



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİD OTOMOBİLLERDE EGZOZ SİSTEMİNDEKİ EMİSYON REAKSİYON  
SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mehmet NERGİZ**

Doç. Dr. Gültekin KARADERE  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ ONAYI

Mehmet NERGİZ tarafından hazırlanan “**HİBRİD OTOMOBİLLERDE EGZOZ SİSTEMİNDEKİ EMİSYON REAKSİYON SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç. Gültekin KARADERE

**Üye :** Doç. Gültekin KARADERE  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü

**İmza**

**Üye :** Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Otomotiv Mühendisliği Bölümü

**İmza**

**Üye :** Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü

**İmza**

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**

**Enstitü Müdürü**

**27 / 02 / 2020**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

27/02/2020

**Mehmet NERGİZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HİBRİD OTOMOBİLLERDE EGZOZ SİSTEMİNDEKİ EMİSYON REAKSİYON SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ

**MEHMET NERGİZ**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Gültekin KARADERE

Bu tez çalışması ile araçlarda emisyon ve gürültü faktörlerini minimize etmeye yarayan egzoz sistemlerinin hibrid otomobillerde nasıl bir yapıya sahip olduğu ve ortaya çıkabilecek emisyon problemleriyle alakalı çözümler üretmek amaçlanmıştır. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte insan ihtiyaçlarının karşılanması doğrultusunda teknoloji alanındaki gelişmeler her geçen gün hız kazanmaktadır. Dolayısıyla bu gelişmeler, bir takım olumlu etkilerin yanında olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında çevre kirliliği yer almakta olup, hava kirliliği ise çevre sorunları arasında önemli bir yere sahiptir. Sayıları her geçen gün giderek artmakta olan motorlu araçların hava kirliliğindeki rolü ise oldukça büyüktür. Bu çalışmada, hibrid otomobillerde katalitik konvertörün çalışma şartlarında etkili olan sıcaklık faktörünün ne gibi sorunlara yol açtığı ve bununla alakalı çözümlere ve deneylere değinilmiştir. Yapılan analizler sonucunda katalitik konvertördeki reaksiyonların verimli gerçekleşebilmesi için iki farklı yöntem bulunmuştur. Çeşitli hidrokarbon emici tuzaklar ve aktif karbon fiber kutucuklar ile reaksiyonun tam verimle gerçekleşmesi için yapılan analiz ve tasarım doğrulanmasıyla katalitik konvertörlerde verimlilik artışı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrid otomobiller, egzoz son işletim sistemi, hidrokarbon emici tuzakları, aktif karbon kutucukları, katalitik konvertör, susturucu

2020, ix+67 sayfa

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF CATALYTIC CONVERTER REACTION PROCESSES IN THE EXHAUST SYSTEM IN HYBRID AUTOMOBILES

**MEHMET NERGİZ**

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Doç. Dr. Gültekin KARADERE

With this thesis, it is aimed to produce solutions related to the exhaust systems that are used to minimize emission and noise factors in vehicles, what kind of structure they have in hybrid cars and possible problems. With the increase in the world population, advances in technology are gaining speed day by day in order to meet human needs. Therefore, these developments bring along negative effects as well as some positive effects. Environmental pollution is at the top of these problems, and air pollution has an important place among environmental problems. The role of motor vehicles, whose number is increasing day by day, is very important in environmental pollution. In this study, the problems caused by the temperature factor that is effective in the working conditions of the catalytic converter in hybrid cars and related analysis and experiments are mentioned. As a result of the analyzes, 2 different methods were found for the reactions in the catalytic converter. With hydrocarbon absorbent traps and activated carbon fiber boxes, the reaction is aimed to take place in full efficiency.

**Anahtar Kelimeler:** Hybrid cars, exhaust end operating system, hydrocarbon absorbent traps, activated carbon fiber, catalytic converter, muffler

**2020, ix+67 pages**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresince ve tez hazırlanması aşamasında, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Gültekin KARADERE'ye sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim aşamasında hep yanımda olan, beni her koşulda motive eden ve destekleyen Sayın Ezgi AYDINLAR'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi süresince her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve hayatım boyunca beni her koşulda motive eden aileme en içten teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Mehmet NERGİZ

04/02/2020

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Hibrid Araçlara Genel Bakış .....	3
2.2. Otomobil Teknolojisinin Değişimi .....	10
2.2.1. Teknolojideki gelişmeler .....	11
2.2.2. Hibrid otomobillerin Türkiye’deki gelişmeleri .....	15
2.3. Yakıt Türüne Göre Otomobil Çeşitleri .....	16
2.3.1 İçten yanmalı motorlu araçlar (Konvansiyonel araçlar).....	16
2.3.2. Elektrikli araçlar .....	18
2.3.3. Hidrojen yakıt hücreli araçlar.....	20
2.3.4. Hibrid araçlar.....	21
2.4. Emisyon Kanunları ve Gelişimi.....	24
2.5. Egzoz Emisyon Sistemleri.....	28
2.5.1. Katalitik konvertörler.....	31
2.5.2. Egr (Exhaust gas recirculation).....	35
2.5.3. Scr (Selective catalytic reduction).....	36
2.5.4. Dpf (Diesel particul filter) .....	39
2.6. Hibrid Otomobillerde Egzoz Emisyon Yöntemi.....	44
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	45
3.1. Egzoz Sistemi ve Bileşeni Katalitik Konvertör Çalışma Prensipleri.....	46
3.1.1 Üç kimyasal reaksiyon.....	46
3.1.2 Katalitik Konvertör Çalışma Verimi.....	49
3.2. Hidrokarbon Emici Tuzakları Yapısı ve Özellikleri.....	50
3.3. Aktif Karbon Fiber Kutucukların Yapısı ve Özellikleri.....	51
3.4. Hibrid Otomobil Egzoz Sistemi (Dizel-Elektrik).....	53
3.5. Hibrid Otomobil Egzoz Sistemi (Benzin-Elektrik).....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58
4.1. Hidrokarbon Emici Tuzakların Egzoz Sistemine Etkisi.....	58
4.2. Aktif Karbon Fiber Kutucuklarının Egzoz Sistemine Etkisi.....	58
4.3. Konvansiyonel ve Hibrid Otomobiller’de Egzoz Sisteminin Karşılaştırılması.....	59
4.3.1. Dizel Otomobil Egzoz Sistemi.....	59
4.3.2. Benzinli Otomobil Egzoz Sistemi.....	60
4.3.3. Hibrid Otomobil Egzoz Sistemi.....	61
5. SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	67

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AB	Avrupa Birliği
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
EV	Elektrikli araçlar
EB	Elektrik Bataryası
EM	Elektrik Motoru
ECU	Elektronik kontrol ünitesi
kWh	Enerji (kilowatt-saat)
Wh/kg	Özgül enerji (Enerji yoğunluğu)
Wh/m <sup>3</sup>	Enerji yoğunluğu
Wh/L	Enerji yoğunluğu
kW Güç	(kilowatt)
W/m <sup>3</sup>	Güç yoğunluğu
Km/h	Hız
HEV	Hibrit Elektrikli Araçlar
H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	Hidrojen-oksijen
CEV	İçten yanmalı motorlu araçlar
İYM	İçten yanmalı motorlar
km	Menzil (uzunluk)
PHEV	Şarj edilebilir hibrit araçlar
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
OSD	Otomotiv sanayi derneği
EC	European community
THC	Hidrokarbon bileşikler
NMHC	Metan olmayan hidrokarbonlar
EGR	Egzoz gaz resirkülasyon cihazı
SCR	Seçici katalitik redüksiyon
DPF	Dizel partikül filtresi
DOC	Dizel oksidayson katalisti
TWC	Üç yollu katalitil konvertör
TiC	Titanyum karbon
TiN	Titanyum azot



TiO <sub>2</sub>	Titanyum oksit
d/d	Radyal hız (devir/dakika)
ÖTV	Özel tüketim vergisi
PEM	Yakıt hücreli araçlar
Pb-Acid	Kurşun asit bataryalar
ZSM-5	Zeolit türü
13X	Zeolit türü
5A	Zeolit türü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Yakıt türüne göre araç istatistik dağılımı.....	2
Şekil 2.1. Türkiye’de satılan elektrikli ve hibrid araç sayısı.....	4
Şekil 2.2. İçten yanmalı motor teknolojisine sahip araç şasisi.....	11
Şekil 2.3. Elektrikli motor teknolojisine sahip araç şasisi.....	12
Şekil 2.4. Hibrid motor teknolojisine sahip araç şasisi.....	14
Şekil 2.5. İçten yanmalı motorlu aracın genel yapısı.....	17
Şekil 2.6. Elektrikli aracın genel yapısı.....	19
Şekil 2.7. Hirojen yakıt pili araçlarının çalışma prensibi.....	21
Şekil 2.8. Hibrid ve şarj edilebilir hibrid araçlarının genel yapısı.....	24
Şekil 2.9. Benzin ve dizel motorlar için ısıl histogramlarla bir egzoz sistemi.....	30
Şekil 2.10. İçten yanmalı benzinli motor katalitik konventörü.....	33
Şekil 2.11. Katalitik konventör iç yapısı ve çalışma prensibi.....	34
Şekil 2.12. Egr valfi teknik görsel,araç üzerinde konumu ve çalışma prensibi.....	36
Şekil 2.13. Scr araç üzerindeki konumu.....	38
Şekil 2.14. Scr çalışma prensibi.....	38
Şekil 2.15. Dizel partikül filtresi araç üzerindeki konumu.....	41
Şekil 2.16. Katalitik konventör içerisinde yer alan monolit yapı.....	42
Şekil 3.1. Katalitik konventör araçtaki konumu ve çalışma prensibi.....	46
Şekil 3.2. Katalitik konventör iç yapısı ve malzeme özellikleri.....	47
Şekil 3.3. Hidrokarbon emici tuzaklarının desorpsiyon sıcaklığı.....	51
Şekil 3.4. Hidrokarbon emici tuzaklarının adsorpsiyon kapasitesi.....	51
Şekil 3.5. Hibrid dizel araç egzoz sistemi tasarımı.....	54
Şekil 3.6. DOC tutuşma sıcaklığı grafiği.....	55
Şekil 3.7. Hibrid benzinli araç egzoz sistemi tasarımı.....	56
Şekil 3.8. DOC tutuşma sıcaklığı grafiği.....	57
Şekil 4.1. İçten yanmalı bir dizel motorun egzoz emisyon sistemi.....	59
Şekil 4.2. Dizel aracın katalitik konventör görseli.....	60
Şekil 4.3. İçten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi.....	60
Şekil 4.4. Benzinli aracın katalitik konventör görseli.....	61
Şekil 4.5. Hibrid elektrik ve içten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi.....	62
Şekil 4.6. Hibrid elektrik ve içten yanmalı benzinli motor katalitik konventörü.....	62
Şekil 4.7. Hibrid benzin ve elektrik motora sahip aracın katalitik konventör görseli.....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Tarihi sıralamaya göre hibrid araç örnekleri ve özellikleri.....	5
Çizelge 2.2. Kronolojiye göre dizel ve benzinli emisyon sınırlamaları.....	26
Çizelge 2.3. Egzoz gazı atıkları kaynağı ve etkileri.....	30

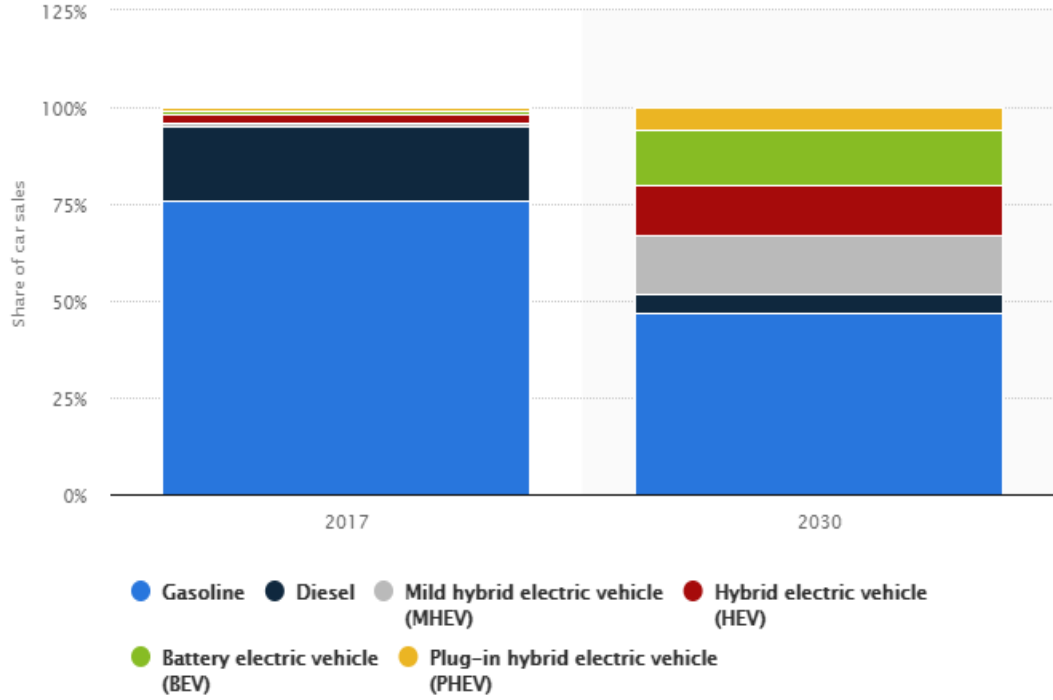
# 1. GİRİŞ

Araç teknolojisinde elektrikle tahrik sistemleri ilk çalışılan konular olmasına rağmen içten yanmalı motorların icat edilmesi ve elektrikli araçların batarya kapasitelerinin düşük olmasından dolayı elektrikli araçlar uzun yıllar ilgi görmemiştir. Günümüzde dünya enerji gereksinimi büyük oranda fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması ve yanmadan sonra açığa çıkardığı zararlı gazların atmosferdeki miktarının artmasından dolayı ozon tabakası zarar görmekte ve sera etkisi oluşmaktadır. Bu durum son zamanlarda artan çevresel kaygılarla fosil yakıt kullanımına karşı insanları harekete geçirmiştir. Dünyadaki enerjinin %26'sı ulaşımda kullanılmakta ve bu kullanıma bağlı olarak %26 CO2 emisyonu oluşmaktadır (Mazman vd., 2012).

Uluslararası alanda, sera gazı emisyonlarını azaltmak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Birliği (AB) 2020 yılı için tüm sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesine göre %20 oranında azaltmak istemektedir. Bu hedeflerine uygun olarak, 2012 yılından itibaren klasik içten yanmalı motor teknolojilerinin geliştirilmesiyle kilometre başına CO2 miktarına 130g, alternatif yöntemler kullanılarak kilometre başına CO2 miktarına 120g sınırı getirilmiştir. 2020 yılında araçlarda kilometre başına CO2 miktarı 95g olarak hedeflenmektedir. Bu durum 443/2009 sayılı AB Regülasyonunda belirlenmiştir. Karayolu ulaşımında motorlu taşıt araçlarında kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması, araçlarda daha düşük emisyon sağlayan alternatif tahrik sistemlerinin kullanımlarını gündeme getirmiştir (Anonim, 2010).

Batarya teknolojisindeki yenilikler sayesinde kurşun-asit (Pb-Acid) bataryalar yerini birim ağırlık başına daha verimli ve daha kapasiteli olan lityum bataryalara, motor ve kontrol teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde ise fırçalı DC motorlar yerini ya fırçasız DC motorlara ya da indüksiyon motorlara bırakmışlardır. Bu gelişmelerle birlikte otomobil dünyasında da çok büyük değişiklikler yapılmaya çalışılmaktadır. Otomobillerde çok uzun süredir kullanılan içten yanmalı motorların yerine elektrik motorları kullanılarak ya tamamen elektrikli ya da hibrid araçlar üretilmektedir. Hibrid araçlar, klasik içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte tahrik amaçlı kullanıldığı araçlardır. Aracın üzerindeki bataryalarda depolanan elektrik enerjisi ile elektrik motoru kullanılarak, hem CO2 emisyonu hem de yakıt tüketimi açısından

geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara göre büyük avantajlar sağlamaktadır (Uçarol ve Kural, 2009). Elektrikli araçların CO2 emisyon miktarı, elektriğin elde edildiği yere bağlı olarak çok düşük ya da sıfır olmaktadır. Örneğin elektrikli araç elektrik ihtiyacını yenilenebilir enerjiden karşılarsa sıfır emisyona sahip olabilmektedir.



**Şekil 1.1.** Yakıt türüne göre dünya araç istatistik dağılımı ve öngörüsü (Anonim 2018)

Bu istatistik, 2017 yılında küresel otomobil satışlarının, 2030 tahminiyle yakıt teknolojisinden mahrum bırakıldığı bir dökümünü temsil ediyor. Hibrid elektrikli araçların (HEV) 2030'da dünya otomobil satışlarının yaklaşık yüzde 34'ünü oluşturması bekleniyor. (Statista , 2019)

## **2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Günümüzde çevre koşullarının kötüye gitmesi, petrol rezervlerinin azalması ve enerji problemlerinin yaşanması sebebiyle enerjide verimlilik ve enerji tasarrufu konuları ön plana çıkmaktadır. Hibrid araçlar, klasik araçlara göre enerji verimliliğini artırıcı yapılar olduğu için yakın teknoloji olarak önem kazanmıştır. Üstelik, hibrid araçlar konvansiyonel araçlardan yakıt hücreli araçlara geçişi sağlayacak bir teknolojidir. Dünya da hibrid araçlarla ilgili ürün geliştirmeye çalışan kuruluşların sayısı gittikçe artmaktadır. Üniversiteler, enstitüler ve sanayi kuruluşları ortak çalışmalar yürüterek gelişmiş hibrid araç bileşenleri üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Ülkemizde benzer ve daha gelişmiş çalışmaların yürütülmesi için bugüne kadar Dünya da yapılmış çalışmaların yakından takip edilmesi gereklidir.

### **2.1 Hibrid Otomobillere Genel Bakış**

Hem benzin hem de elektrikle çalıştığı için melez anlamına gelen "hibrit" adını alan otomobil modelleri, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yükselen teknoloji değeri olarak ilgi görmeye devam ediyor. Satış rakamları incelendiğinde pazardaki yüzde 40'lara ulaşan daralmanın dahi hibrit otomobil pazarını etkilemediği fark ediliyor. 2018 yılı ilk yarı satış rakamlarına göre Türkiye'deki otomobil kullanıcılarının hibrit modellere olan ilgisinin artarak devam ettiği görülüyor. Satış rakamlarının artmasındaki önemli nedenlerden biri olarak ÖTV indirimi gösteriliyor, ÖTV indirimi, hibrid modelleri cazip hâle getiriyor. Hibrid otomobiller üzerine yapılan teknolojik çalışmalar ve pazarlama hamlelerinin satışlara yüksek bir ivme kazandırdığı görülüyor.

Yıl	Trafiğe Çıkan Araç Sayısı	Bir Önceki Yıla Göre Değişim Oranı
2011	47	-
2012	228	%485
2013	436	%91
2014	525	%20
2015	889	%69
2016	1.160	%30
2017	1.685	%45
2018	5.367	%218
2019	7.145	*%33

\* 2019 yılı mart ayı sonu

Şekil 2.1. Türkiye’de satılan elektrikli ve hibrid araç sayısı (Anonim 2019)

Günümüzde hibrit arabaları otomobil dünyasına tanıtan ve bu alanda ilk ciddi üretimi gerçekleştiren önemli bir satış rakamına ulaşan marka her ne kadar Toyota olsa da, istenildiği zaman elektrikli, istenildiği zamansa benzinli motorla hareket eden otomobillerin kökeni çok daha eskiye dayanmaktadır.

İlk olarak 1902 yılında Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen bir otomobilde söz konusu sistem basit hali ile kullanılmıştır. Hibrit arabalar için ticari olarak ilk atılımı yapan marka ise Toyota oldu. 1997 yılında geliştirdiği Toyota Prius modelinde seri üretime geçen Toyota, geride kalan 19 yıl içerisinde 9 milyonun üzerinde hibrit araba satmayı başardı.

Toyota hibrit arabaları her ne kadar dünya otomobil sektörüne Prius modeliyle tanıtmış olsa da, ilerleyen dönemlerde benzer segmentteki araçlarında da hibrit teknolojisini kullanmaya başladı. Örneğin 2012 yılında piyasaya çıkan Yaris modelinin hibrit versiyonu, Avrupa genelinde 50 binin üzerinde bir satış rakamına ulaşarak bu alanda önemli bir başarıya imza attı. Toyota’nın haricinde Honda da özellikle Civic modeli ile hibrit araba piyasasında önemli satış rakamlarına ulaşırken, ilerleyen yıllarda diğer büyük

otomobil markalarının da bu alanda önemli atılımlarda bulunması bekleniyor. Özellikle Renault Clio V modelinde hibrid ve elektrikli versiyonlarında ülkemizde üretilmesiyle ciddi anlamda satış rakamları elde etmesi bekleniyor. Çizelge 1.1’de tarihi sıralamaya göre Hibrid araç örnekleri ve özellikleri gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Tarihi sıralamaya Hibrid araç örnekleri ve özellikleri (Anonim 2012)

2010	BMW	BMW ActiveHybrid 7 (mild hybrid, lithium-ion battery)	Automobile	
2010	Fiat	Fiat Panda hybrid fuel cell/battery	Automobile	
2010	Honda	Honda CR-Z	Automobile	
2010	Honda	Honda Fit Hybrid[7]	Automobile	
2010	Hyundai	Hyundai Hybrid	Automobile	2011 model, sales began end of 2010



**Çizelge 2.1.** Tarihi sıralamaya Hibrid araç örnekleri ve özellikleri (Anonim 2012)

2010	Toyota	Toyota Auris Hybrid	Automobile	2ZR-FXE I4 engine. similar to 3rd gen Prius powertrain
2010	Toyota	Toyota Highland hybrid	Automobile	revised hybrid powertrain, similar to RX 450h, 2011 model
2010	Mazda	Mazda Tribute	Crossover	
2010	Lincoln	Lincoln MKZ Hybrid	Automobile	2011 model
2010	Porsche	Porsche Cayenne S	Automobile	2011 model, sales began end of 2010
2010	Chevrolet	Volt	Automobile	2011 model
2010	Alexander Dennis	Alexander Dennis Enviro350H	Bus	
2010	Optare	Optare Versa	Bus	
2010	Porsche	Porsche 918 Spyder	Automobile	2014 Model. 4.6L V8 engine + 2 electric motors - 823 bhp (614 kW; 834 PS). Plug-in hybrid.
2011	Hyundai	Kia Optima Hybrid	Automobile	2011 model
2011	Honda	Honda Civic Hybrid	Automobile	2011 redesign, 1.5L engine, lithium-ion batter
2011	Infiniti	Infiniti M35 Hybrid	Automobile	2011 model
2011	Toyota	Toyota Prius v/Toyota Prius $\alpha$	Automobile	2012 model. It will be called Prius + in Europe
2011	Toyota	Toyota Camry Hybrid	Automobile	2012 model
2011	Volkswagen	VW Touareg Hybrid	SUV	2012 model

**Çizelge 2.1.** Tarihi sıralamaya Hibrid araç örnekleri ve özellikleri (Anonim 2012)

2011	Peugeot	Peugeot 3008 HYbrid4	Automobile	The world's first production diesel-electric hybrid
2011	Peugeot	Peugeot 508 RXH	Automobile	diesel-electric hybrid
2011	Porsche	Panamera S Hybrid	Automobile	2012 Model
2011	Citroën	Citroën DS5 HYbrid4	Automobile	diesel-electric hybrid
2011	Toyota	Toyota Aqua hybrid	Automobile	Japan only. Named Prius c in the rest of the world
2012	Toyota	Toyota Prius c hybrid	Automobile	Several world markets except Europe
2012	Toyota	Toyota Prius Plug-in Hybrid	Automobile	It is based on the 2012 Prius third generation. Available in Japan, U.S. and Europe
2012	Toyota	Toyota Yaris Hybrid	Automobile	Europe only. Available since June 2012.[8]
2012	Toyota	Toyota Camry Hybrid 2nd generation	Automobile	2012 model
2012	Honda	Acura ILX Hybrid		
2012	Toyota	Lexus ES 300h	Automobile	2012 model
2012	BMW	BMW ActiveHybrid 5		2013 model
2012	BMW	BMW ActiveHybrid 3		2013 model
2012	Ford	Ford Fusion Hybrid 2nd generation	Automobile	2013 model
2012	Ford	Ford C-Max Hybrid	Compact MPV	2013 model
2012	Ford	Ford C-Max Energi plug-in hybrid	Compact MPV/SUV	2013 model
2012	Volvo	Volvo V60 Plug-in Hybrid (diesel)	Wagon	Scheduled for November 2012 (Europe only)
2012	Volkswagen	Volkswagen Jetta Hybrid	Automobile	Scheduled for late 2012 as a 2013 model
2012	Toyota	Toyota Avalon Hybrid	Automobile	Scheduled for late 2012 as a 2013 model

**Çizelge 2.1.** Tarihi sıralamaya Hibrid araç örnekleri ve özellikleri (Anonim 2012)

2013	Ford	Ford Fusion Energi plug-in hybrid	Automobile	U.S. sales scheduled to begin by early 2013.
2013	Mitsubishi	Mitsubishi Outlander P-HEV	SUV	Sales scheduled to begin in the Japanese market in the first half of 2013
2013	Honda	Accord Hybrid	Automobile	2014 Model.
2013	Honda	Honda Accord Plug-in Hybrid	Automobile	2014 model
2013	BMW	BMW i3 REx	Automobile	This is the plug-in hybrid version of all-electric car scheduled for late 2013
2013	Fisker	Fisker Surf		Production is scheduled for 2013
2013	General Motors	Cadillac ELR plug-in hybrid	Automobile	Scheduled for U.S. market launch by late 2013 as a 2014 model year.
2013	McLaren	McLaren P1	Automobile	3.8L Twin-turbo V8 engine with KERS - 903 bhp (673 kW; 916 PS). Can run on battery alone.
2013	Ferrari	LaFerrari	Automobile	2014 Model. All Sold. 6.3L V12 engine with KERS - 963 bhp (718 kW; 976 PS).
2013	Porsche	Panamera S E-Hybrid	Automobile	2014 Model.
2014	BMW	BMW i8	Automobile	Retail deliveries began in June 2014
2014	Porsche	Cayenne S E-Hybrid	SUV	2015 Model.
2015	BMW	BMW 225xe iPerformance	Automobile	Retail deliveries began late 2015
2015	BMW	X5 xDrive 40e iPerformance	SUV	2016 Model.
2015	Chevrolet	Volt	Automobile	2016 Model.

**Çizelge 2.1.** Tarihi sıralamaya Hibrid araç örnekleri ve özellikleri (Anonim 2012)

2015	Chevrolet	Volt	Automobile	2016 Model.
2015	Hyundai	Sonata PHEV	Automobile	2016 Model.
2015	Mercedes-Benz	C350e	Automobile	2016 Model.
2015	Mercedes-Benz	GLC 350e	SUV	2016 Model.
2015	Mercedes-Benz	GLE 550e	SUV	2016 Model.
2015	Volvo	XC90 T8	SUV	2016 Model.
2016	BMW	BMW 330e iPerformance	Automobile	Retail deliveries began 2016
2016	BMW	740e iPerformance	Automobile	2017 Model.
2016	Chrysler	Pacifica Hybrid	Van	2017 Model.
2016	Hyundai	Hyundai Ioniq	Automobile	Retail deliveries began 2016
2016	Kia	Niro	SUV	2017 Model.
2016	Kia	Optima PHEV	Automobile	2017 Model
2016	Toyota	Prius Prime	Automobile	2017 Model.
2016	Volvo	S90 T8	Automobile	2017 Model.
2017	Honda/Acura	Honda NSX	Automobile	2017 Model. Released March 14, 2016. 3.5L V6 engine - 573 bhp (427 kW; 581 PS).
2017	Honda	Clarity Plug-in Hybrid	Automobile	2017 Model.
2017	Ferrari	LaFerrari	Automobile	2017 Model. Seen at 2016 Geneva Motor Show
2017	McLaren	McLaren P1	Automobile	2017 Model. Seen at 2016 Geneva Motor Show
2017	Mini	Countryman S E ALL4 PHEV	SUV	2018 Model.
2017	Porsche	918 Spyder	Automobile	2017 Model. Seen at 2016 Geneva Motor Show
2017	Volvo	XC60 T8	SUV	2018 Model.

Çizelge incelendiğinde yıllara göre hibrid araç modellerinin çeşitliliği ve yaygınlaştığı gözlemlenmektedir.

## 2.2 Otomobil Teknolojisinin Değişimi

Otomobilin tarihi 19. yüzyılda enerji kaynağı olarak buharın kullanılmasıyla başlar ve içten yanmalı motorlarda petrolün kullanılmasıyla devam eder. Günümüzde alternatif enerji kaynakları ile çalışan otomobillerin üretilmesi konusunda çalışmalar hız kazanmıştır.

Otomobil, ortaya çıkışından itibaren gelişmiş ülkelerde insan ve yük taşımacılığı konusunda ana ulaşım aracı olarak kendini kabul ettirmiştir. Otomotiv endüstrisi II. Dünya Savaşı'ndan sonra en etkili endüstri kollarından birisi olmuştur. Dünya üzerinde 1907 yılında 250.000 olan otomobil sayısı, 1914'te Ford Model T'nin ortaya çıkışıyla 500.000'e ulaşmış, II. Dünya Savaşı'ndan hemen önce bu sayı 50 milyonun üzerine çıkmıştır. Savaşın ardından geçen otuz yıl içinde otomobil sayısı altı katına çıkmış ve 1975 yılında 300 milyona ulaşmıştır. Dünya üzerinde yıllık otomobil üretimi 2007 yılında 70 milyonu geçmiştir.

Otomobil tek bir kişi tarafından bulunmamıştır, yaklaşık yüzyıl boyunca dünyanın dört bir yanında ortaya çıkan buluşların bir araya gelmesiyle ortaya çıkmıştır. Modern otomobilin ortaya çıkışının yaklaşık 100.000 patent alımı sonrasında gerçekleştiği tahmin edilmektedir.

Otomobil ulaşımda bir çığır açtı ve bireylerin mekân ile olan ilişkileri başta olmak üzere derin sosyal değişikliklere neden oldu. Ekonomik ve kültürel ilişkilerin gelişmesini kolaylaştırdı. Yollar, otoyollar ile park yerleri gibi devasa yeni altyapıların geliştirilmesine yol açtı. Tüketim nesnesi olarak görülmesiyle birlikte yeni bir evrensel kültüre temel oldu ve sanayileşmiş ülkelerde aileler için olmazsa olmaz bir eşya olarak yerini aldı. Otomobil, günümüz gündelik yaşamında çok önemli bir yer tutmaktadır.

Otomobilin sosyal yaşam üzerindeki etkileri her zaman tartışma konusu olmuştur. Yaygınlaşmaya başladığı 1920'lerden beri çevre üzerinde (yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılması, kaza sonucu ölüm yüzdesinin artması, kirliliğe yol açması) ve sosyal yaşam üzerinde (bireyselliğin artması, obezite, çevre düzeninin değişmesi) olan etkileri nedeniyle eleştirilerin odağı oldu. Kullanımının artmasıyla birlikte şehir içinde tramvay ve şehirlerarası tren kullanımına karşı önemli bir rakip oldu.

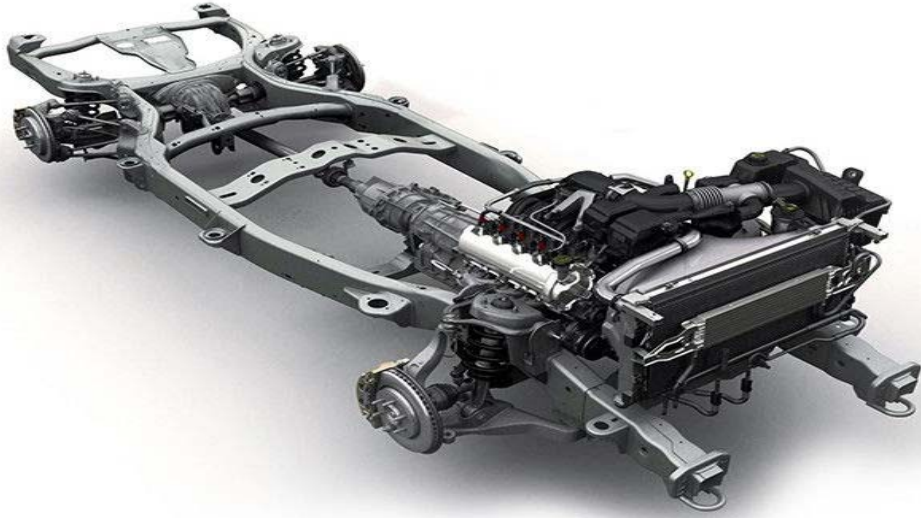
20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyılın başlarında önemli petrol krizleri ile karşılaşan otomobilin karşısında petrolün kaçınılmaz azalması, küresel ısınma ve endüstrinin genelinde uygulanan kirlilik yaratan gazların emisyonları üzerindeki kısıtlamalar gibi

sorunlar bulunmaktadır. Bunların üzerine 2007 - 2009 yılları arasında yaşanan ve otomobil endüstrisini derinden etkileyen küresel finans krizi eklenmiştir. Bu kriz önemli küresel otomotiv gruplarına ciddi zorluklar yaşatmaktadır.

### **2.2.1 Teknolojideki gelişmeler**

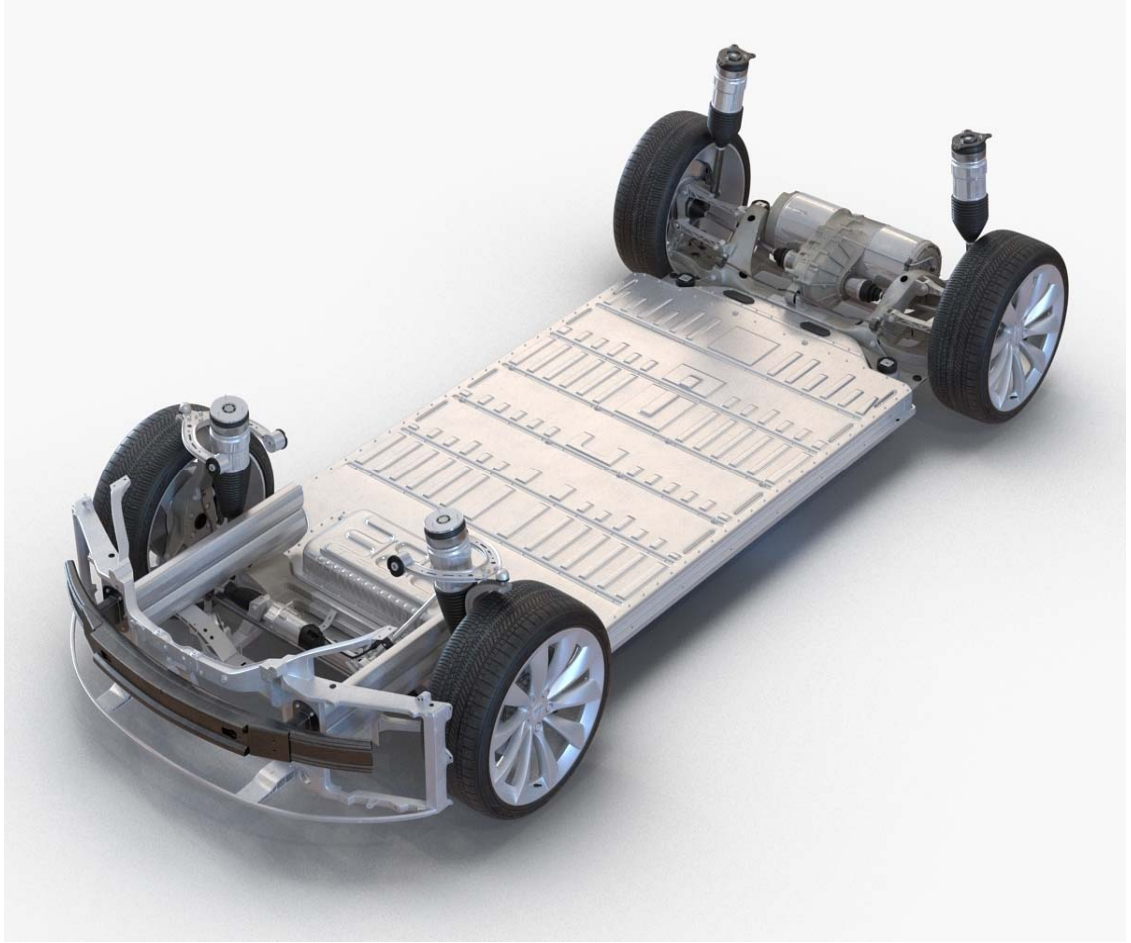
Otomobil teknolojisine bakıldığında, ilk çekiş gücünün elde edilmesinden 21. yüzyılın başlarına kadar olan süreçte otomotivdeki teknolojik gelişmelerin 3 ana dönemden oluştuğu görülmektedir. Bunlar buhar motor teknolojisi, içten yanmalı motor teknolojisi ve elektrikli motor teknolojisi olarak adlandırılabilir. Aslında otomotiv teknolojisindeki bu değişimin, endüstrideki (Endüstri 1, 2, 3 ve 4) değişimle benzer özelliklere sahip olduğunu görmekteyiz. Buradan, ikisinin birbiri ile etkileşim halinde olduğunu çıkartabiliriz. Bu gelişime bakıldığında, buharlı araçların oldukça tehlikeli, kirli ve pahalı olduğu ve içten yanmalı araçların yeni geliştirildiği ve hala bazı teknik sorunları olduğu için elektrikli araçlar diğerlerine kıyasla avantajlı konumdadır.

İçten yanmalı motor teknolojisine baktığımızda, bu teknolojinin dakikada binlerce devir yapması ve bu devir sırasında valf mekanizmasından krank-biyel- piston mekanizmasına kadar uyum içerisinde çalışması, bu teknolojinin kusursuz ahenge sahip olduğunu göstermektedir. Fakat içten yanmalı motor teknolojisindeki en istenmeyen durum enerji verimindeki düşüklüktür. Yakıttaki yanma enerjisinin mekanik dönme enerjisine dönüşümü, en iyi verime sahip motorlarda bile %30 civarındadır. Enerjinin geri kalan kısmı ise ısı ve ses halinde harcanıp gitmektedir. Verim düşüklüğünün sebeplerinden biri de sahip olduğu karmaşıklığıdır. Şekil 2.1’de içten yanmalı motora sahip bir araç şasisi gösterilmektedir.



**Şekil 2.2.** İçten yanmalı motor teknolojisine sahip araç şasisi (Carstechnic 2018)

Şekildeki içten yanmalı araç şasisini ve motorunu incelediğimizde çok fazla mekanik hareketli ve sabit komponent barındırdığı ve karmaşık olduğu görülmektedir. İçten yanmalı araçlarda tahrik sistemi olarak geçmişten günümüze içten yanmalı motorlar uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motor karmaşık, şaşırtıcı bir makinedir. Kusursuz uyum içerisinde valfler açılır-kapanır, kıvılcım ateşler, piston hareket eder ve krank mili döner. Krank mili pistonun doğrusal hareketini dönme hareketine dönüştürerek aracın hareket etmesini sağlar. Ancak içten yanmalı motorun bu karmaşıklığından dolayı verimi düşüktür. En iyi ihtimalle yakıt enerjisinin sadece %30 'u hareket enerjisine dönüştürülür ve motor dönmediği zaman moment elde edilemez. Buna karşın elektrik motorları çok basit yapıya sahiptirler. Motor elektrik enerjisini mekanik güce çevirir. Aynı zamanda bir generatör olarak da mekanik gücü elektriğe dönüştürebilir. İçten yanmalı motorda olduğu gibi çok fazla parçaya sahip değildir, hareketli parça olarak sadece rotora sahiptir. Doğrusal hareketi dairesel harekete dönüştürmeye gerek yoktur ve mekaniksel zamanlamaya da ihtiyaç duymazlar. Şekil 2.3'de elektrikli motor teknolojisine sahip bir Tesla Model S aracına ait otomobildeki sadelik gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Elektrikli motor teknolojisine sahip araç şasisi (Tesla 2016)

İçten yanmalı motorların bir diğer problemi ise ürettikleri yüksek torkun sadece belirli ve dar bir devir aralığında elde edilebiliyor olmasıdır. Bu motorların devir hızı sınırları 5000-6000 d/d civarındadır. Motorun devir hızı bu değerleri geçtiğinde motorun parçalarını bir arada tutmak ve motorun zamanlamasını ayarlamak maliyetli olmaktadır. Örneğin, kapanan valfleri iten yaylar düşünülürse, motorun devri artarken yaylar valfi açmaya yetişemeyebilir ve valfin pistonu çarpması ile çok olumsuz motor arızası meydana gelebilir. Bir elektrik motoru ile herhangi bir devirde anlık moment elde edilebilir. Gaz pedalına basıldığı anda motorun tam dönme gücü elde edilebilmektedir. Maksimum moment neredeyse dakikada 6000 d/d'ya kadar sabit kalmakta ve daha sonra yavaşça düşmeye başlamaktadır. Özellikle düşük devirlerde elde edilen bu geniş moment aralığı vites değiştirme ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu yüzden elektrikli araç büyük çoğunlukla tek vitesli olmaktadır. Yani sıfırdan maksimum hıza kadar tek vites kullanmaktadır. Aracın geri gitmesi motorun ters yönde çalıştırılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla, elektrikli araçlarda geri vitese ihtiyaç



olmamaktadır. Bu tasarım elektrikli araçları hem inanılmaz basit, güvenilir ve kompakt yapmakta, hem de sürüş keyfini büyük ölçüde artırmaktadır. (Gürbüz ve Kulaksız , 2016). Bununla beraber bataryaların enerji yoğunluğu elektrikli araçların sürüş menzili için çok önemli olmaktadır. Li-on bataryanın enerji yoğunluğu yaklaşık 110-160 Wh/kg olmaktadır (Burke, 2007). Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar 20-40kWh arasında kapasitelerde değişmektedir. Ancak 38 litre benzin 360kWh'lik enerji içermektedir (Shiau vd., 2009). 38 litrelik benzinin içerdiği enerji bataryalar ile sağlanacak olursa ve batarya enerji yoğunluğu 160Wh/kg alınacak olursa bataryaların yaklaşık ağırlığı 2.250kg olacaktır. Bu ağırlık 38 litre benzinin ağırlığına göre çok yüksek olmaktadır. Her ne kadar elektrikli araçlar içten yanmalı motora sahip araçlara göre 3 kat verimli olmuş olsa da bataryaların birim ağırlık başına enerji yoğunluklarının sıvı yakıtların enerji yoğunluğuna göre çok düşük olması elektrikli araçlar için halen en büyük dezavantajdır. Buna ek olarak gerek ülkemizde gerek Dünya'da elektrikli araçların mevcut şarj edilme süreleri de göz önüne alındığında yeterli şarj istasyonu ve bu denli büyük bir elektrik enerji stoğu planlanmadığından elektrikli araçlar için menzil ve şarj edilme sürelerinin gelişime devam edilmesi öngörülmektedir.Şekil 2.4'de Hibrid motor teknolojisine sahip bir Toyota CH-R crossover aracına ait otomobildeki sadelik gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.** Hibrid motor teknolojisine sahip araç şasisi (Toyota 2017)

Hibrid araçlarda elektrikli ve benzinli olmak üzere iki çeşit motor vardır. Dışarıdan herhangi bir güç gerekmeden bu iki motorun yüksek verimli çalışma ilkesi hibrit teknolojilerin temelini oluşturur. Hibrit araçlarda, içten yanmalı motor bir elektrik motoru

ile tamamlanır. Elektrik motoru, içten yanmalı motora seri veya paralel bağlanabilir. Araçta bulunan hibrit güç düzenleyici ise yüksek gerilimli akü ile elektrik motoru arasında bağlantı yaparak araç şebekesini besler. Elektrik motoru enerjisini, yüksek voltajlı lityum iyon pillerden alır. Ayrıca reküperasyon teknolojili frenleme sistemi sayesinde yavaşlama anında kaybedilen enerjinin bir kısmı geri kazanılarak lityum iyon pilde depolanır. Araç kalkışı sırasında sadece elektrik motoru çalışır ve aracı harekete geçirir. Normal sürüş sırasında elektrik motoru çalışır. Gerekli durumlarda içten yanmalı motor destek olur. Hızlanma sırasında iki motor birlikte çalışır. Hızlı sürüş sırasında (Şehirler arası yollar gibi) tahrik gücü yüksek olan içten yanmalı motor asıl gücü verir ve elektrik motoru destek olur. Yavaşlama sırasında içten yanmalı motor durur ve lityum iyon pil, frenleme sisteminde kazanılan enerji ile kendini şarj eder.

### **2.2.2 Hibrid Otomobillerin Türkiye'deki Gelişimi**

Türkiye, otomotiv sektöründe günden güne gelişimini sürdürerek gerek teknoloji üretim kapasitesini artırması gerekse yeni otomotiv devlerinin ülkemize yatırım yapmasıyla üst lige yükseliyor. Düne kadar üretim kalitesiyle öne çıkan Türkiye otomotiv sanayisi, bugün hibrit gibi yüksek teknoloji üreten dünyadaki sayılı ülkeler arasına girdi. Türkiye'nin hibrit macerası dört yıl önce başladı. İlk olarak 2016'da Toyota Otomotiv Sanayi, Sakarya'daki tesislerinde hibrit teknolojili C-HR'ı üretti. Japon marka şimdi de 12'inci nesil Corolla Sedan ile birlikte ikinci hibrit otomobilini de Sakarya'da üretmeye başladı. Böylece, Toyota'nın Türkiye'de ürettiği hibrit model sayısı ikiye çıktı.

Bugüne kadar 12 milyon 500 bin adet hibrit satışı gerçekleştiren Toyota'nın 33 farklı hibrit modeli bulunuyor. Türkiye, hibrit C-HR ve Corolla Sedan'la Toyota'nın 2020'ye kadar 15 milyon hibrit satış hedefinin gerçekleşmesine katkı sağlayacak. Türkiye'yi hibrit üssü yapmaya hazırlanan otomotiv firmaları Toyota ile sınırlı değil. Oyak Renault ve Ford Otosan da hibrit araç üretmeye hazırlanıyor. Dizel üretimini azaltıp hibrite geçiş yapmaya hazırlanan Renault, hibrit motor üretimini Türkiye'ye emanet etti. Fransız otomotiv devi Renault, ilk hibrit motorunu Bursa Oyak Renault tesislerinde üretecek. Türkiye'de üretilen hibrit motorlar, Renault modellerinde kullanılmak üzere ihraç edilecek. Markanın satışa sunacağı ilk hibrit m Renault, Clio, Megane Hatchback ve Captur'un hibrit versiyonlarını 2020'den itibaren satışa sunmayı hedefliyor. Hibrit yatırımı için Proje Bazlı Teşvik Sistemi kapsamında 493 milyon TL teşvik alan Oyak

Renault'nin yeni tesisinin temeli ekimde atıldı. Ford Otosan da Gölcük tesislerinde ürettiği Transit Custom'ın Plug in Hybrid (PHEV) versiyonunu devreye almayı planlıyor. İhracat amaçlı üretilecek hibrit modelin 2019'da yollara çıkması bekleniyor. Ford Otosan, Amerikan otomotiv devi Ford'un hibrit ve elektrikli araç hedefine de katkı sağlayacak. Ford, 2022'ye kadar 40 adet hibrit ve elektrikli araç geliştirmeyi ve 4.5 milyar dolarlık yatırım yapmayı planlıyor.odelinin Bursa'da üretilecek yeni nesil Clio olacağı tahmin ediliyor.

Türkiye, 2018'de toplam üretiminin ihracata oranı en yüksek ülke oldu. 2018'de yüzde 85 olan bu oran, 2019'un ilk iki ayında yüzde 88.7'e çıktı. Dünyada toplam otomotiv üretiminin ihracata oranı en yüksek ülke 2018'de Türkiye oldu. 2018'de 1 milyon 550 bin adet araç üretilip, 1 milyon 319 bin adedini ihraç eden Türkiye'nin ihracat oranı yüzde 85 gibi yüksek seviyeye çıktı. Böylece Kanada, Meksika ve Güney Kore gibi ihracatçı ülkeleri geride bıraktı.

Son üç yıldır Türkiye'nin ihracatı artıyor. 2017'de yüzde 80 olan ihracat oranının 2019'da iç pazardaki daralmanın etkisiyle daha da yükselmesi bekleniyor. Otomotiv Sanayi Derneği (OSD) 2019'da üretimin 1 milyon 420 bin adet, ihracatın ise 1 milyon 230 bin adet olacağını tahmin ediyor. Buna göre otomotiv sanayisinin toplam üretiminin ihracata oranı yüzde 86.6'ya çıkacak. Türkiye ürettiği her 100 aracın 87'sini ihraç edecek. Ancak, toplam üretimin ihracata oranı henüz yıl başında yüzde 88'i geçti. OSD verilerine göre, bu oran Şubat 2019'da 88.7'e çıktı. Şubatta toplam 119 bin 473 adet araç üreten Türkiye otomotiv sanayisinin ihracatı 106 bin 84 adet oldu. (Ufuk , 2019)

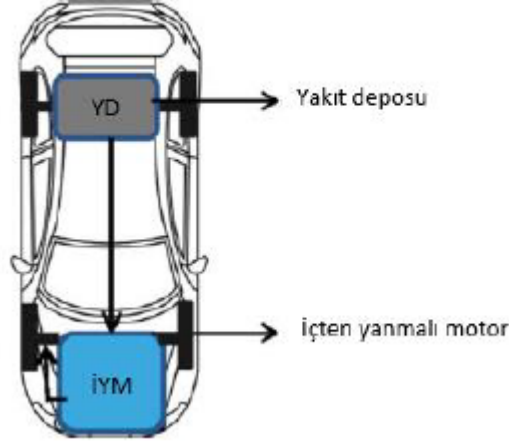
### **2.3 Araç Çeşitleri**

Hibrid elektrikli araçlar ve alt sistemleri hakkında daha ayrıntılı bilgi verebilmek için ilk olarak, farklı araç çeşitleri, çeşitlerinin özelliklerinin anlatılması ve anlaşılması gerekmektedir.

#### **2.3.1. İçten yanmalı motorlu araçlar (Konvansiyonel)**

Konvansiyonel araçlar olarak da tanımlanan içten yanmalı motorlu araçlar, araçta itiş ve tekerleklerde dönüş sağlamak için kimyasal enerjiyi, ısı ve kinetik enerjisine dönüştürür. İçten yanmalı motorlu araçlar, nispeten uzun sürüş mesafelerine (menzil) ve yakıt takviyesinin kısa sürede gerçekleşmesi gibi özelliklere sahiptir fakat yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak maliyet ve çevre etkilerinden dolayı olumsuz durumlarla karşı

karşıyadır. Şekil 2.5'te içten yanmalı motorlu aracın sahip olduğu genel araç yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.5.** İçten yanmalı motorlu aracın genel yapısı (Dinçer ve ark. 2017)

Şekle bakıldığında, içten motorlu araçlardaki motor ve yakıt deposunun nispeten büyük olduğu anlaşılmaktadır.

İçten yanmalı motorlu araçların temel avantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Araçlar, yakıt deposunda yüksek hacimde sıvı yakıt (genellikle benzin ve dizel) depolayabilir.
- Kullanılan yakıt, yakıt takviyesi olmadan birkaç yüz kilometre seyahat etmek için yeterli yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir.
- Yakıt takviyesi (dolum) kısa sürede gerçekleşmektedir.

İçten yanmalı motorlu araçların bazı dezavantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Araçta itiş gücü elde etmek için kullanılan yakıt enerjisinin %20'si ile verim elde edilmektedir.
- Geri kalan enerji motorda, aktarma organlarında ve rölantide çalışmada kaybolmaktadır.
- Genellikle hidrokarbon yakıt kullanılmasından dolayı, çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya önemli derecede etki etmektedir.

İçten yanmalı motorlu araçlar, sistemi karmaşık ve bakımı zor (sürekli yağ değişimi, periyodik bakımları gb.) hale getiren ve sistem verimini önemli ölçüde düşüren çok fazla hareketli parçaya sahiptir. Ayrıca içten yanmalı motorlu araçlar, optimum yakıt-hava karışımını sağlayan yakıt sistemine, zamanında yanmayı gerçekleştiren ateşleme sistemine, güvenli bir şekilde çalışmak için soğutma sistemine, sürtünme ve aşınmayı azaltmak için yağlama sistemine ve egzoz ürünlerinin atılması için egzoz sistemine sahip olması gerekmektedir.

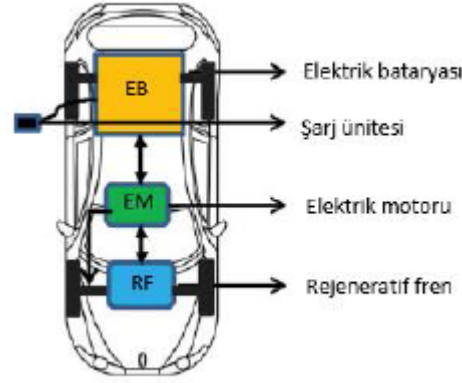
Geçtiğimiz yıllarda içten yanmalı motorlu araçlarda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, dengesiz ve sürekli artan fiyatlara sahip olan, siyasi ve sosyal karışıklığa sebep olan ve çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya neden olan fosil yakıtlara ihtiyaç duymaktadır. Son yıllarda, olumsuz çevresel etkilerini hafifleten gıda ürünü gibi biyolojik kaynaklardan elde edilen alkol yakıtı dahil olmak üzere alternatif yakıtların kullanımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Fakat bu kaynaklar, yanma sürecinin yapısı nedeniyle verimsiz hale gelmektedir.

### **2.3.2. Elektrikli araçlar**

Elektrikli araçlar, aracı hareket ettirmek için sadece elektrik gücünü kullanırlar. Araç sadece bataryalar veya diğer elektrik enerjisi kaynakları ile çalıştırıldığı için, çalışma sırasında hemen hemen sıfır emisyon elde edilebilir. Bununla birlikte enerjinin çevresel etkisi, enerji üretim yöntemine önemli ölçüde bağlıdır. Bu nedenle çevresel etkinin çok gerçekçi bir ölçüsünü elde etmek için genellikle elde edilen enerjinin ilk anından son anına kadar derinlemesine bir analize ihtiyacı vardır. Sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için, bu noktada arabanın tükettiği enerjiyi, enerjinin üretildiği andan itibaren takip edilmesi gerekmektedir. Yani elektrikli araç hareket halinde sıfır emisyon sağlıyor olsa da, aracın kullandığı enerjinin üretimi sırasında üretilen emisyon miktarına da dikkat edilmesi gerekmektedir (Çetin 2016).

Elektrikli araçlar, bir içten yanmalı motor ve buna karşılık gelen mekanik veya otomatik vites kutusu içermedikleri için, mekanik dişli kutuları ortadan kaldırılabilir, bu da aracı daha basit, güvenilir ve daha verimli hale getirebilmektedir. Böylelikle elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçların %30'luk verimliliğine kıyasla %90'ın üzerinde (bataryada) verim elde edebilirler. Ayrıca, çeşitli kaynaklardan üretilebilecek elektriği

kullanma avantajlarına da sahiptirler. Birçok ülkede enerji portföyü, çeşitli yenilenebilir enerji türleri (özellikle güneş ve rüzgar) ile daha fazla çeşitlilik kazanırken, tüm elektrikli araçların faydaları gelecekte daha da belirginleşecektir. Şekil 2.6'da elektrikli aracın sahip olduğu genel araç yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.6.** Elektrikli aracın genel yapısı (Dinçer ve ark. 2017)

Şekle bakıldığında, elektrikli araçların kıyasla daha büyük elektrikli motora sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tüm elektrikli araçların temel avantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Araç, bataryadan güç alan verimli bir elektrik motoru (motorları) kullanılarak tahrik edilir.
- Regeneratif frenleme, frenler kullanıldığında enerjiyi bataryaya geri beslemek için kullanılır.

Tüm elektrikli araçların bazı dezavantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

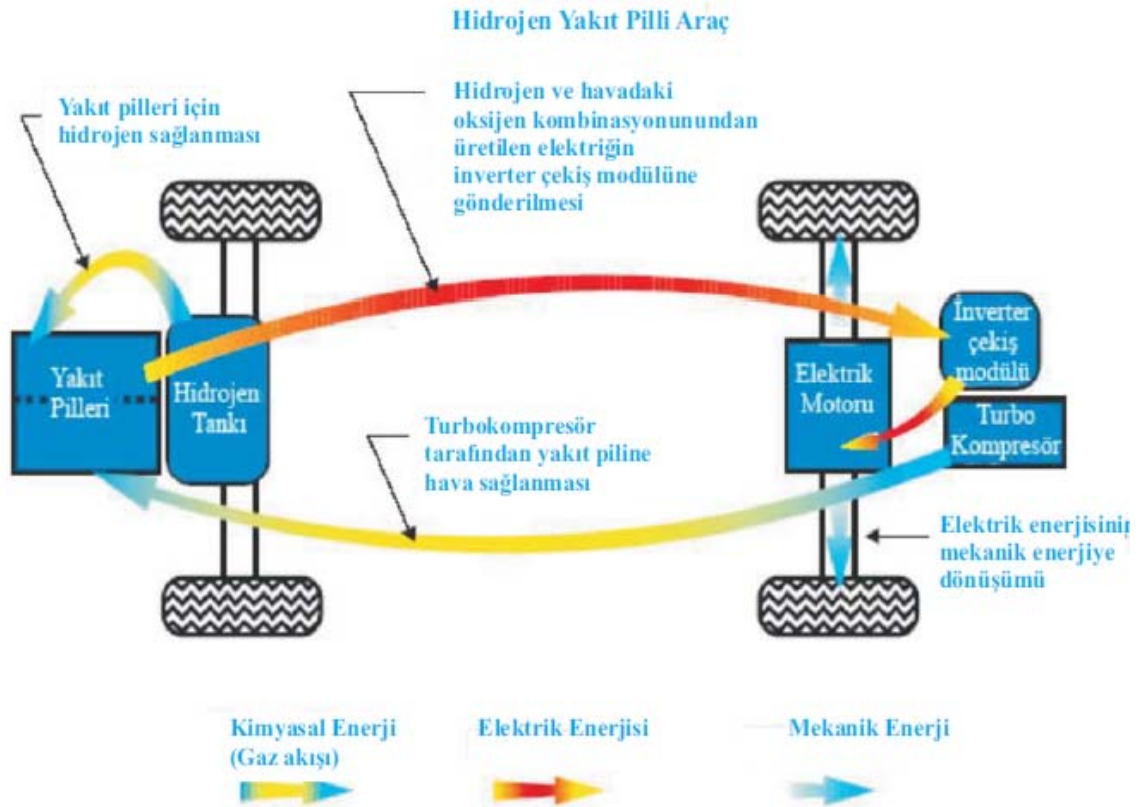
- Enerji kaynağı sadece bataryalar olduğu için, bataryalar hibrit araçtakilerle kıyaslandığında oldukça büyük boyutlara sahiptir.
- İçten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında, daha kısa menzile sahiptirler.
- Uzun süren şarj sürelerine sahiptirler. Örneğin seviye 2'den tam doluma kadar süren şarj süresi, 7 saat olabilmektedir.

Ayrıca, benzinin özgül enerjisi elektrik bataryalarına kıyasla inanılmaz derecede yüksektir. Bu sebepten dolayı, aynı enerji seviyelerini sağlamak için, batarya paketi önemli ölçüde büyük olur, bu da araca büyük ölçüde ağırlık ve maliyet getirir. Açıkçası elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında, bu teknolojinin temel engelleri olan sınırlı menzil ve daha yüksek maliyet gibi özelliklere sahip olması, elektrikli araçların araç pazarına girdiklerinde dezavantajlarından olmuştur. Fakat bu

sorunların üstesinden gelmek için bataryalar, süper kapasitörler ve yakıt pilleri ile ilgili kapasitelerin artırılması için önemli araştırmalar gerçekleştirilmektedir.

### 2.3.3. Hidrojen yakıt hücreli araçlar

Enerji ve çevresel politikadaki çabalar sayesinde yakıt pilleri ulaşım alanında söz sahibi bir konuma gelmektedir. Araçlarda, spor amaçlı taşıtlarda, kamyonlarda, minibüslerde ve uçaklarda tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %97'si halen petrol kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır. Çevresel şartlar ve çevrimin durumu gibi parametreler taşıtın yakıt performansını etkilemektedir. 21. yüzyılda hidrojen enerjili taşıtların ticarileştirilmesindeki yarış, Çin, Almanya, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi çeşitli uluslararasıdaki çok güçlü bir rekabet ortamını ortaya çıkarmıştır. Otomobil imalatçıları, yolcu taşıtları için çekiş gücü sağlayacak direkt hidrojen, polimer elektrolit yakıt pili sistemlerini geliştirmektedirler. Yakıt pili sistemleri tasarlanırken, farklı tiplerdeki sistemlerin atalet ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. Mekanik bileşenler, hızlanma, yavaşlama ve bileşenlerin mekanik ataletleri sisteme uygun cevap vermelidir. Şekil 2.7'de Hidrojen yakıt pili kullanan araçların çalışma prensibini görmekteyiz.



### Şekil 2.7. Hidrojen yakıt pili kullanan araçların çalışma prensibi (Anonim 2018)

Tipik bir yolcu taşıtının (1850 kg) 0 km'den 85 km hıza çıkabilmesi için yaklaşık 500 kJ veya 500 kW'lık bir enerjiye ihtiyacı vardır. Yakıt pillerinin kontrolü, dizaynı ve optimum çalışma durumu için süresiz hareket durumlarında akım, gerilim ve güç değişikliklerini tam olarak anlayabilmek gerekir. Bu dinamikler konut ve otomotiv uygulamaları için önemlidir. Süresiz çalışma durumu; ani güç gereksiniminin olduğu durumların ya da taşıtın hızlanması veya yavaşlaması şartlarının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Polimer elektrolit yakıt pilleri, çeşitli endüstriyel uygulamalara, taşımacılık sektörüne ve konut teknolojilerine uygulanmasında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu uygulamaların çoğalmasıyla çevreye verilen zararın azalması ve ekonominin gelişmesi umut edilmektedir. Tipik bir yakıt pilinin güç yoğunluğu 200Wh/l'tir. Bu, akülerin güç yoğunluğunun yaklaşık 10 katıdır. Bu yüzden örnek olarak elektrikli araçlarda veya acil durumlar için güç kaynağı olarak ya da 500 kW'lık bir güç kaynağı olarak kullanılabilirler. Bu doğa dostu, yüksek verimli enerji kaynağı gelecek vaat etmekle birlikte yakıt pili güç sistemi kurulumunun yüksek maliyeti, yaygın kullanımını sınırlayan temel sebeplerden biridir.

Yakıt pillerinin taşıtlara uygulanması hususunda firmaların geldiği noktaları şöyle özetleyebiliriz. General Motors, "Precept" isimli modelinde 100 KW'lık PEM yakıt hücresini kullanmıştır. Araç 100 km/h hızına 9 saniyede ulaşırken 800 km'lik bir menzile sahiptir. Ford firması ise "FORD FOCUS FCV" ve "P2000" modellerini geliştirmiştir.

Nissan ise "Xterra FCV" modelini üretmiştir. Daimler-Chrysler ise 2002 yılında yakıt pilli otobüsü geliştirmiştir ve otobüs 300 km menzile sahip olup saatte 80kmh'la gidebilmektedir. Gelecek için Pazar beklentileri konusunda; aralarında Ford, Daimler-Chrysler, Hyundai, PSA/Renault/Nissan, Honda, BMW, FIAT, Toyota, GM/Mitsubishi gibi pek çok firma ve konsorsiyum çeşitli çalışmalar yürütmektedir.

#### 2.3.4. Hibrid araçlar

Konvansiyonel itme sistemleri ve enerji depolama sistemlerinin birleşiminden oluşan hibrit (hibrit elektrikli) araçlar, araçta hareketi sağlamak için içten yanmalı motor ve elektrik motorunu güç kaynağı olarak kullanır. Bu yüzden de içten yanmalı motorlu araçlar ile elektrikli araçlar arasında önemli bir köprü görevi görmektedir.



Hibrit araçlar, fosil yakıt kullandığı için konvansiyonel araçlara daha yakın bir araç grubudur. Elektrikli motor ve batarya, genellikle rölantiden kaçınarak ve ekstra güç sağlayarak motor verimliliğini korumak için kullanılır. Böylece hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlar ile kıyaslandığında geliştirilmiş yakıt ekonomisi ve elektrikli araçlar ile kıyaslandığında uzun menzil özelliklerine sahiptir. Hibrit araçların temel avantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

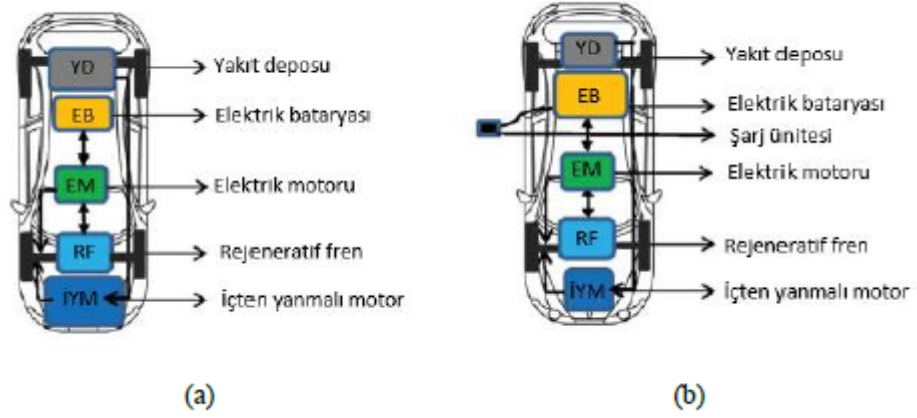
- Araç, hem elektrikli motor-batarya hem de içten yanmalı motor-yakıt deposuna sahiptir.
- Hem elektrik motor hem de içten yanmalı motor tekerleklerde tork oluşturmaktadır.
- %15–40 arasında verimlilik kazanımları elde edilebilir.

Hibrit araçların bazı dezavantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Araç büyük ölçüde içten yanmalı motora bağlıdır.
- Elektrikli sürüş mesafesi 40-100km ile sınırlıdır.
- Konvansiyonel araçlardan (içten yanmalı motorlu araçlar) daha maliyetlidir.

Şarj edilebilir hibrit araçlar (plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)), pil paketinin büyüklüğüne bağlı olarak elektrikli araçlara daha yakındır, ancak bir prize takılarak yeniden şarj edilebildiklerinden elektrikli araçlara göre daha uzun sürüş menziline sahip olabilirler. Toyota Prius'un piyasadaki başarısı, şarj edilebilir hibrit araçların konvansiyonel araçlara gerçek bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Elektriğin birleşimi ile elde edilen enerji üretimiyle ve uygun sürüş uygulamalarıyla hem hibrit araçlar hem de şarj edilebilir hibrit araçlar, konvansiyonel araçlardan çok daha az benzin kullanabilir ve daha az egzoz emisyonu üretebilirler. Şekil 2.8'de hibrit araçların sahip olduğu genel araç yapıları gösterilmektedir.



**Şekil 2.8.** Hibrid (a) ve şarj edilebilir hibrit araçların (b) genel yapısı (Dinçer ve ark. 2017)

Şekle bakıldığında, hibrit araçlar şarj edilebilir hibrit araçlar ile kıyaslandığında, hibrit araçların kıyasla daha büyük yakıt deposuna ve içten yanmalı motora sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, şarj edilebilir hibrit araçların da kıyasla daha büyük elektrik bataryasına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Şarj edilebilir hibrit araçların temel avantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Bataryalar elektrik şebekesine takılarak şarj edilebilir.
- Araç kısa mesafeler arasında gidip gelmek için idealdir.
- Elektrik modunda benzin tüketimi veya emisyon yoktur.

Şarj edilebilir hibrit araçların bazı dezavantajları, bu yazıyı takip eden listede sıralanmıştır.

- Araçta kullanılan bataryalar, hibrit araçta kullanılan bataryalardan daha büyük ve daha pahalıdır.
- Şarj süreleri uzun olabilmektedir. Örneğin seviye 2'den tam doluma kadar süren şarj süresi, 4 saat olabilmektedir.

Üstelik, her devirde tam kapasiteleri çekilebilen elektrikli araçlardan farklı olarak, bir şarj edilebilir elektrikli bataryasının şarj / deşarj akım dalgalanmaları ile baş edebilmek için nominal çalışma seviyesinin yaklaşık %10'u (şarjın %50'si) olan bir kapasite çekişi vardır (Dinçer ve ark. 2017).

## 2.4 Emisyon Kanunları ve Gelişimi

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 kirletici emisyonları ile sera gazlarının farkları ortaya konarak hava kirletici gazlar ile CO<sub>2</sub> 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 kirletici gazlar ve CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> emisyon kazanımları ve diğer hava kirleticilerin 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 CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisinin nasıl değişeceği ortaya konulmuştur. Hibrit ve elektrikli araçlara geçişle özellikle şehir içi kullanımda, hava kirletici emisyonlarında önemli azalmalar olabileceği tespit edilmiş ve kazanım boyutları ton cinsinden ifade edilmiştir. (Tokgöz , 2019)

Emisyonun Türkçesi salımdır. Avrupa emisyon standartları, Avrupa Birliği ve Avrupa Ekonomik Topluluğu üyesi ülkelerde satılan yeni araçların, egzoz emisyonlarının kabul edilebilir sınırlarını belirler. Emisyon standartları, zorlayıcılığı gittikçe artan standartların kademeli tanıtımını sahneleyen bir grup Avrupa Birliği yönetmeliğince tanımlanmıştır.

Azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>), toplam hidrokarbon seviyelerinin (THC), metan olmayan hidrokarbonların (NMHC), karbon monoksitin (CO) ve parçacık maddenin emisyonları,

otomobilleri, kamyonları, tırları, lokomotifleri, traktör ve benzer makinaları, mavnaları kapsayan, ama açık deniz gemilerini ve uçakları kapsamayan çoğu araç tipi için düzenlenmiştir. Her araç tipi için farklı standartlar uygulanır. Uygunluk, motoru standartlaştırılmış bir test zamanında çalıştırarak belirlenir. Uygun olmayan araçlar AB'de satılamaz, ama yeni çıkan standartlar mevcut kullanımda olan araçlara uygulanmaz. Standartları karşılaması için özel bir teknolojinin kullanılması zorunlu kılınmaz, bununla birlikte standartları düzenlerken mevcut teknoloji gözönünde bulundurulur. Yeni tanıtılan modeller, mevcut yada planlanan standartlara uymalıdır, ama küçük yaşam döngüsü model revizyonları önceden üretilmiş şikayete neden olan motorlar için devam edebilir.

2000'lerin başında Avustralya, yeni motorlu taşıt emisyonları için Avustralya Tasarım Kuralı sertifikasyonunu Euro kategorileriyle uyumlulaştırmaya başladı. Euro III, Avustralya'da 1 Ocak 2006'da tanıtıldı ve Avrupa tanıtım tarihleriyle aynı hizaya gelebilmek için bu tanıtımlara devam ediliyor.

Avrupa Birliği içinde, tüm CO<sub>2</sub> emisyonunun %20'si, karayolu taşımacılığında kaynaklanır ki %15'inin nedeni kamyonetler ve binek araçlardır. Kyoto Protokolünde tespit edilen hedef, 2008 ile 2012 arasında, tüm ekonomi sektörlerindeki emisyonları 1990'daki seviyelerden %8 oranında düşürmektir. Son yıllarda ulaşımdaki bağlı CO<sub>2</sub> emisyonları, 1990'daki %21 oranından 2004'te %28'e hızla artmıştır, ama şu an araçlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon sınırları için bir standart yoktur. AB'de ulaşımdan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları, dünyadaki toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun %3,5'ine tekabül etmektedir.

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 13 Aralık 1999 tarihli "1999/94/EC\* CO<sub>2</sub> Emisyonu ve Yakıt Tasarrufu Konusunda Tüketicinin Bilgilendirilmesi Direktifi"nin amacı, Topluluk içinde yeni araçların satışında yada kiralanmasında, tüketicilerin bilinçli bir tercih yapabilmeleri için tüketicilere, yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> emisyonuna ilişkin bilgi sağlamaktır.

Birleşik Krallık'ta ilk yaklaşım etkisiz kaldı çünkü bilginin tüketiciye sunulmuş şekli çok karmaşıktı. Sonuç olarak, Birleşik Krallık'taki araba üreticileri Eylül 2005'ten itibaren üretilen araçlarda, CO<sub>2</sub> emisyonlarını "renk kodlu", A(<100 CO<sub>2</sub> g/km) harfinden F(186+ CO<sub>2</sub> g/km) harfine kadar sıralanarak gösteren, daha bir "kullanıcı dostu" gösterimi

gönüllü olarak kabul ettiler. Yeni "yeşil etiket" in hedefi tüketiciye farklı araçların çevresel performansı hakkında net bilgi vermektir.

Diğer AB üyesi ülkeler de kullanıcı dostu etiketlerin tanıtım sürecindedirler.

443/2009/AB Regülasyonu, yeni binek araçlar için ortalama CO<sub>2</sub> emisyon hedefini kilometre başına 130g olarak belirler. Bu hedef 2012 ve 2015 arasında aşamalandırılmıştır. Kilometre başına 95g hedefi 2021'den itibaren uygulanacaktır.

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

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

Yasal çerçeve, her biri 1970'deki 70/220/EEC\* direktifine ilave olan bir dizi direktife dayanır. Aşağıda standartların özet bir listesi ve bunların hangi tarihte yürürlüğe girdiği, neyi ilgilendirdiği ve hangi AB direktiflerinin standardın tanımını içerdiği verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Kronolojiye göre dizel ve benzinli emisyon sınırlamaları (Anonim 2010)

Tier	Date (Type Approval)	Date (First Registration)	CO	THC	NHMC	NO	HC+ NO	PM	PN [# /km]
							x		
<b>Diesel</b>									
Euro 1	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	-
Euro 2	January 1996	January 1997	1.0	-	-	-	0.7	0.08	-
Euro 3	January 2000	January 2001	0.66	-	-	0.50	0.56	0.05	-
Euro 4	January 2005	January 2006	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025	-
Euro 5a	September 2009	January 2011	0.50	-	-	0.180	0.230	0.005	-
Euro 5b	September 2011	January 2013	0.50	-	-	0.180	0.230	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6b	September 2014	September 2015	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 <sup>11</sup>

**Çizelge 2.2.** Kronolojiye göre emisyon sınırlaması değerleri (Anonim 2010)

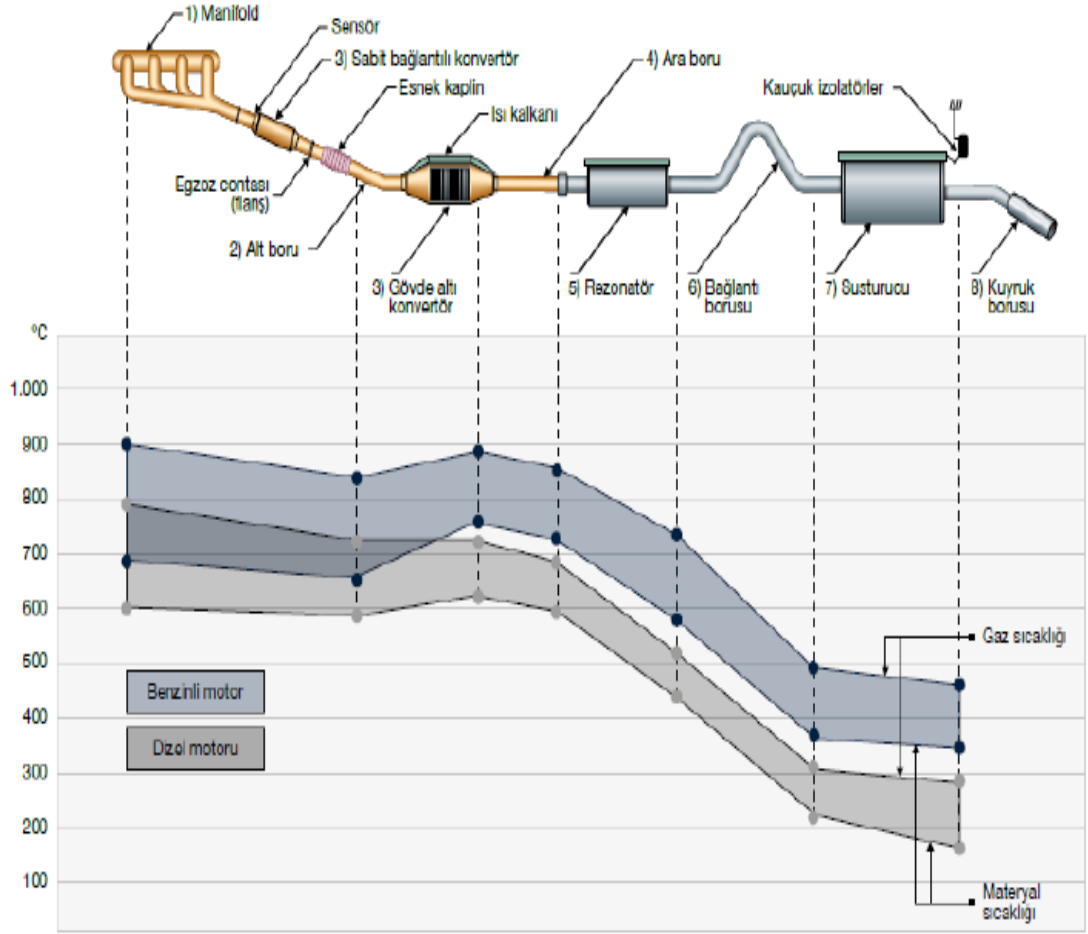
Euro 6c	-	September 2018	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	$6 \times 10^{11}$
Euro 6d Temp	September 2017	September 2019	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	$6 \times 10^{11}$
Euro 6d	January 2020	January 2021	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	$6 \times 10^{11}$
<b>Petrol (Gasoline)</b>									
Euro 1	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	January 1996	January 1997	02.Şub	-	-	-	0.5	-	-
Euro 3	January 2000	January 2001	02.Mar	0.20	-	0.15	-	-	-
Euro 4	January 2005	January 2006	1.0	0.10	-	0.08	-	-	-
Euro 5a	September 2009	January 2011	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005**	-
Euro 5b	September 2011	January 2013	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	-
Euro 6b	September 2014	September 2015	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	$6 \times 10^{11}***$
Euro 6c	-	September 2018	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	$6 \times 10^{11}$
Euro 6d Temp	September 2017	September 2019	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	$6 \times 10^{11}$
Euro 6d	January 2020	January 2021	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	$6 \times 10^{11}$
* Before Euro 5, passenger vehicles > 2500 kg were type approved as light commercial vehicles N1 Class I									
** Applies only to vehicles with direct injection engines									
*** $6 \times 10^{12}$ /km within first three years from Euro 6b effective dates									
† Values in parentheses are conformity of production (COP) limits									

## 2.5 Egzoz Emisyon Sistemleri

Yanma olayı, doğrudan motorun içinde gerçekleşmesi sonucu yanma ürünleri, aynı zamanda iş yapan gazlar olarak kullanılıyorsa buna içten yanmalı motorlar denilmektedir. Yanma olayı kimyasal bir proses olarak tanımlanmakta olup, yakıt-hava karışımının ateşleme sistemi tarafından tutuşturulması ile başlar. İçten yanmalı motorlarda yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi sonucu yanma gazlarının bulunduğu ortamın sıcaklığı ve basıncı yükselmektedir. Bu yanma gazlarının genişlemesiyle harekete geçen piston, biyel ve krank milinden oluşan mekanizma mekanik iş yapmaktadır. Kimyasal enerjinin ısı enerjisiye dönüşmesi yoluyla ısı meydana getiren bu proses;

Yakıt + Oksidatör → Reaksiyon Ürünleri + Isı denklemiyle belirlenir.

Yanma, benzinli ve dizel motorlarda farklıdır. Benzinli motorda benzin hava ile karışır, pistonlar tarafından sıkıştırılır ve bujiler tarafından ateşlenir. Dizel motorda ise önce hava sıkıştırılır, sonra yakıt verilir. Benzinli ve dizel motorların egzoz sistemi Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Havanın sıkışması ile sıcaklık yükselir yakıt ateşleme görevi görür. Yanma olayı iki şekilde ifade edilir. Bunlar tam yanma ve eksik yanmadır. Tam yanma, yakıtın reaksiyon sırasında tamamının harcanması olarak ifade edilirken eksik yanma olayında tam olarak yanmamış yakıtın olması olarak ifade edilir . Yakıtın eksik yanmasının sebebi; silindire alınan havadaki oksijenin yetersiz olması ve yakıt-hava karışımının iyi olmamasıdır. Havadaki oksijenin yetersiz olduğu durumlar diğer bir deyişle  $\lambda < 1$  olması halinde yanma ürünleri CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve CO olmaktadır.



**Şekil 2.9.** Benzin ve dizel motorları için ısıl histogramlarla bir egzoz sistemi (Anonim 2015)

Benzinli ve dizel motorlarda yanma olayından sonra oluşan emisyonlar birbirinden farklıdır. Bu iki motor karşılaştırıldığında hiçbir önlem alınmaksızın bakıldığında dizel motorun çevreye verdiği zarar benzinli motora göre daha fazladır.

İçten yanmalı motorlardaki emisyonlar; yakıt/hava karışımlarının yanması sonucu ortaya çıkan gazlardır. Yanma sonucunda; CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gazları oluşmaktadır. Yanmanın eksik olması durumunda ise bu gazlara ek olarak CO, H<sub>2</sub>, O, H, NO<sub>x</sub> vb. ürünler de ortaya çıkmaktadır.

Dizel ve benzinli motorlarda yanma sonucu meydana gelen emisyon miktarları farklılık göstermektedir. Benzinli motorlar dizel motorlara göre daha fazla kirliliğe sebep olmaktadır. Bu sebepten ötürü çevre kirliliğini önlemeye yönelik alınan önlemler dizel motorlara kıyasla benzinli motorlarda daha fazla olmaktadır.



Benzinli ve dizel motorlardan salınan başlıca egzoz emisyonları ise CO, NO<sub>x</sub>, HC, PM, SO<sub>x</sub> ve kurşun bileşikleridir. Bu emisyonlardan CO, NO<sub>x</sub>, HC, PM yanma prosesinden kaynaklıken; SO<sub>x</sub> ve kurşun bileşikleri ise yakıt kaynaklıdır. Egzoz bileşenleri ve etkileri çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 2.3.** Egzoz atıkları kaynağı ve etkileri (Anonim 2009)

<b>Egzoz Bileşeni</b>	<b>Kimyasal Sembolü</b>	<b>Kaynağı</b>	<b>Etkileri</b>
Karbonmonoksit	CO	Yakıttaki karbon ile yanma havasındaki oksijenin tamamlanmamış kimyasal bileşimi	Çok zararlıdır alyuvar hücrelerinde (hemoglobinin) birikir
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	Yakıttaki karbon ile yanma havasındaki oksijenin bileşimi	Kısa vadede zararsız ancak atmosferdeki sera etkisi oluşumunda etkilidir
Hidrokarbonlar	HC	Yanmamış ve kısmen uanmış yakıt bileşimi	Sağlığa zararlıdır NO <sub>x</sub> ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir.
Nitrojenoksitler	NO <sub>x</sub>	Havadaki nitrojen ile oksijenin yüksek sıcaklıklarda meydana gelen kimyasal bileşimi	Sağlığa zararlıdır paslanmaya ve HC ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir
Oksijen	O <sub>2</sub>	Havadaki oksijenin herhangi bir kimyasal bileşim oluşturmamış hali	Yok
Nitrojen	N <sub>2</sub>	Havadaki nitrojenin herhangi bir kimyasal bileşim oluşturmamış hali	Yok

Su	H <sub>2</sub> O	Yakıttaki hidrojen ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi , ayrıca yakıt içerisinde de olabilir	Yok
Kükürtdioksit	SO <sub>2</sub>	Kükürt çoğunlukla dizel yakıtlarda olmak üzere yanma havasındaki oksijen ile kimyasal bileşimi	Zararsızdır ancak asit yağmuru halini aldığı anda hayvanlar ve bitki örtüsü için zararlıdır
Madde Parçacıkları	PM	Dizel motorlar tarafından üretilen egzoz gazındaki maddeler	Hidrokarbonlar kuruma yapıştığı zaman zararlıdır

Karbonmonoksit (CO); karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. CO oluşumundaki en önemli faktörler arasında yakıtın tam olarak oksitlenememesi ve yanmış gaz sıcaklığının düşük olmasıdır. Genellikle rölanti devirde ve frenleme esnasında en yüksek seviyeye çıkmaktadır. Renksiz, kokusuz, yanıcıdır. Havadaki oranı 100 ppm'in üzerine çıktığında insanlar için çok tehlikeli olmakla birlikte ölümlere sebep olmaktadır. Solunan havada düşük oranlı bile olsa öldürücü etkiye sahiptir. CO, açık havada kısa sürede okside olarak CO<sub>2</sub>'e dönüşür. CO kandaki oksijen taşıma kapasitesini azaltarak oksijen yetersizliğine neden olmaktadır. Bunun sonucunda kan damalarının çeperleri, beyin ve kalp gibi doku ve organlarına zarar vermesinin yanında yorulma, baş dönmesi, baş ağrısı, çalışma veriminin düşmesi ve nefes darlığı gibi etkileri görülmektedir.

Karbondioksit (CO<sub>2</sub>); renksiz ve yanmayan bir gazdır. Yanma sonucunda ortaya çıkan gazlar arasında zararı en az olan gazdır. Bu gazlar bitkilerin fotosentez yapması sonucunda oksijene dönüştürülmektedir.

Hidrokarbon (HC); düzensiz bir yanma sonucunda yakıtın buharlaşmasıyla oluşan yanmamış yakıt bileşenidir. Silindir içerisindeki yakıtın eksik yanma ile bir miktarının yanmaması subap yatak boşluklarında oluşan sızıntılar HC oluşumuna önemli ölçüde etki etmektedir.

Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>); NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vb. bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu emisyonlar yüksek basınç ve sıcaklık (~1800<sup>0</sup>C) altında yanma reaksiyonu esnasında O<sub>2</sub>'nin N<sub>2</sub> ile birleşmesi ile açığa çıkmaktadır. Azot oksitler kandaki hemoglobin ile birleşmekte olup aynı zamanda akciğerlerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. İnsan sağlığına önemli ölçüde zarar veren bu gazlar solunum rahatsızlığına sebep olmaktadır. Bunun dışında ozon tabaksının tahribine de yol açmaktadır.

PM emisyonları; dizel motorlarda ve benzinli motorlarda yüksek hava/yakıt oranlarında görülmektedir. Gaz fazındaki ağır hidrokarbonların zengin karışım bölgelerinde yüksek sıcaklık altında yoğunlaşarak birleşmesiyle oluşmaktadır.

SO<sub>x</sub> emisyonları; yakıttaki kükürten ve yakıttaki yağlama yağından kaynaklanmaktadır. Motorda sülfirik asit oluşumuna yol açmasıyla yağlama yağının özelliğini kaybetmesine ve aşınmaların artmasına sebep olmaktadır. Yakıttaki kükürt oranının azaltılmasıyla bu emisyonlar düşürülmektedir.

### **2.5.1. Katalitik konvertör**

Taşıtların egzozlarından çıkan gazların zararlı olduğunu mutlaka duymuşsunuz. Üstelik bu zararlı gazlar, hava kirliliğinin birincil nedenlerinden birisidir. Nüfusun kalabalık olduğu şehirlerde, egzoz gazlarına bağlı hava kirliliği oranlarının daha yüksek olduğu de bilinen bir gerçektir. Bu kirliliği azaltmak için de uzun yıllar boyunca çalışmalar yapılmış ve en nihayetinde katalitik konvertör ile tanışılmıştır.

Katalitik konvertör, egzozlardan çıkan zararlı gazların bir nevi filtrelenerek çevreye salınımını ortadan kaldırmıştır. 1975 yılında kullanılmaya başlanan bu sistem, basit bir mantıkla çalışmaktadır; ama büyük ve önemli bir görevi üstlenmektedir. Oksidasyon katalizörü gibi isimlerle de anılan bu parçaların arabalarda kullanımı zorunludur. Emisyon kontrollerinden geçmeyen otomobillerin, trafiğe çıkışı yasaklanmaktadır. Egzoz emisyon standartlarında ülkelerin belirlediği yasal limit değerleri bulunmaktadır.

Günümüzde en çok kullanılan tipi, üç yollu katalitik konvertördür. Üç farklı egzoz gazını birden zararsız hale getirmektedir. Yani 3 farklı reaksiyon ile gazları zararsız hale getirmektedir. Kimyasal reaksiyon temelli bir filtreleme sistemi olduğunu da söylemek mümkündür. Şekil 2.10'da içten yanmalı benzinli bir motora ait katalitik konvertör görmektesiniz.



**Şekil 2.10.** İçten yanmalı benzinli motor katalitik konvertörü (Matay 2016)

Katalitik konvertörler, arabaların tükettiği yakıttan ortaya çıkan zehirli gazların, havaya direkt karışmasını engellemek için kullanılır. Bir nevi araçların filtre sistemidir diyebiliriz. Egzozların çıkış borusuna yerleştirilmiştir. Çelik bir kutuyu andırırlar. Arabadaki diğer sistemlerle kıyasladığımızda, onlara nazaran oldukça basit bir şekilde çalışırlar. Ama yüklendikleri görev, en az onlarınki kadar önemlidir.

Arabalar ve yakıtları, hava kirliliğinin başlıca sebebidir. Özellikle nüfusun kalabalık olduğu büyük şehirlerde bu ciddi bir çevre kirliliği demektir. Bilim adamları, bu kötü gidişe dur demek için bir takım çalışmalar yapmaya karar vermişler ve katalitik konvertörleri tasarlamıştır. Ülkeler araçlardan kaynaklanan hava kirliliğinin miktarını azaltmak için bir takım kısıtlamalar getirmiştir.

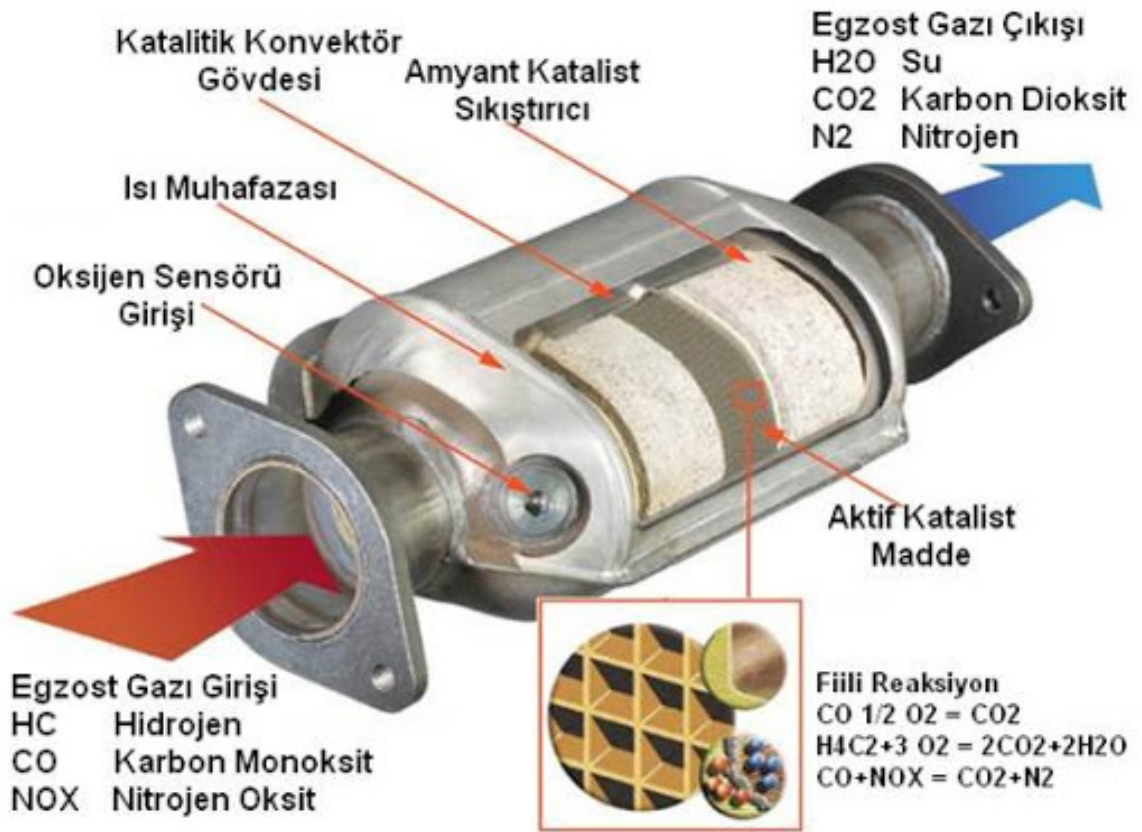
Yine otomobil üreten firmalar da bu çalışmalara destek olmak amacıyla, motor ve yakıt sistemlerinde olumlu değişiklikler yapmıştır. Bu amaçla üretilen katalitik konvertörler, hava kirliliğinin azaltılması amacıyla 1975 yılında arabalarda kullanılmaya başlanan bir sistemdir. Aslında çalışma sistemi, arabaların diğer sistemlerine göre oldukça basittir.

Katalitik konvertör denilen şey, motorların egzozlarından çevreye verdikleri zararlı gazların daha az zararlı hale dönüştürülmesini sağlayan bir aygıttır. Yapılışı açısından oldukça basit bir düzeneği olan katalitik konvertörlerin üstlendiği görev ise son derece önemlidir.

Katalitik konvertörler şu şekilde çalışır; Araçların tükettiği yakıtlardan ortaya çıkan gazlar, hava ile birleşerek yanma odasına girerler. Yanma odasında bu hava - gaz karışımının en uygun düzeyde olması sağlanır. Aksi takdirde, daha çok kirli hava

meydana gelecektir. Yanma odasının görevlerinden biri de, bu hava - gaz karışımının yayılmasını engellemektir.

En sık kullanılan model olan üç yollu katalitik konvertörün çalışmasında üç kimyasal reaksiyon oluşmaktadır. Önce nitro oksitlerden oksijen ayrıştırılmak, bu şekilde geriye azot ile oksijen kalmaktadır. Burada açığa çıkan azot atmosfere salınır. Oksijen ise sonraki reaksiyonlarda yani karbonmonoksit ve hidrokarbonların yanması için kullanılır. İlk adım sonraki iki adet oksidasyon reaksiyonu gerçekleşir. Oksijen ile hidrokarbonlar ve karbonmonoksit katılınca geriye su ve karbondioksit kalır. Bunlar ise egzozdan atılırlar. Şekil 2.11.'de katalitik konvertör iç yapısı ve çalışma prensibini görmekteyiz



Şekil.2.11. Katalitik konvertör iç yapısı ve çalışma prensibi (Anonim 2014)

Katalitik konvertörün içinde çok küçük deliklere sahip seramik petekler bulunur. Bunların üzerinde katalizör elementler kaplıdır ve yapısı sayesinde egzoz gazlarının katalizör elementlere temas yüzeyi artırılır. Hatta bu peteksi yapı açılmış olsaydı, yüzey alanının bir futbol sahası büyüklüğünde olacağı bilinmektedir.

Katalizörün içinde egzoz gazlarını kimyasal reaksiyona sokan elementler bulunur. Bunlar ise platin, paladyum, iridyum, radyum şeklinde sıralanmaktadır. Araba soğukken çalışmayan katalitik konvertörün içindeki bu elementler, yüksek sıcaklıklarda aktif

olmaktadır. Çabuk ısınabilmesi için motora yakın bir konumu vardır. Çalışma sıcaklığı ise 400 ile 500 santigrat derecedir.

Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de, motorun devridir. Motor devrinin düşük ya da yüksek olması göz önüne alınarak, aracın yakacağı en uygun yakıt miktarı hesaplanır. Ardından, kullanılacak en uygun seviyede hava miktarı da hesaba katılır. Sonrasında, araçta bulunan bilgisayarlar tarafından, gaz ve yakıtlar en verimli şekilde işletilir.

Bunun amacı, yanmamış zararlı gaz miktarını en aza indirmektir. Bu işlemlerin ardından, gazlar Katalitik konvertörlerde çok sayıda tepkimeye uğrar. Bu tepkimelerin ardından, kirlilik oranları hemen hemen % 0.5 miktarına düşer. Neredeyse tamamen zararsız şekle dönüşen bu gazlar, artık atmosfere salınırlar.

Katalitik konvertörlerin asıl görevi; zehirli maddeler içeren Karbonmonoksit (CO) ve Nitrojen Oksitler'in (NO - NO<sub>2</sub>) atmosfere çıkışını engellemektir.

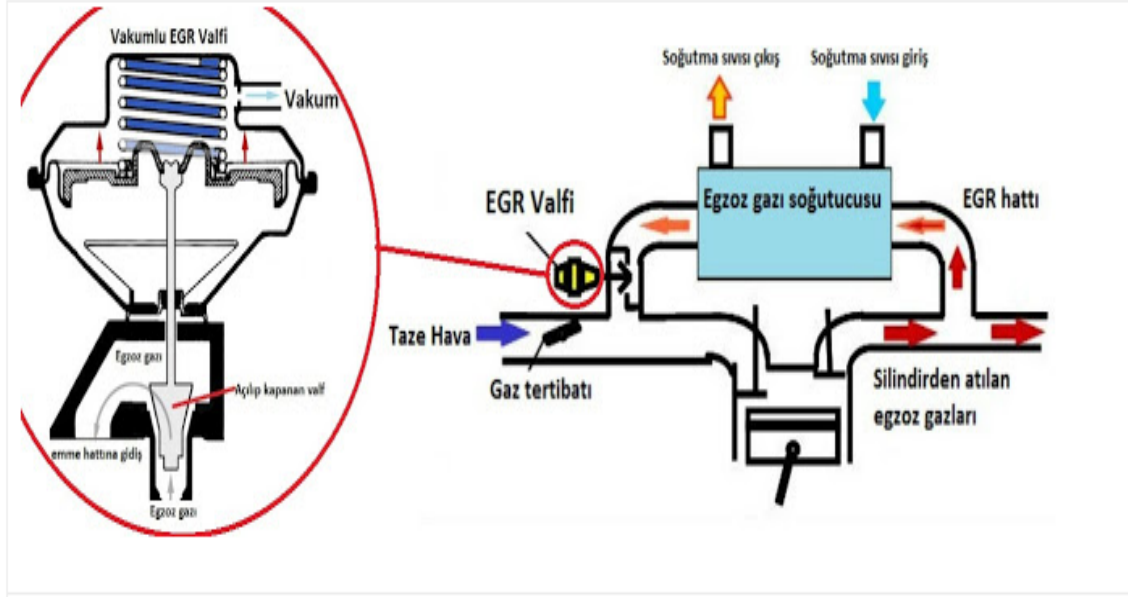
### **2.5.2. Egr (Exhaust Gas Recirculation)**

Günümüz dizel ve benzin motorlarının en önemli parçalarından birisi olan EGR valfi neredeyse tüm içten yanmalı motorlarda bulunur ve üreticiler bu valf olmadan motor tasarımı yapmazlar. Günden güne önem taşımaya başlayan düşük emisyon değerlerine ise büyük katkısı vardır ve bu yüzden de vazgeçilmezdir.

İngilizce olarak "Exhaust Gas Recirculation" şeklindedir ve açılımın Türkçe karşılığı ise "Egzoz Gazları Devridaimi" olarak tercüme edilebilir. Bu valfin amacı ise silindirler içerisinden atılan egzoz gazlarının %6-%10 civarındaki miktarını emme manifoldu üzerinden temiz hava ile karışarak silindirler içerisine tekrar geri dönmesini sağlamaktır. Egzoz gazlarının ne miktarda kullanılacağına ise motor beyni karar verir. Günümüzde genellikle elektronik kontrollü EGR valfleri kullanılmaktadır.

Egzoz gazlarının silindirler içerisindeki yanma sürecine tekrar dahil olması sonucu Nitrik Oksit (NO) ve Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>) gibi zararlı gazların tekrar yanması sağlanır. Aşağıdaki çizimde görüldüğü gibi silindirden atılan bu gazların büyük bir kısmı egzozdan atılırken bir kısmı da EGR hattına doğru döner. Ara soğutucuda (bazı motorlarda bulunmaz) sıcaklığı düşürülen egzoz gazları bu valfin müsaade ettiği ölçüde emme manifoldunda taze hava ile karışır ve yanma döngüsüne tekrar girerek yanar. Şekil

2.12.'de egr valfi teknik görselini, araç üzerindeki konumunu ve çalışma prensibini görmekteyiz.



Şekil 2.12. Egr valfi teknik görsel, araç üzerinde konumu ve çalışma prensibi (Anonim 2018)

Egzoz gazlarının bir kısmının tekrar yanması sonucunda ise;

- Egzoz gazının emisyon değerleri düşer
- Silindirler içerisindeki yanma sıcaklığı düşer
- Yanma sıcaklığının düşmesi sonucu motor daha sağlıklı çalışır
- Egzoz gazlarının tekrar yanması verimi yükseltir
- Verimin artması sonucu yakıt tüketimi olumlu etkilenir

### 2.5.3. Scr (Selective Catalytic Reduction)

Dizel motorlardaki emisyon değerlerini düşürebilmek için yeni bir teknoloji bir süredir kullanılıyor. Artık birçok dizel motorda bu teknolojiye yani SCR-AdBlue sistemine mecburen yer veriliyor. Özellikle dizel motorlarda güç ve tork artışına paralel olarak günden güne artan emisyon problemi artık bu yöntem ile kontrol altına alınmaya çalışılıyor. Ancak sorun bu sistemde yer alan sıvının belirli periyotlarla tekrar doldurulması gerekliliğinde yatıyor. Biz de çok bilinmeyen bu sistemi anlatma ihtiyacı duyduk ve anlaşılır bir şekilde de izah etmeye çalışacağız.

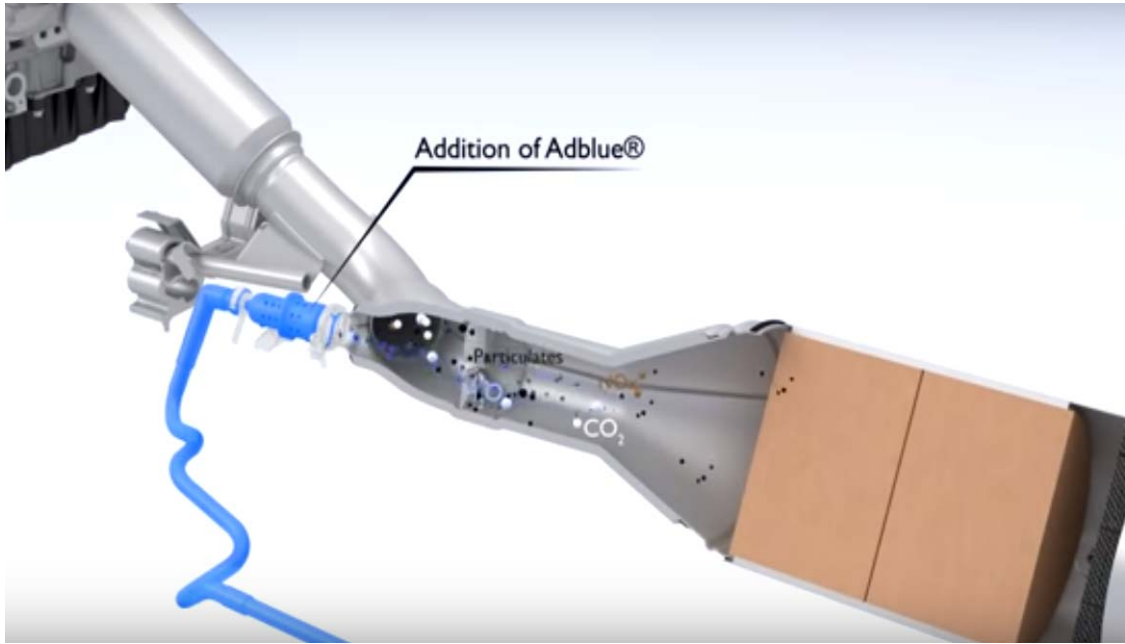
Geçtiğimiz günlerde üzerinde durduğumuz bazı konularda sürekli olarak dizel motorların NOx gazlarını özellikle yüksek devir ve yük durumlarında benzin motorlarına göre çok fazla saldıklarını ve öyle ki bu oranın neredeyse 15 kat daha fazla olabildiğinden bahsetmiştik. Üreticiler bu gazları minimize edebilmek için ise EGR sistemi, katalitik konvertör ve dizel partkül filtresi gibi bazı özel ve pahalı sistemler kullanıyorlar. Ancak EURO5 yerine geçen EURO 6 emisyon kuralları çok katı ve bu nedenle de üreticiler emisyon değerlerini düşürebilmek için bu sıvıyı kullanan SCR sistemini daha yaygın bir şekilde kullanacak gibi görünüyorlar. AdBlue, azotlu (üre) ve su bazlı bir çözelti olup, egzozda bulunan NOx gazlarının oranını düşürebilmek için motordan çıkan egzoz gazlarına püskürtülen bir sıvıdır. SCR (Selective Catalytic Reduction) sisteminin bir bileşeni olan AdBlue sıvısı, %32.5 oranında üre ve %67.5 oranında deiyonize sudan oluşuyor. Motordan çıkan çok sıcak egzoz gazları üzerine püskürtülen bu sıvı yüksek sıcaklık altında amonyoğa dönüşüyor. Zararlı NOx gazlarını büyük ölçüde parçalayarak zararsız nitrojen gazı ve su buharı olarak atmosfere salınmasını sağlıyor. Son yıllarda satılan dizel motora sahip birçok modelde bu sistem kullanılıyor olsa da kesin olarak SCR sistemi ve AdBlue sıvısının olup olmadığı araçta bulunan ve içinde “Blue” kelimesi geçen bir yazıdan anlayabiliyoruz. Peugeot ve Citroen için “BlueHDi”, VW için “Bluemotion”, Mercedes için “BlueTech” ve BMW için “Blue Performance” gibi adlandırmalar örnek olarak verilebilir. Sistemin en önemli bileşeni olan AdBlue sıvısı ise periyodik olarak doldurulması gereken bir sarf malzemedir. Bu sıvı olmadan sistem çalışmaz ve bu nedenle de araç bilgisayarının bitmesine 2.000-2.500km kala sürücüyü uarmaya başlar. Ne zaman ki bu sıvı biterse markaya ve modele bağlı olarak ya araç çalıştırılmaz ya da çok düşük performans ile sürüş sağlanabilir. Ayrıca AdBlue haznesine başka bir sıvı konulması durumunda aracın motoru garantiden çıkıyor ve önemli hasarların açılma ihtimali de bulunuyor. Şekil 2.13'te scr araç üzerindeki konumunu görmekteyiz.





**Şekil 2.13.** Scr araç üzerindeki konumu (Anonim 2016)

Yine tamamen marka ve modele bağlı olmak üzere 1 depo AdBlue sıvısı yaklaşık olarak 5.000km-10.000km arasında tükenebiliyor. Tüketim ne kadar artarsa bu mesafe o kadar kısalıyor, ne kadar ekonomik bir sürüş söz konusuyla da mesafe o kadar uzuyor. Daha yüksek performans ve tüketim daha fazla zararlı egzoz gazı anlamına geldiği için SCR sistemi aynı ölçüde daha çok AdBlue sıvısı kullanmak zorunda kalıyor. Şekil 2.14'te scr çalışma prensibini görmekteyiz.



**Şekil 2.14.** Scr çalışma prensibi (Anonim 2016)

Dizel motora sahip bir VW Passat'ın normal kullanım şartlarında ortalama 6 litre/100km yakıt tüketim değerine sahip olduğu düşünülürse 100 km mesafede yaklaşık olarak 40TL yakıt gideri olduğu hesaplanabilir. AdBlue sıvısının ise 100km'de ortalama 1.5TL maliyeti olduğunu bir önceki paragrafta hesaplamıştık. Kısacası AdBlue sıvısı yakıt

giderinin yaklaşık %6'sı kadar ekstra maliyete neden oluyor diyebiliriz. Yani harcanan her 100TL yakıta ek olarak yaklaşık 6TL'de AdBlue sıvısı harcıyoruz. Sonuçta AdBlue sıvısının 100.000km boyunca yaklaşık maliyeti 1500TL-2000TL olarak çıkabilir. Bu da dizel araç alımı yapacak bir kişinin göz önüne alması gereken bir masraftır diye düşünüyoruz.

Yukarıdaki şekli kısa bir şekilde izah edecek olursak;

- Silindirler içerisinde sıkıştırılan hava-yakıt karışımının yanması sonucu açığa çıkan zehirli NOx, CO (karbon monoksit) ve yanmamış hidrokarbon zengini gazlar ilk olarak katalitik konvertöre girer ve burada CO gazı ve yanmamış hidrokarbonlar zararsız CO2 (karbon dioksit) gazına ve suya dönüştürülür. Ancak NOx gazları burada herhangi bir şekilde filtre edilemez.
- Daha sonra ise sıra NOx gazlarının filtre edilmesine gelir. Katalitik konvertörden çıkan gazlar bu sefer SCR sistemine girer. Gazlar SCR filtresine girmeden hemen önce üzerine AdBlue sıvısı püskürtülür ve SCR çıkışında NOx gazları büyük oranda zararsız nitrojen gazına ve su buharına dönüşür.
- Zararlı CO ve NOx bileşenlerinin büyük oranda CO2, nitrojen ve su buharına dönüştürülmesinden sonra egzoz gazları en son olarak dizel partikül filtresine girer. Burada çeşitli zararlı partiküller de filtre edildikten sonra CO2, Nitrojen ve su buharı olarak atmosfere salınır. Bu işlem sonucunda egzoz gazlarının insanlara ve çevreye en zararlı bileşeni olan NOx gazları %90 oranında filtre edilir.

#### **2.5.4. Dpf (Diesel Particule Filter)**

Dizel partikül filtresi, katalitik konvertör ile benzer amaca sahip olsa da çok daha yeni ve teknolojik bir filtredir. Bu yayınıımızda DPF kısaltmasına sahip olan bu parçanın detaylarını anlatacağız.

Günümüzde emisyon kuralları tüm dünyada iyiden iyiye katılaştı ve özellikle dizel motora sahip araçlar bu katı kurallar karşısında büyük problem yaşamaya başladılar. Bunun en son örneği ise A.B.D'de VW firmasının başına geldi. Emisyon değerlerini yanılta bir program kullanmakla suçlanan marka, suçunu kabul etti ve şu anda bu konuda kalıcı bir çözüm üretmekle meşgul.

Dizel motorlar, benzinli motorlara göre atmosfere daha az CO2 yani karbondioksit gazı salarlar. Araçların teknik verileri incelendiği zaman dizel motora sahip araçların benzinli

motora sahip olan araçlara göre daha düşük emisyon değerlerine sahip olduğu görülebilir. Bu değer araçların 1 kilometre mesafede atmosfere saldığı CO2 gazının gram cinsinden değeridir. Dizel motorların saldığı CO2 miktarı daha düşük olduğu için de benzinli motordan daha düşük görünmektedir.

Örneğin; 1.2 litre turbo-benzinli 130ps güce sahip bir motorun CO2 değeri 120gr/km iken, aynı markanın 1.6 litre turbo -dizel 130ps güce sahip motorunun CO2 değeri 104gr/km'dir.

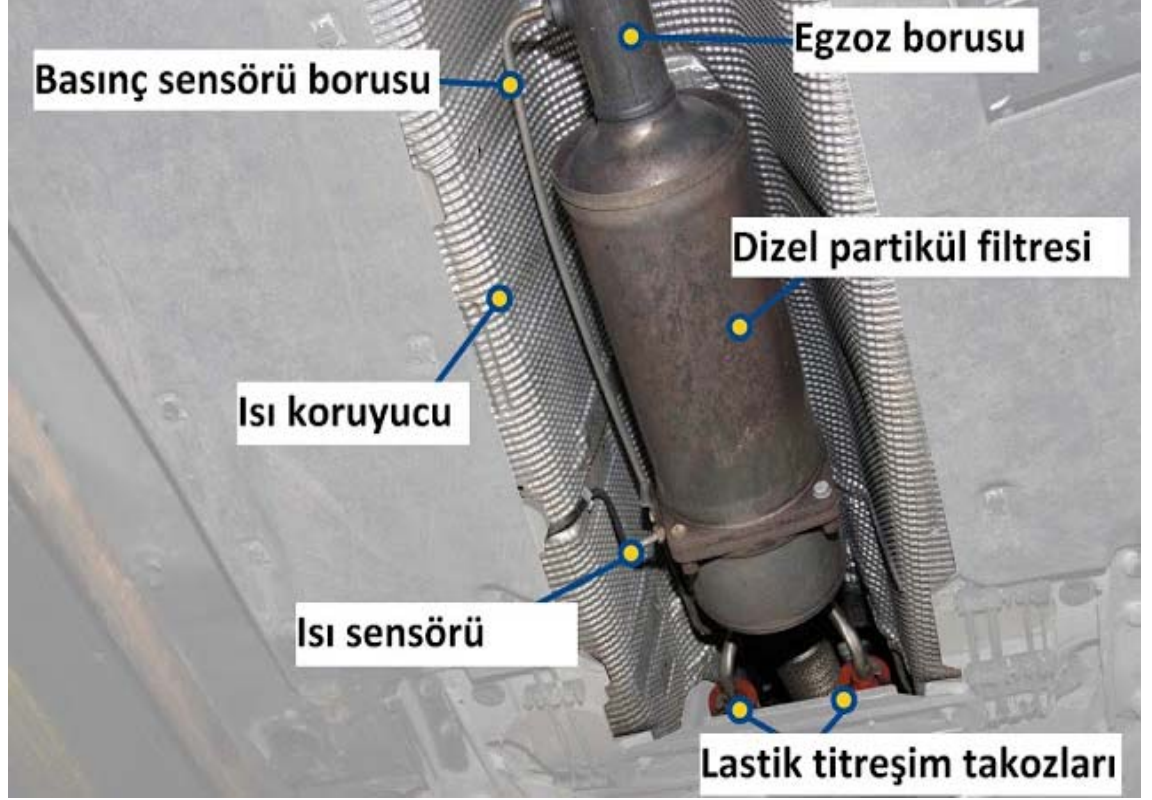
Diğer taraftan dizel yakıtı, CO2 değeri olarak daha temiz bir yakıt gibi görünse de benzine göre daha az işlem görmüştür ve daha kalın yapıda bir yakıttır. Bu nedenle yandığı zaman benzine göre daha fazla nitrojen oksit, nitrojen dioksit, yanmamış hidrokarbonlar (siyah duman) ve kanserojen bileşenler içerir. Bu nedenle de yanmış hali benzine göre daha zararlıdır ve ęok iyi bir şekilde filtrelenmesi gerekir.

İçten yanmalı motorlarda silindirlerde yanma sonrası atık gazlar oluşur ve bu gazların dışarıya atılması gerekir. Ancak atılan bu gazların içerisinde insan sağlığına ve ęevreye zararlı bileşenler bulunur. Bu bileşenlerin işlem görmeden atmosfere salınması durumunda ise dđnyamız yaşanır bir yer olmaktan kolaylıkla ęıkabilir. Bu nedenle de üreticiler ęeřitli sistemler geliştirmiştir. Bunlar bir tanesi olan ve atılan gazların bir kısmını tekrar kullanan EGR sistemini daha önce işlemiştik. Bu konuya aşağıdaki linkten ulaşabilirsiniz

Ancak EGR sisteminin yaptığı işlem atık gazların emisyon değerini bir miktar düşürür ve tek başına yeterli değildir. Bu nedenle egzoz gazları atmosfere salınmadan hemen önce dizel araçlarda genelde partikül fitresinden, benzinli araçlarda ise katalitik konvertörden geğerler. Diğer taraftan bazı dizel modellerde hem katalitik konvertör hem de partikül filtresi bulunmaktadır.

Katalitik konvertör, CO2 gazlarını başarılı bir şekilde filtre edebilirken dizelin yanması sonucu yoğun bir şekilde ortaya ęıkan nitrojen oksit, nitrojen dioksit, yanmamış hidrokarbonlar (siyah duman) ve kanserojen bileşenleri bir yere kadar filtre edebilir. Sonuç olarak dizel motorlarda bu bileşenlerin oluşumu ęok daha fazla olduğu için de bu iş için özel olarak tasarlanmış olan dizel partikül filtresine ihtiyaç vardır. Ancak teknolojik gelişmeler sonucunda biręok büyük üretici dizel motorlarda katalitik konvertöre ihtiyaç bırakmayan CO2 filtrelemesi de yapabilen dizel partikül filtreleri

geliştirmiştir. Şekil 2.15’de Dizel partikül filtresi araç üzerindeki konumunu görmekteyiz.



Şekil 2.15. Dizel partikül filtresi araç üzerindeki konumu

Katalitik konvertörlerin geçmişi 1930’lu yıllara dayanmaktadır. Diğer taraftan dizel partikül filtreleri otomobillerde yaklaşık olarak 10 yıldır kullanılmaktadır. Birçok araçta katalitik konvertör bulunurken dizel partikül filtresi genellikle yeni jenerasyon araçlarda bulunmaktadır. İyice sertleşen emisyon kuralları nedeniyle de tüm dizelerde artık mecburen kullanılmaktadır.

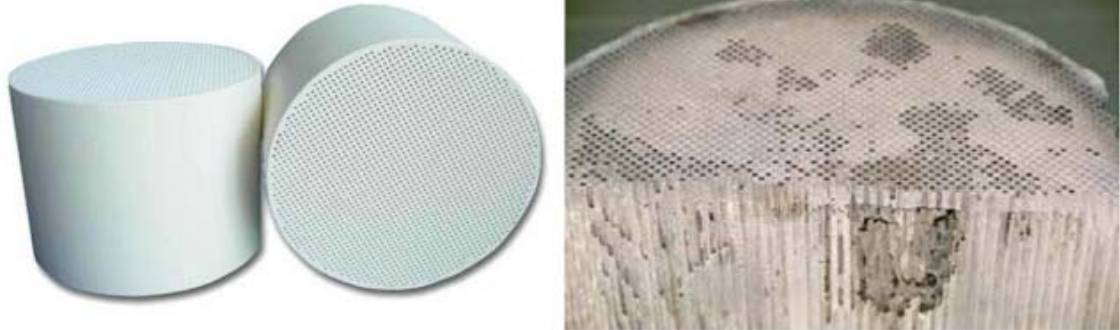
Sonuç olarak özellikle yeni nesil modellerde olmak üzere;

- Benzinli araçlarda EGR valfi ve katalitik konvertör bulunur.
- Dizel araçlarda EGR valfi ve dizel partikül filtresi bulunur. Bazı modellerde her iki işlemi ayrı ayrı gerçekleştiren her iki filtre de beraber bulunabilmektedir.

Dizel partikül filtresi, katalitik konvertör ile benzer amaca sahip olsa da çok daha yeni ve teknolojik bir filtredir. Genellikle 1200C dereceye dayanabilen özel seramik malzemelerden üretilen bu filtrelerin ayrıca daha üst seviye olarak kabul edilen silisyum

karbür (silicon carbide) içerikli malzemedan üretilen, 2700C dereceye kadar dayanabilen tipleri mevcuttur.

Dizel araçların oldukça bilinen bir özelliği olan siyah duman yani yanmamış hidrokarbonlar çok dikkatli bakıldığında göz ile bile görülebilen partiküller yani parçacıklar şeklindedir. Filtrenin içindeki kanallar ise katalitik konvertörün tersine sonu belli olmayan kapalı alternatif bitişlere sahiptir. Süngerimsi ve alternatif bitişlere sahip yapının delikleri ise partiküllerin geçemeyeceği kadar dardır. İri partiküller gözeneklere takılıp kalırken temiz gazlar rahatlıkla geçiş sağlar ve filtreden çıkarak atmosfere salınırlar. Bu sayede bu zararlı partiküllerin atmosfere salınması filtre tarafından engellenmiş olur. Dizel partikül filtresi içerisinde sürekli olarak biriken partiküllerin tıkanıklığa neden olmaması için temizlenmesi gereklidir. Bu temizleme işlemi ise sıcaklık vasıtasıyla sistem tarafından gerçekleştirilir. Dizel partikül filtresi 2 farklı şekilde kendi kendini temizler. Ayrıca dışarıdan müdahale ile de temizlenebilir. Bu işleme genel olarak “Regeneration” yani “Yenilenme” adı verilir ve sürüş şekli ile de yenilenme işlemi yapılabilir. Şekil 2.16’da katalitik konvertör içerisinde yer alan monolit yapıyı görmekteyiz.



**Şekil 2.16.** Katalitik konvertör içerisinde yer alan monolit yapı (Anonim 2012)

- Pasif yenilenme

Normal sürüş şartlarında gerçekleşen bu yenileme tipinde dizel partikül filtresi, motordan çıkan sıcak egzoz gazlarının sayesinde yaklaşık 550C dereceye kadar ısınır ve partiküller bu sayede takılı kaldıkları yerlerde yanarlar. Yanan bu partiküllerin zararlı özellikleri büyük oranda azalır ve egzoz vasıtasıyla atmosfere salınırlar.

- Aktif yenileme

Motor beyni (ECU) tarafından yönetilen bu yenilenme işleminde, filtre içerisindeki partikül yoğunluğu yaklaşık %45’e ulaştığı zaman ECU devreye girerek tıkanmayı engellemek için enjektörlerin yakıt püskürtme zamanlarına müdahale eder ve egzoz gazı

çıkış sıcaklığı bu sayede 600C dereceye kadar yükselir ve yoğun bir şekilde biriken partiküller yanar. Bu işlem ECU tarafından genellikle 500km ile 1000km arasında sürüş tarzına bağlı olarak gerçekleştirilir. Araç ne kadar fazla kısa mesafe kullanılmışsa aktif yenilenme işlemi o kadar sık gerçekleşir. Bu işlem sırasında biriken partiküllerin yakılması nedeniyle egzozdan bir miktar siyah duman çıkışı gözlemlenir. Ayrıca yakıt sistemiyle ayarlanan bir işlem olduğu için de işlem sırasında yakıt tüketiminde bir miktar artış gerçekleşir.

- Dışarıdan müdahale edilerek yenileme

Düzenli bir şekilde yoğun ve sıkışık trafikte düşük hızlar ile kısa mesafelerde kullanılan araçlarda hem pasif hem de aktif yenileme işlemi zamanla yeterli olmayabilir. Sonuçta tüm araçlar karma bir şekilde kullanıma göre tasarlanmıştır. İstanbul trafiğinde günde 4-5km mesafe yapan ve bu mesafeyi de sıkışık trafikte gerçekleştiren araçlarda belli bir süre sonra dizel partikül filtresi dolabilir. Bu nedenle de dışarıdan müdahale etmek gerekebilir. Bu temizlik işi için özel tasarlanan makineler ve kimyasallar bulunur ve dışarıdan müdahale ile sistemin temizlenmesi sağlanabilir.

- Sürüş ile yenileme

Yukarıda bahsettiğimiz duruma benzer olarak düzenli bir şekilde yoğun ve sıkışık trafikte düşük hızlar ile kısa mesafelerde kullanılan araçlarda hem pasif hem de aktif yenileme işlemi zamanla yeterli olmayabilir. Ancak bazı durumlarda makina ile temizlemeye gerek kalmadan bu işlem farklı bir sürüş tarzı metodu ile de gerçekleştirilebilir. Dizel partikül filtresi ışığının yanması durumunda ilk olarak bahsedeceğimiz sürüş tarzı ile bu ışığı söndürmek ve dizel partikül filtresinin yenilenmesini sağlamak mümkün olabilir.

Bu yöntemde 60-70km/saat hız ile mümkünse durmadan ve yavaşlamadan 10-15 dakika yol almak gereklidir. Ancak önemli olan vitesin normalde bu hızda olduğundan bir kademe düşük viteste olmasıdır. Otomatik şanzımana sahip araçlarda ise Sport moda geçmek gereklidir. Motor devri ise genellikle 2500 devir/dakika civarında olabilir. Yani aracın bir miktar zorlandığı hissedilmelidir. Bu sayede daha yüksek devir çeviren motor biraz daha fazla ısınır. Bu ısınmanın sonucu olarak egzoz gazı silindirlerden daha sıcak bir şekilde çıkar ve dizel partikül filtresinde birikmiş olan partiküller yüksek sıcaklık sayesinde filtre içerisinde yakılarak atılır.

## 2.6 Hibrid Otomobillerde Egzoz Emisyon Yöntemleri

Büyüyen çevresel ve enerji sorunları nedeniyle hibrid araçların gelişiminin doruk noktası yakın zamanda geliyor. Otomotiv sektörü bu alanda araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yoğunlaştırmış altyapı çalışmalarını sürdürmektedir. Hem düşük yakıt tüketimi hem de çevresel kirliliği azaltmak veya yok etmek adına her geçen gün yeni teknolojiler üretilmektedir. Bunlardan biri ise hibrid araçlardır. Hibrid araçlar daha önce bahsedildiği gibi melez bir yapıya sahiptir. Bu yapı içerisinde içten yanmalı motor ve elektrikli bir motor içermektedir. Geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında hibrid araçların egzoz kirliliği daha düşüktür ancak hibrid araçların egzoz emisyon arıtması da iki sorunla karşı karşıya kalmaktadır.

İlk olarak elektrikli motor ve içten yanmalı motorun dönüşümlü çalışma periyodundaki zorunluluklar yüzünden motorun çalıştırma ve durdurma sıklığı yüksektir. Bu durumlarda motorun sıcaklığı önemli ölçüde azalmadığı gibi motor yağı sıcaklığı ve su sıcaklığı da normaldir. Ancak, egzoz son işlem cihazının yani emisyon arıtmasına yarayan katalitik konvertörün sıcaklığı büyük ölçüde azalır. Yapılan gözlemler sonucunda çoğunlukla egzoz son işlem cihazının sıcaklığının tutuşma sıcaklığından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tam da bu noktada emisyon arıtma sisteminin tam verimle çalışamayacağından ötürü egzoz son işlem cihazları yani katalitik konvertörler görevlerini yerine getiremezler.

İkinci olarak motorun ilk çalışma esnasında motor ve egzoz son işlem cihazı yani katalitik konvertörler reaksiyon sıcaklığına ulaşana dek aslında emisyon arıtma işlemini tam manasıyla gerçekleştiremezler. Çünkü egzoz sisteminde yer alan katalitik konvertörler içerisindeki monolit yapı kimyasal reaksiyonu gerçekleştirebilmesi için tutuşma sıcaklığına ulaşamaz. Bu aşamada yine emisyon reaksiyonları gerçekleşmeyeceği için çevresel etkileri bakımından ciddi kirlilikle sonuçlanabilir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde , tez çalışmasının konusu olan hibrit araçlardaki emisyon değerleri ve tekniklerinde kullanılan materyal ve yöntemler anlatılmıştır.

Hibrit araçlar diğer araçlara göre karşılaştırıldığında , günümüz koşullarında en uygun yakıt tiplerini barındırdığını söyleyebiliriz. Bu kombinasyon hem içten yanmalı motor vasıtasıyla istenildiğinde konvansiyonel araç olarak kullanılması , hem de elektrik motoru vasıtasıyla şarj edilerek elektrikli araç olarak kullanılabilmektedir.

Konvansiyonel araçlarda olduğu gibi hibrid araçlardaki konvansiyonel motor için de emisyon değerleri önemli bir faktördür. Burada emisyon değerlerini yine egzoz sistemi ve bileşenleri sayesinde kontrol altında tutmak mümkündür. Yapılan literatür araştırmasında emisyon değerlerinin düşürülmesini sağlayan katalik konvertör , scr , egr , dpf ve doc gibi katalizör görevi gören bileşenlerin egzoz sisteminde kullanıldığı belirtilmiştir. İçten yanmalı motorda yakıt silindirlerde piston vasıtasıyla sıkıştırılıp ateşlendiğinde meydana gelen reaksiyon sonucunda zararlı hidrokarbon atıklar egzoz sistemine gönderilir ve ortalama 400°-500°C tepkime sıcaklığında katalizörler ile emisyon reaksiyonu gerçekleşerek zararsız CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O olarak dışarı atılır.

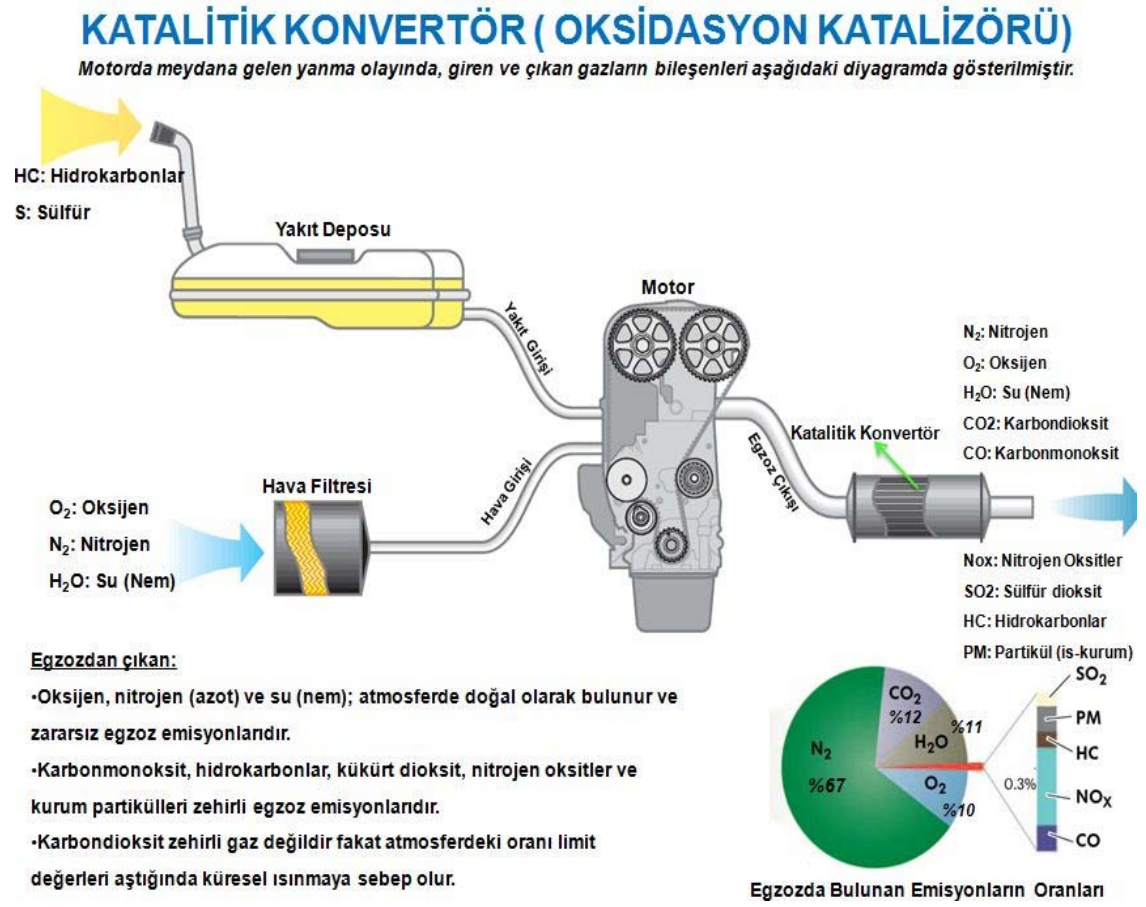
Hibrit araçlarda düşük hızlarda sadece elektrik motor çalışır yüksek hızlarda ve ani hızlanmalarda içten yanmalı motor ve elektrik motor birlikte çalışabilir. Burada elektrik motordan içten yanmalı motora geçişlerde veya aksi durumda İçten yanmalı motor çalışmayacağı için motor yağı sıcaklığı dar zaman aralığında çalışma sıcaklığında kalır ancak yanma olmadığı için atık egzoz gazları soğur ve dolayısıyla da egzoz sistemi ve bileşenleri de çalışma sıcaklığından aşağıya düşer. Literatür araştırmasında katalizör görevi gören parçaların 400-500 °C civarlarında çalıştığını belirtmiştik. Bu değerlerin altında kaldığında reaksiyon tam olarak gerçekleşemeyeceğinden içten yanmalı motordan gelen zararlı gazlar tam verimle elimine edilemeyecek ve emisyon değerleri yüksek çıkacaktır.

Egzoz sistemi ve bileşenlerinin sıcaklığının düşmesine sebep olan dönüşümlü çalışma prensibiyle elektrik motor ve içten yanmalı motorun ayrı çalışma zamanlarında emisyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için optimum çalışma sıcaklığında tutabilmek gerekir. Yapılan araştırmalarda bu problemin önüne geçmek için çalışmalar yapıldı.



### 3.1. Egzoz Sistemi ve Bileşeni Katalitik Konvertör Çalışma Prensipli

Günümüzde kullanılan katalizörler “Üç Yollu katalizör ; TWC: Three Waycatalytic Converters” tipidir. Üç farklı egzoz gazını birden zararsız hale çevirebilen katalizörlere üç yollu katalizör denir. Bunlar karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve nitro oksitlerdir. (Nitro oksit ve azot oksit aynı şeydir). Şekil 3.1’de katalitik konvertör araçtaki konumunu ve çalışma prensibini görmekteyiz.



Şekil 3.1. Katalitik konvertör araçtaki konumu ve çalışma prensibi (Anonim 2018)

#### 3.1.1 Üç kimyasal reaksiyon

Kimyasal reaksiyonda önce nitro oksitlerden oksijen ayrışır (indirgeme reaksiyonu), böylece geriye N (azot zararsız) ve Oksijen (zararsız) kalır. Buradan açığa çıkan N (azot) atmosfere salınır, zaten havanın %78’i azottur. Oksijen ise, sonraki reaksiyonlarda karbon monoksit ve hidrokarbonları yakmak için kullanılır.

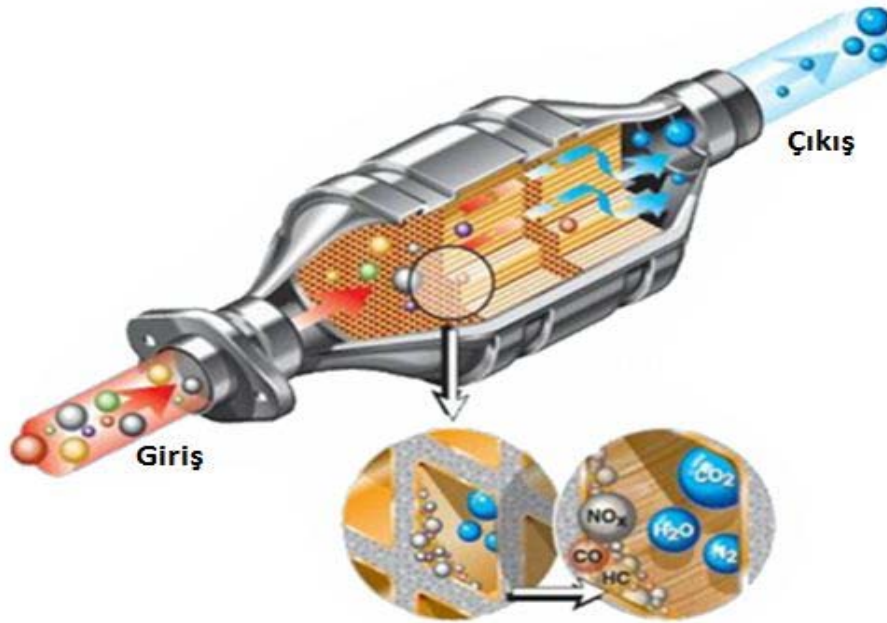
\* Nitro oksit (NO<sub>x</sub>) -----> Oksijene (O<sub>2</sub>) ve Nitrojen'e (N<sub>2</sub>) dönüştürür.

Aşağıdaki iki reaksiyonsa, oksidayson (oksijen vererek yakma) reaksiyonudur, yukarıdaki reaksiyondan oluşan oksijenle; karbonmonoksitler (CO) ve hidrokarbonlar (HC) yakılır. Geriye su ve karbondioksit kalır ve egzozdan atılır.

\* Karbonmonoksit'i (CO)-----> Karbondioksit'e (CO<sub>2</sub>)

\* Yanmamış Hidrokarbonlar'ı (HC) -----> Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve Suyu (H<sub>2</sub>O) dönüştür.

Katalitik konvertörün içerisinde çok küçük deliklere sahip seramik bir petek yapı vardır, seramik peteğin üzerinde katalizör elementlerle kaplıdır ve bu petek yapı sayesinde, egzoz gazlarının katalizör elementlere temas yüzeyi arttırılmıştır. Katalitik konvertörün peteksi yapısı açılmış olsa, yüzey alanı olarak bir futbol sahası büyüklüğüne ulaşılabilir. Şekil 3.2'de katalitik konvertör iç yapısı ve malzeme özelliklerini görmekteyiz.



**Şekil 3.2.** Katalitik konvertör iç yapısı ve malzeme özellikleri (Anonim 2017)

Katalitik konvertörün içerisinde, egzoz gazlarını kimyasal reaksiyona sokan katalizör elementler vardır, bunlar Platin, Paladyum, Radyum'dur. Katalizör: Bir kimyasal reaksiyonu hızlandıran ve kendisi kimyasal yapısı değişmeyen maddelere denir. Seramik ya da metalik bir kütlenin (monolit) üzerinde kirleticilerin daha az zararlı hale gelmesi

için yürümesi gereken tepkimelerde katalizör olarak kullanılacak altından dahi pahalı rodyum(Rh), platinyum(Pt) ve/veya paladyum(Pd) gibi soy metaller emdirilmiştir.Katalizörün amacı tepkimeye girmeden tepkimenin oluşum hızını arttırmaktır. Rodyum azot bileşiklerini, platin ve paladyum hidrokarbon ve karbon monoksit tepkimelerinin katalizörleridir.

Katalitik konvertörler soğukken çalışmazlar, içerisindeki kimyasal elementler yüksek sıcaklıklarda aktif olabilmekte ve görevlerini yapabilmektedir. Bu sebeple, çabuk ısınan diye konvertörler motora daha yakın konuma takılır. Katalitik konvertör çalışma sıcaklığı: 400 °C - 500 °C'dir. Ayrıca kurşunlu benzin kullanılması yasaktır. Kurşunsuz yakıt kullanılmalıdır, kurşun yüzeye yapışır ve delikleri tıkar.

Katalizörler, karbonmonoksit, hidrokarbon ve nitro oksitleri (azotoksitleri) % 90 oranında, zararsız olan nitrojene (N<sub>2</sub>), suya (H<sub>2</sub>O) ve karbon dioksite dönüştürür.

Egzoz hattında bulunan lambda (oksijen) sensörleri sayesinde, egzoz gazındaki oksijen miktarı sürekli takip edilir (buna kapalı devre çalışma denir). Egzozdaki bu oksijen miktarının takip edilmesiyle, hava yakıt oranı ECU tarafından her zaman ideal hava-yakıt oranına (14,7hava/1yakıt) yakın aralıkta tutulur, bu işlem alınan hava (gaz keleşi) ve yakıt enjeksiyonunun (enjektör) ayarlanmasıyla sağlanır, böylece katalitik konvertörün verimi maksimum olur.

Büyüyen çevre ve enerji sorunları nedeniyle, hibrid araçların gelişmesinin zirvesi geliyor. Geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında, egzoz kirliliği hibrid araçlarda egzoz kirliliği daha düşüktür, ancak hibrid araçların egzoz emsionunun saflaştırılması da iki sorunla karşı karşıyadır.

İlk olarak, motorun çalışma durumundaki değişikliklerle, motorun çalıştırılma ve durdurulma frekansı ve aralıkları sıklıkla meydana gelmektedir. Bu gibi durumlarda, motorun sıcaklığı önemli ölçüde azalmaz, motor yağı sıcaklığı ve su sıcaklığı normaldir. Bununla birlikte, egzoz son işlem cihazının yani katalitik konvertörlerin sıcaklığı büyük ölçüde azalır ve genellikle egzoz işlem sonrası cihazın sıcaklığı ateşlemeden daha düşüktür. Bu evrede, egzoz son işlem cihazları emisyon reaksiyonlarının çalışamayacağı bölge ve zamanlarındadır.

İkincisi, motor soğuk çalıştırma aşamasında, emisyon cihazlarına ulaşan egzoz gazının tutuşma sıcaklığına ulaşmamasıdır. Bu evrede, egzoz son işlem cihazları çalışmayacağı için bu ciddi bir kirliliğe neden olmaktadır.

Bu sorunların önüne geçebilmek amacıyla bu tez’de geliştirilen iki çeşit egzoz son işlem sistemi olarak hidrokarbon emici tuzağı ve aktif karbon fiber kutucukları geleneksel egzoz sisteminde bir çözüm olarak sunulmaktadır. Egzoz son işlem cihazlarının sıcaklığı ateşleme sıcaklıklarına göre daha düşük sıcaklıklarda olduğunda hidrokarbon emici tuzakları geçici olarak zararlı hidrokarbon bileşiklerini saklayabilir. Katalizör sıcaklığı reaksiyon tepkime sıcaklığına ulaşana kadar hidrokarbon emici tuzaklayarak saklayabilir ve sonra sistem reaksiyon sıcaklığına ulaştığında hidrokarbon (HC) bileşiklerini serbest bırakır. Daha sonra, HC egzoz son işlem cihazı ile reaksiyona girerek katalizlenecek yani emisyon süzgecinden geçecektir. Sıcaklık egzoz son işlem cihazı ateşlemelerinden daha düşük sıcaklıkta olduğunda, aktif karbon fiber kutu Nox hızla absorpsiyon reaksiyonuna sokabilir ve katalizör görevi gören karbon fiber kutucuklar, NOx'u N<sub>2</sub>'ye çevirebilir.

### **3.1.2. Katalitik konvertör çalışma verimi**

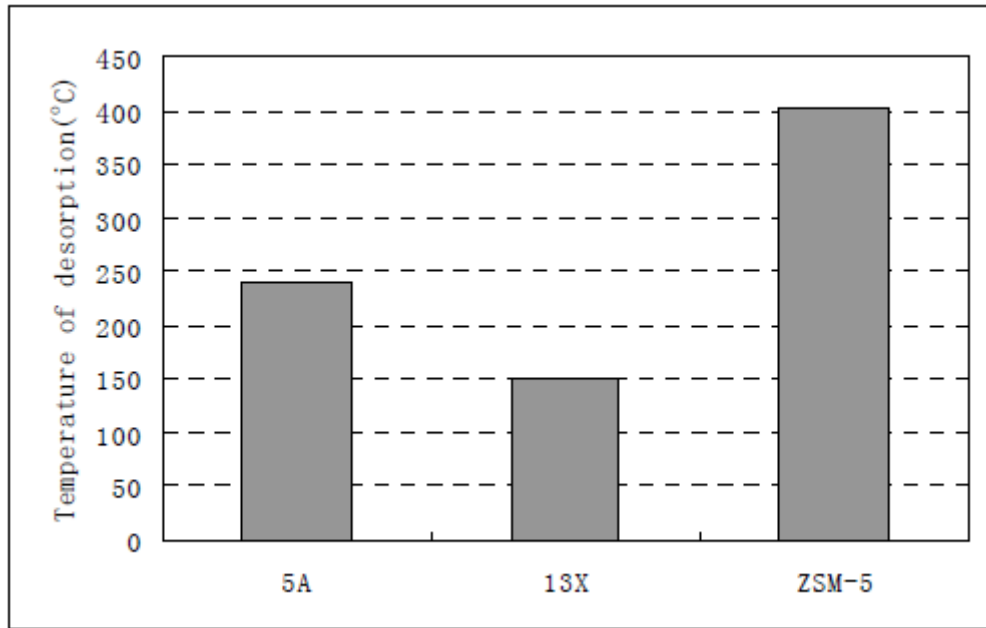
Üç yollu katalitik konvertörde, zararlı gazların dönüştürülebilmesi için; motorun lambda=1 değerinde (stokiyometrik oran) veya bu değere yakın olarak çalışması gerekir. Lambda=1 olduğunda, katalitik konvertörün çalışma verimi maksimum olur. Bu sebeple katalitik konvertörün girişine, egzozdaki oksijen oranını ölçen bir oksijen sensörü yerleştirilmiştir. Oksijen sensörü, egzozdaki oksijen oranını algılayıp ECU’ye bildirir, ECU enjeksiyon sistemini kumanda ederek hava-yakıt karışım oranının ayarlanmasını sağlar.

Katalitik konvertörler, karbonmonoksik, hidrokarbon ve nitro oksitleri (azotoksitleri) % 90 oranında, zararsız olan nitrojene (N<sub>2</sub>) , suya (H<sub>2</sub>O) ve karbon dioksite dönüştürür. Egzoz hattında bulunan lambda (oksijen) sensörleri sayesinde, egzoz gazındaki oksijen miktarı sürekli takip edilir (buna kapalı devre çalışma denir). Egzozdaki bu oksijen miktarının takip edilmesiyle, hava yakıt oranı ECU tarafından her zaman ideal hava-yakıt oranına (14,7hava/1yakıt) yakın aralıkta tutulur, bu işlem alınan hava (gaz kelebeği) ve yakıt enjeksiyonunun (enjektör) ayarlanmasıyla sağlanır, böylece katalitik konvertörün verimi maksimum olur. Katalitik konvertörden önceki birinci lambda (oksijen) sensörü, hava yakıt oranını lambda=1 ve yakın değerlere getirir. Böylece katalitik konvertör verimi maksimum olur. Katalitik konvertörden sonraki ikinci lambda (oksijen) sensörü ise, katalitik konvertörün çalışma verimini denetler.

### 3.2. Hidrokarbon Emici Tuzakları Yapısı ve Özellikleri

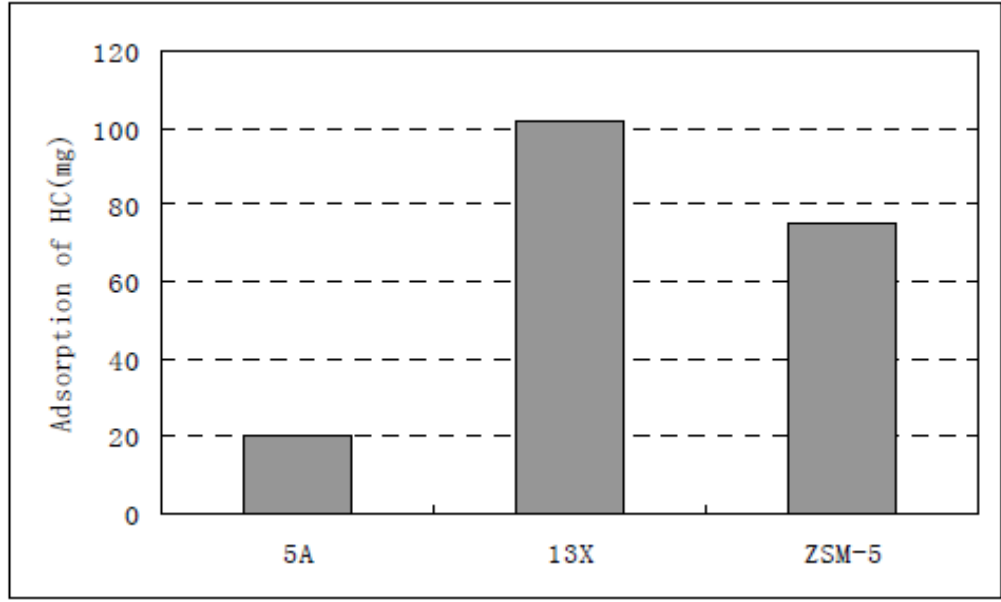
Hidrokarbon emici tuzakları absorpsiyon ve zeolitin soğurulması değerlendirildiğine yapısı basittir ve maliyeti düşüktür. Bunun yanında çalışma esnasına ek ısı ve enerji tüketimine ihtiyaç duymaz. Katalitik konvertörün devre dışı kalıp çalışmadığı durumlarda da makul reaksiyon ortamlarında HC emisyonlarının azaltılması için bu sistem çalışabilmektedir. Farklı tiplerde yapılmış hidrokarbon emici tuzaklar absorpsiyon ve desorpsiyonun farklı özelliklerine sahiptir. Ana zeolit türleri 5A, 13X, ZSM-5 dir.

Zeolit'in farklı absorpsiyon ve desorpsiyon özelliklerine sahip olan türlerinden oluşturulan farklı hidrokarbon emici tuzak türleri de bu makalde oluşturulmuştur.



**Şekil 3.3.** Hidrokarbon emici tuzaklarının desorpsiyon sıcaklığı (Tian ve ark. 2015)

Farklı hidrokarbon emici tuzaklarının absorpsiyon kapasitesi ve desorpsiyon sıcaklığı bu tezde karşılaştırılmıştır. Şekil 3.3'te hidrokarbon emici tuzakların (ZSM-5) desorpsiyon sıcaklığının diğerlerinden daha yüksek 400 C olduğu görülebilir. Hidrokarbon emici tuzaklarının (ZSM-5) desorpsiyon sıcaklığı o kadar yüksektir ki, egzoz son işlem cihazlarının kapatılmasından önce HC'yi serbest bırakmaz. Şekil 3.4'de hidrokarbon emici tuzaklarının (ZSM-5) adsorpsiyon kapasitesinin nispeten büyük olduğu görülebilir. Büyük absorpsiyon kapasitesi sayesinde, hidrokarbon emici tuzaklar (ZSM-5) egzoz son işlem sisteminin sıcaklığı ateşleme sıcaklığından düşük olduğunda HC'yi verimli bir şekilde depolayabilir.



**Şekil 3.4.** Hidrokarbon emici tuzaklarının adsorpsiyon kapasitesi (Tian ve ark. 2015)

Hidrokarbon emici tuzakların (ZSM-5) adsorpsiyon kapasitesi hidrokarbon emici tuzaklardan (13X) biraz daha küçüktür. Şekil 3.4'de adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılması yönünden (ZSM-5), (13X) ve (5A) zeolit türlerini görmekteyiz. Hidrokarbon emici tuzakların (ZSM-5) desorpsiyon sıcaklığı, hidrokarbon emici tuzaklardan (13X) çok daha yüksektir. Şekil 3.3'te desorpsiyon sıcaklığı karşılaştırılması yönünden (ZSM-5), (13X) ve (5A) zeolit türlerini görmekteyiz Bu nedenle, tüm bu faktörleri dikkate alarak, bu tez hidrokarbon emici tuzaklarını (ZSM-5), arıtma sisteminden sonra yeni egzozun bir parçası olarak seçmektedir. Hidrokarbon emici tuzaklarının (ZSM-5) üretim yöntemi seramik petek taşıyıcı üzerine ZSM-5 zeolit toz kaplama yapılarak elde edilir.

### 3.3 Aktif Karbon Fiber Kutucuklarının Yapısı ve Özellikleri

Aktif karbon fiber kutucukların temel özelliklerinden bahsedecek olursak ısı, asit ve alkali gibi bileşimlere karşı toleransı yanında mekanik özellikler ve aşınma deformasyonuna karşı da iyi dayanımına sahiptir. Lifli formda olduğu gibi, yüzeye maruz kalan karbon atomlarının %50'den fazlası iyi emilebilirlik karakteristiğine sahip olduğu deney ve gözlemlerle belirtilmiştir. Aktif karbon fiber de bir tür katalizördür, sıcaklık ateşleme sıcaklığına ulaştığında NOx'i N2'ye çevirebilir.

Aktif karbon fiberin yüksek sıcaklık oksidasyon direnci zayıftır ve mekanik mukavemeti yeterince iyi değildir, doğrudan egzoz son işlem sisteminde kullanılamaz. Bu nedenle, aktif karbon fiberin bu kusurları iyileştirilmelidir. Aktif karbon fiberin kutucukların modifikasyonundan sonra, araç egzoz gazı saflaştırmasına başarıyla uygulanabilir.

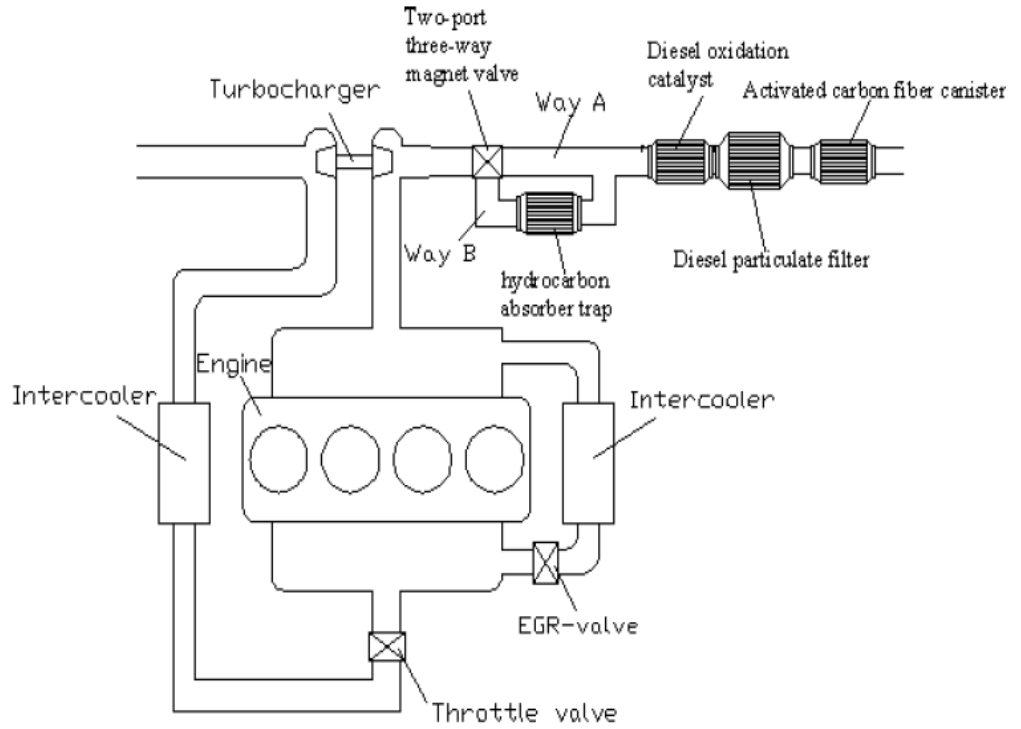
Bu tezde kullanılan aktif karbon fiber egzoz borusuna monte edilmiştir. Aracın hızlı çalışma yani hibrid ve içten yanmalı motorun sık dönüşümlerinde koşullarında aktif karbon fiberin belirli bir mekanik mukavemete sahip olmasını gerektirir. Bor madeni kullanılarak geliştirilen aktif karbon fiber ürünlerinin yapılan deney ve gözlemlere daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlendi. Bor ve karbonun atom yarıçapı oldukça benzerdir, borun atom yarıçapı 91 nm'dir ve karbon atomunun yarıçapı 90 nm'dir. Bu sayede bor ve karbon, mekanik mukavemeti arttıran ikame edici bir katı çözelti oluşturabilir. Bu tezde kullanılan bor madeni kullanılarak yüzeyine emdirilen aktif karbon fiberin çekme dayanımı %35'e kadar artmaktadır.

Geliştirilmeyen aktif karbon fiber sıcaklık 350~450 °C ulaştığında oksitlenebilir. Benzinli motorlarda ortalama egzoz sıcaklığı değerlerinde 700~800 °C'lere ulaşılabilirken dizel motorlarda aynı koşullarda egzoz sıcaklığında 400~500 °C'ye ulaşılabilir. Aktif karbon fiber geliştirilmemişse, yüksek sıcaklık oksidasyon direnci gereksinimi karşılayamaz. Aktif karbon fiberlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncini arttırmanın ana yolu, üzerinde TiC, TiN, TiO<sub>2</sub>, bor vb. gibi kaplamaları kaplamaktır. Aktif karbon fiberlerin yüzeyine bor madeni veya muadilleri emdirilerek yeni yüzeyler oluşturulması yüksek sıcaklık oksidasyon direncini artırabilir ve bu sayede oksitleme sıcaklığı 1000 °C'nin üzerine çıkar.

Özetle, bu tezde kullanılan aktif karbon fiber konvertörü yapmanın yolu 3 adıma bölünmüştür. İlk olarak, aktif karbon fiber kutucuklarının mekanik mukavemetini artırabilecek şekilde borlanmalı; İkincisi, aktif karbon fiber yüzeyinde yüksek sıcaklık oksidasyon direncini artırabilecek uygun madenlerle yüzeylerini kaplamalıyız. Üçüncü olarak, aktif karbon fiber kutucuklar seramik taşıyıcılar içine alınmalıdır. Bu iyileştirme operasyonlarından sonra artık aktif karbon fiber konvertör iyi emiciliğe sahip olacaktır. Egzoz son işlem cihazının sıcaklığı ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğunda, aktif karbon fiber teneke kutu NOx'i hızlı bir şekilde emebilir. Sıcaklık, aktif karbon fiber kutucuklar ateşleme sıcaklığına ulaşırsa, NOx'i N<sub>2</sub>'ye çevirebilen katalizör görevi görür.

### 3.4. Hibrid Otomobil Egzoz Sistemi (Dizel - Elektrik)

Şekil 3.5'teki gibi geleneksel egzozda aktif karbon fiber kutucuklar ve hidrokarbon emici tuzakları ekleyen hibrid araç (dizel - elektrik) için yeni egzoz son işlem sistemi olan EGR + DPF + DOC'nin teknik rotasına dayanarak emisyon arıtma sistemi tasarlanmıştır. Sistem, hidrokarbon emici tuzakları, iki bağlantı noktalı üç yollu miknatıslı vana, sıcaklık sensörü, dizel oksidasyon katalizörü (DOC), dizel partikül filtresi (DPF), aktif karbon fiber kutucuklar ve EGR sistemini içerir.



Şekil 3.5. Hibrid dizel araç egzoz sistemi tasarımı (Tian ve ark. 2015)

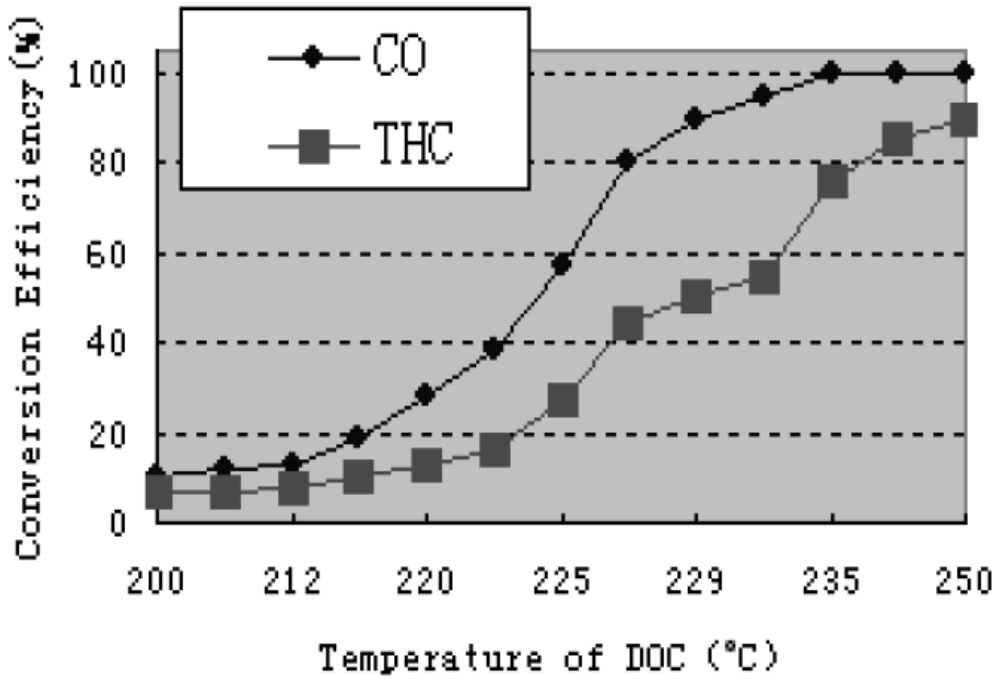
Egzoz borusu iki bağlantı noktalı üç yollu miknatıslı vana ile ikiye ayrılır: Hidrokarbon emici tuzağı A yolunda kurulur ve B yolunda hidrokarbon emici tuzakları yoktur. A yolunun egzoz borusu ilk önce hidrokarbon emici tuzaklarından geçer, daha sonra B yoluyla birleşir. Birleşme noktasından sonra, dizel oksidasyon katalizörü (DOC), dizel partikül filtresi (DPF), aktif karbon fiber kutucuklar, egzoz borusunda uygun sırayla düzenlenir. Sıcaklık sensörleri, sırasıyla DOC sıcaklığını ölçmek için kullanılan DOC'den önce ve sonra kurulur.

Egzoz son işlem cihazının sıcaklığı ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğunda, aktif karbon fiber kutucuklar NOx'i hızlı bir şekilde emebilir. Sıcaklık, aktif karbon fiber kabın



tutuşma sıcaklığına ulaştığında aktif karbon fiber kutucuklar NOx'i N2'ye çevirebilen katalizör görevi görür.

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, DOC tutuşma sıcaklığı genellikle 200 ~ 300 °C civarlarındadır, bu tezde kullanılan hidrokarbon emicinin desorpsiyon sıcaklığı 400 °C'dur. DOC ile karşılaştırıldığında, hidrokarbon emici tuzağı motora daha yakındır ve sıcaklığı daha yüksektir. DOC sıcaklığı, ateşleme sıcaklığından daha yüksek olan 400 °C'ye ulaştığında, hidrokarbon emici tuzaklarının sıcaklığı 400° C'den yüksek olmalı ve desorpsiyona başlamalıdır. DOC, 60 saniyenin üzerinde 400° C'nin üzerinde bir sıcaklığı koruyabiliyorsa



Şekil 3.6. DOC tutuşma sıcaklığı grafiği (Tian ve ark. 2015)

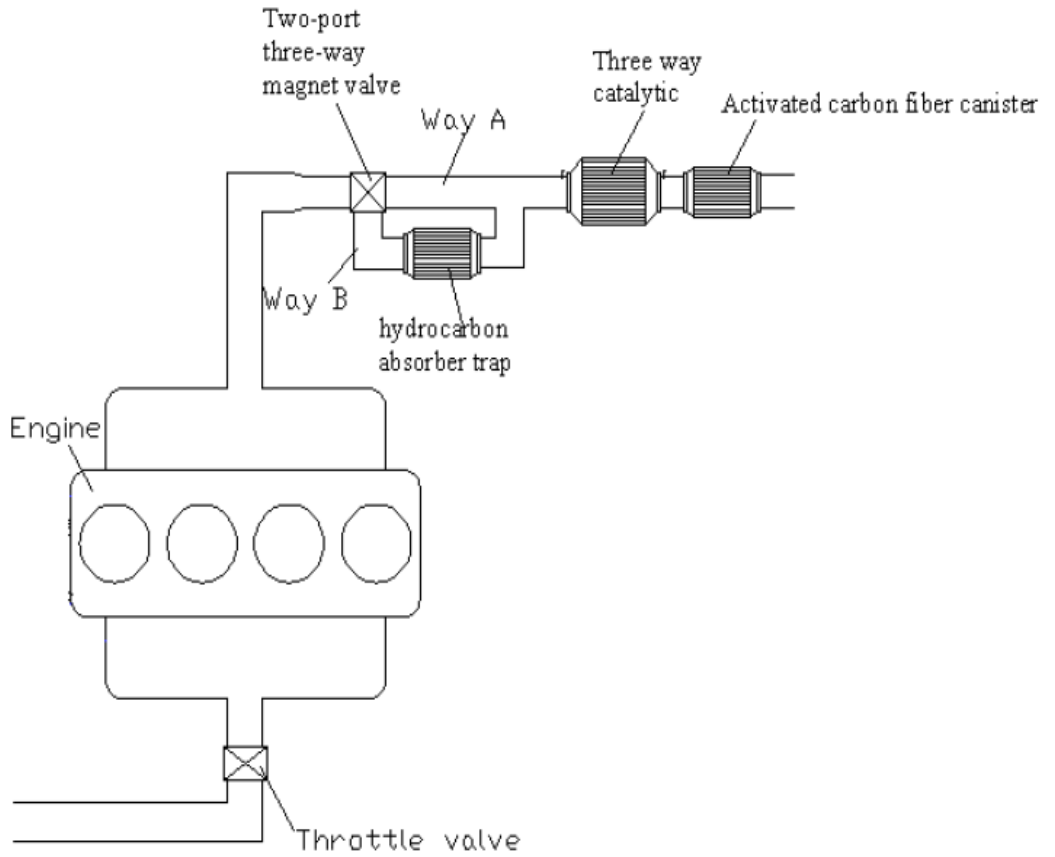
(hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon süresi), hidrokarbon emici tuzaklarının desorpsiyonu tamamlanır.

Bu sırada, hidrokarbon emici tuzağına zarar verebilecek aşırı termal şoku önlemek için, A yolu açılmalı, B yolu kapatılmalıdır, egzoz sistemi içerisindeki zararlı atık gazlar o zaman hidrokarbon emici tuzağından geçemez. Diğer durumlarda (HC'nin yakalanması veya desorpsiyonu tamamen olmadığı durumlarda) B yolu açılmalı, A yolu kapatılmalıdır. Böylece HC'nin yakalanması ve desorpsiyonu devam ettirilebilir. Bu sayede bu tez iki bağlantı noktalı üç yollu miknatıs valfini sunmuştur. DOC sıcaklığı hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon sıcaklığından (yaklaşık 400 °C) düşük

olduğunda veya 60 saniyenin üzerinde 400 °C'nin üzerinde bir sıcaklık tutmazsa A yolu açılarak B yolu kapatılmalıdır. DOC sıcaklığı hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon sıcaklığına (yaklaşık 400 °C) ulaştığında ve 60 saniyeden fazla sürdüğünde B yolu açılarak A yolu kapatılmalıdır.

### 3.5.Hibrid Otomobil Egzoz Sistemi (Petrol - Elektrik)

Şekil 3.7'deki gibi geleneksel egzoz son işlem sistemine hidrokarbon emici tuzaklar ve aktif karbon fiber kutu eklenerek hibrid araç (Benzin-Elektrik) için yeni egzoz son işlem sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem hidrokarbon emici tuzağı, iki bağlantı noktalı üç yollu mıknatıslı vana, sıcaklık sensörü, üç yollu katalitik konvertör (TWC) ve aktif karbon fiber kutucuklarını içerir.



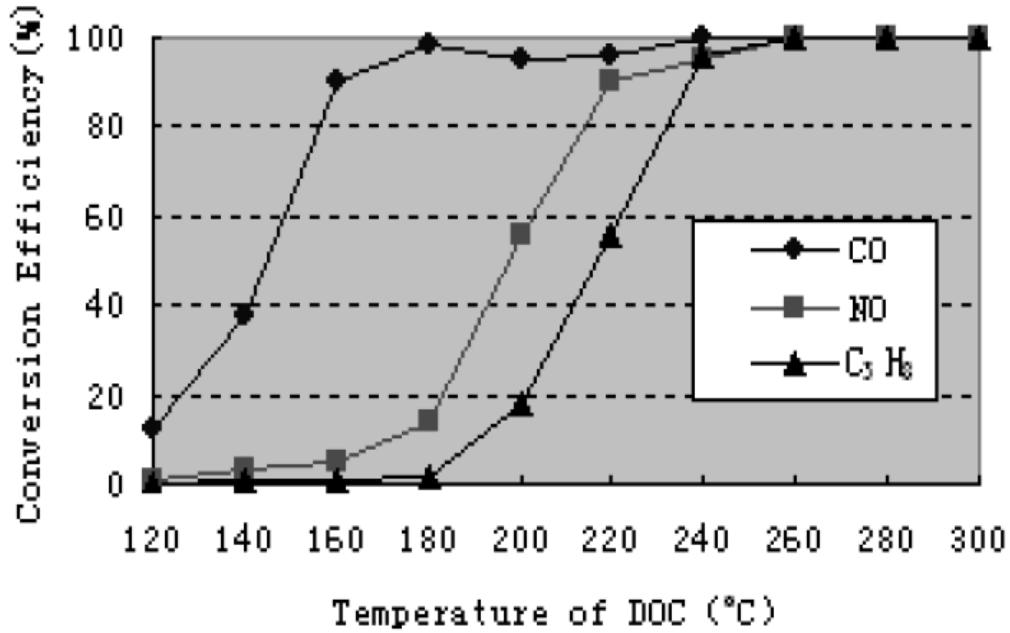
Şekil 3.7. Hibrid benzinli araç egzoz sistemi tasarımı (Tian ve ark. 2015)

Egzoz borusu iki bağlantı noktalı üç yollu mıknatıslı vana ile ikiye ayrılır: Hidrokarbon emici tuzağı A yolunda kurulur ve B yolunda hidrokarbon emici tuzakları yoktur. A yolunun egzoz borusu hidrokarbon emici tuzaklarından geçer. Birleşme noktasından önce ve sonra, üç yollu katalitik konvertör (TWC) ve aktif karbon fiber kutucukları egzoz

borusunda uygun sırayla düzenlenir. Sıcaklık sensörleri, TWC sıcaklığını ölçmek için kullanılan sırasıyla TWC'den önce ve sonra olmak üzere sisteme monte edilir.

Bu sistemde egzoz son işlem cihazının sıcaklığı ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğunda aktif karbon fiber kutucuklar NOx'i hızlı bir şekilde emebilir. Daha sonra sıcaklık aktif karbon fiber kutusunun tutuşma sıcaklığına ulaştığında, NOx'i N2'ye çevirebilen katalizör görevi görür.

Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, TWC'nin tutuşma sıcaklığı genellikle bu tezde kullanılan hidrokarbon emici tuzakların desorpsiyon sıcaklığından daha düşük olan 150~250 °C' dir. TWC ile karşılaştırıldığında hidrokarbon emici tuzağı motora daha yakındır ve sıcaklığı daha yüksektir. TWC sıcaklığı, ateşleme sıcaklığından daha yüksek olan 400 ° C'ye ulaştığında hidrokarbon emici tuzaklarının sıcaklığı 400 °C'den yüksek olmalı ve desorpsiyona başlamalıdır. TWC, 60 saniyenin üzerinde 400 °C 'nin üzerinde bir sıcaklığı koruyabiliyorsa (hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon süresi) hidrokarbon emici tuzaklarının desorpsiyonu tamamlanır.



Şekil 3.8. DOC tutuşma sıcaklığı grafiği (Tian ve ark. 2015)

Bu sırada dizel-elektrik hibrid sistemine benzer şekilde hidrokarbon emici tuzağına zarar verebilecek aşırı termal şoku önlemek için A yolu açılmalı, B yolu kapatılmalıdır. Egzoz hidrokarbon emici tuzağını geçmemelidir. Diğer durumlarda (HC'nin yakalanması veya

desorpsiyonu olmadığı durumlarda) B yolu açılmalı, A yolu kapatılmalıdır. Böylece HC'nin yakalanması ve desorpsiyonu devam ettirilebilir.

Bu sayede, bu tez iki bağlantı noktalı üç yollu mıknatıs valfini ayarlamak için sistem düzeneği sırasıyla: TWC sıcaklığı hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon sıcaklığından (yaklaşık 400 °C) düşük olduğunda veya 60 saniyenin üzerinde 400 °C'nin üzerinde bir sıcaklık tutmazsa , A yolu açılmalı, B yolu kapatılmalı; TWC sıcaklığı hidrokarbon emici tuzağının desorpsiyon sıcaklığına (yaklaşık 400 °C) ulaştığında ve 60 saniyeden fazla sürdüğünde B yolu açılmalı, A yolu kapatılmalıdır. Hibrid dizel-elektrik ve benzin-elektrik için egzoz emisyon problemlerini çözmek için tasarlanan sistemlerin tam verimle çalışabilmesi için hidrokarbon emici tuzaklar ve aktif karbon fiber kutucukların belirtilen kimyasal operasyonlardan geçmesi gerekmektedir. Aksi durumda önerilen çözümlerde kullanım ömrü azalır veya reaksiyonlarda tam manada emisyon gerçekleşemez.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Hidrokarbon Emici Tuzakların Egzoz Sistemine Etkisi

Hibrid araçlarda egzoz son işlem sisteminin sıklıkla karşılaştığı elektrik ve içten yanmalı motorlarının sıklıkla dönüşümlü olarak çalıştırılması ve durdurulmasının neden olduğu sorunları çözmek için, bu tez özel olarak tasarlanmış yeni bir egzoz son işlem sistemi sunmaktadır. Hibrid araçların (dizel-elektrik ve benzin-elektrik) özel koşullarına göre, bu tez geleneksel egzoz son işlem sisteminde hidrokarbon emici tuzakları sisteme dahil etmektedir. Egzoz son işlem cihazının sıcaklığı tutuşma sıcaklıklarından daha düşük olduğunda, hidrokarbon emici tuzakları HC'yi geçici olarak depolayabilmektedir. Sıcaklık, egzoz işlem sonrası cihazın ateşleme sıcaklığına ulaştığında, hidrokarbon emici tuzakları HC'yi serbest bırakmaktadır.

Daha sonra HC, egzoz son işlem cihazı ile katalize edilerek emisyon arıtma operasyonu gerçekleştirilir. Egzoz son işlem cihazının sıcaklığı ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğunda, hidrokarbon emici tuzaklar NOx'i hızlı bir şekilde adsorbe edebilir. Sıcaklık, hidrokarbon emici tuzakları tutuşma sıcaklığına ulaştığında, NOx'i N<sub>2</sub>'ye çevirebilen katalizör görevi görür. Bu şekilde hibrid araçların emisyonları düşürülebilir. Emisyon sınırlamaları gittikçe düşürüldüğünden, bu yeni egzoz son işlem sistemi çok geniş bir uygulama beklentisine ve gelişim alanına sahiptir.

### 4.2. Aktif Karbon Fiber Kutucuklarının Egzoz Sistemine Etkisi

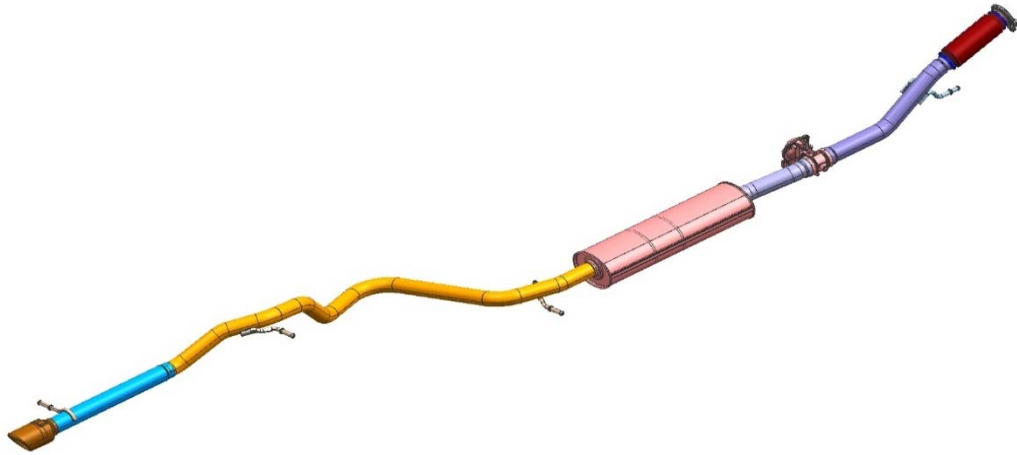
Hibrid araçlarda egzoz son işlem sisteminin sıklıkla karşılaştığı elektrik ve içten yanmalı motorlarının sıklıkla dönüşümlü olarak çalıştırılması ve durdurulmasının neden olduğu sorunları çözmek için, bu tez özel olarak tasarlanmış yeni bir egzoz son işlem sistemi sunmaktadır. Hibrid araçların özel durumları (dizel-elektrik ve benzinli-elektrikli), bu tez aktif karbon fiber kutucukları geleneksel egzoz son işlem sistemine dahil etmektedir. Egzoz gazları son işlem cihazının sıcaklığı, ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğu zamanlarda, aktif karbon fiber kutucuklar HC'yi geçici olarak saklayabilmektedir. Egzoz işlemi sonrasında son işlem cihazı ateşleme sıcaklığına ulaşırsa, aktif karbon fiber kutucuklar HC bileşiklerini serbest bırakmaktadır. Sonra, HC egzoz son işlem cihazı ile katalize edilir. Egzoz işlem sonrası cihazın sıcaklığı ateşleme sıcaklığından daha düşük olduğunda aktif karbon fiber kutu NOx'u hızla emer. Aktif karbon fiber kutucuklar

ateşleme sıcaklığına hareket geçerek NOx'i N2'ye çevirebilen katalizör olarak kullanılabilir. Bu şekilde, hibrid araç emisyonları iyileştirilebilir.

### 4.3. Konvansiyonel ve Hibrid Otomobillerde Egzoz Sisteminin Karşılaştırılması

#### 4.3.1. Dizel otomobil egzoz sistemi

Geleneksel içten yanmalı bir dizel motor egzoz emisyon sistemi şekil 4.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** İçten yanmalı bir dizel motor egzoz emisyon sistemi

Egzoz sistemini incelediğimizde giriş kısmından başlayarak temel parçaları inceleyecek olursak bir adet flex, bir adet egr valfi ve bir adet orta susturucu yer aldığı görülmektedir. Bu egzoz sistemi Renault markasının clio modelinin 1.5 dci k9k kodlu motorlarında kullanılmaktadır. Egzoz emisyon sistemi içerisinde yer alan fakat aşağıdaki sistemde göremediğimiz katalitik konvertör motor'a önceden monte edilmiştir. Bunun sebepleri arasında içten yanmalı benzinli bir motorda kullanılan katalitik konvertör boyutlarının bir sonraki konuda işlenecek olan yine aynı marka ve modelin hibrid motor versiyonuyla karşılaştırıldığında daha küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Şekil 4.2'de katalitik konvertör görseli ve boyutları görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Dizel aracın katalitik konvertör görseli

Sadece katalitik könvertör çelik kutusu içerisinde yer alan ve katalizör görevi gören asıl monolit yapının boyut ve ağırlıkları belirtilmiştir. Monolit yapı silindirik bir yapı içerisinde petek yapısına benzen bir yapıya sahiptir. Bu marka, model ve motor kombinasyonunda kullanılan katalitik könvertör içerisindeki monolit yapının ağırlığı 1352,26 gramdır. Boyutları ise en çapı 138,64 mm, boy uzunluğu 118,46 mm ve delik çapı da 0,09 mm dir.

#### 4.3.2. Benzinli otomobil egzoz sistemi

Geleneksel içten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi şekil 4.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** İçten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi

Egzoz sistemini incelediğimizde giriş kısmından başlayarak temel parçaları inceleyecek olursak bir adet flex, bir adet orta susturucu ve 1 adet arka susturucu yer aldığı görülmektedir. Bu egzoz sistemi Renault markasının clio modelinin 1.0 tce hr10 kodlu motorlarında kullanılmaktadır. Egzoz emisyon sistemi içerisinde yer alan fakat aşağıdaki sistemde göremediğimiz katalitik könvertör motor'a önceden monte edilmiştir. Bunun sebepleri arasında içten yanmalı benzinli bir motorda kullanılan katalitik könvertör boyutlarının bir sonraki konuda işlenecek olan yine aynı marka ve modelin hibrid motor versiyonuyla karşılaştırıldığında daha küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Şekil 4.4. 'te katalitik könvertör görseli ve boyutları görülmektedir.

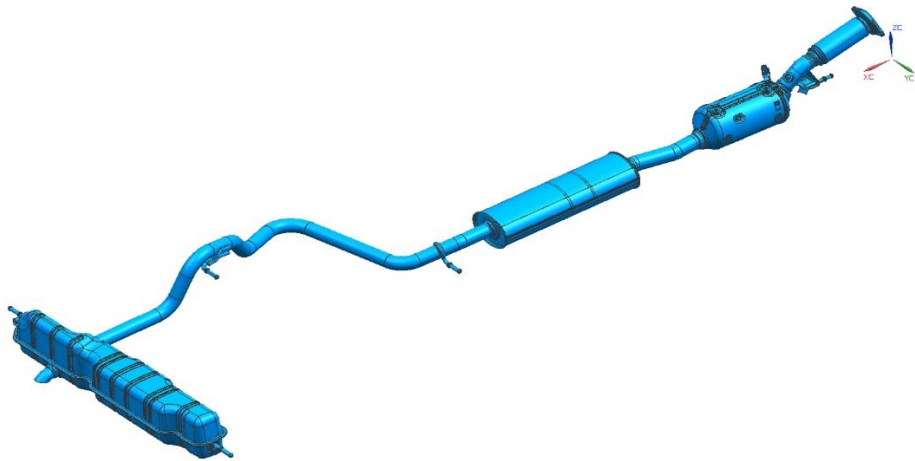


**Şekil 4.4.** Benzinli aracın katalitik konvertör görseli

Sadece katalitik konvertör çelik kutusu içerisinde yer alan ve katalizör görevi gören asıl monolit yapının boyut ve ağırlıkları belirtilmiştir. Monolit yapı silindirik bir yapı içerisinde petek yapısına benzer bir yapıya sahiptir. Bu marka, model ve motor kombinasyonunda kullanılan katalitik konvertör içerisindeki monolit yapının ağırlığı 592,45 gramdır. Boyutları ise en çapı 118,21 mm, boy uzunluğu 137,16 mm ve delik çapı da 0,13 mm dir.

#### **4.3.3. Hibrid otomobil egzoz sistemi**

Hibrid elektrik ve içten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi şekil 4.5'te gösterilmiştir. Egzoz sistemini incelediğimizde giriş kısmından başlayarak temel parçaları inceleyecek olursak bir adet flex, bir adet katalitik konvertör, bir adet orta susturucu ve 1 adet arka susturucu yer aldığı görülmektedir. Bu egzoz sistemi Renault markasının clio modelinin 1.6 hev kodlu motorlarında kullanılmaktadır.

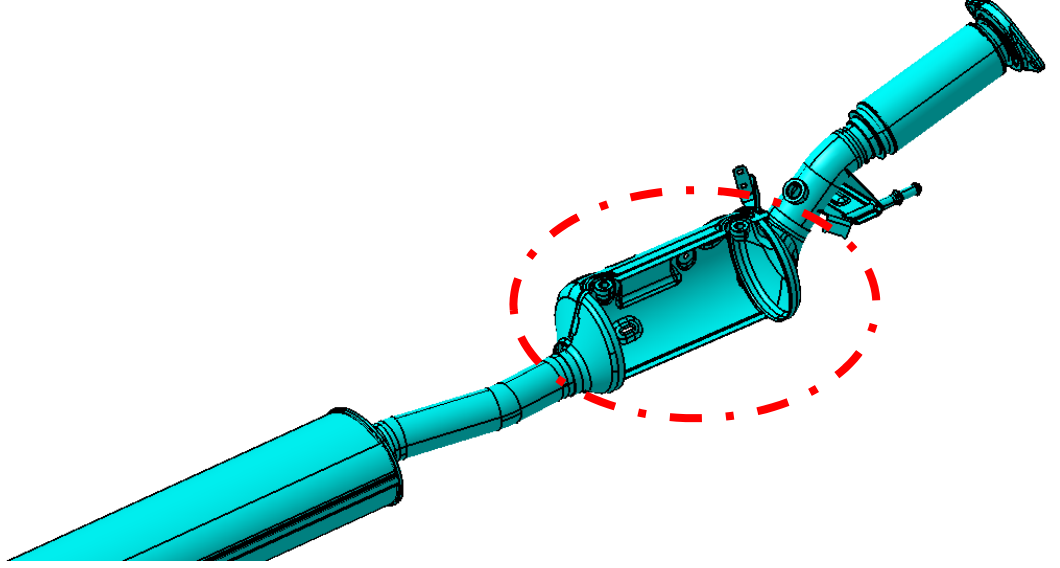


**Şekil 4.5.** Hibrid elektrik ve içten yanmalı bir benzinli motor egzoz emisyon sistemi

Egzoz emisyon sistemi içerisinde yer alan katalitik konvertör yine aynı marka Renault'un yeni clio modelinde şekil 4.5'te de görüleceği üzere egzoz sistemi üzerinde önceki



modellerden farklı olarak monte edilmiştir. Bunun sebepleri arasında içten yanmalı benzinli bir motorda kullanılan katalitik konvertör versiyonuyla karşılaştırıldığında daha büyük boyutlarda ve ağırlıkta olduğu görülmektedir. Şekil 4.6 'da katalitik konvertör görseli görülmektedir.



**Şekil 4.6.** Hibrid elektrik ve içten yanmalı bir benzinli motor katalitik konvertörü

Şekil 4.7.'de katalitik konvertör görseli ve boyutları görülmektedir. Sadece katalitik konvertör çelik kutusu içerisinde yer alan ve katalizör görevi gören asıl monolit yapının boyut ve ağırlıkları belirtilmiştir. Monolit yapı silindirik bir yapı içerisinde petek yapısına benzer bir yapıya sahiptir. Bu marka, model ve motor kombinasyonunda kullanılan katalitik konvertör içerisindeki monolit yapının ağırlığı 1956,76 gramdır. Boyutları ise en çapı 144,32 mm, boy uzunluğu 131,43 mm ve delik çapı da 0,18 mm dir.



**Şekil 4.7.** Hibrid benzin ve elektrik motora sahip aracın katalitik konvertör görseli

Yapılan incelemelerde hibrid araçlarda emisyon probleminin önüne geçmek amacıyla katalitik konvertör iç yapısında yani monolit yapısında iyileştirmeler yapılması gerektiği görülmüştür. Bu iyileştirmeler emisyon sonuçlarını iyileştirmesinin yanında katalitik konvertör boyutlarını değiştirdiği için araç üzerindeki konumunu da belirleyicidir. Hibrid araç egzoz emisyon sistemi tasarlanırken bu kısıtlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

## 5. SONUÇ

Otomotiv sektörünün geleceğinde Hibrid araçların kullanımının yaygınlaşacağı düşünüldüğü ve planlandığı için, hibrid araçlarda yer alan içten yanmalı motor ve elektrik motorunun kombinasyonunda emisyon değerleri büyük önem arz etmektedir. Emisyon sistemlerinin ve yöntemlerinin sağlayacağı zararlı gaz eliminasyon değerleri birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerin başında ısı özellikler yer almaktadır. Literatürde zararlı gazların emisyon sistemlerinden geçerek optimum verimle yok edilmesi için katalitik konvertör ve diğer emisyon sistemi elemanlarında ideal çalışma sıcaklığı aralığı yaklaşık 400-500°C olarak belirtilmektedir. 400°C'den daha düşük ve 500°C'den daha yüksek sıcaklıklar egzoz emisyon sistemlerini ve malzemelerini olumsuz etkilediği için hem çalışma performansını hem de çevrim ömrünü olumsuz etkilemektedir. Fakat, hem çalışma performansı hem de çevrim ömrü parametreleri dikkate alındığında egzoz emisyon sistemlerinin ideal çalışma sıcaklığının 400-500°C arasında olması istenmektedir. Egzoz emisyon sistemlerinin sıcaklık değerleri ve iç seramik kimyasal yapısı belirlenirken bu kısıtlar dikkate alınmalıdır. Tez çalışmasında yapılan çalışmalar bu değerleri sağlayacak egzoz emisyon sisteminin tasarımını ve analizlerini kapsamıştır.

Yapılan çalışmalarda ilk olarak, egzoz emisyon sistemlerinin önemli bir parçası olan katalitik konvertörün seramik iç yapısındaki kimyasal reaksiyonlar incelenerek optimum çalışma sıcaklığında ulaşıldığında zararlı gazları hapsederek tuzak emici kimyasal maddeler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ardından, tasarımı doğrulamak ve katalitik konvertörlerin araç şasisi üzerindeki konumunu belirlemek için örnekler incelenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2018.** İçten yanmalı araç asisi, Carstechnic araba parçaları ve görevleri.  
<http://carstechnic.com/araba-parcalari/araba-parcalari-ve-gorevleri/> (Erişim Tarihi: 10.06.2019)
- Anonim, 2018.** Kronolojiye göre emisyon sınırlamaları değerleri  
<http://www.teknikbelgeler.com/2016/makale.php?id=40> (Erişim Tarihi: 15.06.2019)
- etin, A., 2016.** Elektrikli otomobil teknolojisi hakkında bir değerlendirme. Mühendishane, <https://muhendishane.org/elektrikli-otomobil-teknolojisi-hakkinda-bir-degerlendirme/> (Erişim tarihi: 15.11.2018).
- Davini, P., 2001.** SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, adsorption properties of activated carbons obtained from a pitch containing iron derivatives. 39.2173~2179
- Dier, İ. 2010.** Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2): 157–175.
- Dier, I., Hamut, H. S., Javani, N. 2017.** Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 457 pp.
- Engler, B H., 1993.** Reduction of Exhaust Gas Emissions by Using Hydrocarbon Adsorber System. SAE Paper 930738.
- Gui-ping, D., Min, L., Tian-sheng, X., 1999.** Inhibiting and catalyzing effects of boron on oxidation behavior of carbon materials. *Carbon techniques*, 5.
- Grbz, Y., Kulaksız, A. A. 2016.** Elektrikli Araçlar ile Klasik İten Yanmalı Motorlu Araçların eşitli Ynlerden Karşılaştırılması. *DergiPark*, 6(2): 117-125.
- zelgin, İ., Yıldırım M., 2017.** Hibrid Ara Bileşenlerinin Gelişimi. Ar-Ge Koordinatrlğ Ford Otosan, 5(2):5-6
- Karaca, E., 2017.** Katalitik konvertör i yapısı ve grevleri  
<https://bilgihanem.com/author/erkankaraca/> (Erişim Tarihi: 16.06.2019)
- Pusca, R., Ait, Y., Amirat, A.B., Kauffmann, J.R., 2002.** Advanced Control Applied to Hybrid Electrical Vehicle, EVS19 Busan
- Robert, N., C., 1998.** Laboratory Evaluation of Ultra-short Met-al Monolith Catalyst. SAE Paper 980672.

**Sandık, U., 2019.** Hibrit otomobillerin Türkiye'deki gelişimi

<https://www.sabah.com.tr/yazarlar/sandik/2019/03/30/turkiye-hibrit-ussu-oluyor>

(Erişim Tarihi: 16.06.2019)

**Şenol, R., Üçgöl İ., Acar, M., 2006.** Yakıt pili teknolojisindeki gelişmeler ve taşıtlara uygulanabilirliğinin incelenmesi. *DergiPark*, 47-563.

**Tian, T., Sun, W., Qu, D., Wang, L., 2011.** State Key Laboratory of Automobile Dynamic Simulation, Jilin University, Changchun, China.

**Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M. 2003.** Elektrikli Araçlar, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze, 145 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet NERGİZ

Doğum Yeri ve Tarihi : Silvan, 01/01/1993

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Ertuğrulgazi Anadolu Lisesi (2007-2011)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği, (2012-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Magneti Marelli Plastiform A.Ş (04.2017-05.2018)

Orhan Holding Matay Egzoz (05.2018- Halen)

İletişim (e-posta) : mehmet\_nergizz@hotmail.com

Yayınları :