



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

**PIROLİTİK YAKIT VE ALKOL KATKILARININ DİZEL BİR
MOTORDA YANMAYA VE EMİSYONLARA OLAN ETKİLERİ**

EMRAH HANEDAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SUAT SARIDEMİR**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİROLİTİK YAKIT VE ALKOL KATKILARININ DİZEL BİR
MOTORDA YANMAYA VE EMİSYONLARA OLAN ETKİLERİ**

Emrah HANEDAR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Etem GÜREL

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KARAGÖZ

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 23/02/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

23 Şubat 2021

Emrah HANEDAR



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Suat Sarıdemir'e ve Arş. Gör. Ümit Ağbulut'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

23 Şubat 2021

Emrah HANEDAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	11
2.1. DİZEL YAKIT VE ÖZELLİKLERİ	11
2.1.1. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtların Özellikleri	11
2.1.1.1. Viskozite	11
2.1.1.2. Isıl Değer	12
2.1.1.3. Setan Sayısı	12
2.1.1.4. Bulutlanma ve Akma Noktası	12
2.1.1.5. Yoğunluk	13
2.1.1.6. Parlama ve Alevlenme Noktası	13
2.1.1.7. Uçuculuk	14
2.1.1.8. Korozyon Etkisi.....	14
2.2. PİROLİTİK YAKIT VE ÖZELLİKLERİ	14
2.3. ALKOL GRUBU VE ÖZELLİKLERİ	15
2.3.1. Etanol	15
2.3.2. Metanol.....	16
2.3.3. n-Butanol.....	16
2.4. ALKOLLERİN İYM' DE ALTERNATİF OLARAK KULLANILMASI.....	17
2.5. ALKOLLERİN İYM' DE KULLANILMA YÖNTEMLERİ	17
3. MATERYAL - METOT.....	19
3.1. DENEY YAKITLARI	19
3.2. DENEY DÜZENEGİ	20
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	27
4.1. YANMA KARAKTERİSTİKLERİ	27
4.2. PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ	33
4.3. EMİSYON DEĞERLERİ DEĞİŞİMLERİ	36
4.3.1. Azot Oksit (NO _x) Emisyonu	37
4.3.2. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu.....	38
4.3.3. Karbonmoksit (CO) Emisyonu	39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	40
6. KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.	1
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.	21
Şekil 3.2. Deney düzeneği	21
Şekil 3.3. Yakıt ölçüm düzeneği.	22
Şekil 3.4. Tork ölçüm ünitesi görünümü.	23
Şekil 3.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.	24
Şekil 3.6. Febris yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü.	25
Şekil 4.1. 3 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.	27
Şekil 4.2. 6 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.	28
Şekil 4.3. 9 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.	28
Şekil 4.4. 12 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.	29
Şekil 4.5. 3 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.	31
Şekil 4.6. 6 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.	31
Şekil 4.7. 9 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.	32
Şekil 4.8. 12 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.	32
Şekil 4.9. Özgül yakıt tüketimi.	35
Şekil 4.10. Isıl verim.	36
Şekil 4.11. NO _x emisyon grafiği.	37
Şekil 4.12. CO ₂ emisyon grafiği.	38
Şekil 4.13. CO emisyon grafiği.	39

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi	19
Tablo 3.2. Deney yakıtlarına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler.....	20
Tablo 3.3. Deney motorunun teknik özellikleri.....	22
Tablo 3.4. K Test gaz analiz cihazı teknik özellikleri	23
Tablo 4.1. Maksimum silindir basıncı ve ısı salınımı değerleri ve yerleri	33



KISALTMALAR

Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C ₂ H ₂	Asetilen
C ₂ H ₆	Etan
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbondioksit
D100	%100 dizel yakıtı
D80P10B10	%80 dizel yakıtı %10 pirolitik yakıt %10 Butanol
D80P10E10	%80 dizel yakıtı %10 pirolitik yakıt %10 Etanol
D80P10M10	%80 dizel yakıtı %10 pirolitik yakıt %10 Metanol
D90P10	%90 dizel yakıtı %10 pirolitik yakıt
HC	Hidrokarbon
İYM	İçten yanmalı motor
LHV	Yakıtın alt ısıl değerini (kj/kg)
NO _x	Azot oksitler
O ₂	Oksijen
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
ppm	Milyonda bir
SiO ₂	Silisyum oksit
TiO ₂	Titanyum oksit
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
°KA	Krank açısı

SİMGELER

b_e	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
\dot{m}_y	Yakıt tüketimi (g/s)
n	Politropik indeks
P_e	Efektif motor gücü (kW)
∂P	Silindir basınç değişimi
∂V	Silindir içerisinde piston hareketi sonucu oluşan hacim değişimi
\emptyset	Krank açısı



ÖZET

PIROLİTİK YAKIT VE ALKOL KATKILARININ DİZEL BİR MOTORDA YANMAYA VE EMİSYONLARA OLAN ETKİLERİ

Emrah HANEDAR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Şubat 2021, 48 sayfa

Günümüzde fosil yakıtların miladını doldurmak üzere olması, insan sağlığını doğrudan olumsuz etkileyen petrol türevi ürünlerin yanma sonu ürünü olan emisyon değerleri ve gelişen teknoloji, bazı araştırmaları ve iyileştirmeleri ortaya çıkarmaya teşvik etmiştir. Çalışma kapsamında, söz konusu sorunların çözümü için alkollerin ve atıkların geri kullanımının etkileri incelenmiştir. Atıklardan elde edilen yakıtlar ve alkoller petrol yakıtlarına hacimsel olarak belirli oranlarda katılabileceği gibi direkt olarak da motorlarda kullanılabilir. Bu çalışmada direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda, petrol türevi olan motorine etanol, metanol, butanol ve pirolitik yakıt karışımlarının motor performansına, yanmaya ve emisyon değerlerine olan etkileri incelenmiştir. Deneyler tüm yakıt karışımları için sabit 2400 dev/dk'da 3, 6, 9 ve 12 Nm motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Dizel ve pirolitik yakıtta ilave edilen alkol karışımlarının deney yakıtlarının yoğunluğunu, setan sayısını, alt ısı değerini, parlama noktasını, karbon içeriğini ve hidrojen içeriğini düşürdüğü, oksijen içeriğini ise arttırdığı tespit edilmiştir. 3 Nm haricindeki tüm motor yüklerinde, setan sayısı en küçük olan D80P10M10 yakıtı ile en büyük maksimum silindir basınç değerleri elde edilirken, setan sayısı en büyük olan D100 yakıtı ile genelde en küçük maksimum silindir basınç değerleri elde edilmiştir. Maksimum ısı salınım değerleri pirolitik ve alkol karışımı yakıtlar ile D100'e göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimini standart dizel yakıtına göre %3-15 oranında arttırdığı ve ısı verimi %1-8 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca ilave olarak yakıtlardaki karbon, hidrojen ve oksijen içeriklerinden dolayı CO ve CO₂ emisyon değerlerinin azaldığı NO_x emisyonlarında ise yük şartlarına göre değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Alkol yakıtlar, Emisyon, Performans, Pirolitik yakıt, Yanma.

ABSTRACT

EFFECTS OF PYROLYTIC FUEL AND ALCOHOL ADDITIVES ON COMBUSTION AND EMISSIONS IN A DIESEL ENGINE

Emrah HANEDAR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

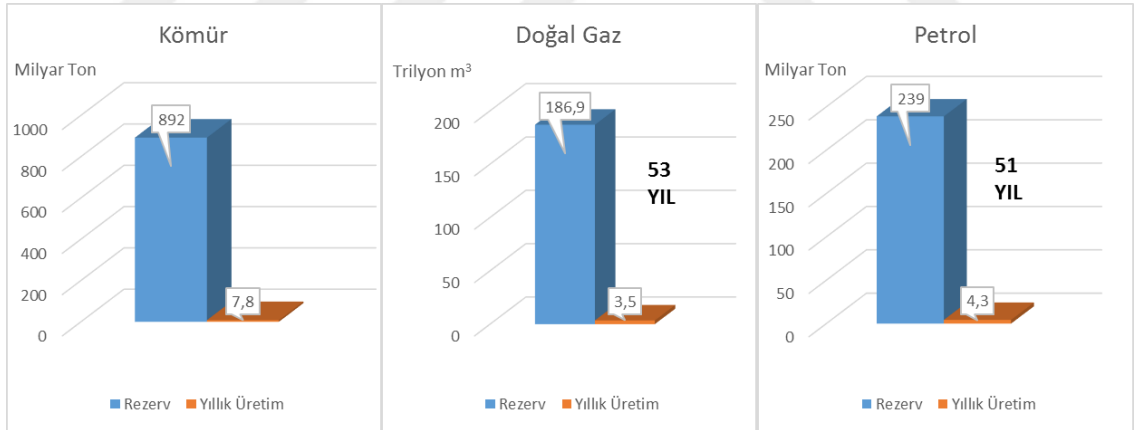
February 2021, 48 pages

Today, the fact that fossil fuels are about to come to an end, the emission values of petroleum derivative products that directly adversely affect human health, and the developing technology have encouraged some researches and improvements. Within the scope of the study, the effects of the reuse of alcohols and wastes to solve these problems were examined. Fuels and alcohols obtained from wastes can be added to petroleum fuels in certain proportions by volume, or they can be used directly in engines. In this study, the effects of ethanol, methanol, butanol and pyrolytic fuel mixtures on diesel engine, which are petroleum derivatives, on engine performance, combustion and emission values were investigated in a direct injection diesel engine. The experiments were carried out for all fuel mixtures at constant 2400 rpm at 3, 6, 9 and 12 Nm engine loads. It was determined that alcohol mixtures added to diesel and pyrolytic fuels decrease the density, cetane number, lower calorific value, flash point, carbon content and hydrogen content of the test fuels and increase the oxygen content. At all engine loads except 3 Nm, the highest maximum cylinder pressure values were obtained with D80P10M10 fuel with the smallest cetane number, while the lowest maximum cylinder pressure values were obtained with D100 fuel with the highest cetane number. The maximum heat release values were obtained with pyrolytic and alcohol blended fuels at a higher value than D100. It was determined that it increases the specific fuel consumption by 3-15% compared to standard diesel fuel and decreases the thermal efficiency by 1-8%. In addition, it was observed that CO and CO₂ emission values decreased due to carbon, hydrogen and oxygen contents in fuels, and NO_x emissions varied according to load conditions.

Keywords: Alcohol fuels, Combustion, Emission, Performance, Pyrolytic fuel.

1. GİRİŞ

Ülkelerin vazgeçilemez ihtiyaçlarından bir tanesi de enerjidir [1]. Enerji bilimsel olarak iş yapabilme kapasitesi olarak ifade edilebilir [2]. Ülkelerin enerji politikalarını belirlerken temel aldıkları en önemli unsurlar; teknolojik yenilikleri destekleyici, süreklilik sağlayan, güvenilir, ekonomik, temiz ve kaliteli olma özelliğidir. Uzun yıllardır fosil yakıt kullanımı enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Yapılan bazı tahminlere göre yeryüzündeki fosil yakıtların 21. yüzyıl ortalarında tükeneceği ifade edilmektedir [3]. Yıllardır kullanılan petrol, zamanla kuyularının derinliklerinin artması ve bu neden ile uzak rezervler için yüksek maliyetlerin oluşması araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalarına hız vermeye teşvik etmiştir [4], [5]. Dünyadaki fosil yakıt rezervleri hızlı bir şekilde azalmakta, petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmaktadır [6]. Şekil 1.1’de dünya kömür, doğal gaz ve petrol rezervlerine ilişkin bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.1. Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri [6].

Fosil yakıtları kullanan motorlu taşıt kullanıcılarının sayısının gün geçtikçe artması bazı sorunları beraberinde getirmiştir [7]. Bunların yanı sıra teknolojik gelişmeler, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar, rezervlerinin azalması, petrol ile çalışan araçların artması, petrolün farklı sektörlerde de kullanılması (giyim sanayi vb.), petrol kaynağının yeteri kadar olmaması ve özellikle çevreye vermiş olduğu zararlardan dolayı da araştırmacıları alternatif yakıtlar üzerine çalışmalara yönelmişlerdir.

Fosil yakıtların motorlu taşıtlarda, tarım aletlerinde ve çeşitli sanayilerde (otomotiv, giyim vb.) kullanılması, fosil yakıtları kullanan kitlenin doğrudan büyümesini sağlamıştır. Bu da doğrudan hem kullanılan yakıt miktarını arttırmakta hem de çevre kirliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan dolayı bazı araştırmacılar, araçların yakıt veya ateşleme sistemlerini değiştirmeden aynı performansı verebilecek daha çevreci yakıt veya ilave katkı malzemeleri bulmak için çalışmalar yapmaktadırlar [8].

Alternatif yakıtlar genel olarak güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen ve biyokütle vs. gibi enerji kaynaklarıdır [9]. Biyokütle enerji kaynakları hem geri dönüşüm avantajı sağladığı için, hem de doğada var olan veya ekimi yapılabilir bitki veya ürünlerden üretildiği için ciddi anlamda maliyeti düşürmektedir. Ayrıca literatürde yapılan araştırmalara bakıldığında zaman petrol ve türevi ürünlerden daha çevreci olduğu kanıtlanmıştır [5], [10].

Biyokütle enerjisinin çok uzun bir geçmişi olduğu zaten bilinmektedir. Örnekleyecek olursak çok eski zamanlardan itibaren odunun yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisi evlerde ısınma, mutfak vs. alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Biyokütlenin modern olarak kullanımı ise, 21. yüzyılda enerji yoğunluğunun artırılarak yakıtla çevrilmesiyle karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak ele alındığında ise biyokütle enerjisi katı, sıvı ve gaz olarak 3 formda kullanılmaktadır. Bunlardan ağaç, pelet gibi ürünler katı; etanol, biyodizel vb. ürünler sıvı; biyogaz, hidrojen vb. ürünler ise gaz olarak sınıflandırılabilir. Biyokütle; çeşitli işlemler ile (termal, biyolojik ve fiziksel) hidrojen, etanol, metanol veya metan gibi çeşitli enerji kaynaklarına dönüştürülebilir [11].

Alkollerin genel formülü $C_nH_{2n+1}-OH$ olarak ifade edilmektedir [12]. Dizel yakıtlarına göre alkollerin yapılarında daha küçük moleküler yapı olması, kükürt, ağır metal ve kanserojen madde içermemesi egzoz emisyonlarını daha çevreci hale getirmektedir [13]. Genel itibari ile alkoller, içeriğinde şeker ve nişasta bulunduran ürünlerden elde edilmektedir. Alkolün elde edilebilmesi için ayrıştırılması gerekmektedir. İlk adım hammaddenin saf maya ile fermente edilmesi ve ardından çeşitli yöntemler kullanılarak yan ürünlerin alkolden uzaklaştırılarak (rektifikasyon ve dehidrasyon) alkolün yalın halde getirilmesidir. Alkollerin fosil yakıt türevlerine katılması uzun zamandan beri uygulanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda çeşitli alkoller (etanol, metanol, bütanol, fuzel yağ ve eter vb.) yakıt veya katkı olarak kullanılmaktadır [14].

Literatürde, içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlara ve biyoyakıtlara katılan çeşitli

alkollerin ve karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

[15]'te yapılan çalışmada, fındık yağı sabun stoğu ve atık ayçiçeği yağından elde edilen biyodizel yakıtlar ve metanolün motor performansına olan etkilerini incelemiştir. Deneyler dört zamanlı, dört silindirli, turbo şarjlı bir dizel motorda kısmi ve tam yükler altında gerçekleştirilmiştir. Biyodizel yakıt hacimsel olarak mazot ile %5, %10, %15, %17,5 ve %25 oranlarında karıştırılmıştır. Çalışmada, standart dizel yakıtına göre daha yüksek güç ve tork değerleri elde edildiği belirtilmiştir. %17,5'lik oranda Biyodizel-Dizel karışımından maksimum güç ve verimin sağlandığı belirtilmiştir. Tam yükte karışımların karbon monoksit (CO) emisyonları standart dizel yakıtından düşük iken, karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Genel itibari ile SO₂ miktarlarında azalma olduğu, azot oksit (NO_x) miktarlarında ise hafif bir artma olduğunu saptamışlardır.

[16]'da yapılan çalışmada, standart dizel yakıtı farklı oranlarda katılan biyodizel, metanol ve alkol karışımlarının (B45M10, B40M20, B45E10, B40E20) çift silindirli bir dizel motorun tam yük altındaki emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak genel karışımlardaki metanol ve etanol miktarı arttıkça, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının arttığı, NO emisyonlarının ise azaldığını belirtmişlerdir. Bunlara ilave olarak metanol ile yapılan karışımlarda etanole göre daha iyi emisyon değerleri elde edildiği belirtilmiştir.

[17]'de yapılan çalışmada, Palm biyodizeli, antioksidan ve mazot karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonuna olan etkilerini araştırmışlardır. Deneyleri sabit yükte ve farklı devirlerde yapmışlardır. Deneyler sonucunda antioksidan içerikli yakıtın, NO_x'i B20'ye kıyasla düşürdüğü belirtilmiştir. Bununla birlikte, B20'ye kıyasla, CO ve HC emisyonlarında artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir.

[18]'de yapılan çalışmada standart dizel yakıtı, biyodizel ve bütanol karışımlarının motor performans ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler standart dizel yakıtı (D100), biyodizel (B100) ve bütanol biyodizel karışımları (B95BU5, B90BU10, B80BU20) ile %0, %46, %69 ve %92 motor yüklerinde yapılmıştır. Bütanol içerikli yakıtlar ile daha düşük karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NO_x) emisyonları ile birlikte daha düşük egzoz gazı sıcaklıklarının elde edildiği bildirilmiştir. %5 ve %10 oranında karıştırılan bütanol ile dizel yakıtı göre daha düşük CO ve daha

yüksek NO_x emisyonları elde edilirken HC emisyonlarında ciddi bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir.

[19]'da yapılan çalışmada, iki farklı biyodizel ile etanol karışımlarının ön yanma odalı turbo dizel bir motorda performans ve emisyon değerlerini karşılaştırılmalı olarak incelemiştir. Biyodizel olarak öncelikle tütün tohumu yağından elde edilen ester (T) ve sonrasında atık ayçiçek yağı ile fındık yağı sabun stoğundan (S) elde edilen metil esterler kullanmışlardır. Karışım oranlarını E15, T17,5 ve S17,5 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak kullanılan alternatif yakıtlar CO, is ve SO₂ emisyonlarını azaltırken, NO_x emisyonunu arttırdığı belirtilmiştir. Etanol ilavesini standart dizel yakıtından ziyade biyodizelde bir miktar güç artışı sağladığı belirtilmiştir.

[20]'de yapılan çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçeği yağından elde edilen biyodizel yakıtı tek silindirli dizel motorda test edilmiş ve standart dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde moment değerinde maksimum %11, güçte ise maksimum %5 oranında bir azalma olduğu, özgül yakıt tüketiminde %5 oranında, NO_x emisyonunda ise %13 oranında artış olduğu belirtilmiştir. HC, CO emisyonlarının azaldığı ve is emisyonunda ise yaklaşık %18 oranında iyileşme olduğu belirtilmiştir.

[21]'de yapılan çalışma neticesinde atık yağlar ile biyodizel yakıt üretmişlerdir. Elde edilen yakıtın motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini incelemiştir. Deneyleri sabit 2600 dev/dk ve (2,45), (4,91), (7,36) ve (9,81) Nm yükleri altında yapmışlardır. Atık yağlardan elde edilen biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde %5'lik artma olduğu belirtilmiştir. Ayrıca NO_x emisyonlarında %17, CO emisyonlarında %33 ve is emisyonlarında %31 oranlarında azalma, HC emisyonunda ise %24'lük bir artış olduğu ifade edilmiştir.

[22]'de yapılan çalışmada, soya yağı metil esterinin dizel bir motorun performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri 1200-2400 dev/dk aralığında ve tam yükte araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, biyodizel yakıtının motor gücünde azalma ve özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, hemen hemen bütün biyodizel yakıtlarında görülen egzoz emisyonlarında (CO, HC, NO_x ve duman) azalma olduğunu belirtmişlerdir.

[23]'te yapılan deneysel çalışmada, dizel-biyodizel yakıtları hacimsel olarak karıştırılarak B0, B5, B20, B50 ve B100 yakıtları elde edilmiştir. Deneyleri tek silindir

bir dizel motorda 2200 dev/dk'de 20 Nm motor yükünde gerçekleştirmişlerdir. Biyodizel oranının karışım içerisinde artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

[24]'te yapılan çalışmada pamuk yağı biyodizelini standart dizel yakıtı ile farklı oranlarda harmanlanması ile elde edilen yakıtların (B10D90, B20D80 ve B50D50) yanmaya, motor performansına ve emisyonlara olan etkileri araştırılmıştır. Deneyle tam yükte 1500-2000-2500-3000 dev/dk'da gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, biyodizelin motor gücünü ve torkunu düşürdüğü belirtilmiştir. CO, HC ve is emisyonlarının azaldığı, NO_x emisyonlarının ise arttığı bildirilmiştir. Bunlara ilave olarak ateşleme gecikmesinden dolayı ısı salınım hızının arttığı ve yanma süresinin kısaldığı bildirilmiştir.

[25]'te yapılan çalışmada kanola yağından biyodizel üretmişlerdir. Yakıt karışımlarının isimlerini D100B0, D50B50 ve D0B100 olarak belirlemişlerdir. Sonuçta, saf biyodizelin standart dizele göre CO₂ emisyonunu %4,2 oranında düşürdüğü ve harmanlanmış yakıtların CO₂ emisyonunu %2,8 düşürdüğü bildirilmiştir. NO_x emisyonu ise standart dizel yakıtı ile benzer sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada biyodizelin standart dizel yakıtına göre daha çevreci olduğu ve motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

[26]'da yapılan çalışmada, dietil eter, etanol, biyodizel ve dizel yakıtların karışımı ile deney yakıtlarını elde edilmiştir. Birinci kombinasyon sadece biyodizel karışımı olan B30, ikinci kombinasyon BE-1 ismini verdikleri içeriğinde %5 dietil eter, %25 biyodizel ve %70 dizel bulunan karışım ve sonuncu kombinasyon ise BE-2 ismini verdikleri içeriğinde %5 etanol, %25 biyodizel ve %70 dizel bulunan karışımlardır. Deney sonuçları incelendiğinde BE-2 karışımının NO_x emisyonlarının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. BE-1 ve BE-2 karışımlarının hidrokarbonu (HC) artırdığı ve karbon monoksiti (CO) düşürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca, BE-1'in ısı salınım oranının B30'a göre yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

[27]'de yapılmış olan çalışmada, biyodizel ve biyoetanolden elde ettikleri karışımın dizel bir motorun emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, biyodizel-standart dizel karışımı ile HC ve CO emisyonlarında azalma olduğu belirtilmiştir. Biyoetanol-standart dizel yakıtı karışımında ise duman miktarının yarı yarıya düştüğünü tespit etmişlerdir.

[28]'de yapılmış olan çalışmada, etanol, standart dizel yakıtı ve biyodizel karışımlarının hacimsel olarak karıştırılarak (E5), (E10), (E15), (E15B) yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının 1400, 1800, 2200 devir aralıklarında dört silindirli bir motorun emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde etanolün dizel yakıtına eklenmesi, NO_x ve HC emisyonlarını azalttığı belirtilmiştir.

[29]'da yapılmış olan çalışmada, biyodizel içerisine %10 ve %20 oranında propanol ilavesinin tek silindirli bir motorun emisyonlarına ve performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Propanol ilavesinin, %100 biyodizel yakıtına göre motor performansını artırdığı, CO, NO_x, is emisyonlarını B100 yakıtına oranla düşürdüğü ve HC emisyonlarını artırdığı belirtilmiştir. Biyodizel içerisine ilave edilen propanolün biyodizelin viskozite, akma noktası ve düşük kalori değeri gibi dezavantajlarını ortadan kaldırdığı ve NO_x emisyonunda azalma sağladığını belirtmişlerdir.

[30]'da yapılmış olan çalışmada, atık taşıt lastiklerinden elde edilen pirolitik yakıtın dizel motorlarda kullanılabilirliği incelenmiştir. Deneyler, tek silindirli bir dizel motorda yapılmıştır. Pirolitik yakıt dizel yakıtına %20 – %40 – %60 – %80 oranlarında katarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyleri farklı yüklerde (%25, %50, %75, %100), farklı hızlarda (1400, 2000, 2600, 3200 dev/dk) ve farklı püskürtme basınçlarında (185, 205, 225, 245 bar) gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre, %40'a kadar olan katkıların motor performansını az oranda etkilediği, yakıt içeriğinin %60'a kadar artırılması NO_x emisyon değerlerini büyük ölçüde etkilemediği, yakıt içeriğinin %40'a kadar artırılması ise düşük motor devrinde HC emisyon değerlerini iyileştirirken bu değerden sonraki yakıt ilaveleri HC emisyonlarında artış göstermiştir. Düşük ve orta hızlı motor devirlerinde, artan ilave miktarı CO emisyonlarını azaltırken, yüksek devirlerde ise CO emisyonlarının artmasına neden olmuştur. İS emisyonları ise pirolitik yakıt ilavesi ile beraber azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek katkı değerlerinin ise performans ve emisyon değerlerini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Ayrıca deney yakıtlarının maksimum silindir basıncı, basınç artış hızı ve ısı çıkış oranını arttırdığı ve tutuşma gecikmesini olumlu etkilediği belirtilmiştir.

[31]'de yapılmış olan çalışmada, dizel yakıtı-bitkisel yağ ve n-bütanol karışımlarının motor karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Deney yakıtlarını %70 dizel yakıtı, %20 bitkisel yağ (kanola, soya, ayçiçeği, mısır, zeytin, fındık, pamuk) ve %10 n-bütanol olmak üzere toplam 7 adet hazırlamışlardır. Deneyleri 4 silindirli, turbo şarjlı bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre moment, efektif güç, ısıl verim,

ortalama efektif basınç ve egzoz gazı çıkış sıcaklığında azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğunu belirtmiştir.

[32]'de yapılmış olan çalışmada, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda benzin içerisine %10 ve %20 oranında kattıkları n-butanol'ün 2400 dev/dk motor devrinde, %20, %40, %60, %80, %100 motor yüklerinde motor performansı ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimini, CO₂, NO_x ve egzoz gazı sıcaklığını artırdığı, CO ve HC emisyonlarını ise düşürdüğü belirtilmiştir.

[33]'te yapılmış olan çalışmada, atık yağ metil esteri ve çeşitli metal oksit nanopartiküllerin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon, titreşim ve gürültüsüne olan etkileri incelenmiştir. Deneyleri sabit 2000 dev/dk' da (2,5), (5), (7,5) ve (10) Nm motor yüklerinde gerçekleştirmişlerdir. Deney yakıtları saf dizel (D100), %10 biyodizel içerikli yakıt (B10) ve B10'a 100 ppm değerinde kattıkları alüminyum oksit (B10Al₂O₃), titanyum oksit (B10TiO₂) ve silisyum oksit (B10SiO₂) içerikli yakıtlardır. Metal oksit nanopartikül içerikli yakıtların motor performansını artırdığı ve biyodizel yakıtına göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. En düşük CO emisyon azalması, oksijen içeriğinden dolayı B10Al₂O₃ ile olduğu belirtilmiştir. Tüm deneylerde D100 yakıtı ile, en yüksek CO emisyon değerine sahip olunmuştur. Nanopartiküllerin ilave edilmesi HC emisyon değerini bir miktar arttırdığı belirtilmiştir.

[34]'te yapılmış olan çalışmada, pamuk yağı metil esterinin tek silindirli dizel bir motorlarda yanma, performans, titreşim ve gürültüye olan etkileri incelenmiştir. Deneyleri 1500 dev/dk'da, farklı oranlarda (B0, B10, B20 ve B50) ve farklı yüklerde ((2,5), (5), (7,5) ve (10) Nm) gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, yakıt karışımlarının dizel motorlarda değişiklik yapmadan kullanılabileceği, metil esterinin içeriğindeki oksijen miktarı sayesinde yanmanın iyileştiği, biyodizelin yüksek viskozite değerinin atomizasyon ve buharlaşmayı olumsuz etkilediği, B20 yakıtının en düşük titreşim değerini verdiği, yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimini arttırdığı ve en yüksek özgül yakıt tüketiminin B50 ile elde edildiği belirtilmiştir.

[35]'te yapılmış olan çalışmada, dizel yakıtına %10 oranında katılan bütanol (B10), etanol (E10) ve metanolün (M10) tek silindirli dizel bir motorun performans ve emisyon karakteristik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Karışım yakıtlarının düşük setan sayısı nedeni ile tutuşma gecikmesi süresini artırdığı, karışım yakıtlarının silindir içi maksimum basınç değerlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, NO_x

emisyonlarını artırdığı, duman ve CO değerlerini düşürdüğü, D100 ile en düşük özgül yakıt tüketiminin elde edildiği belirtilmiştir.

[36]'da yapılmış olan çalışmada, atık taşıt lastiklerinden elde ettikleri pirolitik yakıtı dizel yakıt içerisine hacimce %10, %30 ve %50 oranlarında katarak deney yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının 2000 dev/dk sabit motor devrinde, 3, 6, 9, 12 Nm motor yüklerinde tek silindirli dizel bir motorun performans, yanma, emisyon, titreşim ve gürültüsüne olan etkilerini incelemişlerdir. Pirolitik yakıt miktarının artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin arttığı, termal verimin azaldığı, maksimum silindir içi basınç değerinin, titreşim, gürültü seviyelerinin arttığı, CO değerinde önemli bir değişiklik olmadığı, NO_x emisyonunun arttığı ve HC değerinin ise kademeli olarak azaldığını belirtmişlerdir.

[37]'de yapılmış olan çalışmada, dizel (D100) yakıtı ile hacimce %20 biyodizel (D80C20), %10 etanol (D90E10) ve dizel-biyodizel-etanol (D70C20E10) yakıt karışımlarının tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorun performans ve emisyon değerlerine olan etkileri incelenmiştir. Deneyleri tam yük altında 1750, 2250, 2750 ve 3250 dev/dk motor devirlerinde yapmışlardır. Tüm yakıt karışımlarının D100'e göre, CO ve HC değerlerini düşürdüğü ve NO_x değerinin ise karışım türlerine göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

[38]'de yapılmış olan çalışmada, benzin içeriğine etanol ve metanol katkılarının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler 4 silindirli buji ile ateşlemeli bir araçta 80 km/h hızda E5, E10, M5 ve M10 yakıtları ile 5, 10, 15, 20 kW sabit güç şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde her iki alkolün de özgül yakıt tüketimini artırdığı, alkollerin maksimum ısı yayılım oranı ve maksimum silindir içi basınç noktalarının benzine göre üst ölü noktadan uzaklaştığı ve CO, HC, CO₂, NO_x emisyonlarını düşürdüğü belirtilmiştir.

[39]'da yapılmış olan çalışmaya bakıldığında benzin-metanol karışımlarının motor performansı ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler tek silindirli, dört zamanlı bir motorda, sabit 2000 dev/dk motor devrinde 10 ve 20 Nm motor yüklerinde M0, M5, M10, M20 ve M50 yakıt karışımları ile gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, deney yakıtlarının metanol oranının artması ile birlikte özgül yakıt tüketiminin arttığı, efektif verim, NO_x, HC ve CO₂ değerlerinin ise azaldığı belirtilmiştir.

[40]'da yapılan çalışmaya göre dizel-biyodizel, dizel-biyodizel-alkol ve dizel-biyodizel-alkol-bitkisel yağ karışımlarının egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyleri dizel bir jeneratör ile gerçekleştirmişlerdir. Deney yakıtlarını dizel-biyodizel (%70-30), dizel-biyodizel-alkol (%70-20-10) ve dizel-biyodizel-alkol-bitkisel yağ (%70-20-5-5) oranlarında belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda bitkisel yağ karışımlarının NO_x emisyonunu düşürdüğü, CO ve HC değerlerini arttırdığı belirtilmiştir.

[41]'de yapmış olduğu çalışmada, dizel- metanol (M5, M10) ve dizel- etanol (E5, E10) karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Deneyleri, tek silindirli, doğal emişli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda, 30 Nm motor yükünde, 1000, 1200, 1400, 1600 ve 1800 dev/dk motor devirlerinde gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimini ve NO_x değerini artırdığı, ısıl verim, duman, CO ve HC değerlerini ise düşürdüğü belirtilmiştir.

[42]'de yapılan çalışmada, dizel-biyodizel-biyoetanol karışımlarının motor performans ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, hacimsel olarak; %100 D (dizel), %50 D ve %50 BD (dizel-biyodizel), %45D %50BD %5 BE (dizel-biyodizel-biyoetanol) ve %40 D %50 BD %10 BE (dizel-biyodizel-biyoetanol) ilavesi şeklinde gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre, standart dizel yakıtına ilave miktarı arttıkça motor güç ve torkunda düşme olduğu, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), CO₂ ve NO değerinde artış olduğu, CO, HC değerlerinde ise düşüş olduğu belirtilmiştir.

[43]'de yapılan araştırmaya göre mısır yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri metil ester ile dizel yakıtı karışımlarının motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Metil ester, standart dizel yakıt ile hacimsel olarak %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırarak deney yakıtlarını elde etmişlerdir. Deneyler tek silindirli doğal emişli bir dizel motorda, farklı enjeksiyon basınçlarında (210 – 230 bar), 2000 dev/dk'da farklı motor yüklerinde (5 - 10 Nm) gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, metil ester oranının artışına bağlı olarak oksijen miktarının arttığı, yanma sürecinin hızlandığı, maksimum silindir basıncının arttığı, CO emisyonunun azaldığı, NO_x emisyonunun, özgül yakıt tüketiminin ve ısıl verimin arttığı belirtilmiştir.

[44]'te yapılan çalışmada, yakıt olarak dizel-etanol-butanol karışımlarının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneyle 6 silindirli, turbolu, ağır hizmet tipi direkt püskürmeli bir dizel motorda, hacimce %5, %10 etanol, % 8, %16 butanol karışımları ile 1200 ve 1500 dev/dk'de %20, %40 ve %60 motor yüklerinde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, yakıt karışımlarının tutuşma gecikmesi süresini artırdığı, maksimum silindir basıncını küçük miktarda artırdığı, yanmanın ilk safhasında silindir içi sıcaklık değerini düşürdüğü belirtilmiştir.

[45]'de görüldüğü üzere, hacimce %10, %20, %30 ve %40 oranlarında karıştırılan dizel-izobütanol karışımlarının motor performansına olan etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyle tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda 375 ile 625 dev/dak arasında 42 dev/dak artışla ve farklı motor yüklerinde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, deney yakıtlarının egzoz gazı sıcaklığını ve ısı verimi düşürdüğü, özgül yakıt tüketimini ise artırdığı belirtilmiştir.

[46]'da yapılmış olan çalışmada, alkol katımının dizel yakıtın kimyasal özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada alkol olarak etanol, metanol, 2-propanol, 2-butanol kullanmıştır. Dizel yakıtına alkol ilavesinin yoğunluk, viskozite, parlama noktası ve setan sayısı değerlerinde bir azalmaya yol açtığını belirtmiştir.

Literatür araştırmasının sonucunda dizel ve benzin gibi fosil yakıt türevi yakıtlara alkol karışımları ile ilgili birçok araştırma olduğu görülmüştür. Pirolitik yakıt ile ilgili çalışmalar yapılmış olup, pirolitik yakıtın özelliklerini iyileştirmeye dönük detaylı bir araştırma konusu olmadığı gözlenmiştir. Bu çalışmada, atık taşıt lastiklerinden piroliz yöntemi ile elde edilmiş pirolitik yakıt ve etanol, metanol, butanol gibi alkoller standart dizel yakıt ile hacimsel olarak karıştırılmıştır. Elde edilen yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun yanma, performans karakteristiklerine ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyle tüm yakıtlar ile aynı şartlar altında 2400 dev/dk motor devrinde 3, 6, 9, 12 Nm yüklerde yapılmıştır.

2. YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Dizel Yakıt ve Özellikleri

2.1.1. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtların Özellikleri

İçten yanmalı motorlar (İYM) ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Dizel motorlarda yanma odasında yüksek basınçta sıkıştırılan hava içerisine püskürtülen yakıtın yanması ile mekanik enerji sağlanmaktadır. Bundan dolayı yakıt içeriği, yanma olayı sonucunda çıkan mekanik enerjiyi doğrudan etkilemektedir [47], [48]. Standart dizel yakıt ham petrolün çeşitli sıcaklıklarda damıtılması ile elde edilmektedir. Deney verilerinin yorumlanabilmesi için yakıtın bazı kimyasal özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Dizel yakıtının belirli özellikleri bu bölümde verilmiştir.

2.1.1.1. Viskozite

Viskozite akmaçlık veya ağdanlık anlamına da gelen genel tanımı ile sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç olarak da bilinen mühendisliğin önemli kavramlarından biridir. Özellikle yeni nesil yakıt sistemlerinde, yakıtın silindirlere atomize bir şekilde gönderilebilmesi için yakıtın viskozite değerinin iyi saptanması gerekmektedir. Yakıtların atomize bir şekilde parçalanması ve hava ile homojen bir şekilde karışması iyi bir yanma ve buna bağlı olarak performans ve emisyon değerlerinde iyileşme sağlayacaktır. Düşük viskozite değerli yakıt daha akışkan hale getirerek motor üzerindeki parçaları korur ve yakıtın en iyi şekilde atomize olmasını sağlar. Bu da yanma olayını iyileştireceğinden elde edilen verileri daha anlamlı hale getirir. Viskozite değerinin yüksek olması, yakıt enjeksiyon sisteminin yakıtı püskürtmesini zorlaştırır. Yakıt yeterince atomize olamayacağından hava ile homojen bir şekilde karışamayacaktır. Ayrıca viskozite değerinin yüksek olması, yanma verimini düşüreceğinden yanma sonu ürünü olan CO, CO₂, NO_x, HC ve is gibi emisyon değerlerini de arttırır. Sıcaklığın viskoziteye olan etkisi “Engler Derecesi” olarak ifade edilmektedir. Bundan dolayı viskozite ve sıcaklık her zaman birlikte verilmelidir. Genel itibari ile standart dizel yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’de 1,5-5 Engler derecesi arasında olmalıdır. Eğer yakıtın viskozitesi Engler derecesi değerleri arasında değil ise çeşitli işlemler yapılarak uygun değere çekilir [47], [48].

2.1.1.2. *Isıl Değer*

Isıl değer, birim yakıttan elde edilebilecek enerjinin bir ölçüsüdür. Yakıtın kalorifik değeri olarak da ifade edilir. Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değer denir [49]. Isıl değer alt ve üst sınırları arasındaki fark yanma sonu ürünü olan suyun buharlaştırılabilmesi için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir. Alternatif yakıtların çoğunun ısı değeri birbirinden farklıdır. Bundan dolayı motor verileri farklı çıkmakta ve grafik yorumlamaları bu özelliklere dayandırılarak ifade edilmektedir. Sonuç olarak yanma içeriği yüksek olan yakıtlar daha fazla güç ve yakıt ekonomisi gösterir [47], [48].

2.1.1.3. *Setan Sayısı*

Setan sayısı, genel itibari ile dizel yakıtı ile anılır. Dizel yakıt karakteristiklerinin en önemlilerinden biri olan setan sayısı, yakıtın tutuşma kabiliyetini gösterir. Setan sayısının yüksek olması, yakıtın tutuşma kabiliyetinin yüksek olduğunu gösterir. Dizel motorlarda kaliteli bir yanma sağlanabilmesi için yakıtın tutuşma kabiliyetinin yüksek olması istenir. Eğer setan sayısı düşük olursa, sıkıştırma zamanı sonunda enjektörler tarafından yakıtın püskürtülmesi ile birlikte yanma işlemi geç başlar ve bu nedenle yanma odasında yanma öncesinde yakıt birikmesi olur. Aniden yanan fazla miktardaki yakıtın oluşturduğu basınç, mekanik darbelere neden olur. Bu durum dizel vuruntusu meydana getirir. [47], [48], [50].

2.1.1.4. *Bulutlanma ve Akma Noktası*

Sıvı maddelerin soğutulduklarında ilk kristalleşmenin görüldüğü en düşük sıcaklığa bulutlanma noktası denir. Yakıtların soğutulduğunda kristalleşmesinin ilk görüldüğü en düşük sıcaklık ise bulutlanma noktası olarak ifade edilir. Yakıtın bu sıcaklıktan sonra viskozitesi iyice düşer ve yakıt akışkan halden katı hale doğru ilerler. Akma noktası, yakıtın soğutulma esnasında kristalleşme durumu gerçekleşmeden akabileceği son sıcaklık derecesidir. Özellikle içeriğinde düşük miktarda kükürt bulunduran yakıtların bulutlanma ve akma noktası daha yüksektir. Akma ya da katılaşma noktası, düşük motor sıcaklıklarında yanmada ve yağlamada büyük önem arz etmektedir. Bu durum, ilk çalıştırmada motorun kolay çalışması ve aşınmaması açısından oldukça önemlidir. Özellikle dizel motorun çalışma prensibinden dolayı yakıt, akıcılık özelliğini kaybetmemelidir. Viskozite için gerekli özellikler burada da aynı şekilde geçerlidir.

Akma noktasının yüksek olması, yakıtın depodan çekilip enjektörlere basılmasına kadar sistem içerisindeki makine parçalarının çalışmasını zorlaştırır ve dolaylı olarak motorun çalışmasını ve performansını olumsuz olarak etkiler. Bu sebeplerden dolayı yakıt ve yağlama sistemine çeşitli katkıları katılarak akma noktası değerleri düşürülmektedir [47], [48].

2.1.1.5. Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacimdeki yakıtın kütlesi olarak ifade edilmektedir. Yoğunluk değeri sıcaklıkla beraber değişim gösterdiğinden dolayı 15 °C referans sıcaklık olarak kabul edilir. Konsantre sıvılar nasıl ki daha yoğun ve içerik bakımından daha zengin oluyorsa, benzer durum yakıtlar içinde geçerlidir. Yakıtın yoğunluk miktarı arttıkça, enerji miktarı da artar. Yakıtlardaki özgül ağırlık, yoğunluk ile orantılıdır. Yakıtın özgül ağırlığı ile yanma arasındaki ilişki incelendiğinde, ağırlık ne kadar küçük ise tutuşma o kadar hızlıdır. Dizel yakıtı, yoğunluk ve moleküler ağırlıkları farklı birçok hidrokarbondan meydana geldiği için yakıtın toplam yoğunluğu bütün birleşimin bir sonucudur [47], [48].

Dizel yakıt karakteristik özelliklerinden olan setan sayısı, aromatik içerik, viskozite ve distilasyon vb. özellikler yoğunluğu etkilemektedir. Buradan hareketle, bütün motor performans verileri ve emisyon değerleri yoğunluktan dolayı değişimler göstermektedir. Yüksek yoğunluk, yakıtın atomize olmasına karşı direnç göstererek silindirlere püskürtülen yakıtın hava ile homojenize karışmasını zorlaştırır. Yanma olayını etkileyen bu durum, yanma sonu ürünlerini de (HC, CO, CO₂, is vb.) etkiler. Genel olarak yoğunluğun düşük olması, sabit yakıt tüketim miktarını artırır [47], [48].

2.1.1.6. Parlama ve Alevlenme Noktası

Parlama noktası, yakıtın ısıtılmak sureti ile buhar oluşması ve bu buharın bir alev çekirdeğine maruz kaldığında tutuşabileceği en düşük sıcaklık miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle parlama noktası yakıtın alevlenme ve uçuculuk özelliğinin bir göstergesidir. Genel olarak az uçucu yakıtların parlama noktaları daha düşüktür. [47], [48]. Yakıtın parlama noktasını motor performansını etkiler. İyi bir motor performansı için pistonun ve supapların hızına bağlı olarak ateşleme zamanının ve yakıtın yanma süresinin bilinmesi gerekmektedir. Alev çekirdeği istenilen zamanda oluşmalı ve sona ermeli aksi halde motorda performans düşüklüğü veya vuruntu gibi istenmedik durumlar gözlenir.

2.1.1.7. Uçuculuk

Uçuculuk genel itibari ile yakıtın sıcaklığın etkisi ile beraber buhar fazına geçme eğiliminin bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Uçuculuk yanma açısından hızlı buharlaşma, homojen karışım, düşük viskozite gibi değerler sağladığından olumlu bir özellik olarak gözüktüğü de, dizel yakıtının en önemli özelliklerinden biri olan setan sayısını düşürmektedir. Kışın motoru ilk çalıştırmada kolay çalışmasını sağlayan özelliklerinden biri de yakıtın uçuculuk özelliğidir. Uçuculuk daha homojen karışım sağladığından yanmanın daha verimli olmasını sağlar, duman ve is oluşumunu düşürür [47], [48].

2.1.1.8. Korozyon Etkisi

Yakıtların yapısında bulunan kükürt, motor parçalarında özellikle düşük motor sıcaklıklarında korozyon etkisiye sebep olmaktadır. Bundan dolayı dizel yakıtının içerisindeki kükürt miktarının düşük olması istenmektedir [47], [48].

2.2. Pirolitik Yakıt ve Özellikleri

Sanayi ve evsel atıklar insan sağlığını tehlikeye soktuğundan bu atıkların geri kazanımı son dönemlerde önem kazanmıştır. Kullanılarak miadı dolmuş atık taşıt lastiklerinden ciddi bir kazanım elde edilememektedir. Kazanım edilememesi bir yana hem görsel hem de sağlık açısından insan hayatını olumsuz etkilemektedir. Piroliz yöntemi ile bu lastiklerden bir enerji elde edilebilmektedir. Taşıt lastiklerinden piroliz yöntemi ile yakıt elde etmek elverişli bir yöntemdir. Piroliz, oksijen bulunmayan ortamda büyük moleküllü polimerlerin sıcaklıkla beraber parçalanması işlemidir. Piroliz yöntemi için gerekli olan ısı miktarı, ilgili malzemenin içyapısı ve kimyasal özelliklerini bozacak ve yeni dokular oluşturabilecek seviyede olması gerekmektedir. Isıl işlem olarak yapılan bozundurma işlemi, katı yakıt açısından değerlendirildiğinde “karbonizasyon”, gaz ve sıvı yakıt açısından değerlendirildiğinde ise “piroliz” olarak bilinir. Atık taşıt lastiklerine piroliz yöntemi uygulandığında, ısının ve oksijensiz ortamın etkisi ile lastiğin yapısındaki kauçuk malzemenin yapısı bozulur. Piroliz işleminde uygulanan ısıtma işleminin hızı, verimi etkilemektedir. Yavaş ısıtma işlemi katı ürün verimini artırırken, hızlı ısıtma verimi ise sıvı ürün verimini artırmaktadır. Piroliz işlem sıcaklığı, 300 °C ile 1000 °C arasında değişkenlik göstermektedir. İşlem yapılmadan önce genel olarak geri dönüşüm sisteminde uygulanan parçalara ayırma işlemi, atık

lastiklerde de uygulanmaktadır. Bu işlemi atık lastikleri parçalara ayırmadan yapmakta mümkündür. Piroliz işlemi sonunda, atık lastiklerden üç adet ürün oluşur. Bu ürünler yağ, gaz ve karbon siyahıdır. Piroliz eğer parçalanmamış bir lastikten elde edilecekse, lastik içinde bulunan çelik tellerin ayrılması için, işlem bittikten sonra katı ürünler öğütülür ve bir mıknatıs yardımı ile çelik tel parçaları bütün içerisinde ayrılır. Eğer atık lastikler başta parçalanarak işlem yapılacaksa, çelik tellerin ayrılması ilk olarak yapılması gerekmektedir. Bu işlem için lastik parçalara ayrılır ve piroliz işlemine tabi tutulur [30].

Piroliz işlem sıralamasında aşağıdaki adımlar izlenir [30].

1. Piroliz için gerekli lastikler reaktöre yerleştirilir ve bu reaktör uygun sıcaklığa ayarlanır.
2. Artan sıcaklıkla beraber içyapı bozulmaya başlar ve bozulan yapı genellikle gaz halindedirler.
3. Buhar haline gelen piroliz ürünleri işlem devam ederken yoğunlaşma ünitesine alınarak burada sıvı halde depo edilir. Deney yaptığımızda kullandığımız yakıt bu kısımdan elde edilmektedir.
4. Yoğunlaşamayan diğer gazlar başka bir depoda depolanır.
5. Buharlaşma kabiliyeti olmayan katı bileşenler ise, işlem sonrasında reaktörden alınarak çeşitli işlemlerden geçirilip başka iş ve işlemlerde kullanılır.

Birinci maddedeki sıcaklık değerleri değiştikçe, üründen elde edilen katı, sıvı ve gaz miktarları da değişir. Örneğin 300 °C - 400 °C aralığındaki sıcaklık değerleri katı ürün miktarını, 400 °C - 550 °C değerleri arası sıcaklık sıvı miktarını, 700 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerleri ise gaz miktarını artırır. İşlem sonunda gaz ürün olarak, CH₄ (Metan), C₂H₆ (Etan), C₂H₂ (Asetilen) gibi hidrokarbonlar elde edilmektedir [30].

2.3. Alkol Grubu ve Özellikleri

2.3.1. Etanol

Alternatif olarak kullanılan yakıtlar içerisinde en fazla kullanıma sahip yakıt türüdür. Doğal ve kimyasal olarak üretilebilmektedir. Etanolün dizel yakıtı ile karıştırılması, dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Bu değerler yanma performansını ve emisyonları etkileyen setan sayısı, ısıl değer, viskozite gibi önemli yakıt karakteristikleridir. Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden olan tutuşma

kabiliyeti, etanolün setan sayısını düşürmesinden dolayı azalmaktadır. Bu istenilmeyen bir durumdur. Dizel-etanol karışımlarında karşılaşılan problemin en başında gelir. Etanol miktarı arttıkça setan sayısı düşmekte, buna bağlı olarak motor verimi düşmektedir. Etanolün yanma sıcaklığı dizel yakıtından yüksek olduğu için ısıl verimi daha yüksektir. Bununla beraber yanma hızının da yüksek olması, maksimum moment için püskürtme zamanlamasının değiştirilmesini gerektirmektedir. Etanol, dizel motor yanma emisyonlarında iyileştirme sağlamaktadır [51].

2.3.2. Metanol

Alternatif yakıtlar arasında popülaritesi en yüksek olarak kabul görmektedir. Amerikan Senatosu, Amerika Çevreyi Koruma Teşkilatı, Ford Motor Şirketi, General Motor, Toyota, Kaliforniya Enerji Konseyi ve diğer yetkili kişi ve kuruluşlar tarafından geleceğin yakıtı olarak ifade edilmektedir. Bunun ilk nedeni üretim bandının geniş ve maliyetinin düşük olması, diğeri ise daha çevreci olmasından kaynaklanmaktadır. Metanol içten yanmalı motorlarda büyük bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Metanolün yanma, yakıcılık ve görünmez alev sahip özelliği güvenilirliğini etkileyen problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Su ile teması, yüksek korozif etki meydana getirdiğinden depolanmasında paslanmaz özelliğe sahip çelik tank gerektirmektedir. Ayrıca yüksek çözücü özelliğinden dolayı, kullanıldığı bölümlerde sızdırmazlığı sağlayabilmek için daha özenli malzeme gereksinimine ihtiyaç duyulur. Metanol, dizel yakıtın setan sayı değerini düşürür. Bundan dolayı dizel motorlarda kullanılması bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemler tutuşma gecikmesinin uzaması ve buna bağlı olarak vuruntunun meydana gelmesidir. Setan sayısı, dizel yakıtlarda 40 – 60 değerleri arasında değişirken metanolde bu değer 3 civarındadır. Bu durum metanolün dizel motorunda direkt olarak kullanılmasını engellemektedir. Bundan dolayı araştırmalar metanolün dizel yakıtına çeşitli yöntemler ve oranlar ile karıştırılmasına yönelik olarak yapılmaktadır. Genel olarak metanolün dizel yakıtı ile karıştırılması sonucunda, motor gücünde ve ısıl verimde artış sağladığı, bazı emisyon değerlerini ise düşürdüğü bilinmektedir [51].

2.3.3. n-Butanol

n-Butanol, biyokimyasal yöntemler ile elde edilen biyoyakıt olarak tanımlanmaktadır. Dizel yakıt özellikleri ile benzerliği nedeni ile dizel motorların yapısında değişiklik yapılmadan yakıt içeriğine çeşitli oranlarda katılıp kullanılabilirdiği için dizel motorlar

için alternatif olarak görülmektedir. Dizel yakıtı içerisinde herhangi bir katkı olmaksızın çok iyi çözünebilmektedir. Bu durum motor performansını önemli derecede etkileyen bir durumdur. Dizel yakıtı ile karışımlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarını olumlu yönde etkilemektedir [52].

2.4. Alkollerin İYM' de alternatif olarak kullanılması

Motorlu araçlara olan talebin artması, motor boyutlarının ve maliyetlerinin küçülmesi ile beraber farklı alanlarda da kullanılması aktif kullanıcı sayısını arttırmış ve bununla beraber fosil yakıt kullanımındaki artış kaçınılmaz olmuştur. Alkoller temini, performans değerleri, emisyon çıktıları ve mevcut sistemi değiştirmeden kullanılabilmesi gibi özellikleri sayesinde içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. Motorlu araçların egzoz salınımlarının artması, insan sağlığı ve doğanın düzeninin bozulmasını beraberinde getirmektedir. İYM'de alternatif yakıtların aranmasının sebepleri incelendiğinde, fosil yakıtların sınırlı olması, her geçen gün fosil yakıt kullanıcı sayısının artması ve insan sağlığını tehlikeye sokması durumları karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunların ortadan kalkması veya azaltabilmesi için yakıt sistemi daha iyi hale getirilmeli veya yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir [53].

2.5. Alkollerin İYM' de Kullanılma Yöntemleri

Alkollerin İYM' de kullanılma yöntemleri avantaj ve dezavantajları ile beraber aşağıda verilmiştir.

1. Yakıt içerisine belirli oranda karıştırılması: Bu yöntemde alkol kütleli veya hacimsel olarak yakıtın içerisine katılarak kullanılmaktadır. Avantajı, motorların çalışma donanımlarına ek bir parça gerekmemektedir. Yakıt içerisine katılan alkol miktarının artması faz ayrışmasına sebebiyet vermektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için karışımın içerisine çeşitli kimyasal karışımlar karıştırılmaktadır [4], [53].
2. Manifold içerisine püskürtülerek veya buhar halinde verilerek: Alkollerin buharlaşma ısılarının yüksek olması manifolda püskürtülmeleri ile beraber ortandan daha çok ısı çekmelerine sebebiyet vermektedir. Bu durum silindirlere daha çok hava girmesine yardımcı olmaktadır. Bununla beraber motor

performansında artış gerçekleşir. Dezavantajları incelendiğinde, manifold üzerinde yeni bir donanım gerekme ve alkollerdeki su içeriğinden dolayı korozyona sebebiyet vermesi ayrıca daha kaliteli malzemelerden yapılması gerekmektedir [4], [53].

3. Alkol ve yakıtların karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak motora verilmesi: Bu yöntemde alkoller ve yakıt, farklı depolarda muhafaza edilmektedir. Motor ihtiyacına göre depolardan çekilip karıştırılarak silindirlere verilmektedir. Bu türde yakıtın ayarlanması ve özgül yakıt tüketiminin hesaplanması zorlaşmaktadır. Bazı durumlarda alkol ile yakıt karışmamakta ve maliyet değeri artmaktadır [4], [53].
4. Yakıt ve alkol için farklı enjeksiyon sisteminin kullanılması: Bu yöntemde iki yakıt türü için farklı enjeksiyon sistemi gerekmektedir. Bu durum enjeksiyon sistemini karmaşık bir hale getirdiğinden kontrolü zor ve maliyeti daha fazladır. Özellikle alkol kullanımı depodan enjektörlere kadar daha kaliteli malzeme kullanımı gerektirmektedir [4], [53].



3. MATERYAL - METOT

Deneyler Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyler beş farklı yakıt ile aynı şartlar altında, 2400 dev/dk motor devrinde 3, 6, 9, 12 Nm yüklerde yapılmıştır. Her bir deneyden önce yakıt hattında bir önceki deneyden artık yakıt kalmadığından emin olunduktan sonra yeni deneye başlanmıştır. Tüm deneyler için veri alınma, motor yağ sıcaklığı 40°C'ye ulaşıncaya başlanmıştır.

3.1. Deney Yakıtları

Pirolitik yakıt, etanol, metanol ve n-bütanol standart dizel yakıtı ile hacimsel olarak karıştırılarak deney yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının homojen olarak karışabilmesi için bir ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır. Yakıtlar deneylerden hemen önce 30 dakika boyunca ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Deney yakıtlarına verilen kodlara göre yakıt isimlendirilmesi Tablo 3.1'de görüldüğü gibi yapılmıştır;

Tablo 3.1. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi.

İsmlendirilmesi	Deney Yakıtı
D100	%100 dizel yakıt
P100	Ham pirolitik yakıt
D90P10	%90 dizel yakıt, %10 pirolitik yakıt
D80P10E10	%80 dizel yakıt, %10 pirolitik yakıt, %10 Etanol
D80P10B10	%80 dizel yakıt, %10 pirolitik yakıt, %10 n-Bütanol
D80P10M10	%80 dizel yakıt, %10 pirolitik yakıt, %10 Metanol

Tablo 3.2. Deney yakıtlarına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [35], [36].

Özellikler	D100	P100	D90P10	D80P10E10	D80P10B10	D80P10M10
Yoğunluk (kg/m ³ ; 15 °C)	831,5	939	842,25	838,20	840,27	838,56
Setan Sayısı	58,8	0	52,92	48,06	50,04	46,89
Viskozite, (cSt @40 °C)	2,4	5,042	2,66	2,48	2,84	2,39
Alt ısııl değer (MJ/kg)	43,2	39,76	42,86	41,06	41,51	40,34
Parlama noktası (°C)	70	42,4	67,24	23,14	24,94	22,24
Karbon içeriği (wt. %)	86,6	0	77,94	74,88	75,96	73,53
Hidrojen içeriği (wt. %)	13,4	0	12,06	11,97	12,06	11,97
Oksijen içeriği (mg/kg)	0	0	0	3,15	1,98	4,50

Tablo 3.2’de deney yakıtlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

3.2. Deney Düzeneği

Motor performans ve emisyon deneyleri için tek silindirli direkt enjeksiyonlu hava soğutmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Motor 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka bir elektrikli dinamometre ile yüklenmiştir. Motor tork ve güç değerleri için, Kistler 4550A model tork ölçüm ünitesi kullanılmıştır. Kistler 4550A model tork ölçüm ünitesi, flanşla motor mili üzerine monte edilebilen rotor ve statörden oluşmaktadır.

Deneyler laboratuvar şartlarında 20 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. CO, CO₂, NO_x ve HC emisyonları K test marka emisyon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 3.1’de, deney düzeneği şematik olarak ve Şekil 3.2’de ise görsel olarak verilmiştir.



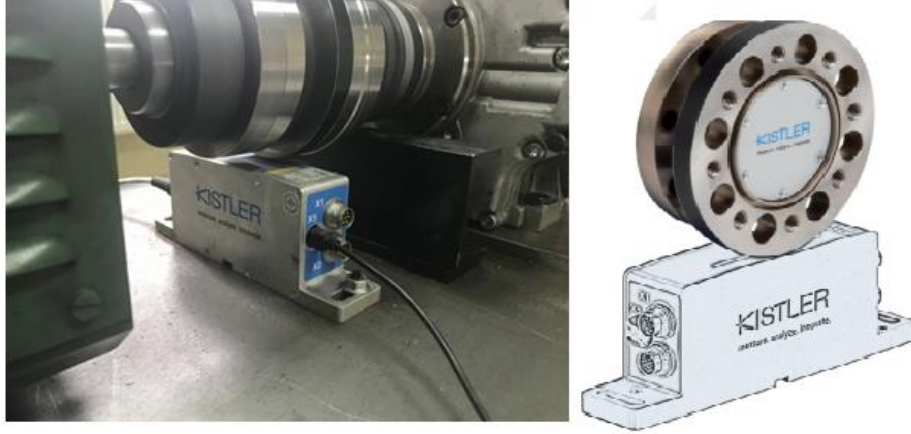
Şekil 3.3. Yakıt ölçüm düzeneği.

Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Deney motorunun teknik özellikleri.

Model	Lombardini 15 LD 350
Motor Tipi	Doğal Emişli, Hava Soğutmalı, Dizel
Silindir Sayısı	1
Maksimum Güç	7.5 HP/3600 rpm
Maksimum Tork	16.6 Nm/2400 rpm
Silindir Hacmi	349 cm ³
Kompresyon Oranı	20.3/1
Çap× strok	82 mm × 66 mm
Enjektör Açılma Basıncı	207 bar

Şekil 3.4’ de Kistler 4550 A model tork ölçüm ünitesinin görünümü verilmiştir.

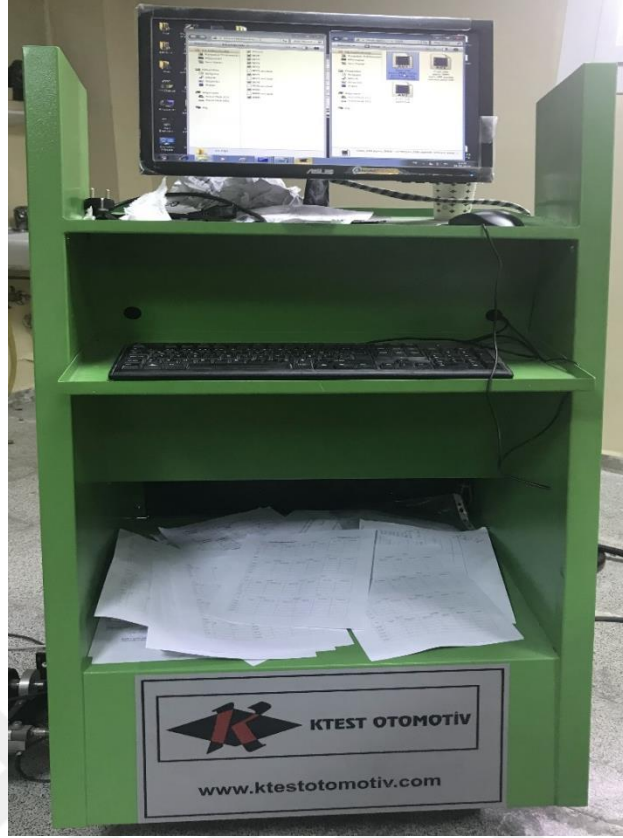


Şekil 3.4. Tork ölçüm ünitesi görünümü.

Şekil 3.5'te görülen K Test marka emisyon ölçüm cihazı ile CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonlarının değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri, Tablo 3.4'te verilmiştir.

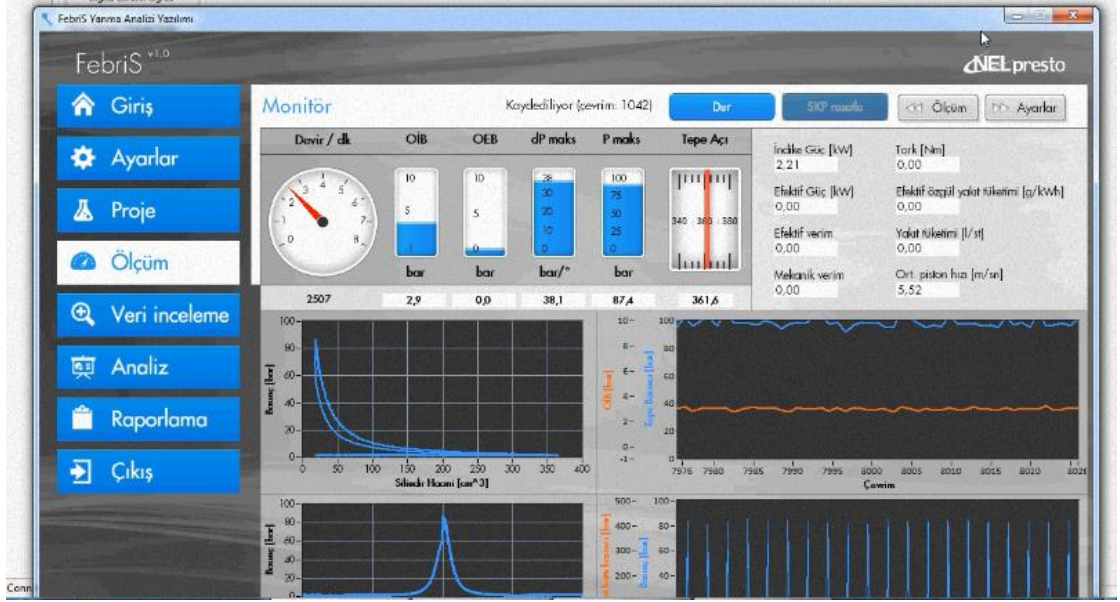
Tablo 3.4. K Test gaz analiz cihazı teknik özellikleri.

Marka	K Test
O ₂ konsantrasyonu (%)	0-25 (%)
CO konsantrasyonu (%)	0-15 (%)
NO _x konsantrasyonu (ppm)	0-5000 (ppm)
HC (ppm)	0-20.000(ppm)
CO ₂ konsantrasyonu (%)	0-20 (%)
Lambda	0,5 - 2,0



Şekil 3.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.

Egzoz ve yağ sıcaklık ölçümleri NiCr/Ni K-Tipi termokupllarla yapılmıştır. Krank açısı, motor hızı ve üst ölü nokta yeri, Kübler Sendix marka 0,2 derece hassasiyetli enkoder ile ölçülmüştür. Silindir içi basınç verileri, Optrand AutoPSI-TC model fiber optik basınç sensörü ile alınmıştır. Febris yanma analiz yazılımında basınç verilerinin kullanımı ile yanma grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.6'da Febris yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.6. Febris yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü.

3.3.Motor Performans ve Yanma Hesaplamaları

3.3.1. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, motorun birim güç için harcadığı yakıt miktarıdır. Yakıt tüketimi milimetrik ölçekli cam büret ile zamana bağlı olarak hacimsel olarak ölçülmüştür. 60 saniye boyunca hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarı değeri kullanılarak, saatlik yakıt tüketimi belirlenmiştir. Belirlenen değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak saatlik yakıt tüketim miktarı elde edilmiştir. Elde edilen değer, efektif motor gücü ile oranlanarak özgül yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Özgül yakıt tüketimi Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \times 3600 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

b_e = Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (g/s)

P_e : Efektif motor gücü (kW)

olarak tanımlanmaktadır.

3.3.2. Isıl verim

Isıl verim, motordan alınan faydalı gücün motora verilen enerji miktarına oranı olarak ifade edilmektedir. Isıl verim, özgül yakıt tüketimi ile bağlantılı olarak Eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$BTE = \left(\frac{3600 \times 1000}{b_e \cdot LHV} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

BTE: Isıl verim (%)

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

LHV: Yakıtın alt ısı değerini (kJ/kg) ifade etmektedir.

3.3.3. Isı yayılım oranı

Isı yayılımı, Termodinamiğin birinci kanunundan yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilebilmektedir. Isı salınım analizinde bazı kabuller yapılmıştır. Silindir içinde yanma esnasında termodinamik dengenin olduğu kabul edilmiş, ani sıcaklık değişimleri ve basınç dalgalanmaları göz ardı edilmiş, silindir dolgu kütlelerinin gaz kaçakları nedeni ile değişmediği ve ideal gaz olduğu kabul edilmiştir. Tüm deneyler için ısı salınım oranları, 750 çevrimin ortalama basınç değerleri alınarak hesaplanmıştır. Isı yayılım oranı, eşitlik 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial Q_n}{\partial \phi} = \frac{k}{k-1} P \frac{\partial V}{\partial \phi} + \frac{1}{1-k} V \frac{\partial P}{\partial \phi} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'de politropik değer (k) sabit bir değer olup, 1,37 değeri alınmıştır. Eşitlikteki diğer ifadeler ise;

n: Politropik indeks,

∂P : Silindir basınç değişimi,

∂V : Silindir içerisinde piston hareketi sonucu oluşan hacim değişimi,

ϕ : Krank açısı

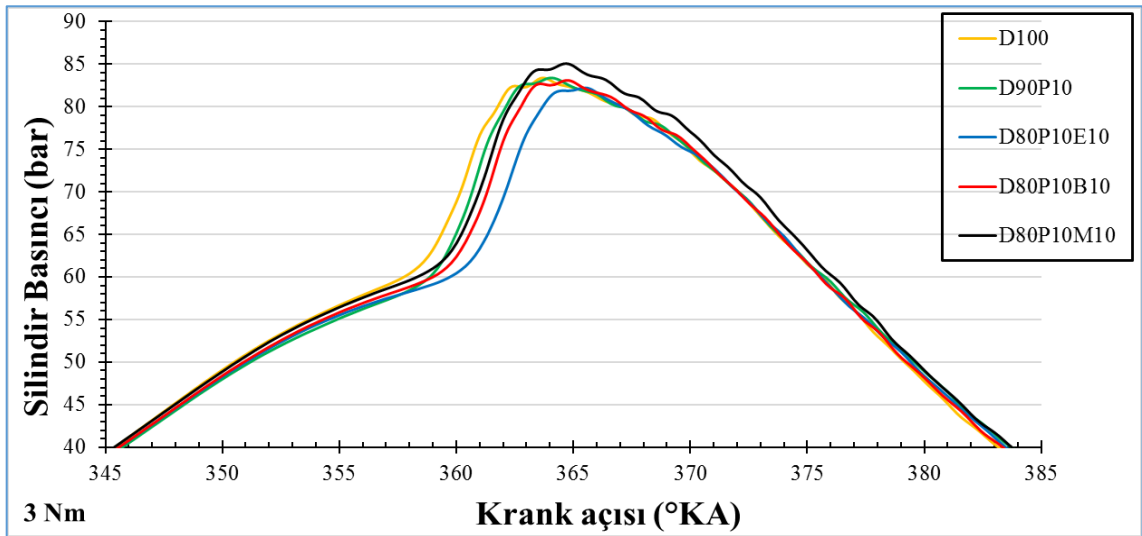
olarak ifade edilmektedir.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada, atık lastiklerinden elde edilmiş pirolitik yakıt, etanol, metanol ve butanol gibi alkoller standart dizel yakıt ile hacimsel olarak karıştırılmıştır. Elde edilen yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun yanma, performans karakteristiklerine ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneysel tüm yakıtlar ile aynı şartlar altında 2400 dev/dk motor devrinde 3, 6, 9, 12 Nm yüklerde yapılmıştır.

4.1. Yanma Karakteristikleri

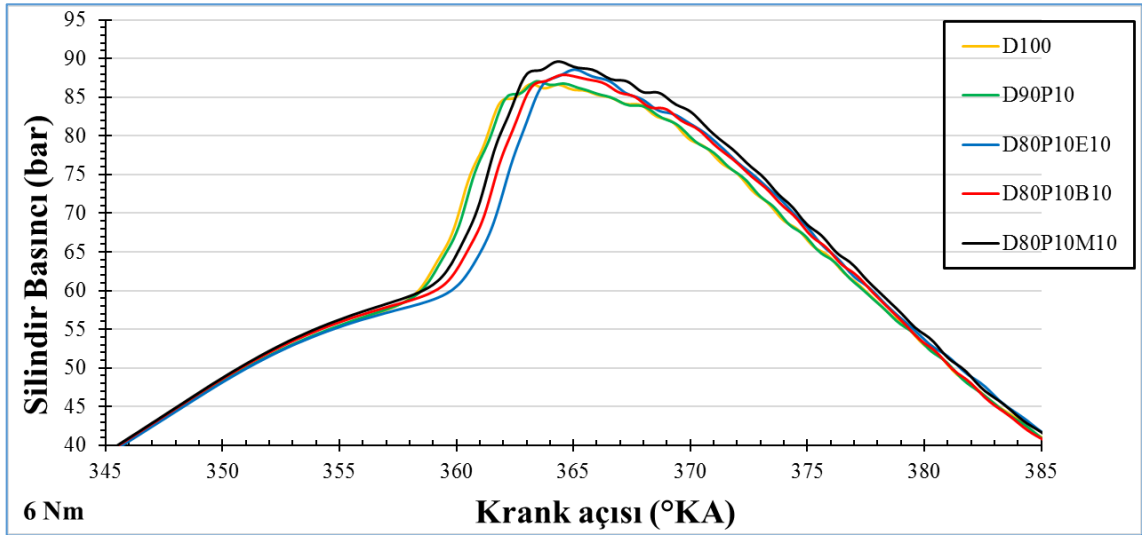
Deney yakıtlarının (D100, D90P10, D80P10E10, D80P10B10, D80P10M10) 2400 dev/dk sabit devirde, motor yüküne bağlı olarak yanma analiz sonuçları verilmiştir. Bu kapsamda tüm deney yakıtları için, krank açısına göre değişen silindir içi basınç ve ısı salınım oranı değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Silindir içi basınç ve ısı salınım oranı değerleri test yakıtlarının ısıl değerine, oksijen içeriğine, viskozitesine ve setan sayısına büyük ölçüde bağlıdır. Şekil 4.1 - 4.4'de deney yakıtlarının motor yüküne bağlı olarak, silindir içi basınç değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1. 3 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.

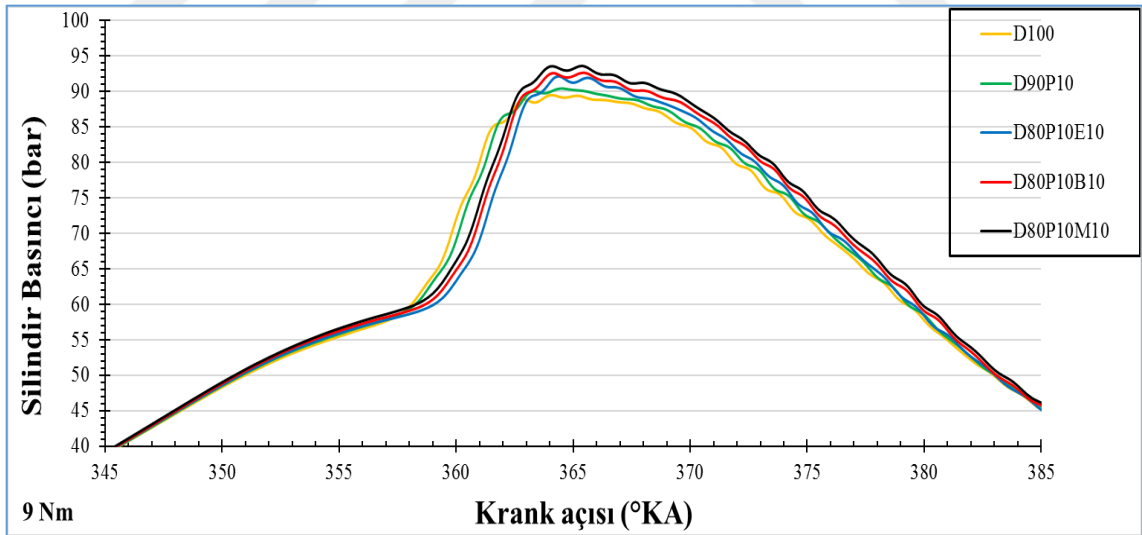
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, 3 Nm yük altında deney yakıtlarının maksimum basınç değerleri D100, D90P10, D80P10E10, D80P10B10 ve D80P10M10 için sırası ile

(83,36), (83,38), (82,21), (83,10), (85,05) bar'dır.



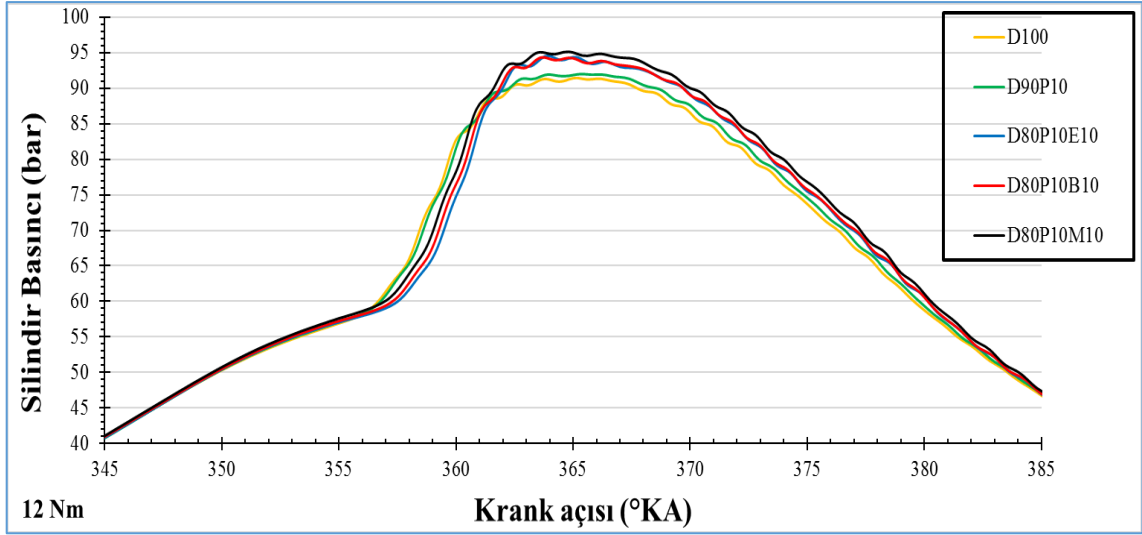
Şekil 4.2. 6 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, 6 Nm yük altında deney yakıtlarının maksimum basınç değerleri D100, D90P10, D80P10E10, D80P10B10 ve D80P10M10 için sırası ile (86,76), (87,03), (88,55), (87,89), (89,61) bardır.



Şekil 4.3. 9 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, 9 Nm yük altında deney yakıtlarının maksimum basınç değerleri D100, D90P10, D80P10E10, D80P10B10 ve D80P10M10 için sırası ile (89,50), (90,43), (92,16), (92,66), (93,63) bardır.



Şekil 4.4. 12 Nm yük altında krank açısına göre basınç değişimleri.

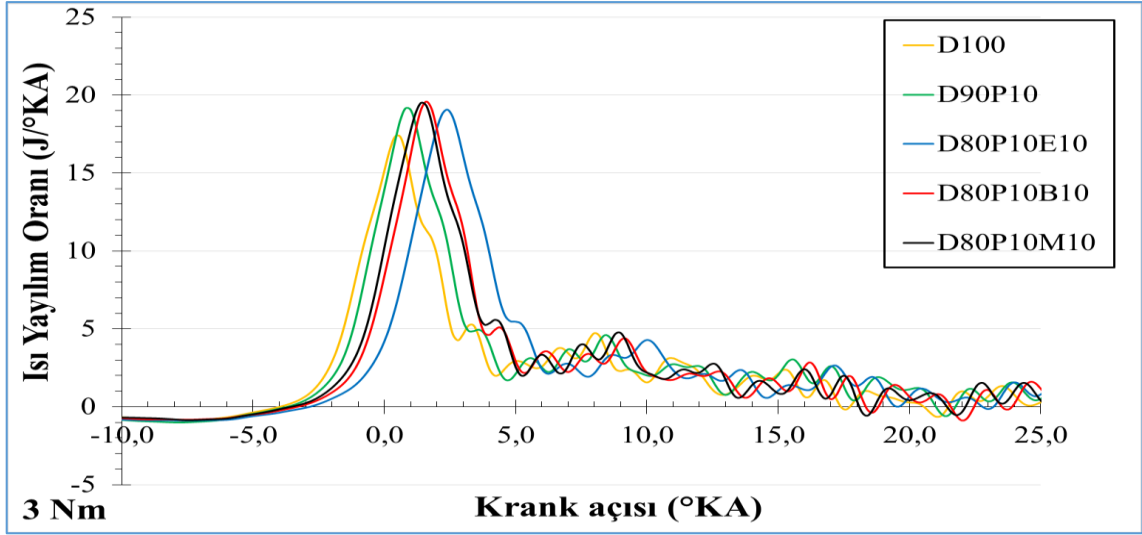
Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, deney yakıtlarının maksimum basınç değerleri D100, D90P10, D80P10E10, D80P10B10 ve D80P10M10 için sırası ile (91,44), (92,01), (94,54), (94,33), (95,15) bardır.

Şekil 4.1 - 4.4'de görüldüğü gibi, maksimum silindir içi basınç değerleri tüm deney yakıtları için motor yüküne bağlı olarak artmıştır. Bu durum, motor yüküne bağlı olarak yanma odasına püskürtülen yakıt miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarının motor yüküne bağlı olarak artışı, yanma sonu basınç ve sıcaklık değerlerini artırmıştır. Her bir test yakıtı için, 12 Nm motor yükünde en büyük maksimum silindir içi basınç değeri elde edilmiştir.

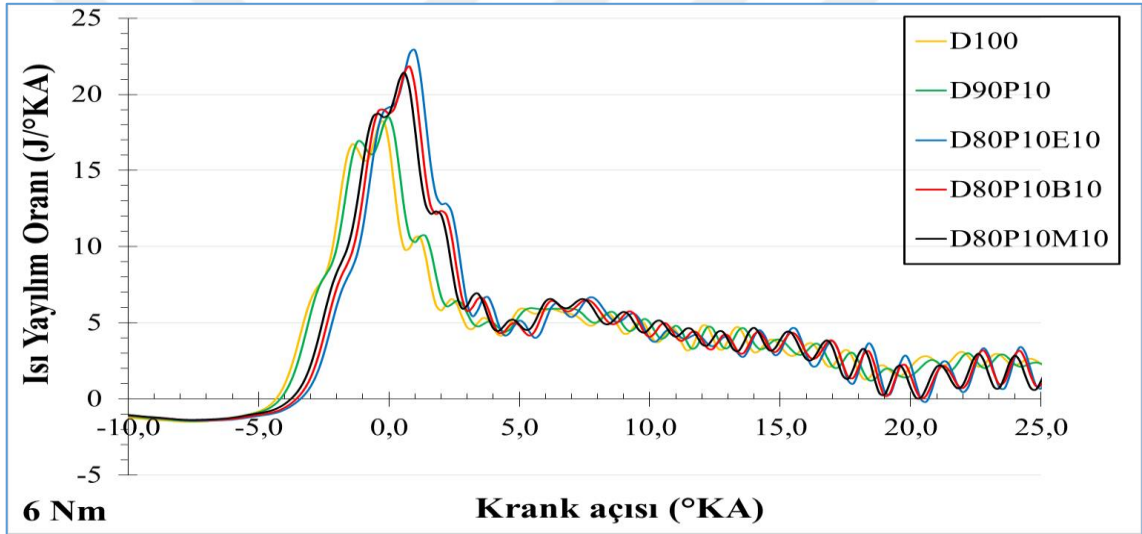
Yakıt enjeksiyon başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki süreye, tutuşma gecikmesi denir. Yakıtın setan sayısı, viskozite ve yakıtın oksijen içeriği tutuşma gecikmesi süresini büyük ölçüde etkilemektedir [37]. Tutuşma gecikmesi süresi boyunca, püskürtülen yakıt yanmadığından dolayı, yanma odasında birikir. Yakıtın tutuşması için uygun sıcaklığa ve basınca ulaşıldığında, yanma odasından biriken yakıt aniden yanar. Tutuşma gecikmesi süresinin uzun olması, yanma odasında daha fazla miktarda yakıtın birikmesine ve bu nedenle maksimum silindir içi basınç değerinin daha yüksek olmasına neden olur. 6, 9 ve 12 Nm motor yüklerinde, setan sayısının en büyük olduğu D100 yakıtı ile en küçük maksimum silindir içi basınç değerleri elde edilirken, setan sayısının en küçük olduğu D80P10M10 yakıtı ile en büyük maksimum silindir içi basınç değerleri elde edilmiştir. 3 Nm motor yükünde, D80P10M10 yakıtı ile en büyük maksimum silindir içi basınç değeri elde edilirken, D80P10E10 yakıtı ile en küçük

maksimum silindir içi basınç değeri elde edilmiştir. 3 Nm motor yükünde, diğer motor yüklerine göre daha az oranda yakıt püskürtülmüştür. D80P10E10 yakıtının setan sayısının D100'e göre daha küçük olmasına rağmen, oksijen içeriğinin D100'e göre büyük olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltmıştır. Bu nedenle 3 Nm motor yükünde, D80P10E10 ile en küçük maksimum silindir içi basınç değeri elde edilmiştir.

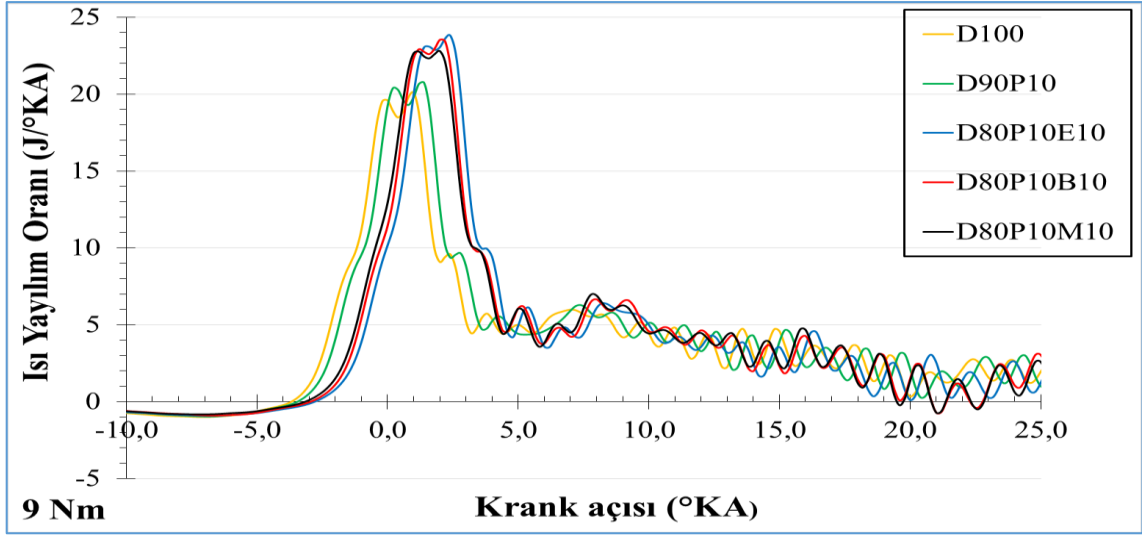
Şekil 4.5 - 4.8'de deney yakıtlarının motor yüküne bağlı olarak, ısı yayılım oranı değerleri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, motor yüküne bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarının artışı, tüm deney yakıtları için maksimum ısı salınım değerlerini artırmıştır. Ayrıca, pirolitik ve alkol karışimli yakıtların D100'e göre maksimum ısı salınım değerlerinin tüm yüklerde bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak, maksimum silindir basınçlarının daha yüksek olma nedeninin izahında söylendiği gibi, pirolitik ve alkol karışimli yakıtların tutuşma gecikmesinin D100'e göre daha yüksek olması söylenebilir. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın aniden yanması ile yanma olayı daha çok ön karışimli yanma fazında gerçekleşmekte ve sonuç olarak maksimum ısı salınım değerleri pirolitik ve alkol karışimli yakıtlar ile D100'e göre daha yüksek olmaktadır. Alkol içerikli yakıtların alt ısısal değerleri düşük olmasına rağmen yüksek ısı salınımı vermeleri, bünyelerindeki oksijen miktarından kaynaklanmaktadır [35]. D100 yakıtının setan sayısının diğer yakıtlara göre büyük olması, tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak tüm motor yüklerinde maksimum ısı salınım noktasını diğer yakıtlara göre, ÜÖN'ye daha yakın gerçekleşmesine neden olmuştur. D80P10M10 yakıtının setan sayısı, diğer yakıtlara göre en küçük olmasına rağmen (46,89) oksijen içeriğinin en büyük olması (4,50 mg/kg), yanmayı hızlandırmıştır. D80P10E10 yakıtının setan sayısı (48,06), D80P10M10 yakıtının setan sayısından daha büyük olmasına rağmen, oksijen içeriği (3,15 mg/kg) daha küçüktür. D80P10M10 yakıtının oksijen içeriğinin yüksek olması ve viskozite değerinin düşük olması, yanmayı hızlandırarak maksimum ısı salınım noktasını tüm motor yüklerinde üst ölü noktaya yaklaştırmıştır.



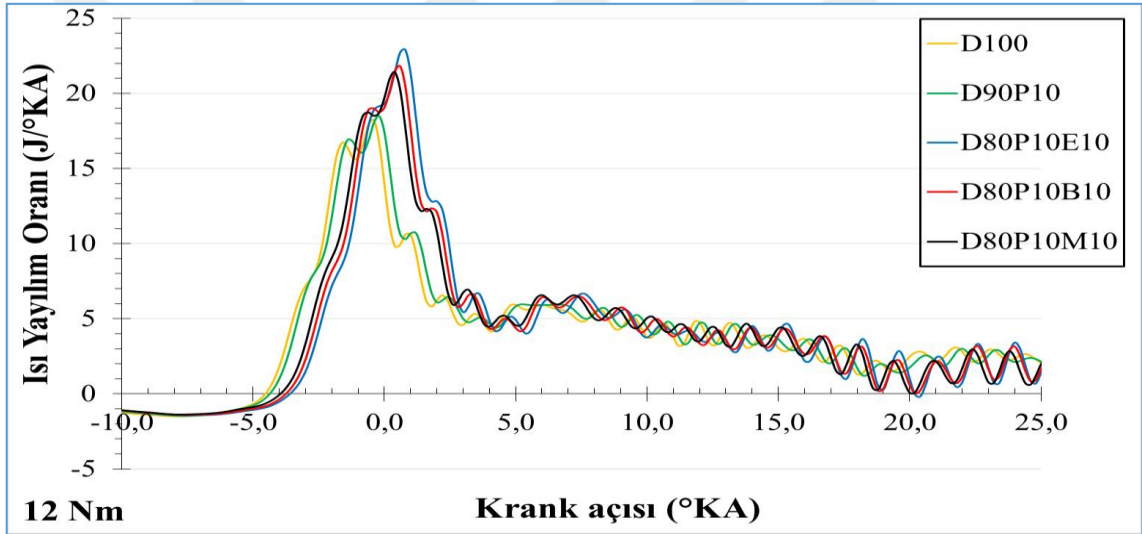
Şekil 4.5. 3 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.



Şekil 4.6. 6 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.



Şekil 4.7. 9 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.



Şekil 4.8. 12 Nm yük altında krank açısına göre ısı yayılım oranı değişimleri.

Tablo 4.1’de deney yakıtlarının maksimum silindir basıncı ve ısı salınımı değerleri ve yerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Maksimum silindir basıncı ve ısı salınımı değerleri ve yerleri.

Motor Yüğü	Yakıt	Max. Silindir Basıncı	Max. Silindir Basıncı Yeri	Max. Isı Salınımı	Max. Isı Salınım Yeri
		(bar)	(°KMA)	(J/°KMA)	(°KMA)
3 Nm	D100	83,36	363,80	17,34	0,60
	D90P10	83,38	364,00	19,15	0,80
	D80P10E10	82,21	365,40	19,07	2,40
	D80P10B10	83,10	364,80	19,59	1,60
	D80P10M10	85,05	364,60	19,51	1,40
6 Nm	D100	86,71	363,20	20,17	-0,20
	D90P10	87,03	363,40	20,64	0,00
	D80P10E10	88,56	365,00	23,35	1,00
	D80P10B10	87,89	364,60	22,40	0,80
	D80P10M10	89,61	364,40	22,89	0,60
9 Nm	D100	89,50	364,00	20,09	1,00
	D90P10	90,43	364,60	20,73	1,40
	D80P10E10	92,16	364,40	23,81	2,40
	D80P10B10	92,66	365,40	23,53	2,00
	D80P10M10	93,63	365,40	22,80	2,00
12 Nm	D100	91,44	365,20	18,21	-0,40
	D90P10	92,01	365,40	18,49	-0,20
	D80P10E10	94,54	364,00	22,89	0,80
	D80P10B10	94,33	363,80	21,81	0,60
	D80P10M10	95,15	364,80	21,41	0,40

4.2. Performans Karakteristikleri

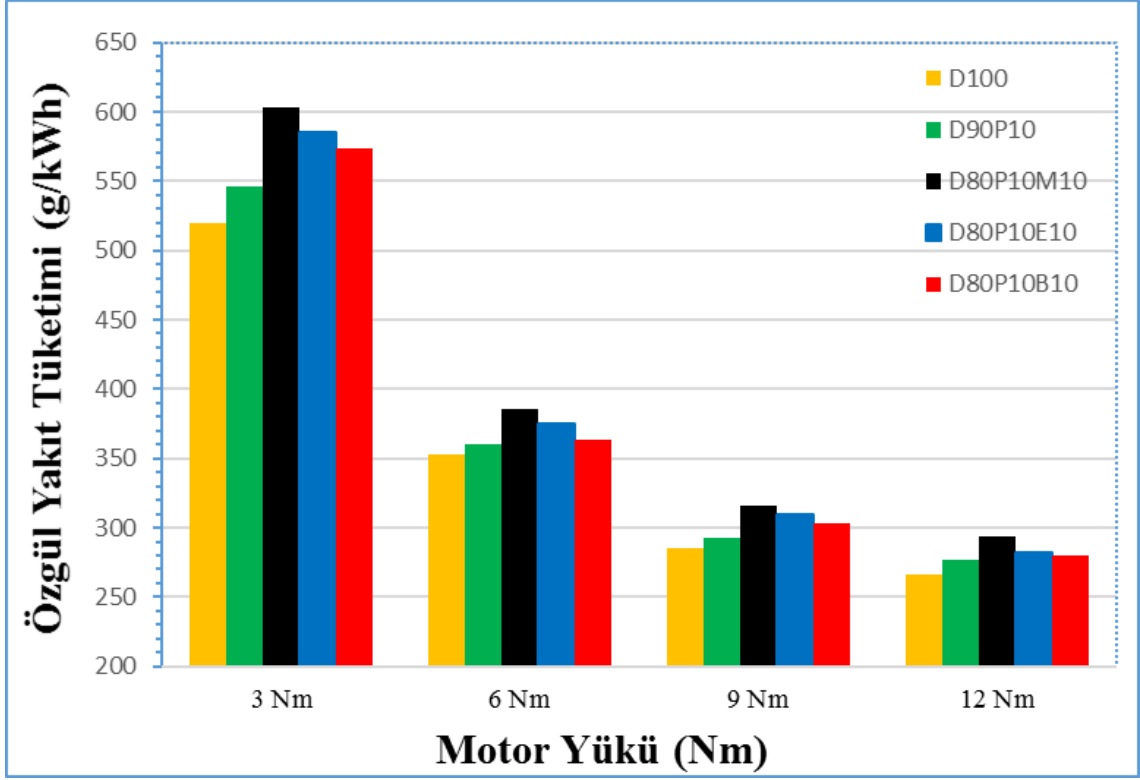
Farklı çalışma koşullarındaki motorların güç ve ekonomisi, motor karakteristikleri veya performans eğrileri ile değerlendirilir. Motor karakteristik özellikleri, çeşitli değerlerin (tork, güç yakıt tüketimi, devir sayısı vb.) grafik olarak gösterilmesidir ve temel olarak hız, yük ve ayarlama olarak üç başlık altında toplanır [58]. Bunlardan;

- Hız karakteristikleri: Tork, Güç, Özgül Yakıt Tüketimi vb. gibi motor parametrelerinin motor gaz keleşi veya yakıt pompasının belirli bir konumda ve kararlı motor yağlama ve soğutma suyu sıcaklıklarında belirli motor devirlerinde yapmış oldukları değişimi [58],

- Yük karakteristikleri: Sabit motor devrinde efektif güç, tork ve ortalama efektif basınca bağlı olarak yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimindeki saatlik değişimin grafik üzerinde gösterilmesini [58],
- Ayarlama karakteristikleri: Yakıt tüketimi, karışım oranı, motor yağı ve soğutma suyu sıcaklıkları, ateşleme veya püskürtme avansı vb. gibi değerlere bağlı olarak motor gücündeki değişimlerin grafik eğrileri ile gösterilmesini ifade etmektedir [58].

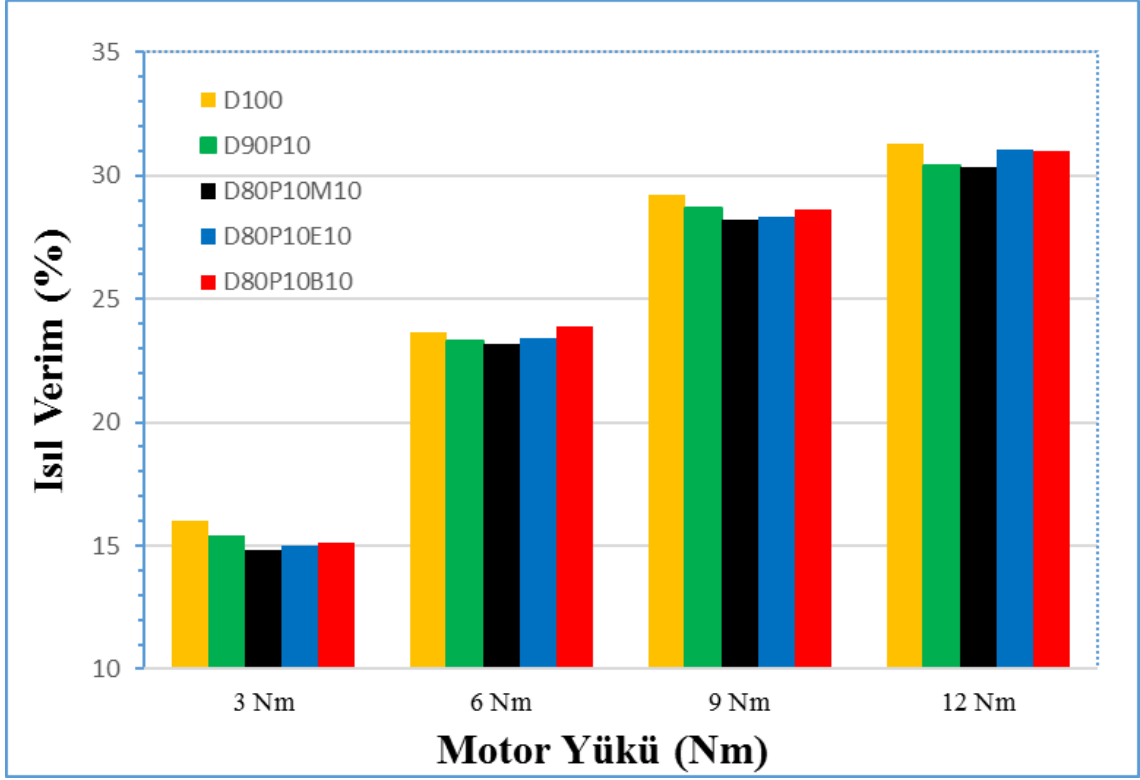
Yapılan deney, gözlem ve literatür araştırması sonucunda aşağıda verilen bulgular elde edilmiştir.

Özgül yakıt tüketimi (YT) değerlerinin motor yüküne göre değişimleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi birim güç başına saatte tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır [52]. Dizel motorlarda özgül yakıt tüketimini etkileyen özellikler, yakıtın alt ısıl değeri, yoğunluğu, viskozitesi, yanma süresi, yanma oranı ve motor enjeksiyon sistemidir [19]. Bunula birlikte yakıtın alt ısıl değeri, YT'yi etkileyen en önemli unsurdur. Alkoller bünyelerindeki oksijen içeriklerinden dolayı yakıtların alt ısıl değerlerini düşürmektedirler [51]. Alkol içerikli yakıtlarda düşen alt ısıl değer, motordan aynı enerjiyi elde edebilmek için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır [29]. Tablo 3.2'de grldğu gibi, yakıtların alt ısıl değerleri büyükten küçüğe doğru; D100 (43,2 MJ/kg), D90P10 (42,86 MJ/kg), D80P10B10 (41,51 MJ/kg), D80P10E10 (41,06 MJ/kg) ve D80P10M10 (40,34 MJ/kg). Tüm motor yüklerinde en küçük YT değeri D100 ile elde edilir iken, en büyük YT değeri ise D80P10M10 yakıtı ile elde edilmiştir. Motor gücünün yüke bağlı olarak artması, tüm deney yakıtlarının YT değerlerini motor yüküne bağlı olarak düşmesine neden olmuştur.



Şekil 4.9. Özgül yakıt tüketimi.

Isıl verim değerlerinin motor yüküne göre değişimleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Isıl verim motordan alınan faydalı gücün motora aktarılan enerji miktarına oranı olarak ifade edilmektedir. Isıl verim, yakıtların yanma kabiliyetinin bir göstergesi olup, yakıtın enerji içeriği veriminin mekanik çıkış enerjisine dönüşümünün değerlendirilmesi için kullanılan bir parametredir. Isıl verim, özgül yakıt tüketiminin bir fonksiyonudur. Şekil 4.10 incelendiğinde, tüm motor yüklerinde ısıl verimin, özgül yakıt tüketiminin tersine bir eğilim gösterdiği görülmektedir. D100 ile diğer yakıtlara göre, tüm motor yüklerinde en büyük ısıl verim değerleri elde edilmiştir. Bu durum D100'ün alt ısıl değerinin diğer yakıtlara göre daha büyük olmasından kaynaklanmıştır. En küçük alt ısıl değer sahip D80P10M10 yakıtı ile tüm motor yüklerinde en küçük ısıl verim değerleri elde edilmiştir. Motor yükünün artması, motor gücünü artırmak ile birlikte, yanma odası sıcaklığını da artırmaktadır. Bu nedenle daha sıcak yanma odasına püskürtülen yakıt, yanma odası duvarlarından dış ortama olan ısı enerjisi oranını düşürerek ısıl verimi artırmıştır.



Şekil 4.10. Isıl verim.

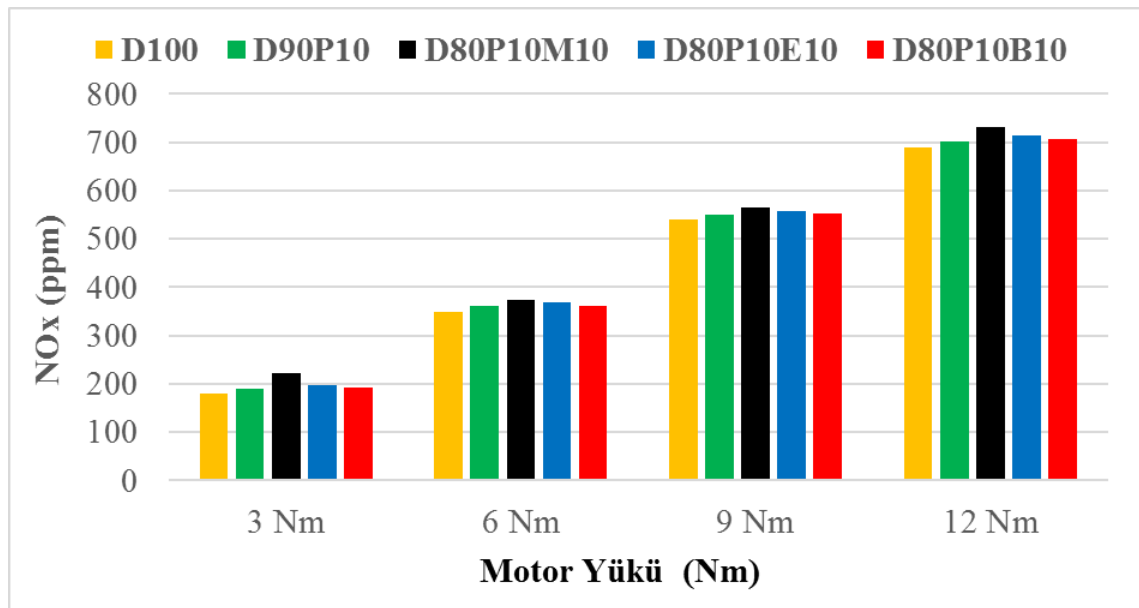
4.3. Emisyon Değerleri Değişimleri

Literatürde yapılan alternatif yakıt ve yakıt geliştirme çalışmalarında, yanma sonu ürünlerinin çevreye daha duyarlı olması veya daha az zararlı olmasının amaçlandığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, yanma sonu ürünleri olan hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) değerlerini olabildiğine minimum değerlere çekmek istenmektedir. Motor döngüsünü sağlayan enerji yanma sonu ortaya çıkmaktadır. Yanma işlemi havanın içeriğinde bulunan oksijen ile motor yakıtının kimyasal reaksiyona girme işlemi olarak tanımlanmaktadır. İdeal bir yanma denklemi incelendiğinde iki adet ürün ortaya çıkmaktadır. Bunlar su buharı ve karbondioksittir. Su buharının herhangi bir zararı olmazken karbondioksit gazı insan ve doğa üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bunlara ilave olarak hava içerisinde bulunan azot yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek farklı kirleticilerde ortaya çıkarmaktadır. Silindirlerde yanma işlemi oluşumunda, hava miktarı, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri, yakıt sistemi, silindir için tasarım, fakir ve zengin karışım, homojen ve heterojen karışım vb. durumlar yanma sonu ürünlerini doğrudan etkilemektedir.

Bu bölümde, deney yakıtlarının emisyon değerleri kıyaslamalı olarak verilmiştir.

4.3.1. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

NO_x emisyonları, dizel motorlardaki önemli zararlı kirleticilerden ve istenmeyen emisyonlardan biridir. NO_x emisyonlarının oluşması, normalde yanma işleminin sıcaklığına, oksijen moleküllerinin konsantrasyonuna ve nitrojenin yüksek sıcaklığa maruz kalma süresine bağlıdır. Bununla birlikte, NO_x emisyon seviyesini belirleyen ana sebep silindir içi sıcaklıktır. Bu nedenle, silindir içi sıcaklık yükseldikçe NO_x emisyonunun da artması beklenmektedir. Azot ve oksijen atomları yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek NO_x emisyonunu oluşturmaktadır. Yakıtların setan sayısı, tutuşma gecikmesi, alt ısıl değeri ve alkollerin içeriklerinde bulunan oksijen miktarları NO_x oluşumunu doğrudan etkiler [58], [59], [35].



Şekil 4.11. NO_x emisyon grafiği.

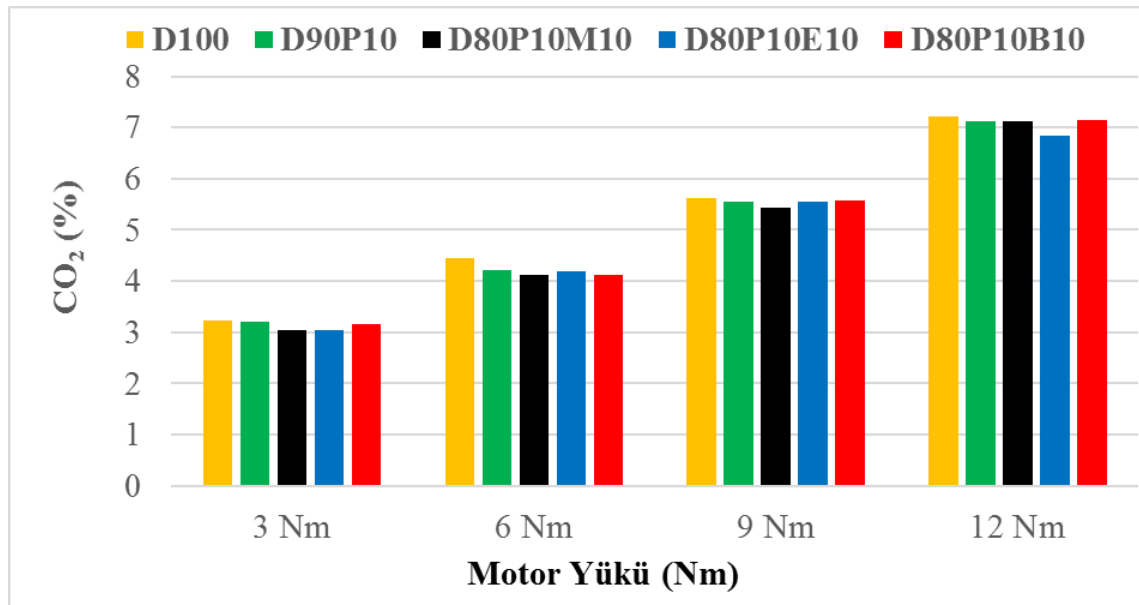
Şekil 4.11’de NO_x değişimleri görülmektedir. Yüke bağlı olarak enjekte edilen yakıt kütlesi artar. Bu nedenle NO_x artan yüke bağlı olarak artmıştır. Karışım yakıtların tutuşma gecikmelerinin uzun olması, silindir içerisinde ani bir yanma ve sıcaklık değeri ortaya çıkarmaktadır. Düşük yüklerde yanma sıcaklığının düşük olması ve alkollerin içeriğindeki oksijen miktarının soğutucu etkisi ile yakın değerler elde edilmiştir. Yüklerin artması ile beraber sıcaklık değerleri yükselmiş ve çıkan NO_x değeri artmıştır.

Ek olarak, D100’ün setan sayısı diğer test yakıtlarına kıyasla daha büyüktür. Bu durum, D100’e diğer test yakıtlarına kıyasla ateşlemeden önce daha kısa bir gecikme sağlar. Yakıtlar tutuşmayı bekleyene kadar, zamanla burada birikirler. Sıkıştırılmaya yakıt

yanma sıcaklığına ulaştığında aniden yanmaya başlayacaktır. Bu ani yanma, setan sayısı daha düşük olan test yakıtları için en yüksek silindir içi sıcaklık değeri ile en yüksek silindir içi basınç değerini artırmaktadır. D100'ün diğer test yakıtlarına kıyasla genel olarak daha düşük NO_x emisyonu olmasının da nedeni budur.

4.3.2. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Karbondioksit (CO₂) emisyonu tam yanmanın bir sonucu olarak ifade edilen renksiz ve kokusuz bir gazdır. Yanma sonucunda karbon atomları tamamen oksitlenir. Yanma işleminde CO₂ oranı tam yanmayı ifade eder. Yakıtlar yanma esnasında içeriklerinde bulunan hidrojen ve karbon birbirinden ayrılarak yeni ürünler ortaya çıkarır. Bunlardan hidrojen oksijen ile reaksiyona girerek suya, karbon ise oksijenin miktarına göre karbondioksite, karbonmonoksite veya dumana dönüşmektedir. CO₂ emisyonundaki değişim, test yakıtlarının oksijen içeriği ve C / H oranıyla yakından ilişkilidir. Şekil 4.12'de CO₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı değişim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde sabit devirde motor yükünün artmasıyla CO₂ miktarının da arttığı görülmektedir. Motor yükü artırılması ile silindirlere gönderilen yakıt miktarının artması neticesinde yanma reaksiyonundan dolayı CO₂ değerinde artış gözlenmiştir. Şekil 4.12'de en büyük CO₂ oranının D100 yakıtında olduğu görülmekle birlikte, deney yakıtlarının CO₂ değerlerinin genelde birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

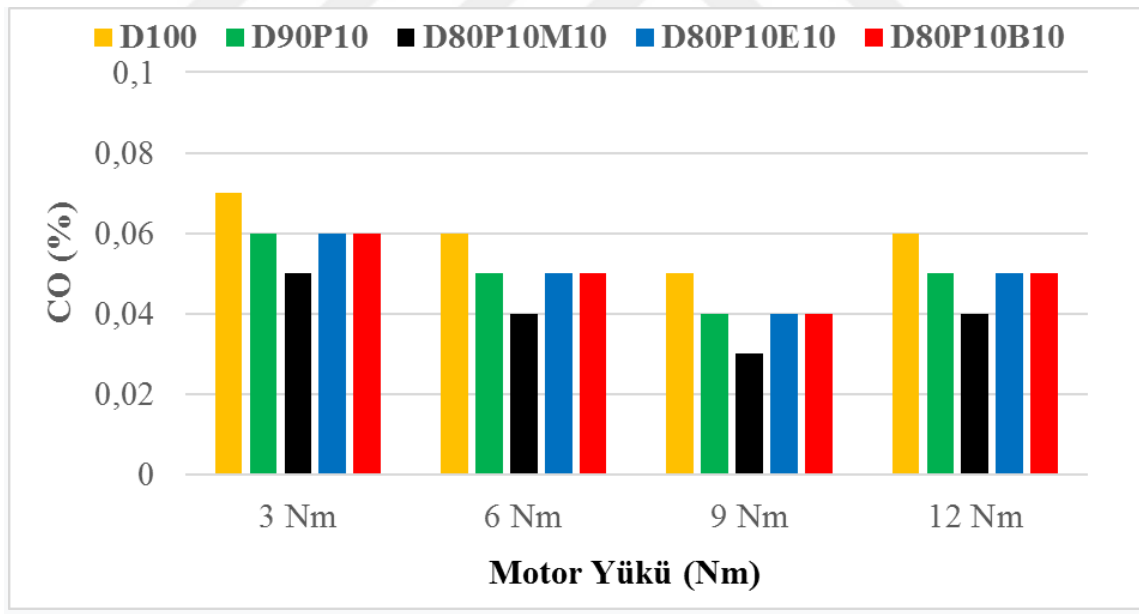


Şekil 4.12. CO₂ emisyon grafiği.

4.3.3. Karbonmoksit (CO) Emisyonu

Eksik bir yanma ürünü olan karbonmonoksit gazının oluşumuna etki eden unsurlar, yakıt tipi, hava/yakıt oranı, yakıt açısından zengin bölgeler ve CO'yu CO₂'ye oksitlemek için gerekli kalma süresi, yanma odası şekli, yakıt atomizasyon oranı, püskürtme basıncı, motor yükü ve hızıdır. Bunların içerisinde en etkili olanı ise hava/yakıt oranıdır. Ayrıca yakıtların eksik oksidasyonu ve yanma odasındaki düşük sıcaklık değerleri de karbonmonoksit emisyonun oluşum kriterleri arasında gösterilmektedir [35], [36].

Şekil 4.13'te karbonmonoksit emisyonlarının motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Standart dizel yakıt içerisinde Pirolitik yakıt ve farklı alkollerin katılması, CO emisyonlarını düşürmüştür. Pirolitik içerikli yakıtın karbon içeriğinin düşük olması, alkol içerikli yakıtların oksijen içeriğinin yüksek olması CO emisyonlarını düşürmüştür. Ayrıca, alkol içerikli karışımların O₂ oranı dizel yakıt ve pirolitik yakıt karışımlarına oranla daha fazladır. Yeterli oksijen miktarı ve yanma odasındaki yüksek sıcaklık, alkol içerikli yakıtların CO emisyonlarını düşürmüştür [29], [60].



Şekil 4.13. CO emisyon grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yakın tarihte tükenmesi öngörülen fosil kökenli dizel yakıtına alternatif olarak, atık taşıt lastiklerinden elde edilmiş pirolitik yakıtın özelliklerinin sınanması ve çeşitli alkoller ile geliştirilerek performans, yanma ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir.

Pirolitik yakıt atık taşıt lastiklerinden, alkoller ise çeşitli fermantasyonlar ile elde edilmektedir. Geri dönüşümün önem kazanması ile beraber atık taşıt lastiklerinin de geri kazanımı gereklilik haline gelmiştir. Pirolitik yakıt içeriğindeki oksijen miktarı artırmak için farklı alkoller kullanılmıştır. Karışımlardaki oranlarının düşük seviyede tutulması, grafiklerde daha küçük değişimler göstermiştir. Genel olarak alkol grupları literatür ile benzer sonuçları vermiştir. Alkol ilavesi, pirolitik yakıtın karakteristik bazı özelliklerini geliştirmiştir.

Deney yakıtları dizel yakıtına, pirolitik yakıt ve alkollerin (Etanol, Metanol ve Butanol) belirli oranlarda hacimsel olarak karıştırılması ile elde edilmiştir. Deneyler tek silindri bir dizel motorda sabit 2400 dev/dk'da 3, 6, 9 ve 12 Nm motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir.

DeneySEL olarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Dizel yakıtına pirolitik yakıt ve alkol eklenmesi, dizel yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmiştir. Bu durumu deney sonuçları desteklemektedir.
2. Alkol karışımları, pirolitik yakıtın yoğunluk başta olmak üzere kimyasal özelliklerini iyileştirmiştir. Pirolitik yakıtın standartlara uygun olmayan viskozite, yoğunluk ve setan sayısı değerleri alkol katkısı ile iyileştirilmiştir. Böylece, pirolitik yakıtın silindirlere enjekte edebilecek ve yanmaya uygun hale getirebilecek değerlere getirilmiştir.
3. Genel olarak pirolitik yakıt ve alkol karışımları dizel motorların mekanik yapılarında değişiklik yapılmadan kullanılabilirdiği görülmüştür.

4. Pirolitik yakıtın dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması, lastik atıklarının enerjiye dönüştürülmesine ve fosil yakıt kaynaklarının kullanım süresinin uzamasına olanak tanıyacaktır.
5. 3 Nm haricindeki tüm motor yüklerinde, setan sayısı en küçük olan D80P10M10 yakıtı ile en büyük maksimum silindir basınç değerleri elde edilirken, setan sayısı en büyük olan D100 yakıtı ile genelde en küçük maksimum silindir basınç değerleri elde edilmiştir.
6. Dizel yakıtı içeriğine ilave edilen pirolitik yakıt ve alkol grubu tutuşma gecikmesi süresini artırmıştır.
7. Özgül yakıt tüketiminin, genelde karışım yakıtlar ile D100'e göre daha büyük olduğu görülmüştür. Isıl verimin ise tersi bir yön izleyerek azaldığı görülmüştür.
8. Silindir içi basıncın ve ısı salınım oranının tüm yakıtlar için motor yüküne bağlı olarak arttığı görülmüştür. Maksimum ısı salınım değerleri pirolitik ve alkol karışımlı yakıtlar ile D100'e göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir.
9. Pirolitik yakıt ve karışımlar ile, NO_x emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Bu durum alkollerin soğutucu etkisi ile ifade edilebilir.
10. Karışımlardaki karbon içeriğinin daha düşük olması ve alkol içerikli yakıtların oksijen içeriğinin yüksek olması, CO emisyonlarını düşürmüştür. Ayrıca, alkol içerikli karışımların O₂ oranı dizel yakıt ve pirolitik yakıt karışımlarına oranla daha fazladır.

Bu çalışmada deneyler sabit motor devrinde ve farklı motor yüklerinde yapılmıştır. Sonraki çalışmalar için aşağıda belirtilen hususlar araştırılabilir.

1. Tam yük altında, farklı motor devirlerinde deney yakıtlarının motor performansına ve yanmaya olan etkileri incelenebilir,
2. Pirolitik yakıtın sadece alkol grubu ile yoğunluğu azaltılarak motor performansına ve yanmaya olan etkileri incelenebilir,
3. Pirolitik yakıt – Biyodizel karışımlarının motor performansına ve yanmaya olan etkileri incelenebilir,
4. Pirolitik yakıt yıllık ortalama üretim miktarı, temin maliyeti, üretim maliyeti ve yanma maliyetleri incelenerek maliyet analizi yapılabilir.
5. Pirolitik yağı dizel yakıtına veya alkol gruplarına karıştırılarak kullanılıyor olması nedeniyle bir yılda ülkemize ekonomik getirisi incelenebilir.

6. Uzun süre pirolitik yakıt kullanımının motorun yakıt sisteminde ve yanma odasındaki olumlu veya olumsuz etkileri incelenebilir.



6. KAYNAKLAR

- [1] İ. Örs, “Benzin-Etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [2] V. Aslan, “Üretiminde farklı alkoller ve katalizörler kullanılan biyodizellerin yakıt özellikleri, motor performansları ve egzoz emisyonlarının incelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye, 2019.
- [3] R. Uzmen ve A. A. Arar, “21. Yüzyılda enerji kullanımı ve iklim değişikliği”, *Dışişleri Bakanlığı Yayınları Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, sayı 2.
- [4] T. Topgöl, “Buji ile ateşlemeli bir motorda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması”, Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [5] S. Ş. Yakup Sekmen, “Hamsi yağından biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, sayı 1, ss. 19-27, 2016.
- [6] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri (2020, 06 Kasım). *Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*. Erişim: https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2FSayi_15.pdf.
- [7] A. Hoçur, “Yenilenebilir alternatif yakıtların dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye, 2015.
- [8] A. N. Özsezen ve M. Çanakçı, “Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 15, sayı 2, ss. 173-180, 2009.
- [9] A. Keskin ve A. K. Ekşi, “Dizel motorlarda mısır yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanımının motor performans ve emisyonuna etkisi”, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, sayı 1, ss. 49-55, 2006.
- [10] F. E. Aysal, F. Aksoy, A. Şahin, L. Aksoy ve H. Yıldırım, “Hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu ve motor performans testleri”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 14, ss. 1-9, 2014.
- [11] İ. Üçgöl ve G. Akgöl, “Biyokütle teknolojisi”, *Yekarum Dergi*, c. 1, sayı 1, ss. 3-11, 2010.

- [12] Milli Eğitim Bakanlığı. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi. (2020, 02 Aralık). *Kimya teknolojisi-alkoller ve eterler*. Erişim: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Alkoller%20Ve%20Eterler.pdf.
- [13] Ö. Can, İ. Çelikten ve N. Usta, “Etanol karışımli motorin yakıtın dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, sayı 2, ss. 219-224, 2004.
- [14] İ. Mutlu ve M. Arslan, “Biyoalkollerin içten yanmalı motorlarda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi üzerine bir derleme”, in *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*, Karabük, 2018.
- [15] N. Usta, E. Oztürk, O. Can, E. S. Conkur, S. Nas, A. H. Con, A. C. Can ve M. Topcu, “Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, c. 46, ss. 741–755, 2005.
- [16] N. Yılmaz, “Comparative analysis of biodiesel-ethanol-diesel and biodiesel-methanol-diesel blends in a diesel engine”, *Energy*, c. 40, ss. 210-213, 2012.
- [17] I. M. Rizwanul Fattah, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, M. Mofijur ve M. J. Abedin, “Effect of antioxidant on the performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm biodiesel blends”, *Energy Conversion and Management*, c. 79, ss. 265–272, 2014.
- [18] N. Yılmaz, F. M. Vigil, K. Benalil, S. M. Davis ve A. Calva, “Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine”, *Fuel*, c. 135, ss. 46–50, 2014.
- [19] N. Usta, Ö. Can ve E. Öztürk, “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, sayı 3, ss. 325-334, 2005.
- [20] D. Şimşek, “Ayçiçeği yağından elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi”, *Teknik-Online Dergi*, c. 15, ss. 186-198, 2016.
- [21] M. Aydın, M. Afşar ve M. B. Çelik, “Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi”, in *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Antalya, 2016.
- [22] Y. Sekmen ve A. Aktaş, “Soya yağı metil esterinin dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, c. 11, sayı 3, ss. 249-254, 2008.
- [23] A. Demirci, M. Gümüş, C. Sayın, M. Atmaca, A. K. Binark ve M. O. Işıkan, “Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi”, in *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 2011.
- [24] A. Keskin, “Pamuk yağı biyodizeli-eurodizel karışımlarının tam yükte yanma, performans ve emisyonlara etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 17, ss. 797-809, 2017.

- [25] M. G. Öztürk ve K. Bilen, “Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motoru egzoz emisyonuna ve yakıt tüketimine etkisinin deneysel incelenmesi”, *International Journal Engineering Research & Development*, c. 1, sayı 1, ss. 50-55, 2009.
- [26] D. H. Qi, H. Chen, L. M. Geng ve Y. Z. Bian, “Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine”, *Renewable Energy*, c. 36, ss. 1252-1258, 2011.
- [27] H. Kim ve B. Choi, “The effect of biodiesel and bioethanol blended diesel fuel on nanoparticles and exhaust emissions from CRDI diesel engine”, *Renewable Energy*, c. 35, ss. 157–163, 2010.
- [28] G. Labeckas, S. Slavinskas ve M. Mazeika, “The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, c. 79, ss. 698–720, 2014.
- [29] D. Şimşek ve N. Y. Çolak, “Biyodizel/Propanol yakıt karışımlarının dizel motor emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 166-174, 2019.
- [30] O. Doğan, “Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması”, Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.
- [31] A. Atmanlı, E. İleri ve B. Yüksel, “Dizel-Bitkisel Yağ-n-Bütanol üçlü karışımlarının dizel motor performansına etkilerinin incelenmesi”, *7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2014.
- [32] S. Özer, M. Akçay, M. Gölcü ve H. Yazıcı , “Tek silindirli benzinli bir motorda kısmi yüklerde Bütanol ilavesinin performansa ve emisyonlara etkisi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, c. 32, sayı 2, ss. 55-62, 2012.
- [33] Ü. Ağbulut, M. Karagöz, S. Sarıdemir ve A. Öztürk, “Impact of various metal-oxide based nanoparticles and biodiesel blends on the combustion, performance, emission, vibration and noise characteristics of a CI engine”, *Fuel*, c. 270, sayı 117521, 2020.
- [34] S. Sarıdemir ve Ü. Ağbulut, “Combustion, performance, vibration and noise characteristics of cottonseed methyl ester–diesel blends fuelled engine”, *Biofuels*, sayı 1-10, 2019.
- [35] A. O. Emiroğlu ve M. Şen, “Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine”, *Fuel*, c. 212, ss. 34-40, 2018.
- [36] M. Karagöz, Ü. Ağbulut ve S. Sarıdemir, “Waste to energy: Production of waste tire pyrolysis oil and comprehensive analysis of its usability in diesel engines”, *Fuel*, c. 275, sayı 117844, 2020.
- [37] Ü. Ağbulut, S. Sarıdemir ve S. Albayrak, “Experimental investigation of combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel–biodiesel–alcohol blends”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, c. 41, sayı 9, ss. 1-12, 2019.

- [38] M. Eyidoğan, M. anakcı, A. N. Özsezen, E. Alptekin, A. Türkcan ve İ. Kılıçaslan, “Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun yanma parametrelerine ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, sayı 3, ss. 499-507, 2011.
- [39] A. şenbahe, M. Temür ve C. Sayın, “Alkol yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, c. 1, ss. 20-29, 2014.
- [40] N. Yılmaz ve F. M. Vigil, “Potential use of a blend of diesel, biodiesel, alcohols and vegetable oil in compression ignition engines”, *Fuel*, c. 124, ss. 168-172, 2014.
- [41] C. Sayın, “Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends”, *Fuel*, c. 89, ss. 3410–3415, 2010.
- [42] H. Yağoğlu, “Bir dizel motorunda yakıt olarak euro dizel-biyodizel-biyometanol karışımlarının kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2015.
- [43] S. Sarıdemir, A. E. Grel, . Ağbulut ve F. Bakan, “Investigating the role of fuel injection pressure change on performance characteristics of a DI-CI engine fuelled with methyl ester”, *Fuel*, c. 271, sayı 117634, 2020.
- [44] D. Rakopoulos, C. Rakopoulos, R. Papagiannakis ve D. Kyritsis, “Combustion heat release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine”, *Fuel*, c. 90, ss 1855–1867, 2011.
- [45] M. I. Al-Hasan ve M. Al-Momany, “The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance”, *Transport*, c. 23, sayı 4, ss. 306-310, 2008.
- [46] I. A. Reşitoğlu, “Variation of fuel characteristics of diesel with the use of biodiesel and alcohols (ethanol, methanol, 2-propanol, 2-butanol)”, *International Journal of Environmental*, c. 3, sayı 2, ss. 142-150, 2019.
- [47] S. Albayrak, “Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [48] E. Erdal, “Ayçiçeği metil esterinin motor titreşimine ve gürültüsüne olan etkilerinin deneysel analizi”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [49] İ. Yüce, “Alternatif olarak biyodizelin Türkiye'deki ve Almanya'daki durumu ile taşıtlarda kullanımının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [50] M. Öcal, “Setan sayısı hakkında 6 soru”, *Mühendis ve Makina*, c. 48, ss. 568.
- [51] T. Kulakoğlu, “Dizel-Metanol karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.

- [52] A. Atmanlı, “Dizel motorunda dizel yakıtı-alkol-bitkisel yağ karışımları kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2013.
- [53] S. Özer, “Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, sayı 1, 2014.
- [54] S. Çetinkaya, *Taşıt Mekaniği*, 4. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Kitap, 2005, böl. 2, ss. 24-33.
- [55] I. Kalargaris, G. Tian ve S. Gu, “Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil”, *Fuel Processing Technology*, sayı 157, ss. 108-115, 2017.
- [56] O. Doğan, M. B. Çelik ve B. Özdalyan, “The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions”, *Fuel*, sayı 95, ss. 340-346, 2012.
- [57] G. Labeckas ve S. Slavinskas, “The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emissions”, *Energy Conversion and Management*, c. 47, ss. 1954–1967, 2006.
- [58] P. D. Y. Çengel. (2020, 12 Ekim). *Bilgi Toplumuna Geçişte Üniversitelerin Rolü*. Erişim:<http://www.yunuscengel.com/wp-content/uploads/2018/05/Bilgi-Toplumu-2010.pdf>.
- [59] H. Güven. (2020, 26 Kasım). *Akaryakıtlar*. Erişim: http://w3.balikesir.edu.tr/~hnamli/calisma/p20072008/Huseyin_Guven_akaryakit.pdf.
- [60] V. Hışır, “Bütanol-Benzin Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Motorların Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye 2010.
- [61] M. K. Yesilyurt, “A detailed investigation on the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a diesel engine running on the blend of dieselfuel, biodiesel and 1-heptanol (C7 alcohol) as a next-generation higher alcohol”, *Fuel*, c. 275, sayı 117893, 2020.
- [62] A. Jamrozik, “The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends”, *Energy Conversion and Management*, c. 148, ss. 461-476, 2017.
- [63] M. Teknik, (2020, 10 Eylül). Erişim: <https://www.mikroteknik.com.tr/etil-alkol-99-sentetik-s137.html> .
- [64] M. K. Yesilyurt, M. Aydın, Z. Yılbası ve M. Arslan, “Investigation on the structural effects of the addition of alcohols having various chain lengths into the vegetable oil-biodiesel-diesel fuel blends: An attempt for improving the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a compressi”, *Fuel*, c. 269, sayı 117455, 2020.

- [65] J. Campos-Fernández, J. M. Arnal, J. Gómez ve M. P. Dorado, “A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine”, *Applied Energy*, c. 95, ss. 267-275, 2012.
- [66] F. Kelen, “Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, sayı 1-2, ss. 80-87, 2014.



7. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah HANEDAR
Doğum Tarihi ve Yeri :
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Düzce Üniversitesi	2021
Ön lisans	Muhasebe ve Vergi Uygulamaları	Açık Öğretim Fakültesi	2018-
Lisans	Makine Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Sakarya Üniversitesi	2010
Lise	Motor	Mimar Sinan E.M.L	2004

YAYINLAR

1. S. Sarıdemir, E. Hanedar, ve G. Yıldız, “Effect of diesel-biodiesel-methanol blends on performance and combustion characteristics of diesel engine”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 189-201, 2021.

İŞ TECRUBELERİ

- İst. Şişli Mesleki Eğitim Merkezi (Motorlu Araç. Tek. Öğretmeni) (21.10.2019-Devam etmekteyim.)
- Koşgeb Düzce Müdürlüğü (02.03.2012 – 18.10.2019)
- Sakarya Üniversitesi (14.10.2009-29.06.2010) Asistan Öğrenci
- Rize İMKB EML (Mesleki Çalışma Programı) (01.10.2004-31.12.2005)