

Araç Emisyon Sorununun Altında Yatan Gerçek

Otomobilimizin yakıt tüketimini ve egzozundan çıkan gazdaki kirlilik oranını temsil eden emisyon değeri nasıl ölçülüyor?
Gerçek hayatta aracımızda bu değerlere neden ulaşamıyoruz.



Günlük yaşamda ulaşım amacı ile kullandığımız otomobiller, otobüsler, trenler ve uçakların neredeyse hepsi fosil yakıtlardan elde ettikleri enerji ile yol alır.





Dizel Araçlarda Azot Oksit Oluşumu

Otomobillerde genellikle ön kaputun altında bulunan içten yanmalı motorun içindeki yanma odalarında benzin, dizel, LPG veya CNG yakıtı hava ile karışarak yanar. Yanma sonucu açığa çıkan enerji aracın tekerleklerine güç olarak aktarılır.

Yanma kimyasal olarak hidrojen (H_2), karbon (C), azot (N_2), sülfür (S) gibi atomlardan oluşan yapıların oksijen (O_2) ile tepkimeye girmesi sonucu oluşur.

Daha anlaşılır tarif etmek gerekirse sobada kömürü yakabilmek için ortamda hava bulunması gerekir. Sobanın hava alması engellendiğinde yanmanın duracağını sobalı evde oturanlar bilir. Aslında kömürün büyük bir yüzdesi karbon elementinden oluşur. Kömür, oksijen ile tepkimeye girerek karbondioksit (CO_2) oluşturur ve bu kimyasal tepkime sonucu ısı açığa çıkar.

Dizel yakıtı ($C_xH_yO_z$) karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir bileşik zinciridir. Petrolün damıtılması sonucu elde edilen dizel yakıtları işleme kalitesi, kullanılacağı ülkenin iklimi ve çevre yasalarına göre değişiklik gösterir.

Dizel yakıtın otomobilde tam yakılabilmesi için gerekli hava miktarı kuramsal olarak hesaplandığında, 1 kg dizel yakıtı yakabilmek için gerekli olan oksijen miktarının 3,36 kg olduğu bulunacaktır. Havanın %21'i oksijen olduğundan 14,6 kg hava gerekir de diyebiliriz.



İçten yanmalı motorlarda azot oksit oluşmasına üç ana mekanizma sebep olur:

Azot oksitin %95'ten fazlası Zeldovich mekanizması ile açıklanan sebepten kaynaklanır. Zeldovich mekanizması diye tanımlanan ve azot oksit oluşumunu kimyasal olarak açıklayan tepkimeler, yanma odasındaki sıcaklık $1800^\circ C$ 'nin üzerine çıktığında başlar ve sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak artar.

İkinci mekanizma yakıtın tutuşma anında azot oksit oluşmasıdır.

Üçüncü mekanizma yakıtın kendi içinde bulunan azot atomunun oksijen ile tepkimeye girmesiyle azot oksit oluşmasıdır.



Ön kaputun altında, aracın güç kaynağı olan içten yanmalı motor

Tabii tüm bu açıkladığımız olaylar kuramsaldır. Uygulama da içten yanmalı motorlarda heterojen olarak yanan dizel yakıtın yanması için çok kısa bir süre vardır. Bu kısa sürede dizel yakıtı daha verimli yakabilmek için, yukarıda belirttiğimiz kuramsal hava miktarından en az 1,5 kat daha fazla havaya ihtiyaç duyulur.

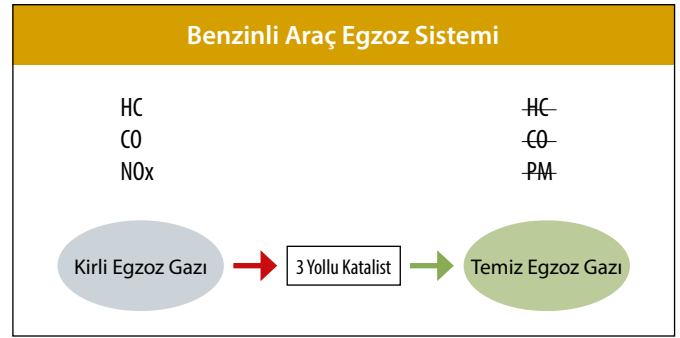
Tabii yanma gerçekleşirken de havanın içindeki tüm gazlar oksijen ile tepkimeye girme eğilimi gösterir. Hava içinde bulunan azot da yanma odası sıcaklığı 1800°C'nin üzerine çıktıktan sonra oksijen ile tepkimeye girer. Bu durumda da insan sağlığı ve çevre için zararlı olan azot oksit (NOx) açığa çıkar.

Azot oksit gazının insan sağlığı için zararlı olduğu anlaşıldıktan sonra yıllar içinde kademeli olarak araç egzozundan çıkacak azot oksit için limitler getirildi. Tablo-1'de 2014 yılına kadar kademeli olarak emisyon limitlerinin nasıl daraltıldığı görülüyor.

Benzinli ve Dizel Yakıtlı Araçların Farkı

Benzinli araçlarda egzoz sistemine konulan bir katalizör sayesinde emisyon problemi çözülür. Çünkü benzinli araçların çalıştığı hava yakıt oranında, tek bir katalizör azot oksit, karbonmonoksit ve hidrokarbon gazlarının hepsinin temiz olarak salınabilmesini sağlar.

Benzin motorundaki kirli egzoz gazının nasıl temizlendiği Şekil 1.a'da görülebilir. Dizel araçlarda ise yanma için gerekli hava yakıt oranı benzinekinden farklı olduğu için durum daha karmaşık bir hal alır. Egzozu koyulacak bir katalizör çözüm olmaz. Dizel yakıtlı bir araçta kirli egzoz gazının nasıl temizlendiği Şekil 1.b'de görülebilir.



Şekil 1.a EURO-VI uyumlu, benzinli araç egzoz sistemi

Dizel yakıtlı araçların egzoz sistemleri çok karmaşıktır, yanan gaz dışarı çıkana kadar birçok arıtma işleminden geçer (Şekil 3). Her egzoz elemanında Şekil 1.b'de gösterildiği gibi ayrı bir kirli gaz temizleme işlemi gerçekleşir.

Yazının devamında emisyon skandalının yaşandığı kirli azot oksit gazının temizlenme yöntemini daha detaylı inceleyeceğiz. Avrupa Birliği (AB) ve ABD'nin emisyon komitelerinin yayınladığı kurallardaki azot oksit limitlerini tutturabilmek için yanma sıcaklıkları düşürülür. Bunu sağlayabilmek için tüm dizel araç üreticileri Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR) yöntemini kullanır.

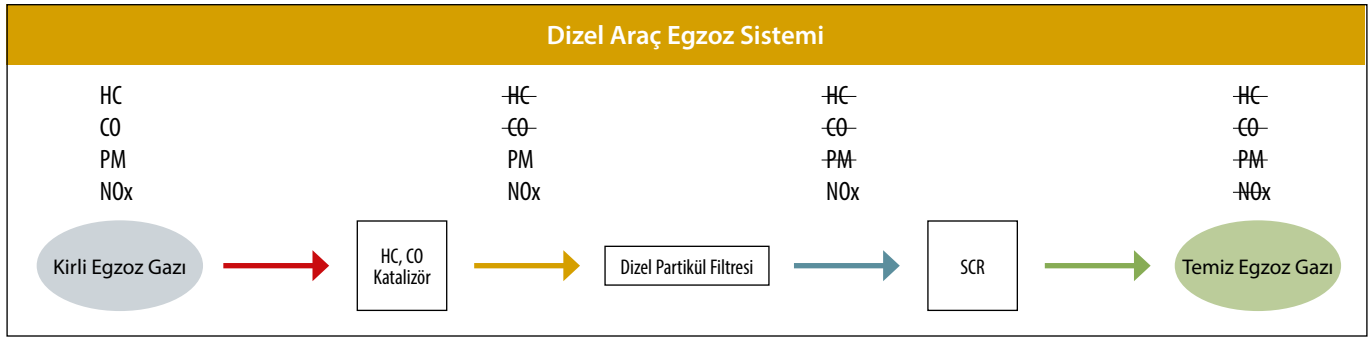
EGR sistemi, egzozdan atılacak yanmış (oksijen olarak fakir) gazın temiz hava ile birlikte yanma odasına geri gönderilmesidir. Bu yöntemle yakıtın verimli olarak yanması engellenir, ama aracın çevre dostu olması sağlanır. Yakıtın yeterli miktarda oksijenle buluşması verimli olarak yanmasına, yanma odasındaki sıcaklığın 1800°C'nin üzerine çıkmasına ve çok fazla azot oksit gazının oluşmasına sebep olur. EGR gazı ile bu sıcaklık artışı engellenerek azot oksit oluşumu azaltılabilir.

Fakat AB'nin ve ABD'nin binek araçları için açıkladığı EURO-VI, SULEV emisyon limitlerini tutturmak için EGR kullanmak yetersizdir.

EGR sistemine ek olarak araçlarda 1000 Avro ek maliyet getiren ve üre püskürtme sistemi içeren Seçici Katalitik İndirgeme (*Selective Catalyst Reduction*, SCR) veya azot oksit hapsedme mekanizması olarak tarif edilebilecek fakir azot oksit hapsedici (*Lean NOx Trap*, LNT) sistemi kullanılması gerekir. (Örnek bir azot oksit çevirici katalistin kesiti Şekil 2'de verilmiştir.)

Emisyon Seviyesi	Tarih	Karbonmonoksit	Azot oksit	Hidrokarbon ve azot oksit	Kurum miktarı	Kurum tane sayısı
-	-	g/km	g/km	g/km	g/km	tane/km
Euro 1	Temmuz 1992	2,72	-	0,97	0,14	-
Euro 2	Ocak 1996	1	-	0,7	0,08	-
Euro 3	Ocak 2000	0,64	0,5	0,56	0,05	-
Euro 4	Ocak 2005	0,5	0,25	0,3	0,025	-
Euro 5a	Eylül 2009	0,5	0,18	0,23	0,005	-
Euro 5b	Eylül 2011	0,5	0,18	0,23	0,005	6×10 ¹¹
Euro 6	Eylül 2014	0,5	0,08	0,17	0,005	6×10 ¹¹

Tablo-1 Avrupa Birliği emisyon limitlerinin tarihlere göre değişimi



Şekil 1.b EURO-VI uyumlu, dizel yakıtlı araç egzoz sistemi

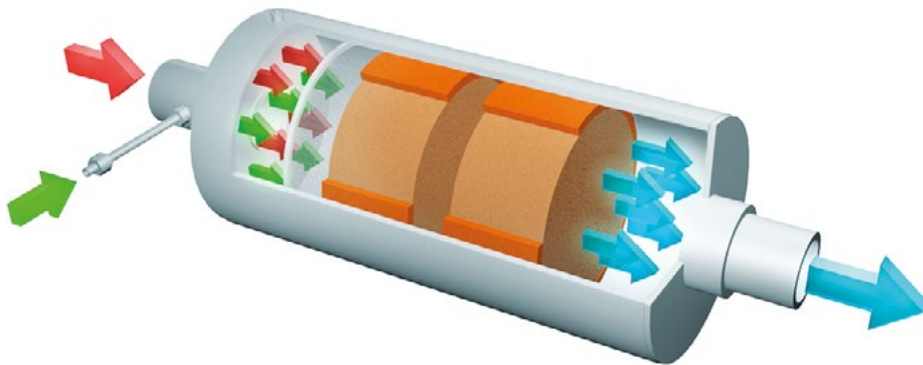
SCR sisteminde egzozu ayrı bir katalizör koyulur ve motorda gerçekleşen yanma sonrası oluşan azot oksitler bu katalizörden geçerken temizlenir. Azot oksitler püskürtülen üre (NH_3) ile tepkimeye girerek nitrojen (N_2) ve su (H_2O) olarak çevre dostu bir halde doğaya salınır. Üre püskürtülebilmesi için araçlarda ayrıca bir üre tankı bulunur. (ISO22241 standardı ile belirlenmiş %32,5'i üre, %67,5'i de iyonize sudan oluşan AUS32 sulu üre çözeltisi üre tankına koyulur. AUS32, Adblue ismi ile ticarileştirilmiştir.)

LNT sisteminde ise motorda gerçekleşen yanma sonrası oluşan azot oksitler egzozda hapsedilir. LNT'deki özel madde azot oksitleri tutabilir. LNT'nin belirli bir azot oksit tutabilme kapasitesi vardır. Bu kapasite limitine vardığında, LNT üzerine gönderilen fazladan yakıt ile azot oksitler nitrojen, su ve karbondioksit dönüştürülerek doğaya salınır.

Bahsedilen tüm bu sistemler çevre dostu olabilmek için egzoz gazının araçtan atılmasını zorlaştırır ve aracın fazladan yakıt tüketmesine sebep olur.

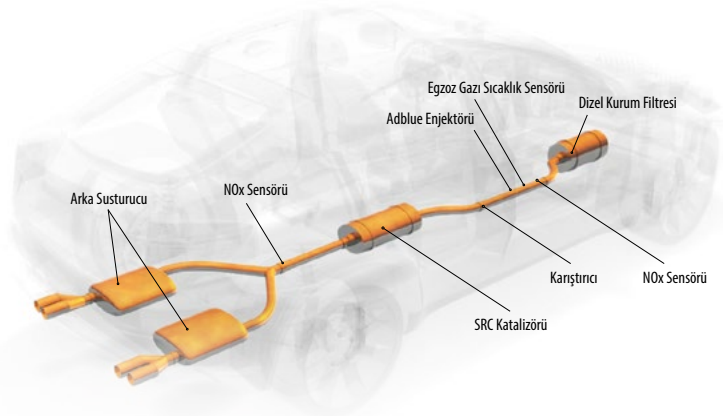
EGR gazı yöntemi, EURO-VI ve SULEV emisyon düzenlemelerinin koyduğu azot oksit miktarlarını sağlar. Ama bu durum yanma verimini çok azalttığı için aracın çok fazla yakıt tüketmesine ve çok yavaş hızlanmasına sebep olur. Bu da sürücülerin araçtan memnun kalmamasına neden olacağı için otomotiv firmaları EGR sistemine ek olarak fiyatı 1000 Avro olan LNT veya SCR sistemini kullanır. Şekil 3'te maliyeti yüksek, ama EURO-VI emisyon limitlerini sağlayabilecek egzoz sistemi görülüyor.

Şekil 2. Johnson Matthey firmasının örnek azot oksit dönüştürücü katalist kesiti



Azot oksitin olumsuz etkileri

- Kandaki hemoglobinle birleşme
- Havayolu tahrişi, öksürük, derin nefes alamamak
- Egzersiz ya da açık hava etkinlikleri sırasında hırıltılı nefes alma, nefes almada zorluk
- Uzun süre maruz kalma halinde kalıcı akciğer hasarı
- Aerosol ve foto kimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açma
- Potansiyel ekosistemlerdeki tür çeşitliliğinin etkilenmesi, ağaçların büyümesinin yavaşlaması ve ürün veriminin azalması



Şekil 3. Euro-VI emisyon standartlarına uyumlu örnek egzoz şeması (BMW egzoz arıtma sistemi)

Volkswagen (VW) firması dizel motor konusundaki tecrübesi sayesinde araçlarında sadece EGR gazı kullanarak emisyon limitlerine uyduğunu duyurmuş, araçlarının tanıtımını bu şekilde yapmış ve regülasyon testlerinden sadece EGR kullanarak başarı ile geçmişti.

ABD’de satılan, VW 2.0 litre dizel motoru olan araçların regülasyon testlerine göre belirlenen ve kataloglarında yer alan yakıt tüketim değerlerinin, rakip araçlarındakinden daha yüksek olduğu görülür. Fakat aracın günlük hayatta gerçek yollarda kullanılırken katalog değerlerinden daha az yakıt tükettiği görülür. Yani dinamometre testlerine göre 3,79 litre (1 galon) dizel ile 57 km giden otomobil, gerçek hayatta aynı yakıt miktarı ile yaklaşık 61 km gidebilir.

AB ve ABD, EURO-VI ve SULEV emisyon limitlerinin kesin olarak ölçülmesinde kullanılacak yöntemleri ve kuralları da ilan etmiştir. Yoldaki değişimlerden kaynaklanacak farkları önlemek için testler anlaşmalı laboratuvarlarda, kontrollü olarak yapılır.

Emisyon Testi Nasıl Yapılır?

Laboratuvarında tamburlar üzerine bağlanan araç, yolda gidiyormuş gibi sürülür ve emisyonlar ölçülür. Araçlar testlerden önce en az 8 saat 25°C ve %40 bağıl nem ortamında bekletildikten sonra, test odasına motoru çalıştırılmadan itilerek alınır. Araca sürücü dâhil 100 kg yük eklenir. Yolda hiç eğim olmadığı kabul edilir. Otomobilin kliması çalıştırılmaz. Otomobilin bataryası doluyken teste başlanması sağlanır. Test esnasında farlar kapalı, lastik basınçları üreticinin tavsiye ettiği seviyede olur. Tüm bu şartlar sağlanarak yapılan test sonrasında aracın yakıt tüketim ve emisyon değerleri kıyaslanabilir olarak elde edilir.

Günlük hayat şartları ise test koşullarından farklıdır. Otomobilimizi sürerken hava sıcaklığı değişir, klima ve farlar genelde açıktır. Lastik basınçları da bakımlar haricinde belki de hiç kontrol edilmez. Aracımızın bagajındaki eşyalar fazladan ağırlık yapar. Yolculuklarda genelde yalnız olmayız. Fark edilmese de yollarda %1’lik bile olsa eğim vardır. Virajlarda araç dinamiğinden ötürü düz yola göre çok daha fazla enerji tüketilir. Günlük hayatta yoğun trafikte çok fazla durur kalkarız, bu da çok daha fazla yakıt tüketilmesine sebep olur. Hâlbuki testlerde bunlar yoktur. Yoğun şehir içi trafiğinde 100 km’de tüketilen yakıt miktarı 10 litreye yaklaşırken, uzun yolda ortalamaları 5-6 litre yakıt tüketilir. Yani regülasyon testi koşullarıyla günlük hayatta otomobil kullandığımız koşullar birbirinden farklıdır. Bu fark çoğu otomobil kullanıcısının “100 km’de 5 litre tükettiği yazıyor, ama ben 7 litreden az tükettiğini görmedim” demesini de açıklar. Regülasyon testi tekrarlanabilir, ama gerçek hayatı maalesef yansıtmaz.

Şekil 4’te TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü’ne ait araç laboratuvarında örnek bir regülasyon testi ve ortamı görülüyor. Regülasyon testinde araç tamburlar üzerinde olduğu için direksiyon dönmez. Araç test öncesi en az 8 saat şartlandırma odasında bekletildiği için aracın motor yağı, suyu ve emdiği hava sıcaklığı 25°C iken test başlar. Test esnasında araç yoldan rüzgâr alamadığı için önüne koyulan fanın yeterli soğutmayı sağlayabilmesi için araç kaputu açık tutulur. Araçta tüm bu durumları gözlemleyen sensörler vardır. Bu sensörlerden alınan bilgilerle aracın testte mi olduğu yoksa gerçek yolda mı sürüldüğü kolaylıkla ayırt edilebilir.

Bu ayrımı yapmak için araca ek bir donanım koyulmasına da gerek yoktur. Aracın tüm kararların verilmesini sağlayan beyine (araç kontrol ünitesi) eklenecek bir fonksiyonla, test durumunda iken farklı davranması, test durumunda değilken farklı davranması sağlanabilir.



Şekil 4. Şasi dinamometresinde yapılan örnek araç testi

Tüm otomobillerde böyle farklar varsa, VW firmasının neden bu kadar öne çıktığı sorusu akla gelebilir. Gerçek yol koşullarında ve laboratuvar test koşullarında elde edilen sonuçlarda sapmalar olması kabul edilebilir, ama bu farkın 40 kat olması için araçta veya ölçüm sisteminde bir problem olması gerekir. ABD’deki West Virginia Üniversitesi tarafından yolda yapılan regülasyon test çevriminin benzeri testlerde, emisyonlar katalog değerlerinden 40 kat farklı çıkmış ve uzmanlar ABD Çevre Koruma Müdürlüğü’ne durumu bildirmiş. Yapılan inceleme sonrasında araca laboratuvarında başka yolda başka davranacak bir algoritma yüklendiği anlaşılmış.

Motor Hızı	Gaz Pedalı Pozisyonu	Güç	Egzoz Gazı Resirkülasyonu	Azot oksit	Hidrokarbon	Karbonmonoksit
dev/dak	%	kW	%	ppm	ppm	ppm
1750	20	7,8	56	23,1	417,7	2924,8
1750	20	9,4	1	342,6	191,6	299,4
aynı	aynı	%21	VW gibi EGR kullanılmıyor	%1386, ~14 kat artıyor	%-54 azalıyor	%-90 azalıyor

Tablo-2 EGR kullanımının performans ve emisyonlara etkisi



VW aslında araç kontrol ünitesine bir algoritma yerleştirerek aracın testte olmadığını, normal trafikte sürüldüğünü varsayarak EGR kullanımını azaltmış, aracın daha az yakıt tüketmesini, performansının daha yüksek olmasını sağlamıştır. Ancak bu durum insan sağlığı ve çevre için zararlı olan gazların salınmasına sebep olmuştur.

EGR'nin azot oksitler üzerine etkisini anlamak için başka marka bir dizel araç üzerinden örnek verebiliriz. TÜBİTAK MAM EE'de yapılan EGR etkisi testinin sonuçları Tablo-2'de görülüyor. EGR'nin açık ve kapalı olduğu durumlarda, yakıt tüketimi ve azot oksit oluşumları çok değişiyor. EGR kullanılmadığı durumda aynı yakıt miktarı ile %21 daha fazla güç elde edilmiş, ama yaklaşık 14 kat fazla azot oksit gazı salınmıştır.

Rekabetin çok yüksek olduğu otomotiv sektöründe bir pazarlama stratejisi olarak her otomobili belli bir karakteristik özelliği öne çıkarılır. Yani insanlar gibi otomobillerin de karakterleri vardır. Konforlu, tasarruflu, güvenli, dayanıklı, çevre dostu olmak gibi özellikleri araçları öne çıkarır.

VW firmasının reklamlarında araçlarının çevre dostu olduğu vurgulanıyordu. Ancak aslında aldatmaca yapıldığı ve söylendiğinden 40 kat fazla kirli egzoz gazının doğaya salındığı anlaşıldı.

VW dizel yakıtlı araç satışları bazı ülkelerde yasaklandı, firma kendi kararıyla tüm pazarlarda dizel yakıtlı araç satışını durdurdu. VW internet sitesinden ve televizyonlardan çevre temalı tüm reklamlarını çekti.

Tüm dünyada büyük yankı uyandıran bu olay Avrupada ve ABD'de emisyon ölçüm yöntemlerinin yeniden sorgulanmasına sebep oldu. Araçların vaat ettiklerini yerine getirip getirmediğini anlamak için muhtemelen önümüzdeki yıllarda emisyon ölçüm yönetmeliklerinde birtakım değişiklikler yapılacak. Hatta regülasyon testleri gerçek yollarda yapılmaya başlanacak. Kim bilir yaşanan bu emisyon skandalından dolayı birçoğumuz aldığımız araçları mobil emisyon cihazları ile test edip gerçekleri kendi gözlerimizle görmek isteyeceğiz.



Kaynaklar

- Willard, W. P., *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2003.
- Safgönlü, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C., *İçten Yanmalı Motorlar*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1995.
- Heywood, J. B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill Book Comp., New York, 1988.
- <http://www.hussgroup.com/cdc-liquid/en/infocenter/NOx.php>
- <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>
- <http://www.matthey.com/johnson-matthey-catalysts>
- *Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles*, National Research Council of the National Academies, 2011.
- <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r083r4e.pdf>
- İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H., *Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye