

**BENZİNLİ BİR MOTORDA EGZOZ SUSTURUCULARININ MOTOR  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hakan SUVAK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Eylül 2007**

**KABUL:**

Hakan SUVAK tarafından hazırlanan “BENZİNLİ BİR MOTORDA EGZOZ SUSTURUCULARININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 21/09/2007

Başkan: Prof.Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 21.09/2007



Doç. Dr. Süleyman GUNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Hakan SUVAK



## **ÖZET**

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **BENZİNLİ BİR MOTORDA EGZOZ SUSTURUCULARININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hakan SUVAK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**Eylül 2007, 76 Sayfa**

İnsanların toplu olarak yaşadıkları ortamlarda maruz kaldıkları gürültü kaynaklarının en sürekli olanlarından biri, ulaşım (trafik) gürültüsüdür. Kara, hava ve deniz ulaşımı içinde karayolu ulaşımı, kent içinde her yere dağıldığından çevreye yaptığı etki çok daha büyük olmaktadır. Karayolu taşıtlarında gürültü kontrolü, kaynakların çokluğu ve yayılım yollarının çeşitliliği nedeniyle çözümü zor bir akustik problemdir. Hem ses hem de titreşimler, taşıtın bütün gövdesi ve donanımları üzerinden yayılmaktadır. Bu nedenle teorik hesap yollarının yanı sıra deneysel yöntemler de kullanılarak gürültü kaynakları tespit edilmekte ve bunların gürültü seviyeleri azaltılmaya çalışılmaktadır. Karayolu taşıtlarında gürültünün büyük bir kısmı motordaki yanma ve yanma sonu dışarı atılan gazlardan kaynaklanmaktadır. Atık gaz doğrudan atmosfere atılacak olursa gazın yanmaya devam etmesi ve hızlı akışı büyük miktarda gürültüye sebep olmaktadır. Egzoz gazı, susturucu ve borulardan oluşan egzoz sistemi yardımı ile gürültüsü azaltılarak taşıtın dışına atılır.

## ÖZET (devam ediyor)

Egzoz sisteminin yanma ve akış gürültüsü, sistemin bütün yüzeyinden yüzey titreşimleri şeklinde ve çıkış ağzından hava akış gürültüsü şeklinde oluşur. Egzoz gürültüsünü azaltmak için egzoz çıkış ağzını küçültmek, susturucu hacimlerini ve sayısını arttırmak, boruları optimize etmek gerekir. Ancak bu amaçla motora takılan boru ve susturucular aynı zamanda motorun performansını da etkilemektedir.

Bu çalışmada, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı bir benzinli motorun tam yükte susturucusuz ve değişik susturucularla çalışması halinde performans ve emisyon değişimlerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda; motora uygun bir susturucu takılması ile gürültünün azalması yanında güç ve momentte % 3 ile %6 arasında artış, egzoz gaz sıcaklığında 250 °C düşüş olmakta ve HC ile CO emisyonunda da iyileşme görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler** : Benzinli motor, egzoz gürültüsü, egzoz susturucusu, performans, emisyonlar

**Bilim Kodu** : 626. 20. 01

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **AN EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE EFFECT OF EXHAUST SILENCERS ON ENGINE PERFORMANCE IN A FUEL ENGINE**

**Hakan SUVAK**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Machine Education**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Abdurrazzak AKTAŞ**

**September 2007, 76 pages**

One of the frequent noise resources that people are exposed to in the places where people live communally together is the transportation (traffic). Among the highways, airways and seaways, the effect of the first one to the environment has been much bigger due to its overspreading all around the city. The noise control on highway vehicles is a too difficult acoustic problem to solve because of the vastness of the resources, and the wide range of the spread. Both sound and vibration spread from the whole body of the vehicle and its hardware. Hence, the noise resources are found and the noise level of these are tried to be lessened by using experimental techniques as well as theoretical calculation ways. Most of the noise from motorway vehicles is caused from the combustion in the engine and the gases emitted after combustion. If the contaminant gas is sent away directly to the atmosphere, the continuation of the gas combustion and its fast flow cause great amount of noise. Exhaust gas is emitted out of the car with the help the exhaust system that consists of silencers and pipes.

## **ABSTRACT (continued)**

The combustion and the flow noise of the exhaust system are made up of in the form of surface vibration caused from the whole surface of the system and the air flow noise from the exit mouth. In order to lessen the exhaust noise it is essential to minimize the exhaust exit mouth, to increase the numbers and the volume of the exhausts, and to optimize the pipes. However, the pipes and the silencers fixed to the engine for this reason affect the performance of the engine. In this study; the performance and emission changes of a four-timed, one-cylindereed, air-cooled fuel engine has been aimed to be researched experimentally when working loaded, without or with different silencers. After the research; it has been experienced that when fixed with a convenient silencer to the engine, the noise has decreased. Besides this, a 3% to 6% increase in the power and moment, and an improvement in HC and CO emission have been experienced.

**Keywords** : Gasoline engine, exhaust noise, exhaust muffler, performance, emissions.

**Science Code** : 626. 20. 01



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının oluőumunda büyük pay sahibi olan engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve eleőtirileriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőtında Őekillendiren danıőman hocam Yrd. Doç.Dr. Abdurrazzak AKTAŞ ve görüŐleriyle çalıőmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı hocalarım, Yrd. Doç.Dr. M. Bahattin ÇELİK ve Yrd. D. Dr. Bülent ÖZDALYAN'a, deneysel çalıőmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Hüseyin NER, mer KARA ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve eŐime sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Trafik Gürültüsü.....	3
1.2 İnşaat Gürültüleri.....	3
1.3 Endüstriyel Gürültüler.....	3
1.4 Binalar.....	3
1.5 İnsan Etkileri.....	3
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI.....	7
BÖLÜM 3 TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ.....	11
3.1 Taşıtlarda Gürültü Kontrolü.....	12
3.2 Taşıtlarda Gürültü Kaynakları.....	13
3.3 Motor Gürültüsü.....	14
3.3.1 Motor Yanma Gürültüsü .....	15
3.3.2 Motor Mekanik Gürültüsü .....	16
3.4 Hava Emme ve Egzoz Gürültüsü.....	16

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

3.4.1 Emme Gürültüsü.....	17
3.4.2 Egzoz Gürültüsü.....	17
3.5 Motorlu Taşıtlarda Egzoz Sisteminin Amacı.....	18
3.6 Gürültü Kontrolünün Taşıt Performansına Etkisi.....	21
3.6.1 Yakıt Tüketimi.....	22
<b>BÖLÜM 4 GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ.....</b>	<b>23</b>
4.1 Egzoz Gürültüsü Ölçümü.....	23
4.2 Motor Gürültüsü .....	24
4.3 Sesli Uyarı Cihazı Ses Seviyesi.....	25
<b>BÖLÜM 5 SUSTURUCULAR.....</b>	<b>27</b>
5.1 Görevi ve Yapısı.....	27
5.2 Susturucu Çeşitleri.....	28
5.3 Egzoz Susturucularının Gereksinimleri.....	29
<b>BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>29</b>
6.1 Deneysel Çalışmaların Amacı.....	31
6.2 Deneylere İlişkin Özellikler.....	31
6.2.1 Deney Yeri.....	31
6.2.2 Deney Motoru.....	32
6.2.3 Deneyde Kullanılan Yakıt.....	33
6.3 Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	34
6.3.1 Motor Deney Seti ve Dinamometresi.....	34
6.3.2 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği.....	34
6.3.3 Gürültü Ölçüm Cihazı.....	35
6.3.4 Kronometre.....	36
6.3.5 Lood Cell.....	36
6.3.6 Egzoz Gaz Analizörü.....	37
6.4 Deneylerin Yapılışı.....	37

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

6.5 Deneylere İlişkin Ölçüm ve Hesaplamalar.....	38
6.5.1 Motor Momenti ve Gücü.....	38
6.5.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi.....	39
BÖLÜM 7 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	41
7.1 Susturucuların Motor Performansına Etkisi.....	41
7.2 Susturucuların Motor Emisyonlarına Etkisi.....	44
BÖLÜM 8 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
8.1 SONUÇLAR.....	47
8.2 ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51
EK AÇIKLAMALAR A DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT	
ÇİZELGELER .....	53



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Sesin iletilmesi.....	1
3.1 Taşıtlarda iç gürültü kaynakları.....	11
3.2 Gürültünün yayılımı.....	12
3.3 Değişik yanma sistemlerinin tipik basınç diyagramları.....	14
3.4 Motor hızının silindir basınç spektrumuna etkisi.....	15
3.5 Egzoz sisteminden yayılan gürültünün oluşumu.....	17
3.6 Egzoz açılma noktasının p-V diyagramına etkisi.....	18
3.7 Egzoz ve emme sırasında silindir basıncının değişimi.....	19
4.1 Egzoz gürültüsü ölçümü.....	23
4.2 Tüm taşıtların ve otomobillerin egzoz gürültülerinin dağılımı.....	24
4.3 Soldan direksiyonlu bir taşıtta motor gürültüsü ölçüm yeri.....	24
5.1 Egzoz manifoldu, egzoz borusu, susturucu ve kuyruk borusu bir arada.....	26
5.2 Doğru akımlı susturucu.....	27
5.3 Ters akımlı susturucu.....	27
5.4 Çift susturuculu egzoz sistemi.....	28
6.1 Deney tesisatının genel görünüşü.....	30
6.2 Deney düzeneğinin şematik görüntüsü.....	31
6.3 Deney Motorunun Genel Görünüşü.....	31
6.4 Elektrikli Dinamometre Panosu.....	32
6.5 Elektrikli Dinamometre.....	32
6.6 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	33
6.7 Gürültü Ölçüm Cihazı.....	34
6.8 Load cell'in ve indikatörün görünümü.....	34
6.9 Egzoz gaz analizörünün görünümü.....	35
7.1 Susturucuların moment ve efektif güce etkisi.....	39
7.2 Susturucuların özgül yakıt sarfiyatına etkisi.....	39
7.3 Susturucuların Egzoz Gaz Sıcaklığına ve Motor Gürültüsüne Etkisi.....	40

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

7.4 Susturucuların HC'lara etkisi.....	42
7.5 Susturucuların CO ve CO <sub>2</sub> emisyonuna etkisi.....	42



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Çeşitli gürültü kaynaklarının ses güçleri ve ses gücü düzeyleri.....	1
1.1 Taşıtların Neden Olduğu Gürültü Seviyeleri.....	2
3.1 Gürültünün azaltılmasının bir sonucu olarak ağırlıktaki artışın yakıt tüketimine etkisi.....	22
6.1 Benzin yakıtının teknik özellikleri.....	32
6.2 Odyometrenin teknik özellikleri.....	33
6.3 SUN MGA 1200 egzoz gaz analizörünün özellikleri .....	34
A.1 Susturucusuz birinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	44
A.2 Susturucusuz ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	44
A.3 Susturucusuz ortalama deney ölçüm sonuçları.....	44
A.4 Orijinal susturuculu birinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	45
A.5 Orijinal susturuculu ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	45
A.6 Orijinal susturuculu ortalama deney ölçüm sonuçları.....	45
A.7 İkinci susturuculu birinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	45
A.8 İkinci susturuculu ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları.....	46
A.9 İkinci susturuculu ortalama deney ölçüm sonuçları.....	46



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

B	: Saatteki Yakıt Tüketimi
c	: Ses Hızı
CO	: Karbon Monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon Dioksit
dB	: Desibel
d/d	: Devir/dakika
f	: Frekans
HC	: Hidrokarbon
<sup>0</sup> K	: Kelvin
M <sub>e</sub>	: Etkin Motor Momenti
MPa	: Megapascal
n	: Politropik üs
NO <sub>x</sub>	: Azot Oksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
P	: Basınç
P <sub>e</sub>	: Etkin Motor Gücü
P <sub>max</sub>	: Maksimum Silindir Basıncı
T	: Sıcaklık
V <sub>c</sub>	: Yanma Odası Hacmi
V <sub>h</sub>	: Silindir Kurs Hacmi
W	: Ses Gücü
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı

## SİMGELER VE KISALTMALAR (devam ediyor)

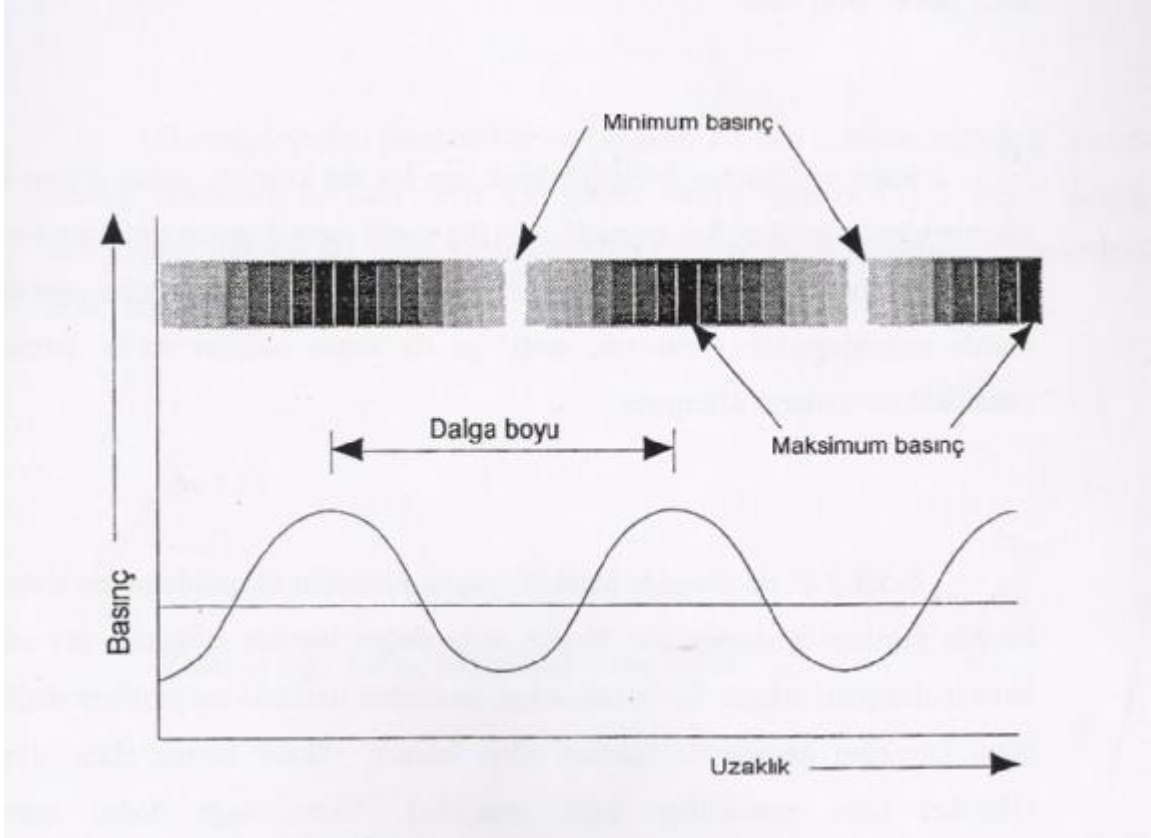
### KISALTMALAR

AÖN	:	Alt Ölü Nokta
HP	:	Beygir Gücü
Hz	:	Hertz
kHz	:	Kilohertz
kW	:	Kilowatt
mL	:	Mililitre
SBD	:	Ses Basınç Düzeyi
TG	:	Tutuşma Gecikmesi
TS	:	Türk Standartları

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Fiziksel olarak gaz, sıvı veya katı bir ortamdaki titreşimlerin havaya iletilmesinden doğan titreşimsel enerjiye ses denir. Ses, elastik bir ortamdaki mekanik titreşimler ve basınç değişimidir. Elastik ortam hava ise, basınç dalgaları kulağa ulaştığında duyma duyusu gerçekleşmiş olur. Ses, bir enerji şeklidir ve ortamdaki parçacıkların titreşimlerinin komşu parçacıklara iletilmesi ile yayılır. Bir başka deyişle ses, şekil 1’de görüldüğü gibi hava molekülleri içindeki basınç piklerinin oluşturduğu dalga serisidir. Belirtmek gerekir ki; hava molekülleri yer değiştirmez ve maddenin transferinden söz edilemez (atmosfer basıncı üzerinde yüksek hacimlerdeki gaz yayılımı olan patlamalar hariç) (Lalor, N.,1998).



Şekil 1.1 Sesin iletilmesi (Öztürk H, 2001)

Gürültü istenmeyen yer ve zamanda oluşan rahatsız edici ses olarak tanımlanabilir. Gürültü konuşma ve duymayı engellediği gibi, kalıcı duyma bozukluklarına da yol açabilir. İnsan kulağının ses basıncı algılama aralığı çok geniş olduğundan ses logaritmik bir büyüklük olan “Desibel” olarak tanımlanır. Sesin şiddetindeki 10 kat değişim:  $\log_{10} 10^1 = 1$  bel; 100 kat değişim:  $\log_{10} 10^2 = 2$  bel olarak belirtilir. Bel, çok geniş bir birim olduğundan onda biri olan “desibel (dB)” daha kullanışlıdır. Yani 1 bel = 10 desibeldir.

Aşağıdaki tabloda bazı ses ve gürültü kaynaklarının harcadıkları ses güçleri ve ses gücü düzeyleri verilmiştir. Bu tablo, ses gücü ölçümlerinde desibel kullanımının ne kadar kolaylık sağladığını göstermektedir (Hassal and Zaveri K 1998).

Çizelge 1.1 Çeşitli gürültü kaynaklarının ses güçleri ve ses gücü düzeyleri (Öztürk H, 2001)

Ses Kaynağı	Ses Gücü (W)	Ses Gücü Düzeyi (dB, re $10^{-12}$ W)
Fısıltı	$10^{-9}$	30
Normal Konuşma	$10^{-5}$	70
Bağırarak Konuşma	$10^{-3}$	90
Kamyon Kornası	$10^{-1}$	110
Pervaneli Uçak Motoru	1	120
Senfoni Orkestrası	10	130
Dört Jet Motorlu Uçak	$5 \cdot 10^4$	167

Ses, titreşen bir cisimden kaynaklanan mekanik enerjinin, maddesel bir ortamda (katı, sıvı, gaz) oluşturduğu kompresyon dalgalarıyla ortama yayılır. Titreşen bu cisim, belirli bir toplam güce sahiptir. Bu güç sayesinde ortama yapılan dalgaların oluşturduğu maksimum ve minimum basınçlar “ses basıncı” olarak tanımlanır.

Ses ve Gürültü ölçümlerinde, “ses ve basınç düzeyi (SBD)” adı verilen ve ses basıncının bir referans basıncına oranının logaritmik bir fonksiyonu olarak tanımlanan bir parametre olarak kullanılır.

Gürültü istenmeyen yer ve zamanda oluşan rahatsız edici ses olarak tanımlanabilir.

İnsanların kitlesel olarak yaşadıkları ortamlarda maruz kaldıkları gürültü kaynakları şöyle sıralanabilir:

**1.1 TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ:** Trafik (ulaşım) gürültüsü karayolu, demiryolu ve havayolu ulaşımı gürültüleri olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan son ikisi ulaşım hatlarının belirli bölgelerde bulunması dolayısıyla daha mevzi etki gösterirler. Ancak karayolu ulaşımı şehir içinde her yere dağılmıştır. Karayolu trafiğinin öğeleri olan otomobil, kamyon, otobüs, motosiklet gibi araçlar gürültü kaynağı olarak az da olsa farklılıklar göstermektedir bu nedenle yönetmeliklerin ölçüm metotlarında veya sınır değerlerinde farklı olarak ele alınmaktadır.

**1.2 İNŞAAT GÜRÜLTÜLERİ:** Yol veya bina inşaatlarında pnömatik kırıcılar, vinçler, beton karıştırıcılar, jeneratörler gibi makinelerin gürültüleri söz konusudur.

**1.3 ENDÜSTRİYEL GÜRÜLTÜLER:** Sanayi kuruluşları ve fabrikaların neden oldukları gürültülerdir.

**1.4 BİNALAR:** Binalarda televizyon ve müzik aletlerinden çıkan yüksek sesler, zamansız yapılan bakım ve onarımlar ile bazı işyerlerinden kaynaklanan gürültülerdir.

**1.5 İNSAN ETKİLERİ:** Satıcıların, reklâm araçlarının, eğlence ve spor etkinliklerinin gürültüleridir.

Yukarıda özetlenen gürültülerden en yaygın ve yüksek seviyeli gürültü kaynağı karayolu ulaşım gürültüsüdür.

Motorlu kara taşıtları günümüzde büyük şehirlerin en büyük gürültü kaynağıdır. Taşıtlardan kaynaklanan gürültü, motor gürültüsü ve egzoz gürültüsü, tekerlek ve yol gürültüsü olarak sınıflandırılabilir. Motorlu taşıtlarda gürültü kontrolü şu safhalardan geçirilerek yapılmalıdır.

1. Hangi kaynağın hangi sathıtan nasıl gürültü yaptığının tespiti. Örneğin egzoz gürültüsü, egzoz yüzeylerinin titreşimi sebebiyle havada yayılımı, egzoz sisteminin titreşimin askı takozlan aracılığıyla taşıt gövdesine geçmesi sebebiyle yapısal yoldan yayılması ve de egzoz ağzından deşarj olan artık gazların sebep olduğu havada yayılan gürültü şeklinde ortaya çıkar.

2. Bu gürültülerin hangi parametrelere bağlı olduklarının tespiti. Örneğin lastik gürültüsü lastik tipine, profiline, yol sathına ve seyir hızına bağlıdır, motor gürültüsü ise motor devir sayısına ve motor silindir hacmine bağlıdır.

3. Gürültünün kaynakta azaltılmasına çalışma. Örneğin dizel motorlarında düzgün bir yanma sağlayarak (tutuşma gecikmesinin azaltılması, püskürtme sisteminin iyileştirilmesi ile) silindir basıncı artış hızının kontrol edilmesi sonucu yanma gürültülerinin azaltılması.

4. Kaynağın titreşimlerinin yapı üzerinden yayılmasını önlemek için sönümleyici askı düzenleri tasarlamak.

5. Gürültünün yayılmasını önlemek için izolasyon malzemeleri kullanmak. İzolasyon malzemeleri üç sınıfa ayrılabilir:

**5.a** Ses yalıtıcı malzemeler (insulator) : Yüksek yoğunluklu malzemelerdir. Hava yolu ile iletilen ses dalgalarının taşıtın diğer elemanlarının sathlarının titreşmesine mani olmak üzere örneğin yolcu kabini ile motor bölmesi arasında, zeminde kullanılırlar.

**5.b** Ses yutucu malzemeler (absorber) : Gözenekli malzemelerdir. Sesin yansımaya mani olurlar. Örneğin motor kaputu içini kaplamak için kullanılır.

**5.c** Titreşim sönümleyici malzemeler (damper) : Panel sathlarına yapıştırılan yüzeyin titreşim enerjisini emen iç sürtünmesi yüksek olan malzemelerdir. Taşıt tavan paneli içine yapıştırılarak tavan titreşimleri sönümlenir (Güney, 1995).

Motorlu taşıtlarda en büyük gürültü kaynağı egzoz gürültüsüdür. Bu gürültünün kontrol edilmesinde, filtre elemanı olarak genellikle susturucular kullanılır. Susturucular atmosfere açılan boru ya da kanal ağzlarında veya boru ya da kanal boyunca bir yere konulabilir.



Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, 196 cm<sup>3</sup> silindir hacimli bir benzin motorunun egzoz susturuculu ve susturucusuz olarak çalışmasının motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

L Brindeu, M Toader, V Bacria, N Herişanm adlı bilim adamlarının Romanya'da Timişiora Üniversitesinde yapmış oldukları çalışmanın amacı motor gürültü seviyesini azaltmaktır. Dört silindirli, dört zamanlı bir motorda yaptıkları deneyde enjektörlerin atomize sayılarını artırarak yakıt tüketiminde önemli tasarruflar elde etmişler ve buna bağlı olarak motor gürültü seviyesinde de önemli düşmeler tespit etmişlerdir. L Brindeu ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile günümüzde yaygın olarak kullanılan gasoline injection motorların daha sessiz ve daha fazla yakıt ekonomisine sahip motorlar olduklarını ispat etmişlerdir (Brindeu et al., 2006).

Mohiuddin, Mohd, R, ve Mohd, Egzoz gazlarının susturucudaki dirençler sebebiyle motorda meydana getirdiği ekstra basıncın Geri Basınç olduğunu tespit etmişler ve bu basıncın minimum tutulması gerektiğini vurgulamışlardır. Dört zamanlı motorlarda geri basınç, volümetrik verim ve spesifik yakıt tüketimini etkilediği için motor performansını kötü yönde etkilemekte olduğunu yaptıkları deneyde ispat etmişlerdir (Mohiuddin et al., 2005).

Akbaş 2005 yılında İTÜ otomotiv laboratuvarında susturucuların akustik performanslarını incelemiştir. Akbaş bu incelemesinde belirli tipteki susturucuların akustik performanslarının iki boyutlu analitik metot yardımıyla incelenmesini ve susturucularının akustik performanslarının deneysel yollarla belirlenmesinde kullanılan bir deney düzeneğinin tasarlamak için çalışmıştır. Akbaş bu çalışmasında susturucu tasarımı için yoğun olarak kullanılan analitik yöntemi kullanmıştır. Basit odalı silindirik bir susturucudan başlanarak, uzatılmış silindirik yutucu malzemeli iki odalı bir susturucuya kadar belirli tipteki susturucuların akustik performanslarının iki boyutlu olarak analitik yöntemle incelemiştir. Akbaş'ın bu incelemesi neticesinde susturucunun performansı motor performansı ile paralellik gösterdiğini kanıtlamaktadır (Akbaş A., 2005).

Sabry Allam 2004 yılında Stockholm'de yaptığı doktora çalışmasında yeni egzoz modellemesi yapmıştır. Yaptığı bu modelleme sayesinde motor gürültüsünde ve egzoz emisyonlarında önemli düşüşler gözlemiştir. Gürültünün azalması ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi sonucunda motor veriminde önemli artmalar tespit etmiştir. Allam yaptığı çalışmada gözenekli duvarlar ile ayrılmış dar kanallardan oluşan egzoz susturucu modellemesi üzerinde çalışmıştır. Bu modelleme Amerika'nın ve Avrupa'nın çevresel kanunlarına uygun bir modellemedir. Bu modellemede egzoz sistemine fazladan bir ünite koyularak gürültüyü azaltmayı ve motor performansının artırılması amaçlanmıştır (Allam S., 2004).

Şişlioğlu'nun 2004 yılında İTÜ otomotiv laboratuvarında yapmış olduğu çalışma taşıt egzoz susturucularının analitik tasarımı üzerinedir. Şişlioğlu bu çalışmasında bir egzoz susturucusu tasarlamış ve deneylerini bu susturucu üzerinde gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada susturucunun uzatılmış boru etkisi, susturucunun oda sayısı etkisi susturucu alan oranı etkisi, perfore bölgesi delik sayısı, değişen gaz sıcaklığı, geri basınç, susturucu hacmi etkisi, susturucu ömrü gibi kriterleri irdelemiştir. Perfore delik sayısı motor hacmine göre hesaplanmalı ve optimum sayıda olmalıdır. Delik sayısının optimum sayıda olmaması susturucu performansını olumsuz yönde etkilediği için motor performansını da olumsuz yönde etkilemektedir (Şişlioğlu S.,2004).

Öztürk, 2001 yılında İTÜ Otomotiv Laboratuvarında traktörlerde egzoz gürültüsünü incelemiştir. Yaptığı bu incelemeye göre egzoz sisteminin hem yüksek gürültü seviyesine sahip olduğu hem de uygulanacak kontrol metotlarının düşük maliyetli olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak akustiğin temelleri incelenmiş ve taşıtlarda gürültü kaynakları tespit edilmiştir. Bu gürültü kaynaklarından motor gürültüsü ve buna bağlı olarak egzoz gürültüsünü dominant gürültü karakterine sahip olduğu vurgulanmıştır. Egzoz gürültüsünden yapılan iyileştirmelerin motor performansını etkilediğini tespit etmiştir (Öztürk H., 2001).

Selamet ve arkadaşları birlikte dizayn ettikleri susturucu tasarımını sıralı delikli susturucu olarak adlandırdılar. Selamet ve arkadaşlarının yapmış oldukları bu yeni tasarım, çevre kirliliğini azaltmakta ve aynı zamanda motor gücünü de arttırmaktadır. Bu tasarımda katalitik konverter susturucu ve manifold içeren çok parçalı standart egzoz sistemi yerine tek parçalı olarak dizayn etmişlerdir. Bu yeni çalışma ile egzoz emisyonlarında yaklaşık

%15 oranında iyileşme yaptığı, yaklaşık %5 oranında motor performansını arttırdığı ve yakıt tüketiminde de iyileşmeler olduğunu ispat etmişlerdir. Selamet ve arkadaşları çalışmalarını “Ses ve Titreşim” dergisinin son sayısında tanıttılar. Selamet’e göre tüketiciler hızlı çalışan, az kirlilik oluşturan, az yakıt tüketen ve daha iyi performansa sahip motor isterler. Selamet ve arkadaşlarını bu çalışmaya sevk eden tüketicilerin bu istekleri olmuştur (Selamet et al., 1999).

Venkanna ve arkadaşları, farklı susturuculu iki silindirli dört zamanlı sabit bir dizel motorunda çalışmalarını tamamlamışlardır. Vekanna ve arkadaşlarına göre su kirliliği ve atmosferik kirlilik ile birlikte gürültünün ana kaynağı olan motorlu araçların gürültüsü de insan sağlığını olumsuz olarak etkilemektedir. Vekanna ve arkadaşlarının yapmış oldukları bu çalışmada deney motoruna farklı kombinasyonlarda susturucu tipleri uygulandı ve motorun gürültü seviyeleri ölçüldü yapılan deney sonuçlarına göre susturucunun motor performansını artırdığı ve egzoz emisyonlarında da iyileşmeler sağladığı tespit edilmiştir (Vekanna et al., 1999)

Alkan tarafından yapılan araştırmada; Taşıt gürültü emisyonunu azaltan teknikler, taşıtın diğer özelliklerinde değişikliğe yol açabileceğini göstermiştir. Örneğin; yakıt tüketimi değişebilir, ölçüler modifiye olabilir, ağırlık artabilir, güvenilirlik problemi ortaya çıkabilir ve sürücü konforu da etkilenebilir. Gürültü kontrolü eskiden beri susturucular ile yapılmaya çalışıldığını vurgulamıştır. Araçlarda seri bağlanmış birkaç susturucu birden kullanılabileceğini ancak bu susturucuların motorun güç kaybetmesine sebep olacağını tespit etmiştir (Alkan, Z., 1995).

Lalor geliştirdiği ağırlık optimizasyonu tekniğinde üç boyutlu bir sonlu eleman sistemiyle statik genleşmeyi azaltmayı başarmıştı. Lalor motor genleşmelerindeki azaltımın, ancak dökme kalınlığının yeniden dağıtılmasıyla belirli bir düzeyde kalacağını aynı zamanda motor gürültüsünde de azaltma meydana getirdiğini kanıtlamıştır. Motorun gürültüsünün dökme kalınlığının yeniden dağıtılmasıyla belirli bir düzeyde kalacağını aynı zamanda motor gürültüsünde de azaltma meydana getirdiğini kanıtlamıştır. Motorun gürültüsünün azaltılması sonucu motor performansının arttığını ve yakıt tüketiminin de azaldığını ispat etmiştir (Kazuhide, 1994).

Bayhan tarafından yapılan araştırmaya göre; Ses, esas olarak motorun egzoz gazlarını büyük bir hızla egzoz supabından dışarıya darbeli olarak itmesi sonucu ortaya çıkar. Egzoz gazları miktarından bağımsız olarak, ses hızının 1/5, 1/10 ‘u kadar bir alanı hızıyla ilerlerler. Atılan her gaz miktarı bir öncekini egzoz çıkışına doğru iter. Egzoz gazlarını ileten boru ve kanallarda ses dalgalan boru yada kanal içerisinde ilerlerken, kanal dışında da genellikle rahatsız edici gürültülere neden olmaktadır. Özellikle boru ve kanalların giriş ve çıkışlarında gürültü düzeyi daha da yüksek olmaktadır. Boru ve kanalların dışarıya ilettikleri sesin azaltılması ya da dışarıya açılan boru ve kanalların neden oldukları gürültünün kontrol altına alınması istenmektedir (Bayhan, M., 1990).

Grover ve Priede isimli iki tasarımcı ‘‘E.C. Grover and T. Priede, Current Research Leading To Low Noise Engine Development’’ isimli projelerini 11. ICA kongresinde 1983 yılında sundular. Motor güçleri 30 – 250 kW arasında 12 tane motor prototipi üretmişlerdir. Bu tasarımlarda yapı iskeleti, krank, taban plakası ve dış duvarlar yüksek snmlendirilmiş sandwich materyalden yapılmıştı. Bu tasarımlarla 10 dB civarında gürültü azatlımı sağlamışlardı. Gürültünün azaltılması ile motorların performansında artmalar olduğunu gözlemlemişlerdir (Grover ve Priede, 1983).

Thien yaptığı çalışmasında var olan motorların gürültü muhafazalarını, uzun süreli teorik ve deneysel araştırmalar sonucunda kusursuzlaştırdı. Thien, yayılan gürültüyü 18 – 20 dB civarında azaltmayı başardı. Thien ayrıca ilginç bir dizel motoru tasarımı geliştirdi. Bu tasarımda yüksek titreşim izalasyonlu alüminyum yağ oluklarına ve ana kapağa sahip, farklı bir yataklama ile desteklenmiş silindir bloğu entegrallerini içeren bir dizayn içeriyordu. Bu motor geleneksel motorlara oranla 14 dB daha fazla gürültü azatlımı sağlamıştı ( Thien, 1982).

## BÖLÜM 3

### TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ

İnsanların kitlesel olarak yaşadıkları ortamlarda maruz kaldıkları gürültü kaynaklarının en sürekli olanlarından biri, ulaşım (trafik) gürültüsüdür. Ulaşım gürültüsü, karayolu, demiryolu ve havayolu gürültüleri olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan son ikisi, ulaşım hatlarının belirli bölgelerde bulunması dolayısıyla mevzi etki gösterirler. Ancak karayolu ulaşımı, kent içinde her yere dağıldığından çevreye yaptığı etki çok daha büyük olmaktadır. İş makineleri ve traktörler ise mevzi etkiye sahip olmalarına rağmen çalışma süreleri çok uzun olduğundan kullanıcı için oldukça fazla gürültü etkisine sahiptirler. Gürültü ile savaşmak için gürültünün nedenlerinin bilinmesi, gürültü kaynaklarının kontrol altına alınması ve gürültünün yayılmasına engel olunması gerekir.

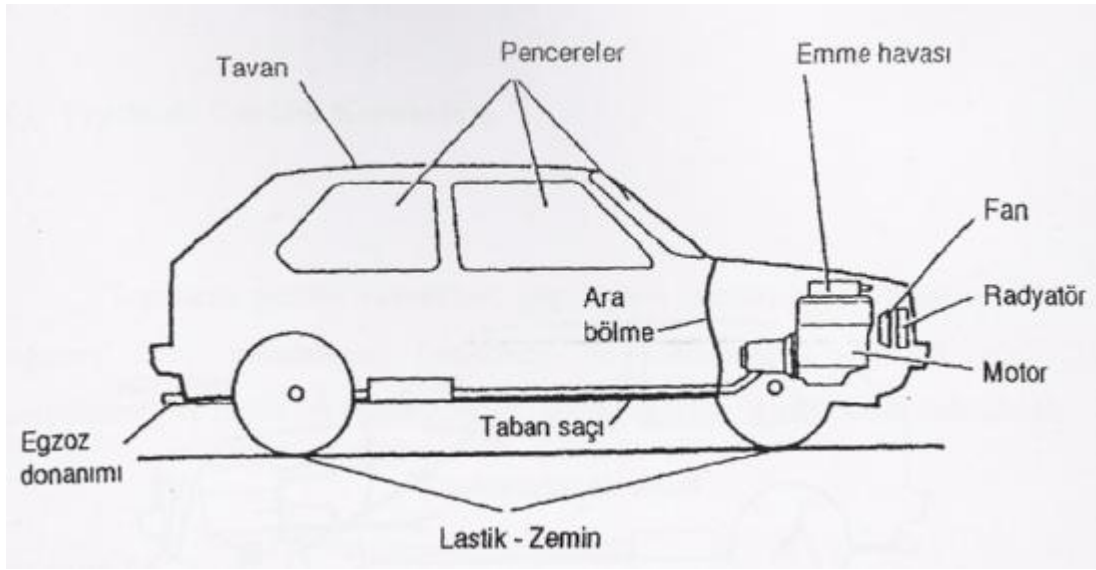
Yapılan araştırmalara göre taşıt sayısı ve türü ulaşım gürültüsü seviyesi değişiklik göstermektedir. Kamyon sayılarındaki artış gürültü seviyelerinde artışa neden olup, bir kamyonun neden olduğu gürültü miktarı 4 binek arabasına eşdeğer olduğu tespit edilmiştir (Alexandre, A., 1975). Değişik araç tiplerinin neden olduğu gürültü seviyeleri Çizelge 1.2 de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Taşıtların Neden Olduğu Gürültü Seviyeleri (Öztürk H, 2001)

Taşıt Türü	Azami Gürültü (dBA)
Otomobil	75
Otobüs (şehir içi)	85
Otobüs (Şehir dışı)	80
Kamyon (80 km/h hızda)	85
Ağır müteharrik araç	85

### 3.1. TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Taşıtlarda gürültü kontrolü, kaynakların çokluğu ve yayılım yollarının çeşitliliği nedeniyle çözümü zor bir akustik problemdir. Hem ses hem de titreşimler, taşıtın bütün gövdesi ve donanımları üzerinden yayılmaktadır. Bu nedenle teorik hesap yollarının yanı sıra deneysel yöntemler de kullanılmaktadır. İlk yapılacak olan, gürültü kaynaklarını tespit etmek ve bunların gürültü seviyelerini azaltmaya çalışmak veya uygun frekanslara kaydırmaya çalışmaktır. İkinci kademedede gürültünün yayılma yolları kesilmeye çalışılır (Güney,A.,1999).

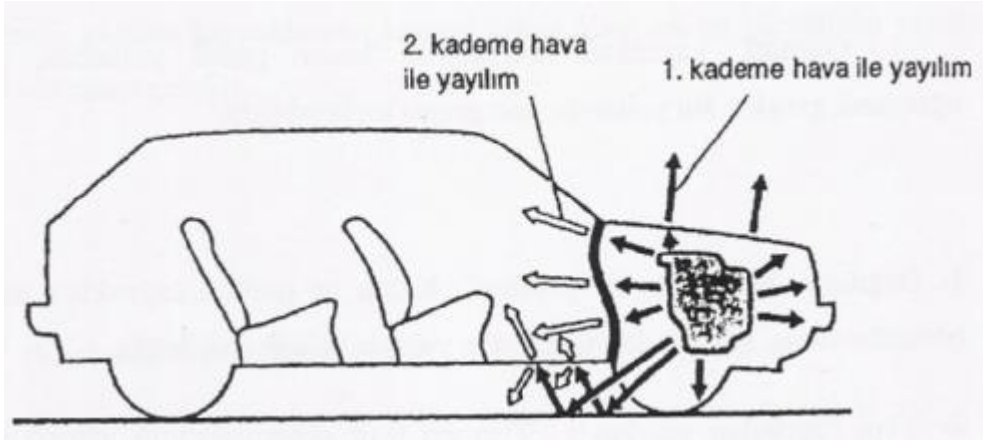
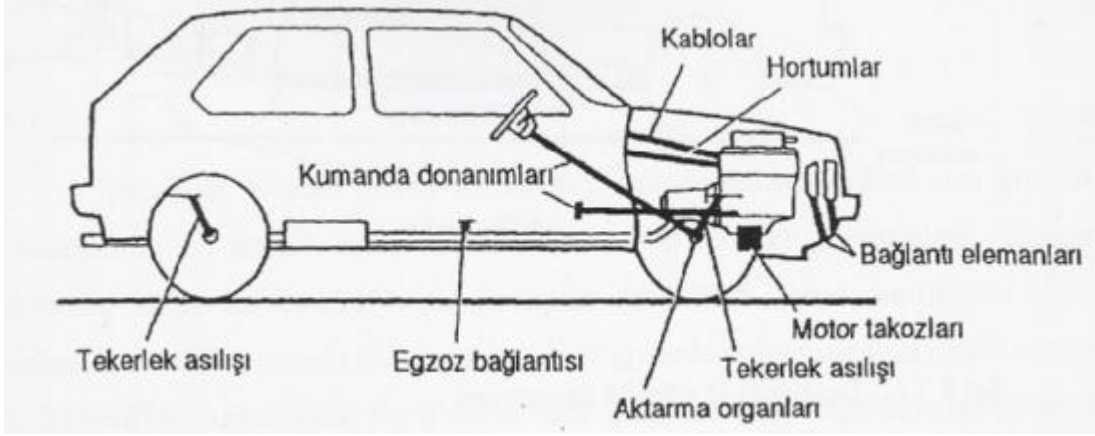


Şekil 3.1 Taşıtlarda iç gürültü kaynakları (Çınlar E, 2002)

Gürültü, kaynaktan kulağımıza kadar çeşitli yollardan, değişimlere uğrayarak gelirler. Bu yolları üç ana grupta toplayabiliriz:

- 1- Doğrudan hava yolu ile yayılım: Kabin ile gürültü kaynakları arasında açık bölümler varsa, gürültü doğrudan hava yoluyla kulağımıza iletilir.
- 2- Yapı üzerinden yayılım: Titreşen taşıt donanımlarının yapıyla bağlantıları aracılığıyla yapıda titreşimler meydana gelir. Yapı titreşimleri de hava yoluyla yayılan yeni gürültülere sebep olurlar.
- 3- Hava + yapı yoluyla yayılım: Kaynaktan hava yoluyla yayılan gürültü (hava ve basınç salınımları), rastladıkları panelleri titreştirirler. Bu panel titreşimleri, panel içinde yeni gürültü kaynakları oluştururlar.





Şekil 3.2 Gürültünün yayılımı (Çınlar E, 2002)

### 3.2. TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI

Taşıtlarda gürültü kaynakları, güç ünitesi (motor, hava filtresi ve egzoz), soğutma fanı, transmisyon (şanzıman ve diferansiyel), hareket gürültüsü (aerodinamik ve lastik/yol etkisi), frenler, gövde takırtısı ve yük olarak belirtilebilir.

Taşıtlarda gürültü kontrolü, kaynaklarının çokluğu ve yayılım yollarının çeşitliliği nedeniyle çözümü zor bir akustik problemdir. Hem ses hem de titreşimler taşıtın bütün gövdesi ve donanımları üzerinden yayılmaktadır. Dolayısıyla önce taşıttaki gürültü kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir (Güney, A. 1994).

Bu kaynakların önem derecesi, taşıtın cinsine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Hafif taşıtlarda düşük vites ve düşük yol hızlarında motor gürültüsü dominant karakter gösterir. En büyük

viteste yüksek yol hızlarında hareket gürültüsü, güç ünitesine göre daha fazla etkilidir. Ancak ağır dizel motorlu kamyon ve tırlarda, lastik ve yol yüzeyine bağlı gürültü yüksek hızlarda kayda değer bir etkiye sahip olsa da, motor, egzoz ve soğutma fanı, gürültü seviyesini belirleyen en önemli kaynaklar olarak öne çıkmaktadır.

Kabin içi gürültüsü, ticari vasıtalarda ve traktörlerde önemli bir sorundur. Sürücü için kabin, iş yeri niteliğinde olduğundan yakın geçmişten itibaren gürültü üzerine yapılan çalışmalar bu yönde ilerlemiştir.

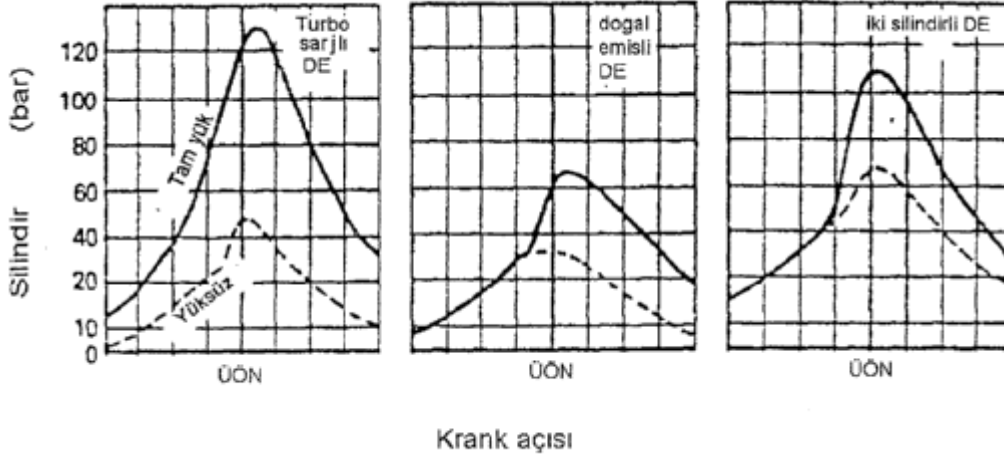
Ayrı ayrı gürültü kaynaklarının gürültü seviyeleri, toplam taşıt gürültü seviyesi bulunurken logaritmik olarak birleştiği için, düşük etkili kaynaklar hariç bütün dominant etkiye sahip kaynaklar birlikte susturulmaya çalışılmalıdır (Güney,A.,1999)

### **3.3. MOTOR GÜRÜLTÜSÜ**

Motor silindirlerindeki yanma olayı, bir basınç darbesi yaratır. Bu darbe. Silindir duvarları ve motor kafası aracılığıyla motor gövdesi dış duvarlarının titreşimlerine sebep olur. Bu titreşimler, havanın basınç salınımları yapmasına yani ses oluşmasına sebebiyet verir. Motor gürültüsünün azaltılması için en etkin yol. Yanma esnasında basınç darbesinin yumuşatmaktır, yani düzgün bir yanma sağlanması gerekir. Bu amaçla sıkıştırma oranını düşürmek, ön püskürtme yapmak. Püskürtme sistemini optimize etmek, yanma odası tasarımını optimize etmek gibi tedbirler alınmaktadır. Motor devir sayısını düşürülmesi, silindir sayısının artırılması, motor gövdesinin kalınlaştırılması gibi diğer önlemlerin Gerçekleştirilmesi, maliyete, yakıt tüketimine, performansa ve vergi oranlarına getireceği ilave yükler nedeniyle üreticiler tarafından pek tercih edilmeyen yöntemlerdir. Ayrıca motordan yayılan gürültünün izolasyonu yoluna da başvurulmaktadır. Hem motoru meydana getiren elemanların birleştirilmesinde hem de motorun taşıta bağlanmasında elastik bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Bu şekilde titreşimlerin yapı yoluyla yayılımı azaltılmaya çalışılmaktadır. Gürültünün hava yoluyla yayılımını önlemek için ise motor ile sürücü kabini arasına paneller. Yerine göre yalıtıcı, yutucu veya sönümleyici malzemeler yerleştirilmektedir.

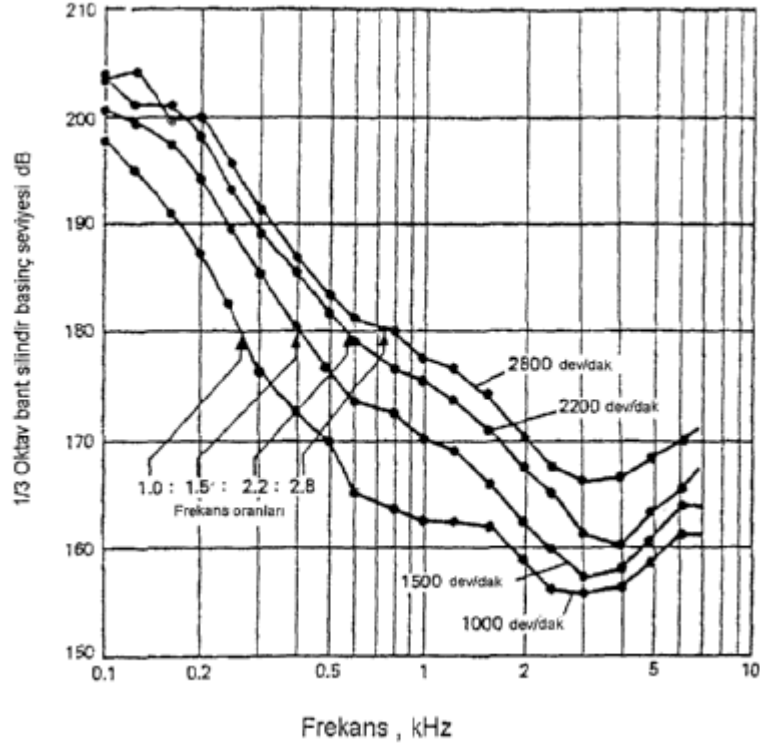
### 3.3.1. Motor Yanma Gürültüsü

Dizel motorlar yüksek termal verimlerine yüksek sıkıştırma oranlarında ulaşırlar. Bu, yanma odalarında çok kısa sürelerde yüksek basınçlara ulaşılması anlamına gelmektedir. Böylece oluşan basınç dalgaları piston, piston kolu, silindir kafası ve krank yolunu izleyerek havaya gürültü olarak yayılır. Bir başka deyişle yakıt, silindirin üst ölü noktaya ulaşmasından hemen önce enjekte edilir, hava ile karışıp yeterli yüksek sıcaklık ve basınçta tutuşur. Püskürtme ile tutuşma arasında geçen zamana “Tutuşma Gecikmesi” (TG) adı verilir. Bu gecikme, yanma gürültüsü açısından oldukça önemlidir. Tutuşma sonrası yakıt, çabuk yanar. Bu esnada çok yüksek ve ani basınç artışı meydana gelir. Şekil 3.3’te değişik yanma sistemleri için silindir basıncı-krank açısı diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Değişik yanma sistemlerinin tipik basınç diyagramları (Öztürk H, 2001)

Yanma basınç dalgalarının gürültü üretme potansiyeli için bir başka gösterge, frekans spektrumdur. Şekil 3.4’te motor hızının yanma gürültüsüne etkisini göstermektedir. Silindir basıncı frekans spektrumunun genel şekli, frekansın artması ile azalan eğilerdir (Nelson, P.M., 1987).



Şekil 3.4. Motor hızının silindir basınç spektrumuna etkisi (Öztürk H, 2001)

### 3.3.2. Motor Mekanik Gürültüsü

Motor mekanik gürültüsü, motorun çok farklı noktalarından kaynaklanabilir ve yanma gürültüsüne göre daha zor belirlenebilir. Mekanik gürültünün en önemli kaynakları şunlardır:

- 1- Piston vuruntusu
- 2- Zaman dişlisi gürültüsü
- 3- Yatak kuvvetleri ve dönme etkisiyle oluşan gürültü
- 4- Yakıt pompası ve valf gürültüleri

### 3.4. HAVA EMME VE EGZOS GÜRÜLTÜSÜ

İçten yanmalı motorlarda egzoz gazı oluşum süreci, gürültü üreten bir süreçtir. Gaz, hem hava emme hem de egzoz sisteminde yüksek basınç genliklerinde titreşir. Susturucu etkenin bulunmadığı sistemlerde egzoz çıkışı gürültü seviyesi, motor gürültü seviyesinden 10–15 dB(A) daha yüksektir. Ancak susturucu yardımıyla egzoz gürültüsü motor gürültüsünden daha düşük seviyelere indirilebilmektedir.

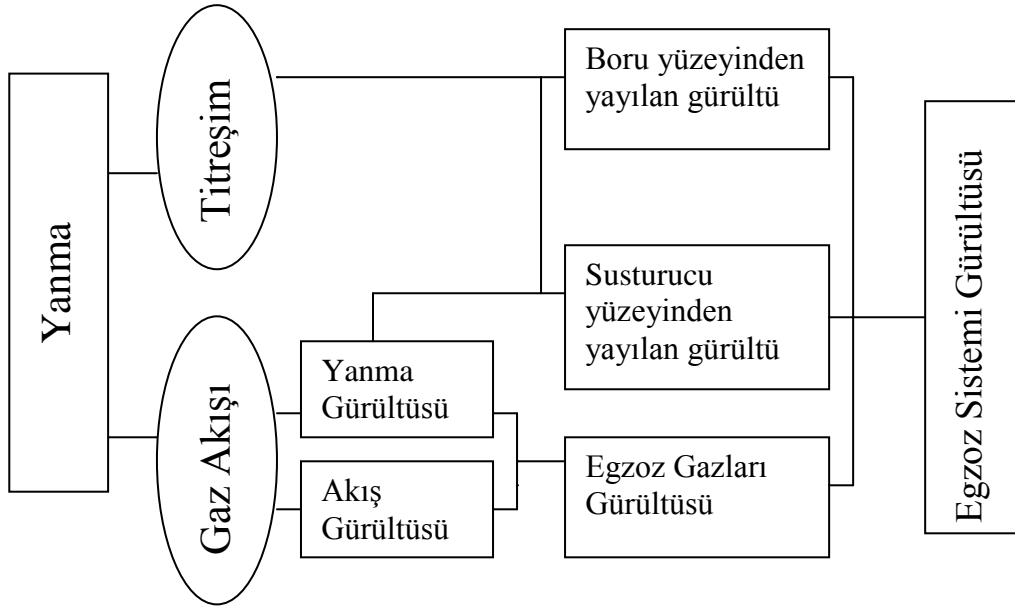
### **3.4.1. Emme Gürültüsü**

Emme gürültüsü, silindirin emme valfi hem açıldığında hem de kapandığında meydana gelen akışın bir sonucudur. Emme gürültüsü, egzoz sisteminden de etkilenmektedir. Bu sebeple egzoz freni bulunan sistemlerde emme gürültüsü yüksektir. Emme valfi açıldığında, silindirdeki basınç, atmosfer basıncının üzerindedir ve pozitif titreşimler emme manifoldundaki havayı doğal frekansında titreşime zorlar. Pistonun aşağıya doğru hareketinin sebep olduğu silindirdeki hava hacmi değişimi ile titreşim hızla azalır. 1 kHz civarındaki yüksek frekanslı gürültü, valf boşluğundan geçen yüksek hızlı hava akışının bir sonucudur. Hava filtresinin parçaları olarak düşünülebilen emme manifoldu ve susturucu, motor yanma frekans aralığını 1 kHz.'den 80–150 Hz.'e kadar düşürür. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi susturucu düzeneği hava emme gürültüsünü azaltır ancak motor hızı-gürültü karakteristiğini değiştirmez.

Hava emme ağzı, filtre haznesi boyun uzunluğu ve filtreye bağlantısı, hava akış tekniğine uygun tasarlanmalı, sistem titreşim açısından incelenmeli, hava filtresi haznesi mümkün olduğunca büyük tutulmalıdır.

### **3.4.2. Egzoz Gürültüsü**

Sıcak egzoz gazları, egzoz borusu ve susturucu boyunca yüksek hızlara ulaşmaktadır. Böyle hızlı akışlar da, daha büyük gürültüye ve geri basınca sebep olmaktadır. Egzoz sisteminden yayılan gürültünün oluşumu şekil 3.5' de gösterilmektedir. Burada üç gürültü kaynağı vardır; egzoz gazları gürültüsü, boru yüzeyinden yayılan gürültü ve susturucu yüzeyinden yayılan gürültüler (Öge, A. ve Ögüt, T., 1998).



Şekil 3.5 Egzoz sisteminden yayılan gürültünün oluşumu

Egzoz gürültüsüne, motordan kaynaklanan gaz kuvvetleri salınımları ve motorun mekanik titreşimleri sebep olur. Gürültü, egzoz sisteminin bütün yüzeyinden (borular ve susturucular) yüzey titreşimleri şeklinde ve çıkış ağzından hava akış gürültüsü şeklinde oluşur. Egzoz gürültüsünü azaltmak için egzoz çıkış ağzını küçültmek, susturucu hacimlerini ve sayısını arttırmak, boruları optimize etmek gerekir. Ayrıca gerek yol düzensüzlüklerinden gerekse motor titreşimlerinden egzoz sistemine gelen titreşimlerin bu sistem tarafından arttırılarak taşıta iletilmemesi için egzoz sistemi taşıt gövdesine, titreşim düğüm noktalarından bağlanmalıdır.

### 3.5 MOTORLU TAŞITLARDA EGZOZ SİSTEMİNİN AMACI

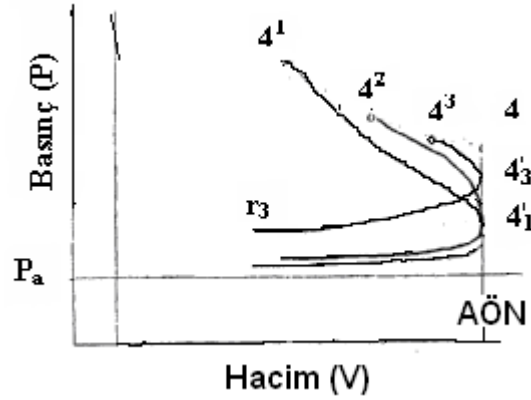
Silindirdeki yanma ürünlerinin dışarı atılmasına ‘egzoz olayı’ denir. Bu olay, dört ve iki zamanlı motorlarda farklıdır. Dört zamanlı motorlarda egzoz olayı, gazların akışına göre çeşitli fazlar içerisinde incelenebilir.

Dört zamanlı motorlarda 1. faz, egzoz supabının açılmasından AÖN’ ya kadar geçen zamandır. Egzoz supabı açıldığında gazların basıncı 0.3-0.5 MPa olup hızları ise 600-700 m/sn civarındadır. Gazların yaklaşık % 60-70’i bu fazda dışarı çıkar.

2.fazda, piston ÜÖN' ya doğru hareket ederken, silindirde kalan yanma ürünlerini dışarıya atar. Bu fazda gazların hızı ortalama olarak 200–250 m/sn. civarındadır.

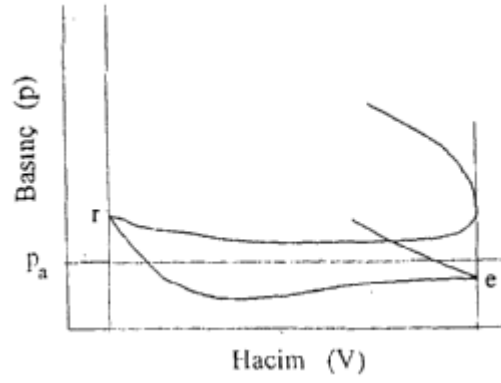
Son fazda ise yanma ürünleri, silindire emilen taze hava veya yakıt hava karışımının etkisiyle dışarı atılır. Supap bindirmesi yoksa bu faz oluşmaz.

Egzoz açılma avansının farklı değerleri p-V diyagramını farklı şekilde etkiler (şekil 3.6) Egzoz supabı  $4_1$  noktasında yani çok erken açılırsa genişlemedeki iş kaybı  $4_14_41^1$  alanı olacaktır. Bu büyük bir kayıptır. Eğer egzoz supabı  $4_3$  noktasında yani geç açılırsa genişlemedeki iş kaybı  $4_34_43^1$  alanı normalden küçük olur. Buna karşılık  $4_3^1 r_3$  kısmında gazların dışarı çıkarılması için daha çok iş sarf edilir. Bu nedenle egzoz supabı, toplam egzoz kayıplarının en az olduğu  $4_2$  gibi bir noktada açılmalıdır.



Şekil 3.6 Egzoz açılma noktasının p-V diyagramına etkisi (Öztürk H, 2001)

Egzoz olayı sırasında basınç değişimi, gaz değişimi koşullarına ve egzoz sisteminin yapısına bağlıdır. Basınç değişimi, şekil 3.7' de gerek egzoz ve gerekse emme olayları için birlikte gösterilmiştir. Silindir basıncı egzoz olayı sırasında değişmektedir. Ancak bu basınç için, ortalama olarak piston ÜÖN' ya geldiğinde r noktasındaki basınç değeri (P<sub>r</sub>) alınmaktadır.



Şekil 3.7 Egzoz ve emme sırasında silindir basıncının değişimi (Öztürk H, 2001)

Alçak dönme sayılı motorlarda  $P_r = 0.103-0.106$  Mpa; yüksek dönme sayılı motorlarda  $P_r = 0.105-0.125$  Mpa değerleri arasındadır.

Egzoz olayı sırasında gazların sıcaklığının ( $T_r$ ) hesaplanması, silindirdeki gaz akımının karışıklığı nedeniyle zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak:

$$T_r = T_4 (P_4/P_r)^{(n_2 - 1)/n_2} \quad (3.1)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Burada;

$n_2$ : politropik üs

$T_4$ : genişleme sonu sıcaklığı [K]

$P_4$ : genişleme sonu basıncı [MPa]

$p_r$ : r noktasındaki egzoz gaz basıncı [MPa]dır. Egzoz gazlarının sıcaklığı, yüke, dönme sayısına ve stroğa bağlıdır. Bu değer, yüksek dönme sayılı dizel motorlarında

$$T_r = 700 - 800 \text{ K}$$

benzin motorlarında

$$T_r = 900 - 1000 \text{ } ^\circ\text{K}$$

sınırları arasındadır (Soruşbay vd., 1995).

Egzoz sisteminin amacı motorlu bir taşıttan yanına sonucu çıkan egzoz gazlarını az bir akış direnciyle uzaklaştırmaktır. Boru ve kanalların dışarıya ilettikleri sesin azaltılmasında veya neden oldukları gürültünün kontrol edilmesinde, filtre elemanı olarak genellikle susturucular kullanılırlar. En az güç kaybı ile etkili bir ses sönümü için egzoz hattı



düzenlemelerinin önemi büyüktür. Susturucu tertibatının etkili olmasında susturucular ve güç kaybının yanısıra egzoz hattındaki yerleştirme ve düzenleme de önemlidir. Motor ve susturucu arasındaki hat  $f = c/4L$ ,  $3c/4L$ ,  $5c/4L$  gibi rezonanslara sahiptir. Burada boru boyu  $L(m)$ , ses hızı  $c(m/s)$ . Son susturucudan sonraki hat  $f = c/2L$ ,  $2c/2L$ ,  $3c/2L$  gibi rezonanslara sahiptir. 4-6 silindirli 4 stroklu motorlarda tek susturucu uygun değildir. yada daha fazla susturucu alternatifinde çıkış ham oluşabilecek maksimum motor temel frekansında  $f = n.z/120$  rezonans oluşturmayacak uzunlukta olmalıdır.

Egzoz hattı optimum boru boyları hesaplanarak oluşturulur ve egzoz hattında gürültüye neden olan gazların akışı ses dalgalarının girişimi prensibine göre ilave bir sistemle düzenlenirse egzoz gürültüsünde önemli ses düşümü elde edilebilmektedir. Motor silindiri içinde oldukça yüksek basınçlarda oluşan yanmış gazlar egzoz supabının açılması ile silindiri darbeleri bir şekilde terk ederler Böylece egzoz borusunda ve daha sonra da açık havada bir ses dalgasının oluşmasına neden olurlar, Egzoz borusunda ilerleyen ses dalgası egzoz boru hattının sonunda rezonansa neden olacak şekilde aksettirilir. Ses dalgası açık havaya küresel ve aşırı şiddetlenmiş bir şekilde aktarılır. Egzoz borusunda ses basıncı ve ses akışı karşılıklı olarak faz kaymasıyla ortaya çıkarlar, buna karşılık açık havada aynı fazdadırlar.

Ses, esas olarak motorun egzoz gazlarını büyük bir hızla egzoz supabından dışarıya darbeleri olarak itmesi sonucu ortaya çıkar. Egzoz gazları miktarından bağımsız olarak, ses hızının  $1/5$ ,  $1/10$  'u kadar bir alanı hızıyla ilerlerler. Atılan her gaz miktarı bir öncekini egzoz çıkışına doğru iter. Egzoz gazlarını ileten boru ve kanallarda ses dalgaları boru yada kanal içerisinde ilerlerken, kanal dışında da genellikle rahatsız edici gürültülere neden olmaktadır. Özellikle boru ve kanalların giriş ve çıkışlarında gürültü düzeyi daha da yüksek olmaktadır. Boru ve kanalların dışarıya ilettikleri sesin azaltılması ya da dışarıya açılan boru ve kanalların neden oldukları gürültünün kontrol altına alınması istenmektedir (Bayhan M., 1990).

### **3.6 GÜRÜLTÜ KONTROLÜNÜN TAŞIT PERFORMANSINA ETKİSİ**

Taşıt gürültü emisyonunu azaltan teknikler, taşıtın diğer özelliklerinde değişikliğe yol açabilirler. Örneğin yakıt tüketimi değişebilir, ölçüler modifiye olabilir, ağırlık artabilir, güvenilirlik problemi ortaya çıkabilir ve sürücü konforu da etkilenebilir. Gürültü kontrolü

eskiden beri susturucular ile yapılmaya çalışılmaktadır. Araçlarda seri bağlanmış birkaç susturucu birden kullanılmaktadır. Bu susturucular motorun güç kaybetmesine sebep olurlar (Alkan, Z., 1995).

Egzoz gazlarının susturucudaki dirençler sebebiyle motorda meydana getirdiği ekstra basınca Geri Basınç denir. Bu basınç minimum tutulmalıdır. Dört zamanlı motorlarda geri basınç, volümetrik verim ve spesifik yakıt tüketimini etkilediği için motor performansını kötü yönde etkilemektedir (Mohiuddin et al., 2005).

### 3.6.1. Yakıt Tüketimi

Bir taşıtın yakıt tüketimi, ağırlıktaki, aerodinamikteki ve güç ünitesi verimindeki değişimlerden etkilenir. Ağırlıktaki artış yakıt tüketimini oldukça fazla artırır. Çizelge 3.1'de prototip taşıtlar üzerinde gürültü seviyesi azaltılması ile ağırlık ve yakıt tüketimi ilişkisi özetlenmiştir.

Genel olarak taşıt dizaynında gürültü emisyonunu azaltıcı değişiklikler yapmak yakıt tüketimine önemli bir etki yapmaz. Ancak kullanılacak ilave malzemelerle ağırlıkta meydana gelecek artış, yakıt tüketimini az bir miktar arttıracaktır.

Çizelge 3.1 Gürültünün azaltılmasının bir sonucu ağırlıktaki artışın yakıt tüketimine etkisi (Öztürk H, 2001)

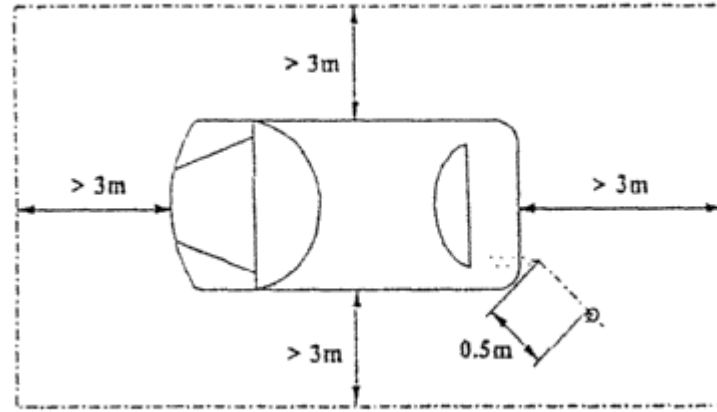
Taşıt Tipi	Toplam Gürültü Seviyesindeki Azalma (dB(A))	Ulaşılan Gürültü Seviyesi (dB(A))	Ağırlıktaki Yaklaşık Artış (kg)	Toplam Ağırlıktaki Artış (%)	Yakıt Tüketimindeki Yaklaşık Artış (%)
Özel Taşıtlar	6-7	74	15-60	2,5	1,2-3,5
Sevki Tırları	8-9	78	40-70	0,7-1,5	1,0
Sevki Tırları	3-9	84	15-40	<0,1	-
Ağır Taşıtlar	7-12	80	100-300	<1,0	0,2-2,4

## BÖLÜM 4

### GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ

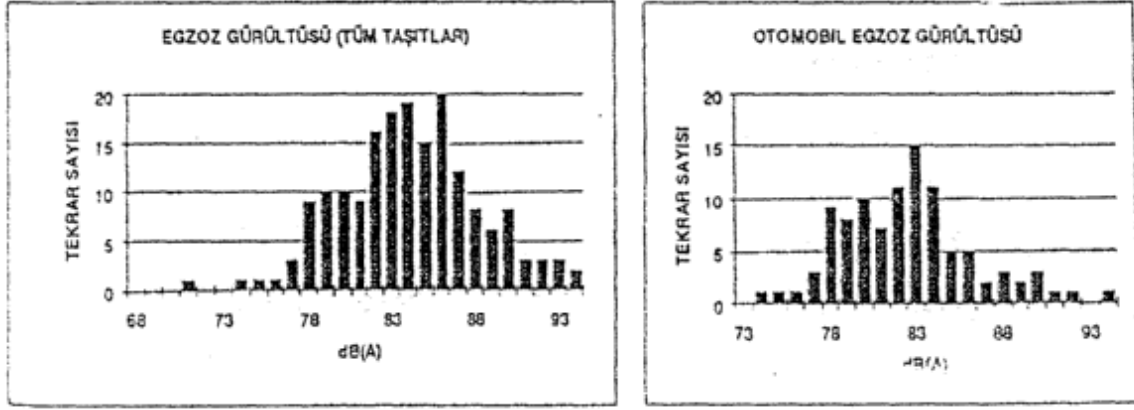
#### 4.1. EGZOZ GÜRÜLTÜSÜ ÖLÇÜMÜ

Egzoz gürültüsünün tespiti için mikrofona egzoz ağzından 0,5 m mesafede 45° açı yapan bir düzlemde tutulur. (Şekil 4.1) Motor en büyük gücü veren devir sayısının 3/4 üne tekabül eden hıza çıkarılır ve gaz kelebeği ansızın kapatılır. Bu esnada ölçülen en büyük ses seviyesi esas değer olarak alınır.



Şekil. 4.1 Egzoz gürültüsü ölçümü (TS 9235/ Nisan 1991).

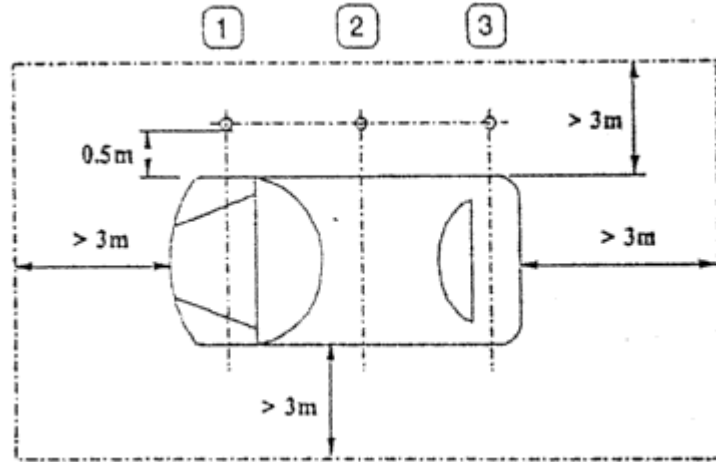
Bulunan egzoz gürültüsü değeri referans değer, yani tip testi yapılırken ölçülen egzoz gürültüsü değerinden 5 dB(A)'dan daha fazla farklılık gösteriyorsa uygunsuz olarak kabul edilir. Buradaki zorluk referans değeri bilinmeyen taşıtların ölçülen egzoz gürültüleri açısından bir yorum yapılamamasıdır. İ.T.Ü'de yapılan hareket halindeki taşıt gürültüsü tip testleri esnasında, egzoz gürültüsü referans değerlerini tespit etmek amacıyla, sabit taşıt gürültü testleri de yapıp rapora ilave edilmektedir. Ölçülen değerlerin dağılımı ve yalnız otomobillerin egzoz gürültüleri (Şekil 4.2)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Tüm taşıtların ve otomobillerin egzoz gürültülerinin dağılımı (TS 9235/ Nisan 1991)

#### 4.2 MOTOR GÜRÜLTÜSÜ

Motor gürültüsünün tespiti için mikrofon zeminden 0,5 m yüksekte, direksiyon konumunun aksi tarafında, tekerlek dış kenarından 0,5 m uzakta, motorun olduğu aks hizasında yerleştirilir. (Şekil 4.3) Dizel motorlar rölanti devrinden hızla en büyük gücü veren devir sayısına çıkartılır. Bu esnada ölçülen gürültü seviyesinin en büyük değeri kaydedilir. Benzinli motorlar ise en büyük gücü veren devir sayısının yarısına kadar çıkartılarak ölçülür. Burada güçlük o devir sayısındaki gürültüyü tespit etmektir (Güney, 1995).



Şekil 4.3 Soldan direksiyonlu bir taşıtta motor gürültüsü ölçüm yeri (TS 9235/ Nisan 1991)

- 1 Önde motor
- 2 Ortada motor
- 3 Arkada motor

#### **4.3 SESLİ UYARI CİHAZI SES SEVİYESİ**

Taşıtların sesli uyarı cihazlarının ölçümü ve ses seviyeleri sınır değerleri 11 Aralık 1986 tarihli Başbakanlığın yayınladığı Gürültü Kontrol Yönetmeliği Madde 7.3 'de belirtilmiştir (Başbakanlık, 1986). Buna göre, taşıtların sesli uyarıcıları TS-1875 ve TS-2214 e göre yapılan ölçümlerde araçtan 2.0 m uzaklıkta ve 1.2 m yükseklikte 105-118 dB(A) olmalı ve frekans spektrumu 1800-3550 Hz arasında görünmelidir.



## BÖLÜM 5

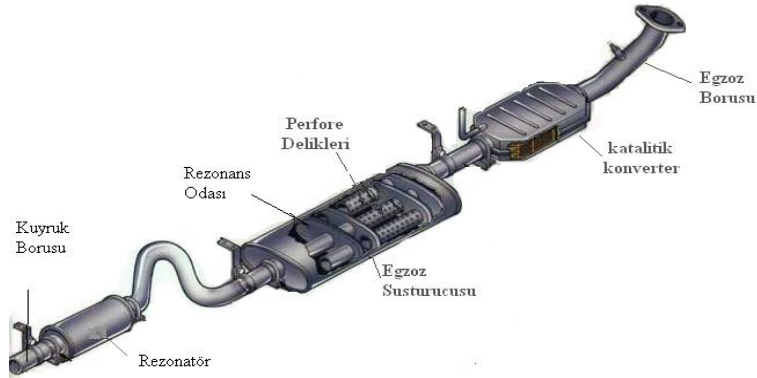
### SUSTURUCULAR

#### 5.1 GÖREVİ VE YAPISI:

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu meydana gelen egzoz gazlarının gürültüsünü azaltmak için susturucular kullanılmaktadır. Susturucular gazların yavaşça boşalmasını temin ederken, aynı zamanda onların soğumasını sağlarlar. Susturucular bu görevlerini yaparken, motorda bir miktar, geri basınca sebep olur, bunun sonucu serbestçe dışarı çıkamayan egzoz gazları silindirde kalarak, taze karışıma karışarak, onun özeliğini ve oranını bozar ve motorda güç düşüklüğüne sebep olur.

Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi; otomobil motorlarında egzoz gazları motordan sırasıyla egzoz manifolduna, egzoz borusuna, susturucuya geçerek, kuyruk borusu yardımıyla otomobilin arkasından atmosfere atılır.

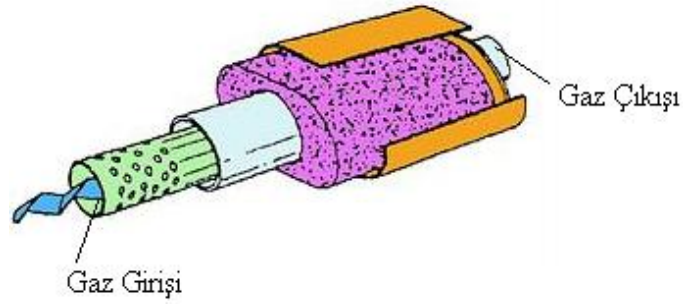
Gaz bu çıkış yolunda, önce manifold ve egzoz borusunda bir miktar genişerek soğur. Bu amaçla manifold ve egzoz borusu hacmi motorun silindir hacminin 2 – 4 katı kadardır. Buna ilaveten, egzoz gazları susturucuda da bir miktar daha genişerek soğur ve böylece kuyruk borusundan, gazların sesi ve basıncı düşmüş ve tehlikeli olmayacak kadar soğumuş bir şekilde dış havaya atılır.



Şekil 5.1 Egzoz Sistemi (URL 1, 2007)

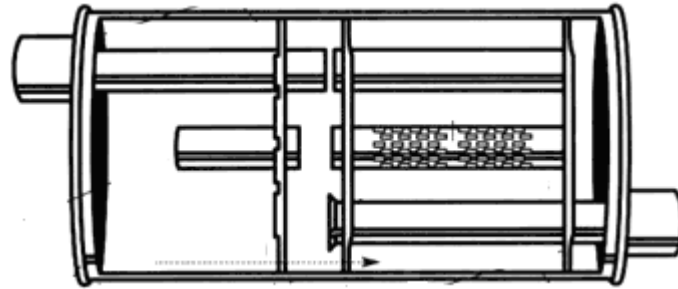
## 5.2 SUSTURUCU ÇEŞİTLERİ

Susturucular düz akımlı ve ters akımlı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 5.2’ de görüldüğü gibi düz akımlı susturucularda, iç içe geçmiş birkaç borudan ibarettir. Dış boru hariç iç borulara, birçok delik açılmış ve borular arasına sesi kesmek için cam pamuğu doldurulmuştur. Bu susturucularda susturucuya giren duman yön değiştirmeden yoluna devam ederek kuyruk borusu yardımıyla dış havaya atılır.



Şekil 5.2 Doğru akımlı susturucu (URL 1, 2007)

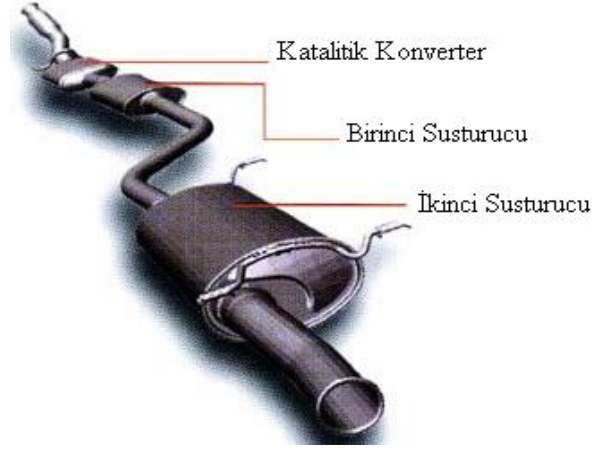
Şekil: 5.3’ de görüldüğü gibi, ters akımlı susturucularda, susturucu kutusunun içinde, birbirini takip etmeyen borular ve bölmeler vardır, bu bölmeler arasında sesi emecek cam pamuğu bulunur. Susturucuya giren duman ileri geri hareketlerle genişler, soğur, sesini ve hızını kaybettikten sonra kuyruk borusundan dışarı çıkar.



Şekil 5.3 Ters akımlı susturucu (URL 1, 2007)



Bazı araç şasilerinde, gerekli büyüklükte büyük bir susturucuyu yerleştirecek uygun bir yer bulunmazsa gerekli susturucu hacmini sağlayacak şekilde, Şekil 5.4' de görüldüğü gibi iki susturucu yapılarak araca uygun bir şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4 Çift susturuculu egzoz sistemi (URL 1, 2007)

Konunun başında bahsedildiği gibi egzoz sistemindeki geri basınç, motorda güç düşüklüğüne sebep oluyor. Geri basınç nedeniyle güç düşüklüğü motor süratiyle orantılı olarak artmaktadır. Örneğin; 110 km süratle hareket eden bir araç motorunda 1 Kg geri basınç bulunursa motorda 4 HP güç düşüklüğüne sebep olur. Aynı araç motorunda 2 Kg geri basınç olursa motorda 8 HP güç düşüklüğü görülür.

Aynı şekilde geri basınç arttıkça, motorda yakıt sarfiyatı da artar Bu nedenle, egzoz sisteminde gaz akışını engelliyen, tıkanıklıklar olursa, sistemde geri basınç artacağı için, motorda yakıt sarfiyatının artmasına ve güç düşüklüğüne sebep olur (Özdamar, İ., ve Yelken B., 1995).

### 5.3 EGZOZ SUSTURUCULARININ GEREKSİNİMLERİ

Egzoz susturucuları genellikle aşağıda belirtilen gereksinimlerin hepsi ya da bazılarını sağlamak üzere tasarlanırlar:

1- Uygun donanım kaybı: Egzoz susturucuları, motor gövdesi gürültüsü ya da başka bir dominant ses kaynağı gürültüsünden en az 5 dB daha az gürültü sağlayacak şekilde tasarlanırlar.

2- Geri basınç: Egzoz gazlarının susturucudaki dirençler sebebiyle motorda yarattığı ekstra basınçtır. Bu basınç minimum tutulmalıdır. Dört zamanlı motorlarda geri basınç, volumetrik verim ve spesifik yakıt tüketimini etkilemektedir.

3- Boyut: Büyük bir susturucu, yerleşim, ağırlığından dolayı desteklenme maliyet problemi yaratacaktır.

4- Ömür: Duvarlarındaki termal çatlamalardan korunmak için üniform duvar sıcaklığı sağlanmalıdır. Korozyona dayanıklı malzemelerden imal edilmelidir.

5- Susturucu performansı zamana bağlı olmamalıdır.

6- Susturucu yüzeyinden yayılan gürültü minimize edilmelidir.

7- Susturucu ağzından yayılan gaz akış gürültüsü minimize edilmelidir.

8- Özellikle ilk çalıştırmada ve ivmelenmede egzoz ses kalitesi ayrıca incelenmelidir (Öztürk, H., 2001).

## **BÖLÜM 6**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **6.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI**

Bu çalışmada, tek silindirli bir benzin motorunda tam yükte değişik motor devirlerinde motorun susturuculu, orjinal susturuculu ve susturucusuz olarak çalışma koşulları incelenmiş ve susturucunun motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır.

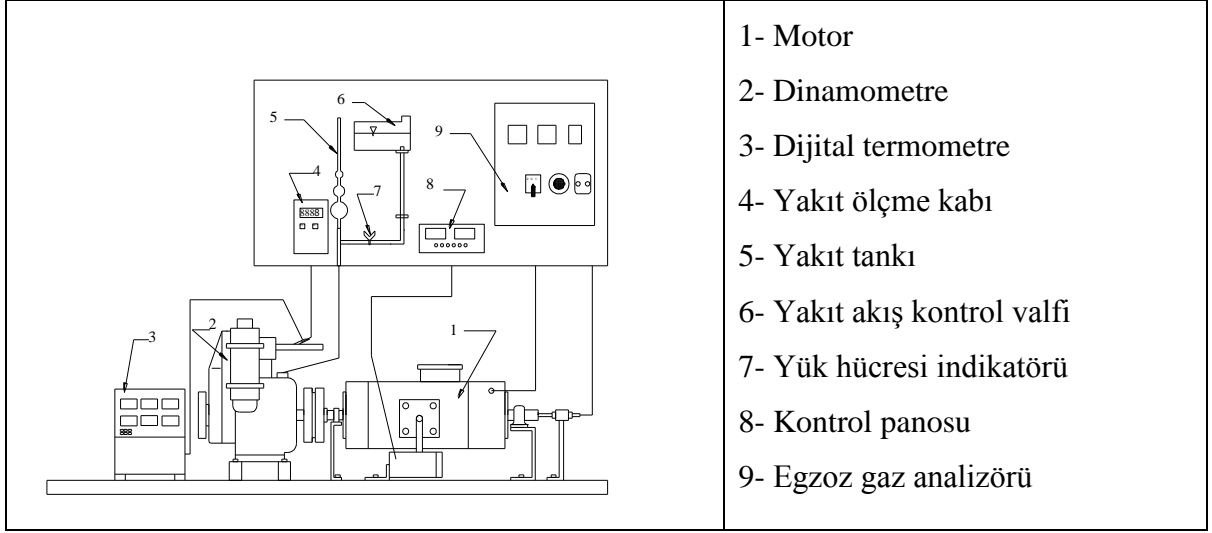
#### **6.2 DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER**

##### **6.2.1 Deney Yeri**

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünüşü Şekil 6.1' de, şematik görünüşü ise Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Deney tesisatının genel görünüşü



Şekil 6.2 Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

### 6.2.2 Deney Motoru

Deneyde kullanılan motor; Tek silindirli, buji ateşlemeli, hava soğutmalı bir motor olup .çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.3 Deney Motorunun Genel Görünüşü

Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri

<i>Motor tipi</i>	<i>Dört zamanlı, hava soğutmalı, benzinli motor</i>
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	68 mm
Strok	54 mm
Silindir hacmi	196 cm <sup>3</sup>
Maksimum motor gücü	4,78 kW (3600 rpm)
Sıkıştırma oranı	8,5:1

### 6.2.3 1 Deneyde Kullanılan Yakıt

Yapılan deneysel çalışmada teknik özellikleri Çizelge 6.1 de gösterilen yakıt kullanılmıştır.

Çizelge 6.1 Benzin Yakıtının Teknik Özellikleri

Görünüm	Temiz ve berrak
Yoğunluk 15 °C, kg/Lt	0,7510
Kaynama Noktası	195,6
Distilasyon	
70 °C de %hacimsel	37,5
100 °C de %hacimsel	58,2
150 °C de %hacimsel	90
Final kaynama derecesi (°C)	190,5
Kükürt	93
RVP (Reid buhar basıncı) (kpasal)	59,6
Oktan sayısı	95

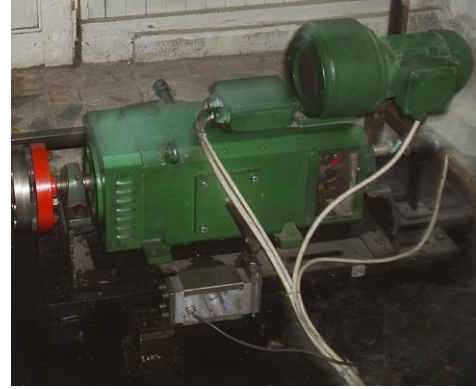
## 6.3 DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 6.3.1 Motor Deney Seti Ve Dinamometresi

Deneyleerde motorun yüklenmesi için şekil 6,4'te kumanda panosu ve şekil 6.5'te kendisi görülen Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanıldı. Deney seti motor kuvvetini, hızını ve sıcaklığını ölçecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 6.4 Elektrikli Dinamometre Panosu



Şekil 6.5 Elektrikli Dinamometre

### 6.3.2 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

%100 Benzin ile olan çalışmada, yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yöntemle göre çalışan ve 100 ml hacme sahip yakıt tüketim ölçme düzeneği kullanılmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

### 6.3.3 Gürültü Ölçüm Cihazı

Gürültü seviyesi ölçümünde kullanılan odyometrenin teknik özellikleri çizelge 6.2 de ve görüntüsü şekil 6.7' de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Odyometrenin teknik özellikleri

<b>ODYOMETRENİN TEKNİK ÖZELLİKLER:</b>	
<b>MODEL</b>	SW-U801-WIN - Ses Düzeyi Ölçer
<b>Standartlar</b>	IEC 651
<b>Ölçüm Aralığı</b>	(+30) ile (+130) dB veya (30-80, 50-100, 80-130) dB
<b>Zaman Ağırlığı</b>	F (hızlı), S (yavaş)
<b>Frekans Ağırlığı</b>	A, C
<b>Ekran</b>	LCD
<b>Parametreler</b>	Leq, SPL, SEL, MaxL, MinL
<b>Hafıza</b>	Anlık (en yüksek ve en düşük dB) kayıt imkanı vardır
<b>Pil</b>	1 adet 9V Pil
<b>Uygulama Alanları</b>	Genel Akustik Ölçümler
<b>Aksesuarlar</b>	-CD disk (Bilgisayara kurulumu olan ve saniyeye göre gürültü seviyesini grafiksel olarak gösteren program) -RS232 – Bilgisayara (COM1,COM2,COM3 veya COM,4) bağlantı için ara kablosu -Odyometre başlığının rüzgardan etkilenmemesi için sünger



Şekil 6.7 Gürültü Ölçüm Cihazı

### 6.3.4 Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin ölçülmesinde Kenko marka bir kronometre kullanıldı. Kronometre 1 salise hassasiyetinde, dijital ölçüm yapılabilmektedir.

### 6.3.5 Load Cell

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESİT marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Load cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 6.8’da verilmiştir.

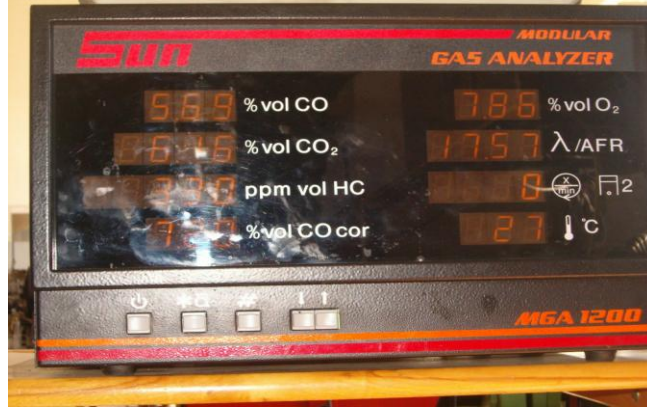


Şekil 6.8 Load cell’in ve indikatörün görünümü

### 6.3.6 Egzoz Gaz Analizörü

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, SUN MGA 1200 marka olup, NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O<sub>2</sub> parametrelerini ölçebilmektedir. Çizelge 6.3’te Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmektedir. Şekil 6.9’da egzoz gaz analizörünün şekli verilmektedir.





Şekil 6.9 Egzoz Gaz Analizörünün Görünümü

Çizelge 6.3. SUN MGA 1200 egzoz gaz analizörünün özellikleri

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% vol)	0-10,00	±0,01%
CO <sub>2</sub> (% vol)	0-20,00	±0,01%
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-20000	1 ppm
HC (ppm)	0-20000 n-hexan	±12
O <sub>2</sub> (% vol)	0-21	±0,1%
LAMDA	0,80-2,00	0,001

#### 6.4 DENEYLERİN YAPILIŞI

Deney düzeneği esas olarak elektrikli DC tip dinamometre, buji ile ateşlemeli motor, egzoz gaz analizörü, ses seviye ölçer cihazından oluşmaktadır. Deneyleerde tek silindirli, dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. DC dinamometre 4000 1/min'de 10 kW güç absorbe edebilmekte ve aynı zamanda deney motoruna ilk hareket vermek için de kullanılabilir. Dinamometre yükü yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür. Yakıt tüketimi, motorun 10 ml'lik cam tüp içindeki yakıtı tüketme süresi belirlenerek ölçülmüştür. Yakıt tüketim süresinin belirlenmesinde 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Kenko kronometre kullanılmıştır. Egzoz gaz sıcaklık ölçümleri K tipi termokupl ve dijital termometre ile yapılmıştır. HC, CO, CO<sub>2</sub>, ve O<sub>2</sub> emisyonları için Çizelge 6.3'de ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri verilen SUN MGA 1200 egzoz gaz analizörü

kullanılmıştır. Gürültü seviyesi ölçüm cihazı motor ekseninde olmak üzere egzoz borusundan bir metre uzağa konularak gürültü seviyesi ölçülmüştür. Deneyler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra tam gaz kelebek açıklığı ve değişik motor hızlarında önce susturucusuz olarak yapılmıştır. Motor hızının 1500-4000 d/d aralığında 500 d/d aralıklarla değiştirilmesi dinamometre tarafından karşı konulan direnç (yük) ile sağlanmıştır. Susturucusuz olarak çalışma tamamlandıktan sonra karşılaştırma yapmak amacı ile motor hem kendi susturucusu ile hemde benzer diğer bir susturucu ile aynı şartlarda çalıştırılarak veriler değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir.

## 6.5 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

### 6.5.1 Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki load cell'den okunmuştur. Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F \times g \times L \quad (6.1)$$

Burada;

$M_e$  : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load cell'den okunan kuvvet (kg)

L : Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)

Örnek olarak; motor devri 2000 d/d'da dinamometreden okunan kuvvet  $F=4,5$  kg olduğuna göre, 2000 d/d'daki motor momenti; (6.1)'deki eşitlikte yerine konularak  $M_e=11,25$  Nm olarak hesaplanmıştır.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e \times n}{9549} \quad (6.2)$$

$P_e$  : Efektif motor gücü (kW)

$M_e$  : Etkin Motor momenti (Nm)

n : Motor deviri (d/d)

Örnek olarak; motor gücü hesabında, motor devri 2000 d/d'da eşitlik (6.1)'e göre hesaplanan motor momenti 11,25 Nm (6.2)'deki eşitlikte yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{11,25 \times 2000}{9549} = 2,36 \text{ kW} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

### 6.5.2 Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi

Motorinle ve diğer yakıt karışımlarıyla yapılan çalışmalarda yakıt tüketimini ölçmek için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplandı.

Buna göre; “ $[\dot{V}]$ ”  $\text{dm}^3$  yakıt “ $t$ ” sn’de tüketilmiş ise,  $d$  yakıtın yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) olmak üzere bir saatte (3600 s) ne kadar yakıt tüketilir bağıntısından yola çıkılarak aşağıdaki formül oluşturulmuştur.

$$B = \left[ \frac{\dot{V} * d * 3600}{t} \right] / 1000 \text{ (kg/h)} \quad (6.3)$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır ;

$$sfc = \frac{B * 1000}{P_e} \quad (6.4)$$

sfc: Özgül yakıt tüketimi, ( $\text{g}/\text{kWh}$ )

B : Saatlik yakıt tüketimi, ( $\text{kg}/\text{h}$ )

$P_e$  : Efektif motor gücü, ( $\text{kW}$ )



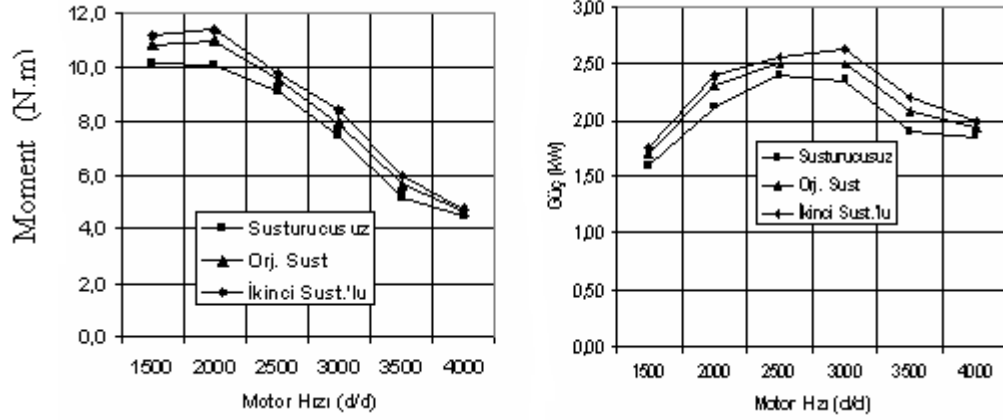
## BÖLÜM 7

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, değişik susturucu kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri tam yükte ve değişik hızlarda araştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için motor ayrıca susturucusuz olarak da çalıştırılmıştır. Deneylere ait sonuçlar bu bölümde grafikler halinde ve ek açıklamalar kısmında çizelgeler halinde (A1-A9) verilmiştir.

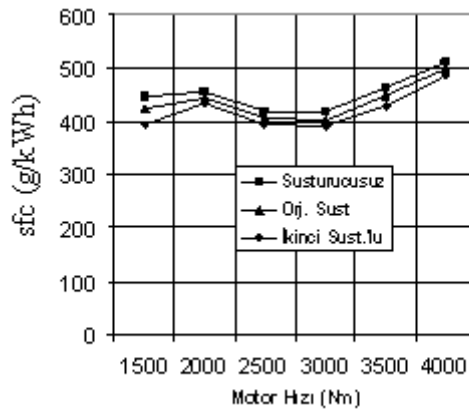
#### 7.1 SUSTURUCULARIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

Benzin ve dizel motorlarında motorun yapısal özellikleri ve çalışma koşulları motor performansına etki eden önemli parametrelerdir. Motor tasarımına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi güç ve momentini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametrelerden biri de egzoz sistemi tasarımıdır. Bu çalışma da tam yükte denenen çeşitli susturucuların motor güç ve momentine etkileri Şekil 7.1'de görülmektedir. Tüm çalışmalarda devrin artmasıyla motor momentin genel olarak düştüğü ve susturuculu çalışmalarda motor momentinin susturucusuz çalışmaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Susturucusuz durum ile orijinal susturucu arasındaki fark % 2 ile % 10 arasında değişmektedir. Ayrıca kullanılan 2. karşılaştırma susturucusu ile de orijinal susturucuya göre yaklaşık % 3 ile % 6 daha yüksek moment güç elde edilmiştir. Susturuculu durumda ve özellikle düşük hızlarda daha yüksek moment ve gücün elde edilmesinin nedeni, egzoz işlemi sırasında susturucunun egzoz gazının soğumasına, genişlemesine ve dolayısıyla silindiri daha rahat terk etmesindedir. İkinci susturucu ile orijinal susturucuya göre daha yüksek güç ve momentin elde edilmesinin sebebi ise bu susturucunun tek silindirli bir dizel motora ait olması ve dizel motor susturucusunun benzer özelliklere sahip bir benzinli motor susturucusuna göre daha çok egzoz akışına imkân verecek şekilde tasarlanmış olmasındandır (Küçükşahin., 1992).



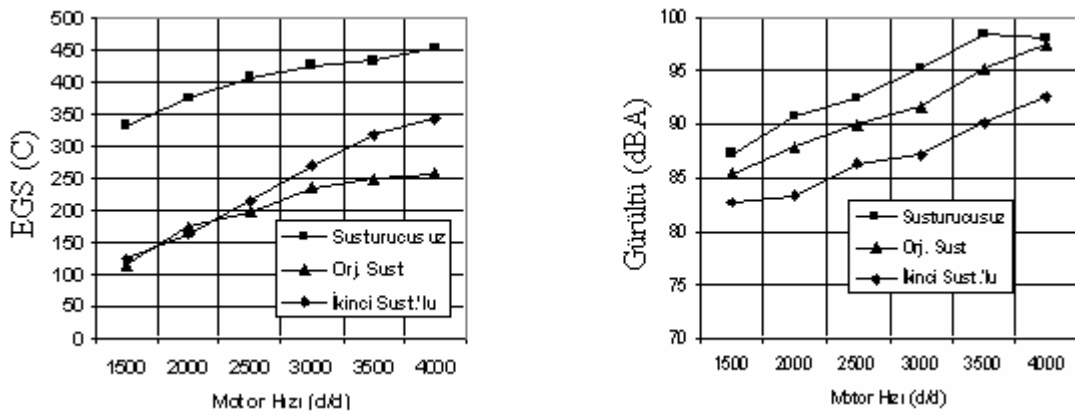
Şekil 7.1 Susturucuların moment ve efektif güce etkisi

Birim güç başına harcanan yakıt olarak tanımlanan özgül yakıt tüketimi (sfc) motor veriminin değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. Şekil 7.2'de tam yükte ve değişik motor hızlarında susturucuların özgül yakıt sarfiyatına etkisi görülmektedir. Motorun susturucusuz çalışma yerine orijinal susturucusu ile çalıştırılması ile özgül yakıt sarfiyatında % 3 ile % 6 arasında iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Susturucunun takılmaması ile silindir içindeki egzoz gazlarının genişleme zamanı sonlarına doğru egzoz subabı açılır açılmaz silindiri terk etmesi ve gazdan yeterince yararlanılamaması özgül yakıt sarfiyatını arttırmaktadır. Dizel motora ait olan ikinci susturucunun özgül yakıt sarfiyatı üzerindeki olumlu etkisinin biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de susturucunun motorun hemen çıkışına değil de egzoz sisteminde motordan yaklaşık 1m uzağa yerleştirilmesi ve yapısının da farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7.2 Susturucuların özgül yakıt sarfiyatına etkisi

İçten yanmalı motorların egzoz gaz sıcaklığı motorun benzinli ve dizel oluşuna, yapısal özelliklerine (sıkıştırma oranı, çap-strok oranı, yanma odası şekli), egzoz supabının açılma derecesine, yakıt özelliklerine, yük ve hız durumu gibi birçok parametreye bağlı olarak değişir. Şekil 7.3’ de tam yükte deney motorunun susturucusuz ve değişik susturucular ile çalışırken egzoz gaz sıcaklığının nasıl değiştiği görülmektedir (Egzoz gaz sıcaklıkları susturucu çıkışında motordan belirli ve eşit bir uzaklıkta ölçülmüştür). Tam gazda yük altında motor düşük hızda çalışırken EGS düşük iken motor hızının artmasıyla ile diğer bir ifade ile dinamometrenin gösterdiği direncin azalması ile EGS’inin yaklaşık 2500 d/d ‘ya kadar hızla arttığı ve daha sonraki hızlarda bu artış hızının azaldığı görülmektedir. Burada esas olarak susturucusuz çalışma ile susturuculu çalışma arasındaki sıcaklık farkı dikkat çekicidir. Görüldüğü gibi orijinal susturuculu ve susturucusuz çalışma arasında bütün hızlarda yaklaşık 250 °C kadar fark olduğu görülmektedir. Susturuculu çalışmada sıcaklığın düşük olması, gazın genişlemesi, daha çok yol kat etmesi, daha geniş bir yüzey ile temas etmesi ve daha çok ısı kaybetmesi nedeniyledir. Çalışma koşulları arasındaki gürültü seviye değişimi de şekil 7.3’ de görülmektedir. Şekil 7.3 ‘de görüldüğü gibi susturuculu çalışmalarda motor gürültü seviyesi susturucusuz çalışmalara göre daha düşük olmaktadır. Bu durumun nedeni motoru yüksek basınç ve sıcaklıkla terk eden gaz yüksek gürültüye neden olmaktadır. Susturucuya giren gazın basınç ve sıcaklığı azaldığı için susturuculu çalışmada gürültü seviyesi susturucusuz çalışmaya göre daha düşük olmaktadır (Mohiuddin et al., 2005).



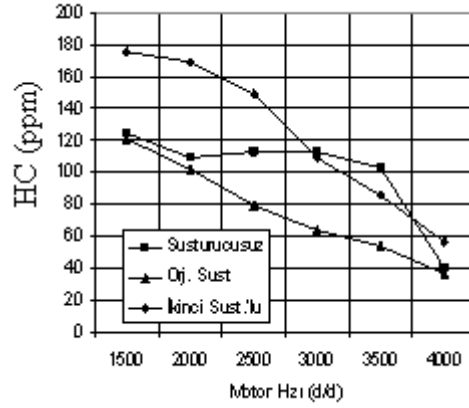
Şekil 7.3 Susturucuların Egzoz Gaz Sıcaklığına (EGS) ve Motor Gürültüsüne Etkisi

## 7.2 SUSTURUCULARIN MOTOR EMİSYONLARINA ETKİSİ

Buji ile ateşmeli motorlarda HC yayılımı, çok zengin ve çok fakir karışımlarda artmaktadır ve yaklaşık olarak 1/18 yakıt fazlalık katsayısı civarında minimumdur. Çok fakir karışımlarda HC yayımının artmasının sebebi, eksik yanma veya cidara yakın bölgelerde alevin sönmesidir. Buji tarafından ateşlenen ilk moleküllerin yaydığı ısı, eğer civar moleküllere doğru kaybolan ısıyı karşılamaya yetmezse, alev cephesi teşekkül edemez. Bunun sonucu motor tekler ve yanma oluşmaz. Normal karışım oranlarında, HC yayımının nedeni alevin sönmesidir. Yanma odasının cidarına yakın bölgede, cidara geçen ısı dolayısıyla, karışım daima daha soğuktur. Genişleme ilerledikçe, sıcaklık daha da düşer. Sıcaklığın düşmesi alev hızını da yavaşlatır. Bu, artgazın daha fazla soğumasına yol açar; ve alevin cidar civarında sönmesine sebep olur. Tam gaz koşullarında, cidara takriben 0,01 mm yaklaştığında alev sönmektedir. Bu mesafe, fakir karışımlarda 0,05-0,06 mm dir. HC yayımının sebeplerinden biri de, piston segmanları ile piston ve silindir arasındaki boşluklardır. Bu boşluklar, alev cephesinin giremeyeceği kadardır. Ayrıca silindir gömleği sıcaklığı ve pürüzlülüğü HC yayımına etkir. Yüzey pürüzlülüğün artması, yüzeyde biriken çökeltiler de HC yayımına etkimektedir. HC yayımının zaman içinde oluşumu üzerindeki incelemeler, alevin boşluklardaki sönmesinin rolünü açıkça göstermektedir (Öz vd., 2003, Heywood, 1988).

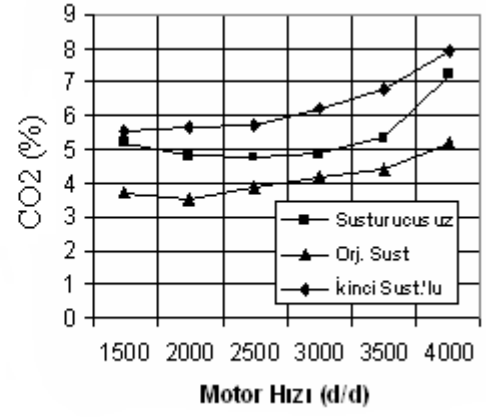
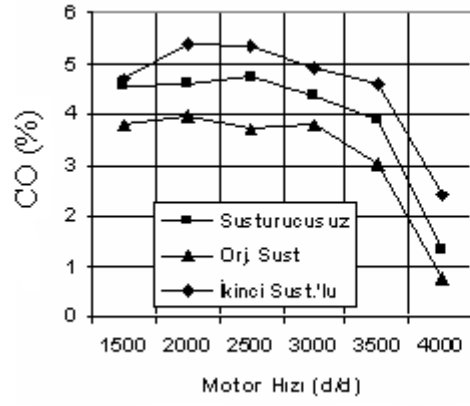
HC emisyonuna değişimini gösteren Şekil 7.4 İncelendiğinde Susturuculu ve susturucusuz çalışmada tam yükte devir düştükçe HC emisyonunun genel olarak arttığı görülmektedir ki bu literatürlerle de uyum göstermektedir (Wei, 2007). Burada ayrıca hem ikinci susturucu hem de susturucusuz çalışmada HC emisyonunun orijinal susturuculu çalışmadakinden yüksek olduğu görülmektedir. Buna, susturucusuz durumda egzoz geri basınç etkisinin az olması ve egzoz subabı açılır açılmaz yanma devam ederken egzoz gazlarının daha hızlı deşarj olması sebep olmaktadır. Yani susturuculu çalışmaya göre eksik yanma ölçüldüğünden HC oranı daha yüksek çıkmaktadır. İkinci susturuculu çalışmada da HC'nin yüksek olmasının sebebi, bu susturucunun deney motoruna benzer bir dizel motora ait olması ve orijinal susturucuya göre daha az direnç göstermesi ve susturucusuz duruma benzer bir etki göstermesindedir.





Şekil 7.4 Susturucuların HC emisyonlarına etkisi

Buji ateşlemeli motorlarda karbon monoksit oluşumu, birinci derecede karışımın yakıt fazlalık katsayısından etkilenir. CO yayımı yakıt fazlalık katsayısı arttıkça sürekli olarak artar. Fakir karışımlarda ise, motor teklemekten çalışabildiği sürece, yakıt fazlalık katsayısının önemli bir etkisi yoktur. Şekil 7.5’de CO ve CO<sub>2</sub> emisyonu görülmektedir. Üç çalışma durumunda motor devri arttıkça CO emisyonunun azaldığı CO<sub>2</sub> emisyonunun ise arttığı görülmektedir. Bu durum devir arttıkça yanma veriminin arttığını göstermektedir. Ayrıca CO azalırken CO<sub>2</sub>’nin artması yanma reaksiyonuna da uymaktadır. Şekil 7.5 incelendiğinde; hem ikinci susturucu hem de susturucusuz çalışmada CO emisyonunun orijinal susturuculu çalışmadakinden yüksek olduğu görülmektedir. HC emisyonu konusunda belirtildiği gibi daha az geri basıncın olduğu durumda yanmanın daha az tamamlanarak silindiri terk etmesi nedeniyle CO emisyonu daha yüksek çıkmaktadır denilebilir (susturucunun hemen motor çıkışına konulmuş olması ve manifold etkisi yaratmasının daha az geri basınca sebep olduğu düşünülmektedir). Dolayısı ile egzoz sistemine takılan susturucunun CO<sub>2</sub> emisyonunu arttırdığı ancak CO emisyonu açısından olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7.5 Susturucuların CO ve CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 8.1 SONUÇLAR

Tek silindirli, dört zamanlı buji ateşlemeli ve hava soğutmalı motor ile tam yükte susturucusuz ve değişik susturucularla yapılan deneysel çalışmada motor performans ve emisyonları ile ilgili verilerin değerlendirilmesi sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Susturuculu çalışmalarda motor güç ve momentinin susturucusuz çalışmaya göre yaklaşık % 2 ile % 10 oranında daha yüksek olduğu tesbit edilmiştir. Susturucusuz çalışmada güç ve momentin düşük olmasının nedeni, genişleme zamanı sonlarına doğru egzoz subabının açılmasıyla gazların silindiri daha rahat terk etmesindedir.

Egzoz sisteminin susturucusuz veya daha az direnç gösteren bir susturucu ile çalışması halinde yanmakta olan egzoz gazlarının silindiri daha erken etmesi nedeni ile HC emisyonu yükselmektedir.

Motorun susturucusuz çalışması ile orijinal susturucu ile çalışmaya göre özgül yakıt sarfiyatında % 3 ile % 6 arasında artış tespit edilmiştir.

Motora ait orijinal susturuculu ve susturucusuz çalışma arasında bütün hızlarda egzoz gaz sıcaklığında yaklaşık 250 °C kadar fark olduğu görülmüştür

Motorun gürültü seviyesi susturuculu durumda, çalışma koşuluna göre 87 dBA ile 98 dBA arasında ve kendi susturucusu ile de 86 dBA ile 97 dBA arasında değiştiği ve susturucunun %2 ile %4 oranında gürültü seviyesini azalttığı kaydedilmiştir.

Susturucusuz çalışmadan sonra egzoz sistemine orijinal susturucu takıldığında CO<sub>2</sub> emisyonunu artırmakta, CO emisyonu ise azaltmaktadır. Bunun sebebi orijinal

susturucunun susturucusuz duruma göre daha çok direnç göstermesi ve yanma ürünlerinin silindir içinde daha çok kalarak yanmanın daha çok tamamlanmasındandır.

Bir dizel motora ait ikinci susturucu takıldığında ise tam tersine CO emisyonu artmakta CO<sub>2</sub> emisyonu ise azalmaktadır. Bunu sebebi de ikinci susturucunun yapısı gereği hem susturucusuz duruma hem de orijinal susturucuya göre egzoz gazının daha kolay boşalmasını sağlamasıdır.

Sonuç olarak; Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile; tek silindirli motorlarda kullanılan susturucunun hemen motor çıkışına takılmasının oluşturduğu direnç olumlu etki yaparak, güç ve momentte % 3 ile %6 arasında artış sağladığı HC ve CO emisyonunda da iyileşme olduğu görülmüştür.

## **8.2 ÖNERİLER**

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre aşağıda belirtilen önerileri yapmak mümkündür. Elde edilen sonuçların daha da geliştirilebilmesi için bu tür araştırmaların çok silindirli ve çok susturuculu motorlar üzerinde de yapılabilir.

Susturucunun motora mesafesinin etkisi araştırılabilir.

Bu çalışmada, susturuculu çalışmanın motor performans ve emisyonuna olumlu etkisi görüldü. Dolayısı ile egzoz enerjisi geri kazanımı üzerine çalışan araştırmacıların enerji geri kazanım sistemlerini tasarımında bunu dikkate alarak tasarımlarını yapmalarının yararlı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

**Akbaş A** (2005) *Susturucuların Akustik Performansının İncelenmesi*, Bilim Uzmanlığı Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

**A.K.M Mohiuddin, Mohd R, and Mohd S** (2005) *Experimental Study of Noise and Back Pressure for Silencer Design Characteristics*, Department of Mecanichal Engineering, Faculty of Engineering, International Islamic University, Malaysia

**Alexandre A** (1975) *Road Traffic Noise*, New York-Wiley, A.B.D.

**Alkan Z** (1993) *Motorlarda Egzoz Gürültüsünün Kontrolü*, Bilim Uzmanlığı Tezi, S.D.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deneysel Çalışma, Isparta

**Allam S** (2004) *Acoustic Modelling and Testing of Advanced Exhaust System Components For Automotive Engines*, Doctoral Thesis, The Royal Institute of Technology, Stockholm

**Bayhan M** (1990) *Motorlu Taşıtlarda Egzoz Sisteminin Dizaynı*, 4. Ulusal Makina Teorisi Sempozyum Bildiri Kitabı, s. 593-601, Yalova, 22-24 Eylül 1990

**Brindeu L, Toader M and Bacrica V** (2006) *Polytechnica University of Timişiora*, Department Mechanics and Vibriations Timişiora Romania

**Çınlar E** (2002) *Taşıtlarda Gürültü ve Gürültünün Kontrolü, Taşıt gürültüsünün İnsan Üzerindeki Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, İstanbul

**Grover EC and Priede T** (1983) *Current Research Leading To Low Noise Engine Development*, 11. ICA Kongresi, İngiltere

**Güney A** (1995) *Taşıtlarda Gürültü Kontrolü, Uygulamada ki Gürültü Standartları ve Ölçüm Yöntemleri*, 1. Uluslar arası Otomotiv Sanayi ve Çevre Konferansı, İstanbul, 26-27 Mayıs.

**Güney A** (1999) *Araç Geçiş ve Kabin Gürültüsü, Akustik ve Titreşim Ölçümlerine Giriş Semineri*, İstanbul.

**Güney A** (1994) *Taşıt Gürültüsü Ölçümü ve Yönetmelikleri*, I. Ulusal Mekanik Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 151 – 160

**Hassa J R, Zaveri K** (1998) *Acoustic Noise Measuremets*, Brüel&Kjeaar, Denmark

**Heywood JB** (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 601-619.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**İ H Öz, O Borat, A Sürmen** (2003) *İçten Yanmalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, İstanbul 260-261.

**Kazuhide O** (1994) *Prediction of Engine Noise*, Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review Vol. 31 No.1.

**Küçükşahin F** (1992) *Dizel Motorları*, Birsen Yayınevi, sa: 324.

**Lalor N** (1998) *Fundamentals Of Acoustics, Short Course On Vehicle Noise*, İstanbul

**Nelson P M** (1987) *Transportation Noise Reference Book*, University Press, Cambridge

**Öge A ve Ögüt T** (1998) *Bir Otomobil Egzost Sisteminin İç Performans Analizi, IV.* Ulusal Akustik Kongresi, Antalya / Kaş, 29 – 31 Ekim 1998.

**Özdamar İ ve Yelken B** (1995) *Benzinli Motorlar*, İstanbul Şişli sa (313-316)

**Öztürk H.** (2001) *Traktörlerde Egzoz Gürültüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, İstanbul

**Selamet A, Norman K, Novak J** (1999) Ohio Universty March 2, Ohio

**Soruşbay C, Arslan E, Ergeneman M ve Safgönül B** (1995) *İçten Yanmalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, İstanbul

**Thien GE**(1982) *The Use Of Enclosures for Reducting Engine Noise*, New York.

**TS 9235/ Nisan 1991** Akustik- Sabit Durumda Çalışan Karayolu Taşıtlarının Çıkardığı Gürültünün Ölçülmesi

**URL 1, 2007**, <http://modifiyem.com>, 15 Şubat 2007

**Venkanna BK, Wadawadagi Swati B** (1999) *Journal of Vibration and Acoustics*, Jul, 1999, page 351-354

**Wei Li, Ying W, Longbao Z, Ling S** (2007) *Study On İmprovement of Fuel Economy and Reduction İn Emissions for Stoichiometric Gasoline Engines*, Applied Thermal Engineering 27 2919–2923

## **ÖZGEÇMİŞ**

Hakan Suvak 1978'de Van'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Van Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1997 yılında Fırat Üniversitesi TEF Otomotiv Öğretmenliği Bölümü'ne girdi; 2001'de "iyi" derece ile mezun oldu. Askerlik hizmetini 2003 yılında kısa dönem olarak tamamladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir. 2004–2005 yılları arasında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde part time öğretim görevlisi olarak çeşitli dersler verdi. Halen 2004 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

## **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Osmangazi mah. Biçkin sok. 41/15  
Keçiören/ Ankara

Tel: (0505) 8677890

E-posta: hakansuvak@mynet.com





## EK AÇIKLAMALAR A

### DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER

Çizelge A.1 Susturucusuz birinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm3/h)
1500	40	10	1,6	36,38	0,669	426	328	85,6	149	4,7	6,7	7,7	5,5
2000	55	14	2,9	26,03	0,935	325	370	89,8	130	4,1	6,3	8,7	8,2
2500	39	10	2,6	24,16	1,007	395	405	91,5	152	5,2	5,7	8,5	8,9
3000	33	8	2,6	23,69	1,027	396	416	94,6	159	5,7	4,0	10,3	11,1
3500	26	6	2,3	22	1,106	473	379	97,7	192	6,1	4,7	9,1	10,3
4000	21	5	2,1	24,81	0,981	457	460	90,3	79	1,4	7,4	9,2	12,4

Çizelge A.2 Susturucusuz ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm3/h)
1500	41	10	1,61	37,03	0,657	408	334	88,7	137	4,8	3,8	11,1	6,1
2000	23	6	1,20	26,13	0,931	773	380	92,5	101	3,8	3,3	12,8	8,2
2500	34	9	2,23	24,53	0,992	446	409	91,5	88	3,8	4,7	10,9	9,3
3000	32	8	2,51	22,78	1,068	425	433	95,5	74	3,7	4,7	10,9	10,5
3500	24	6	2,20	22,41	1,086	494	428	99,1	67	3,2	5,1	10,7	10,6
4000	21	5	2,20	24,5	0,993	452	444	98,4	76	1,3	6,9	9,9	11,7

Çizelge A.3 Susturucusuz ortalama deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	41	10	1,59	36,71	0,663	417	331	87,2	125	4,8	5,2	9,4	5,80
2000	39	10	2,04	26,08	0,933	549	375	91,2	109	3,9	4,8	10,7	8,20
2500	37	9	2,39	24,35	1,000	420	407	91,5	113	4,5	5,2	9,7	9,10
3000	33	8	2,55	23,24	1,048	411	425	95,1	113	4,7	4,3	10,6	10,80
3500	25	6	2,27	22,21	1,096	484	404	98,4	134	4,7	4,9	9,9	10,45
4000	21	5	2,17	24,66	0,987	454	452	94,4	40	1,3	7,2	9,5	12,05

Çizelge A.4 Orijinal susturuculu birinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	45	11	1,8	39	0,626	355	119	87,1	133	3,9	3,8	12,4	5,7
2000	45	11	2,4	27	0,917	389	201	89,6	100	4,9	3,3	12,2	7,8
2500	38	10	2,5	24	1,003	403	214	91,4	80	3,5	4,1	11,8	9,7
3000	31	8	2,4	23	1,056	434	244	91,6	65	3,7	4,4	11,2	10
3500	22	6	2,0	22	1,124	558	268	97	55	3,5	5,2	10,2	9,7
4000	19	5	2,0	24	1,002	504	260	97,7	40	2,2	5,5	10,7	10,8

Çizelge A.5 Orijinal susturuculu ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	42	11	1,6	38	0,648	393	110	85	109	3,8	3,6	12,4	5,8
2000	45	11	2,4	26	0,937	398	147	87,5	104	4,8	3,1	12,3	8
2500	38	10	2,5	24	1,023	411	180	90,7	78	3,6	3,8	12,3	10,2
3000	31	8	2,4	23	1,072	440	226	91,5	63	3,9	4,0	11,6	10,5
3500	21	5	1,9	24	1,023	532	231	96,2	52	3,3	4,8	11,2	10,5
4000	18	5	1,9	23	1,045	554	255	97	31	2,3	4,9	11,8	11,6

Çizelge A.6 Orijinal susturuculu ortalama deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	44	11	1,71	38,2	0,637	374	115	86,1	121	3,8	3,7	12,4	5,75
2000	45	11	2,36	26,3	0,927	393	174	88,6	102	4,8	3,2	12,3	7,90
2500	38	10	2,49	24,0	1,013	407	197	91,1	79	3,5	3,9	12,1	9,95
3000	31	8	2,43	22,9	1,064	437	235	91,6	64	3,8	4,2	11,4	10,25
3500	22	5	1,97	22,7	1,074	545	250	96,6	54	3,4	5,0	10,7	10,10
4000	19	5	1,94	23,8	1,024	529	258	97,4	36	2,2	5,2	11,3	11,20

Çizelge A.7 İkinci susturuculu birinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	43	11	1,7	38,3	0,635	376	132	80,2	123	3,3	3,4	12,8	6
2000	31	8	1,6	26,4	0,923	568	165	80,5	111	4,3	3,1	12,3	8,4
2500	39	10	2,6	24,2	1,006	394	205	82,4	111	3,2	4,1	12,2	9,3
3000	34	9	2,7	23,9	1,018	381	254	80,5	76	2,9	4,3	12,1	10,2
3500	24	6	2,2	22,8	1,065	484	310	85,2	65	3,1	4,7	11,4	10,5
4000	20	5	2,1	24,5	0,992	474	340	86,7	45	1,4	5,5	11,6	10,8

Çizelge A.8 İkinci susturuculu ikinci tekrar deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	44	11	1,7	37,2	0,654	379	116	85,2	228	6,1	6,0	7,1	5,5
2000	60	15	3,1	25,9	0,941	299	163	80	228	8,0	5,4	6,3	7,1
2500	39	10	2,6	24,3	1,001	392	223	90,3	187	6,8	7,3	4,8	8,7
3000	33	8	2,6	23,3	1,045	403	286	92,2	142	6,4	8,1	4,1	9,1
3500	24	6	2,2	22,9	1,061	482	324	95,2	106	6,1	8,8	3,3	9,5
4000	18	5	1,9	25,1	0,971	515	346	98,4	68	3,4	10,3	3,8	10

Çizelge A.9 İkinci susturuculu ortalama deney ölçüm sonuçları

Hız	F	Moment (Nm)	Güç (kW)	t (s)	B (g/h)	Sfc (g/kWh)	EGS (°C)	Gürültü (dBA)	HC (ppm)	CO (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)
1500	44	11	1,7	37,8	0,645	377	124	82,7	175,5	4,7	4,7	10,0	5,75
2000	46	11	2,4	26,1	0,932	434	164	80,25	169,5	6,2	4,3	9,3	7,75
2500	39	10	2,6	24,3	1,003	393	214	86,35	149	5,0	5,7	8,5	9
3000	34	8	2,6	23,6	1,031	392	270	86,35	109	4,6	6,2	8,1	9,65
3500	24	6	2,2	22,9	1,063	483	317	90,2	85,5	4,6	6,8	7,4	10
4000	19	5	2,0	24,8	0,981	494	343	92,55	56,5	2,4	7,9	7,7	10,4