

DÖRT ZAMANLI MOTORLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EGZOZ EMİSYONLARINA MANYETİK ALANIN ETKİSİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ MAHMUT ÜNALDI

EĞİTİM
yayınevi

DÖRT ZAMANLI MOTORLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EGZOZ EMİSYONLARINA MANYETİK ALANIN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ünalı

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Ziya Aydoğın (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Koordinatörü: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-5971-75-3

1. Baskı, Aralık 2024

Kütüphane Kimlik Kartı

DÖRT ZAMANLI MOTORLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE EGZOZ EMİSYONLARINA MANYETİK ALANIN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ünalı

IV+61 s., 160x240 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-5971-75-3

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM
yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah.
Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok,
No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Eğitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah.
10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
+90 537 512 43 00
bilgi@kitapmatik.com.tr

 **kitapmatik**
İnternetten kitaplarınız

İÇİNDEKİLER

Önsöz	IV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Benzin	3
1.2. Dünyada Fosil Yakıt Rezervlerinin Durumu	4
1.3. Yakıt Tüketimi.....	8
1.4. Hava/Yakıt Karışımının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisi.....	9
1.5 Yanma Reaksiyonunun Fiziksel ve Kimyasal Durumları	11
1.6. Egzoz Emisyonu Standartları	17
1.6. Manyetik Alan Cihazları.....	27
1.7. Manyetik Alanın Etkisindeki Yakıtlar.....	30
1.8. Manyetik Alanın Egzoz Emisyonlarına Etkisi	32
2. MANYETİK ALANIN EMİSYONLARA ETKİSİ KONUSUNDAKİ MEVCUT ÇALIŞMALAR.....	33
3. DENEYSEL MATERYALLER VE DENEY METODU	41
3.1. Neodmiyum Malzemeli Manyetik Alan Cihazı	42
3.2 Egzoz Emisyonu Test Cihazı.....	44
3.3 Metot	47
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	49
5. ÖNERİLER.....	55
6. KAYNAKLAR	57

Önsöz

Bu kitap, dört zamanlı motorlarda yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına manyetik alanın etkileme durumunu araştıran ve merak edenler için yazıldı. Motor teknolojisi ve yakıt verimliliği konularında giderek artan ilgi, akademisyenleri ve mucitleri daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler arayışına yönlendirmektedir. Bu bağlamda, manyetik alanın motor performansı üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek, gelecekteki yenilikçi yaklaşımlar için önemli bir adım olabilir.

Bu kitabın amacı, okuyuculara bu konuda mevcut bilgileri sunmak ve teknolojik gelişmeleri daha iyi anlamalarına yardımcı olmaktır. Araştırma sürecinde önceki tecrübelerimden faydalanarak manyetik alanın yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini detaylandırmaya çalıştım. Bu kitabın hem akademik hem de endüstriyel alanda çalışan mühendis ve araştırmacılar için faydalı bir kaynak olmasını umuyorum.

Araştırmalarımda ve bu kitabın yazımında bana destek olan herkese teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm meslektaşlarıma, öğrencilere ve aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Umarım bu kitap, dört zamanlı motorlar ve manyetik alan uygulamaları konusundaki bilgi birikimine katkıda bulunur ve yeni araştırmalara ilham kaynağı olur.

Saygılarımla,

Dr. Mahmut ÜNALDI

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlu taşıtlardan kaynaklı çevre kirliliğinin büyük boyutlara ulaşması ve petrol türevi yakıtların kısa süre sonra tükeneceğinin iddia edilmesi sebebiyle mevcut yakıtların ekonomik olarak kullanılması veya alternatif yakıtların keşfedilmesi zorunluluk hale gelmiştir. Bu maksatla birçok bilimsel çalışma yapılmakta, yeni tasarım ve icatlar geliştirilmektedir. Mevcut yakıtların ekonomik olarak kullanılması, yakıt enerjisinin mümkün olan en yüksek oranda mekanik enerjiye dönüştürülmesini tabir etmektedir. Bu maksatla yakıt tüketiminin azaltılması, yakıtın tam olarak yakılabilmesi ve egzoz emisyonlarının azaltılmasını amaçlayan birçok yöntem geliştirilmiştir ve bu çalışmalar halen sürdürülmektedir.

Petrolde elde edilen yakıtların kullanımı dolayısıyla çevre kirliliğinin aşırı artışı alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşmasını veya mevcut yakıtların ekonomik kullanımını zorunlu hale getirecektir. Petrol rezervleri azalmaya başladığından bilimsel çalışmalar mevcut kaynakları en verimli şekilde kullanma konusunun üzerine yoğunlaşmıştır.

İçten yanmalı motorlar için en uygun alternatif yakıtı bulabilmek için, yakıtın elde edilebilirliği, emisyonları, maliyeti, depolanması, taşınması vb. gibi kriterler göz önünde bulundurularak motorlarda bunlarla ilgili araştırma ve denemeler yapılmaktadır. Ayrıca motordaki sistemlerin geliştirilmesiyle veya yeni sistemlerin eklenmesiyle de yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları azaltılmaya çalışılmaktadır. Tüm bunlar yapılırken motor performansı da göz önünde bulundurulmaktadır.

Gelişen teknolojiyle otomobillerdeki sistemler gelişmekte ve yeni teknolojik sistemler oluşturulmaktadır. Yeni sistemler sayesinde özellikle yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları azaltılmakta, motor performansı ise artırılmaktadır. Bu sayede otomobil üreticileri yeni araçlarını tüketiciler için cazip hale getirmektedirler. Piyasadaki eski araçlar için farklı firmalar tarafından üretilmiş farklı tip ve çalışma prensipleriyle değişik cihazlar mevcuttur. Eski araç kullanıcıları için uygun maliyetli olan bu cihazların, yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını azalttığı motor performansını ise artırdığı vaat edilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarının zararlı etkisini azaltabilmek için yanma öncesi ve yanma sonrası için birtakım önlemler alınmaktadır. Bu önlemler teknolojiyle birlikte sürekli yenilenmekte veya geliştirilmektedir. Egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltabilmek için yanma öncesi safhasında; yeni teknoloji ürünü olan karbüratörler, yakıt enjeksiyon sistemleri ve elektronik ateşleme sistemleri geliştirilmiştir. Tek noktadan ve çok noktadan yakıt enjeksiyonu, gelişmiş enjektörler, common-rail, kompresör, TDI (Turbo Diesel Injection), GDI (Gasoline Direct Injection), VVTI (Variable Valf Timing) vb. gibi sistemler ve sistem parçaları geliştirilmektedir. Yanma sonrasında alınabilecek önlemler arasında EGR (Exhaust Gas Recirculation) ve katalitik konvertör sayılabilir. Motorlara yapılan bu eklemeler önemli ölçüde maliyeti arttırmakta ve bunlar her motora uygulanamamaktadır.

İçten yanmalı motorun teknolojik alt yapısını bozmadan ve mümkün olan en az şekilde ilaveler yaparak motoru daha verimli çalışır hale getirebilmek için son yıllarda yapılan deneme çalışmalarından bir tanesi de manyetik alan etkisinden faydalanma işlemidir. Şu an için bu yöntem tam olarak geliştirilmemesine karşın farklı yöntem ve uygulamalarla yapılan çalışmaların sayısında artış vardır. Öncelikle manyetik alan etkisini belirleme çalışmalarında karbüratörlü ve iki zamanlı motorlarda daha fazla denemeler yapılmıştır.

Manyetik alan cihazı, içten yanmalı motorlarda yakıt borusuna kolayca monte edilebilen bir manyetik frekans rezonatörüdür. Neodimyumdan yapılan ve güçlü bir manyetik alan oluşturan sabit mıknatıs veya manyetik alanı değiştirilen manyetik alan üreteçleri içerisinden geçen yakıtın hidrokarbon (HC) zincirlerini belirli bir düzene sokarak veya parçalayarak yanma odasına giden yakıt moleküllerinin daha fazla oksijen (O_2) ile temas etmelerini sağlayarak yanma olayının teorik yanmaya yaklaşmasını sağlar. Manyetik alan cihazının tanıtım broşüründe bu cihazın emisyonları azalttığı, yüksek performans sağladığı, motor yağının ömrünü uzattığı ve motorda kurumlaşmayı önlediği belirtilmektedir. İleriki bölümlerde içten yanmalı motorlarda yakıtlara manyetik alan uygulamalarından ve elde edilen sonuçlardan kısaca bahsedilecektir. Dana sonraki bölümlerde yakıtların yanma mekanizmalarından, emisyonlardan ve manyetik alan üreteçlerinden bahsedilerek yapılan deneysel bir çalışmanın sonuçları irdelenecektir.

1.1. Benzin

Otomobillerde yakıt olarak kullanılan benzin içerisinde Parafinik hidrokarbon (C_nH_{2n+2}), Etilenik hidrokarbon (C_nH_n), Naftenik hidrokarbon (C_nH_{2n}) ve Benzenik hidrokarbon (C_nH_{2n-6}) bulunur. Ayrıca Krating metodu ile elde edilen benzinlerde $C_{15}H_{32}$ gibi parafinik hidrokarbonlar ayrılarak $C_{10}H_{22} + C_5H_{10}$ gibi hafif parafenik ve etilenik hidrokarbonlara çevrilir. Parafinik hidrokarbonların en çok kullanılanları hekzan (C_6H_{14}) ve heptan (C_7H_{16})'dır. Motorlarda en iyi çalışmayı sağlayanlar sırasına göre benzenik, naftenik, etilenik hidrokarbonlardır. Parafinikler mümkün olduğu kadar az kullanılır, çünkü parafinik hidrokarbonların zincir boyu uzundur bu da sıkıştırma oranının düşmesine sebep olur. Benzinlerde aranan en önemli özelliklerden birisi detenasyona dayanma özelliğidir. Detenasyona (vuruntuya) karşı yakıtın direnci arttıkça sıkıştırma oranı (ϵ) da artırılabilir. Bunun sonucu olarak motor gücü, çevrim verimi ve termik verimin artması mümkün olacaktır (Özdamar, 1996).

Tablo 1. Benzin katkıları (Köse, 2002)

Katkı Maddesi	Tipi	Miktar	İşlevi
Oktan yükseltici	Kurşun tetra etil ya da Metil tetra bütül ester	800 (ppm)	Kimyasal gecikme periyodunu uzatır
Depozit önleyici	Bor ya da Fosfor bileşikleri	-	Yanma odasındaki C birikintisini ve bujilerin islenmesini önler
Oksitlenme önleyiciler	Amonyak	4-60	Gom oluşumunu önler
Deterjan	Alkil amonyak fosfat	48	Karbüratör ve manifolddaki atık birikimini önler
Metal aktiflenme önleyiciler	Amonyak türevleri	4	Bakırın gom oluşumu üzerindeki katalizör etkisini önler
Pas önleyiciler	Amonyak yağ asidi	4-60	Su ve havanın sebep olduğu pas oluşumunu önler
Buzlanma önleyiciler	Alkoller ve Sülfatlar	50ppm %1	Yakıt hatlarındaki ve karbüratördeki buz oluşumunu ve adezyonu önler
Yağlayıcılar	Hafif mineraller	%0.1 - 0.5	Supap kılavuzları ve silindirlerin üst kısımlarını yağlar
Boya	--	1-12	--

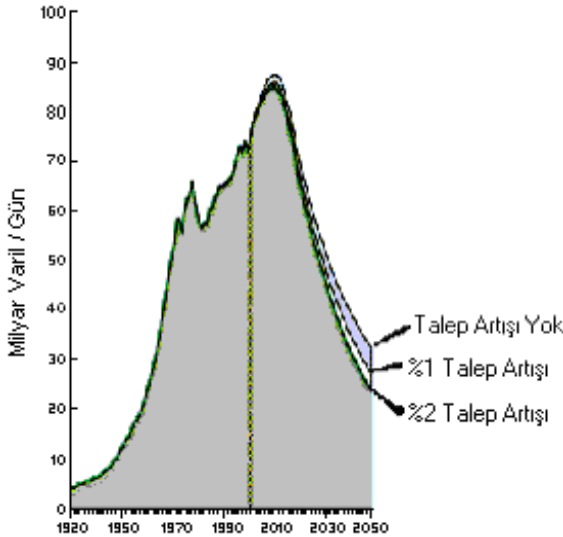
Tablo 1’de gösterilen benzin katkı maddelerini iki kısma ayırmak mümkündür; birincisi vuruntuya karşı direnci arttırmak için ilave edilen katkı maddeleri (Kurşun tetraetil-Pb(C₂H₅)₄, demir penta karbonil-Fe(CO)₅, mono metil anilin-C₆H₅-NH-CH₃) ve diğer katkı maddeleri (oksit önleyici, pas önleyici, buzlanmayı önleyici, deterjanlı katıklar, fosfor bileşenleri ve çeşitli boyalardır).

1.2. Dünyada Fosil Yakıt Rezervlerinin Durumu

Petrol kullanılmaya başlanmasından itibaren uzunca bir süre, dünya petrol rezervleri ve bu rezervlerin insanoğluna ne kadar yeteceği ile ilgili bir düşünce yoktu. Dünyada petrol tüketim eğrisinin çan şeklinde olduğunu idea eden ilk kişi M. Hubbert King’dir. Çan şeklindeki tüketim eğrisi bugün bu konuyla ilgilenen tüm uzmanlarca da kabul edilmiş bir teoridir.

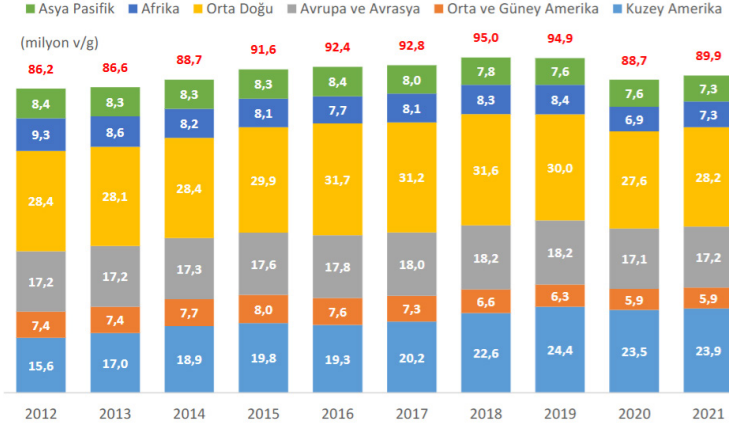
Bu düşünceye göre, petrol üretim ve tüketimi zamanla artacak ve rezervlerin yarısı tüketildiğinde maksimuma ulaşacak ve sonra azalmaya başlayacaktır. Hubbert'ın (1974) yaptığı ikinci çalışmada, o zamanki 200 milyar varil kullanılabilir rezerv bilgisiyle, petrol üretiminin 1995'te maksimuma ulaşacağını iddia etmiştir. Halkın ilgilendiği ve büyük çapta tartışılan ilk çalışma, 1972 yılında Roma Kulübü tarafından yapılmıştır. Oldukça sınırlı ve hatalı bir çalışma sonucu, 20 yıllık rezerv olduğu sonucuna varılmıştır. Bu hatalı sonuç, kamuoyunun bu konuya olan bugünkü yaklaşımının sebeplerinden biridir (Temelci, 2000).

Günümüzde, rezervlerin üretime oranı temel alındığında 40 yıldan biraz fazla bir petrol rezervi bulunmaktadır. Bu ise talebin hiç artmaması durumunda gerçekleşecektir. Ancak en basit şekilde, her zaman olan fiyat dalgalanmalarının yanında, üretimdeki azalmadan ötürü ortalama fiyatlar yükselecektir. Şekil 1'de mevcut verilere dayanılarak, tahmini dünya petrol üretim eğrisi ve küçük talep artışlarında olabilecek üretim azalmaları gösterilmektedir.



Şekil 1. Dünya petrol üretim eğrisi (Anonim-a, 2004)

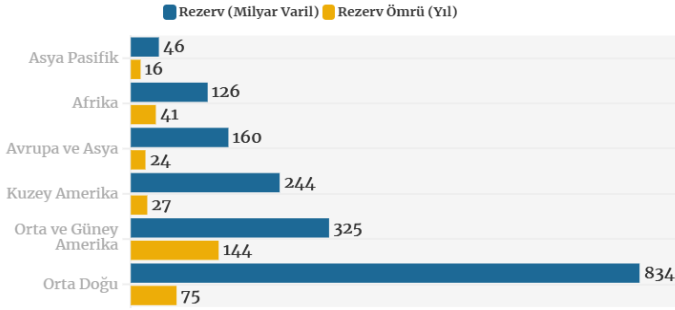
Şekil 2'deki grafiğe göre 2020 yılında, 88.7 milyon v/g olarak kaydedilen petrol üretimi, 2021 yılında, %1.4 oranında artarak 89.9 milyon v/g'ye yükselmiştir. 2021 yılında, toplam üretimin %31.4'lük bölümü, Orta Doğu'da gerçekleşmiştir.



Şekil 2. 2012-2021 Yılları arasında bölgesel bazda petrol üretimi (Anonim-b, 2022)

Zaman içinde petrol rezervlerinin bulunması incelenecek olursa büyük rezervler 1950–1980 yılları arasında keşfedilmiştir. Bugün üretilen petrolün %80'i 30 yıl veya daha fazladan beri bilinen kuyulardan çıkarılmaktadır. 1960'larda bulunan petrol miktarı pik (maksimum) yapmıştır. Yaşanan iki büyük krizden sonra artan arama çalışmalarına rağmen petrol bulma oranı giderek azalmıştır. Şekil 3'te Dünyada keşfedilmiş rezervler ve bunların ömürleri grafiksel olarak gösterilmektedir. Petrolün yarısı tükendikten sonra, çan eğrisinden yola çıkılarak, yıllık üretim giderek azalacaktır. Örneğin, Almanya'da pik üretimin gerçekleştiği 1968'de, Almanya'nın rezervlerinin üretime olan oranı neticesinde 11 yıllık rezervi olmasına rağmen, bugün Almanya'nın üretimi 1968 yılındakinin %40'ından daha aşağılara düşmüştür (Özbilen, 2003).

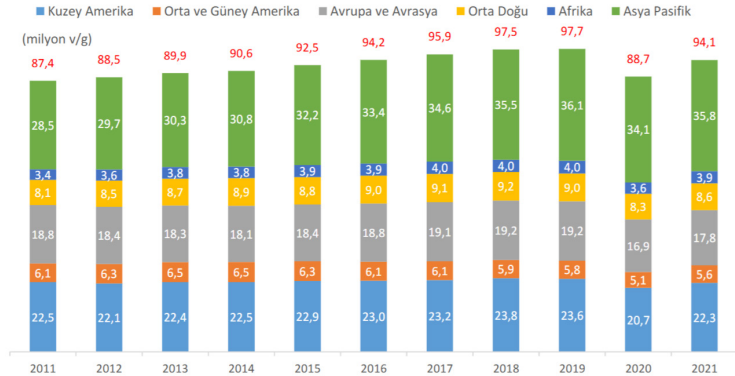
Dünyadaki PETROL Rezervi ve Ömrü



Şekil 3. Dünyada bilinen rezervler ve ömürleri (Anonim-b, 2022)

Aynı şekilde Amerika’da pik üretim 1971 yılında yaptıktan sonra yıllık üretim düşmüş, Alaska’da bulunan petrolün etkisiyle 1985’de ikinci pikini yapmıştır ve üretim tekrar düşüşe geçmiştir. Bu üretim düşüşünü karşılamak için ABD kotalarını %30’dan %50’ye çıkarmak zorunda kalmıştır.

Şekil 4’te 2011-2021 yılları verilerine göre dünyada petrolün en çok tüketen ülkeler gösterilmektedir. 2021 yılında, bölgeler bazında en önemli artış; %10.2 ile Orta ve Güney Amerika bölgesinde görülürken, Orta ve Güney Amerika’yı, %8.7 ile Afrika ve %7.6 ile Kuzey Amerika izlemiştir. Ülke bazında ise Kolombiya (%26) ve Peru (%26.3), petrol tüketiminde en büyük artışları yaşayan ülkeler (Anonim-b, 2022).

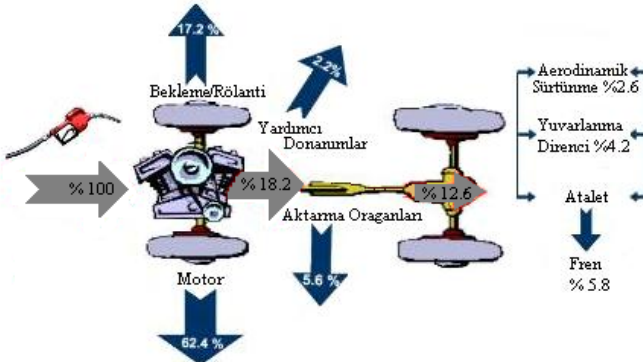


Şekil 4. 2011-2021 Bölgelere Göre Dünya Petrol Tüketimi (Anonim-b, 2022)

Avrupa ülkeleri için alternatif petrol tedarikçileri arasında yer alan Suudi Arabistan'ın günlük üretimi 11 milyon varil olarak gerçekleşti. Dünyanın en büyük enerji ihracatçısı olan Rusya'da Suudi Arabistan'ın ardından üçüncü sırada yer aldı. Rusya, 2020 yılında dünyaya 74.4 milyar dolar değerinde ham petrol ihraç etti. Rusya'nın 2021 yılında günlük varil üretimi ise 10.9 milyon varil olarak gerçekleşti. Dünyanın en büyük petrol tüketicilerine baktığımızda ise ABD hem en büyük üretici hem de en büyük tüketici olarak karşımıza çıkıyor. ABD günde 18.7 milyon varillik petrol tüketirken, ABD'yi en büyük rakibi Çin'in takip ediyor.

1.3. Yakıt Tüketimi

Taşıtlarda yakıt sarfiyatı 100 km'lik bir seyir halinde veya belirli bir seyir çevrimi için tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Motorlu araçların yakıt ekonomisini iyileştirip petrol kullanımını minimuma indirmek amacıyla araştırmalar üç ana konu üzerinde yoğunlaştırılmıştır; taşıt, motor ve işletme şartları. Bir taşıtın yakıt sarfiyatı; taşıtın tasarımı ve teknik durumu, yol ve atmosferik şartlar ile sürücünün davranışı ve seyir şekli faktörlerine bağlıdır. Bir otomobilde sağlanan 118 kg ağırlık azalması ile seyir şartlarına göre %16-36 yakıt tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir. 70 km/h hızla giden bir araç motor gücünün yarısını hava direncini yenmek için harcamaktadır (Borat, 1987).

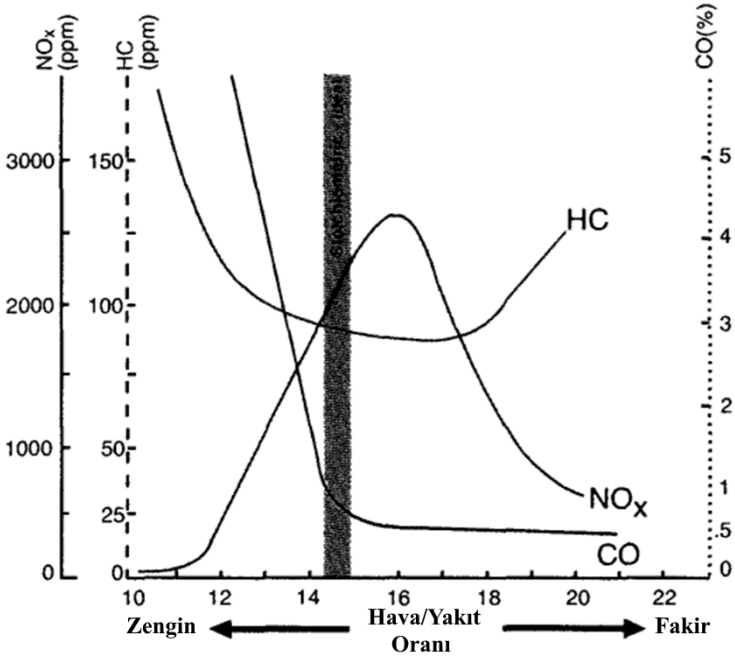


Şekil 5. Benzinli bir aracın şehir içindeki yakıt enerjisi tüketimi
(Anonim-h, 2004)

Şekil 5’te benzinli bir aracın şehir içindeki yakıt enerjisi tüketimi gösterilmektedir. Bir galon (4.5 litre) benzinin toplam enerjisinin %62’si motor sürtünmelerine, motor pompalama kayıplarına ve ısı yoluyla kaybedilmektedir. Şehir içi trafik veya kırmızı ışıklarda durarak aracın boşta çalışmasıyla da %17 enerji kaybı olmaktadır. Su pompası gibi motorun çalışması gerekli yardımcı donanımlar veya klima gibi yolcu konforu için kullanılan diğer elemanlara %2 enerji harcanmaktadır. Benzin enerjisinin ancak %18’lik kısmı aracı hareket ettirmek için kullanılır. Sürüş esnasındaki kayıplar (sürtünme ve kayma gibi) %5’ten azdır, aracın durduğu yerden hareketi içinse %13’den daha az enerji harcanır. Termodinamiğin ikinci yasası tüm kayıpların tamamen yok edilmesine izin vermeyecektir. Fakat teknolojinin ilerlemesiyle bu kayıplar biraz daha azaltılabilir.

1.4. Hava/Yakıt Karışımının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisi

Şekil 6’da görüldüğü gibi ideal değer olan 14.7 oranında zengin veya fakir tarafa doğru gidildikçe egzoz emisyonları olumsuz etkilenmektedir. HC ve CO seviyeleri teorik olarak ideal olan 14.7’ye 1 hava/yakıt oranına yakın bir yerde nispeten düşüktür. Bu, sıkı hava/yakıt karışımı kontrolünü sürdürme ihtiyacını güçlendirir. Ancak, NO_x üretimi bu ideal karışım aralığından sadece biraz daha zayıf olmak üzere çok yüksektir. HC/CO üretimi ile NO_x üretimi arasındaki ters orantı, toplam emisyon çıktısını kontrol ederken bir sorun teşkil eder. Bu ilişki nedeniyle, üç emisyonun da aynı anda azaltılması gerekliliği emisyonları kontrol işlemlerini zorlaştırmaktadır.



Şekil 6. Hava/Yakıt oranının egzoz emisyonlarına etkisi (Turns, 1996)

Karbonmonoksit, eksik yanmanın bir yan ürünüdür ve kısmen yanmış yakıt yani tam olarak yanamamış hidrokarbondur. Hava/yakıt karışımında yanma sırasında yeterli oksijen yoksa, tam yanma reaksiyonu gerçekleşmez. Yanma reaksiyon, oksijensiz bir ortamda gerçekleştiğinde karbon atomlarını CO_2 'ye tamamen oksitlemek için yeterli oksijen yoktur. Karbon atomları yalnızca bir oksijen atomuyla bağ yaptığında CO oluşur.

Hidrokarbonlar, oldukça basit bir şekilde, yanmamış yakıt molekülleridir. Yanma hiç gerçekleşmediğinde, bir teklemede olduğu gibi, yanma odasından büyük miktarda hidrokarbon yayılır. Tasarımı nedeniyle bir benzinli motor tarafından az miktarda hidrokarbon oluşturulur. Duvar söndürme adı verilen normal bir işlem, yanma alevi ön tarafının yanma odasının nispeten soğuk duvarlarına yanması ile gerçekleşir. Bu soğutma, tüm yakıt tamamen yanmadan önce alevi söndürür ve egzoz valfinden dışarı itilecek az miktarda hidrokarbon bırakır.

Aşırı hidrokarbon emisyonlarının bir diğer nedeni de yanma odası birikintileriyle ilgilidir. Bu karbon birikintileri gözenekli olduğundan, hava/yakıt karışımı sıkıştırılırken hidrokarbon bu parçelere zorlanır. Yanma gerçekleştiğinde, bu yakıt yanmaz, ancak piston egzoz strokuna başladığında, bu hidrokarbonlar egzoz akışına salınır.

Aşırı hidrokarbon emisyonlarının en yaygın nedeni, ateşleme, yakıt dağıtımı veya hava indüksiyon sorunları nedeniyle oluşan teklemedir. Teklemenin şiddetine bağlı olarak, yetersiz kıvılcım veya yanıcı olmayan bir karışım (çok zengin veya çok zayıf) hidrokarbonların farklı derecelerde artmasına neden olur. Örneğin, kısa devre yapmış bir buji kablosu nedeniyle oluşan tam bir teklemeye hidrokarbonların önemli ölçüde artmasına neden olur. Tersine, motora giren yanlış hava nedeniyle oluşan hafif bir zayıf ateşleme hidrokarbonların yalnızca biraz artmasına neden olabilir.

Aşırı hidrokarbon, yanma odasına girerken hava/yakıt karışımının sıcaklığından da etkilenebilir. Aşırı düşük emme havası sıcaklıkları yakıt ve havanın kötü karışmasına neden olarak kısmi teklemeye neden olabilir.

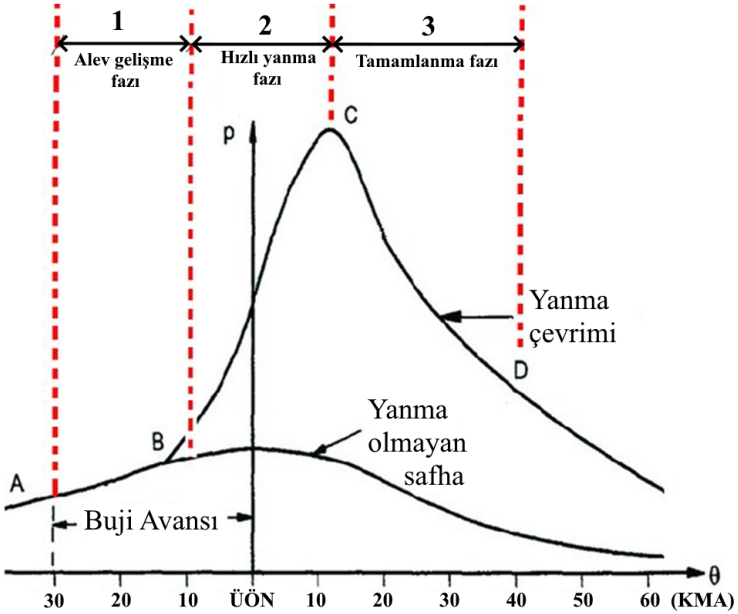
Egzoz NOx üretimi, A/F oranı ideal orandan biraz daha zayıf olduğunda en yüksektir. HC ve CO üretimiyle olan bu ters ilişki, üç emisyon seviyesini aynı anda düşürmeye çalışırken bir sorun teşkil eder.

1.5 Yanma Reaksiyonunun Fiziksel ve Kimyasal Durumları

Benzinli motorlarda yanma reaksiyonu oldukça hızlı gerçekleşir. Genel olarak, yanma reaksiyonu birkaç milisaniye içinde tamamlanırken tam yanma için gereken süre genellikle 1 ila 3 milisaniye arasında değişir. Ancak bu süre, motorun tasarımına, çalışma koşullarına ve kullanılan yakıtın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Benzinli motorlarda yanma reaksiyonundan mümkün olan en büyük verimi elde edebilmek için buji kıvılcımının oluşturulması

piston ÜÖN'ya gelmeden önce yapılmaktadır. Bu sayede maksimum motor gücü, piston ÜÖN'yı 5-10° KMA (Krank Mili Açısı) geçtiği noktada maksimum motor basıncına ulaşarak elde edilmesi deneylerle ispatlanmıştır (Tanyeri, 2010).

Şekil 7'de görülen A-B noktaları arasındaki 1. bölüm yanmanın başlangıç bölümü olarak bilinir. Bu bölgede, alevlenme öncesi oksitlenmeler olur ve fazla bir basınç artışı olmaksızın, sıcaklıkta küçük bir artış görülür. Birinci bölüm, krank milinin 4-6 °'lik bir dönüşüne rastlamakta ve karışımın %6-8 kadarı yanmaktadır.



Şekil 7. Krank mili açısı değerine göre silindir içi basıncı değişimi ve yanma reaksiyonunun safhaları (Chala ve ark., 2018)

Şekil 7'deki 1 nolu kısmın genişliği, yakıtın özellikleri, karışımın yapısı gibi fiziksel faktörlere bağlıdır. 2 nolu kısım aralığındaki bölüm hızlı yanmanın geliştiği etkili yanma bölümü olarak bilinir. Bu bölüm, krank milinin 20-30 °'lik bir dönüşüne rastlamakta ve hava-yakıt karışımının %90 kadarı yanarak hızlı bir basınç artışı sağlamaktadır. Bu bölümdeki

yanma hızı egzotermik reaksiyonların hızına bağlıdır. Benzinli motorlardaki maksimum basınç, 40-60 bar kadardır. Bu bölümün bir derecelik krank dönmesi ile oluşan basınç artışı, Basınç artış oranı olarak ifade edilir. Basınç artış oranı, normal bir çalışma sırasında 1.2-2.6 bar/derecedir. Bu sınırın altındaki değerlerde yanma genişleme kursuna sarkar, maksimum yanma sonu basınçlarına ulaşamaz ve yakıt ekonomisi kötüleşir. Üstündeki değerlerde ise, basıncın çok hızlı yükselmesine bağlı olarak motor sert veya vuruntulu çalışır. Krank-biyel mekanizmasına etki eden yükleri artırarak, aşırı aşıntı ve hasara neden olabilir. C-D arasındaki 3 nolu kısmın başlangıcından sonraki bölüm ise sonradan yanma bölümü olarak bilinir. Bu bölümün bitiş noktası, yanmanın tamamlandığı noktanın bilinmesine bağlı olduğundan, çok zordur. 3 nolu bölümün genişliği esas olarak, karışımın yapısına, silindirdeki türbülansa ve ateşleme avansına bağlıdır (Tanyeri, B. 2010).

Yanma ve genişleme (iş) zamanında, egzoz ve emme supapları kapalıdır. Sıkıştırılan hava-yakıt karışımının yanması, bir buji kıvılcımı aracılığıyla sağlanır. Hava-yakıt karışımının tamamıyla yanması için yaklaşık olarak 1/1000 saniyelik bir zaman gereklidir. Buradan karışımın ÜÖN'dan daha önce ateşlenmesi zorunluluğu doğar. Böylece ÜÖN'dan kısa bir süre sonra basınç 40-60 bar'a, sıcaklık 2000-2500 °C'ye yükselir. Alev cephesi normal yanma sırasında ortalama 25-30 m/s'lik bir hızla yanma hacmine yayılır.

Yanma fiziksel ve kimyasal etkileşimden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Yanma olayı; yakıtın buharlaşarak hava ile karışma koşullarına, kimyasal reaksiyonların hızına, yanma bölgesindeki ısı ve kütle iletim koşullarına bağlı olarak başlar, gelişir ve tamamlanır. Benzinli motorlarda buharlaşma ve karışma yanmadan önce genellikle silindir dışında emme kanalında sağlandığından, homojen bir karışımın sağlanması

söz konusudur. Burada yanmayı fiziksel olaylardan çok kimyasal olaylar etkilemektedir.

Benzin motorlarında normal yanma bujiden başlayıp çevreye doğru gelişmektedir. Ancak motorda yanma olayı bazı koşullardan dolayı istenmeyen farklı şekillerde de oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi vuruntulu yanmadır. Ayrıca ender olarak, kendi kendine tutuşma ile başlayan anormal yanma şekilleri de bulunmaktadır.

Benzin motorlarında hava ve yakıt karışımı, silindir dışında yakıt moleküllerinin hava molekülleri içerisinde düzgün dağıldığı, homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanmaktadır. Yanma olayı genellikle üç faza bölünerek incelenebilir. Ancak fazlar çok belirgin bir şekilde birbirinden ayrılamazlar. Birinci faz bujiden kıvılcım çıktığı nokta ile basıncın artmaya başladığı nokta arasındaki zamandır.

Piston üst ölü noktaya (ÜÖN) gelmeden buji elektrotları arasında çıkan kıvılcımın enerjisi nedeniyle, bu bölgedeki karışımda, belli bir tutuşma gecikmesi sonucunda, ilk alev cephesi patlama şeklinde oluşmaktadır. Tutuşma gecikme süresi, bujide oluşturulan kıvılcımın enerjisine, kıvılcımın çakma süresine, buji tırnak aralığına, karışım oranına, buji önünde ısınan bölgenin akış hızına bağlıdır. Bu fazda yanan karışımın miktarı az olup toplam miktarın %1'i kadardır (Tanyeri, 2010).

Ana faz ile tutuşma gecikmesi sonunda basıncın artmaya başlaması anında başlamakta ve ÜÖN dan sonra maksimum basınç oluşuncaya kadar devam etmektedir. Ana fazın süresi 25-30° KMA civarındadır. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda basınç, sıcaklık ve karışım oranın belirlediği bir yanma hızı ile alev cephesi sürekli şekilde ilerler. Motordaki yanma hızı, karışım sıcaklığına, basıncına, hava fazlalık katsayısına (HFK) ve yanma odasındaki türbülans şiddetine bağlıdır. Türbülanssız karışımdaki laminer yanma hızı 3-4 m/s iken, türbülans nedeni ile bu hız 3-15 kat artmaktadır. Yanma hızı bu fazda oldukça yüksek ve dolayısı ile yanan karışımın miktarı fazladır.

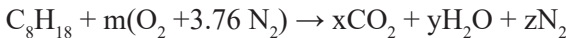
Yanma hızı yanma odasında en az 10-15 m/s civarında, yüksek devirli motorlarda ise 50-60 m/s kadar olmaktadır. Yanma hızı silindir ve yanma odası çeperlerine yaklaştıkça soğuma nedeni ile azalmaktadır. Motor performansına, alev yolu ile basınç artışı arasındaki ilişki etki etmektedir. Bu ilişki motorda maksimum basıncın yaklaşık %80 inin, yolun son %30 unda yükselmesi şeklindedir. Maksimum basınç ÜÖN dan 12-15 KMA sonra oluştuğu zaman en büyük verim elde edilmektedir.

Son faz ise maksimum basıncın oluşmasından sonra başlamakta ve genişleme sırasında yakıtın tümü yanıncaya kadar devam etmektedir. Gazların sıcaklığı ise maksimum basınçtan belli bir süre sonra maksimuma ulaşır. Sonuç olarak normal yanma koşullarında yanma sırasında yakıtın toplam enerjisinin %70-75'i maksimum basınca ulaşıncaya kadar, %80-90 kadarı maksimum sıcaklığa ulaşıncaya kadar açığa çıkar. Kısmi yüklerde ise yanma hızının düşük olması nedeniyle maksimum basınç noktasına kadar toplam yakıt enerjisinin ancak %50 si kullanılmış olur. Dolayısıyla yanma genişleme zamanı süresince devam eder, çok kötü koşullarda genişleme süresinin sonunda da yanma sona ermemiş olabilir. Bu durumda ise motorun verimi dolayısı ile gücü oldukça azalır.

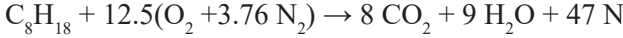
Benzin motorlarında silindir içerisinde bulunan yakıt-hava karışımı yanma başlamadan önce sis halindedir. Buji tırnakları arasından çıkan kıvılcım tarafından ısıtılan yakıt-hava molekülerinin enerji seviyesi yükselir. Isınan moleküllerin hızları artarak diğer moleküllere çarpması sonucunda diğer molekülleri de ısıtırlar. Bu ısınma, moleküllerin kinetik enerjilerinin artması ile meydana gelmektedir. Yakıt moleküllerinin çarpma işlemine benzer şekilde O₂ molekülleri de bir kinetik enerjiye sahip olur. Hızı çok artmış olan bu moleküller egzotermik reaksiyon meydana getirerek tutuşmayı başlatırlar. Bu tutuşma, reaksiyon hızına bağlı olarak diğer moleküllere de geçer. Silindir içinde Azot ve egzoz

gazları bulunduğu için, çarpma işlemi egzotermik reaksiyon verecek moleküllerle olmayabilir. Bu durum hızı artmış olan moleküllerin enerjisini düşürür. Egzotermik reaksiyon hızı, moleküllerin enerji seviyesine, çarpışmaların sıklığına ve reaksiyon meydana getirecek çarpışma sayısına bağlıdır. Bunlardan birincisi moleküllerin sıcaklığının tespit edilmesine yarar. Elde edilen sıcaklık ne kadar yüksek ise moleküllerin enerjisi de o kadar fazladır. Çarpışmaların sıklığı karışımın yoğunluğu ile verilir. Yoğunluk arttıkça moleküllerin iki çarpışma arasındaki serbest yolları kısalmır. Çarpışma sıcaklığı hava fazlalık katsayısı ile değişmektedir. Havadaki N_2 ve yanma odasında bir önceki çevrimden kalan egzoz gazları ise yanmayı kötü yönde etkilemektedir. Bunlara ilave olarak hava hareketi fazlalığı yani kuvvetli bir türbülans yanmayı iyileştirir. Benzin motorlarında yanma bujiden başlar ve küresel biçimde yanma odasının diğer kısımlarına doğru ilerler. Pratik olarak bujiden başlayan yanma olayının meydana getirdiği alev yüzeyinin, devamlı olarak şişirilen bir balon gibi yanma odası içerisinde yanmamış karışıma doğru ilerlediği kabul edilir (Çelik, 1999).

Yanma reaksiyonunun kimyasal durumu incelenirken benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılan benzin, çoğunlukla oktanla (C_8H_{18}) temsil etmektedir. Benzin çok sayıda sıvı haldeki karbonlu hidrojenden meydana gelir. Yanma sürecinde gerekli oksijen havadan alınır. Kuru hava hacimsel olarak %78.1 Azot, %20.1 oksijen, %0.9 argon, %0.03 CO_2 'den oluşur. Molekül ağırlığı 28.97'tür. Yanma süreci incelenirken argon ve karbondioksit dikkate alınmaz. Havanın hacimsel olarak %79 N, %21 O_2 'den oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28.85 1'dir ve içerisinde bir mol oksijene karşılık 3.76 mol azot bulunur. 1 kmol Hk=0.21 kmol $O_2 + 0.79$ kmol N_2 havanın içerisinde 1 kmol O_2 bulunması istendiğinde gereken hava miktarı mol olarak aşağıdaki şekilde bulunur. Oktanın tam yanması için oktan ile havanın stokiyometrik karışım oranı aşağıdaki gibi bulunur.



Kimyasal reaksiyona giren moleküller dengesi hesap edildiğinde denklem şu şekilde dönüşür;



Motorlarda bütün çalışma şartlarında stokiyometrik karışım hazırlamak mümkün değildir. Motorun çalışma şartlarında karışım zenginleşebilir veya fakirleşebilir. Benzin motorlarında HFK $\lambda=0.95-1.05$ arasında seçilmesine rağmen, motorun çalışma şartlarına bağlı olarak geniş sınırlar arasında değişebilir.

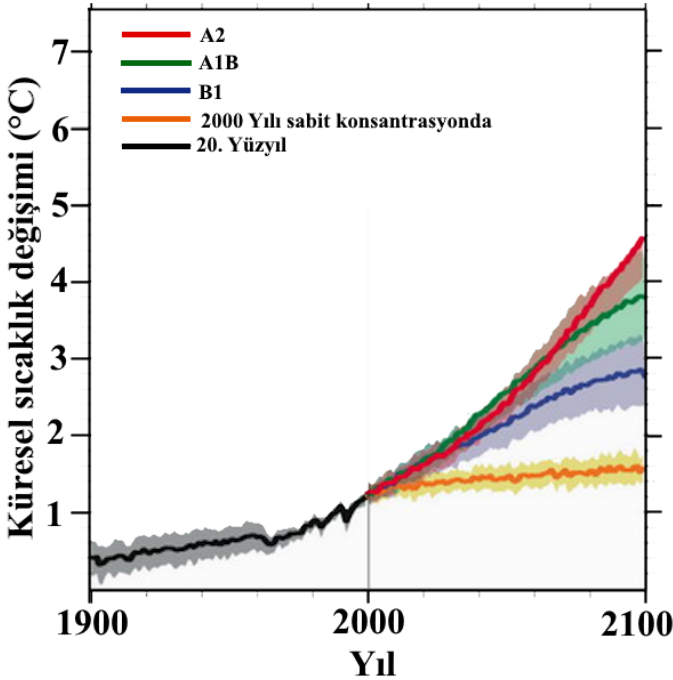
Teorik hava miktarından daha az hava miktarları ile gerçekleştirilen yanma süreçlerinde, yanma ürünleri içerisinde karbon monoksit, hidrojen tabanlı karbonlu bileşenler ve karbon bulunur. Gerçek yanma süreçlerinde teorik hava miktarından daha fazla hava kullanılmasında bile yakıtın hava ile iyi bir şekilde karıştırılmaması, yanma odası içerisindeki türbülans düzeyinin yeterli olamaması ve yanmanın çok kısa bir zaman aralığında gerçekleştirilmesi gibi nedenlerle, yanma ürünleri içerisinde genellikle karbon monoksit ve diğer yanıcı ürünler bulunabilir (Tanyeri, 2010).

1.6. Egzoz Emisyonu Standartları

1992 Rio Konferansı'nda imzaya açılan ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS), temel olarak atmosferdeki sera gazı birikimlerini insanlar için tehlikeli bir düzeye ulaşmadan durdurmayı başarmayı hedeflemektedir. Sözleşme, 1987 tarihli Birleşmiş Milletler Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü'nde yer almayan ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan bütün sera gazlarını içermektedir. Buna karşılık Kyoto Protokolü, sadece karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazot monoksit (N_2O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve kükürt heksaflorid (SF_6) gazlarıyla ilgilidir (Arıkan, 2005).

Günümüzde çevre sorunlarının başında, Kyoto Protokolü'nde bahsedilen gazların sebep olduğu sera

etkisi gelmektedir. Araçlardan kaynaklanan sera gazlarının konsantrasyonunun azaltılması için birtakım önlemler alınmaktadır. Bunlar; fosil yakıtların tüketiminin azaltılması, bu yakıtların yüksek verimle yanmalarının sağlanması, yanma sırasında oluşan CO_2 'in absorpsiyon gibi yöntemlerle tutulması ve karbon sayısı düşük veya hiç karbon içermeyen yakıtların kullanılmasıdır. Günümüzde ulaşım sektöründe emisyonların azaltılması için ise yakıt tüketiminin azaltılması, alternatif yakıtların kullanılması, ulaşım planlaması, trafik düzenlemesi gibi önlemler alınmaktadır. Şekil 8'de farklı senaryolara göre global sıcaklık artışlarının gösterildiği iklim değişikliği senaryoları verilmiştir.



Şekil 8. Yıllara göre küresel iklim değişikliği senaryoları (IPCC, 2007)

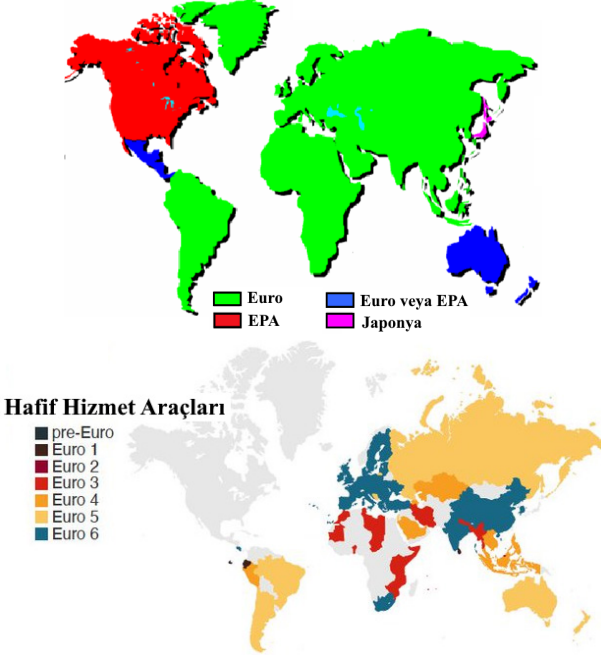
Tablo 2. Ülkelerin yaydığı CO₂ emisyonu değerleri (Mckay, 2024)

Ülke	CO ₂ (Milyon ton)	CO ₂ Emisyonu (%)
Çin	12,667	32.9
ABD	5,057	12.6
Hindistan	2,830	6.99
Rusya	2,032	4.96
Japonya	1,083	2.8
Endonezya	729	1.8
İran	691	1.78
Almanya	673	1.75
Suudi Arabistan	663	1.66
Güney Kore	636	1.53

Karbon ayak izi emisyonları 2022'den bu yana benzeri görülmemiş seviyelere fırladı ve 37.16 milyar tonluk şaşırtıcı bir dönüm noktasına ulaştı. 2023'te, tahminler emisyonların %1.1 arttığını ve 37.55 gigaton CO₂'lik benzeri görülmemiş bir zirveye ulaştığını ve küresel emisyon seviyelerinde yeni bir rekor kırdığını gösteriyor. En yüksek karbon emisyonuna sahip ülkeler çoğunlukla büyük nüfuslara ve kapsamlı endüstriyel faaliyetlere sahiptir (Tablo 2). 1.4 milyardan fazla nüfusuyla Çin listenin başında yer alırken, onu ABD, Hindistan, Rusya ve Japonya takip ediyor.

Hava kirliliği ile ilgili kısıtlamalar Los Angeles kentinin dumanlı sis oluşumuna müsait konumu nedeniyle ilk olarak Kaliforniya'da başlamıştır. Sorun sadece araçlardan hangi kirletici maddelerin yayıldığından değil, binaların konumu ve yüksekliği, hava koşulları ve trafik yoğunluğu gibi topografik unsurlar da havada kirletici madde yoğunluğu oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Dünyada emisyonlara yönelik ilk düzenlemeler 1968 yılında California'da, ilk sınırlama ise 1972 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde ECE R 15.00 Regülasyonu ve EEC 72/220 Yönetmelik'i ile başlamıştır (Anonim-f, 2024; Singh ve ark, 2023).

Günümüzde farklı egzoz emisyon standartları içeren başlıca üç grup (ülke) bulunmaktadır; ABD, Avrupa ve Japonya egzoz emisyonu standartlarıdır. Bu standartları kullanan ülkeler ve en çok kullanılan Euro emisyon standardının kullanılan türleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Emisyon standartlarının uygulandığı yerler ve kullanılmakta olan Euro standartları (Mulholland, 2022; Mwanzo, 2021)

Egzoz emisyon gereksinimleri şu an için dört grup bileşiği düzenlemektedir. Bunlar; Nitrojen oksitler (NO_x), Hidrokarbonlar (HC), Karbon monoksit (CO) ve Partikül maddelerdir (PM). Bu standartlar olumlu bir etki yaratıyor ve SMMT (Motor Üreticileri ve Tüccarları Derneği) şunu iddia ediyor: 1970'lerde üretilen bir araçla aynı miktarda kirletici emisyon üretmek için bugün 50 yeni arabaya ihtiyaç duyulur. SMMT, 2017'de destek amacıyla şu rakamları aktardı; CO emisyon değeri 1993'ten beri benzinde %63, dizelde %82 düştü, HC emisyonu 2001'den beri benzinde %50 düştü, NO_x

emisyonu 2001'den beri %84 düştü ve PM emisyonu 1993'den beri dizelde %96 düştü.

ABD'de uygulanan standartlar CARB (Kaliforniya Hava Kaynak Kurulu) ve EPA (Amerika Çevre Koruma Örgütü) standartlarıdır. CARB ve EPA'nın egzoz emisyonları için belirlediği sınır değerleri ve standartların yürürlüğe girişi tarihleri Tablo 3 ve 4'de görülmektedir.

Tablo 3. Kaliforniya Hava Kaynak Kurulu (CARB) egzoz emisyon sınırları (g/km) (Anonim-c, 2003)

Standart (geçerlilik)	Benzin/Metan/Etanol/CNG/LPG				Dizel				HCHO
	NMHC	NMOG	CO	NOx	NMHC	CO	NOx	PM	
Aşama 1 (1995-1997)	0.15 0.19	-	2.11 (2.6)	0.25 (0.37)	(0.19)	(2.6)	(0.62)	0.05	0.009
TULEV (1997-2002)	-	0.078 (0.097)	2.11 (2.6)	0.25 (0.37)	0.078 (0.097)	2.11 (2.6)	0.25 (0.37)	(0.05)	0.009 (0.011)
LEV (2002-2004)	-	0.047 (0.056)	2.11 (2.6)	0.12 (0.19)	2.11 (2.6)	2.11 (2.6)	0.12 (0.19)	(0.05)	0.009 (0.011)
ULEV (2004-)	-	0.25 (0.034)	1.056 (1.3)	0.12 (0.19)	1.056 (1.3)	1.056 (1.3)	0.12 (0.19)	(0.025)	0.005 (0.007)
SULEV	0.01	-	1	0.02	-	-	-	0.01	-

Tablo 4. ABD Federal (EPA) egzoz emisyon sınırları (g/km) (Anonim-c, 2003)

Standart (geçerlilik)	Benzin/Doğal Gaz/Metanol/Etanol/Dizel/LPG						Dizel		
	HC	NMHC	NMOG	O	NOx	PM	HCHO	NOx	PM
Aşama 1 (1995-1997)	0.025	0.15 (0.193)	-	0.11 (2.6)	0.25 (0.37)	0.05 (0.062)	-	0.62 (0.78)	0.05 (0.062)
TULEV (1997-2002)	0.025	-	0.078 (0.097)	0.11 (2.6)	0.25 (0.37)	0.05 (0.062)	0.009 (0.011)	0.25 (0.37)	0.05
LEV (2002-2004)	0.025	-	0.047 (0.056)	-	0.12 (0.19)	0.05 (0.062)	0.009 (0.011)	0.12 (0.19)	0.05
ULEV (2004-...)	0.025	-	0.025 0.034	-	0.12 (0.19)	0.05 (0.062)	0.009 (0.007)	0.12 (0.9)	0.025

Aşama 0; 1993-95 yılları arasında uygulanmıştır. Aşama 1; 1995-97 yılları arasında uygulanmıştır. TULEV (Geçiş Dönemi Düşük Emisyonlu Araçlar); 1997-2002 yılları arasında uygulanmıştır. LEV (Düşük Emisyonlu Araçlar); 2002-2004 yılları arasında geçerli olacaktır. ULEV (Son Derece Düşük Emisyonlu Araçlar); 2004 yılından itibaren geçerli olacaktır. Süper Ultra Düşük Emisyonlu Araçlar (SULEV) ve Sıfır Emisyonlu Araçlar'da (ZEV) uzun vadeli hedef, egzoz emisyonuz araçlar standardına uygun üretim yapmaktır.

Avrupa'da egzoz emisyonları standartlarının temelini oluşturan talimat 1972 yılında çıkartılan 70/220/EEC (ECE 15/00) sayılı talimattır. Günümüzde çıkartılan ve gelecekte çıkartılacak olan talimatlar, değişiklik talimatlarıdır. Tablo 5'te AB'nin egzoz emisyonlarına getirdiği sınır değerleri ve uygulamaya başlanan/başlanılacak tarihler görülmektedir.

Yeni hafif hizmet araçlarına (binek otomobiller ve hafif ticari araçlar (LCV) dahil) ilişkin Avrupa Birliği emisyon düzenlemeleri, 2004 yılına kadar bir dizi değişiklikle 70/220/EEC Direktifinde belirtiliyordu. 2007 yılında bu Direktif yürürlükten kaldırıldı ve yerine Euro 5/6 Yönetmeliği ve 2024 yılında Euro 7 Yönetmeliği getirildi. Önemli olarak belirtebileceğimiz bazı düzenleyici adımlar şunlardır:

Euro 1 standartları (EC 93 olarak da bilinir): Direktifler 91/441/EEC (sadece binek otomobiller) veya 93/59/EEC (binek otomobiller ve hafif kamyonlar).

Euro 2 standartları (EC 96): Direktifler 94/12/EC veya 96/69/EC.

Euro 3/4 standartları (2000/2005): Direktif 98/69/EC, 2002/80/EC'de daha fazla değişiklik.

Euro 5/6 standartları (2009/2014): Yönetmelik 715/2007 ve çeşitli yönetmelikleri.

Hafif hizmet araçları için emisyon standartları, referans kütlesi 2610 kg'ı (Euro 5-7) aşmayan tüm M1, M2, N1 ve N2 kategorili araçlar için geçerlidir. AB yönetmelikleri, sıkıştırma ateşlemeli (dizel) ve pozitif ateşlemeli (benzin, NG, LPG, etanol, vb.) araçlar için farklı emisyon sınırları getirir. Dizeller daha katı CO standartlarına sahiptir ancak daha yüksek NOx'e izin verilir. Pozitif ateşlemeli araçlar, Euro 4 aşaması boyunca PM standartlarından muaf tutulmuştur. Euro 5/6 yönetmelikleri, DI motorlu pozitif ateşlemeli araçlar için dizellerle aynı PM kütle emisyon standartlarını getirir.

2000/2005 standartlarına, 51 (2000 yılı) minimum dizel setan sayısı, 2000 yılında 350 ppm ve 2005 yılında 50 ppm maksimum dizel kükürt içeriği ve 2000 yılında 150 ppm ve

2005 yılında 50 ppm maksimum benzin (benzin) kükürt içeriği gerektiren daha sıkı yakıt düzenlemelerinin getirilmesi eşlik etti. Kükürtsüz dizel ve benzin yakıtları (≤ 10 ppm S) 2005'ten itibaren mevcut olmak zorundaydı ve 2009'dan itibaren zorunlu hale geldi.

Emisyon testleri, daha önceki NEDC testinin yerini alan Dünya çapında uyumlu Hafif Araçlar Test Döngüsü (WLTC) şasi dinamometresi prosedürü üzerinden test edilir. Gerçek Sürüş Emisyonları (RDE) test gereksinimleri, laboratuvar dışında yürütülen emisyon testlerini kullanarak gerçek operasyonda araç emisyonlarını kontrol etmek için 2017'den itibaren aşamalı olarak uygulamaya konuldu. Tablo 1'de belirtilen emisyonlar bir şasi dinamometresi test döngüsünde test edilir ve g/km olarak ifade edilir (1/km olarak ifade edilen PN hariç). Zamanla, düzenleyici emisyon test döngülerinde birkaç değişiklik olmuştur.

Emisyon Standartları: AB emisyon standartları aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir. Tablolarda listelenen tüm tarihler yeni tip onaylarına (TA) atıfta bulunur. EC Direktifleri ayrıca, aksi belirtilmediği takdirde, bir yıl sonra, mevcut, daha önce tip onayı almış araç modellerinin ilk tesciline (FR, hizmete giriş) uygulanan ikinci bir tarih belirtir.

ECE 15 + EUDC: Sıcak bir başlangıçtan gerçekleştirilen, kentsel ve kentsel dışı segmentler dahil olmak üzere orijinal AB test döngüsü (MVEG-A testi olarak da bilinir).

NEDC: 2000'den (Euro 3) itibaren geçerli olan ECE 15 + EUDC testi, emisyon örneklemesinin başlamasından önceki 40 saniyelik motor ısınma süresini ortadan kaldırmak için değiştirildi. Bu değiştirilmiş soğuk başlatma testi, Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC) veya MVEG-B testi olarak adlandırıldı (Utek, 2017).

WLTP: Dünya çapında uyumlu Hafif Araçlar Test Prosedürü (WLTP) ve buna karşılık gelen Test Döngüsü (WLTC) NEDC prosedürünün yerini aldı. NEDC'den WLTC'ye geçiş aşağıdaki programa göre gerçekleşir:

Ocak 2019 tarihinden itibaren Bayilerdeki tüm sıfır araçlar yalnızca WLTP-CO₂ değerlerine sahip olmalıdır (stokta sınırlı sayıda araç için bazı istisnalar hariç). Ulusal hükümetler araç vergilendirmelerini ve mali teşvikleri WLTP değerlerine göre ayarlamalıdır. Geçiş döneminde, mevcut NEDC tabanlı CO₂ hedeflerine uyum CO2MPAS korelasyon aracı kullanılarak belirlenir. 2020 zaman diliminde, NEDC tabanlı CO₂ hedefleri karşılaştırılabilir sıklıkta WLTP hedeflerine dönüştürüldü.

Euro 5/6 uygulama mevzuatı, UN/ECE Partikül Ölçüm Programı (PMP) tarafından geliştirilen yeni PM ve PN emisyon ölçüm yöntemlerini tanıttı. Yeni PM kütle ölçüm yöntemi, ABD 2007 prosedürüne benzerdir. Düzenleyici PM kütle emisyon limitleri, eski ve yeni yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlardaki farklılıkları hesaba katmak için ayarlandı. PN emisyonları, PMP partikül sayısı yöntemi kullanılarak NEDC/WLTC test döngüsü boyunca ölçülür. Gerçek Sürüş Emisyonları. Euro 6d-TEMP aşamasından itibaren, laboratuvar testlerine ek olarak araç emisyonları yolda test edilmelidir. RDE testi, taşınabilir emisyon izleme sistemi (PEMS) kullanılarak araç çalışması sırasında gerçekleştirilir. RDE testi 90 ila 120 dakika sürmelidir. Rota, sırasıyla ve üçte birlik paylarla üç bölüm içermelidir: kentsel (< 60 km/h), kırsal (60-90 km/h) ve otoyol (> 90 km/h). Her segment en az 16 km'lik bir mesafeyi kapsamalıdır (Utek, 2017).

NOx emisyonları, tüm Euro 6 araçlarda ölçülmelidir. binek otomobiller ve hafif ticari araçlar. Yol PN emisyonları, PN sınırı ayarlanmış tüm Euro 6 araçlarda (dizel ve GDI) ölçülmelidir. CO emisyonları da tüm Euro 6 araçlarda ölçülmeli ve kaydedilmelidir. RDE emisyon sınırları, belirli bir emisyon için ilgili emisyon sınırının bir uygunluk faktörü (CF) ile çarpılmasıyla tanımlanır.

443/2009/AB Regülasyonu, yeni binek araçlar için ortalama CO₂ emisyon hedefini kilometre başına 130g olarak belirler. Bu hedef 2012 ve 2015 arasında aşamalandırılmıştır. Kilometre başına 95g hedefi 2021'den itibaren uygulanmaktadır.

Hafif ticari araçlar için, 175g/km emisyon hedefi 2017'den itibaren, 147g/km hedefi ise 2020'den itibaren uygulanmaya başlamıştır.

Tablo 5. Binek otomobiller (M1 kategori) için Avrupa Emisyon Standartları, (g/km) (Utek, 2017)

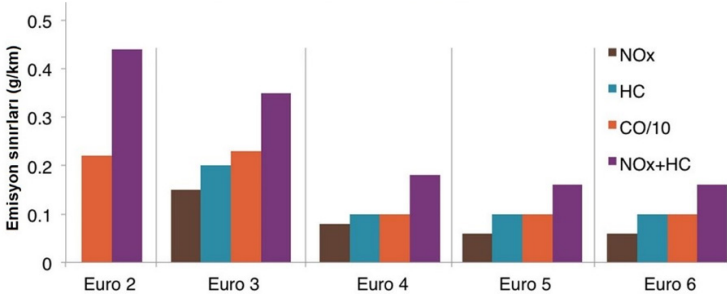
Aşama	Tarih	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM	PN[#/km]
Benzinli Araçlar için								
Euro 1	Tem.92	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	Oca.96	2.2	-	-	-	0.5	-	-
Euro 3	Oca.00	2.3	0.20	-	0.15	-	-	-
Euro 4	Oca.05	1.0	0.1	-	0.08	-	-	-
Euro 5	Eyl.09	1.0	0.1	0.068	0.06	-	0.005**	-
Euro 6	Eyl.14	1.0	0.1	0.068	0.06	-	0.005**	6x10 ¹¹ ***
* Euro 5'ten önce 2500kg'dan küçük binek araçlar, N1-I hafif ticari araçlar olarak tip onayı alıyordu.								
** Sadece doğrudan püskürtmeli motorlu araçlara uygulanır.								
*** Euro 6 yürürlük tarihinden itibaren ilk 3 yıl için 6 x 10 ¹² /km Parantez içindeki değerler, üretim uygunluğu (COP) sınırlandır.								

Aşamalar, hafif hizmet araçları standartları için Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 ve Euro 6 olarak anılır (Tablo 5). Bu standart serilerinin ağır hizmet araçları için karşılıklarında Arap rakamlarının yerine Romen rakamları kullanılır. (Euro I, Euro II, vb.)

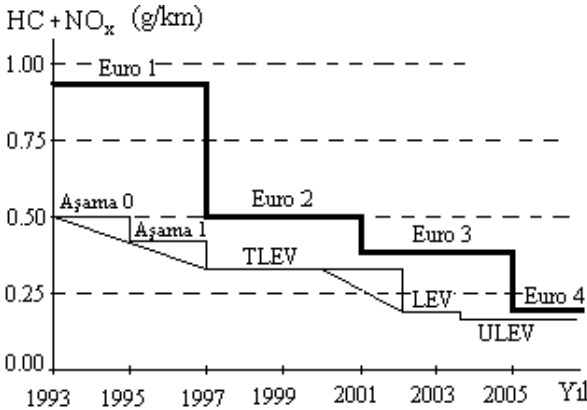
Binek araçlar ve hafif ticari araçlar için emisyon standartları aşağıdaki Tablo 1'de özetlenmiştir. Euro 2 aşamasından itibaren, dizel ve benzinli araçlar için AB regülasyonlarıyla farklı emisyon sınırları tanıtıldı. Dizel araçlar, daha zorlayıcı CO standartlarına sahipken bu araçlarda daha yüksek NO_x emisyonlarına izin verilir. Euro 4 aşamasındaki benzinli araçlar, parçacıklı maddeden (PM) muafırlar ama Euro 5 ve Euro 6 aşamasındaki doğrudan püskürtmeli (direkt enjeksiyonlu) motorlara sahip araçlar 0,005 g/km sınıra tabidirler. Parçacık

sayısı standardı (P) veya (PN), 2011’de dizel araçlar için Euro 5b ile ve benzinli araçlar için de 2014’te Euro 6 ile tanıtıldı (Utek, 2017).

Avrupa emisyon standartları, aracın günlük kullanımını yansıtmamaktadır. Çünkü imalatçıların, arka koltukları sökerek aracı hafifletmelerine, radyatör ızgaralarını ve kapı kollarını bantla kapatarak aerodinamiği iyileştirmelerine, farları ve yolcu kısmındaki fanı kapatarak alternatör (şarj dinamosu) üzerindeki yükü azaltmalarına veya aküyü şarj eden alternatörün bağlantısını tamamen kesmelerine izin verilmiştir. Binek otomobiller için AB Emisyon standartları aşamalarının karşılaştırılmaları Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Benzinli araçlar için AB Emisyon Standartları karşılaştırılması (Utek, 2017)



Şekil 11. ABD ile AB emisyon standartlarının karşılaştırılması (Anonim-c, 2003)

Şekil 11’da ise Amerika ve Avrupa emisyon standartlarının (HC+NO_x) emisyonlarına getirdikleri sınırlamalar karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi Amerika’da daha sıkı emisyon standartları vardır. Amerika’da egzoz emisyonu sınırlamasının bu kadar fazla olmasının sebepleri arasında nüfus, araç trafiği, coğrafi koşullar vb. gibi nedenler yatmaktadır.

Tablo 6’da Japonya’da 1998 yılından itibaren yürürlüğe giren egzoz emisyonu sınırlamaları ve yürürlüğe giriş tarihleri benzin/LPG’li araçlar için değerler tabloda görülmektedir.

Tablo 6. Japonya egzoz emisyon standardı (Benzinli/LPG) (Anonim-g, 2004)

Araç Sınıfı	Kirletici Madde	Geçerli Yasa ¹⁾ (g/km)	Yeni Yasa ²⁾ (g/km)
Brüt ağırlığı 1.7 tona kadar olan binek otomobiller ve kamyonlar	CO	2.1	0.67
	HC	0.25	0.08
	NO _x	0.25	0.08
		Geçerli Yasa (g/test)	Yeni Yasa ³⁾ (g/test)
Binek otomobiller	CO	60	19
	HC	7	2.2
	NO _x	4.4	1.4

1) Yürürlüğe giriş tarihi: Yeni modeller (01.10.1998), Mevcut modeller (01.09.1999)

2) Yürürlüğe giriş tarihi: Yerli (01.10.2000), İthal (01.09.2000)

3) Binek otomobiller: Yerli (01.10.2000), İthal (01.09.2000)

Kamyonlar/Otobüsler: Yerli (01.10.2000), İthal (01.09.2002)

1.6. Manyetik Alan Cihazları

Kendisinden belirli bir uzaklıkta bulunan demir, çelik, nikel, kobalt gibi iletkenler ile bu iletkenlerin alaşımlarını kendine çekme özelliği gösteren cisimlere mıknatıs adı verilir. Kendileri mıknatıs olmadıkları halde bir mıknatısın etki alanı içinde kalınca demir, çelik, nikel, kobalt gibi iletkenler ile bunların alaşımlarını kendine çekme özelliği gösteren cisimlere de Magnetik Cisimler denir. Bunun tersine, magnetik alan içinde kaldıkları halde çekme özelliği göstermeyen bakır, alüminyum gibi cisimler de Magnetik Olmayan Cisimler olarak adlandırılır.

Atomun yörüngelerinde yer alan elektronların kendi eksenleri etrafında dönmeleri olayına Elektron Spin veya sadece Spin adı verilir. Aynı yönlerde veya zıt yönlerde dönen bu elektronların dönüş hareketlerine bağlı olarak atomda bir elektron akımı (yükü parçacıkların hareketleri akımı doğurmaktadır) meydana gelir ve bu akımdan dolayı bir magnetik alan oluşur. Bir atomun magnetik özellik gösterebilmesi için, o atomun herhangi bir yörüngesindeki elektron spin sayılarının birbirinden farklı sayılarda olması gerekir. Bir başka deyişle negatif spin sayısı ile pozitif spin sayısı birbirine eşit olmamalıdır.

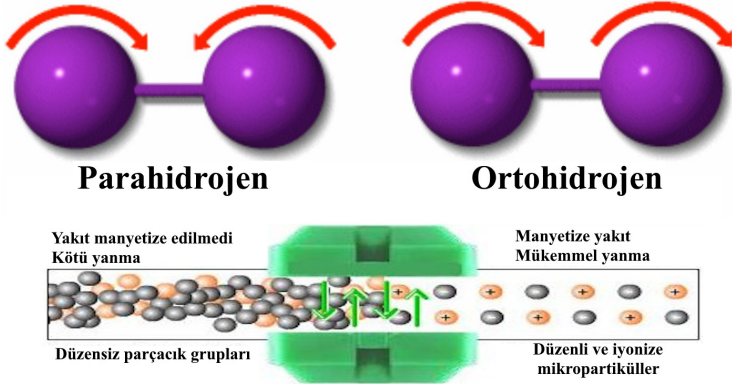
Uygulamada mıknatıslar Tabii Mıknatıslar ve Yapay Mıknatıslar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Tabii mıknatıslar metalürji biliminde Magnetite adı verilen ve kimyasal bileşeni Fe_3O_4 olan demir oksittir. Eskiden tabiatta bulunan bu taşlara Magnet adı verilmiştir.

Bazı cisimlere ise, mıknatıs özellikleri taşımadıkları halde birtakım tekniklerle mıknatıslık özelliği kazandırılabilir. Sonradan mıknatıslık özelliği kazandırılan demir, nikel, kobalt gibi cisimlere Yapay Mıknatıslar denilir.

Herhangi bir yöntemle mıknatıslandıktan sonra, mıknatıslanmayı meydana getiren olgunun ortadan kalkmasına karşın, uzun süre mıknatıslık özelliğini yitirmeyen cisimlere Daimi Mıknatıs; yitiren cisimlere Geçici Mıknatıs adı verilir. Örneğin, yumuşak demir mıknatıslanma özelliğini çabucak kaybeder. Oysaki çelik, mıknatıslanma özelliğini uzun süre korur.

Günümüzde, yollardaki araçların yakıt tüketimini ve emisyon değerlerini azaltmak için farklı tip ve çalışma prensiplerine sahip birçok farklı cihaz bulunmaktadır. Cihaz üreticilerine, düşük maliyetin yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını azalttığı ve motor performansını artırdığı vaat edilmektedir. Bu cihazlar sayıca az olmasına ve bilimsel çalışmalar az sayıda olmasına rağmen, bu cihazların verimliliği hakkında yeterli bilgiye sahip değiliz.

Araçların yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını azaltmak için yapılan uygulamalardan biri de yakıtı manyetik alana maruz bırakma işlemidir. Diyamanyetik atomlar yalnızca eşleşmiş elektronlara sahipken, manyetik hale getirilebilen paramanyetik atomlar en az bir eşleşmemiş elektrona sahiptir (Şekil 12).



Şekil 12. Manyetik alan etkisindeki hidrojenin spin izomerleri ve yakıt moleküllerine etkisi (Lancashire, 2015).

Paramanyetizma, belirli malzemelerin dışarıdan uygulanan bir manyetik alan tarafından çekildiği bir manyetizma biçimidir. Bir manyetik alanın varlığında bu etki, sıvının artan manyetik alan şiddeti yönünde çekilmesine neden olur. Tersine, elektronlar zaten eşleşmişse, atomlar bir dipol oluşumuna direnç gösterir ve bu direnç, atomların azalan manyetik alan şiddeti yönünde hareket etmesine neden olur, buna diyamanyetizma denir. Paramanyetik davranış, diyamanyetik davranıştan yaklaşık üç büyüklük sırası daha büyüktür. Oksijen ve hava, paramanyetik madde örnekleridir ve daha yüksek manyetik alan şiddetlerine doğru çekilirler. Azot, karbondioksit ve çoğu hidrokarbon yakıt, diyamanyetik madde örnekleridir ve daha güçlü manyetik alanlar tarafından itilirler.

Yakıtın mıknatıslanması, hidrokarbon zincirleri arasındaki bağları parçalayarak, bir içten yanmalı motorda atomizasyon veya enjeksiyon sırasında yoğunluğun, yüzey geriliminin

ve dolayısıyla daha küçük parçacıkların ve damlacıkların azalmasına neden olur (Şekil 12). Daha küçük parçacıklar ve damlacıklar, buharlaşma oranlarının artmasına, yakıt ve oksitleyicinin daha iyi karışmasına ve oksidasyonun daha iyi teşvik edilmesine neden olur. Yakıt hattına yerleştirilen mıknatıstan gelen güçlü manyetik yükün kullanımı, tam ve temiz bir yanma sağlar, böylece güç, azaltılmış işletme giderleriyle artar. Manyetik işlemin faydalarına dair kanıtlar sunan birçok deneysel çalışma yürütülmüştür. Otomobil emisyonlarından kaynaklanan kirlilik için, özellikle büyük şehirlerde büyük endişe kaynağıdır (Govindasamy ve Dhandapan, 2007).

252 cm³, 4.5 beygir gücünde (HP) tek silindirli bir dizel motor kullanılarak yürütülen deneyler, yakıtın manyetik alandan geçmesinin motor performansına olan etkilerini ölçmüştür. Manyetik alan cihazının yakıt ekonomisine önemli bir katkısı olmadığı belirtilmiştir (Uzunsoy, 1998).

Aydın vd. (2003) deneysel olarak manyetik alanın iki zamanlı, dört zamanlı benzinli ve dizel motorlar gibi içten yanmalı motorların yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmıştır. Deneylerde kullanılan manyetik alan yoğunluğu sabit mıknatıs, 12 volt bobin, 24 volt bobin ve 48 volt bobin ile sağlanmıştır. Maksimum fayda dört zamanlı benzinli motor tipi ile elde edilmiştir (Aydın ve ark., 2003).

Dört farklı yoğunlukta kalıcı mıknatısların kullanıldığı deneyler egzoz emisyon testleri iyi bir sonuç göstermiştir. Çalışma sonucunda CO, HC gibi egzoz gazları azalmış ve CO₂ emisyonları artmıştır (Faris ve ark., 2012).

1.7. Manyetik Alanın Etkisindeki Yakıtlar

Yakıt hidrojen (H) ve karbon (C) elementlerinden oluşur. Karbon modern teknolojinin önemli elementlerinden biridir. Normal şartlarda yakıtların tamamen yanmasıyla yanma odaları yüzeylerine çöken kurum, karbon atomlarının soğuk yüzeylere grafit olarak çökme özelliğinin sonucudur. Hidrojen atomlarının reaksiyona girme hızlarının yüksek olması nedeniyle, hidrojen grafitle reaksiyona girerek uçucu

hidrokarbonları (HC) oluşturur ve yüzeylerdeki karbon tutma olayı azalır.

Manyetik alan cihazının iddia edilen avantajlarından biri de oluşturulan manyetik rezonans sayesinde karbon yüzey alanı artırılarak karbonu daha küçük parçalar halinde yanma odasına göndermek ve bunun sonucunda karbonun yanma olayına daha fazla girmesini sağlamaktır. Böylece iyileşen yanmayla birlikte emisyon değerlerinde düşüş sağlanmış olacaktır (Balo, 2002).

Yakıt molekülleri parahidrojen yapısının manyetik alandan geçtikten sonra ortohidrojen haline dönüştüğü Simon Ruskin tarafından bulunmuştur. Hidrojen moleküllerinin para durumundan orto durumuna geçmesiyle güçlü bir akım yoğunluğu sağlanarak ideal (tam) yanmaya daha yakın bir yanma olayı gerçekleşir. Infrared (kızılötesi) kameraları kullanılarak (ışık ışınlarının kırılmasına göre), yapılan deneylerde hidrojen moleküllerinin para durumundan orto durumuna geçtiği gözlenmiştir.

Hidrojen pozitif proton, negatif elektron ve bir dik (dipol) momente sahiptir. Hidrojen bütün elementler içerisinde en basit yapıya sahip olmasına karşılık, değişik çekirdeklerin karşı eğrilikleri olarak tanınan para ve orto isimli iki belirgin izomerik formdan oluşur. Bunlardan birincisi iki atomunda da aynı yönde paralel eğrileri olan ve düzensiz devir seviyelerinde bulunan ortohidrojen molekülüdür, ikincisi ise diğerleri ile bağlantılı bir atomun eğriliğinin diametrik sunumunda birbirine zıt ve düzenli devir seviyesinde bulunan parahidrojen molekülüdür. Bu yüzden hidrojen birçok tepkime için kolaylaştırıcı ve paramanyetiktir. Gerçekte ortohidrojen az enerjili, uçucu ve tepkili parahidrojenden daha tepkilidir. Yanma süresince, yoğunlaşma sağlandığından yakıt yaralı olan ortohidrojen formuna geri döner.

Yakıttaki hidrokarbonların yanması esnasında ilk önce oksitlenmiş olan hidrojen atomları, sonra karbon atomları yanar. Yüksek hızlı bir iç yanma sürecinde, hidrojen atomlarının oksitlenmesi daha az zaman aldığından yanmanın tam

olmamasından karbon atomları sorumludur. Karbon oksijen reaksiyonu daha enerjik olmasına rağmen oksijen, ilk önce zincirin dış kısmındaki hidrojenle birleşir ve oksijen miktarı yeterli değilse hidrojen karbondan önce yanar, karbonun bir bölümü parlak bir alev vererek is karası ya da karbon siyahı biçiminde birikir (Balo, 2002).

1.8. Manyetik Alanın Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Motorun egzoz emisyonunu ve yakıt tüketimini azaltabilmek için bilim adamları birçok yöntem geliştirmişlerdir. Son zamanlarda bazı kişi ve kurumlarca egzoz emisyonu ve yakıt tüketiminin elektromanyetik alan etkisiyle de azaltılabileceği ileri sürülmektedir.

İlgili kaynaklar incelendiğinde manyetize edilmiş olan yakıtın yanma olayına etkisi, konuda birlik sağlanamadığı için henüz açıklanamamıştır. Elektromanyetik etkinin yanmaya etkisi 4 farklı şekilde anlatılmaya çalışılmıştır:

- Karmaşık yapıdaki C zinciri düz hale gelerek daha fazla O_2 ile birleşiyor,
- Yakıt molekülleri belli bir sıraya girerek ilerliyor,
- C atomunun dönme hızı artırıldığından çekim gücü artıyor ve O_2 atomunu çekiyor,
- H'nin manyetik alanda kolayca etkilenmesiyle bağ yapma özelliği daha da artıyor.

Elektromanyetik alanın HC'ler üzerine etkisi konusundaki çalışmalar 1940'lı yıllarda başlamıştır. Günümüzde egzoz emisyonlarının birçok ülkede sınırlandırılması nedeniyle bu konudaki çalışmalar da artmıştır. Bu nedenle elektromanyetik etkinin yanmayı iyileştirdiği görüşünden hareketle bazı cihazlar geliştirilmiş ve araçlarda kullanılmaya başlanmıştır.

ABD ve İngiltere gibi teknolojik olarak ilerlemiş ülkelerde patent almış olan bu cihazların yapılan testleri birbirinden farklı sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmaların çoğunda açıklamalardan kaçınılmış, çıkan olumsuz sonuçlar göz ardı edilmiştir.

2. MANYETİK ALANIN EMİSYONLARA ETKİSİ KONUSUNDAKİ MEVCUT ÇALIŞMALAR

Son yıllarda özellikle motor emisyonlarının azaltılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Buna bağlı olarak motor performans ve yakıt tüketimi ile ilgili de literatür çalışmalara rastlanmaktadır. Bu bölümde bu çalışmalar özetlenmiştir.

Demirtaş ve Koca (2021) tarafından 1850 Gauss sabit manyetik alana maruz bırakılan LPG ve benzin yakıtlarının egzoz HC, CO, CO₂ ve lambda değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Deneyler 420 cm³ hacminde 13.5 HP gücünde tek silindirli hava soğutmalı bir motorda 2000, 2500 ve 3000 rpm motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Yakıt manyetik alan uygulandığında yakıt para durumundan orto durumuna geçmekte ve yakıtın molekül yapısı değiştiği, deney sonuçlarında HC, CO ve CO₂'nin sırasıyla %22.06, %21.2 ve %25.9 oranında azaldığı ve hava-yakıt karışımının da %33.07 oranında arttığı ve yakıt manyetik alana maruz kaldığında yakıtın bu özelliği değişmekte olup yanma verimi artırdığı belirtilmiştir.

Al-Baghdadi (2004) yaptığı çalışmada hidrojenle çalışan bujiyle ateşlemeli bir motordaki sıkıştırma oranı, denklik oranı ve motor hızının motor performansı, emisyonlar ve erken ateşleme üzerine etkilerini araştırmıştır. Yazar, motor performansı ve emisyon parametreleri arasındaki etkileşimin anlaşılması ile hidrojenle çalışan bir motorun dizaynı yapılırken bu verilerin yardımcı olabileceğini vurgulamıştır. Yapılan araştırma sonucunda; sıkıştırma oranı ve denklik oranı motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerine önemli etkileri olduğu ve en iyi motor performansı karakteristiklerini elde etmek için motorun çok iyi dizayn edilmesi gerektiğini,

erken ateşleme olmaksızın ve yüksek verim çalışan hidrojen motorunun çıkış gücünü arttırmak için motor fakir karışımda ve yüksek hızlarda kullanılması gerektiğini, hidrojen-hava karışımının yanma karakteristiklerinin nispeten hızlı olmasından dolayı, yüksek sıkıştırma oranı çıkış gücünü ve verimini arttırmak için uygulanabileceğini ve değişken ateşleme zamanı yanma işleminin kontrol edilmesinde çok etkili olduğu bildirilmiştir.

Zeng ve ark. (2004) EGR'nin dizel motorundaki NO_x (azotoksit), PM (partikül madde) ve O_2 'ye etkilerini zorlaştırılan emisyon düzenlemeleriyle birlikte açıklamıştır. Yanma odasındaki yakıt-hava karışımının O_2 yoğunluğunu ve alev sıcaklığını düşürmesinden dolayı EGR dizel motorlardan oluşan NO_x emisyonunun azaltılmasında etkilidir. Bununla birlikte O_2 yoğunluğunun azaltılması sonucu NO_x azalırken PM miktarının arttığı gözlenmiştir. Yüksek hacimde EGR kullanımıyla enerji verimi, karalı çalışma durumu ve motorun PM üretimi belirlenmiştir. Dizel motorları için daha fazla zorlaştırılan egzoz emisyonu düzenlemeleriyle ilişkilendirilerek EGR'nin tüm yük ve hızlarda nasıl çalıştığı motor dayanıklılığı ve performansı ile açıklanmıştır.

Salman ve ark. (2003) buji ile ateşlemeli bir motorda tek noktadan yakıt enjeksiyonlu ve karbüratörlü sistemin hacimsel verim, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını karşılaştırabilmek için yaptıkları deneysel çalışmada hacimsel verimin karbüratörlü sistemde daha düşük olduğu, emisyonların karbüratörlü sistemde fazla olduğu ve yakıt enjeksiyon sistemi ile özgül yakıt tüketiminde 1500 d/d'de %20, 5000 d/d'de %5'lik bir kazanç sağladığı bildirmiştir. Sonuç olarak, buji ile ateşlemeli motorlarda tek nokta yakıt enjeksiyon sisteminin kullanılması egzoz emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini iyileştirmesine rağmen motor gücünü azalttığı, bu nedenle daha büyük hacimsel verim sağlayan, motor momentini dolayısıyla motor gücünü arttıran çok noktadan enjeksiyonlu sistemlerin tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Abu-Hamdeh (2003) dizel motorlarda kullanılan EGR'nin soğutulması konusunda çalışmıştır. Soğutulmuş EGR'nin dizel motordan oluşan egzoz emisyonlarının kimyasal oluşumuna ve kirletici emisyonların egzoz gazı içindeki yüzde (%) oranlarına etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. EGR'nin soğutulması için su ve hava gibi iki akışkan madde kullanılarak farklı deneyler yapılmış, soğutucu akışkan, EGR'nin soğuma miktarı, EGR oranı gibi kriterler yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. Isı değiştirici borular emme manifoldundan silindirlere alınan havanın sıcaklığını azaltır ve silindirlere daha fazla hava alınmasını sağlar, böylece yanma sonu sıcaklık ve NO_x yoğunluğu azaldığı görülmüştür. EGR'nin soğutulması için hava yerine su kullanıldığında egzoz gaz sıcaklığında ve kirletici miktarında daha fazla azalma olduğu gözlenmiştir. EGR'nin soğutulmasıyla NO_x ve CO_2 miktarlarında azalma olurken CO emisyonu artmıştır. Isı değiştirgeçleriyle dizel motorlarındaki EGR'nin soğutulması sonucu NO_x gaz yoğunluğunun azalma miktarı (% olarak) CO'ın artma miktarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan soğutulmuş EGR oranının arttırılmasıyla egzoz gazındaki NO_x miktarı azalırken PM yoğunluğu artmıştır. Partikül emisyonu oksidasyon katalizöründen geçirilerek azaltılabilmektedir. Sonuç olarak; soğutulmuş EGR kullanılarak NO_x emisyonu azaltılabileceği ve dizel motorunu daha fazla çevre dostu yapabilmek için egzoz sistemine bir oksidasyon katalizörü ilave edilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Selim(2003),CNG ve dizel yakıtla çalışan çift yakıtlı motorda EGR'nin bazı yanma karakteristiklerine etkisini araştırılmıştır. Deneylerde yanmadan kaynaklanan motor gürültüsü ve farklı EGR oranlarındaki ısıl verimi belirlenmiştir. Ricardo E6 dizel motoru Dizel+CNG ile çalışacak hale getirilmiştir. Motor tam olarak bilgisayar kontrollüdür ve gerekli değerler bilgisayara kaydedilmiştir. Çift yakıtlı motorda EGR oranı, motor yükü, motor hızı, geri gelen egzoz gazı sıcaklığı, emilen hava basıncı ve sıkıştırma oranının motor gürültüsü ve ısıl verime etkileri incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir; EGR'nin

düşük oranda (%5) kullanımının ısı verimi arttırdığı, EGR'nin %5'ten daha düşük oranda olması halinde ısı verimi azalttığı, Çift yakıtlı motorda motor hızı artmasıyla motor gürültüsünün azaldığı, 1200 ve 1600 rpm'daki sabit motor hızlarında, tüm EGR oranlarında artan yükte ısı verim artmıştır. %5'e kadar EGR oranlarında ısı verimin arttığı, %10 ve %15 EGR oranında ise azaldığı, 1200 ve 1600 rpm'daki sabit motor hızlarında artan yükte maksimum basınç artmıştır. Tüm yüklerde EGR oranının artması maksimum basınç artışını düşürdüğü, %5 gibi düşük oranlı EGR kullanımı ısı verimi artırırken motor gürültüsünü ve NO_x emisyonlarını azalttığı, Sıcak EGR ile soğuk EGR her oranda tüm yüklerde karşılaştırıldığında sıcak EGR'nin maksimum basıncı arttırdığı, Süper şarj ile emilen hava basıncı arttırıldığında motor gürültüsü azaldığı ve Çift yakıtlı motorda sıkıştırma oranı azaldığında, motor gürültüsü tüm yüklerde ve her EGR oranında önemli miktarda arttığı şeklinde özetlenebilir.

Balo (2002) manyetik alanın içten yanmalı motorlarda yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları üzerine etkisi sabit mıknaş ve 12 V'luk, 24 V'luk ve 48 V'luk bobinlerle ayrı ayrı motor deneyleri yapılmıştır. Çalışmada manyetik alanın etkilerinden, mıknaşın ve manyetik alan cihazının özelliklerinden bahsedilmiştir. Deneylerde iki zamanlı, dört zamanlı benzinli ve dizel motorlar ile su freni tipinde iki dinamometre kullanılmıştır. Ayrıca manyetik etki alan cihazı bazı araçlar üzerine monte edilerek belirli bir yol kat ettikten sonra taşıtların harcadıkları ve depoya doldurulan yakıtlar dikkate alınarak yakıt sarfiyatı belirlenmiştir. Sonuç olarak, dört tip motorda belirli manyetik alan değerlerindeki bobinlerle cihazlı ve cihazsız olarak yapılan deneylerde motor devri, tork, emme basıncı, egzoz giriş-çıkış sıcaklıkları ve özgül yakıt sarfiyatı gibi parametreler incelenerek her durum için ayrı yorum yapılmıştır.

Sher ve ark. 2002 yılındaki çalışmalarında VVT (Variable Valve Timing) sisteminin çalışması, CO ve NO_x emisyonlarının oluşumu teorik olarak anlatarak VVT sisteminin bu emisyonlar

üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde 4 zamanlı, 4 silindirli, su soğutmalı, buji ile ateşlemeli, 1297 cm³ hacimli, 4800 d/d'da 44 kW güç üreten bir VW (Volkswagen) Passat motoru kullanılmıştır. %35 ve %100 motor yükleri altında yapılan deneylerde egzoz ve emme portları açılma-kapanma zamanlarının özgül yakıt tüketimi, CO ve NO_x emisyonlarına etkileri ayrı ayrı ölçülmüştür. Deneysel sonuçlarına göre; VVT uygulandığında maksimum tork daha düşük motor hızlarında elde edilmiş, motor torku ve özgül yakıt tüketimi özellikle kısmi yük ve düşük motor hızlarında iyileşme göstermiş, VVT ile CO ve NO_x emisyonlarında yeterli düşüşler gözlemlendi, VVT ile maksimum motor gücü %6 artarken özgül yakıt tüketimi %13 azaldığı gözlemlenmiştir.

Heck ve ark. (2001) çalışmalarında egzoz emisyonlarını, üç yollu katalitik konvertörlerinin tarihsel gelişimlerini, emisyon standartlarını, direkt enjeksiyonlu benzinli ve dizel araçların özelliklerini, dizel yakıt katalizörlerini, gaz yakıtları, yakıt hücrelerini ve otomobil egzoz sistemleri için kullanılan/kullanılacak alternatif katalizörler anlatmışlardır. Ayrıca bunların emisyonlara ve yakıt tüketimine etkileri karşılaştırmışlardır.

Abd-Alla ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada direkt enjeksiyonlu olmayan Ricardo-E6 dizel motorunu çift yakıtlı motor olarak kullanarak EGR'nin yanma ve emisyonlara, özellikle emme havası sıcaklığına, yanma ve emisyonlardaki N₂ ve CO₂ miktarlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde pilot yakıt olarak dizel yakıtı, ana yakıt olarak metan/propan gaz yakıtlarından biri kullanılmıştır. Çift yakıtlı motorun çalışması esnasında N₂ ve CO₂ gibi bazı seyrelticilerin ilave edilmesiyle pilot yakıtın ateşleme davranışını ve gaz yakıt-hava dolgununun erken ateşleme olasılığını etkilediği gözlemlenmiştir. Seyreltici konsantrasyonlarındaki artış karışımın reaksiyon hızını azaltacak böylece daha düşük sıcaklıklar oluşacağından egzozdaki yanmamış HC ve CO emisyonlarının arttığı belirtilmiştir. Emme havası sıcaklığındaki artış NO_x emisyonunu arttırmış fakat yanmamış HC emisyonunu azaltmıştır. Motora

giren gaz yakıtta (metan) CO₂ eklendiğinde NO_x miktarı önemli ölçüde düşüş elde edilmiştir. Yapılan çalışmada emme havasına iki tip seyreltici (N₂ ve CO₂) enjekte edilmiştir. Deneylerde emme havasına hacimsel olarak %5, %19 ve %30 oranlarda N₂ seyreltici ilave edildi. Eklenebilecek maksimum N₂ miktarı %43 olarak bulunmuş, bu değer bulunmasında eksik yanma sınırı etkili olmuştur. Başka bir deney düzeneğinde seyreltici olarak kullanılan CO₂ emme havasının %1.9, %4.1 ve %5.8 hacimsel oranlarında ilave edilerek deneyler yapılmıştır. CO₂'in dondurucu etkisinden dolayı eklenebilecek maksimum miktar %12 olarak belirlenmiştir. Deneylerde pilot yakıtın ateşlenmesinin başlayabilmesi için en az 0.35 kg/h N₂ ve 0.4 kg/h CO₂ seyreltici gerekli olduğu belirlenmiştir. Bu deneyler gaz yakıt olarak metan kullanılarak 1000 d/d'da ve pilot yakıt ÜÖN'dan 25° önce püskürtülerek yapılmıştır. Seyreltici konsantrasyonlarındaki artışla CO emisyonunun ve pilot yakıtın ateşlenme gecikmesinin arttığı gözlenmiştir. Böylece silindir şarj sıcaklığı ile basıncı düştü ve CO miktarının artması eksik yanmaya neden olmuştur. Çift yakıtlı motorlarda NO_x üretimine seyreltici yoğunluğu ve düşük dolgu (şarj) sıcaklığı önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir.

Kusaka ve ark. 2000 yılında doğal gaz ile çift yakıtlı dizel motorunun yanma ve egzoz emisyonu karakteristikleriyle ilgili yaptıkları çalışmalarında pilot yakıt olarak dizel yakıtı kullanmışlardır. Deneylerde su soğutmalı, 4 zamanlı, 4 silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel kamyonet motoru kullanmışlardır. Yanmamış doğal gaz emisyonlarını azaltmak için egzoz sisteminde oksidasyon katalizörü kullanılmıştır. Silindirlere giren hava elektrikli ısıtıcı yerine egzoz gazları sayesinde ısıtılmıştır. Egzoz gazlarının ısı enerjisi kullanıldığı için ısı verime olumlu katkı sağlamıştır. Emilen hava sadece egzoz gazlarıyla değil EGR ile silindire geri gönderilen yanmış gazlarla da ısıtılmıştır. Motor testlerinde %80 doğal gaz kullanılarak ve Japon D13 test moduna göre (1280 d/d'da, 1/5 yükte, %80 CNG) ve %30, 50, 60 EGR oranlarında yapılmıştır. Motor rölantide iken karışımın (hava-dizel-CNG) yoğunluğu

alevin yayılması için çok fakir olduğundan doğal gaz olmadan çalıştırılmıştır. Silindirlere alınan havanın sıcaklığını, motor performansını bozmadan, arttırmak için küçük bir ısı değiştirici kullanılmıştır. %50 ve %60 EGR oranlarında motor performansında herhangi bir değişiklik olmamıştır. EGR oranı %50'den daha fazla arttırıldığında, silindirdeki O_2 eksikliğinden dolayı, yanma karakteristiklerinin bozulmasına neden olmuştur. Yüksek motor yüklerinde yüksek ısıl verim, düşük yüklerde yüksek THC (toplam hidrokarbon) emisyonu ve düşük ısıl verim gözlenmiştir. Çift yakıtlı motorda yanma başlangıcında oluşan NO_x miktarının, dizel motorlardakine eşit bildirilmiştir.

Hashizume ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada EGR'nin MULDIC (çok aşamalı dizel yanması) yanmalı bir dizel motorunun emisyona etkisi deneysel araştırılmıştır. Deneylerde 4 zamanlı doğal emişli tek silindirli sıkıştırma oranı 16.5 olan bir dizel motor kullanmışlardır. Motorda biri merkezde diğerleri karşılıklı kenarlarında olmak üzere toplam 3 adet enjektör yerleştirilmiştir. Enjektörlerin enjeksiyon zamanı ve miktarı birbirinden bağımsız olarak kontrol edebilecek şekilde ayarlanmıştır. Yandaki enjektörler ile ÜÖN'dan 150° önce, merkezdeki enjektörle de ÜÖN'dan 2° önce ve 14° sonra yakıt püskürtmesi yaptırılarak motor performansı ve emisyon karakteristikleri ölçülmüştür. Çalışma durumları; tam yük, yakıt enjeksiyon miktarı $124 \text{ mm}^3/\text{st}$, $\lambda=1.4$ ve 1000 d/d 'dir. Deneyler setan sayısı 40 olan yakıtla geleneksel ve MULDIC yanma olarak karşılaştırılmıştır. Geleneksel yanma da EGR oranı arttıkça NO_x oluşumunun azalmakta fakat duman eğilimini arttığı gözlenmiştir. Yüksek basınçla enjeksiyona rağmen duman ancak %10 EGR oranında önlenebilirken MULDIC'te %10 EGR oranında duman üretilmemektedir. MULDIC'te EGR oranı artarken yakıt tüketiminin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Sasaki ve ark. (1998) direkt enjeksiyonlu benzinli bir motorda EGR'nin yakıt tüketimi, NO_x , HC, hava-yakıt oranı, giriş sıcaklığı, egzoz sıcaklığı gibi değerler karşılaştırılmıştır. Bütün

deneyler emme manifoldu basıncı atmosferik basınç kontrollü olarak yapılmıştır. Ateşleme zamanı sabit ve enjeksiyon zamanı değişken olarak yapılan deneylerde enjeksiyon-ateşleme süresinin ateşleme kararlılığına etkileri belirlenmiştir. 2 ve 4 delikli enjektörlerle EGR'li ve EGR'siz olarak ayrı ayrı yapılan deneylerde enjeksiyon zamanının eksik yanma oranına değerleri verilmiştir. Ayrıca aynı değerler kademeli enjeksiyon yapılarak da karşılaştırılmıştır. Uygun EGR oranında yakıt tüketimi ve HC miktarı azaldığı gözlenmiştir. Uygun geniş hacimli EGR ve 4 delikli enjektör ile kısmi yüklerdeki yakıt ekonomisi ve emisyonlara EGR'nin etkisi belirlenerek değişik performans değerlerindeki EGR'nin etkisi belirlenmiştir. Direkt enjeksiyonlu benzinli motora EGR eklenerek elde edilen temel karakteristikleri belirlemek için hava-yakıt karışımı ve kademeli enjeksiyonda alev çekirdeği olduğu anda deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygun hacimdeki EGR yakıt ekonomisi ve düşük HC emisyonu sağladığı, haddinden fazla EGR'nin öncelikle eksik yanmaya ve yakıt tüketimi ile HC emisyonlarının artmasına neden olduğu, EGR hacminin sınırlarını ateşleme performansının kötüleşmesi değil O_2 konsantrasyonundaki azalmanın belirlediği, geniş hacimli EGR egzoz gazı sıcaklığını önemli ölçüde arttırdığı bunda katalizörün daha kolay çalışmasını sağladığı bildirilmiştir.

Uzunsoy'un (1998) yaptığı çalışmada manyetik alandan geçen yakıtın motor performansına etkileri ölçülmüştür. Deneylerde Lombardini marka tek silindirli, 252 cm³ silindir hacimli ve 4.5 BG gücündeki dizel motor kullanılmıştır. CO, CO₂, HC, O₂ ve hava fazlalık katsayısını ölçmek için 1/100 hassasiyetle çalışan SUN MGA-1200 cihazı kullanılmıştır. Motor dinamometresi ile de M_d (motor fren momenti), N_c (motor devri), P_{mc} (ortalama efektif motor gücü), b_c (özgül yakıt sarfiyatı) ve η_t (ısı verim) değerleri ölçülmüştür. Manyetik koşullandırıcı cihaz olarak General Motors Corporation tarafından geliştirilen, US 4802931 patentli, 7 mm mesafede 230 mT manyetik alan şiddetli mıknatıs kullanılmıştır. Deneylerde ölçümlerin yapılmasında iki farklı yöntem kullanılmıştır;

birincisi gaz kelebeği konumu sabit konumda iken deneyler yapılmış, ikincisinde ise normal performans değerleri bilinen motora, ortam ve motor koşulları değiştirilmeden manyetik alan derhal uygulanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda manyetik alan cihazının yakıt ekonomisine önemli bir katkısının olmadığı hatta yakıt sarfiyatını arttırdığı fakat motor devri arttıkça güçte artış, HC ve CO emisyonlarında azalma olduğu görülmüştür.

Işıksoluğu 1993 yılında yaptığı çalışmasında benzinli motorlarda yakıt düzenleyici cihazın emisyonlara motor gücüne etkilerini ölçmüş ve bulanık değerlerin istatistiksel yönden önemli olup olmadığını yorumlamıştır. Deneylerde dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı benzinli Renault Broadway (1.3 litre, 83 BG) ve 11 TXE Flash (1.7 litre, 103 BG) marka iki adet otomobil kullanılmıştır. Ölçümler süresince taşıtlarda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır, güç ölçümlerinde bir, yakıt tüketimi ölçümlerinde iki kişiyle birlikte net ağırlık ayarlanmıştır. Yakıt düzenleyici cihaz Amerika'da üretilen ABEX marka elektromanyetik etki oluşturan bir cihazdır. Egzoz gazı ölçümlerinde SUN MGA-1200 dijital, infrared egzoz gazı analizörü kullanılmıştır. Yakıt ölçümü içinse %1 hassasiyetli Okuda FC-812 marka cihaz kullanılmıştır. Motor gücünü vites kademelerine, hıza ve motor devrine bağlı olarak bir çevrim diyagramı çizebilen %5 ölçüm duyarlılığında Bosch marka şasi dinamometresi kullanılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda manyetik alan cihazının istenen etkiyi yapmadığı bildirilmiştir.

3. DENEYSEL MATERYALLER VE DENEY METODU

Halen trafiğe çıkan, özellikle katalitik konvertörsüz araçların motorlarında egzoz emisyonlarını büyük modifikasyonlara gitmeden ve ekonomik yöntemlerle azaltabilmek hem çevre hem de ülke ekonomileri için çok faydalıdır. Bu çalışmada Neodmiyum malzemeli manyetik alan cihazı, OVLT marka egzoz emisyonu test cihazı ve 1991 model karbüratörlü, 4 zamanlı, 4 silindirli, 1.6 litre hacminde, 1010 kg ağırlığında

ve 80 BG gücünde bir otomobil kullanılmıştır (Ünalı ve Kahraman, 2009).

Egzoz emisyon testleri, Çevre Bakanlığı Bölge Müdürlükleri tarafından verilen Egzoz Emisyon Pulu belgesinin verilmesi esnasında yapılan testlerde olduğu gibi araç dururken ve yüksüz halde motor devri artırılarak yapılmıştır. Denemeler 5 tekerrürlü yapılmış olup, sonuçlar ortalama değer olarak Tablo ve şekillerde verilmiştir. Her deneme sonunda sonuçların netliği açısından nem filtresi değiştirilmiş, emisyon test cihazı kalibre edilmiş ve ölçümler bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm bütünlüğünün sağlanabilmesi için araçlarda yakıt olarak OPET firmasından temin edilen benzin kullanılmıştır (Ünalı, 2006).

3.1. Neodmiyum Malzemeli Manyetik Alan Cihazı

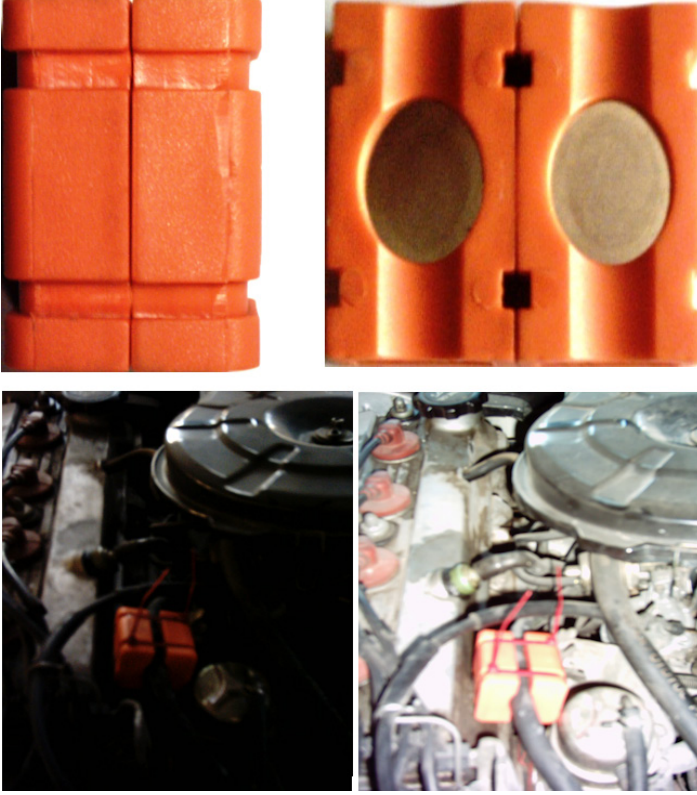
Yunanlılar M.Ö. 800 yıllarında bugün manyetit (Fe_3O_4) dediğimiz, bazı taşların demir parçalarını çektiğini gözleyerek manyetizma olayının farkına varmışlardır. Efsaneye göre Manyetit adı sürüsünü otlatırken ayakkabısının çivileri ve sopasının ucu yapıp kalan Magnes adlı çobandan gelmektedir. Bir başka kabule göre de mıknatıslık özelliği taşıyan bu taşların bolca bulunduğu Anadolu'daki Manisa (Maeneisa) adlı kentten gelmektedir (Anonim-e, 2004).

Neodmiyum (Nd), seryum (Ce), skandiyum (Sc) ve yitriyum (Y) gibi nadir toprak metalleri genellikle yumuşak ve kolay işlenebilir özellikte olup yüksek sıcaklıklarda reaktiftir. Demir grisi ile gümüş beyazı arasında değişen renkler gösterirler. Ergime sıcaklıkları 798-1,663 °C arasında değişir. Bu elementler periyodik tabloda Lantanit gurubunu oluşturur. Yukarıda belirtilen dört elementle birlikte Lantanit gurubu içindeki diğer elementler lantanyum, disprosyum, terbiyum, lutesyum, tulyum, erbiyum, holmiyum, gadolinyum, iterbiyum, prosedmiyum ve europyum' dur. Başlıca kullanım alanları ve kullanım oranları ise; Katalitik konvertör (otomative sektörü) %48, Katalizör (Petrol rafinajı) %17, Parlaticı ve sır (cam ve seramik sektörü) %14, Mıknatıs üretimi %12, Televizyon ve oksijen sensörü imalatı %2 ve Alaşım katkısı (metalürji

sektörü) %6'dır (Anonim-e, 2004; Anonim-f, 2004; Anonim-g, 2004).

Nd-Fe-B sert mıknatıslı malzemeler 1984'te bulunmuş olup, günümüzde hem toz metalürjisi hem de eriyik sürüklemeli hızlı katılaştırma yöntemleriyle üretilmektedir. Neodmiyum belirli bazı lazer kristalleri için gereklidir. Magnezyum alaşımlarına ilave edilerek yüksek performanslı magnezyum alaşımları elde etmekte kullanılır. Neodmiyum kalıcı mıknatıslık ve süper iletkenlik özelliği taşıyan Nd-Fe-B alaşımlarının temel elementidir. Nd-Fe-B kalıcı mıknatıslarının kullanılma yerleri, bütün elektrik motorları özellikle de otomobil marş motorları gibi ağırlık azaltmanın ve küçüklüğün önemli olduğu motorlardır. Nd-Fe-B alaşımlı sert manyetik malzemeler sistemlerdeki etkilerinin çok güçlü olması nedeniyle son yıllarda oldukça fazla araştırılmaktadır. Çünkü bu alaşımlar zorlayıcı (baskı) kuvvet ve maksimum enerji üretirler. Nd-Fe-B alaşımının manyetikliğini güçlendirmek için birçok yeni malzemeler ekleyerek çeşitli laboratuvarlarda yapılan araştırmalar halen sürdürülmektedir (Ünaldı, 2006).

Diğer kalıcı mıknatıslarla karşılaştırıldığında Nd-Fe-B daha yüksek zorlayıcı kuvvete ve maksimum enerji üretimi bakımından daha güçlü özelliklere sahiptir. Bununla birlikte Nd-Fe-B den elde edilmiş manyetik malzemeler (Şekil 13), zorlayıcı kuvvet alanının istenmeyen bir sıcaklığa maruz kalması durumunda $Nd_2Fe_{14}B$ sert manyetik fazı düşük Curie sıcaklığı tarafından sınırlanmıştır. Bu sayede sıcaklığın tersinmez etkileri azalmış ve artık mıknatıslanma olayının tersinir sıcaklık katsayısı, elementlerin küçük miktarlarını ekleyerek bir başka deyişle Nd için Fe ile Fe için Co parçalarının küçük miktarlarını bu elementlerin yerine koyarak artırılmıştır (Ünaldı ve Kahraman, 2009).



Şekil 13. Manyetik alan cihazı ve cihazın yakıt borusuna bağlantı şekli (Ünalđı, 2006)

Bu mıknaatıslarda $Nd_2Fe_{14}B$ fazı oda sıcaklığında izotropik olmayan yüksek manyetik kristaller dolayısıyla esaslı bir zorlayıcı kuvvet yapabilir. İzotropik olmayan alanı arttırmak için bu alaşımların yapısına Dy ilave edilir. Bir diğer yöntem refraktör yani ışık kırıcı elementlerden Al, Nb, Zr, Mo vb. birini küçük miktarda alaşıma eklemektir. Manyetik alan cihazının motorun yakıt borusuna bağlantısı Şekil 13'te görülmektedir (Ünalđı ve Kahraman, 2009).

3.2 Egzoz Emisyonu Test Cihazı

Egzoz emisyonunun testi için OVL T marka 3040 modeli test cihazı kullanılmıştır (Şekil 14). OVL T 3040 emisyon test cihazı benzinli ve dizel motorların emisyonlarını motor devrine

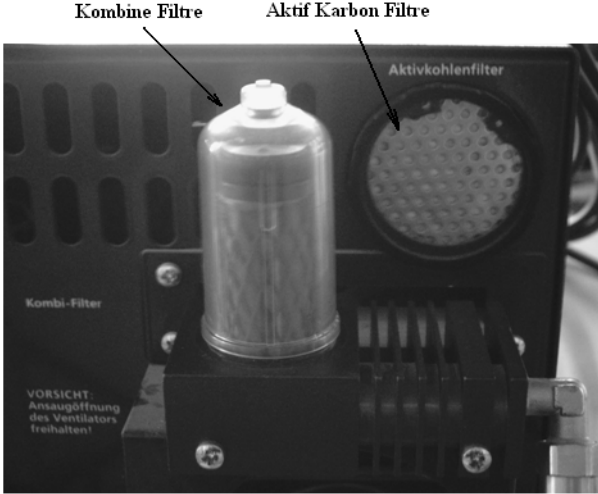
göre ölçülebilen bir test cihazıdır. Test cihazının dahili yazıcısı ve gerekli bilgilerin girilebilmesi için bilgisayar klavyesiyle aynı özelliklere sahip bir klavyesi vardır. Klavye üzerindeki F1,F2,F3... gibi tuşlar ‘kısayol tuşu’ olarak kullanılmaktadır. F1, F2, F3 ve F4 tuşları ‘Benzinli Araç Ölçümü’, F5, F6, F7 ve F8 tuşları ‘Diagnostik’ yani arıza teşhis, F9, F10, F11 ve F12 tuşları ise ‘Dizel Araç Ölçümü’nün kısa yollarıdır. Cihaz ısıdıktan sonra test için adım adım seçim yapmak yerine en kısa yoldan teste geçmek için ‘kısayol tuşları’ kullanılmaktadır. Ayrıca test cihazının ön yüzünde LCD özellikte bir komut ekranı, 6 adet komut tuşu ve 6 adet LED’li hücre vardır. Komut ekranında ölçüm programı veya testin komutları gösterilmekte ve ayrıca test ile ilgili bilgiler/uyarılar verilmektedir. Tuşlar, test yapılırken kullanılabilen kabul etme, reddetme, değiştirme, çıkma, yazdırma işlemlerinin yapılabileceği tuşlardır. Cihazın LED’li hücrelerinde CO (%), CO₂ (%), Lambda (λ), HC (ppm), O₂ (%), motor devri (RPM) ve motor yağı sıcaklık (°C) değerleri gösterilmektedir (Anonim-d, 2000).



Şekil 14. Emisyon test cihazının ön ve arka kısmının görüntüsü

Ölçüm tercihinin göre hücrelerdeki rakamlar kırmızı veya yeşil renkte görülebilmektedir, ölçülen değerler belirlenen sınırlar içerisinde değilse değerler kırmızı renkte, belirlenen sınırlar içerisinde ise yeşil renkte görülür (Anonim-d, 2000).

Motor devri ile motor yağ sıcaklığı aynı hücrede gösterilmektedir. Emisyon testi ölçümüne geçilmeden önce motor yağ sıcaklığının belirlenen değere ulaşması gerekir. Motor yağ sıcaklığı belirlenen değere ulaştığında, yağ sıcaklığının gösterildiği hücrede motor devri otomatik olarak gösterilemeye başlar.



Şekil 15. Test cihazının filtreleri

Cihazın arka kısmında açma-kapama düğmesi, devir kablosu bağlantısı, yağ sıcaklık bağlantısı, egzoz gazı ölçüm probu hortum bağlantısı, kaçak testi adaptörü, O₂ sensörü, aktif karbon filtre ve kombine filtre bulunmaktadır. Cihazın arka kısmındaki O₂ sensörü; ölçüm esnasında egzoz gazındaki oksijen miktarını ölçer, aktif karbon filtre; ölçüm sırasında sistemde fazla HC birikmesini önler, kombine filtre; egzoz gazından prob vasıtasıyla çekilen partikül ve nemi filtre eden kısımdır (Şekil 15). Kaçak testi adaptörü, cihazın kendi sisteminde kaçak olup olmadığını test etmek için kullanılan bir adaptördür, proba takılır.

Tablo 7. OVLT 3040 emisyon test cihazı ana ve alt menüleri

Ana Menü			
1.Egzoz Gazı Muayenesi			
2.Analiz			
3.Duman Gazı Ölçümü			
4.Servis Programı			
Alt Menü 1 (standart)	Alt Menü 2 (opsiyon)	Alt Menü 3 (standart)	Alt Menü 4 (standart)
1.Resmi Ölçüm	1.Egzoz Gazı Analizi	1.Dizel Modu A/B	1.Kalibre Etmek
2.	2.Katalizör Analizi	2.Bağımsız Hızlandırıcı	2.Saat Ayarı
3.	3.Kontrol Döngüsü	3.Ayar Ölçümü	3.Elle Arıza Tespit
4.Ayar Ölçümü	4.Sistem Analizi	4.Dizel Analizi	4.İkinci Ekran

Cihazın kullanımı esnasında LCD ekranda görülebilen Ana Menü ve Alt Menü Tablo 7’de gösterilmektedir. Menülerin seçimi klavyedeki numaralara basılarak yapılmaktadır. Egzoz gazı analizleri için ana menüde iken klavyeden 1 tuşuna basılır, ekrana seçenekler (Alt Menü 1) geldikten sonra klavyeden 1 tuşuna (Resmi ölçüm) basılır ve ekrana “Zorunlu Kaçak Testi, kaçak adaptörü ile egzoz probunu birleştiriniz” uyarısı gelir.

Kaçak adaptörü ile prob birleştirildikten sonra cihaz kendi kendine kaçak testi yapar. Kaçak testi bittikten sonra ekrana “Araç Bilgilerinin Girilmesi” bölümü gelir, eğer bu kısma N (hayır) dersek araç hakkında bilgi girilmez, Y (evet) dersek aracın plaka numarası girilir ve cihaz kendi hafızasında arama yaparak aynı aracın daha önce test edilip edilmediğine bakar. Eğer cihaz plakayı hafızasında bulursa “yenilensin mi?” yoksa “eskisi kalsın mı?” diye sorar. Yenilensin tercihi seçilirse bilgiler yenilenir. Ardından sırasıyla araç sahibi, araç markası, araç modeli ve kilometresi girildikten sonra rölanje devrinin minimum ve maksimum aralığı belirlenir, daha sonra CO, CO₂ ve HC miktarları ayarlanır. Motor yağ sıcaklığı minimum değeri ayarlanır ve ekranda “Araç sahibi bilgileri kaydedilsin mi?” sorusu görülür, Y tuşuna basılarak bilgiler kaydedilir (bilgileri değiştirmek için N, bilgileri kontrol etmek için P tuşuna basılır).

Daha sonra devir sayımının algılandığı yöntem (primer, sekonder veya optik) ve motor tipi (2 zamanlı – 4 zamanlı) seçimi yapılarak cihaz otomatik olarak ‘Sıfırlama Ayarı’na geçer. Sıfırlama ayarı bittikten sonra “HC Artık Testi” başlar. Emme sistemini etkileyen HC artıkları 20 ppm’den fazla olmamalıdır. Eğer HC artıkları 20 ppm’den fazla olursa egzoz gaz testi başlamaz, 20 ppm’den az ise egzoz gaz testi otomatik olarak başlar ve tüm hücreler değer göstermeye başlar.

3.3 Metot

OVLT 3040 egzoz gazı test cihazıyla benzinli bir aracın egzoz gazı test analizi şu işlem sırasına göre yapılmıştır:

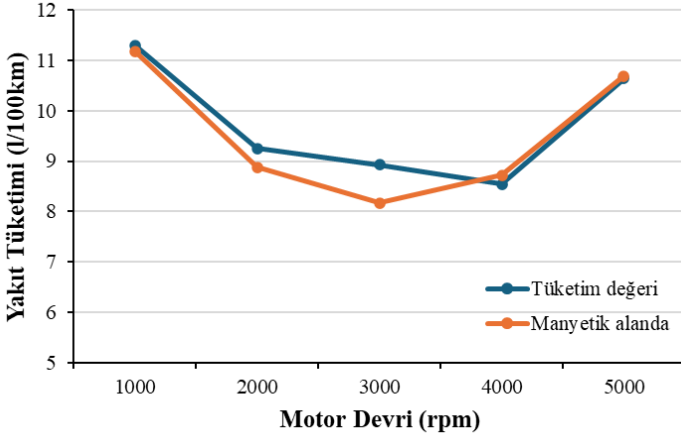
- Cihaz 220V şehir cereyanına bağlantısı yapıldıktan sonra açma-kapama düğmesi açık konuma getirilerek cihaz çalıştırıldı. Ekranı gelen ana menüye göre, klavyeden 1 tuşuna basılarak Benzin Ölçümlerine geçilir ve klavyeden tekrar 1 tuşuna basılarak Resmi Ölçümler kısmı seçilir.
- Cihaz soğuk olduğu için 10–15 dakikalık ısınma periyoduna girer, cihaz ısınmadan herhangi bir işlem yaptırılamaz.
- Cihaz ısındıktan sonra kendi sistemini kontrol edeceği ‘Kaçak Testi’ni yapar. Bunun için egzoz probu ile kaçak adaptörü birleştirilir. Testten sonra sistemde kaçak yoksa ‘kaçak test adaptörünü probdan çıkartınız’ diye mesaj verir. Eğer kaçak varsa bağlantı yerleri kontrol edilir. Bu arada motorun yağ çubuğu çıkartılarak yerine cihazın motor yağ sıcaklığı algılayıcısı takılır ve motor devrinin ölçülmesi için de devir algılayıcı alet birinci silindir bujisinin kablosuna takılır. Devir algılayıcısı üzerindeki ok işareti bujiyi gösterecek şekilde yerleştirilir.
- Araçla ilgili bilgiler (plaka, araç markası, modeli, yapım yılı, araç sahibi, kilometresi) girildikten sonra cihaz otomatik olarak ‘Sıfır Ayarı’na geçer ve ardından “Artık HC Testi” başlar. Artık HC miktarı 20 ppm’den fazla ise emisyon testine geçilmez, artık HC miktarı 20 ppm’in altında ise bir sonraki adıma geçer.
- Artık HC miktarı 20 ppm altında ölçüldüğünde cihaz otomatik olarak ölçülecek değerlerin belirlenmesine geçer. Bu bölümde motor devrinin ölçüm tipi (sekonder), motorun kaç zamanlı olduğu, minimum yağ sıcaklığı ve emisyon değerleri belirlenir. Daha sonra cihaz motor yağ sıcaklığını ölçmeye başlar. Eğer motor yağ sıcaklığı belirlenen değerde değilse ‘Motoru çalışma sıcaklığına getirin’ diye uyarı verir.
- Motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra emisyon testi otomatik olarak başlar ve hücrelerde değerler

gözüktür. Motor yağ sıcaklığının gözüktüğü hücrede bu sefer motor devri görülmeye başlanır. CO, CO₂ ve HC emisyon değerleri ppm (milyonda bir partikül) olarak verilir. Lambda, motora alınması gereken teorik hava-yakıt miktarının motora alınan gerçek hava-yakıt miktarına oranına denir. Hava-yakıt karışımının kimyasal olarak tam yandığı orana Lambda=1 denir ve lambdanın 1 veya 1'e yakın değerlerde olması istenir. Lambda değeri 1'den küçükse karışım zengin, 1'den büyükse karışım fakirdir.

Deneylerden önce test cihazı yetkili firmaya kalibre ettirilerek, bakımı yapıldı. Testler için öncelikle manyetik alan cihazsız aracın emisyon testleri yapıldı ve yeni teste geçmeden önce test cihazının kombine filtresi temizlendi. Manyetik alan cihazı karbüratöre en yakın konuma yerleştirildikten sonra, cihazın kullanım broşüründe belirtildiği şekilde yaklaşık olarak 100 km mesafe alınarak motorun cihazlı çalışmaya alışması sağlandı. Mıknatıslar lastik malzemeden yapılmış yakıt borusu üzerine takıldıktan sonra iki mıknatıs arası mesafe 0.8 cm olarak ölçülmüştür. Manyetik alan cihazı takılı aracın emisyon testine geçmeden önce kombine filtre yenisi ile değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Cihaz takıldıktan sonra egzozdan normalden fazla miktarda kurum atıldığı gözlemlenmiştir.

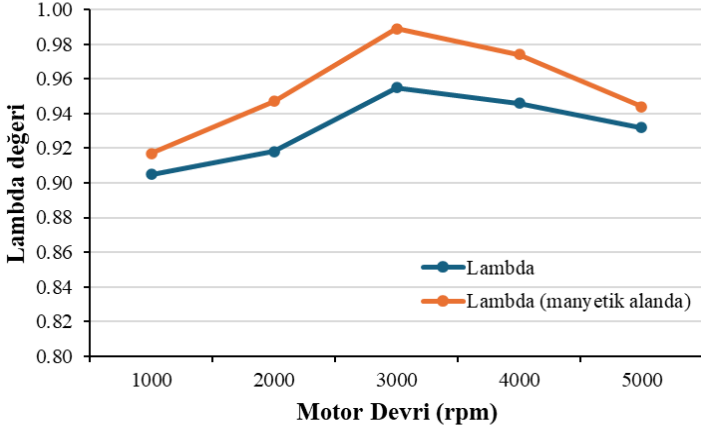
4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Egzoz emisyonu testleri yapılmadan önce manyetik alan cihazı takılı olmayan aracın emisyon ve lambda değerleri motor devrine bağlı olarak ölçülmüştür. Daha sonra araca manyetik alan cihazı takılarak 100 km kadar mesafe alındıktan sonra motor devrine bağlı yakıt tüketimi, emisyon ve lambda değerleri ölçülerek ilk durumdaki değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 16. Motor devrine göre yakıt tüketim değeri değişimleri

Deneyler esnasında motorun yakıt tüketimi değeri l/100km biriminden Şekil 16'da verilmiştir. Yakıt tüketim grafiği istatistiki olarak önemli sayılmayacak şekilde değişiklik göstermiştir. Motordan beklenildiği şekilde rölantide tüketim değeri 10 litrenin üzerindeyken motor devri normal çalışma aralığına (2000-4000 rpm) kadar 8 litre civarına düşüş sergilemiştir. Motorun güç ihtiyacı arttıkça devir artırılması gerektiğinden yakıt tüketim değeri de artış sergilemiştir. Manyetik alan cihazının takılı olduğu deneylerde yakıt tüketim değeri az da olsa düşüş sergilemiş fakat bu düşüş motorun performansını etkilemeyecek düzeyde kalmıştır.

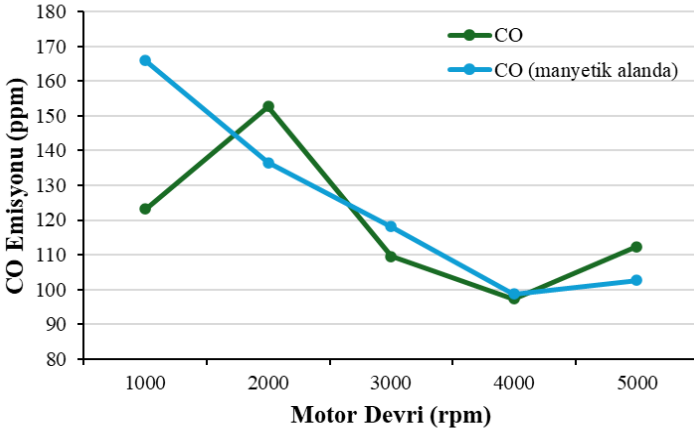


Şekil 17. Motor devrine göre lambda değeri değişimleri

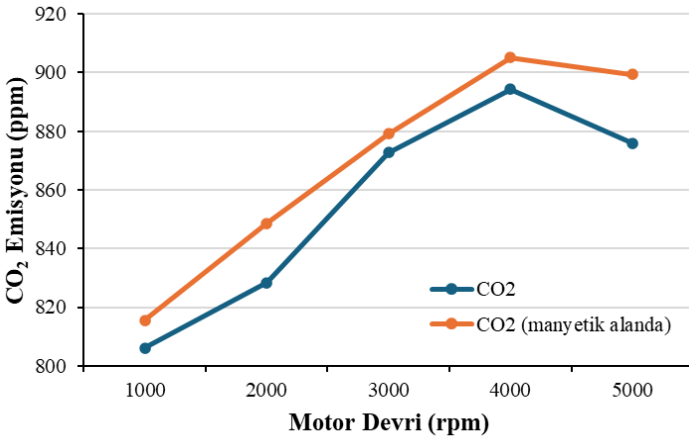
Manyetik alan cihazlı ve manyetik alan cihazının takılı olmadığı motorun emisyon ve lambda değerlerinin karşılaştırılması Şekil 17’deki grafikte görülmektedir. Yapılan karşılaştırmalar içerisinde pozitif yönde en fazla değişiklik lambda değerinde olmuştur. Rölantide lambda değeri cihazın takılı olmadığı normal durumda 0.905 iken manyetik alan cihazı ile bu değer 0.917’ye yükselmiştir. Genel olarak lambda değerinde %3 civarında artış olmuştur. Hem cihazsız hem de cihazlı testlerde lambda değeri 3000–4000 rpm aralığında maksimum değere ulaşmıştır. Maksimum lambda değeri cihazsız 0.96 iken cihazlı da bu değer yaklaşık olarak 0.99’a kadar ulaşmıştır. Bu da cihaz takılı iken motora alınan hava-yakıt oranının (cihazsız değerlere göre) teorik orana daha yakın olduğunu gösterir. Motor devri arttıkça lambda değeri iki testte de düşmüştür, cihazın takılı olduğu durumdaki düşüş oranı daha fazladır. Lambda değerinin sonuçları Demirtaş ve Koca (2021) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla benzer olmasına karşın düşük değerler sergilemiştir.

CO emisyonları rölantide manyetik alan cihazın takılı olduğu durumda %30 civarında artış sergilerken devir arttıkça CO emisyonları %10 civarında düşmüştür (Şekil 18). Cihazın takılı olmadığı normal durumda rölantiden 2000 devre

kadar CO emisyonu artmakta, 2000 devirden sonra düşüş göstermektedir. CO emisyonu minimum değerine cihazsız da 3000-4000 devir aralığında ulaşırken cihazlı da devir arttıkça CO emisyonu düşmektedir. Deney sonuçlarına göre manyetik alan cihazının yakıt moleküllerinin tam olarak yandığını ifade eden CO emisyonları açısından istenilen veya beklenen etkiyi yapmadığı yorumu yapılabilir.

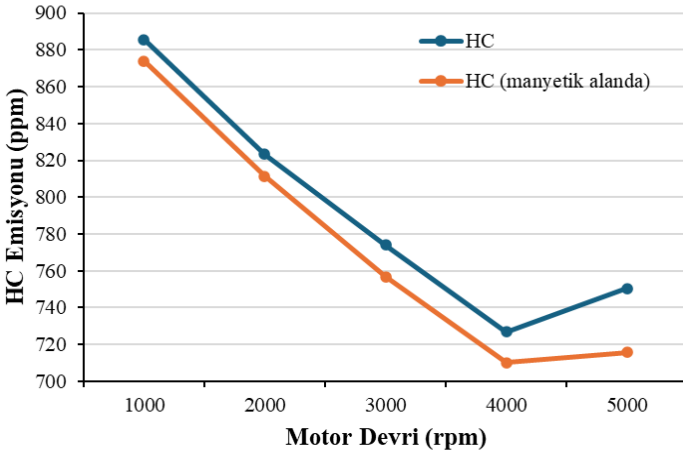


Şekil 18. Motor devrine göre CO değeri değişimleri



Şekil 19. Motor devrine göre CO₂ değeri değişimleri

CO₂ emisyonu tüm devir aralığında cihaz takılı olduğu motor deneylerinde normal duruma göre yüksek değerleri sergilemiştir. Cihazsız olarak yapılan testlerde CO₂ emisyonu düzgün olarak artmaktadır, 4000 devirde pik yaptıktan sonra düşmektedir. Cihazsız durumdaki CO₂ emisyonun maksimum değeri 894.3 ppm iken manyetik alan cihazlı da 905.1 ppm'dir. Bu da manyetik alan cihazının takılı olması durumunda motordaki yanma reaksiyonlarının cihazsızına göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Demirtaş ve Koca (2021) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi CO₂ emisyonu değerleri manyetik alan uygulamasında düşüş sergilemiştir.



Şekil 20. Motor devrine göre HC (ppm) değeri değişimleri

Şekil 20'de manyetik alan cihazın takılı olduğu ve olmadığı durumlardaki HC emisyonlarında görüldüğü gibi belirgin bir vardır. Her iki değerde motor devri arttıkça HC emisyonu değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Cihazlı ve cihazsız durumlarda HC emisyonları değeri rölantide 874 ve 885.5 ppm, 5000 d/d'da 715.7 ve 750.5 ppm değerlerindedir. Manyetik alan cihazının takılı olması durumunda motorun egzozundan salınan yanmamış yakıt moleküllerinin %5'ten fazla daha az HC emisyonu salındığı görülmektedir. Bu çalışmanın HC emisyonu sonuçları Swaminathan (2005) tarafından yapılan

çalışmada belirtildiği gibi manyetik kuvvet alevin tabanına ve kenarlarına temiz hava beslemesini artırarak daha kısa alev uzunluklarına neden olduğu ve HC emisyonlarını azalttığı sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar sergilemiştir.

5. ÖNERİLER

Gerek emisyonlarla ilgili dünyadaki yasal yaptırım ve düzenlemeler gerekse dünya petrol kaynakları üreticilerinin uyguladıkları politikalar sonucu, petrol fiyatlarının artmasına bağlı olarak dünya ve Türkiye üzerindeki sonuçlarının tartışması yapılmaktadır. Petrol fiyatlarının 30 \$ seviyelerinden aniden 50 \$ seviyelerine çıkmasında değişik nedenler ileri sürülmektedir. Bunlardan biri petrol kaynaklarının ve üretiminin giderek azalması buna karşılık petrol tüketiminin artması ve diğer sebep ise ABD'nin dünyada petrol havzalarıyla ilgili siyasi yaptırımlarıdır. 2 Ağustos 2005 tarihli haber sayfalarında Dünya petrol piyasasının en büyük üreticisi Suudi Arabistan'da Kral Fahd'ın ölmesi ve ABD'deki rafinerilerde yaşanan bazı sorunlar nedeniyle petrol fiyatları rekor kırmıştır. ABD ham petrolü 62.3 dolara yükselerek yeni zirvesine ulaşırken, Kuzey Denizi petrolü de 60.79 dolarla rekor düzeye çıkmıştır (Anonim-i, 2005).

Deney sonuçları incelendiğinde manyetik alan cihazı takılı iken en fazla değişiklik lambda değerinde olmuştur. Normalde lambda değeri 0.9-0.96 aralığında değişmekte iken cihaz takıldıktan sonra lambda değeri 0.92 ile 0.99 aralığında değişmeye başlamıştır.

Emisyon değerlerinde önemli bir değişiklik olmamasına rağmen değerlerdeki küçük kıpırdanmalar hep olumlu yönde olmuştur. Buradan da bu ve buna benzer cihazların egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimlerini azaltıcı potansiyele sahip oldukları, fakat bu tür cihazlarla daha fazla çalışma yapılarak verimliliklerinin artırılması sağlanmalıdır.

Sonraki çalışmalarda infrared kameralar kullanılarak manyetik alandan geçen yakıttaki durum değişiklikleri

görülebilirse çalışmalar için daha faydalı olabilir. Bundan başka yakıtın daha fazla manyetik alana maruz kalması sağlanarak uzun süre manyetik alanda kalan yakıtın emisyonlar üzerinde etkisi olup olmadığı test edilebilir, bunun için karbüratörün yakıt giriş hortumu manyetik özelliğe sahip olarak imal edilebilir.

Ayrıca manyetik alan şiddeti değiştirilerek de manyetik alan şiddetinin değişmesinin emisyonlara etkiler karşılaştırılabilir.

Katalitik konvertörlü araçlarda egzoz manifolduna da manyetik alan yerleştirilerek sadece emisyonlara etkisi araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abd-Alla, G.H., Soliman, H.A., Abd-Rabbo, M.F. 2001. Effect of Diluent Admission and Intake Air Temperature in Exhaust Gas Recirculation on The Emissions of an Indirect Injection Dual Fuel Engine, *Energy Conversion and Management* 42 (1033-1045).
- Abu-Hamdeh, N.H. 2003. Effect of Cooling The Recirculated Exhaust Gases on Diesel Engine Emissions, *Energy Conversion and Management* 44 (3113-3124).
- Anonim-a, 2004. <http://www.oilreportmarket.org.>, Erişim tarihi: 16.04.2006.
- Anonim-b, 2022. Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu 2021, Türkiye Petrolleri anonim Ortaklığı, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı., Erişim tarihi: 25.06.2023.
- Anonim-c, 2003. Ford Otosan Teknik Eğitim Kitabı, İstanbul., Erişim tarihi: 15.10.2005.
- Anonim-d, 2000. OVLT 3040 Kullanma Kitabı, Ankara., Erişim tarihi: 15.10.2005.
- Anonim-e, 2004. <http://www.ecomagnets.com/motoflow.htm.>, Erişim tarihi: 15.10.2005.
- Anonim-f, 2024. Emission Standards, <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>, Erişim tarihi: 11.6.2006.
- Anonim-g, 2004. <http://www.flmagicpower.com.>, Erişim tarihi: 10.11.2005.
- Anonim-h, 2004. <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml.>, Erişim tarihi: 18.8.2006.
- Anonim-i, 2005. <http://www.ntvmsnbc.com.tr.>, Erişim tarihi: 15.12.2005.
- Arıkan, Y., Dokumacı, O., Cısdık, İ. 2005. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı 1. Çevre ve Ormancılık Şurası Genel Sekreterliği İklim Değişikliği Alt Komisyon Raporu, Ankara.
- Arslan, R., Sürmen, A. 2004. Otomotiv Elektroniği, Alfa Yayınevi, İstanbul.

- Aslan, H.E. 1998. Taşıt Motorlarında Araştırma ve Deney Teknikleri, İTÜ yayınları, İstanbul.
- Al-Baghdadi, M.A.R.S. 2004. Effect of Compression Ratio, Equivalence Ratio and Engine Speed on The Performance and Emission Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Hydrogen as a Fuel, Renewable Energy 29 (2245-2260).
- Aydın, K., Bulca, A., Özcanlı, M., Yücel, H.L. ve Balo, F. 2003. Dizel Motorlarda Manyetik Alan Cihazının Motor Performansı ve Yakıt Ekonomisine Etkisi, VIII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, p. 138-144, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bursa, Türkiye.
- Balcı, M., Borat, O., Sürmen, A. 1987. Benzin Motorlarında Yakıt Ekonomisi, cilt-1 sayı-1, Gazi Üniversitesi T.E.F. Dergisi, Ankara.
- Balo, F. 2002. İçten Yanmalı Motorlarda Manyetik Alanın Yakıt Ekonomisine ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Bayrak, M. 2002. Temel Elektrik ve Manyetizma, 1. Baskı, Atlas yayınevi, İstanbul.
- Chala, G. T., Abd Aziz, A. R., Hagos, F. Y. 2018. Natural Gas Engine Technologies: Challenges and Energy Sustainability Issue. Energies, 11(11), 2934.
- Çelik, M.B., 1999. Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü., Doktora Tezi, Ankara.
- Çini, M.A. ve Demir, M.E. 2015. A Survey on The Effects of Service Quality on Customer Satisfaction And Loyalty, Proceedings of International Academic Conferences (No. 3105160), International Institute of Social and Economic Sciences.
- Demir, M.E. ve Çini, M.A. 2012. Relationship of Job Satisfaction With Organizational Commitment: Example

- Event Study in Konya Banking Sector, International Journal of Multidisciplinary Thought, Vol.02, N:3, ss.59-64
- Demir, M. E. ve Çini, M. A. 2015. The Importance of State Support in Entrepreneurship: A Sample of Konya Province, Proceedings of International Academic Conferences (No. 3105199), International Institute of Social and Economic Sciences.
- Demirtaş, Ö.F. ve Koca, T. 2021. Benzine Uygulanan Manyetik Alanın Egzoz Emisyonlarına Etkileri. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(14), 77-87.
- Edminister, J.A. 2000. Teori ve Problemlerle Elektromanyetik, 2. baskı, Nobel yayınevi, Ankara.
- EPA 1999. EPA Evaluation of the Inset Aftermarket Retrofit Device, EPA420-R-99-016, Michigan, USA.
- Erdoğan, M.E. 1976. Magnetohidrodinamik, İTÜ yayınları, İstanbul.
- Faris, A.S., Al-Naseri, S.K., Jamal, N., Isse, R., Abed, M., Fouad, Z., Kazim, A., Reheem, N., Chaloob, A., Mohammad, H., Jasim, H., Sadeq, J., Salim, A. ve Abas, A. 2012. Effects of Magnetic Field on Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Two-Stroke Engine, Energy Procedia, Vol.18, p. 327-338.
- Govindasamy, P. ve Dhandapan, S. 2007. Experimental Investigation of Cyclic Variation of Combustion Parameters in Catalytically Activated and Magnetically Energised Two-stroke SI Engine, Journal of Energy and Environment, Vol. 6, p. 45-59.
- Hashizume, T., Miyamoto, T., Akagawa, H., Tsijimura, K. 1999. Emission Characteristics of a MULDIC Combustion Diesel Engine: Effects of EGR, JSAE Review 20 (421-438).
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, 4th Assessment Report.

- Işöksoluğu, M.A. 1993. Benzin Motorlarında Yakıt Düzenleyici Cihazın Egzoz Emisyonu ve Yakıt Tüketimine Etkisi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Jones, J.B. ve Dugan, R.E. 2003. Mühendislik Termodinamiği, Beta yayınevi, İstanbul.
- Köse, F. 2002. Yakıtlar ve Yanma, yayınlanmamış ders notları, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Kusaka, J., Okamoto, T., Daisho, Y., Kihara, R., Saito, T. 2000. Combustion and Exhaust Gas Emission Characteristics of a Diesel Engine Dual-Fueled with Natural Gas, JSAE Review 21 (489-496).
- Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M. 1998. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Lancashire, R.J. 2015. Lecture-3: Hydrogen and its compounds, http://wwwchem.uwimona.edu.jm/courses/CHEM1902/IC10K_MG_hydrogen.html, Erişim tarihi: Eylül 2024.
- Mckay, B. 2024. Countries With The Highest Carbon Footprint 2024, <https://www.greenmatch.co.uk/blog/countries-with-the-highest-carbon-footprint>.
- Mulholland, E. 2022. Europe has led the way for vehicle emission standards for decades, <https://x.com/EamonnMul/status/1589585057060380675>
- Mwanzo, N. 2021. The Vehicles Campaign, <https://www.unep.org/sw/node/603>.
- Özdamar, İ., Yelken, B. 1996. Benzin Motorları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Özbilen, Ş. 2003. Kaynakların Paylaşımı ve II. Körfez Savaşı, Finans Dünyası.
- Salman, S., Çınar, C., Sekmen, Y. 2003. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Tek Noktadan Yakıt Enjeksiyon ve Karbüratör Sistemlerinin Performansa Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma, Politeknik Dergisi, Cilt:6 Sayı:1 s:391-395.

- Sasaki, S., Sawada, D., Ueda, T., Sami, H. 1998. Effects of EGR on Direct Injection Gasoline Engine, *JSAE Review* 19 (223-228).
- Selim, M.Y.E. 2003. Effect of Exhaust Gas Recirculation on Some Combustion Characteristics of Dual Fuel Engine, *Energy Conversion and Management* 44 (707-721).
- Singh, S., Kulshrestha, M. J., Rani, N., Kumar, K., Sharma, C. ve Aswal, D. K. 2023. An overview of vehicular emission standards. *Mapan*, 38(1), 241-263.
- Swaminathan, S. 2005. Effects of magnetic field on micro flames. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.
- Tanyeri, B. 2010. Yakıt düzenleyici cihazın yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu üzerindeki etkisinin deneysel incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (269988).
- Turns, S. R. 1996. Introduction to combustion, Vol. 287, p. 569, New York, NY, USA: McGraw-Hill Companies.
- Utek, M. 2017. Avrupa Emisyon Standartları, <https://www.teknikbelgeler.com/2016/makale.php?id=40>, Erişim tarihi: 15.05.2024.
- Uzunsoy, E. 1998. Manyetik Alan Etkisine Maruz Kalmış Benzinin Motor Performansı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ünalı, M. 2006. Benzinli araçlarda manyetik alan etkisindeki hava/yakıt karışımının emisyonlara etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (185765).
- Ünalı, M. ve Kahraman, A. 2009. Manyetik Alana Maruz Kalmış Hava-Yakıt Karışımının Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Makine İhtisas Dergisi*, ISSN:1305-8087, sayı:69.
- Zheng, M., Reader, G.T., Hawley, J.G. 2004. Diesel Engine Exhaust Gas Recirculation-a Review on Advanced and Novel Concept, *Energy Conversion and Management* 45 (883-900).