



Effect of Catalyst Used in Exhaust Line on Emission Characteristics of a Single-Cylinder Diesel Engine

İbrahim Aslan REŞİTOĞLU¹

Keywords

Catalysts, Diesel Engine, Pollutant emissions.

Abstract

Climate change and global warming caused by air pollution have become one of the most important problems of our day. Diesel engines, which cause high levels of pollutant emissions, mainly NO_x and PM, are the main sources of air pollution. Many different technologies have been developed to reduce pollutant emissions from diesel engines. DOC (Diesel Oxidation Catalyst) and SCR (Selective Catalytic Reduction) are among the most widely used technologies. In this study, DOC and SCR technologies are used to reduce the pollutant emissions of a single cylinder diesel engine. As a result of the DOC and SCR catalysts placed at the exhaust outlet, significant reductions in pollutant emission values have been achieved.

Article History

Received
28 Nov, 2020
Accepted
30 Dec, 2020

Egzoz Hattında Kullanılan Katalizörlerin Tek Silindirli Bir Dizel Motora Ait Emisyon Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

Anahtar Kelimeler

Katalizörler, Dizel motor, Kirletici emisyonlar.

Özet

Hava kirliliği sonucunda oluşan iklim değişikliği ve küresel ısınma günümüzün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Başta NO_x ve PM olmak üzere yüksek oranda kirletici emisyon oluşumuna neden olan dizel motorlar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarından biridir. Dizel motorlardan kaynaklanan kirletici emisyonların azaltılmasına yönelik birçok farklı teknoloji geliştirilmektedir. DOC (Dizel Oksidasyon Katalizörü) ve SCR (Seçici Katalitik İndirgeme) en yaygın olarak kullanılan teknolojiler arasındadır. Bu çalışmada tek silindirli dizel motora ait kirletici emisyonların azaltılması amacıyla DOC ve SCR teknolojileri kullanılmıştır. Egzoz çıkışına yerleştirilen DOC ve SCR katalizörleri neticesinde kirletici emisyon değerlerinde önemli azalmalar sağlanmıştır.

Makale Geçmişi

Alınan Tarih
28 Nov, 2020
Kabul Tarihi
30 Dec, 2020

1. Giriş

Son on yılda etkilerini daha fazla hissettiğimiz hava kirliliği, günümüzde insanoğlunun karşı karşıya kaldığı en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Her yıl dünya genelinde milyonlarca insan hava kirliliğine bağlı olarak hayatını kaybetmekte, insan sağlığı üzerinde geri dönüşümü olmayan hastalıklar oluşmakta, içerisinde yaşadığımız habitat üzerinde de ciddi zararlar meydana

¹ Corresponding Author. ORCID: 0000-0002-3611-4574. Doç. Dr., Mersin Üniversitesi, aslanresitoglu@mersin.edu.tr

gelmektedir. Hava kirliliğindeki artışın devamı durumunda dünya genelinde çok daha ağır senaryoların gerçekleşeceği kaçınılmazdır (Li, 2020).

Ulaşım, hizmet, ziraat, taşımacılık vb. sektörlerde kullanılan ve içten yanmalı motorlarla tahrik edilen taşıtlar şüphesiz hava kirliliğine yol açan kaynakların başında gelmektedir. İçten yanmalı motorlarda silindir içerisindeki yanma sonucu açığa çıkan başlıca kirleticiler CO, HC, NO_x ve PM emisyonlarıdır. Egzoz çıkışından çevreye salınan bu kirleticiler, insan sağlığı ve çevre üzerinde ciddi tahribatlara neden olmaktadır (Resitoğlu ve ark. 2015).

Çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturdukları tahribatlar açısından kıyaslandığında, Dizel motorlu taşıtların benzin motorlu taşıtlara göre daha zararlı oldukları görülmektedir. Özellikle dizel motorlarda yanma sonucu açığa çıkan yüksek miktardaki NO_x ve PM emisyonları ve bu emisyonların oluşturduğu olumsuz etkiler (insan kayıpları, hastalıklardaki artışa bağlı olarak oluşan sosyal yardım giderleri, çevre tahribatları, küresel ısınma vd.) ülke ekonomilerine ciddi zararlar vermeye başlamıştır (Chen, 2021:755). Aynı zamanda bu emisyonların azaltılmasına yönelik uygulanan teknolojilerin maliyetleri, çevresel etkiler, her geçen yıl gittikçe sıkılaştıran standartlar ve düzenlemeler birçok araç üreticisinin taşıtlarda dizel motor kullanımını sonlandırmasına sebep olmaktadır. Her ne kadar otomobiller için bu durumun oluşma ihtimali var olsa da ağır hizmet taşıtları için bu durumun gerçekleşmesinin uzun yıllar alacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde halen dizel motorlar yüksek verimlilik, yüksek dayanıklılık ve düşük yakıt tüketim nedenlerinden dolayı birçok farklı alanda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Breeze, 2018).

Çeşitli kuruluşlar tarafından yürürlüğe sokulan emisyon standartları (Euro, Tier vb.) dizel motorların oluşturduğu kirletici emisyonları en düşük seviyelere indirmeyi amaçlamaktadır (May ve ark., 2013). 90'lı yıllardan bu yana yürürlükte olan bu standartlar birçok farklı emisyon kontrol sistemlerinin geliştirilmesini ve taşıt motorlarından salınan kirletici emisyonların önemli miktarlarda azaltılmasını sağlamıştır. Her ne kadar emisyonların düşürülmesi için kullanılan EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyonu), elektronik kontrollü yakıt püskürtme sistemleri, motor modifikasyonları vb. teknolojiler emisyon değerlerinde önemli azalmalar sağlamışlarsa da günümüzde yürürlükte olan kirletici emisyon değerlerinin sağlanabilmesi ancak motor sonrası emisyon kontrol sistemleri sayesinde gerçekleşebilmektedir. Dizel motorlarda kullanılan başlıca emisyon kontrol sistemleri ise DOC (Dizel Oksidasyon Katalizörü), DPF (Dizel Partikül Filtre) ve SCR (Seçici Katalitik İndirgeme) teknolojileridir (Gelso ve Dahl, 2017). Günümüzde bu teknolojiler sayesinde çeşitli kuruluşlarca belirlenen emisyon standart değerleri sağlanabilmektedir. DOC ile CO ve HC emisyonları CO₂ ve suya dönüştürülmekte, DPF sayesinde egzoz içeriğinde yer alan PM emisyonları ayrıştırılarak yakılmakta, SCR teknolojisi sayesinde ise NO_x emisyonlarının büyük bir bölümü bir indirgeyici (NH₃, HC vb) ve katalizör kullanılarak yeniden N₂ formuna dönüştürülmektedir. DPF bir filtre görevi üstlenirken DOC ve SCR teknolojilerinde dönüşümler katalizör kullanılarak çeşitli kimyasal tepkimeler neticesinde gerçekleşmektedir. Pt, Rh gibi değerli metallere sahip Al₂O₃ yapılar DOC olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Dong ve Yamazaki, 2020). Metal

oksitler ve zeolitler ise SCR teknolojisinde en çok tercih edilen katalizör türleridir (Yu ve ark. 2020).

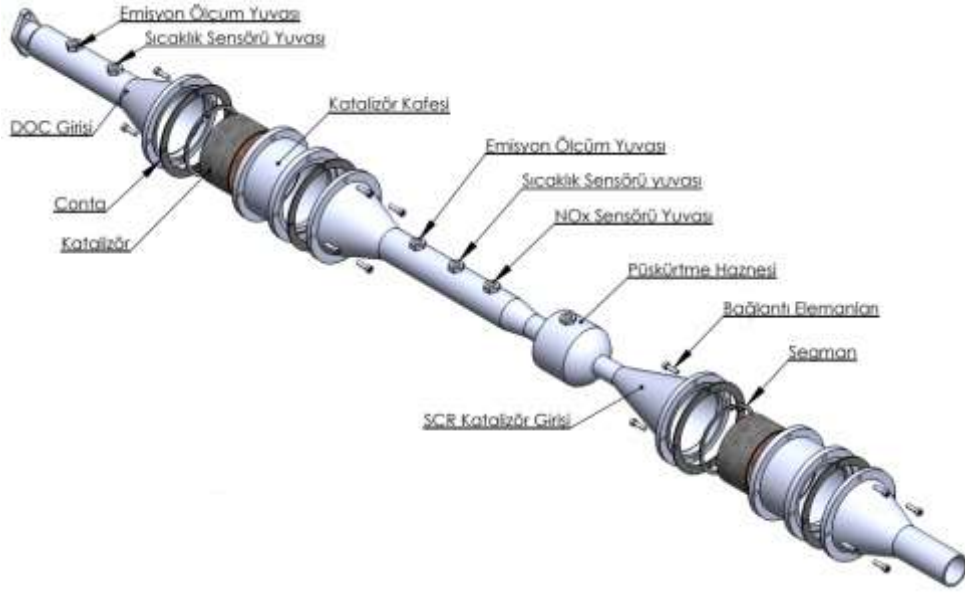
Bu çalışmada farklı çalışma şartlarında DOC ve SCR katalizörlerinin sergileyeceği dönüşüm verimliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tek silindirli bir dizel motorun egzoz çıkışına konumlandırılan DOC ve SCR katalizörlerinin motora ait egzoz karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Katalizörler

Çalışmada DOC ve SCR katalizörü olarak sırasıyla geleneksel Pt/Al₂O₃ katalizörü ve V₂O₅-WO₃/TiO₂ katalizörü kullanılmıştır. Katalizörlerin her ikisi de 400 cpsi (bin inç karedeki gözenek sayısı) gözeneğe sahip olmakla beraber hazır olarak temin edilmişlerdir. DOC katalizörüne ait Pt yükleme oranı 50 g/ft³ değerindedir. DOC ve SCR katalizörlerine ait BET yüzey alanları ise sırasıyla 30,32 m²/g ve 26,24 m²/g olarak elde edilmiştir. Testlerin gerçekleştirilmesi için özel bir egzoz sistemi kullanılmış olup katalizörün bu egzoz sistemine adaptasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

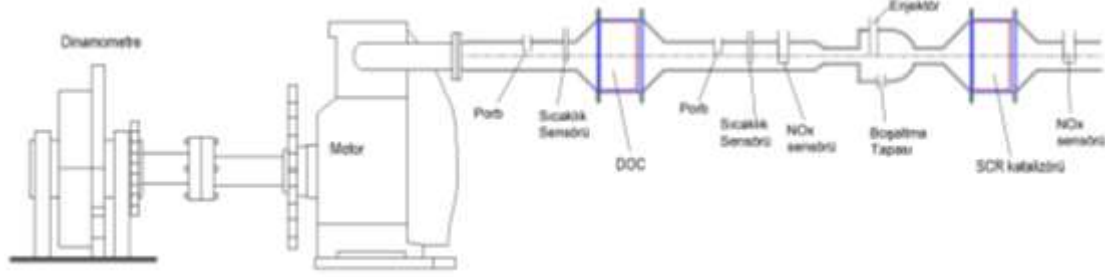
Şekil 1. Katalizörlerin yerleşimi



2.2. Deneysel Düzenek

Çalışmada kullanılan deneysel düzeneğe ait şematik görünüm Şekil 2'de sunulmaktadır. Testlerin gerçekleştirilmesinde Kirloskar TV1 model tek silindirli, direk enjeksiyonlu, 4 zamanlı, 0.6 L silindir hacimli, maksimum 1500 d/d motor devrine ve 15 kW motor gücüne sahip bir dizel motor kullanılmıştır.

Şekil 2. Deney düzeneği



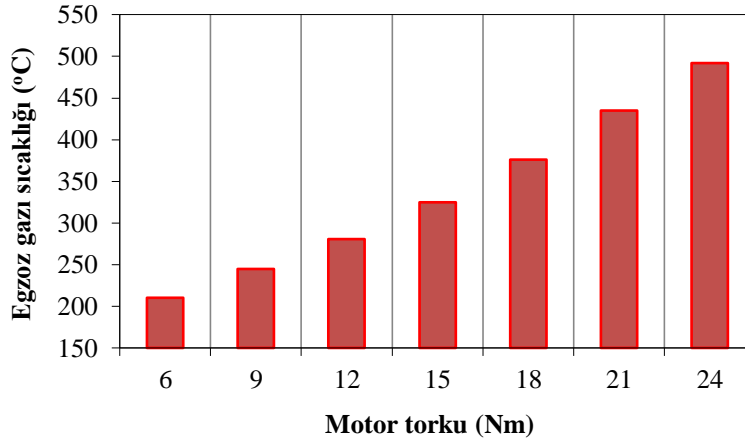
Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesinde Testo 350-S gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Egzoz çıkışına yerleştirilen sıcaklık sensörü sayesinde egzoz gazı sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Motora monte edilmiş olan elektrikli dinamometre sabit motor devrinde (1500 d/d), motorun 0-30 Nm aralığında yüklenebilmesine imkan sağlamıştır. Deney düzeneğinde kullanılan bir elektronik kontrol sistemi ile egzoz gazı içeriğinde bulunan NO_x miktarına ve egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak SCR katalizöründen önce egzoz gazı üzerine sulu üre çözeltilisi (AdBlue) püskürtülmüştür. Testler gerçekleştirilmeden önce motor 15 dk ısıtılarak çalışma sıcaklığına erişmesi sağlanmıştır. Katalizörlerin testi 6-24 Nm aralığında 3 Nm aralıklarla her bir tork değerinde 3 kez test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak motora ait egzoz gazı sıcaklığı, O₂, CO, NO ve NO_x değerleri elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Egzoz gazı sıcaklık değeri, silindir içerisinde gerçekleşen yanmaya bağlı olarak değişim göstermektedir. Yüksek yüklerde ve zengin karışım oranlarında gerçekleşen yanmada egzoz gazı sıcaklığı artış gösterirken, düşük motor yüklerinde ve fakir karışım oranlarında gerçekleşen yanma olaylarında egzoz gazı sıcaklığında azalma meydana gelmektedir. Şekil 3'te gösterilen egzoz gazı sıcaklığındaki değişiminde bu doğrultuda gerçekleştiği görülmektedir.

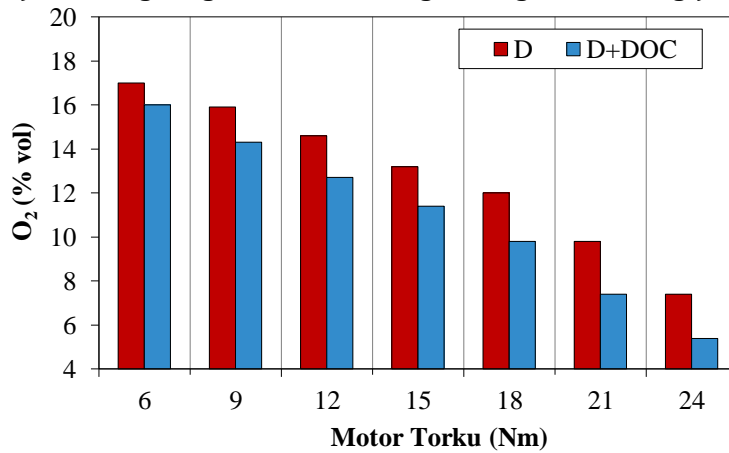
Egzoz gazı sıcaklığının motor sonrası emisyon kontrol sistemleri (DOC, DPF ve SCR) önemi oldukça büyüktür. DOC ve SCR katalizörleri, kimyasal tepkimelerin etkin bir şekilde gerçekleşebilmesi için belirli bir sıcaklığa (light-off temperature) ihtiyaç duymaktadır. Bu sıcaklık değeri katalizörün niteliğine ve katalist maddesine göre değişim gösterebilmektedir. Sıcaklıktaki artış, genel olarak DOC ve SCR katalizör dönüşüm verimliliğinde de arttırıcı bir etki yaratmaktadır. Ancak sıcaklık değerindeki aşırı artışlar (600 °C ve üzeri) katalizörler için tehlike arz etmektedir. Yüksek sıcaklıklar katalizörün yapısının bozulmasına ve katalizörün tahribata uğramasına yol açmaktadır.

Şekil 3. Egzoz gazı sıcaklığındaki değişim



Dizel motorlar benzinli motorlarla kıyaslandığında daha yüksek hava fazlalık katsayısı (HFK) ile çalışmaktadır. Bu durum dizel motor egzoz gazı içeriğinde önemli miktarda O_2 yer almasına olanak sağlamaktadır. Egzoz içeriğinde yer alan O_2 özellikle DOC katalizörlerinde CO ve HC emisyonlarının tepkimeye sokularak CO_2 ve H_2O dönüştürülmesinde rol oynamaktadır. Şekil 4 farklı motor devirlerinde DOC katalizörü öncesi ve sonrası egzoz gazının ihtiva ettiği O_2 değerlerini göstermektedir. Şekilde görüleceği üzere DOC katalizörü sonrası O_2 değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum DOC katalizörünün etkin bir şekilde çalıştığını ve dönüşümleri sağladığını ifade etmektedir. Motor yükü diğer ifadeyle egzoz gazı sıcaklığındaki artışa bağlı olarak DOC sonrasındaki azalma oranının gittikçe artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun temel nedeni DOC verimliliğinin yüksek egzoz gazı sıcaklığında daha etkin olmasıdır. DOC sonrası O_2 değerinde gerçekleşen azalma oranları 6 Nm, 9 Nm, 12 Nm, 15 Nm, 18 Nm, 21 Nm ve 24 Nm motor torklarında sırasıyla % 5.88, % 10.06, % 13.01, % 13.63, % 18.33, % 24.49 ve % 27.02 olarak elde edilmiştir.

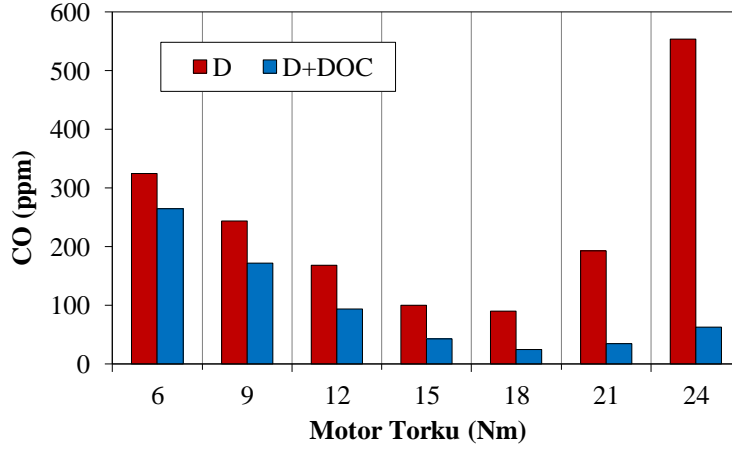
Şekil 4. Egzoz gazının ihtiva ettiği O_2 değerindeki değişim



Şekil 5, DOC kullanımı ile CO emisyonlarında sağlanan düşüşü ortaya koymaktadır. CO emisyonlarında maksimum azalma 24 Nm motor torkunda %88.63 oranında elde edilmiştir. Öte yandan düşük motor torklarında CO emisyon dönüşümünün daha düşük oranlarda gerçekleştiği görülmektedir. Tüm motor yüklerindeki

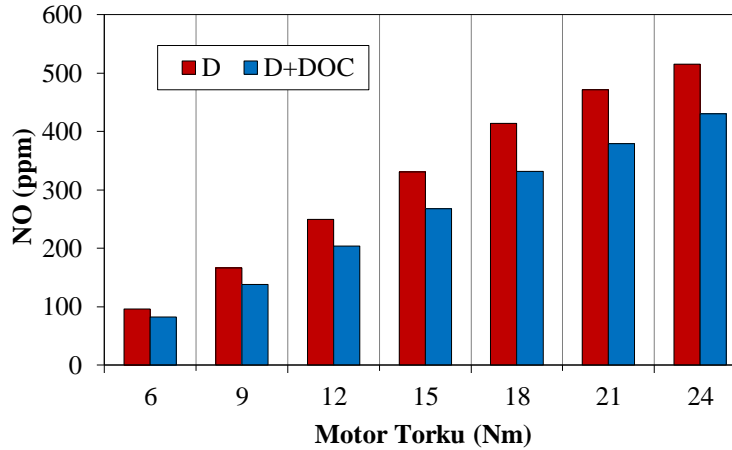
dönüşüm miktarları göz önüne alındığında ortalama dönüşüm miktarının yaklaşık %56 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Şekil 5. CO emisyonundaki değişim



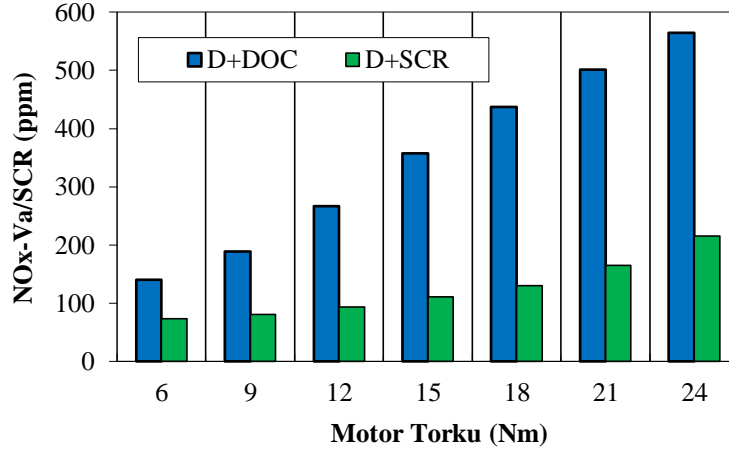
DOC katalizörlerinin önemli görevlerinden biriside egzoz gazının ihtiva ettiği NO formundaki emisyonları NO₂ formuna dönüştürmektedir. Bu durum NO_x emisyonlarının indirgenmesinin sağlandığı SCR sistemleri için büyük önem arz etmektedir. Şekil 6 DOC öncesi ve sonrası egzoz gazı içeriğinde yer alan NO emisyon değerlerini göstermektedir. DOC'de gerçekleşen maksimum NO dönüşüm % 19.81 oranında 18 Nm motor torkunda elde edilmiştir. Bu oran 6 Nm'de %14.58, 9 Nm'de %16.87, 12 Nm'de %18.07, 15 Nm'de %19.03, 21 Nm'de %19.53 ve 24 Nm'de ise %16.5 olarak elde edilmiştir.

Şekil 6. NO emisyonundaki değişim



Şekil 6 geleneksel V₂O₅-WO₃/TiO₂ katalizörünün farklı motor torklarında NO_x emisyonlarında sağladığı azalmayı göstermektedir. NO_x emisyonlarında maksimum azalma oranı 18 Nm motor torkunda % 70.25 oranında elde edilmiştir. Tüm motor torklarındaki azalma oranlarının ortalamaları alındığında genel olarak SCR sistemi kullanımıyla motora ait NO_x emisyonlarında % 62.56 oranında azalmanın sağlandığı belirlenmiştir.

Şekil 6. NO_x emisyonundaki değişim



3. Sonuç

Deneysel bir ortamda gerçekleştirilen bu çalışma ile DOC ve SCR teknolojilerinin tek silindirli bir dizel motor emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan egzoz sistemine DOC ve SCR sistemlerinin adaptasyonu sağlanarak farklı motor torklarında testler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak DOC ve SCR teknolojilerinin kullanımı ile kirletici emisyon değerlerinde önemli azalmalar elde edilmiştir. DOC katalizörü CO emisyonlarında %88.63 oranlarına varan azalmalar sağlamış iken, SCR sisteminin kullanılması ile elde edilen maksimum dönüşüm oranı %70.25 değerinde olmuştur. DOC ve SCR teknolojilerinin kirletici emisyon değerlerinde sağladığı yüksek düşüşler, bu teknolojilerin uzun bir müddet daha güncelliğini koruyacağını ve bu teknolojiler üzerindeki araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin uzun bir müddet devam edeceğini göstermektedir.

Kaynakça

- Breeze, Paul (2018), "Chapter 5 - Diesel Engines", içinde, "Piston Engine-Based Power Plants", Paul Breeze (Ed.), Academic Press, pp. 47-57.
- Chen, Fanglin (2021), "Cost of economic growth: Air pollution and health expenditure", Science of Total Environment, Vol. 755, No 1, February, pp. 142543.
- Dong, Fei ve Yamazaki, Kiyoshi (2020), "The Pt-Pd alloy catalyst and enhanced catalytic activity for diesel oxidation", Catalysis Today, Inpress.
- Li, Wen-Whai (2020), "Chapter 2 - Air pollution, air quality, vehicle emissions, and environmental regulations", içinde, "Traffic-Related Air Pollution", Haneen Kheris (Ed.), Elsevier, pp. 23-49.
- Gelso, Esteban ve Dahl, Johan (2017), "Diesel Engine Control with Exhaust Aftertreatment Constraints", IFAC-PapersOnLine, Vol. 50, No 1, July, pp. 8921-8926.

- May, J., Favre, C. ve Bosteels, D. (2013), "Emissions from Euro 3 to Euro 6 light-duty vehicles equipped with a range of emissions control Technologies", içerisinde, "Internal Combustion Engines: Performance, Fuel Economy and Emissions", IMeche, Woodhead Publishing, pp. 55-65.
- Resitoglu, İbrahim Aslan, Altınışik, Kemal ve Keskin Ali (2015), "The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems", Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 17, June, pp. 15-27.
- Yu, R., Zhao, Z., Huang, S., Zhang, W. (2020), "Cu-SSZ-13 zeolite-metal oxide hybrid catalysts with enhanced SO₂-tolerance in the NH₃-SCR of NO_x", Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 269, July, pp. 118825.



Strategic Research Academy ©

© Copyright of Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology (JoCREST) is the property of Strategic Research Academy and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.