



Investigation of engine performance and emission characteristics of organic-based manganese addition into waste fusel oil-diesel mixture

Süleyman Üstün*^{ORCID}

Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Automotive Programme Akhisar Vocational High School, Celal Bayar University, Manisa, 45200, Turkey

Highlights:

- Manganese abiotic compound was synthesized,
- It can be used by adding 10% waste fusel oil and 12ppm OrbMn directly to the engine.
- 12ppmF10DF90 fuel reduces harmful NO_x, CO₂ emission gases and lowers exhaust gas temperatures

Keywords:

- Waste fusel oil
- Synthetic manganese additive
- Biodiesel
- Emission control
- Diesel engine performance

Graphical/Tabular Abstract

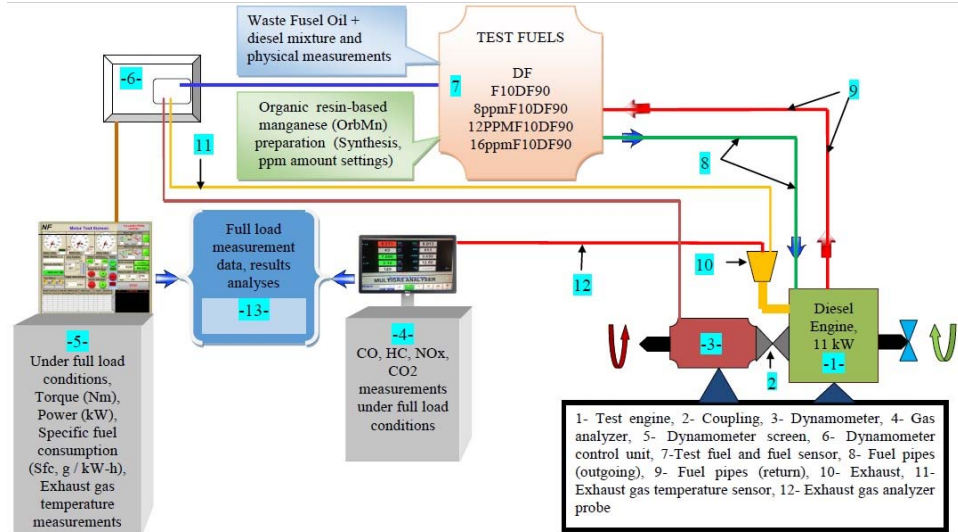


Figure A. Engine dynamometer measurement system

Article Info:

Research Article
Received: 16.11.2020
Accepted: 14.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.826801

Correspondence:

Author: Süleyman Üstün
e-mail:
suleyman.ustun@cbu.edu.tr
phone: +90 236 435 9531

Purpose: The aim of this study is to reveal the effects of organic resin-based manganese addition on engine performance and emissions in waste fusel oil and diesel mixtures.

Theory and Methods:

In this study, fusel oil waste obtained at Turkey Eskisehir Sugar Factory by volume to 10% by volume was produced by mixing into pure diesel fuel F10DF90. 8ppmF10DF90, 12ppmF10DF90 and 16ppmF10DF90 test fuels were prepared by adding 8ppm, 12ppm and 16ppm organic resin based manganese into the obtained F10DF90 fuel. All test fuels were tested in a single-cylinder diesel engine and their performance values (Engine Torque, engine power, unit fuel consumption, exhaust gas temperature) and emission values (CO, HC, NO_x, CO₂) were measured and compared with DF.

Results:

It has been observed that there is the least torque and power drop in 12ppm fuel. It has been observed that the 12ppm fuel specific fuel consumption is significantly reduced compared to other test fuels at maximum torque speed. The fuel with 12ppm produced lower exhaust gas temperature compared to other fuels. The 12 ppm fuel produced less CO and HC than the F10DF90, 8ppmF10DF90 and 16ppmF10DF90 fuels. As the organic resin based manganese addition amount increased, the amount of CO and HC increased. The 12ppmF10DF90 test fuel produced lower NO_x and CO₂ than other fuels.

Conclusion:

Organic resin-based manganese addition had a positive effect on NO_x and CO₂ reduction. The addition of organic resin-based manganese reduced exhaust gas temperatures.



Atık fuzel yağı-motorin karışımı içerisine organik esaslı mangan ilavesinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerinin araştırılması

Süleyman Üstün*^{ORCID}

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Akhisar Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Otomotiv Programı, 45200 Manisa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Mangan abiyatik bileşiği sentezlendi
- Motorine doğrudan %10 atık fuzel yağı ve 12ppm OrbmN eklenerek kullanılabilir
- 12ppmF10DF90 yakıtı zararlı NO_x, CO₂ emisyon gazlarını azaltır ve egzoz gazı sıcaklıklarını düşürür

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 16.11.2020
Kabul: 14.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.826801

Anahtar Kelimeler:

Atık fuzel yağı,
mangan katkı maddesi,
emisyon kontrol,
dizel motor performans

ÖZ

Bu çalışmada, hacimsel olarak %10 atık fuzel yağı (F10) ve %90 dizel yakıtı motorinden (DF) oluşan karışım (F10DF90) içerisine 8ppm, 12ppm ve 16ppm organik reçine esaslı mangan (OrbMn) ilavesi yapılmıştır. Girdi parametrelerinin (Hacimsel olarak karıştırılan %10 fuzel yağı ve %90 DF yakıtı motorin karışımı içerisine 8ppm, 12ppm ve 16ppm OrbMn ilavesi, motor devri (d/dk), fren torku (Nm)), çıktı parametrelerine (Tork, güç, özgül yakıt sarfıyatı, egzoz sıcaklık ve egzoz emisyon verileri olarak CO, HC, NO_x ve CO₂) olan etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Araştırma sonuçları verileri DF verileri ile karşılaştırılmıştır. 12ppm mangan ilaveli test yakıtının, F10DF90 test yakıtı, 8ppm ve 16ppm mangan ilaveli test yakıtlarına göre olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. 12ppm mangan ilavesinde, motor tork ve güçte motorine yakın değerler verdiği, egzoz gaz sıcaklığını düşürdüğü, ortalama olarak CO₂ değerlerinde %13,17, NO_x değerlerinde ise %17,02 azalma sağladığı tespit edilmiştir.

Investigation of engine performance and emission characteristics of organic-based manganese addition into waste fusel oil-diesel mixture

HIGHLIGHTS

- Manganese abiotic compound was synthesized
- It can be used by adding 10% waste fusel oil and 12ppm OrbmN directly to the engine
- 12ppmF10DF90 fuel reduces harmful NO_x, CO₂ emission gases and lowers exhaust gas temperatures

Article Info

Research Article
Received: 16.11.2020
Accepted: 14.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.826801

Keywords:

Waste fusel oil,
manganese additive,
emission control,
diesel engine performance

ABSTRACT

In this study, 8ppm, 12ppm and 16ppm organic resin-based manganese (OrbMn) was added into the mixture (F10DF90) consisting of 10% waste fusel oil and 90% diesel fuel engine (DF) by volume. Input parameters (adding 8ppm, 12ppm and 16ppm OrbMn into the volumetric blended 10% fusel oil and 90% DF fuel diesel mixture, motor speed (d/dk), brake torque (Nm)), output parameters (Torque, power, specific fuel consumption, The effects of CO, HC, NO_x and CO₂) as exhaust temperature and exhaust emission data have been extensively studied. Research results data have been compared with DF data. It has been observed that 12ppm manganese added test fuel gave positive results compared to F10DF90 test fuel, 8ppm and 16ppm manganese added test fuels. After the addition of 12 ppm manganese, it was found that the torque and power values of the engine are close to those of diesel fuel and decrease in the exhaust gas temperature. CO₂ and NO_x emissions decreased by 13.17% and 17.02% on average, respectively.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kişi başına enerji tüketimi, ülkelerin gelişmişliğinin bir ölçüsüdür. Diğer taraftan, fosil yakıtların sera gazları üzerindeki olumsuz etkisi ve özellikle petrol rezervlerindeki kısıtlama, araştırmaların temiz yenilenebilir biyoyakıtların sorunsuz katkılarla daha verimli yakılması üzerine odaklanması, bilim gündemini oluşturmaktadır [1, 2]. Bu amaçla, benzine %10'a kadar biyoyakıt olarak etanolün kullanımı ticari olarak yaygınlaşmasına rağmen, yasaklanan kurşun tetraetil yerine herhangi bir oktan artırıcı çevre dostu katkı maddesi önerilememektedir. Dizel yakıtlarda setan düzenleyici olarak metalik katkı maddesinin içten yanmalı motorlarda vuruntunun önlenmesi ticarileştirilememektedir. Dizelin ilk ateşleme, filtre tıkama, akma noktası, polimerleşme, viskozite, kükürt, korozyon, dizel indeksi, emisyon gibi problemlerin çözümünde mangan esaslı katkı maddesinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Diğer taraftan, fosil yakıtlar içerisinde farklı oranlarda bitkisel kökenli alternatif yakıt karışımları, nano materyal içerikli katkı maddeleri ilaveleri, araç üzerinde mevcut bulunan egzoz emisyon kontrol sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar motor performanslarının iyileştirilmesi, egzoz emisyonlarının azaltılarak toksik salınımlarının önlenmesi noktasında yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple çeşitli metal katalizörler, katalitik kraking oluşturmak üzere yanma düzenleyicisi ve vuruntu önleyici olarak kullanılmaktadır [3, 4]. Literatürde yapılan diğer çalışmalar aşağıda sunulmaktadır. Gerek yakıt problemlerinin azaltılması gerekse fosil yakıt tüketimi yerine yenilenebilir biyoyakıtların kullanılması amacıyla alkollerin katıldığı yaygın olarak rapor edilmektedir. Bu amaçla, ticari olarak benzine, araştırma ölçekli olarak da dizel alkol katılmaktadır. Karışım oranlarına bağlı olarak benzin içerisinde %5, %10, %20, %30 ve %50 oranında fuzel yağı ilave edilerek tek silindirli bir otto çevriminde farklı ateşleme zamanlarında test edilerek motor performans ve emisyon değerleri katkısız benzin yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ateşleme zamanlamaları ile birlikte motor torkunun arttığı, fren özgül yakıt tüketiminin (bsfc) azaldığı, F0 ve F10 karışımları için hidrokarbon emisyonları ortalama %22 ve karbon monoksit (CO) emisyonları %9,2 oranında arttığı, azotoksit (NO_x) emisyonları ateşleme avansına bağlı olarak %1,1 ile %30 oranında azaldığı tespit edilmiştir [5]. Fuzel yağı içerisinde su ihtiva etmektedir. Suyun yakıtın alt ısı değerini düşürmesi sonucu yanma verimini düşürdüğü, korozyonu artırdığı bir gerçektir. Benzin içerisinde hacimce %10 fuzel yağı ve %90 benzin karışımı (FBEW10) yakıt ve %20 fuzel yağı ve %80 benzin karışımı (FBEW20) ile yakıt hazırlanmıştır. Fuzel yağındaki su, döner buharlaştırıcı ile uzaklaştırılıp, su içeriği %13,5'ten %6,5'e düşürülmüştür. Kalorifik değeri ve karbon içeriği sırasıyla %13 ve %7,9 arttığı, oksijen içeriğinin %14 azaldığı, tüm fuzel yağı karışımlarının fren gücünün benzine göre arttığı, fren özgül yakıt tüketiminin suyu alınmadan önceki fuzel yağı benzin karışımlarına göre iyileştiği tespit edilmiştir [6]. Fuzel yağı benzin içerisinde farklı oranlarda karıştırılarak yapılan motor performans ve emisyon testleri de çalışmalarda mevcuttur

[7-10]. Hidrokarbon zincirindeki uyumluluk nedeniyle düşük karbon sayılı alkol-benzin karışımında görülen avantajlı durum, dizel karışımında aynı seviyede görülmemesine yol açmaktadır. Bu sebeple daha yüksek karbon zincirli alkollerin dizel yakıtlara katılması daha çok tercih edilmektedir. Dizel içerisine %20 oranında fuzel yağı eklenerek, %0, %25, %50 ve %75 motor yüklerinde performans ve emisyon değerleri tespit edilmiş, F20 karışımında dizel yakıtına oranla su içeriğinin yüksek olması, düşük ısı değer ve setan sayısı sebebiyle tork ve güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. CO ve CO₂ emisyonlarında artma, NO_x emisyonlarında F20 yakıt karışımı içerisindeki su barındırması sebebi ile %13,5 azalma meydana geldiği, egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtına oranla fuzel yağı karışımında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Aynı karışım oranı %50 ve %75 motor yüklerinde test edilmiş ve 300 d/dk aralıklarla 1200-2400 d/dk de yapılan ölçümlerde özgül yakıt tüketimi F20 yakıtında %75 motor yükünde %8 dizel yakıtına göre arttığı, NO_x her iki yükte en fazla 1500 d/dk de %28 azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca alkol ilavesi, azot oksit (NO_x) emisyonlarında hafif bir artışa neden olurken, duman ve karbon monoksit (CO) emisyonlarında bir azalmaya neden olduğu belirtilmiştir [11, 12]. Dizel motor performansının ve dizel-biyodizel-fuzel yağı karışımlarıyla yakıtlanan emisyonların tepki yüzeyi yöntemi kullanılarak çok amaçlı optimizasyonunda D90F5 B5 (%5 fuzel yağı,%5 biyodizel ve %90 petro-dizel) karışımında %46 yükte 2026 motor devrinde optimal nokta elde edildiği, fuzel yağı kullanımının NO_x emisyonlarını %20'ye kadar düşürdüğü, HC ve CO emisyonlarını sırasıyla %32'ye ve %22'ye yükseldiği, harmanlanmış yakıtlarda fuzel yağı içeriğinin (%10'a kadar) kullanılması motor gücünü %5,6 artırdığı tespit edilmiştir [13]. Dizel yakıt içerisine volumetrik olarak %5, %10, %15 ve %20 fuzel yağı eklenerek elde edilen karışım tek silindirli bir dizel motorunda performans ve emisyonlar açısından test edilmiştir. Test sonuçlarına göre fren özgül yakıt tüketimi karışım oranına bağlı olarak arttığı (DF5-%10,1, DF10 %13,5, DF15 %18,4, DF20 %23,7), egzoz gaz sıcaklığının azaldığı (DF5 274°C, DF10 257°C, DF15 244°C and DF20 237°C), karbonmonoksit ve NO_x miktarlarının (DF5 %7,5, DF10 %11,8, DF15 %22,1 ve DF20 %26,5) azaldığı tespit edilmiştir [14]. Dizel yakıt içerisine %5, %10 ve %15 oranında fuzel yağı ilave edilerek oluşturulan test yakıtları tek silindirli dizel bir motorda denenerek motor performans ve egzoz emisyon değerleri dizel yakıt ile karşılaştırılmıştır. Testler 2000 d/dk de sabit devir ve değişen yük (2,5, 5, 7,5, 10 Nm) şartlarında elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtına göre karışım oranına bağlı fuzel yağı kullanımında azaldığı, karışım oranına bağlı olarak CO'da %52 ve NO_x miktarında %20 azalma, HC'de %40'a varan artış tespit edilmiştir. Karışımındaki fuzel yağı oranı arttıkça dizel yakıtı motorine göre CO emisyonlarının arttığı, duman ve NO_x emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [15, 16]. Benzer bir çalışmada, dizel yakıtı içerisine %20 hurma yağı biyodizel karışımı ile oluşturulan test yakıtı içerisine %5 metanol eklenip hazırlanan test yakıtları hazırlanarak çok silindirli bir dizel motorunda

denenerek motor performans ve emisyon sonuçları ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada dizel yakıtına alkol eklemenin viskozite ve yoğunluk değerlerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Motor gücü ve tork dizel yakıtına göre karışımli yakıtlarda düşük çıkmıştır. B20 ve B20 M5 karışımli yakıtlarda fren özgül yakıt tüketiminin %4-6 arasında arttığı, NO_x emisyonlarının %13 oranında arttığı, CO ve CO₂ emisyonunun %17-18'e kadar azaldığı tespit edilmiştir. Fuzel yağı karışımli biyodizellerin çok daha düşük viskozite ve daha iyi yanma özellikleri sergilediği tespit edilmiştir. Metil ester üretim süreçlerinde fuzel yağı kullanılabilir. Solventsiz bir sistemde fuzel alkol ve yağ asidi esterlerinin enzimatik senteziyle yeni biyodizel üretim süreci, düşük sıcaklıkta biyodizel performansının iyileştirilmesinde önemli bir etkiye sahiptir [17-19]. Dizel yakıtı içerisinde %5, %10 ve %15 oranında metanol ilavesi yapılmış ve her bir yakıt karışımına faz ayrılması problemini çözmek için %1 dedecanol ilave edilerek hazırlanan test yakıtları, tek silindirli bir dizel motorda 1000 ile 1600 d/dk aralıklarda farklı sıkıştırma oranlarında denenmiştir. %10 metanol dizel karışımında motor gücünde %7'lik bir artış ve aynı oranda özgül yakıt tüketiminde bir azalma tespit edilmiştir [20]. Dizel yakıt motorin içerisinde çeşitli alkol karışımli eklenebilmektedir. %30 metanol ilavesinde ortalama %1,5 tork kaybı oluşmasına rağmen özgül yakıt sarfiyatının arttığı, CO, HC ve NO_x'in azaldığı tespit edilmiştir. Dizel yakıt içerisinde alkol ilaveli çeşitli araştırmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [21-24]. Dizel yakıt içerisinde bütanol ilavesi genellikle CO, HC ve NO_x'leri azalttığı tespit edilmiştir. Biyodizel karışım içerisinde izobütanol eklenmesi karışım oranına bağlı olarak dizel yakıtına göre viskoziteyi düşürdüğü, ısı verimi azalttığı, fren özgül yakıt tüketimini artırdığı görülmüştür [25, 26]. Dizel yakıt motorin içerisinde hacimce %10-30 arasında bütanol ve %10-25 arasında pentanol ilave edilmiş ve dört zamanlı üç silindirli dizel bir motorda denenmiştir. Yapılan çalışmada bütanol kullanımında dizel yakıtına oranla motor gücünde ve fren özgül yakıt tüketiminde azalma tespit edilmiştir. Doğrudan %30 bütanol veya %25 pentanol ek bir sisteme ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir [27]. Dizel yakıt içerisinde hacimsel olarak %10, %15, %20 ve %25 oranlarında propanol karıştırılarak oluşturulan test yakıtları tek silindirli bir dizel motorunda denenmiş, yapılan ölçüm sonuçlarında propanollü yakıt karışımının karışım oranlarına bağlı NO_x değerlerini %8, %10,5, %12, 9, %14,9 oranında azalttığı tespit edilmiştir [28]. Fuzel yağı, biyodizelin sentezinde bir alkol kaynağı olarak kullanılabilir. Fuzel yağı kullanılarak transesterifikasyon verimi yüksek metil ester dönüşümleri sağlamak mümkündür. Uzun zincirli alkollerde yüksek dönüşüm sağlanabilmektedir [29-32]. Dizel yakıt motorin içerisinde %15 etanol ilavesi yapılarak kullanımının uygun olduğu sonucunu birçok araştırmacı belirtmektedir. Budurumun NO_x, HC ve CO emisyonlarını azalttığı belirtilmektedir. %0, %5, %10, %15 ve %20 dizel yakıtı motorin ve fuzel yağı karışımli içerisinde 25, 50, 75, 100 ve 125 ppm konsantrasyondaki şeker kamışı nano-biochar partikülleri, ultrasonikasyon kullanılarak fuzel yağı-dizel karışımına eklenmiştir. Response surface method (RSM) ile optimal karışım ve çalışma noktaları belirlenerek, NO_x ve

UHC emisyonlarını sırasıyla ~%20,51 ve ~%14,6'ya düşürdüğü, CO emisyonlarını ~%33'e kadar artırdığı, SNB'lerin metal bazlı yakıt katkı maddeleri ikilisi için potansiyel olarak düşük maliyetli bir alternatif katkı maddesi olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtına ilave edilen alkol katkıları ve alkol dereceleri emisyon değerlerini farklı boyutları taşıdığı rapor edilmiştir [33-35]. Akaryakıtlara alkollü katkılarla buhar basıncı, viskozite, parlama noktası gibi fiziksel özelliklerine sınırlı etki sağlanabilse de, kriting ve yanma katalizörü konusunda ilave metalik katkı maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, nanometal oksit katkılı dizel yakıtı, doğal emişli tek silindirli dizel bir motorda test edilerek motor performans ve emisyonları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde mangan katkılı yakıtta CO emisyonu %37 oranında ve NO_x miktarının %4 azaldığı, fren termal verimi dizel yakıtına oranla %4 arttığı tespit edilmiştir [36]. Dizel yakıt içerisinde manyetik nanoakışkan (Fe₃O₄) eklenerek tek silindirli dizel bir motor üzerinde test edilerek motor performans ve emisyonlara olan etkileri araştırılmış, yapılan araştırmada %0,4 nanoakışkan eklenmesinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına yakın olarak tespit edilmiştir. NO_x katkı maddeleri oranına bağlı olarak %56 ve %67 oranlarında azalmalar tespit edilmiştir [37]. Atık avokado metil esteri %20 oranında dizel yakıt içerisinde karıştırılmış ve bu karışım içerisinde 30, 60 ve 90 ppm mangan katkılı alumina nanoparçacık eklenerek tam yükte motor performans ve emisyonlara olan etkileri incelenmiştir. 90ppm nanoparçacık eklenmesinde, frene özgül yakıt tüketiminde %12,1, karbon monoksitte %8,5, HC'de %23,2 azalma, azot oksitleri %6,5 artış tespit edilmiştir [38]. Motorin içerisinde organik bazlı Ca, Cu, Mg ve Mn bileşikleri dozlanarak en uygun karışım oranı ve performans değişimleri belirlenmiştir. OrbMn bileşiği donma noktasını en çok düşürdüğü, viskozite, parlama noktasını düşürdüğü, CO₂'yi artırdığı ve ara oksidasyon ürünlerini azalttığı tespit edilmiştir [39, 1]. %50 kanola yağı, %50 dizel yakıt içerisinde 1ppm, 6ppm ve 12ppm sentetik organik esaslı mangan bileşiği dozlanarak dizel motor ve egzoz emisyon durumları incelenmiştir. Yapılan çalışmada %0,5-%0,8-%0,17 oranlarında tork ve güç artışı sağlanmıştır. %0,1-%1,0-%1,6 oranlarında özgül yakıt tüketimleri azalmıştır. CO emisyonu %2,5-%6,9-%16,5 oranlarında azalmış, %2-%2,9-%3,9 NO_x ve %0,5-%0,15-%0,24 CO₂ miktarlarında artış meydana gelmiştir. Organik bazlı mangan yakıt katkı maddesinin yanma ve motor performansı üzerine etkilerinin araştırılmasında dizel yakıt içerisinde 4,8,12 ve 16 ppm organik bazlı mangan eklenmiş en iyi sonuç 12ppm mangan katkısında elde edilmiştir. 12ppm mangan ilavesinde motor gücü %12,48 artmış, özgül yakıt tüketimi %8,17 azaldığı tespit edilmiştir [40, 4]. Pamuk yağı metil esteri içerisinde 4, 8, 12 ve 16ppm organik bazlı mangan katkısı yapılmış en iyi sonuçlar 12ppm mangan katkısında elde edilmiştir. 12ppm organik bazlı mangan ilaveli karışımında 2200 d/dk'de 19,57 Nm en yüksek tork elde edilmiştir. Pamuk yağı metil esterine göre fren özgül yakıt tüketiminde %5,54 azalma, CO değerinde %5,15 ve HC değerinde %5,02 karışım oranına bağlı azalma, NO_x değerlerinde %22,22 artış meydana gelmiştir. Biyodizel içerisinde fuzel yağı kullanımı düşük sıcaklıklarda biyodizel

performansını artırdığı, soğuk havalarda filtre tıkanma sıcaklık derecelerini aşağıya çektiği tespit edilmiştir. Dizel yakıt içerisinde fuzel yağı karışım oranlarının yükseltilmesi fuzel yağının düşük ısı değeri sebebiyle CO, HC ve NO_x te artışa sebep olabilir[41, 42]. Tall oil reçineli asitler, metal bazlı yakıt katkı maddelerinin (yanma katalizörleri) üretimi için stoikiometrik olarak MgO ve MoO₂ ile reaksiyona sokulmuştur. Genel olarak, her iki metal bazlı katkı maddesi de katkı oranına bağlı olarak biyodizel yakıtın parlama noktasını, akma noktasını ve viskozitesini iyileştirmiştir. %10 tavuk yağı methyl esteri ve %90 motorin volumetrik olarak karıştırılmış ve içerisinde 12ppm Mn ilavesi yapılarak motor performans ve emisyon testleri sonucu farklı motor devirlerinde (1800 ve 3000 d/dk) test edilmiştir. Yapılan test sonuçlarında özgül yakıt tüketiminde %5,2, NO_x değerlerinde %5 artış, CO emisyonunda %13 azalış tespit edilmiştir [43-45, 2].

Atık fuzel yağı ve petrol bazlı karışımlara ek olarak karışım içerisinde ilave katkı maddeleri dozlanarak karışım iyileştirilmesi araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Literatür taramasında görüldüğü gibi fuzel yağı karışımli dizel yakıtı içerisinde organik reçine esaslı mangan ilavesi, katkı maddesi olarak ilk defa bu çalışmada kullanılmaktadır. Organik reçine esaslı mangan ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkileri açısından irdeleme ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmada, ilk defa şeker fabrikalarının atığı olan fuzel yağı, motorin ile karıştırılarak dizel motorda ekonomiye kazandırılabilmesi, motor performans ve emisyon özelliklerinin belirlenmesi ve söz konusu karışıma organik reçine bazlı mangan bileşiği dozlanarak yanma özelliklerinin geliştirilmesi ve zararlı egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Şeker fabrikalarının bir atığı olan alkol karışımını değerlendirmek üzere, hacimce dizel yakıtı motorin (DF) içerisinde %10 fuzel yağı ve %90 dizel yakıtı karıştırılarak F10DF90 kodlu alternatif yakıt elde edilmiştir. Bu yakıt karışımı içerisinde 8ppm, 12ppm ve 16ppm organik reçine bazlı sentetik mangan bileşiği dozlanarak 8ppmF10DF90, 12ppmF10DF90 ve 16ppmF10DF90 adlı ıslah edilmiş yakıtlar test edilmiştir. Geliştirilen alternatif yakıtlar, doğal emişli (atmosferik) tek silindirli bir dizel motorunda tam yük şartlarında (test başlangıç devri 3500 d/dk) 250 d/dk aralıklarda motor performansları (tork-güç-özgül yakıt tüketimi-egzoz gaz sıcaklığı) ölçülmüş, her 500 d/dk aralıklarda ise egzoz emisyonları ölçülerek elde edilen veriler anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Bu özgün çalışma ile OrbMn

katkı maddesinin atık fuzel yağı ve motorin karışımlarında motor performans ve emisyonlarına olan etkileri gösterilerek ekonomik kazanımlar ortaya konulmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Fuzel yağı, alkol üretimi sonrası arda kalan atık değersiz üründür. Bu çalışma için ihtiyaç duyulan fuzel yağı Eskişehir Şeker Fabrikasından temin edilmiştir. Şeker fabrikalarında şeker üretimi sonrası melas oluşmaktadır. Melas içerisinde etil alkol oranı yüksek olmakla birlikte çeşitli alkoller ihtiva etmektedir. Etil alkolü alınan melastan geriye atık olarak fuzel yağı kalmaktadır. Ortalama olarak 100 litre alkol atığında yaklaşık 0.4–0.7 litre fuzel yağı elde edilebilmektedir [32, 46]. Tablo 1’de fuzel yağının fiziksel ve kimyasal içerikleri verilmiştir.

Yukarıda kompozisyonu verilen fuzel yağı kalsiyum klorür kullanılarak su uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada Türkiye Eskişehir Şeker Fabrikasından temin edilen atık fuzel yağı hacimsel olarak saf motorin içerisinde hacimsel olarak %10 oranında karıştırılarak F10DF90 yakıtı elde edilmiştir.

Organik esaslı mangan katkı maddesi oluşumunda manganiz olarak %98 saflıkta MnO₂ kullanılmıştır. Organik yapı olarak çam reçinesini orijinli içerisindeki abietik asit spindle oil ortamında sülfirik asitkatalizör varlığında 180°C da bir geri soğutucu altında manyetik karıştırıcı stirrer ile katkı bileşiği maddesi sentezlenmiştir. Etanol ile çözeltisi hazırlanarak F10DF90 yakıtlarına dozlanmıştır. Elde edilen F10DF90 yakıt içerisinde 8ppm, 12ppm ve 16ppm OrbMn ilave edilerek 8ppmF10DF90, 12ppmF10DF90 ve 16ppmF10DF90 test yakıtları hazırlanmıştır. Tüm test yakıtları tek silindirli bir dizel motorda denenerak performans değerleri (Motor Torku, motor gücü, birim yakıt sarfiyatı, egzoz gaz sıcaklığı) ve emisyon değerleri (CO, HC, NO_x, CO₂) ölçülerek DF ile kıyaslanmıştır. Şekil 1’de deney düzeneği şematik resmi verilmiştir. Test yakıtları motor dinamometresine bağlı tek silindirli atmosferik bir dizel motorunda tam yük şartlarında denenerak veriler anlık olarak kaydedilmiştir.

Deneyler başlamadan önce motor yağı değiştirilmiş, hava filtresi temizlenmiş ve hava filtresi yağı değiştirilmiştir. Tüm deneyler motor sıcaklığı 250°C sıcaklığa gelinceye kadar çalıştırılmış ve bu sıcaklıktan sonra motor yüklemeye

Tablo 1. Fuzel yağının kimyasal bileşimi (Chemical composition of fusel oil) [5, 47].

Alkol	Kütlesel (%)	Kimyasal Bileşen	Moleküler yoğunluk (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³) ASTM D1007	Kaynama Noktası (°C) ASTM D1007	Donma noktası (°C) ASTM D1007
Etil alkol	1,1	C ₂ H ₅ OH	46,07	0,789	78,4	-114,3
Amil alkol	74,7	C ₅ H ₁₁ OH	88,148	0,810	131,1	-117,2
İzobutil alkol	11,3	C ₄ H ₉ OH	74,122	0,802	108	-108
Butil alkol	4,9	C ₄ H ₉ OH	74,122	0,809	117,73	-89,8
Propil alkol	3,8	C ₃ H ₇ OH	60,09	0,803	97,1	-126,5
Su	4,1	H ₂ O	18	1	100	0

olmak üzere toplam beş çeşit test yakıtı oluşturulmuştur. Her bir test yakıtının yoğunluk, viskozite, parlama, alevlenme ve donma noktaları ile ısı değeri deneyleri Tablo 5’de verilen ASTM standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Tablo 4. Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri
(Specifications for exhaust emission device)

Emisyon	Ölçüm aralığı	Ölçüm Hassasiyet
HC	0-10000	1 ppm
CO	0-%10	%0,001
CO Corr	0-%10	%0,001
CO ₂	0-%20	%0,001
O ₂	0-%25	%0,01
NO _x	0-5000	1 ppm
AFR	5-30	-
Lambda	0,5-2,00	0,001
Opasite (Pusululuk Derecesi)	%0-100	%0,1
Devir	0-9990 d/dk	10 d/dk
Motor yağ sıcaklığı	0-150°C	1°C

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Atık fuzel yağı %10 ve dizel yakıtı %90 hacimsel olarak karıştırılarak F10DF90 yakıtı elde edilmiştir. Hazırlanan yakıt karışımının ASTM standartlarına uygun olarak yapılan test sonuçları Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5’te de görüldüğü gibi, fuzel yağı ve mangan katkı maddesinin dizel yakıtın viskozite, parlama noktası, alevlenme noktası ve donma noktasını düşürdüğü, dolayısıyla yakıtın fiziksel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Alkolün yüksek buhar basıncı ve manganın yakıt üzerindeki katalitik etkisi hazırlanan yakıt karışımının ıslahını sağlamaktadır. Yakıtı ıslah etmek üzere metanol ve etanol esaslı katkılandırma dizelde çift ateşleme piki gösterdiğinden uygun değildir. Diğer taraftan dizele kerozen katılması bilinen bir gerçektir. Metanol, etanol ve kerozen yerine katılan fuzel yağındaki ana bileşenin beş karbonlu olan amil alkolün niteliği, dizele yaklaşmakta özellikle ilk ateşleme, soğukta filtre tıkama, akma noktası, viskozite, kurum, çığ gaz problemlerine çözüm getirmektedir. Burada

kerozen fosil yakıttır ve sera etkisi vardır. Halbuki fuzel yağı biyoyakıt olup çevre dostu yenilenebilir enerjidir. Rafinerilerdeki metal katalizörlerle gerçekleştirilen kriting prosesi örneği, sentetik organik bazlı mangan katkı maddesi ile zincir kırılması sağlanarak parlama noktası, akma noktası, viskozite ve emisyon değerlerinde iyileşmelerin görülmesinin yanı sıra, kükürt oksitlerin mangan sülfat olarak bağlanması ile asit yağmuru ve korozyon da azaltılabilmektedir. Söz konusu laboratuvar test sonuçlarındaki iyileştirmeler, ilk tutuşma, filtre tıkama noktası, vuruntu, çığ gaz ve partikül problemlerinin giderilmesine katkı sağlayacağı beklenmekte olup, benzer çalışma sonuçları desteklemektedir [3].

3.1. Performans Testleri (Performance Tests)

Motor performans testleri tam yük şartlarında test başlangıç devri 3500 d/dk ve 250 d/dk aralıklarda motor dinamometresi ile karşı yük uygulanarak yapılmıştır. Performans özelliklerini belirlemek üzere, test yakıtı içerisine 8ppm, 12ppm ve 16ppm OrbMn ilave edilerek elde edilen 8ppmF10DF90, 12ppmF10DF90 ve 16ppmF10DF90 test yakıtları dinamometreye bağlı tek silindirli doğal emişli dizel bir motorda tam yük koşullarında test edilerek anlık motor performans (motor torku, motor gücü, özgül yakıt sarfiyatı, egzoz gazı sıcaklık) ve emisyon (CO, HC, CO₂, NO_x) değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler dizel yakıtı ile kıyaslanmıştır.

3.1.1. Motor tork değişimleri (Engine torque changes)

Şekil 2’de test yakıtlarının motor tork değişimleri görülmektedir. Maksimum tork devrinde motor torku dizel yakıtında (DF) 38,28 Nm, F10DF90 yakıtında 33,98 Nm, 8ppm’lik yakıtta 35,99, 12ppm yakıtta 37,28 ve 16 ppm yakıtında ise 34,61 Nm olarak ölçülmüştür. Tüm motor devirlerinde ortalama olarak dizel yakıtına (DF) göre tork değerlerinde, F10DF90 yakıtında %12,78, 8ppm’lik yakıtta %6,35, 12ppm yakıtta %3,14, 16 ppm yakıtında ise %8,66 azalma tespit edilmiştir. 12ppm’li yakıtta en az tork düşüşü olduğu görülmüştür. Yakıtın kalorifik değer düşüklüğü, yakıt viskozite farklılıklarından bu düşüş yaşandığı önceki

Tablo 5. Test yakıtlarının fiziksel özellikleri (Physical properties of test fuels)

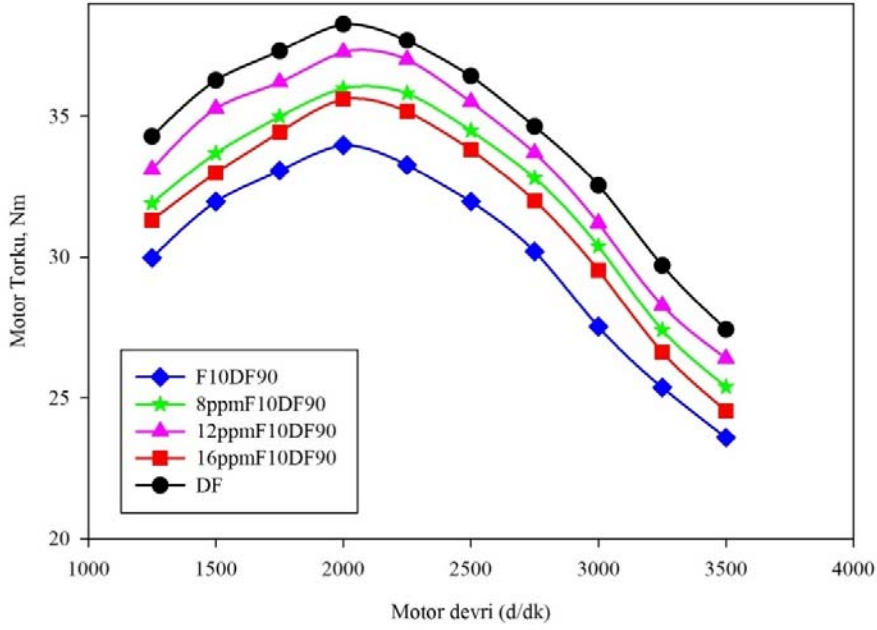
Özellikler	Dizel ASTM D975			DF	F10DF 90	8ppm F10DF 90	12ppm F10DF 90	16ppm F10DF 90	Doğal fuzele yağı
	Test Metot	Sınırlar							
Yoğunluk 15°C (g/cm ³)	ASTM D1298	-	0,822	0,838	0,835	0,835	0,836	0,828	
Viskozite, 40°C (mm ² /s)	ASTM D445	1,9-4,1	2,493	2,298	2,187	2,103	2,083	2,278	
Parlama noktası (°C)	ASTM D975	52 min.	85	69	66	62	56	48,5	
Akma noktası (°C)	ASTM D975	Bölgesel	-25,3	-42,74	-42,12	-41,37	-40,86	-92,3	
Isıl değer (kJ/kg)	ASTM D240-19		42187	36024	36398	36638	36936	31198	

çalışmalarda belirtilmiştir [1, 22]. Fuzel yağındaki yüksek oksijen içeriğinin etkisi, yanma odasındaki yüksek gizli buharlaşma ısısına dayanarak düşük silindir sıcaklığına neden olmuş ve bu da dizel yakıtı kıyasla daha az tork ve güç ile sonuçlanmıştır. Fuzel yağının dizel yakıtına göre düşük kalorifik değerinde olması tork azalmasına sebebiyet verir [16]. Motor test sonuçları, yakıt kalitesini ve yakıtın dizel motor için uygunluğunu belirleme açısından önemli bir göstergedir. Alternatif yakıt özelliklerinin viskozite, yoğunluk, ısıl değer değişmesi, verimsiz yakıt yanması

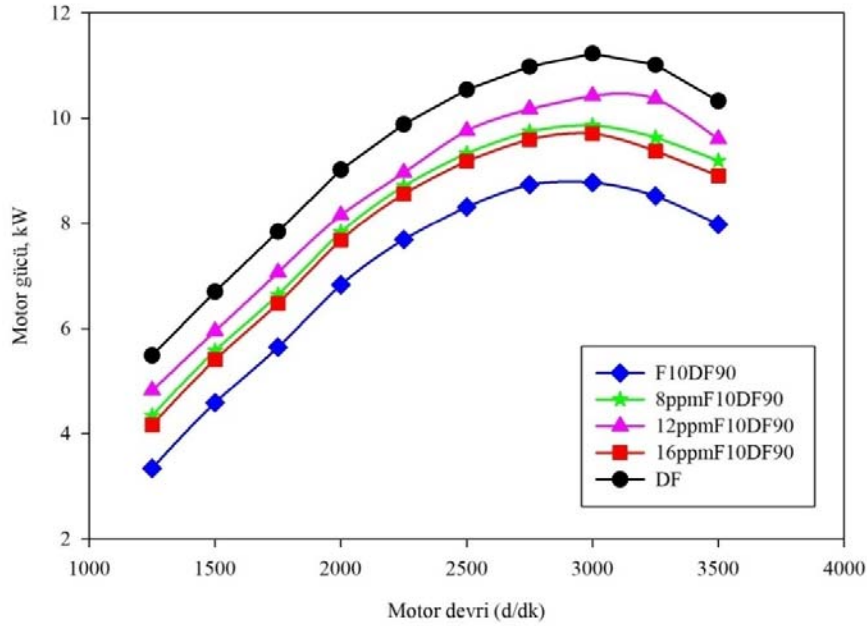
sebebiyle motor performansının düşmesine sebep olabilir [48, 49].

3.1.2. Motor güç değişimleri (Engine power changes)

Şekil 3'de test yakıtlarının güç değişimleri görülmektedir. Maksimum güç devrine kadar tüm test yakıtlarında motor gücü artmıştır. Maksimum güç devrinde motor gücü DF yakıtında 10,89 kW, F10DF90 yakıtında 8,78 kW, 8ppm'lik yakıtta 9,86 kW, 12ppm'lik yakıtta 10,42 kW ve 16 ppm'lik



Şekil 2. Test yakıtlarının tork değişimleri (Torque changes of test fuels)



Şekil 3. Test yakıtlarının güç değişimleri (Power changes of test fuels)

yakıtta ise 9,61 kW olarak ölçülmüştür. 12ppm'li yakıtta maksimum güç devrinde diğer test yakıtlarına göre en az güç düşüşü meydana gelmiştir. Mangan ilavesi tork ve güçte kısmen iyileştirme sağladığı görülmektedir. Tüm devirlerde DF yakıtına göre F10DF90 yakıtında %21,32, 8ppm'lik yakıtta %13,63, 12ppm'li yakıtta %9,51 ve 16 ppm'li yakıtta ise %15,66 güçte azalma tespit edilmiştir. Tork ve güç düşüklüğü, test yakıtları ısıl değerlerinin dizel yakıtı ısıl değerleri altında olmasından kaynaklanmaktadır. Yanma odasında ısı düşüklüğüne sebep olan gizli buharlaşma ısısı motor güç düşüklüğüne sebep olabilir [16, 21, 45].

3.1.3. Özgül yakıt tüketimi (Specific fuel consumption)

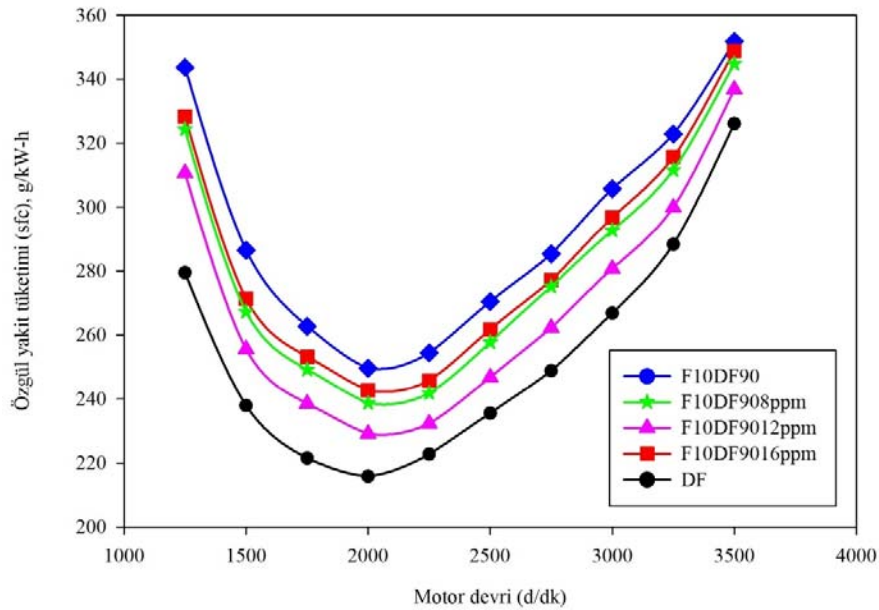
Şekil 4'te test yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri görülmektedir. Maksimum tork devrinde özgül yakıt tüketimi DF yakıtında 214,21 g/kW-h, F10DF90 yakıtında 249,66 g/kW-h, 8ppm'lik yakıtta 238,75 g/kW-h, 12ppm'li yakıtta 229,11 g/kW-h ve 16 ppm'li yakıtta ise 242,75 g/kW-h olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devrinde 12ppm'li yakıt özgül yakıt sarfiyatını diğer test yakıtlarına göre önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Tüm motor devirlerinde DF yakıtına göre özgül yakıt sarfiyatında ortalama olarak F10DF90 yakıtında %15,44, 8ppm'lik yakıtta %10,18, 12 ppm'li yakıtta %5,71, 16ppm'li yakıtta ise %11,70'lik bir artış tespit edilmiştir. 12ppm organik reçine esaslı mangan ilavesinin özgül yakıt tüketimini diğer karışım oranlarına göre en az artış sağladığı görülmüştür. Yakıt ısıl değeri sfc'nin artması veya azalmasında önemli bir rol oynamaktadır. Alkolün biyodizele karıştırılması karışım oranlarına bağlı olarak yoğunluğu azaltır ve yanmayı iyileştirir [2, 17]. Fuzel yağının düşük ısıl değeri özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Sfc artışı ile ilgili benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da desteklenmektedir [37-39].

3.1.4. Egzoz gaz sıcaklığı (Exhaust gas temperature)

Şekil 5'te test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklıkları değişimleri görülmektedir. Maksimum tork devrinde DF yakıtında 632,33°C, F10DF90 yakıtında 619,56°C, 8ppm'lik yakıtta 605,38°C, 12ppm'li yakıtta 589,91°C ve 16 ppm'li yakıtta ise 611,38°C olarak ölçülmüştür. Genel olarak DF yakıtına karşılaştırıldığında test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklıkları düşük çıkmıştır. Tüm motor yük ve devirlerinde ortalama olarak egzoz gaz sıcaklığı DF yakıtına göre, F10DF90 yakıtında %1,95, 8ppm'lik yakıtta %4,07, 12ppm'li yakıtta %5,83 ve 16ppm'li yakıtta ise %3,36 düşük çıkmıştır. 12ppm'li yakıt diğer yakıtlara göre daha düşük egzoz gaz sıcaklığı üretmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yapılan diğer çalışmalarla da benzerlik göstermiştir. Fuzel yağı içerisindeki yüksek oksijen içeriği yanma odasında düşük silindir iç sıcaklığına sebebiyet verir, bu durum sıcaklık düşümü olarak etkisini gösterir [11]. Egzoz gaz sıcaklığı, her yakıt için motor yükündeki artışla artar. Dizel yakıtta fuzel yağı ilavesi ile egzoz gaz sıcaklığı tüm motor yüklerinde ve tüm karışım oranlarında azalmıştır. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında, egzoz gaz sıcaklığındaki maksimum azalma 2,5 Nm motor yükündeki DF20 yakıtla %22,5'tir [14]. Egzoz gazı sıcaklık değerleri, fuzel yağı içerikli yakıtların hem yüksek nemi hem de düşük ısıtma değeri nedeniyle fuzel yağı içeriğinin artmasıyla azalmıştır. Fuzel yağının düşük gizli buharlaşma ısısı yakıtlar, yanma odasına enjekte edilen yakıtın daha fazla ısı çekmesine neden olarak yanma sıcaklığını düşürür. Test yakıtlarının termal ısıl değer farklılıkları düşük egzoz sıcaklığına sebep olur [15, 35].

3.2. Emisyon Testleri (Emission Tests)

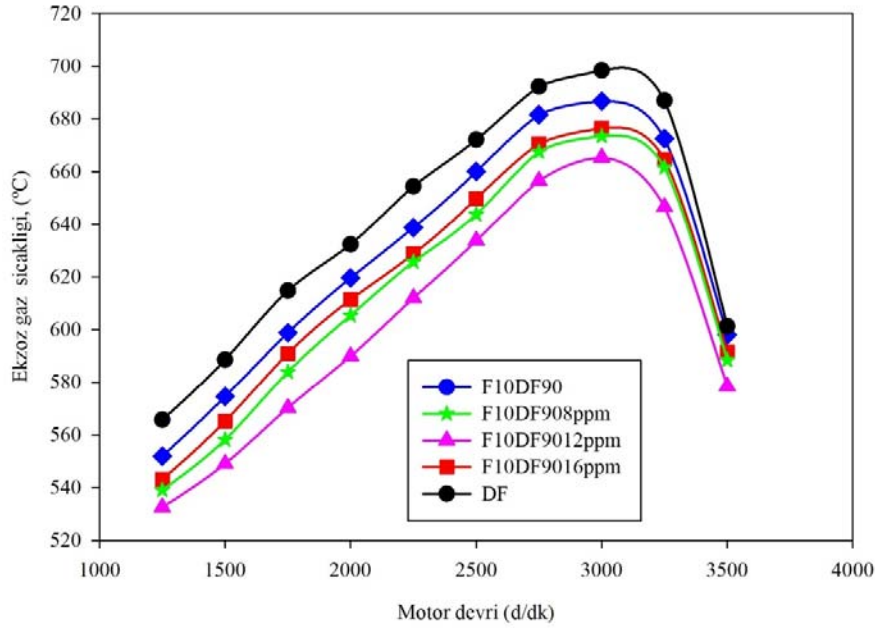
Egzoz emisyonları, motor yakıtlarının silindir içerisinde yanma sonucu oluşan ve egzoz aracılığı ile doğrudan



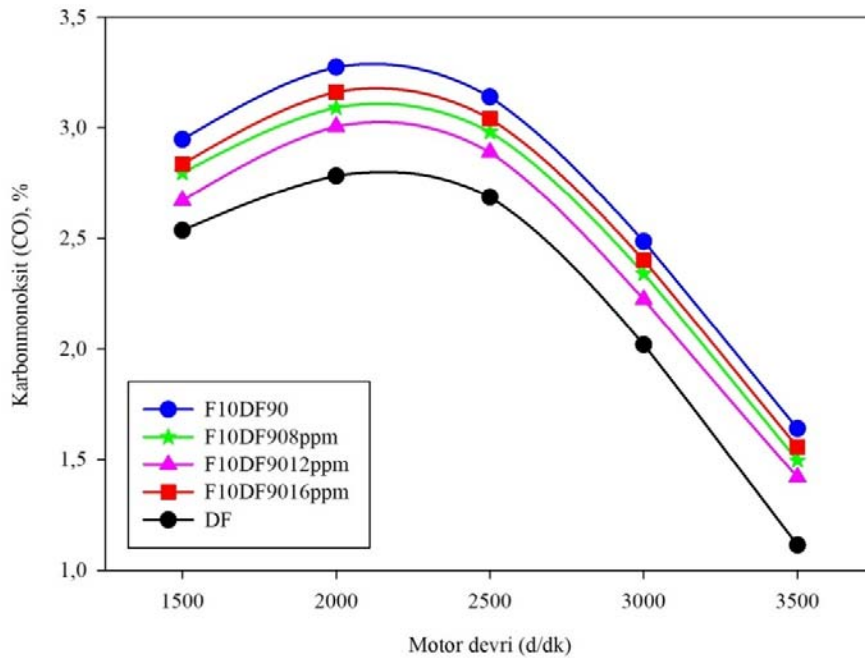
Şekil 4. Test yakıtlarının özgül yakıt tüketim değişimleri (Specific fuel consumption changes of test fuels)

atmosphere salınan gazlardır. Bu gazlar karbonmonoksit (CO), Hidrokarbon (HC), Karbondioksit (CO₂), Oksijen (O₂), azot oksit bileşikleri (NO_x) ve su buharı (H₂O) olarak sıralanabilir. Bu gazların içerisinde en zararsız olanı su buharı ve oksijendir. HC ve CO fazlalığı silindir içerisindeki eksik yanmanın bir göstergesidir. CO₂ fazlalığı küresel ısınmayı tetikleyen bir faktör olarak görülmekte, fazla miktarda NO_x partikül maddeleri ise solunum, kalp, akciğer gibi organlarda meydana getirdiği zararlar sebebi ile insan sağlığını tehdit etmektedir. Otomotiv üreticileri uluslararası

yapılan anlaşmalar çerçevesinde belirlenen emisyon sınır değerleride salınım yapan motor üretmek zorunluluğu vardır. Katalitik konvertör, pozitif karter havalandırma, egzoz gazların resirkülasyonu, katalitik konvertör girişine emisyon düşürücü sıvı ilavesi (adblue vb.) yapılmasındaki amaç zararlı egzoz emisyonlarının etkilerini azaltmaktır. Bitkisel bazlı yakıtların fosil bazlı yakıtlara göre emisyon değerlerini düşürdüğü önceki çalışmalardan anlaşılmaktadır. Fuzel yağı şeker pancarı posasından şeker üretiminden arta kalan atık bir sıvıdır. İçerisinde çok çeşitli alkol türleri mevcuttur. Test



Şekil 5. Test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklık değişimleri (Exhaust gas temperature changes of test fuels)

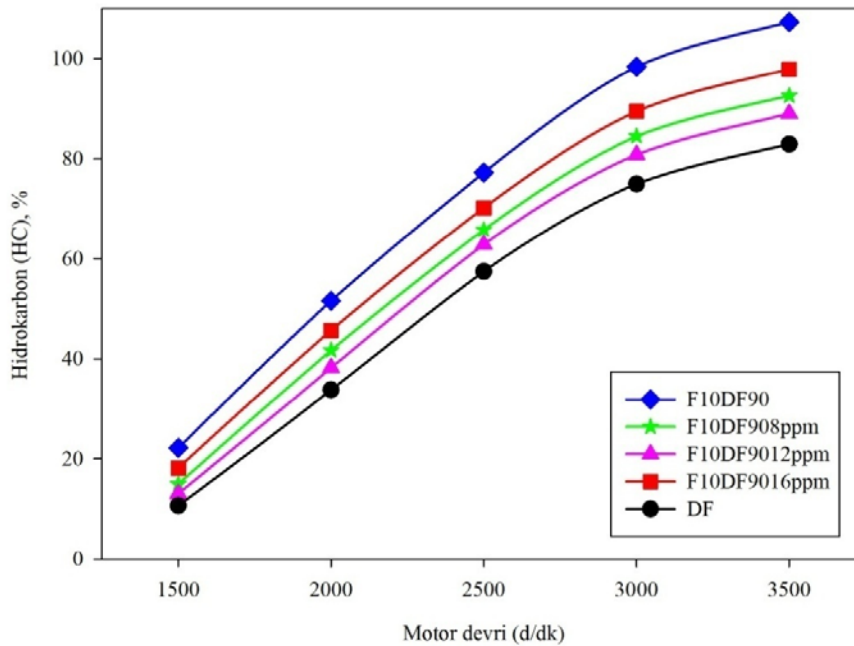


Şekil 6. Test yakıtlarının karbonmonoksit (CO) değişimleri (Carbon monoxide (CO) changes of test fuels)

motoru dizel yakıt ile çalışan tek silindri atmosferik bir motordur. Motor üzerinde egzoz çıkışında emisyon azaltıcı herhangi bir yardımcı sistem bulunmamaktadır. Emisyon ölçümleri tam yük şartlarında egzoz çıkışından gerçek veri olarak alınmıştır. Şekil 6'da test yakıtlarının karbonmonoksit (CO) değişimleri, Şekil 7'de ise test yakıtlarının hidrokarbon (HC) değişimleri görülmektedir. Maksimum tork devrinde CO miktarı DF yakıtında %2,78, F10DF90 yakıtında %3,27, 8ppm'lik yakıtta %3,09, 12ppm'lik yakıtta %3,05 ve 16 ppm'lik yakıtta ise 3,16 olarak ölçülmüştür. Tüm motor yük ve devirlerinde ortalama olarak CO miktarı, DF yakıtına göre, F10DF90 yakıtında %24,22, 8ppm'lik yakıtta %16,53, 12ppm'lik yakıtta %11,71 ve 16 ppm'lik yakıtta ise %19,46 fazla CO tespit edilmiştir. 12 ppm'lik yakıt F10DF90, 8ppmF10DF90 ve 16ppmF10DF90 yakıtlara göre daha az CO üretmiştir. Organik reçine esaslı mangan ilave miktarı arttıkça CO miktarında artış gözlemlenmiştir.

Tam yük şartlarında alınan HC değerlerine bakıldığında, maksimum tork devrinde DF yakıtında %33,81, F10DF90 yakıtında %41,59, 8ppm'lik yakıtta %41,05, 12ppm'lik yakıtta %38,22 ve 16ppm'lik yakıtta bakıldığında ise 41,42 olarak ölçülmüştür. Tüm motor yükü ve devirlerde ortalama olarak DF yakıtına göre HC değeri, F10DF90 yakıtında %20,41, 8ppm'lik yakıtta %17,94, 12ppm'lik yakıtta %12,17, 16ppm'lik yakıtta ise %18,68 HC yüksek çıkmıştır. 12ppm'lik yakıt diğer yakıtlara göre daha az HC üretmiştir. Bunun sebep olarak 12ppm'lik test yakıtı içerisindeki organikreçine esaslı mangan ilavesinin düşük HC oluşumunu tetiklediği söylenebilir. CO değerlerinde olduğu gibi organik reçine esaslı mangan ilave miktarı arttıkça HC miktarında artış gözlemlenmiştir. Genel olarak CO emisyonu yakıt ve havanın zayıf karışması, yerel olarak zengin bölge ve yakıtın eksik yanması nedeniyle oluşur. Daha yüksek motor yüklerinde, katkı maddeli yakıtların daha yüksek

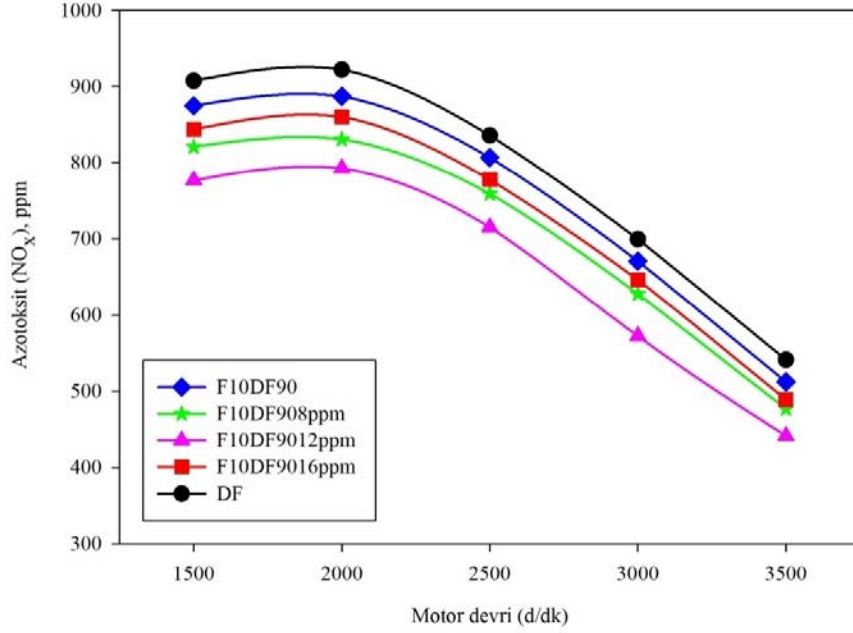
viskozitesi ve yoğunluğu yakıt ve havanın zayıf karışmasına neden olur, bu nedenle, CO oluşumunun artmasına neden olur. Yakıt içerisinde fazla yağ kullanımı CO ve HC miktarını artırdığı görülmektedir [13, 37]. Söz konusu sonuçlar, bu konudaki bazı mevcut araştırmalarla uyumludur [33, 34]. Şekil 8'de test yakıtlarının NO_x değişimleri görülmektedir. NO_x, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri ya da termal farklılıklar sebebiyle üretilen zararlı egzoz emisyonlarından biridir. NO_x, azot moleküllerinin yüksek yanma son gaz sıcaklıklarında oksijen ile reaksiyonundan kaynaklanır. Maksimum tork devrinde NO_x değeri, DF yakıtında 922,07 ppm, F10DF90 yakıtında 890,85 ppm, 8ppm'lik yakıtta 834,28 ppm, 12ppm'lik yakıtta 792,61ppm, 16ppm'lik test yakıtında ise 854,28 ppm olarak ölçülmüştür. Tüm motor yük ve devirlerinde test yakıtları NO_x miktarları, DF yakıtına göre düşük NO_x üretmiştir. 12ppm'lik diğer yakıtlara göre daha düşük NO_x üretmiştir. OrbMn ilavesinin NO_x miktarlarının azaltılmasında olumlu etki yaptığı görülmektedir. Tüm motor yük ve devirlerde ortalama olarak DF yakıtına göre NO_x miktarları, F10DF90 yakıtında %4,53, 8ppm'lik yakıtta %11,63, 12ppm'lik yakıtta %17,02 ve 16 ppm'lik yakıtta ise %8,97 düşük çıkmıştır. Dizel yakıt içerisine ilave edilen yakıtın gizli buharlaşma ısısı yanma sonu sıcaklığını düşürür. Bu durum soğutma etkisi yaratarak daha düşük NO_x üretir. NO_x oluşumu yanma sıcaklığı ve motor hızı, motor yükü veya yakıt / Hava (F/A) oranı gibi NO_x oluşumunu da etkileyen tüm motor çalışma koşulları ile büyük ölçüde ilişkilidir. Termal mekanizmaya dayanarak, azot ve oksijen arasındaki reaksiyon, bir dizi kimyasal adım yoluyla yanma odası içindeki yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. NO_x oluşumu 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir ve oluşum hızı sıcaklıktaki artışla birlikte hızla artar. Dizel yakıt içerisine fazla yağ eklenmesi NO_x emisyonlarını önemli ölçüde düşürdüğü görülmektedir. Fuzel yağının dizel yakıtına göre düşük ısı değeri ve içerisindeki su miktarının



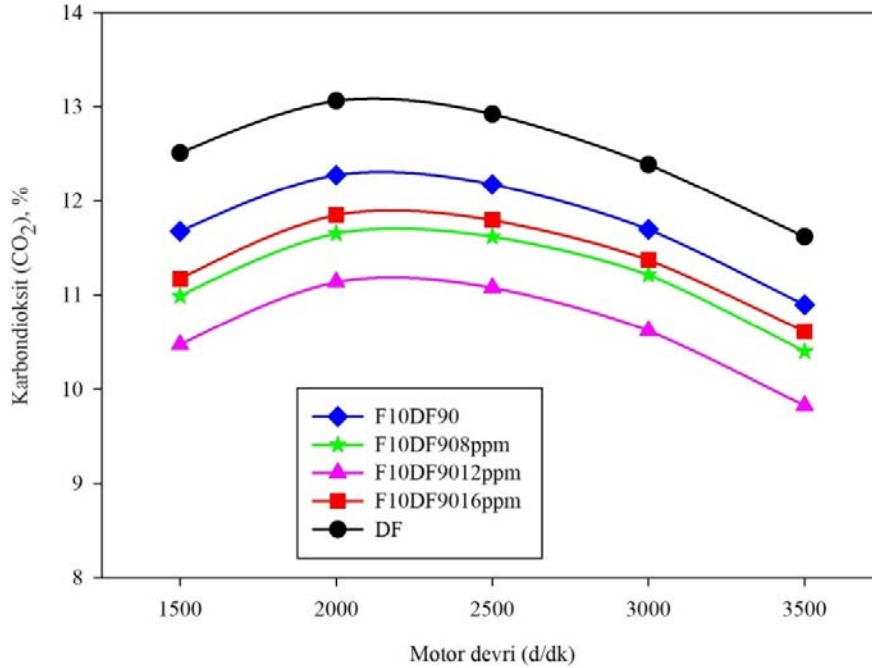
Şekil 7. Test yakıtlarının hidrokarbon (HC) değişimleri (Hydrocarbon (HC) changes of test fuels)

fazla oluşu sebebiyle yanma ısısını emerek düşük NO_x oluşumuna sebep olur [11, 13]. Metalik katkı maddeleri, oksit katkı maddeleri, emülgatörler, vb. biyodizel NO_x emisyonlarını iyileştirmek için yararlı görünmektedir [50]. Bu çalışma literatürde yapılan diğer çalışmalar ile uyumludur [23-25]. Şekil 9'de ise test yakıtlarının CO_2 değişimleri görülmektedir. Tüm motor yük ve devirlerinde CO_2 değerleri DF yakıtına göre azalma eğilimindedir. 12ppm'lik OrbMn ilaveli yakıt olan 12ppmF10DF90 yakıt

karışımı en fazla CO_2 düşüşüne sebep olmuştur. Maksimum tork devrinde CO_2 değerleri, DF yakıtında %13,06, F10DF90 yakıtında %12,11, 8ppm'lik yakıtta %, %11,65, 12ppm'lik yakıtta %11,34 ve 16 ppm'lik yakıtta %11,64 olarak ölçülmüştür. Tüm motor yük ve devirlerinde DF yakıtına göre ortalama olarak CO_2 miktarı, F10DF90 yakıtında %7,66, 8ppm'lik yakıtta %, %11,37, 12ppm'lik yakıtta %13,17 ve 16 ppm'lik yakıtta %10,63 düşüktür. Dizel yakıtı içerisinde fazla yağ ilavesi CO_2



Şekil 8. Test yakıtlarının NO_x değişimleri (NOx changes of test fuels)



Şekil 9. Test yakıtlarının karbondioksit (CO_2) değişimleri (Carbon dioxide (CO_2) changes of test fuels)

miktarını azaltmıştır. Fuzel yağı-dizel yakıtı karışımı içerisinde organik reçine esaslı mangan ilavesi CO₂ düşüşüne olumlu etki yapmıştır. 12ppmF10DF90 test yakıtında optimal düşüş sağlanmıştır. Artan motor hızı ile gelişmiş hava-yakıt oranı, yanma odasındaki hava-yakıt karıştırma işlemini iyileştirerek daha yüksek yanma gazı sıcaklıklarına neden olur. Yanma odasındaki gelişmiş durum CO'nun CO₂ emisyonuna daha yüksek dönüşüm oranına yol açar, bu da daha düşük CO₂ üretildiği anlamına gelir [17, 25]. Alkol içerisindeki düşük hava yakıt oranı CO₂ azaltımına sebep olur. Öte yandan, alkol moleküllerinde yüksek oksijen içeriği yanmayı iyileştirir ve CO₂ emisyonunu artırmaya çalışır. Bu iki karşıt durum yanma sonu CO₂ emisyonunun oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır [23].

Yukarıdaki deneysel çalışmalar sonuçları itibarıyla dizel yakıtı içerisinde %10 atık fuzel yağı eklenmesi ve elde edilen yakıt karışımı içerisinde 4ppm, 8ppm, 12ppm ve 16 ppm organik reçine bazlı mangan ilavesi motor performansı ve egzoz emisyon verilerinde olumlu sonuçlar vermiştir. 12ppm mangan ilaveli yakıt karışımında tork, güç te dizel yakıtına yakın değerler verdiği, özgül yakıt tüketiminin diğer test yakıtlarına göre en düşük olduğu, eksoz gaz sıcaklığını en fazla düşüren karışım olduğu, emisyonlar açısından CO ve HC emisyonlarını diğer test yakıtlarına göre en az salınladığı, CO₂ ve NO_x salınımlarını en çok düşüren test yakıtı olduğu görülmüştür. Laboratuvar şartlarında önceden yapılan yakıtın fiziksel ve kimyasal analizlerinde motorin içerisinde %10 fuzel yağı eklenmesi viskozite, donma ve parlama noktalarında en iyi iyileşmeyi sağlayarak test karışım oranının belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.

4. KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

DF	: Dizel yakıtı
F10	: %10 Fuzel yağı
OrbMn	: Organik reçine esaslı Mangan
sfc	: Özgül yakıt tüketimi (g/kW-h)
F10DF90	: %10 fuzel yağı, %90 dizel yakıtı motorin karışımı test yakıtı
8ppmF10DF90	: 8ppm OrbMn katkılı F10DF90 test yakıtı
12ppmF10DF90	: 12ppm OrbMn katkılı F10DF90 test yakıtı
16ppmF10DF90	: 16ppm OrbMn katkılı F10DF90 test yakıtı
NO _x	: Azotoksit
CO	: Karbonmonoksit
HC	: Hidrokarbon
CO ₂	: Karbondioksit
d/dk	: Dakikadaki devir sayısı

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Dizel yakıtı motorin içerisinde %10 fuzel yağı eklenmiş ve elde edilen karışimli yakıt (F10DF90) içerisinde 8ppm, 12ppm ve 16ppm organik reçine esaslı mangan ilave edilerek 8ppmF10DF90, 12ppmF10DF90 ve 16ppmF10DF90 test yakıtları elde edilmiştir. Test yakıtları tek silindirli atmosferik bir motorda denenerek motor performans ve emisyon değerleri ortaya konulmuştur. Yapılan test sonuçlarına göre;

- Dizel yakıtı (DF) içerisinde fuzel yağı eklenmesi (F10) tork ve güçte azalmaya sebep olmuştur.
- Özgül yakıt tüketimleri artmıştır. En fazla artış F10DF90 yakıtında en az artış 12ppmF10DF90 yakıtında olduğu görülmüştür. 12 ppm OrbMn ilavesi diğer test yakıtlarına göre en az özgül yakıt tüketimi artışı sağlamıştır.
- DF yakıtına karşılaştırıldığında test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklıkları düşük çıkmıştır. 12ppm'li yakıt (12ppmF10DF90) diğer yakıtlara göre daha düşük egzoz gaz sıcaklığı üretmiştir. OrbMn ilavesi egzoz gaz sıcaklığını düşürmüştür.
- DF yakıtına göre kıyaslandığında karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) değerlerinde artış olmuştur. OrbMn ilavesi F10DF90 yakıtına göre daha az artış sağlamıştır. 12ppm'lik organik esaslı mangan ilavesinde en az CO ve HC artışı tespit edilmiştir.
- Tüm motor yük ve devirlerinde test yakıtlarının NO_x miktarları DF yakıtına göre düşük çıkmıştır. Ortalama olarak en fazla NO_x düşüşü 12ppmF10DF90testyakıtında (%17,02) elde edilmiştir.
- Tüm motor yük ve devirlerinde CO₂ değerleri DF yakıtına göre azalma eğilimindedir. Ortalama olarak %13,17'lük en fazla düşüş 12ppm F10DF90'lik test yakıtında elde edilmiştir.
- OrbMn ilavesi NO_xve CO₂ azalmasında olumlu etki yapmıştır.
- Farklı oranlarda fuzel yağı ve farklı katkı maddeleri ile araştırma çerçevesi genişletilebilir.

Bu çalışmanın sonuçları ile içten yanmalı dizel motorlarda %10 fuzel yağının motorine ilave edilmiş yakıtta sentetik mangan bileşiğinin dozlanarak sorunların ekonomik ve fizibil olarak giderilebileceği yanmanın iyileştirilebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çaynak S., Gürü M., Biçer, A., Keskin A., İçingür Y., Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive, Fuel, 88 (3), 532-536, 2009.
2. Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., & Şahin, F. Biodiesel production from waste chicken fat-based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, RenewableEnergy, 35 (3), 637-643, 2010.
3. Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., & Alıcılar, A., Improvement of diesel fuel properties by using additives. Energy conversion and Management, 43 (8), 1021-1025, 2002.
4. Çelik, M., Solmaz, H., & Yücesu, H. S., Examination of the effects of organic based manganese fuel additive on combustion and engine performance. Fuel Processing Technology, 139, 100-107, 2015.
5. Calam, A., İçingür, Y., Solmaz, H., & Yamık, H., A comparison of engine performance and the emission of fusel oil and gasoline mixtures at different ignition timings. International journal of green energy, 12 (8), 767-772, 2015.
6. Abdalla, A. N., Awad, O. I., Tao, H., Ibrahim, T. K., Mamat, R., & Hammid, A. T., Performance and

- emissions of gasoline blended with fusel oil that a potential using as an octane enhancer. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41 (8), 931-947, 2019.
7. Solmaz, H., Combustion, performance and emission characteristics of fusel oil in a spark ignition engine. *Fuel Processing Technology*, 133, 20-28, 2015.
 8. Awad, O. I., Mamat, R., Ibrahim, T. K., Kettner, M., Kadirgama, K., Leman, A. M., & Saiful, A. I. M., Effects of fusel oil water content reduction on fuel properties, performance and emissions of SI engine fueled with gasoline-fusel oil blends. *Renewable energy*, 118, 858-869, 2018.
 9. Calam, A., Aydoğan, B., & Halis, S., The comparison of combustion, engine performance and emission characteristics of ethanol, methanol, fusel oil, butanol, isopropanol and naphtha with n-heptane blends on HCCI engine. *Fuel*, 266, 117071, 2020.
 10. Simsek, S., & Ozdalyan, B., Improvements to the composition of fusel oil and analysis of the effects of fusel oil-gasoline blends on a spark-ignited (SI) engine's performance and emissions. *Energies*, 11 (3), 625, 2018.
 11. Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Yusri, I. M., Abdullah, A. A., Yusop, A. F., & Noor, M. M., The effect of adding fusel oil to diesel on the performance and the emissions characteristics in a single cylinder CI engine. *Journal of the energy Institute*, 90 (3), 382-396, 2017.
 12. 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.
 13. Pour, A. H., Ardebili, S. M. S., & Sheikhdavoodi, M. J., Multi-objective optimization of diesel engine performance and emissions fueled with diesel-biodiesel-fusel oil blends using response surface method. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (35), 35429-35439, 2018.
 14. Akcay, M., & Ozer, S., Experimental investigation on performance and emission characteristics of a CI diesel engine fueled with fusel oil/diesel fuel blends. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-16, 2019.
 15. Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S., & Karagöz, M., Experimental investigation of fusel oil (isoamyl alcohol) and diesel blends in a CI engine. *Fuel*, 267, 117042, 2020.
 16. Yılmaz, E., Investigation of the effects of diesel-fusel oil fuel blends on combustion, engine performance and exhaust emissions in a single cylinder compression ignition engine. *Fuel*, 255, 115741, 2019.
 17. Yasin, M. M., Yusaf, T., Mamat, R., & Yusop, A. F., Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend. *Applied Energy*, 114, 865-873, 2014.
 18. Minja, R. J., Mlay, H., & Katima, J. H., *Plant Oil/Fusel Oil Blends as Alternative Fuels in Low-and Medium Speed Diesel Engines*, 2015.
 19. Wang, M., Nie, K., Yun, F., Cao, H., Deng, L., Wang, F., & Tan, T., Biodiesel with low temperature properties: Enzymatic synthesis of fusel alcohol fatty acid ester in a solvent free system. *Renewable energy*, 83, 1020-1025, 2015.
 20. Bayraktar, H., An experimental study on the performance parameters of an experimental CI engine fueled with diesel-methanol-dodecanol blends. *Fuel*, 87 (2), 158-164, 2008.
 21. Guo, Z., Li, T., Dong, J., Chen, R., Xue, P., & Wei, X., Combustion and emission characteristics of blends of diesel fuel and methanol-to-diesel. *Fuel*, 90 (3), 1305-1308, 2011.
 22. Yılmaz, N., & Sanchez, T. M., Analysis of operating a diesel engine on biodiesel-ethanol and biodiesel-methanol blends. *Energy*, 46 (1), 126-129, 2012.
 23. Datta, A., & Mandal, B. K., Impact of alcohol addition to diesel on the performance combustion and emissions of a compression ignition engine. *Applied thermal engineering*, 98, 670-682, 2016.
 24. Yılmaz, N., & Atmanli, A., Experimental evaluation of a diesel engine running on the blends of diesel and pentanol as a next generation higher alcohol. *Fuel*, 210, 75-82, 2017.
 25. Yusri, I. M., Mamat, R., Akasyah, M. K., Jamlos, M. F., & Yusop, A. F., Evaluation of engine combustion and exhaust emissions characteristics using diesel/butanol blended fuel. *Applied Thermal Engineering*, 156, 209-219, 2019.
 26. Ahmed, A. H., Ali, O. M., Mohammed, A. E., Daoud, R. W., Ibrahim, T. K., Enhancement of engine performance with high blended diesel-biodiesel fuel using iso-butanol additive. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 518, 3, 032013, 2019.
 27. 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.
 28. Muthaiyan, P., & Gomathinayagam, S., Combustion characteristics of a diesel engine using propanol diesel fuel blends. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 97 (3), 323-329, 2016.
 29. Tebas, S. D. O. G., Barañano, A. G., Pinheiro, P. F., & Lacerda Júnior, V., Mild conditions in the transesterification reaction of babassu oil and purified fusel oil. *Chemical Engineering Communications*, 1-9, 2020.
 30. Monroe, E., Shinde, S., Carlson, J. S., Eckles, T. P., Liu, F., Varman, A. M., ... & Davis, R. W., Superior performance biodiesel from biomass-derived fusel alcohols and low-grade oils: Fatty acid fusel esters (FAFE). *Fuel*, 268, 117408, 2020.
 31. Özer, S. Ham Pirina Yağından Biyodizel Üretiminde Alkol Olarak Fusel Yağı Kullanımı, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 136-143, 2018.
 32. Tuter, M., Akdere, C., Yerlikaya, C., & Sirkecioğlu, A., The Evaluation of Fusel Oil Fraction for Lipase Catalyzed Alcoholysis of Hazelnut Oil. *Energy Sources*,

- Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 33 (6), 521-528, 2011.
33. Ardebili, S. M. S., Taghipoor, A., Solmaz, H., & Mostafaei, M., The effect of nano-biochar on the performance and emissions of a diesel engine fueled with fusel oil-diesel fuel. *Fuel*, 268, 117356, 2020.
 34. Li, X., Guan, C., Yang, K., Cheung, C. S., & Huang, Z., Impact of lower and higher alcohol additions to diesel on the combustion and emissions of a direct-injection diesel engine. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (20), 21001-21012, 2019.
 35. Ağbulut, Ü., Saridemir, S., & Albayrak, S., 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*, 41 (9), 389, 2019.
 36. Lenin, M. A., Swaminathan, M. R., & Kumaresan, G., Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nanofuel additive. *Fuel*, 109, 362-365, 2013.
 37. Sabet Sarvestany, N., Farzad, A., Ebrahimnia-Bajestan, E., & Mir, M., Effects of magnetic nanofluid fuel combustion on the performance and emission characteristics. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35 (12), 1745-1750, 2014.
 38. Rajesh Kana, S., & Shaija, A., Performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine using waste avocado biodiesel with manganese-doped alumina nanoparticles. *International Journal of Ambient Energy*, 1-8, 2020.
 39. Keskin A, Guru M, Altıparmak D. Biodiesel production from tall oil with synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions. *Fuel*, 86, 1139-43, 2007.
 40. Çelikten İ., Gürü M., Improvement of performance and emission criterias of petrodiesel and rapeseed oil biodiesel with manganese-based additive, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 26 (3), 643-648, 2013.
 41. Çelik, M., Combustion, performance and exhaust emission characteristics of organic based manganese addition to cotton methyl ester. *Applied Thermal Engineering*, 108, 1178-1189, 2016.
 42. Kryshptopa, S., Kryshptopa, L., Melnyk, V., Dolishnii, B., Prunko, I., & Demianchuk, Y., Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport Problems*, 12, 2017.
 43. Mofijur, M., Rasul, M. G., & Hyde, J., Recent developments on internal combustion engine performance and emissions fuelled with biodiesel-diesel-ethanol blends. *Procedia Engineering*, 105, 658-664, 2015.
 44. Keskin, A., Gürü, M., & Altıparmak, D., Influence of tall oil biodiesel with Mg and Mo based fuel additives on diesel engine performance and emission. *Bioresource technology*, 99 (14), 6434-6438, 2008.
 45. Nour, M., Attia, A. M., & Nada, S. A., Improvement of CI engine combustion and performance running on ternary blends of higher alcohol (Pentanol and Octanol) /hydrous ethanol/diesel. *Fuel*, 251, 10-22, 2019.
 46. İcingür Y., Calam A., The effects of the blends of fusel oil and gasoline on performance and emissions in a spark ignition engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1), 143-149, 2012.
 47. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., & Aktaş, M., Upgrading of the thermal performance of two-phase closed thermosyphon (TPCT) using fusel oil. *Heat and Mass Transfer*, 53 (1), 141-149, 2017.
 48. 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.
 49. Abdulvahitoğlu A., Tüccar G., Evaluation of watermelon seed biodiesel as an alternative fuel in diesel engines, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 189-194, 2017.
 50. Ali OM., Mamat R., Faizal CKM., Review of the effects of additives on biodiesel properties, performance, and emission features. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5 (1), 012701, 2013.
 51. Zhu L, Cheung C, Zhang W, Huang Z. Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. *Sci Total Environ*; 408 (4), 914-21, 2010.

