

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

**HİBRİT OTOBÜSLER SEYİR HALİ
EMİSYONLARININ ÖLÇÜM VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Ayda BAL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeref SOYLU

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT OTOBÜSLER SEYİR HALİ
EMİSYONLARININ ÖLÇÜM VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Ayda BAL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22 / 06 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Şeref SOYLU
.....
Jüri Başkanı

Yrd. Doç. Dr. Mahnaz
GÜMRÜKCÜOĞLU
.....
Üye

Yrd. Doç. Dr. Şenay
ÇETİN DOĞRUBARMAK
.....
Üye

ÖNSÖZ

Gelişmiş ve gelişmekte olan şehirlerde toplumun şehir içi ulaşım ihtiyaçlarını karşılamada otobüsler büyük ilgi görmekte ve emisyon miktarlarının fazla oluşmasından dolayı üzerinde durulan bir konu haline gelmektedir. Otobüslerin kullandıkları fosil yakıt kaynaklı emisyonların insan sağlığı ve sera etkisi gibi yerel ve global etkilerinden dolayı emisyonları azaltmak için getirilen standartlar ve fosil yakıtlarının yakın gelecekte tükenecek olmasından dolayı günümüzde temiz enerjili teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Hibrit otobüsler rejeneratif frenlemeden dolayı hem yakıt tüketimini hem de emisyonları minimize eden önemli bir alternatiftir.

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 AR-GE mühendis ve çalışanlarına...

Bugüne kadar her türlü maddî, manevî desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan çok değerli aileme...

Her türlü destek, yardım ve anlayışları için Hülya SEMERCİOĞLU, Eyüp Fatih AY ve Serdar YILMAZ'A ayrı ayrı sonsuz teşekkürleri borç bilirim...

Ayda BAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2: GENEL KAVRAMLAR	6
2.1. Dizel Motorlar.....	6
2.1.1. Dizel motorların çalışma ilkeleri.....	6
2.1.1.1. Emme zamanı.....	7
2.1.1.2. Sıkıştırma zamanı.....	8
2.1.1.3. İş zamanı	8
2.1.1.4. Egzoz zamanı.....	9
2.2. Yanma	10
2.3. Emisyonlar.....	10
2.3.1. Partikül maddeler (PM)	11
2.3.2. Azot oksitler (NO _x)	11
2.3.3. Karbon monoksit (CO)	13
2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)	13
2.4. Emisyon Standartları.....	13
2.5. Emisyonların Sağlık Üzerine Etkisi.....	14
2.6. Emisyon Kontrol Sistemleri.....	14

2.6.1. Seçici katalitik indirgeme (SCR)	15
2.6.2. Egzoz gazı resirkülasyonu.....	16
2.6.3. Dizel partikül filtre (DPF)	17
2.6.3.1. Aktif yöntem	17
2.6.3.2. Pasif sistem.....	18
2.7. Hibrit Taşıtlar.....	18
2.7.1. Sistem tipine göre.....	19
2.7.1.1. Mikro hibrit araçlar.....	19
2.7.1.2. Hafif hibrit araçlar.....	19
2.7.1.3. Tam hibrit araçlar.....	20
2.7.2. Tasarımına göre.....	20
2.7.2.1. Seri hibrit	20
2.7.2.2. Paralel hibrit.....	21
2.7.2.3. Seri-paralel hibrit.....	21
2.7.2.4. Rejenaratif frenleme.....	22
2.8. Ağır Ticari Taşıtlar İçin Tip Onay Testleri.....	23
2.8.1. Avrupa sabit çevrimi (ESC)	23
2.8.2. Avrupa değişken çevrimi (ETC)	23
2.8.3. Dünya harmonize edilmiş değişken çevrimi (WHTC)	24
2.9. Seyir Hali emisyon Ölçüm Sistemleri.....	25
BÖLÜM 3. METODOLOJİ.....	26
3.1. Test Güzergahları.....	26
3.2. Taşıtların Özellikleri.....	28
3.3. Test Sistemi.....	28
3.4. Test Özellikleri	29
BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	30
4.1. Euro 4 Konvansiyonel Otobüs SAÜ-Kampus-Çarşı Güzergahı.....	30
4.2. Hibrit Otobüs SAÜ- Kampus-Çarşı Güzergahı.....	35
4.3. Hibrit Otobüs Çarşı - SAÜ Kampus Güzergahı	38

BÖLÜM 5. SONUÇ.....	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
CH ₄	: Metan
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
DPF	: Dizel Partikül Filtre
EGR	: Egzoz Gaz Resirkilasyonu
ESC	: Avrupa Sabit Çevrimi
ETC	: Avrupa Değişken Çevrimi
FID	: Alev İyonlaştırma Detektörü
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi
HEV	: Hibrit Elektrik Taşıt
İYM	: İçten Yanmalı Motor
NDIR	: Kızılötesi Absorpsiyon Teknolojisi
NDUV	: Morötesi Absorpsiyon Teknolojisi
NH ₃	: Amonyak
NO	: Azot monoksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksitler
PEMS	: Taşınabilir Emisyon Ölçüm Sistemleri
SAÜ	: Sakarya Üniversitesi
SCR	: Seçici Katalitik İndirgeme
SO _x	: 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	7
Şekil 2.2. Emme zamanında silindir kesitindeki durum	7
Şekil 2.3. Sıkıştırma zamanında silindir kesitindeki durum	8
Şekil 2.4. İş zamanında silindir kesitindeki durum	9
Şekil 2.5. Egzoz zamanında silindir kesitindeki durum	9
Şekil 2.6. PM emisyonlarının yapısı	11
Şekil 2.7. SCR çalışma mekanizması.....	15
Şekil.2.8. EGR çalışma prensibi	16
Şekil 2.9. DPF filtre sistemi	17
Şekil 2.10. Seri hibrit akım şeması	20
Şekil 2.11. Paralel hibrit akım şeması	21
Şekil 2.12. Seri-paralel hibrit akım şeması	22
Şekil 2.13. Rejeneratif frenleme.	22
Şekil 2.14. ESC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi.....	23
Şekil 2.15. ETC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi	24
Şekil 2.16. WHTC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi.....	24
Şekil 3.1. PEMS cihazının görünümü	26
Şekil 3.2. SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı uydu görüntüsü	27
Şekil 3.3. Temsa Prototip Avenue Hibrit Otobüs	28
Şekil 4.1. K-4 testi motor hız-motor yük frekans haritası.....	30
Şekil 4.2. K-4 SAÜ Kampus-Çarşı ve ESC çevriminin karşılaştırılması	31
Şekil 4.3. K-14 testi (SCR devre dışı) sıcaklık haritası	32
Şekil 4.4. K-14 testi (SCR devre dışı) NO _x haritası	32
Şekil 4.5.a. K-14 testi (SCR devre dışı) NO _x haritası	34
Şekil 4.5.b. K-4 testi (SCR devrede) NO _x haritası	34
Şekil 4.6. H-1 testi motor hız-motor yük frekans haritası.....	35

Şekil 4.7. 31-54 saniye aralığında ultra kapasitörün durumu.....	38
Şekil 4.8. H-2 testi motor hız-motor yük frekans haritası.....	39
Şekil 4.9.a H-3 testi Çarşı-SAÜ Kampus güzergahındaki sıcaklık haritası	40
Şekil 4.9.b. H-3 testi Çarşı-SAÜ Kampus güzergahındaki NO _x haritası	40

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Ağır-ticari taşıtlar için EURO standartları.....	14
Tablo 4.1. H-1 SAÜ Kampus-Çarşı kullanım koşulları	36
Tablo 4.2. Ultra kapasitörün kullanımına bağlı enerji değişimi ve yakıt eşdeğeri.....	37
Tablo 4.3. H-2 Çarşı- SAÜ Kampus kullanım koşulları.....	39
Tablo 4.4. Çarşı-SAÜ güzergahı otobüs performans dataları	41

ÖZET

Anahtar kelimeler: Hibrit Otobüs, Emisyon, Seyir Hali Ölçüm, Yakıt Tüketimi,

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi koordinatörlüğü, TEMSA ve Sanayi Bakanlığı desteği ile gerçekleştirilen “Hibrit Otobüs Seyir Hali Emisyonlarının Ölçüm Ve Modellenmesi” San-Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sakarya SAÜ Kampus- Çarşı ve Çarşı- SAÜ Kampus güzergahlarında Euro 6 regülasyonlarına uygun olarak gerçek dünya koşullarında Temsa Hibrit Avenue prototip otobüsü için motor çalışma performansları, yakıt ekonomisi ve emisyon dataları seyir hali emisyon ölçüm sistemi ile toplanmış, haritaları çıkarılmış ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

SAÜ Kampus-Çarşı güzergahında seyahat süresini %42’sini düşük yük ve hız koşullarında, %35’ini düşük yük ve yüksek hız koşullarında ve %23’ünü ise yüksek yük ve yüksek hız koşullarında gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu kullanım koşullarında tasarruf edilebilir yakıt miktarı 1,72 litre ve buna bağlı olarak kayıplar ihmal edildiğinde tasarruf edilen yakıt oranı % 33 bulunmuştur. Çarşı- SAÜ Kampus güzergahında oluşan ortalama CO₂ emisyonu 5,05 ‘lik standart sapma ile 598 g/kw-h şeklinde iken ortalama NO_x emisyonu 0,72 ‘lik standart sapma ile 3,67 g/kw-h şeklinde hesaplanmıştır.

MEASUREMENT AND ANALYZE OF REAL WORLD EMISSIONS OF AN HYBRID CITY BUS

SUMMARY

Key words: Hybrid Bus, Emission, PEMS, fuel save

This study was completed as a part of the SAN-TEZ project which entitled “Measurement and Modeling of Real World Emissions of An Hybrid City Bus.” At Sakarya SAU Campus-Center and Center-SAU Campus routes, engine operation performance, fuel economy and emission data were collected by a portable emission measurement system (PEMs) for TEMSA Hybrid Avenue prototype bus, is suitable Euro 6 regulations, was performed at real world conditions. Then, maps were generated with these data and optimization study was achieved.

It was shown that Sakarya University Campus-City Center trip was realized under the following conditions; 42% of the total trip time was realized under low load and speed conditions, 35% of the total trip time was realized under low load and high speed conditions and 23% of the total trip time was realized under high load and speed conditions. At these operation conditions, the amount of fuel to be saved is 1,72 liter and rate of fuel saving is 33%. At Center-SAU Campus route, as average CO₂ emission is 598 g/kW-h with 5.05 standard deviation, average NO_x emission is 3,67 g/kW-h with 0,72 standard deviation.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hava kirliliği canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ayrıca maddi hasarlara yol açan hava içerisindeki zararlı maddelerin normal değerlerin üzerine çıkması olarak tanımlanabilmektedir. Hava kirliliğinin artmasıyla havanın kalitesi düşmekte ve günümüzde insan sağlığı ve diğer canlıların hayat şartları üzerindeki olumsuz etkilere neden olmaktadır. Sanayi devriminden sonra gelişen şehirleşmenin sonucu gelişmiş ve gelişmekte olan şehirlerde ulaştırmanın önemi artmaktadır ve buna bağlı olarak hava kirliliğinin en önemli kaynağı motorlu taşıtlar haline gelmiştir.

Türkiye’de toplumun şehir içi ulaşım ihtiyaçlarını karşılamada taşıtları büyük bir bölümünü otobüsler oluşturmasına rağmen otobüslerin emisyon miktarlarının yüksek olmasından dolayı otobüsler dikkat çekici ve üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmektedir. Şehir içi otobüsler güç kaynağı olarak genellikle dizel motorları kullanmaktadır ve motorun temel yanma ürünleri olarak çevre havasına CO₂, H₂O ve N₂ yaymaktadırlar. Temel sera gazı olan CO₂ miktarı ulaşım aktivitelerinde fosil yakıt kullanımı ile orantılı olarak artış göstermektedir. Fosil yakıtlarının kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit gibi kirletici gazların atmosferde sera etkisine neden olmakta ve dünya iklimini değiştirmektedir.

Şehir içi otobüsler genel olarak nüfusun yoğun olduğu bölgelerde çalışmaktadırlar ve bu bölgelerde PM, NO_x, CO ve HC gibi insan sağlığına zararı çok fazla olan emisyonları havaya vermektedir [1,2]. Havadaki emisyonların insanlar tarafından nüfus etmeden önce zararsız konsantrasyon seviyesinde olacak şekilde seyreltilmesi için yeterli zaman bulunmamasından dolayı birçok hastalığa neden olmaktadır.

Tüm bu yerel ve global etkilerden dolayı son 40 yılda fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyon değerlerini %90'dan fazla azaltmak için yasalar ve standartlar yayınlanmıştır [3]. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması ve fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen tüm bu yasalar sonucunda günümüzde temiz enerjili teknolojiler araştırılmakta ve bu teknolojiler kullanılmaya başlanmaktadır.

Temiz enerji için ilk önce daha az ya da hiç karbon içermeyen yakıtlar ile çalışabilen taşıtların geliştirmesi üzerinde durulmuştur. Bu taşıtlarda kullanılan yakıtların verimlerinin düşük olması, batarya ve güç teknolojilerinin yeteri kadar gelişmiş olmaması nedeniyle, bütün bir aracın verimliliğinin artırılması fikri ön plana çıkarılarak hibrit taşıtlar üzerine çalışmalar başlamıştır [4]. Hibrit otobüsler rejeneratif frenlemeden dolayı hem yakıt tüketimini hem de emisyonları minimize eden önemli bir alternatiftir.

Avrupa'daki fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyon standartlarının karşılanmasına yönelik ağır ticari taşıtların motorları piyasaya sürülmeden önce laboratuarlarda tip onay test çevrimlerine göre test edilmektedir. Fakat buna rağmen gelişmiş ülkelerin çoğunda hala şehir içi nüfusu şehir içi ulaşımda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlardan zarar görmektedir [5,6]. Bu zararın en önemli nedenlerden biri kabul edilen tip onay test çevrimlerinin taşıtın güncel kullanım koşullarıyla uyum göstermemesidir [7]. Bundan dolayı şehir içi caddelerde salınan taşıt emisyonlarının miktarı yayınlanan emisyon yasaları ile paralel azalmamaktadır [8].

Şehir içi otobüslerden kaynaklanan kirleticilerin emisyonları yanma teknolojilerine, emisyon katalizörlerine, yakıt miktarına, yaşına ve ayrıca otobüs kullanım koşullarına bağlı olduğu yapılan araştırma çalışmaları ile belirlenmiştir [9,10].

Özellikle otobüs kullanım koşulları emisyonlara önemli derecede etki etmektedirler. Emisyonların miktarı sık sık tekrarlanan ivmelenme, yavaşlama, düşük hız, farklı yol eğimi gibi yol koşulları 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 düzenlemeleri çevrim dışı ve gerçek dünya emisyonlarını belirleyebilen taşınabilir emisyon ölçüm sistemlerinin kullanılması (PEMS) gerektiğini vurgulamaktadır [11].

PEMS yolculuk esnasındaki emisyonları ölçebilmesinden ve kolaylıkla kurulabilmesinden dolayı gerçek dünya koşullarındaki ölçümler için en önemli yöntem olarak görülmektedir. PM ve diğer gaz emisyonlarının ölçümü için farklı üreticilerin yapmış oldukları çeşitli PEMS sistemleri piyasada mevcuttur. 5 farklı üreticinin ürettiği PEMS ile yapılan araştırma çalışmasında ölçüm tekniklerinin ve operasyonlarının üreticiler arasında farklılık olduğunu göstermektedir. Bu nedenle üretim için standartlaştırılmış yasaların gelişimine ihtiyaç olduğu ve bu ihtiyacın karşılanması gerektiği tavsiye edilmektedir [12].

PEMS ve yardımcı sistemleri ile taşıtların kullanım koşulları, yolun etkileri, motor yanma teknolojileri, emisyon katalizörlerinin(SCR, EGR vb 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 toplanabilmektedir. Bu yüzden PEMS kullanarak özel güzergahlarda 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 ulaşırmaya kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini belirlerken, PEMS ile hesaplanan emisyon faktörlerinin büyük oranda doğruluk sağladıkları için bu olumsuz etkiler doğru belirlenmiş olmaktadır [13.14.15]. Ayrıca özel güzergahlarda alternatif teknolojilere sahip taşıtlarda yakıt tüketimi ve emisyon bakımından taşıtların optimize edilmesi için PEMS taşıt üreticilerine fırsat sağlamaktadır. Örneğin hibrit taşıtların gerçek dünya emisyon performansı PEMS kullanılarak test edilebilmektedir.

H. Christopher Frey ve arkadaşları % 85 etonollü benzin karışımı taşıt, yakıt hücreli taşıt, hibrit elektrik taşıt ve sıkıştırılmış doğal gazlı taşıt gibi alternatif yakıt teknolojilerinin gerçek dünya koşullarında emisyon oluşumuna etkisinin nasıl olduğunu belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir [7]. Çalışma sonuçlarına göre hibrit taşıtların gerçek dünya koşullarında NOx emisyonlarını diğer taşıtlardan %30-50 oranında azalttığı belirlenmiştir, NOx emisyonları için hafif ticari dizel taşıtların sıralamada en üstte olduğu hafif ticari benzinli taşıtların bunu takip ettiği görülmektedir. Ayrıca %85 etonollü benzin karışımı, benzinliye nazaran CO emisyonlarını %15-20'e kadar ve sıkıştırılmış doğal gaz ise (CNG), %50'den fazla HC emisyonlarını azaltabildiği belirtilmiştir.

Taşıt sınıfları için envanter hazırlanması, emisyon faktörlerinin geliştirilmesi ve taşıtların gerçek dünya emisyonlarının incelenmesi için literatürde yayınlamış farklı araştırma çalışmaları bulunmaktadır [16]. İsveç de hazırlanan İsveç Ulusal Programı-2007 programı üç farklı imalatçıya ait Euro IV-V şehir içi otobüsü üzerinde yapılan yol testi ve şasi dinamometresi testini kapsamaktadır. Otobüslerin testleri, 2006'da yapılmış olan programda kullanılan PEMS güzergahında ve ekstra olarak kırsal yol olarak bilinen güncel bir otobüs güzergahında tamamlanmıştır. PEMS güzergahı için NOx değerleri sırasıyla 3 test için 4,57g/km(EGR, oksidasyon katalizörü), 2,13g/km (SCR, DPF) ve 1,95g/km (SCR, DPF) şeklindedir. Gerçek sürüş koşullarında oluşan emisyonların belirlenmesini sağlayan otobüs güzergahında ise sırasıyla 7,27g/km, 10,72 g/km ve 3,41g/km şeklinde yüksek oranda artış göstermektedir [8]. Değerlendirmeler sonucunda otobüslerin kullanmış olduğu güzergah ile belirlenmiş PEMS güzergahı arasında farklılıklar olduğu ve taşıtın kullanım koşullarına göre emisyon değerlerinde değişiklikler meydana geldiği görülmektedir.

Bu çalışma ise Sakarya Üniversitesi koordinatörlüğü ve TEMSA ve Sanayi Bakanlığı desteği ile gerçekleştirilen "HİBRİT OTOBÜS SEYİR HALİ EMİSYONLARININ ÖLÇÜM VE MODELLENMESİ" San-Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sakarya şehir merkezinde Euro 6 regülasyonlarına uygun olarak gerçek dünya koşullarında yakıt ekonomisi, emisyon durumu, taşıt performansı ve tüm etkiler seyir hali emisyon ölçüm sistemi ile belirlenmiştir.

Çalışmada ilk önce içten yanmalı motorlar hakkında bilgi verilmiş ve oluşan emisyonlar ve kontrol yöntemleri vurgulanmıştır. Daha sonra hibrit sistemli taşıtlar incelenmiş ve seyir hali emisyon ölçümlerinde kullanılan portatif emisyon ölçüm sistemlerinin özellikleri sunulmuştur. En son olarak Temsa Konvansiyonel Avene otobüsünden geliştirilen Temsa Hibrit Avenue prototip otobüsünde seyir hali emisyon ölçümleri gerçekleştirilerek gerçek dünya koşullarında taşıt performansının, yol, kullanım ve çevre koşullarının emisyon oluşumuna ve yakıt tüketimine etkileri belirlenerek yapılabilecek optimizasyonlar belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. GENEL KAVRAMLAR

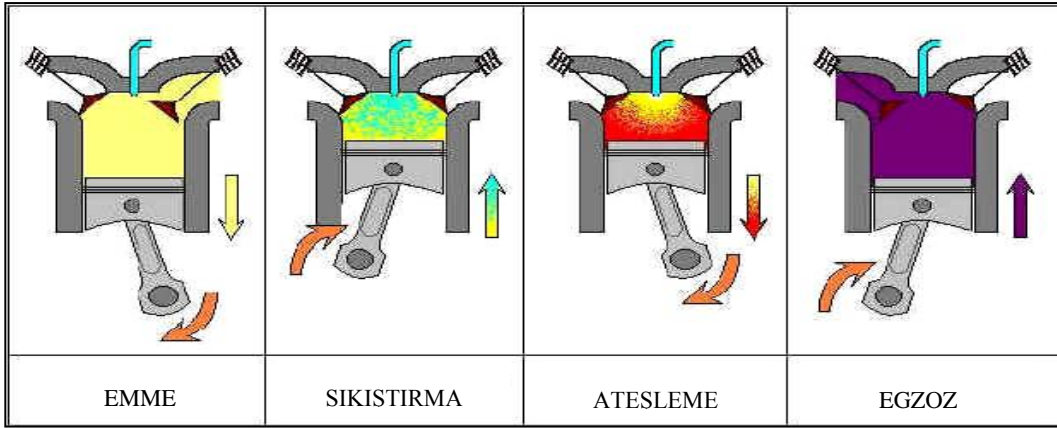
Bu bölümde dizel motorlar, meydana getirdikleri emisyonlar, bu emisyonların giderilmesi ve ölçülmesi için kullanılan yöntemler ve temiz teknoloji olarak tanımlanan hibrit taşıtlar incelenmektedir.

2.1. Dizel Motorlar

Dizel motorlar oksijen içeren bir gazın sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışmaktadır. Dizel motorlar genel anlamda içten yanmalı motor (İYM) çeşitlerinden biridir. 1892'de Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunan ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınan bu süreç dizel çevrimi olarak bilinmektedir. Dizel motorlarda yakıtın kimyasal enerjisi silindirler içinde direkt olarak mekanik enerjiye çevirmektedir.

2.1.1. Dizel motorların çalışma ilkeleri

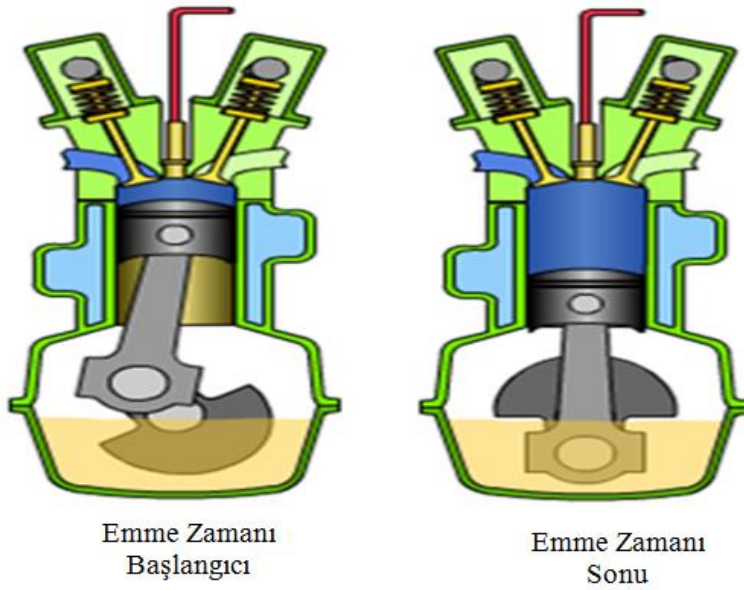
Dizel motorlar şekil 2.12de görüldüğü gibi emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz olmak üzere birbirini takip eden 4 zaman prensibine göre çalışmaktadır.



Şekil 2.1. Dört Zamanlı Motorun Çalışma Aşamaları

2.1.1.1. Emme zamanı

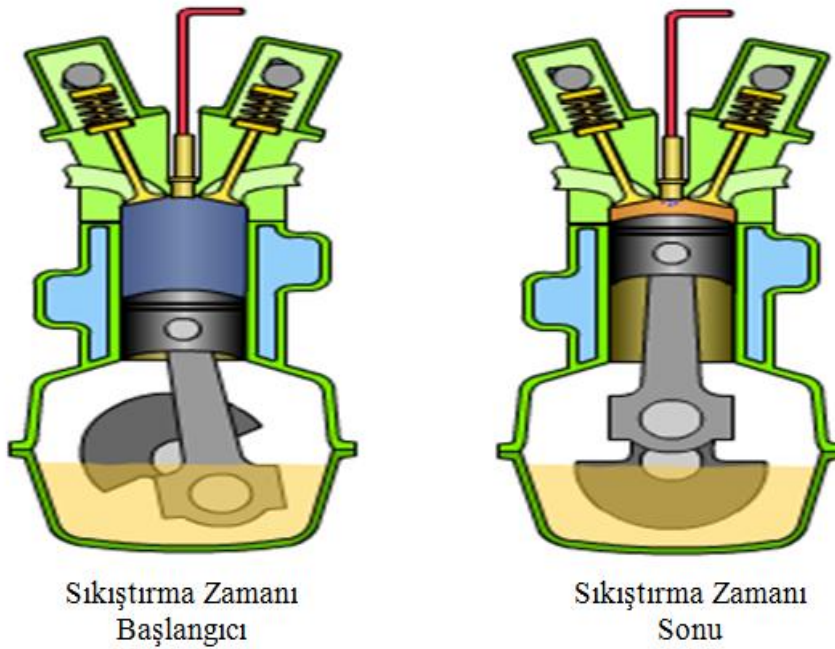
Şekil 2.2’de görüldüğü gibi pistonun A.Ö.N’ ya doğru hareketiyle silindir içerisinde hacim büyümesi olacağından piston üzerinde bir alçak basınç meydana gelmektedir. Açık hava basıncının, 1 bar olması nedeniyle hava emme manifoldu ve emme supabı yolu ile silindire dolmaktadır. Emme zamanı sonunda silindir 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 [17].



Şekil 2.2. Emme zamanında silindir içindeki durum

2.1.1.2. Sıkıştırma zamanı

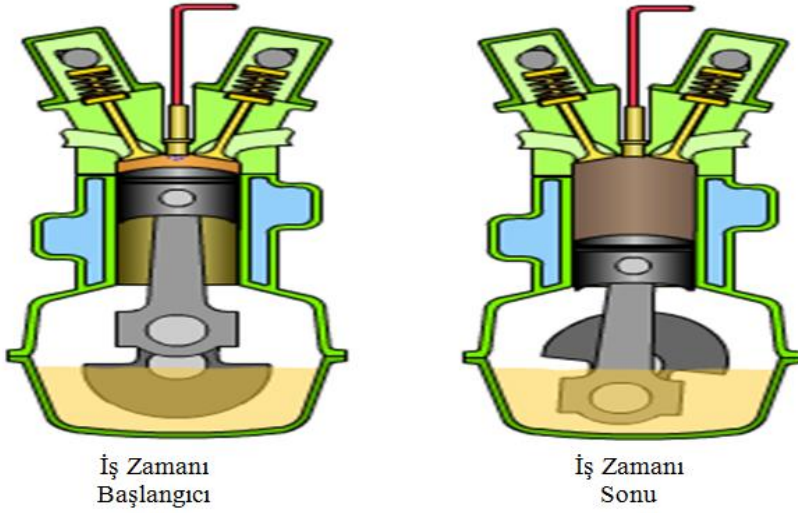
Şekil 2.3’de Piston A.Ö.N’ dan Ü.Ö.N’ ya doğru ilerlerken emme supabı kapanır ve piston, önündeki havayı sıkıştırmaya başlatmaktadır. Havanın sıkıştırılması neticesinde basınç ve sıcaklığı artmaktadır. Sıkıştırma zamanı sonunda silindir içersindeki havanın basıncı 30 – 45 bar, sıcaklığı ise 600 – 900 °C yükselmiş olacaktır [17].



Şekil 2.3. Sıkıştırma zamanında silindir içindeki durum

2.1.1.3. İş zamanı

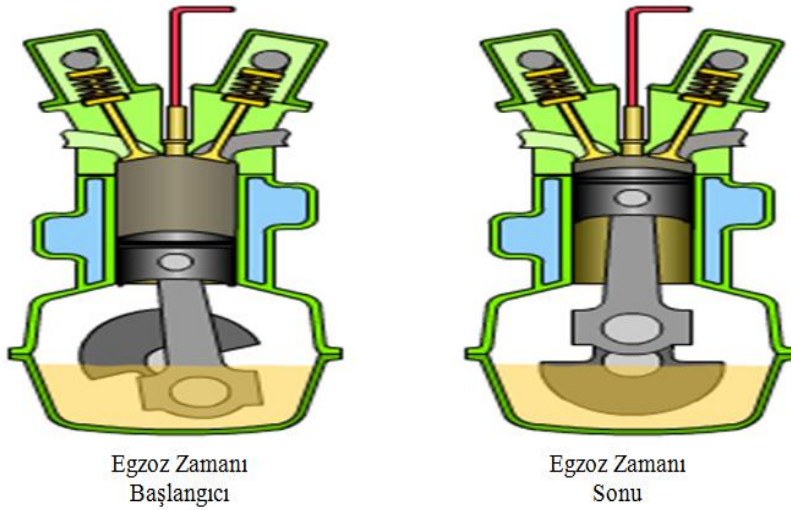
Sıkıştırma zamanının sonuna doğru sıkıştırmanın etkisi ile birlikte basıncı ve sıcaklığı yükselen havaya yakıt küçük tanecikler halinde püskürtülmektedir. Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi silindire püskürtülen yakıt belirli bir gecikme ile tutuşur ve yanma gerçekleşmektedir. Püskürtme işlemi piston Ü.Ö.N’ ya geçtiğinde de devam etmektedir. Dolayısı ile bu yanma genişleyen bir hacim içinde gerçekleşmektedir. Yanmanın etkisi ile birlikte sıcaklığı ve basıncı artan gazlar pistonu A.Ö.N’ ya 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 basınç 60 – 80 bar sıcaklık 2000 °C’ dir [17].



Şekil 2.4. İş zamanından silindirdeki 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. Egzoz zamanının sonuna doğru basınç 3 – 4 bar sıcaklık 80 – 120 °C civarındadır [17].



Şekil 2.5. Egzoz zamanında silindirdeki durum

2.2. Yanma

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 [18].

Ham petrolün rafine edilmesi sırasında kükürt, azot ve vanadyum gibi safsızlıklar meydana gelmektedir. Motorin ve bu safsızlıkların hava ile yanması ile oluşan ürünler aşağıdaki denklemde sunulmuştur.



Bu yanma işlemi esnasında, reaksiyondan önce var olan maddelere yanma işlemine girenler, reaksiyondan sonra var olan maddelere yanma işleminden 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 Yanma’’ denilmektedir.

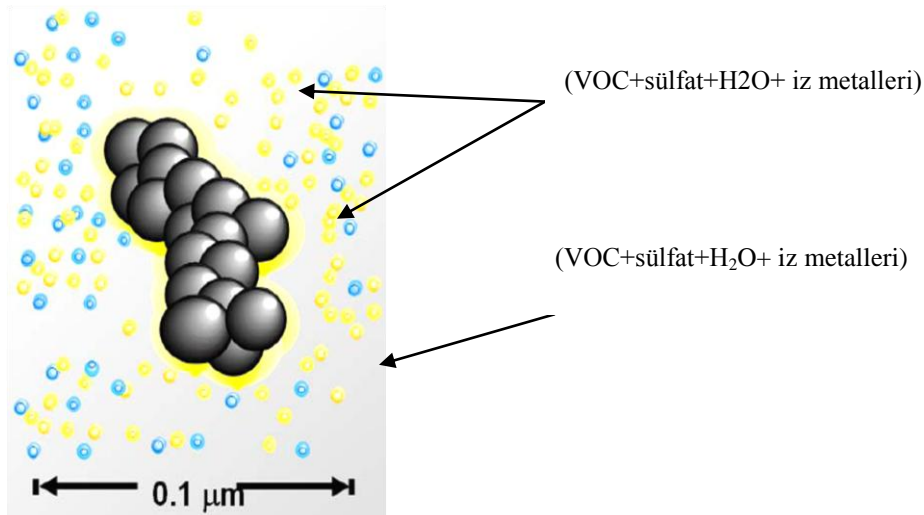
2.3. Emisyonlar

Dizel motorlarında yanma sonucu oluşan ve standartla kontrol edilmesi gereken emisyonlar şöyle sıralanabilir.

- Partikül madde (PM)
- Azot oksitler (NO_x)
- 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 çekirdeğini oluşturan is oluşmaktadır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi PM yapısı incelendiğinde oluşan is tabakasının etrafında VOC,



Şekil 2.6. PM emisyonlarının yapısı [19].

2.3.2. Azot oksitler (NO_x)

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler oluşur. NO_x içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucunda oksidasyon ile NO'nun bir kısmı NO₂'ye dönüşmektedir. NO, NO₂ ve...NO_n bir arada toplanarak NO_x'leri oluşturmaktadır.

NO₂ keskin kokulu kırmızımsı-kahverengi bir gazken, NO renksiz ve kokusuz bir gazdır. Her iki gaz, zehirli olduğu düşünülmektedir fakat NO₂'nin zehirlilik düzeyi NO' dan 5 kat daha büyüktür [20].

NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve oksijen miktarıdır. Eyzat ve Guibet tarafından belirlenen NO_x oluşumunu tamamlayan ana denklem aşağıdaki 2.2 denkleminde gösterildiği gibidir.



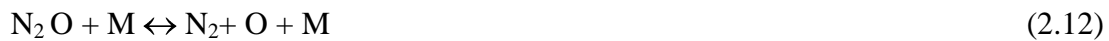
Ancak bu reaksiyon olayı tam olarak tanımlamadığından Newhall ve Starkman tarafından NO oluşumu Zeldowich zincir reaksiyonu ile tanımlanmıştır [21].



Lavoie ise değiştirilmiş Zeldowich reaksiyonlarını kullanmıştır;



Annand da bu reaksiyonlara eklemeye bulunmuştur.



Alev bölgesinde oluşan NO oksijenle birleşerek aşağıdaki reaksiyonla atmosferde NO₂'ye dönüşecektir.



2.3.3. Karbon monoksit (CO)

CO ortalama atmosferik ömrü yaklaşık 2,5 ay olan, kokusuz, renksiz, tatsız bir gazdır [22]. 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. Alev cephesinin dışında kalan bölgelerde yakıtın bulunan O₂ ile birleşememesi ya da silindir duvarlarında O₂ olmaması sonucu oluşmaktadır

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

2.4. Emisyon Standartları

Birçok ülkede dizel yakıtlı ticari taşıtlar için emisyon standartları genellikle, 'Euro' standardı olarak temel alınır. Avrupa birliği ülkelerindeki bugünkü emisyon standartları Euro 5 kadar ulaşmaktadır. Standart ile izin verilen kritik değerler, Tablo 2.1.de özetlenmektedir.

Tablo 2.1. Ağır-ticari taşıtlar için EURO standartları (g/kW-h) [3]

	Tarih	Test çevrimi	CO	HC	NO _x	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	1,0	0,25	2,0	0,02
	Ekim 2000	ESC&ELR	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

2.5. Emisyonların Sağlık Üzerine Etkisi

Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına oluşturmaktadırlar. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyümektedir. Partiküllerde tehlikeli sınıfına girenler çapı 10 µm'den küçük olanlardır. Çünkü PM₁₀ sınıfındaki partiküller akciğerlere kadar kolayca ilerleyebilmektedir. Partiküllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri de çok önemlidir. Çünkü partikül haldeki bazı elementler ölümcül olabilir. Ayrıca Partikül maddeler nefes darlığına da yol açabilmektedir.

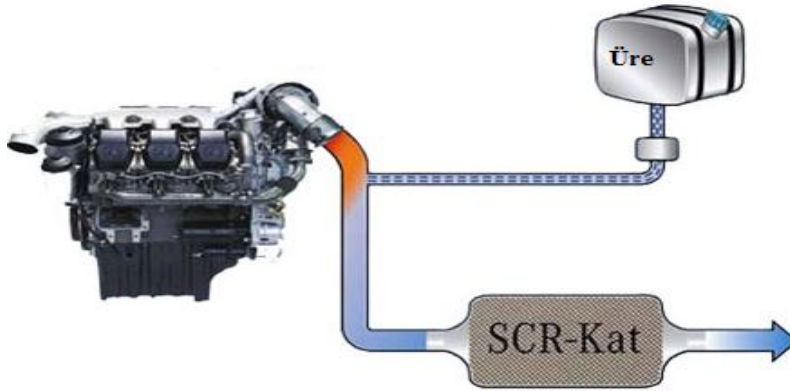
NO_x'ler kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek ise nitrik asit oluştururlar. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır [18]. NO akciğerlerin çalışmasını bozarken mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi bulunmaktadır.

2.6. Emisyon Kontrol Sistemleri

2008 yılında kabul edilen Euro 5 standartlarında bulunan NO_x için 2 g/kWh ve PM için 0.02 g/kWh değerlerinin karşılanabilmesi için yalnız motor yönetim sistemleri veya yanma sistemlerinin geliştirilmesi yeterli değildir ve aşağıda incelenen emisyon kontrol sistemleri kullanılmalıdır.

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 (NOx), enjekte edilen indirgeyici tarafından oluşan amonyak (NH₃) ile azot (N₂) ve suya (H₂O) indirgenmektedir.

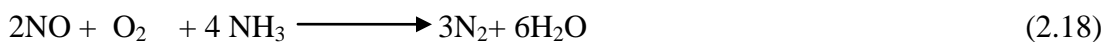
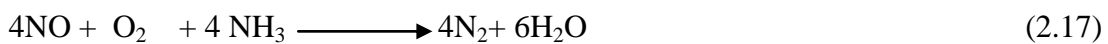
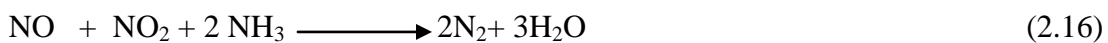


Şekil 2.7. SCR çalışma mekanizması

NH₃, yüksek sıcaklıklarda üreden ve hidroliz ile oluşturulur. Bunun nedeni ise NH₃'ün üreden daha az zararlı olmasıdır. NH₃ oluşum reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir [23].



Üre çözeltisi, parçalara bölündüğü ve sıcak egzoz gaz akışına enjekte edildiği zaman damlacıklar ısıtılır ve ilk olarak su buharlaştırılır. Daha sonra dizel egzozunda NOx'in çoğunlukla NO' dan oluşmasından dolayı SCR reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir.

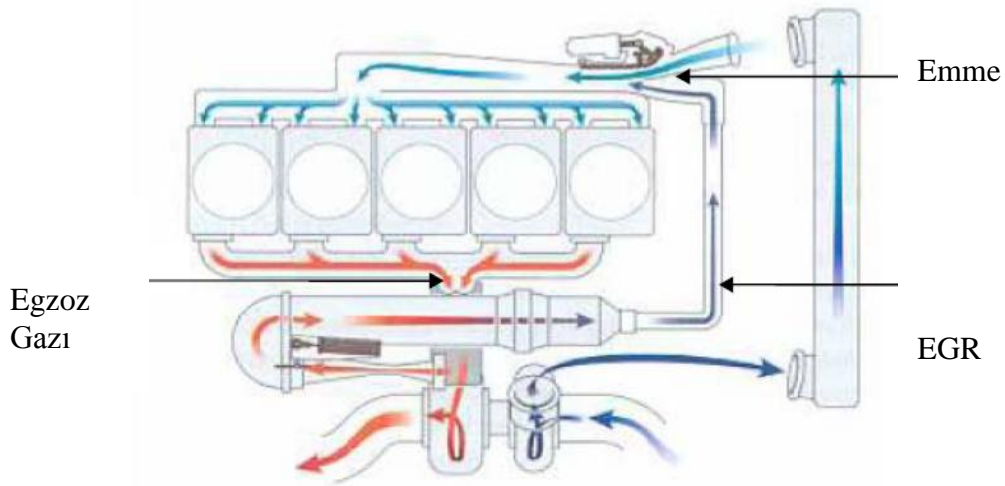


SCR sisteminde kullanılan indirgeyicilerden en önemlisi ve etkin olanı üre çözeltilisidir ve üre piyasada Adblue şeklinde adlandırılmaktadır. Bununla birlikte SCR sisteminde hidrokarbon (HC), Cu, gibi maddelerde indirgeyici olarak kullanılmaktadır.

2.6.2. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR)

Yanma sırasında oluşan NO_x miktarı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Yanma odası içindeki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi sonucu maksimum yanma sıcaklıkları, dolayısıyla üretilen NO_x 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 [24].

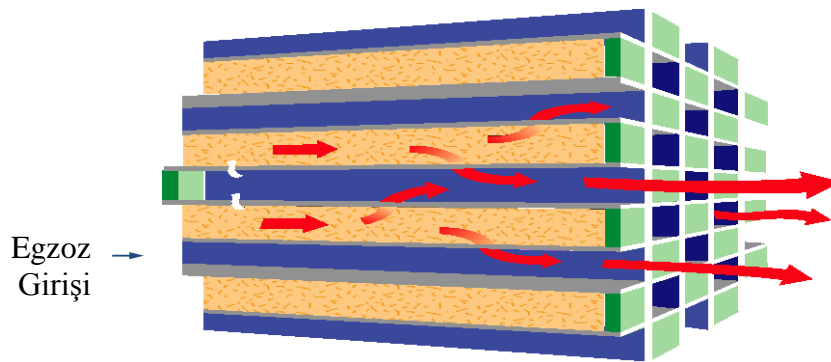


Şekil 2.8. EGR çalışma prensibi

2.6.3. Dizel partikül filtre (DPF)

Dizel motorlarda NOx 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.

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. Egzoz gazının DPF' den geçip dışarıya atılması sırasında katı partiküller gözeneklerde birikmektedir [25].



Şekil 2.9. DPF filtre sistemi [25]

Filtreye biriken katı partiküllerin rejenerasyonu için 2 yöntem vardır.

2.6.3.1. Aktif yöntem

Filtre edilen ve DPF' in içinde hapsedilen parçacıklar, filtrenin durumuna göre yaklaşık her 400-500 km de yakıt ilavesi yaparak yeniden yanma işlemi (550 °C) ile rejener edilir. Pasif rejenerasyon sırasında katalizatörde birikmiş olan kurum yavaş ve zarar vermeyecek bir şekilde CO₂'ye dönüştürülür.

2.6.3.2. Pasif sistem

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.

2.7. Hibrit Taşıtlar

Fosil yakıtlarının yakın gelecekte tükenecek olması ve fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen yasalar sonucunda günümüzde temiz enerjili teknolojilerinin araştırılmakta ve bu teknolojiler kullanılmaya başlamaktadır. Temiz enerji için ilk önce daha az ya da hiç karbon içermeyen yakıtlar ile çalışabilen taşıtların geliştirmesi üzerinde durulmuştur. Bu taşıtlarda kullanılan yakıtların verimlerinin düşük olması, batarya ve güç teknolojilerinin yeteri kadar gelişmiş olmaması nedeniyle, bütün bir aracın verimliliğinin artırılması fikri ön plana çıkarılarak hibrit taşıtlar üzerine çalışmalar başlamıştır. Hibrit taşıtlar, düşük emisyon değerlerine sahip olması ve yakıt tasarrufu gerçekleştirmesi nedeniyle taşıt üreticileri tarafından büyük oranda ilgi görmektedir [4].

Hibrit taşıtlar basit bir tanımla bataryalı elektrikli taşıtların motoru ile günümüzde kullanılan benzinli veya dizel taşıtların içten yanmalı motorların birleşimidir.

İçten yanmalı motorlar (İYM) elektrikli motorlara göre avantajı menzil olarak daha fazla olması, yakıtının her yerde kolay şekilde bulunması, elektrikli motora göre daha performanslı oluşlarından dolayı tercih edilmektedir.

Fakat dünya üzerindeki fosil yakıtların tükenmesinden, buna bağlı olarak her geçen gün yakıtın pahalılaşması ve son olarak çevreye vermiş olduğu kirletici gazlardan dolayı İYM' ların sayıları azalmaya başlamıştır.

Buna bağlı olarak elektrik motorlarının maliyeti pahalı, dolun istasyonları her yerde bulunmamakta, tam depolanmış bir batarya ile en fazla 100-150 km. geçmeyen menzilleri ile ivmelenmeleri az olmaktadır. Bu durumlara karşın içten yanmalı motorlara göre daha basit yapıya sahip olması ve temiz bir motor olduğundan dolayı taşıt üreticileri bu iki motorun avantajlarını kullanarak hibrit taşıtları tasarlamıştır [26].

Hibrit taşıtlar glerine ve tasarımlarına göre 2 farklı sınıflandırmada bulunmaktadır [4].

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. Taşıtta 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.

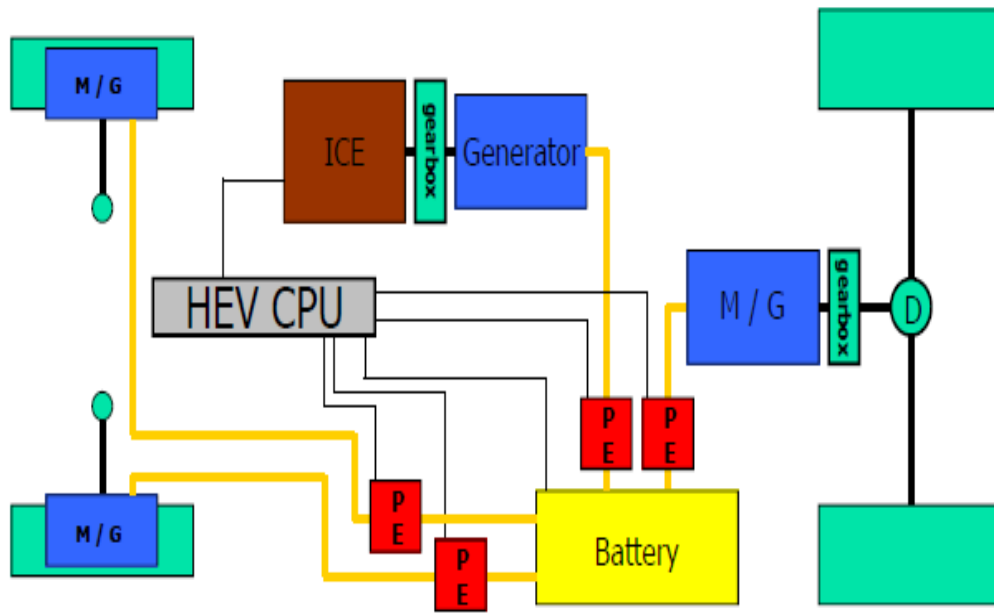
2.7.1.3. Tam Hibrit taşıtlar

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

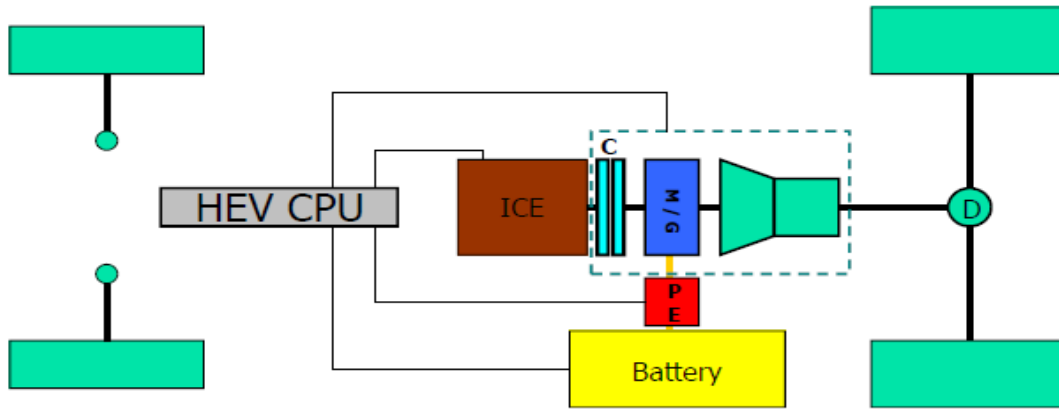
Seri hibrit teknolojinin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Seri hibrit genel olarak elektrikle tahrik edilen bir aracın bataryalarını gerektiğinde taşıt üzerine monte edilmiş bir içten yanmalı motor ve jeneratör ikilisiyle şarj edilmesidir. İçten yanmalı motorun tekerleklerle bağlantısı yoktur ancak bir batarya paketi şeklinde elektrik depolama sistemini şarj etmektedir. İçten yanmalı motorun ürettiği enerji jeneratör tarafından elektrik enerjisine bu enerji ise elektrik motoru tarafından hareket enerjisine dönüştürülmektedir.



Şekil 2.10. Seri hibrit akım şeması

2.7.2.2. Paralel hibrit

Genel olarak taşıt üstünde 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.

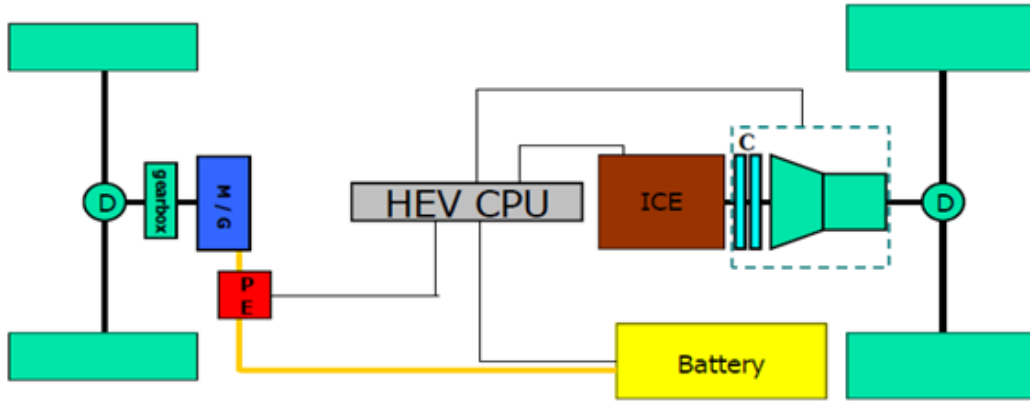


Şekil 2.11. Paralel hibrit akım şeması

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

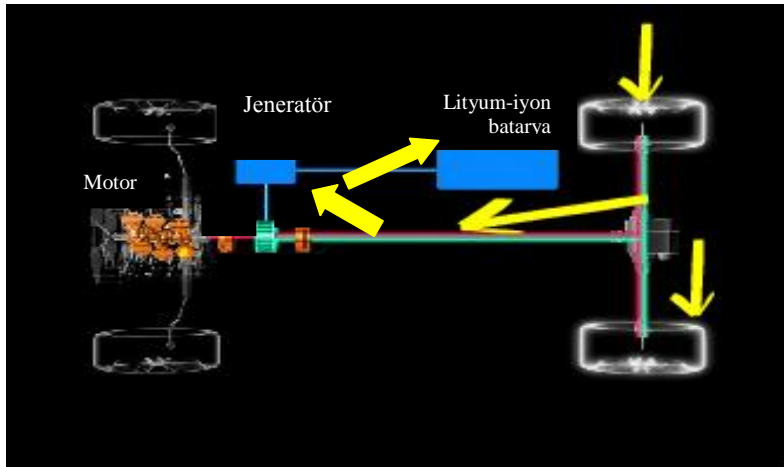
Taşıt üzerinde biri jeneratör olarak kullanılmak üzere iki adet elektrik motoru vardır. İçten yanmalı motor jeneratör olarak elektrik motoru ve bataryayı şarj edebilmektedir. Sistemin ön tekerlekleri seri hibrit prensibi ile çalışırken, arka tekerlekleri paralel hibrit prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 2.12. Seri-paralel hibrit şeması

2.7.2.4. Rejeneratif frenleme

Şekil 2.13’de görüldüğü gibi frenleme esnasında tekerleklerdeki hareketten dolayı meydana gelen mekanik enerji jenretörde elektrik enerjisine dönüştürülür ve bataryalarda depolanmaktadır. Daha sonra kalkış zamanında depolanan bu enerji kullanılmaktadır.



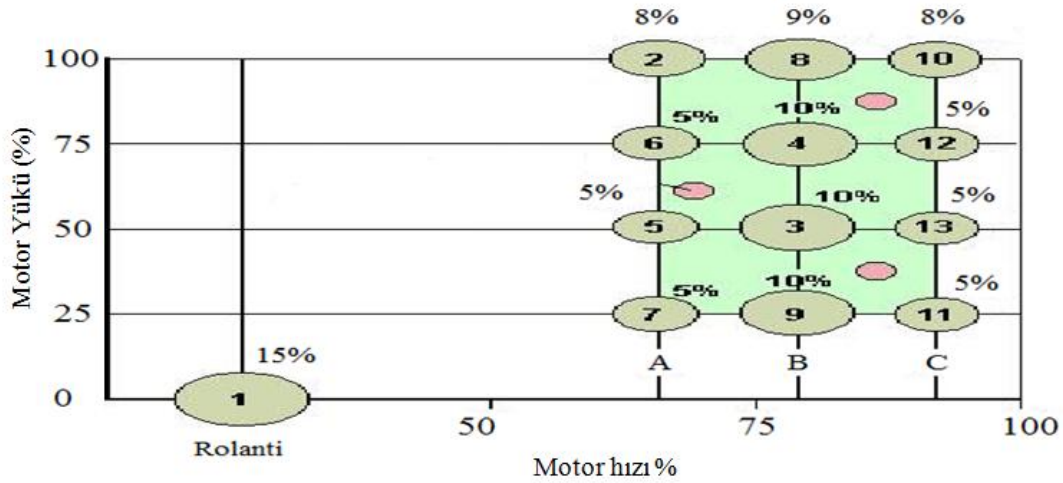
Şekil 2.13. Rejeneratif frenleme

2.8. Ağır Ticari Taşıtlar İçin Tip Onay Testleri

Ağır Ticari Taşıtlarda kullanılan tip onay testlerinde ağır ticari taşıtların motorları kullanılarak motor dinamometresinde yapılan testlerdir. Bu testlerde 2 farklı çevrim bulunmaktadır.

2.8.1. Avrupa sabit çevrimi (ESC)

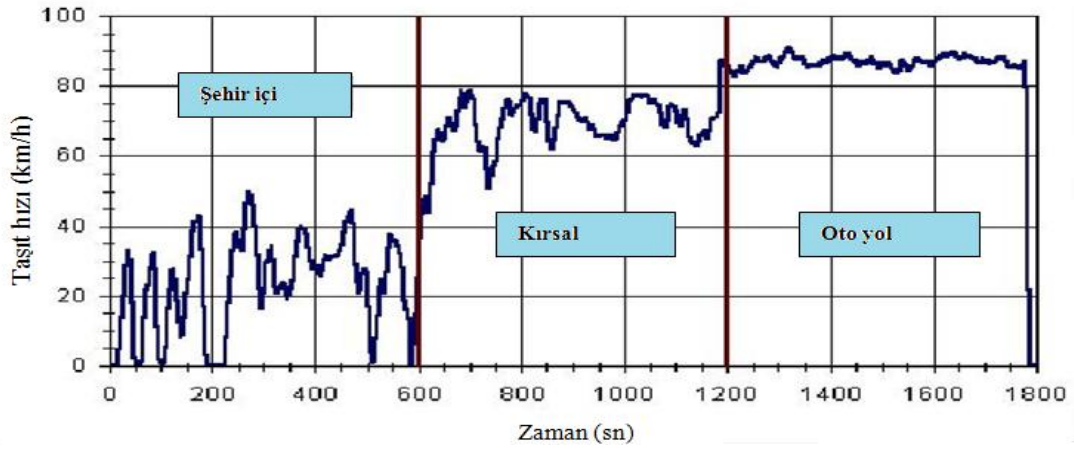
ESC' de motorun yük durumu ve hızı dikkate alınarak Şekil 2. 14'de görüldüğü gibi 13 farklı bölgeden farklı miktarda emisyonlar ölçülerek toplam emisyon miktarı belirlenmektedir.



Şekil 2.14. ESC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [27]

2.8.2. Avrupa değişken çevrimi (ETC)

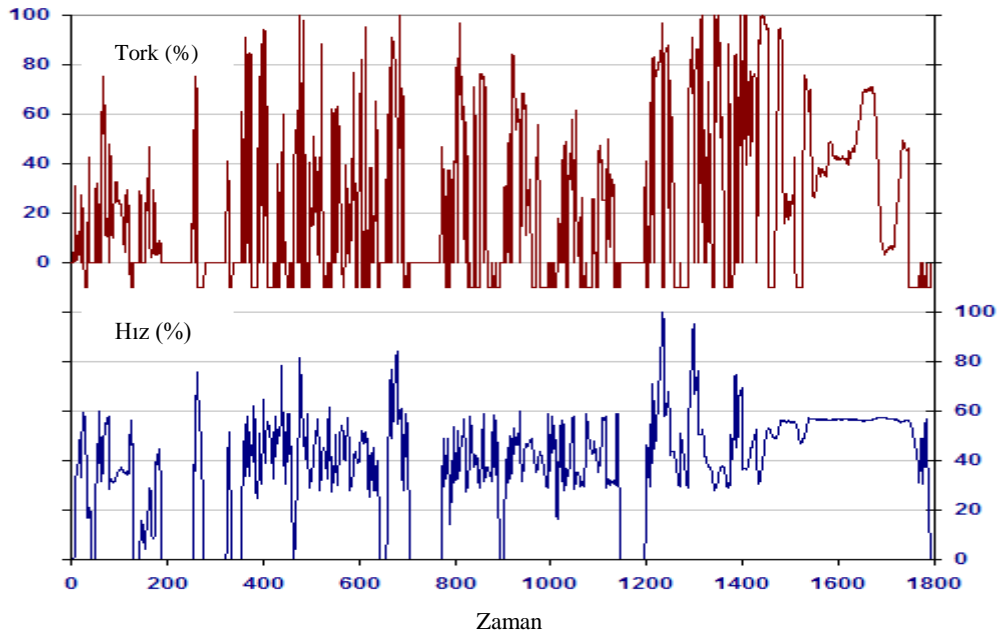
ETC ise Şekil 2.15'de görüldüğü gibi çevrim 3 kısımdan meydana gelmektedir: İlki hızın maksimum 50 km/h olduğu şehir içi trafiği yansıtan kısım, diğeri ortalama hızın 72 km/h olduğu kırsal kesim ve sonuncusu ise ortalama hızın 88 km/h olduğu otoyol kısmıdır.



Şekil 2.15. ETC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [27]

2.8.3. Dünya harmonize edilmiş değişken çevrimi (WHTC)

WHTC 2013 yılında yürürlüğe girecek olan Euro 6 emisyon standardı için yapılan regülasyonlara göre kullanılması planlanan test çevrimi olarak düşünülmektedir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi bu çevrim 1800sn boyunca belirlenen tork ve hız koşullarında gerçekleşmektedir



Şekil 2.16. WHTC sürüş çevrimi ile hazırlanmış taşıt tip testi [27]

2.9. Seyir Hali Emisyon Ölçüm Sistemleri

Taşıtlardaki fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara getirilen yasalar 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, EGR vb 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 güzergahlarda 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 [13,14,15].

Otobüse yerleştirilen cihaz ile taşıt seyir halindeyken saniyelik emisyon verileri toplanmaktadır. Bu yöntem ile aracın belirlenen güzergahta 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. METODOLOJİ

Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ait belediye otobüslerinin kullanmış olduğu hatlardan seçilen SAÜ Kampus-Çarşı hattında testler gerçekleştirilmiştir. Testlerde TEMSA Avenue Euro 4 konvansiyonel ve TEMSA Avenue Hibrit otobüsünde Şekil 3.1.'de görülen SENSOR INC. tarafından üretilen ve seyir hali emisyon ölçümlerinde kullanılan SEMTECH DS PEMS ile ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçlarından çıkan motor performansı, konum ve emisyon dataları analiz edilmiştir.

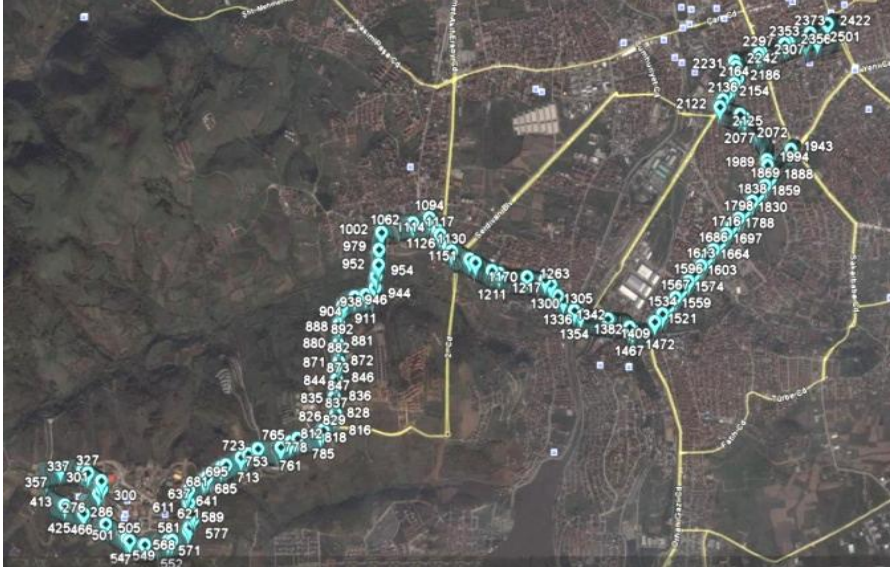


Şekil 3.1. PEMS cihazının görünümü

3.1. Test Güzergahları

1. SAÜ Kampus –Çarşı güzergahı
 - Euro 4 konvansiyonel otobüs ile yapılan testler
 - Hibrit prototip otobüs ile yapılan testler
2. Çarşı-SAÜ Kampus güzergahı

Otobüsün test edildiği SAÜ Kampus –Çarşı- SAÜ Kampus güzergahının toplam mesafesi 22 km olup, tur süresi yaklaşık 60 dakika ve durak sayısı 48’ dir. SAÜ Kampus-Çarşı güzergahının uydu görüntüsü Şekil 3.2 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı uydu görüntüsü

Euro 4 konvansiyonel taşıtta ve hibrit taşıtta yapılan testlerin her biri ayrı ayrı isimlendirilmiştir. Testlerin isimlendirilmesi Euro 4 konvansiyonel taşıt için konvansiyoneli temsil edecek şekilde ‘K’ kısaltmasını alarak ve test sayısı belirtilerek yapılmıştır. Aynı şekilde hibrit taşıt ile yapılan testlerde hibriti temsil edecek şekilde ‘H’ kısaltması yapılmıştır. Ayrıca hibrit taşıtta SAÜ Kampus - Çarşı güzergahındaki testler tek sayılar ile Çarşı- SAÜ Kampus güzergahında ise çift sayılar ile isimlendirilmiştir. Böylece isimlendirme Euro 4 konvansiyonel taşıtta K-4 ve K-14, SAÜ Kampus - Çarşı güzergahındaki hibrit testleri için H-1 H-3 H-5 H-7 ve H-9 ve Çarşı- SAÜ Kampus güzergahındaki hibrit testleri için H-2, H-4, H-6 ve H-8 şeklinde olmuştur.

SAÜ Kampus - Çarşı güzergahının emisyon değerlerinin hesaplanabilmesi için 2 farklı kullanım koşulu aşağıda verildiği gibi belirlenmiş ve datalar toplanmıştır. Dizel taşıtlarda NOx emisyonlarının azaltılmasında kullanılan SCR teknolojisinin performansını görebilmek için SCR sistemi devredeyken ve devreden çıkarıldığında emisyon datalarının toplanması gerektiği düşünülmüştür.

- K-4 SCR devredeyken flow-metreden gaz alınmasıyla
- K-14 SCR devreden çıkarıldığında alınmasıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

3.2. Taşıt Özellikleri

Testlerde hibrit taşıtta yapılacak olan testlere hazırlık olması için Temsa Avenue Euro 4 konvansiyonel şehir içi otobüsü kullanılmıştır. Otobüste 6 silindirli ve 6,7 L motor hacmine sahip Cummins ISBe4 250B modeli içten yanmalı dizel motoru bulunmaktadır. Taşıt gücü, maksimum 2500 rpm motor hızında 184kW değerine ulaşmaktadır. Şekil 3.3'de görülen Temsa tarafından geliştirilen Avenue Hibrit prototip otobüs ise 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. Taşıt gücü, maksimum 2325 rpm motor hızında 184kW şeklindedir.



Şekil 3.3. Temsa Prototip Avenue Hibrit Otobüs

3.3. Test Sistemi

SEMTECH DS cihazında NO ve NO₂ emisyonlarının ölçmek için morötesi absorpsiyon teknolojisi (NDUV) bulunmaktadır. Otobüsten 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.

Güzergahın enlemi, boylamı, yüksekliği, mesafesi ve taşıtın hızı küresel konumlandırma sistemi(GPS) kullanılarak saniyelik veriler şeklinde belirlenmiştir.

3.4. Test Özellikleri

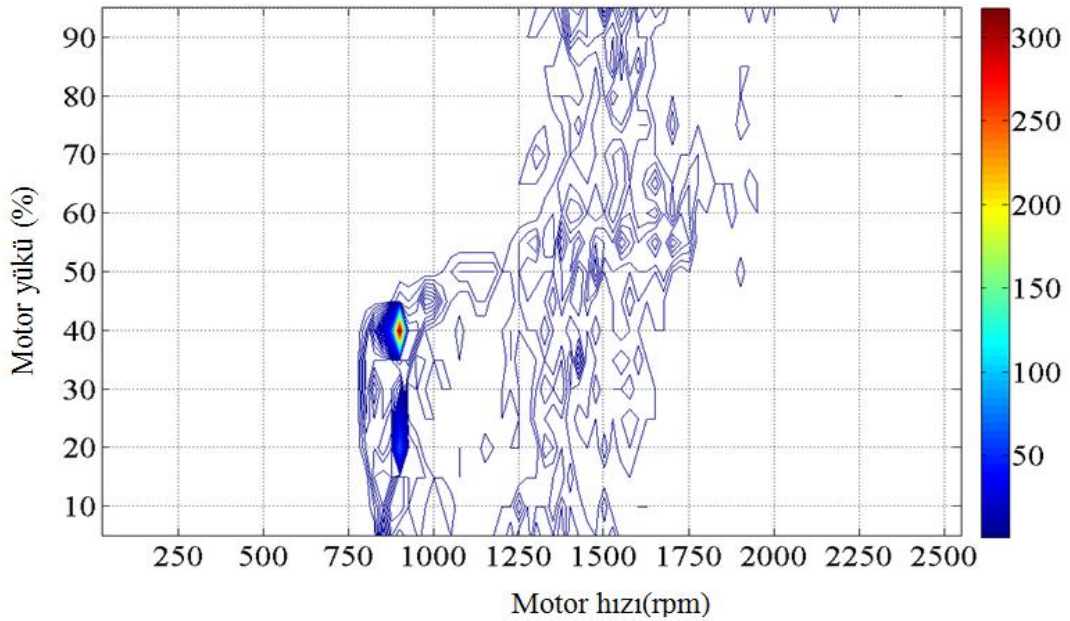
Seyir hali emisyon ölçümleri başlatılmadan önce PEMS sistemi yaklaşık 1 saat kadar ısıtılmış ve ölçümlerin güvenilirliğini sağlayabilmek için her test başlamadan önce kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra taşıt seyir halindeyken emisyon, çevre ve yakıt/motor dataları saniyelik olarak toplanmıştır. Adapazarı Büyük Şehir Belediyesine ait otobüslerin SAÜ Kampus- Çarşı - SAÜ Kampus güzergahındaki gerçek dünya koşullarını sağlayabilmek için otobüs her durakta 5 saniye durdurulup taşıta yolcuların bindiği varsayılarak test gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

SAÜ Kampus-Çarşı ve Çarşı- SAÜ Kampus güzergahlarında hibrit otobüs dataları incelenmiş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı Euro 4 konvansiyonel otobüsün çalışma karakteristikleri de aynı güzergahlarda incelenmiştir.

4.1. Euro 4 Konvansiyonel Otobüs SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı

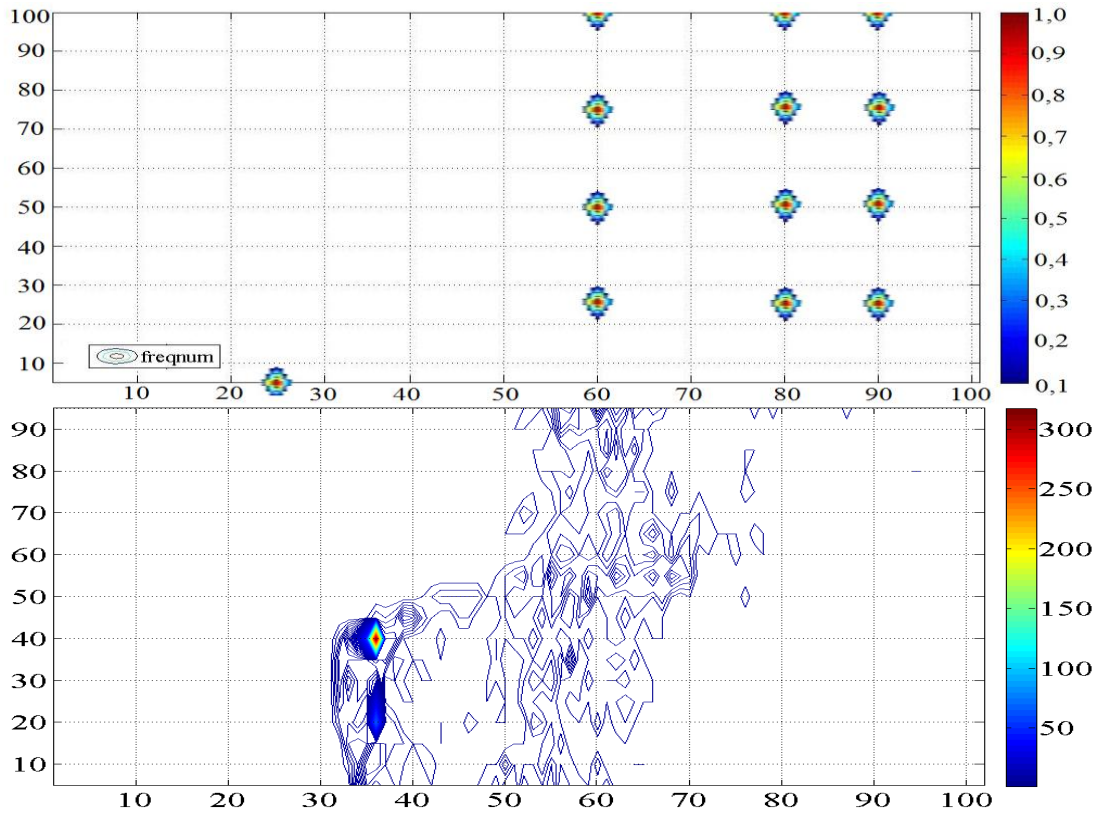
Belirlenen güzergahta Euro 4 konvansiyonel seyir hali emisyon ölçümleri gerçekleştirilerek otobüsten elde edilen motor hızı-yükü, egzoz sıcaklıkları, NOx emisyon dataları incelenerek sonuçlar analiz edilmiştir. Emisyon değerleri incelenmeden önce taşıtın güzergahtaki sürüş karakterizasyonunu belirleyebilmek için Euro 4 konvansiyonel taşıtta motor hızı-motor yükü grafiği Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi incelenmiştir.



Şekil 4.1. K-4 testi motor hız-motor yük frekans haritası

Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi K-4 SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı için motor çalışma koşullarının düşük yük ve düşük hız aralığını oluşturan 600-1000 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığını oluşturan bölge 1153 saniye olarak belirlenmiştir. Güzergahın tamamının 2407 saniyede tamamlanmasından dolayı toplam seyahat süresinin %48'i gibi büyük bir bölümünü bu çalışma koşulları oluşturmaktadır. Bu bölge çoğunlukla negatif ve pozitif ivmelenmeleri içeren dur-kalk zamanlarını oluşturmaktadır. Toplam seyahat süresinin % 25' ini ise 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığındaki bölge oluşturmaktadır. Yüksek yük ve hızı temsil eden 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 50-100 motor yük aralığının olduğu bölge 645 saniye olarak belirlenmiştir. Bu çalışma koşulları ise toplam seyahat süresinin %27'sini oluşturmaktadır.

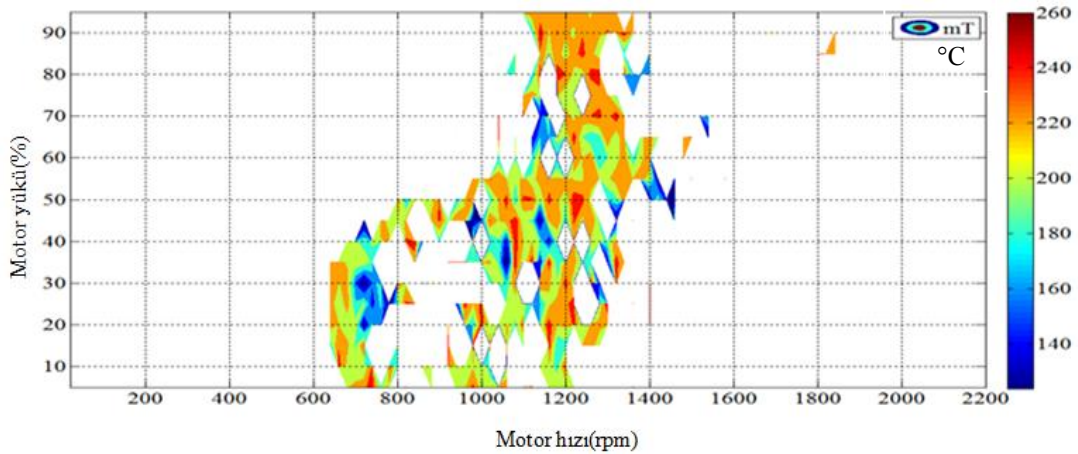
Ağır ticari taşıtların motorlarının piyasaya sürülmeden önce motor dinamometresinde yapılan tip onay testlerinde Şekil 4. 2'deki ilk haritada görünmekte olan Avrupa Sabit Çevrimi (ESC) kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen gerçek sürüş koşulları ise Şekil 4.2'de ikinci haritada görüldüğü gibi gerçekleşmektedir.



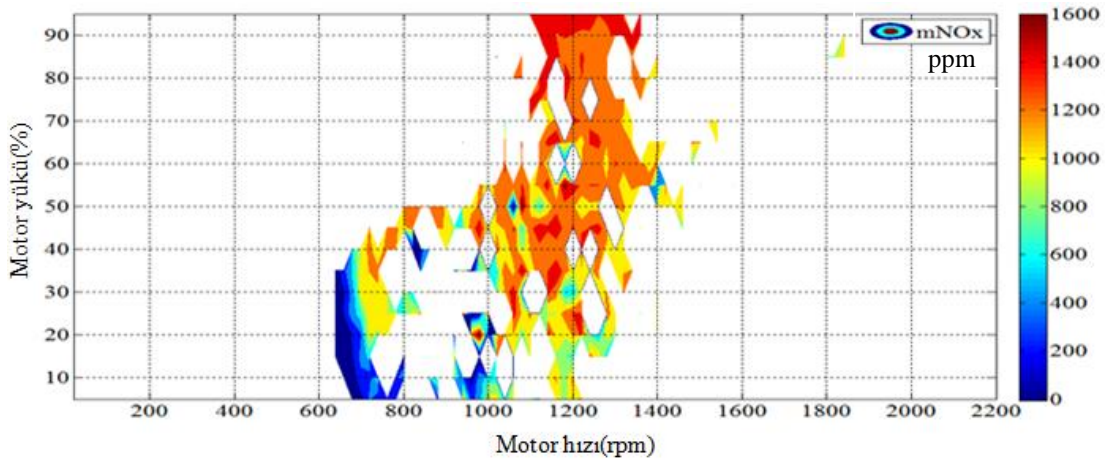
Şekil 4.2. K-4 SAÜ Kampus-Çarşı ve ESC çevriminin karşılaştırılması

Şekillerdeki farklılıklar incelendiğinde ESC sürüş çevrimine göre rölanti zamanından sonra % 60 motor hızına kadar emisyon değerleri standartlarda belirtilmemektedir. Oysa bu çalışmada görülmüştür ki gerçek sürüş koşullarında %60 motor hızına kadar olan bölge toplam seyahatin %95'ini oluşturmaktadır. Sonuç olarak ESC çevrimi ile gerçek sürüş koşullarındaki dataların paralellik göstermediği ortaya çıkmaktadır.

Emisyonların belirlenmesinde motor hızı-yükü ve sıcaklık önemli parametrelerdir. Motor hızı ve yükünde meydana gelen değişiklikler sıcaklığı ve dolaylı olarak NOx emisyonlarının oluşumunu etkileyebilmektedir. Şekil 4.3 'de SCR sisteminin devre dışı bırakıldığı K-14 güzergahındaki motor hızı-yükü-egzoz sıcaklığı görülebilmektedir. Buna bağlı olarak oluşan motor hızı- yükü- NOx emisyonlarının karşılaştırılması Şekil 4.4'de incelenebilmektedir.



Şekil 4.3. K-14 testi (SCR devre dışı) sıcaklık haritası



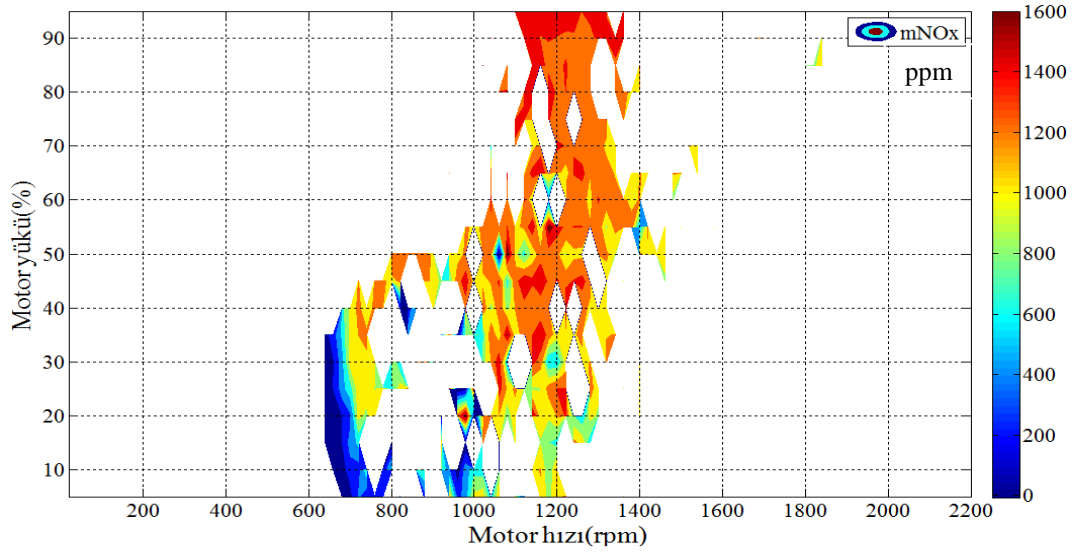
Şekil 4.4. K-14 testi (SCR devre dışı) NOx haritası

Dizel motorlarda NO_x emisyonlarının oluşumu sıcaklığa ve O₂ miktarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.3 ve 4.4 şekilleri incelendiğinde yüksek yük ve yüksek hız koşullarında yoğun olarak egzoz sıcaklıklarının maksimum 240-260°C'ye ve NO_x emisyonları maksimum 1400-1600 ppm kadar yükseldiği görülmektedir.

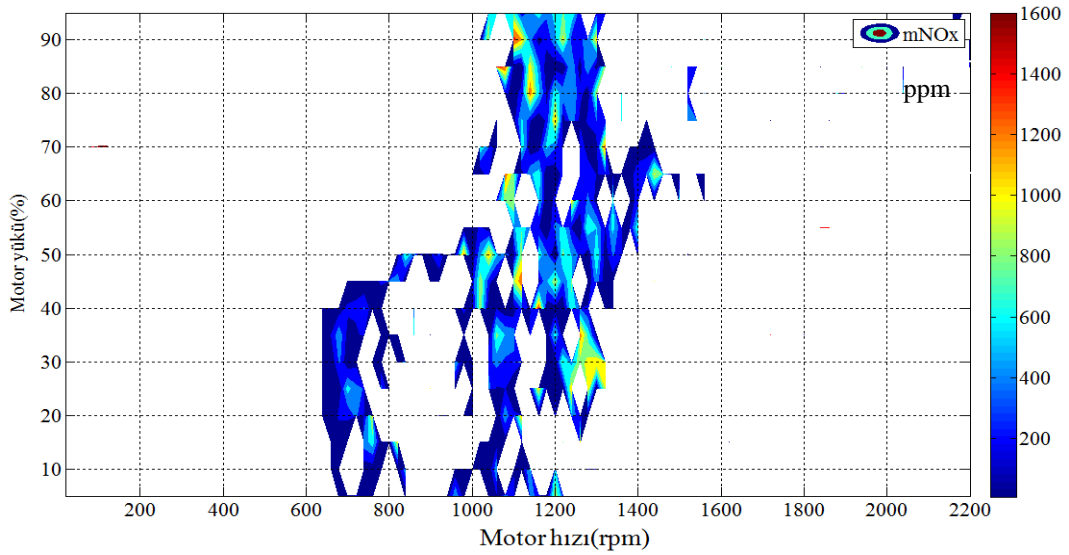
Taşıtta NO_x emisyonlarının kontrol altına alınması için taşıtta egzoz katalizörü olarak maksimum 550 m yükseklikte ve 4200 rpm motor hızlarında çalışabilen seçici katalitik indirgeyici (SCR) kullanılmaktadır. SCR sisteminin genel çalışma prensibi bir indirgeyicinin katalizörden egzoz akışına karşı enjekte edilmesi şeklindedir. Katalizörde NO_x, enjekte edilen üre indirgeyicisinin parçalara bölünerek sıcak egzoz akışına enjekte edilmesiyle oluşan amonyak (NH₃) ile azot (N₂) ve suya (H₂O) indirgenmektedir.

Egzoz katalizörü (SCR) için motor hızı, motor yükü ve egzoz gaz sıcaklığı önemli parametredir. Taşıtta meydana gelen motor koşullarında bağlı olarak değişen sıcaklıklar SCR sisteminin devreye girmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca sıcaklık NO_x dönüşüm verimini dolaylı olarak etkilemektedir. Şekil 4.5a ve b' de K-14 SAÜ Kampus-Çarşı güzergahında SCR sisteminin devreden çıkarıldığında gerçekleştirilen ve SCR sisteminin devrede olduğu K-4 SAÜ Kampus-Çarşı güzergahında NO_x emisyonlarındaki değişiklikler görülmektedir.

Şekil 4.5a'da K-14 testi NO_x emisyon değerleri maksimum 1600 ppm civarında iken Şekil 4.5b'de K-4 testinde bu değer 1200 ppm olarak görülmektedir.



Şekil 4.5a. K-14 testi (SCR devre dışı) NOx haritası



Şekil 4.5b. K-4 testi (SCR devrede) NOx haritası

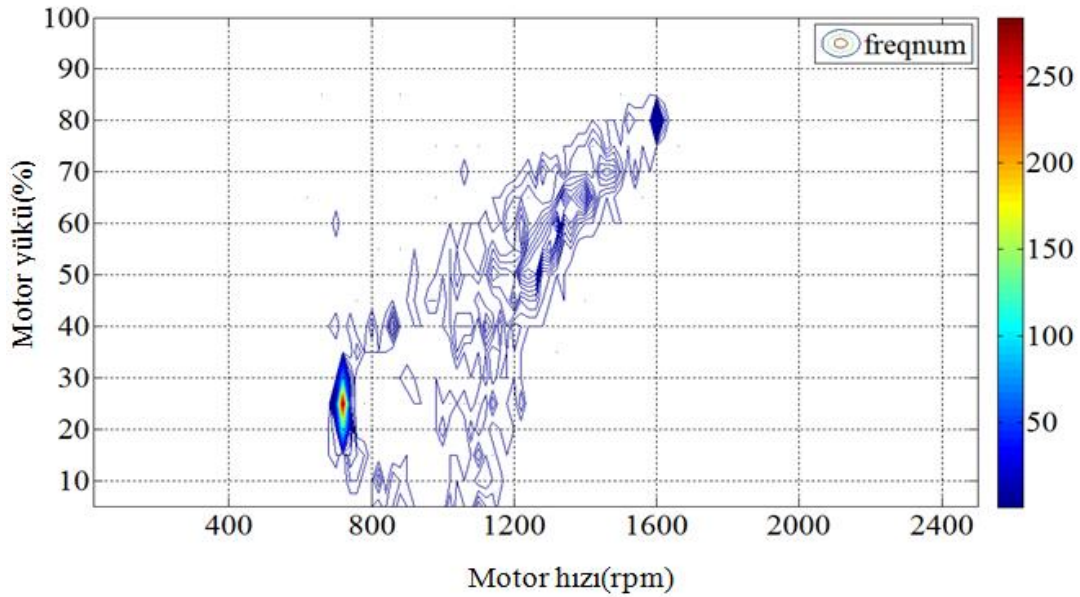
Bu karşılaştırmanın sonucunda SCR sistemi devre dışındayken yüksek yük ve yüksek hız koşullarında %28'lik seyahat süresi için ortalama NOx konsantrasyonu 1333 ppm'den SCR sisteminin devrede olduğunda %27'lik seyahat süresinde 431 ppm'e düşürebilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda SCR sisteminin ortalama NOx konsantrasyonlarını %68 oranında azaltabildiği görülmektedir.

Toplam seyahat süresinin %45'ini oluşturan düşük yük ve düşük hız çalışma koşullarında SCR devreden çıkarılması durumunda NOx konsantrasyonu ortalama 774 ppm değeri SCR sistemi devrede olduğunda seyahat süresinin %48'i için 196 ppm'e düşmektedir. Bu sonuçlar SCR sisteminin ortalama NOx emisyonlarını %75 oranında azatlılığını göstermektedir.

K- 14 testinde toplam seyahat süresinin %28'ini oluşturan düşük yük ve yüksek hız bölgesinde SCR sistemi devre dışıdayken NOx konsantrasyonlarının ortalama değeri 600 ppm dir. SCR sistemi devredeyken yapılan K-4 testte ise %25'lik seyahat süresi için ortalama değer 194 ppm düşmektedir. Bu değerler SCR sisteminin ortalama NOx konsantrasyonunu %68 oranında azalttığını göstermiştir.

4.2. Hibrit Otobüs SAÜ Kampus-Çarşı Güzergahı

SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı H-1 testi için hibrit motor hızı-motor yükü frekans haritası ise Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.6. H-1 testi motor hız-motor yükü frekans haritası

Tablo 4.1. H-1 SAÜ Kampus-Çarşı kullanım koşulları

Bölge	Motor yükü- motor hız aralığı	Süre	Seyahat yüzdesi
Düşük yük- Düşük hız	0-50 % 600-1000rpm	895sn	%42
Düşük yük- Yüksek hız	0-50 % 1000-2200rpm	752sn	%35
Yüksek yük- Yüksek hız	50-100% 1000-2200rpm	504sn	%23

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı için motor çalışma koşullarının düşük yük ve düşük hız aralığını oluşturan 600-1000 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığını oluşturan bölge 895 saniye olarak belirlenmiştir. Güzergahın tamamının 2151 saniyede tamamlanmasından dolayı toplam seyahat süresinin %42’si gibi büyük bir bölümünü bu çalışma koşulları oluşturmaktadır.

Toplam seyahat süresinin % 35’ ini ise 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığındaki bölge oluşturmaktadır.

Yüksek yük ve hızı temsil eden 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 50-100 motor yük aralığının olduğu bölge sadece 504 saniye olarak belirlenmiştir. Bu çalışma koşulları ise toplam seyahat süresinin %23’ünü oluşturmaktadır.

Motor hızı-motor yükü frekans haritası incelendikten sonra SAÜ Kampus-Çarşı güzergahı için tasarruf edilebilir yakıt miktarı hesaplanmıştır. Hibrit otobüslerde içten yanmalı motorun ürettiği enerji jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu enerji hem elektrik motoru tarafından hareket enerjisine dönüştürülmek üzere kullanılırken hem de sistemde bulunan ultra kapasitörde depolanmaktadır.

Elektrik motoru jeneratörün ürettiği enerjiyi kullanmasının yanı sıra ultra kapasitörde depolanan enerji ile beslenmektedir. H-1 SAÜ Kampus-Çarşı güzergahında yapılan test için tasarruf edilebilir yakıt miktarı Tablo 3.2’de görüldüğü gibi ultra kapasitör şarjının kullanılması ile azalım oranı (%SOC) ve geri beslenme (P_{ES_fst}) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

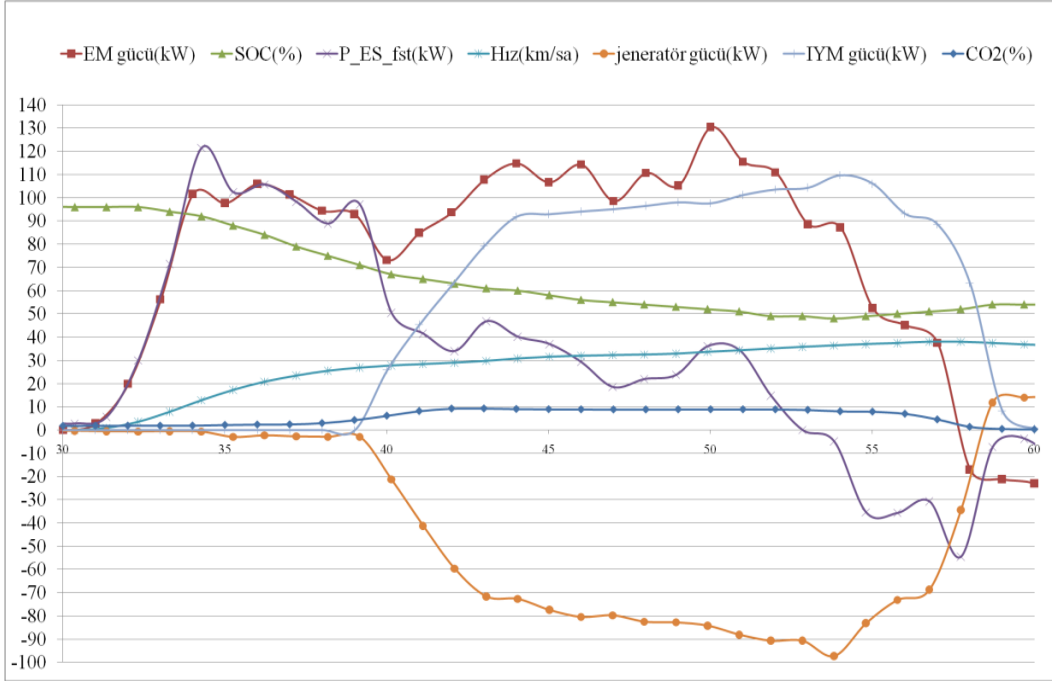
Tablo 4.2. Ultra kapasitörün kullanımına bağlı enerji değişimi ve yakıt eşdeğeri

Zaman Aralığı	SOC(%)	Enerji(kJ)	Yakıt(kg)	Yakıt(L)
31	96	1248	0,104	0,122
54	48			
	48			
84	74	676	0,056	0,066
93	48			
	26			
132	85	754	0,063	0,074
142	56			
	29			
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
1802	29	156	0,013	0,015
1809	23			
	6			
2085	55	208	0,017	0,020
2095	47			
	8			
2107	51	442	0,0368	0,043
2114	34			
	17			
	Toplam	18122	1,51	1,78

H-1 testinde ultra kapasitörün değişimi 31-54 saniye aralığında maksimum ultra kapasitör kapasitesi 0,725 kWh olmasından dolayı (2600 kJ) Şekil 3.7’de görüldüğü gibi SOC başlangıçta %96 dolu iken en son %48 olmuştur. Buna bağlı olarak ultra kapasitörün kullanılması durumunda kullanılan enerji miktarı 1248 kJ ve yakıt eşdeğeri, Q_{LVH} değeri 40000kJ/kg olduğu kabul edilirse %30 verim ile 4.1 denklemi kullanılarak 0,104 kg bulunmuştur. Yakıtın özgül ağırlığı 0,85 kg/ L olmasından dolayı yakıt miktarı ile tasarruf edilebilir yakıt miktarı 4.2 denklemi kullanılarak 0,122 L olarak hesaplanmıştır.

$$E = Q_{LVH} \times m_y \times \eta \quad (4.1)$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.2)$$

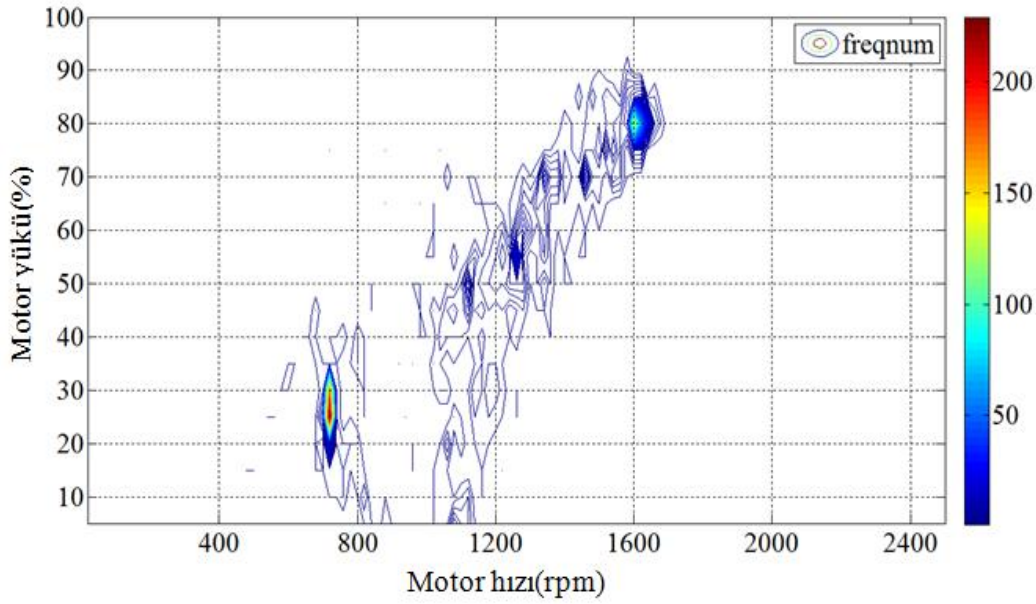


Şekil 4.7. 31-54 saniye aralığında ultra kapasitörün durumu

Yüzde olarak SOC değerindeki değişimler ile yapılan hesaplamalar sonucunda H-1 SAÜ Kampus- çarşı güzergahında kullanılan yakıt miktarı 3,56 litre olarak ölçülmüştür. Tasarruf edilebilir yakıt miktarı ise 1,78 litre olarak hesaplanmıştır. Bu miktarda yakıt tasarruf edilmedi düşünülduğünde kullanılacak olan yakıt miktarı 5,33 litreye yükselecekti. Bundan dolayı SAÜ-çarşı güzergahında kayıpların ihmal edildiği düşünülerek tasarruf edilen yakıt oranı % 33 bulunmuştur.

4.3. Hibrit Otobüs Çarşı - SAÜ Kampus Güzergahı

Çarşı - SAÜ Kampus güzergahı H-2 testinde motor performans datalarını görebilmek için motor hızı-motor yükü frekans haritası Şekil 4.8'de gösterildiği gibi incelenmiştir.



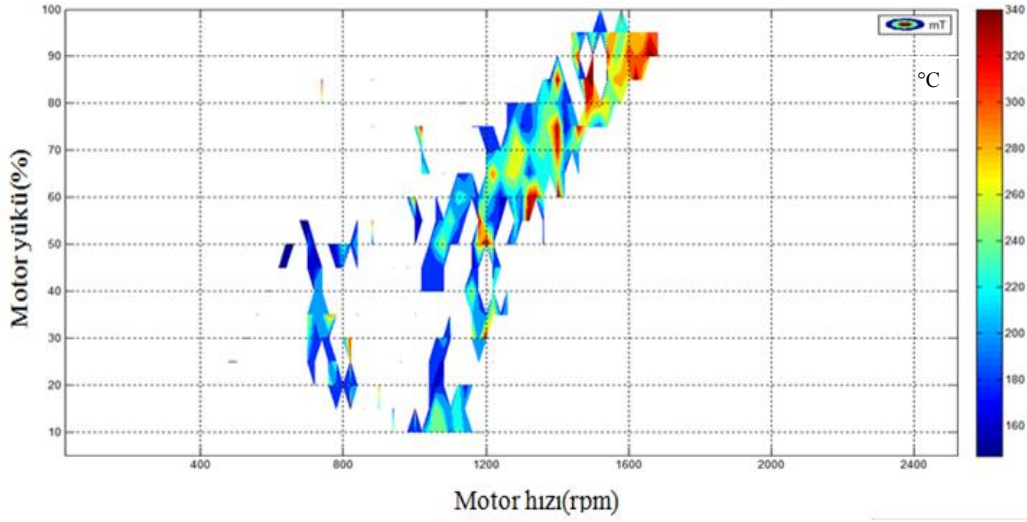
Şekil 4.8. H-2 testi motor hız-motor yük frekans haritası

Tablo 4.3. H-2 Çarşısı- SAÜ Kampus kullanım koşulları

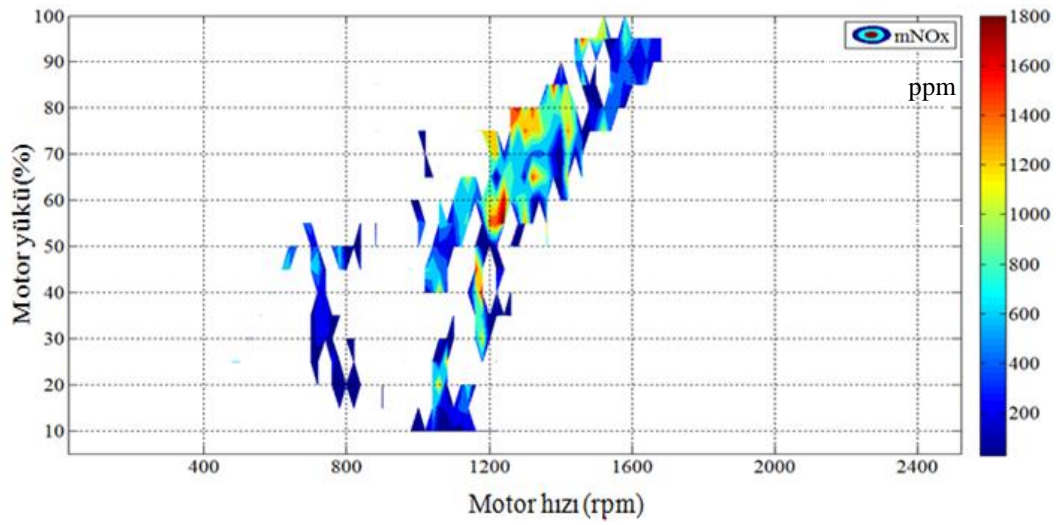
Bölge	Motor yükü- motor hız aralığı	Süre	Seyahat yüzdesi
Düşük yük- Düşük hız	0-50 % 600-1000rpm	717 sn	% 38
Düşük yük- Yüksek hız	0-50 % 1000-2200rpm	497 sn	% 26
Yüksek yük- Yüksek hız	50-100% 1000-2200rpm	686 sn	% 36

Çarşısı -SAÜ Kampus güzergahı için motor çalışma koşullarının düşük yük ve düşük hız aralığını oluşturan 600-1000 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığını oluşturan bölge 717 saniye olarak belirlendiği Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Güzergahın tamamının 1900 saniyede tamamlanmasından dolayı toplam seyahat süresinin %38’si gibi büyük bir bölümünü bu çalışma koşulları oluşturmaktadır. Yüksek yük ve düşük hızı temsil eden 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 0-50 motor yük aralığının olduğu bölge 497 saniye olarak belirlenmiştir. Bu çalışma koşulları ise toplam seyahat süresinin %26’sını oluşturmaktadır. Toplam seyahat süresinin % 36’ sını ise 1000-2500 rpm motor hız aralığı ve % 50-100 motor yük aralığındaki bölge oluşturmaktadır.

NO_x oluşumunda egzoz sıcaklığın etkisi ve ayrıca sıcaklığın SCR sisteminin devreye girmesini etkilemesinden dolayı sıcaklık ve NO_x dataları Şekil 4.9a ve b' de görüldüğü gibi incelenmiştir.



Şekil 4.9a. H-3 testi Çarşı-SAÜ Kampus güzergahındaki sıcaklık haritası



Şekil 4.9b. H-3 testi Çarşı-SAÜ Kampus güzergahındaki NO_x haritası

Egzoz sıcaklığının yükselmesi NO_x emisyonlarının oluşumuna ve artışına neden olmaktadır. Fakat Şekil 4.9a ve 4.9b'da görüldüğü gibi yüksek yük ve yüksek hız koşullarında sıcaklığın arttığı bölgelerde SCR sisteminin 260°C civarında devreye girmesinden dolayı NO_x emisyonlarının 600 ppm'e kadar azalımı meydana gelmektedir.

Çarşı - SAÜ Kampus güzergahlarında yapılan tüm testler Tablo 4.4' de görüldüğü gibi kullanılan yakıt miktarı, yakıt tasarrufu, oluşan NOx ve CO2 miktarları için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 4.4. Çarşı-SAÜ güzergahı otobüs performans dataları

	15_04_02 Çarşı_SAÜ (H-2)	15_04_05 Çarşı_SAÜ (H-4)	21_04_02 Çarşı_SAÜ (H-6)	21_04_04 Çarşı_SAÜ (H-8)	21_04_06 Çarşı_SAÜ (H-10)	STD SAP- MA	ORTA- LAMA
Süre (sn)	2014	1888	1904	1902	1770	86,55	1896
Rölanti süresi(sn)	338	317	475	457	437	72,22	405
Mesafe (km)	11,099	10,909	11	11	11	0,07	11,00
Yakıt(l)	5,301	5,233	5,71	5,617	5,565	0,21	5,49
Yakıt ekonomisi (L/100km)	47,765	47,971	51,909	51,064	50,591	1,88	49,86
Yapılan iş (kW-h)	24,146	23,841	25,675	25,712	25,008	0,86	24,88
Ortalama CO2 (g/km)	1294,862	1301,791	1407,137	1385,290	1373,235	50,95	1352,46
Ortalama CO2 (g/kW-h)	595,197	595,668	602,863	592,649	604,03	5,05	598,08
Ortalama NOx (g/km)	10,371	8,781	7,061	7,849	7,245	1,36	8,26
Ortalama NOx (g/kW-h)	4,767	4,018	3,025	3,358	3,187	0,72	3,67

Çarşı - SAÜ güzergahı için tüm testlerin ortalaması alınarak toplam seyahatin %21'ini rölanti zamanında gerçekleştiği hesaplanmıştır. Seyahat süresince ortalama kullanılan yakıt miktarı 0,21 'lik standart sapma ile 5,49 L dır. Ortalama yakıt sarfiyatı ise 1,88 'lik standart sapma ile 49,86 L/100km olarak hesaplanmıştır. Emisyonlar için durum ortalama CO2 emisyonu 5,05 'lik standart sapma ile 598 g/kW-h şeklinde iken ortalama NOx emisyonu 0,72 'lik standart sapma ile 3,67 g/kW-h şeklindedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Ağır ticari taşıtların motorlarının piyasaya sürülmeden önce motor dinamometresinde yapılan tip onay testlerinde kullanılan ESC sürüş çevrimine göre rolanti zamanından sonra % 60 motor hızına kadar emisyon değerleri standartlarda belirtilmemektedir. Oysa bu çalışmada görülmüştür ki gerçek sürüş koşullarında %60 motor hızına kadar olan bölge toplam seyahatin %95'ini oluşturmaktadır. Sonuç olarak şehir içi otobüslerde ESC çevrimi ile gerçek sürüş koşullarındaki dataların paralellik göstermediği ortaya çıkmaktadır.

Seyir hali emisyon ölçümleri, politika yapıcıların ulaştırmadan kaynaklanan emisyonlar için koymuş oldukları standartlardaki gelişmeler ve kullanılan çevrimlerin gerçek dünya koşullarından farklı olması sonucunda üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir.

Bu çalışmada SAÜ Kampus-Çarşı hattında yapılan seyir hali emisyon ölçüm sonuçlarının analiz edilmesiyle her testte benzer olarak toplam seyahat süresini %42'si gibi büyük bir oranını düşük yük ve hız koşullarında, %35'ini düşük yük ve yüksek hız koşullarında ve %23'ünü ise yüksek yük ve yüksek hız koşullarında gerçekleştirdiği görülmüştür.

Bu güzergah boyunca kullanılan yakıt miktarı 3,56 litre iken tasarruf edilebilir yakıt miktarı ise 1,78 litre olarak hesaplanmıştır. Bu miktarda yakıt tasarruf edilmedi düşünülüğünde kullanılacak olan yakıt miktarı 5,33 litre olacaktır. Bundan dolayı SAÜ Kampus-Çarşı güzergahın da kayıplar ihmal edildiğinde tasarruf edilen yakıt oranı % 33 gibi büyük bir oran bulunmuştur.

Çarşı- SAÜ Kampus güzergahın da gerçekleştirilen tüm testlerin ortalamaları alındığında seyahat süresince ortalama kullanılan yakıt miktarı 0,21 'lik standart sapma ile 5,49 L dir. Ortalama yakıt sarfiyatı ise 1,88 'lik standart sapma ile 49,86 L/100km olarak hesaplanmıştır. Ortalama CO2 emisyonu 5,05 'lik standart sapma ile 598 g/kW-h şeklinde iken ortalama NOx emisyonu 0,72 'lik standart sapma ile 3,67 g/kW-h şeklindedir.

Ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğın insan sağığına olan etkileri, getirilen standartları uyumu sağlayabilmek ve fosil yakıtların azalımı üreticilerin ve tüketicilerin temiz teknolojilere yönelmesini sağlamaktadır. Temiz teknolojiler içinde hibrit taşıtlar rejeneratif frenlemeden dolayı hem yakıt tüketimini hem de emisyonları minimize eden önemli bir alternatiftir. Tüm bu nedenlerden dolayı ve yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak hibrit teknolojilerin kullanım oranlarının arttırılması gerektiğı düşünölmektedir. Arttırılması için ise teknik ve teknik olmayan çalışmaların politika yapıcılar ve yöneticiler tarafından 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] <http://www.dieselnet.com/standards/>- 10.03.2010.
- [4] BOYALI, A., Hibrit elektrikli yol taşıtlarının modellenmesi ve kontrolü, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs 2008.
- [5] DUCLAUX, O., “3D-air quality model evaluation using the Lidar technique. Atmospheric Environment, 36(32), 5081-5095, 2002.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] ERLANDSSON, L. , ALMENÍ, 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. , 16th International Symposium 'Transport and Air Pollution'-2008.
- [9] COCKER, D. R., SHAH , S.D., JOHNSON, K. , MILLER, 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.
- [10] LENTS, J., UNAL A. , MANGİR, N., OSSES, M. , TOLVETT S, YUNUSOĞLU,O., A study of the emissions from diesel vehicles operating in Istanbul, Turkey.

- [11] Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council 18 June 2009.
- [12] DURBİN , T.D. , JOHNSON K.C , Evaluation and Comparison of Portable Emissions Measurement Systems and Federal Reference Methods for Emissions from a Back-Up Generator and a Diesel Truck Operated on a Chassis Dynamometer. *Environmental Science & Technology*,41, 6199-6204.
- [13] 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 (2009) 2877–2883
- [14] YOUNGLOVE,T. , SCORA, G., BARTH,M., Designing on-road vehicle test programs for effective vehicle emission model development. Revised for Transportation Research Record.
- [15] DİNGS,J., PETERSE, A., EURO 5 and 6 emissions standards for cars and vans, European Federation for Transport and Environment 2006
- [16] GÜMRÜKÇÜOĞLU, M., SOYLU, Ş., Monitoring of urban transport sourced pollutants by using GIS, 5th International Conference on Geographic Information Systems, 2-5 July 2008, Istanbul-Turkey.
- [17] Milli Eğitim Bakanlığı “Motorlu Taşıtlar Teknolojisi-Dizel Yakıt Sistemleri”, Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi-2006.
- [18] 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 (2002) , 127 { 135 }
- [19] KOLODZIEJ, C. , “Comprehensive Characterization of Particulate Emissions from Advanced Diesel Combustion”, SAE 2007-01-1945 JSAE 20077142.
- [20] AGRAWAL, A. K. , SİNGH 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.
- [21] HAŞİMOĞLU, C. , İÇİNGÜR, Y., “Dizel motorlarında azot oksit (NO_x) kontrol yöntemleri” *Selçuk-Teknik Online Dergisi*.
- [22] ERDÖNÖZ, H. , “Trafik Dumanlarının İnsan Sağlığına Olan Muhtemel Etkileri”, II. Ulusal Trafikte Güvenlik ve Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, MMO Yayın No:175, s.119-122.-1995.

- [23] WOLFGANG, F. , GEORGE, H. , ‘‘SCR Systems For Heavy Duty trucks: Progress Towards Meeting EURO 4 Emission Standards in 2005’’, Wolfgang F. , Georg H.
- [24] 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.
- [25] ALKEMADE, U.G., SCHUMANN B.,’’Engines and exhaust after treatment systems for future automotive applications ‘’ Solid State Ionics 177 (2006) 2291–2296.
- [26] Murat Ç. , Fatih V. ‘‘Hibrit elektrik taşıtlar ‘’, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- [27] www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.html-10.03.2010.

ÖZGEÇMİŞ

Ayda BAL, 11.11.1984'de Sakarya' da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Karasu'da tamamlamıştır. 2002 yılında Karasu Süper Lisesi Fen Bölümünden mezun olmuştur. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2007 yılında bitirmiştir. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.