

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİBRİT OTOBÜSLERİN ŞEHİR İÇİ KOŞULLARINDA  
SEYİR HALİ EMİSYONLARININ VE YAKIT  
EKONOMİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çev. Müh. Hülya SEMERCİOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeref SOYLU**

**Haziran 2011**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT OTOBÜSLERİN ŞEHİR İÇİ KOŞULLARINDA  
SEYİR HALİ EMİSYONLARININ VE YAKIT  
EKONOMİSİNİN İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Çev. Müh. Hülya SEMERCİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14 / 06 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.  
Şeref SOYLU  
  
Jüri Başkanı

Doç.Dr.  
Zafer UTLU  
  
Üye

Yrd.Doç.Dr.  
Aliye Suna ERSES YAY  
  
Üye

## ÖNSÖZ

Günümüzde sürdürülebilir bir şehir içi ulaşımının sağlanabilmesi için şehir içi otobüsleri önemli bir alternatiftir ancak caddelerde hava kirliliğini minimize edebilecek donanıma sahip olmaları da yaygın kullanım açısından son derece önemlidir. Hava kirliliğini minimize etmek için getirilen emisyon standartları ve fosil yakıtlarının giderek azalmasından dolayı hibrit taşıtlar üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir. Hibrit taşıtlar hem yakıt tasarrufu hem de emisyonların minimizasyonu açısından büyük avantaj sağlayan alternatif taşıtlardır.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi koordinatörlüğü, TEMSA ve Sanayi ve Ticaret Bakanlığı desteği ile gerçekleştirilen “Hibrit Otobüs Seyir Hali Emisyonlarının Ölçüm Ve Modellenmesi” San-Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmam boyunca danışmanlığımı yürüten, her açıdan yardım, fikir ve desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Şeref SOYLU' ya...

Çalışmam sırasında teknik desteği ve yardımı sağlayan TEMSA Global mühendis ve çalışanlarına...

Bugüne kadar her türlü maddi, manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan çok değerli aileme ve her türlü destek, yardım ve anlayışları için Ayda BAL'A ayrı ayrı sonsuz teşekkürleri borç bilirim...

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL KAVRAMLAR.....	7
2.1. Dizel Motorlar.....	7
2.1.1. Dizel motorların tarihi gelişimi.....	7
2.1.2. Dizel motorların çalışma ilkeleri.....	8
2.1.2.1. Emme zamanı.....	8
2.1.2.2. Sıkıştırma zamanı.....	9
2.1.2.3. İş zamanı .....	10
2.1.2.4. Egzoz zamanı.....	10
2.2. Dizel Motorlarda Yanma Prosesi.....	11
2.3. Emisyonlar.....	12
2.3.1. Partikül maddeler (PM) .....	12
2.3.2. Azot oksitler (NOx) .....	13
2.3.3. Karbon monoksit (CO) .....	14
2.3.4. Hidrokarbonlar (HC) .....	14

2.4. Emisyonların Sağlık Üzerine Etkisi.....	15
2.5. Emisyon Standartları.....	15
2.6. Emisyon Kontrol Sistemleri.....	16
2.6.1. Seçici katalitik indirgeme (SCR) .....	17
2.6.2. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR).....	18
2.6.3. Hidrokarbonlarla seçici indirgeme.....	19
2.6.4. Lean-NO <sub>x</sub> katalizörleri.....	20
2.6.5. Dizel partikül filtre (DPF) .....	20
2.6.5.1. Aktif yöntem .....	22
2.6.5.2. Pasif sistem.....	22
2.6.6. Dizel oksidasyon katalisti (DOC).....	22
2.6.7. Arıza teşhis sistemi (OBD).....	23
2.7. Hibrit Taşıtlar.....	25
2.7.1. Sistem tipine göre.....	26
2.7.1.1. Mikro hibrit araçlar.....	26
2.7.1.2. Hafif hibrit araçlar.....	26
2.7.1.3. Tam hibrit araçlar.....	26
2.7.2. Tasarımına göre.....	26
2.7.2.1. Seri hibrit .....	26
2.7.2.2. Paralel hibrit.....	27
2.7.2.3. Seri-paralel hibrit.....	28
2.7.3. Hibrit taşıtların avantajları.....	28
2.8. İvmelenme.....	29
2.8.1. Enerji depolama.....	29
2.8.1.1. Bataryalar .....	29
2.8.1.2. Ultrakapasitörler.....	30
2.8.1.3. Volan.....	30
2.9. Ağır Ticari Taşıtlar İçin Tip Onay Testleri.....	30
2.9.1. Avrupa sabit çevrimi (ESC).....	31
2.9.2. Avrupa değişken çevrimi (ETC).....	31
2.9.3. Avrupa yük tepkisi testi (ELR).....	32
2.9.4. Dünya harmonize edilmiş değişken çevrimi (WHTC).....	33

2.10. Seyir Hali Emisyon Ölçüm Sistemleri.....	33
BÖLÜM 3.	
MATERYAL ve METOT.....	35
3.1. Test Sistemi.....	35
3.2. Test Hatları.....	36
3.3. Test Özellikleri.....	37
3.4. Taşıt Özellikleri .....	38
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	39
4.1. Hız-yükseklik profilleri ve otobüsün ivmelenme-hız haritalarına etkileri.....	39
4.2. Motor hızı ve motor yükü frekans haritaları .....	45
4.3. Hibrit sistem güç aktarma organları karakteristiği, yakıt ekonomisi ve emisyonlar.....	49
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
CH <sub>4</sub>	: Metan
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
DOC	: Dizel Oksidasyon Katalisti
DPF	: Dizel Partikül Filtre
EGR	: Egzoz Gaz Resirkilasyonu
ELR	: Avrupa Yük Tepkisi Testi
ESC	: Avrupa Sabit Çevrimi
ETC	: Avrupa Değişken Çevrimi
FID	: Alev İyonlaştırma Detektörü
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
HC	: Hidrokarbonlar
H <sub>2</sub> O	: Su
HEV	: Hibrit Elektrik Taşıt
İYM	: İçten Yanmalı Motor
NDIR	: Kızılötesi Absorpsiyon Teknolojisi
NDUV	: Morötesi Absorpsiyon Teknolojisi
NH <sub>3</sub>	: Amonyak
NO	: Azot monoksit
NO <sub>2</sub>	: Azot dioksit
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
OBD	: Arıza Teşhis Sistemi
PM	: Partikül Madde

- PN : Partikül Madde Sayısı  
PEMS : Taşımlabilir Emisyon Ölçüm Sistemleri  
SAÜ : Sakarya Üniversitesi  
SCR : Seçici Katalitik İndirgeme  
SO<sub>x</sub> : Sülfür oksitler  
Ü.Ö.N : Üst Ölü Nokta  
VOC : Uçucu Organik Karbon  
WHTC : Dünya Harmonize Edilmiş Değişken Çevrimi



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dört zamanlı motorun çalışma aşamaları .....	8
Şekil 2.2.	Emme zamanında silindir içindeki durum .....	9
Şekil 2.3.	Sıkıştırma zamanında silindir içindeki durum .....	9
Şekil 2.4.	İş zamanında silindir içindeki durum.....	10
Şekil 2.5.	Egzoz zamanında silindir içindeki durum .....	11
Şekil 2.6.	PM emisyonlarının yapısı .....	12
Şekil 2.7.	SCR çalışma mekanizması.....	17
Şekil.2.8.	EGR çalışma prensibi .....	19
Şekil 2.9.	DPF filtre sistemi .....	21
Şekil 2.10.	Dizel partikül filtreleri.....	21
Şekil 2.11.	Dizel oksidasyon katalistinın şematik şekli.....	23
Şekil 2.12.	Seri hibrit akım şeması .....	27
Şekil 2.13.	Paralel hibrit akım şeması .....	27
Şekil 2.14.	Seri-paralel hibrit akım şeması .....	28
Şekil 2.15.	ESC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi.....	31
Şekil 2.16.	ETC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi .....	32
Şekil 2.17.	ELR sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi .....	32
Şekil 2.18.	WHTC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi .....	33
Şekil 3.1.	PEMS cihazının görünümü .....	35
Şekil 3.2.	32 Evler, Karaman ve SAÜ Kampus hatlarının uydu görüntüsü.....	36
Şekil 3.3.	Temsa Avenue Hibrit Otobüs .....	38
Şekil 4.1.a.	Karaman-gidiş hız-yükseklik profili .....	39
Şekil 4.1.b.	Karaman-dönüş hız-yükseklik profili .....	40
Şekil 4.1.c.	SAÜ Kampus-gidiş hız-yükseklik profili .....	40
Şekil 4.1.d.	SAÜ Kampus-dönüş hız-yükseklik profili.....	40
Şekil 4.1.e.	32 Evler-gidiş hız-yükseklik profili .....	41

Şekil 4.1.f. 32 Evler-dönüş hız-yükseklik profili .....	41
Şekil 4.2.a. Karaman-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası .....	42
Şekil 4.2.b. Karaman-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası.....	43
Şekil 4.2.c. SAÜ Kampus-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası .....	43
Şekil 4.2.d. SAÜ Kampus-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası.....	43
Şekil 4.2.e. 32 Evler-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası .....	44
Şekil 4.2.f. 32 Evler-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası .....	44
Şekil 4.3.a. Karaman-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası.....	46
Şekil 4.3.b. Karaman-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası.....	46
Şekil 4.3.c. SAÜ Kampus-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası.....	47
Şekil 4.3.d. SAÜ Kampus-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası.....	47
Şekil 4.3.e. 32 Evler-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası.....	48
Şekil 4.3.f. 32 Evler-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası .....	48
Şekil 4.4.a. Karaman-gidiş sıcaklık haritası.....	53
Şekil 4.4.b. Karaman-dönüş sıcaklık haritası .....	53
Şekil 4.4.c. SAÜ Kampus-gidiş sıcaklık haritası .....	54
Şekil 4.4.d. SAÜ Kampus-dönüş sıcaklık haritası .....	54
Şekil 4.4.e. 32 Evler-gidiş sıcaklık haritası.....	55
Şekil 4.4.f. 32 Evler-dönüş sıcaklık haritası.....	55
Şekil 4.5.a. Karaman-gidiş NO <sub>x</sub> emisyon haritası.....	56
Şekil 4.5.b. Karaman-dönüş NO <sub>x</sub> emisyon haritası .....	57
Şekil 4.5.c. SAÜ Kampus-gidiş NO <sub>x</sub> emisyon haritası .....	57
Şekil 4.5.d. SAÜ Kampus-dönüş NO <sub>x</sub> emisyon haritası .....	58
Şekil 4.5.e. 32 Evler-gidiş NO <sub>x</sub> emisyon haritası.....	58
Şekil 4.5.f. 32 Evler-dönüş NO <sub>x</sub> emisyon haritası.....	59

## **TABLolar LİSTESİ**

Tablo 2.1. Ağır-ticari taşıtlar için EURO standartları .....	16
Tablo 3.1. Hatların temel yol karakteristikleri .....	37
Tablo 4.1. Enerji kazanımı, yakıt tasarrufu ve emisyon miktarları.....	51

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Enerji Kazanımı, Yakıt Tasarrufu, Hibrit Otobüs, Gerçek Dünya Emisyonları

Hibrit otobüsler rejeneratif frenleme sistemi sayesinde yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından büyük avantaja sahiptir. Bu avantajlar şehir içi sürüş koşullarında ortalama hıza, dur-kalk sayısına ve yükseklik değişime bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple bu çalışmada Sakarya Büyükşehir Belediyesine ait 3 farklı belediye otobüsü hattında gerçek dünya sürüş koşullarında TEMSA AVENUE hibrit otobüsün emisyonları ve yakıt tüketimi incelenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. 3 farklı hatta test analizlerin ayrıntılı incelenmesi için hatlar gidiş ve dönüş olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Hatlar ortalama hız, dur-kalk sayısı ve yükseklik değişimi açısından farklı karakteristikleri sahiptir. Ortalama hız 17 km/h ile 30 km/h aralığında değişirken, km başına dur-kalk sayısı 2 ile 4 arasında değişmektedir. Yükseklik ise 33 m ile 188 m arasında değişmektedir. Çalışmada yakıt tasarrufunun önemli ölçüde hat karakteristiğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle ortalama hızın yüksek olduğu Karaman hattında enerji kazanımı ve yakıt tasarrufu 32 Evler ve SAÜ Kampus hatlarına göre daha fazladır. Emisyonlar incelendiğinde, Karaman hattında oluşan  $NO_x$  değerleri diğer hatların  $NO_x$  değerlerinden oldukça düşüktür. Karaman gidiş ve dönüş hatlarında  $NO_x$  değerleri sırasıyla 1.7 g/kW-h ve 2.8 g/kW-h'dir. Maksimum  $NO_x$  değeri ise 5.7 g/kW-h olup SAÜ Kampus-dönüş hattında gözlemlenmiştir.

# **EXAMINATION OF A HYBRID CITY BUS FUEL ECONOMY AND REAL WORLD EMISSIONS UNDER URBAN DRIVING CONDITIONS**

## **SUMMARY**

Key words: Energy Gain, Fuel Saving, Hybrid Bus, Real World Emissions

Because of its regenerative braking system, a hybrid city bus is highly beneficial in terms of fuel consumption and emissions. These benefits strongly depend on average speed, number of stop-and-go operations and change of the altitude under urban driving conditions. So, in this work, operating characteristics of TEMSA AVENUE hybrid bus, its energy consumption and its emissions were examined under real world urban driving conditions at three different bus routes belong to municipality busses in Sakarya. Routes were divided as go and return for detailed examination of test analysis.

The routes have different characteristics in terms of average speed ranged between 17 and 30 km/h, number of stop-and-go operations ranged between 2 and 4 per km travel, and the altitudes ranged from 33 to 188 m. It was observed that fuel saving strongly depends on the characteristics of the routes. Energy gain and fuel saving in Karaman route, had the highest average speed, was higher than 32 Evler and SAU Campus routes. When emissions were examined, NO<sub>x</sub> values of Karaman routes were relatively lower than other routes. NO<sub>x</sub> values were 1.7 g/kW-h and 2.8 g/kW-h in Karaman-go and Karaman return, respectively. Maximum NO<sub>x</sub> value was observed in SAU Campus-return route and this value were 5.7 g/kW-h.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hava kirliliği; insanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucu teneffüs edilen havanın bileşimindeki maddelerin konsantrasyonlarının normalin üzerine çıkması ile havanın doğal bileşiminin bozulmasıdır. Hava kirleticilerinin konsantrasyonlarındaki artış ile havanın kalitesi düşmekte, insan ve çevre sağlığı üzerine olumsuz etkilere neden olmaktadır. Endüstrileşmeye bağlı olarak gelişmiş ve gelişmekte olan her ülkede ulaştırmanın önemi artmaktadır. Maalesef ki ulaştırma, önemli ölçüde fosil yakıt tüketimine ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle motorlu taşıtlar hava kirliliğinin en önemli kaynağı haline gelmiştir.

Sürdürülebilir bir ulaşımın sağlanabilmesi için şehir otobüsleri önemli bir alternatiftir fakat bu otobüslerin temel yolcu ihtiyaçlarını konforlu bir şekilde karşılayabilmeleri ve caddelerde hava kirliliğini minimize edebilecek donanıma sahip olmaları da yaygın kullanım açısından son derece önemlidir. Şehir otobüsleri güç kaynağı olarak genellikle dizel motorları kullanmaktadır ve motorun temel yanma ürünleri olarak atmosfere CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> yaymaktadırlar. Fosil yakıtlarının kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit gibi emisyonlar atmosferde sera etkisine neden olmakta ve dünya iklimini değiştirmektedir.

Şehir otobüsleri genel olarak nüfusun yoğun olduğu bölgelerde çalışmaktadırlar ve bu bölgelerde PM, NO<sub>x</sub>, CO ve HC gibi insan sağlığına zararı çok fazla olan emisyonları havaya vermektedir [1,2]. Normal trafik koşullarında bile havadaki emisyonlar insanlara ulaşmadan önce zararsız konsantrasyon seviyesinde olacak şekilde seyreltilmesi için yeterli zaman bulunmamasından dolayı birçok hastalığa neden olmaktadır.

Emisyonların düşük konsantrasyonuna maruz kalınması durumunda dahi kardiyovasküler ve solunum yolları rahatsızlığına, astıma, çocuklarda akciğer

gelişiminde bozukluğa, bebek ölümlerine ve kanser gibi daha birçok rahatsızlığa neden olduğu yapılan literatür çalışmalarından bilinmektedir [3,4,5]. Bu nedenle, yetkililer için toplu ulaşırmada çevre dostu şehir otobüslerini kullanmak çok önemlidir. Avrupa Komisyonu tarafından 21 Eylül 2005 tarihinde Avrupa Birliği hava kalitesi hedeflerine ulaşmada ulaşırmaya kaynaklı emisyonları azaltmak için sürdürülebilir çalışmaların gerektiği bildirilmiştir [6].

Şehir otobüslerinden kaynaklanan kirleticilerin emisyonları yanma teknolojilerine, emisyon katalizörlerine, yakıt miktarına, otobüsün yaşına ve ayrıca otobüs kullanım koşullarına bağlı olduğu yapılan araştırma çalışmaları ile belirlenmiştir [7,8].

Özellikle otobüs kullanım koşulları emisyonlara önemli derecede etki etmektedirler. Emisyonların miktarı sık sık tekrarlanan ivmelenme, yavaşlama, düşük hız, farklı yol eğimi gibi yol ve trafik şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Şehir operasyon koşulları her şehirde oldukça farklılık göstermekte ve kullanılan tip onay test çevrimleri bu koşulları temsil edememektedir. Bu nedenle ağır ticari taşıtlar için Euro 6 emisyon standartları çevrim dışı ve gerçek dünya emisyonlarını belirleyebilen taşınabilir emisyon ölçüm sistemlerinin kullanılması (PEMS) gerektiğini vurgulamaktadır [9].

PEMS yolculuk esnasındaki emisyonları ölçebilmesinden ve kolaylıkla kurulabilmesinden dolayı gerçek dünya koşullarındaki ölçümler için en önemli yöntem olarak görülmektedir.

PEMS ve yardımcı sistemleri ile taşıtların kullanım koşulları, yolun etkileri, motor yanma teknolojileri, emisyon katalizörlerinin performansı, motorun operasyon karakteristikleri ve egzoz emisyonlarının incelenmesi mümkündür. Bu sistemler taşıtın bulunduğu coğrafi konumu, çevre sıcaklığı ve nemi, yakıt tüketimi, motor hızı ve yükü ve ayrıca taşıt hızı için saniyelik datalar toplanabilmektedir. Bu yüzden PEMS kullanarak özel hatlarda taşıt ve motor optimizasyonu yapılabilir. Yerel yönetimlerin ulaşırmada kullanılan özel yollarda global ve lokal emisyonların minimize edilmesinde en uygun taşıt seçilirken PEMS çok büyük rol oynamaktadır.

PEMS'in diğer bir avantajı, Euro 6'nın istediği ulaştırma kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini belirlerken, PEMS ile hesaplanan emisyon faktörlerinin büyük oranda doğruluk sağladıkları için bu olumsuz etkiler doğru belirlenmiş olmaktadır [10-12].

Emisyon standartlarına uyum için ağır ticari taşıtların motorları piyasaya sürülmeden önce laboratuarlarda tip onay test çevrimlerine göre test edilmektedir ve emisyonlarının ilgili sınır değerlerin altında olması sağlanmaktadır. Buna rağmen, gelişmiş ülkelerin çoğunda hala şehir içi nüfusu ulaştırma kaynaklı emisyonlardan etkilenmektedir [13]. Bu etkilerin en önemli nedenlerinden biri kabul edilen tip onay test çevrimlerinin taşıtın güncel kullanım koşullarıyla uyum göstermemesidir [14]. Bundan dolayı şehir içi caddelerde salınan emisyonlarının miktarı emisyon standartlarındaki iyileşmeler ile paralel olarak azalmamaktadır [15].

Diğer bir yandan, taşıt üreticileri emisyon standartlarında belirtilen sınır değerlere uyumu sağlamak ve yakıt tüketimini azaltmak için hibrit taşıtlar gibi alternatif taşıtlara yönelmiştir. Günümüzde, hibrit taşıtlar konvansiyonel taşıtlara göre emisyon ve yakıt tüketimi açısından gelecek vaat etmesinden dolayı üzerinde oldukça çok durulan bir konu olmuştur. Hibrit taşıtlar rejeneratif frenleme sayesinde hem yakıt tüketimini hem de emisyonları minimize edebilmektedir. Rejeneratif frenleme esnasında depolanan enerjinin ivmelenme anında kullanılması ile kullanılan yakıt miktarı azaltılabilmektedir. Hibrit taşıtlar hem elektrikli taşıtların hemde konvansiyonel taşıtların özelliklerini taşıdığı için elektrikli taşıtlara geçiş dönemi için önemli bir alternatiftir çünkü elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motorlarının maliyetinin yüksek olması, dolum istasyonlarının her yerde bulunmaması ve tam şarj edilmiş bir batarya ile seyahat mesafesinin en fazla 100-150km.'yi geçmemesinden dolayı elektrikli taşıtların günümüzde yaygın olarak kullanılma potansiyeli oldukça sınırlıdır [16].

Hibrit taşıtların emisyon ve yakıt ekonomisi avantajlarını belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır.



Mierlo ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada hibrit, elektrik ve yakıt hücreli taşıtların batarya, enerji yönünden performans karşılaştırması yapılmıştır. Elektrikli taşıtlar aynı özellikte konvansiyonel taşıtla karşılaştırıldığında %40-50 oranında enerji tasarrufu sağlanırken, hibrit taşıtta bu değer %30-40 oranında hesaplanmıştır. Hibrit teknolojilerin özellikle şehir içi otobüs gibi ağır ticari taşıtlarda avantaj sağladığı ve hem enerji tüketimi hem de trafik kaynaklı emisyonlarda %20-30 oranında bir azalma sağlandığı belirlenmiştir [17].

Wall ve arkadaşları ise şehir içi otobüs filosunun emisyon etkilerini azaltmak için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Belirli rotalarda 2003-2004 yıllarında 2 hafta boyunca 2 farklı dizel/elektrik hibrit otobüslerin kullanımı, 13 yeni Euro III otobüs alınması ve 10 tane Euro I otobüsün Euro III standardına yükseltilmesi gibi farklı önlemler uygulanmaktadır. Otobüslerin Euro I'den Euro III standardına yükseltilmesi önemiyle NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, CO ve HC emisyonlarında sırasıyla %47, %64, %50 ve %56 oranında bir azalma sağlanmıştır. Aynı zamanda 2 farklı hibrit otobüs aynı rotada 1 haftalık periyotta çalıştırılmış ve yolcu memnuniyet anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Anket çalışmalarına çoğunlukla 34 yaş altı yolcular katılmış ve konvansiyonel taşıtlara göre hem daha konforlu hem de sessiz olduğunu belirtmektedir [18].

Çin'de gerçekleştirilen bir çalışmada ise 12 m seri-paralel hibrit otobüsün transit Çin transit otobüs sürüş çevrimi kullanılarak enerji tüketimi belirlenmiştir. Hibrit otobüs aynı özellikte konvansiyonel otobüsle karşılaştırıldığında enerji tüketiminde %30,3 oranında bir azalma sağlamaktadır. Hibrit otobüs 100km'de 28.05 L dizel yakıt kullanırken konvansiyonel otobüste bu değer 42 L'ye ulaştığı belirlenmiştir [19].

Erlandsson ve arkadaşları tarafından İsveç Yol Yönetimi sponsorluğunda ağır ticari taşıtlar için test programı gerçekleştirilmiştir. Test programının amacı ağır ticari taşıtlar için gerçek dünya emisyon faktörlerini geliştirmektir. Test programı şasi dinamometre testinin yanı sıra ortalama hızın yaklaşık 60 km/h olduğu şehir içi, kırsal ve otoyol sürüşlerinden oluşan referans rotasında ve gerçek otobüs rotasında 3 farklı taşıt üreticisine ait Euro IV-V şehir otobüslerinin yol testlerini içermektedir. Gerçek otobüs rotasında, otobüsün çalışma koşullarının emisyon kontrol sisteminin

performansını etkilediği belirlenmiştir. Özellikle NO<sub>x</sub> emisyonları referans rotasının NO<sub>x</sub> emisyonları ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Ayrıca, düşük egzoz sıcaklığı ve ortalama hız koşullarında PEMS ölçümü için NO<sub>x</sub> değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür [15].

Hellgren ise 2005 ve 2020 yılları için şehir otobüsü, otomobil ve şehir içi otobüsün toplam işletme maliyetinin analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada 2020 yılında elektrik, hibrit veya yakıt hücreli taşıtların konvansiyonel taşıtlara göre maliyet açısından çok daha uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hibrit otobüsün konvansiyonel dizel otobüse göre %25 daha az yakıt tükettiği belirlenmiştir [20].

Gao ve arkadaşları New York'ta gerçekleştirilen bir çalışmada taksi filosunda yer alan konvansiyonel taşıtların hibrit elektrik taşıtlarla değiştirilmesi ile meydana gelecek emisyon etkileri değerlendirmiştir. 2006 yılında filoda 13087 taksinin 283 tanesi hibrit taksiden oluşmaktadır. Bu çalışmada bu sayı artırılarak gelecek 5 yıl sonunda filodaki hibrit taşıt oranı %9.35 olurken, CO<sub>2</sub> emisyonunda günümüze göre %2.29, CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %1.45, %1.12,% 1.70 oranında azalma sağlanabileceği belirlenmiştir [21].

CTTransit tarafından hibrit dizel elektrik otobüsün yakıt ekonomisi ve emisyon performansını değerlendirmek için bir proje yapılmıştır. Hibrit otobüsler konvansiyonel otobüslerle karşılaştırıldığında daha güvenilir ve ekonomiktir. Proje kapsamında hibrit otobüsün dizel otobüsten %10 daha iyi yakıt ekonomisine sahip olduğu gözlemlenmiştir [22].

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi koordinatörlüğü ve TEMSA ve Sanayi Bakanlığı desteği ile gerçekleştirilen "HİBRİT OTOBÜS SEYİR HALİ EMİSYONLARININ ÖLÇÜM VE MODELLENMESİ" San-Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında yapılan önceki çalışmalarda hibrit şehir içi otobüs emisyonlarının ve yakıt ekonomisinin otobüs hattının karakteristiğine ve sürüş koşullarına bağlı olduğu belirlenmiştir [23-25]. Bu çalışmada ise Sakarya Büyükşehir Belediyesine ait 3 farklı belediye otobüsü hattında gerçek dünya sürüş koşullarında Temsa Avenue seri hibrit otobüsün seyir hali emisyonları ve yakıt tüketimi incelenmiş ve

karşılaştırması yapılmıştır. Euro 6 regülasyonlarına uygun olarak gerçek dünya koşullarında yakıt ekonomisi, emisyon miktarı, enerji kazanımı, taşıt performansı seyir hali emisyon ölçüm sistemi ve SIEMENS SIADIS yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmada ilk önce içten yanmalı motorlar hakkında bilgi verilmiş ve oluşan emisyonlar ve kontrol yöntemleri vurgulanmıştır. Daha sonra hibrit sistemli taşıtlar incelenmiştir. Seyir hali emisyon ölçümlerinde kullanılan portatif emisyon ölçüm sistemlerinin özellikleri sunulmuş ve ivmelenme hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak Temsa Hibrit Avenue otobüsünde seyir hali emisyon ölçümleri gerçekleştirilerek gerçek dünya koşullarında taşıt performansının, yol, kullanım ve çevre koşullarının emisyon oluşumuna, yakıt tüketimine ve enerji kazanımına etkileri belirlenerek 3 farklı hatta elde edilen dataların analizleri ve karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

## **BÖLÜM 2. GENEL KAVRAMLAR**

### **2.1. Dizel Motorlar**

#### **2.1.1. Dizel motorların tarihi gelişimi**

Dizel motorların çalışma prensibi ilk olarak 1824 yılında Fransız mühendis Nicholas Leonard Sadi Carnot tarafından ortaya konuldu. “Carnot” çevriminde ortaya koyan Carnot’ un dizel motoru çalışma ilkelerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Yanmadan önce havanın sıkıştırılması: Carnot yanmanın atmosferik basınç yerine yüksek basınçlarda yapılmasını ve yakıtın sıkıştırma zamanı sonunda silindir içerisine gönderilmesini önerdi. Günümüzde kullanılan enjektörler bu temel ilkenin ürünü olarak kullanılmaktadır.

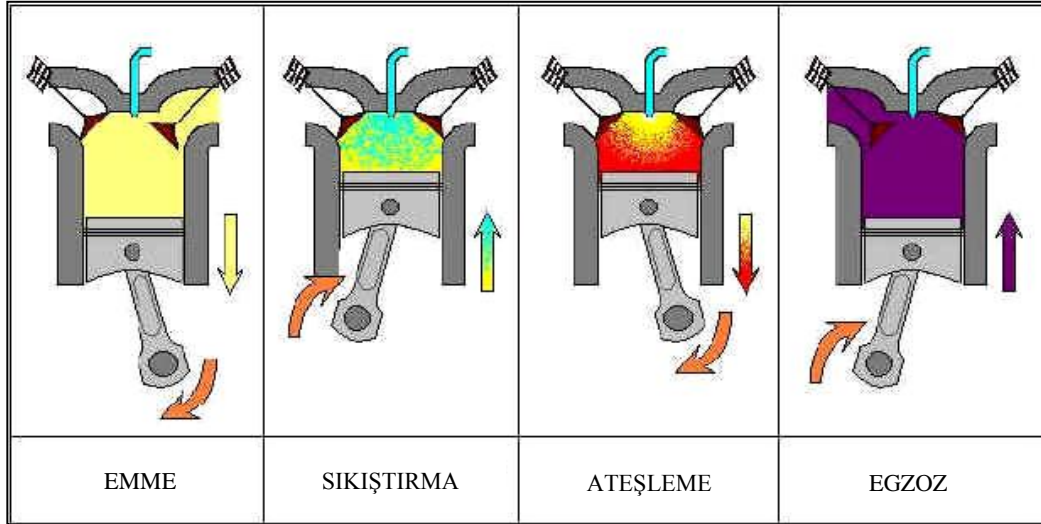
Silindirlerin soğutulması: Çevrimin sürekliliği için silindir duvarların soğutulması gerekliliği Carnot’un egzoz gazlarının ısılarından yararlanma düşüncesi ise uzun yıllar sonra gerçekleşme fırsatı bulmuştur.

1892 yılında Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından oksijen içeren bir gazın sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan dizel motorun patenti alınmıştır. Daha sonra 23 Şubat 1893 yılında patenti alınan bu süreç dizel çevrimi olarak bilinmektedir. 1897 yılında günümüzde kullanılan dizel motorların ilk örneği üretildi.

Dizel motorlar genel anlamda içten yanmalı motor (İYM) çeşitlerinden biridir. Dizel motorlarda, yakıtın kimyasal enerjisi silindirler içinde direkt olarak mekanik enerjiye dönüşmektedir.

### 2.1.1. Dizel motorların çalışma ilkeleri

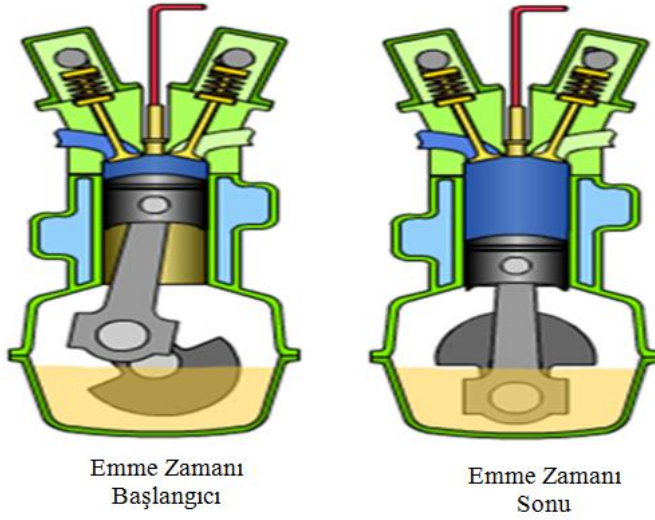
Dizel motorlar Şekil 2.1’de görüldüğü gibi emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz olmak üzere birbirini takip eden 4 zamandan oluşmaktadır.



Şekil 2.1. Dört Zamanlı Dizel Motorun Çalışma Aşamaları

#### 2.1.1.1. Emme zamanı

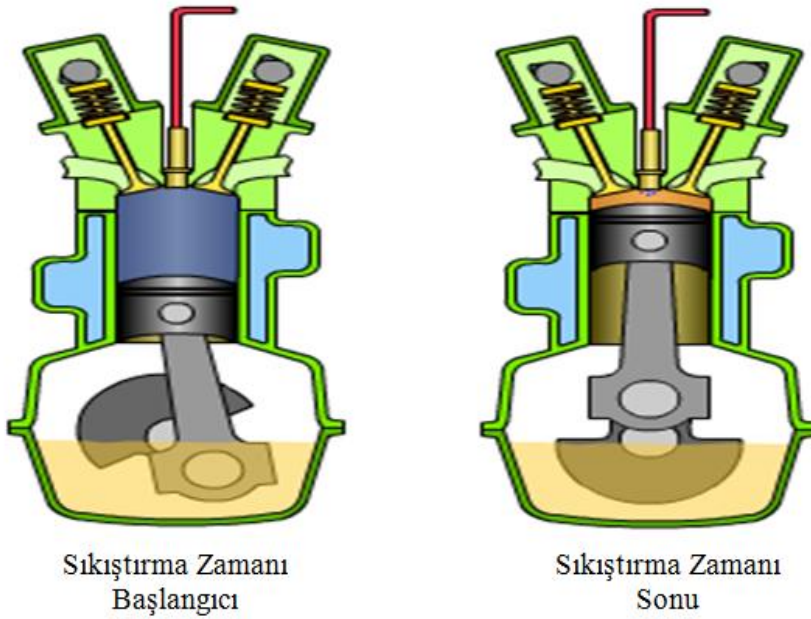
Şekil 2.2’de görüldüğü gibi pistonun A.Ö.N.ya doğru hareketiyle silindir içerisinde hacim büyümesi olacağından piston üzerinde bir alçak basınç meydana gelmektedir. Açık hava basıncının, 1 bar olması nedeniyle hava emme manifoldu ve emme supabı yolu ile silindire dolmaktadır. Emme zamanı sonunda silindir içindeki basınç 0,7 – 0,9 bar sıcaklık 80–120 °C piston A.Ö.N’ya indiği zaman emme supabı kapanmaktadır. Dizel motorlarda emme zamanında silindire sadece hava alınmaktadır. Böylece birinci zaman yani emme zamanı tamamlanmaktadır [26].



Şekil 2.2. Emme zamanında silindir içindeki durum

### 2.1.1.2. Sıkıştırma zamanı

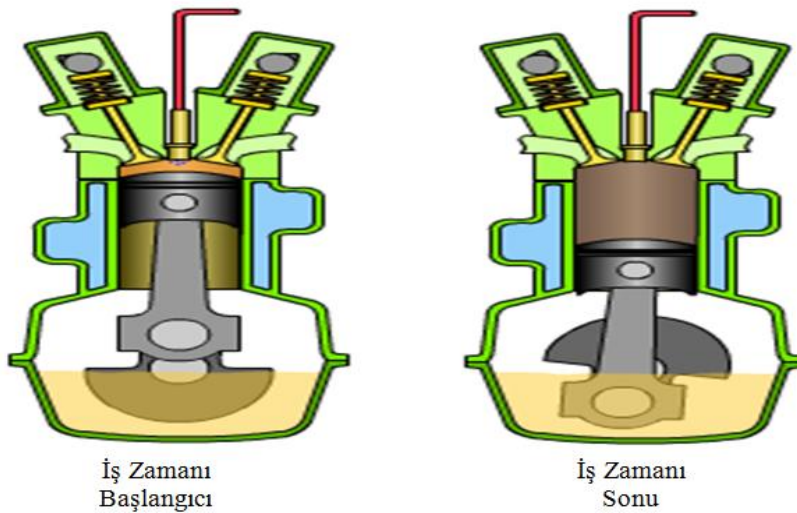
Şekil 2.3'de Piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru ilerlerken emme supabı kapanır ve piston, önündeki havayı sıkıştırmaya başlatmaktadır. Havanın sıkıştırılması neticesinde basınç ve sıcaklığı artmaktadır. Sıkıştırma zamanı sonunda silindir içersindeki havanın basıncı 30 – 45 bar, sıcaklığı ise 600 – 900 °C yükselmiş olacaktır [26].



Şekil 2.3. Sıkıştırma zamanında silindir içindeki durum

### 2.1.1.3. İş zamanı

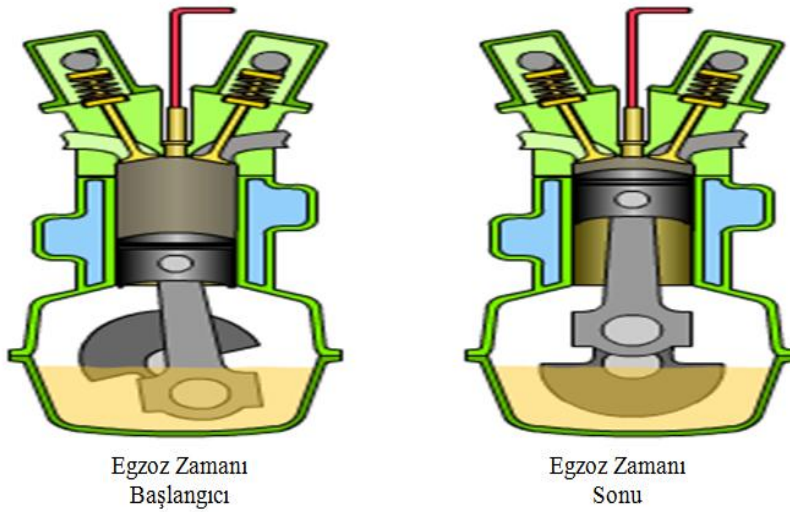
Sıkıştırma zamanının sonuna doğru sıkıştırmanın etkisi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı yükselen havaya yakıt atomize halde püskürtülmektedir. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi silindire püskürtülen yakıt belirli bir gecikme ile tutuşur ve yanma gerçekleşmektedir. Püskürtme işlemi piston üst ölü noktayı geçtiğinde de devam etmektedir. Dolayısı ile bu yanma genişleyen bir hacim içinde gerçekleşmektedir. Yanmanın etkisi ile birlikte sıcaklığı ve basıncı artan gazlar pistonu alt ölü noktaya doğru genişlemeye zorlamaktadır. Bu sırada silindir içindeki hacim büyümektedir. Artan bu hacim nedeni ile iş yapan gazların basınçları genişleme sonunda azalmaktadır. Yanma başladığında silindir içindeki sıcaklık 1800 - 2000 °C'dir [26].



Şekil 2.4. İş zamanından silindir içindeki durum

### 2.1.1.4. Egzoz zamanı

İş zamanı sonunda piston A.Ö.N'ya gelmiştir. Yeni bir çevrime başlayabilmek için silindirdeki yanmış gazların dışarıya atılması gerekmektedir. Şekil 2.5'de egzoz supabı açılır ve pistonun A.Ö.N'dan Ü.Ö.N'ya doğru hareket etmesiyle yanmış gazlar egzoz supabından dışarıya yani egzoz manifolduna gönderilir [26].

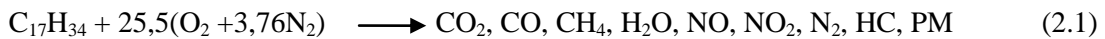


Şekil 2.5. Egzoz zamanında silindir içindeki durum

## 2.2. Dizel Motorlarda Yanma Prosesi

Yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir madde yakıt olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerji açığa çıktığı kimyasal reaksiyona ise yanma denilmektedir. Yanma için gerekli oksijen genellikle havayla sağlanmaktadır. Dizel yakıtı için gerçekte yüzlerce farklı molekülden oluşan motorini temsilen literatürde  $C_{17}H_{34}$  yakıtı kullanılmaktadır [27].

Motorin-hava karışımının yanması ile oluşan ürünler aşağıdaki denklemde sunulmuştur.



Bu yanma işlemi esnasında, reaksiyondan önce var olan maddelere reaksiyona girenler, reaksiyondan sonra var olan maddelere reaksiyondan çıkanlar veya yanma sonu ürünleri adı verilmektedir.

Kimyasal denklemler, kimyasal reaksiyon sırasında her elementin kütlelerinin sabit kaldığını belirten, kütle korunumu ilkesine göre dengelenmektedir. Bir yanma işleminde hava kütlelerinin yakıt kütlelerine oranı hava yakıt oranı olarak tanımlanmaktadır. Karbon ve hidrojen içeren bir yakıtın tamamen yanabilmesi için



gerekli olan oksijen miktarını teorik olarak hesaplanmaktadır. Bu değere “Stokiyometrik Oran” denilmektedir.

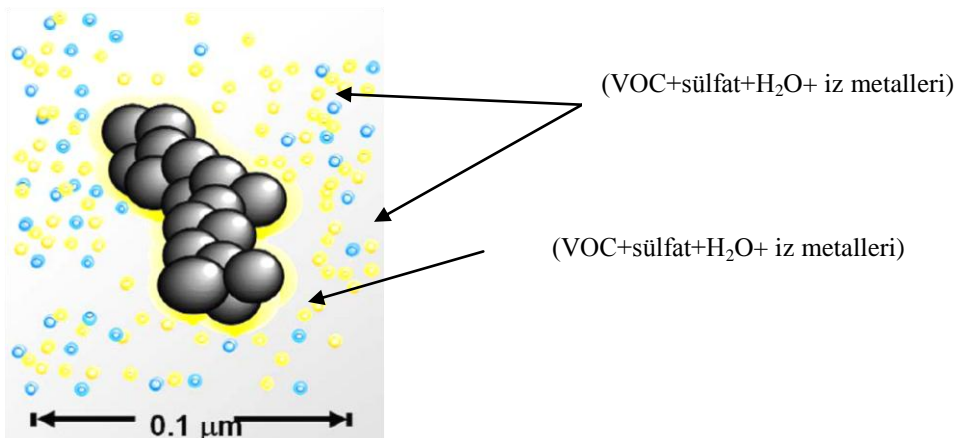
### 2.3. Emisyonlar

Dizel motorlarda yanma sonucu oluşan ve emisyon standartları ile kontrol altına alınması ve minimize edilmesi gereken emisyonlar şöyle sıralanabilir.

- Partikül madde (PM)
- Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)
- Karbon monoksit (CO)
- Hidrokarbonlar (HC)

#### 2.3.1. Partikül maddeler (PM)

Dizel motorlarda karışım oranı ve yanma stratejisi PM oluşumuna sebep olmaktadır. Oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması özellikle hidrojenlerin kolayca oksitlenmesi, karbonların ise oksitlenmeden ortamda çoğalmasında partikül maddenin çekirdeği oluşmaktadır. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi PM yapısı incelendiğinde oluşan çekirdek yapının etrafında VOC, sülfat, H<sub>2</sub>O ve iz metaller toplanarak partikül maddeyi oluşturmaktadır.



Şekil 2.6. PM emisyonlarının yapısı [28].

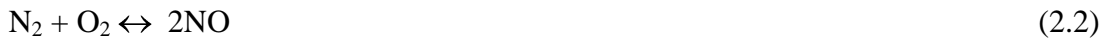
Yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulunmaz ise partikül maddeler egzozdan dışarı atılmaktadır.

### 2.3.2. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)

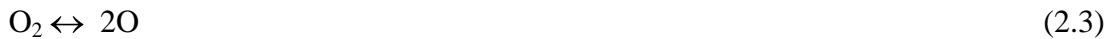
Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler oluşur. NO<sub>x</sub> içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucunda oksidasyon ile NO'nin bir kısmı NO<sub>2</sub>'ye dönüşmektedir. NO, NO<sub>2</sub> ve...NO<sub>n</sub> bir arada toplanarak NO<sub>x</sub>'leri oluşturmaktadır.

NO<sub>2</sub> keskin kokulu kırmızımsı-kahve rengi bir gazken, NO renksiz ve kokusuz bir gazdır. Her iki gazın zehirli olduğu düşünülmektedir fakat NO<sub>2</sub>'nin zehirlilik düzeyi NO'dan 5 kat daha büyüktür. NO<sub>2</sub> akciğer dokusunda hasara ve felce neden olabilmektedir [29].

NO<sub>x</sub> oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve oksijen miktarıdır. Eyzat ve Guibet tarafından belirlenen NO<sub>x</sub> oluşumunu tamamlayan ana denklem aşağıdaki 2.1 denkleminde gösterildiği gibidir.



Ancak bu reaksiyon olayı tam olarak tanımlamadığından Newhall ve Starkman tarafından NO oluşumu Zeldowich zincir reaksiyonu ile tanımlanmıştır [30].



Lavoie ise değiştirilmiş Zeldowich reaksiyonlarını kullanmıştır;





Annand da bu reaksiyonlara eklemeye bulunmuştur.



Alev bölgesinde oluşan NO oksijenle birleşerek aşağıdaki reaksiyonla atmosferde NO<sub>2</sub>'ye dönüşecektir.



### 2.3.3. Karbon monoksit (CO)

CO ortalama atmosferik ömrü yaklaşık 2,5 ay olan, kokusuz, renksiz, tatsız bir gazdır [31]. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının oksijen global olarak yetersiz olabileceği gibi karışımın tam olarak homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumda yerel olarak da oksijen yetersiz olabilir. Bu bölgelerde CO emisyonları oluşabilmektedir.

### 2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)

Karışımın zengin veya fakir olması HC emisyonlarının oluşumunu etkilemektedir. Motora giren yakıtın önemli bir kısmı, normal alev yayılım prosesi esnasında yanar. Alev yayılımının silindir çeperlerine ulaşmadığı alanlarda ve bu alanlarda sıcaklığın düşük olması nedeniyle yakıtın bir kısmı yanmadan kalır. Böylece silindir içinde okside olmayan yanmamış HC'lar silindir dışına atılır.

HC emisyonunun oluşumu daha çok enjeksiyon sistemine ve yanma odası tasarımına bağlıdır. Dizel motorlarının egzoz borusundaki, sıcaklık ve oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu durumlarda HC'lar oksidasyonlarını devam ettirmektedir.

## 2.4. Emisyonların Sağlık Üzerine Etkisi

Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına oluşturmaktadırlar. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyümektedir. Partiküllerde tehlike sınıfına girenler çapı 10  $\mu\text{m}$ 'den küçük olanlardır. Çünkü PM<sub>10</sub> sınıfındaki partiküller akciğerlere kadar kolayca ilerleyebilmektedir. Partiküllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri de çok önemlidir. Partikül haldeki bazı elementler ölümcül olabilir. Ayrıca Partikül maddeler nefes darlığına da yol açabilmektedir.

NO<sub>x</sub>'ler kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek ise nitrik asit oluştururlar. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır [10]. NO akciğerlerin çalışmasını bozarken mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi bulunmaktadır. NO<sub>2</sub>'in bulunduğu ortamlarda diğer emisyonların ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu emisyonlar arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığına olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir.

CO binde 3 sınır değerinde öldürücüdür. CO oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki O<sub>2</sub> yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin ve kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozukluğu meydana gelir. Kapalı bir ortamda çalışan bir otomobilin egzozundan çıkan CO ortamda bulunan insanları zehirler ve öldürür. HC emisyonlarının bazıları mukozada tahrişe yol açar, bazıları ise kanserojendir. HC ve NO<sub>x</sub> etkileşimi durumunda göz irritasyonunun arttığı gözlenmiştir.

## 2.5. Emisyon Standartları

Emisyonların sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla hükümetler tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda belirli emisyon standartları yürürlüğe girmiştir. Avrupa ve Türkiye'de hükümetlerce Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan Euro standartları ile emisyonlar kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Birçok ülkede dizel yakıtlı

ticari taşıtlar için emisyon standartları genellikle, 'Euro' standardı olarak temel alınır. Avrupa birliği ülkelerindeki bugünkü emisyon standartları Euro 5 seviyesindedir. 2013 yılında ise ağır ticari taşıtlar için Euro 6 standardı yürürlüğe girecektir. Ayrıca Euro 6 standardı ile partikül madde sayısına (PN)  $6 \times 10^{11}$ / km olacak şekilde bir sınır değeri getirileceği gündemdedir. Standartlar ile izin verilen kritik değerler, Tablo 2.1'de özetlenmektedir.

Tablo 2.1. Ağır-ticari taşıtlar için EURO standartları (g/kW-h) [32]

	Tarih	Test çevrimi	CO	HC	NOx	PM	
Euro 1	1992, <85kw	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612	
	1992, >85kw		4,5	1,1	8,0	0,36	
Euro 2	Ekim 1996		4,0	1,1	7,0	0,25	
	Ekim 1998		4,0	1,1	7,0	0,15	
Euro 3	Ekim 1999		ESC&ELR&ETC	1,0	0,25	2,0	0,02
	Ekim 2000		ESC&ELR&ETC	2,1	0,66	5,0	0,10 0,13
Euro 4	Ekim 2005	1,5		0,46	3,5	0,02	
Euro 5	Ekim 2008	1,5		0,46	2,0	0,02	
Euro 6	Ocak 2013	1,5		0,13	0,5	0,01	

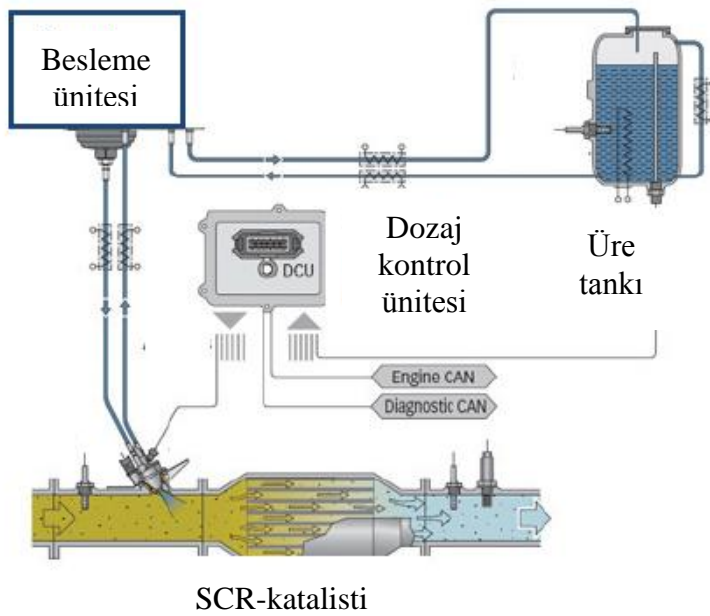
## 2.6. Emisyon Kontrol Sistemleri

2008 yılında kabul edilen Euro 5 standartlarında bulunan NOx için 2 g/kW-h ve PM için 0.02 g/kW-h ve 2013 yılında yürürlüğe girecek Euro 6 standartlarında bulunan NOx için 0,5 g/kW-h ve PM için 0.01 g/kW-h değerlerinin karşılanabilmesi için sadece motor yönetim sistemleri veya yanma sistemlerinin iyileştirilmesi yeterli olmamaktadır.

Bu nedenle standartlarda belirtilen kritik değerlere uyumu sağlamak için aşağıda yer alan emisyon kontrol sistemlerinin taşıtlarda kullanılması gerekmektedir.

### 2.6.1. Seçici katalitik indirgeme (SCR)

SCR çalışma prensibi genel olarak Şekil 2.7’de görüldüğü gibi bir indirgeyici katalizörden egzoz akışına karşı enjekte edilmesi şeklindedir. Katalizörde azot oksitler (NO<sub>x</sub>), enjekte edilen indirgeyici tarafından oluşan amonyak (NH<sub>3</sub>) ile azot (N<sub>2</sub>) ve suya (H<sub>2</sub>O) indirgenmektedir.



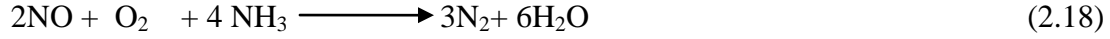
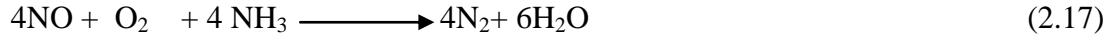
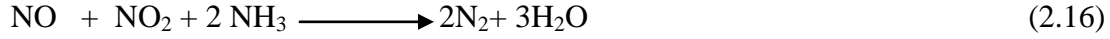
Şekil 2.7. SCR çalışma mekanizması

NH<sub>3</sub>, yüksek sıcaklıklarda üreden hidroliz ile oluşturulur. Bunun nedeni ise NH<sub>3</sub>'ün üreden daha az zararlı olmasıdır. NH<sub>3</sub> oluşum reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir [33].



Üre çözeltisi, parçalara bölündüğü ve sıcak egzoz gaz akışına enjekte edildiği zaman damlacıklar ısıtılır ve ilk olarak su buharlaştırılır. Daha sonra dizel egzozunda

NO<sub>x</sub>'in çoğunlukla NO'dan oluşmasından dolayı SCR reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir.



şeklinde ifade edilir.

SCR sisteminde kullanılan indirgeyicilerden en önemlisi ve etkin olanı üre çözeltilisidir ve üre piyasada Adblue şeklinde adlandırılmaktadır. Üre çözeltilisi %32,5 üre ve % 67,5 su karışımıdır. Bununla birlikte SCR sisteminde hidrokarbon (HC), bakır (Cu), gibi maddelerde indirgeyici olarak kullanılmaktadır. SCR sistemleri 200-600 °C sıcaklık aralıklarında kullanılabilir. SCR'nin bir ön oksidasyon katalisti, bir hidroliz katalisti ve bir oksidasyon katalisti ile birlikte kombinasyonu düşük yük ve sıcaklık şartlarında daha yüksek NO<sub>x</sub> azaltımı sağlayabilmektedir.

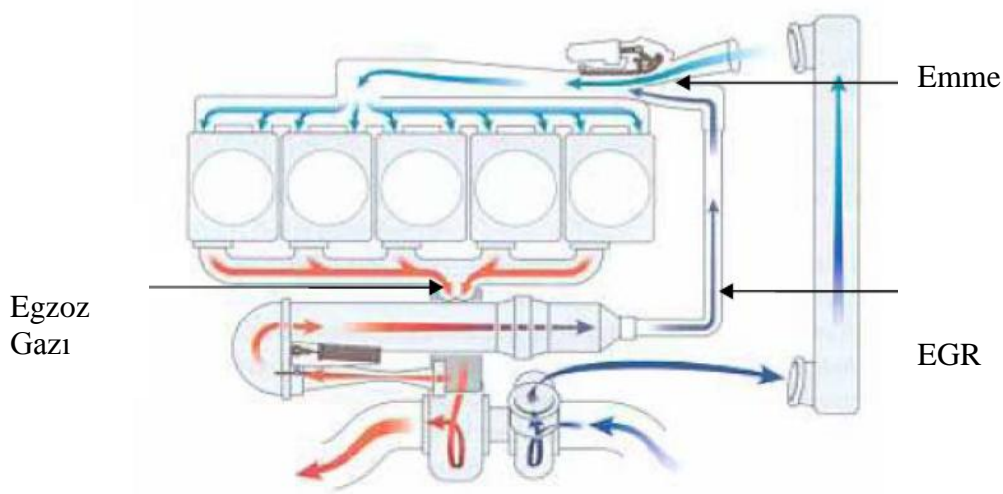
Katalizörler SCR prosesinin en önemli elemanlarıdır. Tipik katalizörler titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), vanadyum pentaoksit (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve tungsten trioksittir (WO<sub>3</sub>). Tungsten trioksit termal ve mekanik kararlılık sağlar. Titanyum dioksit işletme sıcaklıklarına en iyi uyum sağlayan katalizördür. Vanadyum pentaoksit yüksek aktivite ve seçiciliğe sahiptir, çok iyi reaksiyona girmekte ve işletme ömrü uzun olmaktadır.

SCR sistemi tüm Avrupa'da geçerli olup Euro 4 ve Euro 5'e uyumlu sistemlerdir. Yüksek motor gücüne elverişli olması sayesinde ağır ticari taşıtlarda kullanılmaktadır. Taşıt ömrü boyunca kullanılabilir.

### 2.6.2. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR)

Yanma sırasında oluşan NO<sub>x</sub> miktarı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Yanma odası içindeki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi sonucu maksimum yanma sıcaklıkları, dolayısıyla üretilen NO<sub>x</sub> miktarı azalmaktadır.

EGR sisteminde egzoz gazının bir bölümü, Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi silindire tekrar gönderildiğinde egzoz gazı seyreltici olarak görev yapar. Bu yanma zamanında  $O_2$  konsantrasyonunu azaltır. Oksijen konsantrasyon değişikliği alevin yapısını da değiştirir ve bu yüzden yanmanın süresini değiştirir. Ayrıca yanma odasındaki gazlarının özgül ısı kapasitesini yükselterek maksimum gaz sıcaklığı düşürmektedir. Bu durum yakıt ve oksijen moleküllerinin buluşup reaksiyona girme ihtimalini azaltır. Buna bağlı olarak reaksiyon hızı ve lokal alev sıcaklığı düşerek,  $NO_x$  oluşumunun azalmasına sebep olacaktır.



Şekil 2.8. EGR çalışma prensibi [34]

EGR'nin neden olduğu alev sıcaklığında ve  $O_2$  konsantrasyonundaki azalma, oksidasyon hızının azalmasına bunun sonucunda PM oluşumunun artmasına yol açar. EGR oranı arttıkça  $NO_x$  azaltılır fakat oksidasyon hızındaki azalmadan dolayı PM ve yakıt tüketimi artmaktadır. PM emisyonlarını azaltmak için EGR ile Dizel partikül filtre sisteminin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir [34].

### 2.6.3. Hidrokarbonlarla seçici indirgeme

Bu teknoloji bir katalizör üzerinde  $NO_x$  emisyonlarının indirgenmesinde hidrokarbonların kullanılmasını içermektedir. De- $NO_x$  katalizörü olarak da adlandırılmaktadır. Bakır gibi farklı geçiş metalleriyle iyon değişimi yapılmış zeolit katalizörler yaygın olarak kullanılmaktadır.  $NO_x$ 'lerin HC'lerle seçici



indirgenmesinde çeşitli metal oksitler, zeolit altlıklı değerli metal (Pt, Pd) ve bazı metal ( Cu, Fe, Co) katalizörler üzerinde yaygın olarak çalışılmaktadır.

Aktif ve pasif olmak üzere iki farklı sistem vardır. Pasif sistem NO<sub>x</sub>'leri indirmek için indirgeyiciler kullanılmaktadır. Dizel motor egzozu az miktarda HC içerdiğinden, bir pasif sistem yaklaşık %15 kadar NO<sub>x</sub>'i indirgeyebilir. Aktif sistem egzozu ilave HC gönderir. Bu iki şekilde olmaktadır. Birisi egzozu doğrudan dizel yakıtı püskürtmek, diğeri ise silindire egzoz zamanında dizel yakıtı püskürtmek şeklindedir. Aktif sistemler belli şartlarda %80'in üzerinde NO<sub>x</sub> indirgemesini başarabilmektedir. De-NO<sub>x</sub> katalizör sistemlerinin başlıca dezavantajı yüksek NO<sub>x</sub> indirgemesi için çok dar bir kullanım sıcaklığı aralığı olmasıdır [35].

#### **2.6.4. Lean-NO<sub>x</sub> Katalizörler (Fakir NO<sub>x</sub> Tutucular)**

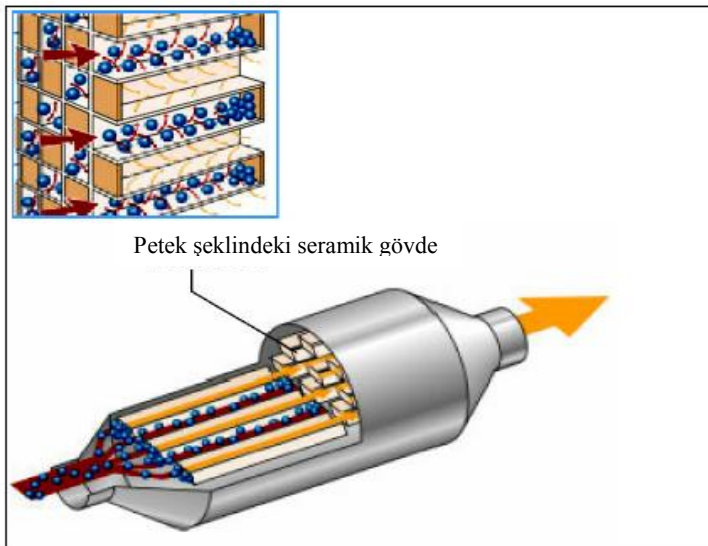
NO<sub>x</sub> tutucular fakir karışım şartlarındaki NO<sub>x</sub>'leri absorblar ve depolar. Tipik bir yaklaşım NO<sub>2</sub>'nin hızlı bir şekilde nitrat olarak depolanabilmesi için motora yakın yerleştirilmiş bir oksidasyon katalizörü kullanarak NO'ların NO<sub>2</sub>'ye dönüşümünü hızlandırmaktadır. NO<sub>x</sub> depolama elemanın fonksiyonu bir motorun fakir kullanım noktaları yoluyla belirlenmiş sıcaklık aralıkları içinde yeterince kararlı nitratlar oluşturabilecek malzemelerle yerine getirilebilir. Depolama malzemeleri kapasiteleri azaldığında rejenere edilmelidir. Katalizörün rejenerasyonu sonucunda kısa süreli zengin şartların periyodik olarak değişiminden sonra, depolanan NO<sub>x</sub> soy metal katalizör üzerinde HC, CO ve H<sub>2</sub> tarafından N<sub>2</sub>'ye indirgenmektedir. Bu teknolojiler kullanım sıcaklığı, sistem uygunluğu ve yakıtın kükürt içeriğine bağlı olarak %50'den %90'a varan NO<sub>x</sub> dönüşüm verimi sağlamaktadır [35].

#### **2.6.5. Dizel partikül filtre (DPF)**

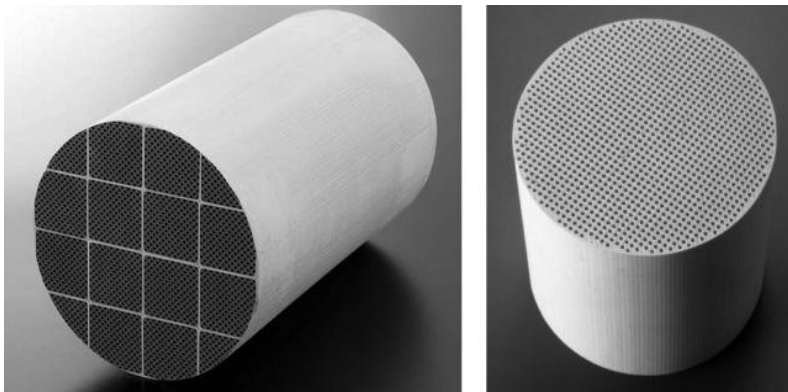
Dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarını minimize edecek yakıt enjeksiyon kontrol stratejisi maalesef ki partikül madde (PM) emisyonunu arttırmaktadır. Egzoz gazındaki PM'i oksitleyerek dışarı atılmasını engellemesi prensibi ile çalışan DPF PM kontrolünü sağlayan en etkin çözümdür.

Dizel partikül filtresi egzoz gazlarının sistem boyunca geçişine izin verirken katı ve sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmek için tasarlanıp egzozla yerleştirilmektedir.

Şekil 2.9’ da gösterilen 0,1 mikron genişliğindeki gözenekleri sayesinde çok yüksek verimlikte filtrasyon yapan Şekil 2.9’ da görüldüğü gibi filtre DPF sisteminin temelini oluşturmaktadır. Tek parça, metalik ve seramik filtre çeşitleri bulunmaktadır [36]. Günümüzde ticarileşmiş dizel partikül filtreleri Şekil 2.10’da görülen silikon karpit, kordierit veya metalden yapılmaktadır [37]. Egzoz gazının DPF’den geçip dışarıya atılması sırasında katı partiküller gözeneklerde birikmektedir.



Şekil 2.9. DPF filtre sistemi



Şekil 2.10. Dizel partikül filtreleri [37]

Dizel partikül filtreleri difüzyonal çöküntü, eylemsiz çöküntü veya akışı engelleme gibi derin yatak filtreleme mekanizmaları ve yüzey mekanizmalarının birleştirilmesiyle partikül madde emisyonlarını tutar.

DPF’de birikmiş olan PM’den dolayı fazla yakıt harcanmaması, motor ve filtrenin zarar görmemesi için PM emisyonlarının uzaklaştırılması gerekir. Filtreye biriken katı partiküllerin rejenerasyonu için iki yöntem vardır [37].

#### **2.6.5.1. Aktif yöntem**

Filtre edilen ve DPF’ nin içinde hapsedilen parçacıklar, filtrenin durumuna göre yaklaşık her 400-500 km de yakıt ilavesi yaparak yeniden yanma işlemi (550 °C) ile rejenere edilir. Pasif rejenerasyon sırasında katalizörde birikmiş olan kurum yavaş ve zarar vermeyecek bir şekilde CO<sub>2</sub>’ye dönüştürülür. Bu sistemler rejenerasyon için gerekli sıcaklığa ulaşmak için gerekli enerjiden dolayı yüksek yakıt ekonomisine sebep olabilir. Aktif rejenerasyon hızlı bir prosestir. Kontrol etmek için kompleks proses kontrolü ve bazı motor yönetim kontrolü gerekmektedir [37].

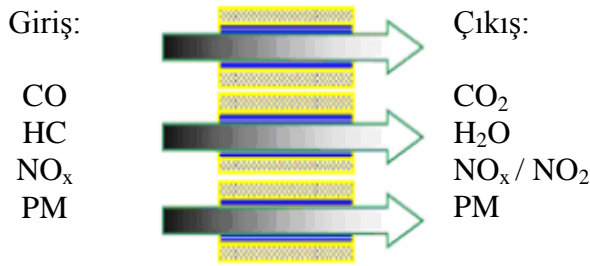
#### **2.6.5.2. Pasif yöntem**

Bu sistemde partikül katalitik konvertörle yanıp kül olmaktadır. Bunun için, dizel yakıtta seryum ve aktif demiri içeren katkı maddeleri normal egzoz gazı sıcaklığında partiküllerin yanabilirliğini azaltır. Pasif rejenerasyonda tutulan PM’nin yanması aracın normal kullanımını esnasında gerçekleşir [37].

#### **2.6.6. Dizel oksidasyon katalisti (DOC)**

Dizel oksidasyon katalisti CO, HC ve PM gibi egzozdan kaynaklanan kirleticilerin kontrolünde kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Dizel oksidasyon katalistleri genellikle boyuna akışlı, petek şeklinde altlık (metalik veya seramik), platin ve/veya paladyum gibi oksitleyici bir katalistle kaplanmıştır.

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi dizel oksidasyon katalistleri CO ve HC’nu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O’ya dönüştürür ve dizel partikül emisyonlarının kütlesini azaltır fakat azot oksitler üzerindeki etkisi azdır. Oksidasyon katalistleri CO ve HC emisyonlarındaki azalma sağlamasına ek olarak dizel egzozunun keskin kokusunu da ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte partikül sayısı değişmemekte ve aşırı ince partiküllerin etkisiyle ilgili sorunlar çözülmemektedir [37].



Şekil 2.11. Dizel oksidasyon katalistinin şematik şekli [37]

### 2.6.7. Arıza teşhis sistemi (OBD)

Arıza teşhis sistemi OBD (On-Board-Diagnose) yasal olarak ilk defa Amerika Birleşik Devletleri’nde kabul edilmiştir. Kaliforniya federal hükümeti hava kaynakları kurumu (California Air Resources Board, kısaca CARB) 1970 yılından bu yana, havadaki zararlı emisyon yükünü azaltmak için yasal düzenleme ile uğraşmaktadır. Bunun sonucunda da 1991 yılından itibaren tüm araçlarda OBD sistemini öngören bir OBD I sistemi oluşturulmuştur. 1996’dan sonra benzinli araçlarda ve 1997’den sonra da dizel araçlarda, geliştirilmiş OBD II’yi öngören bir yönerge daha zorunlu hale getirilmiştir.

Avrupa Birliği 13 Ekim 1998 tarihinde tüm üye ülkelerin Euro-On-Board-Diagnose (EOBD) kullanma zorunluluğunu getiren AB yönergesini kabul etmiştir. Dizel motorlu standart binek otomobiller 2004’ten itibaren bir EOBD ile donatılmaları zorunlu bırakılmıştır.

EOBD, egzoz gazı öncelikli yapı parçalarını, parça sistemlerini ve elektrikli bileşenlerini, bunların hatalı fonksiyonlarını veya devre dışı kalma durumlarını, tanımlanmış emisyon sınır değerlerini aşp aşmama konusunda dizel motorunun

kontrolünü sağlar. EOBD, ömür boyu kullanılan bir fonksiyondur dolayısıyla otomobil ömrünü uzatmalıdır. Euro 3 normunda belirtildiği gibi en az 80 000 km'lik sürüş performansında, egzoz gazı sınır değerlerine aşmamayı garanti etmelidir. 2005 yılında güçlendirilen Euro 4 normunda; EOBD, 100 000 km'lik sürüş performansına kadar egzoz emisyonlarını kusursuz biçimde gerçekleştirmelidir.

Genel olarak sistem aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1. Standart bir egzoz gazı uyarı lambası, MIL
2. Standart bir teşhis ara yüzü
3. Standart bir veri protokolüdür [38].

OBD sistemi, genel olarak ESC ve ETC sürüş çevrimi testlerine uygun olarak hazırlanmıştır. OBD I Euro 4 dizel motorlarda uygulanırken, OBD II Euro 5 dizel motorlarda ve gaz motorlarında uygulanabilmektedir. OBD, taşıtta meydana gelebilecek arızaları belirlemek veya arıza oluşum riskini minimize etmek için taşıt hızı, motor hızı, vites kullanımı, sıcaklık, basınç gibi çalışma parametrelerini ölçen cihazlardan oluşmaktadır. OBD I sistemi ile,

1. Emisyon azalmasını sağlamak için kullanılan katalistin verimliliğindeki azalışı
2. Katalistin emisyon giderimi
3. De-NO<sub>x</sub> sistemindeki verim azalışı
4. Dizel partikül sistemindeki verim azalışı
5. Alternatif olarak katalistte, De-NO<sub>x</sub> sisteminde ve partikül filtresinde oluşabilecek temel hatalar izlenebilmektedir.

OBD II sistemi OBD I sisteminde izlenen parametrelerin yanı sıra elektriksel bağlantı hatasını belirlemek için taşıtın elektriksel veya elektronik sistemi veya herhangi bir aktarım organı ile motor elektronik kontrol ünitesi (EECU) arasında ara yüzü izleme şansı vermektedir. Aynı zamanda, yakıt enjeksiyon sistem elektroniği ile yakıt miktarı izlenebilmektedir. OBD II'de yer alan motor NO<sub>x</sub> kontrol sistemi NO<sub>x</sub> seviyesi 1,5 g/kW-h değerinin üzerinde olması durumunda devreye girer ve NO<sub>x</sub> seviyesinin 7 g/kW-h değerini aşması durumunda tork sınırlaması meydana

gelmektedir.  $\text{NO}_x$  emisyon kontrolü için EGR kullanılıyorsa hava kütlesi-debisi, hava volumetrik hacim, sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmektedir.  $\text{NO}_x$  emisyon kontrolünde kullanılan bir indirgeyici kullanılıyorsa, tank içerisinde indirgeyici seviyesi ve tüketimi izlenebilmektedir. İndirgeyici olarak amonyak ( $\text{NH}_3$ ) kullanılıyorsa  $\text{NH}_3$ 'ün uygun sürüş çevrimine göre belirtilen 25 ppm sınır değeri aşıp aşmadığı izlenebilmektedir [9].

## 2.7. Hibrit Taşıtlar

Fosil yakıtların giderek azalması, hava kirliliğini azaltmak için uygulanan emisyon standartlarında belirtilen sınır değerlere uyumun sağlanması ve taşıt ekonomisinin iyileştirilmesi için taşıt üreticileri elektrikli taşıt veya hibrit taşıt gibi alternatif taşıtlara yönelmiş ve bu taşıtlarla ilgili çalışmalar günümüzde önem kazanmıştır.

Hibrit taşıtlar konvansiyonel taşıtlara göre emisyon ve yakıt tüketimi açısından gelecek vaat etmesinden dolayı üzerinde oldukça çok durulan bir konu olmuştur. Hibrit taşıtlar rejeneratif frenleme sayesinde hem yakıt tüketimini hem de emisyonları minimize edebilmektedir.

Rejeneratif frenleme sistemi sayesinde frenleme esnasında depolanan enerjinin ivmelenme anında kullanılması ile kullanılan yakıt miktarı azaltılabilmektedir. Hibrit taşıtlar hem elektrikli taşıtların hem de konvansiyonel taşıtların özelliklerini taşıdığı için elektrikli taşıtlara geçiş dönemi için önemli bir alternatiftir çünkü elektrikli taşıtlarda kullanılan elektrik motorlarının maliyetinin yüksek olması, dolun istasyonlarının her yerde bulunmaması ve tam şarj edilmiş bir batarya ile seyahat mesafesinin en fazla 100-150 km.'yi geçmemesinden dolayı elektrikli taşıtların günümüzde yaygın olarak kullanılmaya potansiyeli oldukça sınırlıdır [16].

Hibrit taşıtlar basit bir tanımla bataryalı elektrikli taşıtların motoru ile günümüzde kullanılan içten yanmalı motorların birleşimidir. Hibrit taşıtlar güçlerine ve tasarımlarına göre iki farklı sınıflandırmada bulunmaktadır [39].

### **2.7.1. Sistem tipine göre**

#### **2.7.1.1. Mikro hibrit taşıtlar**

Mikro hibrit taşıtlarda elektrik motoru bir kayış kasnak mekanizması ile içten yanmalı motora bağlanmaktadır. Taşıta konulan elektrik motoru, içten yanmalı motor rölanti devrinde iken motorun açılıp kapatılması için kullanılmaktadır.

#### **2.7.1.2. Hafif hibrit taşıtlar**

Hafif hibrit taşıtlarda elektrik motoru içten yanmalı motora destek verebilmektedir. Fakat bu taşıtlarda elektrik motoru aracı yalnız başına götürebilecek kadar güçlü değildir. Mikro hibritlerde olduğu gibi rejeneratif frenleme de bu tiplerde mevcuttur.

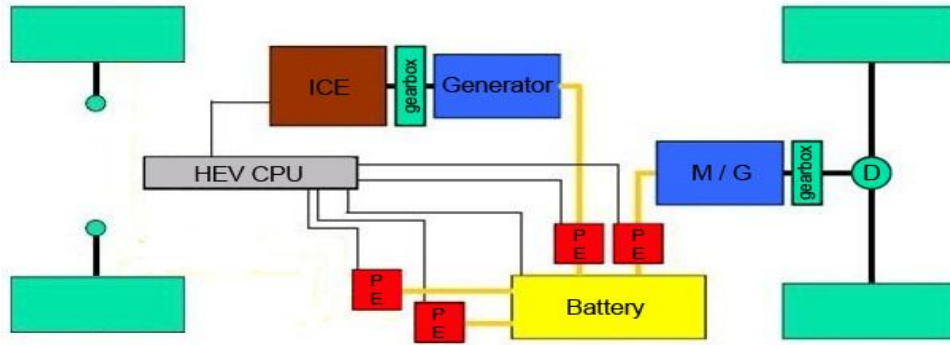
#### **2.7.1.3. Tam hibrit taşıtlar**

Hem seri hem de paralel hibrid araç özelliklerini gösterebilmektedir. Tam hibrit taşıtlarda, taşıt yalnızca elektrik motoru ile de sürülebilmektedir. Seyir hızına bağlı olarak tam hibrit taşıtlarda elektrik motoru taşıt yükünün bir kısmını ya da tamamını kendi başına sağlayabilir.

### **2.7.2. Tasarımına göre**

#### **2.7.2.1. Seri hibrit**

Seri hibrit teknolojinin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 2.12'de gösterilmektedir. Seri hibrit genel olarak elektrikle tahrik edilen bir aracın bataryalarını gerektiğinde taşıt üzerine monte edilmiş bir içten yanmalı motor ve jeneratör ikilisiyle şarj edilmesidir. İçten yanmalı motorun tekerleklerle mekanik bağlantısı yoktur. Elektrik motoruna enerji sağlamak ve elektrik depolama sistemini (bataryayı veya ultrakapasitörü) şarj etmektedir. İçten yanmalı motorun ürettiği enerji jeneratör tarafından elektrik enerjisine bu enerji ise elektrik motoru tarafından hareket enerjisine dönüştürülmektedir.

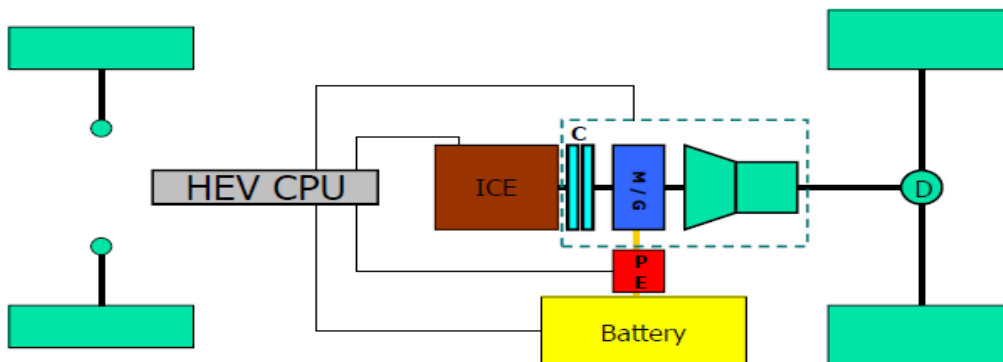


Şekil 2.12. Seri hibrit akım şeması

Seri hibrit taşıtlarda batarya şarjı, belirlenen alt eşikten aşağı düştüğünde içten yanmalı motor bataryayı şarj etmektedir. Taşıtlar yalnızca elektrik motoru ile sürüldüğü zamanlar için elektrik motoru ve batarya aracın performans gereksinimlerini karşılayacak kadar büyük boyutlarda olmalıdır. Diğer sistemlere göre, içten yanmalı motor mekanik olarak araç sistemine bağlı olmadığından, jeneratör ve İYM'nin yerleşimlerinde serbestlik vardır.

### 2.7.2.2. Paralel hibrit

Genel olarak taşıtlar üzerinde bulunan elektrik motoru hem elektrik motoru görevi hem de jeneratör olarak yapılmıştır. İçten yanmalı motorun tekerleklerle mekanik bir bağlantısı bulunmaktadır. Elektrik motoru ile içten yanmalı motor tek tek ya da birlikte çalışabilecek şekilde bağlanmıştır. İçten yanmalı motorun yetmediği durumlarda elektrik motoru, içten yanmalı motoru desteklemek için kullanılabilir.



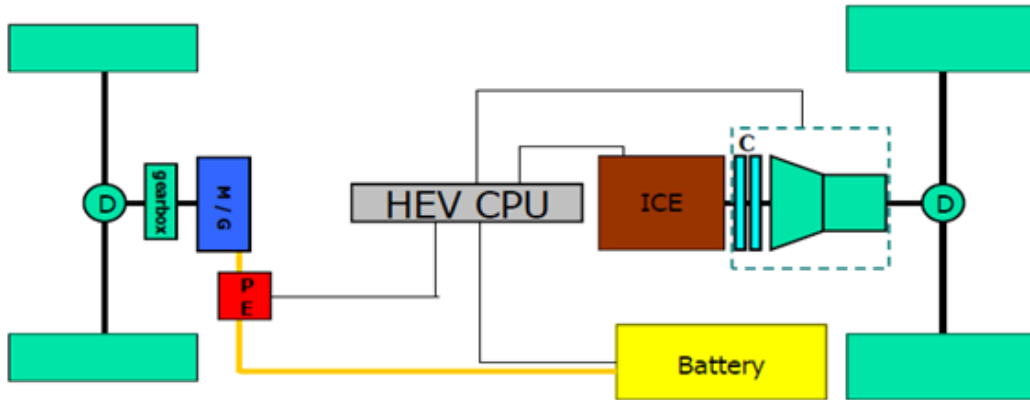
Şekil 2.13. Paralel hibrit akım şeması



Paralel hibrit sistem, diğer sistemlere göre daha küçük kapasiteli bataryalar kullanıldığı için şarj çoğunlukla rejeneratif frenleme sırasında yapılır. Buna ek olarak sürüş esnasında da elektrik motoru jeneratör gibi davranarak bataryaları şarj edebilmektedir. Daha küçük elektrik motoru ve bataryaların kullanılması paralel hibrit sistemin fiyatını diğer sistemlere göre daha düşük kılmaktadır. Fakat paralel hibrit taşıtların diğer sistemlere kıyasla güç yönetimi karmaşıktır.

### 2.7.2.3. Seri-paralel hibrit

Taşıtlar üzerinde biri jeneratör olarak kullanılmak üzere iki adet elektrik motoru vardır. İçten yanmalı motor jeneratör olarak elektrik motoru ve bataryayı şarj edebilmektedir. Sistemin ön tekerlekleri seri hibrit prensibi ile çalışırken, arka tekerlekleri paralel hibrit prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 2.14. Seri-paralel hibrit şeması

### 2.7.3. Hibrit taşıtların avantajları

Hibrit taşıtların yakıt ekonomisini iyileştirme ve emisyonları azaltma avantajlarının yanı sıra konvansiyonel taşıtlara göre birçok avantajı daha vardır. Bunlar;

1. Elektrik motoru ile hızlanma desteği
2. Tasarıma göre yokuş çıkma kabiliyetinde artış
3. Sessiz sürüş
4. Konfor ve lüks ihtiyaçları için gerekli elektrik enerjisinin sağlanabilmesi
5. Bazı ülkelerde vergi avantajı

6. Dört çekiş yapılanmalarında sportif sürüş
7. Araç kararlılık ve kontrol uzayının genişlemesi [39]

## 2.8. İvmelenme

İvmelenme, ivme kazanmak hareket eden bir nesnenin kısa bir zaman içinde, hızında meydana gelen değişimin bu zamana oranıdır. Hız kazanan bir cisim pozitif ivmelenme kazanırken, hız kaybeden bir cisim ise negatif şekilde ivmelenmektedir. Negatif ivmelenme taşıtlar için fren yapma durumudur. Motorlu araçlar durduğunda ise negatif ivmelenme biter ve ivmelenme boyunca ortaya çıkan enerji ısıya dönüşerek çevreye verilir. Negatif ivmelenme boyunca ısıya dönüşerek çevreye verilen bu enerji rejeneratif frenleme sistemi aracılığıyla taşıt üzerinde depolanıp pozitif ivmelenme anında kullanılabilirse taşıtlarda hem enerji kazanımı hem de yakıt ekonomisinde iyileştirme gerçekleştirilmiş olacaktır. Aynı zamanda emisyonların minimizasyonu da söz konusu olacaktır. Hibrit taşıtlarda temel olarak bu fikirden ortaya çıkmış alternatif taşıtlardır.

### 2.8.1. Enerji depolama

Enerji depolama sistemleri, güç talebi düşükken depolama, güç talebi fazla iken de deşarj olma yolu ile kullanıcıya bir esneklik sağlamaktadır. Enerji depolama sistemleri enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu ve enerji verimliliği açısından sınıflandırılabilir. Ayrıca, diğer bazı faktörlerde bunların kullanışlı olup olmasını etkiler. Öne çıkan enerji depolama sistemleri şunlardır:

#### 2.8.1.1. Bataryalar

Batarya enerji depolar ve aynı zamanda tahrik sistemine güç/enerji sağlar. Bataryalar, elektrokimyasal prensipler kullanılarak elektrik enerjisi depolar, doğal olarak spesifik enerji benzinden daha azdır. Elektrik motorlu taşıtlar için geliştirilen bataryalar çok büyük yol almış fakat hibrit motorlu taşıtlar için bir batarya geliştirilmemiştir.

### **2.8.1.2. Ultrakapasitörler (Çift katmanlı kapasitörler)**

Ultrakapasitörler, sıvı elektrolit içerisindeki çok yüksek yüzey alanına sahip karbon iki elektrot arasında elektrik depolayabilen bir teknolojidir.

Çift katmanlı kapasitörler diğer kapasitörlere nazaran çok yüksek bir enerji yoğunluğu için geliştirilmişlerdir. Ultrakapasitörler enerji depolama boyutları bakımından oldukça esnektirler ve değişik gerilim, güç aralığı ve yüklenen enerji içeriği değerlerine seri ve paralel bağlama yapılarak basit bir adaptasyon imkânı sağlarlar. Ultrakapasitör, uzun ömürlüdür; deşarj sırasında herhangi bir zorlama olmaksızın milyonlarca kez devir yapabilir.

### **2.8.1.3. Volan (Flywheel)**

Flywheel, dönen kütle üzerine temellenen bir elektromekanik enerji depolama sistemidir. Flywheel sistemleri yüksek enerji ve yüksek güç yoğunluğuna sahip karakteristiktirler ve bu durum bunları karayolu araçları için frenleme enerjisinin depolanmasında dikkat çekici bir teknoloji haline getirmiştir.

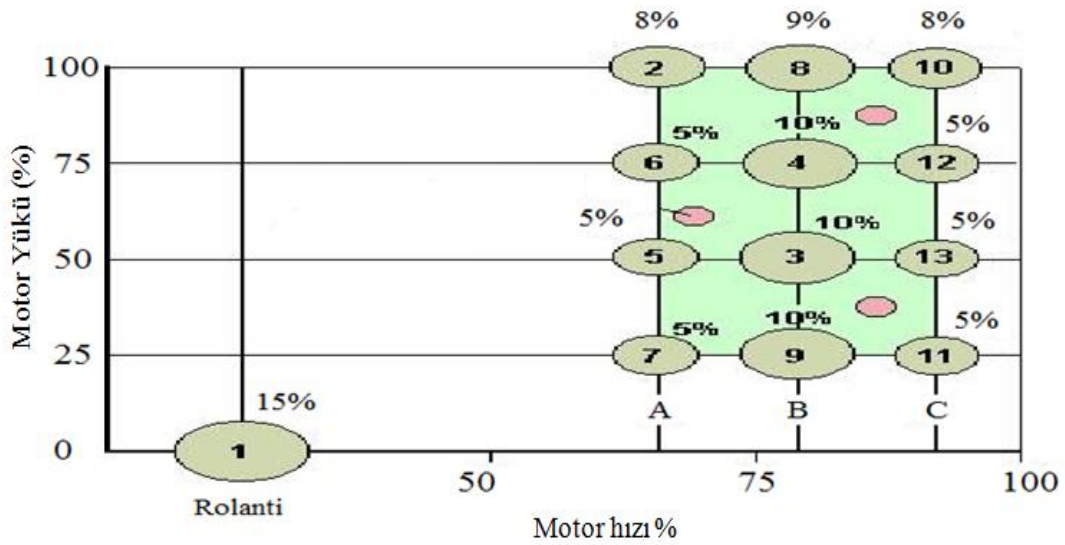
## **2.9. Ağır Ticari Taşıtlar İçin Tip Onay Testleri**

Ağır ticari taşıtlar piyasaya sürülmeden önce tip onay testlerine tabi tutulmaktadır. Tip onay testleri şasi veya motor dinamometresinde uygulanan testlerdir. Ağır ticari taşıtların tip onay testleri bu taşıtlarda kullanılan motorun motor dinamometresine bağlanarak ağır ticari taşıtlar için hazırlanan sürüş çevrimlerine göre yapılmaktadır.

Sürüş çevrimleri araç hızının zamana göre temsili verilerinin toplanmasıyla oluşmaktadır. Sürüş çevrimlerinin esas amacı; güncel sürüş karakteristik özelliklerini simule ederek yapılan testler sonucu yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını belirlemektir. Sürüş çevrimleri şehirden şehre veya bölgeden bölgeye göre değişmektedir.

### 2.9.1. Avrupa sabit çevrimi (ESC)

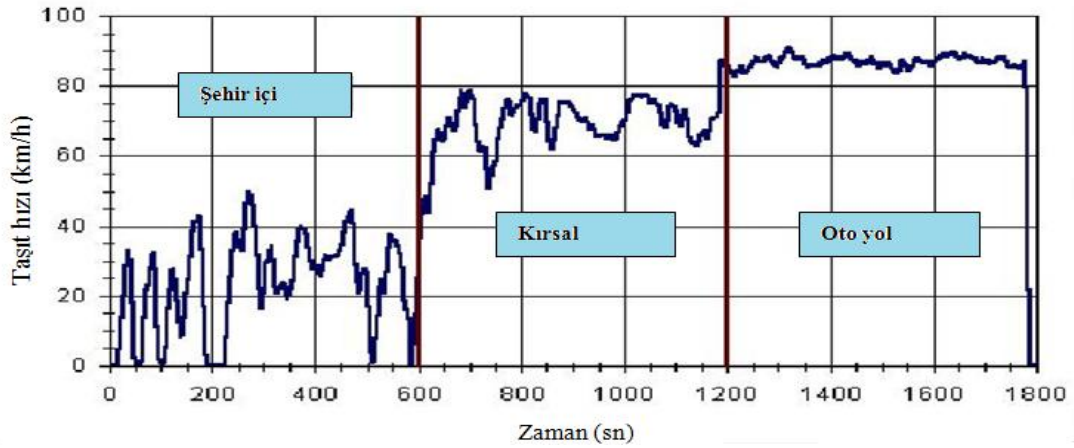
ESC' de motorun yük durumu ve hızı dikkate alınarak Şekil 2. 15'te görüldüğü gibi 13 farklı bölgeden farklı miktarda emisyonlar ölçülerek toplam emisyon miktarı belirlenmektedir. Çevrim 28 dakikada tamamlanmaktadır ve bu çevrim 1999 yılından itibaren Avrupa Değişken Çevrimi (ESC) ve ile birlikte ağır ticari taşıtlar için uygulanmaktadır.



Şekil 2.15. ESC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [40]

### 2.9.2. Avrupa değişken çevrimi (ETC)

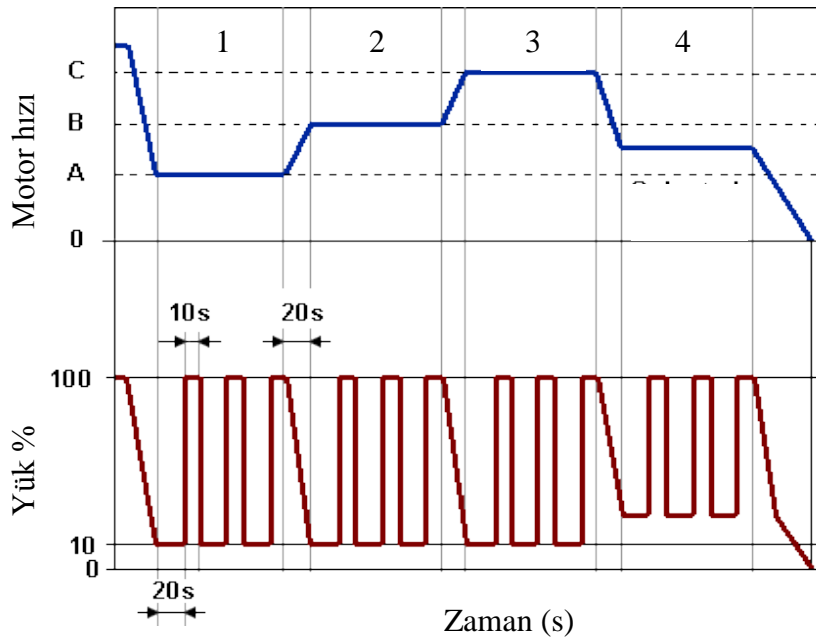
ETC ise Şekil 2.16'da görüldüğü gibi çevrim 3 kısımdan meydana gelmektedir: İlki hızın maksimum 50 km/h olduğu şehir içi trafiği yansıtan kısım, diğeri ortalama hızın 72 km/h olduğu kırsal kesim ve sonuncusu ise ortalama hızın 88 km/h olduğu otoyol kısmıdır.



Şekil 2.16. ETC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [40]

### 2.9.3. Avrupa yük tepkisi testi (ELR)

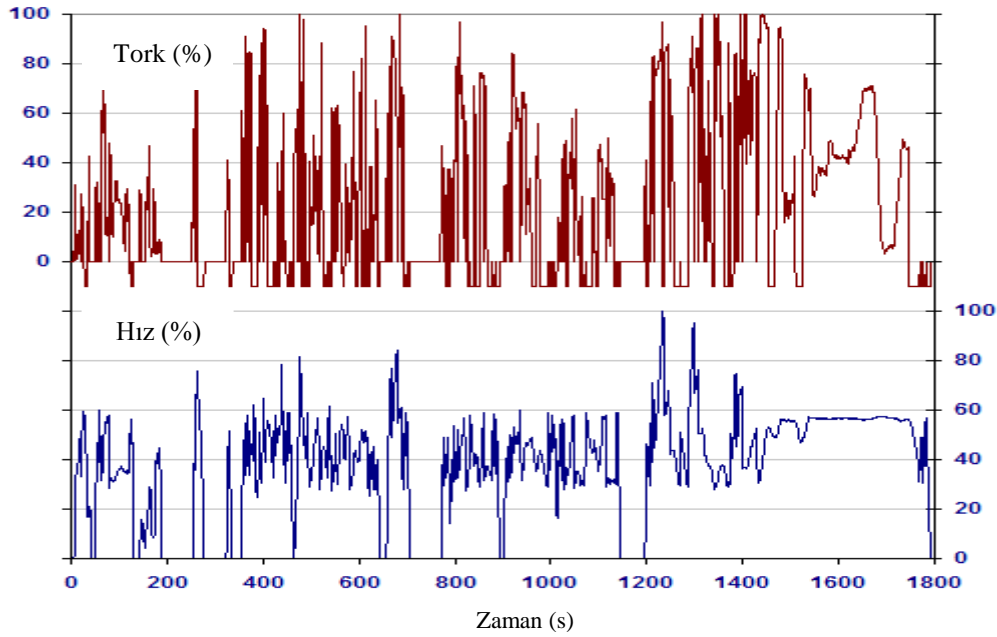
Ağır ticari taşıtlar için Euro III ve daha sonrasında yürürlüğe giren emisyon standartlarında kullanılan bir sürüş çevrimidir. Çevrimin amacı ağır ticari taşıtların duman opasitesinin ölçümünün yapılmasıdır. Test farklı motor hızında ve 3 farklı motor yükünde gerçekleşmektedir. Motor yükü %10 ile %100 arasında değişmektedir. ELR çevrimi Şekil 2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. ELR sürüş çevrimi ile hazırlanmış tip testi [40]

#### 2.9.4. Dünya harmonize edilmiş değişken çevrimi (WHTC)

WHTC, 2013 yılında yürürlüğe girecek olan Euro 6 emisyon standardı için yapılan regülasyonlara göre kullanılması planlanan test çevrimidir. Şekil 2.18’de görüldüğü gibi bu çevrim 1800 saniye boyunca belirlenen tork ve hız koşullarında gerçekleşmektedir.



Şekil 2.18. WHTC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [40]

#### 2.10. Seyir Hali Emisyon Ölçüm Sistemleri

Emisyonların, taşıtlarda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen standartlar ile cadde konsantrasyonlarıyla paralel şekilde azalmadığı hatta cadde konsantrasyonlarının günden güne arttığı belirtilmiştir. Buna ilave olarak gelişmiş şehirlerde şehir içinde taşıt kullanımı her sürücü ve bölge için değişiklik göstermesinden dolayı tip onay testleri gerçek dünya koşullarını yansıtamamaktadır. Taşıt trafikte kullanılırken belirlenmiş rotalarda portatif emisyon ölçüm sistemleri (PEMS) ile yapılan seyir hali ölçümleri daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

Portatif emisyon ölçüm sistemleri (PEMS) 1990'ların sonlarında motorun güncel kullanımı esnasında veya onun düzenli günlük çalışmasında emisyonlarını ölçmek için geliştirilmeye başlanmıştır. PEMS ve yardımcı sistemleri ile taşıtların kullanım koşulları, yolun etkileri, motor yanma teknolojileri, emisyon katalizörlerinin (SCR gibi) performansı, motorun operasyon karakteristikleri ve egzoz emisyonlarının incelenmesi mümkündür. Bu sistemler taşıt pozisyonu, çevre sıcaklığı ve nemi, yakıt tüketimi, motor hızı ve yükü ve ayrıca taşıt hızı için saniyelik datalar toplamaktadır. Bu yüzden PEMS kullanarak belirlenen hatlarda taşıt ve motor optimizasyonu yapılabilmektedir. Ayrıca Euro 6 emisyon standardının istediği ulaştırma kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini belirlerken, PEMS ile hesaplanan emisyon faktörlerinin büyük oranda doğruluk sağladıkları için bu olumsuz etkiler doğru belirlenmiş olmaktadır [13-15].

Otobüse yerleştirilen cihaz ile taşıt seyir halindeyken saniyelik emisyon verileri toplanmaktadır. Bu yöntem ile aracın belirlenen hatta ki trafik karakteristiklerine uygun şekilde ölçümler yapılmaktadır. Ayrıca bu sistemle aracın her bir rölanti, ivmelenme, normal hız, duruş ve kalkış zamanlarında meydana gelen emisyon miktarları ve motor performans ölçümleri sağlanmaktadır.

## BÖLÜM 3. MATERYAL ve METOT

### 3.1. Test Sistemi

SENSOR INC. tarafından üretilen Şekil 3.1’de görülen SEMTECH DS cihazı gerçek dünya emisyon ölçümünde kullanılmaktadır. Cihaz içerisinde NO ve NO<sub>2</sub> emisyonlarının ölçmek için morötesi absorpsiyon teknolojisi (NDUV), CO ve CO<sub>2</sub>’i için kızılötesi absorpsiyon teknolojisi (NDIR) ve THC emisyonları için alev iyonlaştırma detektörü (FID) bulunmaktadır. Taşıttan çıkan egzoz debisinin ölçülmesi için egzoz borusunun çıkışına eklenen ilave boru ile SENSORS INC. tarafından üretilen flow-metre otobüsün tavanına yerleştirilmiştir. Ayrıca SEMTECH DS çevre sıcaklık ve nem sensörü ile donanımlıdır. Hattın enlemi, boylamı, yüksekliği, mesafesi ve taşıtın hızı küresel konumlandırma sistemi(GPS) kullanılarak saniyelik veriler şeklinde belirlenmiştir.

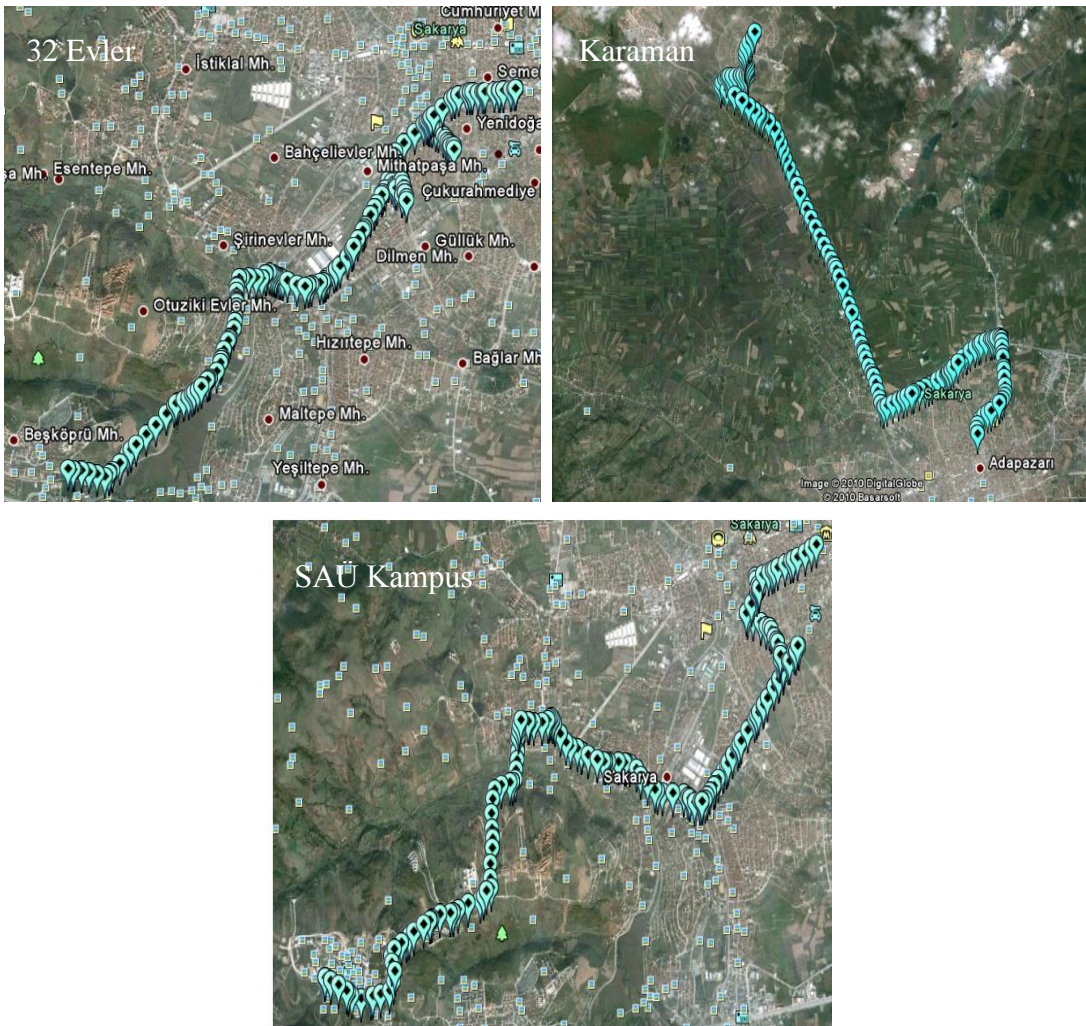


Şekil 3.1. PEMS cihazının görünümü



### 3.2. Test Hatları

Testler Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait belediye otobüsü hatlarından seçilen farklı yol karakteristiğine sahip 3 hatta gerçekleştirilmiştir. Test hatları SAÜ Kampus, Karaman ve 32 Evler hatlarıdır. Testlerin analizlerini daha ayrıntılı inceleyebilmek için hatlar gidiş ve dönüş olarak ikiye ayrılmıştır. Test hatlarının uydu görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir. Hatların temel yol karakteristikleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. 32 Evler, Karaman ve SAÜ Kampus hatlarının uydu görüntüsü

Tablo 3.1. Hatların temel yol karakteristikleri

Hatlar	Karaman-gidiş	Karaman-dönüş	32 Evler-gidiş	32 Evler-dönüş	SAÜ Kampus-gidiş	SAÜ Kampus-dönüş
Mesafe (km)	14.5	15.6	7.6	8.8	11	11.5
Seyahat süresi (dk)	28	34	25	30	31	34
Rölanti süresi (dk)	5	7	5	7	6	8
Dur-kalk sayısı	24	29	28	28	23	29
Km başına dur-kalk sayısı	2	2	4	3	2	3
Ort. Hız (km/h)	30	27	18	17	21	20
Max. Hız (km/h)	69	69	57	64	53	58
Başlangıç yüksekliği (m)	35.6	86.7	33.1	131.4	33.8	187.6
Bitiş yüksekliği (m)	86.4	36.8	131.4	34.2	182.4	36
Yükseklik farkı (m)	50.8	-49.9	98.3	-97.2	148.6	-150.8

### 3.3. Test Özellikleri

Seyir hali emisyon ölçümleri başlatılmadan önce PEMS sistemi yaklaşık 1 saat kadar ısıtılmış ve ölçümlerin güvenilirliğini sağlayabilmek için her test başlamadan önce kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra taşıt seyir halindeyken emisyon, çevre ve yakıt/motor dataları saniyelik olarak toplanmıştır. Adapazarı Büyük Şehir Belediyesine ait otobüslerin hatlardaki gerçek dünya koşullarını sağlayabilmek için taşıt her durakta 15 saniye durdurulup taşıta yolcuların bindiği varsayılarak test gerçekleştirilmiştir. Testler süresince çevre havası 20 °C ile 35 °C arasında değişirken, nem yaklaşık %30'dur. Hibrit sistem güç aktarma organları çalışma parametrelerini incelemek için SIEMENS SIADIS yazılımı kullanılarak PEMS sistemi ile senkronize halde saniyelik datalar toplanmıştır.

### 3.4. Taşıt Özellikleri

Şekil 3.3’de görülen Temsa tarafından geliştirilen Aveneu Hibrit otobüste Euro 5 emisyon sertifikasına sahip 6 silindirli ve 6,7 L motor hacmine sahip Cummins ISB6 7 E5 250B modeli içten yanmalı dizel motoru bulunmaktadır. Dizel motoru 2 g/kW-h NO<sub>x</sub> standart değerine onaylanmıştır. Taşıt gücü, maksimum 2325 rpm motor hızında 184 kW şeklindedir. Hibrit şehir içi otobüs seri hibrit tasarımına sahiptir. Otobüsün boyun 12 m olup, otobüs 15 tondur (yüklenmiş hali).



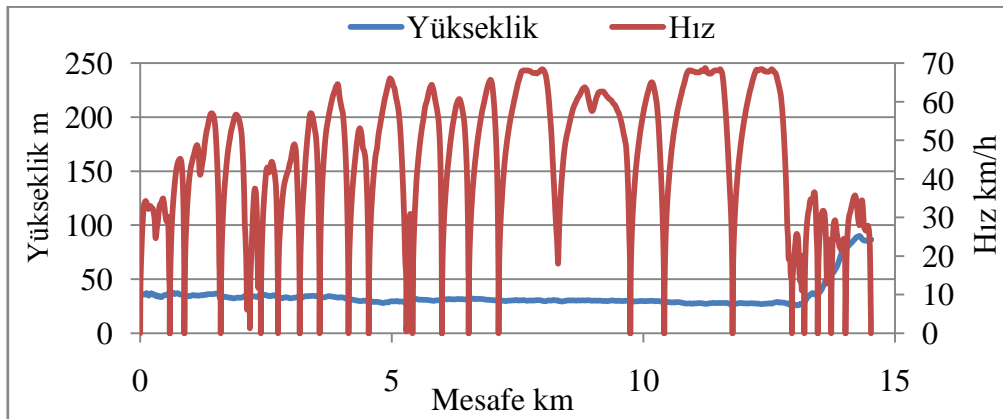
Şekil 3.3: Temsa Aveneu Hibrit Otobüs

## BÖLÜM 4. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

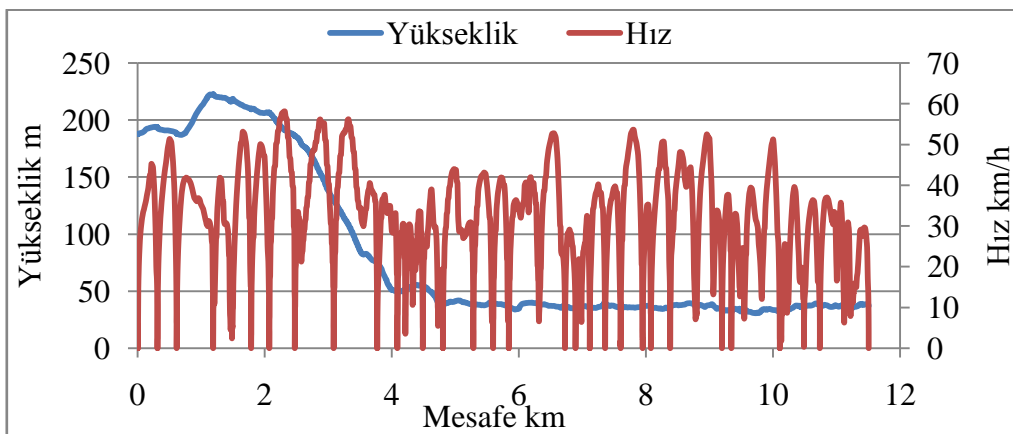
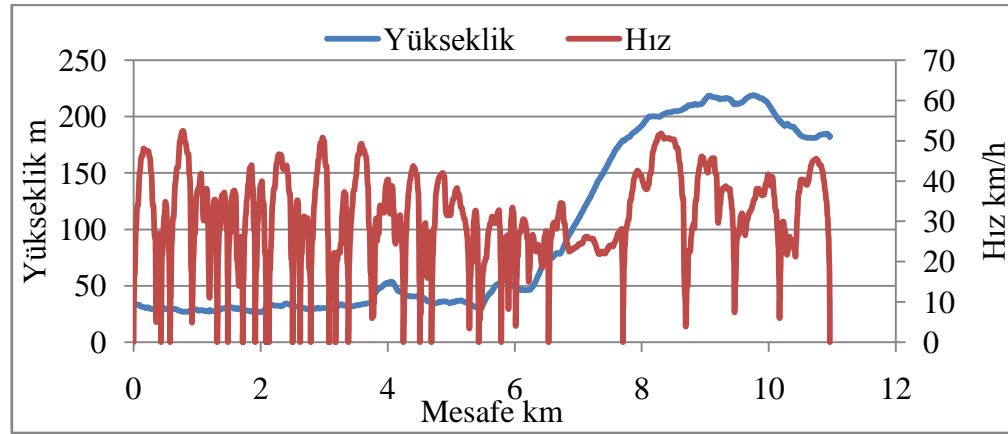
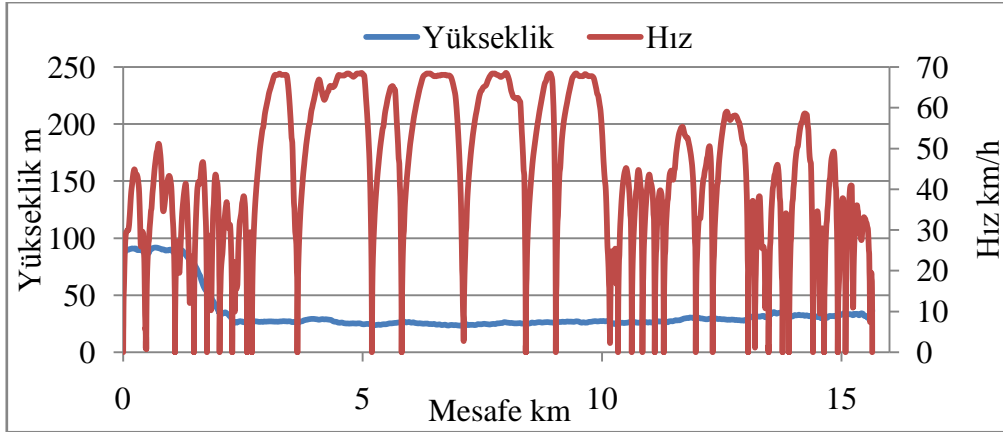
SAÜ Kampus, Karaman ve 32 Evler hatlarında hibrit otobüs şehir içi otobüs dataları incelenmiş ve analiz edilmiştir. Gerçek dünya koşullarında 3 farklı hatta elde edilen dataların emisyon, yakıt tüketimi ve enerji kazanımı açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Motor ve emisyon parametrelerini incelemeye önce hatların hız-yükseklik profilleri ve ivmelenme-hız haritaları belirlenmiştir.

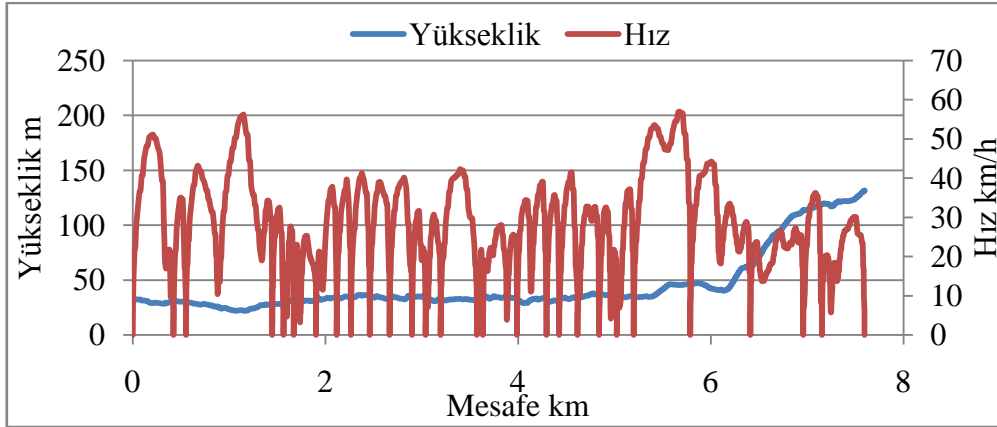
### 4.1. Hız-Yükseklik Profilleri Ve Otobüsün İvmelenme-Hız Haritalarına Etkileri

Trafik yoğunluğu, taşıt filosunun yapısı, topografya, sürüş koşulları ve taşıtın dur-kalk sıklığı gibi karakteristiklerden dolayı otobüsün çalışma karakteristiği ve özellikle taşıt hızı şehirden şehre değişiklik gösterebildiği gibi, otobüsün kullandığı yol karakteristiğine bağlı olarak ta değişiklik göstermektedir. Bu sebeple bir şehir için hazırlanan sürüş çevrimine göre farklı bir şehirde emisyon ve yakıt tüketim tahmin yapmak tam olarak gerçek sonuçları yansıtamamaktadır. Çalışmada emisyon ve yakıt tüketim tahminlerinin doğruluğunu artırmak için datalar gerçek dünya koşullarında ve farklı hatlarda toplanmıştır. Şekil 4.1.a, 4.1.b, 4.1.c, 4.1.d, 4.1.e ve 4.1.f otobüsün hız-yükseklik profillerini göstermektedir. Hatların temel karakteristikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

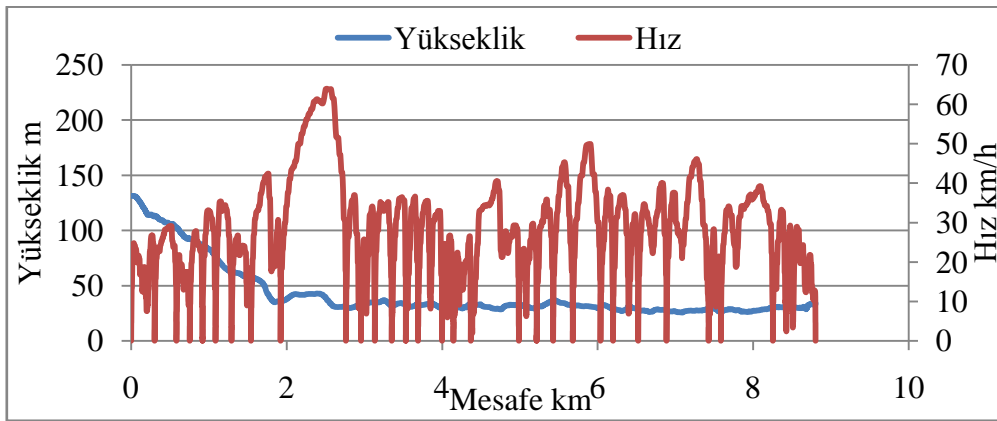


Şekil 4.1.a. Karaman-gidiş hız-yükseklik profili





Şekil 4.1.e. 32 Evler-gidiş hız-yükseklik profili



Şekil 4.1.f. 32 Evler-dönüş hız-yükseklik profili

Şekil 4.1.a, 4.1.b, 4.1.c, 4.1.d, 4.1.e ve 4.1.f incelendiğinde,

- 1) Karaman hattında ortalama hıza yüksek ve yükseklik değişiminin düşük,
- 2) 32 Evler hattında km başına dur-kalk sayısının yüksek ve ortalama hızın düşük,
- 3) SAÜ Kampus hattında ise yükseklik değişiminin yüksek ve ortalama hızın ise ortalama bir değere sahip olduğu belirlenmiştir.

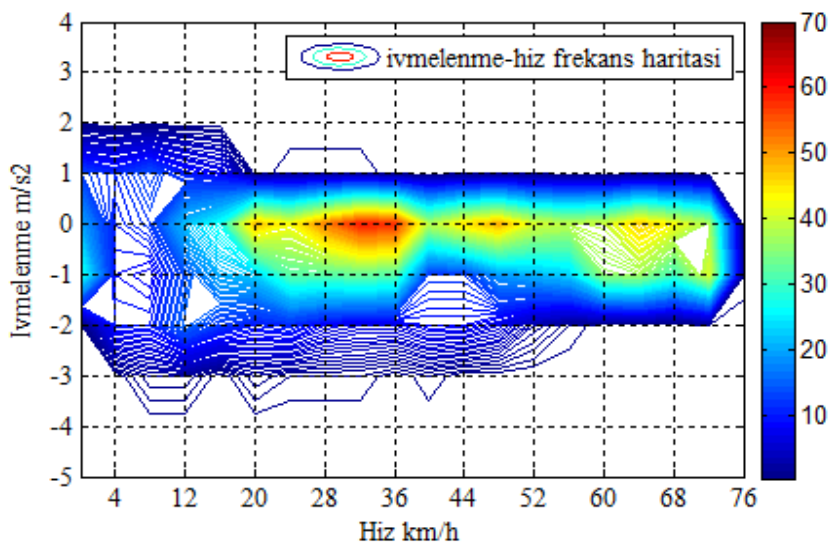
32 Evler ve SAÜ Kampus hatlarında otobüsün seyir hızı genel olarak 70 km/h değerinin çok altında kalmaktadır. Bu hatlarda hız profili oldukça değişken ve tipik şehir içi karakteristiğini ifade eden birçok dur-kalk olayı gerçekleşmektedir. Karaman hattında seyir hızı diğer hatlara göre daha yüksek ve yükseklik değişimi ise oldukça azdır. Hatların hız profiline değişken olduğu Şekil 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e ve 4.2.f'de gösterilen ivmelenme-hız frekans haritalarından açıkça görülmektedir. Frekans haritaları otobüsün çalışma sıklığını ve hangi şartlar altında



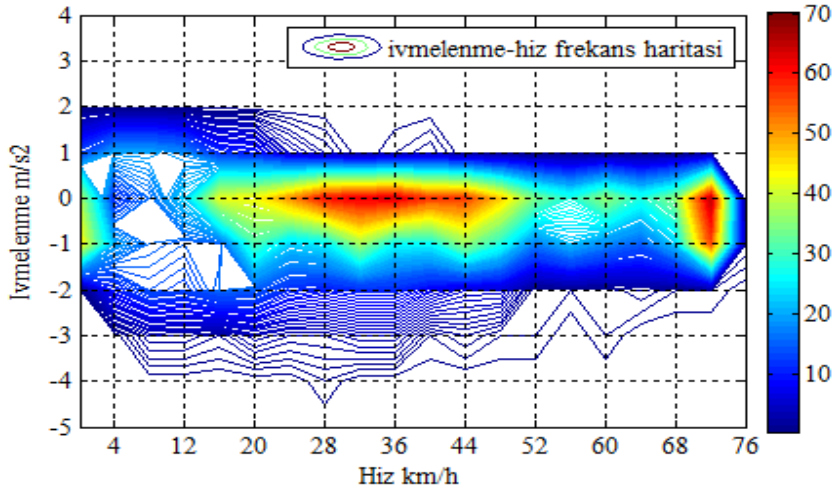
çalıştığını göstermektedir. Haritalarda pozitif ivmelenme otobüsün kullandığı enerjiyi ifade etmektedir. Negatif ivmelenme ise hibrit otobüsün rejeneratif frenleme sistemi etkili bir şekilde kullanılabilirse depolanabilecek ve pozitif ivmelenme anında kullanılarak enerji tasarrufu sağlanabilecek enerjiyi ifade etmektedir. Formül 4.1’de görüldüğü gibi, otobüsün hareket edebilmesi için ivmelenme, yokuş çıkma, yuvarlanma direnci ve rüzgar direncini karşılayabilecek mekanik çekiş gücüne sahip olması gerekmektedir.

$$\dot{W}_{\text{mekanik çekiş}} = (\dot{W}_{\text{ivmelenme}} + \dot{W}_{\text{yokuş çıkma}} + \dot{W}_{\text{yuvarlanma direnci}} + \dot{W}_{\text{rüzgar direnci}}) \quad (4.1)$$

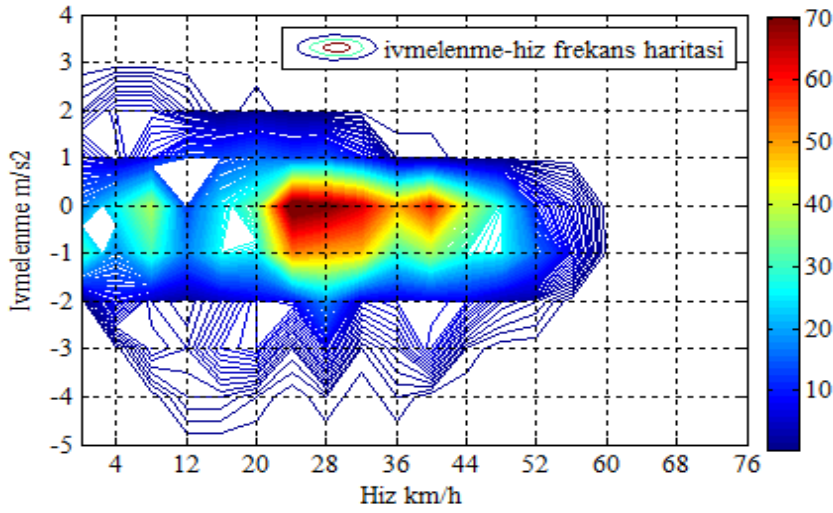
İhtiyaç duyulan enerjilerin büyüklüğü karşılaştırıldığında, ivmelenme ve yokuş çıkma için gereken güç diğerlerine göre oldukça fazladır. Bu sebeple, özellikle hatların yükseklik değişimi ve ivmelenme, güç ihtiyacı buna bağlı olarak yakıt tüketimi ve emisyonlar için önemli birer faktördür. Negatif ivmelenme sırasında rejeneratif frenleme sisteminin enerji geri kazanım oranı azami seviyeye getirilirse, pozitif ivmelenme sırasında yakıt tüketimi ve oluşan emisyonlar azaltılmış olacaktır. Bu yüzden Şekil 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e ve 4.2.f’de gösterilen frekans haritaları hibrit otobüsün güç yönetim sistem optimizasyonu ve batarya veya ultrakapasitör boyutlandırılmasında yarar sağlayacaktır.



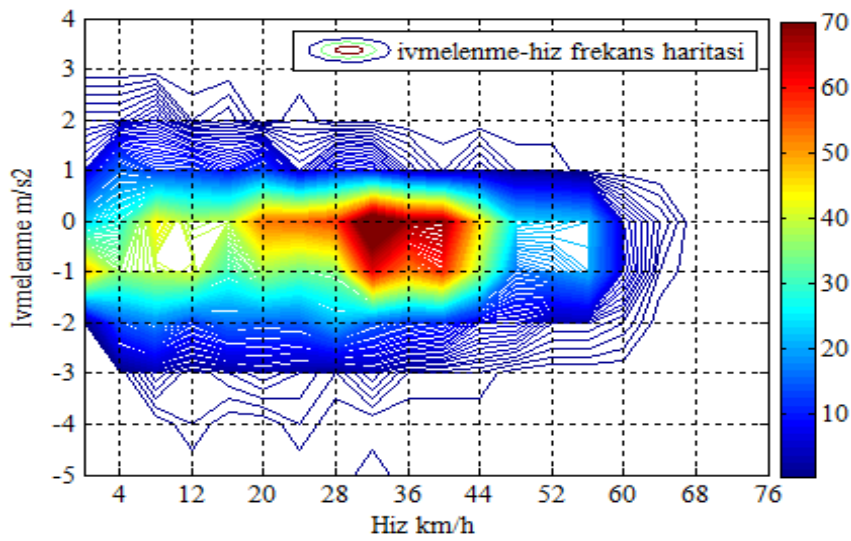
Şekil 4.2.a. Karaman-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası



Şekil 4.2.b. Karaman-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası

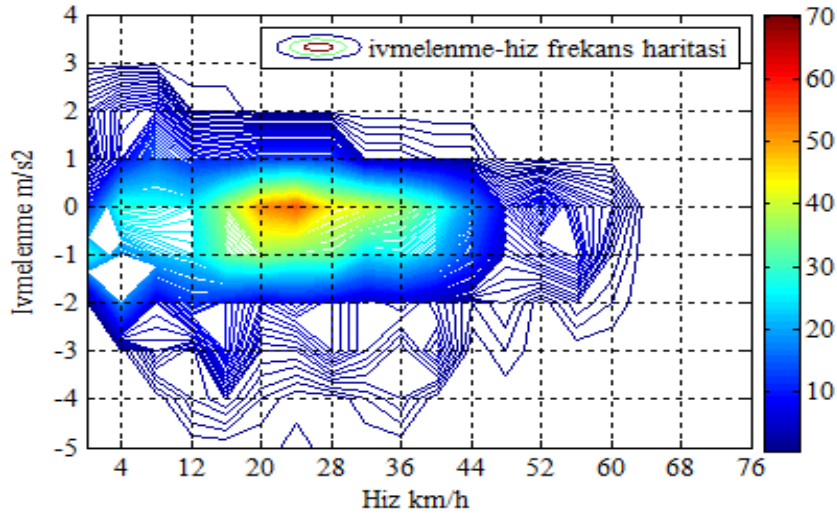


Şekil 4.2.c. SAÜ Kampus-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası

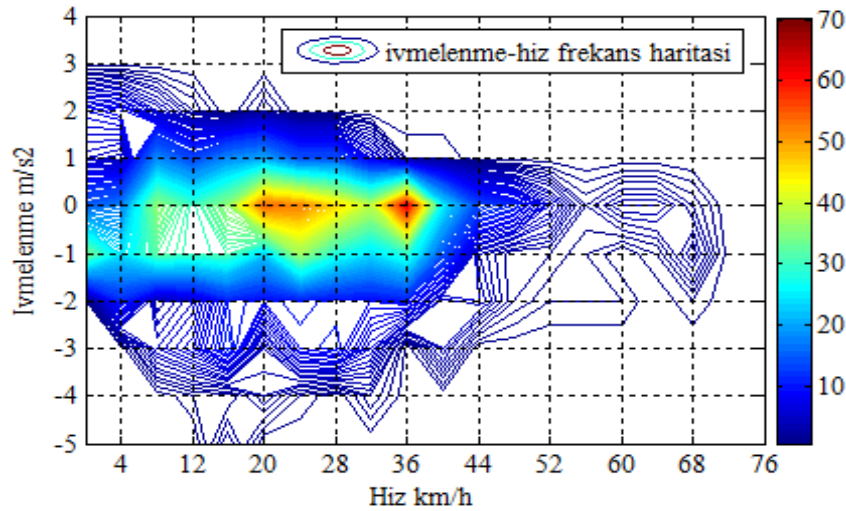


Şekil 4.2.d. SAÜ Kampus-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası





Şekil 4.2.e. 32 Evler-gidiş ivmelenme-hız frekans haritası



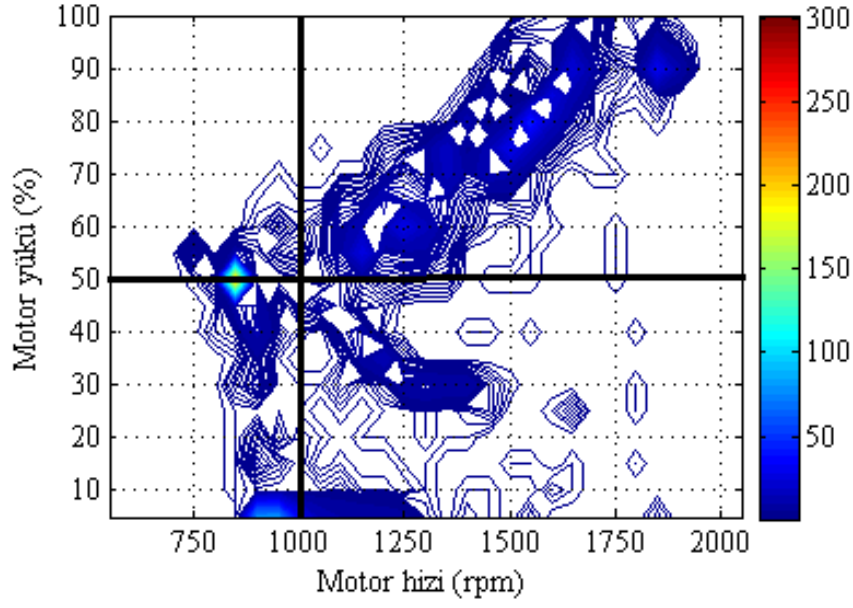
Şekil 4.2.f. 32 Evler-dönüş ivmelenme-hız frekans haritası

Şekil 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e ve 4.2.f'de gösterilen ivmelenme-hız frekans haritalarından görüldüğü gibi, Karaman hattının hız aralığı oldukça geniştir ve ivmelenme  $-4 \text{ m/s}^2$  ile  $2 \text{ m/s}^2$  arasında değişiklik göstermektedir. Karaman-gidiş hattında maksimum frekansa hız aralığının  $28 \text{ km/h}$  ile  $38 \text{ km/h}$  ve ivmelenmenin ise  $-1 \text{ m/s}^2$  ile  $1 \text{ m/s}^2$  aralığında olduğu bölgelerde rastlanmaktadır. Karaman-dönüş hattında  $25 \text{ km/h}$  ile  $45 \text{ km/h}$  hız aralığında ve  $70 \text{ km/h}$  hızın olduğu bölgelerde 2 farklı pik noktası oluşmuştur. SAÜ Kampus hattında ivmelenme aralığı Karaman hattına göre çok daha geniştir ve ivmelenme  $-5 \text{ m/s}^2$  ile  $3 \text{ m/s}^2$  arasında değişmektedir. SAÜ Kampus hattında  $20 \text{ km/h}$  ile  $44 \text{ km/h}$  hız aralığında pik noktaları gözlemlenmiştir. 32 Evler hattında ivmelenme aralığı SAÜ Kampus hattı

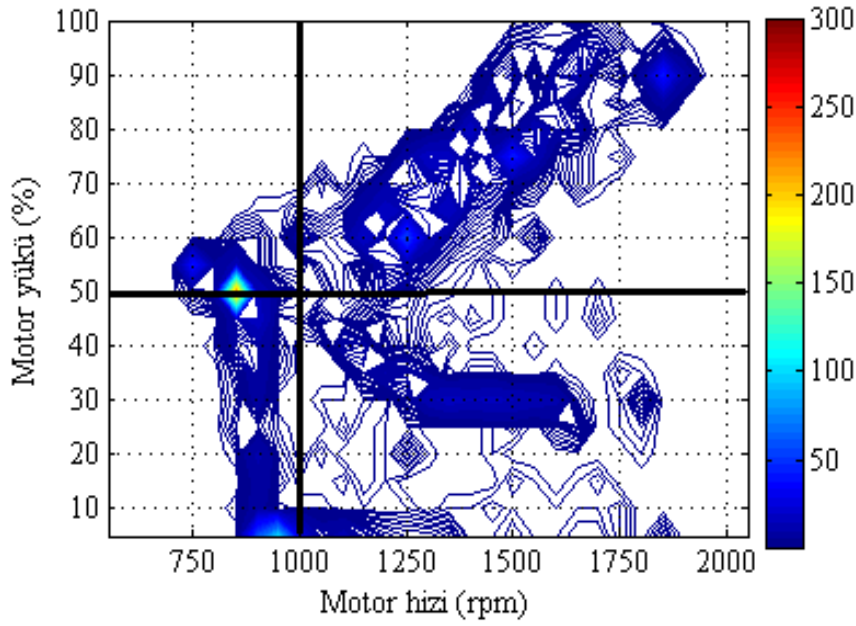
ile aynıdır. 32 Evler-gidiş hattında hızın 20 km/h ile 28 km/h aralığında olduğu bölgede pik noktası gözlemlenirken, 32 Evler-dönüş hattında 2 pik noktası gözlemlenmiştir. Ayrıca, haritalardan anlaşılabilceği gibi negatif ivmelenme bölgesi pozitif ivmelenme bölgesine göre çok daha büyüktür. Negatif ivmelenme sırasında bu bölgedeki enerji geri kazanılabilirse pozitif ivmelenme yani hızlanma sırasında kullanılacak enerjiden daha fazla enerji geri kazanılmış olacaktır.

#### **4.2. Motor Hızı Ve Motor Yüğü Frekans Haritaları**

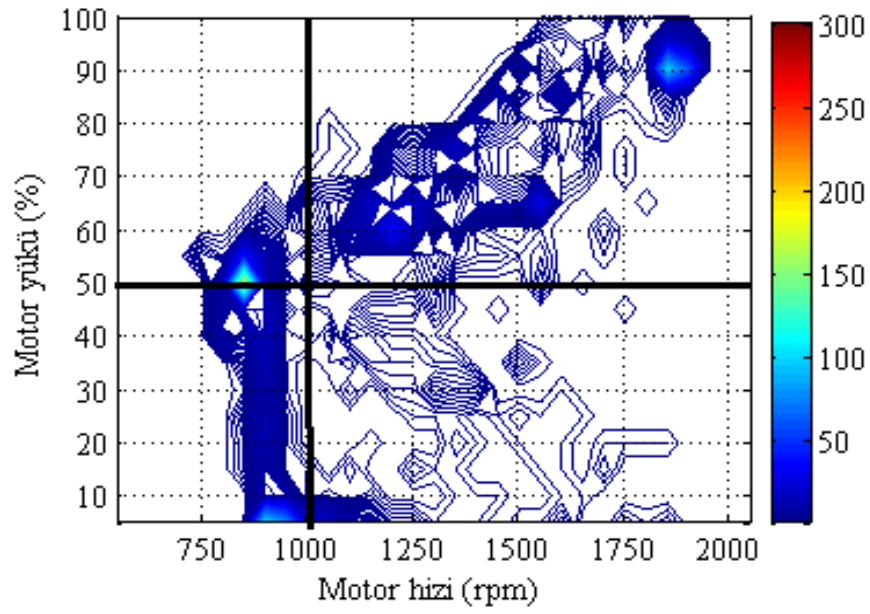
SAÜ Kampus, Karaman ve 32 Evler hatları için motor hızı-motor yüğü frekans haritaları Şekil 4.3.a, 4.3.b, 4.3.c, 4.3.d, 4.3.e ve 4.3.f'de gösterilmektedir. Bu haritalar temel olarak Şekil 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e ve 4.2.f'de gösterilen ivmelenme-hız frekanslarının motora yansımını ifade etmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, haritaların ayrıntılı bir şekilde incelenebilmesi için 4 bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge hızın rölanti hızından 1000 rpm hıza ulaştığı, yükün %0 ile %50 arasında olduğu düşük hız-yük bölgesidir. İkinci bölge hızın 1000 rpm ile 2000 rpm arasında olduğu ve yükün %0 ile %50 arasında olduğu yüksek hız-düşük yük bölgesidir. Üçüncü bölge, hızın 100 rpm ile 2000 rpm ve yükün %50 ile %100 arasında olduğu yüksek hız-yükü ifade etmektedir. Dördüncü bölge ise düşük hız-yüksek yük bölgesidir. Yakıt ekonomisi ve buna bağlı olarak emisyon oluşumunda motor hızı-yükünün etkisi olduğu literatürden bilinmektedir. Genel olarak, yüksek hız-yük bölgesi motor hızı-yükü haritalarında yakıt ekonomisi için en avantajlı bölgedir ancak bu bölgede yüksek yanma sıcaklığı görüldüğü için NO<sub>x</sub> emisyon oluşumu artış göstermektedir.



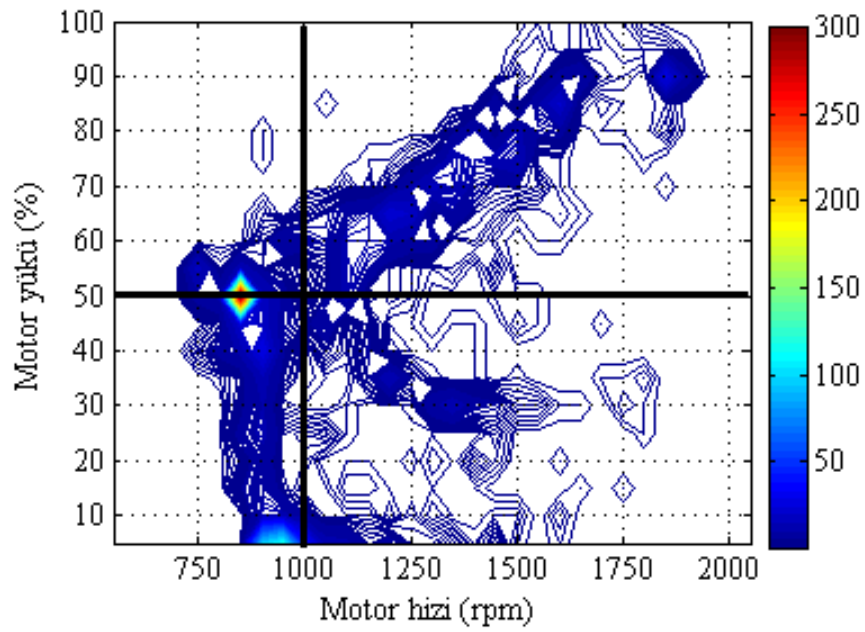
Şekil 4.3.a. Karaman-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası



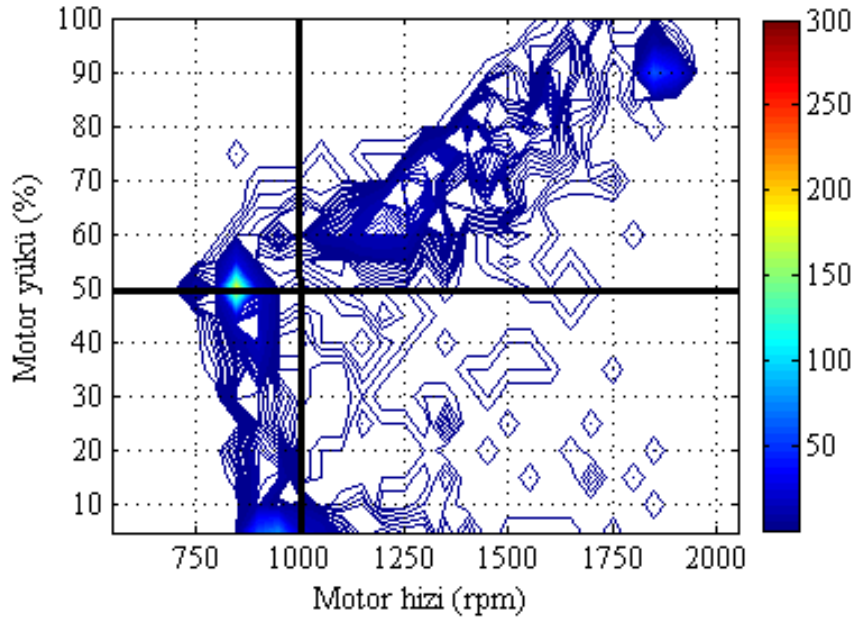
Şekil 4.3.b. Karaman-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası



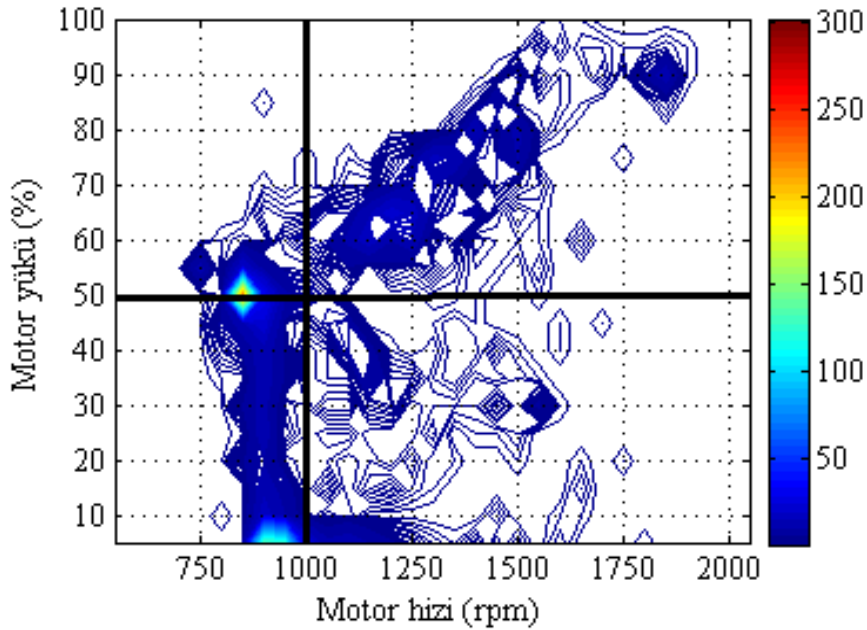
Şekil 4.3.c. SAÜ Kampus-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası



Şekil 4.3.d. SAÜ Kampus-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası



Şekil 4.3.e. 32 Evler-gidiş motor hızı-yükü frekans haritası



Şekil 4.3.f. 32 Evler-dönüş motor hızı-yükü frekans haritası

Şekil 4.3.a, 4.3.b, 4.3.c, 4.3.d, 4.3.e ve 4.3.f'de gösterilen haritalar incelendiğinde tüm hatlarda motorun çoğunlukla birinci ve üçüncü bölgede çalıştığı gözlemlenmiştir. Tüm hatlarda motor yükü %50 ve motor hızının 750 rpm ile 1000 rpm arasında olduğu düşük hız bölgelerinde frekansın pik yaptığı görülmektedir. Bu durum, otobüsün durduğunda rölantide çalıştığını ve ultrakapasitör ile yardımcı sistemleri beslemek için sınırlı güç ürettiğini ifade etmektedir.

Haritalarda oluşan diğer pik noktası ise motor hızının 1800 rpm ve motor yükünün %90 ve güç ihtiyacının maksimum olduğu üçüncü bölgede gözlemlenmiştir. Ayrıca pik noktaları yokuş çıkıldığı için gidiş hatlarında oluşmuştur. Gidiş ve dönüş hatları karşılaştırıldığında motor dönüş hatlarında ikinci bölgede daha fazla çalışmıştır. Bunun sebebi ise dönüşte otobüsün yokuş aşağı inerken motor yükünün azalması ancak motor hızının artmasıdır.

### **4.3. Hibrit Sistem Güç Aktarma Organları Karakteristiği, Yakıt Ekonomisi Ve Emisyonlar**

Konvansiyonel otobüsle karşılaştırıldığında, hibrit otobüsler hem yakıt tasarrufu hem de emisyonlar açısından büyük bir avantaja sahiptir. Hibrit otobüste motor ve tekerlekler arasında mekanik bir bağlantı olmadığı için, otobüs motor hızı-yükü frekans haritasının en uygun aralığında daha fazla çalışabilmekte ve kolayca yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Şekil 4.3.a, 4.3.b, 4.3.c, 4.3.d, 4.3.e ve 4.3.f'de görüldüğü gibi motor çoğunlukla üçüncü bölgede çalışmakta ve bu bölge yakıt ekonomisi açısından büyük bir avantaja sahiptir. Bunun yanı sıra hibrit otobüste bulunan rejeneratif frenleme sistemi sayesinde enerji geri kazanımı ve yakıt tasarrufu dolayısıyla emisyon azalımı sağlanabilmektedir. Konvansiyonel otobüslerde negatif ivmelenme sırasında frenleme enerjisi ısı enerjisine dönüşüp çevreye verilmektedir ancak hibrit otobüslerde rejeneratif frenleme sistemi sayesinde frenleme enerjisi geri kazanılabilmektedir. Geri kazanılacak enerjinin miktarı hem yakıt tasarrufu hem de emisyon azalımı açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple frenleme enerjisi geri kazanım oranı hibrit sistem güç aktarma organları ve otobüsün çalışma koşullarına bağlı olarak optimize edilmelidir.

Tüm hatlarda enerji kazanımı ve yakıt tasarrufunu hesaplamak için SIEMENS SIADIS yazılımı kullanılarak mekanik çekiş gücü ( $P_{sys}$ ), jeneratör gücü ( $P_{gen}$ ), ultrakapasitörün şarj durumu (SOC), motor gücü ( $P_{eng}$ ) ve ultrakapasitör sürüş gücü ( $P_{esfst}$ ) gibi hibrit sistem güç aktarma organları çalışma parametreleri incelenmiştir. Formül 4.2'de yer alan formül kullanılarak geri kazanılan enerji ( $\Delta$ enerji) hesaplanmıştır.

$$\Delta \text{enerji (kWh)} = \int (P_{\text{sys}} - P_{\text{gen}}) dt \quad (4.2)$$

Formül 4.2’de hesaplanan geri kazanılan enerjiye bağlı olarak yakıt tasarrufu ( $\Delta \text{yakıt}$ ) Formül 4.3’te görüldüğü gibi hesaplanmıştır. İçten yanmalı motorun ortalama termal verimi ( $\eta$ ) 0,3 ve yakıtın alt ısıl değeri ( $Q_{\text{LHV}}$ ) 40000kj/kg olarak alınmıştır. Yakıtın özgül ağırlığı ( $\rho$ ) 0,85 kg/ L olmasından dolayı l olarak yakıt tasarrufu formül 4.4’de yer alan denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta \text{yakıt (kg)} = ((\Delta \text{enerji}) / (Q_{\text{LHV}} \times \eta)) \quad (4.3)$$

$$\Delta \text{yakıt (l)} = \Delta \text{yakıt (kg)} / \rho \quad (4.4)$$

Tablo 4.1’de tüm hatlar için toplam iş, enerji kazanımı, yakıt tüketimi, yakıt tasarrufu ve oluşan emisyon miktarları verilmektedir.

Hatlarda meydana gelen yükseklik değişiminin enerji kazanımı ve yakıt tasarrufuna etkisi göz önüne alındığında, Tablo 4.1’de açıkça görüldüğü gibi dönüş hatlarında yokuş aşağı inerken enerji kazanımı gidiş hatlarına göre çok daha fazladır. Maksimum enerji kazanımı yükseklik değişiminin en yüksek olduğu SAÜ Kampus-dönüş hattında gözlemlenmiştir. 32 Evler-dönüş ve Karaman-dönüş hatlarında sırasıyla enerji kazanımları %27 ve %25 olarak hesaplanmıştır. Gidiş hatlarında maksimum enerji kazanımı Karaman-gidiş hattında bulunmuştur. Dönüş hatlarının enerji kazanımının gidiş hatlarına göre yüksek olmasının sebebi gidiş hatlarında otobüsün yokuş çıkarken hibrit sistemin çok fazla avantaj sağlayamamasıdır. Çünkü yokuş çıkarken geri kazanılan frenleme enerjisi azdır. Yükseklik değişiminin yanı sıra ortalama hız enerji kazanımı için oldukça önemli bir parametredir. Bu nedenle Karaman-gidiş hattında yükseklik farkının az olmasına rağmen ortalama hızın çok yüksek olmasından dolayı enerji kazanımı diğer gidiş hatlarına göre oldukça fazladır.

Tablo 4.1’de tüm hatlarda dur-kalk başına geri kazanılan enerji miktarı verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, ortalama hızın yüksek olduğu hatlarda dur-kalk başına enerji kazanımı da yüksektir.

Tablo 4.1. Enerji kazanımı, yakıt tasarrufu ve emisyon miktarları

Hatlar	Karaman-gidiş	32 Evler-gidiş	SAÜ Kampus-gidiş	Karaman-dönüş	32 Evler-dönüş	SAÜ Kampus-dönüş
Ortalama Hız (km/h)	30	18	21	27	17	20
Yükseklik değişimi (m)	50.8	98.3	148.6	-49.9	-97.2	-150.8
Toplam iş (kW-h)	25.8	18.9	26.2	25.9	14.3	18.6
Km başına toplam iş (kW-h/km)	1.78	2.49	2.38	1.66	1.63	1.62
Enerji kazanımı (kW-h)	5.11	2.79	3.69	5.46	3.33	4.63
Dur-kalk başına toplam iş (kW-h /#)	0.21	0.10	0.16	0.19	0.12	0.16
Enerji kazanımı (%)	23	18	16	25	27	28
Yakıt tüketimi (l)	5.59	4.60	5.98	5.72	3.24	4.44
Yakıt tasarrufu (l)	1.80	0.98	1.30	1.93	1.18	1.63
Dur-kalk başına yakıt tasarrufu (l/#)	0.08	0.04	0.06	0.07	0.04	0.06
Yakıt tasarrufu (%)	24	18	18	25	27	27
CO <sub>2</sub> (g/km)	1044	1646	1483	991	1290	1040
CO (g/km)	0.8	1.4	1.4	0.9	1.1	1.0
NO <sub>x</sub> (g/km)	3.0	8.8	9.0	4.6	7.2	9.3
CO <sub>2</sub> (g/kW-h)	588	661	622	599	685	643
NO <sub>x</sub> (g/kW-h)	1.7	3.6	3.8	2.8	4.4	5.7
CO (g/kW-h)	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6

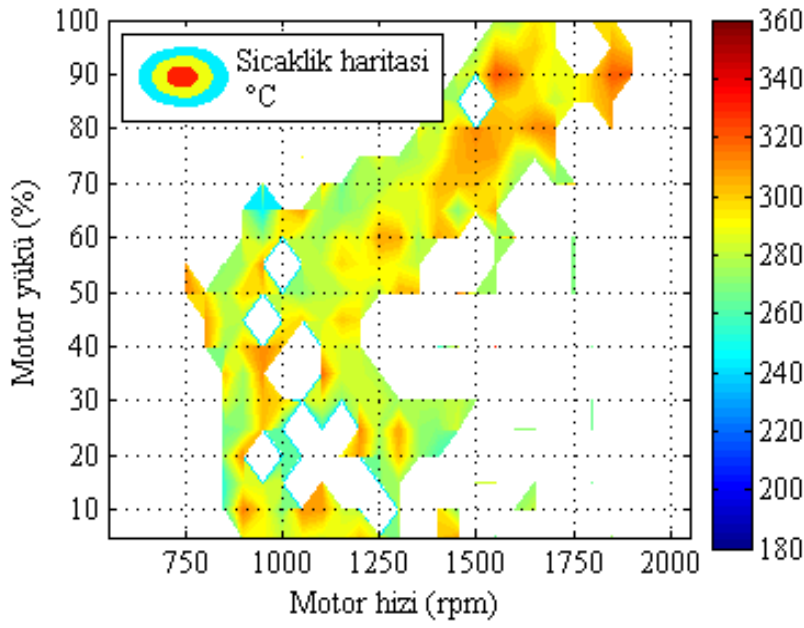
CO<sub>2</sub> emisyonu doğrudan enerji ihtiyacına bağlıdır. Enerji ihtiyacı ne kadar fazla ise o kadar yakıt kullanılır ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Beklendiği gibi gidiş hatlarında otobüsün yokuş çıkmasından dolayı enerji ihtiyacı dönüş hatlarına göre daha fazladır ve km başına bu hatlarda atmosfere daha çok CO<sub>2</sub> emisyonu salınmaktadır. Maksimum CO<sub>2</sub> emisyonu 1646 g/km olup 32 Evler-gidiş hattında



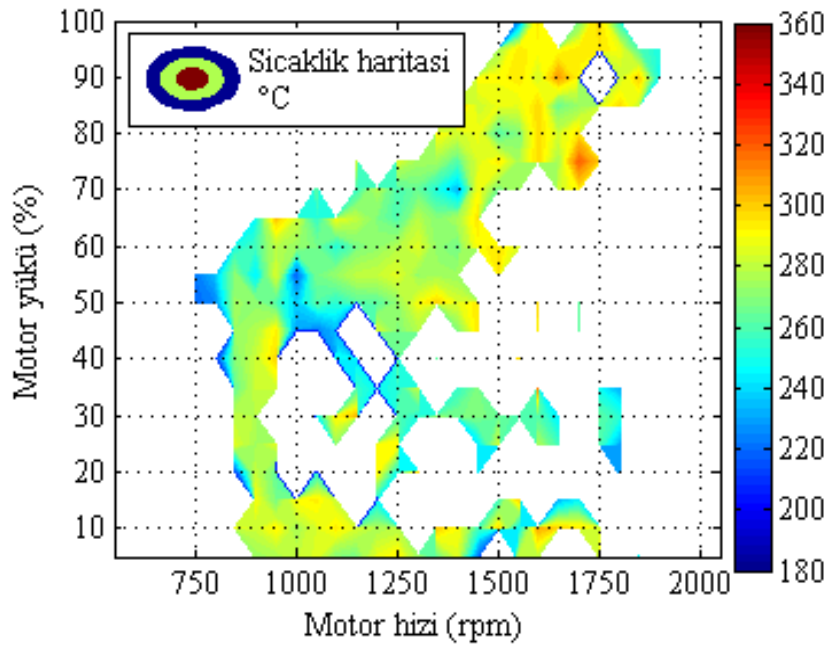
gözlemlenmiştir. Maksimum CO emisyonu ise 1,4 g/km olup 32 Evler-gidiş ve SAÜ Kampus-gidiş hattında gözlemlenmiştir.

NO<sub>x</sub> emisyonu incelendiğinde, km başına en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri Karaman hattında gözlemlenmiştir. Karaman-gidiş hattında 3 g/km, Karaman-dönüş hattında ise 4,6 g/km NO<sub>x</sub> emisyonu atmosfere salınmıştır. Maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu ise 9,3 g/km olup SAÜ Kampus-dönüş hattında gözlemlenmiştir. kW-h başına NO<sub>x</sub> emisyon değerleri incelendiğinde emisyon değerleri 1,7 g/kW-h ile 5,7 g/kW-h arasında değişmektedir. NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin Karaman hattında düşük olmasının sebebi ortalama hızın yüksek olması ve SCR sisteminin etkin bir şekilde çalışması için gereken sıcaklık değerine daha hızlı ulaşılmasıdır.

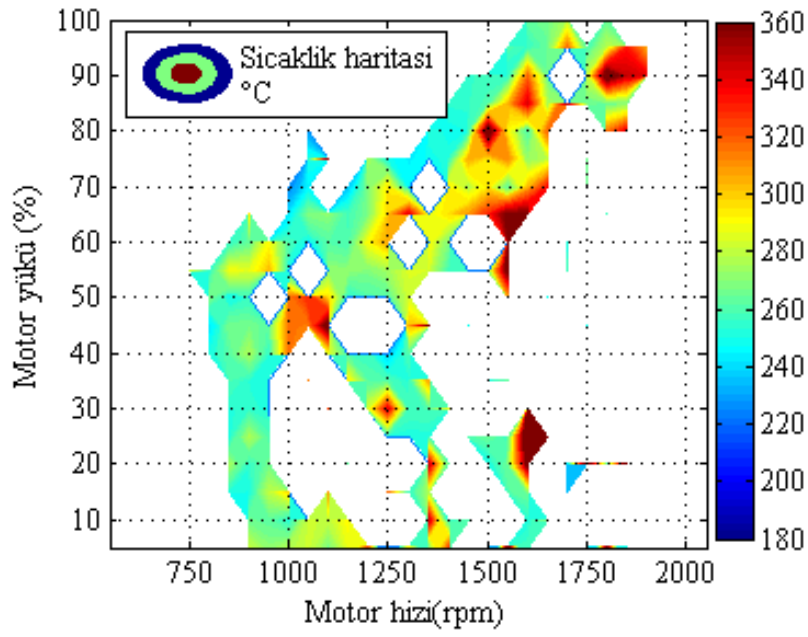
Taşıt emisyonları büyük oranda motor çalışma koşullarına bağlıdır. Özellikle NO<sub>x</sub> emisyon oluşumu motor hızı ve yükündeki değişikliklerden etkilenmektedir. Çünkü motor hızı ve motor yüküne bağlı olarak yanma sıcaklığı ve dolayısıyla NO<sub>x</sub> oluşumu değişmektedir. Şekil 4.4.a, 4.4.b, 4.4.c, 4.4.d, 4.4.e ve 4.4.f'de tüm hatlar için motor hızı-yüküne bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değişimi gösterilmektedir. Beklenildiği gibi genel olarak egzoz gaz sıcaklığı motor hızı ve motor yükünün artması ile yükselmektedir. Sıcaklık haritalarında sıcaklık değerleri 180 °C ile 360 °C arasında değişmektedir. SAÜ Kampus-gidiş ve 32 Evler-gidiş hattında bölgesel yüksek sıcaklık noktaları gözlemlenmiştir. Bu noktalar gidiş hatlarında otobüsün yokuş çıkmasından kaynaklanabilmektedir. SAÜ Kampus-gidiş hattında bölgesel olarak egzoz gaz sıcaklığının 360 °C'ye ulaştığı görülmektedir. Karaman hattında ise diğer hatlara göre sıcaklığın genel olarak yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiş ve sıcaklık değerleri yoğunlukla 280 °C'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık haritaları incelendiğinde gidiş hatlarında egzoz gaz sıcaklığı dönüş hatlarına göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bunun sebebi gidiş hatlarında otobüs yokuş çıkarken motorun daha fazla yüklenmesidir.



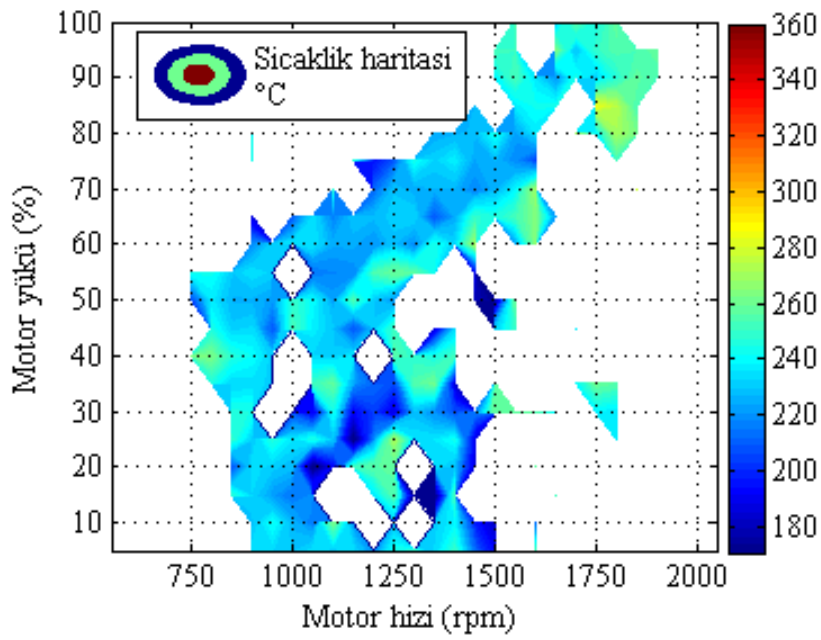
Şekil 4.4.a. Karaman-gidiş sıcaklık haritası



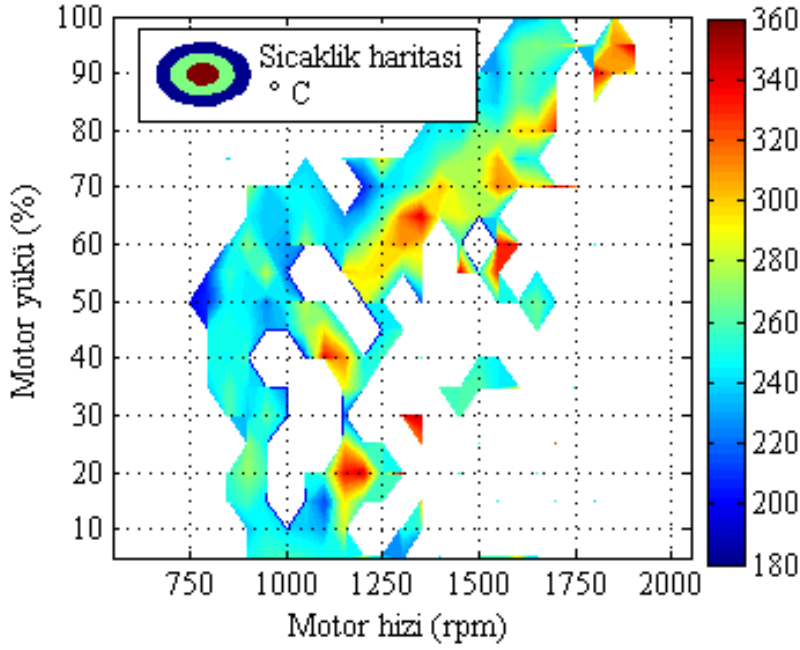
Şekil 4.4.b. Karaman-dönüş sıcaklık haritası



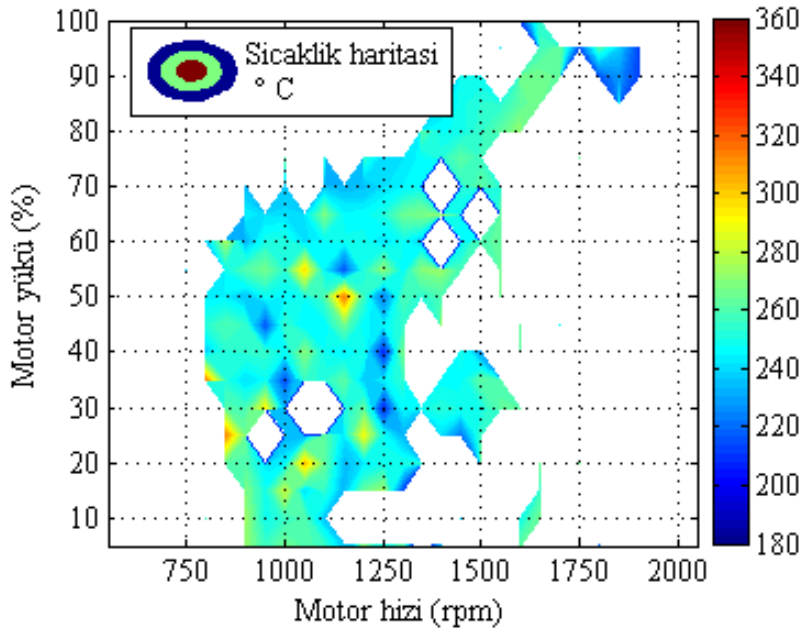
Şekil 4.4.c. SAÜ Kampus-gidiş sıcaklık haritası



Şekil 4.4.d. SAÜ Kampus-dönüş sıcaklık haritası



Şekil 4.4.d. 32 Evler-gidiş sıcaklık haritası

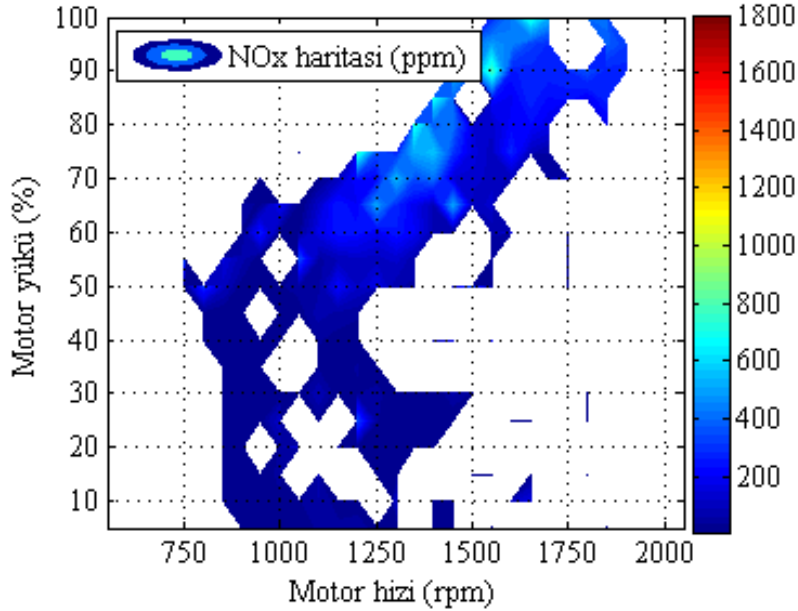


Şekil 4.4.e. 32 Evler-dönüş sıcaklık haritası

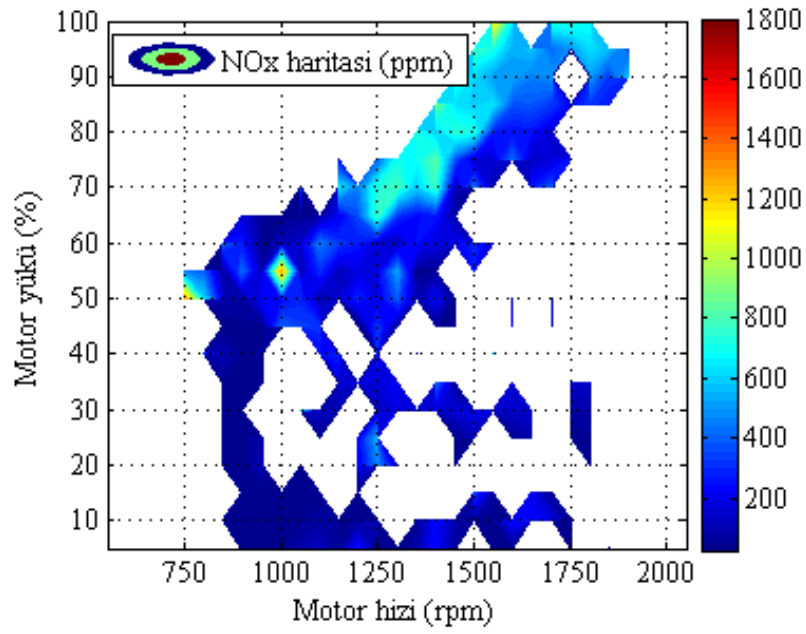
NO<sub>x</sub> emisyonları Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) sistemi ile azaltılırken, sıcak egzoz gazının üzerine ad-blue tankından üre çözeltisi enjekte edilmekte ve üre çözeltisi hidroliz ile amonyak (NH<sub>3</sub>) formuna dönüşmektedir. Daha sonra, katalizörde NO<sub>x</sub> emisyonları ile NH<sub>3</sub>'ün kimyasal reaksiyona girmesi sonucu NO<sub>x</sub> emisyonları azot (N<sub>2</sub>) ve suya (H<sub>2</sub>O) indirgenmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabilmek için SCR sistem sıcaklığının yaklaşık 250 °C'nin üzerinde

olması gerekmektedir. Bu yüzden, SCR sistemi ile  $\text{NO}_x$  azalımı önemli ölçüde motor çalışma koşullarına ve yol koşullarına bağlıdır.

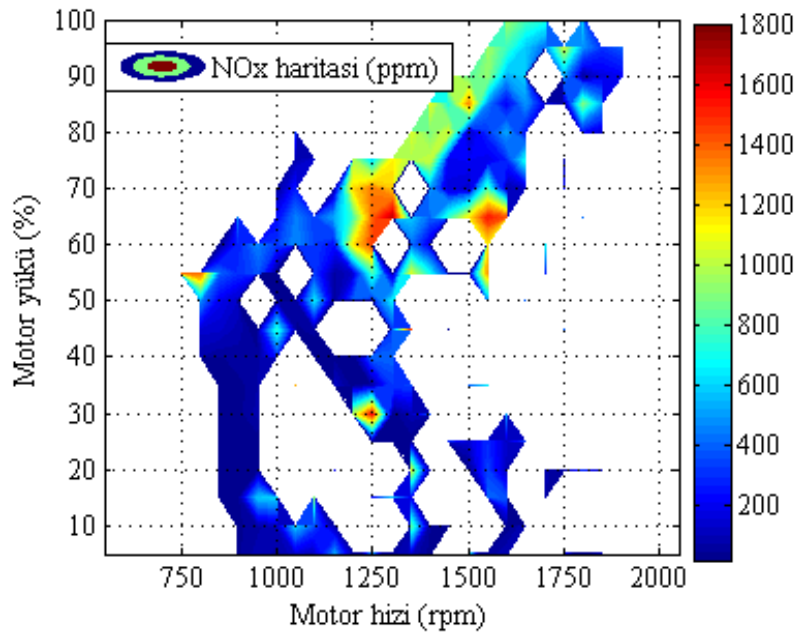
Şekil 4.5.a, 4.5.b, 4.5.c, 4.5.d, 4.5.e ve 4.5.f’de yer alan haritalarda motor hızı-yükü ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarının değişimi gösterilmektedir. Haritalardan görüldüğü gibi,  $\text{NO}_x$  emisyonları genel olarak yüksek motor hızı-yükü bölgesinde daha yüksek değerlerdedir. Ancak egzoz gaz sıcaklığı SCR sisteminin  $\text{NO}_x$  emisyonlarını etkin bir şekilde azaltabilmesi için gereken değerin üzerinde olduğunda  $\text{NO}_x$  emisyon değerleri düşmektedir.  $\text{NO}_x$  emisyon değerleri 200 ppm ile 1800 ppm arasında değişmektedir. Hatların  $\text{NO}_x$  emisyon haritaları karşılaştırıldığında en düşük emisyon değerleri Karaman hattında görülmektedir. SAÜ Kampus ve 32 Evler hattında özellikle yüksek motor hızı-yükü bölgesinde  $\text{NO}_x$  emisyonlarının çok yüksek olduğu bölgeler bulunmaktadır. Karaman hattında ortalama hızın yüksek olmasından dolayı, bu hatta egzoz gaz sıcaklığı çoğu zaman istenilen değerdedir. Bu yüzden SCR sistemi  $\text{NO}_x$  emisyonlarını etkin bir şekilde azaltmaktadır.



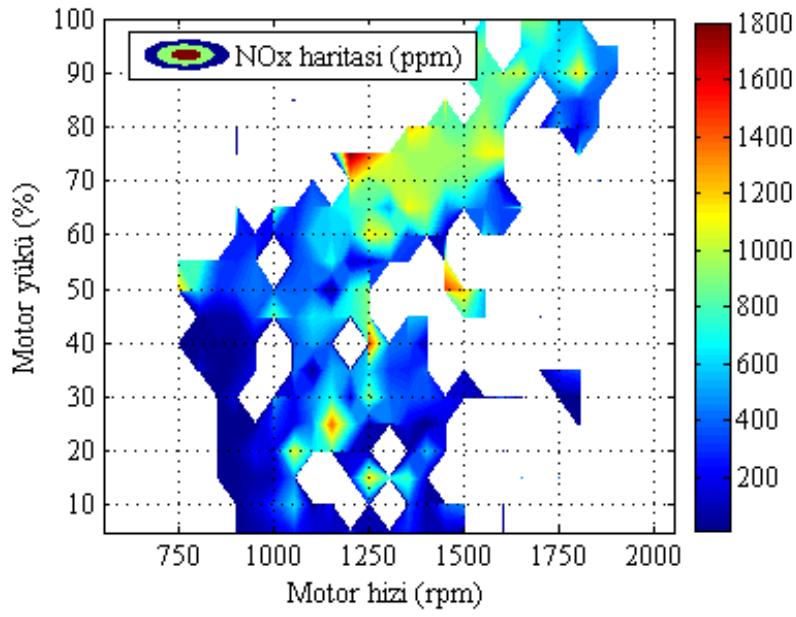
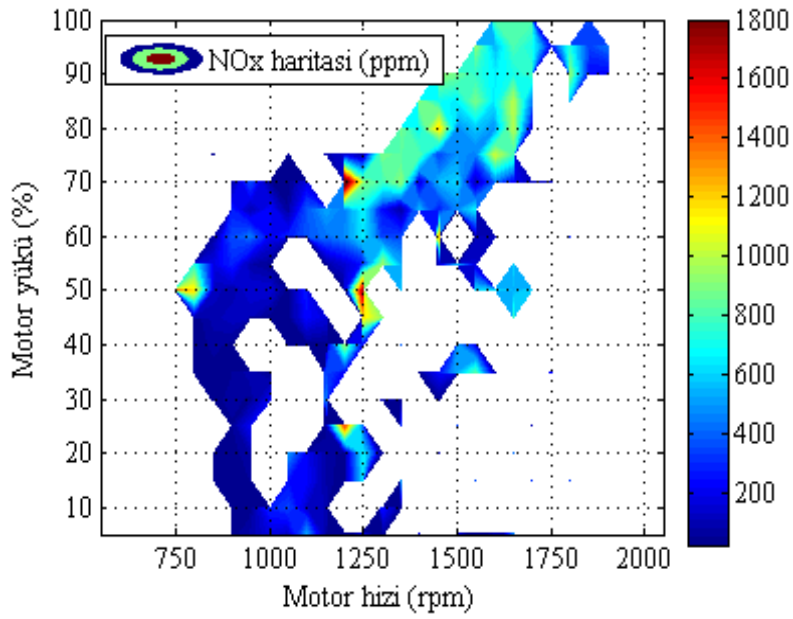
Şekil 4.5.a. Karaman-gidiş  $\text{NO}_x$  emisyon haritası

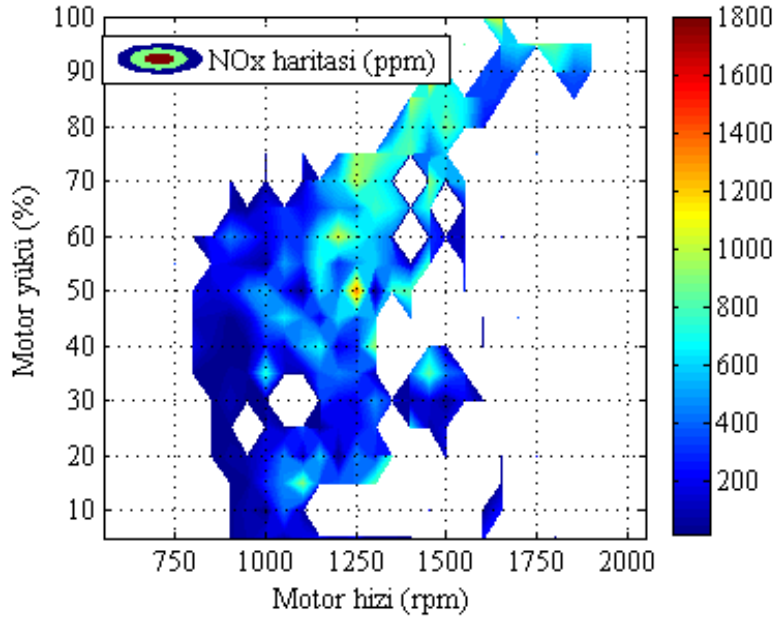


Şekil 4.5.b. Karaman-dönüş NO<sub>x</sub> emisyon haritası



Şekil 4.5.c. SAÜ Kampus-gidiş NO<sub>x</sub> emisyon haritası

Şekil 4.5.d. SAÜ Kampus-dönüş NO<sub>x</sub> emisyon haritasıŞekil 4.5.e. 32 Evler-gidiş NO<sub>x</sub> emisyon haritası



Şekil 4.5.f. 32 Evler-dönüş NO<sub>x</sub> emisyon haritası

Şekil 4.5.a, 4.5.b, 4.5.c, 4.5.d, 4.5.e ve 4.5.f'de yer alan emisyon haritaları incelendiğinde, Karaman hattında maksimum NO<sub>x</sub> emisyonları 600 ppm değerine ulaşmaktadır. SAÜ Kampus hattında NO<sub>x</sub> emisyonları 200 ppm ile 1400 ppm arasında değişmektedir. 32 Evler hattında ise genel olarak NO<sub>x</sub> emisyon değerleri 200 ppm ile 1000 ppm arasında değişmektedir. Tüm hatlar için sıcaklık ve NO<sub>x</sub> emisyon haritaları incelendiğinde, sıcaklığın SCR sisteminin etkin bir şekilde çalışması için gereken 250 °C'nin üzerine çıktığı bölgelerde NO<sub>x</sub> emisyonlarının yaklaşık olarak 400 ppm ile 600 ppm arasında azalımının sağlandığı görülmektedir.



## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Şehir otobüsleri sürdürülebilir ulaşımın sağlanabilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Ancak bu otobüslerden PM, NO<sub>x</sub>, CO ve HC gibi zararlı emisyonlar atmosfere bırakılmakta ve hava kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Günümüzde hükümetler tarafından hava kalitesini iyileştirmek için getirilen emisyon standartları ve şehir otobüslerinde yakıt ekonomisi iyileştirme çalışmaları taşıt üreticilerini yeni otobüs teknolojilerine yöneltmiştir.

Hibrit otobüsler hem konvansiyonel hem elektrikli taşıt özelliklerine sahiptir ve elektrikli otobüslere geçiş döneminde gelecek vaat eden taşıtlardır. Konvansiyonel otobüslere göre hibrit otobüsler rejeneratif frenleme sayesinde enerji kazanımı, yakıt tasarrufu ve emisyonlar açısından oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada gerçek dünya koşullarında 3 farklı hatta hibrit otobüsün enerji kazanımı, yakıt tasarrufu ve emisyonları incelenmiştir. Analizler sonucunda, yükseklik ve hız değişiminin büyük oranda enerji kazanımını ve yakıt tasarrufunu etkilediği belirlenmiştir. Maksimum enerji kazanımı % 28 olup, SAÜ Kampus-dönüş hattındadır ve dönüş hatlarının enerji kazanımı gidiş hatlarından daha yüksektir. Bunun sebebi otobüs yokuş çıkarken geri kazanılan frenleme enerjisinin az olması nedeniyle hibrit sistemin çok fazla avantaj sağlayamamasıdır. Maksimum yakıt tasarrufu % 27 olup, SAÜ Kampus-dönüş hattında gözlemlenmiştir. Yakıt tasarrufları incelendiğinde ise maksimum değerler Karaman hattındadır. Karaman-gidiş ve Karaman-dönüş hatları için sırasıyla yakıt tasarruf miktarları 1,80 l ve 1,93 l olarak belirlenmiştir. Otobüsün Karaman hattında çalışırken, yaklaşık olarak % 25 yakıt tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. 32 Evler hattında ise yakıt tasarrufu yaklaşık % 23 değerindedir.

CO<sub>2</sub> emisyonu doğrudan enerji ihtiyacına bağlıdır. Enerji ihtiyacı ne kadar fazla ise o kadar yakıt kullanılır ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Minimum CO<sub>2</sub> emisyon değerleri Karaman hattında, maksimum CO<sub>2</sub> emisyon değerleri ise 32 Evler-gidiş ve SAÜ Kampus-gidiş hatlarında gözlemlenmiştir. 32 Evler-gidiş ve SAÜ Kampus-gidiş hatları için CO<sub>2</sub> emisyon değerleri sırasıyla 1646 g/km ve 1483 g/km olarak belirlenmiştir.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumu ise egzoz gaz sıcaklığına ve motor çalışma koşullarına bağlıdır. Egzoz gaz sıcaklığı bazı istisnai durumlar hariç genel olarak motor hızı ve motor yüküne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Seçilen 3 hatta egzoz gaz sıcaklığı ve NO<sub>x</sub> emisyonları karşılaştırıldığında Karaman hattında oluşan NO<sub>x</sub> değerleri diğer hatların NO<sub>x</sub> değerlerinden oldukça düşüktür. Karaman gidiş ve dönüş hatlarında NO<sub>x</sub> değerleri sırasıyla 1.7 g/kW-h ve 2.8 g/kW-h'dir. Maksimum NO<sub>x</sub> değeri ise 5.7 g/kW-h olup SAÜ Kampus-dönüş hattında gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, hibrit sistem avantajlarının önemli ölçüde yol karakteristiğine ve trafikte seyir hızına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. 3 farklı hatta gerçek dünya koşullarında elde edilen datalara göre hibrit sistem yakıt tasarrufu sağlamakta ve bu sayede emisyonları minimize edebilmektedir. Çalışma sonuçlarından yola çıkarak hibrit teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması gerektiği düşünülmektedir. Hibrit teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması ve elektrikli taşıtlar için teknik ve teknik olmayan çalışmalar gerek politika yapıcılar gerek taşıt üreticileri gerekse üniversiteler tarafında yürütülmeli ve bu konuda gerekli teşviklerin yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] SOYLU, S., Estimation of turkish road transport emissions, Energy Policy, Volume 35, Issue 8, Pages 4088-4094, 2007
- [2] SOYLU, S., GÜMRÜKÇÜOĞLU, M., BAL, A., ŞENTÜRK, G., AYDINLAR, B., Examination of urban transport characteristics and its emissions - Adapazarı case study, (Poster no: 064) ETTAP-09 17th Transport and Air Pollution Symposium - 3rd Environment and Transport Symposium - June 2-4, 2009
- [3] WHO, 2003. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone, and nitrogen dioxide, Report on a Who Working Group, Germany, 2003. [www.who.int/en](http://www.who.int/en).
- [4] WHO, 2005a. Air quality guidelines for europe; second edition Copenhagen. WHO Regional Office for Europe, WHO Regional Publications. European series; No 91.
- [5] WHO, 2005b. Health effects of transport-related air pollution. WHO Regional Office for Europe Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen, Denmark
- [6] Communication from the commission to the council and the european parliament, Thematic Strategy on Air Pollution, Brussels, 2005
- [7] COCKER, D.R., SHAH, S.D., JOHNSON, K., MİLLER, J.W., NORBECK, J.M., Development and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines, 1. Regulated Gaseous Emissions. Environmental Science & Technology ,38, 2182-2189, 2004
- [8] LENTS, J., UNAL, A., MANGİR, N., OSSES, M., TOLVETT S, YUNUSOĞLU, O., A study of the emissions from diesel vehicles operating in Istanbul, Turkey, 2007
- [9] Regulation (EC) No 595/2009 of the european parliament and of the council 18 June 2009.
- [10] JOHNSON, K.C., DURBİN, T.D., COCKER, D.R., MİLLER, W.J., BİSHNU, D.K., MALDONADO, H., MOYNAHAN, N., ENSFIELD, C., LAROO C.A., On-road comparison of a portable emission measurement system with a mobile reference laboratory for a heavy-duty diesel vehicle. Atmospheric Environment , 43 2877–2883,2009

- [11] YOUNGLOVE, T., SCORA, G., BARTH, M., Designing on-road vehicle test programs for effective vehicle emission model development, Revised for Transportation Research Record, No: 05-2770, 2004
- [12] DINGS, J., PETERSE, A., Euro 5 and 6 emissions standards for cars and vans, European Federation for Transport and Environment, 2006
- [13] COLVILLE, R.N., HUTCHINSON, E.J., MINDELL, J.S., WARREN, R.F., The transport sector as a source of air pollution. Atmospheric Environment, 35, 1537–1565, 2001
- [14] FREY, H.C, ZHAI H, ROUPHAIL, N.M., Regional on-road vehicle running emissions modeling and evaluation for conventional and alternative vehicle technologies, Environmental Science & Technology 43, 8449–8455, 2009
- [15] ERLANDSSON, L., ALMENI, J., JOHANSSON, H., Measurement of emissions from heavy duty vehicles meeting euro IV/V emission levels by using on-board measurement in real life operation, 16<sup>th</sup> International Symposium 'Transport and Air Pollution, 2008
- [16] ÇİTLER, M., VARHAN, C.F., Hibrit elektrik taşıtlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- [17] MIERLO, J. V., MAGGETTO, G., LATAIRE, Ph., Which energy source for road transport in the future? A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles, Energy Conversion and Management 47, 2748-2760, 2006
- [18] WALL G., FELSTEAD, T., RICHARDS, A., MCDONALD, M., Cleaner vehicle buses in Winchester, Transport Policy, 15, 55-68, 2008
- [19] WEIWEI, X., YONG, Z., CHENGLIANG, Y., Optimal energy management for a series-parallel hybrid electric bus, Energy Conversion and Management 50, 1730-1738, 2009
- [20] JONAS, H., Life cycle cost analysis of a car, a city bus and an intercity bus powertrain for year 2005 and 2020, Energy Policy 35, 39–49, 2007
- [21] GAO, H.O., KIRATTRAGARN, V., Taxi owners' buying preferences of hybrid- electric vehicles and their implications for emissions in New York city, Transportation Research Part A 42, 1064-1073, 2008
- [22] WARREN, S.W., CTRANSPORT demonstration and evaluation of hybrid diesel electric transit buses, third quarter report, January, February & March 2004 Report No. CT-170-1884-3-04-5,CT,USA, 2004

- [23] SOYLU, S., BAL, A., SEMERCİOĞLU, H., AY, E.F., Urban traffic and electric vehicles", ISBN 978-953-307-100-8, Chapter 1, "Examination of an urban city bus operating conditions and emissions, SCIYO Open Access to Knowledge, D.O.O. RIJEKA, 2010
- [24] BAL, A., SEMERCİOĞLU, H., SOYLU, S., AY, E.F., Şehir otobüslerinin gerçek dünya koşullarında motor çalışma şartlarının ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının incelenmesi, Otekon 2010 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Türkiye 7-8 Haziran 2010, Bursa
- [25] SEMERCİOĞLU, H., SOYLU S., BAL A., Examination of real world operating conditions and emissions of a hybrid city bus, ICAT'10 International Conference on energy and Automotive Technologies, Istanbul, November 5, 2010
- [26] Milli Eğitim Bakanlığı, Motorlu taşıtlar teknolojisi-Dizel yakıt sistemleri, Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi-2006
- [27] HAŞİMOĞLU, C., İÇİNGÜR, Y., ÖĞÜT, H., Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 127, 135, 2002
- [28] KOLODZIEJ, C., Comprehensive characterization of particulate emissions from advanced diesel combustion, SAE 2007-01-1945 JSAE 20077142, 2007
- [29] AGRAWAL, A. K., SINGH S. K., SİNHA, S. , SHUKLA , M. K., Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust opacity in compression ignition engines, Sadhana Vol. 29, Part 3- pp. 275–284
- [30] HAŞİMOĞLU, C., İÇİNGÜR, Y., Dizel motorlarında azot oksit (NO<sub>x</sub>) kontrol yöntemleri, Selçuk-Teknik Online Dergisi
- [31] ERDÖNÖZ, H., Trafik dumanlarının insan sağlığına olan muhtemel etkileri, II. Ulusal Trafikte Güvenlik ve Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, MMO Yayın No:175, s.119-122.-1995
- [32] <http://www.dieselnet.com/standards/>- 10.03.2010
- [33] WOLFGANG, F., GEORGE, H., SCR systems for heavy duty trucks: progress towards meeting euro 4 emission standards in 2005
- [34] İLKILIÇ, C., BEHÇET, R., AYDIN, S VE AYDIN, H., "Dizel motorlarında azot oksitlerin oluşumu ve kontrol yöntemleri", 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Mayıs 2009
- [35] KESKİN, A., SAĞIROĞLU, S., Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, Mühendis ve Makina, Cilt 51, Sayı 606

- [36] ALKEMADE, U.G., SCHUMANN B., Engines and exhaust after treatment systems for future automotive applications, *Solid State Ionics* 177, 2291–2296, 2006
- [37] KESKİN, A., Dizel motorlarında partikül madde emisyon kontrolü ve gelişmeler, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15, Karabük, Türkiye, Mayıs 2009
- [38] AYDOĞAN, H., Dizel motorlarında çeşitli yakıt enjeksiyon sistemlerinin egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ekim 2006
- [39] BOYALI A., Hibrit elektrikli yol taşıtlarının modellenmesi ve kontrolü, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs 2008
- [40] [www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.html)-10.03.2010

## ÖZGEÇMİŞ

Hülya SEMERCİOĞLU, 10.07.1986 yılında Sakarya’ da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı’nda tamamladı. 2004 yılında Ali Dilmen Süper Lisesi Fen Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime ve Hibrit Otobüs Seyir Hali Emisyonlarının Ölçüm ve Modellenmesi SAN-TEZ projesi kapsamında proje asistanı olarak çalışmaya başladı.