



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

**MOTORLU KARA TAŞITLARINDA KARBON DİOKSİT VE
HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ
VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞ İLE SAĞLANABİLECEK
POTANSİYEL EMİSYON AZALTIMLARI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Mehmet Atakan TOKGÖZ

Haziran-2019



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

**MOTORLU KARA TAŞITLARINDA KARBON DİOKSİT VE
HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ
VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞ İLE SAĞLANABİLECEK
POTANSİYEL EMİSYON AZALTIMLARI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Mehmet Atakan TOKGÖZ

**Tez Danışmanı:
Doç.Dr. Özgür Aktaş**

Haziran-2019

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrencisi olan Mehmet Atakan TOKGÖZ'ün hazırladığı ve jüri önünde savunduğu "Motorlu kara taşıtlarında karbon dioksit ve hava kirletici emisyonlarının tarihsel gelişimi ve elektrikli araçlara geçiş ile sağlanabilecek potansiyel emisyon azaltımları" başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

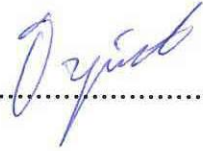
JÜRİ ÜYELERİ

Tez Danışmanı:

Doç.Dr. Özgür Aktaş

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

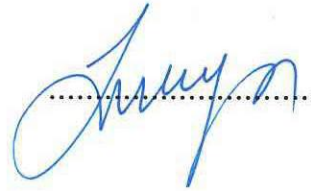
İMZA



Üyeler:

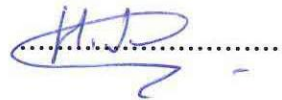
Prof. Dr. Erkan Şahinkaya

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Hasan Volkan Oral

Kurumu: İstanbul Aydın Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 24.06.2019

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Yüksek Lisans tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

1. Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
2. Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
3. Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dâhil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
4. Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Mehmet Atakan TOKGÖZ

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu çalışmada motorlu kara taşıtlarında karbon dioksit ve hava kirletici emisyonlarının tarihsel gelişimi ve elektrikli araçlara geçiş ile sağlanabilecek potansiyel emisyon azaltımları incelenmiştir.

Tez süreci boyunca desteklerini esirgemeyen ve yönlendiren kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Özgür Aktaş'a, özellikle teşekkür ederim.

Attığım her adımda arkamda olan ve beni her daim destekleyen babam Cüneyt Tokgöz, annem Ayşe Ülfet Tokgöz, ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2019

Mehmet Atakan TOKGÖZ

İÇİNDEKİLER

ONAY	i
ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. KÜRESEL ISINMA VE TÜRKİYE BAZINDA SERA GAZI EMİSYONLARI.....	4
2.1 TÜRKİYE’DE SERA GAZI EMİSYONLARI.....	4
2.2 TÜRKİYE’DE KÜRESEL ISINMA ETKİLERİ.....	7
3. TAŞIT EMİSYONU KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLER	11
3.1 HAVA KİRLETİCİLERİ VE ETKİLERİ.....	11
3.2 TAŞITLARDAN KAYNAKLI OLUŞAN HAVA KİRLETİCİLERİ.....	14
4. KARBONDİOKSİT VE HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARINDA ARAÇLARIN ETKİSİ	18
4.1 TAŞIT EMİSYONLARININ GENEL EMİSYONLAR İÇERİSİNDE OYNADIĞI ROL	18
4.2 FARKLI YAKIT TÜRLERİNİN EMİSYON KARŞILAŞTIRMASI	20
4.2.1 Dizel.....	23
4.1.2 Benzin	32
5. TAŞIT EMİSYONLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ	35
5.1 FARKLI ÜLKELERİN EMİSYON STANDARTLARI	35
5.1.1 Amerika Birleşik Devletleri Standartları	35
5.1.2 Avrupa Birliği Standartları.....	48
5.1.3 Çin Standartları	52
6. BÖLÜM: HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	54
6.1 GENEL TANIMLAR	54

6.2 HİBRİT ARAÇLARDA İÇTEN YANMALI MOTOR SEÇİMİ.....	55
6.3 HİBRİT ARAÇ ÇEŞİTLERİ VE SINIFLARI	60
7. HİBRİT ARAÇLARA GEÇİŞLE ELDE EDİLECEK EMİSYON	
AZALTIMLARI.....	70
7.1 TEZ KAPSAMINDA YAPILAN EMİSYON TESTLERİ	70
7.1.1 Metot ve yöntem.....	70
7.1.2 Test sonuçları	73
7.2 TEST SONUÇLARININ LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	74
7.3 HİBRİT ARAÇLARLA CO ₂ EMİSYON KAZANIMLARI.....	79
7.4 TAM ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞLE SAĞLANACAK EMİSYON KAZANIMLARI	83
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
REFERANSLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	90

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

CO₂ : Karbon dioksit

CFC : Kloro florokarbon

CH₄ : Metan

O₃ : Ozon

N₂O : Di azot monoksit

CO : Karbon monoksit

HC : Hidro karbon

NO_x : Azot oksitler

SO₂ : Kükürt dioksit

PM : Partikül madde

PN : Partikül sayısı

AÇA : Avrupa Çevre Analizi

EPA : Environmental Protection Agency

CARB : California Air Resources Board

TLEV : Transitional Low Emission Vehicles

LEV : Low Emission Vehicles

ULEV : Ultra Low Emission Vehicles

SULEV : Super Ultra Low Emission Vehicles

ZEV : Zero Emission Vehicles

WLTP : Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure

FTP 75 : Federal Test Procedure

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.Sera Gazlarının Küresel Isınmaya Etkileri	2
Şekil 2.Sera Etkisinin Oluşum Mekanizması.....	3
Şekil 3.Türkiye'de sektörlere göre Sera Gazı Emisyonları	4
Şekil 4.Türkiye'deki Enerji Kaynaklarının yüzdesel dağılımı	5
Şekil 5.1990-2017 yılları arasında kişi başına düşen sera gazı emisyonu (CO ₂ eşdeğeri)	6
Şekil 6.1990 ve 2016 yıllarında Türkiye'de sektörlerin toplam sera gazı emisyon payları karşılaştırması	7
Şekil 7.Partikül madde oluşumuna sebep olan maddeler.....	17
Şekil 8.Partikül madde boyutlarının karşılaştırılması.....	17
Şekil 9.1990 ve 2016 yıllarında sera gazı emisyonlarının dağılımı.....	19
Şekil 10.1990-2017 yılları arasında ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (CO ₂ eşdeğeri)x	19
Şekil 11.New European Drive Cycle NEDC testinin hız profili	21
Şekil 12.Benzinli araçlarda araç yaşına ve kilometreye bağlı emisyon değerlerinde görülen artış.....	23
Şekil 13.Setan (Dizel) ve Oktan (Benzin) sayılarının yanma üzerine etkileri	24
Şekil 14.Dizel moleküler yapısı	26
Şekil 15.Dizel yakıtının yanma reaksiyonu	26
Şekil 16.Dizel enjektör yakıt püskürtme deseni	27
Şekil 17.Sıcaklığa bağlı NO _x oluşum eğrisi	28
Şekil 18.Dizel egzoz gazının bileşenleri	29
Şekil 19.Tamamen yanan ile tamamen yanamayan metan gazının kimyasal denklemleri.....	31
Şekil 20.Benzin yakıtının yanma reaksiyonu.....	32
Şekil 21.Benzinli araçlarda buji ile ateşleme ve kendiliğinden yanma	33
Şekil 22.Benzinli araçlarda lambda değerine bağlı katalitik dönüştürücü verimliliği	34

Şekil 23. LEV III standardı için yıllara bağlı NMOG+NO _x limitleri	47
Şekil 24. Fuel cell çalışma prensibi	55
Şekil 25. Elektrikli motorların hızlarına bağlı yüzdesel olarak güç- tork haritası	56
Şekil 26. Elektrik motorlarının gerçek güç-tork eğrisi	57
Şekil 27. Dizel motorlar için örnek güç tork eğrisi.....	58
Şekil 28. Aynı aracın dizel motor ve benzinli motor varyantının güç tork eğri farkı.	58
Şekil 29. Paralel hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diyagramı	62
Şekil 30. Seri hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diyagramı	64
Şekil 31. Çift mod hibrit sistemleri araç şeması	65
Şekil 32. Çift mod hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diagramı	66
Şekil 33. Hibrit araçlarda bulunan rejeneratif frenleme ve “Stop-Start” sistemlerinin çalışma prensibi.....	68
Şekil 34. WLTP test çevrimi.....	71
Şekil 35. NEDC test çevrimi ile WLTP(WLTC) test çevriminin karşılaştırması.....	72
Şekil 36. FTP75 test çevriminin hız profili, test çevrimini oluşturan bölümleri	73
Şekil 37. İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun hidrokarbon emisyonları açısından karşılaştırılması.....	75
Şekil 38. İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun karbon monoksit emisyonları açısından karşılaştırılması.	77
Şekil 39. İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun NO _x emisyonları açısından karşılaştırılması.	78

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Benzin ve LPG yakıtlarının şehir içi emisyon testi karşılaştırması	21
Tablo 2. Benzin ve LPG yakıtlarının otoyol emisyon testi karşılaştırması	22
Tablo 3. FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 1 Standartları (g/mil)	37
Tablo 4. FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 2 Standartları (g/mil)	38
Tablo 5. FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 3 Standartları	40
Tablo 6. FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 3 Standartları	40
Tablo 7. EPA ve CARB Standartlarında araç sınıflandırma kriterleri	41
Tablo 8. FTP 75 test çevrimine göre binek ve hafif ticari araçlar için	43
Tablo 9. FTP 75 test çevrimine göre orta ağırlık hizmet araçları için CARB Tier 1/LEV I Standartları	44
Tablo 10. FTP 75 test çevrimine göre binek ve hafif ticari araçlar için LEV II Standartları	44
Tablo 11. FTP 75 test çevrimine göre orta ağırlık hizmet araçları için 120,000 mil süresince geçerli LEV II Standartları	45
Tablo 12. FTP 75 test çevrimine göre 150,000 mil süresince geçerli LEV III Standartları	46
Tablo 13. FTP 75 test çevrimine göre LEV III partikül madde limitleri	47
Tablo 14. LEV III partikül madde limitleri devreye alınma planı	48
Tablo 15. Binek araçlar için EU emisyon standartları	49
Tablo 16. Benzinli hafif ticari araçlar için EU emisyon standartları	50
Tablo 17. Dizel hafif ticari araçlar için EU emisyon standartları	51
Tablo 18. Aynı emisyon seviyesinde, Çin ve Avrupa standartlarının limitleri –Pozitif ateşlemeli motor/ benzinli motor	52
Tablo 19. Aynı emisyon seviyesinde, Çin ve Avrupa standartlarının limitleri – sıkıştırma ateşlemeli motor/ dizel motor	53
Tablo 20. Çin emisyon standartları ve devreye alınma tarihleri (PI: pozitif ateşlemeli motor CI: sıkıştırma ateşlemeli motor)	53

Tablo 21. Farklı motor boyutlarında araçların WLTP ve FTP 75 testlerinde emisyon karşılaştırması	74
Tablo 22. Nisan 2019 itibariyle Türkiye satılan binek araç CO2 değerleri.....	80
Tablo 23. Dizel ve benzin kullanan araçların EU6 emisyon limitleri	83

ÖZET

Sanayi devrimi yıllarında ortaya çıkan büyük enerji ihtiyacına çözüm olarak ortaya çıkan fosil yakıtlar, zaman içerisinde yeni alternatif yakıt türleri ortaya konulmuş olsa bile, günümüzde hala birincil yakıt kaynağı olarak kullanılmaktadır. 19. Yüzyılın sonlarına doğru fosil yakıt kullanımının riskleri konusunda farklı çalışmalar yapılmış ve fosil yakıt kullanımının sonucu ortaya çıkan karbon dioksit gazının küresel ısınmayla olan bağlantıları ortaya konmuş ve yanma sonucu ortaya çıkan hidrokarbon, karbon monoksit, azot oksit gibi hava kirleticilerin riskleri fark edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle taşıt emisyonları kaynaklı hava kirleticiler tanıtılmış, hava kirleticisi emisyonları ile sera gazlarının farkları ortaya konarak hava kirleticisi gazlar ile CO₂ gazının iklim değişikliği ve hava kirliliği yaratmaları açısından riskleri açıklanmıştır. Devamında Dünyada farklı bölgelerinde geçerli olan farklı, yasal emisyon düzenlemeleri hakkında bilgi verilerek, tarihsel gelişimleri ele alınmıştır. Çalışmanın odağında fosil yakıtların büyük kısmını oluşturan benzin ve dizel yakıt türleri ele alınmıştır. Bu iki yakıt türünün yanması sonucu ortaya çıkan farklı seviyelerdeki emisyonlar karşılaştırılarak, Türkiye’de bu iki yakıt tipini kullanan araçlar tarafından doğaya salınan kirleticisi gazlar ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık bir değerlendirmesi yapılmıştır. Konu kapsamında, dünyanın farklı bölgelerinde geçerli farklı emisyon standartlarına ait emisyon testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonuçlarında %26 ile %56 arasında değişen CO₂ emisyon kazanımları ve diğer hava kirleticilerinin şehir içi ve şehir dışı emisyon değerlerinin arasındaki fark ortaya konmuştur. Son olarak, ülkemizde bulunan taşıt piyasasında hibrit araçların yüzdesel olarak farklı paylarda yer almasıyla birlikte bu gelişmenin hava kirleticilerine ve CO₂ emisyonlarına etkisinin nasıl değişeceği ortaya konulmuştur. Hibrit ve elektrikli araçlara geçişle özellikle şehir içi kullanımda, hava kirleticisi emisyonlarında önemli azalmalar olabileceği tespit edilmiş ve kazanım boyutları ton cinsinden ifade edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hibrit araç, Elektrikli araç, Araç emisyonları, Hava kirleticisi emisyonları, CO₂ emisyonları

ABSTRACT

Energy has become one of the biggest needs of the whole world since the industrial revolution that took place in 1800s. Fossil fuels, which have emerged as a solution to this big energy need are still used as primary fuel source even though alternative fuel sources has been found in time. Towards the end of the 19th century, various studies have been conducted on the risks of the fossil fuels and the link between carbon dioxide gas from fossil fuel and global warming have been shown.

In this study, air pollutants emerging from vehicle emissions are introduced, the differences between air pollutant emissions and greenhouse gases have been revealed and the risks of air pollutant gases and CO₂ gas have been explained in terms of climate change and air pollution. Moreover, historical developments about regulations of emissions are discussed by giving information about the different legal regulations that are valid in different parts of the world. The focus of this study is on gasoline and diesel fuel types, which are the major fossil fuels used in vehicles. The level of emission resulting from the combustion of these two fuels is compared and the air pollutant gases and CO₂ emissions caused by vehicles that use these two type of fuels in Turkey are evaluated. Additionally real life emission tests from different emissions standarts were conducted. Based on these test results CO₂ emissions were reduced by a range of %26 to %56 and difference between urban and extra urban emissions of other pollutants were interpreted. Finally, it has been revealed how the impact of this development on air pollutants and CO₂ emissions will change as hybrid vehicles take part in different percentages in the vehicle market in Turkey. The study showed that some of the air pollutant emissions could be significantly decreased particularly in the city centers by changing to hybrid or full electrical vehicles. Air pollutant emission reduction results were presented in terms of tonnes

Keywords: Hybrid vehicle, Electric vehicle, Vehicle emissions, Air pollutant emissions, CO₂ emission

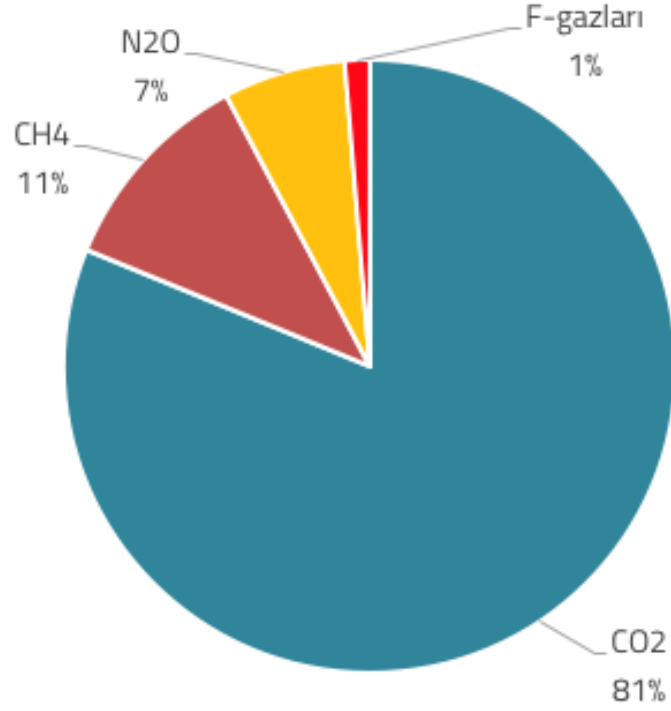
1. GİRİŞ

Endüstri devrimi ile birlikte dünyadaki gelişim doğrudan enerji üretimine ve kullanımına bağımlı hale gelmiştir. 1800lü yılların başında bu ihtiyaç daha çok kömür yakılması ile buhar gücü elde edilmesiyle giderilmeye başlansa da hızla gelişen teknolojiyle birlikte fosil yakıtlar dolaylı enerji kaynağı olmaktan çıkarak doğrudan enerji kaynağı olmuşlardır.

Yalnızca dolaylıdan ziyade doğrudan enerji kaynağı olmak haricinde, aynı zamanda fosil yakıtların işlenmeye başlanması ile daha rafine ve belirli ihtiyaçlara yönelik, fosil yakıtların türevleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle 2.Dünya savaşı sırasında gerçekleşen teknolojik gelişmeler, kömür yerine doğalgaz benzin ve türevlerine ihtiyacı fazlasıyla arttırmıştır. 19. Yüzyılın son yıllarında fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan gazların, iklim değişikliğinde büyük rol oynadığı ortaya konmuştur ve bu gazlara “Sera Gazı” ismi verilmiştir. Ancak 2. Dünya savaşı süresince herhangi bir önem verilmeyen bu doğa kirliliği, savaşın bitmesiyle birlikte önem kazanmaya başlamış, sera gazlarının üzerine yapılan çalışmalar artmaya başlamıştır.

Burada önemli bir noktaya dikkat çekmek gerekiyor, sera gazı olarak isimlendirilen gazlar hangileridir ve hangi özellikleri nedeniyle bu adlandırmayı alıyorlar. Sera gazı bir çatı terim olup, Karbon dioksit (CO_2), Metan (CH_4), di Azot mono oksit (N_2O) ve kloro floro karbon (CFC 11 CFC 12) gazlarından oluşur. Ozon gazı da bir sera gazı olmasına rağmen, ikincil bir kirletici olması nedeniyle IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından kapsam dışında bırakılmaktadır. Şekil 1 de Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları görülebilir.

2016'da Sera Gazı Emisyonlarının Toplamdaki Payı

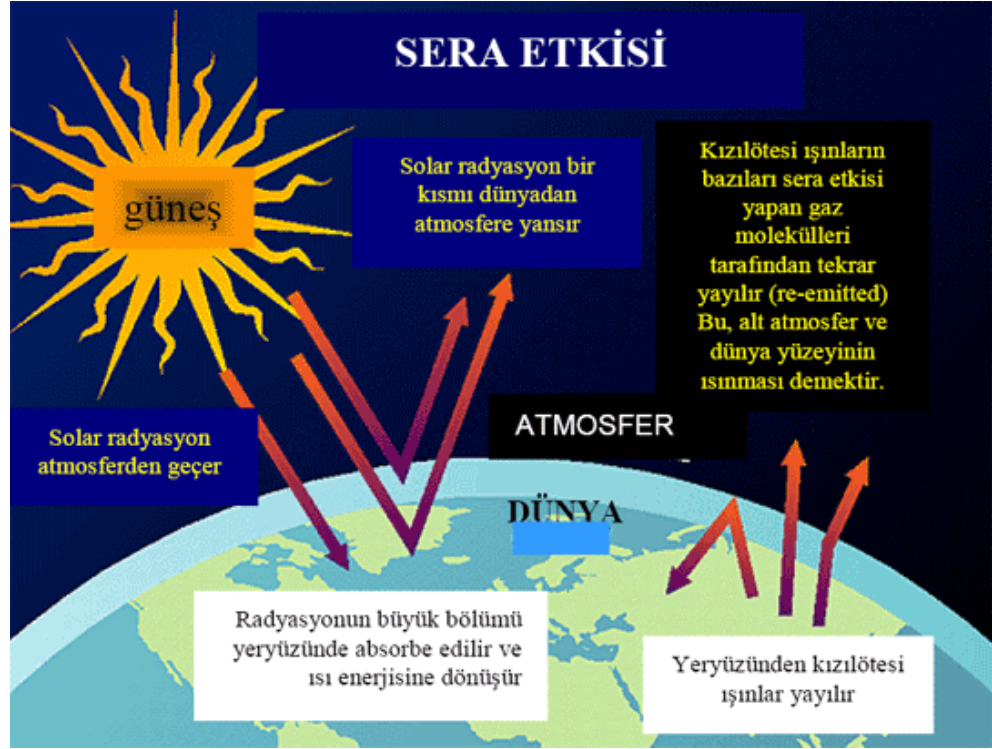


Şekil 1.Sera Gazlarının Küresel Isınmaya Etkileri

Sera gazları, Sera etkisine sebep olan gazlardır. Sera etkisinin en basit tanımı, Dünya üzerine düşen ışınların yeryüzüne çarptıktan sonra atmosferi edememesi sonucu Dünya'nın ortalama sıcaklığının artmasıdır. Bu mekanizmanın işleyişi ise şu şekilde olur, Güneş'ten gelen ve gözle görülemeyen kızılötesi ve morötesi (İnfr-red ve Ultraviyole) ışınlar, Dünyamıza ulaştıklarında, yeryüzüne çarparak yansır ve bu süreçte radyasyon yoluyla ısı sağlarlar. Yer yüzünden yansıyan ışınların bir kısmı atmosferde hali hazırda bulunan gaz kompozisyonuna çarparak yeryüzüne geri döner ve bu sayede Dünyamız ısınır.

Sera etkisi insanlardan bağımsız olarak Dünya'nın doğal dengesinde bulunan bir etkidir ve eğer Sera etkisi olmasaydı Dünyamızın ortalama sıcaklığı çok daha düşük olurdu. Sayısal olarak Dünyanın doğal durumundaki ortalama sıcaklığı 15°C civarındadır. NASA'nın verilerine dayanarak, eğer Sera etkisi hiç var olmasaydı Dünyanın sıcaklığı -18°C civarında olacağı tahmin ediliyor [1]. Bu bilgiler ışığında Sera etkisine ihtiyacımız olduğu açık bir şekilde görülebilir.

İnsanlık için endişe verici durum Sera etkisinin doğal olanın üzerine çıkarak atmosferde hapsolan ışınların miktarının ve dolaylı olarak Dünya'nın sıcaklığının artmasıdır. Bu durumun sebebi ise Şekil 2 de görüldüğü gibi, atmosferimizde kızılötesi ışınları tutan gazların ve moleküllerin sayısında görülen artıştır.

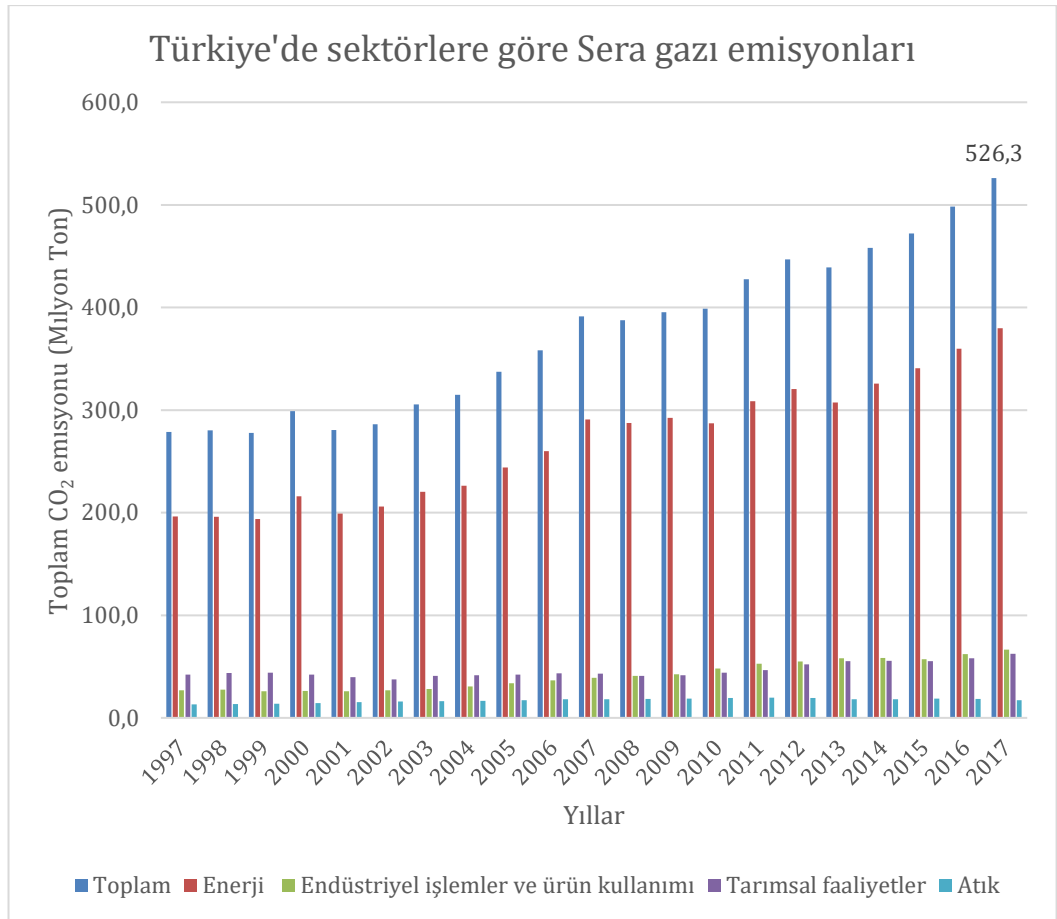


Şekil 2.Sera Etkisinin Oluşum Mekanizması

2. KÜRESEL ISINMA VE TÜRKİYE BAZINDA SERA GAZI EMİSYONLARI

2.1 Türkiye’de Sera gazı emisyonları

Ülkemizde sera gazı emisyonları, gelişme ve büyümeye bağlı olarak yıllar içinde artış göstermektedir. Şekil 3’te Türkiye’de yıllara göre ve sektörler özelinde Sera gazı emisyonları görülebilir. TÜİK’ten alınan verilere bakılarak Türkiye’nin sera gazı emisyonlarının seneler içerisinde istikrarlı bir artış gösterdiği ve bu artışta en büyük payın enerji üretimine ait olduğu görülebilir [2].



Şekil 3.Türkiye’de sektörlere göre Sera Gazı Emisyonları

Enerji üretimine bağlı emisyonların, enerji ihtiyacında görülen artışa bağlı olarak artması kaçınılmaz bir durumdur ancak enerji üretiminin Türkiye’nin genel sera gazı

emisyonları değerlendirmesinde oransal olarak artmasında, bu kalem altında değerlendirilen taşımacılık kaynaklı emisyonların artması ve tarımsal faaliyetler kaynaklı emisyonların azalması büyük rol oynamaktadır.



Şekil 4. Türkiye’deki Enerji Kaynaklarının yüzdesel dağılımı

Türkiye’de en fazla kullanılan fosil yakıt olan kömür, elektrik üretmede, ısınma ve sanayide kullanılmaktadır. Kömürü doğal gaz takip etmektedir. Kömür kullanılan fosil yakıtlarının %27’sini oluştururken, doğal gaz %24’ünü oluşturmaktadır. Doğal gaz da ısınma ve elektrik üretiminde kullanılmakta ve petrol ürünleri ise taşımada kullanılmaktadır (Şekil 4).

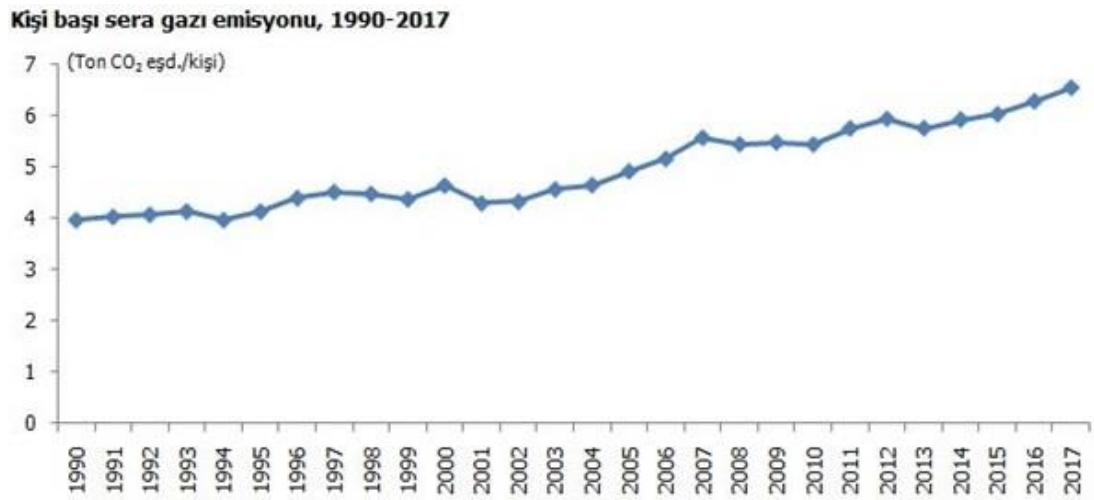
Türkiye, sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda küresel anlaşmalar imzalamış, ancak onaylamamıştır. Hidroflorokarbonları düzenlemek için Montreal Protokolü’ndeki Kigali değişikliğini henüz onaylamaması ve iklim değişikliği konusunda Paris anlaşmasını onaylamaması bu duruma örnektir.

TÜİK, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) yönergelerini izlemektedir ve emisyon envanterini derlemek için üretime dayalı sera gazı emisyonları verilerini

kullanmaktadır ve Nisan ayında yıllık olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) sunmuştur.

TÜİK'in hazırladığı rapora göre, 2017 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 526,3 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu envanterin en büyük payı %72,2 ile enerji kaynaklı emisyonlardır. Onları %12,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11,9 tarımsal faaliyetler ve %3,3 ile atık yönetimi takip etmektedir (Şekil 6).

TÜİK verilerine göre CO₂ eşdeğeri olarak toplam sera gazı emisyonunun 1990-2017 yılları arasında %140,1 artış gösterdiği görülmektedir. 1990 yılında kişi başına düşen CO₂ eşdeğer emisyonu 4 ton/kişi olarak hesaplanırken, 2017 yılında 6,6 ton/kişi olduğu görülmüştür. [2]

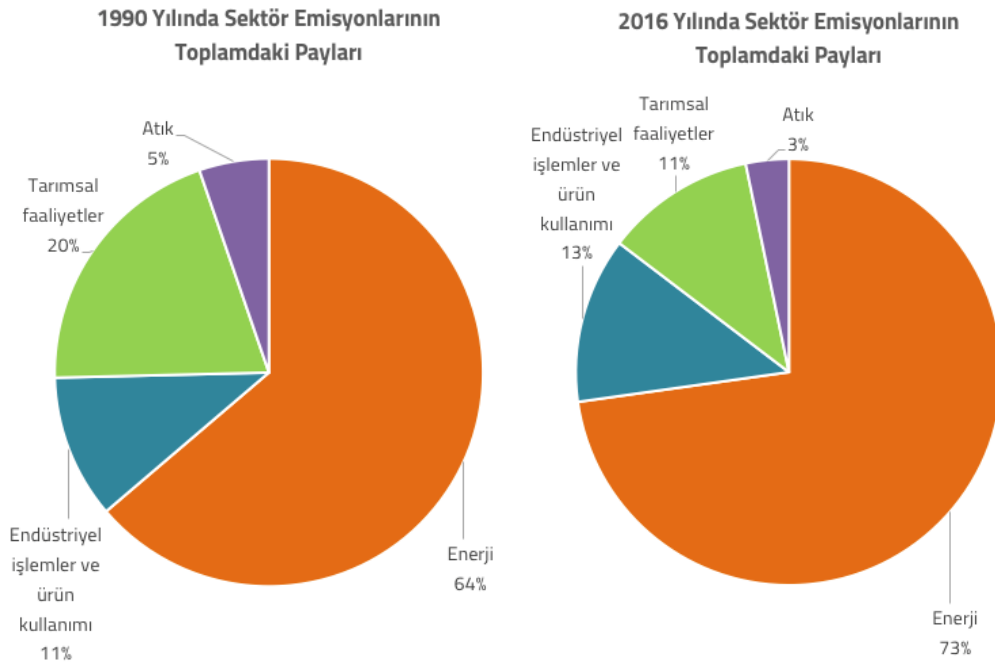


Şekil 5.1990-2017 yılları arasında kişi başına düşen sera gazı emisyonu (CO₂ eşdeğeri) [18]

Rapora göre 2017 yılında CO₂ emisyonlarının %34'ü elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %86,3'ü enerji, %13,4'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %0,3'ü ise tarımsal faaliyetler ve atıklardan kaynaklıdır. Atmosferde artan CO₂ miktarının %80-85'i yakıtlardan, geri kalanı ise solunum ya da organik maddelerin mikroskobik canlılar tarafından ayrıştırılmasından kaynaklanır. [8]

CH₄ emisyonlarının ise %62,3'ü tarımsal faaliyetler, %21,3'ü atık, %16,4'ü enerji, %0,03'ü ise endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı kaynaklı olduğu görülmüştür.

N₂O emisyon kaynaklarında en büyük payı %71 ile tarımsal faaliyetler alırken, bunu sırasıyla %15,1 ile atık yönetimi, %10,7 ile enerji ve %3,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı takip etmektedir [2]



Şekil 6.1990 ve 2016 yıllarında Türkiye'de sektörlerin toplam sera gazı emisyon payları karşılaştırması

2.2 Türkiye’de küresel ısınma etkileri

Küresel ısınma, atmosfere normalden fazla salınan karbondioksit, metan ve nitrit oksit gibi gazların sera etkisinin sonucunda, ortalama sıcaklıklardaki artıştır. Atmosferde karbondioksit ve diğer sera gazı seviyelerinin birikimi, sanayi devriminden bu yana hızla artmıştır. Fosil yakıt kullanımındaki artış, ormansızlaşma ve diğer insan faaliyetleri atmosferde sera gazı konsantrasyonlarının artmasına neden olmakta, ekonomik büyüme ile birlikte nüfus artışı da bu süreci hızlandırmıştır. [3]

Küresel ısınmanın dünyadaki etkileri, en yüksek tepe noktalarının iklim sistemindeki değişikliklerden, ekvatorдан kutuplara kadar dünyanın her yerinde hissedilir.

Kutuplardaki buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı bölgelerindeki toprak kayıpları bu değişikliklere örnek olarak verilebilir. Kuzey Kutup Denizi'ndeki buz kalınlığının geçen yıl yaz ve sonbahar boyunca %40'a varan oranda incelendiği gözlemlenmiştir. Şiddetli kasırga sayısının artması ile biyolojik çeşitliliğin de hızla düştüğü görülmektedir. 1974'ten bu yana karasal türlerin %31'inde, tatlı sularda yaşayan türlerin %28'inde ve denizdeki türlerin ise %27'sinde düşüş gözlenmiştir. [4].

Türkiye'nin 2030'da su sıkıntısı yaşayacak ülkelerden biri olacağı öngörülmektedir. En çok etkilenen bölgenin Orta Anadolu olmakla beraber, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgeleri yarı kurak iklime sahip olduklarından dolayı çölleşmeye başlayacağı görülmektedir [3]. Türkiye'de 1963'te 140 olan sel olayı, 2010'da 160'ın üzerine çıkmıştır. Her yıl ortalama 200 olan sel felaketi, yıllık ortalama \$100 milyonluk mülk kaybına neden olmuştur. Bu nedenle, 1995 yılında Türkiye'deki sel yüzünden yaşanan maddi kayıplar, son yıllarda yaşanan deprem sebebiyle oluşan kayıplara yaklaşmıştır. İklim değişikliğinin etkileri arasında kuraklık, başa çıkmak için en tehlikeli ve en zor olanı kabul edilebilir. Tarımsal ürünlerde mera ve orman ürünlerinin azaltılması, yangınlarda artış, su seviyesinde azalma, hayvancılık ve vahşi hayvan sayısında artışlar, Türkiye İklim Değişikliği Risk Yönetim ölüm oranında artış, yabani hayatta ve balık türlerinde gözlenen hasar, kuraklığın çevre üzerindeki doğrudan etkileri arasındadır. Örneğin, 1990'lardaki iklim koşullarına göre, su miktarı Türkiye'deki kişi başına yılda 3.070 metreküp iken artan nüfusla birlikte, küresel iklim değişikliği düşünüldüğünde, 2050'de daha kurak olacağı öngörülmektedir ve kişi başına düşen su miktarının 700 metreküpe düşeceği öngörülmektedir. [4]

Bölgedeki "Avrupa Çevre Analizi (AÇA)" raporuna göre şiddetli hava olaylarının da artması beklenmektedir. Ayrıca, Türkiye de dahil olmak üzere güney Avrupa'da yağışların azalmasının, tarım ve su kaynakları üzerinde önemli etkiye yol açması, kuraklık gibi daha ciddi etkilere neden olacağı görülmektedir. Raporda ayrıca, 21. Yüzyılda ısı dalgasının daha sık ve daha yoğun bir şekilde ortaya çıktığı ve bu nedenle de sıcağa bağlı ölümlerin artmasına neden olacağı belirtilmektedir. [5]

Küresel iklim değişikliğinin etkisinin azaltılması açısından mevcut hava koşulları, Türkiye'de daha fazla su kaynağı, sıcak hava dalgası, kuraklık ve sel baskını ile tarım üzerindeki artışıyla, verimlilikte bir azalma olarak kendini göstermektedir. Bazı

bölgelerde yağışların azalmasıyla sıcaklıkların artması, şiddetli kuraklığa ve su sıkıntısına neden olmuştur. Bazı bölgelerde rüzgâr nedeniyle su ve toprak kaybı önemli erozyondur. Yeraltı suyu seviyelerindeki düşüş, uzun mesafeli göçlere yol açmaktadır [4].

Hava koşullarında bitki büyümesindeki değişiklikler, bitkinin mekânsal ve zamansal dağılımı önemli farklılıklara yol açar. Sıcaklıktaki küçük bir değişiklik bile, tarımsal verimi ve tüm taşımacılık sektörlerini önemli ölçüde etkileyebilir.

Don ve don olayları, mahsul üretimini olumsuz etkileyen en önemli doğal afetlerdir. Bitkilerin yaşaması gerekli sıcaklığın kritik sıcaklık değerinin altına düşmesi, bitkiler için yaşamayı zorlaştırmakta, özellikle meyve ve sebzelere zarar vermektedir. Bitkide suyun donması sonucu bitki fizyolojisinin devamı mümkün olmadığından dolayı, tarım sektöründe don olayları birçok bitki türüne zarar vermektedir.

Türkiye'nin büyük çoğunluğu yarı kurak iklim koşullarının etkisi altındadır ve Türkiye'deki kurak ve yarı kurak alanlar toplam 51 milyon hektardır. Bu nedenle, Türkiye'de %37,3 oranında yarı kurak iklim hüküm sürmektedir. Türkiye'de yarı kurak alanlarda yaşanan kuraklık, geçmişte atmosferik sistemde olduğu gibi ve gelecekte de artış (küresel iklim değişikliğinin sıklığının, yoğunluğunun ve etkilerinin arttığı alanın büyüklüğü göz önüne alındığında) beklendiği için daha fazla tehlike yaratmaya devam edeceği beklenmektedir.

Aslında, Türkiye'de yağışların mekânsal ve zamansal dağılımı her zaman düzensiz olmuştur. İllerdeki su kaynakları hızla büyüyen nüfus ve sanayinin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Geleneksel sulama sistemleri, tarımsal üretimde suyun çoğunluğunu yanlış kullanmaktadır. İçme suyu, artan endüstriyel kullanım ve sulama suyu kalitesi ve diğer çevresel kirleticiler nedeniyle giderek azalmaktadır. Tüm Türkiye'deki küresel iklim değişikliğine ek olarak, kuraklığın ciddiyeti çok daha fazla hissedilmekte ve hissedilmeye devam etmektedir.

Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO), 87 üye ülke arasında yaptığı ankete göre, Türkiye de dahil olmak üzere kuraklıktan etkilenen 74 ülke tespit etmiştir. Yine, 87 ülkeden 59 tanesinde (%69) su kıtlığı sorunları olduğunu tespit etmiştir. Türkiye, Orta

Doğu ve Afrika da dahil olmak üzere artan su kıtlığı sorunun en çok etkilediği ülkelerden biridir [6].

3. TAŞIT EMİSYONU KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLER

3.1 Hava kirleticileri ve etkileri

Hava kirliliği insan sağlığına ve çevreye zarar veren havadaki yabancı maddelerin normalin üzerinde salınımı ve yoğunluğa ulaşması olarak tanımlanabilir. Bu durum hastalıklara, alerjilere hatta ölümlere bile yol açabilir. Ayrıca, hava kirliliği sadece insanlar üzerinde değil, diğer canlılar üzerinde de zararlı etkilere neden olabilir.

Hava kirleticileri insan ve ekosistem üzerinde zararlı etkileri olan havadaki maddelerdir. Bu maddeler katı partikül, sıvı ya da gaz halinde olabilir. Hava kirleticiler insan faaliyetleri sonucu ya da doğal kaynaklı olabilir. Doğal kaynaklılara volkanik patlamalar gibi olaylar örnek gösterilebilirken, insan faaliyetlerinden kaynaklı kirleticilere ulaşım araçları, endüstriyel prosesler gösterilebilir. Hava kirleticileri birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil kirleticiler insan kaynaklı veya doğal olaylar sonucu oluşabilir. İkincil kirleticiler ise doğrudan yayılma göstermezler. Aksine, birincil kirleticiler reaksiyona girdiğinde veya etkileşime girdiğinde havada oluşurlar. Ozon en önemli ikincil kirletici örneklerindendir. Bazı kirleticiler hem birincil hem ikincil olarak sınıflandırılabilir. Doğrudan yayılır ve diğer birincil kirleticilerden oluşur. [7]

Hava kirletici (Birincil) maddeler

Kükürt dioksit (SO_2):

Kükürt dioksit renksiz, keskin kokulu ve yanıcı olmayan bir gazdır. SO_2 volkanlar ve çeşitli endüstriyel işlemlerden ortaya çıkar. Kömür ve petrol kükürt bileşikleri içerir ve yanımları kükürt dioksit salınımına neden olur. Ayrıca, kükürt dioksitin oksitlenmesi asit yağmurlarına neden olur. Bu nedenle, kömür ve petrolün yakıt olarak kullanılması kükürt dioksitin artmasına; bu durum da çevre ile ilgili endişelerin artmasına neden olmaktadır. [10]

Dünyada salınan SO₂'nin yılda 132 milyon tonu bulunduğu, antropojenik kaynaklıların ise 50-75 milyon civarında olduğu tahmin edilmektedir. [11] Bu rakamlar Avrupa'da 20 milyon tonun üzerindedir. [10] En büyük salınımı ise İngiltere yapmaktadır.

Azot oksitler (NO_x):

Nitrik oksit (NO) yüksek sıcaklıktaki yanmalardan oluşan renksiz, kokusuz bir gazdır ve her türlü yanmadan açığa çıkar. Azot dioksit ise NO₂ formülüne sahip kimyasal bir bileşiktir ve azot oksitlerden biridir. En belirgin hava kirleticilerden biri olan kırmızımsı kahverengi zehirli gaz, kendine özgün keskin bir kokuya sahiptir. Azot dioksit üreten kaynaklar egzoz gazları, fosil yakıtlar ve organik maddeler olarak sıralanabilir. Atmosferde en uzun süre kalan N₂O gazı da Nox bileşiklerindendir ve küresel ısınmadaki payı %5 olarak düşünülmektedir. Bu gaz azot döngüsünün bir parçası olarak oluşmaktadır. [12]

Dünya çapında yıl bazında 150 milyon ton Nox'un salındığı kaydedilmektedir. Bu salınım insani kaynaklardan ve doğal kaynaklardan oluşmaktadır. Orman yangınları, yıldırım ve mikrobiyolojik prosesler doğal kaynaklar arasında sayılabilir. [3] Azot dioksitin standartları aşan oranlarda atmosferde bulunmasının insan sağlığına olan zararlı etkileri diğer kirleticilerle birlikte düşünüldüğünde etkinin daha da şiddetlendiği görülmektedir. [13]

Karbon monoksit (CO):

Karbon monoksit renksiz, kokusuz, zehirli ancak tahriş edici olmayan bir gazdır. Doğal gaz, kömür veya odun gibi yakıtların yandığında oksijen eksikliği, tutuşma sıcaklığı gibi etkenlerden birinin eksikliği sonucu CO₂ yerine oluşan gazdır. [14] Atmosferde 2 aydan daha uzun süre kalabilir. Taşıt egzozları karbon monoksit salınımının büyük bir çoğunluğundan sorumludur. Bu gaz havada bulunduğunda oluşturduğu dumanlı sisin, birçok akciğer hastalığına ve doğal çevrenin bozulmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca şehir havasında bulunan bu gazın insan sağlığını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu gaz kanda oksijen taşıma kapasitesini azaltarak vücuttaki oksijen miktarının azalmasına, bu da ölümlere neden olabilmektedir. [13]

Partikül madde (PM):

Atmosferik partikül madde veya ince partiküller olarak adlandırılan partiküller, bir gaz içinde asılı kalan küçük katı veya sıvı partiküllerdir. Buna karşılık, aerosol birleşik parçacıklara ve gaza karşılık gelir. Bu partiküller volkanlar, toz fırtınaları, orman ve otlak yangınları, canlı bitki örtüsü gibi doğal kaynaklı olabilir. Aynı zamanda, taşıtlarda, enerji santrallerinde ve çeşitli endüstriyel işlemlerde fosil yakıtların yanması gibi insan faaliyetleri kaynaklı da olabilir. Dünya genelinde insan faaliyetlerinden kaynaklanan partikül madde salınımı atmosferdeki oranın %10'unu oluşturmaktadır. Havadaki ince partiküllerin yüksek oranı kalp hastalığı, akciğer fonksiyonlarında değişme ve akciğer kanseri gibi sağlık tehlikeleri ile bağlantılıdır. Ayrıca, partikül maddeler solunum yolu enfeksiyonları ile ilişkilendirilmiştir ve bu durum astım gibi hastalıklarından mustarip olanlar için tehlike oluşturmaktadır. [15]

Uçucu Organik Karbonlar (VOC'ler):

Uçucu organik karbonlar fotokimyasal reaksiyonlar neticesinde hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Motorlu taşıtların egzoz emisyonları, akaryakıt depolama ve dolum tesisleri ve petrol rafinerileri gibi kaynaklardan atmosfere yayılabilmektedir. [9] Bu bileşikler 50-260°C arasında oluşmaktadır. Bu nedenle de kapalı alanlarda buhar halinde bulunurlar. Uçucu organik bileşiklerin sağlık üzerinde zararlı etkileri vardır. Düşük dozlar astım ve başka solunum yolu hastalıklarına sebep olurken yüksek dozlarda merkezi sinir sistemi üzerinde etkileri olduğu görülmüştür. Aromatik VOC'lardan benzen, vinil klorür ve kloroform gibi bazı bileşiklerin kanserojen olduğundan şüphe edilmektedir. [16]

Metan (CH₄):

Metan gazı küresel ısınmaya sebep olan etkili sera gazıdır. İnsan faaliyetleri genellikle oluşumunun en önemli sebebidir. Anaerobik canlıların organik atıkları oksijensiz ortamda ayrıştırması sonucu oluşur. Küresel ısınmadaki payı %13 kadardır. [12]

Kloroflorokarbonlar (CFCs):

Kloroflorokarbonlar ozon tabakasına zararlıdır ve ürünlerden yayılan halleri yasaklanmıştır. Bu gazlar klimalardan, buzdolaplarından, aerosol spreylerinden salınan gazlardır. Havaya salındığında CFC'ler stratosfere yükselir. Burada diğer

gazlarla temas haline geçer ve ozon tabakasına zarar verir. Bu durum, ozon tabakasının yapısını bozar ve zararlı ultraviyole ışınlarının dünya yüzeyine ulaşmasına neden olur ve cilt kanserine ve göz hastalığına sebep olur. Hatta bitkilere de zarar verebilir. [17]

Amonyak (NH_3):

Tarım ve endüstride yan ürün olarak oluşan bir bileşiktir. Yaygın olarak organik bileşiklerin çürümesi ve gübre fabrikalarından çıkan gaz amonyak gazının salınımına neden olur. Ayrıca kömür madenleri gibi doğal kaynaklı da olabilir. [18] Diğer kirleticiler ile reaksiyona girerek solunum için zararlı amonyum tuz parçacıklarını oluşturur. Aynı zamanda toprak yapısını da etkileyerek canlı yaşamını etkileyebilir. [19]

Kurşun:

Hava kirliliğine neden olan en önemli ağır metallere biridir. Havada 7-30 gün kadar kalabilirler. Özellikle çocuklarda ciddi zehirlenmelere neden olabilen kurşun, anemi, zekâ geriliği ve davranış bozuklukları gibi sağlık problemlerine de neden olur. [20]

İkincil kirletici

Ozon(O_3):

Ozon atmosferde bulunan ve stratosfer tabakasında en çok görülen gazlardandır. Troposferde insan kaynaklı faaliyetler sonucu yayılan Nox ve VOC'lerin yer aldığı fotokimyasal reaksiyonlar, sonucunda ikincil bir kirletici olarak oluşur. Oldukça kuvvetli bir oksitleyici olduğu için tüm canlılara ve binalara zarar verir. Suda çözünmeyen bir gaz olduğundan solunum sistemini etkileyerek akciğerler üzerinde olumsuz etki gösterir. [20]

3.2 Taşıtlardan kaynaklı oluşan hava kirleticileri

THC (Total Hydrocarbon) :

Hidrokarbon, yalnızca hidrojen ve karbon atomlarından oluşan organik bileşenlerin genel tanımıdır. Bu bileşiklere örnek olarak doğal gaz, kömür, ham petrolün içinde bulunan benzen, metan ve parafin örnek olarak verilebilir. Araç emisyonlarında ise fosil yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılması ve tam yanma sağlanamaması sonucu ortaya çıkan

emisyona verilen isimdir. Yanma reaksiyonu sonucu ara basamaklarda formaldehit ve alkenler oluşarak toplam hidrokarbon emisyonlarına sebep olmaktadır. Hidrokarbonların hava kirletici olarak değerlendirilmesinin sebebi, atmosferde nitrik oksitlerle tepkimeye girmesidir, ortaya çıkan bu bileşikler güneş ışınlarıyla karşılaştıklarında Ozon oluşumuna yol açmaktadır.

Non Methane Hydrocarbon (NMHC):

Metan harici hidrokarbon emisyonlarına verilen isimdir. Emisyon standartları sıkılařtıķça toplam hidrokarbon ile metan harici hidrokarbon emisyonları ayrı standartlarda değerlendirilmeye başlamıştır. Hidrokarbonlar ile benzer şekilde, Ozon oluşumuna sebep olurlar.

Amonyak (NH_3):

Yalnızca azot ve hidrojenden oluşan amonyak bileşiği ilk defa Euro 6 emisyon regülasyonu ile birlikte denetlenmeye başladı. Doğada rastlanan bir bileşik olmasına rağmen azot hassasiyeti olan ekosistemlere zarar vermesi ve atmosferde partikül madde oluşumunu desteklemesi nedeniyle, kontrol altına alınması amacıyla regülasyonlara eklenmiştir.

Karbon monoksit (CO):

Karbon monoksit yanma sonucu ortaya çıkan kokusuz ve renksiz bir gazdır. Atmosferde bulunan karbon monoksit kirliliğinin temel sebebi fosil yakıt kullanan araçlardır. Açık alanda sağlığı kötü yönde etkileyecek bir konsantrasyona ulaşması zordur ancak kapalı alanlarda yüksek miktarda karbon monoksit bulunması, solunması durumunda kanın oksijen taşıma kapasitesini düşürerek birçok sağlık sorununa ve lme sebebiyet vermektedir. Bunun yanında atmosferde diğer kirleticilerle birleşerek yer seviyesi ozon oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

Kükürt dioksit (SO_2):

Kükürt dioksit gazı solunması durumunda insan sağlığına zararlı bir gazdır. Net olarak bir kısıtlama getirilmemiş olsa da, kükürt dioksit salınımı, diğer emisyonların sıkılaşması ve gelişen yakıt teknolojisi ile birlikte kısıtlanmıştır. Kükürt dioksit, atmosferde bulunan diğer organik bileşiklerle bir araya gelerek partikül madde oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bunun yanında asit yağmurlarına neden olması sebebiyle insan sağlığına ve ekosisteme bir tehdit unsuru olarak değerlendirilir

Azot oksitler (NO_x) :

Bu kapsamda Nitrit oksit (NO) ve Azot dioksit (NO_2) değerlendirilmektedir. Havada konsantrasyonunun artması, solunum yollarında ciddi riskler yaratmaktadır. Buna ek olarak asit yağmurlarına ve atmosferde partikül madde oluşumuna sebebiyet verdiği için hava kirleticisi olarak değerlendirilmektedir.

Partikül madde (PM) :

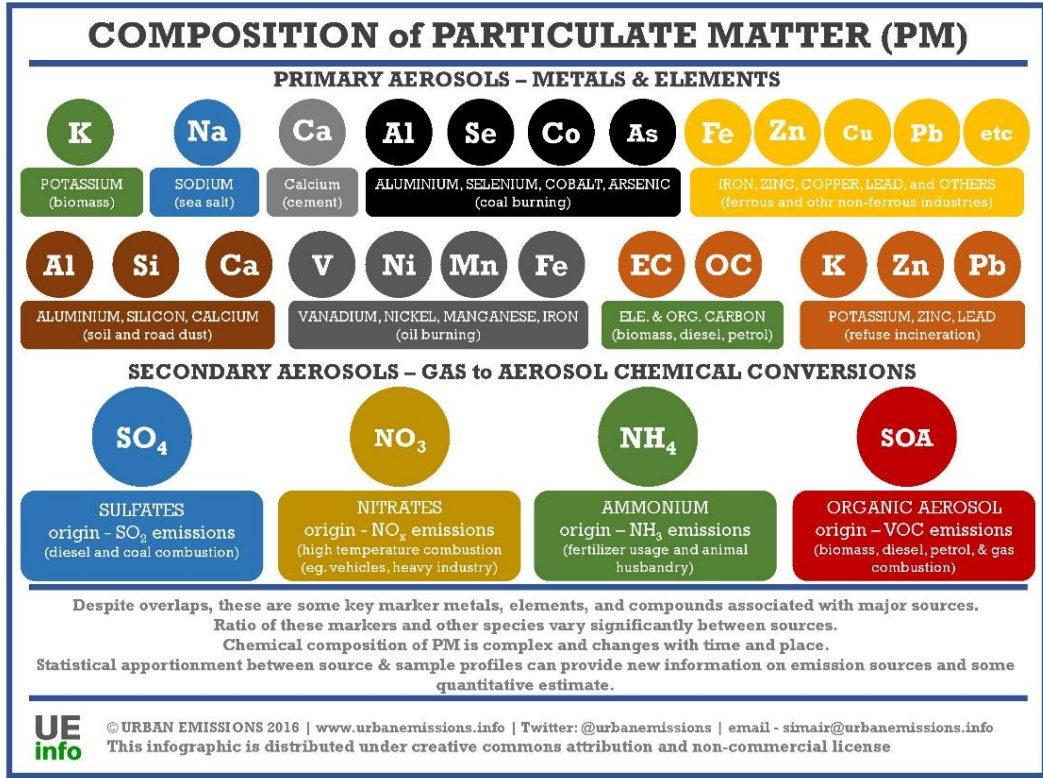
Çok küçük boyutlara sahip hava kirleticilere verilen genel isim. Boyutu 10 mikrondan küçük olan partiküller PM10, 2.5 mikrondan küçük olan partiküllere ise PM2.5 adı verilir (Şekil 7; Şekil 8). Belirli bir yapıya sahip olmayan partikül madde, yanma sonucu ortaya çıkan organik bileşenler veya metal partikülleri gibi farklı yapılara sahip olabilir. Partikül maddenin hava kirletici olarak değerlendirilmesinin sebebi, partikül maddeyi oluşturan bileşenlere bağlı olarak farklı çevresel zararlar vermesidir. Bunlardan bazıları:

- Su kaynaklarının ve göllerin sularının daha asidik olmasına sebep olmak
- Toprakta bulunan besinlerin bazılarının bozulması sonucu toprağın verimliliğini ve tarıma elverişli özelliğini yitirmesine sebep olması
- Bazı hassas ormanların ve tarım ürünlerinin zarar görmesine sebep olması
- Asit yağmurlarının oluşumunda rol oynaması

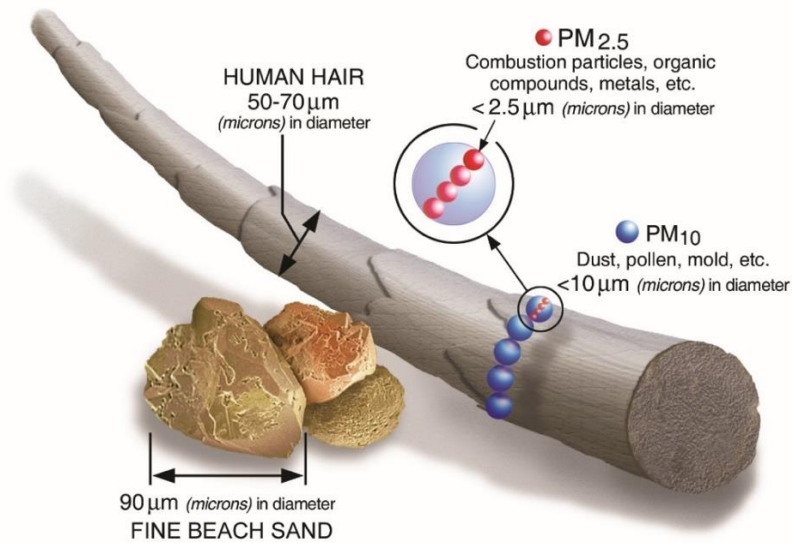
Çevresel zararlarına ek olarak partikül madde emisyonları, boyutlarına bağlı olarak insan sağlığına da zarar vermektedir. Partikül madde boyutları azaldıkça hücrelere nüfuzu ve dolayısıyla verebileceği zarar artar. Nanometrenin onda biri boyutunda olan partiküller hücre zarından geçerek kana karışabilir ve bu sebeple insan sağlığı açısından risk taşımaktadır [21]. Partikül maddeler üreme sistemi ve kardiyovasküler sistemi etkileyebilir. Kanser oluşumunu destekleyici etkiler gösterebilir [22]. Ek olarak solunum sistemi üzerinde, özellikle akciğer bronşlarında büyük ölçüde tahribata neden olabilir.

Yukarıda belirtilen ve denetimlere tabi olan emisyonlar haricinde farklı emisyon türleri de mevcuttur. Tez kapsamında bahsedilmesi önemli olan tek emisyon ise, uzmanlar tarafından iklim değişikliğine en büyük ikinci katkıyı sağladığı düşünülen, Siyah Karbon olarak isimlendirilen partiküllerdir. Siyah karbon, kurum olarak adlandırılan ve dizel yakıtının tam olarak yanmaması sonucu ortaya çıkan bir emisyondur. Atmosfere salındığı

zaman, bilinen sera gazlarının sergilediği gibi özellikler sergileyerek yeryüzüne gelen ışınların atmosferi terk etmesine engel olmanın yanında, yüksek ısı kapasitesi sebebiyle, atmosferde asılı kaldığı süre boyunca ısı emerek küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır.



Şekil 7.Partikül madde oluşumuna sebep olan maddeler



Şekil 8.Partikül madde boyutlarının karşılaştırılması

4. KARBONDİOKSİT VE HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARINDA ARAÇLARIN ETKİSİ

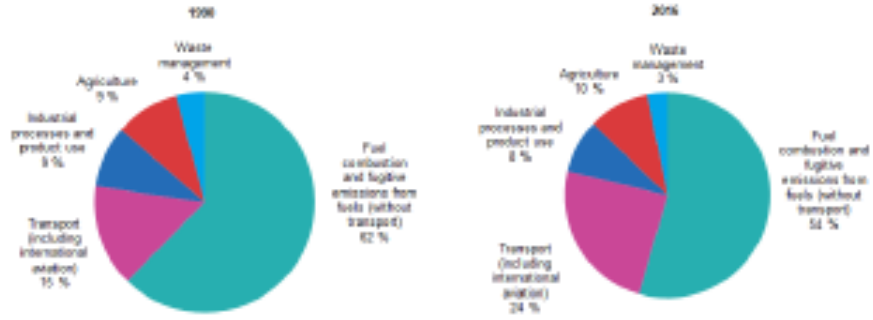
4.1 Taşıt emisyonlarının genel emisyonlar içerisinde oynadığı rol

Ulaştırma sektörü, insanların ve malların araba, kamyon, tren, gemi, uçak ve diğer araçlarla hareketini içerir. Ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının çoğu, içten yanmalı motorlarda, benzin gibi petrol bazlı ürünlerin yanmasından kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonlarıdır. Ulaştırma ile ilgili en büyük sera gazı emisyon kaynakları, otomobiller ve spor hizmet araçları, kamyonet ve mini vanlar dahil olmak üzere hafif iş kamyonlarıdır. Bu kaynaklar, ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Taşımacılık sektöründeki diğer sera gazı emisyon kaynakları, yük kamyonları, ticari uçaklar, gemiler, tekneler ve trenler, boru hatları ve yağlayıcılarıdır.

Yakıt yanması sırasında nispeten küçük miktarlarda metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) yayılır. Ek olarak, ulaştırma sektöründe az miktarda hidroflorokarbon (HFC) emisyonu bulunmaktadır. Bu emisyonlar mobil klimaların kullanımı ve soğuk zincir taşımacılığından kaynaklanmaktadır. [23]

AB üye devletleri sera gazı emisyonlarını ana kaynak sektörler tarafından oranlarını göstermektedir. 2016 yılında yakıt yakma ve yakıtlardan kaçan emisyonlar toplam sera gazı emisyonlarının %54'ünden sorumludur. Ulaşımda yakıt kullanımı 2016 yılında toplamın %24'si oranla ikinci en önemli sektördür. [24]

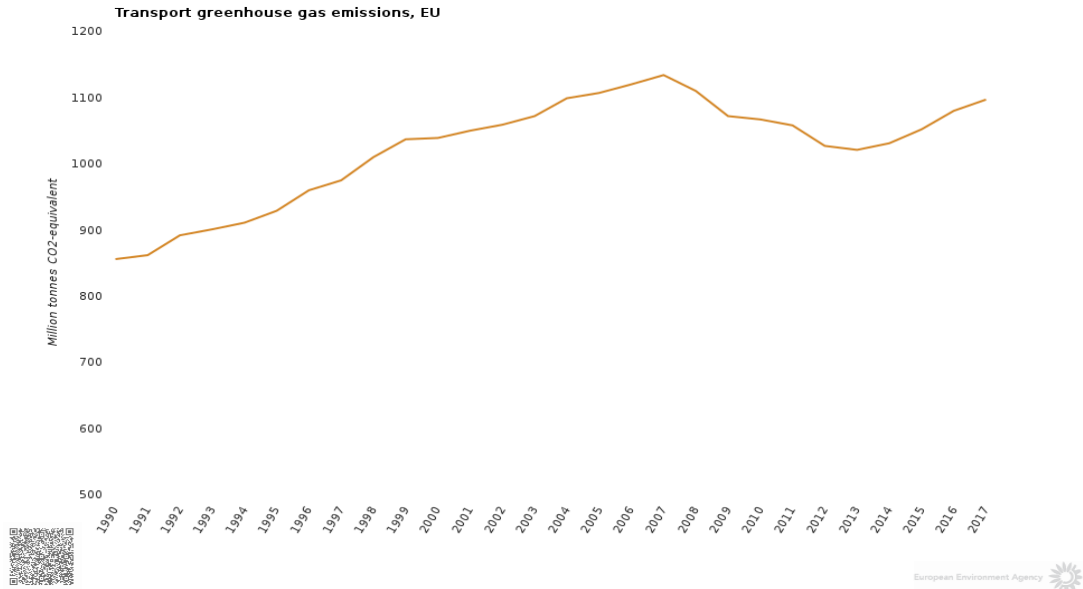
Greenhouse gas emissions, analysis by source sector, EU-28, 1990 and 2016
(Percentage of total)



Source: European Environment Agency (online data code: jmc_atl_2020)

Şekil 9.1990 ve 2016 yıllarında sera gazı emisyonlarının dağılımı [24]

Şekil 9, AB sera gazı emisyonlarının taşımacılıktan (uluslararası havacılık dahil ve uluslararası taşımacılık hariç) 1990-2016 döneminde Üye Devletler tarafından bildirildiği verilerle oluşturulmuştur. Emisyonlar 1990'lara göre %26 oranında artmıştır.



Şekil 10.1990-2017 yılları arasında ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (CO₂ eşdeğeri) [24]

Karayolu taşımacılığı, sektördeki toplam sera gazı emisyonlarının %72'sini oluşturmaktadır (AÇA, 2018b). Karayolu taşımacılığındaki devam eden enerji

verimliliği iyileştirmeleri, karayolu taşımacılığı emisyonlarındaki artışın sınırlandırılmasında kilit rol oynamıştır. Bu gelişmeler kısmen, yeni otomobiller (AB, 2009) ve minibüsler için filo ortalama CO₂ emisyon gereklilikleri de dahil olmak üzere giderek daha sıkı teknik standartlar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Şekil 10, taşımacılıktan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının 2008 ve 2013 yılları arasında azaldığını göstermektedir. 2014, 2015 ve 2016 yıllarında ise arttığı görülmektedir. [25]

4.2 Farklı yakıt türlerinin emisyon karşılaştırması

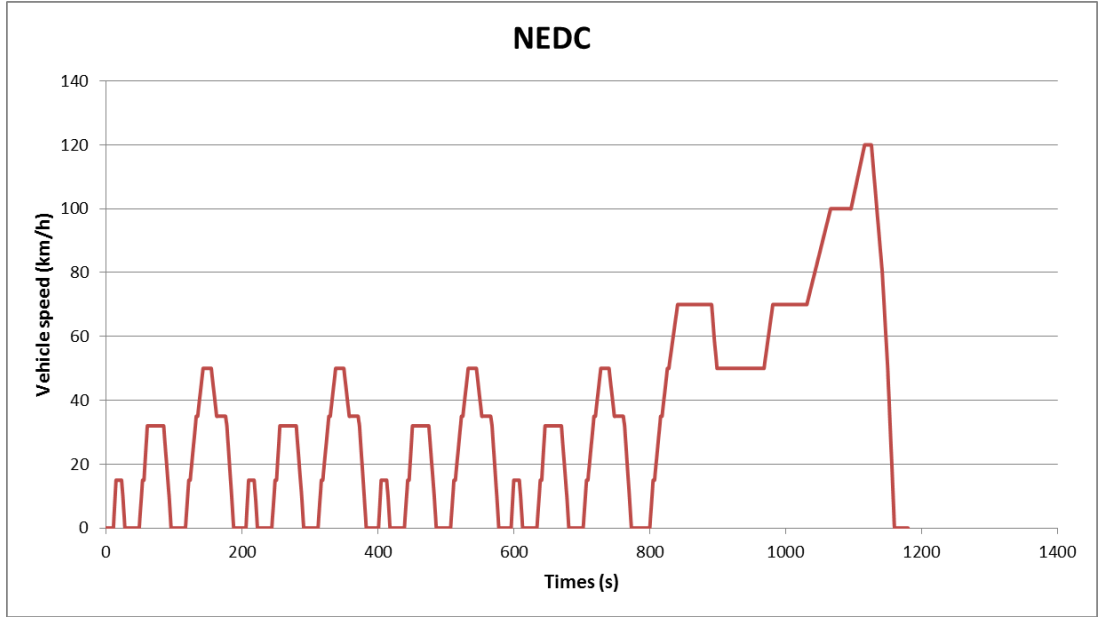
Ülkemizde kullanılan yakıt türlerine göre taşıt dağılımı (Ocak 2019 itibarıyla 12 milyon 437 bin 250 adet aracın) TÜİK'ten alınan verilere göre aşağıdaki gibidir [26] :

- LPG: %37.8
- Dizel: %37.2
- Benzin: %24.7
- Yakıt türü bilinmeyen: %0.3

Sayılarla bakıldığı zaman, yakıt olarak LPG kullanan araçların dizel ve benzinli araçlara göre biraz daha fazla olduğu görülüyor ancak tezin içerisinde LPG kullanan araçların elektrikli araca geçmesi durumunda sağlanacak emisyon ve çevre kirliliği azalmasını incelemeyeceğiz. Bunun temel sebebi, LPG kullanan araç emisyonlarının dizel ve benzin kullanan araçlara oranla çok daha düşük olmasıdır.

Benzer test çevrimlerine [modifiye edilmiş Euro standardına uygun emisyon test çevrimi (Şekil 11)] tabii tutuldukları durumda LPG kullanan araçlar CO, NMHC ve NO_x emisyonları bazında diğer fosil yakıt (benzin ve dizel ortalaması) kullanan araçlara oranla sırasıyla %76, %88 ve %83'ü oranında emisyon salınımında bulunmuştur.

Emisyon konusunda yapılan bir başka araştırmada, aynı motorun benzin kullanarak test edilmesiyle LPG kullanarak test edilmesi arasında çıkan farklar incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar Tablo 1 ve 2 de görülebilir.



Şekil 11.New European Drive Cycle NEDC testinin hız profili

Sonuçların yorumlanması için kolaylaştırılması açısından benzin emisyon değerleri 100 birim kabul edilerek, benzin değerlerine göreceli olarak LPG emisyon değerleri belirtilmiştir. [27]

Tablo 1. Benzin ve LPG yakıtlarının şehir içi emisyon testi karşılaştırması

Emisyonlar	Kullanılan yakıt türü	
	Benzin	LPG
CO (mg/km)	100	70
HC (mg/km)	100	70
NO _x (mg/km)	100	59
CO ₂ (g/km)	100	90

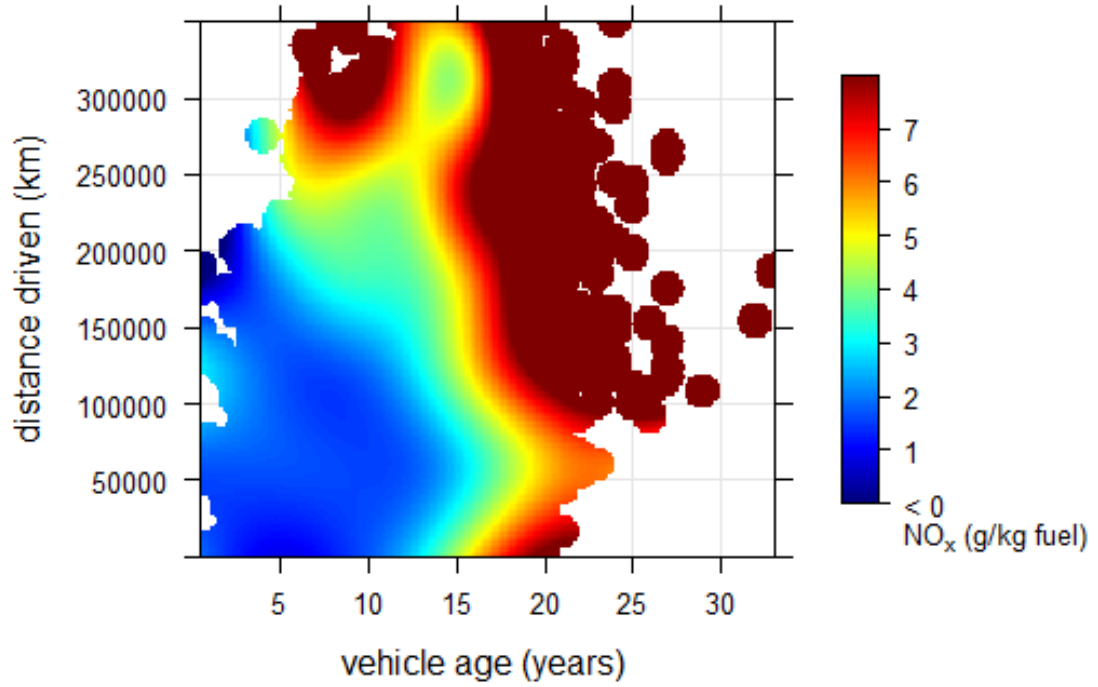
Tablo 2. Benzin ve LPG yakıtlarının otoyol emisyon testi karşılaştırması

Emisyonlar	Kullanılan yakıt türü	
	Benzin	LPG
CO (mg/km)	100	90
HC (mg/km)	100	49
NO _x (mg/km)	100	23
CO ₂ (g/km)	100	89

Yapılan testler sonucunda da görülebileceği gibi aynı motorun LPG yakıtı ile çalıştırılması durumunda şehir içinde ve şehirler arası yol durumunda benzinli araca göre, belirtilen emisyon parametrelerinde %10 ile %77 arasında değişen azalmalar görülüyor.

Emisyon değerleri haricinde, diğer hava kirleticiler açısından da LPG fosil yakıtlara göre çok daha az veya hiç salınım yapmamaktadır. Buna verilebilecek en belirgin örnek ise dizel yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kurum ve partiküller, LPG kullanılması durumunda ortaya çıkmamaktadır.

Son olarak LPG kullanılan araçlarda diğer fosil yakıtlı araçlardan farklı olarak, soğuk koşullarda emisyon değerlerinde bir artış görülmemektedir. LPG kullanan araçlar diğer fosil yakıtlı araçlara göre daha yüksek emisyon ömrüne sahiptir. Bunun anlamı motorun aşınmasına veya herhangi bir motor ve egzoz parçasında birikim oluşmasına bağlı çok yüksek emisyon artışı görülmemesidir. Şekil 12 de görüleceği üzere aynı yaşta olan benzinli araçların kilometre değerlerindeki artışa bağlı olarak kilogram yakıt başına ortaya çıkarttıkları NO_x değerlerinde ciddi bir artış görülmektedir.



Şekil 12. Benzinli araçlarda araç yaşına ve kilometreye bağlı emisyon değerlerinde görülen artış

Bütün bu sebepler ışığında tezin kapsamında LPG kullanan araçların elektrikli araçlara dönüştürülmesini inceleme dışında tutarak, daha büyük kazanımlar sağlanabilecek ve doğaya hem emisyonlar açısından hem de hava kirleticiler açısından daha çok zarar veren benzin ve dizel yakıtlarını kullanan araçları inceleyeceğiz.

4.2.1 Dizel

Dizel ve benzinli araç emisyonları kullandıkları yakıtların kimyasal yapılarından dolayı ve enerji kaynağı olarak kullanılabilmek için ihtiyaç duydukları motor teknolojilerinin farklı olmasından ötürü bazı farklılıklar göstermektedirler.

Dizel yakıtı kimyasal formül olarak sabit bir formüle sahip değildir. Farklı türleri ve farklı katkı maddeleri olan birçok dizel yakıtı bulunduğu için belirli bir formülle ifade edilmez, bunun yerine kaynama noktası, Setan sayısı ve Setan indeksi gibi farklı özellikler ile

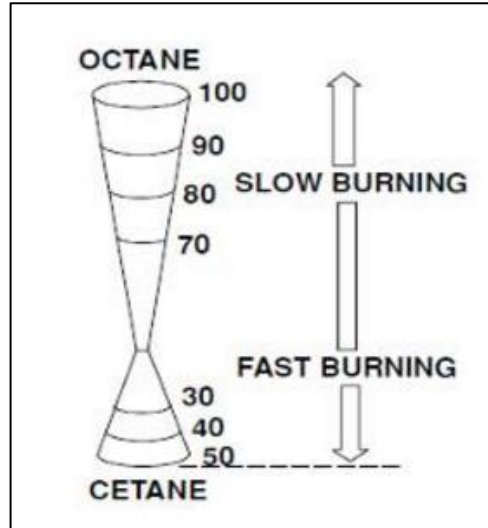
standardize edilir[28]. Dizelin standardizasyonunda kullanılan bazı parametreler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir

Isı Değeri:

Kalorimetre yardımı ile belirlenen ısı değeri, dizelin yanması sonucu ortaya çıkan enerjiyi ifade eder. Yakıtın ısı değeri ne kadar fazlaysa gereken enerjiyi üretebilmek için ihtiyaç duyulacak yakıt miktarı o kadar az olacaktır. Yüksek ısı değeri dizelin kalitesinin belirlenmesinde büyük rol oynar [29], 1.sınıf dizelin ısı değeri yaklaşık 46 MJ/kg iken 2. Sınıf dizelin yaklaşık olarak 42 MJ/kg dır.

Setan sayısı / indeksi :

Dizel yakıtının kalitesinin belirlenmesinde kullanılan setan sayısı, yakıtın yanıcılığını belirten bir özelliktir. Setan, kolay ve iyi yanma özelliklerine sahip bir hidrokarbondur, setan skalasında barem olarak kabul edilir ve değeri 100 ile ifade edilir. Dizel yakıtın setan sayısı ne kadar yüksekse, yanma sırasında oluşan gecikme o kadar az olacaktır(Şekil 13). Ayrıca setan sayısı ne kadar yüksek olursa, yanma çemberinde, tam olarak yanmamış yakıt miktarı o kadar az olacaktır [30].



Şekil 13.Setan (Dizel) ve Oktan (Benzin) sayılarının yanma üzerine etkileri

Viskozite:

Tanım olarak viskozite, sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak geçer. Yakıt kalitesinin belirlenmesinde, daha düşük viskozite gösteren dizel yakıtlar daha kaliteli kabul edilir. Bunun sebebi viskozitesi düşük olan dizeller püskürtüldükleri sırada daha

kolay atomize olarak daha iyi bir yakıt hava karışımı oluşmasını sağlar. Daha homojen bir yakıt hava karışımı sonucu aynı miktar yakıtla daha yüksek güç ve verim elde edilir. Daha yüksek gücün üretmenin yanı sıra daha homojen karışan yakıt hava karışımında, fakir ve zengin bölge oluşumu daha az gözleneceği için, hava kirletici emisyonları da daha viskoz bir dizele göre daha az olacaktır.

Kükürt katkı oranı:

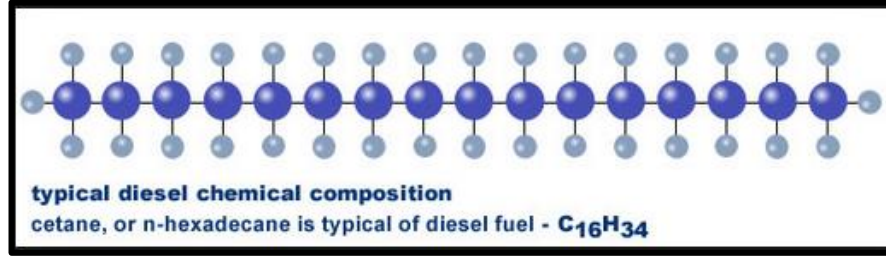
Dizel yakıtların içinde bulunan kükürt katkı oranı ne kadar düşükse, o kadar kaliteli olarak kabul edilmektedir. Yanma sonucu ortaya çıkan kükürt dioksit emisyonlarını kontrol etmek amacıyla oluşturulan standart, ülkeden ülkeye ve kullanım amacına göre değişmektedir. Emisyon değerlerine etkisi haricinde, kükürt katkısı yüksek olan dizeller düşük olanlara oranla motor parçalarında daha fazla aşınmaya sebebiyet vermektedir.

Alev noktası:

Alev noktası yakıtın, yanıcı buhar oluşturması için ısıtılması gereken sıcaklığı ifade eder. Düşük alev noktasına sahip yakıtlar, daha düşük sıcaklıklarda yanmaya başlayacağı için, sıkıştırma oranının düşük olmasına, bu sebeple güç üretiminin daha az olmasına neden olurlar.

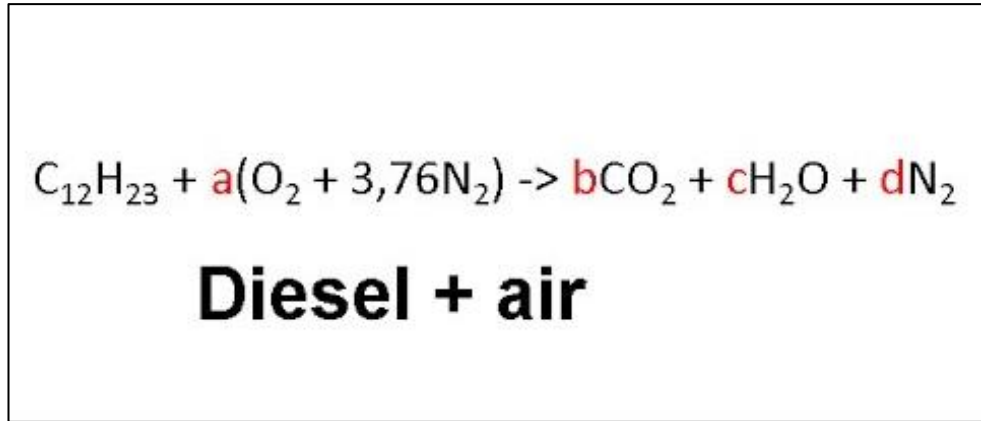
Genel bir yaklaşım olarak, ancak kesin olarak değil, dizel yakıtın formülü $C_{10}H_{20}$ ile $C_{16}H_{34}$ arasındadır ve daha spesifik olarak $C_{12}H_{23}$ olarak karşımıza çıkmaktadır Şekil 14'te örnek bir dizel molekül dizilimi görülebilir. Petrolden rafine edilerek üretilen dizel %75 oranında doyurulmuş hidrojen ve %25 oranında aromatik hidrokarbonlardan meydana gelmektedir.

Dizel yakıtının formülü, ortaya çıkarttığı emisyonları anlamakta büyük önem taşır, çünkü moleküler yapısına bağlı olarak dizel yakıtının yanması için gereken şartlar benzinden ayrılmaktadır ve bu şartlara bağlı olarak ortaya çıkan emisyon değerleri de farklılıklar göstermektedir.



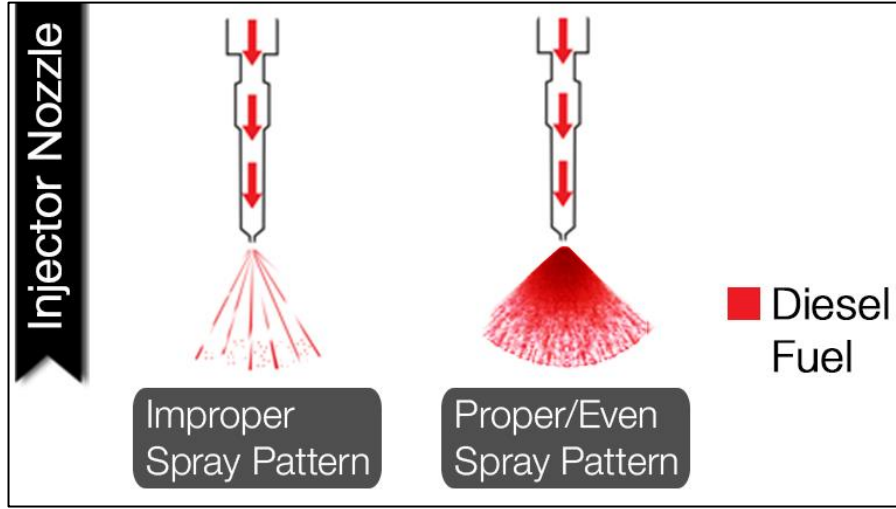
Şekil 14.Dizel moleküler yapısı

Dizel kimyasal olarak benzine göre daha fazla karbon ve hidrojen taşıdığı için yanma reaksiyonu için daha fazla havaya ihtiyaç duyar (Şekil 15). Daha fazla hava ihtiyacı aynı zamanda daha fazla azot bazlı emisyon demektir. Bunun yanında dizel, benzin gibi yanıcı, parlayıcı ve uçucu bir madde değildir. Yanma reaksiyonunu başlatmak için ihtiyaç duyduğu eşik enerjisi benzine göre çok daha yüksektir. Bu sebeple dizelin yakıt olarak kullanılabilmesi için yüksek basınç ve sıcaklığa ihtiyaç duyulur.



Şekil 15.Dizel yakıtının yanma reaksiyonu

Dizel yakıtının oksitlenme reaksiyonunu başlatabilmek için motor patlama çemberinde yüksek basınç ve sıcaklığa ihtiyaç duyulur, yakıt çembere pülverize bir şekilde püskürtülür (Şekil 6), patlama çemberinin içerisindeki basınç ve sıcaklıkla birlikte yanıcı hale gelen dizelin reaksiyonu sonucunda 2000 bar gibi çok yüksek basınçlar ve 2500°C'ye varan sıcaklıklar ortaya çıkar. Dizel yakıtının bu özelliği sebebiyle benzinli motorlarda kullanılan bujiler yerine, yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanıklı enjektörler kullanılır.



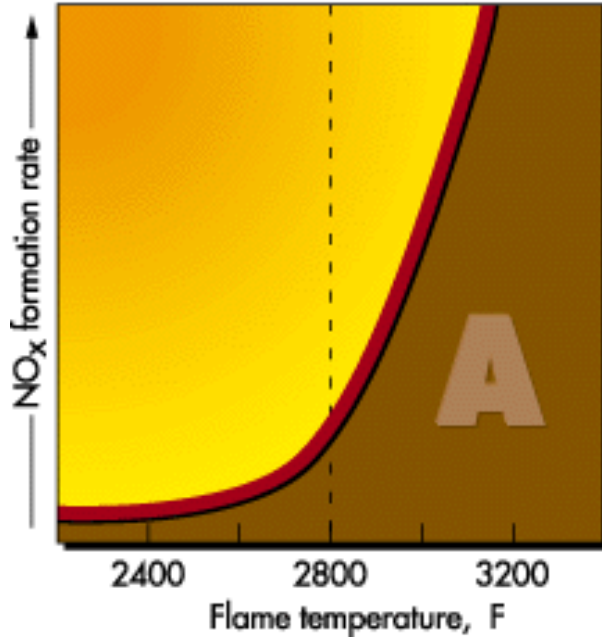
Şekil 16.Dizel enjektör yakıt püskürtme deseni

Şekil 16’da görülen enjeksiyon dağılımlarında, sol taraf, düzgün bir dağılım sağlamayan püskürtmeyi gösterirken, sağ taraf, iyi bir karışım ve homojen dağılım sağlayan püskürtmeyi göstermektedir.

Dizelin yanması sırasında emisyonlara etki eden önemli faktörler:

- Yakıtın püskürtülmesi sırasında homojen bir hava yakıt karışımı elde edilmesi;

Homojen bir karışım elde edilememesi durumunda çember içerisinde bazı bölgeler yakıt açısından zengin olurken bazı bölgeler hava açısından zengin olacaktır. Bu durumda, yakıtın zengin olduğu bölgelerde, reaksiyon için yeterli oksijen bulunmadığı için, tam yanma gerçekleşmeyecek ve kurum oluşumu gözlenecektir. Havanın zengin olduğu bölgelerde ise çok yüksek verimli yanma gerçekleşecek ve bu durum nedeniyle yerel olarak sıcak ve yüksek basınç bölgeleri oluşacaktır. Bu bölgelerde bulunan yakıt tamamen yandığı için herhangi bir kurum oluşumu gözlenmezken, havanın içerisinde bulunan azotun basıncın ve sıcaklığın etkisiyle oksitlenmesi hızlanarak fazla miktarda NO_x oluşturacaktır. Şekil 17’de görüleceği üzere sıcaklığın NO_x oluşumu üzerinde çok büyük bir etkisi mevcuttur. Şekilde 2600 fahrenheit olarak belirtilen sıcaklık yaklaşık 1420 santigrada karşılık gelmektedir ve NO_x oluşumu bu sıcaklıktan itibaren artmaya başlar. 2800 fahrenheit-1500 santigrad sonrasında ise NO_x oluşum hızı katlanarak artar. 3200 fahrenheit -1800 santigrad sıcaklığından sonra yanma çemberinde oluşan yanma, yüksek verimli olduğu için, reaksiyon sonucu oluşacak hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları azalırken, NO_x miktarı fazlasıyla artacaktır

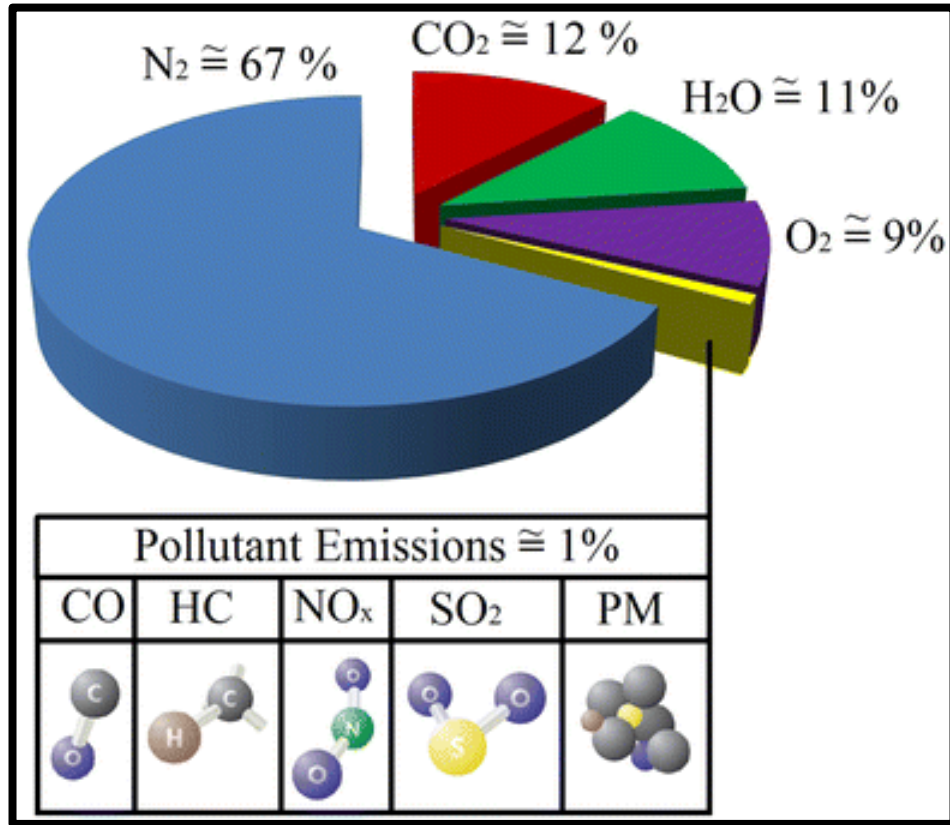


Şekil 17.Sıcaklığa bağlı NOx oluşum eğrisi

- Ortaya çıkan basınç ve sıcaklık değerlerinin optimum değerlerin dışında olması;

Dizelin içten yanmalı motorlarda kullanılması sonucu ortaya çıkan sıcaklık ve basınç değerleri çok iyi bir şekilde kontrol edilmelidir. Sıcak ve basınç değerlerinin çok düşük olması durumunda yanma verimi düşeceği için, yüksek miktarda kurum karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonu ortaya çıkacaktır. Aynı şekilde basınç ve sıcaklık değerlerinin çok yüksek olması ise yakıtın tamamen yanması anlamına gelmektedir, bu durumda daha verimsiz bir yanmaya göre daha fazla CO₂ ve NO_x ortaya çıkacaktır.

Dizel araçların temel olarak egzoz gazının bileşimi Şekil 18’de görülebilir.



Şekil 18.Dizel egzoz gazının bileşenleri

Şekil 18’de görülen bileşenler:

N₂ :

Çevreye herhangi bir zararı bulunmayan azot, içten yanmalı motorların çalışması için motora alınan havanın içinde yüksek oranda bulunduğu için egzoz gazında da en büyük oranı almaktadır. Motorun yanma odasına alınan havanın içindeki azotun bir kısmı, yüksek basınç ve sıcaklık etkisiyle NO_x oluşumunda rol alır.

CO₂ :

Yanma sonucunda ortaya çıkan ve hava kirleticisi olarak nitelendirilmemesi gereken CO₂ bileşiği, küresel ısınmaya sebep olması nedeniyle doğaya zarar verir. Doğada normalde bulunan bileşik, doğal dengenin sağlanması açısından atmosferde bulunması gereken bir bileşik olmasına rağmen, insan eliyle ortaya çıkan büyük miktarlarda ki CO₂ doğada bulunması gereken seviyelerin çok üzerinde olduğu için iklim değişikliği gibi büyük ölçekli çevresel zararlara neden olmaktadır.

H₂O :

Yanma sonucu dizel yakıtının içindeki hidrojenin bileşik oluşturması sonucu ortaya çıkar ve buhar olarak egzozdan doğaya salınır. Çevreye veya insanlara herhangi bir zararı yoktur.

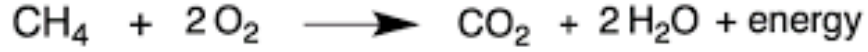
O₂:

Yanma odasına alınan havanın içinde bulunan oksijen, dizel yakıt kullanan motorlarda hiçbir zaman tamamen tüketilemez, bu sebeple her zaman egzozdan çıkan gazlar arasında rastlanılır. Yanma odasında bulunan oksijenin fazla olması, oda içerisine alınan hava yakıt karışımının daha homojen olmasını ve daha da önemlisi yakıt açısından zengin bölge oluşumunu azaltacağı için partikül madde oluşumunu azaltılması konusunda fayda sağlayacaktır. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse aynı hacimde yanan yakıt miktarını ve yanma verimini arttıracak, tamamen yanmamış yakıt partiküllerinin oluşumunu azaltacaktır. Ancak yüksek verimli yanma elde etmek beraberinde farklı sorunlar getirmektedir. Yanma odasında oluşan sıcaklıkları artıracak bu mekanik, motor parçalarına fazladan termal yük getirmenin yanı sıra, yüksek sıcaklık ve beraberinde basınç yaratarak bir başka hava kirletici olan NO_x oluşumuna uygun ortam hazırlayarak emisyon değerlerini yükseltecektir. Bu nedenle yanma odasına alınan havanın püskürtülecek yakıtı oranı araç bilgisayarı tarafından hassas bir şekilde kontrol edilmektedir.

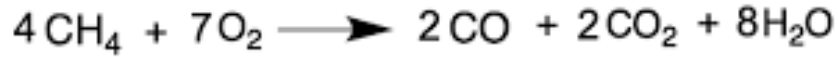
CO:

Tamamen yanmanın oluşmaması sonucu ortaya çıkan (Şekil 19) karbon monoksit gazı, doğaya herhangi bir zarar vermese de insan sağlığı açısından zararlı olduğu için hava kirleticisi olarak değerlendirilir. Karbon monoksit gazının açık alanlarda insan sağlığını tehdit edecek seviyelere ulaşması çok zordur ancak kapalı bir alanda insanlara zarar verebilecek konsantrasyona ulaşabilir. Oksijenin kan taşıma kapasitesini sınırladığı için baş dönmesi gibi küçük etkileri veya ölüm gibi büyük etkileri olabilir.

Complete Combustion



Incomplete Combustion



Şekil 19.Tamamen yanan ile tamamen yanamayan metan gazının kimyasal denklemleri

HC:

Hidrokarbon emisyonları tamamen yanmayan yakıtın yanma çemberini terk etmesi sonucu oluşur. Egzoz gazında fazla miktarda görülmesi, katalitik dönüştürücü performansının düşmesine işaret olabilir.

NO_x:

Yüksek sıcaklık ve basınç değerleri sebebiyle yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkar.

Egzoz gazında görülen NO_x miktarı, yanma çemberinde oluşan miktara göre çok daha düşüktür, bunun sebebi günümüzde kullanılan katalitik dönüştürücüler ve ek emisyon kontrol sistemleri sayesinde %99 seviyesinde filtreleme sağlanabilmektedir.

SO₂:

Dizel yakıtında eser miktarda bulunan kükürtün oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan sülfür dioksit, emisyon kontrol teknolojilerinden olan ve motordan çıkan NO_x gazlarını üzerinde ki substrata bağlayarak tutan, Lean NO_x Trap(LNT) sisteminin verimliliğini etkilemektedir. Bunun için De-SO_x olarak adlandırılan ve araç sürüşü sırasında etkinleştirilen süreçlerle araçtan atılır.

Partikül madde (PM):

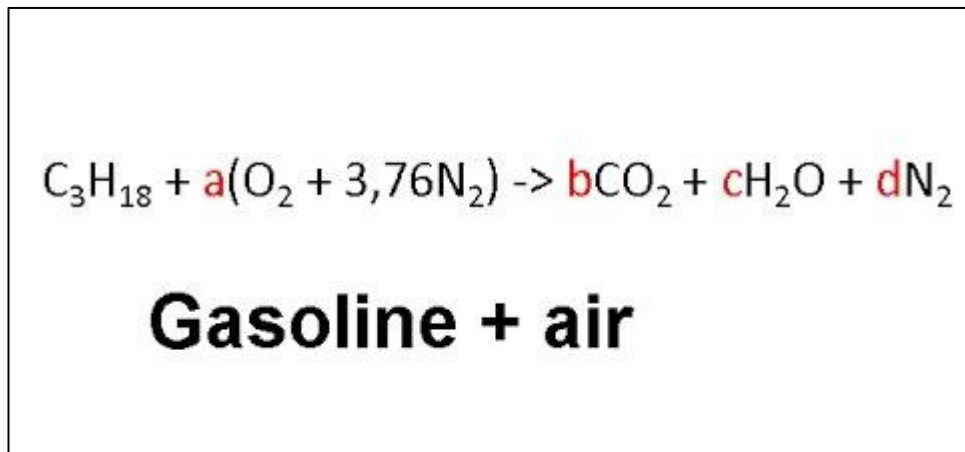
Yakıt partiküllerinin tamamen yanamaması sonucu veya zaman içerisinde aşınan motor partiküllerinden oluşan bu emisyon, partikül filtresi tarafından filtrelenerek emisyon kontrolü sağlanır. Ancak güncel partikül filtrelerinin filtreleme verimliliği en verimli

çalıştığı bölgede bile %99 olduğu için, egzoz gazında partikül madde emisyonlarına rastlanır.

4.1.2 Benzin

Benzin yakıtı da dizel yakıtında olduğu gibi sabit bir kimyasal formüle sahip değildir. İçine eklenen katkı maddeleri sayesinde değişken bir yapıya sahiptir. Bu katkı maddeleri içerisinde en bilineni ve aynı zamanda benzin yakıtının standardizasyonunda kullanılan oktandır. Benzin genel olarak 4 ile 12 karbon atomu barındırır (Şekil 20).

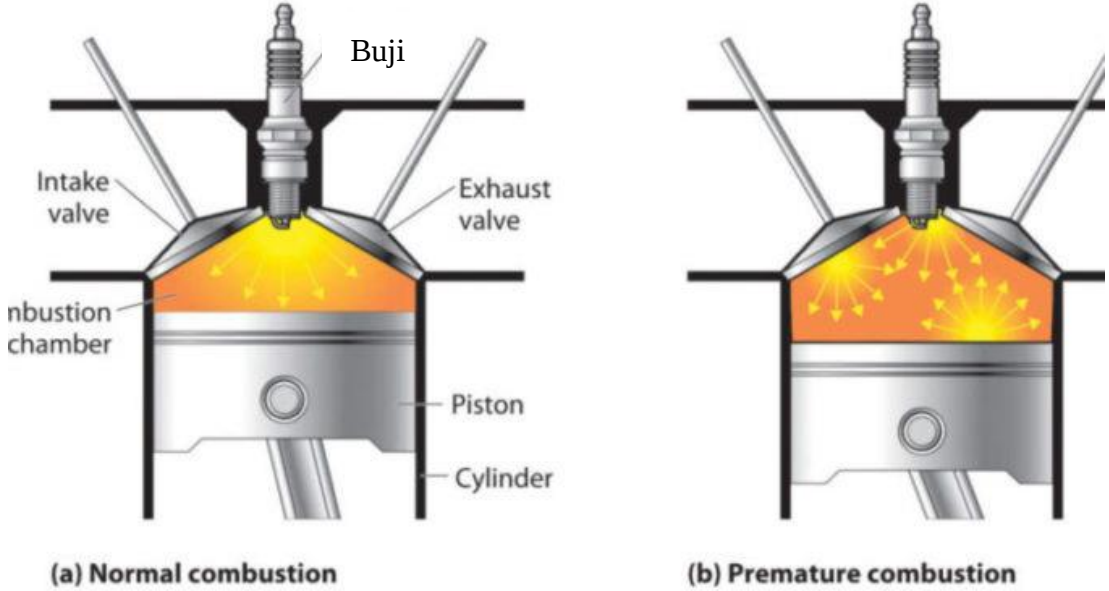
Oktan sayısı veya oktan değeri olarak bilinen bu standart, benzinin yanmadan veya patlamadan ne kadar sıkıştırılabileceğini belirler. Yüksek oktan değerine sahip yakıtlar daha yüksek sıkıştırma oranlarına dayanabilir ve kontrolsüz yanmaz. Ek olarak daha yüksek sıkıştırma oranı aynı miktar yakıtla daha yüksek güç üretmek anlamına gelir. Benzin yakıtı, oktan değerinin uygun olduğu mertebelerin üzerinde sıkıştırılmaya çalışılırsa, buji ile ateşleme gerçekleşmeden yakıt kendi kendine ve birden fazla noktadan kendi kendine yanmaya başlar (Şekil 21). Vuruntu adı verilen bu durum motora zarar verdiği gibi, yanma çemberi içerisinde bulunan yakıtın tamamen yanmasının önüne geçer. Yanma çemberi içerisinde sıcak ve soğuk cep olarak adlandırılan farklı bölgelerin oluşmasına sebep olan vuruntu, buji ile yaratılan yanmaya kıyasla daha fazla hava kirletici emisyonu ortaya çıkartır.



Şekil 20. Benzin yakıtının yanma reaksiyonu

Benzinli araç emisyonları dizel araç emisyonlarından, hava kirletici çeşidi olarak çok farklılık göstermemekle birlikte, hangi tür hava kirleticiyi ne kadar çıkarttıkları konusunda farklılık göstermektedir.

Benzinli araçlarda hava yakıt karışım oranı, emisyon kontrolünde büyük rol oynar. Stokiyometrik oran, “Lambda” olarak bilinen ve teorik olarak 14.7 olarak ifade edilen bu oran, kütsel olarak havanın yakıtı oranıdır. Benzinli araçlar 0.98-1 lambda değeriinde çalıştığı sürece emisyon değeri olabileceği en düşük seviyede olacaktır. Ancak bu değeriinden sapmalar yaşandığında emisyon değeriinde artış gözlenir (Şekil 22).

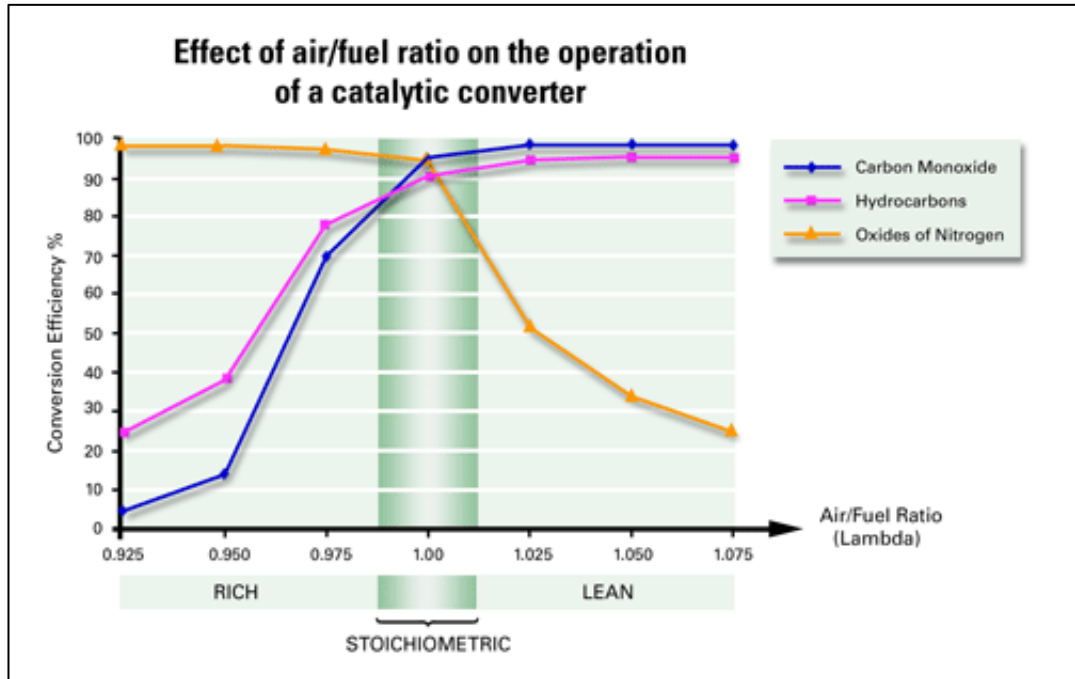


Şekil 21. Benzinli araçlarda buji ile ateşleme ve kendiliğinden yanma

Şekil 21’de sol resim, sıkıştırma gerçekleştikten sonra yakıtın buji ile yakılması, sağ resimde ise sıkıştırma tamamlanmadan yakıtın, çemberde bulunan sıcaklık ve basıncın etkisiyle kendi kendine ve farklı noktalardan yanmasını göstermektedir.

Benzinli araçlarda, yanma sırasında oluşan sıcaklık ve basınç değeri dizel araçlara göre daha düşük olduğu için göreceli olarak benzinli araçlar daha az NO_x emisyonu üretir. Eski teknoloji kullanan, karbüratör yoluyla yakıt beslemesi yapılan benzinli araçlarda, yakıt enjeksiyonu yapan dizel araçlara oranla çok daha düşük PM emisyonu ortaya çıkmaktaydı. Ancak günümüzde benzinli araçların yakıt sistemlerinde, karbüratör yerine enjektör

teknolojisi kullanılmaya başlandı. Bu sebepten ötürü, benzinli araçlar ile dizel araçlar benzer mertebelerde PM emisyonlarına neden olmaya başladı. Dizel araçlar benzinli araçlara göre daha yalın bir yanma bölgesinde çalışırlar (hava yakıt oranı 14.7'nin üzerinde), bu sebeple yanma çemberinde, hava yetersizliğinden dolayı HC ve CO emisyonları oluşma oranı, benzinli araçlara göre daha azdır. Benzinli araçlar sağlıklı çalışmak için lambda değerinin 1 değerine çok yakın bölgelerde çalışırlar, bu nedenle hava yakıt oranında oluşan küçük sapmalar bile, çemberde yakıt için yeterince hava olmamasına ve dolaylı olarak artan HC ve CO emisyonlarına neden olmaktadır.



Şekil 22. Benzinli araçlarda lambda değerine bağlı katalitik dönüştürücü verimliliği

Şekil 22’de X eksenini lambda değeri Y eksenini ise katalitik dönüştürücü verimliliğini ifade eder. Stokiyometrik değerden daha düşük değerler “Zengin” daha yüksek değerler ise “Fakir” karışım olarak adlandırılır.

5. TAŞIT EMİSYONLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

5.1 Farklı ülkelerin emisyon standartları

Dünya üzerinde her ülke için ortak bir emisyon kısıtlaması mevcut değildir, bunun yerine birçok ülke, kendi sosyo-ekonomik koşullarına ve kullanımına göre kendi standartlarını yaratmıştır. Bu standartların dışarısında kalan araçlar için farklı yaptırımlar uygulanmaktadır. Yaptırımlar araç başına ceza ile standartlara uymayan araçların bahsi geçen bölgede/ ülkelerde satışına izin vermemek arasında geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Emisyon standartları sadece araçtan çıkan emisyonları kontrol etmekle kalmaz, aynı zamanda geçerli olduğu bölgede kullanılacak yakıtların kalitesini ve sağlaması gereken özellikleri de belirler.

5.1.1 Amerika Birleşik Devletleri Standartları

Amerika Birleşik Devletleri'nde EPA (Environmental Protection Agency) ve CARB (California Air Resources Board) olmak üzere iki ana emisyon standardı mevcuttur. Kaliforniya eyaleti, 1967 yılından itibaren EPA standartlarından farklı olarak kendi standartlarını belirleme ve uygulama yetkisi kazanmıştır. CARB standartları diğer tüm standartlara göre daha sıkı standartlardır. 1980 ve 1990 yılları arasında CARB standartları sebebiyle, Kaliforniya eyaletinde bulunan araçlar ve kullanılan yakıtlar, emisyon açısından en temiz araçlar ve yakıtlar olmuşlardır. [31]

CARB standartları diğer standartların gelişimi konusunda da öncülük etmektedir. Başta EPA standartları olmak üzere birçok standart CARB standartlarının 3 -5 yıl arkasından takip etmektedir. Bu sebeple bazı araba üreticileri, araçlarını CARB standartlarına uyacak şekilde üreterek, tekrardan farklı marketler için farklı konfigürasyonda araç üretmek zorunluğunu ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır.

EPA standartları ABD genelinde yaygın olan standart olmasına rağmen, her eyalet EPA veya CARB standartları arasında seçim yapma hakkına sahiptir. EPA standartları zaman içerisinde sıkılaştıran ve kapsamı artan bir standart olmuştur:

- Tier 1: 5 Haziran 1991’de yayınlandı, 1994 – 1997 yılları arasında zaman içerisinde devreye alındı
- Tier 2: 21 Aralık 1999’da yayınlandı, 2004 – 2009 yılları arasında zaman içerisinde devreye alındı
- Tier 3: Mart 2014’te yayınlandı 2017 – 2025 yılları arasında zaman içerisinde devreye alınacak.

Tier 1 regülasyonu araçları ağırlıklarına ve yakıt tipine göre farklı sınırlamalara tabi tutan bir regülasyon olma özelliğini taşımaktadır. EPA Tier 1 standartları Tablo 3’de görülebilir. İlerleyen zamanlarda gelen Tier 2 ve Tier 3 ise daha farklı bir sistem izlemektedir. Tier 2’den itibaren aracın kullandığı yakıttan bağımsız olarak, tüm araçlar aynı regülasyonlara tabii tutulmaktadır. Ek olarak Tier 2 ile birlikte dizel için yakıt kalitesi düzenlemesi, benzin için sülfür katkı standardı getirilmiştir. Tier 2 de bunlara ek olarak araç özelliği bazında standartların yerine “Bin” denilen yeni 11 tane sınıf getirilmiştir. 8 kalıcı ve 3 geçici sınıfa ayrılan bu standart, üreticileri araçlarını kendi tercih ettikleri standartlara uygun olacak şekilde üretme hakkı tanımaktadır. Geçici sınıflar, Tier 1’den 2 ye geçerken kolaylık sağlamak için yaratılan sınıflardır ve Tier 2 ye geçiş tamamlandığı zaman yürürlükten kalkmıştır. Tier 2 ve 3’te bulunan “Bin” sınıfları üreticilere serbest seçim sağlamanın yanı sıra, aynı zamanda üreticinin filo olarak NO_x salınımına sınırlama getirmiştir. Tier 2’de üreticinin hafif ticari araçlar için NO_x filo ortalaması 0.07g/mil olmak zorundadır.

Tablo 3.FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 1 Standartları (g/mil)

Araç Sınıfları Emisyon Sınırları ve Süreleri		Binek araç	Hafif ticari (3,750 lbs den hafif)	Hafif ticari (3,750 lbs den ağır)	Ağır ticari (5,750 lbs den hafif)	Ağır ticari (5,750 lbs den ağır)
50,000 mil / 5 yıl	THC	0,41	-	-	0,32	0,39
	NMHC	0,25	0,25	0,32	-	-
	CO	3,4	3,4	4,4	4,4	5,0
	NO _x Dizel	1,0	1,0	-	-	-
	NO _x Benzin	0,4	0,4	0,7	0,7	1,1
	PM	0,08	0,08	0,08	-	-
100,000 mil /10 yıl	THC	-	0,8	0,8	0,8	0,8
	NMHC	0,31	0,31	0,40	0,46	0,56
	CO	4,2	4,2	5,5	6,4	7,3
	NO _x Dizel	1,25	1,25	0,97	0,98	1,53
	NO _x Benzin	0,6	0,6	0,97	0,98	1,53
	PM	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12

Tablo 4.FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 2 Standartları (g/mil)

Bin#	5 yıl / 50,000 mil					Tüm yaşam döngüsü				
	NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO	NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO
Geçici seviyeler										
11						0.280	7.3	0.9	0.12	0.032
10	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
9	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.090	4.2	0.3	0.06	0.018
Kalıcı seviyeler										
8	0.100	3.4	0.14	-	0.015	0.125	4.2	0.20	0.02	0.018
7	0.075	3.4	0.11	-	0.015	0.090	4.2	0.15	0.02	0.018
6	0.075	3.4	0.08	-	0.015	0.090	4.2	0.10	0.01	0.018
5	0.075	3.4	0.05	-	0.015	0.090	4.2	0.07	0.01	0.018
4	-	-	-	-	-	0.070	2.1	0.04	0.01	0.011
3	-	-	-	-	-	0.055	2.1	0.03	0.01	0.011
2	-	-	-	-	-	0.010	2.1	0.02	0.01	0.004
1	-	-	-	-	-	0.000	0.0	0.00	0.00	0.000

Tablo 4’te görüldüğü gibi bir araç üreticisinin araçlarını birçok farklı standarda uygun üretme şansı vardır. Tabloda belirtilen bütün yaşam döngüsü kısıtı hafif ticari araçlar için (hangisi önce gelirse) 10 yıl / 120.000 mil ağır ticari araçlar için 11 yıl /120.000 mil olarak belirlenmiştir.

Tier 2 kısıtlamasını bir örnekle anlatmak gerekirse, filosu (araç filosu denildiği zaman bir markanın sattığı tüm araç tipleri kastedilmektedir, filo ifadesi en küçük sınıf araçtan ağır ticari araçlara kadar hepsini kapsayan genel bir terimdir) farklı araç tiplerini kapsayan ve toplamda 100 adet araçtan oluşan bir üretici, 25 aracını 8. seviye, 30 aracını 3. seviyeye uygun üretmesi durumunda belirlenen filo NO_x limitini tutturabilmek için geriye kalan araçlarının hangi seviyede olması gerektiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

Araç sayısı * üretildiği seviyenin NO_x değeri = Filo Boyutu * Yasal NO_x limiti (0.07g/mil)

8. seviyeye uygun araçların katkısı

$$25 * 0,2 = 5$$

3. seviyeye uygun araçların katkısı

$$30 * 0,03 = 0,9$$

Geriye kalan araçların tamamı

$$45 * X < 1,1 \Rightarrow X < 0,244$$

Araçların NO_x katkısı 0,24 g/mil'den az olmak zorundadır, bu durumda geri kalan araçlar 2. seviyeye uygun üretilmek zorundadır.

Tier 3 emisyon seviyesiyle birlikte Tier 2 ye göre daha sıkı sınırlamalar ve bazı yenilikler gelmiştir:

- İlk olarak filo kısıtlamaları artık yalnızca NO_x değerine bağlı olarak değil NMOG+NO_x değerine bakılarak hesaplanmaya başlanmıştır.
- “Bin” seviyeleri 8'den 7 ye düşürülmüş ve isimlendirmesi, seviyenin NMOG+NO_x değerine bakılarak belirlenmiştir (Bin 160 seviyesinde izin verilen NMOG+NO_x değeri 160 mg/mil'dir)
- Tier 3'te en yüksek seviye olan Bin 160 Tier 2'nin Bin 5 değerine tekabül etmektedir. (Bin 5, Tier 2 seviyesinde tutturulması gereken ortalama limit değeridir)
- Tüm ömür için Tier 2 de 10Yıl /120.000 mil olan limit 15Yıl /150.000 mile arttırılmıştır.
- Benzinli araçlar test sırasında E10 olarak bilinen %10 etanol katkılı yakıt kullanma zorunluluğu getirilmiştir.

Tablo 5.FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 3 Standartları

Bin	NMOG+NO _x	PM	CO	HCHO
	mg/mi	mg/mi	g/mi	mg/mi
Bin 160	160	3	4,2	4
Bin 125	125	3	2,1	4
Bin 70	70	3	1,7	4
Bin 50	50	3	1,7	4
Bin 30	30	3	1,0	4
Bin 20	20	3	1,0	4
Bin 0	0	0	0	0

Tier 3 güncel olarak ABD genelinde yürürlükte olan standarttır ve 2025’e kadar devam edecek şekilde planlanmıştır. 2017- 2025 arasında kademeli olarak uygulamaya alınmaktadır. Tier 3 için “Bin” sınıflarını ve getirdiği kısıtlamaları Tablo 5’te görülebilir. Tier 2 de olduğu gibi Tier 3 standardında da filo ortalama değerleri mevcuttur ancak farklı olarak, yıllara bağlı olarak sıkılaştıran bir hedef vardır. Tablo 6’te Tier 3 için belirlenen filo hedefleri görülebilir. EPA ve CARB standartları için araçların sınıflandırılma koşulları Tablo 7’de görülebilir.

Tablo 6.FTP 75 test çevrimine göre EPA Tier 3 Standartları

Vehicle Category	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
LDV, LDT1	86	79	72	65	58	51	44	37	30
LDT2, LDT3, LDT4, MDPV	101	92	83	74	65	56	47	38	30

Tablo 7.EPA ve CARB Standartlarında araç sınıflandırma kriterleri

Araç	Kısaltması	Tanımı
Binek Araçlar		
Hafif hizmet aracı (Binek araç)	LDV	Azami Yüklü Ağırlık (GVWR) < 8,500 lbs.
Orta Ağırlık Hizmet aracı	MDPV	8,501 – 10,000 lbs GVWR
Hafif Ticari Araç		
Hafif ticari araç	LDT	Max 8500 lb GVWR, Max 6000 lb yüksüz araç ağırlığı , ve Max 45 ft^2 cephesel alan
Hafif ticari araç	LDT1	Max 3750 lb LVW (loaded vehicle weight: curb weight + 300 lb)
Hafif ticari araç	LDT2	Min 3750 lb LVW (Yüksüz araç ağırlığı +300 lbs)
Ağır - hafif ticari araç	LDT3	Max 5750 lb ALVW (Azami yüklü ağırlık ile yüksüz araç ağırlığı ortalaması)
Ağır - hafif ticari araç	LDT4	Max 5750 lb ALVW (Azami yüklü ağırlık ile yüksüz araç ağırlığı ortalaması)
Ağır Ticari Araçlar (GVWR)		
Ağır Ticari Araç	HDV 2b	8,501 – 10,000 lbs
	HDV 3	10,001 – 14,000 lbs
	HDV 4	14,001 – 16,000 lbs
	HDV 5	16,001 – 19,500 lbs
	HDV 6	19,501 – 26,000 lbs
	HDV 7	26,001 – 33,000 lbs
	HDV 8a	33,001 – 60,000 lbs
	HDV 8b	>60,001 lbs

Tabloda belirtilen LDV ve LDT1 seviyesi binek araç ve hafif ticari araçları içerirken diğer araç kategorisi ağırlığına göre hafif ticari ve ağır ticari araçları kapsamaktadır. Binek araçlar ve bir kısım ticari araçlar için filo ortalaması 2017 de Bin 70’te başlarken 2025 yılında son seviye olan Bin 30’a gelmesi hedeflenmiştir. Bu sayede EPA Tier 3 seviyesi ile CARB LEV III seviyesi aynı emisyon limitlerine sahip olmuştur. Bunun amacı araç üreticileri açısından kolaylık sağlamaktır. Son olarak Tier 3 ile birlikte yakıt standartları daha da sıkılaşmış, benzinli araçlar için Tier 2 de 30ppm olan sülfür limiti 10 ppm değerine düşürülmüştür.

CARB standartları da EPA gibi 3 seviyeden oluşmaktadır:

Tier 1/ LEV I : 1994- 2003 yılları arasında yürürlükte kalmıştır

LEV II : 2004 – 2010 yılları arasında yürürlüğe girmiştir

LEV III : 2015 – 2025 yılları arasında yürürlüğe geçecektir

Emisyon seviyelerinin tarihleri ile yürürlüğe girme zamanları aynı süre dilimini ifade etmez, emisyon limitleri yürürlüğe girme tarihinden önce belirlenir ve araçların belirlenen limitlere uygun olabilmesi için ürün geliştirme çalışmaları başlar. Emisyon limitleri, emisyon kontrol teknolojilerinde gelişmeyi tetikleyen etkenlerin başında gelir.

CARB emisyon standartları EPA standartlarına göre daha farklı bir sınıflandırma kullanır ve belirlenen hedefler benzer/ aynı olsa dahi, CARB daha az sayıda sınıfa sahip olduğu için daha sıkı emisyon hedeflerine sahip olmuştur. CARB emisyon standartları, bir seviye içerisinde daha az sınıfa sahip olmasına karşın, hafif ticari ağır ticari araçlar için daha sıkı bir ağırlık aralığı belirlemiştir [32].CARB standartları “Bin” yerine araçların emisyonlarına bağlı kategorizasyon yaparak sınıflara ayırır bu sınıflar aşağıdaki isimleri alırlar:

- Transitional Low Emission Vehicles (TLEV)
- Low Emission Vehicles (LEV)
- Ultra Low Emission Vehicles (ULEV)
- Super Ultra Low Emission Vehicles (SULEV)
- Zero Emission Vehicles (ZEV)

Yalnızca TLEV seviyesi geçici bir seviye olup, Tier1/LEV I standardının devreye alınması sırasında tanımlanmış bir seviye olup, LEV I standardının yürürlükten kalkması ile birlikte bu sınıfta yürürlükten kalkmıştır. Tier 1/LEV I seviyesi binek araç ve hafif ticari standartları Tablo 8’de orta ağırlık hizmet aracı standartları Tablo 9’da görülebilir.

Tablo 8.FTP 75 test çevrimine göre binek ve hafif ticari araçlar için

Kategori	50,000 mil/5 Yıl					100,000 mil/10 yıl				
	NMOGa	CO	NOx	PM	HCHO	NMOGa	CO	NOx	PM	HCHO
Binek Araç										
Tier 1	0.25	3,40	0.4	0.08	-	0.31	4,20	0.6	-	-
TLEV	0.125	3,40	0.4	-	0.015	0.156	4,20	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3,40	0.2	-	0.015	0.090	4,20	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1,70	0.2	-	0.008	0.055	2,10	0.3	0.04	0.011
Hafif ticari araç, yüklü araç ağırlığı <3,750 lbs										
Tier 1	0.25	3,40	0.4	0.08	-	0.31	4,20	0.6	-	-
TLEV	0.125	3,40	0.4	-	0.015	0.156	4,20	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3,40	0.2	-	0.015	0.090	4,20	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1,70	0.2	-	0.008	0.055	2,10	0.3	0.04	0.011
Hafif ticari araç, yüklü araç ağırlığı >3,750 lbs										
Tier 1	0.32	4,40	0.7	0.08	-	0.40	5,50	0.97	-	-
TLEV	0.160	4,40	0.7	-	0.018	0.200	5,50	0.9	0.10	0.023
LEV	0.100	4,40	0.4	-	0.018	0.130	5,50	0.5	0.10	0.023
ULEV	0.050	2,20	0.4	-	0.009	0.070	2,80	0.5	0.05	0.013

Tablo 9.FTP 75 test çevrimine göre orta ağırlık hizmet araçları için CARB Tier 1/LEV I Standartları

Kategori	50,000 mil/5 yıl					100,000 mil/10 yıl				
	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO
Binek araç										
Tier 1	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.090	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
Hafif ticari araçlar (LDT1), Azami yüklü ağırlık <3,750 lbs										
Tier 1	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.090	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
Hafif ticari araçlar (LDT2), Azami yüklü ağırlık >3,750 lbs										
Tier 1	0.32	4.4	0.7	0.08	-	0.40	5.5	0.97	-	-
TLEV	0.160	4.4	0.7	-	0.018	0.200	5.5	0.9	0.10	0.023
LEV	0.100	4.4	0.4	-	0.018	0.130	5.5	0.5	0.10	0.023
ULEV	0.050	2.2	0.4	-	0.009	0.070	2.8	0.5	0.05	0.013

LEV II seviyesiyle birlikte EPA Tier 2 de olduğu gibi filo hedefleri yürürlüğe girmiştir. Bir başka değişiklik ise, 8500 lbs altında kalan tüm araçlar, binek araç regülasyonlarına tabii tutulmuştur. Tablo 10’da binek araç ve hafif ticari araçlar için Tablo 11’de orta ağırlık hizmet araçları için LEV II standartlarını bulabiliriz.

Tablo 10.FTP 75 test çevrimine göre binek ve hafif ticari araçlar için LEV II Standartları

Kategori	50,000 mil/5 yıl					120,000 mil/11 yıl				
	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO	NMOG	CO	NOx	PM	HCHO
LEV	0.075	3.4	0.05	-	0.015	0.090	4.2	0.07	0.01	0.018
ULEV	0.040	1.7	0.05	-	0.008	0.055	2.1	0.07	0.01	0.011
SULEV	-	-	-	-	-	0.010	1.0	0.02	0.01	0.004

Tablo 11.FTP 75 test çevrimine göre orta ağırlık hizmet araçları için 120,000 mil süresince geçerli LEV II Standartları

Azami Yüklü Ağırlık (GVW)	Kategori	NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO
8,500 - 10,000 lbs	LEV	0.195	6.4	0.2	0.12	0.032
	ULEV	0.143	6.4	0.2	0.06	0.016
	SULEV	0.100	3.2	0.1	0.06	0.008
10,001 - 14,000 lbs	LEV	0.230	7.3	0.4	0.12	0.040
	ULEV	0.167	7.3	0.4	0.06	0.021
	SULEV	0.117	3.7	0.2	0.06	0.010

LEV II seviyesiyle birlikte yalnızca binek araç LDT1 ve LDT 2 için filo hedefleri belirlenmiştir ancak orta ağırlık hizmet araçları için net bir hedef belirlenmese bile, 2004 -2010 yılları arasında azalan emisyon değerleri raporlama koşulu getirilmiştir.

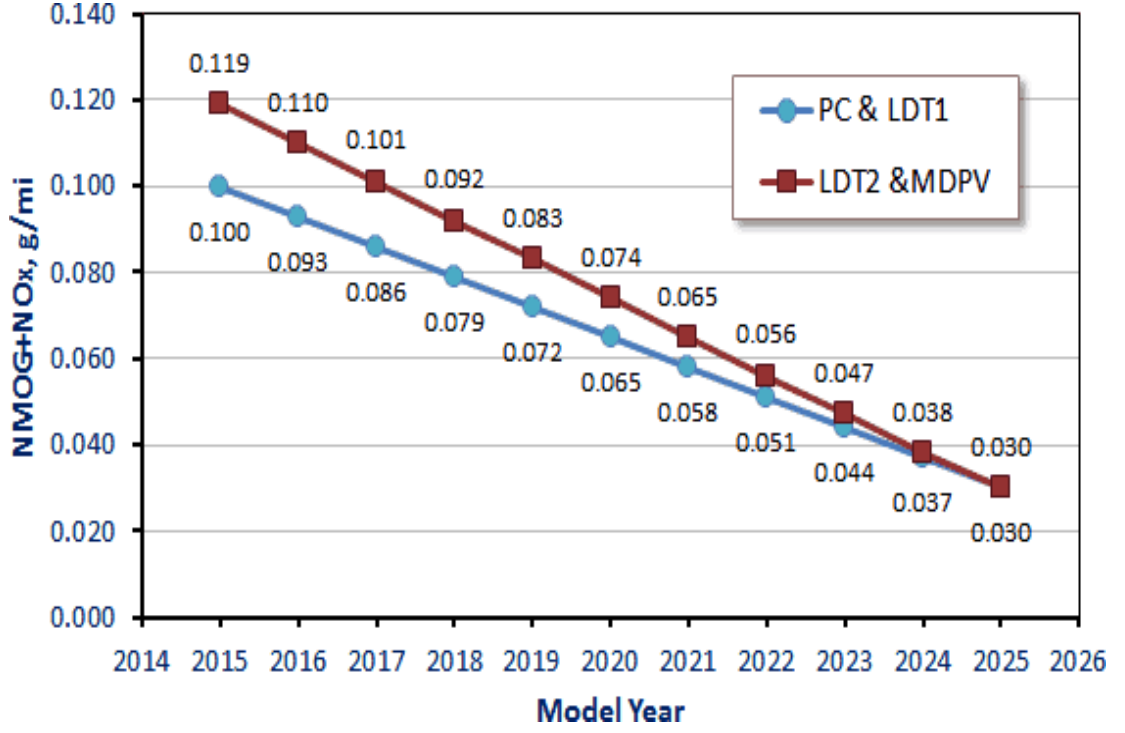
2010 yılı itibariyle binek araç ve LDT1 seviyesi için NMOG filo hedefi 0.035 g/mil LDT2 seviyesi için NMOG filo hedefi 0.043 g/mil olarak belirlenmiştir. CARB emisyon standartlarının EPA standartlarından daha sıkı olduğu gerçeği, 2010 yılı NMOG hedeflerine bakarak açıkça görülebilir. EPA standartlarında ortalama filo NMOG hedefi 0.090 g/mil olarak belirlenirken, CARB standartlarında aynı hedef tarih için izin verilen NMOG değeri 0.043 g/mil yani yarı yarıya daha azdır.

LEV III standardı LEV II den farklı olarak birkaç noktaya sahiptir, ilk olarak EPA Tier3 te olduğu gibi NMOG yerine artık NMOG+NO_x değerleri hedef emisyon kısıtlaması olmuştur. Daha önce 50.000 mil ve 120.000 mil olan emisyon değerlendirme süreleri birleştirilmiş ve 150.000 mile çıkartılmıştır. Buna karşılık LEV II de bulunmayan yeni ara emisyon kategorileri eklenmiştir. Tablo 12’de LEV III emisyon sınırları görülebilir

Tablo 12.FTP 75 test çevrimine göre 150,000 mil süresince geçerli LEV III Standartları

Araç tipi	Emisyon Kategorisi	NMOG+NO _x	CO	HCHO	PM
		g/mil	g/mil	mg/mil	g/mil
Tüm Binek araçlar	LEV160	0.160	4.2	4	0.01
	ULEV125	0.125	2.1	4	0.01
Hafif ticari araçlar ≤ 8500 lbs Azami yüklü ağırlık	ULEV70	0.070	1.7	4	0.01
	ULEV50	0.050	1.7	4	0.01
Orta ağırlık yolcu aracı	SULEV30	0.030	1.0	4	0.01
	SULEV20	0.020	1.0	4	0.01
Orta ağırlık yolcu aracı 8501- 10,000 lbs azami yüklü ağırlık	LEV395	0.395	6.4	6	0.12
	ULEV340	0.340	6.4	6	0.06
	ULEV250	0.250	6.4	6	0.06
	ULEV200	0.200	4.2	6	0.06
	SULEV170	0.170	4.2	6	0.06
	SULEV150	0.150	3.2	6	0.06
Orta ağırlık yolcu aracı 10,001- 14,000 lbs azami yüklü ağırlık	LEV630	0.630	7.3	6	0.12
	ULEV570	0.570	7.3	6	0.06
	ULEV400	0.400	7.3	6	0.06
	ULEV270	0.270	4.2	6	0.06
	SULEV230	0.230	4.2	6	0.06
	SULEV200	0.200	3.7	6	0.06

Yukarıdaki tabloda da görülebileceği gibi LEV III seviyesinde, LEV II seviyesinde bulunmayan ve NMOG+NO_x değerlerine göre isimlendirilen yeni ara emisyon seviyeleri bulunmaktadır. LEV III ile birlikte filo emisyon değerleri ve partikül madde (PM) limitleri sıkılaşmıştır. Filo NMOG+NO_x değerleri Şekil 23'te, partikül madde limitleri Tablo 13'te ve partikül madde limitlerinin devreye alınma planı Tablo 14'te görülebilir.



Şekil 23.LEV III standardı için yıllara bağlı NMOG+NOx limitleri

Mavi grafik binek araç ve LDT1 seviyesi hafif ticari araçlar Bordo grafik LDT2 seviyesi hafif ticari ve orta ağırlık yolcu araçları ifade etmektedir

Tablo 13.FTP 75 test çevrimine göre LEV III partikül madde limitleri

Araç tipi	PM Limiti	Devreye alınma tarihi
	mg/mil	
Binek araçlar, Hafif ticari araçlar	3	2017-2021
Orta ağırlık yolcu aracı	1	2025-2028
Orta ağırlık hizmet aracı 8501-10,000 lbs	8	2017-2021
Orta ağırlık hizmet aracı 10,001-14,000 lbs	10	2017-2021

Tablo 14.LEV III partikül madde limitleri devreye alınma planı

(Yüzdesel araç oranı)

Yıl	Binek araç Hafif ticari araç Orta ağırlık yolcu aracı		Orta ağırlık hizmet aracı
	PM = 3 mg/mil	PM = 1 mg/mil	PM = 8/10 mg/mil
2017	10	0	10
2018	20	0	20
2019	40	0	40
2020	70	0	70
2021	100	0	100
2022	100	0	100
2023	100	0	100
2024	100	0	100
2025	75	25	100
2026	50	50	100
2027	25	75	100
2028	0	100	100

5.1.2 Avrupa Birliği Standartları

Avrupa birliği emisyon standartları EURO X adlandırmasına sahip olup, EPA ve CARB standartları gibi zaman içerisinde gelişme göstermiştir. Tablolarda paylaşılan tarihler, standartların öneri olarak kabul edilme tarihi olup, devreye alınma tarihleri ve kapsadıkları model yılları değişiklik göstermektedir. EURO standartları EPA ve CARB standartlarından farklı olarak yakıt tipini göz önüne alarak, benzinle ve dizelle çalışan araçlar için farklı standartlar koymuştur. Tablo 15’te görülen standartlar arasında dizel EURO 2 standardında, iki farklı enjeksiyon tipi için, motorların doğasından gelen özelliklere istinaden, farklı emisyon limitleri koyulmuştur.

Tablo 15.Binek araçlar için EU emisyon standartları

Seviye	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Benzin							
Euro 1	1992.07	2.72	-	0.97	-	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Euro 3	2000.01	2.3	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	2009.09	1.0	0.10	-	0.06	0.005	-
Euro 6	2014.09	1.0	0.10	-	0.06	0.005	6.0×10 ¹¹
Dizel							
Euro 1	1992.07	2.72	-	0.97	-	0.14	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09	0.50	-	0.23	0.18	0.005	-
Euro 5b	2011.09	0.50	-	0.23	0.18	0.005	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005	6.0×10 ¹¹

Yakıt cinsine göre farklı emisyon sınırlaması getirmesine karşın, EURO standartları, belirli emisyon türlerinde ortaklaşmaya gitmiştir. Örnek olarak benzinli araçlar için partikül madde sınırlaması dizel araçlardan çok sonra yürürlüğe girmesine karşın (Dizel – Euro 1 / Benzin – Euro 5) ortak sınırlamalara sahiptir. Aynı şekilde, partikül sayısı limitlerinde benzinli araçlara kısıtlama dizel araçlardan sonra gelmesine rağmen, güncel emisyon seviyesi olan EURO 6 da ortak limitlere sahiptirler. Tablo 16 ve 17’de hafif ticari araçlar için EURO standartlarını görebiliriz.

Tablo 16.Benzinli hafif ticari araçlar için EU emisyon standartları

Kategori	Seviye	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
			g/km					
Benzin								
N ₁ , Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	-	-
	Euro 2	1997.01	2.2	-	0.50	-	-	-
	Euro 3	2000.01	2.2	0.20	-	0.15	-	-
	Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
	Euro 5	2009.09	1.0	0.10	-	0.06	0.005	-
	Euro 6	2014.09	1.0	0.10	-	0.06	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₁ , Class II 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.4	-	-	-
	Euro 2	1998.01	4.0	-	0.65	-	-	-
	Euro 3	2001.01	4.17	0.25	-	0.18	-	-
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	-	0.10	-	-
	Euro 5	2010.09	1.81	0.13	-	0.075	0.005	-
	Euro 6	2015.09	1.81	0.13	-	0.075	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₁ , Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.7	-	-	-
	Euro 2	1998.01	5.0	-	0.80	-	-	-
	Euro 3	2001.01	5.22	0.29	-	0.21	-	-
	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	-	0.11	-	-
	Euro 5	2010.09	2.27	0.16	-	0.082	0.005	-
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16	-	0.082	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₂	Euro 5	2010.09	2.27	0.16	-	0.082	0.005	-
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16	-	0.082	0.005	6.0×10 ¹¹

Tablo 17.Dizel hafif ticari araçlar için EU emisyon standartları

Kategori	Seviye	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
			g/km					#/km
Dizel								
N ₁ , Sınıf I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14	-
	Euro 2 IDI	1997.01	1.0	-	0.70	-	0.08	-
	Euro 2 DI	1997.01	1.0	-	0.90	-	0.10	-
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
	Euro 5a	2009.09	0.50	-	0.23	0.18	0.005	-
	Euro 5b	2011.09	0.50	-	0.23	0.18	0.005	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₁ , Sınıf II 1305- 1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.4	-	0.19	-
	Euro 2 IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0.12	-
	Euro 2 DI	1998.01	1.25	-	1.3	-	0.14	-
	Euro 3	2001.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07	-
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04	-
	Euro 5a	2010.09	0.63	-	0.295	0.235	0.005	-
	Euro 5b	2011.09	0.63	-	0.295	0.235	0.005	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015.09	0.63	-	0.195	0.105	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₁ , Sınıf III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.7	-	0.25	-
	Euro 2 IDI	1998.01	1.5	-	1.2	-	0.17	-
	Euro 2 DI	1998.01	1.5	-	1.6	-	0.20	-
	Euro 3	2001.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10	-
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06	-
	Euro 5a	2010.09	0.74	-	0.350	0.280	0.005	-
	Euro 5b	2011.09	0.74	-	0.350	0.280	0.005	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005	6.0×10 ¹¹
N ₂	Euro 5a	2010.09	0.74	-	0.350	0.280	0.005	-
	Euro 5b	2011.09	0.74	-	0.350	0.280	0.005	6.0×10 ¹¹
	Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005	6.0×10 ¹¹

EURO standartları test edilirken, EPA standartlarında kullanılan FTP test çevrimi yerine, NEDC test çevrimini kullanılır. NEDC çevrimine ek olarak 2017 yılında WLTC test çevrimi devreye alınmıştır ve 2018 yılından itibaren geçerli test çevrimi

olarak kabul görmüştür. 2016 yılında araç dinamometresinde yapılan testlere ek olarak (NEDC WLTC FTP vb.) RDE olarak adlandırılan ve emisyon değerlerini gerçek sürüş koşullarında görmek amacıyla yolda yapılan yeni bir test çevrimi yürürlüğe girmiştir.

5.1.3 Çin Standartları

Çin’de kullanılan standartlar, büyük bir kısmı Avrupa birliği standartları baz alınarak oluşturulan standartlardır (Tablo 18-20). Avrupa birliği standartlarından farklı olarak hafif ticari araçlar ağırlığa bağlı araç sınıflandırmasına sahiptir:

- 1. Kategori: M1 araçları olarak isimlendirilir. Şoför dahil 6 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir ve azami yüklü ağırlık <2.5 ton
- 2. Kategori: hafif ticari araçlar bu kapsamda değerlendirilir ve 3 alt kategoriye ayrılır
 - Sınıf I: Referans ağırlığı ≤ 1305 kg
 - Sınıf II: $1305 \text{ kg} < \text{Referans ağırlığı} \leq 1760$ kg
 - Sınıf III: Referans ağırlığı > 1760 kg

Tablo 18. Aynı emisyon seviyesinde, Çin ve Avrupa standartlarının limitleri –Pozitif ateşlemeli motor/ benzinli motor

Emisyon seviyesi	Kategori	Araç Sınıfı	CO	HC	NMHC	NO _x	PM	PN
			g/km					#/km
China 3	Kategori 1		2.3	0.20	-	0.15	-	
	Kategori 2	I	2.3	0.20	-	0.15	-	
		II	4.17	0.25	-	0.18	-	
		III	5.22	0.29	-	0.21	-	
Euro 3	-	-	2.3	0.20	-	0.15	-	-

Tablo 19.Aynı emisyon seviyesinde, Çin ve Avrupa standartlarının limitleri – sıkıştırma ateşlemeli motor/ dizel motor

Emisyon seviyesi	Kategori	Araç Sınıfı	CO	HC+NOx	NOx	PM	PN
			g/km				#/km
China 3	Kategori 1		0.64	0.56	0.50	0.050	
	Kategori 2	I	0.64	0.56	0.50	0.050	
		II	0.80	0.72	0.65	0.070	
		III	0.95	0.86	0.78	0.100	
Euro 3	-	-	0.64	0.56	0.50	0.05	-

Tablo 20.Çin emisyon standartları ve devreye alınma tarihleri (PI: pozitif ateşlemeli motor CI: sıkıştırma ateşlemeli motor)

Seviye	Tarih	Geçerli olduğu bölge	Referans alındığı standart
China 1	2000.01	Ülke geneli	Euro 1
China 2	2002.08	Beijing	Euro 2
	2003.03	Shanghai	
	PI: 2004.07 CI: 2003.09	Ülke geneli	
China 3	2005.12	Beijing	Euro 3
	2006.10	Guangzhou	
	2007.01	Shanghai	
	2007.07	Ülke geneli	
China 4	2008.03	Beijing	Euro 4
	2009.11	Shanghai	
	PI: 2011.07 CI: 2015.01	Ülke geneli	
China 5	2013.02	Beijing	Euro 5
	2014.05	Shanghai	
	2016.04	Ülke geneli	
	2017.01		
	2018.01		
China 6a	2020.07	Ülke geneli	Euro 6
China 6b	2023.07	Ülke geneli	

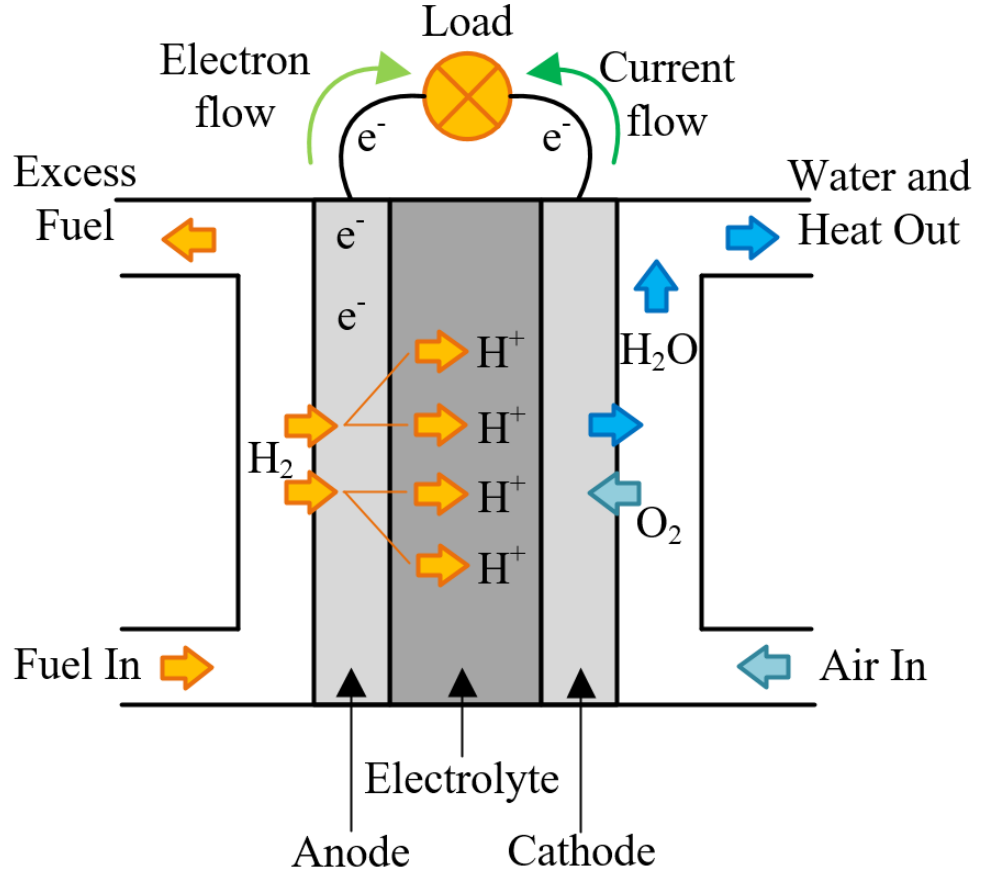
6. BÖLÜM: HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

6.1 Genel Tanımlar

Hibrit araç tanımı geniş olarak, birden fazla itici güç kaynağı kullanan araç olarak yapılmaktadır. Bu tanıma bakarak LPG ile birlikte kullanılan benzinli araçlar akla gelebilir, ancak bahsi geçen araçlarda aslında yalnızca bir itici güç kaynağı (içten yanmalı motor) bulunmakta ve bu kaynağı besleyen iki farklı yakıt sistemi bulunmaktadır. Bu sebeple hibrit araç denildiği zaman yaygın olarak, içten yanmalı motor ve elektrikli motor kombinasyonu kastedilmektedir. Son dönemlerde bazı firmaların içten yanmalı motor ile birlikte “Fuel cell” olarak adlandırılan hidrojen hücreleri kullanmaya başladığı görülüyor. Bu konudaki kavram belirsizliğini açıklamadan hibrit araçları tam olarak anlamak mümkün değildir.

Elektrik motoru taşıyan hibrit araçlar, elektrik motorlarına güç sağlaması için aracın içerisinde ekstra bir batarya sistemi veya süper kapasitörler barındırırlar. Fuel cell ise aslında bu batarya veya süper kapasitörlerin yerini alan bir sistemdir. Elektrik motorlarının ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı veya tamamı hidrojen hücresi ile sağlanmaktadır.

Yakıt olarak sıkıştırılmış hidrojen gazı kullanan fuel cell araçlar, eğer herhangi bir içten yanmalı motorla birlikte kullanılmaz ve araçta yalnız başına kullanılırsa sıfır emisyon aracı (Zero Emission Vehicle) olarak kabul edilir. Bunun sebebi ise emisyon olarak yalnızca sıcaklık ve su çıkarmasıdır. Fuel cell sistemi, tanklarında depolanan hidrojen gazını, sistemin içerisine aldığı havada bulunan oksijenle, elektrotlar ve bu elektrotlar arasında bulunan elektrolit ortam üzerinden geçirerek bir araya getirir. Hidrojen iyonlarının elektrotlar ve elektrolit üzerinden geçişi sırasında akım yaratarak enerji üretme prensibine dayanır. (Şekil 24)



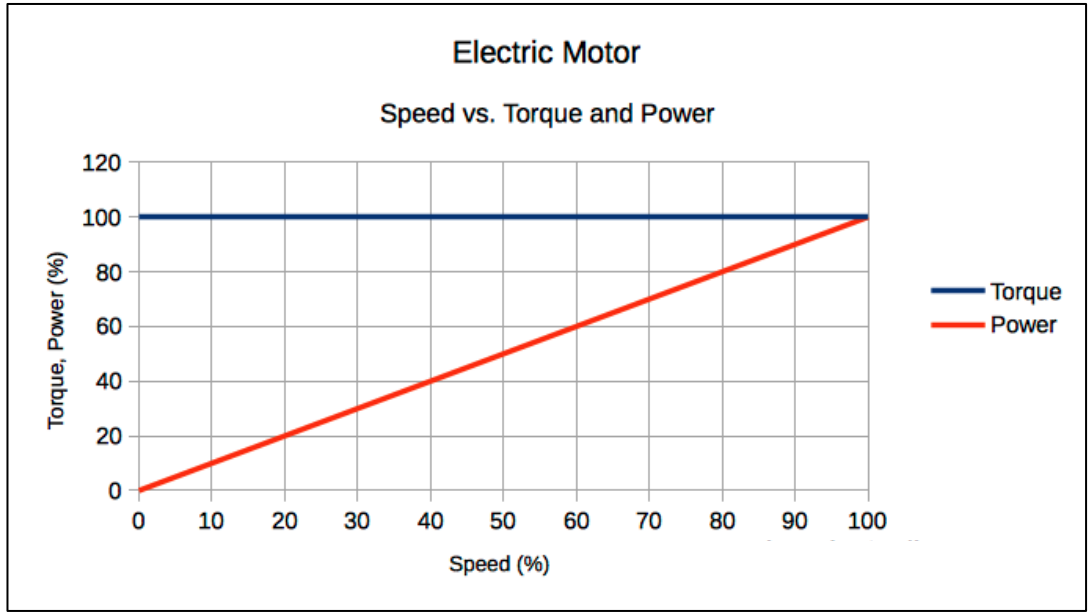
Şekil 24. Fuel cell çalışma prensibi

Özet olarak fuel cell teknolojisine sahip araçlarda aslında elektrikli veya hibrit araçlardır. Bakıldığı zaman normal elektrikli araçtan tek farkları elektriği oluşturma yöntemlerinin farklı olmasıdır.

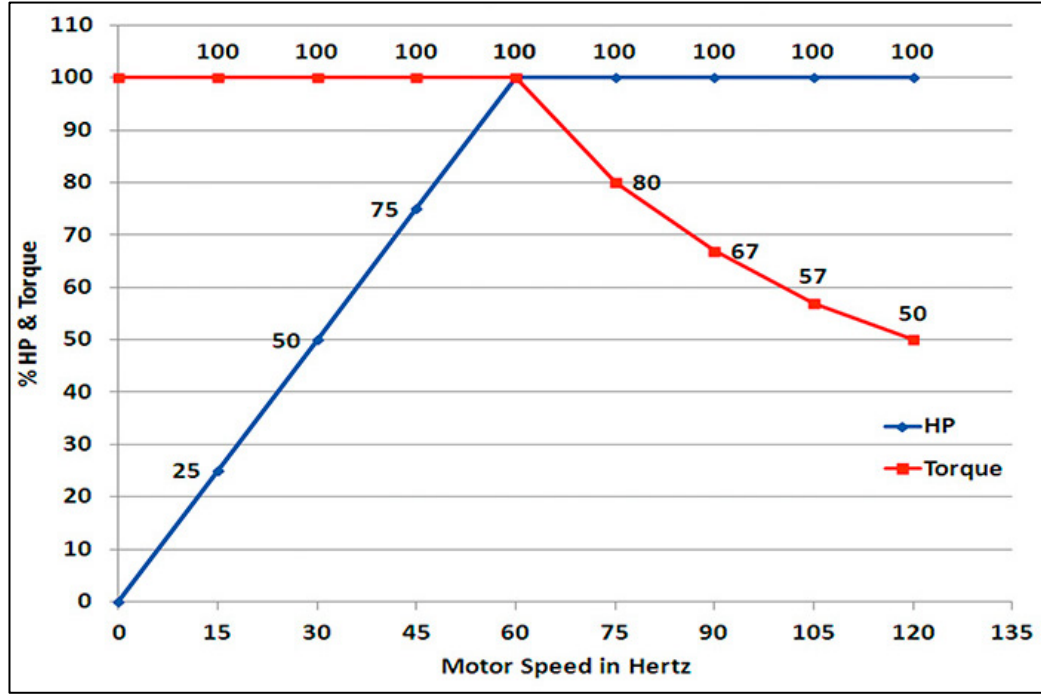
6.2 Hibrit araçlarda içten yanmalı motor seçimi

Hibrit araç sistemleri neredeyse tamamen elektrik motoru ile benzinle çalışan içten yanmalı motorun birlikte kullanılması sayesinde elde edilir. Hibrit teknolojisinin kullanılmasının temel mantığı emisyonları ve karbondioksit salınımını azaltmak olduğunu düşünürsek, daha verimli olan dizel içten yanmalı motorlarla birlikte kullanılması, bu amaca daha fazla hizmet edecek gibi gözükmemektedir. Ancak gerçekte durum bu şekilde değildir.

Elektrik motorları içten yanmalı motorlara göre çok daha verimli motorlardır. İçten yanmalı motorlardan ayrılan bir özelliği de maksimum tork değerine ilk çalışma anından itibaren ulaşarak sabit bir artışta güç sağlayabilirler. Şekil 25'te görülen güç tork haritasına bakılarak elektrik motorlarının sağladıkları tork değerlerinin yüzdesel olarak sabit olduğunu görebiliriz. Ancak tabii ki her zaman sabit bir tork değerinde çalışmazlar, motor hızı belirli bir değerin üzerine çıktığı zaman, motor hızına bağlı olarak tork değerinde azalma görülür (Şekil 26). İki şekil arasındaki fark ise Şekil 25'te gösterilen tork, elektrik motorunun o motor hızı noktasında verebileceği maksimum tork değerini verdiğini gösterirken, Şekil 26'da gösterilen tork değeri, elektrik motorunun tork kapasitesinin yüzde kaçını sağladığını göstermektedir.

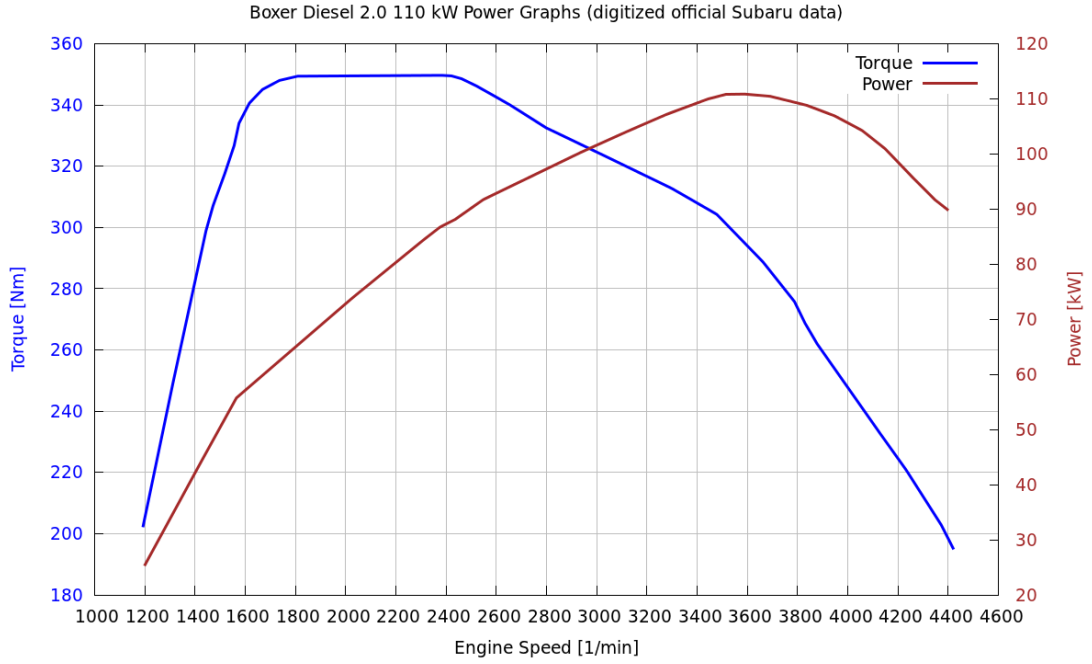


Şekil 25. Elektrikli motorların hızlarına bağlı yüzdesel olarak güç- tork haritası



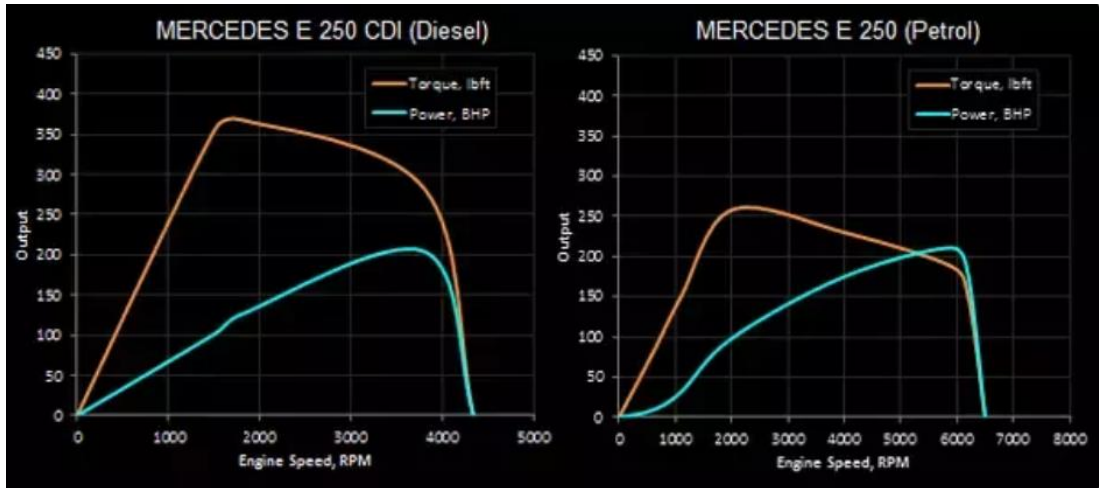
Şekil 26. Elektrik motorlarının gerçek güç-tork eğrisi

İçten yanmalı motorların güç-tork eğrileri ise elektrikli araçlardan çok farklıdır. Şekil 27’de dizel motorlar için örnek bir güç-tork eğrisi görülebilir. Elektrik motorlarından farklı olarak, düşük motor hızlarında yüksek tork ve düşük güç değerlerine sahip olan dizel motorlar, yüksek devirlerde düşük tork ve yüksek güç değerlerine sahiptir. Benzinli araçların güç tork eğrisi ise dizel araçlardan farklılık gösterir (Şekil 28). Dizel araçlar benzinli araçlara göre daha yüksek tork değerlerine sahip oldukları ve bu tork değerlerini daha düşük motor hızlarında sağlayabildikleri için benzinli araçlara kıyasla düşük motor hızlarında daha fazla güç sağlarlar ancak yüksek motor hızlarında benzinli araçlar kadar güç üretemezler.



Şekil 27. Dizel motorlar için örnek güç tork eğrisi

Benzinli araçlar ise düşük motor hızlarında düşük tork ve güç üretirler, ancak motor hızı arttıkça dizel araçlara göre daha yüksek güç değerlerine ulaşırlar.



Şekil 28. Aynı aracın dizel motor ve benzinli motor varyantının güç tork eğri farkı

Dizel motorlardan farklı olarak benzinli araçlar farklı termodinamik çevrimler kullanarak şekilde tasarlanabilirler. Benzinli motorlar arasında en yaygın olarak kullanılan Otto çevrimi bütün motor hızlarına yayılı bir güç üretecek şekilde

tasarlanmış bir çevrimken Miller\Atkinson çevrimi, Otto çevrimine kıyasla düşük devirlerde düşük güç üreten, daha yavaş devirlenen ancak daha verimli bir çevrimdir.

Bu bilgiler ışığında, içten yanmalı bir dizel ile elektrik motorunu bir arada kullanmanın neden anlamlı olmadığı ortaya çıkıyor. Hibrit araçlarda elektrik motoru yalnızca düşük yük altında aktiftir ve aktif olduğu bu alan dizel motorun en çok tork sağladığı alandır. Dizel elektrik hibrit araçlar düşük motor hızı ve yükü altında iyi hızlanmaya sahip ancak yüksek motor hız bölgelerinde veya yüksek yükler altında yeterince güç üretemeyen, talebi karşılayamayan bir güç sistemi oluşturur.

Benzin-elektrik hibrit araçlar ise dizel hibritlere göre çok daha verimli bir sistemdir. Bu durumun sebebi benzin kullanan içten yanmalı motorlar karakteristik olarak düşük motor hızı ve yük bölgelerinde az güç üretirken, bu bölgede daha verimli olan elektrik motoru aktiftir. Aynı şekilde yüksek çalışma hızı ve motor yükü bölgesinde zayıf kalan elektrik motoru yerine bu alanda daha verimli ve yüksek güç sağlayan benzinli içten yanmalı motor devre olacağı için her iki motor da verimli ve güçlü olduğu bölgede çalışır. Bu sayede çok daha geniş bir motor hızı ve yük bölgesine dağılmış şekilde güç üretimi sağlanabilir.

Yukarıda belirtilen motor güç karakteristikleri haricinde, dizel çevrimi benzin çevrimlerine kıyasla yakıt tüketimi açısından daha düşük değerlere sahiptir, bu sebeple dizel hibrit araçlara oranla benzinli hibrit araçlar daha fazla emisyon kazanımı sağlamaktadır.

Bir örnekle açıklamak gerekirse:

İçten yanmalı dizel yakıt tüketim değerini ortalama 5lt/100 km

İçten yanmalı benzin yakıt tüketim değerini ortalama 8 lt/100 km

Hibritleşme sonucu %50 yakıt tasarrufu sağlandığını ve her iki hibrit aracında aynı koşullarda, şehir içi kullanıldığını kabul edelim. Çok kaba bir hesaplama, dizel hibrit ortalama 2,5 lt/100 km kazanım sağlarken, benzin hibrit 4 lt/100 km kazanım sağlayacaktır.

6.3 Hibrit araç çeşitleri ve sınıfları

Piyasada elektrik motoru ile içten yanmalı motorun bir arada bulunduğu farklı hibrit çeşitleri mevcuttur. Farklı sistemlerin birbirlerine karşı farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanılan farklı hibrit araç sistemleri:

- Paralel hibrit sistemleri
- Through the road (TTR) hibrit sistemleri
- Seri hibrit sistemleri
- Çift mod Hibrit sistemleri (Power Split \ Two mode Hybrid)

Hibrit araç sistemleri aracın içerisinde kullanılan elektriksel sistemin, yapısını ve güç aktarma organlarına bağlantı çeşidini ifade ederken, hibrit seviyesi, aracın ne ölçüde elektrik gücünü kullandığını ifade eder. Farklı hibrit seviyeleri:

- Mikro hibrit (Micro Hybrid \ Start stop)
- Yarı Hibrit (Mild Hybrid)
- Tam Hibrit (Full Hybrid)
- Harici şarj edilebilir Hibrit (Plug in hybrid)

Genel olarak hibrit araçların artıları ve eksileri aşağıdaki gibidir:

- Hibrit araçlar, içten yanmalı araçların frenleme sırasında ısı enerjisi olarak kaybettiği taşıtın kinetik enerjisinin bir kısmını bataryalarını doldurmak için kullanabilir.
- Hibrit araçlarda kullanılan içten yanmalı motorlar seçilirken, aracın performansını etkileme sorunu olmadan, daha küçük hacimli motor tercih edilebilir. [Otto çevrimi yerine (daha yüksek güç yoğunluğu, düşük motor hızında daha yüksek tork, düşük yakıt verimliliği) Atkinson çevrimi (düşük güç yoğunluğu, düşük motor hızında düşük tork, yüksek yakıt verimliliği) tercih edilmesi. Elektrik motoru atkinson çevriminin düşük motor hızlarında zayıf kalan tork değerini telafi ederek aracın performans açısından bir kayıp yaşamamasını önler ve bu sayede daha verimli bir içten yanmalı motor kullanılmasına olanak sağlar]
- Hibrit araçlar, bünyelerinde bulunan içten yanmalı motorları en verimli noktada çalıştırarak, emisyonlarını ve yakıt tüketimini optimize edebilir.

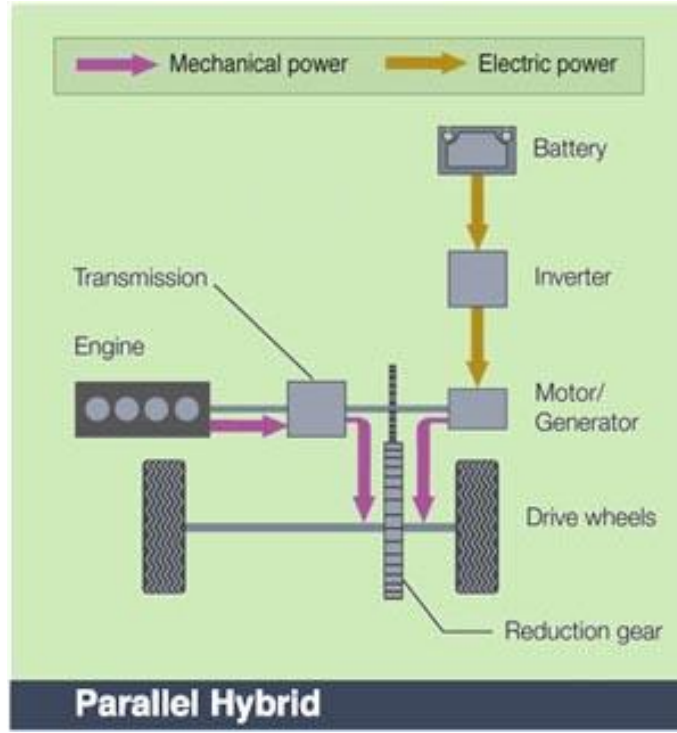
- Çoklu güç kaynağı bulunan bir sistem olan hibrit araçların en büyük sorunu ise, farklı güç sağlayıcı sistemler arasındaki güç akışını düzenlemek ve bu sayede hem emisyon ve karbondioksit salınımları hem de yakıt tüketimi için dengeyi sağlayabilmektir. Bu problem en genel ismiyle, hibrit araçlarda enerji yönetimi olarak geçer ve üç temel hedeften oluşur:

- Yakıt tüketimini azaltmak
- Emisyonları ve karbon dioksit salınımını en aza indirmek
- Bunları yaparken aracın sürüş dinamiklerini kabul edilebilir seviyede tutmak

Paralel Hibrit:

Paralel hibrit araç sistemlerinde hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor güç aktarma organlarına bağlıdır ve motoru hareket ettirebilir. Bu tanımda yanlış anlaşılabilen nokta, motoru hareket ettirmek ile yalnızca elektrikli motor sayesinde aracın mesafe kat etmesidir. Aracın herhangi bir şekilde yer değiştirmesine gerek olmadan, motoru durağan halden rölanti devrine getirip bu durumda tutmak motoru hareket ettirmek olarak geçer.

Paralel hibrit araçlarda hem motor hem jeneratör görevi gören motorlar kullanılır. Elektrik motorunun bu özelliği sayesinde içten yanmalı motor çalışırken, aynı zamanda elektrik motorunu çevirerek aracın bataryasını şarj edebilir. Bu sistemi içten yanmalı motorlu araçlarda ki alternatör sistemine benzetebiliriz. (Şekil 29)



Şekil 29.Paralel hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diyagramı

Şekil 29’da görüldüğü gibi elektrik motoru ile içten yanmalı motor doğrudan birbirlerine ve aracın tekerleklerine bağlıdır.

Paralel hibrit araçlarda aracın hibritleşme seviyesine bağlı olarak, yarı hibrit, tam hibrit veya harici şarj edilebilir seviyelerinden birisine sahipse, aracın çalıştırılması ve düşük yüklerde kullanılması durumunda yalnızca elektrik motoru kullanılarak, içten yanmalı motorların ilk çalıştırma sırasında oluşturduğu, yüksek miktarda hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları ortadan kaldırılabılır. Ek olarak şehir içi kullanımların bir kısmında, motordan yüksek miktarda yük talep edilmediği ve batarya şarj edilmesine gerek olmayan durumlarda, içten yanmalı motorda yakıt enjeksiyonu kesilerek, sadece elektrik motorunun tahriki ile araç yol alması sağlanmaktadır. Bu sayede karbon dioksit ve diğer hava kirletici emisyonlar büyük oranda azaltılmaktadır. Paralel hibritlerin bir artısı da her iki motor da doğrudan güç aktarma organlarına bağlı olduğu için mekanik güç direkt olarak tekerleklerle iletilir. Bu sayede seri hibritlerde olduğu gibi mekanik enerjinin elektrığe dönüştürülüp tekerleklerle iletilmesi sırasında ortaya çıkan verimsizlik ortadan kaldırılmış olur. Ancak hiçbir zaman elektrik motoru

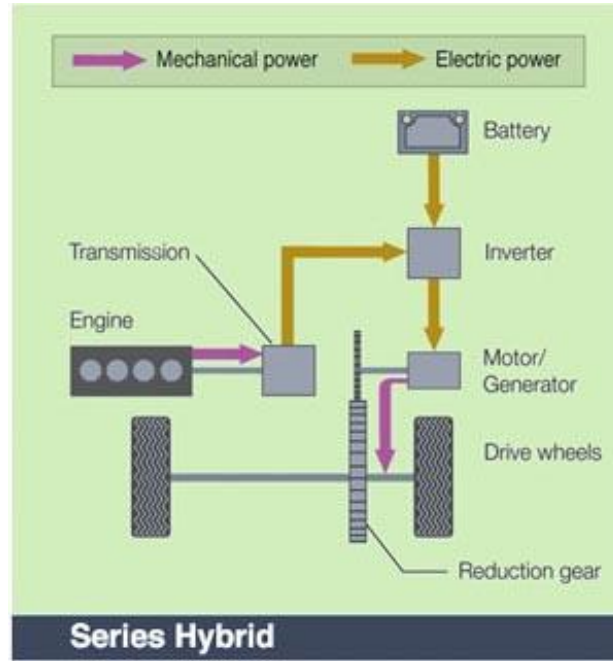
ile içten yanmalı motorun bağlantısı kesilemediği için oluşan bir verim kaybı vardır. Bu verim kaybını çift mod hibrit araçlar güç kesici elemanlarla çözmeyi başarır. [33]

Through the road (TTR) hibritler:

Paralel hibrit araçlarda olduğu gibi, bu hibrit türünde de her iki motor güç aktarma organlarına bağlıdır ancak paralel hibritten farklı olarak her iki motor ortak bir şaft üzerinde olmak yerine bir motor aracın ön aksına bağlıyken bir diğeri arka aksına bağlıdır. Bu sistemin sağladığı avantaj, içten yanmalı motor ile elektrik motorunun aynı gücü sağlayabildiği çalışma bölgelerinde aracın dört çeker olarak kullanılmasına olanak sağlar.

Seri hibritler:

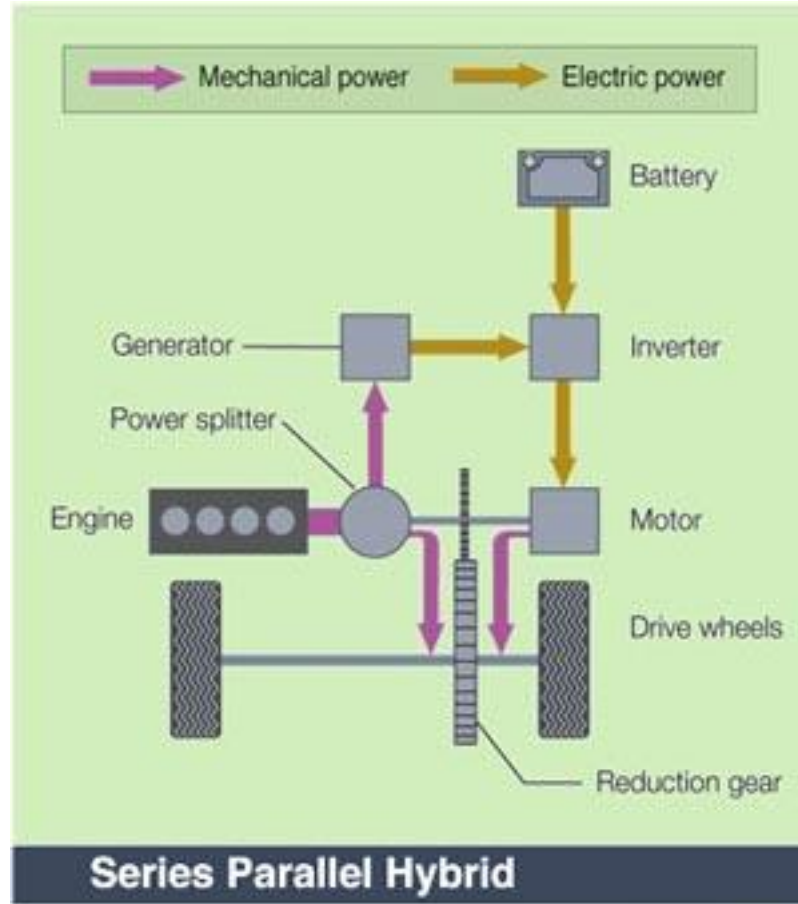
Seri hibrit araçlarda yalnızca elektrik motoru güç aktarma organlarına bağlıdır ve aracın hareketinden sorumlu olan motordur. Bu sistem diziliminde içten yanmalı motor sadece elektrik sistemini şarj etmek amacıyla kullanılır. İçten yanmalı motorun ürettiği mekanik gücü elektriksel güce dönüştürerek kullanan bu sistem, bu dönüşüm sırasında enerjinin bir kısmı kaybolduğu için verimsizlik yaratmaktadır. Seri hibritlerde, paralel hibritlere göre daha büyük bir batarya paketi ve daha küçük bir içten yanmalı motor kullanılmaktadır, bunun sebebi içten yanmalı motorun tek görevi araçta bulunan jeneratör sistemi üzerinden elektrik motoruna ve bataryalara elektrik sağlamasıdır. (Şekil 30) Herhangi bir güç sağlama amacı bulunmadığı için içten yanmalı motor, en verimli olduğu motor hızı ve yük değerinde çalışarak hem emisyon ve karbon dioksit hem de yakıt tasarrufu sağlar. [34] İçten yanmalı motor aracın sürüş mesafesini arttırma özelliği gösterdiği için bu tarz hibrit araçlara, Extender Range Electrical Vehicle (EREV) veya Range Extended Electrical Vehicle (REEV) isimleri verilmektedir.



Şekil 30.Seri hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diyagramı

Çift mod Hibrit sistemleri (Power Split \ Two mode Hybrid):

Çift mod hibrit sistemlerinin paralel hibrit araç sistemlerinden farkı gerektiği zaman içten yanmalı veya elektrikli motorun güç aktarma organları ile bağlantısı güç bölücü elemanlarla kesilerek herhangi bir anda yalnızca bir motorun kullanılması durumunda, diğer motoru da çevirmek zorunda kalması engellenir. Bu sayede paralel hibrit araçlarda oluşan enerji kaybı engellenir. (Şekil 31)



Şekil 32.Çift mod hibrit araçlarda mekanik ve elektrik güç üretim ve akış diagramı

Hibrit araç seviyeleri, araç sistemlerinden bağımsız olarak elektriksel sistemin kapasitesine, özelliklerine ve araçta oynadığı role göre sınıflandırılır. Tabi ki bazı kısıtlamalar vardır, örneğin yalnızca stop start sistemini elektriksel güçle çalıştıran micro hibrit seviyesi elektriksel sistemin, seri hibrit bir araçta olması mümkün değildir. Hangi hibrit araç sistemlerinde hangi seviye hibritleşme olduğunu anlamak için önce sistemlerin özelliklerini ve kapasitelerini incelemek gerekir.

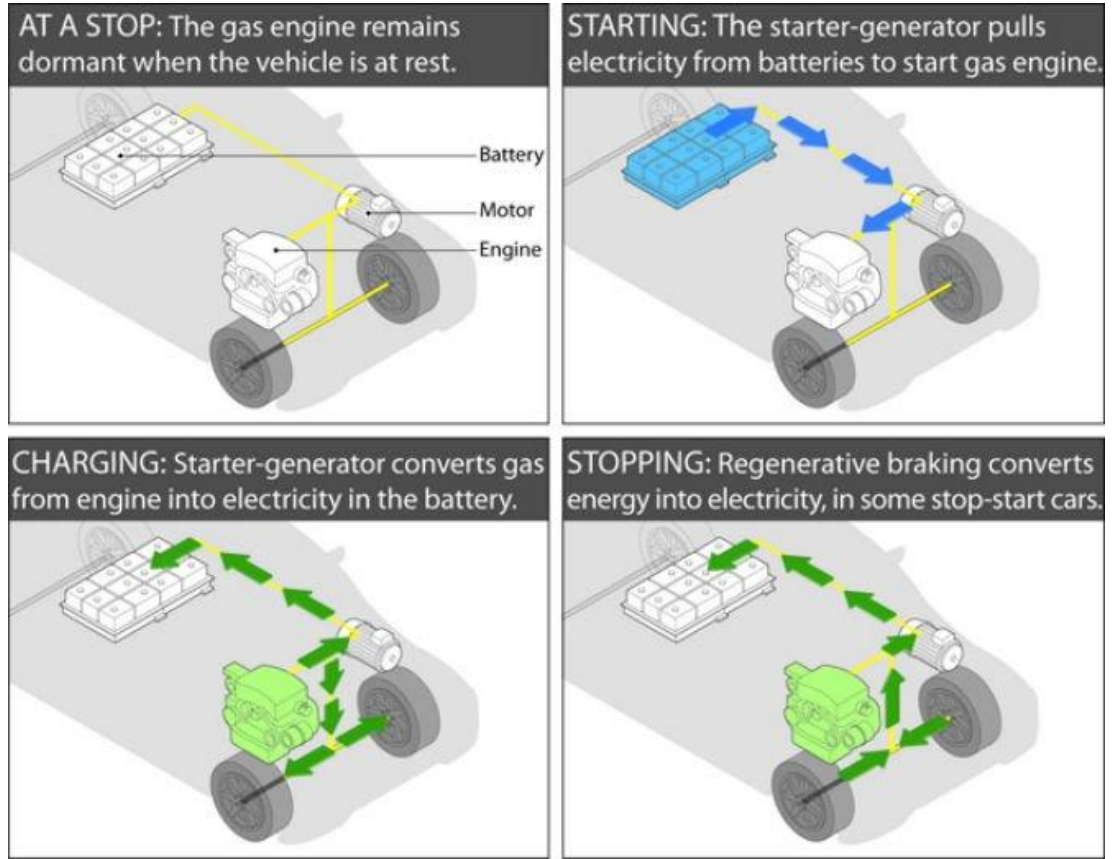
Yarı Hibrit (Mild Hybrid):

Yarı hibritler, gerçek anlamda hibritleşmenin ilk seviyesidir. “Stop-Start” özelliğinin haricinde içten yanmalı motora belirli bir noktaya kadar aracın hareketi konusunda destek olabilme özelliğine sahiptir. Yarı hibrit sistemler tam anlamıyla sadece elektrik motoru tarafından sağlanan sürüşe olanak sağlamazlar ve bu özellikleri onları tam hibritlerden ayıran en büyük özellikleridir. Yarı hibrit araçlarda bulunan elektrik motoru, araçtan tork talebi olmayan ve vites kutusundan ayrılmış ancak belirli bir hız

sahip şekilde yol alırken (Coast down) içten yanmalı motorun kapatılmasına olanak sağlar. Tork talebi gelmesi durumunda, içten yanmalı motorun çalıştırılması için herhangi bir yakıt kullanılmadan, elektrik motoru aracın hızına bakarak, motoru uygun hıza getirme görevini üstlenir. Motorun kapalı olduğu süre boyunca, aracın yan sistemleri ise batarya sisteminden beslenerek çalışır durumda tutulur. Mikro hibritlerden farklı olarak, yarı hibritler rejeneratif fren sistemi kullanabilir. Rejeneratif fren sistemi, aracın kinetik enerjisinin bir kısmının geri kazanımına olanak sağlar. Bu teknolojiyle ilgili birkaç önemli nokta, ilk olarak bu sistem her zaman aktif bir sistem değildir, yalnızca fren yapıldığı zaman devreye giren bir sistemdir. Araç aktif olarak hızlanırken veya tork talebi varken herhangi bir elektrik üretimi mevcut değildir. İkinci olarak elektrik motoru veya bataryalar için sistemin içerisinde bulunmayan, haricen enerji üreten bir sistem değildir, aracın hızlandırılması için harcanan ve kinetik enerjiye dönüşen elektrik enerjisinin bir kısmını araç fren yaptığı sırada, aksi takdirde ısı enerjisi olarak kaybolacak enerjiyi geri kazanarak verimsizliği azaltan bir sistemdir. [36]

Tam Hibrit (Full Hybrid):

Tam anlamıyla içten yanmalı motor, elektrik motoru veya bu ikisinin birlikte çalışması sayesinde hareket edebilme özelliği olan araçlar tam hibrit seviyesinde araçlardır. [35] Diğer hibrit sistemlere göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Genel çalışma prensibi ise, düşük yüklerde ve batarya şarj değeri yüksekse, araç yalnızca elektrik motoruyla hareket eder. Yüksek güç talep edilen durumlarda veya batarya şarj değeri düşükse, yalnızca içten yanmalı motor ile hareket eder ve aynı zamanda batarya sisteminin şarjını sağlar. [35] Tam hibrit, kendinden daha düşük hibritleşme seviyesinde sağlanan rejeneratif fren ve “Stop-Start” gibi batarya şarj sistemlerinden de faydalanır (Şekil 33). Tam hibrit araçlar elektrik motoruyla sürüşe imkân sağlayabilmek için büyük kapasitede batarya paketlerine ihtiyaç duyarlar.



Şekil 33.Hibrit araçlarda bulunan rejeneratif frenleme ve “Stop-Start” sistemlerinin çalışma prensibi

Şekil 33’te sol üst köşede araç durağan halde bulunurken, içten yanmalı motor aktif değildir, “Stop-Start” sistemi devrededir ve içten yanmalı motorun çalışmasına ihtiyaç yoktur. Sağ üst resimde, araç durağan halden çalışır hale getirilmek istenildiğinde “Stop-Start” sistemi içten yanmalı motor yerine elektrik motorunu devreye alarak aracın çalıştırılması sırasında içten yanmalı motora ihtiyaç kalmasını önler. Sol alt resimde, araç hareket halindeyken içten yanmalı motor desteğiyle batarya şarj sistemi çalıştırılmaktadır. İçten yanmalı motor hem aracın hareketinden sorumludur hem de elektrik motorunu jeneratör olarak çalıştırarak, bataryayı şarj etmekten sorumludur. Sağ alt resimde araç fren yapıldığı durumda, aracın kinetik enerjisinin jeneratör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülerek batarya sistemini şart etmesi sağlanmaktadır.

Harici şarj edilebilir Hibrit (Plug in hybrid):

Harici şarj edilebilir hibrit araçlar, daha çok PHEV kısaltmasıyla bilinirler. Bir hibrit elektrikli aracın PHEV olarak değerlendirilebilmesi için batarya sisteminin 4 kWh kapasitesinde veya daha büyük olması, batarya sistemini harici bir elektrik kaynağından şarj etme olanağı olması ve sadece elektrik motorunun sürüşü sayesinde en az 10 mil (16,1 km) yol alabilmesi gerekmektedir. [37] PHEV araçlar hem seri hem paralel hibrit olarak üretilebilirler. PHEV araçların hava kirleticisi emisyonlara sağladığı katkı, aracın içten yanmalı motorunun daha az çalışmasını sağlaması ile kısıtlı değildir. Eğer aracın şarj edildiği şebeke elektriği geri dönüştürülebilir veya doğal enerjiden sağlanıyorsa (Güneş, rüzgâr enerji santralleri vb.) potansiyel olarak büyük miktarlarda hava kirleticisi ve karbondioksit emisyonları azaltma imkânı sağlayabilir.

PHEV araçların yalnızca elektrik motoru ile alabileceği yol kısıtlı olmasına karşın, günlük kullanım için fazlasıyla yeterli bir menzile sahiptir. 20-80mil/32 – 128 km mesafeyi yalnızca elektrik motoruyla gidebilen PHEV araçlar, birçok insanın günlük şehir içi kullanımı için yeterli olacaktır. Şarj süresi, aracın teknolojisine, batarya kapasitesine ve şebekeden sağlanan voltaja bağlı olsa bile, 240V sağlayan bir şebeke ile ortalama 4 ila 8 saat içerisinde tam şarj elde edilebilir [38]. PHEV araçların isimlendirmesinde, elektrik motoruyla alabileceği yaklaşık yol belirtilir. PHEV 20 bir araç, elektrik motoruyla 20 mil gidecek şekilde, PHEV 80 bir araç ise 80 mil gidecek şekilde tasarlanmıştır. Tabi ki bu mesafeler kullanım koşullarına yol durumuna ve bunun gibi başka harici faktörlere göre değişiklik gösterebilir.

7. HİBRİT ARAÇLARA GEÇİŞLE ELDE EDİLECEK EMİSYON AZALTIMLARI

Ülkemiz genelinde sağlanacak hava kirletici ve CO₂ emisyonlarındaki azalmayı inceleyebilmek için öncelikle belirli bir test çevrimi belirleyip, aynı aracın içten yanmalı modeli ile paralel hibrit modelini aynı koşullar altında incelenmesi gerekmektedir. Aşağıda yapılan inceleme kapsamına yalnızca binek araçlar alınmıştır. Bunun sebebi henüz hafif ve ağır ticari araçlar için hibritleşme teknolojisi çok erken aşamalarında bulunmaktadır ve tekil birkaç üretici modeli dışında genele yayılmış bir örneği bulunmamaktadır.

7.1 Tez kapsamında yapılan emisyon testleri

7.1.1 Metot ve yöntem

Tez kapsamında yapılan emisyon testleri, araçların emisyon standartlarına uygun olduğunu kontrol amaçlı yapılan emisyon testi prosedürlerine uygun olarak yapılmıştır. Test prosedürleri Avrupa birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'nin emisyon testlerini kapsamaktadır.

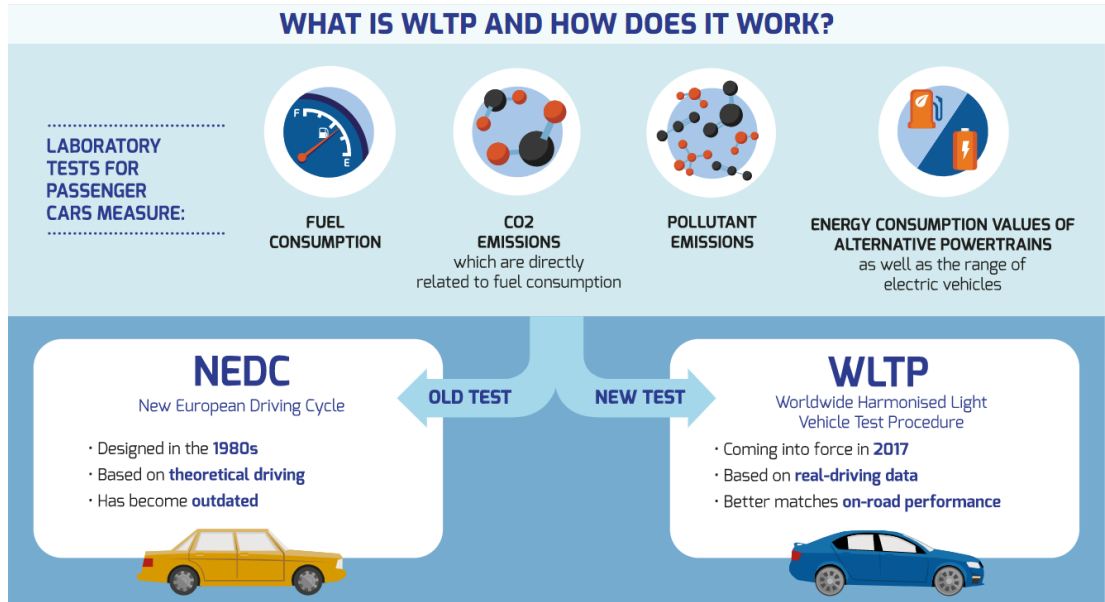
Test prosedürleri kapsamında, araçlar test öncesi en az 8 saat 23°C de motorlar kapalı halde ön koşullandırmada bekletilmiştir. Devamında motorları çalıştırılmadan araç dinamometre odasına alınıp tamburların üzerine yerleştirilmiş, ön ve arka tarafından sabitlenmiştir. Test koşulları gereksinimi olarak test odası 23°C şartlandırılmış ve tüm testlerde aynı yakıt kullanılmıştır. Aynı motor hacmine sahip içten yanmalı ve hibrit araçlar arka arkaya test edilmiştir. Toplamda 4 farklı araç ve 2 farklı motor boyutunda araç test edilmiştir. Test edilen araçların özellikleri:

- 1,4 litre turbo besleme içten yanmalı motora sahip hibrit ve konvansiyonel araç
- 2,3 litre atmosferik içten yanmalı motora sahip hibrit ve konvansiyonel araç

Tez kapsamında yapılan emisyon testleri iki farklı ana başlık altında incelenmiştir:

- Avrupa emisyon testleri – WLTP test çevrimi kullanılmıştır (NEDC yerine yürürlüğe giren güncel emisyon ölçüm testi) (Şekil 34)

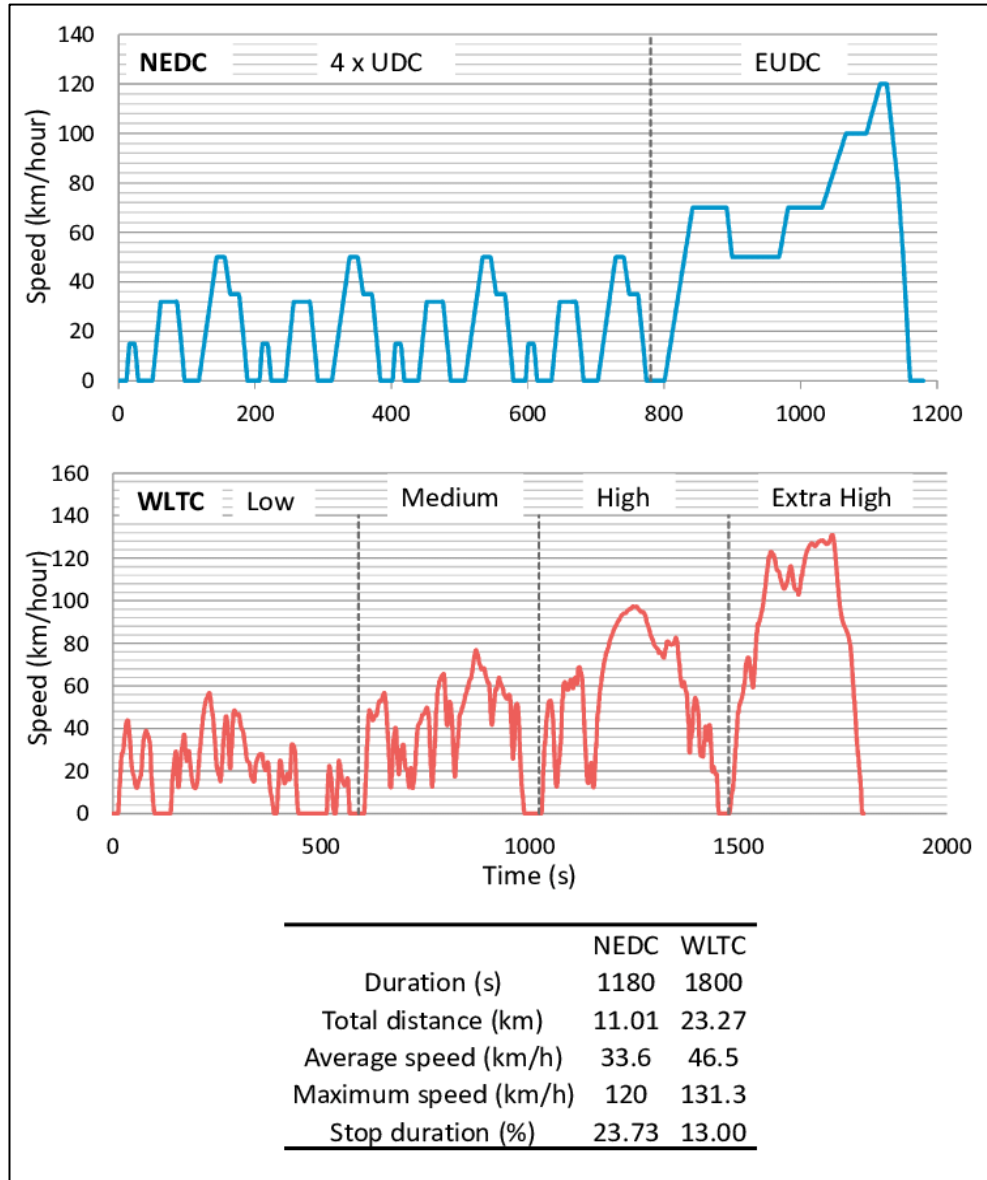
- Amerika emisyon testleri – FTP75 test çevrimi kullanılmıştır



Şekil 34.WLTP test çevrimi [39]

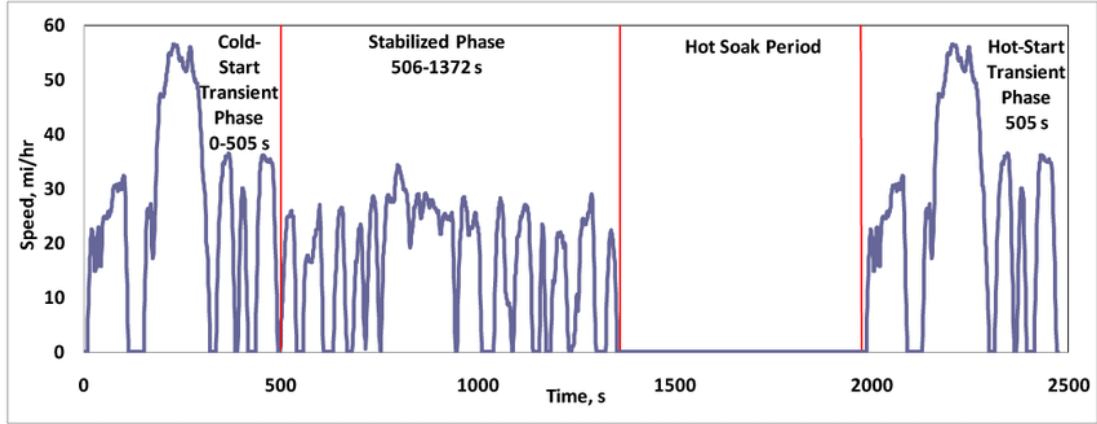
Avrupa genelinde kullanılan NEDC testi yerine gelen WLTP testi araç yakıt tüketim değerlerini, CO₂ ve hava kirletici emisyonlarını ve alternatif güç aktarım sistemlerini değerlendirmek için kullanılan yeni bir test çevrimidir. NEDC testine kıyasla, gerçek yol ve kullanım koşullarına daha yakın bir test çevrimidir. [39]

WLTP test çevrimi NEDC çevrimine göre daha dinamik bir yapıya sahiptir. NEDC 2 bölümden oluşan bir testtir, bahsedilen iki bölüm, şehir içi ve otoban olarak ayrılabilir, testin % 66'sı şehir içi % 33'ü otoban olacak şekilde tasarlanmıştır. WLTP testi ise % 52 şehir içi % 48 otoban olacak şekilde 4 farklı bölümden oluşur. Toplam süre olarak 20 dakika süren NEDC, test süresince en fazla 120 km/saat ortalama olarak 34 km/saat hıza sahiptir. WLTP ise 30 dakika süren, maksimum hız olarak 131km/h, ortalama olarak 46,5 km/saat hıza sahip olan bir testtir. Ek olarak WLTP testinde NEDC testinden farklı olarak, her araç için farklı vites geçiş noktaları kullanılmaktadır. NEDC testinde her araç için sabit vites geçiş noktası kullanılması, test sonucunda çıkan değerlerin, gerçek hava kirletici ve CO₂ emisyon değerleri ile arasında fark olmasına neden olmaktadır (Şekil 35).



Şekil 35.NEDC test çevrimi ile WLTP(WLTC) test çevriminin karşılaştırması.

FTP 75 test çevriminin hız profili (Şekil 36) WLTP den farklı olarak, test içerisinde aracın kapatılıp bekletilmesini içerir. WLTP de olduğu gibi FTP 75 test çevrimi de dinamik bir hız profili ve gerçeği yansıtacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 36.FTP75 test çevriminin hız profili, test çevrimini oluşturan bölümleri

Şekil 36'ya göre ilk 505 saniye aracın “soğuk başlatma” evresi ve zamana bağlı değişken hızlarda kullanılması bunu takip eden 865 saniye boyunca “stabilize” evresinde daha az değişken ve daha düşük hızlarda kullanılmasıyla, Son evre ise 10 dakika boyunca kapatılarak bekletilen aracın tekrardan çalıştırılarak ilk bölümün daha sıcak bir arabayla koşulmasından oluşur.

7.1.2 Test sonuçları

Yapılan 16 emisyon testi sonucunda elde edilen emisyon sonuçları Tablo 21’de görülebilir. Tabloda görülen sonuçlar aynı motor hacminde bulunan içten yanmalı araç ile hibrit aracın emisyonlarının karşılaştırılması sonucu elde edilen kazanımları ifade etmektedir. WLTP ve FTP75 testlerinde aynı araç için hava kirletici emisyonlar ve CO₂ emisyonları açısından farklılıklar görülmektedir. Elde edilen verilerde WLTP testi sonucunda hava kirletici emisyonlarda FTP75 testine kıyasla daha düşük kazanımlar elde edilirken CO₂ emisyonlarında daha fazla kazanımlar elde edilmiştir. Bu farkın temel sebebi, test çevrimlerinin izlediği hız profillerinden kaynaklıdır. WLTP test çevrimi, test süresince yalnızca bir defa aracın çalıştırılmasını gerektirmekte ve elektrik motorunun aktif olduğu hız bölgesinde daha fazla zaman geçirmektedir. FTP75 test çevrimi ise, aracın test süresince 2 kere çalıştırılmasını gerektirmekte ancak elektrik motorunun aktif olduğu hız bölgesinde daha az zaman geçirmektedir. Hava kirletici emisyonlarının en yüksek miktarda ortaya çıktığı koşullar, motorun ve daha da önemlisi katalitik dönüştürücünün soğuk olduğu

koşullardır. Bu sebeple FTP75 testinde içten yanmalı motora sahip araç çalıştırma koşullarında ortaya çıkan emisyonlarını iki defa ortaya çıkartırken, hibrit araç elektrik motoru tarafından çalıştırıldığı için, motor çalıştırması sırasında ortaya çıkan hava kirletici emisyonları çıkartmamıştır.

Tablo 21.Farklı motor boyutlarında araçların WLTP ve FTP 75 testlerinde emisyon karşılaştırması

Araç	Test	HC	CO	NOx	PM	CO2
1.4 Litre Turbo	WLTP	% 24,3	%19,3	%14,9	%45,2	%38,3
	FTP 75	%31,5	%29,9	%17,2	%58,4	%26,1
2.3 Atmosferik	WLTP	%28,0	%19,7	%20,6	%51,0	%55,7
	FTP 75	%40,7	%33,4	%23,1	%61,0	%29,0

7.2 Test sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

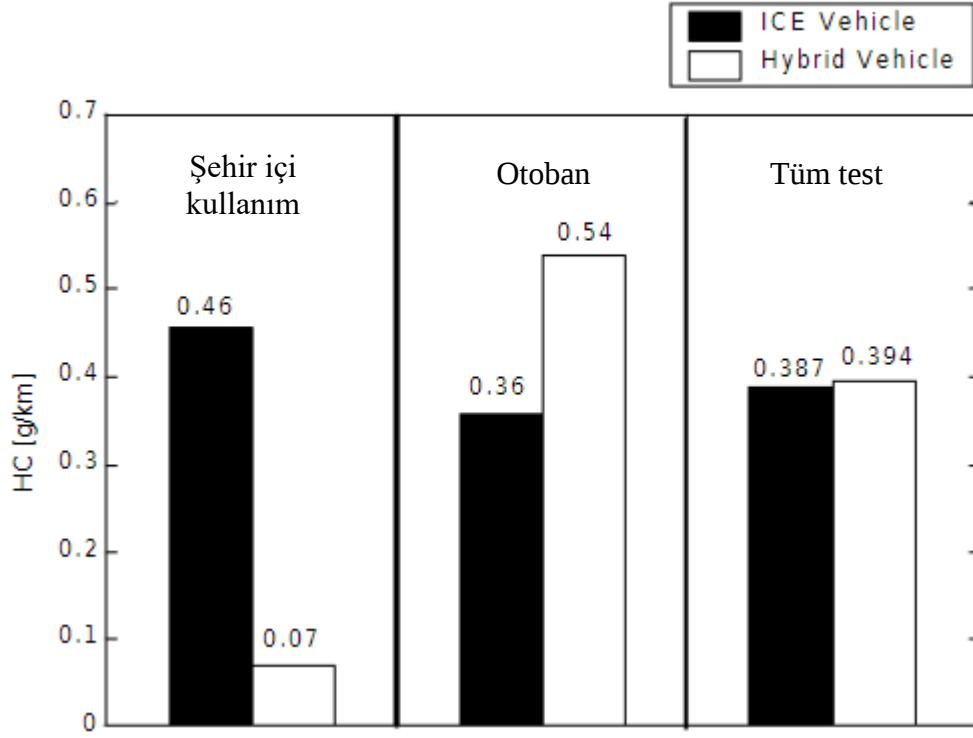
Hibrit araçlar ile içten yanmalı motora sahip araçların karşılaştırılması konusunda yapılan önceki bir çalışmada, bilgisayar ortamında simülasyon yardımıyla koşulan testler aşağıdaki sonuçları vermiştir [40]. Test çevriminin gerçek sürüş koşullarını yansıtabilmesi için aşağıdaki test koşulları belirlenmiştir:

- Aracın rölantide bir süre geçirmesi
- Şehir içi hızlarında ve koşullarında kullanılması
- Otoban veya şehirler arası yol hızlarında ve koşullarında kullanılması.

Bu sebeple test çevrimi aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır.

- Trafik simülasyonu için testin ilk 140 saniyesinde araç hızı 8 km olarak belirlenmiştir.
- Şehir içi kullanım koşullarını yansıtmak için, maksimum hız 60km/saat olacak şekilde değişken hızlarla 4,2 km boyunca sürülmesi
- Otoyol koşullarını yansıtmak için 40 ila 100 kilometre arası hızlarda değişken olarak 9.5 kilometre yol kat etmiştir.

Test sonuçları Şekil 37 ile Şekil 39 arasındaki grafiklerde görülebilir.



Şekil 37.İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun hidrokarbon emisyonları açısından karşılaştırılması.

(Siyah bar içten yanmalı motor, beyaz bar ise hibrit aracın dataalarını göstermektedir.)

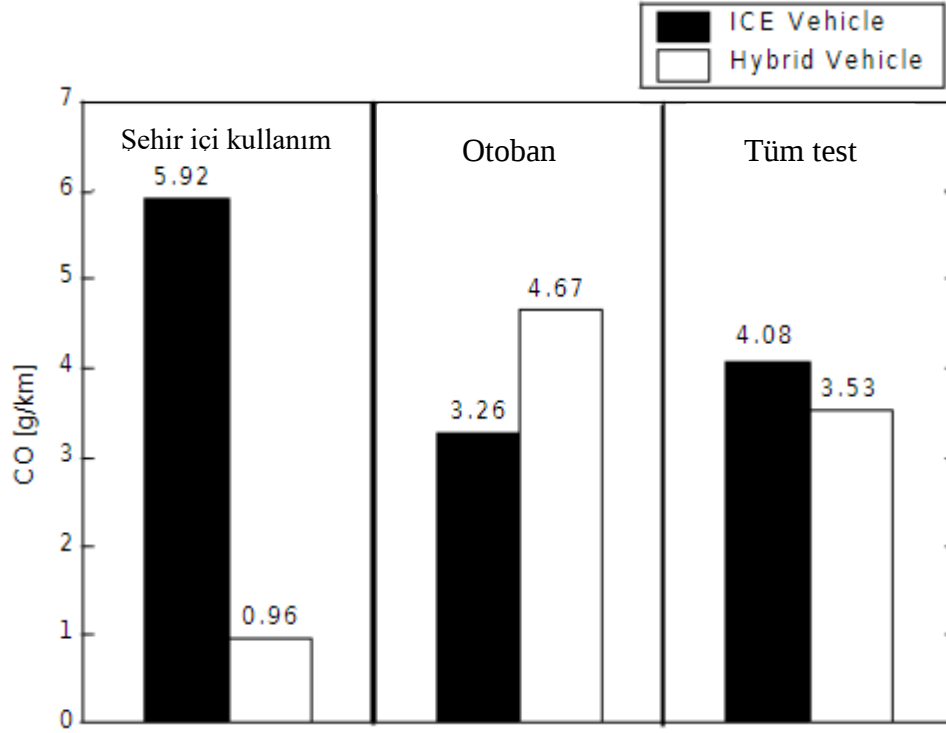
Hidrokarbon açısından karşılaştırıldığında, şehir içi kullanımlarda hibrit aracın 7 kat daha az emisyon çıkarttığını görmekteyiz, bunun sebepleri:

- Aracın ilk çalıştırılması ve motor soğukken oluşan verimsiz yanma, elektrik motorunun aracı çalıştırması sayesinde ortadan kaldırılmıştır.
- Katalitik dönüştürücü ısınana kadar içten yanmalı motordan çıkan hidrokarbon emisyonları filtrelenmeden doğrudan doğaya salınmaktadır. Bu durum da içten yanmalı motorun emisyon değerlerini fazlasıyla arttırmaktadır.
- Şehir içi kullanım koşulları ve trafik sıkışıklığı gibi durumlar, elektrik motorunun aktif olduğu koşullar olduğu için sürekli aracı durdurma ve tekrar harekete geçirmek için harcanan ekstra yakıt ve ortaya çıkan emisyonlar ortadan kaldırılmıştır.

Otoban koşullarında ise hibrit araç, içten yanmalı motorlu araca göre %50 daha fazla hidrokarbon salınımı yaptığını görmekteyiz.

- Bunun temel sebebi otoyol simülasyon koşulları nerdeyse tamamen içten yanmalı motorun aktif olduğu koşullar olduğu için, hibrit sistem elektrik motorundan faydalanamamaktadır. Bunun yanında, hibrit araçta bulunan elektriksel sistem testin başında elektriksel yükünü kullandığı için şarj ihtiyacı duyacaktır. Hibrit araçtaki içten yanmalı motor, bu ihtiyacı karşılayabilmek için, daha fazla yük altına girecek ve bu sebeple yalnızca içten yanmalı motor ile giden araca göre daha fazla hava kirletici emisyon ortaya çıkartacaktır.

Toplam test değerlerine bakıldığında zaman hidrokarbon emisyonları açısından, hibrit araç ile içten yanmalı motora sahip araç arasında kayda değer bir farklılık görünmemektedir. Her ne kadar aracın ilk çalışma ve trafik koşullarında hibrit sistem avantaj sağlıyor olsa da içten yanmalı motorun çalışma bölgesinde elektrik sisteminin şarj ihtiyacından dolayı ekstra yük getirmektedir. Bu ekstra yük nedeniyle test sonucunda toplamda yalnızca içten yanmalı motor ile giden araca göre daha fazla hidrokarbon salınımı gerçekleştirmiştir.



Şekil 38.İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun karbon monoksit emisyonları açısından karşılaştırılması.

(Siyah bar içten yanmalı motor, beyaz bar ise hibrit aracın dataalarını göstermektedir.)

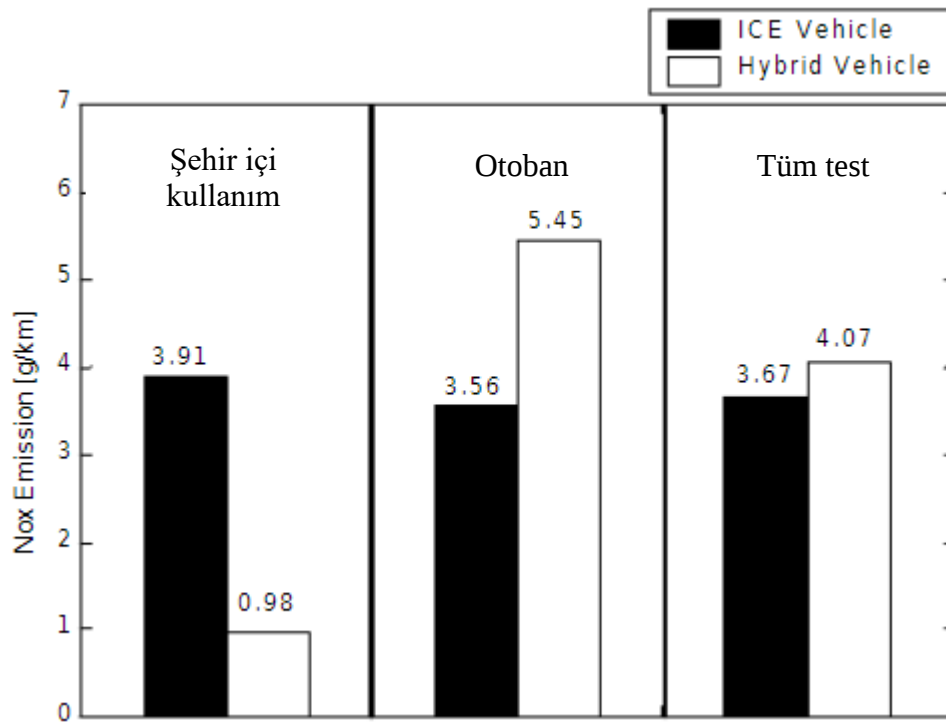
Karbon monoksit açısından karşılaştırıldığında, şehir içi kullanımlarda hibrit aracın 6 kat daha az emisyon çıkardığını görmekteyiz, bunun sebepleri:

- Aracın ilk başlangıcı sırasında soğuk durumda olan motor, optimum çalışma koşulu olan 80-87°C sıcaklığına ulaşana kadar, yanma verimi düşük olacağı için, yüksek miktarlarda karbon monoksit emisyonu oluşturmaktadır. Ayrıca araç çalıştırıldıktan hemen sonra katalitik dönüştürücü aktivasyon sıcaklığına ulaşana kadar geçen zamanda oluşan emisyonları dönüştürme özelliği olmadığı için motordan çıkan tüm karbon monoksit emisyonları doğrudan dışarıya atılmaktadır.

Otoban koşullarında hibrit aracın daha fazla karbon monoksit emisyon değerlerine sahip olduğunu görmekteyiz:

- Elektriksel sistemin içten yanmalı motora getirdiği fazladan yük nedeniyle, içten yanmalı motorun aktif olduğu bölgelerde ve aynı koşullarda hibrit araç daha fazla karbon monoksit salınımı gerçekleştirmektedir.

Toplam test boyunca karbon monoksit salınımı konusunda % 15 fark ortaya çıkmaktadır. Bunun temel sebebi olarak aracın ilk başlatıldığı ve soğuk koşullar altında oluşan verimsiz çalışmanın ortaya çıkarttığı karbon monoksit emisyonlarının azaltılması olduğu görülmektedir.



Şekil 39.İçten yanmalı motor kullanan araç ile aynı aracın paralel hibrit konfigürasyonunun NOx emisyonları açısından karşılaştırılması.

(Siyah bar içten yanmalı motor, beyaz bar ise hibrit aracın datalarını göstermektedir.)

NO_x emisyonlarında da hidrokarbon emisyonlarıyla paralel sonuçlar görülmektedir. Sonuçların benzer eğilimler izleme sebebi, aynı temel sebeplere dayanmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerlendirmede bahsedilmesi gereken önemli bir nokta ise, hibrit araçların şehir içi hidrokarbon ve NO_x emisyonlarının daha düşük değerlerde olması, şehir içerisinde hava kalitesini etkileyen fotokimyasal sis ve yer seviyesi ozon oluşumunda azalmayı sağlayacaktır.

7.3 Hibrit araçlarla CO₂ emisyon kazanımları

Karbondioksit kazanımı konusunda yapılan çalışma sonuçları, genele yansıtılamayacak kadar kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Sınırlı araçlarla yapılan testlerde bile sonuçlar farklılık gösterdiği için genele yansıtıldığı durumda gerçeği yansıtmayacaktır. Bunun sebebi hibrit araçlarda kullanılan farklı teknolojiler, farklı kontrol sistemleri ve stratejileri, farklı hibrit sistemleri ve farklı araç kalibrasyonları sonuca direkt olarak etki etmektedir. Elde edilen sonuçları genele yansıtabilmek için farklı bir doğrulama yöntemi izlenmiştir.

Bunun için piyasada satışta olan belirli bir hibrit aracı örnek olarak alınarak, bu aracın ilan edilen yakıt tüketim değerleri ile Türkiye genelinde kullanılan araçların ortalama değerlerini karşılaştırarak, piyasa verilerine dayanarak sağlanacak karbon dioksit kazanımlarını ortaya koyulacaktır.

Bu sebeple satışa sunulmuş hibrit araçlar içerisinde bir araç seçilmiş ve ortalama karbon dioksit salınımı baz alınmıştır. Hesaplamalar için seçilen araç 5 kapı Toyota Prius Hybrid, 1.8-l VVT-i, 72 kW (98 hp) olmuştur. Seçilen aracın ilan edilen CO₂ salınım değeri 75 g/km'dir. Otomotiv Distribütörleri Derneği'nin yaptığı araştırmaya ait Türkiye binek araç (Nisan ayı sonunda yapılmış toplam satışlarına bağlı) CO₂ değerleri Tablo 22'de görülebilir. Bu değerleri Türkiye genelinde bulunan araçların dağılımı olarak kabul edilmiştir. Bu sayede Türkiye genelinde bulunan tüm araçlar güncel teknolojiye sahip olarak kabul edilmiş ve hibrit araçların bu araçların yerini alması durumunda sağlanacak kazanımlar olabilecek en düşük değerde tutulmuştur. Bu şekilde bir hesaplama yolu izlenmesinin sebebi, oluşabilecek kazanım değerini tahmin ederken iyimserden çok kötümser bir yaklaşım izleyerek, sağlanabilecek emisyon azaltmasını düşük olarak hesaplandığı durumda bile ne kadar büyük bir kazanım sağlanabileceğini ortaya koymaktır.

Tablo 22.Nisan 2019 itibariyle Türkiye satılan binek araç CO2 değerleri

CO2 ORTALAMA EMİSYON DEĞERLERİ (gr/km)	2019 Nisan sonu itibariyle	
	Adet	Pay
<100 gr/km	15.959	17,12%
≥ 100 - < 120 gr/km	33.567	36,01%
≥ 120 - < 140 gr/km	27.333	29,32%
≥ 140 - < 160 gr/km	13.303	14,27%
≥ 160 gr/km	3.066	3,29%
Toplam	93.228	100,00%

TÜİK'in yayınladığı Nisan 2019 araç verilerine göre trafiğe kayıtlı 12 milyon 475 bin 682 adet otomobil bulunmaktadır ve bu araçların %37,2'si dizel, %24,7'si benzinli araçlar tarafından oluşturulmaktadır. Çalışmanın hedef kitlesi olan araçlar toplam araçların %61,9'u oranındadır.

Hesaplamalarda araçların yıllık ortalama 12.000 km yol aldığı kabul edilmiştir. Hibrit araçların piyasaya girmesi durumunda hangi emisyon aralığındaki araçlara daha fazla etki edeceğini ön görmek mümkün olmadığı için araç sayılarına ve ortalama değerlerine bakarak ağırlıklı ortalama alınmıştır. 100 gr/km altındaki araçlar 75 gr/km olarak, >160 gr/km üstündeki araçlar 160 gr/km olarak alınmış ve aralık olarak verilen değerlerin orta değerleri kabul edilmiştir.

Türkiye'de araçların ortalama CO₂ emisyon değeri:

$$\frac{75*15,959+110*33,567+130*27,333+150*13,303+160*3,066}{93,228} = 117,2 \text{ gr/km}$$

Bir adet aracın yıllık CO₂ salınımı:

$$117,2 * 12000 = 1406400 \text{ gr} = 1,4064 \text{ ton}$$

Toplam araç sayısı içerisinde dizel ve benzinli araçların payı:

$$12.475.682 * 0,691 = 7.722.447$$

Türkiye'de bulunan toplam dizel ve benzinli binek araç CO₂ emisyonu:

$$1.4064 * 7.722.447 = 10860849,4608 \text{ Ton} = 10,8609 \text{ Megaton}$$

Türkiye’de binek araç kaynaklı yıllık CO₂ üretimini ağırlık olarak ifade etmenin yanında, daha net bir şekilde ifade etmek için, üretilen CO₂ ve kazanılan CO₂ miktarlarının ne büyüklükte bir orman arazisine tekabül ettiği belirtilmiştir. Bunun için yapılan bir çalışmada bir ağacın yıllık ortalama 20 kg CO₂ tutabileceği bulunmuştur [40]. Tayvan’da yapılan bir başka çalışmada ise ortalama bir ağacın karbon tutma kapasitesi yıllık 50 kg olarak ortaya konmuştur [42]. Türkiye kapsamında yapılan bir çalışmada, Bartın’da bulunan ormanların hektar başına CO₂ tutma kapasitesi yıllık 170 ton olarak belirlenmiştir [43]. 1 hektar ormanda 1000 ile 2500 ağaç bulunduğunu göz önüne alarak 1000 ağaç olduğu kabul edilmiştir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken, CO₂ tutma kapasitesi birçok farklı parametreye dayanmaktadır. Bu sebeple 1 hektar ormanda bulunan ağaç sayısı ve CO₂ tutma kapasitesi, sonuçların gerçeğe daha yakın olması için, elde edilen bulgular arasından en düşük değerlerde seçilmiştir.

Bu nedenle 1 hektar ormanın yıllık CO₂ tutma kapasitesi çalışmamız kapsamında yaklaşık bir kabul yapılarak aşağıdaki gibi 20 ton olarak hesaplanmıştır.

$$1000 * 20 = 20000 \text{ kg} = 20 \text{ ton}$$

Türkiye’deki araçların yüzdesel olarak hibrit araçlar veya elektrikli araçlar ile değiştirilmesi sonucu elde edilecek CO₂ kazanımlarının alansal olarak orman karşılıkları aşağıdaki gibidir (Hesaplamalarda fosil yakıtlı araçların CO₂ emisyon değeri ortalama 117 g/km, hibrit araçların CO₂ emisyon değeri ortalama 75 g/km alınmıştır).

Güncel dizel ve benzinli araçların %20’si hibrit araçlarla değiştirilirse üretilen toplam CO₂:

$$\begin{aligned} &\text{Araç sayısı} * (\text{araç oranı} * \text{km başına ürettiği CO}_2) * \text{yıllık aldığı yol} = \\ &7.722.447 * (0,80 * 117,2 + 0,20 * 75) * 12000 = 10,078 \text{ Megaton} \\ &(1 \text{ megaton} = 1.0E + 6 \text{ ton}) \end{aligned}$$

Binek araç kaynaklı CO₂ emisyonlarında %7,1 oranında kazanım

Elde edilen kazanımın hektar cinsinden orman karşılığı:

$$\frac{(10,8609 - 10,078) * 1.0E + 6}{20} = 39.109 \text{ Hektar orman}$$

Güncel dizel ve benzinli araçların %50'si hibrit araçlarla değiştirilirse üretilen toplam CO₂:

$$7.722.447 * (0,50 * 117,2 + 0,50 * 75) * 12000 = 8,905 \text{ Megaton}$$

Binek araç kaynaklı CO₂ emisyonlarında %18 oranında kazanım

Elde edilen kazanımın hektar cinsinden orman karşılığı:

$$\frac{(10,8609 - 8,905) * 1.0E + 6}{20} = 97.768,7 \text{ Hektar orman}$$

Güncel dizel ve benzinli araçların %75'i hibrit araçlarla değiştirilirse üretilen toplam CO₂:

$$7.722.447 * (0,25 * 117,2 + 0,75 * 75) * 12000 = 7,927 \text{ Megaton}$$

Binek araç kaynaklı CO₂ emisyonlarında % 27 oranında kazanım

Elde edilen kazanımın hektar cinsinden orman karşılığı:

$$\frac{(10.8609 - 7.927) * 1.0E + 6}{20} = 146.651,8 \text{ Hektar orman}$$

Güncel dizel ve benzinli araçların tamamı hibrit araçlarla değiştirilirse üretilen toplam CO₂:

$$7.722.447 * 75 * 12000 = 6,902 \text{ Megaton}$$

Binek araç kaynaklı CO₂ emisyonlarında %36,5 oranında kazanım

Elde edilen kazanımın hektar cinsinden orman karşılığı:

$$\frac{(10,8609 - 6,902) * 1.0E + 6}{20} = 195.534,9 \text{ Hektar orman}$$

7.4 Tam elektrikli araçlara geçişle sağlanacak emisyon kazanımları

Şimdiye kadar yaptığımız hesaplar yalnızca hibrit araçları içermektedir ve hibrit araçların da belirli bir CO₂ emisyon değeri mevcuttur. Ancak elektrikli araçlar herhangi bir hava kirleticisi veya CO₂ emisyonu yaratmamaktadır. Bu sebepten ötürü tam elektrikli araçlara geçişle birlikte sağlanabilecek kazanımların boyutları çok daha yüksek olacaktır.

Türkiye’de bulunan tüm binek araçların EURO 6 standardına (Tablo 23) uygun olduğunu ve araçların kat ettiği ortalama mesafeyi aynı kabul edeceğiz.

$$\text{Dizel araç sayısı} = 12.475.682 * 0,372 = 4.640.954$$

$$\text{Benzinli araç sayısı} = 12.475.682 * 0,247 = 3.081.494$$

Tablo 23.Dizel ve benzin kullanan araçların EU6 emisyon limitleri

	Dizel araçlar için EU6 limitleri	Benzinli araçlar için EU6 limitleri
CO (mg/km)	0,50	1,0
HC (mg/km)	-	0,10
HC+NO _x (mg/km)	0,17	-
NO _x (mg/km)	0,08	0,06
PM (mg/km)	0,005	0,005
PN (#/km)	6,0×10 ¹¹	6,0×10 ¹¹

(Hesaplamalarda kullanılan dizel HC limiti HC+NO_x limitinden NO_x limiti çıkartılarak işleme alınmıştır)

Sağlanan hava kirletici emisyon kazanımları:

$$\text{CO için } (0,5 * 4.640.954 + 1,0 * 3.081.494) * 12000 = 64,82 \text{ ton}$$

$$\text{HC için } (0,09 * 4.640.954 + 0,1 * 3.081.494) * 12000 = 8,71 \text{ ton}$$

$$\text{NO}_x \text{ için } (0,08 * 4.640.954 + 0,06 * 3.081.494) * 12000 = 6,67 \text{ ton}$$

$$\text{Partikül madde için } (0,005 * 4.640.954 + 0,005 * 3.081.494) * 12000 = 0,463 \text{ ton}$$

CO₂ olarak sağlanacak azaltım 10,8609 Megaton bu değerin orman karşılığı ise 543.045 hektardır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızın amacı, ülkemizde içten yanmalı araçlar yerine hibrit veya elektrikli araçlar kullanılması durumunda, hava kirletici ve CO₂ emisyonları konusunda kazanım sağlanıp sağlanamayacağını ortaya koymaktır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ülkemizde kullanılan binek araçların tamamı EURO 6 emisyon seviyesine uygun olduğu durumda bile ,tüm binek araçların tam elektrikli araçlarla değiştirilmesi sonucu hava kirletici ve CO₂ emisyonlarında elde edilen yıllık kazanımlar, CO için 64,82 ton, HC için 8,71 ton, NO_x için 6,67 ton, Partikül madde için 0,463 ton, CO₂ içinse 10,8609 Megaton mertebelerinde bulunmuştur. Binek araçların farklı oranlarda hibrit araçlarla değiştirilmesi sonucu elde edilecek CO₂ emisyon kazanımları ifade edilmiştir. Binek araçların %20'si hibrit araçlarla değiştirildiği durumda taşıt kaynaklı CO₂ emisyonlarında %7,1 %50'si hibrit araçlarla değiştirildiğinde %18, %75'i hibrit araçlarla değiştirildiğinde %27, tüm binek araçların hibrit araçlarla değiştirilmesi durumunda ise taşıt kaynaklı CO₂ emisyonlarında %36,5 oranında azalma olacağı hesaplanmıştır. Tez kapsamında yapılan testlerde ise, CO₂ emisyonları açısından kazanımlar değerlendirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde geçerli olan FTP75 emisyon testlerinde CO₂ emisyonunda % 26,1 ile % 29 arasında bir kazanım, Avrupa Birliği'nde geçerli olan WLTC emisyon testlerinde ise % 38,3 ile % 55,7 arasında bir kazanım ortaya konmuştur.

Hibrit araçlar özellikle şehir içi kullanımlarda fazlasıyla hava kirletici ve CO₂ emisyonu azalması sağlamaktadır. Bu sayede trafiğin yoğun ve araç sayısının fazla olduğu şehirlerimizde, hibrit araç kullanımına geçilmesi hava kirliliğini ve dolaylı olarak insan sağlığını olumlu etkileyecektir.

Bu çalışmada edilen bulgular, aşağıdaki bilgiler göz önüne alınarak incelenmelidir, NO_x, CO ve hidrokarbon (HC) emisyon değerlerinde elde edilen kazanımlar, araçlarda kullanılan katalitik dönüştürücülerin farklı özelliklere sahip olması ve farklı araç yazılım stratejileri ile kontrol edilmesi sebebiyle değişkenlik gösterecektir. Örnek olarak iki farklı hibrit araç ele alınırsa, elektrik motorunun devreden çıkıp, içten yanmalı motorun devreye girmesi için belirlenen stratejiler, araçtan araca değişim göstermektedir.

Ek olarak, elektrik motorunun devreye girme sıklığı emisyonlar açısından olumlu sonuçlar göstermesine rağmen, uzun süre elektrik motorunun çalışması, katalitik dönüştürücünün soğumasına, yani katalitik dönüştürücünün verimli olarak çalışabildiği sıcaklık bölgesinin dışında kalmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak katalitik dönüştürücünün soğuk olduğu bir zaman diliminde içten yanmalı motorun devreye girmesi durumunda, elektrik motoruyla yol alınması sayesinde sağlanan kazanımdan çok daha fazla hava kirleticisi ortaya çıkma ihtimali mevcuttur. Farklı araçlar ve araç kontrol stratejileri ile değerlendirilme yapılması durumunda bazı hibrit araçlar, içten yanmalı araçlara göre daha az hava kirletici emisyon üretirken bazı hibrit modelleri, içten yanmalı modellerine göre daha fazla emisyon üretebilir.

Bu bilgiler ışığında, hibrit araçlarla içten yanmalı araçların hava kirletici emisyonlarını karşılaştırırken, farklı koşullara bağlı olarak hibrit araçların daha fazla veya daha az hava kirletici ortaya çıkarttığı durumlar olabilir. Ancak hibrit araçların şehir içi kullanım veya düşük yük altında çalıştığı koşullarda, içten yanmalı araçlara göre CO₂, NO_x ve VOC emisyonları açısından daha az emisyon ortaya çıkaracağı açıkça görülebilir. Bu sebeple hibrit araçlara geçilmesi sonucunda, hava kirletici emisyonların azalması sonucu, şehir içinde fotokimyasal sis gibi hava kirliliğine yol açan durumların azalacağı ortaya konmuştur.

Bu konuda ileride yapılacak çalışmalarda, hibrit teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak, belirli bir tür hibrit teknolojisi seçilerek ve bu türe ait uygulamalar göz önüne alarak, hibrit teknolojisine özel hava kirletici ve CO₂ emisyonlarına ait araştırmalar yapılabilir. Elektrikli araçların emisyonlarını değerlendiren çalışma konusunda ise, elektrikli araçta kullanılan elektriğin nasıl üretildiği ve depolandığı incelenerek, elektrik üretiminde ortaya çıkan emisyonlar incelenip, elektrikli araçların tüm ömür emisyon değerleri ile (araçların üretimi sırasında ortaya çıkan emisyonlar, bataryaların üretimi ve imhası sırasında ortaya çıkan emisyonlar, araçta kullanılan elektrik üretimi için ortaya çıkan emisyonlar) benzer özelliklere sahip içten yanmalı araçların tüm ömür emisyonları karşılaştırılarak, çevresel anlamda hangi araç türünün kullanılmasının daha az hava kirletici ortaya çıkardığı yaşam döngüsü analizi ile incelenebilir.

REFERANSLAR

- [1] Ma, Q. and R. H. Tipping 1998. The distribution of density matrices over potential-energy surfaces: Application to the calculation of the far-wing line shapes for CO₂. *J. Chem. Phys.* 108, 3386-3399.
- [2] *Seragazi Emisyon İstatistikleri, 1990-2017.*(2019)
<http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30627>. Son Erişim 1 Haziran 2019.
- [3] Akın,G., (2006) *Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçlar, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Dergisi* 46(2) 29-43.
- [4] Bağdatlı, C., Bellitürk, K., (2016) *Negative Effects of Climate Change in Turkey, Advances in Plants & Agriculture Research.* 3(2), 44-46.
- [5] AÇA. (2004) *The effects of the changing climate in Europe: Indicator based assessment, European Environment Agency (AÇA) Report, 2/2004.* Kopenhag, Denmark.
- [6] Özgüler H. (2002) *Global climate change and its potential impacts on our water resources, Bulletin of Turkey General Directorate of State Hydraulic Worksp;* p. 491–492.
- [7] Müezzinoğlu, A., Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları , Yayın No: 0908.87.DK.006.042, İzmir, 1987.
- [8] Mitscherlich, G., *Die Welt in der wir leben. Entstehung – Entwicklung, heutige Stand (Yaşadığımız Dünyanın Oluşumu-Gelişimi ve Bugünkü Durumu).* Rombach Ökologie, Rombach Verlag, Freiburg, 1995.
- [9] Denhez, F., *Küresel Isınma Atlası*, NTV yayınları, İstanbul, 2007.
- [10] Agren,C., EMEP Report, MCS-W 1/91 Norway, 1991.
- [11] Butler, J.D., *Air Pollution Chemistry*, Academic Press, 1979
- [12] *Hava Kirliliği ve Kirleticiler*
http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_kirleticiler_rapor1.pdf
f. Son Erişim: 27 Mayıs 2019.
- [13] İncecik, S., Hava Kirliliği, Teknik Üniversite Matbaası, s. 26-41, İstanbul, 1994.
- [14] Masters, G.M., *Introduction to Environmental and Science*, Prentice Hall International Editions, 1991.
- [15] Balmes, J. R., Fine, J. M., & Sheppard, D. (1987). *Symptomatic Bronchoconstriction after Short-Term Inhalation of Sulfur Dioxide. American Review of Respiratory Disease*, 136(5), 1117–1121.
- [16] Alyüz,B., Veli, S., (2006), *İç Ortam havasında bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri. Trakya Univ J Sci*, 7(2), 109–116
- [17] Ramanathan,V., Feng,Y., (2009), *Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. Atmospheric Environment*, 43(1),37-50
- [18] Van Damme, M., Clarisse, L., (2018), *Industrial and agricultural ammonia point sources exposed . Nature*, 564: 99–103
- [19] Sutton M., Reis S., Baker S., (2008), *Atmospheric Ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts*, Springer
- [20] *Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri.* (2017).
<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/cevresagligi-ced/ced-birimi/650-hava-kirliligi-ve-saglik-etkileri.html>. Son erişim: 28 Mayıs 2019.

- [21] Lewtas, J. 2007. Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 636, pp. 95–133.
- [22] Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F.Jr., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.-C. & Sommer, H. 2000. *Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment*. The Lancet 356, 9232, pp. 795–801.
- [23] *Sources of Greenhouse Gas Emissions*.
<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.
 Son Erişim 2 Haziran 2019.
- [24] *Greenhouse gas emission statistics - emission inventories*. Available:
<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/1180.pdf>.
 Son Erişim 2 Haziran 2019.
- [25] *Transport greenhouse gas emissions*. Available:
<https://www.eea.europa.eu/airs/2018/resource-efficiency-and-low-carbon-economy/transport-ghg-emissions>. Son Erişim 2 Haziran 2019.
- [26] *Motorlu Kara Taşıtları, Ocak 2019*.
<http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?jsessionid=z2cCcwHJkkptW5HWP31nPhH83QJpNK9fvg2f3tRvW7pxVt1lG2MS!207327862?id=30630>. Son erişim: 30 Mayıs 2019.
- [27] Tasic, T.; Pogorevc, P., Brajlili, T.. (2011). GASOLINE AND LPG EXHAUST EMISSIONS COMPARISON. *Advances in Production Engineering & Management*. 6 (2), 87-9
- [28] Bose, P.K. (2009). EMPIRICAL APPROACH FOR PREDICTING THE CETANE NUMBER OF BIODIESEL. *International Journal of Automotive Technology*. 10 (4), 421–429.
- [29] Chevron, 1998. “Diesel Fuels Technical Review (FTR-2)”, Chevron Products Company, USA
- [30] Lü X. ,YangJian,G. ,Zhang,W. Huang, Z.. (2004). Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel. *Fuel*. 83 (14-15), 2013-2020.
- [31] California Air Resources Board. (). *History of CARB*. <https://ww2.arb.ca.gov/about/history>. Son erişim: 1 Haziran 2019
- [32] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2006). *State and Federal Standards for Mobile-Source Emissions*. Washington, D.C.: THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. 165-192.
- [33] Otmar,B. Guenter,G.. (2004). Systems for hybrid cars. *Journal of Power Sources*. 127 (1-2), 8-15.
- [34] Jensen, H.-C. B., Schaltz, E., Koustrup, P. S., Andreasen, S. J., & Kaer, S. K. (2013). Evaluation of Fuel-Cell Range Extender Impact on Hybrid Electrical Vehicle Performance. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(1), 50–60.
- [35] Sherry Boschert (2006). *Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers. ISBN 978-0-86571-571-4. pp. 30–32
- [36] Lam, L.T. Louey, R.. (2006). Development of ultra-battery for hybrid-electric vehicle applications. *Journal of Power Sources*. 158 (2), 1140-1148.

- [37] IEEE-USA. Board of Directors, Position Statement: Plug-in Electric Hybrid Vehicles, Jun. 2007. www.ieeeusa.org/policy
- [38] Institute of Transportation Studies. *Frequently asked questions about PHEV*. Available: <https://phev.ucdavis.edu/about/faq-phev/>. Son erişim 6 Haziran 2019.
- [39] European Automobile Manufacturers' Association. (2018). *FROM NEDC TO WLTP: WHAT WILL CHANGE?*. <https://wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>. Son Erişim 6 Haziran 2019.
- [40] Arsie, I., Pianese, C., Rizzo, G., Santoro, M., "A model for the energy management in a parallel hybrid vehicle", *Third International Conf. Control and Diagnostics in Automotive Applications*, Sestri Levante, Italy, 4 -6 Temmuz 2001,
- [41] Evans,E. *Trees of Strength*. Available: <https://projects.ncsu.edu/project/treesofstrength/treefact.htm>. Son Erişim 6 Haziran 2019.
- [42] Wang, Y. Liu, W. Ko, S. Lin, J. (2015). Tree Species Diversity and Carbon Storage in Air Quality Enhancement Zones in Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*. 15: (1), 1291–1299.
- [43] Durkaya, B. Bekci, B. Varol, T. (2016). Evaluation of Bartın Urban Forest in Terms of Carbon Storage, Oxygen Production and Recreation. *KASTAMONU UNIVERSITY JOURNAL OF FORESTRY FACULTY*. 16 (1), 111-119.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mehmet Atakan Tokgöz

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 22 Temmuz 1992, İstanbul

Elektronik Posta: M.atakan.Tokgoz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi, İmalat Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans	Medeniyet Üniversitesi Mühendislik Yönetimi	2019

İŞ TECRÜBESİ

Tarih	Kurum	Görev
2019-	AVL Gmhb. (Avusturya)	Emisyon Kalibrasyon Mühendisi
2016-2019	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş	Araç Kalibrasyon Mühendisi
2015-2016	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş	Termal ve Aerodinamik Sis. Müh.

YABANCI DİLLER

İleri düzeyde İngilizce; Orta düzeyde Almanca