

## Seryum Oksit (CeO<sub>2</sub>) Katkılı Nano Biyodizelin Motor Performansı ve Emisyon Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Mehmet ÇELİK<sup>1\*</sup>, Cihan BAYINDIRLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği/ Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri / Niğde Teknik Bilimler MYO, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türkiye

\*([mehcelik@karabuk.edu.tr](mailto:mehcelik@karabuk.edu.tr))

(Received: 18 August 2024, Accepted: 28 August 2024)

(5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024, August 25-26, 2024)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, M. & Bayındırlı, C. (2024). Seryum Oksit (CeO<sub>2</sub>) Katkılı Nano Biyodizelin Motor Performansı ve Emisyon Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(7), 82-88.

**Özet** – Bu çalışma, düşük oranda seryum oksit (CeO<sub>2</sub>) nano katkı maddesinin kanola yağı biyodizeli (K0) içerisine ilave edilerek motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Çalışmada 50ppm (KCe50) ve 75ppm (KCe75) olmak üzere iki farklı konsantrasyonda CeO<sub>2</sub> nanopartikülleri biyodizel içerisine eklenmiştir. 4 farklı motor yükünde gerçekleştirilen deneysel çalışma bulgularına göre, biyodizel içerisine CeO<sub>2</sub> eklenmesi özgül yakıt tüketimini düşük motor yükünde (10Nm) KCe50 yakıtında %4,05 ve KCe75 yakıtında %5,74 azaltmıştır. Yük artışıyla birlikte silindir içerisindeki türbülans ve sıcaklık arttığından yakıt tüketimindeki azalma tespit edilmiştir. 40 Nm yükte K0 yakıtına göre termik verimdeki artış sırasıyla KCe50 yakıtında %2,07 ve KCe75 yakıtında %4,51 olmuştur. CeO<sub>2</sub> nanopartikülü yapısında bulunan oksijen molekülleri CO moleküllerini CO<sub>2</sub>'ye dönüşümünü desteklemiş 10 Nm yükte CO emisyonlarında KCe50 ve KCe75 yakıtlarında sırasıyla %53,22 ve %58,30 azalmıştır. Yük artışıyla bu azalma hızı düşmüş ve tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub>'nin artışına neden olmuştur. Nano katkı ilavesi biyodizel yakıtının atomizasyon özelliklerini iyileştirmiş buna bağlı olarak silindir içerisinden de yanmayı olumlu etkileyerek is emisyonlarının önemli oranlarda azalmasına NOx emisyonlarının ise artışına neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Biyodizel, Seryum Oksit Nanopartikül, Egzoz Emisyonu, Motor Performansı.

### I. GİRİŞ

Enerji talebindeki hızlı artış, çevresel etki, iklim değişikliği, hava kirliliği, petrol sıkıntıları ve istikrarsız enerji fiyatları; teknik olarak mümkün, kolay elde edilebilir ve küresel olarak kabul edilebilir, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları üzerine araştırmaları teşvik etmiştir. Fosil yakıtların ve bunların ürünlerinin yakılmasından kaynaklanan kirlilikle ilgili sorunların daha önemli hale gelmesi, birçok araştırmacıyı, geleneksel yakıtlara alternatif bir yakıt kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma fırsatını ve olasılığını keşfetmeye teşvik etmektedir [1]. Şu anda mevcut olan alternatif yakıtlardan biyodizel, biyolojik olarak parçalanabilirliği, toksik olmaması, geri dönüştürülebilirliği, mevcut yakıt altyapısı ve dizel motor donanım kurulumuyla uyumluluğu ve daha basit bir üretim süreci gibi çeşitli özellikleri nedeniyle fosil dizel için uygun bir alternatiftir. Biyodizel yakıtlar ve bunların

karışımlarının kullanılmasında, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), partikül madde (PM) ve hidrokarbonlarda (HC) göreceli azalmalar ile emisyonlar üzerinde olumlu etkilerle birlikte, biyodizelin yanmasından kaynaklanan nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarına ilişkin olumsuz sonuçlar önceki çalışmalarda rapor edilmiştir. Ek olarak, biyodizelin tipik olarak daha viskoz olması nedeniyle, biyodizelin yanması potansiyel sprey atomizasyonu ve karışım oluşturma sorunlarıyla ilişkilidir. Bu, karbon birikmesi, kurum oluşumu, piston segmanının yapışması ve en önemlisi, daha düşük motor performansına neden olan daha kötü yanma özellikleri meydana getirebilir [2]. Biyodizel yakıtın olumsuz etkilerini azaltabilecek yöntemlerden biri de katkı maddesi kullanılmasıdır. Katkı maddeleri, reaksiyonun gidişatını değiştirir ve daha fazla enerji açığa çıkmasını sağlayacak şekilde tam yanmalara neden olur. Biyodizelin de aralarında bulunduğu yenilenebilir yakıtlarda kullanılan katkı maddelerinden biri de daha önce birçok çalışmada incelenen nanopartiküllerdir. Biyodizele eklenen nanopartikül (NP) katkı maddeleri, zararlı kirleticilerin miktarını azaltır ve yanma verimliliğini artırır. Şimdiye kadar nanopartikül katkı maddesi olarak çeşitli metaller, metalik oksit ve karbon nanotüpler kullanılmıştır [3]. Yanma özelliklerini iyileştirmek amacıyla nanopartikül katkı maddesi ilave edilen yakıtlara nano yakıtlar denmektedir. Nanoteknolojiler, içten yanmalı motorlarda ana ve yeni konulardan biridir. Bazı nanopartiküllerin yanma özellikleri, onları içten yanmalı motor yakıtlarına nano-yakıt katkı maddeleri olarak kullanılmaya uygun hale getirmektedir. Araştırmalara göre, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, CNT ve CeO<sub>2</sub> dizel katkı maddesi olarak en çok kullanılan nanopartiküllerdir. Çoğu durumda, nano yakıtın setan sayısı arttırıldığı, termik verimi iyileştirildiği, özgül yakıt tüketimi ve zararlı emisyonların azaltıldığı görülmektedir [4].

Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan seryum oksit (CeO<sub>2</sub>), katalitik özellikleriyle iyi bilinen bir seramiktir [5]. CeO<sub>2</sub>, büyük yüzey-hacim oranı ve mikro boyutları sayesinde yakıtın termal iletkenliğini geliştirmiştir. NP ilave edilen yakıtların kaynama noktası düşmüştür. Silindir içerisindeki yüksek sıcaklıkta, yakıt damlaları aşırı ısındığında ve şiştiğinde, nanopartiküller katmanlar oluşturur. Ardından, mikro patlama olarak adlandırılan şiddetli bir buharlaşma olayı gerçekleşir [6]. Seryum, hidrokarbonların (HC'ler) ve karbon monoksitin (CO) katalitik oksidasyonunda ve ayrıca kurumun daha düşük sıcaklıklarda, özellikle NO<sub>2</sub> varlığında, katalitik oksidasyonunda rol oynar. Ayrıca damlacığın yüzey gerilimini azaltarak yakıt damlacıklarının daha hızlı buharlaşmasını sağlar. Bu çalışmada CeO<sub>2</sub>'nin bu faydalı özellikleri kullanılarak, yakıt tasarrufu sağlamak, CO emisyonlarını azaltmak ve yakıt katkı maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Yakıt kaynaklı katalizörler, dizel motorlarda yakıt oksidasyonunu teşvik etmenin, dolayısıyla verimliliği artırmanın ve yakıt tüketimini azaltmanın bir yolu olarak uzun süredir araştırılmaktadır [5].

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bitkisel yağın içerisindeki su sabunlaşmaya neden olmaktadır. Ham kanola yağı içerisindeki suyun uzaklaştırılması için yağ, 110 °C'de 30 dakika ısıtılarak buharlaştırıldı ve su uzaklaştırıldı. Metoksit hazırlanışında alkol olarak metanol ve NaOH katalizör kullanıldı. 1000 ml ham yağ için 200 ml metanol ve 3,5 g NaOH kapalı bir kap içerisinde karıştırıldı. NaOH, metanol içerisinde tamamen eridikten sonra karışım, reaktördeki ham yağa ilave edilerek 60 °C'ye kadar ısıtılmaya başlandı. Reaktörde bulunan elektrik motoru ile karıştırılıp, termostat ile kontrol edilerek sıcaklığın tüm bölgede aynı olması sağlandı. Karışım, 60 ± 1 °C sabit sıcaklık altında 1 saat boyunca karıştırıldı. Reaksiyon sonucunda gliserin ve biyodizel ayrıştı. Gliserin ve biyodizel ayrıştırıldıktan sonra saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirildi. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra biyodizel ve suyun birbirinden ayrışması beklendi. Daha sonra elde edilen ham biyodizel, içerisindeki su ve alkolden arındırılmak için 110 °C'de 30 dakika ısıtılarak kurutuldu. Kurutma işleminden sonra elde edilen biyodizel (K0) içerisine 50ppm (KCe50) ve 75ppm (KCe75) CeO<sub>2</sub> katkı maddesi, 0,001 hassasiyetli terazide tartılarak yakıt içerisine ilave edildi ve ultrasonik karıştırıcı ile 45 dakika karıştırılarak deneylerde kullanılacak nano yakıt elde edildi. Elde edilen bu nano yakıtların yakıt özellikleri belirlenerek Tablo 1'de verilmiştir. Deneyler Şekil 1'de görülen deney düzeneğinde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan dizel motoru su soğutmalı, dört zamanlı, üç silindirli, LDW 1003 Lombardini markadır. Deney motorun yüklenmesi Net Fren NF150 marka hidrolik dinamometreye bağlanmıştır. Yükleme anındaki değerler, CAS marka SBA 200L model yük hücresi

kullanılarak okunmuştur. Dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0-6500 rpm ve tork ölçüm aralığı 0-450 Nm'dir. Egzoz emisyonlarının ölçümünde Bosch BEA 060 ve Bosch BEA 070 emisyon cihazları kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneği

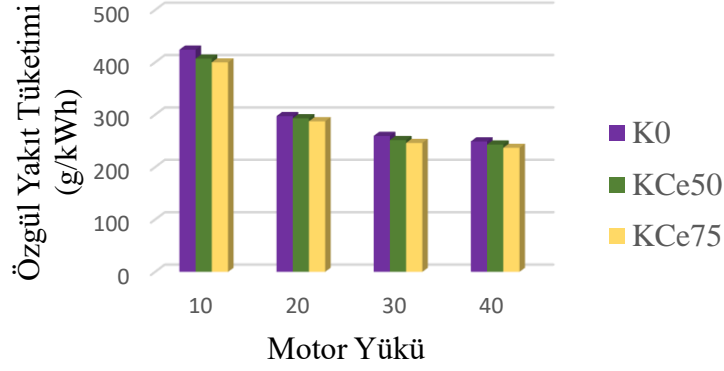
Tablo 1. Nano yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Parlama Noktası (°C)	Alt Isıl Değer (MJ/kg)
K0	880	4,5	172	38,98
KCe50	861	4,3	164	39,14
KCe75	854	4,0	158	39,22

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### A. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

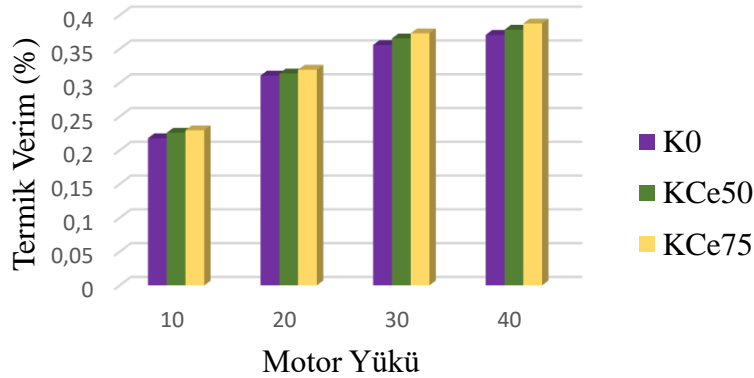
Yakıtın enerji içeriği ÖYT'ni etkileyen kritik bir faktördür ve herhangi bir yakıtın sürdürülebilirliğini artırmak için ÖYT'ni en aza indirmek hayati önem taşır [7]. Şekil 2'de NP ilave edilmiş nano yakıtın özgül yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. Yük artışıyla birlikte yakıt tüketimi de azalmaktadır. Düşük yük koşullarında, türbülansın azalması nedeniyle bozulan homojen dolgu koşulları nedeniyle yüksek ısı kayıpları ve düşük yanma verimi, tüm test yakıtlarında yüksek ÖYT değerlerine neden olur [8]. 10 Nm yükte K0 yakıtına göre KCe50 yakıtında özgül yakıt tüketimi %4,05 azalırken KCe75 yakıtında %5,74 olduğu görülmektedir. Yük artışıyla birlikte silindir içerisindeki türbülans ve sıcaklık arttığından 40 Nm yükte yakıt tüketimindeki azalma KCe50 ve KCe75 yakıtlarında sırasıyla %2,43 ve %4,93 olduğu görülmektedir. NP katkı maddeleri, partiküller ve yakıt damlacıkları arasındaki ısı transferini artıran yüzey/hacim oranının artmasına neden olur [4]. Bu ÖYT'nin azalmasını sağlar.



Şekil 2. Test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi grafiğı

### B. Termik Verim

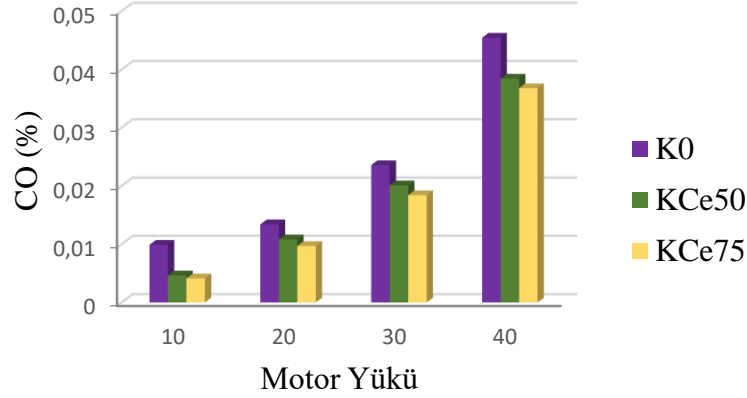
Şekil 3'de NP ilave edilmiş nano yakıtın termik verim grafiğı görölmektedir. Motor performans parametrelerini değerlendirmek için, termik verim gibi temel özellikleri incelemek çok önemlidir. Bir motorun termik verimi, motorun çalışma özelliklerine, tasarımına ve kullanılan yakıtın fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır [9]. Termik verim, yakıttan gelen termal girdinin bir fonksiyonu olarak motorun fren gücü olarak tanımlanır [10]. 10 Nm yükte K0 yakıtının termik verimi %21 elde edilirken, 40 Nm yükte %37 olduğu görölmüştür. 40 Nm yükte K0 yakıtına göre KCe50 ve KCe75 yakıtlarında termik verimdeki artış sırasıyla %2,07 ve %4,55 olmuştur. Nano yakıtların viskozitesindeki azalmaya bağlı olarak buharlaşmanın iyileştirilmesi ile yanma daha hızlı olmaktadır. Viskozite, ısıl değer ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini iyileştirilmesi yakıtın atomizasyon ve yanma sürecini daha da geliştirmektedir. Yakıtların ısıl değerindeki artış ve yoğunluğunun azalması, NP ilave edilen yakıtların termik verimin artmasına katkıda bulunmaktadır [9].



Şekil 3. Test yakıtlarının termik verim grafiğı

### C. Karbon Monoksit (CO) Emisyonu

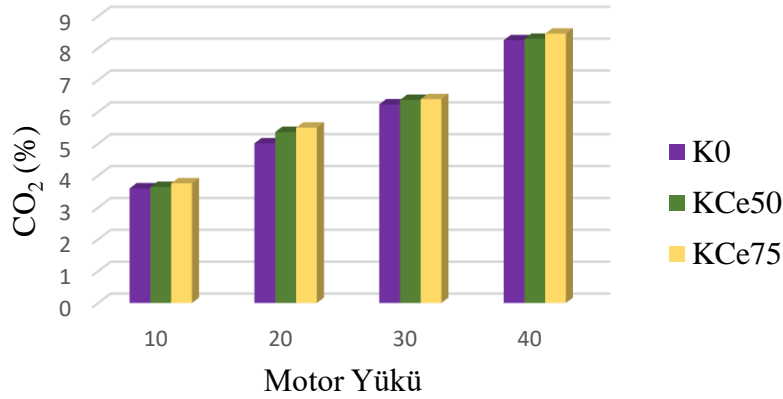
Karbon monoksit (CO) emisyonu, yakıtın yetersiz yandığını gösterir. CO emisyonunun oluşumu için kilit faktörler, heterojen bir karışım, yetersiz O<sub>2</sub> mevcudiyeti, yanma için daha az kalma süresidir [11]. Şekil 4'de CO emisyonları grafiğı görölmektedir. Yük artışıyla birlikte CO emisyonları artmaktadır. 10 Nm yükte CO emisyonları sırasıyla K0 yakıtına göre KCe50 ve KCe75 yakıtlarında %53,22 ve %58,30 oranında azalırken yük artışıyla azalma hızı düşmüştür. 40 Nm yükte K0 yakıtına göre maksimum azalma KCe75 yakıtında %19,07 olmuştur. CeO<sub>2</sub> nanopartikülü ile birlikte gelen ve reaksiyona katılan oksijen molekülleri CO moleküllerini CO<sub>2</sub> ye dönüşmesinde büyük rol oynamaktadır. Artan sıcaklık yanmayı iyileştirmekte ve emisyonun azalmasına yardımcı olmaktadır [12,13].



Şekil 4. Test yakıtlarının CO emisyonları grafiğı

#### D. Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) Emisyonu

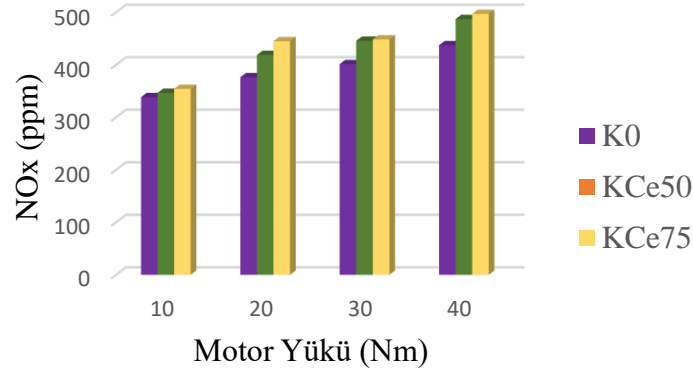
Şekil 5'te, test yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları grafiğı gösterilmektedir. NP katkı maddesi eklenen nano yakıtlarda viskozitenin azalması, yakıtın damlacık boyutunun küçülmesine ve yanma odasında karışımın iyileşmesine, dolayısıyla yanma kalitesinin artmasına neden olmaktadır. NP'nin yüzey/hacim oranı sayesinde termal reaksiyonlar artmaktadır. 10 Nm yükte, K0 yakıtına kıyasla KCe50 ve KCe75 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artış sırasıyla %1,33 ve %4,48 olmuştur. Biyodizel içerisine NP eklenmesi, öncelikle yanma verimliliğini artırarak ve CO'nun CO<sub>2</sub>'ye dönüşümünü teşvik eder. CO<sub>2</sub> emisyonundaki artış temel olarak NP oksijen moleküllerinin varlığı artırıcı etkisi nedeniyle yanma hızının artması, CO radikallerini CO<sub>2</sub>'ye dönüştürür [14].

Şekil 5. Test yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları grafiğı

#### E. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonu

NO<sub>x</sub> emisyonu çoğunlukla dışarıdan emilen hava moleküllerinin içerisinde gelen nitrojen moleküllerinden oluşmaktadır. Yanma sırasında sıcaklık 1800 °C üzerine çıkmaya başladığında nitrojen molekülleri ve oksijen molekülleri sıcaklığa bağlı olarak NO emisyonlarını meydana getirmektedir [15]. Şekil 6'da NO<sub>x</sub> emisyonları grafiğı görülmektedir. Yük ve NP katkı maddesi ilavesini artışıyla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonları artmıştır. K0 yakıtına göre KCe75 yakıtında 10 Nm yükte NO<sub>x</sub> oranındaki artış %4,67 olurken 40 Nm yükte artış oranı %13,62 olmuştur. Yakıtın viskozite ve yoğunluk değerlerinin NO<sub>x</sub> emisyonları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [16]. NP ilave edilen nano yakıtların viskozite ve yoğunluğu düşmektedir bu nano yakıtın daha iyi atomizasyon özellikleri sergilemesini sağlar. Aynı zamanda CeO<sub>2</sub> katkı maddesinin katalitik etkisi de yanma kalitesinin ve hızının artmasına neden olur.

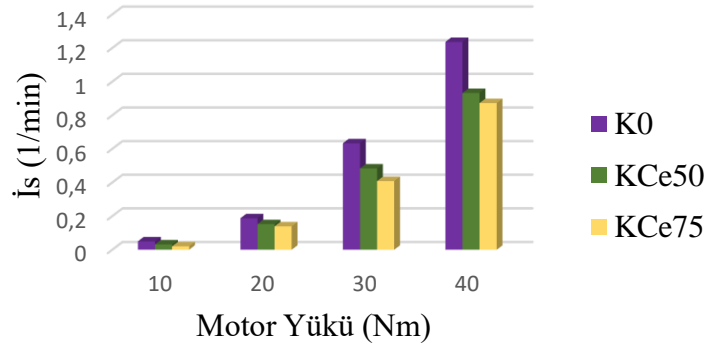
Yük artışıyla silindir içerisindeki yanma hızının ve sıcaklıkların artması NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6. Test yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları grafiği

#### F. İş Emisyonu

İş emisyonu, dizel motorlarda yanma işleminin istenmeyen bir yan ürünüdür. Genel olarak zengin yakıt karışım bölgelerinde oluşur. Şekil 7'de iş emisyonları grafiği görülmektedir. K0 yakıtında 40 Nm yükte iş emisyonu 1,23 l/min olurken KCe50 ve KCe75 yakıtlarında sırasıyla 0,93 ile 0,87 l/min olmuştur. Yakıt içerisine NP katkı maddesi ilavesi ile yakıtın viskozite ve yoğunluğunun azalması atomizasyon özelliklerini iyileştirmesine bağlı olarak silindir içerisindeki yanmayı olumlu etkileyerek iş emisyonlarının önemli oranlarda azalmasına neden olmuştur [17].



Şekil 7. Test yakıtlarının iş emisyonları grafiği

## IV. SONUÇLAR

Biyodizel yakıtını alternatif motor yakıtı olarak kullanımını sınırlayan en önemli özelliklerinden birisi viskozite ve yoğunluğunun sebep olduğu kötü atomizasyon karakteristiğidir. Bu çalışmada nano katkılarının üstün termofiziksel özelliklerinden faydalanarak biyodizelin bu dezavantajlı durumu ve atomizasyon özellikleri iyileştirilmiştir. Bu özelliklerle birlikte CeO<sub>2</sub> nano katkısının yüksek yüzey/hacim oranı, üstün iletkenliği, yapısında oksijen barındırması, nano katkı ile birlikte yakıtın alt ısı değerinin artması yanma safhasını iyileştirmiş buna bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde %5,74, termik verimde ise %4,51'lere varan iyileşmeler elde edilmiştir. CeO<sub>2</sub> yapısında yer alan oksijen molekülleri yanmayı iyileştirmiş bu durum CO emisyonlarında %58,30'lara varan azalmaya sebep olmuştur. CeO<sub>2</sub> nano katkısının katalitik etkisi de yanma kalitesinin ve alev hızının artmasını sağlamış silindir içerisindeki yanma hızının ve sıcaklıkların artması NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışına iş emisyonlarının ise azalmasına sebep olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] M. E. M. Soudagar, N. Nik-Ghazali, M.A. Kalam, I. A. Badruddin, N. R. Banapurmath, T. M. Yunus Khan, M. N. Bashir, N. Akram, R. Farade, and A. Afzal, "The effects of graphene oxide nanoparticle additive stably dispersed in dairy scum oil biodiesel-diesel fuel blend on CI engine: performance, emission and combustion characteristics," *Fuel*, vol. 257, pp. 116015, 2019.
- [2] M. Zandie, H. K. Ng, S. Gan, M. F. M. Said, and X. Cheng, "Review of the advances in integrated chemical kinetics-computational fluid dynamics combustion modelling studies of gasoline-biodiesel mixtures," *Transportation Engineering*, vol. 7, pp. 100102, 2022.
- [3] A. Heidari-Maleni, T. Mesri-Gundoshmian, A. Jahanbakhshi, B. Karimi, and B. Ghobadian, "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*, vol. 21, pp. 100294, 2021.
- [4] M. Hatami, M. Hasanpour, and D. Jing, "Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 318, pp. 114250, 2020.
- [5] F. C. P. Leach, M. Davy, and B. Terry, "Combustion and emissions from cerium oxide nanoparticle dosed diesel fuel in a high speed diesel research engine under low temperature combustion (LTC) conditions," *Fuel*, vol. 288, pp. 119636, 2021.
- [6] D. Mei, X. Li, Q. Wu and P. Sun, "Role of cerium oxide nanoparticles as diesel additives in combustion efficiency improvements and emission reduction," *Journal of Energy Engineering*, vol. 142 (4), pp. 1-6, 2016.
- [7] K. Brindahdevi, P. T. Kim, M. V. Kumar, C. Govindasamy, A. Anderson, and B. Gavurova, "Enhancing emission control and analyzing the performance and combustion attributes of vehicular engines with spirulina microalgae diesel  $Ce_2O_3$  nanoparticles blends," *Environmental Research*, vol. 239, pp. 117370, 2023.
- [8] M. M. Uyar, A. B. Demirpolat, and H. Arslanoğlu, "Investigation of performance and emission values of biodiesel fuels produced by adding ZnO nanoparticles as additives to waste sunflower and Köhnü grape seed oil," *Colloid and Polymer Science*, vol. 301, pp. 557-567, 2023.
- [9] A. T. Hoang, D. Balasubramanian, I. P. Venugopal, V. Rajendran, D. T. Nguyen, K. R. Lawrence, X. P. Nguyen, and M. A. Kalam, "A feasible and promising approach for diesel engine fuelled with a blend of biodiesel and low-viscosity Cinnamon oil: A comprehensive analysis of performance, combustion, and exergy," *Journal of Cleaner Production*, vol. 401, pp. 136682, 2023.
- [10] E. G. Varuvel, T. Subramanian, P. Khatri, "Effect of diglyme addition on performance and emission characteristics of hybrid minor vegetable oil blends (rubber seed and babassu oil) in a tractor engine – an experimental study," *Biofuels*, vol. 11 (7), pp. 829-837, 2018.
- [11] P. Murugesan, A. T. Hoang, E. P. Venkatesan, D. S. Kumar, B. Balasubramanian, A. T. Le, and V. V. Pham, "Role of hydrogen in improving performance and emission characteristics of homogeneous charge compression ignition engine fueled with graphite oxide nanoparticle-added microalgae biodiesel/ diesel blends." *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 47 (88), pp. 37617-37634, 2022.
- [12] T. S. Singh, U. Rajak, O. D. Samuel, P. K. Chaurasiya, K. Natarajan, T. N. Verma, and P. Nashine, "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with microalgae Spirulina (L.)—Response surface methodology and full factorial method approach," *Fuel*, vol. 285, pp. 119103, 2021.
- [13] M. Mehregan, and M. Moghiman, "Numerical investigation of effect of nano-aluminum addition on Nox and CO pollutants emission in liquid fuels combustion," *Int J Mater Mech Manuf.*, vol. 2(1), pp. 60-63, 2014.
- [14] G. Pullagura, J. R. Bikkavolu, S. Vadapalli, P. V. V. Siva, K. R. R. Chebattina, D. Barik, A. Nayyar, P. Sharma, and B. J. Bora, "Amplifying performance attributes of biodiesel–diesel blends through hydrogen infusion and graphene oxide nanoparticles in a diesel engine," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 26, pp. 2235-2257, 2024.
- [15] A.B. Arslan and M. Çelik, "Optimizing Engine Performance & Emissions With  $CeO_2$  Nanoparticles In Diesel Fuel: Via Response Surface Method," *Ct&F - Ciencia, Tecnología & Futuro*, vol. 13, pp. 55 – 68, 2023.
- [16] A. Abdulvahitoğlu and G. Tüccar, "Evaluation of watermelon seed biodiesel as an alternative fuel in diesel engines," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 32 (1) pp. 189-194, 2017.
- [17] M. Çelik, İ. Örs, C. Bayındırlı, M. Demiralp, "Experimental investigation of impact of addition of bioethanol in different biodiesels, on performance, combustion and emission characteristics," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 31 (11), pp. 5581-5592, 2017.