



Effect of nano materials additives on fuel properties and combustion characteristics

İsmet Sezer*

Department of Mechanical Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, 29100, Turkey

Highlights:

- The use of nano material additives in diesel engine fuels
- Effects of nano material additives on fuels properties
- Effects of nano material additives on combustion characteristics

Keywords:

- Diesel engine
- Biodiesel
- Emulsified fuel
- Nano material additives

Article Info:

Review Article
Received: 07.05.2017
Accepted: 11.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416469

Acknowledgement:

Graphical/Tabular Abstract

This study compiled the results of various researches performed on using nano materials additives in diesel engine fuels such as diesel, biodiesel, water emulsified fuels and various fuel blends. The most researches declare that the best way to reduce the emissions and also increase the engine performance is the use of nano material additives and water emulsified fuels. In this review, the effects of using different nano material additives in various diesel engine fuels on fuel properties and combustion characteristics are investigated.

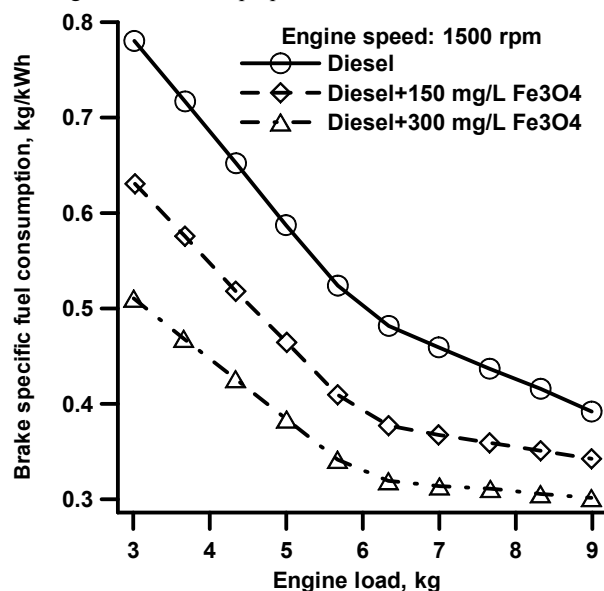


Figure 1. Improvement of brake specific fuel consumption by nano material additive (Mahendrarvarman et al, 2016)

*Correspondence:

Author: İsmet Sezer
e-mail:
isezer@gumushane.edu.tr
phone: +90 456 233 1000-1606

Purpose: This review study aims to investigate the effects of using different nano material additives in various diesel engine fuels on fuel properties and combustion characteristics.

Theory and Methods: Effects on fuel properties and combustion characteristics are determined by evaluating together the results of studies in the literature that use nano materials as fuel additive.

Results: Nano material additives improve cetane number and heating value of the fuels and this contributes to completion of combustion by increasing the combustion efficiency. Increases are also obtained in fuel properties such as density, viscosity and flash point temperature. Nano material additives contribute to increase of burning speed and combustion efficiency by shortening ignition delay duration. As a result of this, decreases or increases occur in the maximum cylinder pressure and heat release rate.

Conclusion: Nano material additives provide an advantage in the storage and transport of fuel by increasing the flash point temperature. They also contribute to first movement of the engine in cold weather by reducing pour and cloud point temperatures. Nano material additives serve as a good catalyst for combustion improvement due to increased surface area/volume ratio, increased radiation/mass transfer properties and better ignition properties. Nano materials addition to emulsion fuels causes micro-explosions during combustion to form secondary atomization, thereby increase in engine performance and reduction in engine emissions because of increasing combustion efficiency. Nano material additives provide lower HC and PM emissions by burning carbon deposits in the combustion chamber due to high activation energies.



Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve yanma karakteristiklerine etkileri

İsmet Sezer*^{1b}

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 29100, Bağlarbaşı, Gümüşhane

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Dizel motor yakıtlarında nano materyal içerikli katkıların kullanımı
- Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine etkileri
- Nano materyal içerikli katkıların yanma karakteristiklerine etkileri

Makale Bilgileri

Tarama Makalesi

Geliş: 07.05.2017

Kabul: 11.09.2017

DOI:

10.17341/ gazimmfd.416469

Anahtar Kelimeler:

Dizel motor,
biyodizel,
emülsiyon yakıt,
nano materyal katkıları

ÖZET

Bu çalışma; dizel, biyodizel, su içeren emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımları gibi dizel motor yakıtlarında nano materyal içerikli katkıların kullanımı üzerine yapılmış çeşitli çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Dizel motorlarda zararlı egzoz emisyonlarını azaltması için üç farklı teknik uygulanmaktadır. Zararlı emisyonları azaltmak için uygulanan tekniklerden ilki motor tasarımı ve yakıt püskürtme sisteminde değişiklikler yapılarak yanmanın iyileştirilmesidir. Ancak bu pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. İkinci teknik katalitik konvertör ve partikül filtresi gibi çeşitli egzoz gazı cihazlarını kullanmaktır. Ancak, bu cihazlar dizel motorun performansını olumsuz yönde etkiler. Dizel motorlarda, emisyonları azaltmak ve aynı zamanda dizel motorun performansını artırmak için kullanılan üçüncü teknik ise çeşitli yakıt katkılarının kullanılmasıdır. Dizel motorlardan yayılan en önemli kirlenmeler azot oksit (NOx) ve partikül madde (PM-is) emisyonlarıdır. Uygulamada, NOx ve PM emisyonlarını birlikte azaltmak oldukça zordur. Emisyonları azaltmanın ve motor performansını artırmanın en iyi yolunun nano materyal içerikli katkıların ve suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtların kullanımı olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir. Bu derlemede çeşitli dizel motor yakıtlarında farklı nano materyal içerikli katkıların kullanımının yakıt özelliklerine ve yanma karakteristiklerine etkileri incelenmiştir.

Effect of nano materials additives on fuel properties and combustion characteristics

H I G H L I G H T S

- The use of nano material additives in diesel engine fuels
- Effects of nano material additives on fuels properties
- Effects of nano material additives on combustion characteristics

Article Info

Review Article

Received: 07.05.2017

Accepted: 11.09.2017

DOI:

10.17341/ gazimmfd.416469

Keywords:

Dizel engine,
biodiesel,
emulsified fuel,
nano material additives

ABSTRACT

This study compiled the results of various researches performed on using nanomaterials additives in diesel engine fuels such as diesel, biodiesel, water emulsified fuels and various fuel blends. Three different techniques are used the reduction of the harmful exhaust emissions of the diesel engine. The first technique for the reduction of harmful emissions is improved the combustion by modification of engine design and fuel injection system, but this process is expensive and time consuming. The second technique is the using various exhaust gas devices like catalytic converter and diesel particulate filter. However, the use of these devices affects negatively diesel engine performance. The other technique to reduce emissions and also improve diesel engine performance is the use of various fuel additives. The major pollutants of diesel engine are oxide of nitrogen (NOx) and particulate matter (PM). It is very difficult to reduce NOx and PM simultaneously in practice. The most researches declare that the best way to reduce the emissions and increase the engine performance is the use of nano material additives and water emulsified fuels. The effects on fuel properties and combustion characteristics of different nano material additives in various diesel engine fuels are investigated in this review.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: isezer@gumushane.edu.tr / Tel: +90 456 233 1000-1606

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorların; karayolu taşıtlarında, tarım sektöründe, elektrik jeneratörlerinde güç kaynağı olarak kullanımının sürekli artması yakıt tüketiminin ve fiyatının sürekli artışına neden olmaktadır. Diğer taraftan, emisyonlarla ilgili sıkı düzenlemeler emisyon azaltma teknolojilerinin ve alternatif yakıtların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Katalitik konvertör ve partikül filtresi kullanımı dizel motorlarda azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM-is) emisyonlarını azaltması yanında motor performansını ve yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Dizel motorların performansını artırıp emisyonlarını azaltmanın diğer bir yolu ise özellikle gıda olarak tüketilmeyen yağlardan üretilen biyodizel yakıtların kullanılmasıdır [1]. Ayrıca, biyodizel yakıtların dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmasının karbondioksit (CO_2) salımını azaltarak küresel ısınmayı azaltabileceği düşünülmektedir [2]. Yapılan çeşitli deneysel çalışmalar biyodizel yakıt ve karışımlarının motor gücünde bir miktar düşüşe ve yakıt tüketiminde artışa neden olduğunu göstermiştir [3]. Ayrıca, biyodizel yakıt ve karışımlarının içeriğindeki oksijen nedeniyle NO_x emisyonunda artış olduğu bildirilmektedir [4]. Biyodizel yakıtların bu olumsuz etkilerinin emülsiyon yöntemi ve çeşitli yakıt katkıları kullanılarak azaltılması mümkündür [5]. Dizel ve biyodizel yakıtların su ile emülsiyonlaştırılmasının NO_x emisyonunun azaltılmasında oldukça etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir [6]. Ancak, emülsiyon yakıtların içinde bulunan su yanma sıcaklığını düşürerek tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına neden olabilmektedir [7]. Bu olumsuz etkiyi azaltmak için suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal içerikli katkıların kullanılması önerilmektedir [8]. Bu nedenle, dizel, biyodizel ve suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal katkıların kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi motor performansının iyileştirilmesi ve emisyonlarının azaltılması açısından oldukça önemlidir [9]. Sunulan çalışmada dizel yakıtı, çeşitli biyodizel yakıt ve karışımları ile suyla emülsiyonlaştırılmış yakıtlarda nano materyal katkıların kullanılmasının yakıt özellikleri ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir.

2. NANO MATERYAL İÇERİKLİ YAKIT KATKILARI (FUEL ADDITIVES INCLUDING NANO MATERIALS)

Nano materyallerin boyutları 1–100 nm arasında değişmekte olup katkı olarak kullanılan nano materyaller arasında Al, Ag, Cu, Mg, Ni, Ti, Zn gibi metaller [10], bor gibi yarı metaller [11] ve Al_2O_3 , CeO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO, MnO, MgO gibi metal oksit nano akışkanlar sıralanabilir [12]. Son zamanlarda, nano boyutlu silikon tozları ve nano gözenekli silikonlu levhalar [13] ile tek veya çok tabakalı nano tüpler gibi materyaller de [14] enerji uygulamalarında kullanılmaktadır. Dizel motorlarda nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı çalışmalar Tablo 1–Tablo 8’de verilmiş olup bu çalışmada kullanılmış olan nano materyaller aşağıda sıralanmıştır.

Nano alüminyum	: n–Al
Demir II oksit	: Fe_2O_3
Nano alüminyum–magnezyum	: n–Al–Mg
Demir III oksit	: Fe_3O_4
Nano bor	: n–B
Grafit oksit	: GO
Nano demir	: n–Fe
Kalsiyum oksit	: CaO
Nano grafit	: n–G
Karbon Nano Tüpler	: KNT
Nano gümüş	: n–Ag
Kobalt oksit	: Co_3O_4
Nano mangan	: n–Mn
Rodyum oksit	: Rh_2O_3
Nano platin	: n–Pt
Magnezyum oksit	: MgO
Nano seryum	: n–Ce
Mangan oksit	: MnO
Nano silikon	: n–Si
Mangan dioksit	: MnO_2
Alüminyum oksit	: Al_2O_3
Nikel oksit	: NiO
Bakır oksit	: CuO
Seryum oksit	: CeO_2
Çinko oksit	: ZnO
Seryum zirkonyum oksit	: Ce–Zr– O_2
Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler	: ÇTKNT
Titanyum oksit	: TiO_2
Demir klorür	: FeCl_3
Zirkonyum oksit	: ZrO_2

3. NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF NANOMATERIALS ADDITIVES ON FUEL PROPERTIES)

Nano materyal katkı maddeleri, artırılmış yüzey alanı/hacim oranı, hızlı buharlaşma ve daha kısa tutuşma gecikmesi süresi gibi özellikleri nedeniyle yakıt özelliklerini iyileştirmek için uygun bir katalizör olarak düşünülmektedir [117]. Nano materyal içerikli katkıların yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma noktası sıcaklıkları, akma ve bulutlanma noktası sıcaklıkları, setan sayısı ve ısı değer gibi yakıt özelliklerine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Tablo 9 ve Tablo 10’da çeşitli nano materyal katkıların yakıt özelliklerine etkilerine yönelik sayısal değerler verilmiştir.

3.1. Nano Materyallerin Dizel Yakıtı ve Emülsiyonlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of Nano Materials on Properties of Diesel Fuel and Emulsions)

Havacılık türbin yakıtına (kerosin) %0,1–1 oranında Al_2O_3 katılmasının viskozite, ısıl iletkenlik ve ısı transferini artırdığını, ancak ısıl değer (özgül ısı) üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir [15]. Dizel yakıtına katılan n–Al parçacıklarının yoğunluğu azalttığı, alevlenme (parlama) noktası sıcaklığını artırdığı bunun yakıtın

depolama ve nakliye güvenliği için önemli olduğu ve tüm karışım oranlarında kinematik viskozitenin artan sıcaklıkla azaldığı bunun ise yağlama, yakıt atomizasyonu, motor performansı, HC emisyonu ve is oluşumu açısından önemli olduğunu bildirilmiştir [17]. Dizel yakıtına katılan Al_2O_3 [22] ile Fe_2O_3 [29] ve Fe_3O_4 [31] oranı arttıkça yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı ile ısıl değerin arttığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Ancak, Fe_2O_3 katkısının alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürdüğü [29] ve Al_2O_3 katkısının [32] yakıt özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gösteren [34] hatta alevlenme sıcaklığı ve setan sayısının Al_2O_3 katkısıyla azaldığını [35] bildiren çalışma sonuçları da vardır. Grafit oksit (GO) katkısının yoğunluğu bir miktar artırmasına rağmen viskozite, alevlenme sıcaklığı ve setan sayısı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir [35]. CuO katkısının ise viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürdüğü [36] belirlenmiştir. MnO [36] ve MnO_2 [37] katkısının da viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı ile akma ve bulutlanma noktası sıcaklığı değerlerini düşürdüğü, setan sayısını ise artırdığı [38] bildirilmiştir. Setan sayısının artması tutuşma karakteristiklerini iyileştirerek tutuşma gecikmesi süresini kısaltmakta ve yanma verimini dolayısıyla motor performansını artırmaktadır. MgO katkısının viskozite, alevlenme sıcaklığı ile akma ve bulutlanma noktası sıcaklıklarında azalmaya neden olduğu [37] CaO katkısının yakıt özelliklerine pek etkisinin olmadığı [38] belirlenmiştir. Akma ve bulutlanma noktası sıcaklığının azalması özellikle soğuk havalarda motorun ilk harekete geçişini kolaylaştırması bakımından önemlidir. CeO_2 katkısının yoğunluk ve viskozite [39], ısıl değer [41], alevlenme sıcaklığı [46] ve tutuşma sıcaklığı [47] değerlerini artırdığı birçok çalışmada belirlenmiş, TiO_2 katkısının ise yoğunluk, viskozite ve tutuşma sıcaklığı değerlerinde az miktarda artış sağladığı bildirilmiştir [48]. Dizel yakıtında çok tabakalı karbon nano tüpler (ÇTKNT) kullanılmasının ise yoğunluk, tutuşma sıcaklığı, ısıl değer ve setan sayısı değerlerinde artış sağladığı belirlenmiştir [49]. Nano alüminyum (n-Al) ve nano silikon (n-Si) parçacıklarının farklı oranlarda su içeren dizel emülsiyon yakıtlara katılmasının yoğunluk, viskozite ve setan sayısını artırırken ısıl değeri düşürdüğü bildirilmiştir [51]. Dizel-su emülsiyon yakıtlarına ÇTKNT katılmasının yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığı [52] ile setan sayısında [53] artışa ısıl değer de ise düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Dizel-etanol karışımlarında viskozite ve alevlenme sıcaklığının etanol katkısı nedeniyle önemli oranda azaldığı CeO_2 katkısının ise yakıt özellikleri üzerinde çok az etkisinin olduğu belirlenmiştir [56].

3.2. Nano Materyallerin Biyodizel Yakıtları ve Emülsiyonlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of Nano Materials on Properties of Biodiesel Fuels and Emulsions)

Farklı türden biyodizel yakıtlara n-Al [60], n-Ag [61] ve nano grafit (n-G) [62] parçacıkları katılmasının yoğunluk ve viskoziteyi artırırken alevlenme sıcaklığı ve ısıl değerde

düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir [64]. Pamuk yağı biyodizel yakıtına n-Mn parçacıkları katılmasının yoğunluk, viskozite ve tutuşma sıcaklığını düşürürken ısıl değerde bir miktar artış sağladığı belirlenmiştir [63]. Farklı türden biyodizel yakıtlara Al_2O_3 [65], Fe_3O_4 ve CeO_2 [66] katılmasının tüm yakıt özelliklerini artırdığı yönünde çalışma sonuçları olmakla birlikte bu katkıların özellikle tutuşma sıcaklığı ve ısıl değerde düşüşe neden olduğu yönünde [64] bulgular da mevcuttur. Kannan vd. [68] atık kızartma yağı biyodizel yakıtına farklı oranlarda $FeCl_3$ katkısının yoğunluk, viskozite, alevlenme ve tutuşma sıcaklığını düşürürken setan sayısı ve ısıl değerde artış sağladığını ancak akma ve bulutlanma noktası sıcaklıkları üzerinde bir etkisinin olmadığını belirlemiştir. Sajith vd. [71] *Jatropha* biyodizel yakıtına katılan CeO_2 [73] katkısının alevlenme noktası sıcaklığını artırdığını ve viskozitenin artan sıcaklıkla azaldığını [74] ancak CeO_2 katkısının bulutlanma ve akma noktası sıcaklıkları üzerinde bir etkisinin olmadığını belirlemiştir. Karbon nano tüp (KNT) katkıların farklı türde biyodizel yakıtlara katılmasının genelde yoğunluk, viskozite, alevlenme sıcaklığı ve setan sayısında artış sağlarken ısıl değerde düşüşe neden olduğu bildirilmektedir [75]. Su içeren biyodizel emülsiyon yakıtlara CeO_2 [78] ve KNT [79] katılmasının yoğunluk, viskozite, setan sayısı ve ısıl değerde artış sağlarken alevlenme sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir.

3.3. Nano Materyallerin Dizel-Biyodizel Karışımlarının Özelliklerine Etkileri (Effects of Nano Materials on Properties of Diesel-Biodiesel Blends)

Dizel-palmiye yağı biyodizel karışımlarına nano biyo-polimer parçacıkları katılmasının yoğunluk ve viskozitede düşüş sağlarken ısıl değeri artırdığı ancak alevlenme sıcaklığı üzerinde etkisinin olmadığı bildirilmiştir [81]. Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına Al_2O_3 katılmasının yoğunluk [84], viskozite [85], alevlenme sıcaklığı [86] ve ısıl değerde [87] artış sağladığı belirlenmiş, olmakla birlikte ısıl değeri düşürdüğü yönünde bulgularda vardır [88]. Dizel-biyodizel karışımlarına CuO katılmasının [92] ısıl değer dışındaki yakıt özelliklerinde düşüş sağladığı bildirilmiştir [93]. Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına ZnO katılmasının [94] tüm yakıt özelliklerinde artış sağladığını [96] bildiren çalışmalar [97] olmasına rağmen yoğunluk ve tutuşma sıcaklığını azalttığı yönünde bulgular da vardır [94]. Dizel-biyodizel karışımlarına Fe_3O_4 katılmasının yoğunluk ve viskozitede artış ısıl değer de ise düşüş sağladığı bildirilmiştir [98]. Farklı türden biyodizel-dizel karışımlarına MnO_2 ve NiO katkısının viskozite ve alevlenme sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir [99]. Dizel-biyodizel karışımlarına CeO_2 katılmasının yoğunluk [100] ve tutuşma sıcaklığını [103] düşürdüğü yönünde çalışma sonuçları olmakla birlikte tüm yakıt özelliklerinde artış [105] sağladığını bildiren çalışmalar [106] da vardır. Farklı oranlarda biyodizel içeren yakıt karışımlarına Ce-Zr- O_2 katılmasının yoğunluk, viskozite ve alevlenme sıcaklığını artırdığı bildirilmiştir [107].

Tablo 1. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Kerosin (K)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	50 nm	%0,1-1	Oleik asit ve Twen 20 / 10 mL	Viskozimetre, kalorimetre, ısıl iletkenlik ve ısı transferi deney setleri	[15]
Dizel yakıtı (D)	Nano alüminyum (n-Al) parçacıkları	40-60 nm	30-50 cc/L	-	4 zamanlı tek silindirli 583 cc su soğutmalı deney motoru ve Horiba egzoz gazı analizörü	[16]
Dizel yakıtı (D)	Nano alüminyum (n-Al) parçacıkları	<50 nm	25-75 ppm	-	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[17]
Dizel yakıtı (D)	Nano alüminyum (n-Al) parçacıkları	5-150 nm	%0,5	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[18]
Dizel yakıtı (D)	Nano gümüş (n-Ag) parçacıkları	30-50 nm	10, 20, 40 ppm	Sorbitan mono oleat / %2	4 zamanlı 6 silindirli 5,8L hava soğutmalı dizel motoru ve egzoz gazı analizörü	[19]
Dizel yakıtı (D)	Nano seryum (n-Ce) parçacıkları	40 nm	25 ve 100 ppm	-	4 zamanlı 4 silindirli 4,5L turbo dizel motoru ve egzoz gazı analizörü	[20]
Dizel yakıtı (D)	Nano platin (n-Pt) ve nano Seryum (n-Ce) parçacıkları	-	Pt: 0,1 ppm Ce: 7,5 ppm Pt: 0,7 ppm Ce:42ppm	-	4 zamanlı 6 silindirli 6,6L turbo dizel motoru	[21]
Dizel yakıtı (D)	Nano demir (n-Fe), nano alüminyum (n-Al) ve nano bor (n-B) parçacıkları	Fe: 30-60 nm Al: 5-150 nm B: 80-100 nm	%0,5	Span 80 / %0,1	Damlacık yanmalı fırın deney seti, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel motoru ve AGS 688 egzoz gazı analizörü	[22]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	40 nm	1 g/L ve 1,5 g/L	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[23]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	60-70 nm	25 ve 50 ppm	Span 80 / %0,1	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, bomba kalorimetresi, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[24]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	40 nm	250-1000 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[25]
Dizel yakıtı (D)	Çinko oksit (ZnO)	24-71 nm	250 ve 500 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[26]
Dizel yakıtı (D)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	10 nm	%0,4-0,8	-	4 silindirli 4 zamanlı 1,8 L dizel motoru ve Testo 350 egzoz gazı analizörü	[27]
Dizel yakıtı (D)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	10 nm	%0,4-0,8	-	4 zamanlı tek silindirli 1,473L dizel deney motoru, Testo 350 egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[28]
Dizel yakıtı (D)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	70-120 nm	150 ve 300 mg/L	-	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü	[29]
Dizel yakıtı (D)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	10 nm	%4, 8 ve 12	-	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, IR200 egzoz gazı analizörü ve NETEL is ölçüm cihazı	[30]

Tablo 2. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Dizel yakıtı (D)	Demir-II oksit (Fe ₂ O ₃) ve Demir-III oksit (Fe ₃ O ₄)	24–65 nm	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[31]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) ve Bakır oksit (CuO)	Al ₂ O ₃ : 27–43 nm CuO: 30–50 nm	25–100 ppm	Sodyum silikat ve Davran C / %1–3	Yoğunlukölçer, viskozimetre, 4 zamanlı tek silindirli 395 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[32]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) ve Kobalt oksit (Co ₃ O ₄)	Al ₂ O ₃ : 40 nm Co ₃ O ₄ : 50 nm	15, 25 ve 35 ppm Toplam 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[33]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) ve Titanyum oksit (TiO ₂)	Al ₂ O ₃ : 27–43 nm TiO ₂ : 30–50 nm	100, 200 ve 300 ppm	–	ALARKO ALM–5 brülörlü konut tipi ters alev borulu sıcak su kazanı ve TESTO 350 XL egzoz gazı analizörü	[34]
Dizel yakıtı (D)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃), Grafit oksit (GO) ve Seryum oksit (CeO ₂)	GO: 500 nm Al ₂ O ₃ : 100 nm CeO ₂ : 200 nm	%0,01 ve 0,1	–	Damlacık yanmalı fırın deney seti	[35]
Dizel yakıtı (D)	Mangan oksit (MnO) ve Bakır oksit (CuO)	50–210 nm	200 mg/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[36]
Dizel yakıtı (D)	Mangan dioksit (MnO ₂) ve Magnezyum oksit (MgO)	–	8 µmol/L ve 16 µmol/L	–	4 zamanlı tek silindirli 395 cc su soğutmalı Lombardini dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[37]
Dizel yakıtı (D)	Mangan dioksit (MnO ₂) Magnezyum oksit (MgO) Bakır oksit (CuO) ve Kalsiyum oksit (CaO)	–	52,4 µmol/L (700 ppm)	–	Saybolt viskozimetre, Pensky Martins alevlenme noktası cihazı, dizel motoru ve TESTO350 egzoz gazı analizörü	[38]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	40–50 nm	5–40 ppm	Dodecenyl Succinic Anhydride / %2–5	Viskozimetre, Cleveland alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 669 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[39]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	32 nm	25 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[40]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	50 cc/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[41]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	5–10 nm	0,05–5 mL/L	–	4 zamanlı tek silindirli 406 cc dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[42]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	25 ppm	–	4 zamanlı 3 silindirli 1984 cc hava soğutmalı dizel motoru ve egzoz gazı analizörü	[43]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	16–27 nm	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü	[44]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	10, 20, 30 ve 40 ppm	–	4 silindirli 4 zamanlı su soğutmalı dizel motoru ve Orsat egzoz gazı analizörü	[45]

Tablo 3. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)		25 ve 50 ppm	Dodecenyl Succinic Anhydride / %2-5	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[46]
Dizel yakıtı (D)	Seryum oksit (CeO ₂)	-	50 cc/L	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[47]
Dizel yakıtı (D)	Titanyum oksit (TiO ₂)	-	%0,2	-	4 silindirli 2982 cc dizel motorlu pikap, şasi dinamometresi ve TESTO350 egzoz gazı analizörü	[48]
Dizel yakıtı (D)	Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler (ÇTKNT)	2-50 nm	25 ve 50 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[49]
%15 su içeren dizel emülsiyon yakıtı (DW15)	Nano alüminyum (n-Al)	51 nm	25, 50 ve 100 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[50]
%0,5-2 su içeren dizel emülsiyon yakıtı (DWX)	Nano alüminyum (n-Al) ve nano Silikon (n-Si)	n-Al: 5-145 nm n-Si: 5-140 nm	%0,1	Span80 ve Triton X-100 / -	Anton Parr yoğunlukölçer, Herzog HCP852 viskozimetre, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü	[51]
%15 su içeren dizel emülsiyon yakıtı (DW15)	Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler (ÇTKNT)	-	50, 100 ve 150 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[52]
%20 su içeren dizel emülsiyon yakıtı (DW20)	Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler (ÇTKNT)	-	50, 100 ve 150 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[53]
%5 ve 10 su içeren dizel emülsiyon yakıtı (DWX)	Flyash	-	%3-6	Span 80 ve Tween 80 / -	4 zamanlı 2 silindirli 1323 cc su soğutmalı dizel motoru ve AVL egzoz gazı analizörü	[54]
n-dekan ve etanol yakıt karışımı	Alüminyum (Al) nano parçacıkları	-	-	-	Matematiksel model	[55]
Dizel ve %10 etanol yakıt karışımı (DE10)	Seryum oksit (CeO ₂)	-	10, 15 ve 20 g/L	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü	[56]
Dizel ve %15 etanol yakıt karışımı (DE15)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) ve Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	<40 nm	50 ve 75 ppm	Span 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü, Bosch is ölçüm cihazı	[57]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Nano alüminyum (n-Al) parçacıkları	51 nm	25 ve 50 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[58]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Nano alüminyum-magnezyum (n-Al-Mg) parçacıkları	38-70 nm	100 mg/L	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı deney motoru ve AVL egzoz gazı analizörü	[59]
Honge yağı biyodizel yakıtı (HBD)	Nano gümüş (n-Ag), nano grafit (n-G) parçacıkları	Gümüş: 150 nm Grafıt: 22-26nm	25-50 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve Hartridge is ölçüm cihazı	[60]

Tablo 4. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Honge yağı biyodizel yakıtı (HBD)	Nano gümüş (n-Ag) parçacıkları	<150 nm	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve Hartridge is ölçüm cihazı	[61]
Honge yağı biyodizel yakıtı (HBD)	Nano grafit (n-G) parçacıkları	–	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[62]
Pamuk yağı biyodizel yakıtı (PAMBD)	Nano mangan (n-Mn) parçacıkları	–	4, 8, 12, 16 µmol/L	–	4 zamanlı tek silindirli 395 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, EGAS egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[63]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) ve Seryum oksit (CeO ₂)	Al ₂ O ₃ : 51 nm CeO ₂ : 32 nm	30 ppm/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü, AVL is ölçüm cihazı Hidrometre, Redwood viskozimetre, Bomba	[64]
Neem yağı biyodizel yakıtı (NBD)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	18 nm	100–300 ppm	–	kalorimetresi, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[65]
Mustard yağı biyodizel yakıtı (MBD)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	10 nm	%1	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[66]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Demir oksit (Fe ₂ O ₃) ve Kobalt oksit (Co ₃ O ₄)	–	10–60 ppm	–	Redwood viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 669 cc su soğutmalı dizel deney motoru	[67]
Atık yağ biyodizel yakıtı (ATBD)	Demir klorür (FeCl ₃)	–	5–50 µmol/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[68]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Kobalt oksit (Co ₃ O ₄)	38–70 nm	100 mg/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve AVL egzoz gaz analizörü	[59]
Calophyllum yağı biyodizel yakıtı (CALBD)	Kobalt oksit (Co ₃ O ₄) ve Titanyum oksit (TiO ₂)	100 nm	150 mg/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü	[69]
Pongamia yağı biyodizel yakıtı (PONBD)	Rodyum oksit (Rh ₂ O ₃)	100 nm	–	Cetyl trimethylamm onium bromide / –	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[70]
Sardalya balık yağı biyodizel yakıtı (SBBBD)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	25 ppm	–	3 silindirli 4 zamanlı 1984 cc hava soğutmalı dizel motoru ve egzoz gazı analizörü	[43]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Seryum oksit (CeO ₂)	10–20 nm	20–80ppm	–	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 669 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[71]
Neem yağı biyodizel yakıtı (NBD)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	30 ppm	–	–	[72]
Jatropha yağı biyodizel yakıtı (JBD)	Karbon Nano Tüpler (KNT)	–	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[58]

Tablo 5. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Neem yağı biyodizel yakıtı (NBD)	Karbon Nano Tüpler (KNT)	–	100–300 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[73]
Ayçiçeği yağı biyodizel yakıtı (AYBD)	Karbon Nano Tüpler (KNT)	15 nm	100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[74]
Honge yağı biyodizel yakıtı (HBD)	Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler (ÇTKNT)	ÇTKNT: 10–30 nm	25–50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve Hartridge is ölçüm cihazı	[60]
Honge yağı biyodizel yakıtı (HBD)	Çok Tabakalı Karbon Nano Tüpler (ÇTKNT)	10–30 nm	25 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve Hartridge is ölçüm cihazı	[75]
%15 su içeren Jatropha yağı biyodizel emülsiyon yakıtı (JBDW15)	Nano alüminyum (n–Al)	51 nm	50 ve 100 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[76]
%15 su içeren Kanola yağı biyodizel emülsiyon yakıtı (KABDW15)	Seryum oksit (CeO ₂)	50 nm	50 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL gaz analizörü ve AVL 437 is ölçüm cihazı	[77]
%5 su içeren Limon otu yağı biyodizel emülsiyon yakıtı (LOBDW5)	Seryum oksit (CeO ₂)	16 nm	30 ppm	Span 80 / %2	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve AVL 415 is ölçüm cihazı	[78]
%5 su içeren Jatropha yağı biyodizel emülsiyon yakıtı (JBDW5)	Karbon nano tüpler (KNT)	16 nm	25, 50 ve 100 ppm	Span 80 ve Tween 80 / %2	Yoğunlukölçer, vizkozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[79]
Jatropha yağı biyodizel ve %20 etanol karışımı (JBDE20)	Titanyum oksit (TiO ₂) ve Zirkonyum oksit (ZrO ₂)	–	(TiO ₂): 25ppm (ZrO ₂): 25ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, Qrotech 402 gaz analizörü ve AVL 437 is ölçüm cihazı	[80]
Dizel, %10 Soya yağı biyodizel karışımı (DSBD10)	Nano bakır (n–Cu) parçacıkları	40–50 nm	%1,5	Span 80 / 10 mL	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL gaz analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[14]
Dizel, %2–50 Palmiye yağı biyodizel yakıt karışımları (DPALBDX)	Biyopolimer nano parçacıkları	–	0,04, 0,08 ve 0,16 g/L	–	4 silindirli 2982 cc dizel motorlu pikap, şasi dinamometresi ve TESTO350 gaz analizörü	[81]
Dizel, %20 Atık yağ biyodizel karışımı (DATBD20)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	30–50 nm	25, 50 ve 75 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü	[82]
Dizel, %20 Poultry Litter yağı biyodizel karışımı (DPLBD20)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	20–50 nm	30 mg/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, Qrotech gaz analizörü ve AVL 437 is ölçüm cihazı	[83]

Tablo 6. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Dizel, %25 Zizipus Jujube yağı biyodizel karışımı (DZJBD25)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	<100 nm	25 ve 50 ppm	–	Hidrometre, viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, Bomba kalorimetresi, 4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[84]
Dizel, %20 Üzüm çekirdeği yağı biyodizel karışımı (DUCBD20)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	<100 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL gaz analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[85]
Dizel, %20–30 Pamuk yağı biyodizel karışımları (DPAMBDX)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	20 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve is ölçüm cihazı	[86]
Dizel, %20–30 Soya yağı biyodizel karışımları (DSBDX)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	20 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve is ölçüm cihazı	[87]
Dizel, %10–30 Domuz yağı biyodizel karışımları (DDBDX)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	–	100 ppm	–	Vizkozimetre, alevlenme noktası cihazı, kalorimetre, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[88]
Dizel, %20 Jatropha biyodizel emülsiyon yakıtı (DJBD20W)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	–	50, 100 ve 150 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve AVL gaz analizörü	[89]
Dizel, %20 Mahua yağı biyodizel karışımı (DMBD20)	Alüminyum oksit (Al_2O_3) ve Demir oksit (Fe_3O_4)	Al_2O_3 : 32–47 nm Fe_3O_4 : 24–65 nm	40 ve 80 ppm	Cetyl trimethylamm onium bromide / –	Hidrometre, viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, kalorimetre, 4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[90]
Dizel, %20 Keten tohumu yağı biyodizel karışımı (DKEBD20)	Bakır oksit (CuO)	–	40, 80 ve 120 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[91]
Dizel, %20 Mahua yağı biyodizel karışımı (DMBD20)	Bakır oksit (CuO)	–	50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[92]
Dizel, %20 Mahua yağı biyodizel karışımı (DMBD20)	Bakır oksit (CuO) ve Magnezyum oksit (MgO)	–	50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[93]
Dizel, %20 Vaks biyodizel karışımı (DVBD20)	Çinko oksit (ZnO)	<100 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[94]
Dizel, %20 Üzüm çekirdeği yağı biyodizel karışımı (DUCBD20)	Çinko oksit (ZnO)	<100 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL gaz analizörü ve Bosch is ölçüm cihazı	[95]

Tablo 7. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Dizel, %20 Annona yağı biyodizel karışımı (DANBD20)	Çinko oksit (ZnO)	<100 nm	20 ve 50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL 444 gaz analizörü ve AVL 437 is ölçüm cihazı	[96]
Dizel, %20 Kanola yağı biyodizel karışımı (DKABD20)	Çinko oksit (ZnO)	<100 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[97]
Dizel, Polanga yağı biyodizel karışımları (DPOLBDX)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄)	<50 nm	100, 200 ve 300 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[98]
Dizel, %60 Tall yağı biyodizel karışımı (DTBD60)	Mangan oksit (MnO ₂) ve Nikel oksit (NiO)	–	8 µmol/L ve 12 µmol/L	–	4 zamanlı tek silindirli 395 cc su soğutmalı Lombardini dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[99]
Dizel, %10–30 Pongamia yağı biyodizel karışımları (DPONBDX)	Rodyum oksit (Rh ₂ O ₃)	100 nm	–	Cetyl trimethylamm onium bromide / –	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[100]
Dizel, %20–80 Palmiye yağı biyodizel karışımları (DPALBDX)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	3 mg/L	–	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[101]
Dizel, %20 Pirinç yağı biyodizel karışımı (DPIRBD20)	Seryum oksit (CeO ₂)	<25 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[102]
Dizel, %20–50 Pamuk yağı biyodizel karışımları (DPAMBDX)	Seryum oksit (CeO ₂)	30–50 nm	0,04 ve 0,08 g/L	–	4 zamanlı tek silindirli 325 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[103]
Dizel, %5–20 biyodizel karışımları (DBDX)	Seryum oksit (CeO ₂)	10–30 nm	5, 15, 25 ppm	–	Viskozimetre, alevlenme noktası test cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 232 cc hava soğutmalı dizel deney motoru	[104]
Dizel, %20 Üzüm çekirdeği yağı biyodizel karışımı (DUCBD20)	Seryum oksit (CeO ₂)	<25 nm	50 ve 100 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[105]
Dizel, %20 Neem yağı biyodizel karışımı (DNBD20)	Seryum oksit (CeO ₂)	50 nm	50 ppm	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[106]
Dizel, %15 Jatropha yağı biyodizel karışımı (DJBD15)	Seryum oksit (CeO ₂)	–	50 cc/L	–	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[47]

Tablo 8. Nano materyallerin yakıt katkısı olarak kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalar
(Studies in the literature that use nano materials as fuel additive)

Ana yakıt	Nanomateriyal türü	Nanomateriyal boyutu	Nanomateriyal miktarı	Sümfaktan miktarı	Test ekipmanı	Kaynak
Dizel, %5-15 Jatropha biyodizel karışımları (DJBDX)	Seryum zirkonyum oksit (Ce-Zr-O ₂)	20-30 nm	2,5-15 ppm	Oleik asit / %0,01-0,1	Piknometre, vizkozimetre, Cleveland alevlenme noktası cihazı, 4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[107]
Dizel, %20 Pongamia yağı biyodizel karışımı (DPONBD20)	Titanyum oksit (TiO ₂) ve Kalsiyum Karbonat(CaCO ₃)	-	100 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL egzoz gazı analizörü ve is ölçüm cihazı	[108]
Dizel, %2-100 Palmiye yağı biyodizel karışımları (DPALBDX)	Titanyum oksit (TiO ₂)	-	%0,1-0,2	-	CRDI yakıt sistemine sahip 4 zamanlı 4 silindirli 2982 cc dizel motorlu pikap şasi dinamometresi ve TESTO350 gaz analizörü	[109]
Dizel, %20 Neem yağı biyodizel karışımı (DBD20)	Titanyum oksit (TiO ₂)	-	250 ve 500 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru, AVL 444 gaz analizörü ve Bosch is ölçüm cihazı	[110]
Dizel, %5-20 Atık yağ biyodizel karışımları (DATBDX)	Seryum oksit (CeO ₂) ve Çok Tabakalı Karbon Nanotüp (ÇTKNT) bileşimi	CeO ₂ < 25 nm ÇKKNT: 7-20 nm	30, 60 ve 90 ppm	-	4 zamanlı 6 silindirli 11,58L su soğutmalı DI dizel motoru, AVL Dicom4000 gaz analizörü ve AVL 415S is ölçüm cihazı	[111]
Dizel, %20 Prosopis Juliflora yağı biyodizel karışımı (DPJBD20)	Seryum oksit (CeO ₂) ve Çok Tabakalı Karbon Nanotüp (ÇTKNT) bileşimi	<100 nm	50 ve 100 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 661 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL gaz analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[112]
Dizel, %20 Atık yağ biyodizel karışımı (DATBD20)	Çok Tabakalı Karbon Nanotüp (ÇTKNT)	10-20 nm	2,5-30 ppm	-	4 zamanlı 6 silindirli 5,8 L su soğutmalı DI dizel motoru ve AVL DiGas4000 gaz analizörü	[113]
Dizel, %10 Pamuk yağı biyodizel ve %4 etanol karışımı (DPAMBD10E4)	Nano alüminyum (n-Al) parçacıkları	20 nm	100 mg/L	İzopropanol / %1	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru ve egzoz gazı analizörü	[114]
Dizel, Soya yağı biyodizel ve etanol karışımı (DSBD15E4)	Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	50 nm	100 mg/L	İzopropanol / %1	4 zamanlı tek silindirli 661 cc hava soğutmalı dizel deney motoru ve AVL 444 gaz analizörü	[115]
Dizel, Castor yağı biyodizel ve etanol yakıt karışımı (DCASBDE)	Seryum oksit (CeO ₂)	32 nm	25 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL Digas egzoz gazı analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[40]
Dizel, biyodizel ve etanol yakıt karışımı (DBD10E20)	Seryum oksit (CeO ₂) ve Karbon Nano Tüpler (KNT)	CeO ₂ : 32 nm KNT: 100 nm	25, 50 ve 100 ppm	-	4 zamanlı tek silindirli 553 cc su soğutmalı dizel deney motoru, AVL Digas gaz analizörü ve AVL is ölçüm cihazı	[116]

Tablo 9. Nanomateryal içerikli katkıların yakıt özelliklerine etkileri (Effects of nano materials on fuel properties)

Ana yakıt+katkı	Yoğunluk (%değişim)	Viskozite (%değişim)	Alevlenme Sıcaklığı (%değişim)	Tutuşma Sıcaklığı (%değişim)	Setan Sayısı (%değişim)	Isıl değer (%değişim)	Kaynak
K+%0,1-1 Al ₂ O ₃	-	↑ 2-37	-	-	-	-	[15]
D+25-75 ppm n-Al	↓ 4,7-12,5	→	↑ 3,6-12,7	-	-	-	[17]
D+25-50 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,2-0,3	↑ 1,5-2,7	↑ 4,1-8,3	↑ 3,8-7,7	-	↑ 0,3-0,6	[24]
D+250-1000 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,2-1,1	-	↑ 1,9-15,4	↑ 4,8-22,6	-	↑ 0,09-0,6	[25]
D+150-300 mg/L Fe ₃ O ₄	↑ 0,3-0,6	↑ 3,7-11,1	↓ 10,9-14,5	↓ 5-17	↑ 4,2-10,6	-	[29]
D+25-50 ppm Fe ₂ O ₃	↑ 0,5-1	-	↑ 8,6-15,5	-	↑ 3-5,5	↑ 0,8-1,5	[31]
D+25-100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,08-0,12	↓ 0-2,8	↑ 10-15	-	↑ 0,9-1,5	-	[32]
D+50 ppm CuO	↑ 0,07	↓ 2,8	↑ 10	-	↑ 1,3	-	[32]
D+300 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,1	↓ 2,8	↓ 5,7	-	-	↑ 0,04	[34]
D+300 ppm TiO ₂	↑ 0,09	↓ 2,8	↓ 1,9	-	-	↑ 0,005	[34]
D+%0,01-0,1 GO	↓ 3,1 ↑ 0,03	↓ 31-8,6	↓ 14,4-4,8	-	↓ 2,2-13	-	[34]
D+%0,01-0,1 Al ₂ O ₃	↓ 3,1 ↑ 0,09	↓ 32,5 ↑ 6,5	↓ 16,9-1,2	-	↓ 6,5-13	-	[35]
D+%0,01-0,1 CeO ₂	↓ 3,1 ↑ 0,1	↓ 33,1-0,6	↓ 18-12	-	↓ 8,7-10,8	-	[35]
D+200 mg/L CuO	-	↓ 17	↓ 20	↓ 14,8	-	-	[36]
D+200 mg/L MnO	-	↓ 6,3	↓ 8,3	↓ 3,7	-	-	[36]
D+8-16µmol/L MnO	-	↓ 3,8-11,5	↓ 6,8-12,3	-	-	-	[37]
D+8-16µmol/L MgO	-	↓ 7,7-15,4	↓ 5,5-10,9	-	-	-	[37]
D+54,2µmol/L MnO	-	↓ 5,2	↓ 5,3	-	↑ 4,4	-	[38]
D+ 50 cc/L CeO ₂	↑ 0,2	-	↑ 14,8	↑ 16,1	-	↑ 0,36	[41]
SBBD+25 ppm/L CeO ₂	↑ 0,4	↑ 4,4	↑ 229,3	↑ 172	↑ 24,4	↑ 21,3	[43]
D+ 50 cc/L CeO ₂	↑ 0,2	-	↑ 14,8	↑ 16,1	-	↑ 0,36	[47]
D+%0,2 TiO ₂	↑ 0,02	↑ 2,2	↑ 4,4	→	-	-	[48]
D+25-50 ppm ÇTKNT	↑ 0,5-0,98	-	↑ 5,2-12	-	↑ 2,9-5,5	↑ 1-1,7	[49]
DW15S2+25-100 ppm n-Al	↑ 0,07-0,13	↑ 0,8-2,2	↑ 1,6-4,8	-	↑ 11,6-16,3	↑ 1,3-2,8	[50]
DW1+%0,1 n-Al	↑ 1,7	↑ 19,3	-	-	↑ 7,8	↓ 1,3	[51]
DW1+%0,1 n-Si	↑ 1,4	↑ 20,2	-	-	↑ 11,7	↓ 1,3	[51]
DW15S2+ 50-150 ppm ÇTKNT	↑ 3-3,7	↑ 83,5-91,2	↑ 17,2-24,1	↑ 11,3-19,7	↑ 2,1-6	↓ 9,3-4,6	[52]
DW20S2+ 50-150 ppm ÇTKNT	↑ 4-4,5	↑ 104,8-109,9	↑ 18,9-36,2	↑ 16,9-29,6	↑ 0-4,2	↓ 9,3-6,5	[53]
JBD+30 ppm/L CeO ₂	↑ 0,3	↑ 4,8	↓ 10,6	-	-	↓ 2	[54]
JBD+25-50 ppm n-Al	↑ 0,1-0,2	↑ 1,1-1,9	↓ 1,2-3,5	-	↑ 1,9-3,8	↑ 0,9-1,7	[58]
JBD+25-50 ppm KNT	↑ 0,05-0,3	↑ 0,7-1,5	↓ 2,3-4,7	-	↑ 3,8-7,5	↑ 1,6-2,3	[58]
HBD+50 ppm n-Ag	↑ 2,8	↑ 5,3	↓ 1,2	-	-	↓ 2,9	[60]
HBD+50 ppm n-G	↑ 2,3	↑ 3,6	↓ 7	-	-	↓ 1,4	[60]
HBD+50 ppm ÇTKNT	↑ 2,3	↑ 3,6	↓ 3,5	-	-	↓ 2,5	[60]
HBD+25-50 ppm n-Ag	↑ 2,3-3,4	↑ 3,6	↓ 14,4-15,5	-	-	↓ 3-1,7	[61]
HBD+25-50 ppm n-G	↑ 1,7-2,3	↑ 3,6	↓ 5,9-7	-	-	↓ 2,8-1,4	[62]
PAMBD+4-16 µmol/L n-Mn	↓ 0,7-2,5	↓ 3,2-9,1	↓ 2,3-8	-	-	↑ 2,2-2,8	[63]
JBD+30 ppm/L Al ₂ O ₃	↑ 0,2	↑ 3,6	↓ 8,2	-	-	↓ 1,5	[64]
NBD+100-300ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,1-0,2	↑ 0,2-0,4	↑ 0,5-1,1	-	↑ 0-1,9	↑ 0,5-0,6	[65]
MBD+%1 Fe ₃ O ₄	↑ 5	↑ 3,7	↑ 2,1	-	↑ 8	↑ 2,8	[66]
ATBD+5-50 µmol/L FeCl ₃	↓ 0,02-0,1	↓ 0,2-1,1	↓ 0-2,9	↓ 0-3,7	↑ 2,1-5,4	↑ 0,2-1	[66]
NBD+30 ppm/L CeO ₂	↓ 2	↓ 24,5	↓ 3,9	-	↑ 0,9	↑ 3,9	[72]
NBD+100-300 ppm KNT	↓ 0,11-0,22	↑ 0,2-0,4	↑ 0,5-1,1	-	↑ 0-1,9	↑ 0,5-0,6	[73]
AYBD+100ppm KNT	↑ 9,6	↑ 13,4	↑ 40	↑ 29,3	↑ 5,9	↓ 0,97	[74]
HBD+25-50 ppm ÇTKNT	↑ 2-2,3	↑ 1,8-3,6	↓ 2,3-3,5	-	-	↓ 4-2,5	[75]
LOBDW5S2+30 ppm CeO ₂	↑ 1,1	↑ 6,8	↓ 9,5	-	↑ 5,4	↑ 1,1	[78]
JBDW5S2+25-100 ppm KNT	↓ 0,3-0,04	↑ 0,5-9,4	↓ 7,1-12,8	-	↑ 5,9-9,8	↑ 0,6-2,1	[79]
DZJBD25+25-50 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,3-0,8	↓ 4,8-10,9	↑ 1,8-3,6	-	↑ 3,6-5,4	-	[84]

Tablo 10. Nanomateryal içerikli katkıların yakıt özelliklerine etkileri (Effects of nano materials on fuel properties)

Ana yakıt+katkı	Yoğunluk (%değişim)	Viskozite (%değişim)	Alevlenme Sıcaklığı (%değişim)	Tutuşma Sıcaklığı (%değişim)	Setan Sayısı (%değişim)	Isıl değer (%değişim)	Kaynak
DUCBD20+50–100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 1,3–2,7	↑ 1,7	↑ 67–77	–	↑ 4,3–6,5	↑ 4,4–6,9	[85]
DPAMBDX+50–100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,8–1,4	–	–	–	–	–	[86]
DDBDX+100 ppm Al ₂ O ₃	↑ 0,3–0,8	↑ 0,6–1,1	↑ 4,1–5,1	↑ 4–5	–	↓ 0,7–2,3	[88]
DMBD20+50 ppm CuO	↓ 1	↓ 8,5	↓ 10,4	↓ 10,8	–	↑ 1,4	[92]
DVBD20+50–100 ppm ZnO	↓ 0,12–0,24	↑ 6,4	↓ 2,2	–	↑ 1,7	↑ 0,5	[94]
DUCBD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,36	↑ 4,8–5,9	↑ 6–10,8	↑ 4,4–11,1	–	↑ 2,9–4,7	[95]
DANBD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,36	↑ 2,6–7,9	↑ 1,9–5,7	↑ 3,4–6,9	↑ 5,5	↑ 0,5–1,1	[96]
DKABD20+50–100 ppm ZnO	↑ 0,12–0,35	↑ 2,7–8,1	↑ 2,1–4,2	–	↑ 1,8	↑ 1–1,5	[97]
DTBD60+8–12 µmol/L MnO ₂	–	↓ 9,4–18,8	↓ 7,9–8,5	–	–	–	[98]
DTBD60+8–12 µmol/L NiO	–	↓ 7,5–9,4	↓ 3,4–10,2	–	–	–	[98]
DPIRBD20+50–100 ppm CeO ₂	↑ 0,2 ↓ 0,2	↓ 7–9,9	↓ 10,2 ↑ 15,3	–	–	↑ 1,2–0,7	[102]
DPAMBDX+0,04–0,08 g/L CeO ₂	–	↓ 6,9–12,9	↓ 10,6–16,9	–	–	↑ 0,3–1,1	[103]
DUCBD20+50–100 ppm CeO ₂	↑ 0,3–0,6	↑ 0,03–0,09	↑ 2,6	↑ 4,4	–	↑ 3,7–5,2	[105]
DNBD20+50 ppm CeO ₂	↑ 0,2	↓ 0,8	↑ 1,5	–	↑ 0,4	↑ 0,09	[106]
DJBDX+2,5–15 ppm Ce–Zr–O ₂	↑ 0,58	↑ 1,45	↑ 2,7–5,6	–	–	–	[107]
DPONBD20+100 ppm CaCO ₃	↑ 9,5	↑ 9	–	↑ 29,7	–	↓ 4,2	[108]
DPONBD20+100 ppm TiO ₂	↑ 12	↑ 8,5	–	↑ 25	–	↓ 0,4	[108]
DPALBDX+%0,1–0,2 TiO ₂	–	↑ 0,9–7,1	↑ 4,3–15,1 ↓ 1,2–8,8	–	↑ 0,2–2,5 ↓ 0,6–1,1	↑ 1,4–18,9 ↓ 1–12,8	[109]
DPJBD20+50–100 ppm CeO ₂ ve ÇTKNT bileşimi	↑ 0,001	→	↑ 3–4,5	–	↓ 1,6 ↑ 0,2	–	[112]
DPAMBD10E4S1+100 mg/L n–Al	↓ 0,12	↓ 9,4	↑ 2	→	–	↓ 1,4	[114]
DSBD10E4S1+100 mg/L Al ₂ O ₃	↓ 0,8	↓ 8,9	–	–	↑ 23,8	↓ 1	[115]

Dizel–biyodizel karışımlarına TiO₂ katılmasının bazı yakıt özelliklerinde artış sağlarken [108] bazılarında ise düşüş sağladığı bildirilmiştir [109]. Dizel–biyodizel karışımına CeO₂ ile birlikte ÇTKNT katılmasının setan sayısını düşürürken tutuşma sıcaklığında artış sağladığı belirlenmiştir [112]. Etanol içeren dizel–biyodizel karışımlarına n–Al [114] ve Al₂O₃ [115] katılması yoğunluk, viskozite ve ısıl değerde azalmaya neden olduğu n–Al katkısının tutuşma sıcaklığını [114] ve Al₂O₃ katkısının ise setan sayısını artırdığı [115] belirlenmiştir.

4. NANO MATERYAL İÇERİKLİ KATKILARIN YANMA KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF NANO MATERIALS ON COMBUSTION CHARACTERISTICS)

4.1. Nano Materyallerin Dizel Yakıtının Yanma Karakteristiklerine Etkileri

(Effects of Nano Materials on Combustion Characteristics of Diesel Fuel)

Al–CuO ve Al–MoO₃ gibi nano materyal katkıların stokiyometrik karışımlarda kullanılmasının alev hızında bir

miktar artış sağladığı tespit edilmiştir [10]. Dizel yakıtına 75 ppm n-Al katılmasının maksimum silindir basıncında yaklaşık %21,4 oranında artış sağladığı belirlenmiştir [15]. Dizel yakıtına %0,5 Al₂O₃ ve %0,1 sürfaktan katılmasının maksimum silindir basıncında yaklaşık %11,3 oranında düşüşe neden olduğu bildirilmiştir [18]. Dizel yakıtına 10–40 ppm n-Ag ve %2 sürfaktan katılmasının tutuşma gecikmesi süresinde düşüşe neden olduğu bildirilmiştir [19]. Jung vd. [20] dizel yakıtına n-Ce parçacıkları katılmasının yanma sırasında yakıtın oksidasyon oranını artırmasına rağmen aktivasyon enerjisine bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Mehta vd. [22] dizel yakıtına %0,5 n-Al, n-Fe, n-B ile %0,1 sürfaktan katılmasının tutuşma gecikmesi süresinde düşüşe, alev periyodu süresinin uzamasına ve silindir basıncında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Raj vd. [24] dizel yakıtına 25 ve 50 ppm nano Al₂O₃ ve %0,1 sürfaktan katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltıp yanmayı iyileştirdiğini, maksimum silindir basıncında %1,3–3,2 oranında artış, ısı yayılım oranında ise %14,2–14,6 oranında düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Selvaganapthy vd. [26] dizel yakıtına 250 ve 500 ppm ZnO katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncında %9,5–13 ve ısı yayılım oranında %14,7–25 oranlarında artış sağladığını bildirmişlerdir. Mahendrarman vd. [29] dizel yakıtına 150 ve 300 mg/L Fe₃O₄ katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncında %6,6–9,4 oranında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Gumus vd. [32] dizel yakıtına 25–100 ppm Al₂O₃ ve CuO katılmasının kendiliğinden tutuşma sıcaklığını düşürerek tutuşma gecikmesi süresinde iyileşme (azalma) sağladığını Al₂O₃ katkısının CuO katkısına göre daha yüksek kendiliğinden tutuşma sıcaklığına sahip olduğunu belirlemişlerdir. George vd. [33] dizel yakıtına Al₂O₃ ve Co₃O₄ katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Sungur vd. [35] dizel yakıtına Al₂O₃ ve TiO₂ katılmasının maksimum yanma sıcaklığını düşürdüğünü ve yanmayı iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Lenin vd. [36] dizel yakıtına CuO ve MnO katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak yanma verimini artırdığını bildirmişlerdir. Selvan vd. [40] dizel yakıtına CeO₂ katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncını artırdığını ve ısı yayılım oranını azalttığını tespit etmişlerdir. Venkatesan vd. [41] dizel yakıtına CeO₂ katılmasının maksimum silindir basıncında az miktarda düşüşe ısı yayılım oranında ise artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Narasiman vd. [43] dizel yakıtına CeO₂ katılmasının tutuşma gecikmesi süresini, maksimum silindir basıncını ve ilk yanma fazında ısı yayılım oranını artırdığını bildirmişlerdir. Thirumal vd. [46] dizel yakıtına CeO₂ katılmasının tutuşma gecikmesi süresi artırdığını, ısı yayılımını geciktirerek azalttığını ve maksimum silindir basıncını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Venkatesan ve Kadires [47] dizel yakıtına CeO₂ katkısının yanma sırasında mikro-patlamalar oluşturarak ısı yayılım oranını artırdığını bildirmişlerdir. Aalam vd. [49] dizel yakıtına ÇTKNT katılmasının silindir basıncı ve ısı yayılım oranının artırdığını bildirmişlerdir. Basha ve Annand [50] %15 su içeren dizel emülsiyon yakıtı n-Al parçacıkları

katılmasının tutuşma gecikmesi süresi, maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Mehta vd. [51] %0,5–2 su içeren dizel emülsiyon yakıtına n-Al ve n-Si parçacıkları katılmasının maksimum silindir basıncını artırdığını bildirmişlerdir. Singh and Bharj, %15 [52] ve %20 [53] su içeren dizel emülsiyon yakıtına ÇTKNT katılmasının basınç artış oranı, ısı yayılım oranı ve gürlüğü seviyesinde düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir.

4.2. Nano Materyallerin Biyodizel Yakıtların Yanma Karakteristiklerine Etkileri

(Effects of Nano Materials on Combustion Characteristics of Biodiesel Fuels)

Basha ve Annand [58] Jatropha yağı biyodizel yakıtına n-Al parçacıkları katılmasının tutuşma gecikmesi süresi, maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu belirlemişlerdir. Banapurmath vd. [60], [61] Honge yağı biyodizel yakıtına n-G ve n-Al parçacıkları katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Çelik [63] Pamuk yağı biyodizel yakıtına 12 µmol/L oranında n-Mn parçacıkları katkısının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında artışa neden olduğunu tespit etmiştir. Arockiasamy ve Anand [64] Jatropha yağı biyodizel yakıtına Al₂O₃ ve CeO₂ katılmasının maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu belirlemişlerdir. Balaji ve Cheralathan [65] Neem yağı biyodizel yakıtına Al₂O₃ katılmasının tutuşma gecikmesi süresi, maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Seryum (Ce), seryum–demir (Ce–Fe), platin (Pt), platin–seryum (Pt–Ce), demir (Fe), mangan (Mn), kalsiyum (Ca), bakır (Cu) gibi nano metallerin, CuO, CuCl₂, CoCl₂, FeCl₃ and CuSO₄ gibi nano metal oksitlerin çeşitli türden biyodizel yakıtlara katılmasının silindir basıncı ve ısı yayılım oranında artış [8], tutuşma gecikmesi süresinde ise düşüş sağladığı bildirilmiştir [66]. Basha ve Annand [76] %15 su içeren Jatropha yağı biyodizel emülsiyon yakıtına n-Al parçacıkları katılmasının tutuşma gecikmesi süresi, maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Anbarasu [77] %15 su içeren Kanola yağı biyodizel emülsiyon yakıtına CeO₂ katılmasının tutuşma gecikmesi süresi, maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında bir miktar düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Annamalai vd. [78] %5 su içeren Limon otu yağı biyodizel emülsiyon yakıtına CeO₂ katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranında düşüşe neden olduğunu bildirmişlerdir. Basha ve Annand [79] %5 su içeren Jatropha yağı biyodizel emülsiyon yakıtına KNT katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak maksimum silindir basıncında %4,5–9,5 oranında düşüşe neden olduğunu benzer değişimin ısı yayılım oranında da gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Venu ve Madhavan [80] %20 etanol içeren Jatropha yağı biyodizel yakıtı karışımına n-Ti katkısının maksimum silindir basıncında %1,3 oranında ve ısı yayılım oranında %3,1 oranında düşüşe, n-Zr

katkısının ise ısı yayılım oranında %3,4 oranında artışa ve maksimum silindir basıncında %3,4 oranında düşüşe neden olduğunu belirlemiştir.

4.3. Nano Materyallerin Dizel-Biyodizel Karışımlarının Yanma Karakteristiklerine Etkileri (Effects of Nano Materials on Combustion Characteristics of Diesel-Biodiesel Blends)

Kumar vd. [82] %20 atık yağ biyodizel-dizel karışımına Al_2O_3 katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltıp yanmayı iyileştirerek maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Ramesh vd. [83] %20 Poultry Litter yağı biyodizel-dizel karışımına Al_2O_3 katılmasının püskürtme sırasında yakıt atomizasyonunu iyileştirmesi ve hızlı buharlaşma sayesinde yanmayı iyileştirerek maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını düşürdüğünü bildirmiştir. Aalam vd. [84] %25 Zizipus Jujube yağı biyodizel karışımına Al_2O_3 katılmasının tutuşma gecikmesi süresini kısaltıp yanmayı iyileştirerek maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Karthikeyan vd. [85] %20 üzüm çekirdeği yağı biyodizel-dizel karışımına Al_2O_3 katılmasının tutuşma özelliklerini iyileştirip yanmayı daha erken başlatarak maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını düşürdüğünü bildirmiştir. Aalam ve Saravanan [90] %20 Mahua yağı biyodizel-dizel karışımına Fe_3O_4 ve Al_2O_3 katılmasının maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Karthikeyan vd. [97] %20 kanola yağı biyodizel-dizel karışımına ZnO katkısının tutuşma gecikmesi süresini kısaltıp yanmayı iyileştirerek maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Karthikeyan vd. [102] %20 pirinç yağı biyodizel-dizel karışımına CeO_2 katılmasının tutuşma özelliklerini iyileştirip yanmayı daha erken başlatarak maksimum silindir basıncını düşürdüğünü ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Karthikeyan vd. [105] %20 üzüm çekirdeği yağı biyodizel-dizel karışımına CeO_2 katılmasının ilk yanma fazında yanma hızını artırarak ısı yayılım oranında artışa neden olduğunu ancak tutuşma gecikmesi süresinin kısılması sonucu maksimum silindir basıncının azaldığını bildirmiştir. Sathiyamoorthi vd. [106] %20 Neem yağı biyodizel-dizel karışımına CeO_2 katılmasının yanma hızını artırarak maksimum silindir basıncını %8,2 oranında ve maksimum ısı yayılım oranını %18 oranında artırdığını belirlemiştir. Sahafi ve Velraj [115] %15 soya yağı biyodizel, %4 etanol ve %1 sürfaktan karışımına Al_2O_3 katılmasının yüksek alan/hacim oranı ve etanolün sağladığı oksijen sayesinde yanma hızını artırarak maksimum silindir basıncını ve ısı yayılım oranını artırdığını bildirmiştir. Selvan vd. [116] %10 biyodizel, %20 etanol karışımına CeO_2 ve KNT katılmasının yanma hızını artırarak maksimum silindir basıncını artırdığını ancak tutuşma gecikmesi süresinin kısılması sayesinde yanmanın daha erken başlayarak ısı yayılım oranının azaldığını belirlemiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, dizel, biyodizel, su içeren emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımları gibi dizel motor yakıtlarında nano

materyal içerikli katkıların kullanımı üzerine yapılmış çeşitli çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Yapılan bu derleme sonucunda çeşitli nano materyal içerikli katkıların dizel, biyodizel, emülsiyon yakıtları ve çeşitli yakıt karışımlarının özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılabilmesi görülmüştür. Elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

Nano materyal içerikli katkıların alevlenme noktası sıcaklığını artırarak yakıtın depolanması ve nakledilmesi hususunda bir avantaj oluşturmaktadır. Nano materyal içerikli katkıların akma ve bulutlanma noktası sıcaklıklarını düşürerek soğuk havalarda motorun ilk harekete geçişinin kolaylaşmasına katkı sağlamaktadır. Nano materyal içerikli katkıların artırılmış yüzey alanı/hacim oranı, artırılmış radyasyon/kütle transfer özellikleri ve daha iyi tutuşma özellikleri sayesinde yanmanın iyileşmesinde iyi bir katalizör görevi yapmaktadır [117]. Emülsiyon yakıtlara nano materyal içerikli katkıların katılmasının yanma sırasında mikro patlamalar meydana getirerek yanma odasında ikincil atomizasyon oluşturup [118] yanma verimini dolayısıyla motor performansını artırıp emisyonları azaltacağı belirtilmektedir [119]. Nano materyal içerikli katkıların aktivasyon enerjilerinin yüksek olması nedeniyle yanma odasındaki karbon birikintilerini yakarak [118] daha düşük HC ve is emisyonu sağlayabileceği belirtilmektedir [119]. Genel olarak nano materyal içerikli katkıların setan sayısı ve ısıl değeri iyileştirmektedir. Bu ise yanma verimini artırarak tam yanmanın gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır. Yoğunluk, viskozite ve alevlenme noktası sıcaklığı gibi özelliklerdeki artışlar ise düşük seviyelerdedir [120]. Nano materyal içerikli katkıların tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak yanmanın daha erken başlamasına ve yanma hızının ve veriminin artmasına katkı sağlamaktadır. Bunun sonucunda bazı çalışma sonuçlarında maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranının azaldığı bazılarında ise bunların arttığı görülmüştür. Nano materyal içerikli katkıların yakıt sistemi elemanlarına, motor elemanlarına ve egzoz gazı cihazlarına etkileri, ekonomiklik ve çevre etkileri açısından da değerlendirilmesi gerekir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Murugesan A., Umarani C., Subramanian R., Nedunchezian N., Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-a review, Renew Sustain Energy Rev, 13, 653-662, 2009.
2. Karabektas M., Ergen G., Hosoz M., Effects of the blends containing low ratios of alternative fuels on the performance and emission characteristics of a diesel engine, Fuel, 112, 537-541, 2013.
3. Dhar A., Kevin R., Agarwal A.K., Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DICI engine, Fuel Process Technol, 97, 118-129, 2012.
4. Sharma Y.C., Singh B., Development of bio diesel from karanja, a tree found in rural India, Fuel, 87, 1740-1742, 2008.

5. Chen K.S., Lin Y.C., Hsieh L.T., Lin L.F., Wu C.C., Saving energy and reducing pollution by use of emulsified palm-biodiesel blends with bio-solution additive, *Energy*, 35, 2043-2048, 2010.
6. Dantas Neto A.A., Fernandes M.R., Barros Neto E.L., Castro Dantas T.N., Moura M.C.P.A., Alternative fuels composed by blends of non ionic surfactant with diesel and water: engine performance and emissions, *Braz J Chem Eng*, 28 (3), 521-531, 2011.
7. Fu W.B., Hou L.Y., Wang L.P., Ma F.H., A study on ignition characteristics of emulsified oil containing flammable fuel, *Fuel Proces Technol*, 80, 9-21, 2003.
8. Imdadul H.K., Masjuki H.H., Kalam M.A., Zulkifli N.W.M., Rashed M.M., Rashedul H.K., Monirul I.M., Mosarof M.H., A comprehensive review on the assessment of fuel additive effects on combustion behavior in CI engine fuelled with diesel biodiesel blends, *RSC Adv*, 5, 67541-67567, 2015.
9. Shaafi T., Sairam K., Gopinath A., Kumaresan G., Velraj V., Effect of dispersion of various nano additives on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with diesel, biodiesel and blends-a review, *Renew Sustain Energy Rev*, 49, 563-573, 2015.
10. Dreizin E.L., Metal-based reactive nano materials, *Prog Energy Combust Sci*, 35, 141-167, 2009.
11. Senthilraja S., Karthikeyan M., Gangadevi R., Nanofluid applications in future automobiles: comprehensive review of existing data, *Nano-MicroLett*, 2 (4), 306-310, 2010.
12. Çiloğlu D., Bölükbaşı A., Çifci H., Experimental investigation of pool boiling heat transfer in nanofluids around spherical surfaces, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 405-415, 2015.
13. Çakır M.T., Improving the efficiency performance of heat pipes using alumina containing nano-fluids, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (4), 547-556, 2015.
14. Balamurugan K., Tamilvanan A., Anbarasu M., Akil M.S., Srihari S., Nano-copper additive for reducing NO_x emission in soya bean biodiesel-fuelled CI engine, *J Biofuels*, 4(1), 1-8, 2013.
15. Sonawane S., Patankar K., Fogla A., Puranik B., Bhandarkar U., Kumar S.S., An experimental investigation of thermo-physical properties and heat transfer performance of Al₂O₃-Aviation turbine fuel nano fluids, *Applied Thermal Engineering*, 31, 2841-2849, 2011.
16. Kao M.J., Ting C.C., Lin B.F., Tsung T.T., Aqueous aluminum nano fluid combustion in diesel fuel, *J Test Eval*, 36 (2), 1-5, 2008.
17. Babu K.R., Raja R.B., Theoretical and experimental validation of performance and emission characteristics of nano additive blended diesel engine, *Int J Res Aer Mech Eng* 3 (5), 18-31, 2015.
18. Mohan N., Sharma M., Singh R.C., Pandey R.K., Performance study of diesel engine using nanofuel, *International Journal of Advance Research and Innovation*, 3 (4), 665-668, 2015.
19. Saraee H.S., Jafarmadar S., Taghavifar H., Ashrafi S.J., Reduction of emissions and fuel consumption in a compression ignition engine using nanoparticles, *Int J Environ Sci Technol*, 12, 2245-2252, 2015.
20. Jung H., Kittelson D.B., Zachariah M.R., The influence of a cerium additive on ultrafine diesel particle emissions and kinetics of oxidation, *Combustion and Flame*, 142, 276-288, 2005.
21. Okuda T., Schauer J.J., Olson M.R., Shafer M.M., Rutter A.P., Walz K.A., Morschauer P.A., Effects of a platinum-cerium bimetallic fuel additive on the chemical composition of diesel engine exhaust particles, *Energy Fuels*, 23, 4974-4980, 2009.
22. Mehta R.N., Chakraborty M., Parikh P.A., Nano fuels: combustion, engine performance and emissions, *Fuel*, 120, 91-97, 2014.
23. Venkatesan S.P., Influence of aluminum oxide nano particle additive on performance and exhaust emissions of diesel engine, *American-Eur J Sci Res*, 10(2), 88-92, 2015.
24. Raj N.M., Gajendiran M., Pitchandi K., Nallusamy N., Investigation on aluminium oxide nano particles blended diesel fuel combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8 (3), 246-257, 2016.
25. Venkatesan S.P., Kadiresh P.N., Effects of nano-sized metal oxide additive on performance and exhaust emissions of CI engine, *Applied Mechanics and Materials*, 766-767, 389-395, 2015.
26. Selvaganapathy A., Sundar A., Kumaragurubaran B., Gopal P., An experimental investigation to study the effects of various nano particles with diesel on DI diesel engine, *ARPN Journal of Science and Technology*, 3 (1), 112-115, 2013.
27. Shafil M.B., Daneshvar F., Jahani N., Mobini K., Effect of ferro fluid on the performance and emission patterns of a four stroke diesel engine, *Adv Mech Eng*, ID529049, 5 sayfa, 2011.
28. Sarvestany N.S., Farzad A., Bajestan E.E., Mir M., Effects of magnetic nano fluid fuel combustion on the performance and emission characteristics, *J Dispers Sci Technol*, 35, 1745-1750, 2013.
29. Mahendrarvarman R., Sivakumar D.B., Sivakumar P., Experimental study on performance and emission characteristics of a direct injection compression ignition engine with Fe₃O₄ nanoparticles, *Advances in Natural and Applied Sciences*, 10 (4), 139-144, 2016.
30. Ramachandran S.B., Ferrofluid-diesel blend, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2 (5), 92-94, 2015.
31. Aalam C.S., Saravanan C.G., Premanand B., Influence of Iron (II, III) oxide nano-particles fuel additive on exhaust emissions and combustion characteristics of CRDI system assisted diesel engine, *Int J Adv Eng Res Sci*, 2 (3), 23-28, 2015.
32. Gumus S., Ozcan H., Ozbey M., Topaloglu B., Aluminum oxide and copper oxide nanodiesel fuel

- properties and usage in a compression ignition engine, *Fuel*, 163, 80-87, 2016.
33. George R.O., Franc S., James S.J., John M., Sebastian, G., An experimental analysis on synergetic effect of multiple nanoparticle blended diesel fuel on CI engine, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1 (12), 151-156, 2015.
 34. Sungur B., Topaloglu B., Ozcan H., Effects of nanoparticle additives to diesel on the combustion performance and emissions of a flame tube boiler, *Energy*, 113, 44-51, 2016.
 35. Ooi J.B., Ismail H.M., Swamy V., Wang X., Swain A.K., Rajanren J.R. Graphite oxide nanoparticles as diesel fuel additive for cleaner emission and lower fuel consumption, *Energy Fuels*, 30 (2), 1341-1353, 2016.
 36. Lenin M.A., Swaminathan M.R., Kumaresan G., Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nano fuel additive, *Fuel*, 109, 362-365, 2013.
 37. Keskin A., Guru M., Altiparmak D., Influence of metallic based fuel additives on performance and exhaust emissions of diesel engine, *Energy Convers Manag*, 52, 60-65, 2011.
 38. Guru M., Karakaya U., Altiparmak D., Alicilar A., Improvement of diesel fuel properties by using additives, *Energy Convers Manag*, 43, 1021-1025, 2002.
 39. Sajeevan A.C., Sajith V., Diesel engine emission reduction using catalytic nano-particles: an experimental investigation. *Adv Mech Eng*, ID 589382, 9 pages, 2013.
 40. Selvan V.A.M., Anand R.B., Udaykumar M., Effect of cerium oxide nano particle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine, *ARPN J Eng Appl Sci*, 4(7), 1-6, 2009.
 41. Venkatesan S.P., Kadiresh P.N., Kumar K.S. Experimental investigation of aqueous cerium oxide nano fluid blend in diesel engine, *Adv Mater Res*, 938, 286-291, 2014.
 42. Zhang J., Nazarenko Y., Zhang L., Calderon L., Lee K., Garfunkel E., Schwander S., Tetley T.D., Chung K.F., Porter A.E., Ryan M., Kipen H., Liyo P.J., Mainelis G., Impacts of a nanosized ceria additive on diesel engine emissions of particulate and gaseous pollutants, *Environ Sci Technol*, 47 (22), 13077-13085, 2013.
 43. Narasiman V., Jeyakumar S., Mani M., Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME biodiesel, *Bulletin of the JSME Journal of Thermal Science and Technology*, 10 (1), 1-9, 2015.
 44. Aalam C.S., Alagappan N., Cerium oxide nano particles as additive with diesel fuel on DI diesel engine, *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, 1 (2), 215-219, 2015.
 45. Samuel N., Shefeek M.K., Performance and emission characteristics of a CI engine with cerium oxide nanoparticles as additive to diesel, *International Journal of Science and Research*, 4 (7), 672-676, 2015.
 46. Thirumal B.J., Gunasekaran E.J., Loganathan, Saravanan C.G., Emission reduction from a diesel engine fueled by cerium oxide nano-additives using SCR with different metal oxides coated catalytic converter, *Journal of Engineering Science and Technology*, 10 (11), 1404-1421, 2015.
 47. Venkatesan S.P., Kadiresh P.N. Influence of an aqueous cerium oxide nanofluid fuel additive on performance and emission characteristics of a compression ignition engine, *International Journal of Ambient Energy*, 37 (1), 64-67, 2016.
 48. Fangsuwannarak K., Triratanasirichai K., Effect of metalloid compound and bio solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions, *Am J Appl Sci*, 10 (10), 1201-1213, 2013.
 49. Aalam C.S., Saravanan C.G., Kannan M., Experimental investigation on CRDI system assisted diesel engine fuelled by diesel with nanotube, *American Journal of Engineering and Applied Science*, 8 (3), 380-389, 2015.
 50. Basha S.J., Anand R.B., An experimental study in a CI engine using nano additives blended water-diesel emulsion fuel, *International Journal of Green Energy*, 8 (3), 332-348, 2011.
 51. Mehta R.N., Chakraborty M., Parikh P.A., Impact of hydrogen generated by splitting water with nano-silicon and nano-aluminum on diesel engine performance, *Int J Hydrogen Energy*, 39, 8098-8105, 2014.
 52. Singh N., Bharj R.S. Effect of CNT-emulsified fuel on performance, emission and combustion characteristics of four stroke diesel engine, *Int J Current Eng Tech*, 5 (1), 477-485, 2015.
 53. Singh N., Bharj R.S., Experimental investigation on the role of indigenous carbon nanotube emulsified fuel in a four-stroke diesel engine, *J Mechanical Engineering Science*, 230 (12), 2046-2059, 2016.
 54. Chaudhari S.M., Thakare S.V., Sontakke K.G., Khodke R.R., Effect of metal based additives on a CI engine fuelled with diesel and water, *Journal of Emerging Technologies Innovative Research*, 1(7), 783-788, 2014.
 55. Mehregan M., Moghiman M., Numerical investigation of effect of nano-aluminum addition on NO_x and CO pollutants emission in liquid fuels combustion, *Int J Mater Mech Manuf*, 2(1), 60-63, 2014.
 56. Manikandan R., Sethuraman N., Experimental investigation of nano additive ceric oxide (CeO₂)-ethanol blend on single cylinder four stroke diesel engine, *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 3(2), 24-28, 2014.
 57. Ganesh P.R., Reddy K.H. Experimental investigation of performance and emission characteristics on a diesel engine using aqueous aluminium oxide and iron oxide nanoparticles as additives, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(3), 1747-1751, 2016.
 58. Basha J.S., Anand R.B. The influence of nano additive blended biodiesel fuel on the working characteristics of a diesel engine, *J Braz Soc Mech Sci Eng*, 35, 257-264, 2013.
 59. Ganesh D., Gowrishankar G., Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI

- engine, IEEE, ID 978-1-4244-8165-1/11, 3453–3459, 2011.
60. Banapurmath N.R., Sankaran R., Tumbal A.V., Narasimhalu T.N., Hunashyal A.M., Ayachit N.H., Experimental investigation on direct injection diesel engine fuelled with graphene, silver and multi walled carbon nano tubes biodiesel blended fuels, *Int J of Automot Eng Tech*, 3 (4), 129-138, 2014.
 61. Banapurmath N., Narasimhalu T., Hunshyal A., Sankaran R., Rabinal M.H., Ayachit N., Kittur R., Effect of silver nano-particle blended biodiesel and swirl on the performance of diesel engine combustion, *Int J Sustain Green Energy*, 3 (6), 150-157, 2014.
 62. Bhagwat V.A., Navadagi V., Dandavate A., Experimental investigation of performance and emission characteristics of CI engine using graphene nanoparticles as an additive in biodiesel, *International Engineering Research Journal, Special Issue 2*, 4726-4732, 2015.
 63. Çelik M., Combustion, performance and exhaust emission characteristics of organic based manganese addition to cotton methyl ester, *Applied Thermal Engineering*, 108, 1178-1189, 2016.
 64. Arockiasamy P., Anand R.B. Performance, combustion and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with nano particle blended jatropha biodiesel, *Period Polytech Mech Eng*, 59(2), 88-93, 2015.
 65. Balaji G., Cheralathan M., Influence of alumina oxide nanoparticles on the performance and emissions in a methyl ester of neem oil fuelled DI diesel engine, *Thermal Science, Online-First Issue*, 1-14.
 66. Yuvarajan D., Ramanan M.V. Effect of magnetite ferrofluid on the performance and emissions characteristics of diesel engine using methyl esters of mustard oil, *Arab J Sci Eng*, 41, 2023-2030, 2016.
 67. Amit, Kumar S., Impact on the performance of direct compression ignition engine by adding nano-particle in biodiesel, *Journal of Material Science and Mechanical Engineering*, 2(7), 7-9, 2015.
 68. Kannan G.R., Karvembu R., Anand R., Effect of metal based additive on performance emission and combustion characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel, *Appl Energy*, 88, 3694-3703, 2011.
 69. Jeryraj Kumar L., Anbarasu G., Elangovan T., Effects on nano additives on performance and emission characteristics of calophyllum inophyllum biodiesel, *International Journal of ChemTech Research*, 9(4), 210-219, 2016.
 70. Manibharathi S., Annadurai B., Chandraprakash R., Experimental investigation of CI engine performance by nano additive in biofuel, *Int J Sci Eng Tech Res*, 3 (12), 3303-3307, 2014.
 71. Sajith V., Sobhan C.B., Peterson G.P. Experimental investigations on the effects of cerium oxide nano particles fuel additives on biodiesel, *Adv Mech Eng*, ID 581407, 6, 2010.
 72. Rajalingam A., Jani S.P., Kumar A.S., Khan A.A., The effect in neem oil biodiesel properties due to the blending of cerium oxide nanoparticles, *International Journal for Research in Applied Science Engineering, Technology*, 4 (2), 290-293, 2016.
 73. Balaji G., Cheralathan M., Effect of CNT as additive with biodiesel on the performance and emission characteristics of a DI diesel engine, *International Journal of ChemTech Research*, 7 (3), 1230-1236, 2015.
 74. Thulasi G., Kandampalayam Ponnusamy A., Rathanasamy R., Palaniappan S.K., Palanisamy S.K. Reduction of harmful nitrogen oxide emission from low heat rejection diesel engine using carbon nanotubes, *Thermal Science*, 20 (4), 1181-1187, 2016.
 75. Tewari P., Doijode E., Banapurmath N.R., Yaliwal V.S., Experimental investigations on a diesel engine fuelled with multiwalled carbon nanotubes blended biodiesel fuels, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3), 72-76, 2013.
 76. Basha J.S., Anand R.B. Role of nano additive blended biodiesel emulsion fuel on the working characteristics of a diesel engine, *J Renew Sustain Energy*, 3, 1-17, 2011.
 77. Anbarasu A. ve Karthikeyan A., Performance and emission characteristics of a diesel engine using cerium oxide nanoparticle blended biodiesel emulsion fuel, *ASCE J Energy Eng*, 1-7, 2015.
 78. Annamalai M., Dhinesh B., Nanthagopal K., SivaramaKrishnan P., Lalvani J.I.J.R., Parthasarathy M., An assessment on performance, combustion and emission behavior of a diesel engine powered by ceria nanoparticle blended emulsified biofuel, *Energy Conversion and Management*, 123, 372-380, 2016.
 79. Basha J.S., Anand R.B., Performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using carbon nano tubes blended jatropha methyl ester emulsions, *Alex Eng J*, 53, 259-273, 2014.
 80. Venu H., Madhavan V., Effect of nano additives (titanium and zirconium oxides) and diethyl ether on biodiesel-ethanol fuelled CI engine. *Journal of Mechanical Science Technology*, 30 (5), 2361-2368, 2016.
 81. Fangsuwannarak K., Wanriko P., Effect of bio-polymer additive on the fuel properties of palm biodiesel and on engine performance analysis and exhaust emission. *Energy Procedia*, 100, 227-236, 2016.
 82. Kumar V.N., Venkatesh N.M., Alagumurthi N., Influence of aluminum oxide Al_2O_3 nano particles blended with waste cooking oil in the performance, emission and combustion characteristics on a DI diesel engine, *Journal of Advanced Engineering Research*, 3 (1), 66-71, 2016.
 83. Ramesh D.K., Dhananjaya Kumar J.L., Hemanth Kumar S.G., Namith V., Parashuram B.J., Sharath S., Study on effects of alumina nanoparticles as additive with poultry litter biodiesel on performance, combustion and emission characteristic of diesel engine, *Materials Today*, 338, 1-7, 2016.
 84. Aalam C.S., Saravanan C.G., Kannan M., Experimental investigations on a CRDI system assisted diesel engine fuelled with aluminium oxide nanoparticles blended biodiesel, *Alexandria Engineering Journal*, 54 (3), 351-358, 2015.

85. Karthikeyan S., Elango A., Silaimani S.M., Prathima A., Role of Al_2O_3 nano additive in GSO biodiesel on the working characteristics of a CI engine, *Indian Journal of Chemical Technology*, 21, 285-289, 2014.
86. Ghogare P., Kale N.W., Experimental investigation on single cylinder diesel engine fuelled with cotton seed biodiesel blends with nano additives, *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, 17-22, 2016.
87. Ghogare P., Kale N.W., Experimental investigation on single cylinder diesel engine fuelled with soya bean biodiesel blends with nano additives, *International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology*, 4 (9), 247-257, 2016.
88. Sanjay K.C., Shreyas, Pinto V., Gafoor S.S.A., Biju T., Raju K., Effect of alumina nanoparticles on the performance and emission characteristics of CI engine fuelled with lard oil methyl ester blends, *American Journal of Materials Science*, 6 (4A), 94-98, 2016.
89. Prakash P.J., Reddy S.S.K., Kesavulu P., Suresh A., Experimental investigation on rhombus grooved piston with jatropha biodiesel and Al_2O_3 nano fluid, *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering*, 1(6), 44-49, 2016.
90. Aalam C.S., Saravanan C.G. Performance enhancement of common-rail diesel engine using Al_2O_3 and Fe_3O_4 nanoparticles blended biodiesel, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(5), 1400-1410, 2015.
91. Jayanthi P., Srinivasa R.M. Effects of nanoparticles additives on performance and emissions characteristics of a DI diesel engine fuelled with biodiesel, *International Journal of Advances in Engineering Technology*, 9 (6), 689-695, 2016.
92. Chandrasekaran V., Arthanarisamy M., Nachiappan P., Dhanakotti S., Moorthy B., The role of nano additives for biodiesel and diesel blended transportation fuels. *Transportation Research Part D*, 46, 145-156, 2016.
93. Kumar C.V., Murugesan A., Rajasekaran T., Panneerselvam N., Experimental investigation on the effects of nano additives on Mahuca Indica methyl ester-diesel fuel blends in diesel engine, *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 7 (1), 120-130, 2017.
94. Karthikeyan S., Elango A., Prathima A., Performance and emission study on zinc oxide nano particles addition with pomoplion stearin wax biodiesel of CI engine, *J Sci Ind Res*, 73, 187-190, 2014.
95. Karthikeyan S., Elango A., Prathima A., An environmental effect of GSO methyl ester with ZnO additive fuelled marine engine. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43 (4), 564-570, 2014.
96. Silambarasan R., Senthil R., Effects of nano additives on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with Annona methyl ester, *Biofuels*, 1-7, 2016.
97. Karthikeyan S., Elango A., Prathima A., Diesel engine performance and emission analysis using canola oil methyl ester with the nano sized zinc oxide particles, *Indian Journal of Engineering Material Sciences*, 21, 83-87, 2014.
98. Santhanamuthu M., Chittibabu S., Tamizharasan T., Mani T.P., Evaluation of CI engine performance fuelled by diesel-polanga oil blends with iron oxide nano particles. *Int J Chem Tech Res*, 6 (2), 1299-1308, 2014.
99. Keskin A., Guru M., Altiparmak D., Biodiesel production from tall oil with synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions, *Fuel*, 86, 1139-1143, 2007.
100. Manibharathi S., Chandraprakash R., Annadurai B., Titus R., Experimental investigation of CI engine performance and emission characteristics by effect of nano fuel additives in pongamia pinnata biodiesel, *International Journal for Scientific Research Development*, 3 (1), 1043-1047, 2015.
101. Ingle S.S., Nandedkar V.M., Joshi, K.G., Experimental investigation of palm biodiesel with nanomaterial as a fuel additive on performance and emission of diesel engine, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (11), 19869-19879, 2016.
102. Karthikeyan S., Elango A., Prathima A., The effect of cerium oxide additive on the performance and emission characteristics of a CI engine operated with rice bran biodiesel and its blends, *International Journal of Green Energy*, 13 (3), 267-273, 2016.
103. Ramarao K., Rao C.J., Sreeramulu D., The experimental investigation on performance and emission characteristics of a single cylinder diesel engine using nano additives in diesel and biodiesel, *Indian Journal of Science and Technology*, 8 (29), 1-9, 2015.
104. Bafghi A.A.T., Bakhoda H., Chegeni F.K. Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel blends on the performance characteristics of a CI engine. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9 (8), 1507-1512, 2015.
105. Karthikeyan S., Elango A., Silaimani S.M., Prathima A., Performance, combustion end emission characteristic of a marine engine running on grape seed oil biodiesel with nano additive, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43 (12), 2315-2319, 2014.
106. Sathiyamoorthi R., Puviyarasan M., Kumar B.B., Joshua D.B. Effect of CeO_2 nano additive on performance and emissions of diesel engine fuelled by neem oil-biodiesel, *Int J Chem Sci*, 14 (2), 473-484, 2016.
107. Sajith V., Mohamed Jihad P.M., Development of stable cerium zirconium mixed oxide nano particle additive for emission reduction in biodiesel blends, *J Eng Tech*, 4 (2), 23-34, 2015.
108. D'Silva R., Vinoothan K., Binu K.G., Thirumaleshwara B., Raju K., Effect of titanium dioxide and calcium carbonate nanoadditives on the performance and emission characteristics of CI engine, *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 6 (5A), 28-31, 2016.

109. Fangsuwannarak K., Triratanasirichai K., Improvements of palm biodiesel properties by using nano-TiO₂ additive, emissions and engine performance, *Roman Rev Precis Mech Opt Mechatron*, 43, 111-118, 2013.
110. Prabhu L., Kumar S.S., Anderson A., Rajan K., Investigation on performance and emission analysis of TiO₂ nanoparticle as an additive for bio-diesel blends, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, Special Issue 7, 408-412, 2015.
111. Mirzajanzadeh M., Tabatabaei M., Ardjmand M., Rashidi A., Ghobadian B., Barkhi M., Pazouki M., A novel soluble nano-catalysts in diesel-biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions, *Fuel*, 139, 374-382, 2015.
112. Karthikeyan S., Prathima A., Emission analysis of the effect of doped nanoadditives on biofuel in a diesel engine, *Energy Sources Part A*, 38 (24), 3702-3708, 2016.
113. Ghafoori M., Ghobadian B., Najafi G., Layeghi M., Rashidi A., Mamat R., Effect of nano-particles on the performance and emission of a diesel engine using biodiesel-diesel blend, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 12, 3097-3108, 2015.
114. Madhukrishnaa N., Sivakumar D.B., Arulmozhi M., Chandrasekar M., Senthilkumar T., Performance and emission analysis of cotton seed oil biodiesel with alumina nanoparticle additive, *International Journal of Research Science and Engineering*, 1-6, 2016.
115. Shaafi T., Velraj R., Influence of alumina nano particles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel soybean biodiesel blend fuel: combustion, engine performance and emissions, *Renew Energy*, 80, 655-663, 2015.
116. Selvan V.A.M., Anand R.B., Udayakumar M., Effect of cerium oxide nano particles and carbon nano tubes as fuel-borne additives in diesterol blends on the performance, combustion and emission characteristics of a variable compression ratio engine, *Fuel*, 130: 160-167, 2014.
117. Jose M., Anand R.B. Studies on compression ignition engine to establish effects of injection pressure, compression ratio and nano additives-a review. *International Journal of Advances in Engineering Research*, 2 (4), 1-17, 2011.
118. Ghogardare S.V., Hudgikar S.R.K., Review on performance and emission characteristics of CI engine by using nanoparticles with blended biodiesel in diesel fuel, *International Engineering Research Journal*, 2 (6), 2120-2122, 2016.
119. Soni G.S., Rathod P.P., Goswami, J.J., Performance and emission characteristics of CI engine using diesel and biodiesel blends with nanoparticles as additive-A review study. *International Journal of Engineering Development and Research*, 3 (4), 879-884, 2015.
120. Khond V.W., Kriplani V.M., Effect of nano fluid additives on performances and emissions of emulsified diesel and biodiesel fueled stationary CI engine: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1338-1348, 2016.

