



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1: 15-24 (2017)  
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University Special Issue 1: 15-24 (2017)

## Taşıt Egzoz Emisyonlarını Azaltma Yöntemlerindeki Gelişmeler<sup>a</sup>

Ahmet UYUMAZ<sup>1\*</sup>, Fahrettin BOZ<sup>1</sup>, Emre YILMAZ<sup>2</sup>, Hamit SOLMAZ<sup>2</sup>, Seyfi POLAT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara

<sup>3</sup>Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çorum

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)\*: [ayumaz@mehmetakif.edu.tr](mailto:ayumaz@mehmetakif.edu.tr)

---

### ÖZ

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonları çevreye ve insan sağlığına en fazla zarar veren faktörlerden birisidir. Dünyada hızlı bir şekilde artan araç sayısı ile taşıt kaynaklı egzoz emisyonları çok ciddi problemlere yol açmaktadır. Atmosfere salınan egzoz emisyonlarının kontrol edilememesi dünyanın yaşanmaz bir hale gelmesine neden olacaktır. Bu noktada, egzoz emisyon standartlarının gittikçe sınırlandırılması, araştırmacıları ve motor üreticilerini taşıt kaynaklı egzoz emisyonlarının azaltılmasında kullanılabilecek sistemleri geliştirmeye yöneltmektedir. Bu çalışmada taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları tarif edilerek, bu gazların azaltılma yöntemleri detaylı bir literatür taraması yapılarak incelenmiştir. Taşıt kaynaklı açığa çıkan egzoz emisyonlarını azaltmak için kullanılan en güncel ve teknolojik sistemler araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İçten yanmalı motorlar, emisyon, katalitik konvertör, EGR

## Developments in the Reduction Methods of Vehicle Exhaust Emissions

### ABSTRACT

Exhaust emissions produced from internal combustion engines are one of the most damage to environmental and human health. Exhaust emissions generated from motored vehicles with the rapid increase in the number of vehicles in the world causes to serious problems. Inability to control the exhaust emissions to the atmosphere will cause the world to become uninhabitable. At this point, researchers and engine manufacturers tend to develop the systems to reduce exhaust emissions because of increasingly limiting the exhaust emission standards. In this study exhaust emissions arose from motor vehicle were described and methods of reducing these gases were investigated making detailed literature review. The latest and technological systems used for reducing exhaust emissions produced from motored vehicle were investigated.

**Keywords:** Internal combustion engines, emission, catalytic converter, EGR

---

### GİRİŞ

Günümüzde hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerdir. Özellikle kentlerde ve büyük yerleşim merkezlerinde sayıları giderek artan taşıtlar çevre insan sağlığını

---

<sup>a</sup> 11 -13 Mayıs 2017 tarihleri arasında Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi tarafından düzenlenen "MESTEK 2017: 4. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi" kapsamında sunulmuştur.

tehdit etmektedir. Bu nedenle motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler araştırmacılar için geçmişten bu yana ilgi odağı olmuştur. Özellikle son yıllarda fosil kökenli yakıtların giderek azalması ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle temiz enerji, temiz yakıt ve yanma prosesleri üzerinde fazlasıyla çalışma yapılmıştır. Motor üreticileri de giderek zorlaşan emisyon sınırlamaları nedeniyle emisyon limitlerini sürekli düşürmeye zorlanmaktadır.

Bu çalışmada motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının oluşum mekanizmaları ve azaltma yöntemlerindeki gelişmeler hakkında detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ülkemizde ilgi odağı olan motorlu taşıt emisyonlarını azaltma konusunda yapılan çalışmalara bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

### Taşıt Kaynaklı Emisyonlar

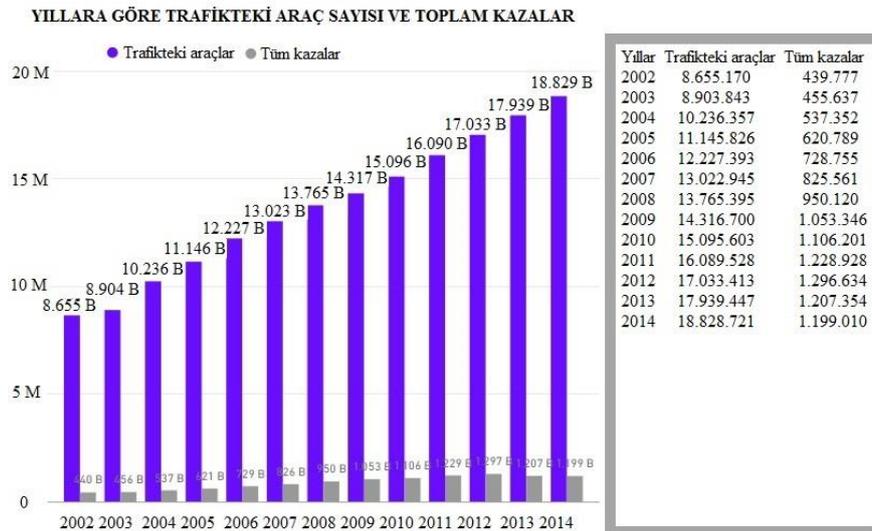
Konvansiyonel benzinli ve dizel motorlardan kaynaklanan başlıca egzoz emisyonları karbon monoksit (CO), azot oksit (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), partikül madde (PM), kükürt oksit (SO<sub>x</sub>) ve kurşun bileşikleridir (Pulkrabek, 2010). CO, NO<sub>x</sub>, HC ve PM yanma prosesinden kaynaklı olarak ortaya çıkan egzoz gazı ürünleridir. Ancak SO<sub>x</sub> ve kurşun bileşikleri yakıt kaynaklı kirleticilerdir. CO ve HC benzinli motorlarda daha yüksek oranlarda görülürken dizel motorlarda ise yüksek miktarda PM ve NO<sub>x</sub> oluşumu sorun teşkil etmektedir [(Alkaya ve Yıldırım, 2000),(Wang ve ark.,2008)]. Bunun yanında taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için farklı sistemler geliştirilirken, yeni taşıt emisyon standartları CO, HC, NO<sub>x</sub> ve PM emisyonlarını sınırlayıcı düzenlemeler getirmektedir [(Mazzoleni ve ark., 2004),(Bradley ve ark.,1999)].CO gaz fazında bir kirletici olup atmosfere, fosil yakıtların yanmasıyla, endüstriyel emisyonlarla, biyokütle yanmasıyla ve metan olmayan hidrokarbonların yanması sonucu yayılmaktadır (Gürü ve ark., 2010). Eksik yanma ürünü olan CO genellikle hava/yakıt oranı ile değişim göstermektedir. CO oluşumu yanma odasında yakıtın tam olarak oksitlenememesinden ve yanmış gaz sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca türbülans yoğunluğu homojen karışım oluşumunda etkili olduğundan CO emisyonlarını etkileyen önemli diğer bir parametredir. CO solunması durumunda kandaki hemoglobinle birleşerek oksijen taşınımını azaltır. Bu durum felç riskini arttırmakta, öğrenme yeteneğini zayıflatmakta ve uyku düzensizliklerine yol açmaktadır [(Amin, 2009),(Agarwal ve ark., 2006)].

NO<sub>x</sub> emisyonları akciğerde doku hasarlarına ve akciğer fonksiyonlarının bozularak solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır (Amin, 2009). Nitrojen (N<sub>2</sub>) ve oksijen (O<sub>2</sub>) 1800 K'in üzerindeki sıcaklıklarda birleşerek NO<sub>x</sub> oluşumuna neden olmaktadır. Dizel motorlarda hava/yakıt oranı arttıkça yüksek yüklerde maksimum basıncın dolayısıyla maksimum sıcaklığın artması, karışımın daha geniş bir bölgede stokiyometrik orana yakın bir değerde yanmasını sağlamaktadır. Bu durumda NO<sub>x</sub> oluşumu artmaktadır. Hava/yakıt oranının azaltılması NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaktadır. Fakat dizel motorlarda yakıtın düzgün püskürtülememesinden dolayı bu azalış daha fazla değildir (Heywood, 1998). Tutuşma gecikmesi süresinin kısalması, özellikle yüksek setan sayılı yakıtlar kullanıldığında yanma odasında biriken yakıt miktarını ve dolayısıyla ani yanma periyodundaki sıcaklık artışını azaltacağından NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşmesine neden olacaktır. Ayrıca dizel motorlarda karışımın oluşturulmasında etkili olan türbülans oranı, enjektör memesi delik sayısı, yanma odası tasarımı, püskürtme basıncı gibi parametreler NO<sub>x</sub> oluşumunda önem arz etmektedir (Challen ve Baranescu, 1999). NO<sub>x</sub> oluşumunu gözlemlemek için portatif bir ölçüm sistemleri kullanılabilir. Yapılan çalışmada düşük atmosfer sıcaklıklarında NO<sub>x</sub> azaltıcı sistemlere ve EGR 'ye ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Kwon ve ark., 2017).

Taşıt kaynaklı bir başka zararlı egzoz emisyonu olan HC emisyonları yakıtın yanmaya iştirak etmemesinden ve yakıt sistemindeki buharlaşmalardan kaynaklanmaktadır. HC emisyonları zehirleyici özelliğe sahiptir ve uzun yıllar kanser yapıcı olarak kabul edilmişlerdir (Pulkrabek, 2010). En önemli HC oluşum mekanizmaları yanma odası içinde bulunan boşlukların hava-yakıt karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakası içerisine absorpsiyonu ve desorpsiyonu, silindir içerisinde sıvı yakıt kalması, supap yatak boşluklarındaki sızıntılar ve soğuk çalışma şartlarıdır [(Alkaya ve Yıldırım, 2000),(Heywood, 1998),(Nam ve ark., 2008:6-7)]. Yanma odasında ilerleyen alev soğuk silindir cidarlarına temas ettiğinde sönebilir. Bu esnada silindir cidarlarında oksidasyon reaksiyonları kötüleşmekte, yanma tamamlanamamakta HC açığa çıkmaktadır. Zararlı egzoz gazlarının azaltılması amacı ile bazı ülkelerde ceza uygulamaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda gerçekleştirilen tahminler ve programlar ile ceza uygulaması ile Amerika'da 2045 yılında SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM ve CO<sub>2</sub> sırasıyla %70, %30, %45 ve %36 azaltılabileceği öne sürülmektedir (Brown ve ark., 2017). Diğer önemli bir kirletici türü olan PM emisyonu özellikle dizel motorlardan kaynaklanmaktadır. Ancak aşırı

zengin hava/yakıt oranlarında benzinli motorlarda da görülmektedir (Nam ve ark., 2008). PM emisyonları gaz fazındaki ağır hidrokarbonların aşırı zengin karışım bölgelerinde yüksek sıcaklık altında yoğunlaşarak birleşmesiyle meydana gelmektedir (Challen ve Baranescu, 1999). Bunun yanında kısmi olarak yanmış yakıt ve yağ moleküllerinin birikmesi sonucu meydana gelmektedir [(Man B&W Diesel A/S, 2004), (Man Diesel ve Turbo, 2004)]. Kalp hastalıklarını, solunum yolu hastalıklarını, akciğer kanserini ve diğer kanser türlerini tetiklemektedir (Amin, 2009).

SO<sub>x</sub> yakıttaki kükürttten ve motordaki yağlama yağından kaynaklanan düzensiz bir dizel motor emisyonudur. SO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması çoğunlukla yakıtın içerisindeki kükürt oranının azaltılmasıyla gerçekleştirilmektedir. SO<sub>x</sub> emisyonları motorda sülfürik asit oluşumuna yol açarak yağlama yağının özelliğini kaybetmesine ve aşınmaların artmasına neden olmaktadır [(Challen ve Baranescu, 1999),(Majewski ve Khair, 2006)]. Dizel yakıtındaki sülfür içeriği 2000 yılında 350 ppm iken 2005 yılında 50 ppm'e düşürülmüştür. 2005 yılından itibaren sülfürsüz dizel ve benzin yakıtları (<10 ppm ) mevcut iken 2009 yılından itibaren bunların kullanımını zorunlu hale getirilmiştir (Christine, 2006). Dünyada emisyon standartlarını etkileyen faktörler incelendiğinde geçerlilik ve uygulanabilirlik şartları esas alınmaktadır. Emisyon sınır değerlerinin belirlenmesi CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, metan gibi sera gazlarının azaltılmasına yönelik bölgesel olarak gerçekleşmektedir (Zhang ve ark., 2017). Nüfusu kalabalık ülkelerde enerji üretimi esnasında atmosfere salınan zararlı gazlar da dünyayı hızlı bir şekilde kirletmektedir. Bu amaçla Çin elektrik üretimi sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazı için senaryo analizi yapılmıştır. Yapılan model çalışmasında Çin elektrik üretimi CO<sub>2</sub> emisyonlarından dolayı maksimum seviyeye 2030 yılından önce ulaşamayacağı belirlenmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonları bu noktada Çin'de elektrik tüketimi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermişlerdir (Meng ve ark.,2017). Benzer şekilde Tunus'ta yapılan çalışmada karayolu taşımacılığında CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada enerji verimliliği ve yakıt CO<sub>2</sub>'in azaltılmasında en büyük faktörler olduğu görülmüştür (Talbi, 2017). Her yıl motorlu araç sayısı dünyada yaklaşık 50 milyon artış göstermektedir. 2016 yılı Ocak ayı itibari ile motorlu taşıt sayısı ülkemizde 20 milyonu aşmıştır. Şekil 1'de ülkemizde yıllara göre trafikteki araç sayısı ve toplam kazalar görülmektedir. Artan araç sayısı, çevreye salınan zararlı sera gazları ve meydana gelen kazalar göz önüne alındığında ciddi önlemlerin ve egzoz gazlarını azaltıcı sistemlerin uygulanması kaçınılmaz olmaktadır. Bu artış hızına bağlı olarak yaklaşık 150000 km yol kat eden bir araç ortalama 100 ton yakıt ve 150 litre yağ harcamaktadır. Tüketilen bu yakıt ve yağ düşünülürse atmosfere salınan egzoz gazları ve partikül maddelerin ağırlığı 35 tonu bulmaktadır. Sadece ABD'de taşıtlar petrolün % 50'sini harcayarak CO<sub>2</sub> salınımının % 25'ini oluşturmaktadır. (N. ve Yüce, 2006). Bu sorun egzoz emisyonlarına bir sınırlamanın getirilmesi ile çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır.



**Şekil 1.** Yıllara göre trafikteki araç sayısı ve toplam kazalar (Tuik, 2014)

Dünyada emisyon ile ilgili ilk olarak 1968'de Kaliforniya'da ve AB ülkelerinde sınırlamalar ve düzenlemeler getirilmiştir. Ocak 1992 yılında Euro 1 ile başlayan emisyon gereklilikleri her geçen gün azaltılmaktadır. Ülkemizin de Eylül 2014 yılında sunulan Euro 6 emisyon standartlarına uyum zorunluluğu bulunmaktadır. Tablo 1'de Euro 6 egzoz emisyon sınır değerleri görülmektedir [(Renault Teknik Eğitim, 2006), (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2012), (Kara, 2014)].

**Tablo 1.** Euro 6 egzoz emisyon değerleri(Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2012:1-3)

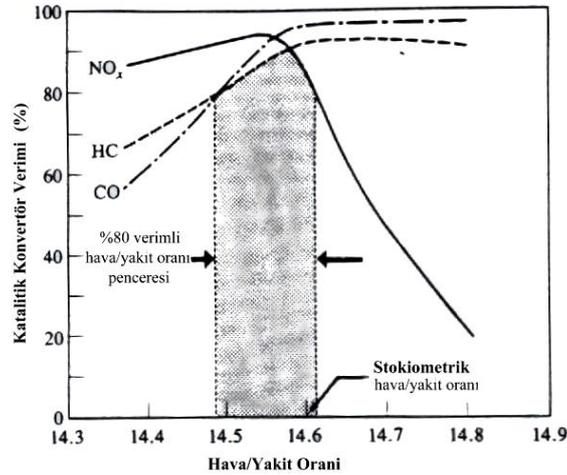
		Referans kütle (kg)	Euro 6 Emisyon Sınır Değerleri					
			CO (g/km)		THC (g/km)		NMHC (g/km)	
			Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel
Binek araçlar		-	1	0.5	0.10	-	0.068	-
Hafif ticari araçlar	1	m<1305	1	0.5	0.10	-	0.068	-
	2	1305<m<1760	1.810	0.630	0.130	-	0.090	-
	3	m>1760	2.270	0.740	0.160	-	0.108	-
			NO <sub>x</sub> (g/km)		THC + NO <sub>x</sub> (g/km)		PM (g/km)	
			Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel
Binek araçlar		-	0.060	0.080	-	0.170	0.0045	0.0045
Hafif ticari araçlar	1	m<1305	0.060	0.080	-	0.170	0.0045	0.0045
	2	1305<m<1760	0.075	0.105	-	0.195	0.0045	0.0045
	3	m>1760	0.082	0.125	-	0.215	0.0045	0.0045

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Taşıt Kaynaklı Emisyonları Azaltma Yöntemleri

#### Üç Yollu Katalitik Konvertörler

Bugüne dek zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri motor teknolojisinin ve yakıt kalitesinin gelişimi ile yanma sürecinin iyileştirilmesidir. İkinci yöntem ise zararlı gazlar oluştuktan sonra katalitik konvertörler ile egzoz gazı akışı sürecinde kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirilmesidir. Bu kimyasal reaksiyonlar zararlı egzoz emisyonlarını kabul edilebilir CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürmektedir (Pulkrabek, 2010).



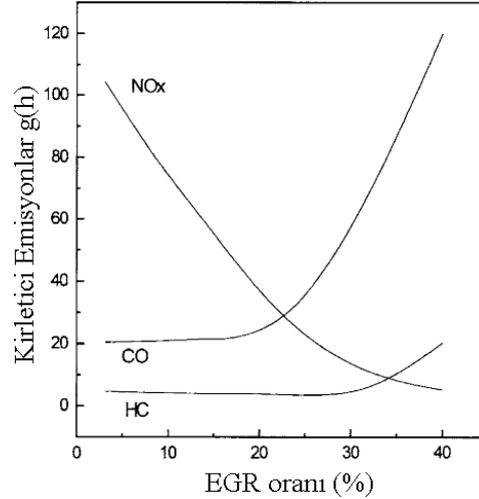
**Şekil 2.** Üç yollu katalitik konvertörün dönüşüm verimi (Heywood, 1998)

Üç yollu katalitik konvertörün etkinliği hava/yakıt oranı ve katalitik konvertörde kullanılan aktif maddenin cinsine bağlıdır. Şekil 2'de üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak verimi görülmektedir. Stokiyometrik şartlara yakın bölgelerde konvertörün verimi maksimuma çıkmaktadır (Heywood, 1998). Üç yollu katalitik konvertörlerde 1980'lerde en yaygın aktif madde olarak rodyum (Rh) ve platin (Pt) kullanılmıştır. Stokiyometrik orana yakın çalışma şartlarında katalitik konvertör maksimum dönüşüm sağlarken stokiyometrik orandan uzaklaştıkça dönüşüm oranı kötüleşir [(Harrison ve ark., 1988),(Taylor ve ark., 1993)]. Günümüzde Rh'nın yüksek maliyetli olmasından dolayı paladyum (Pd) kullanımı aktif metal olarak oldukça ilgi çekmektedir [(Mukadi ve Hayes, 2002), (Wang ve ark., 2011),(Wang ve ark., 2008)]. Oksijen depolama görevi yapabilen seryum dioksitin (CeO<sub>2</sub>) katalitik konvertörde kullanılmaya başlanmasıyla bu dezavantaj büyük oranda ortadan kaldırılmıştır. Yüksek oksijen depolama kapasitesine sahip konvertörler yüksek dönüşüm verimine

sahiptirler [(Kaspar ve ark., 1999),(Muraki ve Zhang 2000)]. Katı solüsyon halindeki seryum ve zirkonyum dioksitin termal dayanıklılık, oksijen depolama kapasitesi, indirgeme ve yükseltgenme özellikleri ve katalitik aktivite özelliği saf  $CeO_2$ 'ye göre önemli derecede artırılmıştır. Bu nedenle modern üç yollu katalitik konvertörlerde oksijen depolama kapasitesini iyileştirmek için saf  $CeO_2$ 'nin yerine katı solüsyon halindeki seryum ve zirkonyum dioksit kullanılmaktadır [(Fornasiero ve ark., 2000), (Sakamoto ve ark., 2002), (Larese ve ark., 2005),(Zhao ve ark., 2007)]. Modern üç yollu katalitik konvertör kullanılan araçlarda soğuk çalışma şartlarında % 80–90 HC emisyonu açığa çıkmaktadır. Soğuk çalışma şartlarındaki bu durumu ortadan kaldırmak için en yaygın yöntem katalitik konvertörün mümkün olduğunca motora yakın bağlanmasıdır. Ancak bu durum katalitik konvertörde sıcaklığın  $1000^{\circ}C$ 'nin üzerine çıkararak katı solüsyon halindeki seryum ve zirkonyum dioksitin sinterlenmesine ve aktivitesini kaybetmesine neden olmaktadır [(Monte ve ark.,2000),(Matin ve ark., 2003)]. Bu nedenle katı solüsyon halindeki seryum ve zirkonyum dioksitin termal dayanıklılığının ve sürekliliğinin artırılması gereklidir [(Twigg, 2007),(Zou ve ark., 2008),(Wang ve ark., 2011)].

### Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR)

Dizel motorlarda  $NO_x$  oluşumu gerçekleşikten sonra azaltmak için kullanılan yöntemlerden biri EGR'dir. EGR uygulamasında egzoz gazının bir kısmı taze hava ile yeniden dolgu olarak emme havasına geri gönderilerek yanma sonu sıcaklığı düşürülmekte ve karışımın ısı kapasitesi artırılmaktadır. Motorlarda yanma sonu sıcaklığı arttıkça  $NO_x$  oluşumu artmaktadır. EGR ile taze silindir dolgusu içerisine karıştırılan egzoz gazları ile yanma sonu sıcaklığı düşürülmektedir. Emisyon standartlarını sağlamak için EGR uygulaması  $NO_x$  emisyonlarının düşürülmesinde en iyi bilinen metottur [(Kouremenos ve ark., 2001),(Sher, 1998)]. EGR dizel motordaki yanmayı termal, kimyasal ve seyreltme olarak üç şekilde etkilemektedir. Termal etki hacimsel verimi etkileyen içerdeki dolgu sıcaklığının yükselmesiyle  $CO_2$  ve  $H_2O$  varlığına bağlı olarak dolgunun özgül ısı kapasitesinin artmasıyla ilişkilidir. Seyreltme  $O_2$  konsantrasyonu ile alakalı iken kimyasal etki yanma sırasındaki yanma ürünlerinin ayrışmasıyla ilgilidir (Lazaro ve ark., 2002).

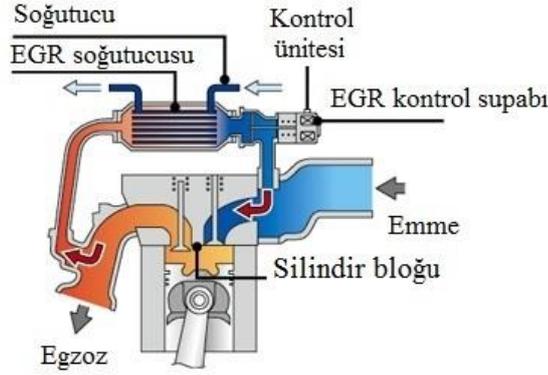


Şekil 3. EGR oranının kirlenici emisyonlara etkisi (Lazaro ve ark., 2002)

EGR oranının artırılması  $NO_x$  oranını azaltırken diğer yandan CO, HC ve PM emisyonlarının artmasına neden olabilir. Şekil 3'de EGR oranının CO, HC ve  $NO_x$  emisyonlarına eş zamanlı etkisi görülmektedir. EGR oranının % 20'nin üzerine çıkmasıyla birlikte CO ve HC emisyonlarının hızla arttığı görülmektedir. Benzin motorlarında EGR oranı maksimum % 20 civarında uygulanabilmekteyken dizel motorlarında bu oran % 50'ye kadar çıkabilmektedir. Belirtilen sınırların dışında yanma prosesi giderek kötüleşerek motor performansının düşmesine ve diğer emisyonların kontrol edilememesine neden olmaktadır [(Lazaro ve ark., 2002), (Hountalas ve ark., 2006)].

Günümüz modern dizel motorlarında kullanılan EGR sistemleri üzerinde soğutucular bulunmaktadır. Şekil 4'de EGR sistemi görülmektedir. Çok yüksek sıcaklıkta olan egzoz gazı içeri alınmakta olan temiz havanın sıcaklığını artırırken yoğunluğunu azaltmaktadır. Bu durum içeri alınan havanın normalden çok yüksek olmasından dolayı yanma sonu sıcaklığının artmasına ve  $NO_x$  oluşumunun hızlanmasına neden olabilmektedir. Ayrıca içeri alınan havanın yoğunluğunun azalması hacimsel

verimin azalmasına ve performans kayıplarına neden olmaktadır [(Hountalas ve ark., 2006),(Agarwal ve ark., 2011)]. EGR oranının artmasına bağlı olarak volümetrik verim azalmaktadır. Bunun yanında  $\text{NO}_x$  ve PM emisyonlarını azaltmak için EGR kullanımına dayanan homojen karışım dolgulu sıkıştırma ile ateşleme veya düşük sıcaklık yanması gibi yeni yanma türleri üzerinde çalışılmaktadır. Geliştirilen dumansız ve zengin karışımla oluşan dizel yanması adı verilen bu yeni yanma türü zengin karışım oranlarında bile elde edilen sıcaklıkları düşürülmektedir (Akihama ve ark., 2001). Düzenlenmiş kinetik yanma modelinde yakıt tüketimini artırmadan eş zamanlı ve ön karışimli yanmayı sağlayarak yüksek EGR oranlarında oksijen konsantrasyonunu azaltarak  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmışlardır (Kimura ve ark., 2001).

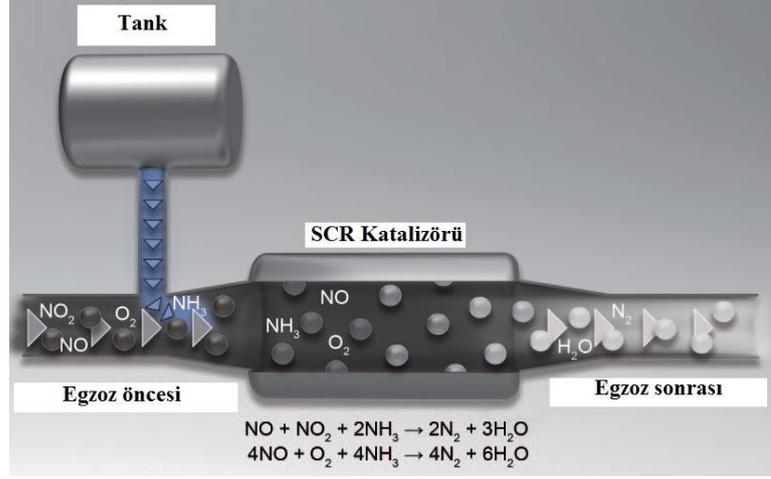


Şekil 4. EGR sistemi (EGR Removal/Delete)

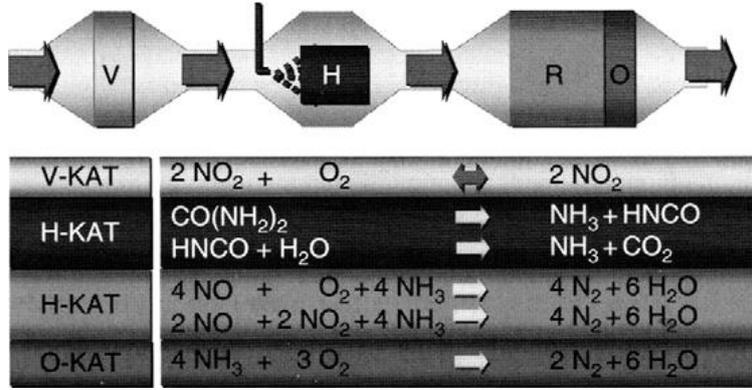
#### Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)

$\text{NO}_x$  emisyonlarının Euro-4 standartlarının yürürlüğe girmesinden sonra sadece motor teknolojisinde yapılan değişikliklerle sağlanabilmesi oldukça zorlaşmıştır. 2009 ve 2014 yıllarında EURO-5 ve EURO-6 standartlarının yürürlüğe girmesiyle  $\text{NO}_x$  emisyonları %60 oranında partikül emisyonları ise %80 oranında azalacaktır [(Trautwein, 2003),(Der Wiesche, 2007)]. Bu noktada  $\text{NO}_x$  emisyonlarının motor sonrasında egzoz hattında iyileştirilmesi gerekliliği doğmuştur. Seçici katalitik indirgeme (SCR) üzerinde  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmak için uzunca bir süredir çalışılmaktadır [(Hug ve ark., 1993),(Koebel ve ark., 1996)].

SCR metal katalizör üzerine amonyak yada üre püskürterek  $\text{NO}_x$ 'in reaksiyona girmesini sağlamaktadır. Bunun yanında egzoz gazının içerisine zararsız su ve nitrojen oluşumunu sağlamak için  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ 'de püskürtülebilmektedir. Emisyonun azaltılması yüksek verimde (% 90'a kadar) gerçekleşebilmektedir. Ancak maliyeti, uygulama zorluğu ve kontrol işlemleri nedeni ile şu an için büyük taşıtlara uygulanabilmektedir [(Challen ve Baranescu, 1999:479-480), (Koebel ve ark., 1996),(Koebel ve ark., 2000), (Jung ve ark., 2005),(Xiaoyan ve ark., 2008)].  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azaltılması için kullanılan SCR 'deki en etkin katalist  $\text{Ag-Al}_2\text{O}_3$ 'tür. SCR sistemi binek araçlara müşteriler tarafından kabul edilemeyecek düzeyde maliyetli olduğu ve bu araçların ortalama çevrim egzoz sıcaklıklarının oldukça düşük olmasından dolayı uygulanabilir görünmemektedir. Bu nedenle binek taşıtlarda SCR sistemi yerine  $\text{NO}_x$  depolayıcı konvertörlerin kullanılması daha uygun bir seçim olmaktadır (Koebel ve ark., 2000). Ancak SCR sisteminin binek taşıtlara uygulanabilmesi için boyut ve maliyetlerin düşürülme çalışmaları devam etmektedir [(Der Wiesche, 2007),( Olympiou ve Efstathiou, 2011)]. Şekil 5'de SCR sistemi görülmektedir. Bu sistemde egzoz gazı amonyak ile karıştırılır, 300-400°C sıcaklıkta özel bir katalizör tabakasından geçirilerek  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'ya indirgenir (Man Diesel ve Turbo, 2004).

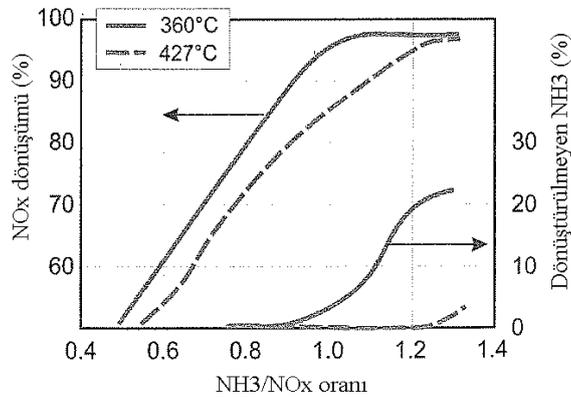
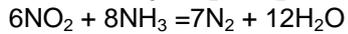
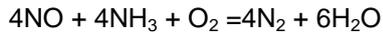


Şekil 5.SCR sistemi (Sinzenich ve ark., 2014)



Şekil 6. MAN VHRO sistem şeması (Forzatti, 2001)

SCR uygulamasında en komplike sistemlerden biri olan VHRO sistemi MAN tarafından geliştirilmiştir. Şekil 6'da MAN VHRO sistem şeması görülmektedir. VHRO adı verilen sistem SCR'ye ek olarak bir amonyak oksidasyon katalizöründe bünyesinde barındırır.  $\text{NH}_3$  ile karıştırılan egzoz gazı sonucu eşitlik (1) ve (2) de belirtilen reaksiyonlar gerçekleşmektedir.

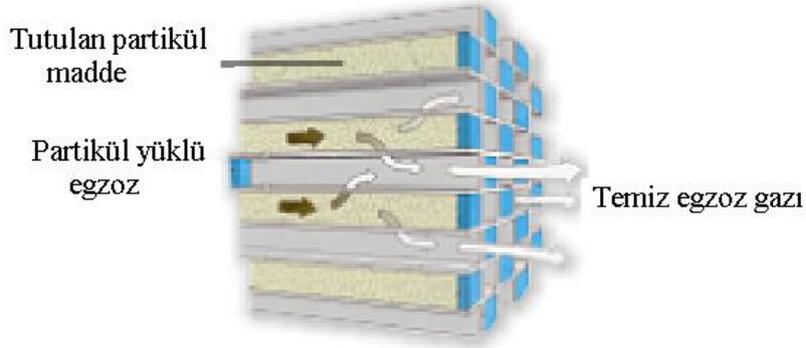


Şekil 7.  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$  oranına bağlı  $\text{NO}_x$  dönüşümü (Kröcher, 2007)

Amonyak oksidasyon katalizörü 250 °C'nin altında aktif hale geçebilmekte ve artan sıcaklıkla beraber oksidasyon gücü artarak SCR katalizöründen gelen N<sub>2</sub>O ve NO'lar H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub>'lere dönüştürülmektedir. SCR etkinliği oksidasyon katalizörüne sürülen amonyak miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Eğer amonyak miktarı gereğinden az olursa NO<sub>x</sub> dönüşümü yetersiz kalacaktır. Aksine amonyak miktarının çok fazla olması atmosfere amonyak salınımına neden olacaktır. Şekil 7'de NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> oranı, NO<sub>x</sub> dönüşümü ve sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir. NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> oranı arttıkça NO<sub>x</sub> dönüşümünün arttığı görülmektedir. Ancak çalışma sıcaklığının artması ile dönüşüm oranı azalmıştır. Buna rağmen sıcaklığın artması dönüştürülemeyen NH<sub>3</sub> oranını azaltmaktadır [(Fozatti, 2001), (Kröcher, 2007), (Majewski ve Khair, 2006), (Jacob ve ark., 1998)].

### Partikül Filtre

Genellikle dizel motorlardan kaynaklanan egzoz boyunca katı ve sıvı şeklindeki partikül maddeler bir başka zararlı emisyonu oluşturmaktadır. Dizel partikül filtreler çok küçük olan bu maddeleri birbirine paralel sıkıştırılmış kanallardan geçirmektedir. Kordierit şeklindeki bu yapıdan geçirilmeye çalışılan partikül maddeler filtrede tutulmaktadır (Holman ve Kessell, 2002). Partikül madde miktarını azaltmak için kullanılan tek parçalı partikül filtre Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Tek parçalı partikül filtre (Holman ve Kessell, 2002)

Partikül filtrede tutulan elemanlar rejenerasyon yöntemi ile yakılarak temizlenmektedir. Bu tür filtreler metal katalistlerden oluşmaktadır. 2 odadan ibaret olan bu filtreler için önemli bir kısmını oluşturan NO'nun NO<sub>2</sub>'ye, HC ve CO emisyonlarının H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'e oksidasyonunu sağlamaktadır. İkinci odada ise partikül filtre boyunca hareket eden egzoz gazlarındaki partikül maddeler filtrenin duvarlarında tutulur. İlk odada reaksiyona sokularak açığa çıkan NO<sub>2</sub> tutulan partikül maddeleri yakmak için kullanılmaktadır. Şekil 7'de iki odadan oluşan bir dizel partikül filtre ve farklı partikül filtreler görülmektedir (Holman ve Kessell, 2002).



Şekil 7. İki odadan oluşan dizel partikül filtre (Holman ve Kessell, 2002), (SGT Otomotiv)

Partikül filtrenin yapısından dolayı katı ve sıvı partiküller filtrenin tıkanmasına neden olmakta, verimi düşürmektedir. Deutz tarafından geliştirilen yakıt ateşleyicili rejenerasyon sisteminde egzoz gazı akış sıcaklığı, oksidasyon ile rejenerasyonu harekete geçirecek sıcaklığa ulaştırılmaktadır. Biriken partiküllerin yakılmasıyla, filtrenin tıkanması önlenmektedir, filtrasyon özellikleri iyileştirilmektedir. Sistemin ana parçaları seramik yapı, karışım odası ve ateşleyicidir (Holman ve Kessell, 2002). Bunun dışında içten yanmalı motorlarda yanma odası ve emme manifoldu tasarımı, yakıt ve ateşleme

sistemdeki modifikasyonlarla daha homojen bir karışım sağlanarak yanma iyileştirilmekte, egzoz emisyonları azaltılmaktadır. Aynı zamanda motorda yakıt ve yağ buharından kaynaklanan çevreye zararlı emisyonlar aktif karbon filtre, pozitif karter havalandırması gibi farklı düzenlemelerle azaltılmaya çalışılmaktadır. Emiş hattında bulunan rölantri motoru rölantride motorun daha fakir çalışmasını sağlayarak rölantriye azaltır ve sabitler. Özellikle motor yükü sıfır iken silindire gönderilen yakıtın oksidasyonu için ek olarak hava gönderir, HC emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur. Motor kontrol ünitesi egzoz hattında bulunan lamda sondası ile karışım bilgisi sürekli kontrol edilir ve motorun ideal hava-yakıt oranında çalışması sağlanır [(Majewski ve Khair, 2006), (Jacob ve ark., 1998),(Holman ve Kessell, 2002)].

### SONUÇLAR

Bu çalışmada detaylı bir literatür taraması yapılarak emisyon azaltma yöntemlerindeki gelişmeler incelenmiştir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları eksik yanma, uygun olmayan hava-yakıt karışımı, yakıt özellikleri ve farklı motor çalışma şartları gibi nedenlerden dolayı açığa çıkmaktadır. Optimum yanma şartlarının sağlanamamasına bağlı olarak meydana gelen egzoz gazları çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Taşıt kaynaklı egzoz emisyonlarının azaltılmasında en etkin yöntemler arasında katalitik konverterler, seçici katalitik indirgeme ve partikül tutucu filtreler yer almaktadır. Bunun yanında alternatif yanma türleri ve yakıtlar ile yapılan çalışmalar taşıt kaynaklı emisyonların azaltılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte ileride sıfır emisyon amacı için elektrikli taşıtlar, hidrojen kullanımı, farklı yanma modları gibi alternatiflerin uygulanabileceği görülmüştür.

### KAYNAKLAR

- Agarwal, D., Sinha, S., and Agarwal, A.K.,2006. Experimental Investigation of Control of NOx Emissions in Biodiesel-fueled Compression Ignition Engine. *Renewable Energy*, 31: 2356-2369
- Agarwal, D., Kumar, S., Avinash, S., Agarwal, K. 2011. Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) On Performance, Emissions, Deposits and Durability Of a Constant Speed Compression Ignition Engine. *Applied energy*, 88(8): 2900-290.
- Akihama, K. Takatori, Y. Inagaki, K. Sasaki, S. Dean, AM., 2001. Mechanism Of The Smokeless Rich Diesel Combustion By Reducing Temperature'. SAE paper no. 2001-01-0655, Society of automotive Engineers Inc., Warrendale, PA.
- Alkaya, B., Yıldırım, M.A. 2000. Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri. *Ekoloji*, 34: 16-20.
- Amin, N., 2009. Reducing Emissions From Private Cars: Incentive Measures For Behavioural Changes. *United Nations Environment Programme*, 7-9.
- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2012. Hafif yolcu ve ticari araçlardan çıkan emisyonlar (euro 5 Ve euro 6) bakımından ve araç tamir ve bakım bilgilerine Erişim konusunda motorlu araçların tip onayına ilişkin yönetmelik (715/2007/at)'te değişiklik yapılmasına dair yönetmelik.
- Bradley, K.S., Stedman, D.H. and Bishop, G.A. 1999. A Global Inventory of Carbon Monoxide Emissions From Motor Vehicles. *Chemosphere - Global Change Science*, 1: 65-72.
- Brown, K.E., Henze, D.K., Milford, J.B., 2017. How accounting for climate and health impacts of emissions could change the US energy system. *Energy Policy*, 102: 396-405.
- Challen, B., Baranescu, R., 1999. *Diesel Engine Reference Book 2nd ed.* Butterworth-Heinemann, Oxford, 479-480.
- Christine, B.K., 2006. Shaping The Terms of Competition: Environmental Regulation and Corporate Strategies to Reduce Diesel Vehicle Emissions. *Massachusetts Institute of Technology*, 244-256.
- Der Wiesche, S.A. der Wiesche, 2007. Numerical Heat Transfer and Thermal Engineering Of Adblue (SCR) Tanks For Combustion Engine Emission Reduction. *Applied Thermal Engineering*, 27, 11-12, 1790-1798.
- EGR Removal/Delete, EGR Delete / EGR Bypass. <https://www.celtictuning.co.uk/services/egr-removal-delete>. Erişim tarihi: 08.01.2017.
- Fornasiero, P., Hickey, N., Kašpar, J., Dossi, C., Gava, D. and Graziani, M., (2000). Redox and Chemisorptive Properties of Ex-chloride and Ex-nitrate Rh/Ce0.6Zr0.4O2 Catalysts: 1. Effect of Low-Temperature Redox Cycling. *J. Catal.*, 189, 326-338.
- Forzatti, P. 2001. Present Status and Perspectives in de-NOx SCR Catalysis. *Appl. Catal. A*, 222, 221.
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., and F. Şahin, 2010. Biodiesel Production From Waste Chicken Fat Based Sources and Evaluation With Mg Based Additive in a Diesel Engine. *Renewable Energy*, 35: 637-643.
- Harrison, B., Diwell, A.F. and Hallet, C., 1988. Promoting Platinum Metals by Ceria. *Platinum Metals Rev.*, 32: 2, 73-83.
- Heywood, J.B.,1998. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. McGraw-Hill, NewYork, 504-541.
- Holman,C.,Kessell, M., 2002. *Emission Control Technology For Heavy-Duty Vehicles*. Final Report, 1, United Kingdom.

- Hountalas, D.T., Mavrapoulos, G.C. and Binder, K.B., 2006. Effect Of Exhaust Gas Recirculation (EGR) Temperature For Various EGR Rates On Heavy Duty DI Diesel Engine Performance and Emission. *Energy*, 33, 272-283.
- Hug, H.T., Mayer, A., Hartenstein, A., 1993. Off-highway Exhaust Gas Aftertreatment: Combining Urea-SCR, Oxidation Catalysis and Traps. SAE Technical Paper Series 930363, Detroit, March, 1–5.
- Jacob, E., Emmerling, G., Döring, A., et al. 1998. NO-Vermindeung Ffir Nutzfahrzeugmotorenmit Harnstoff-SCR-Kompaktsystemen (GDKAT). 19. Int. Wiener Motorensymp. (H.P.Lenz, ed.), Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, 348: 2, 366.
- Jung, S. M., Demoulin, O., Grange, P., 2005. The Study Of a Synergetic effect Over a H-Zsm-5/V2o5 Hybrid Catalyst On SCR Reaction. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 94-98.
- Kara, H. (2014). Euro Emisyon Standartları Nedir?. Erişim Tarihi: 07.01.2017 <http://www.tasitteknolojileri.com/euro-emisyon-standartlari-nedir/>.
- Kašpar, J., Fornasiero, P. and Graziani, M., 1999. Use of CeO<sub>2</sub>-based Oxides in The Three-Way Catalysis. *Catal Today*, 50: 285-298.
- Kimura, S., Aoki, O., Kitahara, Y., Aiyoshizawa, E. 2001. Ultra-clean Combustion Technology Combining a Low-Temperature and Premixed Combustion Concept For Meeting Future Emission Standards, SAE paper no. 2001-01-0200, Society of automotive Engineers Inc., Warrendale, PA.
- Koebel, M., Elsener, M., Marti, T. 1996. NO<sub>x</sub>-reduction in diesel exhaust gas with urea and selective catalytic reduction. *Combust. Sci. Tech.* 121: 85–102.
- Koebel, M., Elsener, M. and Kleemann, M., 2000. Urea-SCR: a Promising Technique To Reduce NO<sub>x</sub> Emissions From Automotive Diesel Engines. *Catalysis Today*, 59: 335-345.
- Kouremenos, D.A., Hountalas, D.T., Binder, K.B., Raab, A., Schnabel, M.H. 2001. Using Advanced Injection Timing and EGR to Improve DI Diesel Engine Efficiency at Acceptable No and Soot Level. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, SAE paper no. 2001-01-0199.
- Kröcher, O. 2007. Aspects of Catalyst Development For Mobile Urea-SCR Systems-From Vanadia-Titania Catalysts To Metal-Exchanged Zeolites, In: P. Granger and V.I. Parvulescu, Editors, *Studies in Surface Science and Catalysis. Past and Present in De NO<sub>x</sub> Catalysis, From Molecular Modelling to Chemical Engineering*, Elsevier, 171: 261–289.
- Kwon, S., Park, Y., Park, J., Kima, J., Choi, K-H., Cha, J-S., 2017. Characteristics of on-road NO<sub>x</sub> emissions from Euro 6 light-duty diesel vehicles using a portable emissions measurement system. *Science of the Total Environment*, 576:70–77.
- Larese, C., Granados, M., Mariscal, R., Fierro, J.L.G., Lambrou, P.S. and Efstathiou, A.M., 2005. The Effect of Calcination Temperature On The Oxygen Storage and Release Properties of CeO<sub>2</sub> and Ce–Zr–O Metal Oxides Modified By Phosphorus Incorporation. *Appl. Catal. B: Environ.*, 59: 13–25.
- Lazaro, J.L., Garcia-Bernad, J.L., Perez, C., Galindo, J., Climent, H., Arnau, F.J., 2002. Cooled EGR Modulation: a Strategy to Meet EURO IV Emission Standards in Automotive DI Diesel Engines. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA SAE paper no. 2002-01-1154.
- Majewski, W. A., Khair, M.K. 2006. Diesel Emissions and Their Control. Green Press, 416-418.
- Man B&W Diesel A/S, 2004. Soot Deposits and Fires in Exhaust Gas Boilers paper published by MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, March.
- Man Diesel and Turbo, 2004. Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow. <http://www.marine.man.eu/> Erişim tarihi:07.01.2017.
- Matín, L., Arranz, J.L., Prieto, O., Trujillano, R., Holgado, M.J., Galán, M.A., 2003. Simulation Three-Way Catalysts Ageing: Analysis Of Two Conventional Catalyst. *Appl Catal B: Environ.*, 44: 41–52.
- Mazzoleni, C., Moosmuller, H., Kuhns, D.H., Keislar, E.R., Barber, P.W., Nikolic, D., Nussbaum, N.J. and Watson, J.G. 2004. Correlation Between Automotive CO, HC, NO and PM Emission Factors From on-road Remote Sensing: Implications for Inspection and Maintenance Programs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9: 6, 477-496.
- Meng, M., Jing, K., Mander, S., 2017. Scenario analysis of CO<sub>2</sub> emissions from China's electric power industry. *Journal of Cleaner Production*, 142: 3101-3108.
- Monte, R.D., Fornasiero, P., Kašpar, J., Rumori, P., Gubitosa, G., Graziani, M., 2000. Pd/Ce<sub>0.6</sub>Zr<sub>0.4</sub>O<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Advanced Materials For Three-Way Catalysts Part 1. Catalyst Characterization Thermal Stability And Catalytic Activity in The Reduction of NO by CO. *Appl Catal B: Environ.*, 24: 157–167.
- Mukadi, L.S., Hayes, R.E., 2002. Modelling The Three Way Catalytic Converter With Mechanistic Kinetics Using The Newton-Krylow Method On a Parallel Computer. *Computers and Chemical Engineering*, 26: 439-455.
- Muraki, H., Zhang, G., 2000. Design of Advanced Automotive Exhaust Catalysts. *Catal Today*, 63: 337–345.
- N. ve Yüce., (2006). Shell-Modern Otomobil Teknolojisi, Ankara.
- Nam, E., Fulper, C., Warila, J., Somers, J., Michaels, H., Baldauf, R., Rykowski, R., Scarbro, C., 2008. Analysis of Particulate Matter Emissions from Light-duty Gasoline Vehicles in Kansas City. USA Environmental Protection Agency, 6-7.
- Olympiou, G. Efstathiou, A.M., 2011. Industrial NO<sub>x</sub> Control Via H<sub>2</sub>-SCR On a Novel Supported-Pt Nanocatalyst. *Chemical Engineering Journal*, 170: 2, 424-432.
- Pulkcrabek, W.W. 2010. *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall, New Jersey.
- Renault Teknik Eğitim, 2006. Renault Trucks Euro 4 Teknik Eğitim Kasım 2006.
- SGT Otomotiv. <http://sgtotomotiv.com/duyurular/bassagligi.html>. Erişim tarihi: 08.01.2017.

- Sher, E., 1998. Handbook Of Air Pollution From Internal Combustion Engines: Pollutant Formation and Control. Academic Press, Boston, 312-315.
- Sakamoto, Y., Kizaki, K., Motohiro, T., Yokota, Y., Sovukawa, H. and Uenishi M.,2002. New Method Of Measuring The Amount of Oxygen Storage/Release On Millisecond Time Scale On Planar Catalyst. J. Catal., 211: 157–164.
- Sinzenich, H., Wehler, K., Müller, R., 2014. Engine Technology-Selective Catalytic Reduction: Exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emissions. www.mtu-online.com. Erişim tarihi:07.01.2017.
- Talbi, B., 2017. CO2 emissions reduction in road transport sector in Tunisia. Renewable and Sustainable Energy Reviews (baskıda).
- Taylor, K.A., Paskewitz, S.M., Copeland, R.S., Koros, J., Beach, R.F., Githure J.I. and F.H. Collins, 1993. Comparison of Two Ribosomal DNA-based Methods For Differentiating Members of the Anopheles Gambiae Complex. (Diptera: Culicidae) J. Med. Entomol., 3: 457–461.
- Trautwein, W.P. 2003. AdBlue as a Reducing Agent For The Decrease Of NOX Emissions From Diesel Engines Of Commercial Vehicles. DGMK Research Report, 616-1, Hamburg.
- Twigg, M.V. 2007. Progress and Future Challenges In Controlling Automotive Exhaust Gas Emissions. Appl Catal B: Environ., 70: 2–15.
- Türkiye İstatistik Kurumu, Tuik, 2014. Türkiye'deki Trafik Kazaları İstatistikleri 2002-2014. <http://www.tuik.gov.tr/>.
- Xiaoyan, S., Yumbo, Y. Hong, H., Shijin, S., Hongyi D. and Rulong, L., 2008. Combination of Biodiesel-Ethanol-Diesel Fuel Blend and SCR Catalyst Assembly To Reduce Emissions From a Heavy-Duty Diesel Engine. Journal of Environmental Sciences, 20:172-182.
- Wang, H., Chen, C., Huang, C. and Fu, L. 2008.On-road Vehicle Emission Inventory and its Uncertainty Analysis for Shanghai China. Science of The Total Environment, 398: 3, 60-67.
- Wang, Q., Li, G., Zhao, B. and Zhou, R., 2011. Investigation on Properties of a Novel Ceria–Zirconia–Praseodymia Solid Solution and its Application in Pd-only Three-way Catalyst For Gasoline Engine Emission Control. Fuel, 90: 10, 3047-3055
- Wang, J.Q., Shen, M.Q., An, Y. and Wang, J., 2008. Ce–Zr–Sr Mixed Oxide Prepared By The Reversed Microemulsion Method For Improved Pd-only Three-Way Catalysts. Catal Commun, 10: 103–107.
- Zhang, G., Sandanayake, M., Setunge, S., Li, C., Fang, J. 2017. Selection of emission factor standards for estimating emissions from diesel construction equipment in building construction in the Australian context. Journal of Environmental Management, 187: 527-536.
- Zhao, M., Shen M.Q., and Wang, J., 2007. Effect of Surface Area and Bulk Structure On Oxygen Storage Capacity of Ce<sub>0.67</sub>Zr<sub>0.33</sub>O<sub>2</sub>. J. Catal., 248: 258–267.
- Zou, Z.Q., Meng, M., Li, Q., Zha, Y.Q. 2008. Surfactants-Assisted Synthesis and Characterizations Of Multicomponent Mesoporous Materials Co–Ce–Zr–O and Pd/Co–Ce–Zr–O Used For Low-Temperature CO Oxidation. Mater Chem Phys., 109: 373–380.
-