

Biyoyakıt İçerisine Düşük Konsantrasyonda Titanyum oxide (Ti₂O) Nanopartikül Katkı Maddesinin Egzoz Emisyonlara Etkilerinin Deneysel Tespiti

Mehmet Celik ^{1*}, Cihan Bayındırlı²

¹ Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

² Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

*(mehcelik@karabuk.edu.tr)

Özet – Dünyada artan nüfus ile enerji talebinin de sürekli artması, fosil yakıt kaynaklarının azalması, alternatif yakıtlar ve yakıt katkı maddeleri arayışına yol açmıştır. Bu alternatif yakıt arayışlarından birisi olan biyodizel kapalı karbon döngüsü sayesinde dışa bağımlılığını ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltmaktadır. Biyodizelin birçok avantajının yanında, nitrojen oksit emisyonunun artması, soğuk hava koşullarına uyumsuzluğu ve tıkanma nedeniyle yakıt filtreleri, yakıt depoları ve yakıt hatları gibi motor parçalarının düzenli aralıklarla değiştirilmesi gibi dezavantajları da vardır. Yakıt katkı maddeleri olarak nanopartiküllerin (NPs) eklenmesiyle yakıt özelliklerinin geliştirilmesi bu dezavantajların üstesinden gelinmesi için en önemli yöntemlerden birisidir. Yakıt katkı maddeleri üzerine yapılan son araştırmalar yakıt karışımlarının termofiziksel özelliklerinde bir iyileşme, ısı transfer oranında bir artış ve stabilizasyon olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada pamuk yağı metil esteri içerisine 2 farklı konsantrasyonda (50 ppm ve 75 ppm) titanyum oksit nanopartikül katkı maddesi eklenmiş ve elde edilen test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu test yakıtlarının 3 silindri su soğutmalı bir test motorunda 1800 dev/dak 4 farklı yükte egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Test yakıtlarında titanyum oksit katkısının oranın artışına paralel şekilde CO ve is emisyonlarının düştüğü görülmüştür. Maksimum motor yükünde P0 yakıtına göre PTi-75 yakıtında (75 ppm NPs ilaveli) CO ve is emisyonlarında sırasıyla %45 ve %36 ya varan azalışlar tespit edilmiştir. Yakıt özelliklerinin iyileşmesi ve yanmadaki iyileşmeye bağlı olarak da CO₂ ve NO_x emisyonlarının sırasıyla yaklaşık %9 ve %16'ya kadar artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Nanopartikül Yakıt Katkısı, Biyoyakıt, Biyodizel, Egzoz Emisyonları

I. GİRİŞ

Mevcut araştırmalar, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonları da dahil olmak üzere sera gazlarının (GHG) yaklaşık üçte birini ürettiğinden, ulaşım sektörünün küresel ısınmaya önemli bir katkıda bulunduğunu göstermiştir [1]. Dizel motorlar, yüksek tork kapasitesi ve yakıt tüketim verimliliği avantajları nedeniyle ulaşım, tarım ve enerji üretimi gibi alanlarda ana güç kaynağı olarak kullanılsa da, dizel motorlardan yayılan yüksek miktarda nitrojen oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonları vardır. Dizel motorlarda petrol bazlı yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan

çevre ve sağlık açısından zararlı bu emisyonların miktarının azaltılması için yanma sırasında, öncesinde ve sonrasında çeşitli önlemler/uygulamalar yapılmaktadır. Bu önlem ve uygulamalar, alternatif yakıtların kullanılması, yeni yakma stratejileri ve egzoz arıtma sistemleri olarak ifade edilebilir. Modern dizel motorlarda SCR, partikül filtresi ve oksidasyon katalizörü gibi çeşitli son işlem elemanlarının kullanılması, bu emisyonları büyük ölçüde azaltırken hem motor maliyetini hem de işletme giderlerini artırmakta ve yoğun çalışan araçlarda bakım zorluğuna yol açmakta ve yakıt verimliliğine büyük katkı sağlamaktadır. Bu nedenle hem mevcut emisyon

düzenlemelerini karşılamak hem de enerji tasarrufu sağlamak için alternatif yakıtların kullanılması ve yeni yanma stratejilerinin geliştirilmesi motor üreticileri ve araştırmacılar arasında çok önemli bir yer tutmaktadır [2]. Halihazırda mevcut alternatif yakıtlardan biyodizel, biyolojik olarak parçalanabilirlik, toksik olmama, geri dönüştürülebilirlik ve mevcut yakıt altyapısı ve dizel motor donanım kurulumu ile uyumluluğun yanı sıra daha basit bir üretim süreci dahil olmak üzere birçok özelliği nedeniyle dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıttır. Biyodizel yakıtları ve karışımlarının kullanılmasında, CO₂, kükürt dioksit (SO₂), partikül madde (PM) ve yanmamış hidrokarbonlarda (HC) nispi düşüşler ile emisyonlar üzerinde olumlu etkileri görülmektedir [1]. Ancak biyodizel yakıtın artan NO_x, zayıf atomizasyon ve eksik yanma gibi bazı dezavantajları vardır. Biyodizel yakıtın olumsuz etkilerini azaltabilecek birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden son yıllarda yaygın olarak araştırılan konulardan biriside NPs katkı maddeleri ve katalizörlerin kullanılmasıdır. NPs katkı maddeleri yanma reaksiyonunun gidişatını değiştirir ve daha fazla enerji açığa çıkaran daha eksiksiz yanmalara neden olur [3]. Genellikle NPs, boyut ve şekil olarak sıradan katalizörlerden oldukça farklıdır. NPs, yakıtta, çok küçük oranlarda eklenir ve yakıtta kolayca çözünürler. Temel amaçları, yakıt özelliklerini geliştirmek, performans ve oksidasyon kısıtlamalarını azaltmaktır [4]. Yakıtlara NPs eklenmesi, yakıtların termofiziksel özelliklerini viskozite ve yoğunluk gibi yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilir [5]. Yapılan bu çalışmada nano partikül yakıt katkı maddesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan motor parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

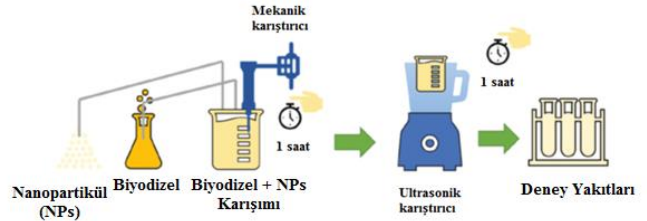
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada yakıt olarak pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile pamuk yağı metil esteri (P0) üretildi. Motor deneyleri Şekil 1’ de görülen deney düzeneğinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada deney motoru olarak 4 zamanlı su soğutmalı 3 silindirli motor kullanılmıştır. Biyodizel içerisine nanopartiküller hassas terazide tartılarak Şekil 2’de görüldüğü gibi titanyum oxide (Ti₂O) nanopartikül katkı maddeleri ilave

edilmiştir. Önce metalik karıştırıcı ile 1 saat karıştırılan NPs daha sonra 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda 50ppm (PTi-50) ve 75ppm (PTi-75) oranlarında yakıtta karıştırılmıştır. Elde edilen yakıtların özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Egzoz emisyonlarının ölçümünde teknik özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3’de verilen Bosch BEA60 ve Bosch BEA70 model egzoz emisyon ölçüm cihazları kullanılmıştır. Deneyler 1800 dev/dak’da 4 farklı motor yükünde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği



Şekil 2. Nanopartikül + biyodizel yakıt karışımlarının hazırlanma adımları

Tablo 1. Deney yakıtlarının özellikleri

	Yoğunluk (kg/m ³)	Kinematik Viskozite (mm ² /s),	Parlama Noktası (°C)	Alt Isıl Değer (MJ/kg)
P0	886	4,6	175	38,80
PTi-50	859	4,2	165	39,01
PTi-75	846	4,0	152	39,22

Tablo 2. Bosch BEA350 teknik özellikleri

	Ölçüm aralığı	Hassaslık
CO	0-10% vol	0,001% vol
HC	0-9999 ppm	1 ppm
NO	0-5000 ppm	<=1 ppm
CO ₂	0-18% vol	0,01% vol
O ₂	0-22% vol	0,01% vol

Tablo 3. Bosch BEA070 teknik özellikleri

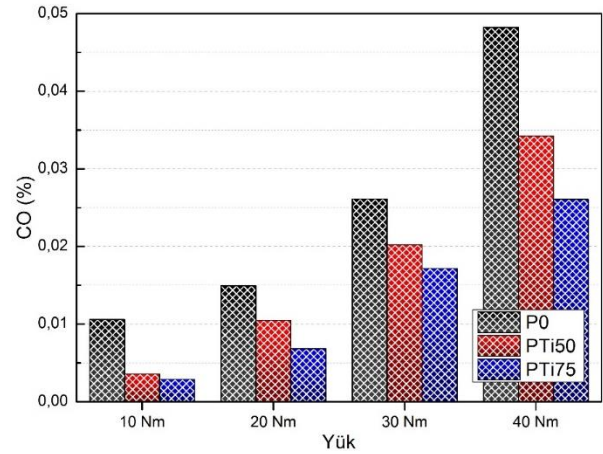
	Opaklık	k
Ölçüm Aralığı	0-% 100	0,1%
Soğurma Katsayısı (k)	0-9,99 m ⁻¹	0,01
Ölçüm Odası Uzunluğu	215 mm	
Uygulama Aralığı	+5 °C–+40 °C	
Ortamın Bağlı Nemi	<%90	

III. BULGULAR

3.1. Karbonmonoksit Emisyonları (CO)

İçten yanmalı motorlardan İYM'lerden salınan CO emisyonlarının oluşumunu etkileyen birçok parametre vardır. Uygun olmayan hava/akış oranı, ısıtma değeri, yakıtlarının soğuk akış özellikleri, çalışma koşulları, kullanılan yakıtların oksijen ve karbon içerikleri, yanma odası şekli, yanma süresi, enjeksiyon basıncı, yakıt spreyin nüfuzu, enjeksiyon zamanlaması, yanma başlangıcı vb. parametreler CO emisyonunun oluşmasının olası sebepleri olarak sayılabilir. Yanma işlemi sırasında, yanma odasında yakıtın tamamen yanması için gerekli oksijen yetersizliği nedeniyle yakıt gerektiği gibi oksitlenmezse, eksik yanma meydana gelir ve bu da CO emisyonunda bir artış eğilimine neden olur [6-7]. Şekil 3' de test yakıtlarının CO emisyonu grafiği görülmektedir. NPs katkı maddesi ilave edilen test yakıtlarında katkı oranının artışıyla CO emisyonları da azalmaktadır. Düşük yüklerde CO emisyonlarındaki azalma daha fazla olurken yük artışıyla birlikte azalma oranı düşmektedir. 10 Nm yükte P0 yakıtına göre CO emisyonlarında azalma PTi-50 ve PTi -75 yakıtlarında sırasıyla %66,24 ve %72,85 olurken, 40 Nm yükte azalma oranı sırasıyla %28,94 ve %45,91 olmuştur. Düşük yük koşullarında NPs katkı maddesi ilavesinin CO emisyonunda belirgin bir azalmaya yol açtığı görülmektedir. Düşük yük koşullarında daha kısa yanma süresi, difüzyon fazındaki daha yüksek yanma hızına karşılık gelir, bu da silindirdeki oksijenden yoksun bölgelerde oluşan CO'nun oksidasyonunu kolaylaştırabilir. NPs katkı maddesi oksijen içeriği ve güçlü katalitik özelliği, tamamlanmış yakıt yanmasını kolaylaştırır ve NPs ilaveli yakıtların daha düşük CO emisyonları açığa çıkarmasında bir faktör olmaktadır. Ayrıca, CO oksidasyonu sırasında, NPs bir katalizör görevi görür ve adsorbe edilen CO ile oksitlenmesi için yüzey kafes oksijeni sağlar [8]. Ek olarak, hızlanan

kimyasal reaksiyonlar sonucunda tamamen oksitlenmek için yeterli süreye sahip olmayan yakıtlar için ikincil bir oksidasyon şansı da sağlarlar [6].



Şekil 3. Test yakıtlarının CO emisyonu grafiği

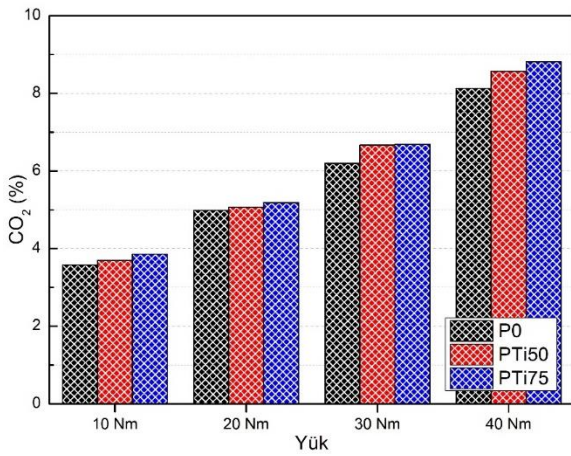
3.2. Karbon dioksit Emisyonları (CO₂)

CO₂, sera gazı olduğu için tehlikeli bir kirletici olarak sınıflandırılmasa da, bu maddenin kontrol edilmesi esastır [9]. CO₂ oluşumu, silindirde CO'nun CO₂'ye dönüştürülmesiyle tam ve kaliteli yanmanın gerçekleştiğini açıkça göstermektedir [10]. Şekil 4'de test yakıtlarının CO₂ emisyonları grafiği görülmektedir. 40 Nm yükte CO₂ emisyonlarındaki artış P0 yakıtına göre PTi-50 ve PTi -75 yakıtlarında sırasıyla %5,40 ve %8,43 olmuştur. Genel olarak, nanopartiküller karbondioksit (CO₂) içeriğini artırır. Test yakıtları için CO emisyonundaki bu azalmalar, güçlü redoksaktif özelliği sayesinde nanopartiküllerin CO'yu CO₂'ye dönüştürme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, nanopartiküllerin yanma sürecini iyileştirmesi, böylece CO emisyonu azaldığında CO₂ oluşumu arttığında CO ve CO₂ oluşumu arasında bir denge olması ile açıklanabilir [9].

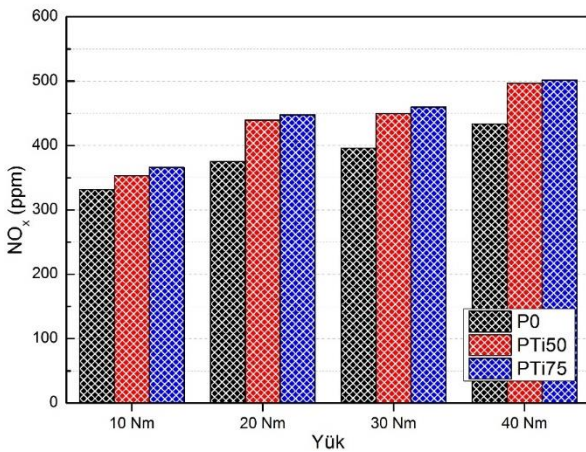
3.3. Azot oksit Emisyonları (NO_x)

NO_x emisyonları, bitki örtüsüne zarar vermesi açısından çevreyi etkileyen ve başta akciğer hastalıkları olmak üzere insan ve hayvan hastalıklarına neden olan en zararlı kirleticilerden biri olarak bilinmektedir. NO_x emisyonlarının ana nedenleri arasında yüksek sıcaklık en önemli faktördür [6]. Motordan yanma sonrası NO_x oluşumu öncelikle yakıttaki oksijen içeriğine, yanma süresine ve hava sıcaklığına bağlıdır [10].

Şekil 5’ de NOx emisyonları grafiği görülmektedir. Genel olarak, artan motor yükü ile NOx emisyonu artar. Bunun nedeni, NOx oluşumunun alev hızından önemli ölçüde etkilenmesi ve NOx’in oluşması için daha uzun süre sağlayan fakir karışımlarla daha düşük alev hızlarından kaynaklanabilir [11]. Ayrıca, kimyasal kinetik, artan alev sıcaklığı ile NOx oluşumunun önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Böylece reaksiyon bölgesinin zayıf tarafında difüzyon kontrollü yanma fazı sırasında NOx oluşur. NOx emisyonlarını azaltmanın başlıca iki yolu vardır: alev sıcaklığını düşürmek ve yanma süresini azaltmaktır [12].



Şekil 4. Test yakıtlarının CO₂ emisyonu grafiği

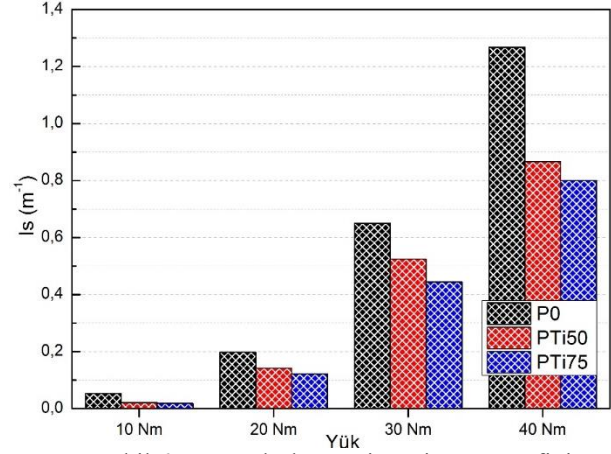


Şekil 5. Test yakıtlarının NOx emisyonu grafiği

3.4. Is (smoke) Emisyonları

Şekil 6’da is emisyonları grafiği görülmektedir. Yük artışıyla birlikte is emisyonlarının arttığı görülmüştür. 10 Nm yükte NPs katkı maddesi ilave edilen test yakıtlarında is emisyonundaki azalma P0 yakıtına göre PTi -50 ve PTi -75 yakıtlarında sırasıyla %61,27 ve %65,65 olurken 40 Nm yükte %31,68 ve %36,85

olduğu görülmüştür. Is emisyonunun oluşumu esas olarak çok zengin veya fakir karışımın yetersiz yanmasından kaynaklanır. Bu, silindirde daha iyi yanma ile sonuçlanan O₂ moleküllerinin mevcudiyeti ile düzeltilebilir. Artan katalitik aktivite, daha fazla O₂ mevcudiyeti ve difüzyon kontrollü yanma fazının geliştirilmesinin üçlü etkisiyle daha az is emisyonu üretilir [13].



Şekil 6. Test yakıtlarının is emisyonu grafiği

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, pamuk yağından elde edilen biyodizel içerisine TiO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin dizel motor emisyon parametreleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Biyodizel TiO₂ nanopartikül eklenmesi, TiO₂ nanopartikül katkısının termal özelliği ve oksijen depolama kapasitesi nedeniyle yanma özelliklerini iyileştirmiştir. Biyodizele göre nanopartikül katkılı yakıtların yakıt özelliklerindeki iyileşme sayesinde yakıt enjeksiyon özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Sonuç olarak, CO, ve is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Diğer yandan TiO₂ nanopartikül katkısının katalizör etkisinden dolayı CO₂ ve NOx emisyonu artmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, TiO₂ nanopartikül katkısının biyodizel yakıtı için yakıt katkı maddesi olarak kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak TiO₂ nanopartikül katkısının yakıt karışımlarının uzun süreli kullanımlarda motor parçaları üzerindeki etkileri de incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Zandie , M., Ng, H.K., Gan, S., Said, M.F.M., Cheng, X., “Review of the advances in integrated chemical kinetics-computational fluid dynamics combustion modelling studies of gasoline-biodiesel mixtures”, *Transportation Engineering*, 7:100102, (2022).
- [2] Fırat, M., Altun, Ş., Okçu, M., Varol, Y., “Experimental investigation on combustion and emission characteristics of reactivity controlled compression ignition engine powered with iso-propanol/biodiesel blends”, *Propulsion and Power Research*, 11(2):224-239, (2022).
- [3] Heidari-Maleni, A., Mesri-Gundoshmian, T., Jahanbakhshi, A., Karimi, B., Ghobadian, B., “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, (2021).
- [4] M.G. Bidir, N.K. Millerjothi, M.S. Adaramola, F.Y. Hagos, “The role of nanoparticles on biofuel production and as an additive in ternary blend fuelled diesel engine: A review”, *Energy Rep.*, 7:3614–3627, (2021).
- [5] Yugandharsai, R., Jayaraman, J., Reddy, S., “Effects of injection pressure on performance&emission characteristics of CI engine using graphene oxide additive in bio-diesel blend”, *Mater. Today:Proceedings*, 44:3716–3722, (2021).
- [6] Polat, F., “Experimental evaluation of the impacts of diesel-nanoparticles-waste tire pyrolysis oil ternary blends on the combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine”, *Process Safety and Environmental Protection*, 160:847–858, 2022.
- [7] Razzaq, L., Mujtaba M.A., Soudagar, M.E.M., Ahmed W., Fayaz, H., Bashir, S., Fattah, I.M.R., Ong, H.C., Shahapurkar, K., Afzal, A., Wageh, S., Al-Ghamdi, A., Ali, M.A., EL-Seesy, A.I., “Engine performance and emission characteristics of palm biodiesel blends with graphene oxide nanoplatelets and dimethyl carbonate additives”, *Journal of Environmental Management*, 282:111917, (2021).
- [8] Wei, J., He C., Fan, C., Pan, P., Wei, M., Wang, C., “Comparison in the effects of alumina, ceria and silica nanoparticle additives on the combustion and emission characteristics of a modern methanol-diesel dual-fuel CI engine”, *Energy Conversion and Management*, 238:114121, (2021).
- [9] Hoseini, S.S., Najafi, G., Ghobadian, B., Ebadi, M.T., Mamat, R., Yusaf, T., “Biodiesels from three feedstock: The effect of graphene oxide (GO) nanoparticles diesel engine parameters fuelled with biodiesel”, *Renewable Energy*, 145:190-201, (2020).
- [10] Sathyamurthy, R., Balaji, D., Gorjian, S., Muthiya, S.J., Bharathwaaj, R., Vasanthaseelan, S., Essa, F.A., “Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43:100981, (2021).
- [11] EL-Seesy, A.I., Hassan, H., “Investigation of the effect of adding graphene oxide, graphene nanoplatelet, and multiwalled carbon nanotube additives with n-butanol-Jatropha methyl ester on a diesel engine performance”, *Renewable Energy*, 132:558-574, (2019).
- [12] EL-Seesy, A.I., Hassan, H., Ookawara, S., “Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled with Jatropha methyl ester and graphene oxide additives”, *Energy Conversion and Management*, 166:674–686, (2018).
- [13] Murugesan, P., Hoang, A.T., Venkatesan, E.P., Kumar, D.S., Balasubramanian, D., Le, A.T., Pham, V.V., “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*, 47: 37617-37634, 2022.