik yapmadan ve herhangi bir ilave cihaz eklemeden yapılmıştır. Dinamometre Şekil 3.2. Kontrol panelini kullanılarak yapılan motor performans testleri sayesinde motor gücündeki değişimler ölçülebilmiştir.

Motor test teçhizatının ve egzoz analiz cihazının şematik olarak gösterilmesi, Dizel test motoru ve dinamometresi resmi ve kullanılan motorun motorunun detaylı teknik özellikleri sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Tablo 6.2 'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler sırasıyla verilmektedir. Verilerden oluşturulan grafikler Şekil 4.1.4, Şekil 4.1.5 ve Şekil 4.1.6' da verilmiştir. Veriler ve grafiklerden elde edilen bilgiler bu bölümde tek tek açıklanmaya, yorumlanmaya çalışılmıştır.

Dizel ile kıyaslandığında tüm yakıt karışım örneklerinde motor devri arttıkça tork düşmektedir. Şekil 4.1.4 devirlere göre tork değişimini göstermektedir. Motor hızı (dev/dak) ile güç arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, dizel yakıt dahil tüm yakıtlarda 2000 dev/dak için en yüksek gücün elde edildiği ve genel olarak hızın artırılmasıyla gücün de arttığı görülmektedir. Özgül yakıt tüketimi ise genel olarak azalırken atık yağlama yağı oranı (AYY) hacimce %40 olan D60DBY40 karışımda özgül yakıt tüketiminde ufak

miktarda artış gözlemlenmiştir. Her bir karışım örneği için torktaki değişimleri madde madde açıklamak gerekirse;

1) Hacimce %20'si AYY olan D80DBY20 yakıt karışımının torkunda dizel yakıta göre ortalama %0.61'lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %0.44'lük bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %2.53'lük bir düşüş olmuştur.
2) Hacimce %40'ı AYY olan D60DBY40 yakıt karışımının torkunda dizel yakıta göre ortalama %2.30'luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %2.61'lik bir düşüş olurken özgül yakıt tüketiminde %2.92'lik bir artış olmuştur.
3) Hacimce %60'si AYY olan D40DBY60 yakıt karışımının torkunda dizel yakıta göre ortalama %5.13'lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %6.09'luk bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %0.11'lük bir düşüş olmuştur.

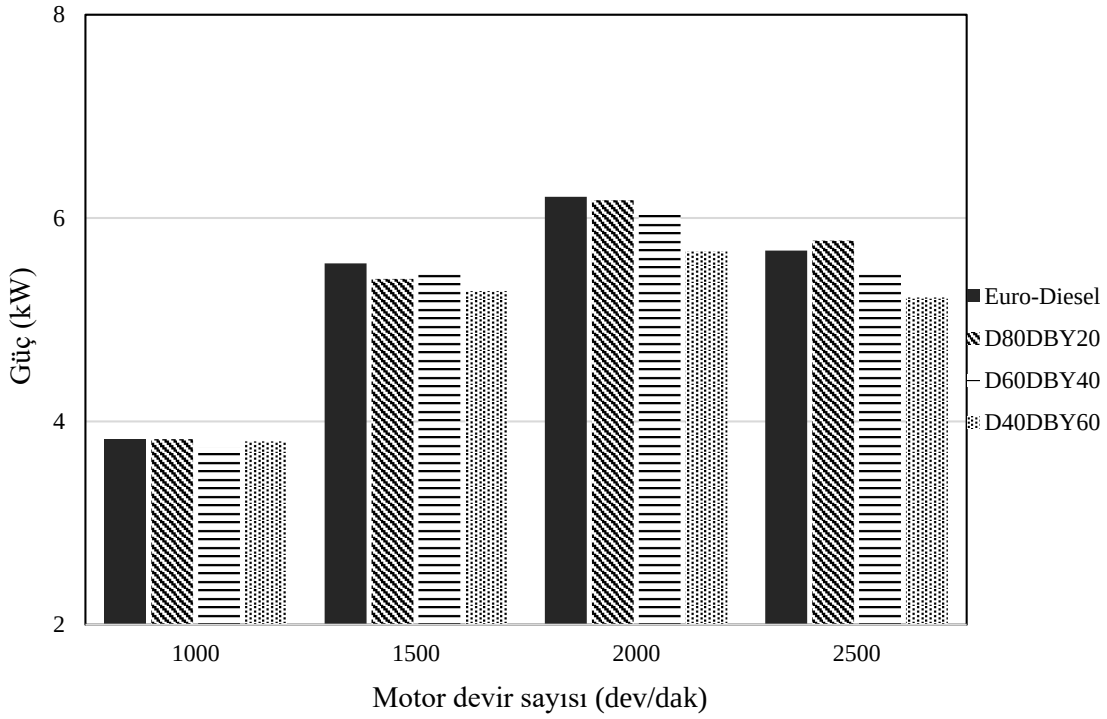


Şekil 4.1.4. Dizel yakıt - atık yağlama yağı karışım oranlarına göre tork değişimi

Arpa ve ark. (2010) tarafından yalnızca DBY ile dizel yakıt karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada DBY' nin ortalama efektif basıncı, torku ve motor ısıl veriminin dizelinkinden daha büyük çıkmıştır. Özgül yakıt tüketimi dizel ile kıyaslandığında tüm devirlerde biraz daha düşük çıkmıştır. Böyle bir sonuç motorlarda istenen bir durum olması sebebiyle DBY' nin yakıt olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Tork, motor ısıl verimi ve ortalama efektif basıncın 2000 dev/ dak 'da en yüksek çıkmıştır.

Motorun faydalı gücü olarak da adlandırılan fren gücü dinamometrenin ölçtüğü kuvvet sayesinde hesaplanabilmektedir. Üretilen bu güç normal şartlarda işe dönüştürülürken deney düzeneğinde hidrolik frenleme sistemi ile emilmektedir.

Motor gücü, dizel yakıt ve diğer yakıtlarda 2000 dev/dak için en yüksek iken 1000 dev/dak için en düşüktür. D80DBY20 için bakıldığında güç 1000 dev/dak için dizel yakıt ile aynı iken 1500 dev/dak ve 2000 dev/dak' da dizel yakıttan daha düşüktür. Ancak test motorunun hızı 2500 dev/dak' ya çıkarıldığında güç dizel yakıta göre daha yüksek çıkmaktadır. Hıza göre güç değişimi şekil 4.1.5' te verilmiştir.

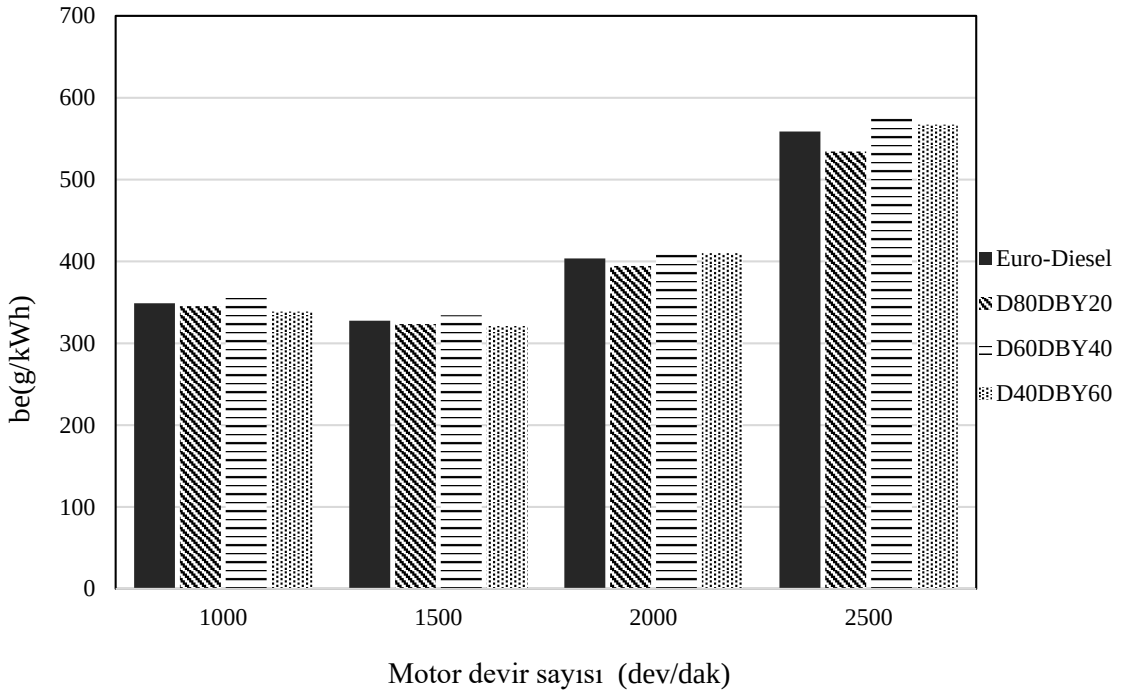


Şekil 4.1.5. Dizel yakıt- atık yağlama yağı karışım oranlarına göre güç değişimi

Hızlara bağlı olarak güç değişimine bakıldığında 2500 dev/dak'daki D80DBY20 yakıt örneği dışındaki tüm yakıt karışımlarının dizel yakıta göre daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm devirlerdeki ortalama güç kayıpları göz önüne alındığında D80DBY20'nin diğer iki yakıt karışımına göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Bu yakıtlar içerisinden en düşük gücün elde edildiği örnek ise D40DBY60 yakıtıdır. 2000 dev/dak'da en yüksek güç elde edilmesine rağmen bu yakıt örneğinin dizele göre en kötü performansı sergilediği ve bundan dolayı genel ortalamanın da daha düşük çıktığı değerlerden anlaşılmaktadır.

Arpa ve ark. (2010) DBY-dizel karşılaştırmalı yaptıkları çalışmada özgül yakıt tüketiminin dizele göre düşük, tork ve ortalama efektif basınç değerlerinin ise dizelden daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu değerlerin dizel yakıt verilerine yakın olmakla beraber biraz daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Özgül yakıt tüketimi (be), dizel yakıt dahil tüm yakıtlarda 1500 dev/dak için en düşük değerlerin elde edildiği ve genel olarak hızın artırılmasıyla be' nin de arttığı görülmektedir. Özgül yakıt tüketimi grafiği Şekil 4.1.6' da yer almaktadır. Bu grafik detaylıca incelendiğinde D80DBY20 için her devirde dizel (motorin) yakıta göre ve tüm devirlerin ortalaması daha düşüktür. Ancak D60DBY40 tüm motor devirleri için ve dolayısıyla bütün hızların ortalama özgül yakıt tüketimi de motorinden daha yüksektir. D40DBY60'a bakıldığında 1000 dev/dak ve 1500 dev/dak için motorinde göre daha az be' ye sahipken 2000 dev/dak ve 2500 dev/dak 'da daha yüksek çıkmaktadır. Ortalamaya bakıldığında ise dizel yakıta göre daha düşük çıkmaktadır.



Şekil 4.1.6. Dizel yakıt- atık yağlama yağı karışım oranlarına göre özgül yakıt tüketimi

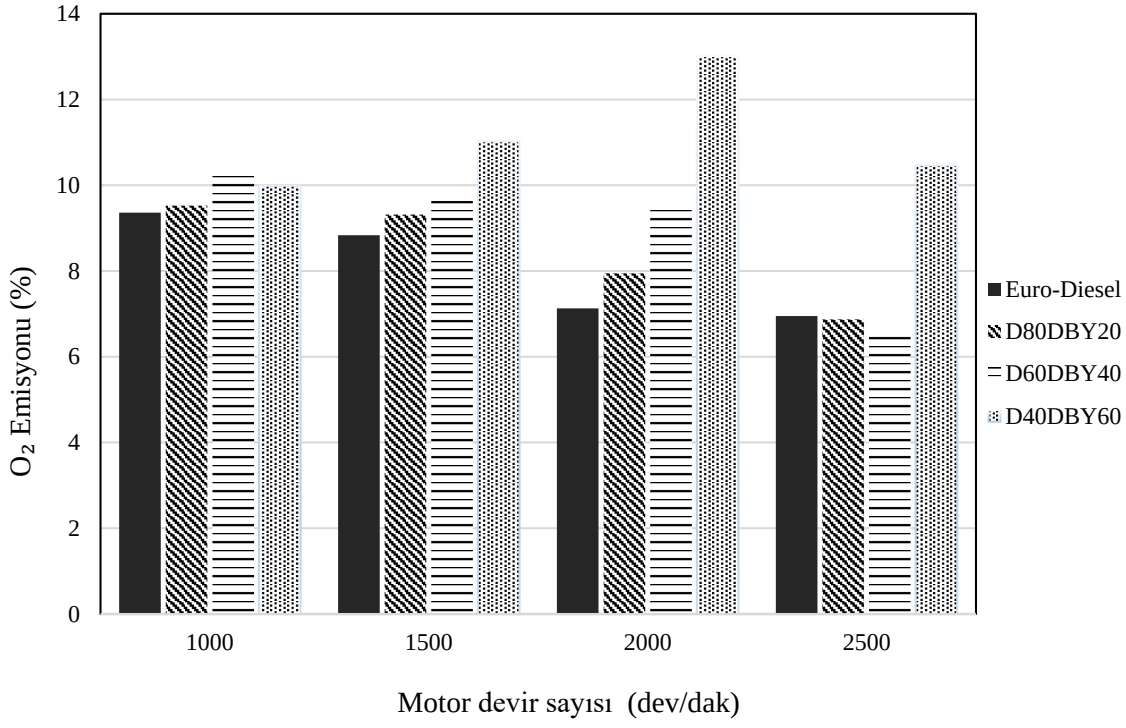
4.2. Egzoz Emisyon Testleri

Enerji, yaşam kalitesini iyileştirmek için ekonomik ve sosyal gelişmenin en önemli yönüdür. Dünyadaki mevcut enerji kaynaklarının çoğu, bir gün tükenecek olan fosil yakıtlara dayanmaktadır. Enerji elde edebilmek için farklı kaynaklar keşfetmezsek

veya mevcut atıklarımızı yakıtlara dönüştürebilecek teknolojiler geliştirmezsek artan enerji talebi karşılanamaz. Bu amaç doğrultusunda doğayı kirleten atık yağlama yağlarının (AYY) motorda kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesiyle ortaya çıkan emisyonlar incelendi. Bu bölümde emisyon testlerinden elde edilen verilerle oluşturulan grafikler emisyon başlıkları altında tek tek sunuldu ve yorumlanması yapıldı.

4.2.1. O_2 Emisyonu

Oksijen emisyonu ölçümü egzozdan dışarıya atılan toplam havanın hacimsel yüzdesi olarak Şekil 3.8'de yer alan Testo 350 egzoz gazı ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 4.2.1'de oksijen emisyonu grafiği verilmiştir. Motorin olarak da adlandırdığımız Euro-diesel yakıt ile çalıştırılan test motorunun hızı artırıldıkça egzozdan attığı oksijen miktarı azalmaktadır. Buna sebep olan parametrenin yanma verimi olduğu düşünülmektedir. Yanmada oksijen azlığı olduğunda karbon (C) yeterince yanmayıp hidrojen (H) ile birleşerek hidrokarbonları (HC) ve is oluşumuna sebebiyet verir. Hız artırıldığında birim zamanda yakılması gereken yakıt miktarı ve yanma tepkimesinde kullanılacak O_2 miktarı da artacaktır. Bu nedenle hız artışına bağlı olarak yakıt karışında ihtiyaç duyulan oksijen miktarı artmış böylece tepkimeye giren oksijen miktarı fazlalaşmıştır. Bu nedenle egzozdan dışarıya atılan O_2'nin azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 4.2.1. Oksijen emisyonları grafiği

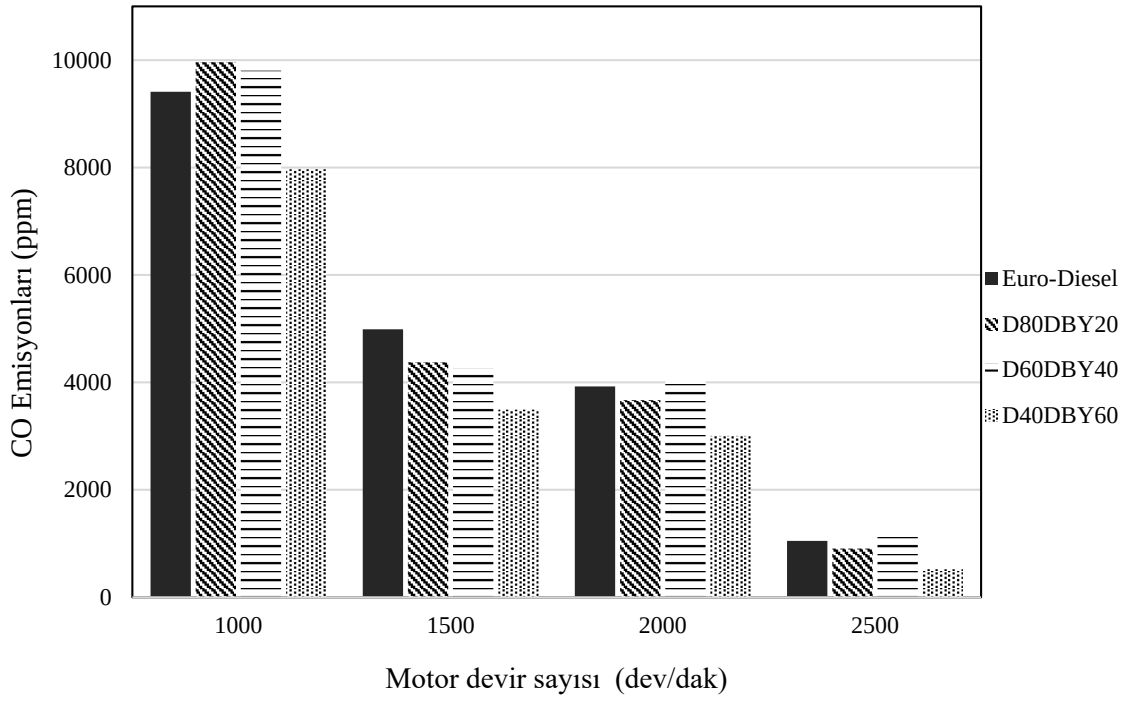
Egzoz gazıyla dışarı atılan O_2'nin hızlara göre miktarı şekil 4.2.1'deki grafikte görülmektedir. Euro-diesel yakıt gibi D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir.

D40DBY60 yakıt karışımında egzozdan atılan oksijen miktarının motor hızı artışıyla beraber neredeyse orantılı olarak artmaktadır. Yani motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarı da arttığı ölçülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir.

4.2.2. CO Emisyonları

Karbon monoksit (CO) insan vücuduna fazla alındığında hemoglobine yapışarak kanın 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. Arpa ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada DBY' nin CO emsiyonu dizele göre yüksek çıkmıştır.

Bu çalışmada CO emisyonları ile ilgili elde edilen verilerle Şekil 7.2.2. 'de yer alan grafik oluşturulmuş ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

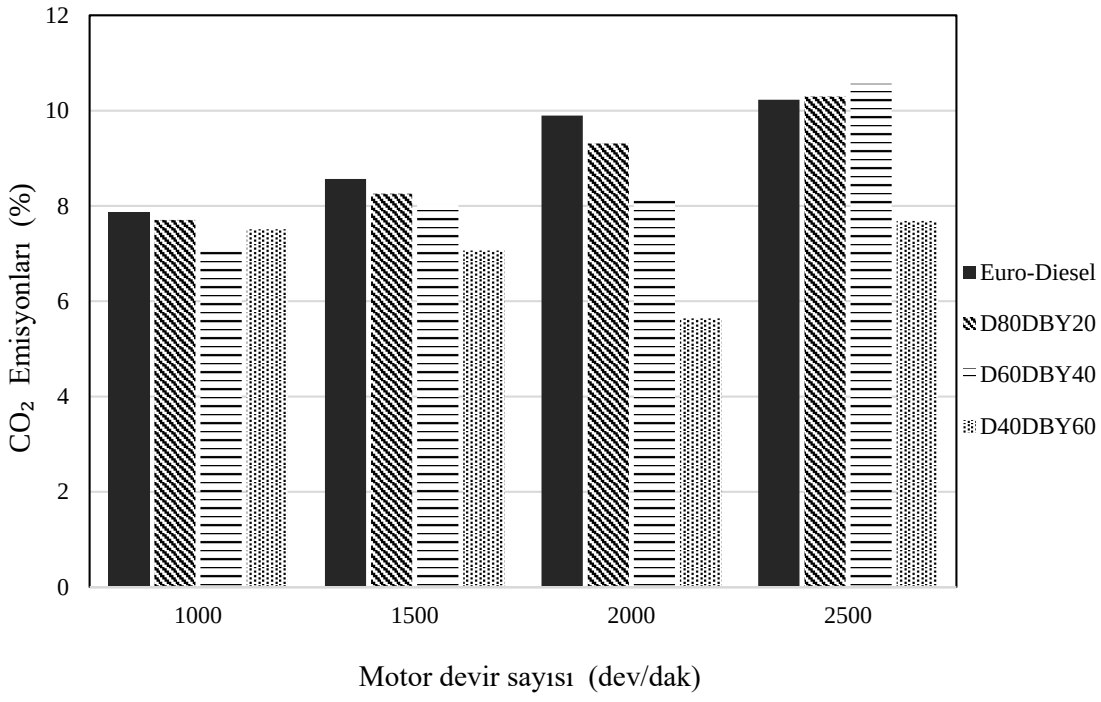


Şekil 4.2.2. Karbon monoksit emisyonları grafiği

Şekil 4.2.2'deki grafikte de görüldüğü gibi motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D80DBY20 karışımı 1000 dev/dak hariç tüm devirlerde daha az CO emisyonu olduğu tespit edilmiştir. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Her iki devirde de yaklaşık 400 ppm gibi bir miktarda dizel yakıta göre daha fazla karbon monoksit miktarına sahip egzoz gazı tespit edilmiştir. Ancak bu iki yakıt örneğinde de emisyonlar kabul edilebilir düzeydedir. Yüksek sıcaklık, eksik hava ve eksik yanma düşük devirlerde CO miktarını artırmıştır. Çünkü yükleme ile devir düşmüştür. Devir yükseldikçe hava hareketleri artmış ve artan hava hareketleri yanmayı iyileştirmiştir.

4.2.3. CO_2 Emisyonları

Karbondioksit (CO_2) renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Yanma özelliği olmayan ve zayıf asit özelliği olan bir gazdır. CO_2 bilinenin aksine zehirli değildir. Belli bir oranın üstüne (%30) çıktı mı solunumu tıkama özelliği göstermektedir (Ayaz 2003).



Şekil 4.2.3. Karbondioksit emisyonları grafiği

Test edilen dizel yakıt ve diğer yakıt numunelerinde (D40DBY60 hariç) motor devrinin artırılmasıyla CO_2 emisyonunun arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Şekil 4.2.3'e bakıldığında 2500 dev/dak hariç diğer hızların hepsinde yakıt karışımlarının motorinden

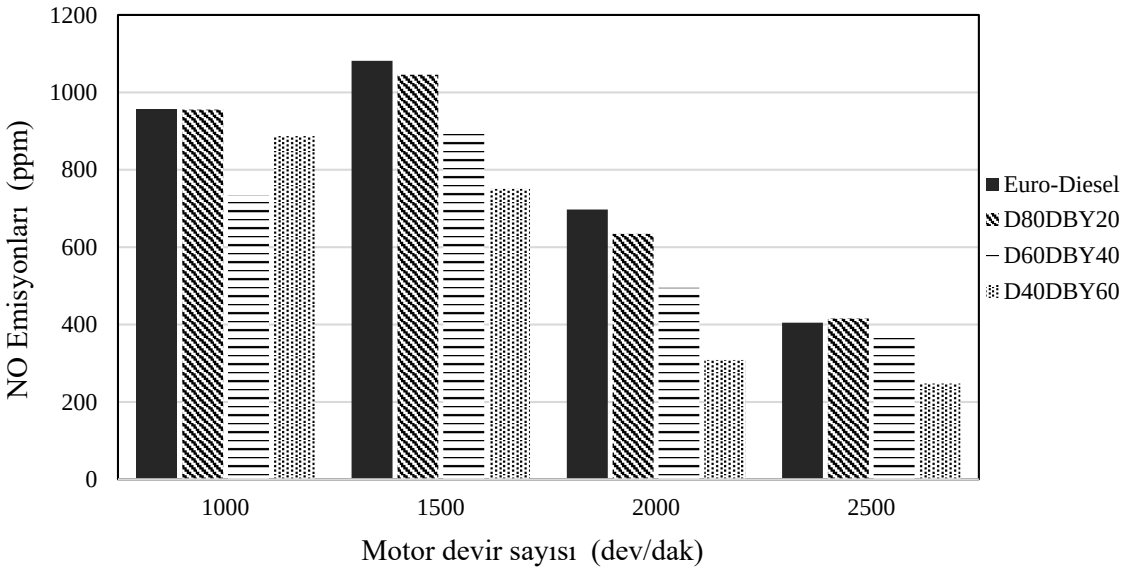
daha az CO_2 emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. 1000 dev/dak dışındaki diğer test hızların tamamında D40DBY60 yakıt örneğinin daha az CO_2 salınımı yaptığı tespit edilmiştir.

Dizel yakıt referans alınarak yapılan ölçümler sonucunda CO_2 salınımının harmanlanmış örneklerde daha az olduğu görülmüştür. Bu ölçüm sonuçlarına göre tüm devirlerin ortalaması alınarak yapılan hesaplamaya göre %2,72 D80DBY20, %7,32 D60DBY40, %23,69 D80DBY20 daha az CO_2 salınımı olmaktadır.

Devir yükseldikçe artan hava hareketleri nedeniyle yanma daha iyi olmaktadır. Ayrıca yüke bağlı olarak zengin bir karışım oluştuğundan düşük devirlerde yanma eksik kalmıştır. Bu durum miktarını CO artırırken ve CO_2 'nin azalmasına sebep olmuştur. Eksik hava nedeniyle zengin karışım oluşunca eksik yanmaya sebebiyet vermektedir. Ayrıca düşük hava hareketleri yanmayı düşük devirlerde kötüleştirmektedir.

4.2.4. NO Emisyonları

İnsan sağlığına ve çevreye zarar veren azot oksit (NO), içten yanmalı motorların yanma odası sıcaklığının 1800°K sıcaklığa çıkmasıyla oluşmaktadır. Atmosferdeki NO oranının yarısı taşıt egzozu ve sabit yakma tesislerinden oluşmuştur. Oksijen miktarı ve gaz sıcaklığı NO' yu arttıran parametrelerdir (Tekbaş ve ark. 2005). Atmosferdeki nitrik asit (HNO_3) oluşumu NO' nun doğal gaz çevrimine girdikten sonra meydana gelen zincirleme reaksiyonların sonucudur. HNO_3 ise asit yağmurlarına neden olmaktadır (Ayaz 2003).



Şekil 4.2.4. Azot oksit emisyonları grafiği

Azot oksit (NO) emisyonlarından elde edilen verilerle oluşturulan grafik Şekil 4.2.4' te verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında 1500 dev/dak hızı hariç hız artırımıyla azot oksit oluşumu arasında bir ters orantı olduğu görülmektedir. Test sonuçları yapılan çalışmanın amacını gerçekleştirdiğini göstermektedir. Çünkü 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO emisyonlarının dizel yakıta göre daha az olduğu görülmektedir. 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu da dizel yakıta göre %0.026 daha fazla olmasına karşın genel ortalamada %2.85 daha az NO salınımı olmaktadır.

Düşük devirlerde fazla yük ve eksik havadan dolayı kötü yanma gerçekleştiği söylenebilir. Yüke bağlı sıcaklık artışı NO miktarını 1000 dev/dak için artırmıştır. 1500 dev/dak' da ise yanma nispeten daha iyi olduğundan ve yüke bağlı sıcaklık artışı olduğundan NO miktarını maksimum seviyeye yükselmiştir. 2500 devirde artan hava hareketleri ve düşük yük sıcaklığı düşürmüş ve NO emisyonu azalmıştır.

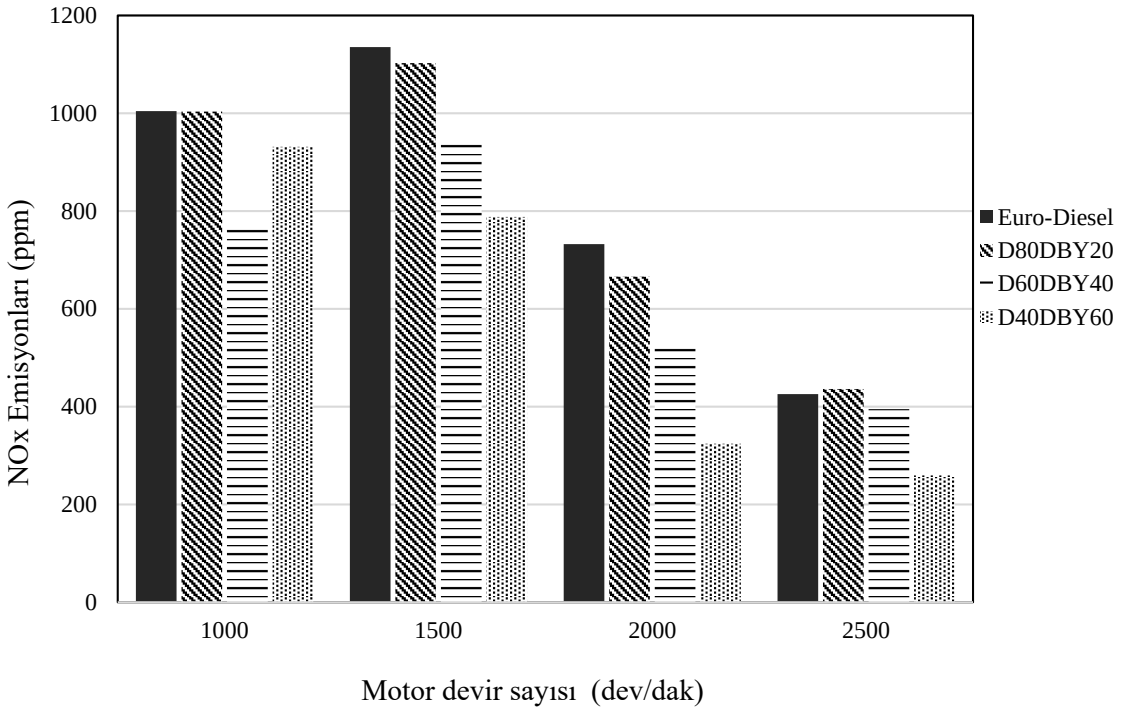
4.2.5. NO_X Emisyonları

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 (N_2) ve oksijen (O_2) 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. (2010) tarafından yapılan çalışmada DBY' nin NO emsiyonları dizele göre yüksek çıkmıştır. Motor devrinin 2000 dev/dak olduğu anda bu değerler en yükseğe çıktığı ortaya konulmuştur.

Yakıt karışımları ile yapılan çalışmada azot oksitlerin (NO_X) emisyonlarına ait veriler şekil 4.2.5'teki grafiğe dökülmüştür. Veriler incelendiğinde hemen hemen tüm devirlerde yeni yakıt karışımlarının Euro-diesel yakıta göre daha az NO_X emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara bakarak yapılan çalışmanın amacını gerçekleştirdiği görülmektedir. 1000 devir için D80DBY20 yakıtının egzoz atıkları içerisinde çevreye saldığı NO_X miktarının dizel yakıtınkine yakın olduğu, 2500 devir için ise daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. D60DBY40 yakıtı incelendiğinde motor devir

sayısının 1000'den 1500'e çıkarılmasıyla salınan NO_X miktarında da artış olduğu elde edilen verilerden anlaşılmaktadır. D40DBY60 yakıtına bakıldığında ise motor devir sayısının artırılmasıyla NO_X emisyonlarında ters orantılı bir şekilde azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Düşük devirlerde fazla yük ve eksik havadan dolayı kötü yanma gerçekleştiği söylenebilir. Yüke bağlı sıcaklık artışı NO_X miktarını artırmaktadır. Düşük devirlerde yanma nispeten daha iyi olduğundan ve yüke bağlı sıcaklık artışı olduğundan NO_X miktarını maksimum seviyeye yükselmiştir. 2500 devirde artan hava hareketleri ve yükün düşüklüğü sıcaklığı düşürmüştür. Sıcaklığın düşük olmasının sonucu olarak da NO_X emisyonu azalmıştır.

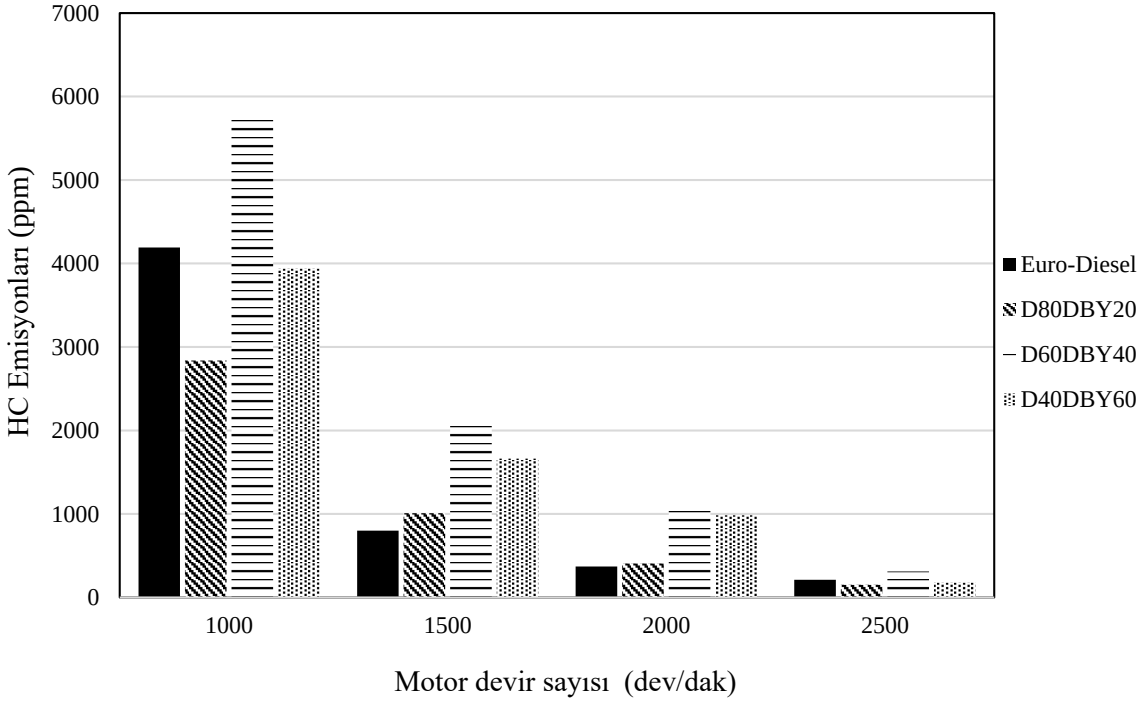


Şekil 4.2.5. Azot oksitleri emisyonları grafiği

4.2.6. HC Emisyonları

Hidrokarbonlar (HC) yanmanın istenilen ölçüde gerçekleşmediği düzensiz bir tepkimenin sonucu olarak ortaya çıkan yanmamış yakıt bileşenleridir. Egzozdan farklı biçimlerde (C_6H_6, C_8H_{18} gibi) çıkabilen bu bileşenlerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Sinir sistemi üzerinde olumsuz bir etki yapabilecekleri gibi kansere de sebebiyet verebilmektedirler (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 durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Euro-diesel ile kıyaslanan yakıt karışımlarının grafiği şekil 4.2.6'da verilmiştir. HC Emisyonları (ppm) 1500 dev/dak ve 2000 dev/dak hızları için tüm karışımlarda dizele göre daha yüksek çıkmıştır. D40DBY60 1000 ve 2500 devirleri için dizelden daha az HC salınımı yaparken 1500 dev/dak 'da ise dizel yakıtın iki katı, 2000 dev/dak 'da neredeyse üç kat kadar yapmıştır. D60DBY40 her devirde dizelden yüksek HC emisyonun üretirken D80DBY20 tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında dizelden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.



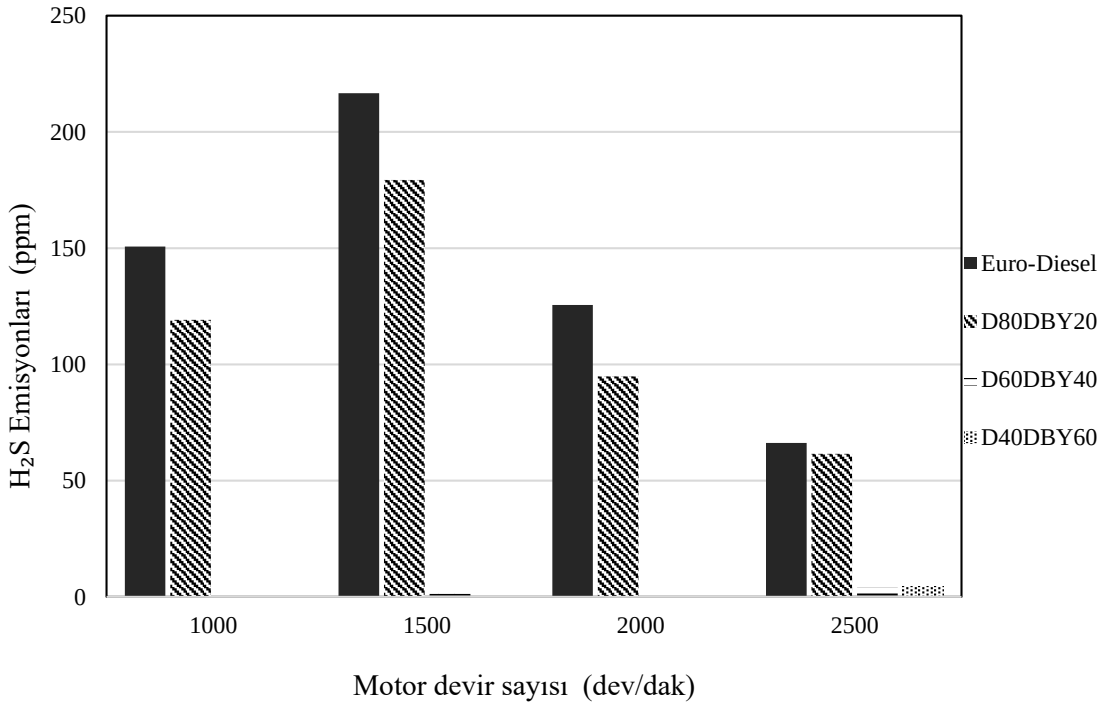
Şekil 4.2.6. Hidrokarbon emisyonları grafiği

HC emisyonlarının düşük devirlerde yüksek olmasının sebebi zengin karışım ve eksik yanma olarak gösterilebilir. 1500 ve 2000 devirlerdeki motor hızında D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarının yüksek HC emisyonu üretmesinin nedeni sıcaklığın düşük olmasına bağlı sönme bölgesi kalınlığının artması gösterilebilir.

4.2.7. H_2S Emisyonları

Hidrojen sülfür (H_2S) zehirli ve kötü kokulu bir gazdır. Zehirleme etkisi yapan gaz sinir sistemi üzerinde çok etkilidir. Solunduğu zaman solunum organlarının

tahribatına neden olduğu gibi akciğer vasıtasıyla kana karışıp kanın kimyasını bozarak oksijen taşınmasını engeller ve kişinin boğularak ölmesine sebep olmaktadır (Öztürk 2006).



Şekil 4.2.7. Hidrojen sülfür emisyonları grafiği

DBY normal haliyle S muhteviyatından dolayı egzoz emisyonlarında SO_2' nin yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Zira Arpa ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada DBY' nin SO_2 emsiyonu dizele göre yüksek çıkmıştır. Kükürt miktarı oksidatif kükürt giderme (OKG) yöntemi uygulanarak azaltılabilmektedir. Böylece zararlı emisyonun etkileri azaltılabilmektedir.

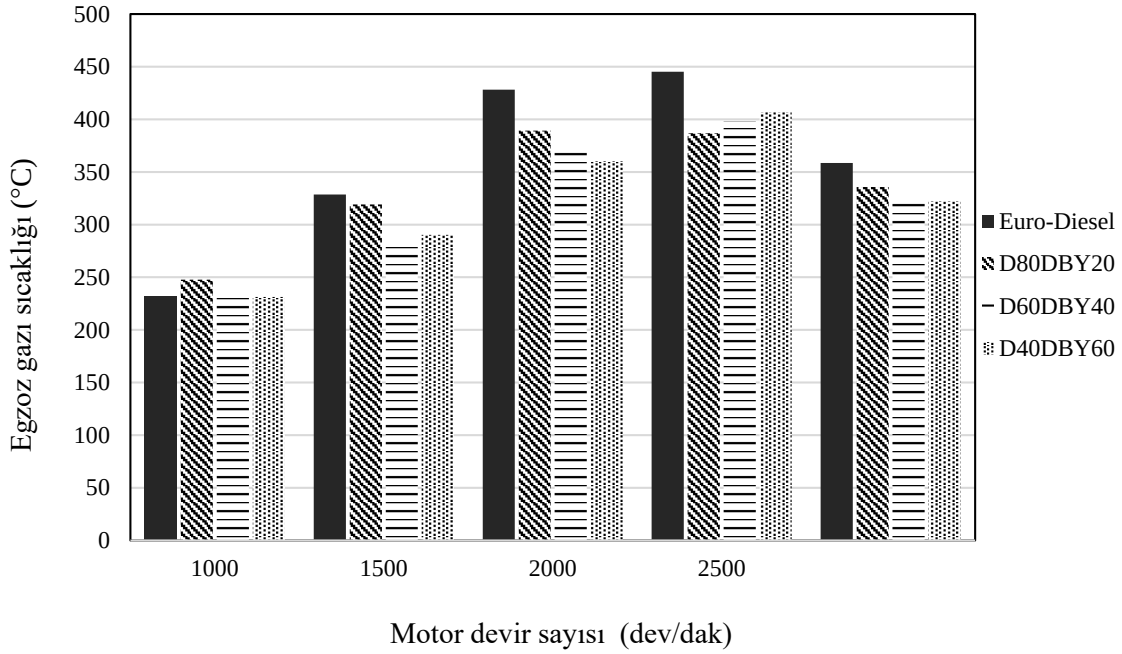
Emisyon testleri yapılıp hidrojen sülfür ile ilgili veriler şekil 4.2.7'deki grafiğe dökülmüştür. H_2S dizel yakıt emisyonlarında rastlanan bir gaz olması sebebiyle hacimce dizel oranı yüksek olan D80DBY20 karışımında diğer karışımlara göre yüksek ancak dizel yakıta göre düşük çıkmaktadır. D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarında yok denecek kadar az miktarda H_2S emisyonu bulunmaktadır. Bunun bir nedeni de pirolitik damıtma yöntemiyle elde edilen DBY' nin içindeki kükürt miktarının oksidatif kükürt giderme (OKG) yöntemi uygulanarak azaltılmasıdır. Diğer bir nedeni ise temin edilen

numunelerin yaz ayları boyunca (3 ay) Diyarbakır'da bekletilmesi olarak düşünülmektedir. Zira yaz ayları Diyarbakır'da sıcak geçmektedir. Sıcaklığın, DBY' nin kükürt içeriğinin azaltılması üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Arpa ve ark. 2013). Kükürt miktarında bir değişmenin olabileceği konusunda bir öngörüde bulunulabilseydi numunelerin temin edildiği ilk durumda ölçüm yapılıp öyle bekletilirdi. Daha sonra da deneylere başlanmadan önce tekrar ölçüm yapılıp öyle deneylere başlanılırdı.

4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı

İçten yanmalı dizel motorunun içinde yüksek sıcaklıkta bir yanmanın gerçekleşmesiyle bağlantılı olarak egzoz gazı sıcaklığı da artacaktır. Yanma sonucu elde edilen enerjinin egzozdan ısı olarak atılması istenmeyen bir durumdur. Çünkü egzoz sıcaklığı yüksek olduğunda motor ısıl veriminin düştüğü anlamına gelmektedir. Arpa ve ark. (2010) tarafından yalnızca DBY ile dizel yakıt karşılaştırmalarında egzoz gazı sıcaklığının DBY için yüksek olduğu tespit edilmiştir. Egzoz gazının yüksek çıkması motor performans verilerini de etkileyip motor performansını düşürdüğünü dile getirmişlerdir.

Motorin ve test edilen yakıt karışımları için motor hızlarına göre elde edilen egzoz gazı sıcaklıkları değişimi Şekil 4.2.8'de verilmiştir.



Şekil 4.2.8. Egzoz gazları sıcaklık grafiği

Egzoz gazı sıcaklığına bakıldığında tüm yakıtlar için hız ile doğru bir orantı olduğu görülmektedir. Dizel ile kıyaslandığında karışımların daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. Egzoz gazı sıcaklığının düşük olması yakılan yakıttan daha fazla iş elde edildiğini göstermektedir.

Egzoz gazı sıcaklık ölçümü ve diğer tüm ölçümler motorun hemen üstünden ölçülmüştür. Bu nokta Şekil 4.2.9' da gösterilmeye çalışılmıştır. Eğer egzoz borusunun sonunda ölçümler yapılmış olsaydı devir artışı ile sıcaklığın artışı egzoz basıncına ve gaz akış hızının artmasına bağlı bu artışın gerçekleştiği söylenebilirdi.



Şekil 4.2.9. Egzoz gazları ölçüm noktası

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde yılda yaklaşık 40 milyon ton madeni yağ üretilmektedir. Bu üretimin yaklaşık %60'ı atık haline gelir (Arpa ve ark. 2010). Bunların çoğu petrol kaynaklı yağlardır ve yağlama yağlarının bu üretim içindeki payı yaklaşık %97'sini kapsamaktadır (Bhaskar ve ark. 2004). Çevreye boşaltılan bir litre atık motor yağı, 800.000 litre suyu kullanılamaz ve 5.000.000 ton temiz suyu içilemez hale getirmektedir (Batmaz 2007). Bunun yanında gün geçtikçe artan enerji talebi ve tüketimi görmezden gelinemez. Bu artışın özellikle Asya bölgesindeki gelişmekte olan ülkelerdeki büyük enerji tüketimi nedeniyle 2030'da %1,5'e kadar çıkacağı tahmin edilmektedir (Mohsin ve ark. 2014). Enerji elde edebilmek için farklı kaynaklar keşfetmezsek veya mevcut atıklarımızı yakıtlara dönüştürebilecek teknolojiler geliştirmezsek artan enerji talebi karşılanamayacak boyutlara geleceği görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada;

1. Atık yağlama yağından pirolitik distilasyon ile elde edilen dizel benzeri yakıt ile dizel yakıtın hacimsel olarak karıştırılıp oluşturulan %20, %40, %60 atık yağlama yağı (AYY) oranlarının özgül yakıt tüketimi, genel olarak azalırken AYY oranı hacimce %40 olan D80DBY20 karışımının özgül yakıt tüketiminde bir artış gözlemlenmiştir.
2. D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir. Verimli bir yanmanın gerçekleştiği söylenebilmektedir. Ancak D40DBY60 yakıt karışımında bu durumun farklı olduğu ve motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarının da arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir. Başka çalışmalarda yanma tepkimesinin daha iyi gerçekleşmesi için yakıt karışımına başka maddelerin ilave edilmesi gerektiği düşünülmektedir.
3. Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Ancak bu standartlara göre kabul edilebilir düzeydedir.

4. Motor devrinin artırılmasıyla CO_2 emisyonlarının da dizel yakıt ve diğer yakıt örenleri için arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Ancak dizel yakıt ile kıyaslandığında CO_2 salınımı yakıt örnekleri için daha düşüktür.
5. Test sonuçları yapılan çalışmanın amacına uygun sonuçlandığını göstermektedir. Çünkü 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve NO_X emisyonlarının dizel yakıta göre daha az olduğu görülmektedir.
6. Hidrokarbonların (HC) istenilen düzeylerde yanma tepkimesine girmediği için egzozdan tahliye olan O_2 ve HC miktarı dizel yakıtlara göre yüksek çıktığı düşünülmektedir. Motorda yanmayı iyileştirecek yeni katkı maddeleri eklenerek HC emisyonlarının iyileştirilebileceği ön görülmektedir.
7. Dizel yakıt ile kıyaslandığında yeni yakıt karışım örneklerinin daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Atık yağların çokluğu göz önüne alındığında, bu yağların yakıt olarak kullanılmasıyla hem yakıt ekonomisinin sağlanacağı hem de çevre kirliliğinin önüne geçileceği görülmektedir. Çalışmalar bize gösteriyor ki atıl durumdaki yağ, oksijenden mahrum bir yerde yeteri miktardaki ısıya maruz bırakılarak kimyası değiştirilebilir ve yeniden yapılandırılabilir (Bockhorn ve ark. 1998). Bu işlem uygun şekilde yapıldığında çevreyi kirletmemektedir (Poutsma 2010). Bu sayede AYY' ler enerji çevrimine katılarak çevre ve temiz içme suları atıkların zararlı etkilerinden korunabilir.

6. KAYNAKLAR

Agarwal, A. K., & Rajamanoharan, K. (2009). Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine. ***Applied Energy***, 86(1), 106-112.

Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. ***Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi***, 2(3), 45-52.

Alencar, J. W., Alves, P. B., & Craveiro, A. A. (1983). Pyrolysis of tropical vegetable oils. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, 31(6), 1268-1270.

Alkaya, B., & Yıldırım, M. (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri. ***ÇEV-KOR Ekoloji Çevre Dergisi***, 9(34), 2000.

Al-Omari, S. B. (2008). Used engine lubrication oil as a renewable supplementary fuel for furnaces. ***Energy Conversion and Management***, 49(12), 3648-3653.

Arar, S., 2001, Baca Analizi, Ölçüm Yapılan Cihazlar, Ölçülen Gazlar, ilgili Yönetmelik, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,1.

Arpa, O. (2009).. "Performance And Exhaust Emıssıon Tests Of Fuels Obtaıned From Waste Lubrıcatıon Oıl By Pyrolıtıc Dıstıllatıon", (Doctoral dissertation, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolitic distillation. ***Applied Energy***, 87(1), 122-127.

Arpa, O., Yumrutaş, R., & Kaşka, Ö. (2013). Desulfurization of diesel-like fuel produced from waste lubrication oil and its utilization on engine performance and exhaust emission. ***Applied Thermal Engineering***, 58(1-2), 374-381.

Ayaz, M. E. (2003). Hacıali ve Karayün (Sivas) Çevresinin Jeolojisi ve Doğal Karbondioksit Potansiyeli. ***FÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 15(4), 523-538.

Aydın, H. (2007). Pamuk Yağı Biyodizelinin Bir Dizel Motorunda Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyabakır, 6-8.

Ayhan, D. (2008). Biodiesel a Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. ISBN-13: 9781846289941.

Aydoğan, H. (2006). Dizel Motorlarında Çeşitli Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Arpa, O., & Yumrutas, R. (2010). Experimental investigation of gasoline-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. ***Fuel Processing Technology***, 91(2), 197-204.

Arpa, O., Yumrutas, R., & Alma, M. H. (2010). Effects of turpentine and gasoline-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. ***Energy***, 35(9), 3603-3613.

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

Batmaz, İ. (2007). Buji ateşlemeli motorlarda yakıta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. ***Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 22(1).

Barnwal, B. K., & Sharma, M. P. (2005). Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 9(4), 363-378.

Bechtold, R. L., & Lestz, S. S. (1976). Combustion characteristics of diesel fuel blends containing used lubricating oil (No. 760132). SAE Technical Paper.

Behera, P., & Murugan, S. (2013). Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. ***Fuel***, 104, 147-154.

Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. ***Fuel***, 83(1), 9-15.

Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. ***Fuel***, 83(1), 9-15.

Bockhorn, H., Hornung, A., & Hornung, U. (1998). Stepwise pyrolysis for raw material recovery from plastic waste. ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis***, 46(1), 1-13.

Cao, Q., Jin, L. E., Bao, W. R., & Lu, Y. K. (2008). Factors influencing the quality of pyrolytic oil from used tires. ***Energy Sources***, Part A, 30(9), 833-841.

Cay, Y., Cicek, A., Kara, F., & Sağiroğlu, S. (2012). Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network. ***Applied Thermal Engineering***, 37, 217-225.

Chang, C. C., & Wan, S. W. (1947). China's motor fuels from tung oil. ***Industrial & Engineering Chemistry***, 39(12), 1543-1548.

Crouse, W. H. (1970). Automotive engine design. Glencoe/McGraw-Hill School Pub Co.

Çelik, M. (2015). Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Dandik, L. (1996). Kullanılmış yağların pirolizi ile organik kimyasallar ve yakıt üretimi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Freedman, B. E. H. P., Pryde, E. H., & Mounts, T. L. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. ***Journal of the American Oil Chemists Society***, 61(10), 1638-1643.

Freedman, B., Butterfield, R. O., & Pryde, E. H. (1986). Transesterification kinetics of soybean oil 1. ***Journal of the American Oil Chemists' Society***, 63(10), 1375-1380.

Fritz, S. G., McNett, B., & Schandelmeier, R. (1998). Exhaust emissions from heavy-duty diesel engines operating on JP-8 blended with used engine oil**. *Am Soc Mech Eng Internal Combust Eng Div ICE***, 30(1), 1-6.

Fortes, I. C. P., & Baugh, P. J. (1999). Study of analytical on-line pyrolysis of oils from Macauba fruit (Acrocomia sclerocarpa M) via GC/MS. ***Journal of the Brazilian Chemical Society***, 10(6), 469-477.

Hasımoglu, C., Ur, Y. I. I., & Ogut, H. (2002). Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. ***Turkish J. Eng. Env. Sci***, 26, 127-135.

Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals. - Mcgraw-hill New York.

Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine Fundamentals.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O. C., Clemente, M., Aldekoa, S., & Uriondo, Z. (2016). Waste oil-based alternative fuels for marine diesel engines. ***Fuel Processing Technology***, 153, 28-36.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O. C., Clemente, M., Aldekoa, S., & Uriondo, Z. (2019). Performance of marine diesel engine in propulsion mode with a waste oil-based alternative fuel. ***Fuel***, 235, 259-268.

Idem, R. O., Katikaneni, S. P., & Bakhshi, N. N. (1996). Thermal cracking of canola oil: reaction products in the presence and absence of steam. ***Energy & Fuels***, 10(6), 1150-1162.

İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., & Aydın, H. (2009). Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15.

Idem, R. O., Katikaneni, S. P., & Bakhshi, N. N. (1996). Thermal cracking of canola oil: reaction products in the presence and absence of steam. ***Energy & Fuels***, 10(6), 1150-1162.

İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., & Aydın, H. (2009). Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15.

Kim, S. S., Kim, J., Jeon, J. K., Park, Y. K., & Park, C. J. (2013). Non-isothermal pyrolysis of the mixtures of waste automobile lubricating oil and polystyrene in a stirred batch reactor. ***Renewable energy***, 54, 241-247.

Kim, S. S., & Kim, S. H. (2000). Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil. ***Fuel***, 79(15), 1943-1949.

Lam, S. S., Russell, A. D., Lee, C. L., & Chase, H. A. (2012). Microwave-heated pyrolysis of waste automotive engine oil: Influence of operation parameters on the yield, composition, and fuel properties of pyrolysis oil. ***Fuel***, 92(1), 327-339.

Lang, X., Dalai, A. K., Bakhshi, N. N., Reaney, M. J., & Hertz, P. B. (2001). Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. ***Bioresource Technology***, 80(1), 53-62.

Lima, D. G., Soares, V. C., Ribeiro, E. B., Carvalho, D. A., Cardoso, É. C., Rassi, F. C., & Suarez, P. A. (2004). Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils. ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis***, 71(2), 987-996.

Mohsin, R., Majid, Z. A., Shihnan, A. H., Nasri, N. S., & Sharer, Z. (2014). Effect of biodiesel blends on engine performance and exhaust emission for diesel dual fuel engine. ***Energy Conversion and Management***, 88, 821-828.

Maceiras, R., Alfonsín, V., & Morales, F. J. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. ***Waste Management***, 60, 351-356.

Mahari, W. A. W., Zainuddin, N. F., Chong, C. T., Lee, C. L., Lam, W. H., Poh, S. C., & Lam, S. S. (2017). Conversion of waste shipping oil into diesel-like oil via microwave-assisted pyrolysis. ***Journal of Environmental Chemical Engineering***, 5(6), 5836-5842.

Mastral, A. M., Callen, M. S., Garcıa, T., & Navarro, M. V. (2000). Improvement of liquids from coal–tire co-thermolysis. Characterization of the obtained oils. ***Fuel Processing Technology***, 64(1-3), 135-140.

Muniyappa, P. R., Brammer, S. C., & Noureddini, H. (1996). Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product.

Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G. (2008). Performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using Distilled Tyre pyrolysis oil-diesel blends. ***Fuel Processing Technology***, 89(2), 152-159.

Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G. (2009). Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines. ***Fuel Processing Technology***, 90(1), 67-74.

Oğuz, H. (2004). Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Oğuz, H., Oğüt, H., Gökdoğan, O. (2012). Türkiye tarım havzaları üretim ve destekleme modelinin biyodizel sektörüne etkisinin incelenmesi. ***Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, *2*(2 Sp: A), 77-84.

Öztürk, M. (2006). Kanalizasyonlarda Hidrojen Sülfür Gazı Oluşumu Sağlık Üzerine Etkileri.

Peterson, C. L., & Auld, D. L. (1991). Technical overview of vegetable oil as a transportation fuel. FACT: ***Solid Fuel Conversion for the Transportation Sector***, 12, 45-54.

Poutsma, M. L. (2000). Fundamental reactions of free radicals relevant to pyrolysis reactions. ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis***, 54(1-2), 5-35.

Rinaldini, C. A., Mattarelli, E., Savioli, T., Cantore, G., Garbero, M., & Bologna, A. (2016). Performance, emission and combustion characteristics of a IDI engine running on waste plastic oil. ***Fuel***, 183, 292-303.

Sakata, Y., Uddin, M. A., & Muto, A. (1999). Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts. ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis***, 51(1-2), 135-155.

Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. A. (2015). Preparation and characterization of nano porous bentonite for regeneration of semi-treated waste engine oil: Applied aspects for enhanced recovery. ***Chemical Engineering Journal***, 260, 368-376.

Sainz-Diaz, C. I., Kelly, D. R., Avenell, C. S., & Griffiths, A. G. (1997). Pyrolysis of furniture and tire wastes in a flaming pyrolyzer minimizes discharges to the environment. ***Energy & fuels***, 11(5), 1061-1072.

Singhabhandhu, A., & Tezuka, T. (2010). The waste-to-energy framework for integrated multi-waste utilization: Waste cooking oil, waste lubricating oil, and waste plastics. ***Energy***, 35(6), 2544-2551.

Sinha, S., Agarwal, A. K., & Garg, S. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. ***Energy Conversion and Management***, 49(5), 1248-1257.

Shiraga, Y., Uddin, M. A., Muto, A., Narazaki, M., Sakata, Y., & Murata, K. (1999). Boiling-point distributions and dechlorination of organic chlorine compounds in oil obtained from the degradation of PVC mixed plastic. ***Energy & fuels***, 13(2), 428-432.

Srivastava, A., & Prasad, R. (2000). Triglycerides-based diesel fuels. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 4(2), 111-133.

Tajima, H., Takasaki, K., Nakashima, M., Yanagi, J., Takaishi, T., Ishida, H., ... & Iwamoto, K. (2001). Combustion of used lubricating oil in a diesel engine (No. 2001-01-1930). SAE Technical Paper.

Taylor, C. F. (1985). The Internal-combustion Engine in Theory and Practice: Combustion, fuels, materials, design (Vol. 2). MIT press.

Tekbaş, F., Vaizoğlu, S., Oğur, R., & Güler, Ç. (2005). Küresel Isınma, İklim Değişikliği ve Sağlık Etkileri. Ankara. GATA Ayın Kitabı, 46-47.

Ulusoy, Y., 1999, "Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma", Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

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

Vellguth, G. (1983). Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines. ***SAE Transactions***, 1098-1107.

Vicente, G., Martınez, M., & Aracil, J. (2004). Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. ***Bioresource Technology***, 92(3), 297-305.

Wang, X., & Ni, P. (2017). Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel-like fuel from waste lubrication oil. ***Energy Conversion and Management***, 133, 275-283.

Yadav, S. P. R., & Saravanan, C. G. (2015). Engine characterization study of hydrocarbon fuel derived through recycling of waste transformer oil. ***Journal of the Energy Institute***, 88(4), 386-397.

Zhenyi, C., Xing, J., Shuyuan, L. I., & Li, L. (2004). Thermodynamics calculation of the pyrolysis of vegetable oils. ***Energy Sources***, 26(9), 849-856.

EKLER

EK-1
EGZOZ GAZI EMİSYON SINIR DEĞERİ

(Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yönetmeliği, Resmî Gazete Sayı: 28837)

ARACA AİT BİLGİLER	Karbon monoksitin Miktarı (CO) (hacimce %)
Egzoz sisteminde dönüştürücü veya benzer emisyon kontrol ekipmanı bulunmayan taşıtlar	
Rölantide Çalışırken	
1/Ekim/1975 tarihinden önceki araçlarda	6
1/Ekim/1975 ile 1/Ekim/1986 tarihi arasındaki araçlarda	4.5
1/Ekim/1986 tarihinden sonraki araçlarda	3.5
Egzoz tahliye sisteminde dönüştürücü vb. salınım kontrol ekipmanı olan araçlar (1)	
Rölantide (<2000 dakika - 1)	
- Araç üreticisi tarafından belirlenen bir miktarda CO sayısı bulunmuyorsa	Maksimum 0.5
-2003 senesinden itibaren	Maksimum 0.3
Büyük Rölantide (≥ 2000 dakika - 1) (2)	
-Araç imalatçısının belirlediği bir CO sayısı bulunmuyorsa	Maksimum 0.3
-2003 senesinden sonraki modellerde	Maksimum 0.2

(1) Egzoz gazı analiz cihazı ile tip onayındaki gereksinimlere uyumlu olarak ölçüm yapılır. Araç hafızasında hata kodlarını tanımlayabilen OBD mevcudiyetli araçlarda, emisyon sistemlerinin doğru-düzgün çalışıp çalışmadığı, bu cihazın göstergelerinin uygunluk hallerine göre denetimi yapılır.
(2) İmalatçısı tarafından belirlenen durumlara göre hesaplanan Lambda değeri, büyük rölantidelerde 1± 0,03 olarak alınır.

EK-2
SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ MOTORLU ARAÇLARDA KULLANILACAK OLAN YAKITLARA İLİŞKİN ÇEVRESEL NİTELİKLER
(Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yönetmeliği, Resmî Gazete Sayı : 28837)

Yakıt türü: Dizel (Motorin)

Parametre [1]	Birim	Limitler [2]	
		Minimum	*Maksimum*
Setan Sayısı		51	
15°C'de yoğunluk	Kg/m^3	-	845
Distilasyon:			
- %95(v/v) geri kazanıldığı noktada	°C	-	360
Polisiklikaromatik hidrokarbonlar	%m/m	-	8
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10
FAME (yağ asidi metil ester) içeriği – EN 14078	% v/v	-	7[3]

Açıklamalar:
(1) Yöntem EN 590:2009' da yer alandır. EPDK, doğru sonuç verecek hata payı minimize edilmiş farklı bir test yöntemi belirleme inisiyatifine sahiptir. Bu inisiyatif ile elde edilecek ölçümler kabul edilmektedir.
(2) Bir en az değerin tespit edilmesinde ISO 4259:2006 standardı esası referans alınarak ölçüm yapılmıştır. Tekrarlanabilirlik (R: Reproducibility) sıfır üzeri 2R 'lik en az fark kayda değer alınmıştır. Sonuçların yorumlanması da ISO 4259:2006'daki mevzuat çerçevesinde gerçekleştirilecektir..
(3) FAME için EN 14214 nolu standardına uyulması gerekmektedir.

EK-3

Euro-6 Standartlarına Göre Zararlı Emisyonlar Sınır Değerleri
(Kaynak: Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığından TEBLİĞ NO: SGM-2014/4)

		Referans kütle (RM) (kg)	**Karbon monoksit kütlesi**		**Metan olmayan hidrokarbonlar kütlesi**		**Azot oksitler kütlesi**		**Parçacıklı madde kütlesi**		**Parçacık sayısı**	
			(CO) (mg/km)		**(NMHC)** (mg/km)		**(NO_x)** (mg/km)		**(PM)** (mg/km)		**(PN)** (#/km)	
Kategori	Sınıf		PI	CI	PI	CI	PI	CI	CI	PI	CI	PI
M	-	Hepsi	1900	1750	170	290	90	140	12	12		
N_1([3])	I	RM ≤ 1305	1900	1750	170	290	90	140	12	12		
	II	1305< RM ≤ 1760	3400	2200	225	320	110	180	12	12		
	III	1760 < RM	4300	2500	270	350	120	220	12	12		
N_2	-	Hepsi	4300	2500	270	350	120	220	12	12		

Açıklamalar:
PI = Pozitif ateşlemeli, CI = Sıkıştırma ateşlemeli

OBD (On-board diagnose): Araç motor egzozundan salınan zararlı atıkları azaltmak için çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Bunlardan ilki Amerika'daki OBD I 'dir. Sonrasında ise OBD II (On-board diagnose) çıkarılmıştır. AB ülkeleri de .eşitli sınırlamalar getirmişlerdir. AB ülkelerindeki sınırlamanın adı EOBD 'dir (Euro On-board Diagnose).

ÖZGEÇMİŞ

Ad / Soyad : Mahmut DEMİR

Doğum Tarihi ve Yeri : 10.07.1986 / Lice

Yabancı Dili : İngilizce

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Telefon	0543 534 1767
Elektronik Posta	muh.mahmutdemir@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Namık Kemal Lisesi (Diyarbakır)	2005

ÇALIŞTIĞI YERLER

Yıl	**İşyeri**	**Görevi**
2014-halen	Yesrib Doğalgaz (Diyarbakır)	Makine Mühendisi
2012-2014	Üstüntaşlar Doğalgaz (Diyarbakır)	Makine Mühendisi
2010-2012	Berksan Makine (Antalya)	Makine Mühendisi

BELGE VE UZMANLIK SERTİFİKALARI

- Denetçi Belg. (2017)
- Şantiye Şefliği (2014)
- C Sınıfı İş Güv. Uzm. Sertifikası (2013)
- MEB Bilgisayar İşletmenliği Belg. (2012)
- D.gaz İç Tes. Mühendis Yetki Belg. (2012)
- End. ve Büyük Tük. Tesislerin D.gaza Dönüşümü Yetki Belg. (2012)

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	MAHMUT DEMİR
ÖĞRENCİ NO	14818001
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018 -2019
YARIYIL	☒ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	ATIK YAĞLAMA YAĞLARINDAN ELDE EDİLEN DİZEL BENZERİ YAKIT-MOTORİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	68
BENZERLİK ORANI	%17
RAPORLAMA TARİHİ	21/01/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 68 sayfalık kısmına ilişkin, 21/01/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %17 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

MAHMUT DEMİR
21/01/2019

DR.ÖĞR. ÜYESİ ORHAN ARPA **Tez Danışmanı** **21/01/2019**	**DOÇ.DR. VEDAT ORUÇ** **Anabilim Dalı Başkanı** **21/01/2019**

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.