

Seryum Oksit (CeO₂) Nanopartikülü İlave Edilen Biyodizel-Dizel (B20) Karışımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması

Berkan AYDIN¹, Mehmet ÇELİK²

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Karabük.

*Sorumlu yazar e-posta: aydinberkaan@gmail.com
mehcelik@karabuk.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8803-1861>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3390-1716>

Geliş Tarihi: 04.04.2022

Kabul Tarihi: 16.06.2022

Öz

Biyodizel, yıllardır dizel yakıtı yerine kullanılabilecek bir potansiyele sahip alternatif yakıt olarak tanımlanmaktadır. Motorlarda, yanmadan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak, motor performansını arttırmak ve yakıt özelliklerini iyileştirmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Yakıt içerisine ilave edilen katkı maddeleri de bunlardan birisidir. Birçok araştırmacı daha önce dizel ve biyodizel yakıtına nanopartiküllerin eklenmesinin motor yanma özelliklerini iyileştirdiğini, yakıt tüketimini azaltarak motor verimliliği arttırıp ve emisyonları azalttığına dair çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilerek dizel yakıtı içerisine %20 (B20) oranında karıştırılmış, bu karışımın içerisine belirli oranlarında CeO₂ (seryum oksit) nanopartikül katkı maddesi ilave edilmiştir. Dizel+biyodizel (B20) yakıt karışımına 25-50-75-100 ppm oranlarında CeO₂ ilave edilerek elde edilen yakıtların motor performansı ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. CeO₂ kullanımı ile birlikte yakıtın ısı değerinde artış, viskozite ve yoğunluğunda azalma gözlemlenmiştir. Motor gücünde B20 yakıtına CeO₂ ilavesinin olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. B20 yakıtına göre 2800 dev/dk'da B20Ce100 yakıtında %12,58 güç artışı elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde CeO₂ konsantrasyonunun artması ile birlikte azalma gözlemlenmiştir. 1800 dev/dk'da B20 yakıtına göre B20Ce100 yakıtında özgül yakıt tüketiminde %7,44 azalma meydana gelirken, termik verim %2,69 artmıştır. Tam yanmayı destekleyen CeO₂ oranının artması ile birlikte egzoz gazı sıcaklıkları artmıştır. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dk'da B20 yakıtına göre B20Ce100 karışımında CO, HC ve is emisyonlarında sırasıyla %13,03-%17,17 ve %8.44 azalma elde edilirken, NO_x emisyonunda ise %8.82 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Biyodizel; CeO₂;
Nanopartikül; Motor
Performansı; Egzoz
Emisyonu

Investigation of Performance and Emissions Effect of Biodiesel-Diesel (B20) Mixture Added Cerium Oxide (CeO₂) Nanoparticle

Abstract

Biodiesel has been defined as an alternative fuel which has potential to be used instead of diesel fuel for years. Many methods are used to fuels used in engines to reduce air pollution caused by combustion, to increase engine performance and improve fuel properties. One of them is fuel additives which add in fuel. Many researchers have previously conducted studies that the addition of nanoparticles in diesel and biodiesel fuel improves engine combustion characteristics, reduces fuel consumption, increases engine efficiency and reduces emissions. In this study, biodiesel was produced with transesterification method from cottonseed and mixed into diesel fuel at rate of 20% (B20), and CeO₂ was added to this mixture at certain rates. Engine performance and emission characteristics of fuels obtained by adding 25-50-75-100 ppm CeO₂ to B20 fuel mixture were investigated. An increase of calorific value of fuel and decrease in viscosity were observed by using CeO₂. It was observed that addition of CeO₂ in B20, had positive effect on engine power. Compared to B20, power increase was achieved 12.58% with B20Ce100 at 2800 rpm. It was observed that the specific fuel consumption (SFC) values decreased with increase of CeO₂ concentration. While the SFC of B20Ce100 decreased by 7.44% compared to B20 at 1800 rpm, thermal efficiency increased by 2.69%. Exhaust gas temperatures increased with increase CeO₂ ratio

Keywords

Biodiesel; CeO₂;
Nanoparticles; Engine
Performance; Exhaust
Emissions

which supports complete combustion. Compared to B20 fuel, at 1800 rpm, where the maximum torque was obtained, CO, HC and smoke emissions decreased by 13.03%, 17.17% and 8.44%, respectively, while there was 8.82% increase in NO_x emissions in B20Ce100 mixture.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Otomobiller, teknoloji ile paralel olarak gelişmekte ve gün geçtikçe daha fazla insanın erişebileceği bir araç haline gelmektedir. Ancak, otomobil sayısındaki artış insanların hayatını kolaylaştırırken, tüketilen kaynaklar dünyanın dengesini bozmakta, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi sorunlara neden olmaktadır (Güneş 2021). Birçok ülke artan enerji talebini petrol türevi yakıtları kullanarak karşılamaktadır (Özer ve Bağatur 2021). Enerji kullanımının artmasıyla birlikte ihtiyacın büyük bir kısmının karşılandığı fosil yakıt rezervleri tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır (Köse vd. 2020). Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevresel ve ekonomik unsurlarla baş edebilmek ve yeni alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Aydın ve Çalışkan 2021). Motorlu araç üreticileri, araçlarını uluslararası anlaşmalar çerçevesinde emisyon kısıtlamaları kapsamında üretmekle yükümlüdür (Üstün 2021).

Dizel motorlar, ulaşımda ve küçük güç uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dizel motorlar; güvenilirliği, bulunabilirliği, güç verimliliği, yakıt ekonomisi, yüksek yanma verimliliği gibi nedenlerle tarım, ulaşım ve sanayi tarzı sektörlerle katkı sağlamıştır (Manikandan and Sethuraman 2014, Aghbashlo *et al.* 2017) Fakat dizel motorlar yüksek oranda NO_x, SO_x ve partikül madde emisyonlarına neden olmaktadır (Aghbashlo *et al.* 2017). Dizel yakıtına göre toksik birikim yapmayan ve emisyon değeri düşük yakıtlar çevre, tarım ve ekonomik kalkınma arasında bir denge sağlayacaktır. Fosil yakıtlara alternatif olarak bitki kaynaklı yağlardan elde edilen yakıtlara biyodizel denmektedir (Köse vd. 2020). Biyodizel, yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik olmayan bir yakıt olmasına rağmen, dizel yakıtına kıyasla, daha düşük ısı değeri, daha yüksek viskozite, daha zayıf soğuk akış özellikleri, daha yüksek akma noktası, daha düşük uçuculuk, daha düşük oksidasyon, düşük motor gücü ve yakıt tüketiminde

yüksek değişkenlik gibi çeşitli eksiklere sahiptir (Aghbashlo *et al.* 2017, Yusuf *et al.* 2022). Ayrıca biyodizelin yüksek viskozitesi motor parçalarının yağlanması ve yakıtın buharlaşması için uygun değildir. Bu durumun yakıtın eksik yanmasına neden olması muhtemeldir (Yusuf *et al.* 2022). Bu gibi nedenlerden dolayı, yakıt özelliklerini, dolayısıyla motor performansını arttırmak ve emisyonları azaltmak için birçok araştırma mevcuttur. Yakıt katkı maddeleri bu araştırmalardan birisidir (Karthikeyan *et al.* 2017) Son zamanlarda nanopartikül katkı maddeleri, motor performansını ve emisyon özelliklerini iyileştirmek için yenilikçi bir yakıt katkı maddesi olarak görülmektedir. Nanopartikül kullanan motor; emisyonlar, yanma ve yakıt özellikleri bakımından önemli avantaja sahiptir (Hoang 2021) Nanopartikül katkı maddesi, ilave edildiği yakıt karışımının viskozitesini azaltarak daha iyi kayganlık ve uçuculuk sergilemesini sağlamaktadır (Yusuf *et al.* 2022). Ayrıca, setan sayısı, ısı değeri, kinematik viskozite, parlama noktası, tutuşma gecikmesi, akma noktası ve yakıt damlacıklarına olan ısı transferi gibi özelliklerde de üstünlük sağlar (Khan *et al.* 2020, Gaur *et al.* 2022, Pandey *et al.* 2022). Boyutları 1-100 µm arasında değişen nanopartiküller bu özellikleri sayesinde olağanüstü özelliklere sahiptir. Motor performansını iyileştirmek ve egzoz emisyonlarını azaltmak için katkı maddeleri arasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Khan *et al.* 2020). Dizel motorlar için büyük bir katkı maddesi olma potansiyeli olan seryum oksit (CeO₂) nanopartikülleri, oksijen depolama ve iyi termal özelliklere sahiptir (Hoang 2021). Sathiyamoorthi vd, bir dizel motorda Neem yağından elde edilen biyodizel içerisine (BN20-%80 dizel ve %20 neem yağı biyodizeli) 50 ppm seryum oksit ilave ederek BN20 yakıtının performans, emisyon ve yanma özelliklerini incelemişler ve dizel yakıtı ile kıyaslamışlar. Nanopartikül katkı ilavesinin daha yüksek termik verim ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. Termik verimin dizel yakıtına kıyasla BN20 yakıtı ile %3,4 BN20 yakıtına kıyasla seryum

oksit ilaveli BN20 yakıtının ise %2,8 daha yüksek olduğunun belirtmişlerdir. İS, HC ve CO emisyonlarında önemli ölçüde azalma elde etmişlerdir. Seryum oksit ilaveli BN20 yakıtı için CO, HC ve İS emisyonu değerlerinde sırasıyla %3,4-%2,7 ve %4,4 azalma elde ettiklerini belirtmişlerdir (Sathiyamoorthi *et al.* 2016).

Patil vd, dizel+biyodizel karışımlarına; 10BSBCeO₂50 (%10 pamuk tohumu yağı+%90 dizel yakıtı) ve 20BSBCeO₂50 (%20 pamuk tohumu yağı+%80 dizel yakıtı) 50 ppm oranında CeO₂ ilave edilmiş ve deneyleri tek silindirli su soğutmalı bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir. Tüm performans ve emisyon parametreleri için 10CSBCeO₂50 yakıtının optimum yakıt olduğunu belirtmişlerdir. 10CSBCeO₂50 yakıtı ile 1,69 kW ile maksimum gücü elde ettiklerini belirtmişlerdir. Termik verimde 10CSB yakıtına kıyasla 10CSBCeO₂50 yakıtı için %5,99 artış gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketimini 10CSB yakıtına göre 10CSBCeO₂50 yakıtında %1,67 daha az elde ettiklerini belirtmişlerdir. 10CSBCeO₂50 yakıtının en yüksek egzoz gazı sıcaklığını verdiğini gözlemlenmiştir. Dizel yakıtına göre 10CSBCeO₂50 ve 20CSBCeO₂50 yakıt karışımları ile CO emisyonunda sırasıyla %32,19 ve %10,27 azalma elde etmişlerdir. HC emisyonlarında tüm karışımlar için benzer sonuçları elde etmişlerdir (Patil *et al.* 2018). Narasiman vd, sardalya yağı metil ester ve 25 ppm oranında seryum oksit nanopartikül katkısının bir dizel motorda kullanımının performans, emisyon ve yanma parametrelerine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri farklı yüklerde, sabit devirde ve tek silindirli dört zamanlı dizel motorunda gerçekleştirmişlerdir. SOME+CeO₂ yakıtının konsantrasyonunun artması ile birlikte egzoz gazı sıcaklıklarının arttığını, HC emisyonlarında en düşük değerleri elde etmişlerdir. SOME+CeO₂ yakıtının daha yüksek NO_x emisyonuna neden olduğunu gözlemlenmiştir (Narasiman *et al.* 2015).

Yakıt katkı maddeleri ile ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen bu alanda hala birçok problem bulunmaktadır. Ayrıca, metal oksit ve metal nanopartiküllerin kullanılmasıyla olası çevresel tehlikeler vardır. Genel olarak nanoteknolojinin gelişmesi ve farklı kullanımları çevre ve

nanomalzeme arasında kaçınılmaz etkileşimlere neden olmaktadır. Daha önceki çalışmaların sonuçlarına göre nanopartiküller, farklı kimyasal sistemlerin performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir, ancak metalik oksit nanopartiküllerin çevreye salınması birçok endişeye neden olmuştur (Heidari-Maleni *et al.* 2021). Nanopartiküllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan motor parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan deney düzeneği şematik olarak Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Deneyleri tam yükte ve 7 farklı motor devrinde yapılmış olup deney motorun teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Egzoz emisyonları Bosch-BEA 350 ve duman emisyonu Bosch-BEA 070 cihazları ile ölçülmüştür. Cihazların hassasiyetleri Çizelge 3'de verilmiştir. Yakıt olarak pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir (Aydın 2022).

Çizelge 1. Motorun teknik özellikleri.

Parametreler	Motor Özellikleri
Marka ve Model	Antor 3LD510
Motor Tipi	Direkt Enjeksiyonlu Dizel Motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	85 (mm)
Kurs	90 (mm)
Strok Hacmi	1510 (cm ³)
Sıkıştırma Oranı	17,5/1
Maksimum Motor Devri	3000 (dev/dk)
Maksimum Güç	12 kW (3000 dev/dk)
Maksimum Moment	32,8 Nm (1800 dev/dk)

Elde edilen biyodizel dizel yakıt içerisine hacimsel olarak %20 oranında ilave edilmiştir. Dizel+biyodizel (B20) yakıtı içerisine ilave edilen nanopartikül 20 nm boyutlarında, 0.8-1.1 g/cm³ öz kütleye (bulk) sahip, %99,98 hassasiyetinde olan Ege NanoTek marka CeO₂ katkı maddesi piyasadan temin edilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarına göre 25–50–75 ve 100 ppm oranlarında kütleli olarak B20 yakıtı içerisine karıştırılmıştır. Nanopartikül katkı maddesi 50 °C'de 45 dakika ultrasonik karıştırıcı ile yakıt içerisine homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Elde edilen yakıtların viskozite, yoğunluk, alt ısıl değer ve parlama noktası değerleri ASTM standartlarına göre belirlenmiştir. Yakıtların teknik özellikleri Çizelge 4'de verilmektedir. Yakıt içerisine ilave edilen

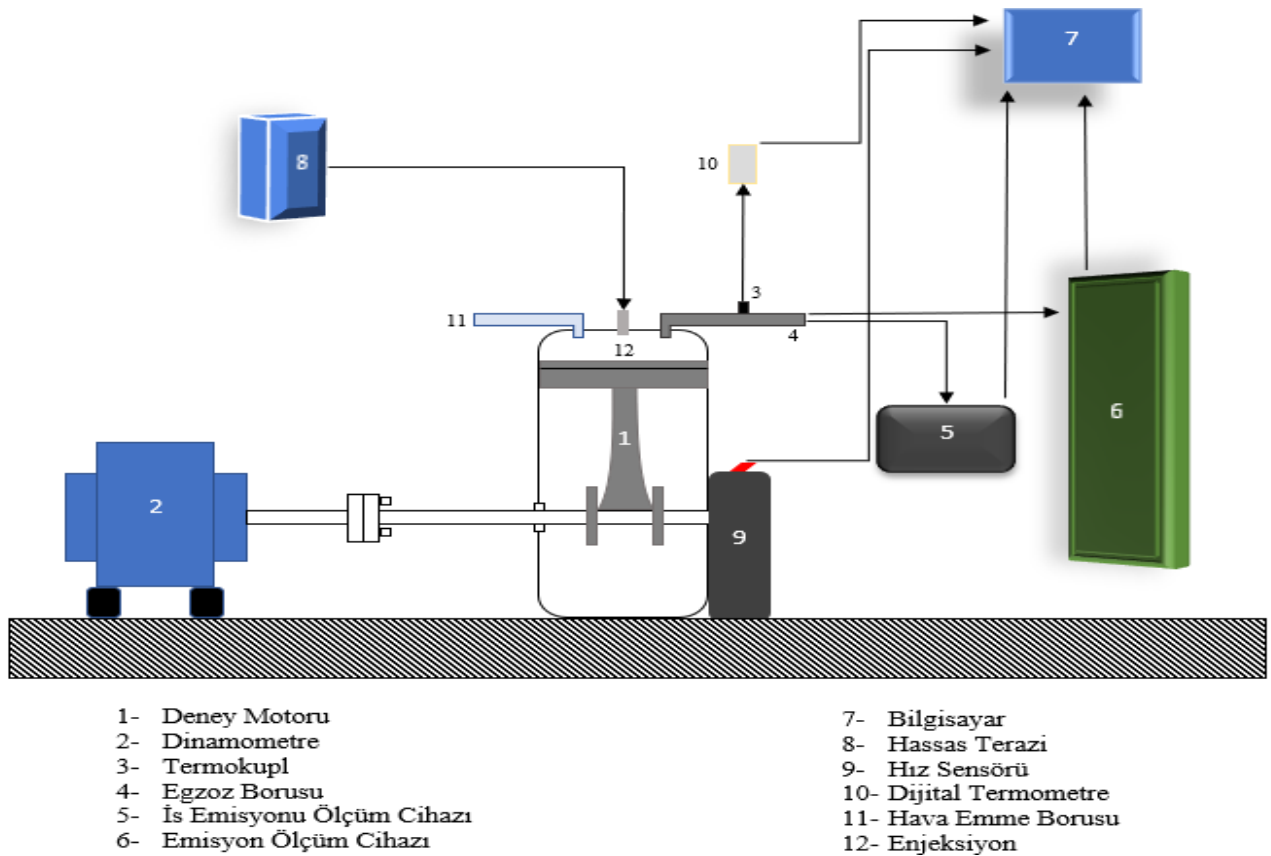
nanopartikül sebebiyle viskozite, yoğunluk ve parlama noktası değerleri azalmıştır. Katkı maddesinin oranına bağlı olarak bu azalma devam etmiştir. Yakıt içerisinde ki nanopartikül katkı maddesi oranının artışıyla birlikte alt ısıl değerinin de arttığı görülmüştür. Yakıtlara nanopartiküllerin eklenmesi, yakıtların termofiziksel özelliklerini (yani, termal iletkenlik, kütle yayılımı ve yüksek yüzey alanı-hacim oranı), viskozite ve yoğunluk gibi yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilir (Yugandharsai *et al.* 2021). Yakıt özelliklerinin etkileri göz önüne alındığında, daha yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın silindir içerisinde buharlaşmasını zorlaştırır. Bununla birlikte, yakıt damlacıklarının ortam havasıyla karışmasını, yakıt karışımlarının buharlaşma özelliklerini olumsuz etkiler. Yüksek viskozite ve bunun sonucu daha yüksek yüzey gerilimi nedeniyle püskürtülen yakıt damlacığı daha büyüktür. Yakıt püskürtme kalitesinin motor gücü, yanma verimliliği ve emisyon kontrolü üzerinde doğrudan etkisi vardır. Daha iyi atomizasyon kalitesi, yakıt ve havanın karışmasını teşvik edebilir ve bir dizel

motorun termik verimi artırarak emisyonları düşürmek için tam yanma ortamı sağlar (Geng *et al.* 2021).

Viskoziteyi azaltarak daha eksiksiz yanmaya ve dolayısıyla daha iyi yakıt kullanımına yol açan geliştirilmiş hava-yakıt karışımı sağlanmaktadır. Bu aynı zamanda karıştırma oranını artırarak ve atomizasyonu geliştirerek yakıt enjeksiyonunu etkilediğini doğrulamaktadır (Ahmed *et al.* 2020).

Çizelge 2. Birimler ve Kısaltmalar

Birimler ve Kısaltmalar	Açıklama
CeO ₂	Seryumoksit
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
NO _x	Azotoksit
HC	Hidrokarbon
O ₂	Oksijen
SO _x	Kükürtoksit
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi
ppm	Parts per million (Milyonda bir birim)
B20	%20 Biyodizel+%80 Dizel
B20Ce25	%20 Biyodizel içerisinde 25 ppm CeO ₂
B20Ce50	%20 Biyodizel içerisinde 50 ppm CeO ₂
B20Ce75	%20 Biyodizel içerisinde 75 ppm CeO ₂
B20Ce100	%20 Biyodizel içerisinde 100 ppm CeO ₂



Şekil 1. Deney düzeneğinin görünümü.

Çizelge 3. Emisyon cihazlarının özellikleri

Bileşenler	Bosch-Bea 350		Bosch Bea 070	
	Ölçüm Aralığı (Hacimsel)	Çözünürlük (Hacimsel)	Ölçülen Büyüklük	Ölçme Aralığı
CO	%0,0...10,0	%0,001	Opaklık Derecesi	0-%100
CO ₂	%0,0...18,0	%0,01	Absorpsiyon Katsayısı (k)	0-9,99 dev/dk
HC	0,9999 ppm	1 ppm	Özellik	Değer
NO	0...5000 ppm	1 ppm	Ölçüm Odası Uzunluğu	215 mm
O ₂	%0,0...22,0	%0,01	Ortam Havaasının Bağlı Nemi	<%90

Çizelge 4. Deney yakıtlarının özellikleri

Yakıtlar	Kinematik Viskozite (mm ² /s)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl Değer (MJ/kg)
B20	3,00	89	865	39,61
B20Ce25	2,95	86	855	39,71
B20Ce50	2,89	83	843	39,76
B20Ce75	2,78	81	836	39,88
B20Ce100	2,66	76	825	39,93

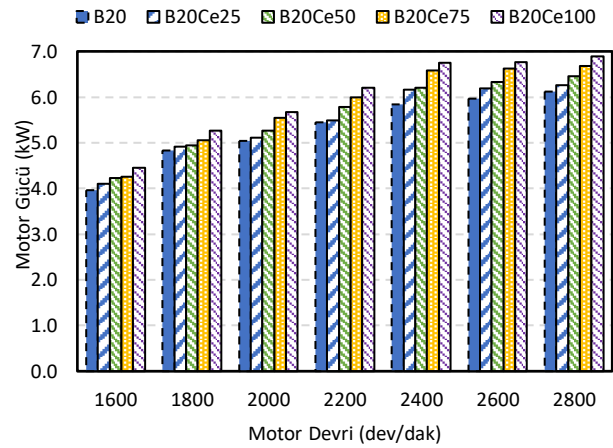
3. Bulgular

Deneyel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel+biyodizel (B20) yakıtı içerisine CeO₂ katkı maddesinin ilavesinin motor performans parametrelerine (motor gücü, motor momenti, özgül yakıt tüketimi, termik verim ve egzoz gazı sıcaklığı) ve egzoz emisyonlarına (CO, HC, NO_x ve is emisyonu) olan etkileri incelenmiştir.

3.1 Motor Gücü (Engine Power)

B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor gücüne olan etkisi Şekil 2'de gösterilmektedir. Alınan sonuçlara göre B20 yakıtında CeO₂ nanopartikül katkı ilavesinin motor gücünü olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Tüm devirlerde CeO₂ ilaveli yakıtın motor gücünün B20 yakıtındaki güce kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Maksimum motor gücü 2800 dev/dk'da elde edilmiştir. B20 yakıtında maksimum güç değeri 6,12 kW elde edilirken, nanopartikül katkı maddesi ilave edilen B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında motor gücünde sırasıyla %2,27-%5,45-%9,16 ve %12,58 artış meydana

gelmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilave edilen yakıtların düşük viskozitesi, daha yüksek mikro patlama oranı ile sonuçlanmıştır (Wang *et al.* 2022). Viskozite ve yoğunluktaki azalma sayesinde yakıtın atomizasyon özellikleri iyileşmiş ve bir katalizör olarak tam yanmayı destekleyen oksijen içeriği motor gücünü arttırmıştır. Yakıtın silindir içerisinde tamamen yanması daha fazla enerji üretimine dönüşmektedir (Bafghi *et al.* 2015, Mirzajanzadeh *et al.* 2015, Das and Sharma 2018).

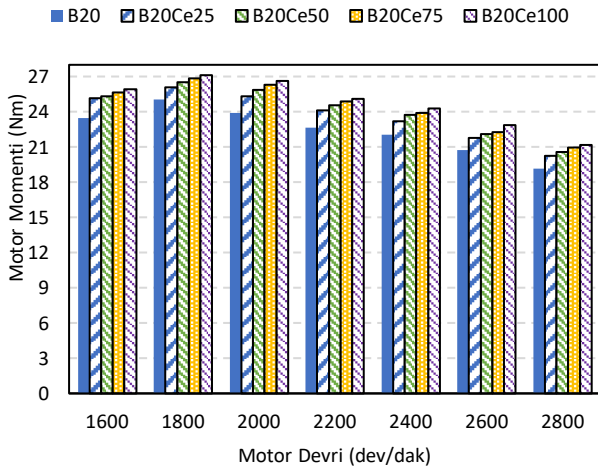


Şekil 2. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre motor gücündeki değişim.

3.2 Motor Momenti (Engine Torque)

Şekil 3'te B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor momentine olan etkisi gösterilmektedir. B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor momentini arttırdığı görülmüştür. Maksimum motor momenti değeri 1800 dev/dk'da elde edilmiştir. B20 yakıtında motor momenti değeri 25,03 Nm olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla 26,08 Nm, 26,50 Nm, 26,83 Nm ve 27,12 Nm olarak elde edilmiştir. B20 yakıtına göre en yüksek motor momenti değişimi %11,45 ile 2000 dev/dk'da B20Ce100 yakıtında olduğu gözlemlenmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi, yakıtın viskozite ve yoğunluğunu azaltırken, alt ısıl değeri arttırmıştır. Bu yakıtın silindir içerisinde daha iyi atomizasyon özellikleri göstererek hava/yakıt karışımının daha iyi olmasını sağlamaktadır. Yanmadaki artan kalite doğrudan gücü etkilemektedir (Yalival *et al.* 2016, Hazar *et al.* 2016, Agarwal *et al.* 2015, Norhafana *et al.* 2018).

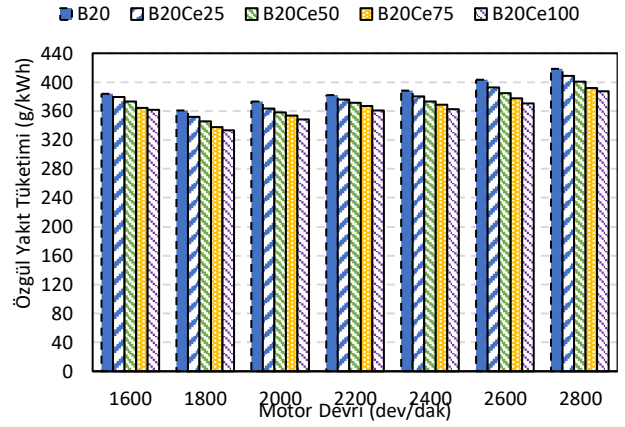
Katalizör görevi gören CeO₂ katkı maddesi, yanmamış HC ve CO'nun tam yanmasına neden olan bir zincir reaksiyonunda oksijen molekülü sağlaması nedeni ile moment üzerinde iyileştirici etkiye sahiptir. Yakıtın silindir içerisinde tamamen yanması, daha fazla enerji üretimine dönüştürülecektir. Ayrıca CeO₂ katkı maddesi, artık karbonun yanmasında ve polar olmayan bileşenlerin silindir duvarlarında çökeltme yapmasını önlemede önemli bir role sahiptir. Yakıtın içerisindeki nanopartikül, tortuları parçalamak, ayrıştırmak ve yeniden oluşumunu önlemek için patlayıcı özelliği olan milyonlarca nano-küme üretir. Böylelikle CeO₂ diğer türevlerinin yanı sıra karbon ve demir tortularının oluşumunu engellemektedir. Sonuç olarak motorun hareketli parçalarında sürtünmenin azalmasına, dolayısıyla yakıt tüketiminin azalarak, güç ve momentin artmasına neden olur (Mirzajanzadeh *et al.* 2015).



Şekil 3. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre motor momentindeki değişim.

3.3 Özgül Yakıt Tüketimi (Specific Fuel Consumption)

Özgül yakıt tüketimi, bir motorun yakıt tüketimini ve belirli bir zamanda üretilen gücü gösteren bir ölçüttür. İdeal yanma koşullarının olmadığı yanma şartlarında yakıt tüketimi daha fazla olmaktadır (Mirzajanzadeh *et al.* 2015). Enjeksiyon sistemi, yoğunluk, viskozite, alt ısı değer gibi yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri özgül yakıt tüketiminde büyük role sahiptir (Çelik 2018). Şekil 4'te B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin özgül yakıt tüketimine olan etkisi verilmiştir.



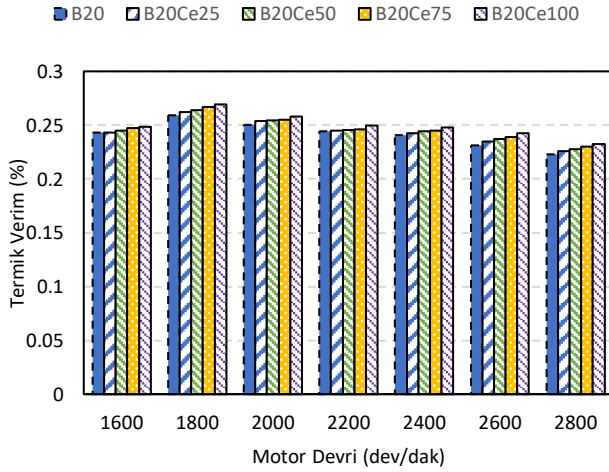
Şekil 4. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre özgül yakıt tüketimindeki değişim.

Alınan sonuçlara göre maksimum motor momentinin elde edildiği 1800 dev/dk'dan sonra artan motor devriyle özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıt içerisinde CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin bu özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Minimum ÖYT 1800 dev/dk'da elde edilmiştir. B20 yakıtında 360,45 g/kWh olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla %2,33-%4,07-%6,29 ve %7,44 azalma meydana gelmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilaveli yakıtlar, sahip oldukları yüksek ısı değerle birlikte, yakıt damlacıklarının boyutunda rol alan viskozite ve yoğunluktaki azalma sayesinde daha iyi atomizasyon özellikleri gösterir ve özgül yakıt tüketimi azalmasına katkıda bulunur (Çelik vd. 2022, Das and Sharma 2018). Yüksek sıcaklıklarda CeO₂ ayrışır ve aktif seryum atomlarını serbest bırakır. Bu da hidrojen oluşumuna yol açabilir ve yanma sürecini iyileştirir (Jiaqiang *et al.* 2018). Benzer bir şekilde seryum atomlarının açığa çıkması ile birlikte silindir duvarlarında yanmamış karbon kalıntılarının oluşumu azalır. Böylelikle piston ve silindiler arasında sürtünme azalır, motor verimli çalışmaya başlar ve özgül yakıt tüketimi azalır (Das and Sharma 2018, Khalife *et al.* 2017, Saraee *et al.* 2017, Sajith *et al.* 2009). Yüksek viskoziteli yakıtlar enjeksiyon sırasında daha büyük damlacıklar oluşturma eğilimindedir. Bu da zayıf yanmaya neden olur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi karışımın viskozitesini düşürür. Böylelikle yüksek katalitik aktivite sergileyen seryum oksit daha uzun ve daha eksiksiz

yanmayı teşvik eder (Sajith *et al.* 2009, Sujesh *et al.* 2020).

3.4 Termik Verim (Thermal Efficiency)

Biyodizel yüksek yoğunluğa sahip bir yakıttır. Düşük enjeksiyon basınçlarında yakıt damlacıkları büyük sprey oluşumunu meydana getirir ve atomizasyonun kötü olmasına sebep olmaktadır. Yakıt içerisine nanopartiküllerin ilave edilmesi yoğunluğu ve viskoziteyi olumlu yönde etkilemektedir. Daha yüksek yüzey alanı/hacim oranı sayesinde ısı transferi artmakta ve yanma iyileşmekte, böylelikle termik verim artmaktadır (Kumar *et al.* 2019). Şekil 5'te B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin termik verime olan etkisi görülmektedir.



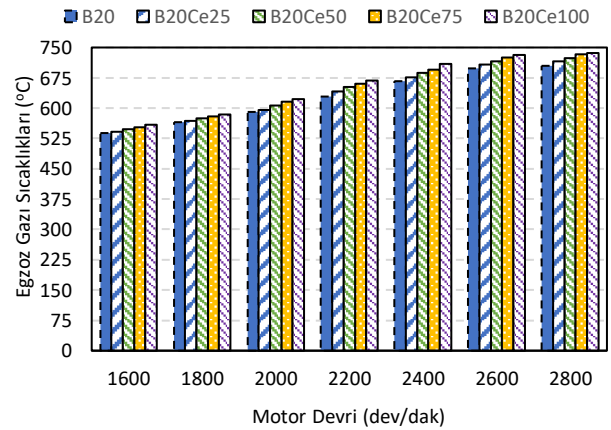
Şekil 5. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre termik verimdeki değişim.

B20 yakıtı içerisine CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin artması ile birlikte termik verimin arttığı gözlemlenmiştir. 1800 dev/dk'da B20 yakıtında termik verim %0,25 olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında ki artış oranı sırasıyla %1,21-%1,94-%3,08 ve %4,1 olmuştur. CeO₂ nanopartikül katkı ilavesi geliştirilmiş atomizasyon ve geniş yüzey alanı/hacim oranı sayesinde yüksek katalitik aktivite sergiler, buharlaşmayı iyileştirir ve yakıtın hava ile daha iyi karıştırılmasını sağlar. İkincil atomizasyon olarak adlandırılan yakıt damlacıklarının küçük ve ince hale dönüşmesini sağlar. Bu sayede termik verim artmaktadır. (Saraee *et al.* 2017, Kumar *et al.* 2019, Annamalai *et al.* 2016). Yakıtta bulunan CeO₂ nanopartikülleri daha eksiksiz bir yanmayı teşvik etmektedir. Çünkü CeO₂ bir oksijen tamponu görevi

görür ve böylece verimi artırır (Sajith *et al.* 2009). Nanopartikül katkı maddesi eklenen yakıtların termik verimindeki artış, düşük viskozite ve yoğunluğun sağladığı daha iyi atomizasyon, daha iyi yanma ve hızlı buharlaşmadan kaynaklanmaktadır (Kalaimurugan *et al.* 2020). Yakıtın buharlaşması sırasında silindirden ısı aldığından hava-yakıt karışımını sıkıştırmak için gereken çalışma azalır ve bu durum ısı verimi arttırmaktadır (Srinivasan *et al.* 2018). Yüksek enerji içeriği, yüksek ısı değer ile nanopartiküller yanma işlemi esnasında kimyasal reaksiyonlarda katalizör rolü görür. Kristal kafeslerindeki oksijen bağışlama kabiliyetlerinin daha yüksek olması nedeniyle nanopartiküller, daha eksiksiz yanma sayesinde termik verimde artışa neden olur (Ağbulut *et al.* 2021, Jayaseelan *et al.* 2020).

3.5 Egzoz Gazı Sıcaklığı (Exhaust Gas Temperature)

Egzoz gazı sıcaklıkları motor silindirinin içerisinde meydana gelen yanmanın kalitesinin göstergesidir (Kumar *et al.* 2019, Manikandan and Sethuraman 2014). Şekil 6'da B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin egzoz gazı sıcaklıklarına olan etkisi verilmiştir. Tüm test yakıtlarında motor devrinin artışıyla egzoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görülmüştür. Bu nanopartikül katkı maddelerinin alt ısı değeri arttırmasından dolayı açığa çıkan enerjinin artmasından kaynaklanır (Mubarak *et al.* 2021, Chebattina *et al.* 2021, Feroskhan *et al.* 2018). Egzoz gazı sıcaklığı maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dk'da ve B20 yakıtında 565 °C olarak elde edilmiştir.

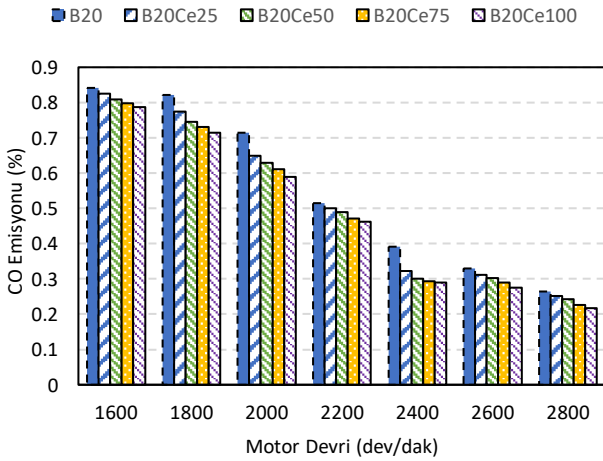


Şekil 6. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre egzoz gazı sıcaklıklarındaki değişim.

Tüm motor test devirlerinde maksimum egzoz gazı sıcaklığının elde edildiği 2800 dev/dk'da B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında egzoz gazı sıcaklığı sırasıyla %1,41-%2,69-%3,97 ve %4,53 artış göstermiştir. B20 yakıtına CeO₂ ilavesi yakıt enjeksiyonunun iyileştirilmesini sağlar. CeO₂ nanopartikül maddesi tarafından oksijenin daha yüksek kullanımı yanma sürecini destekler ve egzoz gazı sıcaklıklarını artırır (Manikandan and Sethuraman 2014, Kalaimurugan *et al.* 2020, Karthikeyan *et al.* 2014). Ayrıca, yakıt içerisinde nanopartiküllerin eklenmesi atomizasyon özelliklerini iyileştirir. Bu durum, daha iyi viskozite ve yoğunluk değerleri sağlamak ve yanma verimini arttırmaktadır. Böylelikle silindirde yüksek yanma sıcaklıkları oluşmaktadır (Çelik vd. 2022).

3.6 Karbonmonoksit (CO) Emisyonu (Carbonmonoxide (CO) Emission)

CO emisyonu, bir yakıtın oksijen ve karbon içeriğinden, yakıtın düzgün yanmamasından ve yetersiz karıştırmadan kaynaklanmaktadır (Appavu and Ramanan 2014, Karthikeyan and Prathima 2016). Yanma sırasında oksijen az ise eksik yanmaya ve dolayısıyla daha fazla CO oluşumuna sebep olmaktadır. Yanma düzgün bir şekilde gerçekleşirse CO, CO₂'ye dönüşecektir. Eğer düzgün yanma gerçekleşmezse, hava eksikliğinden veya düşük silindir içi sıcaklık nedeniyle CO emisyonu meydana gelecektir (Karthikeyan *et al.* 2016). Şekil 7'de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin CO emisyonuna olan etkisi verilmiştir.



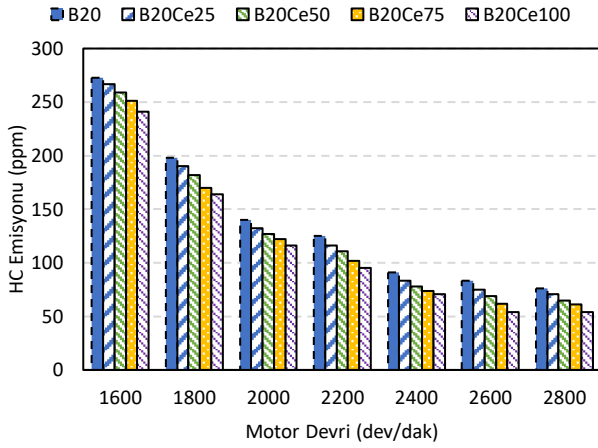
Şekil 7. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre CO emisyonundaki değişim.

Motor devrinin artmasıyla birlikte CO emisyonları düşme eğilimi göstermiştir. B20 yakıtı içerisinde ilave edilen CeO₂ nanopartikül katkı maddesi kullanımı tüm devirlerde nanopartikül katkı oranının artmasıyla birlikte bu değerlerdeki düşüşün devam ettiği gözlemlenmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dk'da B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında CO emisyonlarındaki azalma sırasıyla %5,60-%9,25-%11,08 ve %13,03 olmuştur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilaveli test yakıtlarında, hava-yakıt karışımının derecesi ve düzgün yanma nedeni ile CO emisyonlarını azaltmaktadır (Sujesh *et al.* 2020). Daha düşük viskozite ve yoğunluk sayesinde iyi bir yakıt karışımı elde edilmektedir. Dolayısıyla nanopartikül ilavesi ile birlikte CO emisyonları azalmaktadır (Balaji *et al.* 2017). Genel olarak yüksek oksijen tutma kapasitesi ve yakıt atomizasyonunda ki kritik rolü ile CeO₂ son derece verimli bir yakıt katalizörü olarak hareket edebilir (Das and Sharma 2018). Yakıt yanma odasında yandığında CeO₂ nanopartikül katkı maddesi oksijeni iki şekilde süpürmektedir. Birincisi CO emisyonunu oksitlemek için oksijen sağlamakta, ikincisi ise oksijeni tutarak yanma odasında düşük basınca neden olmaktadır (Das and Sharma 2018, Sujesh *et al.* 2020).

3.7 Hidrokarbon (HC) Emisyonu (Hydrocarbon (HC) Emission)

HC emisyonları, yakıtın eksik yanması ve yanma odası duvarlarının yanında alevin sönmeye sonucu meydana gelmektedir (Karthikeyan *et al.* 2016). HC emisyonlarının oluşmasındaki bir diğer neden düşük silindir basıncıdır. Oksijen bakımından zengin yakıt karışımları HC emisyonlarını azaltmaktadır (Kalaimurugan *et al.* 2020). Şekil 8'de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin HC emisyonlarına olan etkisi gösterilmektedir. B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül ilavesi ile HC emisyonlarındaki azalmanın arttığı gözlemlenmiştir. En düşük HC emisyonu seviyesi maksimum gücün elde edildiği 2800 dev/dk'da elde edilmiştir. B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında ki azalma sırasıyla %6,57-%14,47-%19,73 ve %28,4 olmuştur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi kullanımı ile birlikte

daha az HC emisyonları üretilmektedir. Bunun nedeni düşük viskozite ve yoğunluktan kaynaklanan küçük yakıt damlacıklarının yanı sıra nanopartikül katkı maddesinin yüksek katalitik aktivitesi ve geliştirilmiş yanma özellikleridir (Karthikeyan *et al.* 2016, Sujesh *et al.* 2020, Kalaimurugan *et al.* 2020).



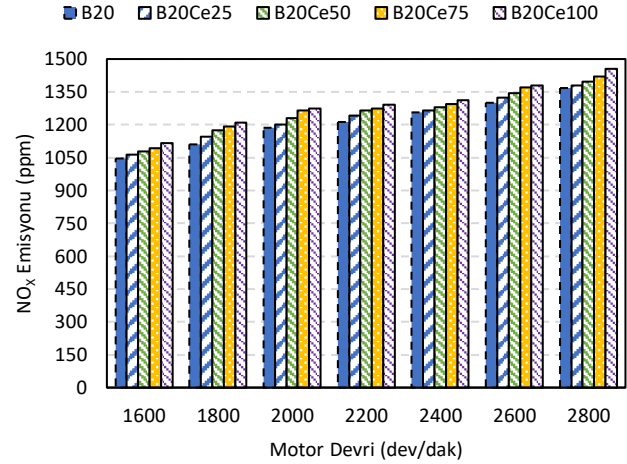
Şekil 8. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre HC emisyonundaki değişim.

Yanma odasındaki CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin varlığı yoğun ikincil atomizasyona, iyileştirilmiş yakıt dağılımına ve dolayısıyla da daha az HC emisyonuna neden olmaktadır (Sharma *et al.* 2016). CeO₂ nanopartikül katkı maddesi, hava ve yakıtla ısının etkin bir şekilde taşınmasına yardımcı olmakta ve daha iyi ısı transferi sağlamaktadır. Aynı zamanda CeO₂ bir oksidasyon katalizörüdür. Karbon yanma aktivasyon sıcaklığını düşürmekte ve böylece hidrokarbon oksidasyonunu arttırarak tam yanmayı teşvik etmektedir (Kumar *et al.* 2019). Viskozite ve yoğunluktaki iyileştirme daha iyi uçuculuğa yol açtığından B20 yakıtına kıyasla daha düşük HC emisyonları ile sonuçlanır (Dhamodaran *et al.* 2017, Xiao *et al.* 2016).

3.8 Azotoksit (NO_x) Emisyonu (Nitrogenoxide (NO_x) Emission)

NO_x emisyonu yüksek sıcaklıklarda oksijen ve nitrojenin reaksiyonundan kaynaklanır. Reaksiyon sıcaklığının ve oksijen içeriğinin artmasıyla birlikte artar. Ayrıca hava/yakıt karışım oranı, yakıt karışımının eksik yanması, karbonun yanma odası duvarlarında, piston başında ve valflerde birikmesi yanma odası içerisindeki sıcaklığı arttırır ve böylelikle NO_x emisyonuna neden olur (Das and

Sharma *et al.* 2018, Dhanasekar *et al.* 2019, Muruganantham *et al.* 2021). Şekil 9'da B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin NO_x emisyonuna olan etkisi verilmiştir. Tüm test yakıtlarında motor devrinin artmasıyla NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir.

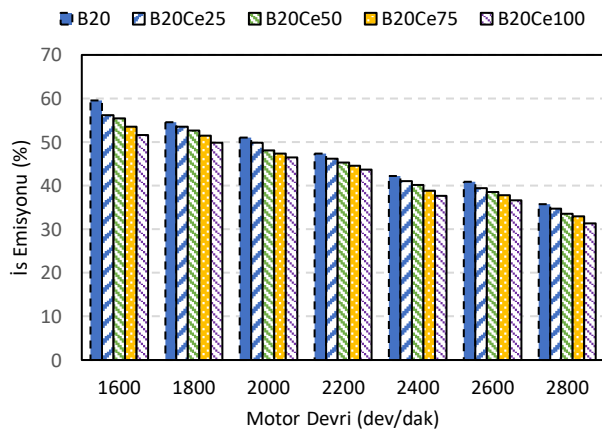


Şekil 9. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre NO_x emisyonundaki değişim.

1800 dev/dk'da B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında NO_x emisyonlarında sırasıyla %3,15-%5,94-%7,47 ve %8,91 artış elde edilmiştir. CeO₂ nanopartikül ilave edilen yakıt karışımlarının yüksek oksijen içeriğinin yanı sıra yanma odasındaki yüksek sıcaklıktan dolayı NO_x emisyonlarının arttığı düşünülmektedir. Ayrıca CeO₂ katkı maddesinin oksidasyon sürecini iyileştiren katalitik etkisinin de NO_x emisyonunu arttırması muhtemeldir (Kalaimurugan *et al.* 2020, Dhanasekar *et al.* 2019, Muruganantham *et al.* 2021). CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin atomizasyonu iyileştirmesi ve sahip olduğu oksijen içeriği sebebiyle daha yüksek egzoz gazı sıcaklığına neden olmaktadır. Böylelikle NO_x emisyonları artmaktadır (Kumar *et al.* 2019). CeO₂ nanopartikülünün B20 yakıtına ilave edilmesi yakıtın alt ısı değerini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. CeO₂'nin içerdiği oksijen ve neden olduğu yüksek reaksiyon oranı silindir içi sıcaklığı yükseltmekte ve NO_x oluşumuna neden olmaktadır (Chen *et al.* 2018, Hossain *et al.* 2019). Termik verimdeki artış NO_x emisyonlarındaki artışı tetiklemektedir (Kumar and Dinesha 2018).

3.9 İs Emisyonu (Smoke Emission)

Egzoz gazında bulunan is miktarı, karışımın oluşum şekline, yanma işlemine, oksijenin mevcudiyetine ve yanma başlangıcından önce püskürtülen yakıtın miktarına bağlıdır (Karthikeyan and Prathima 2016). Egzoz gazlarında is bulunması yakıtın zayıf yandığının göstergesidir (Sharma *et al.* 2016). Ayrıca dizel motorlarda HC'lerin eksik yanması nedeniyle egzozdaki kurum parçacıkları birleşerek daha büyük hale gelir. Bu da is emisyonunu arttıran bir diğer nedendir (Dhanasekar *et al.* 2019). Şekil 10'da B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin is emisyonuna olan etkisi verilmiştir.



Şekil 10. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre is emisyonundaki değişim.

B20 yakıtı içerisinde CeO₂ nanopartikül katkı miktarının artmasıyla da is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. 1800 dev/dk'da B20 yakıtına göre nanopartikül ilave edilen B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında is emisyonlarında ki azalma sırasıyla %1,65-%3,30-%5,50 ve %8,44 olduğu görülmüştür. CeO₂ nanopartikül ilaveli yakıt karışımları iyileştirilmiş buharlaşma oranı, daha iyi tutuşma ve daha iyi yanma özellikleri nedeniyle daha az is emisyonu salgılar (Annamalai *et al.* 2016, Sujesh *et al.* 2020, Aalam and Narayanan 2018, Aktaş vd. 2019). Ayrıca CeO₂ nanopartikül katkı maddesi bir oksijen tamponu görevi görür, ilave edildikleri yakıtın hava/yakıt oranındaki oksijeni zenginleştirerek kurum partiküllerinin oksitlenmesine ve böylece tam yanmaya yardımcı olur (Kumar *et al.* 2019). CeO₂ nanopartikül ilave edilmesi ile viskozite ve yoğunluktaki azalma ile daha iyi yanma

sağlandığından is emisyonları azalmıştır (Rahiman *et al.* 2022, Babu and Raja 2015).

5. Tartışma ve Sonuç

CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin dizel+biyodizel (B20) yakıtı içerisinde katılmasıyla daha düşük viskozite, yüksek alt ısı değer, daha yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve geliştirilmiş atomizasyon elde edilmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin katalizör görevi gören oksijen içeriği sayesinde yakıt damlacıkları oksijenle buluşarak eksiksiz bir yanma gerçekleşmiştir. Böylelikle motorun performans parametrelerinde önemli ölçüde iyileşme elde edilmiştir.

Dizel+biyodizel karışımına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesi ile emisyonlarda da önemli ölçüde iyileşme elde edilmiştir. Daha fazla oksijen içeriği ile tam yanma desteklenmekte, silindir içi sıcaklıklar yükselmekte ve atomizasyondaki kritik rolü ile CeO₂ nanopartikülleri verimli bir yakıt katalizörü görevi görmektedir. Böylelikle CO, HC ve is emisyonunda azalmaların olduğu görülmüştür. Yanma sürecini iyileştiren CeO₂ nanopartikül katkı maddesi, içerdiği fazla oksijen ve artan ısı değer nedenleriyle silindir içi yanma sıcaklıklarını arttırmaktadır. Böylelikle havada bulunan azot molekülleri oksijen ile birleşerek NO_x emisyonlarında bir miktar artışa neden olmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırladığı yüksek lisans tezi esas alınarak üretilmiştir. B.A. deneylerin yapılması, verilerin analizi, grafiklerin oluşturulmasında, sonuçların yorumlanmasında ve makalenin yazılmasında görev almıştır. M.Ç. deneylerin yapılması, verilerin analizi, sonuçların yorumlanmasında ve makalenin yazılmasında görev almıştır.

Kaynaklar

- Aalam, S. and Narayanan, A., 2018. Cerium oxide nanoparticles as additive with diesel fuel on DI diesel engine. *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, 1.
- Agarwal, A. K., Som, S., Shuklar, P. C., Goyal, H. and Longman, D., 2015. In-nozzle flow and spray characteristics for mineral diesel, Karanja, and Jatropha biodiesels. *Applied Energy*, 156, 138-148.

- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Najafi, B., Mirsalim, S.M., Gharehghani, A., Mohammadi, P., Dadak, A., Shojaei, T. R. and Khounani, Z., 2017. A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel–biodiesel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions: Part II – Exergetic Analysis. *Fuel*, 262-271.
- Ağbulut, E. Elibol, T. Demirci, S. Sarıdemir, A.E. Gürel, U. Rajak, A. Afzal, T.N., 2022, Verma. Synthesis of graphene oxide nanoparticles and the influences of their usage as fuel additives on CI engine behaviors. *Energy*, **244**, 122603. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122603> .
- Ahmed, A., Shah, A.N., Azam, A., Uddin, G.M. Ali, M.S. Hassan, S., Ahmed, H. and Aslam, T., 2020. Environment-friendly novel fuel additives: Investigation of the effects of graphite nanoparticles on performance and regulated gaseous emissions of CI engine. *Energy Conversion and Management*, **211**, 112748.
- Aktaş, F., Karaaslan, S., Merthan, K. and Yücel, N., 2019. Numerical investigation of the effects of different percentage ethanol and methanol addition on performance and emission values of a four cylinder diesel engine at full load. *Journal of Polytechnic*, **22**, 967-977.
- Annamalai, M., Dhinesh, B., Nanthagopal, K., SivaramaKrishnan, P., Lalvani, J. I. J., Parthasarathy, M. and Annamalai, K., 2016. 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.
- Appavu, P. and Ramanan, M.V., 2014. Study of emission characteristics of a diesel engine using cerium oxide nanoparticle blended pongamia methyl ester. *International Journal of Ambient Energy*, **41**, 524-527.
- Aydın, B., 2022. Investigation of the effect of biodiesel added with nano fuel additives on diesel engine performance and emissions, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 76.
- Aydın, F and Çalışkan, S., 2021. Investigation of fuel properties of tea seed oil biodiesel and diesel fuel mixture. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **5**, 339-344.
- Babu, K.R. and Raja, R.B., 2015. Theoretical and experimental validation of performance and emission characteristics of nanoadditive blended diesel engine. *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, **3 (5)**, 18-31.
- Bafghi, A. A. T., Bakgoda, H. and Chegeni, F. K., 2015. Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel blends on the performance characteristics of a CI engine. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, **9**.
- Balaji, G., and Cheralathan, M., 2017. Influence of alumina oxide nanoparticles on the performance and emissions in a methyl ester of neem oil fuelled direct injection diesel engine. *Thermal Science*, **21**, 499-510.
- Bednarski, M., Orlinski, P., Wojs, M.K., Sikora, M., 2019. Evaluation of methods for determining the combustion ignition delay in a diesel engine powered by liquid biofuel. *Journal of the Energy Institute*, **92**, 1107-1114.
- Chebattina, K.R.R., Vadapalli, S., Pathem, U.C., Sirasapalli, A., Lodagala, C.C., Reddy Billakurthi, S.M.S, Annamdevara, N.C.S., Mohammad, A.R., 2021. H₂O₂ as fuel additive in bio-diesel for emission reduction and performance enhancement of variable compression ratio (VCR) diesel engine. *Materials Today: Proceedings*, **47**, 5697–5700.
- Chen, A. F., Adzmi, M. A., Adam, A., Othman, M. F., Kamaruzzaman M. K. and Mrwan A. G., 2018. Combustion characteristics, engine performances and emissions of a diesel engine using nanoparticle-diesel fuel blends with aluminium oxide, carbon nanotubes and silicon oxide. *Energy Conversion and Management*, **171**, 461-477.
- Çelik, M., 2018. Improvement of performance and exhaust emissions in diesel engines by addition of n-hexadecane material. *Journal of Polytechnic*, **21**, 701-706.
- Çelik, M., Bayındırlı, C., and İlhak, M.İ., Investigation of the Performance and Emissions of an Engine Operated with CeO₂ Nano Additive Doped Biodiesel. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **6**, 113-119.
- Das, R.K. and Sharma, S.K., 2018. Blend of jatropha biodiesel and tyre pyrolysis oil mixed with cerium oxide-an alternative to diesel fuel. *Biofuels*, **9**, 739-744.
- Dhamodaran, G., Krishnan, R., Pochareddy, Y.K., Pyarelal, H.M., Sivasubramanian H., and Ganeshram, A.K., 2017. comparative study of combustion, emission, and performance characteristics of rice-bran, neem, and cottonseed-oil biodiesels with varying degree of unsaturation. *Fuel*, **187**, 296-305.

- Dhanasekar, K., Sridaran, M., Arivanandhan, M. and Jayavel, R., 2019. A facile preparation, performance and emission analysis of pongamia oil based novel biodiesel in diesel engine with CeO₂:Gd nanoparticles. *Fuel*, **255**.
- Feroskhan, M., Ismail, S., Reddy, M.G., Teja, A.S., 2018. Effects of charge preheating on the performance of a biogas-diesel dual fuel CI engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, **21**, 330-337.
- G. Antony Casmir Jayaseelan, A. Anderson, L. Prabhu, V. Srinivasan, 2020. Impact of cerium oxide nanoadditives on the performance and emission characteristics of candlenut biodiesel. *Materials Today: Proceedings*, **33**, 890–894.
- Gaur, A., Dwivedi, G., Baredar, P. and Jain, S., 2022. Influence of blending additives in biodiesel on physiochemical properties, engine performance, and emission characteristics. *Fuel*, **321**.
- Geng, L., Bi, L., Li, Q., Chen, H., Xie, Y., 2021. Experimental study on spray characteristics, combustion stability, and emission performance of a CRDI diesel engine operated with biodiesel–ethanol blends. *Energy Reports*, **7**,904-915.
- Güneş, H., 2021. Investigation of temperature distribution performances of three different heat exchanger models for exhaust gas waste heat energy recovery system used with thermoelectric generator in gasoline engines. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **5**, 308-315.
- Hazar, H., Mahmut, U., Aydın, H. and Şap, E., 2016. The effects of apricots seed oil biodiesel with some additives on performance and emissions of a diesel engine. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, **5 (3)**, 102-114.
- Heidari-Maleni, A., Mesri-Gundoshmian, T., Jahanbakhshi, A., Karimi, B. and Ghobadian, B., 2021. Novel environmentally friendly fuel: The effect of adding graphene quantum dot (GQD) nanoparticles with ethanol-biodiesel blends on the performance and emission characteristics of a diesel engine. *NanoImpact*, **21**, 100294.
- Hoang, A.T., 2021. Combustion behavior, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel containing cerium oxide nanoparticles:A review. *Fuel Processing Technology*, **218**.
- Hossain, A. K. and Hussain, A., 2019. Impact of nanoadditives on the performance and combustion characteristics of neat jatropha biodiesel. *Energies*, **12 (5)**, 921.
- Jiaqiang, E., Zhang, Z., Chen, J., Pham, M., Zhao, X., Peng, Q., Zhang, B. and Yin, Z., 2018. Performance and emission evaluation of a marine diesel engine fueled by water biodiesel-diesel emulsion blends with a fuel additive of a cerium oxide nanoparticle. *Energy Conversion and Management*, **196**, 194-205.
- Kalaimurugan, K., Karthikeyan, S., Periyasamy, M. and Gandhi, M., 2020. Emission analysis of CI engine with CeO₂ nanoparticles added neochloris oleoabundans biodiesel-diesel fuel blends. *Materials Today: Proceedings*, **33**, 2877-2881.
- Kalaimurugan, K., Karthikeyan, S., Periyasamy, M. and Mahengran, G., 2020. Experimental investigations on the performance characteristics of CI engine fuelled with cerium oxide nanoparticle added biodiesel-diesel blends. *Materials Today:Proceedings*, **33**, 2882-2885.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Marimuthu, P. and Prathima, A., 2014. Performance, combustion and emission characteristic of a marine engine running on grape seed oil biodiesel blends with nano additive. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, **43**, 2315-2319.
- Karthikeyan, S., Elango, A. and Prathima, A., 2020. 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 Ambient Energy*, **13**, 267-273.
- Karthikeyan, S. and Prathima, A., 2016. Environmental effect of CeO₂ nanoadditive on biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, **38**, 3673-3679.
- Karthikeyan, S., Kalaimurugan K. and Prathima A., 2017. Investigation on the emission quality characteristics of a diesel engine fueled with algae biofuel with nano additives. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, **39**, 2046-2052.
- Khalife, E., Tabatabaei, M., Najafi, B. and Mirsalim, S. M., 2017. A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel blends to improve diesel engine performance and reduce exhaust emissions. Part I-Experimental analysis. *Fuel*, **207**, 741-750.
- Köse, S., Aylanışık, G., Babagiray, M. and Kocakulak, T., 2020. Biodiesel production from waste sunflower oil and engine performance tests. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **4**, 206-212.

- Kumar, S. and Dinesha, P., 2018. Optimization of engine parameters in a bio diesel engine run with honge methyl ester using response surface methodology. *Measurement*, **125**, 224-231.
- Kumar, S., Dinesha, P. and Rosen M.A., 2019. Effect of injection pressure on the combustion, performance and emission characteristics of a biodiesel engine with cerium oxide nanoparticle additive. *Energy*, **185**, 1163-1173.
- Manikandan, R. and Sethuraman, N., 2014. 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*, **6**.
- Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M. and Pazouki, M., 2015. A novel soluble nano-catalysts in diesel-biodiesel fuel blends to improve diesel engine performance and reduce exhaust emissions. *Fuel*, **139**, 374-382.
- Mubarak, M., Shaija, A., Suchithra, T.V., 2021. Experimental evaluation of *Salvinia molesta* oil biodiesel/diesel blends fuel on combustion, performance and emission analysis of diesel engine. *Fuel*, **287**, 119526.
- Muruganatham, P., Pandiyan, P. and Sathyamurthy, R., 2021. Analysis on performance and emission characteristics of corn oil methyl ester blended with diesel and cerium oxide nanoparticle. *Case Studies in Thermal Engineering*, **26**.
- Narasiman V. Jeyakumar, S., and Mani, M., 2015. Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel. *Journal of Thermal Science and Technology*, **10(1)**.
- Norhafana, M., Noor, M. M., Sharif P. M., Hagos, F. Y., Hairuddin, A. A., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Rahman, M. M., Alenezi, R. and Hoang, A. T., 2018. A review of the performance and emissions of nano additives in diesel fuelled compression ignition-engines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **469 (1)**.
- Özer, S. and Bağatur, B., 2021. Investigation of the effects of liquid LPG use in a gasoline injection turbocharged engine. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **5**, 172-178.
- Pandey, V., Badruddin, I.A., Terfasa, T.T., Tesfamariam, B.B., Ahmed, G.M.S., Saleel, C.A. and Alrobei, H., 2022. Experimental investigation of the impact of CeO₂ nanoparticles in Jet-A and Jatropa-SPK blended fuel in an aircraft can-combustor at flight conditions. *Fuel*, **317**.
- Patil D. S., Chopade, D.A., and Kumbhalkar, M.A., 2018. Experimental investigation of effect of cerium oxide nanoparticles as a fuel additive in cottonseed biodiesel blends. *Journal of Mechanical Engineering*, **1**, 1-12.
- Rahiman, M.K., Santhoshkumar, S., Subramaniam, D., Avinash, A., Pugazhendhi, A., 2022. Effects of oxygenated fuel pertaining to fuel analysis on diesel engine combustion and emission characteristics. *Energy*, **239**, 122373.
- Sajith, V., Sobhan, C.B. and Peterson, G.P., 2009. Experimental investigation on the effects of cerium oxide nanoparticle fuel additives on biodiesel. *Advances in Mechanical Engineering*, **6**.
- Saraee, H. S., Taghavifar, H. and Jafarmadar, S., 2017. Experimental and numerical consideration of the effect of CeO₂ nanoparticles on diesel engine performance and exhaust emission with the aid of artificial neural network. *Applied Thermal Engineering*, **113**, 663-672.
- Sathiyamoorthi, R. Puviyarasan, M., and Kumar, B., 2016. Effect of CeO₂ nano additive on performance and emission characteristics of diesel engine fuelled by neem oil-biodiesel. *International Journal of Chemical Science*, **14(S2)**, 473-484.
- Sharma, S.K., Das, R.K. and Sharma, A., 2016. Improvement in performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with jatropa methyl ester and tyre pyrolysis oil by addition of nano additives. *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, **38**, 1907-1920.
- Srinivasan, C. A., Sravanan, C.G. and Gopalakrishnan, M., 2018. Emission reduction on ethanol-gasoline blend using cerium oxide nanoparticles as fuel additive. *Particulate Science and Technology*, **36**, 628-635.
- Sujesh, G., Ganesan, S. and Ramesh, S., 2020. Effect of CeO₂ nano powder as additive in WME-TPO blend to control toxic emissions from a light-duty diesel engine-An experimental study. *Fuel*, **278**.
- Üstün, S., 2021. Investigation of the effects of alcohol-based fuel additive on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition gasoline engine. *International Journal of Automotive Science and Technology*, **5**, 404-411.
- Wang, Z., Yuhan, B., Huang, Y., Cao, J., Wang, Y. and Cheng, X., 2022. Progress in experimental

investigations on evaporation characteristics of a fuel droplet. *Fuel Processing Technology*, **231**, 107243.

Xiao, H., Zeng, P., Li, Z., Zhao L., and Fu., X., 2016. Combustion performance and emissions of 2-methylfuran diesel blends in a diesel engine. *Fuel*, **175**, 157-163.

Yaliwal, V. S., Banapurmath, N. R., Revenakar, S. and Tewari, P. G., 2016. Effect of mixing chamber or carburetor type on the performance of diesel engine operated on biodiesel and producer gas induction. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, **5 (2)**, 25-37.

Yugandharsai, Rajashekar, J. Jayaraman, S. Reddy, 2021. Effects of injection pressure on

performance&emission characteristics of CI engine using graphene oxide additive in bio-diesel blend. *Materials Today: Proceedings* **44**, 3716-3722.

Yusuf, A.A., Dandakouta, H., Yahuza, I., Yusuf, D.D., Mujtaba, M.A., El-Shafay, A.S. and Soudagar, M.E.M., 2022. Effect of low CeO₂ nanoparticles dosage in biodiesel-blends on combustion parameters and toxic pollutants from common-rail diesel engine. *Atmospheric Pollution Research*, **13**.

Yusuf, A.A., Inambao, F.L. and Ampah, J.D., 2022. The effect of biodiesel and CeO₂ nanoparticle blends on CRDI diesel engine: A special focus on combustion, particle number, PM_{2.5} species, organic compound and gaseous emissions. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*.