



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) sistemi ve araçlara adaptasyonu

Selective Catalytic Reduction (SCR) System and adapting on the vehicles

Yazar(lar) (Author(s)): Nilgün ANAR¹, Pınar BAYRAM²

ORCID¹: 0000-0003-4560-3991

ORCID²: 0000-0003-1452-2769

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Anar N. ve Bayram P. “Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) sistemi ve araçlara adaptasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 21(4): 941-950, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.403973

Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) Sistemi ve Araçlara Adaptasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Nilgün ANAR*, Pınar BAYRAM

TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. İstanbul Cad. Bursa, Türkiye

(Geliş/Received : 06.09.2017 ; Kabul/Accepted : 01.03.2018)

ÖZ

Günümüzde artan dünya nüfusu ve bununla paralel olarak artış gösteren taşıt sayısının oluşturduğu egzoz gazlarının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerini en aza indirebilmek için her geçen gün daha sıkı denetimler yapılmakta ve sınırlandırmalar getirilmektedir. Bu kapsamda otomobil üreticilerinin yeni teknolojiler geliştirerek zararlı gaz salınımlarını azaltmaları gerekmektedir. Bu çalışmada zararlı egzoz gazı salınımlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki negatif etkilerinden bahsedilmiş, otomotiv üreticilerinin bu salınımların azaltılması için yapmakta olduğu çalışmalar ve uygulanan teknolojiler incelenmiştir. Dizel araçlarda açığa çıkan zararlı azot oksit miktarını sınırlandırmak için uygulanan en yeni ve gelişmiş teknoloji olan SCR (Selective Catalytic Reduction) olarak adlandırılan seçici katalitik indirgeme metodu analiz edilmiş, azot oksit miktarının minimize edilmesi için gerçekli olan şartlar ve sonucunda oluşan kimyasal reaksiyon ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca yöntemin diğer teknolojilere göre avantaj ve dezavantajları incelenirken, araçlara uygulanmasındaki kritiklikler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seçici katalitik indirgeme metodu, SCR sistemi, dizel, emisyon, azot oksit, üre, amonyum.

Selective Catalytic Reduction (SCR) System and Adapting On the Vehicles

ABSTRACT

More challenging controls are being carried out every day and limitations are brought to reduce the negative effects of the exhaust gases generated by the number of vehicles that is increasing in parallel with world population on the environment and human health. Because of this reason, automotive companies need to develop new technologies to reduce harmful gas emissions. In this research, negative effects of harmful exhaust gases on human health and environment, new technologies and studies that automotive manufacturers are performing to reduce these emissions have been discussed. Selective catalytic reduction (SCR) method which is the most advanced technology applied to limit the amount of harmful nitrogen oxides in diesel vehicles has been analyzed, required conditions for minimizing the amount of nitrogen oxide and the chemical reactions are explained. Also the advantages and disadvantages of the method compared to other technologies have been examined and criticalities in adaptation on the vehicles have been discussed.

Keywords: Selective Catalytic Reduction method, SCR system, diesel, emission, nitrogen oxide, urea, ammonia.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya genelinde özellikle büyük şehirlerde otomobiller, oluşturduğu egzoz gazları sebebiyle doğayı en fazla kirleten etmenler içerisinde yer almaktadır. Otomobillerin özellikle insan sağlığına en fazla zarar verdiği ortam, yoğun trafikte araç motorlarının rölantide çalıştığı zamanlardadır. Bunun sebebi taşıtların, yakıt tiplerine göre egzoz borularından çıkan zararlı gaz bileşenlerinin farklılık göstermesidir. Dünya genelinde, içten yanmalı motorlarda yakıt-hava karışımının yanması sonucu açığa çıkan ve atmosfere salınan zararlı gaz miktarının sınırlandırılması için emisyon standartları ve emisyon değerlerinin kontrolleri her sene daha zorlayıcı hale gelmektedir. Bu kapsamda motor üreticileri, partikül madde (PM), karbon monoksit (CO),

karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını azaltmaya zorlanmaktadır.

NO_x, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijenin (O₂) birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “azot oksitler” denir ve NO_x olarak ifade edilir. Dizel motorların çalışma prensibi çok hava – az yakıttır. Bu çalışma prensibi ve havada bulunan azot miktarının yüksek olması sebebiyle; dizel motorların, benzinli motorlara göre NO_x oluşturma oranı daha fazladır. Benzinli motorlarda atmosfere atılan 1 ton egzoz gazının yaklaşık 18,42 kg'ı NO_x iken, dizel motorlarda bu miktar yaklaşık 123,71 kg'a ulaşmaktadır. [1]

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : nilgun_anar@hotmail.com

Dizel motorlu taşıtlarda açığa çıkan azot oksit miktarını sınırlandırmak için uygulanan en gelişmiş teknoloji, SCR (Selective Catalytic Reduction) olarak adlandırılan seçici katalitik indirgeme sistemidir. Bu teknoloji ile açığa çıkan azot oksit, sisteme dahil edilen kimyasal ile reaksiyona girerek havada doğal halde bulunan, soluduğumuz nitrojen, su buharı ve sınırlı miktarda karbondioksit'e dönüşerek egzoz borusundan dışarı atılır. Bu yöntem ile %90'ın üzerinde azot oksit eliminasyonu mümkün olmaktadır.

İlkılıç ve diğ. [1] 'Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri' isimli araştırma raporlarında dizel motorlardan kaynaklanan ve çevre ile canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan NOx emisyonlarının kontrol altına alınarak azaltılması için yanmadan önce, yanma sırasında ve yanmadan sonra alınabilecek önlemler ele almışlardır. Dizel motorlarında NOx emisyonlarının azaltılmasında kullanılan yöntemlerden sadece EGR uygulaması ile NOx emisyonlarında %75'lik bir azalma elde edilmektedir. NOx emisyonlarının azaltılmasında kullanılan mevcut yöntemler yakıt ekonomisi, yanmamış hidrokarbon ve partikül madde emisyonları gibi diğer parametreleri kötüleştirilebilmektedir. Bu nedenle NOx kontrol yöntemlerinin birkaçı beraber kullanılarak hem NOx emisyonları hem de diğer parametreler optimize edilmelidir.

Sher [2] çalışmasında içten yanmalı motorlardan kaynaklanan hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiş, emisyon kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerin verimliliğini araştırmıştır. Bunların yanı sıra kullanılmakta olan yakıt tiplerinin emisyon değerleri üzerine etkileri üzerinde durmuş ve alternatif yakıt çözümlerini incelemiştir.

Uyumaz ve diğ. [3] çalışmalarında taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını tarif ederek, bu gazların azaltılma yöntemlerini incelemişlerdir. Taşıtların kaynaklı açığa çıkan egzoz emisyonlarını azaltmak için kullanılan en güncel ve teknolojik sistemler araştırılmıştır. Taşıtların kaynaklı egzoz emisyonlarının azaltılmasında en etkin yöntemler arasında katalitik konvertörler, seçici katalitik indirgeme ve partikül tutucu filtreler yer almaktadır. Bunun yanında alternatif yanma türleri ve yakıtlar ile yapılan çalışmalar taşıtların kaynaklı emisyonların azaltılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte ileride sıfır emisyon amacı için elektrikli taşıtlar, hidrojen kullanımı, farklı yanma modları gibi alternatiflerin uygulanabileceği belirtilmiştir.

Ayberk ve Çetin [4] hazırladıkları raporda azot oksitlerin tanımını yapmakta, etkilerinden bahsetmekte ve azot oksit emisyonuna neden olan kaynaklar ve uzaklaştırma yöntemlerini tanıtmaktadır. Bunun yanı sıra Kocaeli ilinde yapılan ölçümlere yer verilmiştir.

Yadav [5] katalitik konvertörleri incelediği çalışmasında her geçen gün sayısı artan taşıtların çevre kirliliğine olan etkilerini ele almış, 1991 yılından itibaren Hindistan'da uygulamaya geçen emisyon ile ilgili yasal düzenlemelerden bahsetmiştir. İki yollu ve üç yollu

katalitik konvertör tiplerini açıklamış ve konvertörlerle ilgili en sık yaşanan problemleri incelemiştir.

Johnson [6] 2014 yılını kapsayan çalışmasında taşıtların emisyon regülasyonları ve teknolojilerindeki gelişmelerden bahsetmiştir. NOx ve sera gazı ile ilgili regülasyon beklentilerini karşılamak için benzinli ve dizel motorlardaki yenilikler üzerinde durulmuş, NOx emisyon değerlerinin azaltılması için uygulanmakta olan SCR ve LNT adı verilen NOx absorbe edicilerin kullanıldığı sistem teknolojileri ile ilgili bilgi verilmiştir.

Schnitzler [7] hazırlamış olduğu araştırma raporunda partikül ve NOx indirgeme için kullanılmakta olan emisyon teknolojilerini ve bu teknolojilerin emisyon düşürme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada SCR'nin çoğunlukla ağır taşıtlarda tercih edilen teknik bir çözüm olmasından bahsedilirken hafif taşıtlarda LNT sisteminin alternatif bir seçenek olduğu belirtilmiştir. LNT teknolojisiyle ilgili olarak gözlenen en büyük sorunun uzun vadede istikrar sağlamaması olduğu belirtilmiştir. SCR teknolojisiyle ilgili en önemli handikaplar ise sistemin ihtiyaç duyduğu komponent yerleşimlerinin zorlayıcı olması ve sistemin çalışması için gerekli sıcaklık seviyesinin sağlanmasından kaynaklanacak zaman kaybıdır.

Jabłońska ve Chmielarz [8] raporlarında azot oksit oluşumunun başlıca kaynakları, bunların çevre ve insan yaşamı üzerindeki etkileri ile NOx'in giderilmesi için kullanılan farklı teknolojilerden bahsetmiştir. Bu kapsamda titanyum bazlı bazı katalitik konvertörler de dahil olmak üzere farklı tipteki konvertörler incelenmiştir. Tungsten ve molibden içeren katalizörler, NOx indirgeme sürecinde en iyi performansı sergilemesi nedeniyle piyasada yoğun olarak tercih edilmektedir. Titanyum içeren katalizörlerin dezavantajları nedeniyle farklı trend arayışı içine girilmekte ve hidrotalkit benzeri materyallerden elde edilen bakır içeren karışık metal oksitlerin kullanılmasının potansiyel bir çözüm olabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte rapor sonucunda gerçek çalışma koşullarında daha fazla uygulama yapılmasına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Tasic ve diğ. [9] hazırladıkları araştırma raporunda benzinli ve LPG'li taşıtların emisyonlarını incelemiş ve birbirlerine göre farklılıklarını ele almışlardır. Buna göre normal şehir trafiği ve yoğun şehir trafiğinde LPG'li taşıtlarda benzinli araçlara kıyasla CO, HC, NOx ve CO2 emisyonlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kıyaslama yapıldığında CO oranı benzinli araçlara göre normal şehir trafiğinde %30; yoğun trafikte %10 daha az iken HC oranı şehir trafiğinde %30; yoğun trafikte %51 daha azdır. Bunun yanı sıra NOx oranı şehir trafiğinde %41; yoğun trafikte %77 ve CO2 oranı şehir trafiğinde %10; yoğun trafikte %11 daha azdır. Tüm zararlı gaz salınımlarının yaklaşık %12'sinin kişisel taşıtlardan üretildiği düşünüldüğünde LPG'nin uygun bir alternatif yakıt olduğu ve geleceğin kişisel ulaşım çözümü olabileceği sonucuna varılmıştır.

Posada ve diğ. [10] hazırladıkları araştırma raporunda ağır hizmet tipi dizel motorlu araçlarda son ABD ve

Avrupa standartlarını karşılamak için kullanılan emisyon kontrol teknolojisinin üretim maliyetlerini incelemişlerdir. Bu maliyet tahminleri ile sadece son yıllarda imalat süreçlerindeki yenilik ve gelişmeler değil aynı zamanda belli emisyon kontrol teknolojilerinin araçlar üzerine uygulanması için de kullanılabilirlerdir. Araştırmada edinilen verilere göre US 1994 veya EURO II standartlarına kıyasla araç başına maliyet 7000\$ artmakla birlikte NOx emisyonlarında %95; partikül emisyonlarında ise %98'lik bir azalma sağlanmıştır. Özellikle ağır taşıtlarda yakıt tüketimi ve sera gazı salınımının azaltılması için bu sıkı standartlar uygulanmaya başlamıştır.

Balland ve diğ. [11] SCR sistemlerinde tüm sürüş koşullarında NOx dönüştürme performansından ödün verilmeksizin NH3 kaçağının önlenmesi için uygun bir üre enjeksiyon kontrol yazılımının gerekliliğinden bahsetmektedir. Tüm sistemin NOx dönüştürme veriminin en üst düzeye çıkartılabilmesi için SCROF içerisinde yüksek miktarda NH3 bulunması ve taban altı SCR ünitesine NH3 geçişine müsaade edilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Buna göre aracın ani ivmelenmesi gibi durumları da içeren tüm sürüş koşullarında egzoz çıkış borusundan NH3 çıkışının engellenebilmesi için her iki katalizördeki NH3 seviyesinin hesaplanabildiği bir yazılım ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Trautwein [12] dizel motorlu ticari araçlarda NOx emisyonunun azaltılması için AdBlue ticari isimli sulu üre çözeltilisinin kullanılması ile ilgili hazırladığı araştırma raporunda SCR/üre tekniğinin mekanizmasını açıklamakta, AdBlue sıvısının fiziksel, kimyasal ve çevresel özelliklerinin yanı sıra üretim yöntemlerinden bahsetmektedir. Bu tekniğin teknik ve lojistik gereksinimlerini araştırmak için yürütülen laboratuvar ve saha testlerinden bahsedilmekte ayrıca AdBlue servis istasyonlarında kazanılan ilk deneyimler anlatılmaktadır. Raporunda AdBlue tüketiminin 100 km'de 2 litreden az olması nedeniyle dağıtım ağının çok sık olmasının zorunlu olmadığından bahsedilmiştir.

Hsieh [13] dizel motorlarda uygulanan SCR sistemlerini konu aldığı çalışmada yeni, verimli ve geliştirilebilir bir üre dozajlama metodolojisinden bahsetmiş, yüksek verimli bir NOx indirgeme için SCR ünitesine dahil edilmesi gereken amonyak oranının tahmin yöntemlerine değinmiş, NOx indirgemenin yanı sıra egzoz borusundan amonyak kaçağının önlenmesi için SCR kontrol sistemlerinin modellenmesi üzerine çalışmıştır.

Czerwinski ve diğ. [14] çalışmalarında seçici katalitik indirgeme sistemi ve SCR kaplamalı dizel partikül filtresinin (SDPF) bir Iveco FIC motoru üzerinde uygulanması sonucu edinilen bulgulardan bahsetmişlerdir. Bu çalışma SDPF'nin gaz emisyonlarına ve nano-partiküllere olan etkilerinin araştırıldığı ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır. Sınırlı gaz emisyon bileşenlerinin yanı sıra NH3, NO2 ve N2O miktarları FTIR (Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre),

ile hesaplanmış ve nano-partikül emisyonlarının analizi SMPS (spektrometre) ve CPC (yoğunlaştırılmalı partikül sayacı) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, NOx azalma hızına bağlı olarak SDPF'nin emisyon davranışı ve en üst NH3 değerinin, dikkatli bir şekilde yürütülen özdeş test prosedürlerinde bile dalgalanma gösterdiği tespit edilmiştir.

Balogh ve diğ. [15] makalelerinde bir dizel motor tarafından üretilen NOx emisyonunun azaltılması için motora monte edilen SCR ünitesi üzerinde yapılan bir deneyi konu almaktadır. Yapılan bu deney ile kritik emisyon noktaları ve bu noktalardaki SCR sistemi davranışı ile ilgili bilgi sağlanmış olup binek otomobillerin geliştirilmesi açısından faydalı bir kaynak oluşturulmuştur. Deney, motorun belli bir devir, hız ve sıcaklıkta çalışması esnasında bir α (NH3/NOx) değişkenine göre gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonucuna göre NOx oranının %61,1 azaltılması sonrasında tekrar artışa geçtiği gözlenmiştir. Bu problemin, daha büyük bir katalizör ve yüksek sayıda kanal oluşturarak, reaksiyonun tüm yüzey boyunca gerçekleşeceği ve amonyakın geçmeyeceği bir karıştırma cihazının monte edilerek çözülebileceği belirtilmiştir.

Tulasiram ve Logachander [16] çalışmalarında normal çalışma koşullarında ve 200 bar enjeksiyon basıncında, enjeksiyon zamanlamalarını değiştirerek motorun performans ve emisyon değerleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Buna göre SCR sisteminin gecikmeli enjeksiyonda %36; ilerlemiş enjeksiyonda %8; normal enjeksiyon zamanlamasında ise %17 NOx indirgemesini sağladığı gözlenmiştir. Ön oksidasyon katalizörü HC ve CO emisyonlarını belli bir seviyeye kadar düşürürken CO2 oranını artırmaktadır.

Hesser ve diğ. [17] hazırladıkları çalışmada NOx dönüşümünü sağlayan SCR sistemini incelemişlerdir. Raporunda gelecekteki NOx yasal değerlerinin karşılanabilmesi için gerekli olan son işlemlerden bahsedilmiştir. SCR sisteminin günümüzde en verimli NOx azaltma teknolojisi olmasının yanı sıra araca adaptasyonunda yaşanan güçlükler ve ürelin donması gibi sorunlar da ele alınmıştır. Çalışmada aynı zamanda günümüzde ve gelecekteki sıkı emisyon düzenlemelerine uyum için kullanılmakta olan ve kullanılacak BOSCH firmasının SCR çözümleri incelenmiştir.

Nahavandi [18] hazırladığı raporda V2O5 / TiO2 katalizörü üzerindeki katalitik filtre ve petek yapı bir reaktör aracılığıyla NOx dönüşümünün tahmini için SCR kinetik yapısının verilerine dayanan sayısal bir modelleme ve simülasyon çalışmasından bahsetmiştir. NH3 ve SCR sistemi tanıtılarak egzoz gazı sıcaklığı, hız, NH3/NOx oranı gibi parametrelerin SCR prosesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve buna göre optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre SCR sisteminin performansının, tepkimeye giren kimyasal madde yoğunluğu ve çalışma sıcaklığına bağlı olduğu gözlenmiştir.

1.1. Taşıtlardan Kaynaklanan Zararlı Gaz Salınımlarının Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri (The Effects of Harmful Emissions from Vehicles on the Environment and Human Health)

Dizel ve benzinli motorların çalışması esnasında, yakıtın hava ile karışması sonucunda hidrokarbon, sülfür dioksit ve su açığa çıkmaktadır. Bu gazlar aynı zamanda akciğer ve kalp hastalıklarına yol açan azot oksit gazları, karbon dioksit ve karbon monoksit gazlarını da içermektedir. Hidrokarbonlar, azot oksitlerle güneş ışığı altında reaksiyona girerek zemin seviyesinde ozon oluşmasına sebep olurlar. Oluşan bu ozon, göz, burun ve boğazı tahriş eder ve akciğerlere zarar verir. Havada bulunan bu ince parçacıklar hemen her yerde devamlı olarak hareket halinde oldukları için ve istemsiz bir şekilde insanların bu parçacıklara maruz kalması sebebi ile dünya çapında insanları tehdit eden önemli bir çevresel risk faktörüdür. Aynı zamanda solunan bu maddeler miyokart enfarktüsü, inme ve kalp yetmezliği riskini arttırmaktadır. Karbon monoksit zehirli bir gazdır ve bulunulan havada konsantrasyonu artarsa kana geçmektedir. Kanda oksijenden daha kolay bir şekilde hemoglobine bağlanabilmesi sebebiyle dokulara oksijen taşınamayacak ve hücre ölümü meydana gelecektir. Özellikle kalp rahatsızlığı olan kişiler için bu durum tehlike arz etmektedir. Bunun yanı sıra hidrokarbonların kanserojen etkisinin olduğu bilinmektedir.

Dizel ve benzinli motorlar farklı emisyon değerlerine sahiptir. Motorlu araçlarda kullandığımız katalitik konvertörler yardımı ile emisyon değerleri mevcut teknolojilerle mümkün olan minimum seviyeye indirilmektedir. Benzinli otomobil emisyonları, karbon monoksit zararlı maddelerini karbon dioksit gibi daha az zararlı maddelere dönüştüren üç yollu katalitik konvertörlerin kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılmıştır. Katalitik konvertörlü benzinli araçlarda karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksit emisyonları düşük miktardadır. Dizel yakıtlar için ise iki yollu katalitik konvertör kullanılmaktadır. Dizel araçlara kıyasla karbon monoksit ve hidrokarbon salınımı benzinli araçlarda daha fazladır.

LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) ve CNG (sıkıştırılmış doğal gaz) ile çalışan araçlarda karbon monoksit salınımı benzinli araçlara kıyasla çok daha düşüktür. CNG araçlarda açığa çıkan karbon monoksit miktarı dizel araçlar ile hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte CNG araçlarda meydana gelen hidrokarbon salınımı, doğalgazın ana bileşeni olan metan nedeniyle nispeten yüksektir. Metan, düşük seviyeli ozon oluşumuna ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. LPG ve CNG araçlarda azot oksit ve partikül emisyonu dizel araçlara kıyasla daha düşüktür.

1.2. Katalitik Konvertörler ve Özellikleri (Catalytic Converters and Specifications)

Katalitik konvertörler (katalitik dönüştürücüler) motorun çalışması esnasında ortaya çıkan zararlı egzoz gazlarının çevreye zararsız hale dönüştürülmesini sağlayan dönüştürücülerdir. Katalitik konvertöre aynı zamanda

‘oksidasyon katalizatörü’ de denmektedir. Otomotiv sektöründe emisyon değerlerinin sağlanması amacı ile katalitik konvertörlerin kullanılması zorunludur.

Katalitik konvertör, egzoz gazında bulunan ve zararlı olan yanmamış hidrokarbonları (HC), karbon monoksiti (CO), nitrojen oksitleri (NOx) kimyasal reaksiyona sokarak zararsız hale getirir.

İki tip katalitik konvertör vardır. Bunlar;

- Üç yollu katalitik konvertör (TWC: Three-Way Catalytic Converters)
- İki yollu katalitik Konvertör (Two-Way Catalytic Converters)

Üç yollu katalitik konvertörler, benzinli motorlarda kullanılırlar. Üç farklı egzoz gazı olan, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitleri aynı anda zararsız hale çevirebilen katalitik konvertörlere, üç yollu katalitik konvertör denir. Aşağıda belirtilen yanma reaksiyonlarını gerçekleştirirler [19].

- Karbon monoksitin yakılarak karbon dioksite çevrilmesi: $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ (1)
- Azot oksitlerin oksijen ve azota indirgenmesi: $2NOx \rightarrow xO_2 + N_2$ (2)
- Yanmamış hidrokarbonların karbon dioksit ve suya dönüştürülmesi: $2CxHy + (2x + y/2)O_2 \rightarrow 2xCO_2 + yH_2O$ (3)

Dizel motorlarda kullanılan katalitik konvertöre, dizel oksidasyon katalizörü (diesel oxidation catalyst -DOC) adı verilir. Dizel oksidasyon katalizöründe, katalizör olarak; platinyum, paladyum ve alüminyum oksit kullanılır. Bu katalizörlerin üçü de oksidasyon işlevini yerine getirir; yani HC (hidrokarbon) ve CO (karbon monoksiti), oksijen ile yakarak, su (H₂O) ve karbondioksite (CO₂) dönüştürür. Bu tip katalitik konvertörlere “iki yollu katalitik konvertör denir, çünkü azot oksidi (NOx) indirgeyemezler ve sadece aşağıdaki iki yanma reaksiyonu gerçekleştirilir [19]:

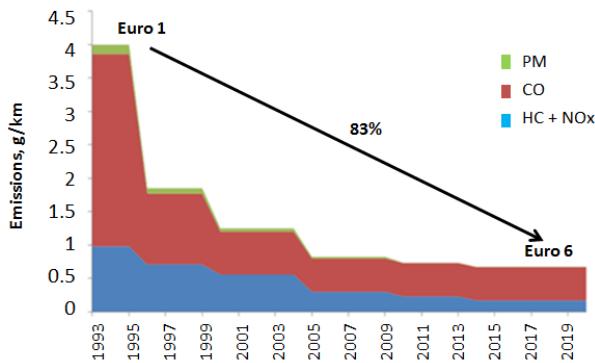
- Karbon monoksitin yakılarak karbon dioksite çevrilmesi: $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ (4)
- Yanmamış hidrokarbonların karbon dioksit ve suya dönüştürülmesi: $2CxHy + (2x + y/2)O_2 \rightarrow 2xCO_2 + yH_2O$ (5)

Dizel motorda, NOx (nitrojen oksit) emisyonunu azaltmak için, katalitik konvertör (dizel oksidasyon katalizörü) tek başına yeterli değildir. Dizel motorlar, çok hava- az yakıt ile çalıştığı için, egzoz gazlarında da yüksek oranda azot oksit bulundurulurlar. Dizel motorlarda NOx emisyonunu azaltmak için iki yöntem kullanılır, bunlar EGR sistemi (exhaust gas recirculation: egzoz gazı resirkülasyonu) ve SCR (Selective Catalytic Reduction: Seçici Katalitik İndirgeme) sistemleridir [46]. Seçici katalitik indirgeme sistemlerinde NOx dönüşümü, SCR filtresi (SCROF) içerisinde gerçekleştiğinden iki yollu katalitik konvertör kullanılmaktadır.

1.3. Emisyon Değerleri ve Yasal Zorunluklar (Emission Values and Valid Obligations)

Şehirlerde kullanılan araç sayısı arttıkça soluduğumuz havanın kalitesini artırmak için motorlu araçlarda müsaade edilen emisyon değerleri sınırlandırılmıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde Çevresel Koruma Kurumu (Environmental Protection Agency, EPA) tespitine göre, zorunlu motorlu taşıt kirliliği kontrolünden önce 1960 yılında kilometre başına yaklaşık 6,6 gram hidrokarbon; 52,5 gram karbon monoksit ve 1 gr azot oksit üretildiği tahmin edilmektedir. Araçlardan salınan kirletici madde miktarının önemli ölçüde azaltılmasına rağmen nüfusun ve araç sayısının sürekli artması, emisyon yasal şartlarının daha zorlayıcı hale gelmesini ve otomotiv sektöründe emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Emisyon kontrol standartları başlangıçta Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği merkezlerinde kuruldu. Bunların her biri spesifik gerekliliklere göre uyarlanmış olsa da, bu bölgeler emisyon azaltılmasında benzer yaklaşımlara sahiptir. Euro ismi ile adlandırılan Avrupa regülasyonları (Euro 1 – Euro 6) ile Şekil 1’de de görülebileceği gibi son 20 yılda emisyonların %83 oranında azaltılması sağlanmıştır.

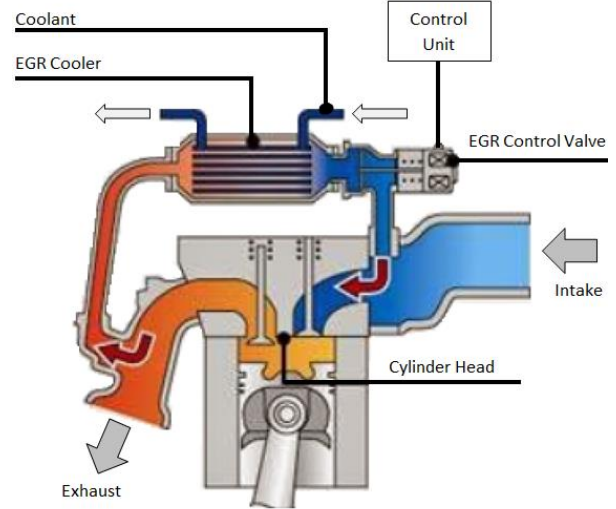


Şekil 1. Taşıtlardaki zararlı egzoz gazlarının yıllara göre azalma durumları (Decrease of harmful exhaust gases in vehicles within years) [20]

1.4. Dizel Araçlarda Emisyon Kontrolü (Emission Control for Diesel Vehicles)

Dizel yakıt, silindir içerisinde çok yüksek bir sıcaklıkta yanarsa oluşan kurum miktarı az olacaktır ancak açığa çıkan azot oksit miktarı fazla olacaktır. Daha düşük yanma sıcaklıklarında ise azot oksit emisyonu düşük ancak partikül (kurum) miktarı artacaktır. Açığa çıkan zararlı azot oksit miktarını sınırlandırmanın yollarından biri egzoz gazı geri çevrim (EGR – Exhaust Gas Recirculation) sistemidir. Bu sistemde egzoz gazının bir kısmı tekrar silindir içine gönderilir. Gönderilen bu atıl gazlar alınan temiz hava ile karışarak yanma verimini (sıcaklığını) düşürür ve böylelikle tepkime sonucu ortaya çıkan azot oksit miktarı azalmış olur. Dizel araçlarda

emisyon seviyelerinin düşürülmesinde karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon oksidasyonunu sağlamak için öncelikle dizel oksidasyon katalizörü (DOC – Diesel Oxidation Catalyst) kullanılır. Sonrasında kalan gaz ve partiküller (karbon, sülfat, kül, yağ) dizel partikül filtresinde (DPF – Diesel Particulate Filter) toplanarak hedef alınan basınç ve sıcaklık değerlerine ulaşıldığında filtrede biriken maddelerin yanması gerçekleşerek rejenerasyon sağlanır. Tipik bir EGR sisteminin çalışma prensibi Şekil 2’de gösterilmiştir.

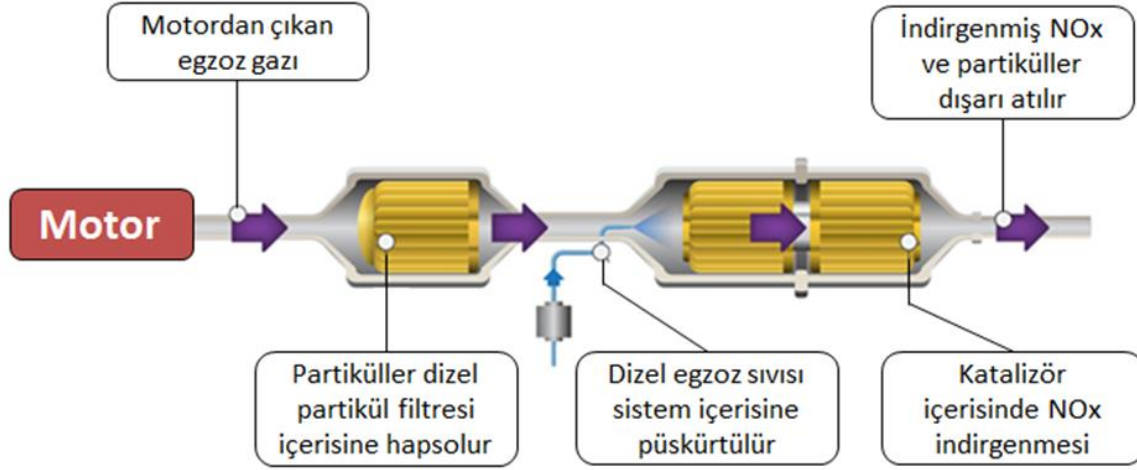


Şekil 2. EGR çalışma prensibi (Working principle of EGR) [21]

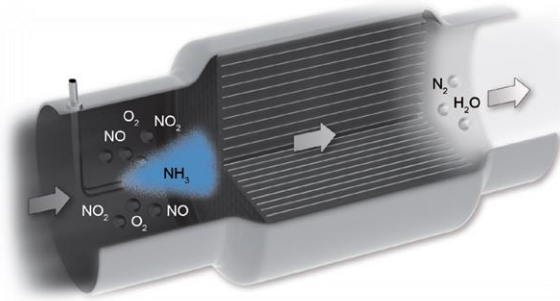
Azot oksit emisyonlarını azaltmanın ikinci yolu ise SCR katalitik konvertörü ile egzoz gazı arıtımını sağlamaktır. Bu yöntem ile açığa çıkan azot oksit miktarının yaklaşık %90’ı yok edilebilmektedir ve uygulamaya bağlı olarak daha yüksek oranda emisyon kontrolü bile mümkündür.

2. SEÇİCİ KATALİTİK İNDİRGEME SİSTEMİ (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION SYSTEM)

SCR (Seçici Katalitik İndirgeme - Selective Catalytic Reduction) yöntemi dizel motorlarda kullanılan gelişmiş bir emisyon kontrol teknolojisidir. Motorun optimize bir şekilde ateşlenmesiyle egzoz emisyonlarının artırılması sistemini birleştirerek nitrojen oksit (NOx) gibi kirletici emisyon düzeyinin azaltılmasını amaçlamaktadır. AdBlue ticari ismi ile anılan dizel egzoz sıvısı, nitrojen oksit ile kimyasal reaksiyona girerek havada doğal halde bulunan, soluduğumuz nitrojen, su buharı ve sınırlı miktarda karbondioksite dönüşerek Şekil 3 ve 4’de görülebileceği gibi egzoz borusundan dışarı atılır



Şekil 3. Seçici katalitik indirgeme sistemi çalışma prensibi (Working principle of selective catalytic reduction system) [22]



Şekil 4. Seçici katalitik indirgeme sistemi ile meydana gelen kimyasal reaksiyon (Chemical reaction in the selective catalytic reduction system) [23]

SCR sistemi uzun yıllardır dünya çapında ağır taşıtlar, güç santralleri, yolcu gemileri, kargo gemileri, feribotlar ve römorkörler de dahil olmak üzere bir çok alanda kullanılmaktadır. SCR sistemi nadir bakım gerektirmesi, araç ömrü boyunca kullanılabilmesi, aracın bakım ve yağ değiştirme aralıklarını etkilememesi, yüksek motor gücüne elverişli olması ve motorun yağlama veya soğutma sistemine ya da yakıt sistemine takviye edilmesine gerek olmaması gibi avantajlar sunmaktadır [11].

2.1. Dizel Egzoz Sıvısı – AdBlue (Diesel Exhaust Liquid - AdBlue)

AdBlue “VDA - Verband der Automobilindustrie” şirketinin tescilli markasıdır. AdBlue'nun aktif maddesi üre, doğalgazdan elde edilmektedir. Üre, ısıtıldığında amonyaka dönüşen bir azot bileşiğidir. Bu madde doğada da bulunan beyaz, kristal zerrecikli bir tozdur. AdBlue dayanıklı, renksiz, kokusuz, zehirsiz ve yanıcı olmayan bir sıvıdır. Zehirsiz ve dayanıklı olduğundan rahatça saklanıp nakledilebilir. DIN 70070 veya ISO 22241-1 kalite standartlarına göre üretilmektedir. %32,5 oranında üre içeren dizel egzoz sıvısı (geri kalan %67,5'lik kısmı iyonu giderilmiş sudur) SCR katalitik konvertörü tarafından egzoz gazı sistemine enjekte edilir. Üre miktarının %32,5 olmasının en önemli sebebi en düşük donma noktasının (-11°C) bu seviyede elde edilmesidir.

Ayrıca bu oranlarla üre ve su aynı oranda donarak çözülme esnasında sıvının yoğunlaşmasının ya da seyrelmesinin önüne geçilmiş olur. Sıvının donması ve çözülmesi bozulmaya yol açmaz. Dizel egzoz sıvısının donma – çözünmesi arasında %7'lik bir genişleme farkı vardır. Tank ve sistemler bu genişlemeye müsaade edecek şekilde tasarlanır. Mevcut normlara göre sıvının donmasını engelleyecek, kullanımı uygun bir katkı maddesi bulunmamaktadır. Bu nedenle ve sistemin çalışması için üre oranının hassas olması sebebiyle depo içerisine herhangi bir antifriz katkı maddesi eklenmemelidir. [24]

SCR sistemine enjekte edilecek dozaj, egzoz gazı akış miktarına göre motor kontrol ünitesi tarafından belirlenir. SCR katalitik konvertörün arkasında bulunan bir NOx sensörü tarafından bilgilendirilen motor yönetimi, dozajın hassas bir şekilde ayarlanmasını sağlar. Soğuk havalarda (araç çalıştırıldığında) tank ısıtılarak dizel egzoz sıvısının donması önlenir. Bağlantı ve hortumlar da sıcak tutularak ısı sabitlenir. Araç -11°C'nin altında park halinde kalırsa sıvı donar, fakat motor çalıştırıldığı anda ısınmaya başlar ve belli bir zaman sonra çözülür. Dizel egzoz sıvısı, ancak motor ve egzoz sistemi normal çalışma ısısına eriştiğinde tam filtreleme yapmaya başlar. Bu sebeple yapılan emisyon ölçümlerinde sistemin tam çalışmaya başlaması referans alınır.

Dizel egzoz sıvısı (AdBlue) SCR emisyon kontrol sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır ve aracın sürekli çalışmasını sağlamak için tankta her zaman mevcut olmalıdır. Depodaki sıvı seviyesi bitmeye yakın olduğunda aracın bir sonraki seferinde kilitleyerek, sıvı takviyesi yapılmadan çalışması engellenebilir. Bir taşıtın dizel egzoz sıvı tüketimi, tüketilen dizel yakıtın yaklaşık %2'si olacaktır [24]. Taşıtlarda AdBlue depo dolmuş ağzları, yanlışlıkla yakıt konulmasının engelleyecek şekilde tasarlanır. Genellikle Şekil 5'de de görülebileceği gibi yakıt dolmuş haznesinde yer alan ayrı bir hattan sıvı dolumu gerçekleştirilir. Dolmuş ağzında yer alan kapak üzerinde AdBlue yazısı bulunduğu için, farklı bir madde ile dolmuş yapılmaya riski oldukça düşüktür.



Şekil 5. AdBlue sıvısı ve dolum lokasyonu (AdBlue liquid and filling location) [25]

Dizel egzoz sıvısı zehirli değildir ancak çalışırken alınması gereken önlemler arasında deri ve gözlerle temas etmesinden kaçınmak bulunmaktadır. Göz ile temasında göz bol su ile yıkanmalıdır. Ayrıca, eğer zemine dökülürse kayma tehlikesi arz eder. Yaklaşık 9.0 pH değeriyle kısmen alkalidir ve bu nedenle alüminyum, pirinç, yumuşak çelikle doğrudan temas ettirilmesi durumunda korozyona yol açacaktır. Yüksek yoğunluklu polietilen tanklarda depolanması önerilmektedir.

Dizel egzoz sıvısının raf ömrü ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Güneş ışığı ve sığağa

maruz kalması durumunda zamanla bozulacaktır. -10°C ila +30°C arasında depolanması durumunda raf ömrü yaklaşık 1 yıldır. Maksimum sıcaklık 24°C'yi aşmaz ise raf ömrü 2 yıla kadar uzayabilir.

2.2. Seçici Katalitik İndirgeme Sisteminin Araç Üzerinde Uygulanması (Applying Selective Catalytic Reduction System on the Vehicles)

Seçici katalitik indirgeme sistemi aşağıdaki otomobil üreticileri tarafından araçlarda uygulanmaya başlamıştır. Bu marka ve modeller Çizelge 1 de gösterilmektedir.

SCR sisteminin araçlara uygulanabilmesi için ilave edilmesi gereken komponentler dizel egzoz sıvı deposu, dolum borusu, sıvı iletim hattı, sıvı ısıtma sistemi (genellikle boruya entegre olarak temin edilir), enjektör, SCR katalizörü, NOx sensörü (girişte ve çıkışta olmak üzere 2 adet), SCR kontrol ünitesi, sıcaklık kontrol ünitesi, enjektör soğutma pompası ve borularıdır. İlave edilen bu komponentler sebebiyle araç üzerinde motor bölmesinde yer alan parçalarda, dış trim (ve/veya iç trim) parçalarında ve taban altı yerleşiminde değişiklikler yapılması da gerekebilmektedir.

Çizelge 1. Seçici katalitik indirgeme sisteminin uygulandığı taşıtların marka ve modelleri (Vehicle brands and models that selective catalytic reduction system is being used) [26]

MARKA	MODELLER
AUDI	Q3, A4 Avant, A5, A6 Avant, A7, A8 Limousine, Q5, Q7, A6 Saloon, A4 Saloon, A8 Saloon
BMW	X5, X6, 5 series Saloon, 5 series Gran Turismo, 5 series Touring, 7 series Saloon
CITROEN	Berlingo Multispace, C3, C3 Picasso, C4, C4 Cactus, C4 Picasso, C5, C5 Tourer, DS 3 Cabrio, DS 4, DS 4 Crossback, DS 5, Grand C4 Picasso, New DS3, New Berlingo, C Elysee, Jumpy
INFINITI	Q50
JAGUAR	XE, XF, XJ
LAND ROVER	Discovery Sport, Evoque, Range Rover Sport, Range Rover
MERCEDES	GLE SUV W166, ML W166, Sprinter, Viano, Vito W447, GLE coupe W166, G-class cabriolet W463, S-class Saloon W221, S-class Saloon W222, S-class W222, GL, GLC SUV, G-classBreak long W463, E-class Coupe C207, C-class Saloon C205, C-class Saloon w204, CLS Coupe C218, CLS shooting break C218, E-class Saloon W212, E-class Cabriolet C207, R-class W251, E-class W213, GLC Class Coupe
PEUGEOT	208, 308, 2008, 3008, 5008, 508 SW, Partner, Travaveller, Partner Panel Van, 508 Saloon
RENAULT	Trafic
SKODA	Superb, Yeti
TOYOTA	Land Cruiser
VAUXHALL	Movano, Insignia, Zafira Tourer 2016, Vivaro, Zafira Tourer 2017
VOLKSWAGEN	Caddy, California, Caravelle, Crafter Van, Multivan, Passat SW, Sharan, Tiguan, Touareg, Transporter, Passat Saloon, New Passat Alltrack, New Touran

Araçlarda yer alan AdBlue depo hacimleri 8 litreden 24 litreye kadar olabilmektedir. En sık kullanılanları ise 12 – 17 litre olanlarıdır. [26] Depolar araç mimarisine göre farklı lokasyonlarda olabilmekle birlikte genellikle yakıt depolarının yakınına ya da motor boşluğuna konumlandırılır. Depoların araç üzerinde konumlandırılması yapılırken, olası kaza durumlarında deponun zarar görmesini engelleyecek bir bölgede olmasına dikkat edilmesi gereklidir. Kaza sonrası deponun zarar görüp içerisinde yer alan sıvının boşalması durumunda hafif hasarlı bir kaza olsa bile araç hareket etmeyecektir. Bu nedenle depolar korunaklı bölgelere konumlandırılmalı ve gerekli ise delinmesini engelleyecek ilave önlemler alınmalıdır. Dolum ağızları ise genellikle yakıt dolum haznesinde bulunmaktadır. Bununla birlikte üreticiler Şekil 6’da da görülebileceği gibi farklı dolum lokasyonlarını tercih edebilmektedir.

SCR sisteminde AdBlue dolum deposundan enjektöre ısıtmalı üre hattı vasıtasıyla dizel egzoz sıvısı pompalanır. SCR katalizörüne sıvının enjekte edilmesi ile egzoz gazı içerisinde var olan azot oksidin yaklaşık %90’ı (yüksek sıcaklıklarda) katalizör içerisinde azot ve suya dönüştürülür. İkinci katalizörde geriye kalan %5-8’lik azot oksit dönüşümü sağlanır. Sonrasında CUC (Clean Up Catalyst) olarak adlandırılan temizleme katalizöründe NH3 Slip olarak tanımlanan NH3 kaçağının oksidasyonu gerçekleştirilerek egzozdan NH3 çıkışı engellenmiş olur. NH3 kaçağı, amonyakın SCR katalizörünün içinden tepkimeye girmeden çıkmasıdır. Bunun sebebi fazla enjekte edilme, reaksiyon sıcaklığına ulaşamaması veya katalizörün aktif olmamasıdır. NH3 kaçağı alt bileşenlerin zarar görmesi ile sonuçlanabilecek amonyum sülfat oluşumuna yol açabilir [27].

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Sonuç olarak taşıtlardan kaynaklanan zararlı egzoz gazı emisyonlarının azaltılması için dünya genelinde her geçen sene daha zorlayıcı sınırlandırmalar getirilmektedir. Bu bağlamda Avrupa ve Amerika regülasyonlarının birbirine paralel sınırlandırmalar getirdiği gözlenmiştir. Buna göre son 20 yılda emisyonların %83 oranında azaltılması sağlanmıştır. Emisyon değerlerinin yakalanabilmesi için taşıtlarda iki yollu ve üç yollu katalitik konvertörlerin kullanılmasının yanı sıra dizel araçlarda açığa çıkan yüksek miktardaki azot oksit miktarının azaltılması için EGR ve SCR teknolojileri kullanılmaktadır. SCR sistemi ile egzoz gazı içerisinde var olan zararlı azot oksit miktarının %90’dan fazlası egzoz gazı içerisine NH3 enjekte edilerek nitrojen gazı ve suya dönüştürülür. Böylelikle dizel motorlu araçlarda sıkı emisyon kurallarına uyum sağlanmış olur. Yakıt ekonomisine doğrudan bir etkisi olmamakla birlikte egzoz sistemine artı olarak getirdiği NOx sönmüleme kapasitesi sayesinde silindir içi yanma sıcaklıklarının artmasına imkan vererek, yanma veriminin artmasına katkı sağlar. Bu avantajlarına rağmen sistemin çalışabilmesi için AdBlue deposu, enjektör, ilave borular, SCR katalizörü gibi ekstra komponentlerin gerekli olması sebebiyle aracın ağırlığını ve maliyetini negatif yönde etkilemektedir. Ayrıca -11°C’de AdBlue sıvısının donması sebebiyle özellikle soğuk havalarda sistemin tam performanslı çalışabilmesi için sıvının önceden ısıtılması zorunludur. Bu avantaj ve dezavantajlara bakılarak günümüzde dizel motorlu araçlarda emisyon kurallarını karşılamak için NOx indirgenmesini sağlayabilecek en gelişmiş teknolojinin SCR sistemi olduğu görülmektedir.

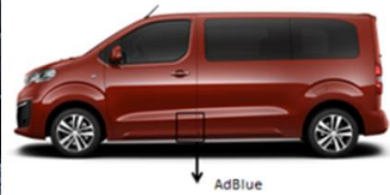
MERCEDES S CLASS W222



VOLKSWAGEN TIGUAN



PEUGEOT TRAVELLER



CITROEN C4



BMW X5



JAGUAR XE



Şekil 6. Farklı marka ve modellerde AdBlue dolum lokasyonları (AdBlue filling locations for different vehicle brands and models) [26]

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbondioksit
CPC	Yoğunlaştırılmalı partikül sayacı
CUC	Temizleme katalizörü
DOC	Dizel oksidasyon katalizörü
DPF	Dizel partikül filtresi
EPA	Çevresel koruma kurumu
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
HC	Hidrokarbon
H ₂ O	Su
LNT	Azot oksit absorbanı
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
NH ₃	Amonyak
NO _x	Azot oksitler
PH	Hidrojen gücü
PM	Partikül madde
SCR	Seçici katalitik indirgeme
SCROF	Seçici katalitik indirgeme filtresi
SMPS	Spektrometre
TiO ₂	Titanyum dioksit
TWC	Üç yollu katalitik konvertör
V ₂ O ₅	Vanadyum pentoksit

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] İlkılıç C., Behçet R., Aydın S., Aydın H., "Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, (2009).
- [2] Sher E., "Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines: Pollutant Formation and Control", *Academic Press*, ISBN: 0-12-639855-0 (1998).
- [3] Uyumaz A., Boz F., Yılmaz E., Solmaz H., Polat S., "Taşıt Egzoz Emisyonlarını Azaltma Yöntemlerindeki Gelişmeler", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1: 15-24, (2017).
- [4] Ayberk S., Çetin Ş., "Azot Oksit Emisyonları ve Çevresel Açından Değerlendirilmesi", *Kocaeli Üniversitesi – İzmıt*, (2006).
- [5] Yadav S., "Air Pollution Control Device – Catalytic Converter", <https://www.slideshare.net/santoshhoist/catalytic-converter-23732014> (2013).
- [6] Johnson T. V., "Review of Vehicular Emissions Trends", *SAE International Journals*, DOI:10.4271/2015-01-0993 (2015)
- [7] Schnitzler J., "Particulate Matter and NO_x Exhaust Aftertreatment Systems", *FEV Motorentechnik GmbH*
- [8] Jabłońska M., Chmielarz L., "Nitrogen Oxides Removal By SCR Process – State Of The Art", *Zeszyty Naukowe Towarzystwa Doktorantów UJ Nauki Ścisłe*, Nr 7 (2/2013) (2013).
- [9] Tasic T., Pogorevc P., Brajlilj T., "Gasoline and LPG Exhaust Emissions Comparison. Advances in Production Engineering & Management", *APEM Journal*, 87-94 (2011).
- [10] Posada F., Chambliss S., Blumberg K., "Costs of Emission Reduction Technologies for Heavy Duty Diesel Vehicles", *International Council on Clean Transportation* (2016).
- [11] Balland J., Parmentier M., Schmitt J., "Control of a Combined SCR on Filter and Under-Floor SCR System for Low Emission Passenger Cars", *SAE International Journals* (2014).
- [12] Trautwein W. P., "AdBlue as a Reducing Agent for the Decrease of NO_x Emissions From Diesel Engines of Commercial Vehicles", *DGMK Research Report 616-2 Part 2: Laboratory and Field Testing of AdBlue AdBlue Logistics* (2003).
- [13] Nieuwstadt M. V., Upadhyay D., "Control of Urea SCR Systems for US Diesel Applications", *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*, 66: 655-665, (2011).
- [14] Czerwinski J., Zimmerli Y., Mayer A., D'urbano G., Zurcher D., "Emission Reduction with Diesel Particle Filter with SCR Coating (SDPF)", *Emis. Control Sci. Technol.* DOI 10.1007/s40825-015-0018-7 (2015).
- [15] Balogh R. M., Ionel I., Stepan D., Rabl H. P., Pfaffinger A., "NO_x Reduction Using Selective Catalytic Reduction (SCR) System – α Variation Test", *TERMOTEHNICA* (2011).
- [16] Tulasiram N. V., Logachander G., "Performance of a Urea SCR System Combined With Variable Injection Timings of a Diesel Engine to Reduce NO_x Emissions", *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, ISSN: 2321-9653 (2016).
- [17] Hesser M., Luders H., Henning R. B., "SCR Technology for NO_x Reduction: Series Experience and State of Development", *DEER Conference* (2005).
- [18] Nahavandi M., "Selective Catalytic Reduction (SCR) Of No By Ammonia Over V₂O₅/TiO₂ Catalyst In A Catalytic Filter Medium And Honeycomb Reactor: A Kinetic Modeling Study", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 32, No. 04, pp. 875 - 893, dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150324s00003584 (2015).
- [19] "Katalitik Konvertör Nedir? Arızası Nasıl Anlaşılır?" <http://otomobiltknoloji.blogspot.it/2016/05/katalitik-konvertor-nedir-arizasi-nasil-anlasilir.html>
- [20] "Emission standards" <http://www.implats.co.za/implats/Emission-standards.asp>

- [21] “Diesel EGR - Diesel Exhaust Gas Recirculation Systems” <http://fuelschool.blogspot.it/2014/11/diesel-egr-diesel-exhaust-gas.html>
- [22] “What is Selective Catalytic Reduction?” <http://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>
- [23] Sinzenich H., Wehler K., Muller R., “Selective Catalytic Reduction: Exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emissions”, *MTU Friedrichshafen GmbH* (2014).
- [24] “Diesel Exhaust Fluid (DEF)”, <https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/MB10033.pdf>
- [25] “AdBlue”, <http://ewapoint.shop/ad-blue>
- [26] “AdBlue For Diesel Cars” <http://infodiesel.co.uk/bookmarks/>
- [27] “Air Pollution Control Technology Fact Sheet”, *United States Environmental Protection Agency*, EPA-452/F-03-032
- [28] “AB Emisyon Yönetmelikleri”, <http://www.adblue.tr.com.tr/default.asp?pid=3&lng=1>
- [29] “AdBlue”, <http://www.total.com.tr/madeni-yaglar/ADBLUE.html>
- [30] “Motorlu Araçlar Teknolojisi Egzoz Emisyon Kontrolü”, *Milli Eğitim Bakanlığı Ankara* (2011).
- [31] “How Selective Catalytic Reduction (SCR) Works”, <http://www.discoverdef.com/def-overview/selective-catalytic-reduction/>
- [32] “Automotive Exhaust Chemicals: Disease Causing”, <http://www.nutrained.com/environment/carschemicals.htm>
- [33] “Motor Vehicle Emission Controls: Fuel Types”, <http://www.air-quality.org.uk/26.php>
- [34] “Cummins Tier 4 Technology Overview”, <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/workshops/dieselaerosols2012/NIOSHMVS2012Tier4TechnologyReview.pdf>
- [35] “Delphi Selective Catalytic Reduction Dosing System”, *Delphi Powertrain Systems*, www.delphi.com
- [36] “Dosing Components for SCR Systems”, *HILITE International*
- [37] “Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles”, *Manufacturers of Emission Controls Association*
- [38] Maritati M, “EURO VI Technologies & Strategies”, <http://ibb.iveco.com/Lists/Markets/Attachments/59/EURO%20VI.pdf>
- [39] Dorenkamp R., “LNT or Urea SCR Technology: Which is the right technology for TIER 2 BIN 5 passenger vehicles?”, *12th Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference, Detroit, Michigan* (2006).
- [40] “Lower NOx Heavy Duty Diesel Engines”, *California Environmental Protection Agency Technology Assessment Sacramento, California* (2014).
- [41] Carpenter K. A., “NOx Emissions Solutions For Gas Turbines”, *Siemens Westinghouse Power Corporation*
- [42] Shah A. N., Ge Y. S., Jiang L., Liu Z. H., “Performance evaluation of a urea-water selective catalytic reduction (SCR) for controlling the exhaust emissions from a diesel engine”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 33: 259 – 271. TUBITAK DOI:10.3906/muh-0907-63 (2009).
- [43] “Selective Catalytic Reduction and Exhaust Gas Recirculation Systems Optimization”, *Clean Diesel Technologies Inc.*
- [44] “Selective Catalytic Reduction System”, www.dieselforum.org
- [45] “Technology to Reduce Emissions in Large Engines”, https://www.deere.ca/en_CA/docs/pdfs/emissions/large_engine_technology_final.pdf
- [46] “Worldwide Emissions Standards Passenger Cars Light Duty” *Delphi Powertrain Systems*, www.delphi.com