



The effects of waste engine oil and alcohol use as additional fuel in a diesel generator used in small-scale power generation on emission

Faruk Oral^{1*}, Niyazi Yılmaz Çolak², Doğan Şimşek³

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Bitlis Eren University, 13000, Bitlis, Türkiye

²Department of Motor Vehicles and Transport Technology, Technical Sciences Vocational School, Bitlis Eren University, 13000, Bitlis, Türkiye

³Department of Automotive Technology, Kara Astsubay Vocational School, National Defense University, 10110, Balıkesir, Türkiye

Highlights:

- Bringing waste motor oil to the economy with an environmentally friendly application
- Use of four types of alcohol in different proportions in fuel blends
- Investigation of alternative fuels in energy production

Keywords:

- Waste engine oil
- Ethanol
- n-Propanol
- iso-Propanol
- Butanol
- Exhaust emission

Graphical/Tabular Abstract

Within the scope of this study, the emission effects of using waste engine oil and alcohol as additional fuel in a diesel generator used in small scale power generation were investigated. The important parameter results which give a clear idea about the study as SFC results and CO emission values are given in Figure A.

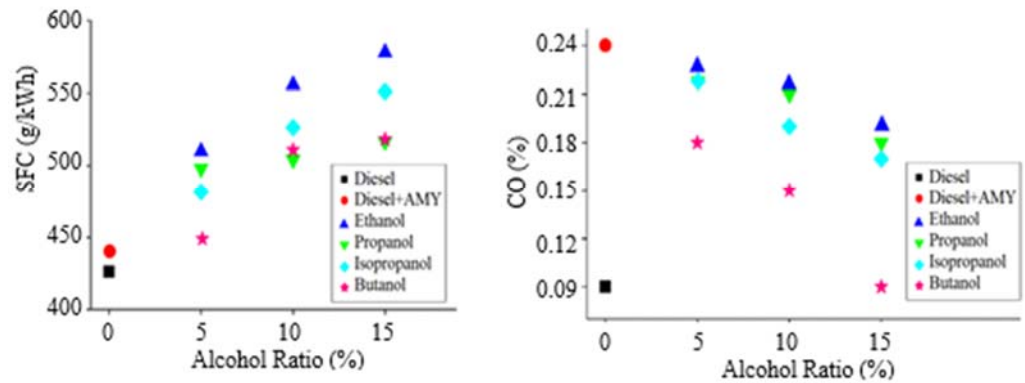


Figure A. Test results of the experiments

Article Info:

Research Article

Received: 16.10.2020

Accepted: 16.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.811625

Correspondence:

Author: Faruk Oral

e-mail: foral@beu.edu.tr

phone: +90 434 222 0030

Purpose:

In this study, it was aimed to determine the effect of using triple fuel mixtures prepared by adding various amounts of alcohol to diesel-waste engine oil mixture in a diesel generator engine on fuel consumption and exhaust emissions.

Theory and Methods:

Waste motor oil used in the experimental study was rested and passed through a mechanical filter. Afterwards, it was kept at 90°C - 100°C to separate possible water compounds. In the experiments, 20% of used waste motor oil by volume was added to diesel fuel. Test fuels were prepared by adding 4 different types of alcohols (ethanol, n-propanol, iso-propanol and n-butanol) in 3 different proportions (5%, 10% and 15% by volume) to the diesel-waste motor oil mixture. Air-cooled diesel engine generator was used in the experiments. In the experimental study, the fuel consumption, CO, CO₂, HC, NO_x and soot emission values were determined by loading the engine with constant electrical power for each test fuel under stable operating conditions.

Results:

Adding waste engine oil to diesel fuel increased the specific fuel consumption by approximately 2.32% compared to diesel fuel. The diesel-waste motor oil mixture increased 166% CO emissions compared to diesel fuel. CO emission values were decreased by 25% with 15% ethanol addition and 58% with 15% butanol addition when compared to non-alcohol mixtures. The addition of waste motor oil to diesel fuel increased soot emission by 65.62% compared to standard diesel fuel. 15% butanol test fuel mix decreased soot emission approximately by 33.9% compared to diesel-waste motor oil mixture.

Conclusion:

The increase in alcohol content of alcohol-added fuels increased specific fuel consumption compared to the fuel mixtures without alcohol. The addition of waste motor oil in diesel fuel caused an increase in CO, HC, soot emissions compared to standard diesel fuel. As the amount of alcohol added to the diesel-waste engine oil mixture increased, there was a decrease in CO, HC and soot emissions and an increase in NO_x emissions.



Küçük çaplı enerji üretiminde kullanılan bir dizel jeneratörde ek yakıt olarak atık motor yağı ve alkol kullanımının emisyon etkileri

Faruk Oral^{1*}, Niyazi Yılmaz Çolak², Doğan Şimşek³

¹Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü 13000, Bitlis, Türkiye

²Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü 13000, Bitlis, Türkiye

³Milli Savunma Üniversitesi Kara Astsubay Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojileri Bölümü 10110, Balıkesir, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Çevre dostu bir uygulama ile atık motor yağını ekonomiye kazandırmak
- Yakıt karışımlarında farklı oranlarda dört çeşit alkol kullanımı
- Enerji üretiminde alternatif yakıtların araştırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.10.2020

Kabul: 16.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.811625

Anahtar Kelimeler:

Atık motor yağı,
etanol, n-propanol,
izo-propanol,
bütanol,
egzoz emisyonu

ÖZ

Yapılan çalışmada, küçük çaplı enerji üretiminde kullanılan dizel bir jeneratörde ek yakıt olarak atık motor yağı ve alkol kullanımının emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada dizel yakıtı içerisinde %20 oranına atık motor yağı ilave edilmiş ve oluşturulan bu karışıma 3 farklı oranda (%5 %10 ve %15) etanol, propanol, izo-propanol ve bütanol alkolleri ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalar dört zamanlı, hava soğutmalı dizel motorlu jeneratör setinde yapılmıştır. Çalışmalarda jeneratörden sabit bir güç çekilerek (5000 W) yakıt tüketimi ve emisyon sonuçları belirlenmiştir. Sonuçlarda ÖYT, dizel-atık motor yağı karışımına alkol ilavesi ile arttığı en yüksek ÖYT %15 etanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilmiştir. Dizel-atık motor yağı karışımına bütanol ilave edilmesiyle ÖYT'nin azaldığı, diğer alkol türleri ile kıyaslandığında en düşük ÖYT elde edildiği görülmüştür. Emisyon sonuçlarında, dizel-atık motor yağı karışımı kullanılmasıyla, CO, HC ve is emisyonlarının arttığı görülmüştür. Dizel-atık motor yağı karışımına alkol ilave edilmesiyle CO, HC ve is emisyonlarında azalma elde edilmiştir.

The effects of waste engine oil and alcohol use as additional fuel in a diesel generator used in small-scale power generation on emission

H I G H L I G H T S

- Bringing waste motor oil to the economy with an environmentally friendly application
- Use of four types of alcohol in different proportions in fuel blends
- Investigation of alternative fuels in energy production

Article Info

Research Article

Received: 16.10.2020

Accepted: 16.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.811625

Keywords:

Waste engine oil,
ethanol, n-propanol,
iso-propanol,
butanol,
exhaust emission

ABSTRACT

In the study, the effect of utilizing waste motor oil and alcohol as an alternative fuel in a diesel generator used in small-scale energy production on emissions was investigated. In the experimental study, 20% of waste motor oil was added in diesel fuel, then 3 different proportions (5%, 10% and 15%) of ethanol, propanol, iso-propanol and butanol alcohols were added to this mixture. Experimental studies were carried out on a four-stroke, air-cooled diesel engine generator set. In the experiments, the fuel consumption and emission results were determined by drawing a constant power (5000 W) from the generator. In the results, it was found that the Specific Fuel Consumption (SFC) increased with the addition of alcohol to the diesel-waste engine oil mixture and the highest SFC was obtained in the fuel mixture where 15% ethanol was added. It was observed that butanol addition to the diesel-waste motor oil mixture decreased the SFC and the lowest SFC was obtained when compared to other alcohol type mixtures. In the emission results, the use of diesel-waste engine oil mixture increased the CO, HC, and soot emissions while alcohol addition to the diesel-waste engine oil mixture reduced these emission values.

1. Giriş (Introduction)

Hızlı gelişen teknoloji, mükemmeliyetçilik ve yaşam kalitesinin artması özellikle otomotiv sanayisinin gelişmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte gelişen endüstri beraberinde enerji ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır [1, 2]. Artan nüfus ve teknolojik ilerlemeler beraberinde motorlu taşıt sayısını da artırmaktadır. Ülkemizde 2020 Nisan ayı sonu itibarıyla motorlu kara taşıt sayısı 23.753.664 üdeler ulaşmıştır [3]. Mevcut motorlu kara taşıt sayısının yakıt sarfiyatının yanı sıra motorlu taşıtlardan kullanılan yağ tüketimi de ciddi rakamlara ulaşmaktadır. Ülkemizde 2019 yılında motorlu taşıtlarda kullanılan yağ tüketimi yaklaşık olarak 422.751 ton olarak kayıtlara geçmiştir. Ülkemizde kayıt altına alınan bu yağ tüketim miktarının yaklaşık % 49'u (206.000 ton) motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. Kalan miktarın yaklaşık %43'ü, ise endüstriyel atık yağlar oluşturmaktadır [4]. Atık yağların çevreye bilinçsizce atılması önemli çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. 1litre atık yağ yaklaşık 800.000 lt suyu kirletmektedir. Bu nedenle atık motor yağlarının çevreye zarar vermeden toplanması ve bertaraf edilmesi önem arz etmektedir. 21 Aralık 2019 tarihli 30985 sayılı Resmi gazetede Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliğinin 12. Maddesinin 4. Fıkrasının b bendinde, PCB değeri 20-50 ppm arasında yer alan ve 51 klor değerini aşmayan atık yağlar bertaraf yakma tesislerinde enerji geri kazanımı için ek yakıt olarak kullanılır hükmü yer almaktadır. Aynı maddenin aynı fıkrasının c bendinde PCB değeri 50 ppm üzerinde olan ve %1 klor değerini aşan atık yağlar, yakma tesisinde bertaraf edilir hükümleri yer almaktadır [5]. Bu yönetmeliğe göre, atık yağların bertarafı ile ilgili enerji geri kazanım amacıyla ilave yakıt olarak kullanılmasına müsaade edilmiştir. Son yıllarda atık fosil kökenli yağların dizel motorda yakıt ilavesi olarak kullanıldığı çalışmalar görülmektedir. Behera ve Murugan [6] yaptıkları çalışmalarında, dizel yakıtına farklı oranlarda ilave edilen atık trafo yağının motor performansı ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, atık trafo yağı ilave edilen karışımlarda is emisyonlarında azalmanın olduğunu, termal verim ve NO_x emisyonlarında ise artış olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Yavad vd. [7] dizel yakıtına atık trafo yağı ilave edilerek kullanılan bir dizel motorda püskürtme zamanlamasının motor performans ve emisyon üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, atık trafo yağının viskozitesini düşürmek amacıyla transesterifikasyon yöntemi kullanmış ve düşük bir miktarda viskozitesinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, gecikmeli püskürtme zamanlamasının standart püskürtme zamanlamasına göre termal verimin arttığı, CO, HC ve NO_x emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Arpa vd. [8] atık motor yağını prolitik damıtma yöntemi kullanarak dizel benzeri bir yakıt elde etmiş ve dizel motor performansına etkisini incelemişlerdir. Kullanılan yöntemle elde edilen yakıtın fiziksel özelliklerinin dizel yakıtı fiziksel özelliklerine yakın olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca elde edilen test sonuçlarında,

fren ortalama efektif basıncı, ısı verim ve motor momentinde artış elde edilirken fren özgül yakıt tüketiminde azalmanın olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada, ilave yakıt olarak atık motor yağı kullanılan bir dizel jeneratör motorunda, dizel atık motor yağı karışımına farklı tür ve oranlarda alkol ilave edilmiştir. Hazırlanan üçlü yakıt karışımlarının yakıt tüketimine ve egzoz emisyonlarına etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Deneysel çalışmada kullanılan dizel yakıtı ticari olarak temin edilmiştir. Çalışmalarda dizel yakıtına hacimsel olarak %20 oranında 870-910 kg/m³ yoğunluk, 42,8-43,2 MJ/kg alt ısı değer, <81°C alevlenme noktası gibi fiziksel özelliklere sahip atık motoryağı (sentetik 5W30 15000 km çalışmış) ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan alkoller Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Kullanılan dizel yakıtı ve alkollerin fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [9-11]. Hazırlanan dizel-yağ karışımına hacimsel olarak 3 farklı oranda (%5, %10 ve %15) (C₂H₆O) etanol (saflik derecesi %96,4), (CH₃CH₂CH₂OH) n-propanol (99%), (CH₃CHOHCH₃) izo-propanol (99,5%) ve (C₄H₉OH) n-bütanol (99%) ilave edilmiştir. Hazırlanan yakıt türleri ve karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan atık motor yağı 48 saat dinlendirilmiş ardından mekanik bir filtre ile filtrelenmiştir. Filtrelenen motor yağı 90°C -100°C sıcaklıkta 4 saat bekletilmiş ve olası su bileşiklerinin ayrılması sağlanmıştır.

Deneysel çalışmalar, Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, otomotiv laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel düzeneğin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Deneysel hava soğutmalı, Alimar marka dizel jeneratör kullanılmıştır. Dizel motor ve bağlı olan üreticinin teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Jeneratöre yüklemeye yapmak için 5000 W alıcı kullanılmıştır. Kullanılan test düzeneği regülatör devresine sahip olup yapılan yüklemeye orantılı olarak gaz konumu regülatör devresi tarafından kontrol edilmektedir. Testlerde sabit bir elektriksel güç (5000 W) ile yüklenerek motor 1 saat çalıştırılmış ve bu süre içerisinde yakıt tüketimi ağırlık olarak (g) belirlenmiştir. Aynı zamanda alıcıya bağlanan elektrik sayacı ile üretilen elektrik miktarı kontrol edilmiştir. Emisyon ölçümleri Mobidyic-5000 marka emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyon cihazının teknik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

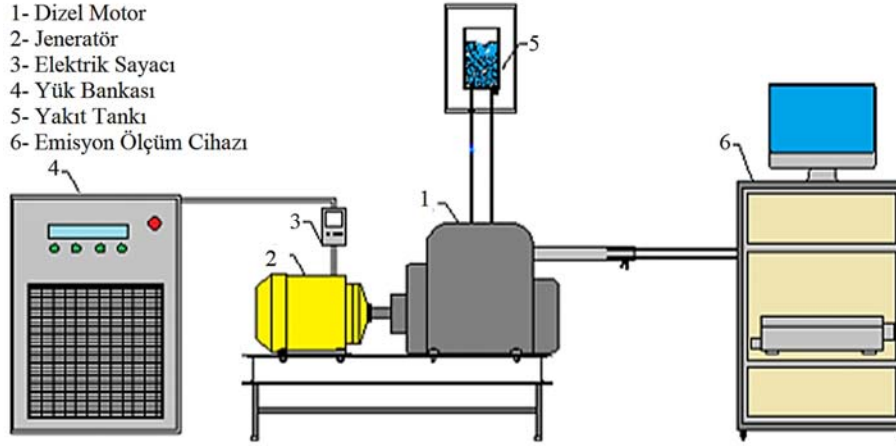
Deneysel çalışmaya başlamadan önce genel motor kontrolleri yapılmış motor yağı değiştirilmiş hava filtresi temizlenmiştir. Testlere başlamadan önce motor kararlı hale gelene kadar (motor devri sabitlenmesi) çalıştırılmıştır. Motor kararlı çalışma şartlarında her bir

Tablo 1. Kullanılan test yakıtlarının fiziksel özellikleri (Physical properties of the test fuels used)

Yakıt özellikleri	Dizel	Etanol	n-Propanol	izo-Propanol	n-Bütanol
Formül	C _x H _y	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₈ O	C ₃ H ₈ O	C ₄ H ₁₀ O
Moleküler ağırlık (kg/kmol)	190-220	46,07	60,10	60,10	74,12
Karbon (% Kütlesel)	86,13	52,2	60	60	64,8
Hidrojen (% Kütlesel)	13,87	13,1	13,4	13,4	13,6
Oksijen (% Kütlesel)	---	34,7	26,6	26,6	21,6
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42,5	26,8	29,81	32,94	33,1
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14,6	9	10,28	10,28	11,2
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)	315	455	400	425	340
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	250	825	585	761	581
Yoğunluk (kg/m ³)	820-845	805,8	800	786	810
Setan sayısı	51	5-8	---	---	<25
Kinematik viskozite (mm ² /s) (40°C)	2-4,5	1,19	1,74	1,79	2,6

Tablo 2. Test yakıtlarının hacimsel karışım oranları (Volumetric blend ratios of test fuels)

Test yakıtı	Yakıt kodu	Dizel	Motor yağı	Etanol	n-Propanol	izo-Propanol	n-Bütanol
Dizel	D	100	-	-	-	-	-
Dizel/20%Motor yağı	D+AMY	80	20	-	-	-	-
DY+5% Ethanol	DY5E	75	20	5	-	-	-
DY+10% Ethanol	DY10E	70	20	10	-	-	-
DY+15% Ethanol	DY15E	65	20	15	-	-	-
DY+5% n-Propanol	DY5P1	75	20	-	5	-	-
DY+10% n-Propanol	DY10P1	70	20	-	10	-	-
DY+15% n-Propanol	DY15P1	65	20	-	15	-	-
DY+5% izo-Propanol	DY5P2	75	20	-	-	5	-
DY+10% izo-Propanol	DY10P2	70	20	-	-	10	-
DY+15% izo-Propanol	DY15P2	65	20	-	-	15	-
DY+5% n-Bütanol	DY5B	75	20	-	-	-	5
DY+10% n-Bütanol	DY10B	70	20	-	-	-	10
DY+15% n-Bütanol	DY15B	65	20	-	-	-	15



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

test yakıtı için sabit elektriksel güç ile yüklenmiş ve her bir yakıt türü için yakıt tüketimi belirlenmiş ve CO, CO₂, HC, NO_x ve is emisyon değerleri ölçülmüştür. Testler her yakıt türü için 3'er kez tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

Tablo 3. Dizel motorlu jeneratörün özellikleri (Features of diesel engine generator)

Jeneratör	
Marka ve Model	Alimar, ALM-D 6500 ME
Frekans (Hz)	50
Çıkış voltajı (Volt)	220 Volt
Sürekli çıkış gücü (kW)	5,5
Güç faktörü	1,0
Dizel Motor	
Model	186 FA
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Motor tipi	Dört zamanlı, tek silindirli
Yakıt türü	Direk püskürtme
Püskürtme basıncı	210 bar
Sürekli çıkış gücü (kW)	5,7 (3000 d/dak)
	6,3 (3600 d/dak)

Tablo 4. Emisyon ölçüm cihazının özellikleri (Features of the emission measuring device)

Marka ve Model	Mobydic 5000
CO % Hacim	0 - 10
CO ₂ % Hacim	0 - 20
HC ppm Hacim	0 - 20000
O ₂ % Hacim	0 - 21
NO _x ppm	0 - 5000
Lambda	0 - 5

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

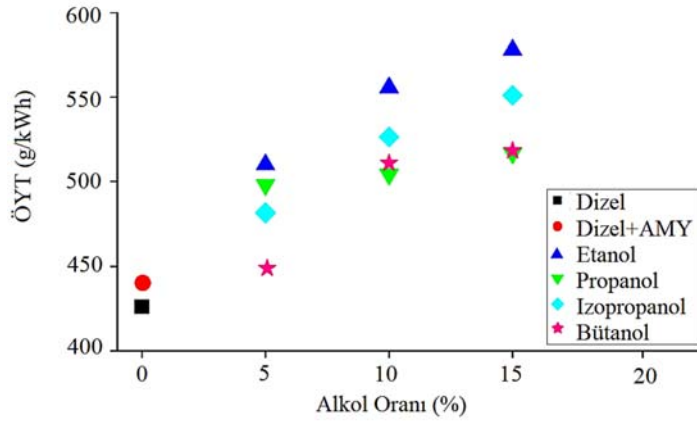
Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve yakıt karışımı kullanılması özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen farklı test yakıtlarına göre ÖYT sonuçları incelendiğinde, yakıt türlerine göre ÖYT değerlerinin belirgin bir oranda değiştiği görülmektedir. En yüksek ÖYT %15 etanol ilave edilen yakıt türünde (DY15E) yaklaşık 585 g/kWh olarak elde edilirken en düşük yakıt tüketiminin Dizel (D) yakıtı ile yaklaşık 430 g/kWh olarak elde edilmiştir. Ayrıca dizel yakıtına %20 oranında atık motor yağı (AMY) ilave edildiğinde ÖYT değeri yaklaşık olarak 440

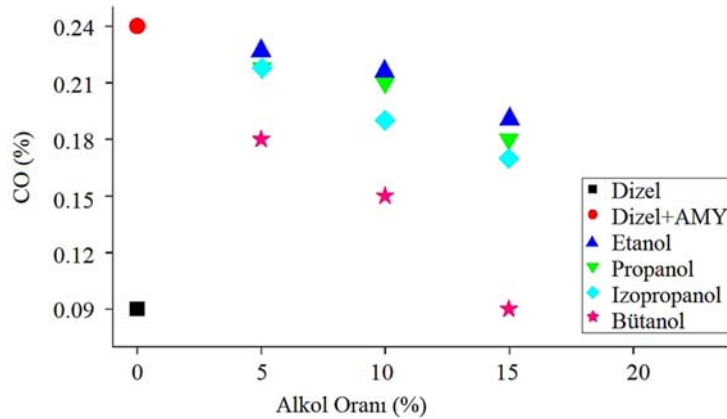
g/kWh olarak elde edildiği görülmektedir. Atık motor yağı ilave edilen yakıt karışımı ile ÖYT’de yaklaşık %2,32 oranında bir artışın olduğu anlaşılmaktadır. Atık motor yağı ilave edilen dizel yakıt karışımıyla ÖYT’nin yüksek olması, dizel yakıtı ile yüksek yoğunluk farkı ve alt ısı değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gabina et al., [12] yaptıkları çalışmalarında atık motor yağının dizel deniz motorları için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliğini inceledikleri çalışmalarında yaklaşık %4 oranında bir ÖYT tüketimi artışının olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise motor yağı ilave edilen yakıt karışımlarının alt ısı değerinin düşük olmasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Arpa et al. [8] atık motor yağından prolitik damıtma yöntemiyle elde ettikleri yakıtın dizel motorlarda kullanılması ile ÖYT’nin dizel yakıtına göre yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Dizel-atık motoryağı yakıt karışımına farklı oranlarda alkol ilave edilen yakıt karışımlarında ise artan alkol miktarı ile ÖYT’nin arttığı görülmektedir. En yüksek ÖYT %15 Ethanol ilave edilen (DY15E) yakıtı ile 570 g/kWh olarak elde edilmiştir. Dizel-atık motoryağı yakıtına ilave edilen etanolün altı ısı değerinin (26.8 Mj/kg) düşük olması ÖYT’nin artmasına neden olmaktadır. Sabit güç çekilen motorda aynı gücün sağlanabilmesi için regülatör devesi gaz konumunu değiştirerek pompa elemanının basmış olduğu yakıt miktarını artırmaktadır. Bu nedenle yakıt tüketimi artmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda dizel-biyodizel yakıt karışımına etanol ilave edilerek kullanılan yakıt karışımlarında, artan etanol oranıyla ÖYT’nin arttığı rapor edilmiştir [13, 14]. Bunun yanı sıra yakıt karışımlarında kullanılan etanolün buharlaşma ısısının yüksek

olmasının silindir içerisinde daha fazla ısı çekilmesine ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle motor gücünün azalmasına ve ÖYT’nin artmasına neden olmaktadır [15-17]. Benzer şekilde bütün yakıt türlerinin ÖYT incelendiğinde yakıt karışımı içerisinde artan alkol miktarıyla ÖYT’nin arttığı görülmektedir. Bilindiği gibi ÖYT motorda birim güç başına tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. ÖYT’ni etkileyen en önemli parametre kullanılan yakıtın alt ısı değeridir. Alt ısı değeri düşük olan yakıt ve yakıt karışımlarında yüksek ÖYT beklenmektedir [11]. Alkol ilave edilen yakıt karışımları karşılaştırıldığında en düşük ÖYT bütanol ilave edilen yakıt karışımında elde edildiği görülmektedir. Çelebi ve Aydın [18] yaptıkları bir çalışmada dizel biyodizel yakıt karışımına farklı miktarlarda bütanol ilavesi ile ÖYT’nin azaldığını, bu azalmanın nedenini yakıtın yanma verimi ile ilişkilendirmişlerdir. Benzer şekilde Campos-Fernandez vd. [19] yaptıkları çalışmalarında dizel yakıtına farklı alkol türleri ilave etmiş ve en düşük ÖYT’nin bütanol ilave edilen yakıt karışımında olduğunu belirtmişlerdir. Bu azalmanın nedeninin bütanolün düşük viskozite ve molekül ağırlığından dolayı daha iyi yakıt atomizasyonu ile daha iyi buharlaşma sağlandığını rapor etmişlerdir. Sabit yük altında çalışan jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanıldığında Karbonmonoksit (CO) emisyonlarına etkisi Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 3’te verilen sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanıldığında Karbonmonoksit (CO) emisyonlarına etkisi incelendiğinde, en düşük CO emisyonunun dizel yakıtı ile elde edildiği görülmektedir. Standart dizel yakıtına %20 atık



Şekil 2. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanıldığında ÖYT’ye etkisi
(The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on SFC)



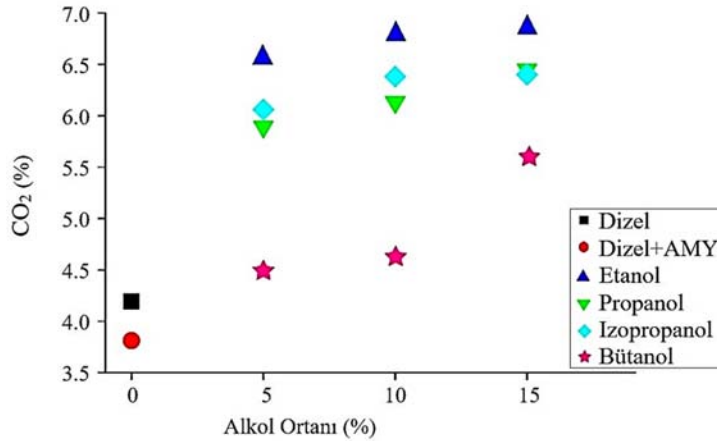
Şekil 3. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanıldığında CO emisyonlarına etkisi
(The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on CO emissions)

motor yağı ilave edildiğinde CO emisyonunun arttığı ve yaklaşık olarak 0,24% bir değerde olduğu anlaşılmaktadır. Dizel yakıtı içerisine ilave edilen atık motor yağının H/C oranının (0,16) dizel yakıtına (0,144) göre yüksek olması CO emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca ilave edilen atık motor yağının zayıf atomizasyon özelliklerinden dolayı yanmanın kötüleşmesi CO emisyonlarının artmasının diğer bir nedenidir. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [6, 7, 20, 21]. Dizel ve atık motor yağı karışımına ilave edilen alkol miktarının artmasıyla CO emisyonlarında azalmanın olduğu görülmektedir. Alkol ilave edilen yakıtlar içerisinde en yüksek CO emisyonu etanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilirken en düşük CO emisyonu bütanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilmiştir. Tablo 1’de verilen yakıt özellikleri (gizli buharlaşma ısısı) ile elde edilen sonuçlar birbirini desteklemektedir. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında buharlaşma için silindir içerisinde daha fazla ısı çekmesi kısmi alev sönmelerine neden olmakta ve yanmayı kötüleştirmesinden dolayı CO emisyonlarının artmasına neden olmaktadır [14]. Bütanol ilave edilen yakıt karışımında CO emisyonlarında belirgin oranda azalma olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada dizel biyodizel yakıt karışımına bütanol ilave edilmesiyle CO emisyonlarında azalma olduğu belirtilmiştir. CO emisyonlarında bu azalmanın nedenini ise yapısında bulunan oksijen içeriğinden kaynaklandığı rapor edilmiştir [18]. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının Karbondioksit (CO₂) emisyonlarına etkisi Şekil 4’te verilmiştir.

Şekil 4’te verilen sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının Karbondioksit (CO₂) emisyonlarına etkisi incelendiğinde, dizel yakıtı içerisine ilave edilen atık motor yağı ile CO₂ emisyonunun azaldığı görülmektedir. Atık motor yağı ilave edilen yakıt karışımının yanmayı kötüleştirmesi CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO₂ emisyon miktarı, yakıtın yapısında bulunan C atom miktarına ve yanma verimine göre değişmektedir [13]. Patel ve Shadangi [22] yaptıkları çalışmada atık motor yağı termal proliz yöntemi kullanılarak yaklaşık %76 bir yağ elde ettikleri çalışmalarında %20 proliz yağı ve %80 dizel yakıtı karışımının karbon numaralarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda karbon sayısı C22, C24 ve C27 olan bileşikler dizel yakıtında bulunmazken 20PO yakıtında çok daha az miktarda olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 20PO karışımında yağın %70,4 C10-C22 bileşikler bileşimine sahip olduğu, dizel yakıtının ise %83,25 C10-C22 bileşikler içerdiğini rapor etmişlerdir. Yine Şekil 4’te dizel atık motor yağı karışımına alkol ilavesi ile CO₂ emisyonlarında arttığı görülmektedir.

En yüksek CO₂ emisyonunun %15 etanol ilave edilen yakıt karışımında olduğu görülmektedir. Etanol yapısında bulunan oksijen içeriği CO₂ emisyonlarının artmasına neden olan önemli etkindir. Kullanılan etanolün propanol ve bütanol alkollerine göre sırasıyla %23,3 ve %37,7 oksijen içeriğinin yüksek olması, bununla birlikte %14,9 ve %24,13 oranında karbon içeriğinin düşük olması bu durumu net olarak açıklamaktadır. Aydın ve Ögüt [23] tarafından yapılan bir çalışmada dizel biyodizel yakıt karışımlarına etanol ilavesinin CO₂ emisyonunu artırdığını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise etanolün yapısında bulunan oksijenin yanma verimine artırmasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Diğer alkol türlerine göre en düşük CO₂ emisyonu bütanol alkolü ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan alkoller arasında bütanol ’ün, en düşük oksijen ve en yüksek karbon içeriğine sahip olması CO₂ emisyonlarının da düşük olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada da benzer sonuçların elde edildiği rapor edilmiştir [18]. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının Hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi Şekil 5’te verilmiştir.

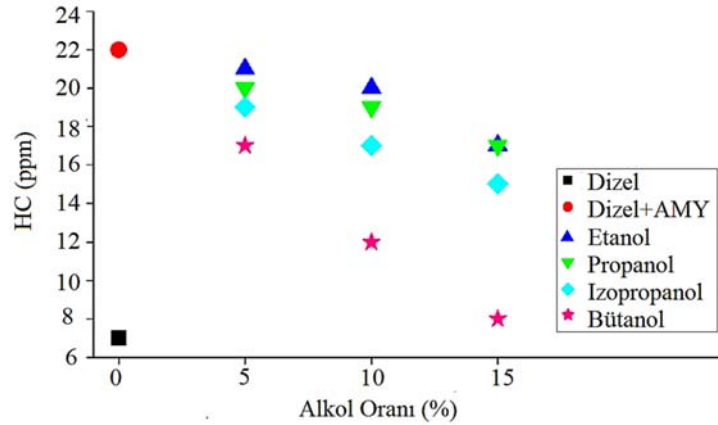
Şekil 5’te verilen sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının Hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi incelendiğinde, dizel yakıtı içerisine atık motor yağı ilave edilmesiyle HC emisyonlarının arttığı görülmektedir. HC emisyonlarının artması yakıtın yanma verimiyle doğrudan ilişkilidir. Daha önce yapılan bir çalışmada dizel-atık motor yağı karışımının HC emisyonlarının arttığı belirtilmiştir. Çalışmada HC emisyonlarındaki artışın, atık motor yağı ilavesiyle yanma süresinin uzamasından kaynaklandığı rapor edilmiştir [20]. Bunun yanı sıra yapılan benzer bir çalışmada atık trafo yağı ilave edilen yakıt karışımlarında dizel yakıtına göre HC emisyonlarının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise dizel/atık trafo yağı karışımlarının yüksek viskozite, yüksek yoğunluk ve fakir yakıt karışım oluşumuna neden olmasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir [6]. Yine Şekil 5’te verilen HC emisyonu sonuçlarında atık motor yağı/dizel yakıt karışımına farklı alkol türlerinin ilave edilmesiyle, atık motor yağı ilave edilen yakıt karışımına göre HC emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Alkol ilave edilmesiyle elde edilen sonuçlarda, en yüksek HC emisyonunun etanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilirken en düşük HC emisyonlarının bütanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilmiştir. Elde edilen HC emisyon sonuçları beklendiği gibi alkol türlerine ve yakıt karışımı içerisindeki oranına bağlı olarak azalmaktadır. Yakıt karışımına ilave edilen alkol türlerinin gizli buharlaşma ısısı yanma verimini doğrudan etkilemektedir. Tablo 2’de verilen yakıt özellikleri bu durumu desteklemektedir. En yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olan



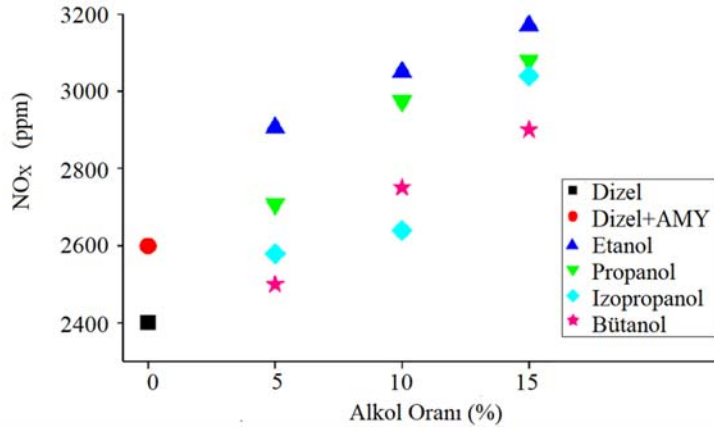
Şekil 4. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanılmasının CO₂ emisyonlarına etkisi (The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on CO₂ emissions)

etanolün HC emisyonları yüksek olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada dizel-biyodizel yakıt karışımına etanol ilave edilmesiyle HC emisyonlarının arttığı belirtilmektedir [23]. Benzer şekilde bütanol ilave edilen yakıt karışımlarında ise HC emisyonlarının düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar iki şekilde açıklanabilir. Birincisi ilave edilen alkolün gizli buharlaşma ısı, ikincisi ise ilave edilen alkolün yoğunluğunun dan kaynaklanabilir. İlave edilen alkol türünün gizli buharlaşma ısısının yüksek olması, hazırlanan yakıt karışımının buharlaşma ısısının yükseltecektir. Buharlaşma ısı yüksek olması tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına neden olur. Bu nedenle yanma periyodu tamamlanmadan egzoz zamanının başlaması HC emisyonlarını artırmaktadır [24]. Bununla birlikte kullanılan yakıt karışımının yoğunluğunun yüksek olması enjeksiyon zamanında atomizasyonun kötüleşmesinden ve daha yavaş buharlaşmaya neden olmasından dolayı difüzyon yanmasını artırır. Difüzyon yanma durumunda yanmış gazlardan basınç yayılması nedeniyle yakıtın hava ile yanlış karışımına (kısmi zengin yakıt hava karışımı) ve yanmanın tamamlanamamasına neden olur. Yanmanın tamamlanamaması HC emisyonlarının artırmaktadır [25]. Bütanol ilave edilen yakıt karışımlarında HC emisyonlarının azalması, bütanolün gizli buharlaşma ısısının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yılmaz ve Virgil [26] dizel biyodizel yakıt karışımına etanol, metanol ve bütanol alkolü ilave ettikleri çalışmalarında, bütanol ilave ettikleri yakıt karışımında, etanol ve metanol ilave edilen yakıt karışımlarına göre HC emisyonlarının azaldığını rapor etmişlerdir. Bunun nedeninin ise, kullanılan diğer alkol türlerine göre bütanolün düşük gizli buharlaşma ısısından

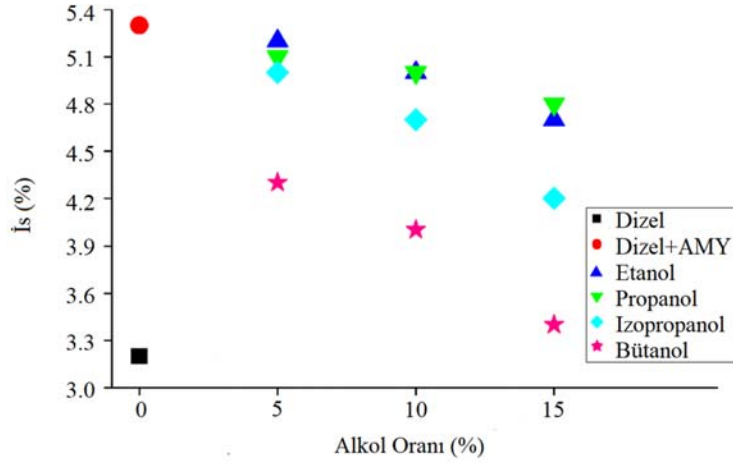
kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının NO_x emisyonlarına etkisi Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da verilen sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışımları kullanılmasının NO_x emisyonlarına etkisi incelendiğinde, dizel yakıtına atık motor yağı ilave edilmesiyle NO_x emisyonunun arttığı görülmektedir. Atık motor yağı ilave edilen dizel yakıtında NO_x emisyonlarının artması, püskürtme kalitesinin bozulmasıyla yanma odasında bölgesel ani yanmalarla yükselen yanma sonu sıcaklığı ile açıklanabilir. Ayrıca düşük setan sayısı ile tutuşma gecikmesinin artması yanma sonu basıncının ve sıcaklığının artmasına neden olmaktadır [27]. Artan yanma sonu sıcaklığı ve basıncı NO_x emisyonlarındaki artışın temel nedenidir. İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyonu silindir içi sıcaklık, basınç ve yakıt hava oranı ile ilişkilidir [2]. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir [6, 8]. Yine grafik incelendiğinde, dizel-atık motor yağı karışımına farklı alkol ilavesiyle NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. En yüksek NO_x emisyonun, %15 etanol ilave edilen yakıt karışımında olduğu görülmektedir. Alkollerin kimyasal bileşimindeki oksijen içeriği silindir içerisinde yanma verimini artırmakta ve artan sıcaklık NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Atamanlı [28] yaptığı bir çalışmada, dizel biyodizel yakıt karışımına yüksel karbonlu alkol ilavesi ile tüm motor yüklerinde NO_x emisyonunu artırdığını belirtmiştir. Bunun nedeninin ise, biyodizel ve alkollerin kimyasal yapılarında bulunan yüksek oksijen içeriği olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, yapılan başka çalışmalarda, alkollerin sahip olduğu setan sayısının da etkili olduğu (düşük olması)



Şekil 5. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanılmasının HC emisyonlarına etkisi (The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on HC emissions)



Şekil 6. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanılmasının NO_x emisyonlarına etkisi (The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on NO_x emissions)



Şekil 7. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışım kullanılımasının İS emisyonlarına etkisi (The effect of using different fuels and blends in a generator engine operating under constant load on soot emissions)

belirlenmektedir [27, 29]. Sabit yük altında çalışan bir jeneratör motoruna farklı yakıt ve karışımları kullanılımasının İS emisyonlarına etkisi Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de verilen sabit yük altında çalışan bir jeneratör motorunda farklı yakıt ve karışımları kullanılımasının İS emisyonlarına etkisi incelendiğinde, dizel yakıtı içerisine atık motor yağı ilave edilmesiyle İS emisyonunun arttığı görülmektedir. Dizel yakıtına atık motor yağı ilave edilmesiyle, yakıt atomizasyonunun kötüleşmesi silindir içerisinde yanma verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Kötüleştiren yakıt atomizasyonu bölgesel olarak zengin karışım oluşmasına neden olmaktadır. Oluşturan zengin karışım bölgeleri, yanma sonucunda oksijen yetersizliğinden dolayı İS emisyonunun artırmaktadır [13]. Geo vd. [20] tarafından yapılan benzer bir çalışmada, atık motor yağından üretilen dizel benzeri yakıtın İS emisyonlarında artışa neden olduğunu, bunun nedeninin ise tamamen ya da kısmen reaksiyona girmemiş hidrokarbonlardan kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Dizel atık motor yağı karışımına farklı oranlarda farklı alkol türlerinin ilave edilmesiyle İS emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. En düşük İS emisyonunun bütanol ilave edilen yakıt karışımında olduğu görülürken, en yüksek İS emisyonunun izo-propanol ilave edilen yakıt karışımında olduğu görülmektedir. Ayrıca yakıt karışımı içerisinde alkol oranının artması İS emisyonunun azalmasına neden olmaktadır. Alkol oranının artmasıyla İS emisyonunun azalması alkollerin kimyasal bileşiminde bulunan oksijen içeriği ile açıklanabilir. Silindir içerisinde oksijen açısından zengin bölgelerde kısmen ya da tamamen reaksiyona giremeyen hidrokarbonların reaksiyonunu tamamlamasını sağlamaktadır. Bu durum İS emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Literatürde yapılan birçok çalışmada alkol ilave edilen yakıt karışımlarında İS emisyonunun azaldığı, bunun nedeninin ise alkollerin zengin oksijen içeriğinden kaynaklandığı belirtilmektedir [18, 27, 28, 30]. İS emisyonu sonuçlarında beklenenin tersinde sonuçların olduğu görülmektedir. Genel olarak oksijen içeriği yüksek olan yakıt karışımlarında İS emisyonunun azalması beklenirken, elde edilen sonuçların bu genellemeye uymadığı görülmektedir. Tablo 2’de verilen yakıt özelliklerinde en yüksek oksijen içeriği etanol alkolünde iken en düşük İS emisyonu bütanol ilave edilen yakıt karışımında elde edilmiştir. Kullanılan yakıt ve karışımların oksijen içeriği ile birlikte yoğunluklarının da önemli olduğu söylenebilir. Kullanılan yakıt karışımının yoğunluğunun düşük olması daha ince atomizasyon nedeniyle silindir cidarlarında alev sönmülmesine ve İS emisyonlarının artmasına neden olduğu düşünülmektedir [1].

4. Sonuçlar (Conclusions)

Sabit yük altında çalışan bir dizel jeneratörde ilave yakıt olarak sabit miktarda atık motor yağı ve farklı miktarlarda, farklı alkol türleri ilave

edilmesinin egzoz emisyonları üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- İlave yakıt olarak atık motor yağı ilave edilen yakıt karışımı (80 D+20 AMY) ile ÖYT tüketiminde yaklaşık %2,032 artış olduğu görülmüştür. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında en yüksek ÖYT’nin elde edildiği %15 etanol ilavesi ile yaklaşık %36 artış, en düşük ÖYT’nin elde edildiği %15 bütanol ilavesi ile yaklaşık %18 oranında bir artış olduğu görülmüştür.
- Dizel yakıtı içerisine atık motor yağı ilave edilmesiyle CO emisyonlarının belirgin bir şekilde arttığı (yaklaşık %166) görülmüştür. AMY ilave edilen yakıt karışımına alkol ilave edilmesiyle CO emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında alkol ilave edilmeyen yakıt karışımına göre (80 D+ 20 AMY) %15 etanol alkolü ilave edilmesiyle yaklaşık %25, bütanol alkolü ilave edilmesiyle (%15) yaklaşık %58 oranında bir azalmanın olduğu görülmüştür.
- CO₂ emisyonu sonuçlarında dizel yakıtına AMY ilave edilmesiyle yaklaşık olarak %9,82 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. AMY ilave edilen yakıt karışımına alkol ilave edilmesiyle CO₂ emisyonlarının arttığı görülmüştür. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında alkol ilave edilmeyen yakıt karışımına göre (80 D+ 20 AMY), %15 etanol alkolü ilave edilmesiyle yaklaşık %81, bütanol (%15) ilave edilmesiyle yaklaşık %48 oranında bir artış olduğu görülmüştür.
- HC emisyon sonuçlarında dizel yakıtına AMY ilave edilmesiyle HC emisyonlarının yaklaşık olarak %214 oranında bir artış olduğu görülmüştür. AMY ilave edilen yakıt karışımına alkol ilave edilmesiyle HC emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında alkol ilave edilmeyen yakıt karışımına göre (80 D+ 20 AMY), %15 etanol alkolü ilave edilmesiyle yaklaşık %22, Bütanol (%15) ilave edilmesiyle yaklaşık %63 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.
- NO_x emisyonu sonucunda dizel yakıtına AMY ilave edilmesiyle NO_x emisyonlarının yaklaşık olarak %8,3 oranında bir artış olduğu görülmüştür. AMY ilave edilen yakıt karışımına alkol ilave edilmesiyle NO_x emisyonlarının arttığı görülmüştür. Alkol ilave edilen yakıt karışımlarında alkol ilave edilmeyen yakıt karışımına göre (80 D+ 20 AMY), %15 etanol alkolü ilave edilmesiyle yaklaşık %22, bütanol (%15) ilave edilmesiyle yaklaşık %10,7 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir.
- İS emisyonu sonucunda dizel yakıtına AMY ilave edilmesiyle İS emisyonlarının yaklaşık olarak %65,62 oranında bir artış olduğu görülmüştür. AMY ilave edilen yakıt karışımına alkol ilave edilmesiyle İS emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Alkol ilave

edilen yakıt karışımlarında alkol ilave edilmeyen yakıt karışımına göre (80 D+ 20 AMY), %15 propanol ilave edilmesiyle yaklaşık olarak %9,43, %15 etanol alkolü ilave edilmesiyle yaklaşık %11,32, bütanol (%15) ilave edilmesiyle yaklaşık %33,9 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar (References)

1. Çelik B.M., Şimşek, D., The determination of optimum injection pressure in an engine fueled with soybean biodiesel/diesel blend, *Thermal science*, 18 (1), 229-238, 2014.
2. Şimşek D., Çolak N.Y., Biyodizel/Propanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (1), 166-174, 2019.
3. Tuik. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, Erişim tarihi: 29 Eylül 2020.
4. Petder, Petrol Sanayi Derneği, Atık Motor Yağları Yönetim Projesi, 2019 yılı Faaliyet Raporu, <http://www.petder.org.tr/Uploads/Document/3f425bf0-3488-47bf-9739-ccc66ac54be2.pdf?v=637302445346121465>, Erişim tarihi: 25.09.2020.
5. T.C. Resmi Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191221-1.htm>, Erişim tarihi: 25.09.2020.
6. Behera P., Murugan S., Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. *Fuel*, 104, 147-154, 2013.
7. Yadav S.P.R., Saravanan C.G., Kannan M., Influence of injection timing on DI diesel engine characteristics fueled with waste transformer oil. *Alexandria Engineering Journal*, 54 (4), 881-888, 2015.
8. Arpa O., Yumrutaş R., Argunhan Z., Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. *Fuel processing technology*, 91 (10), 1241-1249, 2010.
9. Merck. <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/96566?lang=en®ion=TR>, Accessed on 15 January 2020.
10. Opet. <https://www.opet.com.tr/files/PDF/Urun/Ultra-Force-Motorin-Urun-teknik-ozellikleri.pdf>, Accessed on 5 February 2020.
11. Şimşek D., Oral F., Çolak N.Y., The effect on engine performance and emissions of gasoline-propanol-hexane fuel blends on single cylinder spark-ignition engines. *Journal of Thermal Science and Technology*, 39 (1):81-89, 2019.
12. Gabiña G., Martin L., Basurko O.C., Clemente M., Aldekoa S., Uriondo Z., Waste oil-based alternative fuels for marine diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 153, 28-36, 2016.
13. Yeşilyurt M.K., Arslan M., Eryılmaz T., Experimental investigation of the effects of ethanol addition into biodiesel-diesel fuel blends on the performance, combustion and emission characterist *Journal of Thermal Science and Technology*, 38 (2),129-150, 2018.
14. Krishna S.M., Salam P.A., Tongroon M., Chollacoop N. Performance and emission assessment of optimally blended biodiesel-diesel-ethanol in diesel engine generator. *Applied Thermal Engineering*, 155, 525-533, 2019.
15. Park S.H., Cha J., Lee C.S., Impact of biodiesel in bioethanol blended diesel on the engine performance and emissions characteristics in compression ignition engine. *Applied Energy*, 99, 334-343, 2012.
16. Fang Q., Fang J., Zhuang J., Huang Z., Effects of ethanol diesel biodiesel blends on combustion and emissions in premixed low temperature combustion. *Applied Thermal Engineering*, 54, 541-548, 2013.
17. Çelik M., Solmaz H., Yücesu H.S., Examination of the effects of n-heptan addition to cotton methyl ester on the engine performance and combustion characteristics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 361-369, 2015.
18. Çelebi Y., Aydın H., Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385-393, 2018.
19. Campos-Fernández, J., Arnal J.M., Gómez J., Dorado M.P., A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine. *Applied energy*, 95, 267-275, 2012.
20. Geo V.E., Sonthalia A., Aloui, F., Josephin, J.F., Study of engine performance, emission and combustion characteristics fueled with diesel-like fuel produced from waste engine oil and waste plastics. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12 (4), 8, 2018.
21. Keskin A., The effect of cottonseed oil methyl ester-eurodiesel fuel blends on the combustion, performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 915-927, 2019.
22. Patel, N., Shadangı, K. P., Characterization of waste engine oil (WEO) pyrolytic oil and diesel blended oil: Fuel properties and compositional analysis. *Materials Today: Proceedings*, 33, 4933-4936, 2020.
23. Aydın F., Ögüt H., Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103, 688-694, 2017.
24. Santhoshkumar A., Ramanathan A., Recycling of waste engine oil through pyrolysis process for the production of diesel like fuel and its uses in diesel engine. *Energy*, 117240, 2020.
25. Sathiyamoorthi R., Sankaranarayanan G., Effect of antioxidant additives on the performance and emission characteristics of a DIC I engine using neat lemongrass oil–diesel blend. *Fuel*, 174, 89-96, 2016.
26. Yılmaz N., Vigil F.M., Potential use of a blend of diesel, biodiesel, alcohols and vegetable oil in compression ignition engines. *Fuel*, 124, 168-172, 2014.
27. Emiroğlu A.O., Şen M., Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine. *Fuel*, 212, 34-40, 2018.
28. Atmanlı A., Comparative analyses of diesel–waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine. *Fuel*, 176, 209-215, 2016.
29. Sayın C., Çanakcı M., Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine. *Energy conversion and management*, 50 (1), 203-213, 2009.
30. Doğan O., The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 90 (7), 2467-2472, 2011.

