



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ SEBEPLERİNİN**  
**TESPİTİ VE GİDERİLMESİ**

**HALİL İBRAHİM SOYDAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANTAKYA**  
**ŞUBAT-2007**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
1. GİRİŞ .....	12
1.1. Taşıt Titreşimleri.....	12
1.2. Genel Bilgiler ve Tanımlar .....	14
1.2.1. Ses .....	14
1.2.2. Gürültü .....	14
1.2.3. Ses Basıncı .....	14
1.2.4. Yayılma Hızı.....	14
1.2.5. Dalga Boyu .....	14
1.2.6. Desibel .....	15
1.2.7. Ses Basıncı Düzeyi .....	15
1.2.8. Ses Gücü ve Ses Gücü Düzeyi.....	15
1.2.9. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi .....	16
1.2.10. Desibellerle İşlem .....	16
1.2.11. Ses Frekansları .....	18
1.3. Sesin Algılanması ve Değerleri .....	18
1.3.1. Ses Yüksekliği .....	18
1.3.2. Gürültü Düzeyi (Ses Düzeyi).....	19
1.3.3. Eşdeğer Sürekli Ses Düzeyi .....	20
1.3.4. Ses Etkilenim Düzeyi.....	20
1.3.5. NR Değeri .....	20
1.4. Titreşim Parametreleri .....	21
1.4.1. Periyot (T).....	21
1.4.2. Frekans (f).....	22
1.4.3. Açısal frekans ( $\omega$ ) .....	22
1.4.4. Rezonans .....	22
1.4.5. Faz ( $\Phi$ ) .....	23
1.4.6. Genlik (X) .....	24
1.5. Basitleştirilmiş Bir Taşıt Modelinin Titreşimi.....	25
1.6. Taşıt Titreşimleri ve Kontrolü .....	27
1.6.1. Titreşime Neden Olan Etkiler .....	27
1.6.2. Taşıt Titreşimlerini Etkileyen Faktörler.....	27
1.6.3. Taşıt Titreşimlerinin Değerlendirilmesi.....	28
1.7. Taşıt Gürültüsünün Kaynakları.....	30
1.7.1. Önemli Gürültü Kaynakları ve Sesin Yayılımı.....	32
1.7.2. Motor Gürültüsü ve Sebepleri.....	33
1.7.2.1. Genel bakış.....	33

	<b>Sayfa</b>
1.7.2.2. Yanma Esnasında Gürültü .....	35
1.7.2.3. Vites Kutusu Gürültüleri.....	36
1.7.2.4. Soğutma Sisteminin Gürültüsü (Fan gürültüsü) .....	37
1.7.2.5. Egsoz Gürültüleri .....	37
1.7.2.6. Tekerlek-Yol Gürültüleri .....	39
1.7.2.6.1. Tekerlek Salınımları.....	41
1.7.2.6.2. Tekerlek Temas Yüzeyinde Hava Hareketleri .....	42
1.7.2.6.3. Kayma Olayları .....	42
1.7.2.7. Rüzgar Gürültüsü .....	43
1.7.2.8. İnsan Kaynaklı Gürültüler.....	45
1.7.2.9. Hava Filtresi Gürültüsü.....	45
1.8. Taşıtta Sese Karşı Korunma.....	45
1.8.1. Taşıtta Gürültüye Karşı Korunum .....	45
1.8.2. Motor Yatağında Sesin Azaltılması .....	47
1.8.3. Egsoz Sistemindeki Sesin Azaltılması.....	49
1.8.4. Emme Sisteminde Sesin Azaltılması .....	50
1.9. Ölçme Aletleri ve Ölçme Sistemleri .....	51
1.9.1. Mikrofon .....	51
1.9.2. Hız Kaydediciler .....	53
1.9.3. Gürültü Ölçüm Cihazları.....	53
1.9.3.1. Ses Seviyesi Ölçer.....	53
1.9.3.2. DSP Serisi Avuç İçi Ses Seviye Ölçerler(DSP 80,81,82 ve 83).....	54
1.9.3.3. Soundbook .....	54
1.9.3.4. DSS Çok Kanallı Dijital Algılama Sistemi.....	55
1.9.3.5. LMS Pimento .....	55
1.9.3.6. ViRTe3000+ .....	55
1.9.3.7. Diagnostic Instruments .....	55
1.9.3.8. PC-PACK II - OR24 ve OR25.....	55
1.9.3.9. OR38.....	56
1.9.4. İç Gürültü Analizatörü .....	56
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	59
3.1. Materyal .....	59
3.1.1. Sabit Durumda Taşıt Dış Gürültüsü.....	59
3.1.1.1. Deney Yeri .....	59
3.1.2. Hareket Halindeki Taşıtın Dış Gürültüsü .....	60
3.1.2.1. Deney yeri .....	60
3.1.2.2. Hareket Halindeki Ölçümlerde Çevre Koşulları .....	60
3.1.3. Taşıt İç (kabin) Gürültüsü.....	61
3.1.3.1. Mikrofon Pozisyonu ve Yerleştirilmesi .....	61
3.1.4. Kabin Gürültüsü Tespitinde Kullanılacak Ölçüm Cihazının Özellikleri.....	62
3.2. Yöntem.....	62
3.2.1. Sabit Durumda Taşıt Dış Gürültüsü Deney İşlemi .....	62
3.2.1.1. Egsoz Gürültüsü Ölçümü .....	62

	<b>Sayfa</b>
3.2.1.2. Motor Gürültüsü Ölçümü.....	63
3.2.2. Hareket Halindeki Taşıtın Dış Gürültüsü Deney İşlemi.....	63
3.2.2.1. Deney İşlemi Zorlukları.....	64
3.2.2.2. Sabit Hızlarda Ölçüm Metodu.....	64
3.2.2.3. Tam Gaz İvmelenmede Ölçüm Metodu.....	65
3.2.3. Uygulamalardaki Ölçüm Metodu.....	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	66
4.1. Gürültü ile İlgili Mevzuat.....	66
4.2. Uygulamalardaki İç Ölçüm Sonuçları.....	68
4.2.1. Ford Focus'un İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	68
4.2.2. Ford Connect'in İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	70
4.2.3. Fiat Idea'nın İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	71
4.2.4. Fiat Albea'nın İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	73
4.2.5. Renault-Toros'un İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	74
4.3. ISO-7188.....	76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
5.1. Taşıt Dış Gürültüsüne Bakış ve Analiz.....	77
5.2. Kabin Gürültüsüne Bakış ve Analiz.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	80

**ÖZET****TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ SEBEPLERİNİN  
TESPİTİ VE GİDERİLMESİ**

Gürültü istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanır. Bir gürültü ne kadar anlamsız, ne kadar şiddetli, ne kadar düzensiz ve ne kadar ani olursa o kadar rahatsız edicidir. Gürültünün insanlar üzerinde fizyolojik etkilerinin olduğu birçok bilimsel çalışma ile ispat edilmiştir. Bu etkilerin başlıcaları stres, kan basıncında artış, kalp atışlarının ve kan dolaşımının değişmesi ve uykusuzluk olarak tespit edilmiştir. Stres ve uykusuzluk, gürültünün uzun süreli fizyolojik etkilerindedir.

Bu çalışmada içten yanmalı motorların oluşturduğu gürültü incelenmiştir. Motorlu bir taşıt da mekanik sistemleri, yanma, egzoz sistemi, havalandırma sistemi ve tekerlek kaynaklı olarak gürültü üretir. Genel olarak motorların mekanik sistemleri taşıt gürültüsünde en büyük paya sahiptir. Mekanik sistemlerin oluşturduğu gürültünün en büyük kaynağı ise titreşimdir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kaputu açık olan arabanın gürültü seviyesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Motor kaputunda yalıtım malzemesi kullanılması durumunda gürültünün azaldığı anlaşılmıştır. Ayrıca marş dinamosu ve kayış gibi gürültünün etkin kaynağı olan parçalarının motor kaputunun sağ tarafında olması nedeniyle taşıtın sağ tarafından daha yüksek gürültü seviyesi ölçülmüştür.

2007, 69 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Gürültü, titreşim, taşıt titreşimi.

**ABSTRACT****DETERMINING AND PREVENTING  
THE CAUSE OF THE NOISE ON THE VEHICLES**

Noise is defined as unwanted and disturbing voice. The noise is disturbing as how much it is meaningless, hard, untidy and unexpected. By many scientific study it is determined that noise has physiological effects on humans. These main effects are stress, increase of blood pressure, difference at heart pulses and blood circulation and insomnia. Stress and insomnia are long time physiological effects.

In this study noise generated by internal combustion engines is studied. A motor vehicle produces noise cause of it's mechanical system, combustion, exhaust system, ventilation system and wheels. Generally mechanical systems of the engine are the main reason of the vehicle noise. Vibration is the main reason of the noise caused by the mechanical systems.

As observed from the experiments, it is determined that the noise level of the car, which it's bonnet is opened, is higher. It is determined that the noise level is decreased in case insulating material is used on the bonnet of the car. Besides, higher noise level is measured at the right side of the car since the starter and the belt, which is the effective parts of the engine noise, are on the right side of the car.

2007, 69 pages

**Key Words:** Noise, vibration, vehicle vibration.

## ÖNSÖZ

Trafik gürültüsü; motor gücüne, hızına, seyreden taşıtların cinsine, yol eğim derecelerine ve kaplama özelliğine bağlı olarak değişmektedir. Trafikte araçların kullanımıyla oluşan gürültü; genellikle araçların motorlarından, egsozdan ve süspansiyondan kaynaklanan gürültüdür. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan nüfusa bağlı olarak taşıt trafiğinde meydana gelen yoğunluklar, her ne kadar sosyal açıdan bireysel olarak bir gelişme sağlasa da; toplumsal ve ekolojik olarak çevreye etkileri küçümsenmeyecek kadar fazladır. Karayolu, insan – çevre ilişkilerinde en önemli mühendislik yapılarından ve yerleşim alanlarını birbirine bağlayarak sosyal, ekonomik ve kültürel yaşamda etkili rol oynamaktadır.

Trafiğin sebep olacağı çevre etkilerinin başında gürültü ve hava kirliliği gelmektedir. Trafiğin olumsuz çevre etkilerinden bir diğeri de çevre kirliliğinin en önemli parametrelerinden biri olan, canlıların içinde yaşadığı ortamı oluşturan hava kirliliğidir. Benzinli ve dizel motorların egsoz gazları hava kirliliğine neden olan kaynakların başında gelmektedir. Ayrıca yoğun trafikten kaynaklanan ve kişiler üzerinde psikolojik ve fizyolojik olarak olumsuz etki yaratacak olan diğeri bir faktör de görsel kirliliktir. Trafik gürültüsü, insan yaşamıyla iç içe olması sebebiyle hem çevre açısından hem de insanların sağlığı açısından önemli etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada; teorik olarak taşıtlardaki gürültünün sebepleri irdelenmiş ve pratik olarak çeşitli araç tipleri üzerinde gürültü ölçümleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkılarıyla ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU'na (Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi) ve hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Menderes KALKAT'a (Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi) en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

W	Açısal Frekans
dB	Desibel
T	Peryot
Leq	Eşdeğer Sürekli Ses
$\Phi$	Faz
F	Frekans
X	Genlik
NR	Gürültü Sınıflandırma Değeri
dBA	Ses Düzeyi
SEL	Ses Etkilenim Düzeyi
X <sub>0</sub>	Tepe Değer



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Gürültü seviyeleri .....	31
Çizelge 4.1. Sabit durumda taşıt dış gürültüsü .....	67
Çizelge 4.2. Hareketli taşıtların azami gürültü seviyeleri.....	67
Çizelge 4.3. Ford Focus' un iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları.....	68
Çizelge 4.4. Ford Connect' in iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları .....	70
Çizelge 4.5. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge 4.6. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları .....	73
Çizelge 4.7. Renault –Toros' un iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Desibel toplama eğrisi .....	17
Şekil 1.2. Desibel çıkartma eğrisi .....	17
Şekil 1.3. Harmonik titreşim .....	21
Şekil 1.4. Çalışma hızı güvenlik bölgesi dışındaki rezonans frekanslarını gösteren grafik .....	23
Şekil 1.5. Taşıtın çeşitli titreşim doğrultuları .....	25
Şekil 1.6. Taşıt gövdesinin titreşim hareketleri .....	26
Şekil 1.7. Titreşim ivmesinin insana etkisi .....	29
Şekil 1.8. Taşıt rezonans bölgeleri .....	30
Şekil 1.9. Taşıtta ses köprüleri .....	32
Şekil 1.10. Hava sesinin primer halden sekonder hale dönüşümü .....	33
Şekil 1.11. Otto motorda krank dercesine bağlı yanma basıncı .....	35
Şekil 1.12. Diesel motorda krank derecesine bağlı yanma basıncı .....	36
Şekil 1.13. Egsoz sistemi .....	37
Şekil 1.14. Egsoz çıkışında ses seviyeleri .....	39
Şekil 1.15. Titreşimlere maruz tekerlek kısımları .....	42
Şekil 1.16. Tekerlekte hava hareketleri .....	42
Şekil 1.17. Tekerlek profil elemanlarının kayma olayı .....	43
Şekil 1.18. Rüzgarın oluşturduğu gürültüler .....	44
Şekil 1.19. Rüzgar hızına bağlı kabin gürültüsü .....	44
Şekil 1.20. Malzemelerin ses yutma kabiliyetleri .....	46
Şekil 1.21. Ayırıcı duvarda ses yutma derecesi (farklı iki malzemenin ses seviyeleri) .....	47
Şekil 1.22. Basitleştirilmiş bir motor yatağı dizaynı .....	47
Şekil 1.23. Taşıt tabanında titreşim değerleri .....	48
Şekil 1.24. Egsoz sistemlerinde değişik imalat şekilleri .....	49
Şekil 1.25. Hava filtresi prensip şeması .....	50
Şekil 1.26. Hava filtresinin emme sistemi çıkış ağzında gürültüye etkisi .....	51
Şekil 1.27. Bir mikrofon yapısı .....	51
Şekil 1.28. Mikrofonun yapısı .....	52
Şekil 1.29. Bir mikrofonun sesi algılaması .....	52
Şekil 1.30. Hız kaydedicilerin yapısı .....	53
Şekil 3.1. İç gürültü deneyleri için mikrofonun yerleştirilmesi .....	61
Şekil 3.2. Ölçmeler için mikrofon yapısı .....	64
Şekil 4.1. Ford Focus' un iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi .....	69
Şekil 4.2. Ford Focus' un iç gürültü seviyesinin motor devir sayısı ile değişimi .....	69
Şekil 4.3. Ford Connect' in iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi .....	70
Şekil 4.4. Ford Connect' in iç gürültü seviyesinin motor devir sayısı ile değişimi .....	71
Şekil 4.5. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi .....	72
Şekil 4.6. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi .....	72
Şekil 4.7. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi .....	73
Şekil 4.8. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi .....	74

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.9. Renault-Toros' un iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi .....	75
Şekil 4.10. Renault-Toros' un iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi .....	75

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Taşıt Titreşimleri

Tarihi gelişimine bakıldığında taşıtlar, insanlar kadar eski olmakla birlikte dinamik davranışlar açısından rijit tekerlekli at arabaları ile dikkati çekmişlerdir. Zaman içerisinde, yolcu konforunun önem kazanması ve taşınan yükün hasar görmemesi için tekerlekler kauçukla kaplanmış, daha sonradan ani darbeleri yumuşatmak için taşıt gövdesi elastik elemanlarla teker aksamına bağlanmıştır. Bu elemanlar sayesinde ani darbeler önlenmiş, fakat sistemin elastikliği arttığı için titreşmesi önlenememiştir.

Otomobil endüstrisindeki gelişmeler, bu olumsuz etkinin giderilmesi yönünde olmuştur. Başlangıçta titreşimleri sönmölemek için kuru sürtünmeli elemanlar kullanılmıştır. Kuru sürtünme elemanlarının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için, daha etkili görev yapabilen akışkan esaslı viskoz sönmöleyiciler (yağlı veya gazlı) kullanılmaya başlanmıştır. Günümüz taşıtlarında kullanılan yağlı ve gazlı sönmöleyicilere amortisör adı verilmektedir.

Sönmö elemanı ve yay ikilisinin en uygun şekilde dizaynı için yapılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalardaki temel hedef; konfor, araç emniyeti (sürüş ve dönme performansı), yol dayanımı ve taşınan yük gibi kriterler göz önünde bulundurularak en uygun elemanların seçimidir. Literatürde yay ve sönmö elemanından oluşan taşıt titreşim sistemine Pasif Süspansiyon adı verilmektedir.

Taşıtlar; gövdeleri, aksları, motoru, dönen ve mafsallı elemanları ve elastik süspansiyon sistemleri ile pürüzlü yollarda tam anlamıyla bir titreşim sistemi gibi davranırlar. Bu çalışmada; titreşen sistem olarak değerlendirilen taşıtlarda titreşime neden olan etkilerle birlikte bu etkilerin meydana getirdiği gürültü ve sebepleri incelenmiştir. Bunun için öncelikle taşıtlarda titreşime neden olan etkiler incelenmiştir. Günümüz taşıtlarında, titreşimleri önlemek için pasif süspansiyon sistemleri kullanılmaktadır. Artan taşıt hızları ve insanların konfor talebi nedeni ile, yeni süspansiyon sistemi araştırmaları yoğunlaşmıştır. Yarı aktif ve aktif süspansiyon sistemleri, bu tür araştırmaların bir ürünüdür. Aktif süspansiyon sistemlerinin temelini optimum kontrol oluşturmaktadır. Aktif

kontrolde, kontrol kuvvetlerine ait kazançlar optimum kontrol kullanılarak hesaplanabilir.

Taşıtlarda enerji kaynağı olarak hayvan yerine motorların kullanılmaya başlanması, taşıt hızını ve hareket kabiliyetini önemli ölçüde arttırmış ancak bu artış başka problemleri de beraberinde getirmiştir. Genel olarak yolların ideal şekilde düz olmaması, tekerlek lastiklerindeki yaylanmanın bu düzgünlüğü karşılayamaması ve taşıtların normal hallerde üçten fazla tekerleğe sahip olması, tekerleklere düşey doğrultuda bir hareket serbestliği temin etme lüzumunu ortaya çıkarmıştır. Tekerleklere bu imkanı vermek üzere yaylar kullanılmıştır. Yayların taşıttaki görevi, yoldan gelen ve düzgün olmayan darbeleri düzgün ve belirli titreşimlere çevirmek ve bu titreşimleri, yardımcı elemanların da kullanılması ile en kısa zamanda sönmektir.

Tabiatıyla bu esnada taşıtın; virajda denge, doğrultu kontrolü gibi özelliklerinde bir değişiklik olmamalıdır. Titreşimler taşıtta hareket konforuna tesir ederler. Taşıtta konforun tayini, gerekli sınırların konulması ile daha çok fizyolojik ve psikolojik probleme dönüşür. Taşıt mühendisinin görevi ise taşıtta hareket konforuna tesir eden çeşitli faktörleri ortaya koymak ve fizyologlarla birlikte insan üzerindeki tesirlerini incelemek, konforu arttırmak için gerekli teorik ve pratik çalışmaları yapmaktır. Titreşimler; yol, taşıt, yolcu ve taşıtın çeşitli parçaları arasında relatif hareketlere sebep olurlar ve bu hareketler de yerine göre taşıtın kabiliyetini, yolcunun rahatını bozabilirler.

Titreşimler üzerindeki araştırmaların hedefi yukarıda bahsedilen faktörlerin mahiyeti incelemek, bunların sebeplerine inerek zararlı tesirlerini yok etmek veya azaltmak yollarını aramak ve taşıtta hareket konforunu arttıracak tedbirleri almaktır. Bu konudaki teorik çalışmalar genel olarak matematik metotları içerir ve hareket denklemlerinin çıkarılması, bu denklemlerin sistemin sabitlerine ve zorlama kuvvetinin frekanslarına bağlı olarak çözülmesi ve nümerik çözümlerin elde edilmesiyle sonuçlandırılır. Ancak matematik çözümler çok defa basitleştirilmiş ve gerçeklerden kısmen ayrılmış haller için yapıldığından bulunan neticeler deneysel metotlarla kontrol edilmeli ve değerlendirilmelidir.

## 1.2. Genel Bilgiler ve Tanımlar

### 1.2.1. Ses

Elastik ortamlarda dalgalar halinde yayılan ve kulak tarafından algılanabilen basınç ya da gerilme değişikliğidir. Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle olur.

### 1.2.2. Gürültü

Hoş gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanır. Gürültü, sesin kontrolsüz bir formudur. Teknik açıdan ses ve gürültü arasında bir fark yoktur. Bu nedenle aşağıda verilen ses ile ilgili temel bilgi ve tanımlar hem ses hem de gürültü için geçerlidir.

### 1.2.3. Ses Basıncı

Hava basıncının, ses oluşturacak şekilde bir referans basıncı etrafındaki değişme miktarıdır.

### 1.2.4. Yayılma Hızı

Sesi oluşturan basınç değişikliğinin bir ortam içerisindeki ilerleme hızı sesin bu ortam içerisindeki yayılma hızıdır. Yayılma hızı, ortamın elastiklik modülüne ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir.

### 1.2.5. Dalga Boyu

Dalgalar halinde ilerleyen harmonik bir ses dalgasının, bir periyot süresinde aldığı yoldur ( $X$ ). Sesin bir ortamdaki yayılma hızı  $c$  ile, periyodu  $T$  ve dalga boyu ( $X$ ) arasındaki ilişki  $X = cT$  eşitliği ile verilir. Ses dalgasının frekansı  $f = 1/T$  olduğundan, frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki  $c = Xf$  ' dir.

### 1.2.6. Desibel

Ses basıncı ve sesle ilgili birçok büyüklük desibel (dB) ile ölçülür. Desibel bir oranı ya da belirli bir değeri göstermek için kullanılır. Güç ya da güç eşdeğeri büyüklükler için kullanıldığında, ölçülen büyüklüğün referans büyüklüğe oranının 10 tabanına göre logaritmasının 10 katı olarak tanımlanır. Desibel ile ölçülen büyüklüklere genellikle düzey adı verilir.

$$düzey (dB) = 10 \log(W / W_0) \quad (1.1)$$

Burada  $W$  ölçülecek güç (ya da güç eşdeğeri büyüklük),  $W_0$  ise referans olarak kullanılan değerdir.

### 1.2.7. Ses Basıncı Düzeyi

Ses basıncının karesi güç ile orantılı olduğundan ses basıncı düzeyi  $L_p$

$$L_p = 20 \log(p / p_0) \quad (1.2)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada  $p$ , ölçülen ses basıncı (efektif değer -rms değeri- olarak),  $p_0$  ise referans ses basıncı olan 20 mikropaskal ( $20 \times 10^{-6}$  Pa)'dır.

### 1.2.8. Ses Gücü ve Ses Gücü Düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü, bu gücün desibel ile ölçülen düzeyine ise ses gücü düzeyi adı verilir. Ses gücü  $W$  olan bir ses kaynağının ses gücü düzeyi  $L_w$  aşağıdaki şekilde tanımlanır,

$$L_w = 10 \log(W / W_0) \quad (1.3)$$

Burada  $W_0$ , referans ses gücü olan  $10^{-12}$  W'dır.

### 1.2.9. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi

Bir noktadaki, ses dalgalarına dik birim alandaki ses gücüne ses şiddeti, bunun desibel ile ölçülen düzeyine ise ses şiddeti düzeyi adı verilir.  $W$  ses gücüne sahip olan bir ses kaynağından düzgün olarak yayılan ses dalgaları, kaynaktan belli uzaklıkta bir noktadan geçerken o uzaklıktaki ses dalgalarına dik toplam alan  $A$  ise, söz konusu noktadaki ses şiddeti  $I = W / A$  'dır. Ses şiddeti düzeyi  $L_j$ ,

$$L_j = 10 \log (I / I_0) \quad (1.4)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Referans ses şiddeti  $I_0 = 10^{-12} W / nr$  'dir. Ses şiddeti  $I$  ile ses basıncı  $p$  arasında, düzlemsel dalgalar için,

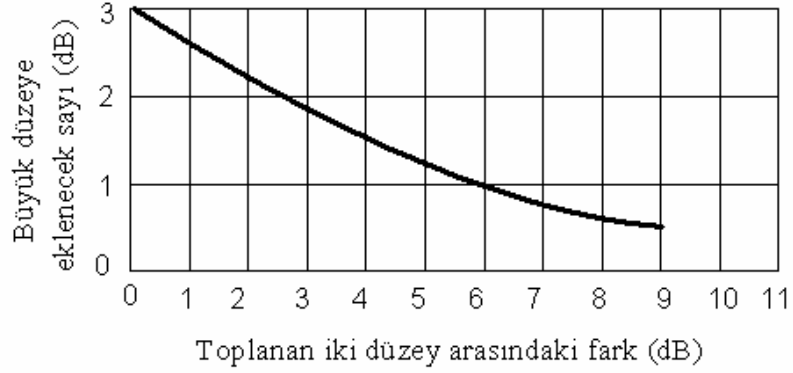
$$I = p^2 / \rho c \quad (1.5)$$

$c$  ise sesin aynı ortamdaki yayılma hızıdır. Sesin havadaki yayılması için  $L = L_p$  alınabilir.

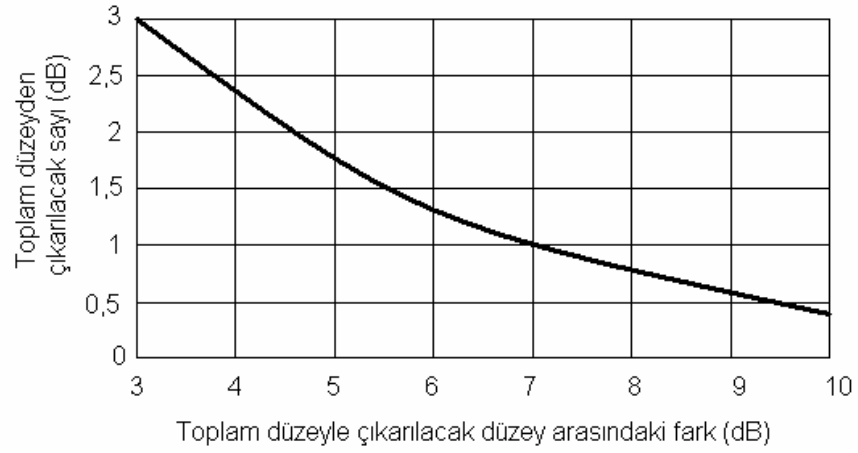
### 1.2.10. Desibellerle İşlem

Desibel olarak ifade edilen büyüklüklerin toplanması işlemi, sayısal değerlerin toplanmasıyla yapılamaz. Çünkü toplamada toplanan değerler dB ile ifade edilen sayısal büyüklükler değil, bu düzeylerin ifade ettikleri güç değerleridir. Örneğin, her biri 80 dB güç düzeyine sahip iki ses kaynağının toplam ses gücü 83 dB' dir. Bu sonucu bulmak için 80 dB' den yararlanarak ses gücünün bulunması, bunun iki katını alındıktan sonra bu sayının dB olarak ifade edilmesi gerekir. Bu işlem, Şekil 1.1.' de verilen dB toplama eğrisi kullanılarak yapılabilir. Söz konusu örnek için toplanacak iki düzey arasındaki sayısal fark 0 olacağından, Şekil 1.1.' den, büyük düzeye eklenecek değer olarak 3 bulunur ve toplam  $80+3=83$  dB olarak elde edilir. Şekil 1.1.' den çıkarılacak ilginç bir sonuç; aralarında 10 dB ya da daha fazla fark bulunan iki düzeyinin toplanması sonucunda elde edilen düzeyin, yaklaşık olarak toplanan düzeylerden yüksek olanına eşit olmasıdır. Yani iki makinanın bir noktada yarattıkları ses basıncı düzeyleri arasında 10 dB' den fazla fark varsa, gürültüsü az olanın durdurulması toplam ses basıncı düzeyini pratik olarak etkilemez. Pratikte, aralarında 10 dB' den fazla fark olan değerlerden küçük olanı ihmal edilebilir.





Şekil 1.1. Desibel toplama eğrisi



Şekil 1.2. Desibel çıkartma eğrisi

Desibellerle çıkarma işlemi ise, Şekil 1.2.' de verilen desibel çıkarma eğrisi kullanılarak yapılabilir. Desibellerle ortalama alma işleminde de ortalaması alınan sayılar, dB ile ölçülen sayılar değil bunların ifade ettikleri güç değerlerdir. Ortalama almak için kullanılacak formüllerin yanısıra, pratikte aşağıdaki yaklaşık formüller de kullanılabilir:

- En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark 5 dB ya da daha küçükse, dB olarak ölçülen değerlerin doğrudan aritmetik ortalaması alınabilir.

b) En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark 5-10 dB arasındaysa, dB olarak ölçülen değerlerin doğrudan aritmetik ortalaması alınarak buna 1 eklenir.

### **1.2.11. Ses Frekansları**

Harmonik ses basıncı değişiminin oluşturduğu seslere arı ses (saf ton) adı verilir. Değişik frekanslardaki iki yada daha çok arı sesin birleşmesi sonucu harmonik olmayan periyodik sesler elde edilebilir. Periyodik olmayan ses dalgaları da benzer şekilde sonsuz sayıdaki harmonik dalganın toplamı şeklinde düşünülebilir. Bir sesin kendisini oluşturan arı seslere (harmoniklerine) ayrıştırılmasına frekans analizi adı verilir. Sesin yayılması, yutulması gibi durumlar sesin frekansına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği için, gürültü denetimi ve benzeri incelemelerde frekans analizi çok önemlidir. Bir ses dalgası sonsuz sayıda harmoniğe ayrılabilmesi için, frekans analizinde belli frekans aralıkları kullanılır. İnsan kulağı; yaklaşık olarak 16-20.000 Hz frekansları arasını duyabilir. Bu sınırlar kişiye bağlı olarak değişiklik gösterir. Kulağın en hassas olduğu frekans 3000 Hz civarındadır. Normal bir konuşma 200-10.000 Hz frekans aralığını kapsar. Konuşmanın anlaşılabilirliği için ise 1000-2500 Hz aralığındaki frekanslar yeterlidir.

Ses ve gürültü analizinde, incelenecek frekans aralığı oktav bandı adı verilen aralıklara bölünür. Analiz için standart olarak kullanılan oktav bantlarının merkez frekansları ve bant aralıklarının alt ve üst sınırları dikkate alınır. Hassas analiz yapılması gerektiğinde ise 1/3 oktav, 1/10 oktav gibi daha dar frekans bantları kullanılır. Örneğin, 1/3 oktav bandı bir oktavlık frekans aralığının 3 aralığa bölünmesiyle bulunur. Ancak bu bölünme lineer değil logaritmiktir.

## **1.3. Sesin Algılanması ve Değerleri**

### **1.3.1. Ses Yüksekliği**

İnsan kulağı aynı ses basıncı düzeyini oluşturan iki ayrı frekanstaki sesi değişik yüksekliklerde algılar. Bu nedenle bir sesin ses yüksekliği, sesin frekansı ve oluşturduğu ses basıncı düzeyi tarafından belirlenir. Ses yüksekliğinin düzeyi fon (ya da phon) ile

ölçülür. Bir sesin fon olarak ses yüksekliği düzeyi, aynı yükseklikte algılanan 1000 Hz frekansındaki sesin ses basıncı düzeyinin sayısal değerine eşittir.

Gürültü birçok harmonikten oluştuğundan, bir ortamdaki gürültünün yüksekliğinin değerlendirilebilmesi için gürültü yüksekliğinin her frekanstaki harmoniğinin etkisini göz önüne alan bir değer ile ifade edilmesi gerekir. Bu amaçla, uygulama alanına ve gürültü türüne bağlı olarak değişik değerlendirme şekilleri geliştirilmiştir.

### **1.3.2. Gürültü Düzeyi (Ses Düzeyi)**

Birçok değişik frekanstan oluşan seslerin yüksekliklerini kıyaslayabilmek için sesin frekans bantlarındaki bileşenlerinin bulunması, her frekans bandındaki bileşenin kulağın o frekans aralığındaki duyarlılığı göz önüne alınarak düzeltilmesi ve daha sonra bu bileşenlerin tekrar toplanması gerekir. Bu şekilde bulunan değere gürültü düzeyi (ses düzeyi) adı verilir. Ses düzeyinin ses basıncı düzeyinden ayrılabilmesi için, ses düzeyi dBA ile ifade edilir. Elde edilen düzeyler, uluslararası standartlarla tanımlı ilgili eş ses yükseklik eğrisine özgü şekilde A- ağırlıklı, B- ağırlıklı C- ağırlıklı vb. ses düzeyi olarak tanımlanarak, ağırlıklama işleminin tipine bağlı olarak dBA, dBB, dBC vb. cinsinden ifade edilmektedir. Ses düzeyi, kulağın her frekansa gösterdiği değişik duyarlılığı göz önüne alacak şekilde ağırlıklama (düzeltme) yaparak sesin düzeyini doğrudan dBA olarak veren cihazlarla ölçülür.

Gürültü denetimi çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan A-ağırlıklı ses düzeyleri, duyma sisteminin düşük yoğunluktaki seslere karşı davranışını temel almaktadır. A-ağırlıklama işlemi, duyma sisteminin duyarlı olduğu frekans aralığındaki seslerin bileşenlerini vurgulamakla birlikte bu aralık dışında kalan frekanslardaki seslerin toplam düzeye olan etkisini, duyma sisteminin özelliklerini de dikkate alarak azaltmaktadır. Bir gürültünün ses basıncı düzeyi, frekans dağılımı bilgisi olmadan tek başına gürültünün yüksekliği hakkında hiçbir fikir veremezken; ses düzeyi, gürültünün yüksekliği ile ilgili bütün bilgiyi sağlar.

### 1.3.3. Eşdeğer Sürekli Ses Düzeyi

Ses düzeyinde alçalıp yükselmelerin olduğu ya da ses düzeyinin zamanla gelişi güzel değiştiği gürültülerin değerlendirilmesinde; ses düzeyinin zamanla değişimini incelemek yerine, sesin eşdeğer sürekli ses düzeyi kullanılır. Eşdeğer sürekli ses düzeyi (Leq); verilen bir zaman aralığında, söz konusu ses ile aynı toplam enerjiye sahip sabit düzeydeki sesin ses düzeyi olarak tanımlanır. Leq, dBA ile ölçülür. Tanımdan da anlaşılacağı gibi, Leq ölçümünde zaman da bir faktördür. Yani verilen bir zaman aralığı için eşdeğer sürekli ses düzeyinden söz edilebilir. Zamanla değişim gösteren bir gürültünün belli bir zaman aralığı için ölçülen eşdeğer gürültü düzeyi, gürültünün insanlar üzerindeki etkisi bakımından hemen hemen aynı etkiyi yapacak sabit değerdeki gürültü düzeyini verir.

### 1.3.4. Ses Etkilenim Düzeyi

Çok kısa süren ve birden yükseldikten sonra alçalan sesin değerlendirilmesi durumunda, eşdeğer gürültü düzeyi yeterli bilgiyi sağlayamaz. Böyle bir ses için Leq ölçülürse, ölçüm süresine bağlı olarak çok farklı değerler bulunur. Bu durumda, sözgelimi iki uçağın havalanma sırasında çıkardığı gürültülerin kıyaslanması Leq ölçümleri kullanılarak yapılamaz. Gürültü düzeyinin zamanla değişimi söz konusu olduğundan, bu durumda gürültü düzeyi ölçümleri de kullanılamaz. Bu tür seslerin değerlendirilmesinde ses etkilenim düzeyi (SEL) kullanılır. Ses etkilenim düzeyi, zaman aralığı bir saniye olan Leq olarak tanımlanır. Yani kısa sürede önemli düzey değişikliği gösteren bir sesin ses etkilenim düzeyi, aynı enerjiye sahip bir saniye süren sabit değerli bir sesin düzeyine eşittir.

### 1.3.5. NR Değeri

Kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsünün düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılır. Gürültü sınıflandırma (NR) değeri, NR eğrileri adı verilen eğriler yardımıyla tanımlanır. NR değerini bulmak için, oktav bantlarında ölçülen ses basıncı düzeyleri (Bunlara bant basıncı düzeyleri -BBD- adı da verilir.) NR eğrileri üzerinde işaretlenir. En büyük NR değerine yakın nokta gürültünün NR değerini belirler. Dolayısıyla, NR eğrilerinde her eğri, söz konusu NR değeri için ulaşılabilecek en yüksek bant basıncı düzeyini gösterir. NR

eğrileri, daha çok Avrupa' da yaygın olarak kullanılır. ABD' de ise NR eğrilerine benzer şekilde çizilmiş NC ve PNC eğrileri kullanılmaktadır.

#### 1.4. Titreşim Parametreleri

Doğru bir titreşim analizi için titreşimle ilgili terimlerin iyi kavranması gerekmektedir. Kaynaklarda ölçümlerde kullanılan terimlere pek rastlanmamaktadır. Bu yüzden işin teorisi ve matematiğine girmeden, pratikte sıkça karşılaşılan titreşim terimleri kısaca açıklanmıştır.

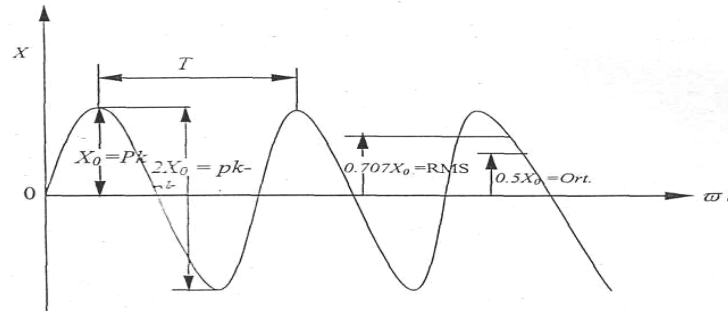
En basit titreşim şekli harmonik titreşimdir. Harmonik titreşimde yer değiştirme ile zaman arasındaki ilişki şu ifade ile belirtilebilir:

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (1.6)$$

Burada  $X_0$  yer değiştirme genliğidir. Harmonik titreşim ve parametrelerin gösterimi Şekil 1.3.' de verilmektedir. Titreşim hareketinde titreşimi belirleyen başlıca parametreleri periyot ( $T$ ), frekans ( $f$ ), açısal frekans ( $\omega$ ), faz ( $\Phi$ ) ve yer değiştirme genliği ( $X$ )' dir.

##### 1.4.1. Periyot (T)

Titreşim hareketinin bir tam tekrarının ne kadar süre içinde gerçekleştiğinin ölçüsüdür. Yani titreşimin tekrarlanma süresidir. Şekil 1.3.'de görülen harmonik bir titreşimin dalgaform grafiğinde iki tepe arasında geçen süreye periyot denir. Birimi saniyedir.



Şekil 1.3. Harmonik titreşim

### 1.4.2. Frekans (f)

Titreşim hareketinin birim zamanda tekrarlanma sayısıdır. Frekans üç değişik şekilde ifade edilebilmektedir:

- Titreşim hareketinin bir saniye süre içinde tekrarlanma miktarıdır. Birimi Hertz (Hz)'dir.
- Titreşim hareketinin bir dakika süre içinde tekrarlanma miktarıdır. Birimi RPM (Revolution per minute) olarak alınır.  $RPM/60 = Hz$  olarak dönüşüm yapılabilir.
- Titreşim sinyalinin, o sinyale neden olan birincil hareketin dönme devrinin hangi katlarında meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi kat (order) olan bu bağıl hareket, titreşimin ölçüldüğü yatak içinde dönen milin dönüş devri katları ile, titreşim sinyalinin tekrarlanma frekanslarının çakışıp çakışmadıklarını ifade eder. Örnek olarak, dengesizlik sinyali milin dönme devrinin tam bir katında oluşur. Periyot ile frekans birbirlerinin tersi olan terimlerdir. Buna göre  $f = 1/T$  ve  $T = 1/f$  olarak alınır.

### 1.4.3. Açısal frekans ( $\omega$ )

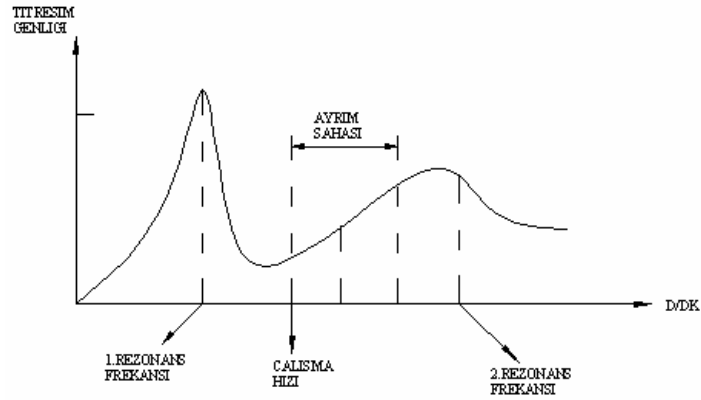
Dönme hareketi yapan bir cismin birim zamanda kat ettiği yolun (taradığı açının) radyan cinsinden değeridir. Birimi rad/s' dir,  $\omega = 2\pi f$  ile ifade edilir.

### 1.4.4. Rezonans

Diğer bir anahtar frekans, makinanın ya da yapının rezonans frekansıdır (doğal veya kritik frekans olarak da tanımlanmaktadır). Rezonans, muhtemelen çoğu yüksek seviyeli ve bozuk olan bazı yerlerle ilgili titreşimlerin en yaygın sebebidir. Rezonans frekansının altındaki frekanslarda, genlik frekanstan bağımsız olacaktır. Rezonans frekansına yaklaştıkça frekanstaki büyüme, enerji seviyesinde bir artış olmadan keskin bir şekilde artar. Rezonans frekansında ise genlik tepe noktasına ulaşarak bir pik yapar ve sonra yeniden frekans artmasına rağmen düşmeye başlar. Her yapı ve bileşenin temel bir rezonans frekansı olduğu gibi, fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirlenmiş daha yüksek bir frekansı da vardır. Bir rotor sistemi, rotorun kütlesi ve yoğunluğunun yanı sıra

bağlandığı şasinin yapısına bağlı olarak belirlenmiş bir rezonans frekansına sahiptir, bu rezonans frekansları, titreşim sinyallerini büyütür ve bu sebeple, herhangi bir malzeme yada ekipman satın alırken, titreşim sinyalleri analiz edilirken bu gerçeklerde göz önüne alınmalıdır.

Örneğin, bir makinanın veya bir makina elemanının rezonans frekansı, çalışma hızındaki frekansın %15–20` si aralığına düşüyorsa, makinanın çalışma hızındaki titreşimi artırır. Çalışma hızındaki bu aşırı titreşim ise makina parçalarında zamanından önce aşınmalara yol açacaktır. Makina imalatçı firmalar, makinanın rezonans frekanslarını verirler, ancak yine de makinayı satın alan kişilerin, makinanın gerçek değerlerini, kendilerinin rezonans titreşim testlerini kullanarak elde etmeleri daha doğru olacaktır (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. Çalışma hızı güvenlik bölgesi dışındaki rezonans frekanslarını gösteren grafik

#### 1.4.5. Faz ( $\Phi$ )

Referans ya da başlangıç miktarına bağlı olarak iki olaydan birinin diğerine göre ne kadar önce veya sonra meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi açı birimi, derece veya radyandır.  $0-360^\circ$  veya  $0-2\pi$  arasında değerler alır. Dönen cisimlerde faz açısı hesaplanırken, referans noktasından itibaren dönüş yönünün tersi pozitif yön olarak kabul edilir. Faz, dengesiz bir rotorda yerleştirilecek kütlelerin yerinin belirlenmesinde,

dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik ve diğer makina arızalarının birbirlerinden ayırt edilmesinde çok önemli olmaktadır. Titreşim ölçen cihazlar fazı doğrudan ölçmemekte, iki olay arasındaki zaman farkını ölçüp bunu kullanarak açığı hesaplamaktadırlar.

#### 1.4.6. Genlik (X)

Titreşimin şiddetini ifade eder. Eğri üzerindeki sıfır noktası ile tepe noktası arasındaki veya maksimum ve minimum tepe noktaları arasındaki mesafedir. Birimi uzunluk boyutundadır. Genlik; tepe değer, tepeler arası değer, RMS ve ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir.

- *Tepe Değer ( $X_0$ )*

Sıfır noktasından tepe noktaya olan uzaklık, sinyalin bir yönde eriştiği maksimum değerdir.

- *Tepeler arası değer ( $2X_0$ )*

Sinyalin maksimum tepeden minimum tepeye kadar aldığı değerdir.

- *RMS*

Bir sinyalin  $t_1-t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür.  $RMS = 0.707 \times \text{Tepe değer}$  ifadesi ile, RMS ile Tepe değer arasında dönüşüm yapılabilir.

- *Ortalama*

Bir sinyalin  $t_1-t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.  $Ortalama = 0.5 \times \text{Tepe değer ifadesi}$  ile elde edilir.

Titreşim genlik birimleri yer değiştirme, hız ve ivme birimlerinden birisi olabilir.

- *Yer değiştirme*

Bir kuvvetin etkisi altında kalan kütlelerin, sıfır noktasına veya belli bir referans noktasına göre ötelenmesi sonucunda aldığı yol veya yer değiştirme miktarıdır. Birimi uzunluk boyutundadır.



- *Hız*

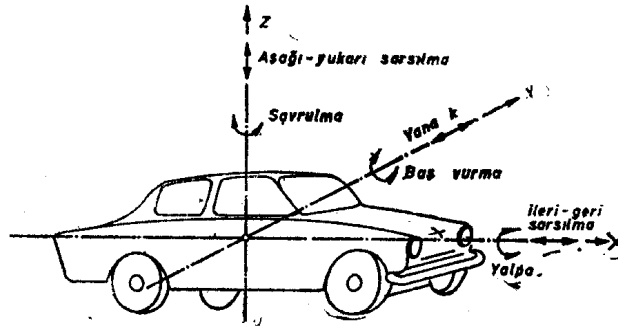
Birim zamanda alınan yoldur. Matematiksel olarak yer değiştirmenin zamana göre değişimidir. Birimi m/s, mm/s, mikron/s, inç/s, mil/s olabilir.

- *İvme*

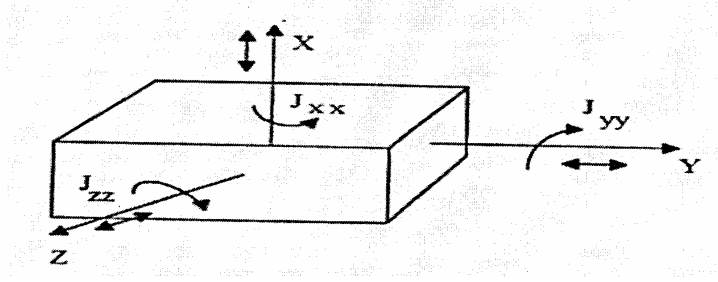
Hızda birim zamanda meydana gelen değişimdir. Birimi g's, m/s<sup>2</sup>, mm/s<sup>2</sup>, mikron/s<sup>2</sup>, inç/s<sup>2</sup> olabilir ( g's= 9.81 m/s<sup>2</sup> ).

### 1.5. Basitleştirilmiş Bir Taşıt Modelinin Titreşimi

Modern bir taşıt oldukça karmaşık bir titreşim sisteminden meydana gelir. Birçok araştırmacı taşıtı; gövde, aks, süspansiyon elemanları ve lastiklerden oluşan dinamik bir model olarak ele almıştır. Bu araştırmacılar titreşime neden olan dış etkileri de, yol düzensizliğünden kaynaklanan etkiler olarak almıştır. Böyle genel bir modelde oluşabilecek titreşimler, aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bilindiği gibi, uzayda serbestçe hareket edebilen bir cisim, altı serbestlik derecesine sahiptir. Bunlar; üç öteleme ve üç dönme hareketinden oluşur. Taşıtın bir gövde ve dört bağımsız akstan meydana geldiği düşünüldüğünde, taşıt modeli otuz serbestlik derecesine sahip olur. Fakat bu hareketlerden bazıları ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğunda taşıt, simetrik düşünülüp dörtte bir olarak modellenmiştir. Elde edilen model Quarter car (1/4 araba modeli) adı ile anılır. Bu model çok basit olması ve taşıt titreşimleri konusunda yeterli bilgi vermesi açısından taşıt titreşimlerinin incelenmesinde önemli bir yere sahiptir.



Şekil 1.5. Taşıtın çeşitli titreşim doğrultuları



Şekil 1.6. Taşıt gövdesinin titreşim hareketleri

Şekil 1.6.' da görüldüğü gibi taşıt gövdesi üçü doğrusal ve üçü açısal hareket olmak üzere toplam altı hareket yapar. Bunlar;

a-) Öteleme hareketleri;

X-ekseni boyunca titreşim hareketi (aşağı yukarı)

Y -ekseni boyunca titreşim hareketi (ileri geri, frenleme esnasında kendini gösterir)

Z-ekseni boyunca titreşim hareketi (yana kayma, yandan çarpma ve yan etkilerde ortaya çıkar)

b-) Dönme hareketleri;

X-ekseni etrafında dönme (Savrulma-yawing)

Y-ekseni etrafında dönme (Yalpa-rolling)

Z-ekseni etrafında dönme (Kafa vurma-pitching)

Akslar gövdeye yaylar ve yere tekerleklerle bağlı olduğu için, birçok araştırmada aksların sadece düşey hareketleri nazara alınmıştır. Bu durumda taşıt; gövdesinin altı ve aksların dört değişik hareketinden dolayı on serbestlik dereceli olarak ele alınabilir. Gövdede oluşabilecek savrulma, öne ve arkaya doğru hareket ve Z eksenini boyunca hareket çok özel durumlarda söz konusu olacağından ihmal edilebilir. Bu durumda tam araba modeli (Full-car), yedi serbestlik derecesine sahip olur.

Ayrıca bağımsız tekerlek asılışında akslar da orta noktalarından geçen Z ve X eksenleri etrafında titreşim hareketi yapabilirler. Bu 6 çeşit hareket taşıtta ayrı ayrı

olabildiği gibi bir kaçı bir arada da meydana gelebilir. Karayollarında hareket eden motorlu taşıtlar için aşağı-yukarı hareket, başvurma ve yalpa hareketleri önemlidir. İleri-geri sarsılma daha çok buharlı lokomotiflerde bahis konusu olur fakat yol taşıtlarında ihmal edilebilir.

## **1.6. Taşıt Titreşimleri ve Kontrolü**

Taşıtlar, bahsedilen dinamik özellikleri taşıyan bir sistemdir. Amaç, dinamik sistem olan taşıtların titreşimlerinin en aza indirgenmesidir.

### **1.6.1. Titreşime Neden Olan Etkiler**

Taşıtların titreşimine etki eden üç temel faktör ve sınıflandırılması aşağıda verilmiştir;

a-) Yol pürüzlülükleri

b-) Tekerlekler

- Dengesizlik

- Boyut değişimi

- Yay katsayısı (farklılıkları homojen olmayan yapı)

c-) Güç ve moment ileten elemanlardaki dengesizlikler

- Dönen miller (şaft)

- Dişli çarklar

- Diferansiyel

- Motor

### **1.6.2. Taşıtların Titreşimlerini Etkileyen Faktörler**

Taşıtların dizaynı ve çalışması esnasında birçok eleman, taşıtların titreşim cevap değerlerine etki eder. Bunlardan önemli olanları belirtmek gerekirse;

- Süspansiyon yay elemanının özellikleri

- Stabilizatör çubuğunun konstrüksiyonu ve elastiklik özelliği
  - Sönüm elemanının özellikleri
  - Taşıt aksının genişliği (iz genişliği)
  - Taşıt aksının ağırlığı
  - Motor ve iletim elemanlarının montajı
  - Akslar arası mesafe
  - Süspansiyon sistemi asılış tipi
  - Yol ve tekerleklerin özellikleri
- şeklinde ifade edilir.

### **1.6.3. Taşıt Titreşimlerinin Değerlendirilmesi**

Titreşim değerlendirilmesi, aşağıda belirtilen parametreler ve bunlara bağlı değişkenlerle farklılık gösterir.

#### a-) Konfor

- Titreşimler
- Genlik
- Hız
- İvme
- Titreşimden etkilenenler
- Yolcular
- Taşıt elemanları
- Yük

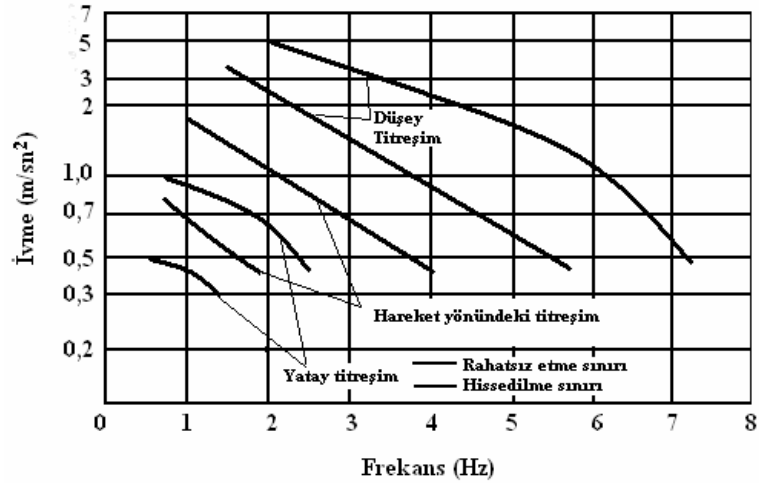
#### b-) Dinamik tekerlek basıncı

#### c-) Konstrüksiyon açısından müsaade edilebilecek titreşim seviyesi

Yol düzgünlüğünün taşıta meydana getirdiği titreşimler, istenmeyen seslere sebep olduğu gibi taşıt gövdesini olumsuz etkiler. Yine taşıta bulunan yolcu ve yük üzerinde de arzu edilmeyen etkiler oluşturur. Titreşim deneyleri sonucunda genel olarak iki sınır tayin edilmektedir. Bunlar ;

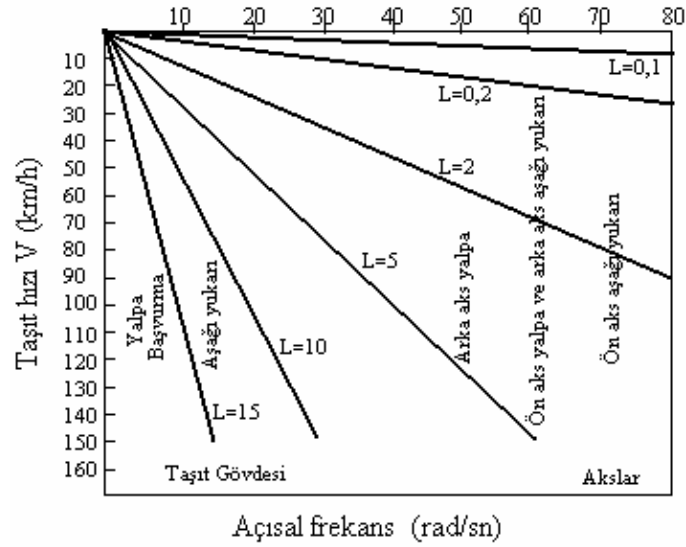
- Titreşimlerin insanlar tarafından hissedilme sınırı
- Titreşimlerin insanları rahatsız etme sınırı

Bu kriterlere göre yüzlerce insan üzerinde yapılan deneyler sonucunda Şekil 1.7.'deki eğriler elde edilmiştir. İçindeki konumunu göz önüne alarak, değişik organların titreşimlerden etkilenmeleri ayrı ayrı dikkate alınıp, sonuçta kritere ulaşılmıştır.



Şekil 1.7. Titreşim ivmesinin insana etkisi

Taşıta meydana gelen titreşimler, yolcuya olan etkilerinin yanı sıra taşıtı oluşturan elemanlara da zarar vermektedir. Bu zarar, maksimum değerine rezonans bölgelerinde ulaşır. O nedenle yol pürüzlülüklerinden dolayı oluşan taşıt rezonans titreşimlerinin incelenmesi gerekir. Yol düzgünlüğünden dolayı oluşan zorlayıcı kuvvetin frekansı, taşıtın çeşitli kısımlarının tabii frekansı ile çakışması durumunda taşıta rezonans başlar.



Şekil 1.8. Taşıtların rezonans bölgeleri

### 1.7. Taşıtların Gürültüsünün Kaynakları

Gürültü hoşta gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanır. Ses dalgalarının etkenliği ve gürültü olarak adlandırılması sadece sesin şiddetine, tiz ve tok olmaları ile sürekliliğine bağlı değildir. Ayrıca sese maruz kalan kişinin fiziksel ve ruhsal durumuna da bağlıdır. Bir gürültü ne kadar anlamsız, ne kadar şiddetli, ne kadar düzensiz ve ne kadar ani olursa o kadar rahatsız edicidir. Bununla birlikte, birçok gürültü tipinin kuşkuyla yer vermeksizin herkes tarafından gürültü olarak kabul edileceği açıktır (AKTÜRK ve ÜNAL, 1998).

Gürültünün insanlar üzerindeki fizyolojik etkilerinin başlıcaları; kas gerilmeleri, stres, kan basıncında artış, kalp atışlarının ve kan dolaşımının değişmesi, göz bebeği büyümesi ve uykusuzluk olarak tespit edilmiştir (AKTÜRK ve GÜMÜŞDAĞ, 1998). Stres ve uykusuzluk, gürültünün uzun süreli fizyolojik etkilerindedir. Ayrıca migren, ülser, gastrit vb. hastalıkların ortaya çıkmasında gürültünün de önemli etkisi olabileceği ileri sürülmektedir. Ancak gürültünün, bu hastalıkların baş göstermesinde doğrudan etkili olduğu henüz kanıtlanmamıştır (TOPRAK ve AKTÜRK, 2001). Vücut aktivitesinde

değişiklikler, dolaşım bozuklukları, solunumda hızlanma, kalp atışlarında hızlanma, ani refleksler gürültünün bilinen etkilerindedir.

Gürültünün psikolojik etkilerinin başında ise, davranış bozuklukları, sinir bozukluğu, korku, rahatsızlık, tedirginlik, yorgunluk, öfkelenme, genel rahatsızlık duygusu, sıkılma zihinsel etkinliklerde yavaşlama ve iş veriminin azalması gelmektedir. Meydana getirdiği olumsuz etkilere bağlı olarak, gürültü seviyeleri bazı araştırmacılar tarafından Çizelge 1.1.'deki gibi değerlendirilmektedir.

Çizelge 1.1. Gürültü seviyeleri

1.Derece	30 dBA-65 dBA	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku düzensizliği ve konsantrasyon bozukluğu.
2.Derece	65-90 dBA	Fizyolojik reaksiyonlar, kan basıncı artışı, kalp atışlarında ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler.
3.Derece	90-120 dBA	Fizyolojik reaksiyonların artması, baş ağrıları.
4.Derece	120 dBA	İç kulakta devamlı hasar, dengenin bozulması.
5.Derece	140 dBA	Ciddi beyin tahribatı

Bunlara ek olarak, gürültü kişilerde bitkinliğin kronikleşmesini sağlamakta ve vücudun direncini azaltarak hastalıklara yakalanma ihtimalini arttırmaktadır.

Gelişmekte olan ve özellikle gelişmiş ülkelerin sorunlardan biri de trafik gürültüsüdür (AKTÜRK ve ark., 2000;2001; AKTÜRK, 2001). Taşıtların hareketleri sonucu çıkan bu gürültü; motor gürültüsü, şasi ve kaportadan kaynaklanan gürültüler, frenlemeden doğan gürültü, tekerleklerin yol yüzeyi ile temasından doğan gürültü ve taşıtın oluşturduğu hava anaforundan ileri gelen gürültü gibi bileşenlerden oluşur (AKTÜRK ve GÜRPINAR, 2001). Yapılan araştırmalara göre taşıt sayısı arttıkça ulaşım gürültüsü artmaktadır. Diğer taraftan trafikteki araçların türlerine göre de gürültü seviyesi değişiklik göstermektedir. Taşıt yaşı da gürültü miktarına etki eden faktörlerdendir. Eski araçların yenilere göre daha fazla gürültü çıkardığı saptanmıştır. Yapılan araştırmalar motor gürültüsünün özellikle

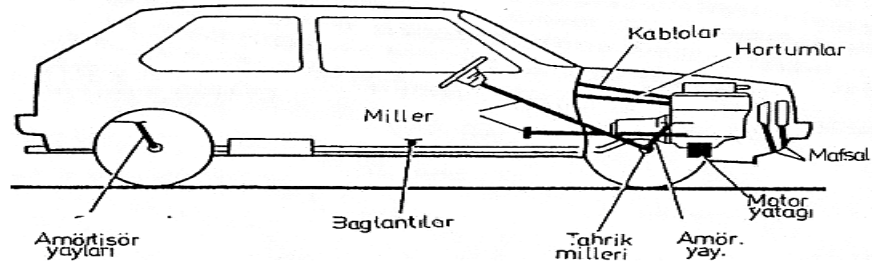
yavaş seyrin gerçekleştiği şehir içi trafik gürültüsünde en önemli etkenlerden biri olduğunu ortaya koymuştur.

### 1.7.1. Önemli Gürültü Kaynakları ve Sesin Yayılımı

Genel olarak taşıt gürültüsü şu ana kısımlarla ortaya çıkar:

- Mekanığın (Motor, vites kutusu, havalandırma) gürültüsü
- Egsoz gürültüsü
- Emme sisteminin gürültüsü
- Tekerlek gürültüsü
- Rüzgar gürültüsü

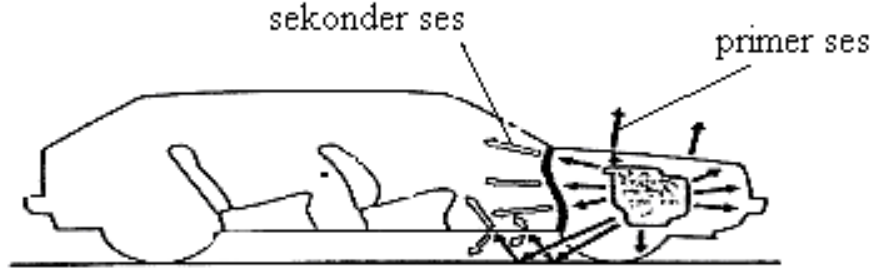
Duran ve rolantide çalışan bir araçta ilk üç kısım, hareket halindeki araçta ise beş gürültü kaynağı beraber olarak ortaya çıkacaktır. Yukarıda belirtilmiş olan ses kaynakları sesi direkt olarak esasen dış ortama, bunun yanında delikler vasıtasıyla iç ortama yayarlar. Ayrıca taşıt akustiğinde gürültünün yayılım şekli de çok önemli yer tutar. Taşıtlarda gürültünün yayılımı; hava yoluyla, karoseri (yapı) yoluyla ve ses köprüleri (amortisörler, dişli kutusu, yataklar, hortumlar, kablolar gibi) yoluyla gerçekleşir. Şekil 1.9.' da taşıttaki bu ses köprüleri görülmektedir.



Şekil 1.9. Taşıtta ses köprüleri



Bu ses köprüleri, karoserin çeşitli kısımlarını ses basıncı salınımlarına sürükler. Bunlar titreşirler ve oluşan yeni gürültü sekonder ses olarak kabin içinde olduğu gibi yayılmaya devam eder.



Şekil 1.10. Hava sesinin primer halden sekonder hale dönüşümü

Görüldüğü gibi gürültü kaynakları taşıt kabini iç ve dışına farklı şekillerde etkiler. Bu durumda Taşıt Akustiği Bilimi'ne düşen görev, geçerli bağıntıları tespit etmek ve gürültünün azaltılması için ölçümler yapmaktır. Bunun için de öncelikle tek tek gürültü kaynakları ele alınıp, sebepleri araştırılmalıdır. Taşıt akustiğinde sesin hava ve yapı yoluyla yayılımı eşit derecede önemlidir. Kabin içi gürültü için yapı yoluyla sesin yayılımında frekanslar 500 Hz' e kadar ulaşır ki, bunlar alçak frekanslı seslerdir. Buna karşı hava yoluyla yayılan seslerin frekanslarının 12 kHz' e kadar varabildiği dikkat çeker.

## 1.7.2. Motor Gürültüsü ve Sebepleri

### 1.7.2.1. Genel bakış

Taşıtlardaki iç gürültüyü; motor, fan, egzoz, hava filtresi, lastik, seyir rüzgarı, vites kutusu ve aktarma organları, tekerlek asılış sistemi gibi tekil kaynakların gürültüsü oluşturur. Tekil kaynakların toplam iç gürültüye etkileri taşıt işletme şartlarına bağlıdır. Örneğin yüksek kademeli vitesle seyredilen şehir içinde (motor devri yüksek, seyir hızı düşük) motor gürültüsü etkin olurken, bunun tersi bir durum söz konusu olan şehirlerarası yollarda lastik ve rüzgar gürültüsü ön plana çıkmaktadır.

Taşıtlarda oluşan gürültüler, kaynaktan alıcıya çeşitli yollardan ve değişimlere uğrayarak gelirler. Gürültü yayılım yolları doğrudan hava yoluyla, yapı yoluyla ve hava+yapı yoluyla yayılımlar olarak üçe ayrılabilir. Üç yayılım şeklinde de, taşıt yapısındaki titreşimlerin oluşturduğu gürültüler hava yoluyla alıcıya iletilir. Motor silindirindeki yanma olayı ani bir basınç darbesi yaratır. Bu darbe silindir duvarlarının ve motor kafesi aracılığı ile motor yan duvarlarının titreşmesine sebep olur. Bu titreşimler havanın basınç salınımları yapmasına, bir ses oluşmasına neden olur. Motor devir sayısının düşürülmesi, silindir sayısının artırılması ve motor gövdesinin kalınlaştırılması gibi önlemlerin gerçekleştirilmesi yakıt tüketimine, maliyete, performansa ve vergi oranlarına getireceği ek yükler nedeniyle üretici ve kullanıcılar tarafından tercih edilmeyen yöntemlerdir. Daha çok motordan yayılan gürültünün izolasyonu yoluna gidilmektedir (EROĞLU ve AKTÜRK, 2002).

Hava emme ağzı, filtre haznesi boyun uzunluğu ve filtreye bağlantısı hava akış tekniğine uygun tasarlanmalıdır. Sistem titreşim açısından incelenmeli, hava filtresi haznesi mümkün olduğunca büyük tutularak hava filtresi emme gürültüsü en aza indirgenmelidir.

Motor suyunun soğutulması amacıyla kullanılan fanın gürültüsünü azaltmak için pervane kanatlarının asimetrik tasarlanması ve iyi dengelenmesi gibi önlemler alınmalıdır (GÜNEY, 1994).

İyi tasarlanmamış bir egzoz sistemi en önemli gürültü kaynağıdır. Bununla birlikte yaşanabilir bir çevre için araçlardan kaynaklanan trafik gürültüsünün azaltılması gerekmektedir. Egzoz gürültüsünün araçlardan yayılan toplam gürültüye payı, araç ve kullanılan susturucu tipine bağlı olarak değişmekle beraber %40 mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, motorlu araçlardan yayılan gürültünün azaltılması için üzerinde çalışılması gereken önemli konulardan bir tanesi de egzoz sistemi olmaktadır (ÖGE ve ÖGÜT, 1998).

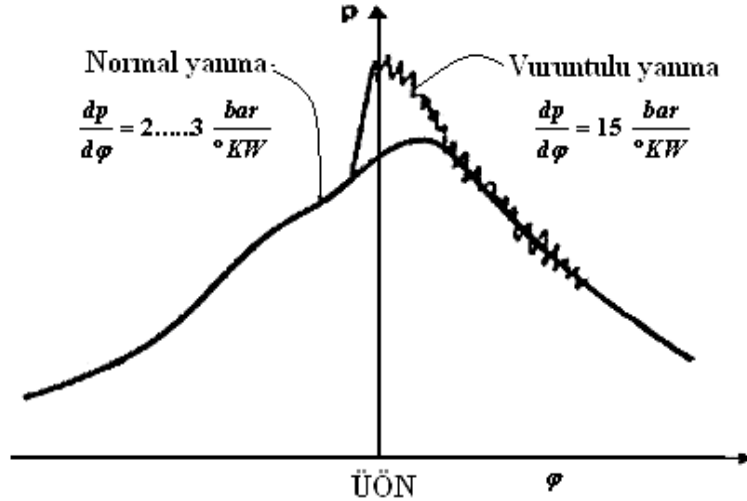
Vites kutusu gürültüsü takırtı ve uğultu şeklinde tanımlayabileceğimiz iki tipte olur. Bulardan birincisi üzerinde moment bulunmayan dişli gruplarının diş temas değişimi sesidir. Vites kutusu giriş devir sayısı düzensizliği, dişli boşlukları, sürtünme kuvvetleri gibi nedenlere bağlıdır. Uğultu olarak algılanan ikinci ses ise o an moment akışında

bulunan dişlilerin yarattığı sestir ve seçilen vites kademesine bağlıdır. Dişli kuvvetlerinin sebep olduğu titreşimler mil ve yataklar vasıtasıyla vites kutusuna iletir ve gövde panellerinin titreşimiyle gürültü oluşturur.

Yol bozukluklarının yutulması amacıyla tekerlekler taşıta oynak kollar ve yay-sönüm elemanlarıyla bağlanmıştır. Seyir stabilitesi açısından sert olması istenen bu elemanlar, titreşim ve gürültü izolasyonu açısından değerlendirildiğinde yumuşak olmalıdır (EROĞLU ve AKTÜRK, 2002).

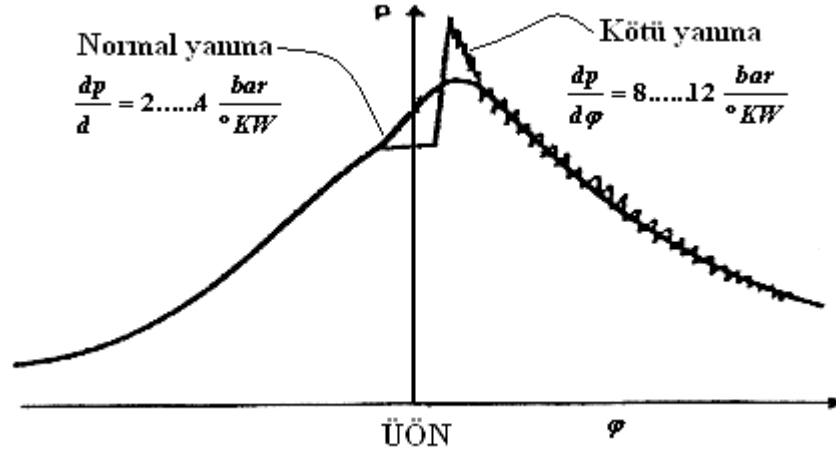
### 1.7.2.2. Yanma Esnasında Gürültü

Yanma esnasındaki gürültü silindirdeki basınç akışı ile ilişkilidir. Şekil 1.11.'de bir otta motorda derece krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncının prensip akışı çizilmiştir. Normal yanmada üst ölü noktaya doğru 2' den 3 bar/°KMA'na kadar artış gösteren bir basınç akışı vardır. Maximum basınca üst ölü noktadan sonra ulaşılır. Vuruntulu yanmada ise basınç hemen üst ölü noktanın önünde keskin bir çıkış gösterir ve bu artış 15 bar/°KMA değerine kadar ulaşır. Burada dikkat edilmesi gereken husus basınca yüksek frekanslı salınımların yüklenmiş olmasıdır.



Şekil 1.11. Otto motorda krank dercesine bağlı yanma basıncı

Diesel motorlarda normal yanmada basınç artışı en çok  $4 \text{ bar}/^\circ\text{KMA}$  değerine ulaşır (Şekil 1.12.). Diesel motorlarda yanma basıncı Otto motorlara göre daha yüksek seyreder. Bu da doğal olarak Diesel motorların daha gürültülü çalışmasına sebep olur.



Şekil 1.12. Diesel motorda krank derecesine bağlı yanma basıncı

Günümüzde genellikle 4 silindirli sıra motorlu araçlarda 2. mertebe kuvvetlerine rastlanır. Taşıt tekniği gelişiminde 2. mertebe harmoniklerine göre çalışılmaktadır. Bu kuvvetlerin oluşturduğu motor hareketleri geniş ölçüde motor yatağı elastikiyeti ile yutulmalıdır. Sadece küçük bir kısmı bu durumda karosere ulaşabilecektir.

### 1.7.2.3. Vites Kutusu Gürültüleri

Vites kutusu gürültüsü takırtı ve uğultu şeklinde tanımlayabileceğimiz iki tipte olur. Bulardan birincisi üzerinde moment bulunmayan dişli gruplarının diş temas değişimi sesidir ve vites kutusu giriş devir sayısı düzgünsüzlüğü, dişli boşlukları, sürtünme kuvvetleri gibi nedenlere bağlıdır. Uğultu olarak algılanan ikinci ses ise o an moment akışında bulunan dişlilerin yarattığı sestir ve seçilen vites kademesine bağlıdır. Dişli kuvvetlerinin sebep olduğu titreşimler, mil ve yataklar vasıtasıyla vites kutusuna iletir ve gövde panellerinin titreşimiyle gürültü oluşur (EROĞLU ve AKTÜRK, 2002).

#### 1.7.2.4. Soğutma Sisteminin Gürültüsü (Fan gürültüsü)

Motor suyunun soğutulması amacıyla kullanılan fanın gürültüsünü azaltmak için pervane kanatlarının asimetrik tasarlanması ve iyi dengelenmesi gibi önlemler alınmalıdır.

Ana gürültü, fan içindeki sese sebep olan değişken basınçlar ve girdaplardan oluşur. Buna bir de radyatör gövdesine çarpıp ortaya çıkan sekonder hava sesi olan akım gürültüleri eklenir. Her pervane devri  $n$  için bir temel salınım ve buna bağlı harmonik salınımlar hareket alır. Bunların frekansları ise temel frekanstan kat kat fazladır.

Toplam gürültüde pervanenin payının çokluğu göz önüne alınarak, motorun fazla ısınması ile ancak soğutma sistemi çalıştırılır ve bu işlem bazı taşıtlarda çift basamaklı olarak yapılır.

#### 1.7.2.5. Egsoz Gürültüleri

İyi tasarlanmamış bir egsoz sistemi en önemli gürültü kaynağıdır. Egsoz gürültüsünün araçlardan yayılan toplam gürültüye payı, araç ve kullanılan susturucu tipine bağlı olarak değişmekle beraber, %40 mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, motorlu araçlardan yayılan gürültünün azaltılması için üzerinde çalışılması gereken önemli konulardan bir tanesi de egsoz sistemi olmaktadır. Şekil 1.13. 'de tipik bir egsoz sistemi görülmektedir.



1-Ön boru 2- Ön susturucu 3-Ön bağlantı borusu 4-Merkezi susturucu 5-Arka bağlantı borusu 6-Arka susturucu 7-Kuyruk Borusu

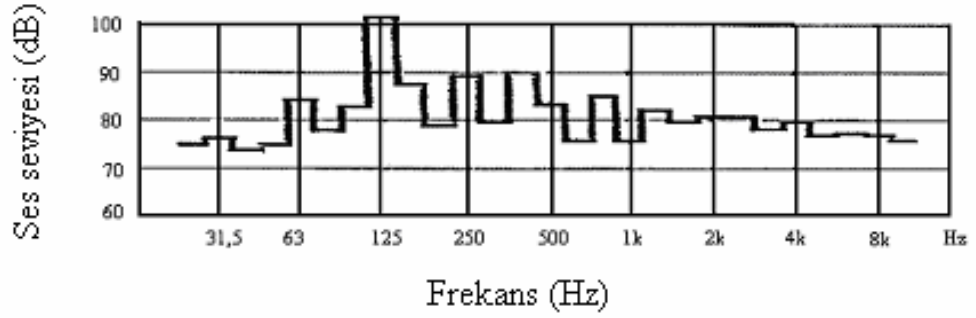
Şekil 1.13. Egsoz sistemi

Egsoz sisteminin esas görevi, yanma sonrası oluşan gazları en az kayıpla atmosfere atmak, diğer bir görevi ise motordan gelen gürültünün çevreye yayılmasını önlemektir. Söz konusu görevleri oluşturan bu iki olay birbirine zıt yönde etki ederler. Gürültünün düşürülmesi demek gazın bir iş yapması demektir. Bunun sonucu olarak basınç kaybı ortaya çıkar ki bu da motor performansında azalma demektir. Bu nedenle iyi bir egsoz tasarımında, gürültü azaltılması ile motor performansı ve yakıt ekonomisi arasında optimum bir noktayı bulmak gerekir (ÖGE ve ÖĞÜT, 1998).

Aşağıda belirtilen kısmi gürültü seviyeleri egsoz sistemlerinin toplam gürültü miktarını meydana getirirler:

- 1- Motor-Borular-Susturucu sisteminde meydana gelen basınç değişimleri ve akım olaylarının oluşturduğu (primer hava sesi olarak) egsoz sistemi çıkış ağzı gürültüsü,
- 2- Susturucu çeper yüzeyini, hava yoluyla yayılan seslerle titreşimi ve bunun sonucunda sekonder hava sesi olarak egsoz sisteminin diğer kanal yüzeylerinde meydana gelen üst yüzey gürültüsü,
- 3- Motordan egsoz sistemine diğer imal parçalar vasıtasıyla (katı cisim yoluyla iletilen sesler) ulaşan seslerin sekonder hava sesi olarak egsoz sistemi borusu üst yüzeyinde oluşturduğu gürültü.

Esasen egsoz sisteminde gürültüye sebebiyet veren fiziksel mekanizma egsoz sübaplarının açılımlarında silindir içindeki yüksek basınçtaki yanmış gazların yaptığı genişleme işlemidir. Bu durumda ortaya çıkan basınç darbeleri egsoz sisteminde sayısız refleksin altında gerçekleşir. Yukarıda belirtilmiş olan kısmi gürültülerin frekans spektrumları oldukça geniştir. Şekil 1.14.' de buna örnek olarak sabit devirli bir motorda egsoz çıkış gürültü frekansları verilmiştir.



Şekil 1.14. Egsoz çıkışında ses seviyeleri

Burada görülen, ortalama 125 Hz' lik egsoz frekansında seviyenin 100 dB' nin üzerine çıkmış olduğudur. Genel olarak bu frekansların 12 kHz' e kadar ulaştığı bir gerçektir. Bu bölgede motor temel frekans salınımlarının yanında ileri-geri hareket eden reflekte olan dalgaların oluşturduğu kısmi frekansların varlığı gözden kaçırılmamalıdır.

Akustikte egsoz sisteminin ana görevi, genişleme esnasında atık gazların oluşturduğu gürültüyü etkili biçimde azaltmaktır. Bu durumda göz önüne alınması gereken noktalar şunlardır:

- 1- Egsoz susturucu ve borularının oluşturduğu karşı basınç motorda önemli güç kayıplarına yol açmamalıdır.
- 2- Egsoz sistemi korozyon ve mekanik salınımlara dirençli, uzun ömürlü olmalıdır.
- 3- Egsoz sistemi hafif, küçük ve mümkün olduğunca ucuz olmalıdır.

#### 1.7.2.6. Tekerlek-Yol Gürültüleri

Taşıtların şehir içindeki düşük hızda ve ivmeli hareketlerinde; motor, aktarma organları ve egsoz sistemi gürültüleri en önemli gürültü kaynaklarını oluştururken, yüksek hızlı otoyollarda lastik yol etkileşiminden kaynaklanan gürültü en yüksek gürültü emisyonunu oluşturmaktadır. Genel olarak, dizel motorlu büyük kamyonlar hariç bütün taşıtlarda 100 km/saat ve üzeri hızlarda lastik-yol gürültüsü en etkin gürültü kaynağıdır.

Modern küçük taşıtlar için bu değer 60 km/saat seviyesine kadar düşmektedir. Islak zeminde ise aynı lastik gürültüsü seviyesi daha düşük hızlarda oluşmaktadır.

Lastik yol gürültüsü taşıtların iç gürültü seviyesi ve sürüş konforu üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Taşıt iç gürültü seviyesini temel olarak lastikler, aktarma organları ve süspansiyon sistemi titreşimlerinin ortak etkisi belirlemektedir. Tekerlek yol temas yüzeyinde bulunan profil elemanlarının boylarının kısalmasıyla, profiller arasında bulunan hava sıkışmaya uğrar. Sıkışma sonucu bu hava, lastik profilleri arasındaki kanallardan ve yol kaplamasının gözenekleri arasından kaçmaya zorlanır. Profil elemanları temas yüzeyinin arkasında serbest kalırken, profil elemanlarının uzunluklarının tekrar artmasıyla profiller arasında oluşan vakumun da etkisiyle bu sefer ters yönde bir hava hareketi oluşur. Profil elemanları arasında oluşan bu hava hareketleri, yüksek frekanslı bir gürültüye sebep olur (1000 Hz'den fazla). Bu olaya "hava pompalama" denir. Havanın pompalanması sonucu oluşan bu gürültü; profillerin cinsine, geometrisine ve yol kaplamasının özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Lastik gürültüsü oluşumundaki bir diğer etken de, temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında, yol yüzeyi ile eğri lastik yüzeyi arasında bulunan havada oluşan rezonanstır. Bu hava rezonansları oluşan gürültünün artmasına neden olur. "Horn effect" olarak adlandırılan bu etkinin en belirgin olduğu bölge, 700-1000 Hz aralığıdır. Akustik yutturuculuğu yüksek olan yüzey kaplamaları bu etkiyi azaltmaktadır. Lastik profilleri ile yol yüzeyinin çarpışmaları ve yol kaplamasının pürüzlülüğü, lastik profillerinin titreşmesine ve belli bir gürültü oluşmasına neden olur. Lastik yanaklarının bu titreşimleri, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağı olarak kabul edilmektedir. Eğer lastik sırt yüzeyinde çevresel düz kanallar bulunuyorsa, bu kanalların temas yüzeyinde bulunan kısımları oluşan gürültüyü artırıcı etkide bulunabilir. Tekerleğe uygulanan tahrik ve fren momentleri, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum lastik-yol gürültüsünü büyük ölçüde arttırmaktadır. Radyal yapılı lastikler, çapraz katlı lastiklerden 1-3 dB kadar daha sessizdir. Lastik karkasının katılığı artırılarak lastik yanaklarının titreşimi kontrol edilebilmektedir. Lastik taban genişliği arttıkça profil elemanlarının sayısı da arttığı için



gürültü seviyesi daha fazla olmaktadır. Tekerlek çapının artışı ise gürültü seviyesinin azalmasına neden olmaktadır.

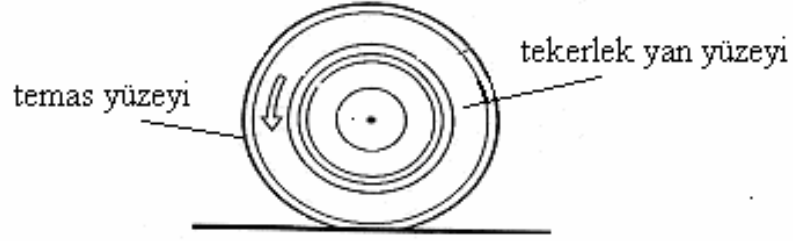
Yüzey pürüzlülüğü ve gözeneklilik, genel olarak lastik-yol gürültüsünün azalmasına neden olur. Gözenekli zeminler üzerinde, pürüzlülük sebebiyle artan lastik titreşimleri düşük frekanslı bir gürültü oluşturmaktadır. Mekanik katılık arttıkça genel olarak gürültü seviyesi de artacaktır. Tekerlek yükünün artması gürültü seviyesinin artmasına sebep olmaktadır. Lastik basıncının artması sert lastik etkisi yaratır ve özellikle yüksek frekanslı gürültü seviyesinin artmasına neden olur. Ancak lastik basıncının nominal değerleri dahilinde yapılan değişikliklerde bu artış oldukça az ve önemsizdir. Islaklık, genel olarak lastik gürültüsünü arttırmaktadır. Bu artış miktarı, lastik ve yol kaplaması yüzey özelliklerine ve araç hızına bağlıdır (BAY ve GÜNEY, 1998).

Yolun tek veya çift yönlü olmasına, şerit sayısına, orta refüjde engel olmasına vb. göre gürültü seviyelerinde farklılık görülmektedir. Yoldaki aşağı doğru eğimin ise gürültü seviyelerinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (ALEXANDRE, 1975). Yol kaplama malzemelerinin dokusu, boşluk oranı, yoğunluğu, yüzeyin kuru ya da ıslak olması gibi nedenlere bağlı olarak farklı davranışlar da görülmüştür (BARENEK, 1974; 1993).

#### **1.7.2.6.1. Tekerlek Salınımları**

Taşıt yolunun düzgün olmaması sonucu oluşan salınımlar özellikle tekerlek hareket yüzeyi çevresinde ortaya çıkarlar. Profiller, tek tek periyodik hareketler yaparlar ve profiller arası bölgeciklerdeki havanın titreşimine yol açarlar. Bu salınım halindeki hava, ıslık benzeri yüksek frekanslı bir gürültü oluşturur ve bu olaya “hava rezonans yayılımı” adı verilir. Hava sütunlarının boyu ton miktarı üzerinde önemli olduğu için oluşturduğu gürültü spektrumu profil şekline bağlıdır.

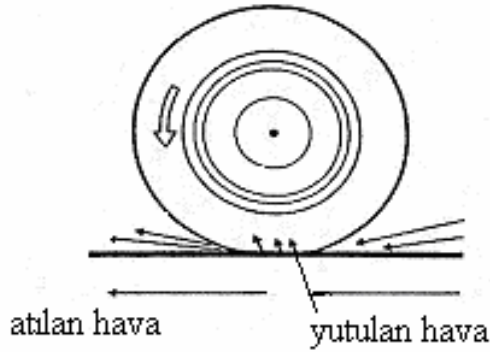
Şekil 1.15.’ de titreşimlerin olduğu tekerlek kısımları gösterilmiştir. Yol bozukluklarının yutulması amacıyla tekerlekler, taşıta oynak kollar ve yay-sönüm elemanlarıyla bağlanmıştır. Seyir stabilitesi açısından sert olması istenen bu elemanlar, titreşim ve gürültü izolasyonu açısından değerlendirildiğinde yumuşak olmalıdır.



Şekil 1.15. Titreşimlere maruz tekerlek kısımları

### 1.7.2.6.2. Tekerlek Temas Yüzeyinde Hava Hareketleri

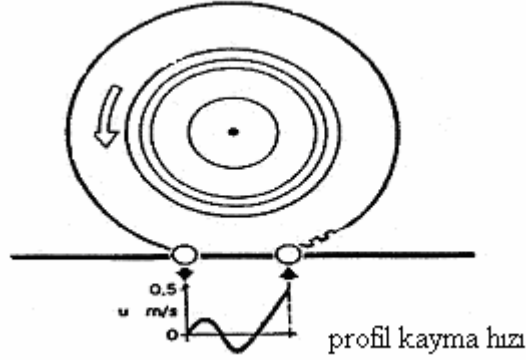
Şekil 1.16.' da kaplamayla temas yüzeyinde hava hareketleri gösterilmiştir. Yol pürüzleri ve pürüzlerin boşluklarından geçen hava, yine sol tarafta bu boşluklardan dışarıya atılmaktadır. Sağ tarafta ise havanın profillerce emilmesi görülmektedir.



Şekil 1.16. Tekerlekte hava hareketleri

### 1.7.2.6.3. Kayma Olayları

Profil elemanlarının kayması esnasında da gürültüler meydana gelir. Fakat bu olay sadece tekerlek-yol temas yüzeyinde olacaktır.

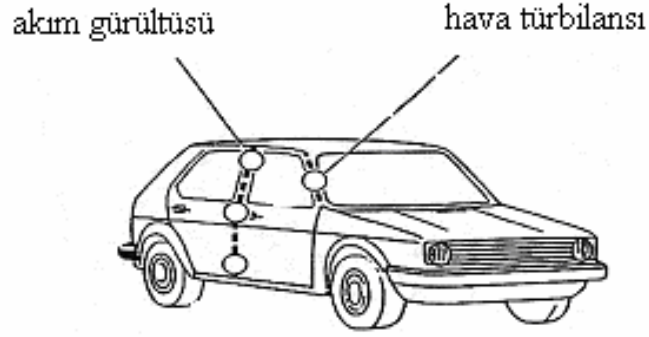


Şekil 1.17. Tekerlek profil elemanlarının kayma olayı

Tekerlek saat yönünün tersine belirli bir çevresel hızla döner. Şeklin alt kısmına dikkat edilirse temas yüzeyinde kayma hareketi yapan bir profil elemanının relatif hızı verilmiştir. Profil elemanının hızı, hareket yüzeyi yönünde pozitiftir yani tekerlek hızının tersi yönündedir. İlk esnada eleman sağa doğru kaymaktadır. Yaklaşık dönme noktasının altlarında relatif hızı sıfır olmakta, durmakta ve ardından hareket yüzey hızının tersi yönünde hareket etmektedir.

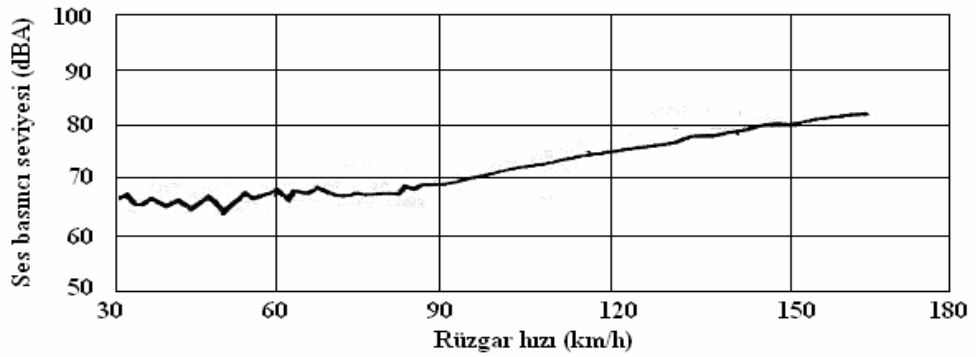
#### 1.7.2.7. Rüzgar Gürültüsü

Rüzgar gürültüsü de ancak yüksek hızlarda önemli olmaktadır. Taşıtın dış gövdesindeki hava akışı ve türbülanslardan oluşmaktadır. Taşıt aerodinamiği düzeldikçe seyir rüzgarı gürültüsü de azalmaktadır (EROĞLU ve AKTÜRK, 2002). Rüzgar gürültüleri kabin dışından çok, kabin içi gürültülere sebep olurlar. Taşıt hareket halinde iken oluşan rüzgar sebebiyle karoserin kenarları ve duvarlarında hava akım ve girdapları oluşur. Bunlar yüksek frekanslı gürültülerin nedenleridir. Hava akım ve girdaplarının oluşturduğu türbülanslar Şekil 1.18.' de karoser üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Rüzgarın oluşturduğu gürültüler

Rüzgar gürültüleri, hızın karesi ile yaklaşık olarak artış gösterir. Yüksek hızlarda bu yüzden büyük değerlere ulaşır. Çoğu zaman tam oturtulmamış kapılar yüzünden kabin içine ses yolları açılmış olur. Bu durum, taşıtın hızına bağlı motor ve yuvarlanma gürültüleri ile beraber incelenmelidir. Rüzgar gürültüsü, duran araçta rüzgar kanalları üzerinden yapılmaktadır. Bu durumda diğer gürültü kaynakları doğal olarak etkisizdir. Şekil 1.19' da kabin içi gürültü seviyesinin değerleri rüzgar hızına bağlı olarak orta sınıf bir araçta incelemeye tutulmuştur.



Şekil 1.19. Rüzgar hızına bağlı kabin gürültüsü

### **1.7.2.8. İnsan Kaynaklı Gürültüler**

Bu tür gürültü genelde aracın hatalı kullanılmasından kaynaklanır. Yanlış kullanımlarla ilgili 11 Aralık 1986 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanmış olan Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nden yola çıkılarak aşağıdaki durumlar sunulabilir:

- Hiç kimse susturucusuz veya ses giderici diğer parçaları olmadan bir motorlu kara taşıtı çalıştıramaz veya diğer değiştirme amacı dışında bir motorlu araç veya motosiklet üzerindeki susturucu veya ses giderici parça çıkarılamaz.

- Kamuya açık yerlerde çalıştırılan motorlu taşıtların çıkardıkları gürültüler verilen sınır değerleri aşamaz.

- Bir motorlu araç üzerinde veya içinde korna ile veya ses çıkaran başka bir cihaz ile tehlike uyarısı vasfı taşımayan ses yapmak veya yapılmasına sebep olmak yasaktır (EROĞLU ve AKTÜRK, 2002).

### **1.7.2.9. Hava Filtresi Gürültüsü**

Sistemin hava emme ağzı, filtre haznesi boyun uzunluğu ve filtreye bağlantısı hava akış tekniğine uygun tasarlanmalıdır. Sistem titreşim açısından incelenmeli, hava filtresi haznesi mümkün olduğunca büyük tutularak hava filtresi emme gürültüsü en aza indirgenmelidir.

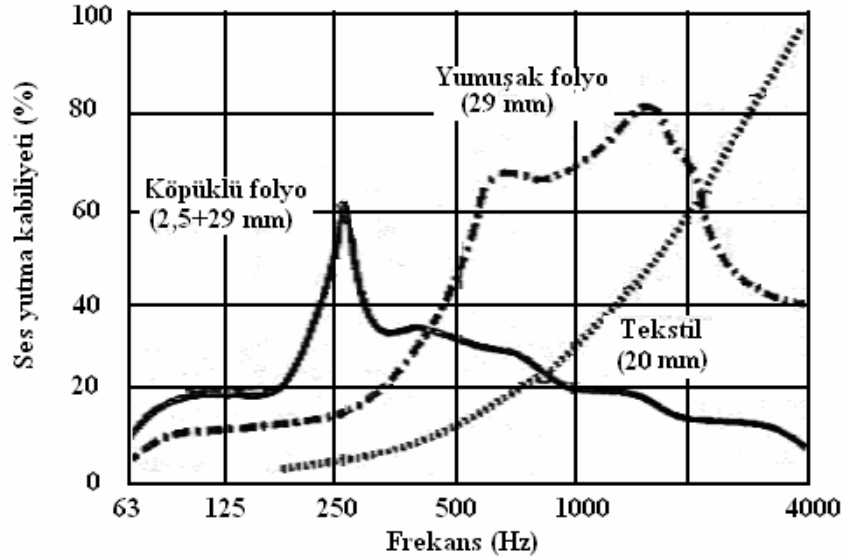
## **1.8. Taşıtta Sese Karşı Korunma**

### **1.8.1. Taşıtta Gürültüye Karşı Korunum**

Taşıt içindeki gürültüye karşı günümüzde aktif ve pasif korunma teknikleri uygulanmaktadır. Burada aktif korunmadan kastedilen, gürültü kaynaklarının ses yaymasını azaltmayı hedefleyen bütün değerlerdir. Konstrüktif ölçümler ve malzeme seçimi bu değerleri temsil eder. Diğer yandan pasif korunmadan anlaşılması gereken, gürültünün algılayıcıya (kişiye) ulaşmaya kadar indirgenmesini amaçlayan uygulamalar bütünüdür. Sesin indirgenmesi taşıt içi duvarlardaki örneğin motor ile kabini ayıran duvardaki, refleksiyonlarda önem kazanır. Titreşim geçişi için refleksiyon ne kadar büyükse ses

indirgenmesi temelde o kadar iyidir. Tabii bu durumda ses empedansı çok kuvvetli değişimler göstermelidir. Ayırma duvarındaki her bir delik sesin azaltılmasını fark edilir fazlalıkta kötü etkiler. Ayırma duvarı için sesin azaltılmasına dair yapılacak konstrüksiyon uygulamalarında bu sebeple bütün deliklerin düzenli bir şekilde doldurulması veya kapatılması gereklidir. Ancak pratikte bu mümkün değildir. Çünkü teknik sebeplerden ötürü bu duvarda gaz pedalı, fren pedalı ve direksiyon mili için pek çok delik bulunmalıdır.

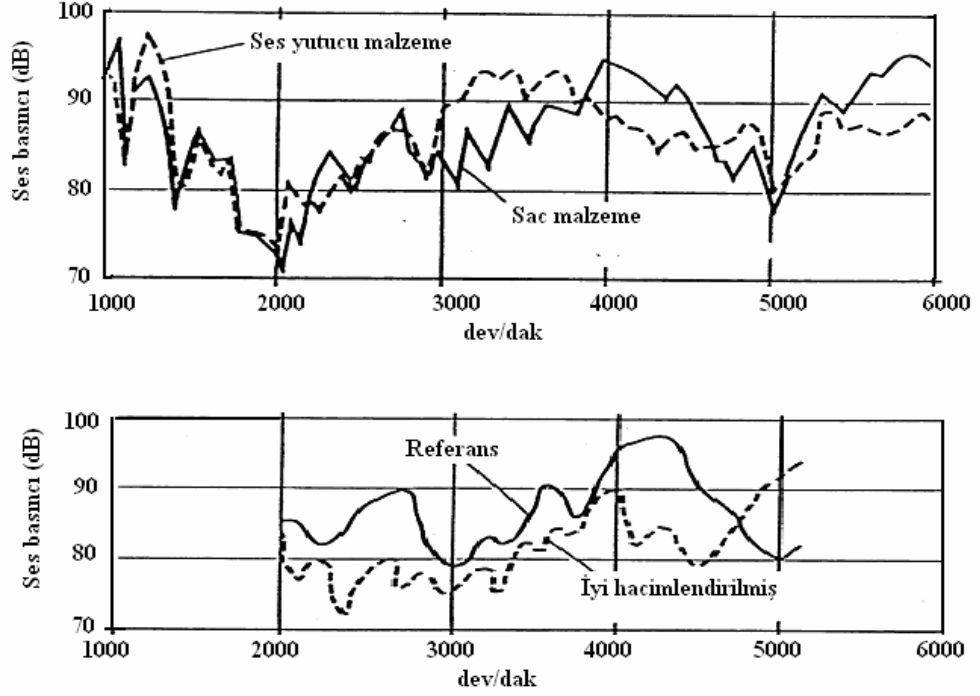
Taşıt içinde ve kısmen motor bölümünde ses yutucu ve yansıtıcı malzemeler bulunmaktadır. Bunlar hem homojen hem de gözenekli materyaller olabilirler. Taşıt tabanına da ses yutucu özelliğe haiz malzemeler yerleştirilir. Bunlar sadece karoserden gelecek ses yansımalarını indirgedikleri gibi diğer yandan taşıt altından gelecek su-çamur çarpma gürültülerini de azaltırlar. Kullanılacak malzemenin ses yutma derecesi kuvvetle frekansa bağlıdır. Bazı malzemelerin yüksek frekanslarda yüksek ses yutma kabiliyetleri vardır ki bunlar uygulamalarda ön plana çıkar (Şekil 1.20.).



Şekil 1.20. Malzemelerin ses yutma kabiliyetleri

Ses yutucu materyaller; çoğunlukla bir kaç katlı değişik ses empedanslarına duyarlı malzemelerden oluşturulur. Sadece malzemenin özelliği değil ayırma duvarının şekli ve

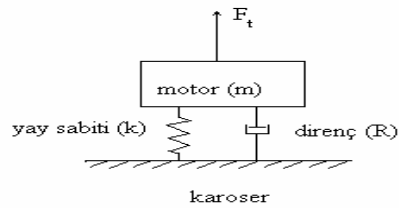
işlenmesi de ses indirgenmesine çok etkir. Şekil 1.21.' de üstte ses yutucu malzemenin, altta konstrüksiyon tipinin kabin gürültüsüne etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.21. Ayırıcı duvarda ses yutma derecesi (farklı iki malzemenin ses seviyeleri)

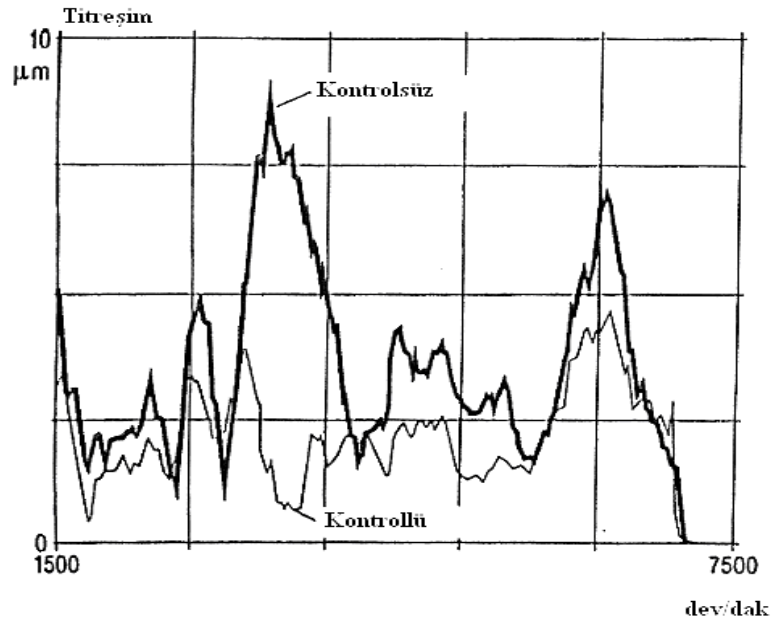
### 1.8.2. Motor Yatağında Sesin Azaltılması

Motordan karosere ses yapı yoluyla iletilir. Bu sesin iyileştirilmesi için motor yatağının ara elemanlarla yerleştirilmiş dizaynı bir çözümdür.



Şekil 1.22. Basitleştirilmiş bir motor yatağı dizaynı

Şekil 1.22.' de motor bir yay ve bir amortisör görevi yapan direnç ile karoserle birleştirilmiştir. Küçük yay sabiti ile salınım kuvvetlerinin karosere iletimi azaltılabilir. Fakat bu çözümde duyma alanı sınırları altı frekanslarda motorun karosere çarpması tehlikesine ulaşılabilir. Tek yataklı motordaki benzer mantıkla, çift yataklı motorlar da düşünülebilir. Bunlarda çift yay, çift direnç ve bir ara taşıyıcı olacaktır. Diğer yandan daha komplike, hidrolik sistemli motor yatakları da mevcuttur. Motor yatakları ile ilgili yapılan dizaynlardan çıkan sonuç şudur: Yüksek frekanslı salınımların karosere ulaşmaması için yaylar mümkün olduğunca yumuşak olmalıdır. Diğer yandan kalkışta yoldan gelen darbelere reaksiyon verebilmek için yerini sabit tutabilmek üzere yeterince sert olmalıdır. Bir başka deyişle motor sistemi ile araç bağlantısı zarar görmemeli ve aynı zamanda motor asla karosere çarpmamalıdır. Ses yalıtımında sürekli yeni teknikler araştırılmaktadır. Henüz çok yeni bir teknik de titreşim kompenzasyonudur (sönümüdür). Kompenzasyon kontrollü ve kontrolsüz iki durum için bir taşıtın tabandaki titreşim miktarları gösterilmiştir.

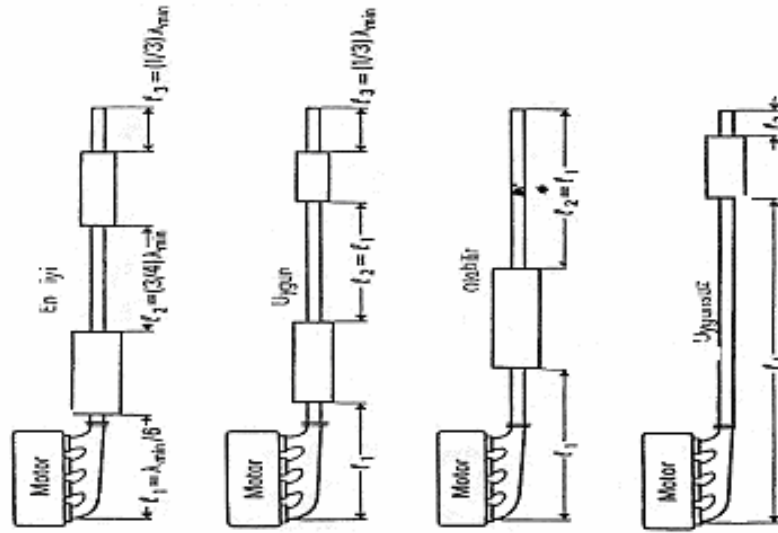


Şekil 1.23. Taşıt tabanında titreşim değerleri



### 1.8.3. Egsoz Sistemindeki Sesin Azaltılması

Susturucusuz bir egsoz sisteminden çıkan gürültü yarım metre gibi bir mesafede yaklaşık 140 dBA seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Günümüz sınır değerleri ise en fazla 100 dBA göstermektedir. Bu durumda sisteme takılacak bir susturucu, en az 40 dBA mertebesinde egsoz çıkış gürültüsünü indirgemelidir. Susturucu olmadan yapılan ölçümlerde gürültü seviyesi motor devrinin artışı ile 110 dBA dan 140 dBA mertebesine kadar ulaşmıştır. Susturucu kullanıldığında ise seviye 40 dBA kadar gerilemiştir. Egsoz sisteminin imal şekilleri de sesin azaltılmasında mutlaka etkindir. Şekil 1.24.' de değişik imalatlar verilmiştir. Çift kısımlı ve tek kısımlı susturucular çeşitli boru boylarında gösterilmiştir. En alttaki sistem az uygun olmalıdır. Uzun boru boylarından dolayı bu sistemlerde motor ile susturucu arasındaki gaz değişimlerinde rezonanslar yüksek değerlere çıkar ve bunlar vuruntu dalgaları oluşturur. Bu durumda susturucu içinde metalik bir vuruntu gürültüsü meydana gelir.

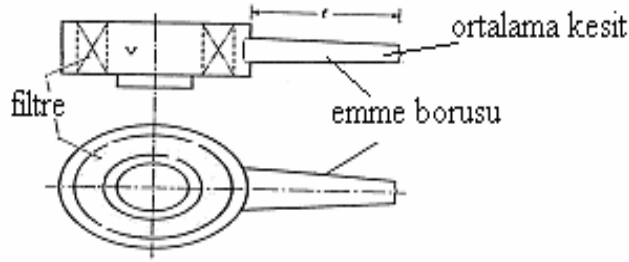


Şekil 1.24. Egsoz sistemlerinde değişik imalat şekilleri

#### 1.8.4. Emme Sisteminde Sesin Azaltılması

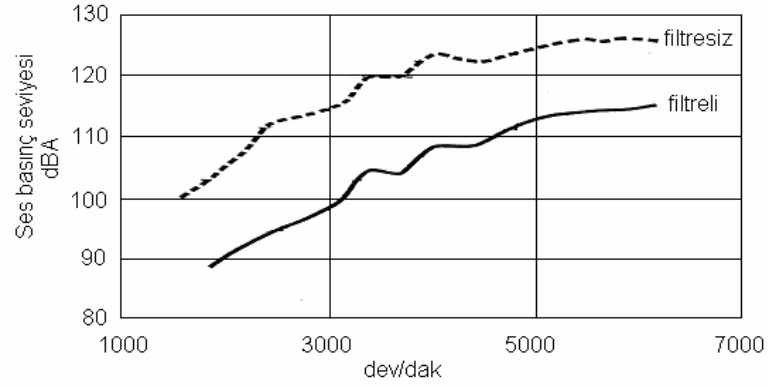
Yanma olayı için motorun ihtiyacı olan emme havasını temizlemek hava filtresinin ana görevidir. Fakat pek bilinmeyen bir diğer görevi de hava akımında motordan yansıyan gürültüyü azaltmaktır. Şekil 1.25' de bir filtre prensip şeması gösterilmiştir. V hacminden, i emme borusu boyundan,  $S_m$  kesit alanından oluşmaktadır. Konik tür borular için ortalama kesit alan  $S_m$  yaklaşık olarak,

$$S_m \approx \sqrt{S_{\max} \cdot S_{\min}} \quad (1.7)$$



Şekil 1.25. Hava filtresi prensip şeması

Şekil 1.26.' da emme sistemi çıkış ağzında ses basınç seviyesinin, motor devrine bağlı durumu gösterilmiştir. Hava filtresiz sistemde ses basınç seviyelerinin hava filtreliye göre 15 ile 20 dBA arası daha yüksek seyrettiği görülmektedir. 6000 dev/dak civarında filtresiz sistemde yaklaşık 130 dBA değerine ulaşılmaktadır ki, bu değer insan kulağı ağrı sınırındır. Hava filtresinin dizaynında dikkat edilmesi gereken; filtrenin artan hacminde, emme borusunun fazlalaşan boyunda ve emme borusunun azaltılan kesitinde, sesin bastırılmasının daha kolay olacağıdır.

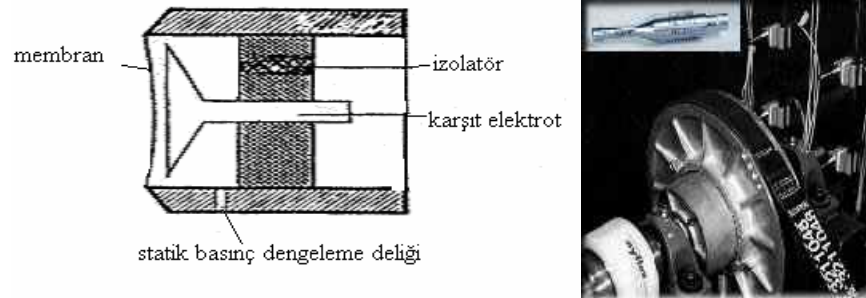


Şekil 1.26. Hava filtresinin emme sistemi çıkış ağzında gürültüye etkisi

## 1.9. Ölçme Aletleri ve Ölçme Sistemleri

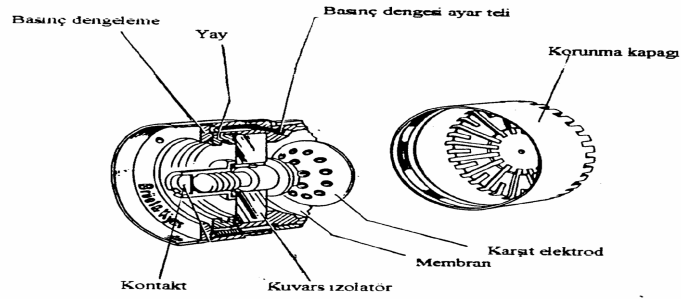
### 1.9.1. Mikrofon

Mikrofon, ses ölçümünde ses basınçlarını algılayan aletlerin ilkidir ve ses basınçlarının elektronik sinyallere dönüşümünü sağlamaktadır. Ses basıncı haritalarının çıkartılmasında, akustik mod analizinde, ses gücünün bulunmasında kullanılır. Günümüzde mikrofonlar IEC 651' e göre imal edilmektedir. Şekil 1.27.' de bu tür bir mikrofonun yapısı gösterilmiştir (Ülkemizde ses seviyesi ölçme aletleri TS 8535'e uygundur). İvmeölçerler ile birlikte kullanıldığında vibro-akustik ölçme sistemleri kurulabilir. Kolay kalibre edilebilir. Bir dizi halinde kullanıldığı zaman ekonomik, hızlı ve güvenilir data toplanabilir.



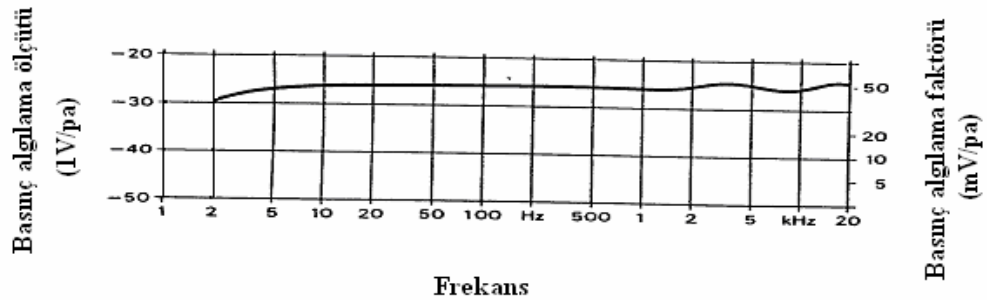
Şekil 1.27. Bir mikrofon yapısı

Mikrofon ince bir metal zardan oluşmuştur. Bu metal zar  $\mu\text{m}$  cinsi çok dar bir mesafede sağlam yapılı bir karşı elektroda monte edilmiştir. Zar ve elektrot yüksek kaliteli bir izolatör ( kuvarstan veya sentetik yakut ) olabilir. Karşılıklı elektriksel yalıtkan kalırlar ve beraber bir kondansatörü oluştururlar. Zar ve karşı elektrot arasında bir gerilim vardır. Kondansatör mikrofon kapsülünün ve buna ait başlığın kesit resmi Şekil 1.28.' de görülmektedir.



Şekil 1.28. Mikrofonun yapısı

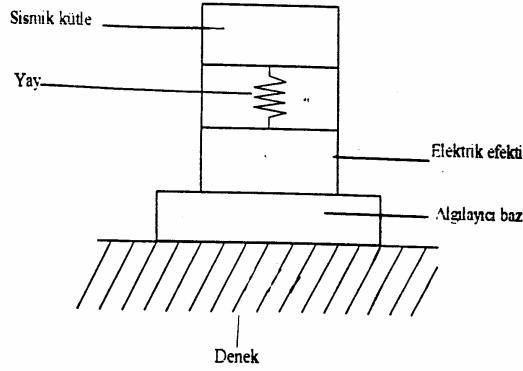
Mikrofon kapsülleri imalat aşamasında yüksek derece ısıda (yaklaşık  $150^{\circ}\text{C}$ ) suni olarak eskitilir. Böylece hassaslıkta uzun zamanlı istikrar elde edilir. İyi bir mikrofon, teknik olarak verilen ısı ve neme kısmen de olsa bir bağımlılık gösterir. Alt frekansının kapsül içindeki durgun basıncı, dış mekandaki basınçla arasındaki denge için gerekli zaman sabitine bağlıdır. Şekil 1.29.' da bir mikrofonun sesi algılama hareketi frekanslara bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Bir mikrofonun sesi algılaması

### 1.9.2. Hız Kaydediciler

Yapı sesi ölçümleri için ve genel olarak salınım ölçümleri için elektromekanik prensibe dayanan hız kaydediciler kullanılmaktadır. Bu tip bir kaydedici Şekil 1.30.' da görülmektedir.



Şekil 1.30. Hız kaydedicilerin yapısı

### 1.9.3. Gürültü Ölçüm Cihazları

Gürültü ölçüm cihazlarının tasarımında, ses kaynağından uzaklaştıkça ses basınç seviyesinde olan azalma hesaba katılmıştır. "Gürültü Seviyesi Ölçer" cihazlarda "A ağırlık devresi" mevcuttur. Bu ağırlık devresi (Ses Frekans Filtresi) ile insan kulağının duyabildiği frekans değerleri arasında iyi bir uyum ve benzerlik vardır.

#### 1.9.3.1. Ses Seviyesi Ölçer

Ses seviyesi ölçmek için yapılmış modern bir alettir. Ses ve gürültünün ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan, taşınabilir, pil ile çalışabilen, elde tutarak kullanılabilen dijital göstergeli bir cihazdır. Hesap işlemleri için mikro teçhizatlarla donatılmıştır. Ses seviyesi sayacı ile frekansı ve zamanı değerlendirilmiş ses basınç seviyeleri incelenir. Bir ses düzeyi ölçer esas itibarıyla; sesi algılayan ve elektrik gerilimine dönüştüren bir mikrofon, mikrofon sinyalini işleyen yükselteç (amplifikatör), filtre ve redresör devreleri ve işlenen sinyalin efektif (rms) değerini ölçerek dB cinsinden gösteren bir göstergeden meydana gelir. Basit ses düzeyi ölçerlerin çoğu aşağıdaki ölçme olanaklarına sahiptirler :

- Efektif değer ölçümünde hızlı (125-200 ms) veya yavaş (500 ms) ortalama süresi seçme olanağı,

- dBA ölçmek için gerekli düzeltme devreleri,

- 120 dB' lik ses basınç düzeyi ölçme aralığı ve bu aralığı, cihaz göstergesinin tam sapmasına karşılık gelen 10 dB lik adımlarla kapsama olanağı,

- Pil durumu kontrolü ve elektrik kalibrasyon imkanları.

Ses düzeyi ölçerlerin kullanımı oldukça basittir. Endüstriyel gürültü ölçümlerinin çoğunda, mikrofonu gürültü kaynağına doğru kendimizden mümkün olduğu kadar uzakta tutarak yöneltmek yeterli olabilir. Ses düzeyi ölçerlerin kullanımı ile ilgili ayrıntılı kurallar imalatçıların tanıtım yayınlarından kolaylıkla öğrenilebilir. Temel yapılan aynı olmakla birlikte ses düzeyi ölçerler, çeşitli değişik standartlara ve performans koşullarına uygun olarak yapılmaktadırlar.

### **1.9.3.2. DSP Serisi Avuç İçi Ses Seviye Ölçerler(DSP 80,81,82 ve 83)**

Ses seviyesi ölçeri genellikle; bir mikrofon giriş kuvvetlendiricisi, frekans değerlendirme filtresi, kadran, zaman değerlendirme vericisi ve bir çıkış göstergesinden oluşur. Ses seviyesi ölçeri, TS 8535' deki özellikleri yerine getirmelidir. Hata sınırları  $\pm 0,7$  dB olmalıdır.

### **1.9.3.3. Soundbook**

Yüksek darbe ve titreşime dayanıklı,  $-20\text{ C}^\circ$  ile  $60\text{ C}^\circ$  derece sıcaklıkta ve 7.5 saatlik pil ömrü ile uzun süreli çalışabilen özel tasarımı laptop sistemiyle 8 kanallı taşınabilir, Titreşim ve Akustik Ölçüm Sistemi' dir. Titreşim ve akustik (gürültü) ölçümlerinde farklı yazılım seçenekleri, gürültüsüz çalışması ve zorlu çalışma ortamlarında dahi sağlıklı veri toplayıp bu verileri işlemeyle beğeni kazanmış bir sistemdir. Titreşim ölçümü, Akustik (ses, gürültü) ölçümü, Modal analiz, Mimari akustik ölçümleri, Araç Geçiş Gürültüsü Ölçümü, Ses Yoğunluğu Ölçümü, Rotor Balans Analizi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

#### **1.9.3.4. DSS Çok Kanallı Dijital Algılama Sistemi**

Sound power ölçümü, yapısal dinamik/modal analiz ölçümleri, akustik holografi, üretim hattı kalite kontrol testleri, titreşim ölçümleri, araç ve motor gürültü ölçümlerinde kullanılmaktadır.

#### **1.9.3.5. LMS Pimento**

LMS Pimento ile veri toplama ve dinamik sinyal işleme, döner makineler üzerinde analizler, yapısal analiz ölçümlerini içeren akustik ölçümler yapılabilir. Kanal sayısı 4 kanaldan 24 kanala kadar genişleyebilir.

#### **1.9.3.6. ViRTe3000+**

Notebook ölçülerinde, ses seviye ölçüm cihazı ve takometre girişli 1/1 ve 1/3 oktav FFT real-time analizörüdür.

#### **1.9.3.7. Diagnostic Instruments**

Diagnostic Instruments; bir çok çeşitte taşınabilir tipte ve FFT spektrum analizörü, son fonksiyon test sistemleri ve işaret/veri toplama enstrümanlarını sunmaktadır. DI taşınabilir enstrümanlar konusunda uzun bir geçmişe sahiptir. Vibrasyon analizör sistemleri, veri toplama ekipmanları dünya çapında bir çok danışman, analist, mühendis ve diğer uzmanlar tarafından kullanılmaktadır. DI analizör enstrümanları; gürültü/vibrasyon analizi, ürün kalite değerlendirmesi ve mekanizma rotasyon koşul değerlendirmesi, Titreşim Analizi ve Makina Durum Değerlendirmesi için tasarlanmıştır.

#### **1.9.3.8. PC-PACK II - OR24 ve OR25**

PC-PACK serisi; çok kanallı, taşınabilir, ekonomik ses ve titreşim analizörleridir. Özellikle Laptop bilgisayarlar ile kullanılmak üzere tasarlanmışlardır.

### **1.9.3.9. OR38**

Ses ve titreşim analizörleri içinde en son teknolojiye sahip olan ve tüm titreşim mühendisliği konusunda toplam çözümü sunmayı hedefleyen bir analizördür. OR38, donanım kaynakları ve analiz kombinasyonlarının artırılabilceği açık bir analiz mimarisine dayanır.

### **1.9.4. İç Gürültü Analizatörü**

Taşıt gürültüleri üzerine hazırlanan raporlar için sinyal analizleri; hareket öncesi, sırası ve sonrası olmak üzere geniş bir çerçevede incelenmelidir. Birçok ölçüm aleti araç hareket halinde iken ölçüm yapamadığı için bu tip bir aletin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Böyle bir alette olması gerekenler ise şunlar olmalıdır:

- Taşıtın ses durumuna tesirinin az olması için hafif olmalı,
- En az iki kanallı ölçme yapılmalı (hem sürücü hem yan koltukta),
- Hareket halinde veriler toplamalı,
- Hareket halinde değerlendirme yapmalı,
- Kolay kullanılabilir olmalıdır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Titreşim ve buna bağlı olarak meydana gelen gürültünün insan üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir:

1. WOWK (1991) yaptığı çalışmalarda; pratikte rotorların asla mükemmel olarak dengelenmiş olamayacağını ortaya koymuştur. Bu konuda; imalat hataları, dönmedeki boşluk oranı, düzgün olmayan kütle dağılımı, imalat toleransı ve çalışma süresince malzemelerin kayıplarını ve kazançlarını sebep olarak göstermiştir. Kütle dengesizliğinin sonucu olarak santrifüj güç üretilir ve bunun da yataklamaya ve sisteme yansıdığı görülür.
2. GÜNEY (1994), motor suyunun soğutulması amacıyla kullanılan fanın gürültüsünü azaltmak için pervane kanatlarının asimetrik tasarlanması ve iyi dengelenmesi gibi önlemler alınması hususunda çalışma yapmıştır.
3. KALKAT (1995), dinamik dengesizliklerin, mekanik sistem titreşimlerine etkisi konusunda bir deneysel çalışma yapılmış ve bu çalışmada dönen elemanlardan kaynaklanan titreşimlerin dengesizlik nedenleri giderildiğinde sisteme etkileyen titreşimlerin 1/5 oranında azaldığı gözlenmiştir.
4. ÖGE ve ÖĞÜT (1998) yaptıkları çalışmaya göre iyi tasarlanmamış bir egsoz sistemi en önemli gürültü kaynağıdır ve yaşanabilir bir çevre için araçlardan kaynaklanan trafik gürültüsünün azaltılması gerekmektedir.
5. AKTÜRK ve ÜNAL (1998) ses, gürültü ve bu unsurların insanlar üzerinde oluşturduğu etkiler ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Ses dalgalarının etkisi ve gürültü olarak adlandırılması sadece sesin şiddetine, tiz ve tok olmalarına ve sürekliliğine bağlı değildir. Ayrıca sese maruz kalan kişinin fiziksel ve ruhsal durumuna da bağlıdır. Bir gürültü ne kadar anlamsız, ne kadar şiddetli, ne kadar düzensiz ve ne kadar ani olursa o kadar rahatsız edicidir. Bununla birlikte, birçok gürültü tipinin kuşkuyla yer vermeksizin herkes tarafından gürültü olarak kabul edileceği açıktır.
6. AKTÜRK ve GÜMÜŞDAĞ (1998) çalışmalarında, gürültünün insanlar üzerindeki fizyolojik etkilerinin başlıcalarının; kas gerilmeleri, stres, kan basıncında artış, kalp

atışlarının ve kan dolaşımının değişmesi, göz bebeği büyümesi ve uykusuzluk olduğunu tespit etmişlerdir.

7. AKTÜRK (2000), gelişmiş ülkelerdeki en önemli sorunlardan biri olan trafik gürültüsünün insan üzerindeki fiziksel etkileri ile ilgili araştırma yapmıştır.
8. TOPRAK ve AKTÜRK( 2001), gürültünün insanlar üzerindeki fiziksel ve psikolojik etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca migren, ülser, gastrit vb. hastalıkların ortaya çıkmasında gürültünün de önemli etkisi olabileceği ileri sürülmektedir. Ancak gürültünün, bu hastalıkların baş göstermesinde doğrudan etkili olduğu henüz kanıtlanmamıştır.
9. KALKAT (2001) yaptığı çalışmada, titreşimlerin yolcu konforu ve insan sağlığına olan etkileri araştırılmış ve titreşimlerin nedenlerinin giderilmesi konusu ele alınmıştır.
10. AKTÜRK ve GÜRPINAR (2001), taşıtların hareketleri sonucu çıkan gürültünün; motor gürültüsü, şasi ve kaportadan kaynaklanan gürültüler, frenlemeden doğan gürültü, tekerleklerin yol yüzeyi ile temasından doğan gürültü ve taşıtın oluşturduğu hava anaforundan ileri gelen gürültü gibi bileşenlerden oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

İnsan sağlığı ve kaliteli yaşam standartlarını öngören günümüz dünyası, taşıtların oluşturduğu gürültünün herhangi bir şekilde kontrol altında tutulmasını ve mümkün olduğunca indirgenmesini istemektedir. Gelişmiş ölkeler; buna istinaden standartlar, yönetmelikler ve yasaklar ortaya koymuşlardır. Taşıtların sebep oldukları gürültüler dış ve iç gürültüler olmak üzere iki çeşitir. Çevreyi rahatsız eden gürültüler dış gürültülerdir. Bu yüzden dış gürültü sınır seviyeleri tespit edilmiştir. Dış gürültünün etkeni olduğu iç gürültüler ise taşıt içi konforumuzu etkiler.

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Sabit Durumda Taşıt Dış Gürültüsü**

Sabit ve çalışan haldeki taşıtta dış gürültü; taşıtın kullanılırken kontrol edilmesinde ve denenen taşıtın parçalarının hasardan, yanlış ayardan ve değişimden ötürü kaynaklanan gürültü seviyelerinin tespitinde kullanılır. Bu husus için ölkemizde TS 9235' e dayalı ölçüm metodu esastır. Bu standart ISO 5130 ile tamamen aynıdır ve egsoz ile motor civarı gürültülerin ölçümünü içerir.

##### **3.1.1.1. Deney Yeri**

Gürültü ölçümünde çevre şartlarının etkisini azaltmak için aşağıdaki şartları sağlayan bir deney yeri kullanılmalıdır. Sıkıştırılmış veya diğer toprak yüzeyle hariç, yüksek akustik yansımaya haiz sert bir malzeme (beton, asfalt) ile kaplanmış herhangi bir açık düz alan uygun deney alanı olabilir. Deney yerinin kenarları, aracın uçlarından en az 3 m uzakta olmalıdır. Deney yerinde, ses seviyesi ölçü aletinin okumasını etkilemesi muhtemel nesnelere bulunmamalıdır. Özellikle, egsoz gürültüsü ölçülmesi esnasında kaldırım ile araba arasındaki mesafe en az 1m. olmalıdır. Ayrıca engel sayılabilecek nesnelere mikrofona en az 3 m' den daha uzak olmalıdır. Ölçmeler, mikrofona yüksekliğinde rüzgar hızı 5 m/s' yi aştığında yapılmamalıdır. Fon gürültü seviyesi deneyde ölçülen seviyelerden en az 10 dBA' dan düşük olmalıdır.

### 3.1.2. Hareket Halindeki Taşıtın Dış Gürültüsü

İnsanları en çok rahatsız eden gürültü, hareketli taşıtın çıkardığı gürültüdür. Bu sebeple trafiğe ilk çıkacak taşıtlarda hareket halindeki gürültüleri ölçülür ve yönetmeliğe uygunluk şartı aranır. Sınır değerler teknoloji ile beraber aşağı zorlanmaktadır. AB ülkelerinde durum böyle iken, ülkemizde daha yüksek değerlere izin verilmektedir. Taşıt hareket halinde iken çıkardığı gürültünün tespiti bir çok ülkede küçük farklarla beraber aynıdır.

#### 3.1.2.1. Deney yeri

Hareket halindeki taşıtın dış gürültüsünü tespit için deney yeri, esas olarak kuru yüzey ve aşırı lastik gürültüsüne sebep olmayacak bir yapıda olmalıdır. Yol merkezinin civarında 50 m' lik bir yarıçap içindeki alan; köprü, bina gibi büyük yansıtıcı cisimlerden uzakta olmalıdır. Deney yolunda merkez ekseninde 20 m' lik bir bölüm asfalt veya beton olmalıdır. Taşıtın hızlanma yerine 50 km/h sabit hızla girebilmesine ve sonra emniyetle durabilmesine uygun mesafe sağlanmalıdır. Rüzgar hızı 5 m/s' den az, çevre gürültüsü ise ölçülen taşıt gürültüsünden en az 10 dBA' dan düşük olmalıdır.

#### 3.1.2.2. Hareket Halindeki Ölçümlerde Çevre Koşulları

Hareket halinde iken kabin gürültüsü ölçümlerinde şu şartlara uyulmalıdır:

- Yansıtıcı nesnelere mesafe en az 20 m olmalıdır.
- Herhangi bir yansıtıcının ya da başka bir gürültü kaynağının seviyesi ölçülecek A değerli seviyemizden en az 10 dBA daha düşük olmalıdır.
- Zeminden 1.2 m yükseklikteki rüzgar hızı 5 m/s' nin altında olmalıdır.
- Dış ortam sıcaklığı -5 ile +35 arasında olmalıdır.
- Zemin düz, sert, eğimsiz ve temiz olmalıdır.
- Taşıt lastikleri yeni ama en az 300 km kullanılmış olmalı, pencere ve hava delikleri taşıtta kapalı olmalıdır.

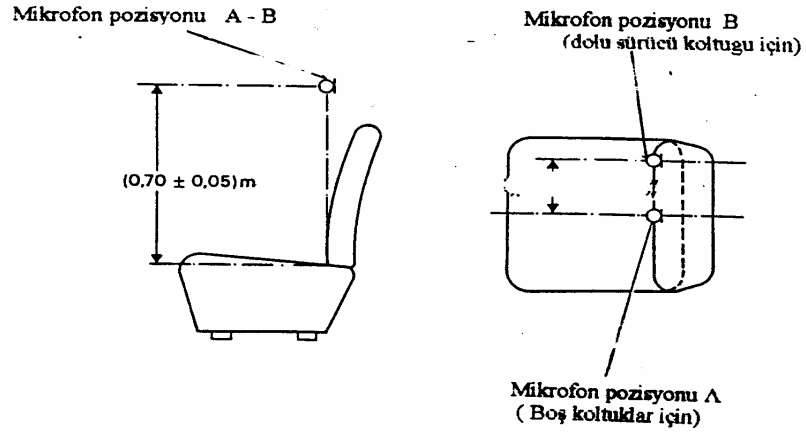
### 3.1.3. Taşıt İç (kabin) Gürültüsü

Kabin gürültüsüne dair sadece kurallandırılmış, basit bir ölçüm metodu günümüzde uygulanmaktadır. Taşıtlardaki iç gürültü ölçümü ISO 5128-1980(E)' e göre yapılmaktadır .Bu uluslararası standarda uygun yapılacak ölçümler, yolda kullanım amaçlı her çeşit motorlu taşıt (hem sabit hem de hareket halindeki) içindeki gürültü seviyeleri ve gürültü dağılımları (spektrumları) ölçümlerinin şartlarını tayin etmektedir. Standartta ölçümü yapılan taşıtların durumu; çevre, yol, hava ve sürüş şartları, ölçüm cihazlarının şartları gibi taşıtlardaki iç gürültünün belirlenmesi için yapılan deneylerle ilgili şartlar yer almaktadır

Ülkemizde kabin gürültüsü ile ilgili tek yönetmelik maddesi, gürültü kontrol yönetmeliğinde (Başbakanlık, Resmi Gazete, 11 Aralık 1986) vardır.

#### 3.1.3.1. Mikrofon Pozisyonu ve Yerleştirilmesi

Kabin içinde mikrofonun yeri kritik öneme sahiptir. Çünkü gürültüsü seviyesi yere bağımlı değişkendir. Şekil 3.1.' de normlandırılmış mikrofon pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İç gürültü deneyleri için mikrofonun yerleştirilmesi

Ölçümler yaklaşık olarak kabin içindekilerin kulak hizalarında yapılacaktır. Bu durumda mikrofon yüksekliği koltuk üzerinden 0,7 m civarında olacaktır. Yanal olarak da sürücü sırtı ortasından 0.2 m kenara gelecek şekilde mikrofon yerleştirilecektir. Boş

koltuklarda ise koltuk ortası hiza alınacaktır. Kabin gürültüsü yere bağımlı olduğu için içindekilerin kulak seviyelerinde minimum değer ortaya çıkacak şekilde, iç gürültü optimasyonu uygulanacaktır. Kabinin doluluğuna bağlı olarak ses basınç seviyesi dağılımı ve bununla beraber kabin gürültüsü değişecektir. Fakat deneylerde sürücü dışında kimseye mücade verilmediği için kabin gürültüsüne sadece sürücü etken olacaktır.

### **3.1.4. Kabin Gürültüsü Tespitinde Kullanılacak Ölçüm Cihazının Özellikleri**

Kabin gürültüsünün ölçümünü yapacak cihazda şu özellikler aranmalıdır:

- Ses seviyesi ölçeri IEC 651' de tarif edilen 1. tip cihazların özelliklerine sahip olmalıdır. Referans koşullardaki hata sınırları 0.7 dB olarak belirtilir.
- Mikrofon küresel bir forma haiz olmalıdır.
- Hız ve devir sayısı ölçümleri için hata payı %3' den az olmalıdır.

Ölçüm esnasında kullanılan bütün aletler, ölçümden önce ve sonra kontrol edilmeli ve en geç her iki yılda kalibre edilmelidir.

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. Sabit Durumda Taşıt Dış Gürültüsü Deney İşlemi**

Her ölçme işlemi konumunda en az üç ölçüm alınmalıdır. Birbiri ardına yapılmış olan üç ölçme arasındaki fark 2 dBA' dan az ise ölçümler geçerli kabul edilir. Aritmetik ortalamaları sonuç olarak alınır. Taşıtlar; ölçme alanının ortasına, vitesi boşta ve el freni çekilmiş olarak bırakılmalıdır. Her ölçme motor normal sıcaklığında iken yapılmalıdır. Taşıtlar viteste bırakılır ise ölçme; önden tahrikli araçta ön tekerlekler, arkadan tahrikli araçta ise arka tekerlekler havaya kaldırılmak suretiyle yapılır.

#### **3.2.1.1. Egsoz Gürültüsü Ölçümü**

Zeminin üstündeki mikrofonun yüksekliği egsoz gazlarının çıkış ağzı seviyesinde olmalı, ancak herhangi bir durumda 0.2 m' den daha küçük olmamalıdır. Mikrofon, çıkış ağzına doğru işaretlenmeli ve sonrakinden 0,5 m' lik bir mesafeye yerleştirilmelidir. Ses

ölçeri imalatçısı tarafından başka bir şey önerilmedikçe açık alan şartları için bunun referans eksen (TS8535) yere paralel olmalı ve gaz akış yönünü ihtiva eden dikey düzlem ile  $45^\circ(\pm 10^\circ)$  bir açı yapmalıdır. Motor en büyük gücü veren devir sayısının  $3/4$ ' üne ulaştığında, gaz kelebeği aniden kapatılır. Bu sırada ölçülen en büyük ses seviyesi esas olarak alınır. Bulunan egsoz gürültü değeri, referans değerinden 5 dBA' dan fazla farklılık gösterirse uygunsuz kabul edilir.

### 3.2.1.2. Motor Gürültüsü Ölçümü

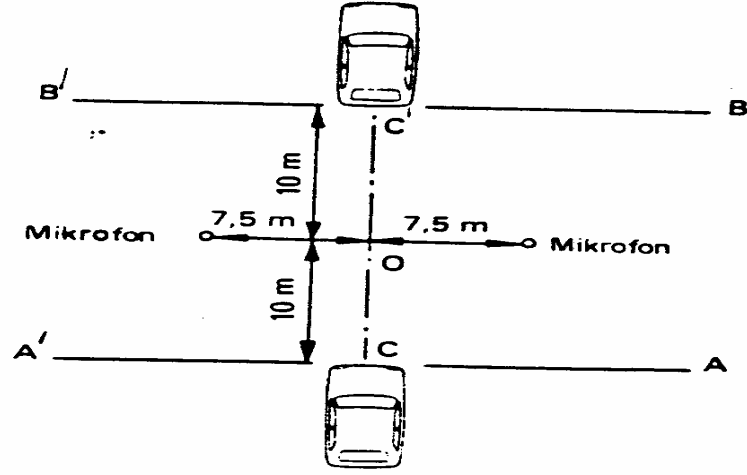
Ölçüm işlemi için mikrofona zeminden 0.5 m yüksekte olmalıdır. Direksiyon, konumun aksi tarafından tekerlek dış kenarından 0.5 m uzakta motorun bulunduğu aks hizasında yerleştirilmelidir. Motor rölanti konumunda iken benzinli motorda en büyük gücü veren devir sayısının yarısına ulaşıncaya kadar gaz kelebeği açık tutulur ve bu sürede ölçme işlemi yapılır. Dizel motorlarda ise en büyük gücü veren devir sayısına ulaşıncaya kadar gaz kelebeği açık tutulur ve o esnaya dek ölçüm yapılır. Maksimum değer esas gürültü değeri olarak alınmalıdır. En az üç ölçüm yapılmalıdır. Farkları 2 dBA' dan az ise ölçmeler geçerlidir. Aritmetik ortalamaları alınır.

### 3.2.2. Hareket Halindeki Taşıtın Dış Gürültüsü Deney İşlemi

Deney yolu üzerinde  $CC'$  eksenine göre mikrofona 7.5 m mesafede olmalıdır. Mikrofona yüksekliği ise 1.2 m olmalıdır. Ses ölçerler TS 8535' e göre seçilir.

Taşıt, deney yoluna ( $AA'$ ) maksimum gücüne ait devir sayısının  $3/4$ ' üne ulaştığı andaki hızı ile girer. Fakat o andaki hız max. 50 km/h alınır. Taşıt önü  $AA'$  çizgisinden taşıt arka ucu  $BB'$  ' ye ulaşıncaya kadar, tam yük hızlanma sağlanır. O andan sonra hızlanma kesilir (Şekil 3.2.).

Taşıt vites kutusu dört kademeli ise ikinci viteste veya fazla kademeli ise; iki ve üçüncü viteste deney gerçekleştirilir. Geçiş anında en yüksek gürültü değerleri kaydedilir. Her iki tarafta taşıt için en az iki ölçüm yapılır. Farkları 2 dBA' dan az ise sonuçlar geçerlidir.



Şekil 3.2. Ölçmeler için mikrofon yapısı

### 3.2.2.1. Deney İşlemi Zorlukları

Deney işleminde bir dizi ölçüm sapmaları ortaya çıkacaktır. Geçiş esnasında yaşanabilecek problemler şöyle sıralanabilir.

- Deney yoluna giriş hızı
- Hızlanmaya başlama noktası
- Taşıt hızlanma kabiliyeti
- Yol üzerindeki taşıt sapmaları
- Meteorolojik sebepler

Bu problemlerin oluşturduğu sapma payları bir geçiş için  $\pm 1.1$  dBA -  $\pm 1.4$  dBA değerlerine ulaşabilir. Halbuki 70/157 EEC' ye göre hata toleransı + 1 dBA. Farklı deney yolları itibarıyla ölçümlere +1 dBA daha eklenecektir. Pratik toplam sapma miktarı 1-2 dBA değerlerinde düşünülür.

### 3.2.2.2. Sabit Hızlarda Ölçüm Metodu

60 km/h veya maksimum hızın % 40' ı olan hızdan küçük olanı tercih edilerek 120 km/h hız veya maksimum hızın %80' i olan hızdan küçük olan hıza kadar ölçümler alınır.



Eşit aralıklarla minimum 5 ölçüm yapılır. Vites kademesi, hız bölgesinde değiştirmeye gerek duyulmayacak en yüksek çevrim oranında olmalıdır.

Ortaya çıkan A-değerli 5 ses basınç seviyesi V/V max. apsisli , LA ses seviyesi ordinatlı koordinat sisteminde yerlerine noktalanır. Bu noktalar dikkate alınarak, en küçük hatalar metoduna uygun olarak bir doğru çizilir. Burada maksimum hızdaki seviyesi okunur. Eğer bu değer, diğer hızlardaki ses seviyelerince 3 dBA mertebesinde geçilmiyor ise, geçerli maksimum iç gürültü seviyesi olarak kabul edilir.

### **3.2.2.3. Tam Gaz İvmelenmede Ölçüm Metodu**

120 km/h' lik bir hız geçilmemek şartıyla en üst vites kademesinde yapılır. 0.45 s içindeki başlangıç devrinden süratle tam gaz pozisyonuna gelinmelidir. Bu olay 0.9 s içinde ya da 120 km/h hıza kadar gerçekleştirilir. Bütün taşıtlarda uygulanabilir.

Görüleceği gibi bu uluslararası standartta bir hız aralığındaki iç gürültü değişimi açıklanmaktadır. Bir yönetmelik sınır değerine tekabül edebilecek tek bir gürültü yoktur. Bu şunu göstermektedir; bir sınır değer tarif edilecekse, bu gürültünün hangi sabit seyir hızına ait olduğu da tarif içinde yer almalıdır.

### **3.2.3. Uygulamalardaki Ölçüm Metodu**

Uygulamalarda; Ford Focus, Ford Connect, Fiat İdea, Fiat Albea ve Renault-Toros, gibi farklı model araçlar üzerinde, IEC 651 1. tip ses ölçüm cihazı ile ISO 5128-1980(E) standardına uygun asfalt ve stabilize yol şartlarında değişken devir sayıları dikkate alınarak iç gürültü seviyeleri dBA türünden ölçülmüş ve elde edilen değerler tablo halinde değerlendirilerek sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Gürültü ile İlgili Mevzuat

Gürültü kirliliği ile ilgili konuların doğrudan yer aldığı mevzuatın dışında, diğer sorunların yanı sıra dolaylı olarak gürültü önlemleri, denetimler ve sorumluluklar ile ilgili genel maddeleri kapsayan farklı konumlardaki mevzuat da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

2872 Sayılı Çevre Kanunu, 1983

Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986

Türk Medeni Kanunu, 1926; 661. Maddesi

765 sayılı Türk Ceza Kanunu, 1926; 546. Maddesi

1593 Sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu, 1930; 268, 269, 274 Maddeleri

2559 Sayılı Polis Vazife ve Salahiyetleri Kanunu, 1934; 14. Maddesi

1580 Sayılı Belediye Kanunu, 1930 ve buna dayalı olarak çıkarılan Belediye Sağlık Zabıta Talimatnamesi 4. Bölüm 1. Maddesi

İstanbul Belediye Zabıta Talimatnamesi, 1961; 1. Bölüm 3. Maddesi ve 2. Bölüm 3. Maddesi

1475 Sayılı İş Kanunu, 1971; ve bu kanun uyarınca çıkarılan İşçi Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü, 1973; 22, 87 ve 525. Maddeleri

6785 Sayılı İmar Kanununun ve İmar Nizamnamesine dayalı olarak çıkarılan Organize Sanayi Bölgesi Talimatnamesi, 45. ve 60. Maddeleri

Karayolları Trafik Kanunu, 1983; 30. Maddesi

“Akustik“ başlığı altında yer alan Türk Standardları

11 Aralık 1986 tarih ve 19308 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre taşıtlardaki maksimum gürültü seviyeleri:

Çizelge 4.1. Sabit durumda taşıt dış gürültüsü

Taşıt Türü	Üst Gürültü Seviyesi (dBA)
Otomobil	75
Otobüs (Kent içi)	85
Otobüs (Kent dışı)	80
Ağır müteharrik araç (sürücü kabininde ve kamyon 80 km/h durumunda)	85
Lokomotif içi (Dizel motorlu tam güçte ve yükte çalışırken hızı 80 km/h)	85
Elektrikli tren lokomotifi yükte çalışırken hızı	80
Vagonların İçinde	70

Ülkemizdeki metot TS 2214 ile tarif edilmiş olup, bu standart ISO362-1981 ve ECER\_51(Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu) ile tamamen aynıdır. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı' nın 92/109-110 nolu tebliği ile ülkemizde trafiğe ilk çıkacak taşıtların azami dış gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Avrupa Birliği' nde halen 92/97/EEC geçerlidir.

Çizelge 4.2. Hareketli taşıtların azami gürültü seviyeleri

	Sanayi ve Ticaret Bakanlığı.92/109-110 tebliği (dBA)	70/157/EEC AB (dBA)	92/97/EEC AB (dBA)
Otomobiller	80	77	74
Minibüs < 3.5 t	81	79	77
Otobüs < 200 PS	82	80	78
Otobüs > 200 PS	85	83	80
Kamyonet < 3.5 t	81	79	77
Kamyon < 12 t < 200 PS	86	83	78
Kamyon > 12 t < 200 PS	88	84	80

## 4.2. Uygulamalardaki İç Ölçüm Sonuçları

Taşıtlardaki iç gürültü ölçümleri, her çeşit motorlu taşıt içindeki gürültü seviyeleri ve gürültü dağılımları ölçümlerinin şartlarını belirleyen ISO 5128-1980(E) standardına göre yapılmıştır. Ölçümü yapılan taşıtların; çevre, yol, hava ve sürüş şartları ile değişen durumları, ölçümlerde kullanılacak cihazlar ve yapılacak deneylerle ilgili şartlar ilgili standartta belirlenmiştir ve deneyler bu hususlar dikkate alınarak yapılmıştır.

Uygulamalarda; seçilen taşıtlar için 4. viteste ve 60-120 km/h arasındaki sabit hızlarda motor devri (dev/dak) tespit edilerek bu hız ve devirlerde 5 saniye süreyle iç gürültü ölçümü yapılmış ve iç gürültü seviyeleri (dBA) kaydedilmiştir. Hava sıcaklığı ve rüzgar hızı standart değerlerde olup ölçümler üzerinde A filtresi bulunan IEC 651 (tip 1) ses seviyesi ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

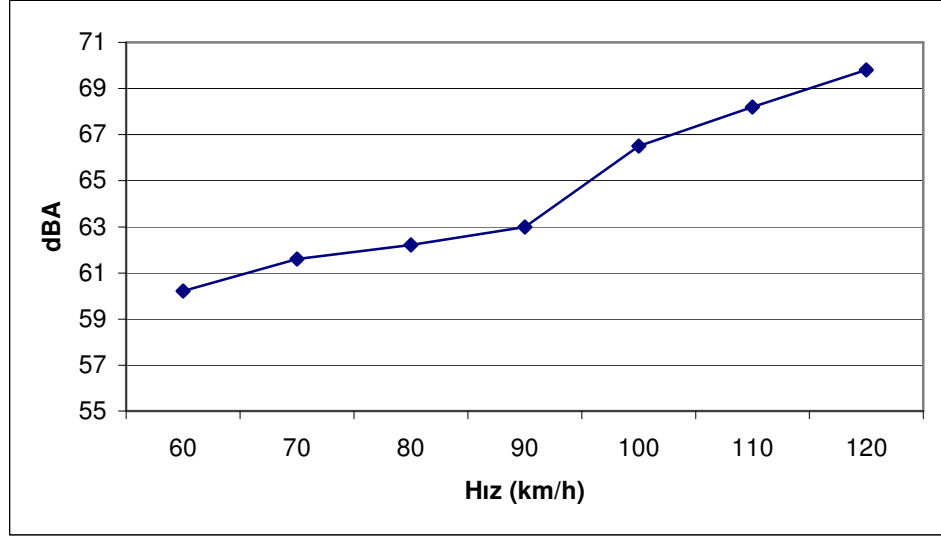
Ölçüm; standartlara uygun olarak sürücü ve gözlemciyle yapılmış, ölçüm esnasında taşıttaki bütün pencereler kapatılmış ve yardımcı cihaz kullanılmamıştır. Renault-Toros marka taşıtın ölçümleri yağışsız hava şartlarında asfalt ve stabilize yolda, diğer taşıtların ölçümleri ise sadece asfalt yolda yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir.

### 4.2.1. Ford Focus'un İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

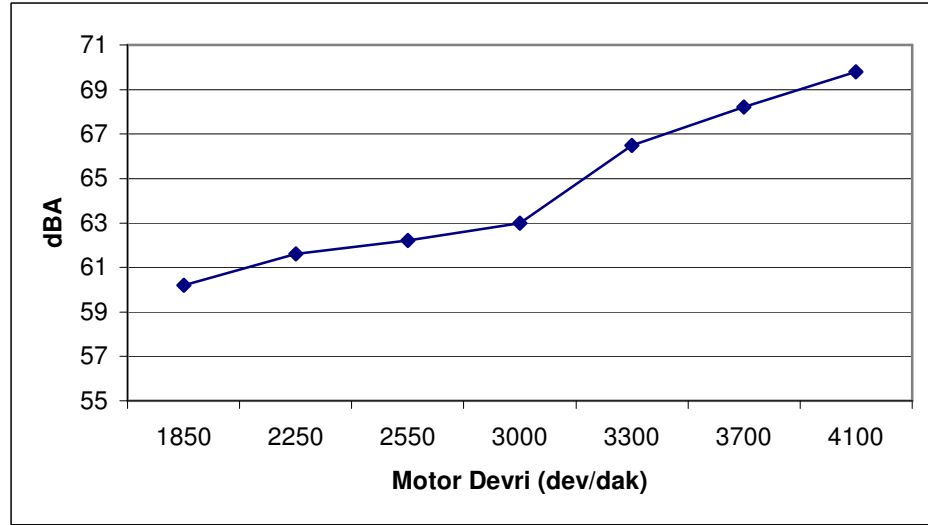
1600 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip taşıt, benzinli ve 2000 modeldir. Taşıtın lastikleri ise 185/65 R 14 ebadındadır. Taşıtlarla ilgili ölçüm sonuçları Çizelge 4.3.' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ford Focus' un iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

4.VİTES HIZ (KM/SAAT)	FORD FOCUS	
	DEVİR SAYISI (DEV/DAK)	İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)
60	1850	60,2
70	2250	61,6
80	2550	62,2
90	3000	63,0
100	3300	66,5
110	3700	68,2
120	4100	69,8



Şekil 4.1. Ford Focus' un iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi



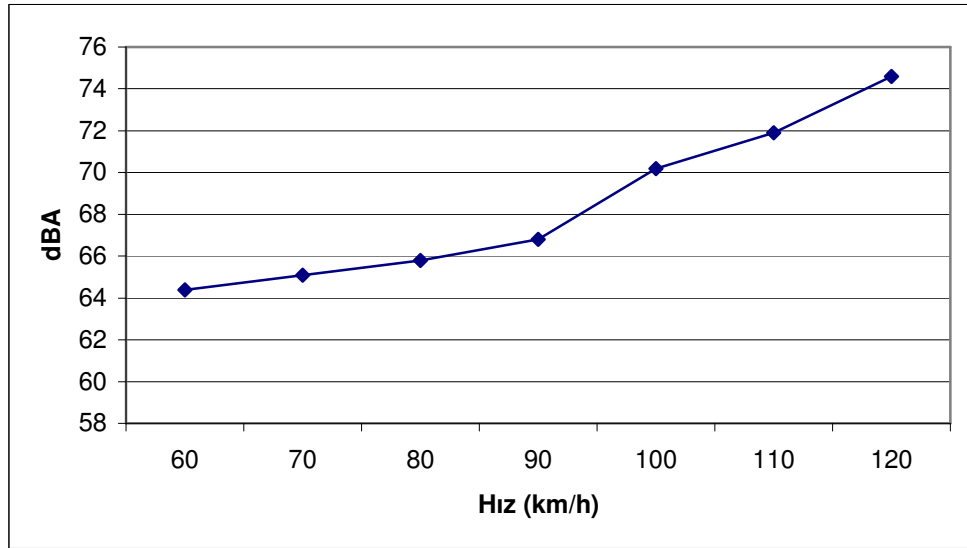
Şekil 4.2. Ford Focus' un iç gürültü seviyesinin motor devir sayısı ile değişimi

#### 4.2.2. Ford Connect' in İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

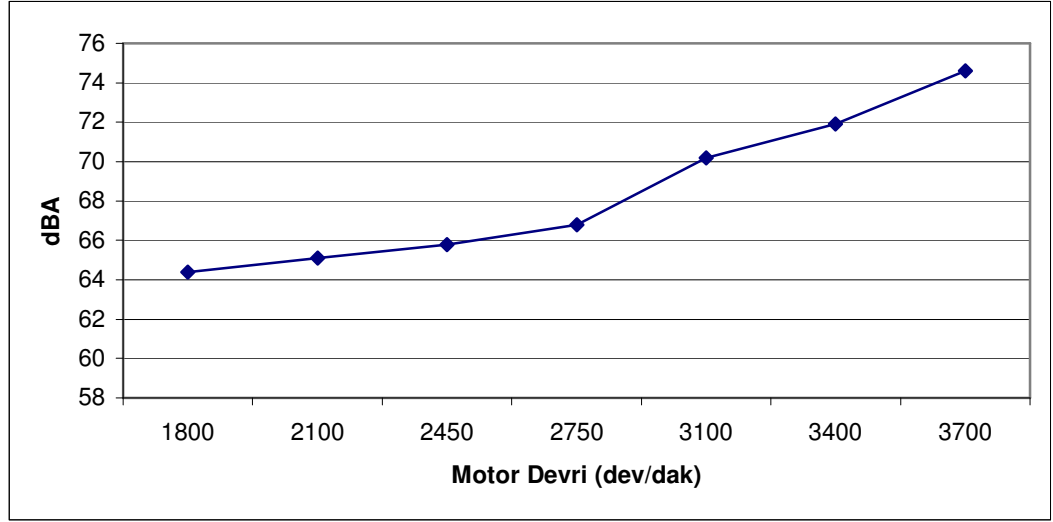
1800 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip taşıt, dizel ve 2004 modeldir. Taşıtın lastikleri ise 195/65 R 15 ebadındadır. Taşıtla ilgili ölçüm sonuçları Çizelge 4.4.' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ford Connect' in iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

4.VİTES HIZ (KM/SAAT)	FORD CONNECT	
	DEVİR SAYISI (DEV/DAK)	İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)
60	1800	64,4
70	2100	65,1
80	2450	65,8
90	2750	66,8
100	3100	70,2
110	3400	71,9
120	3700	74,6



Şekil 4.3. Ford Connect' in iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi



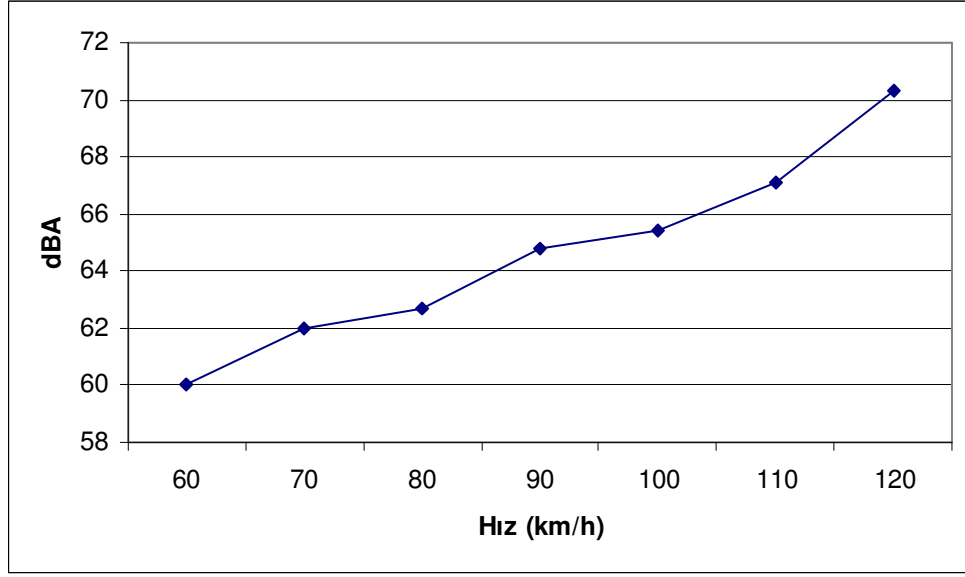
Şekil 4.4. Ford Connect' in iç gürültü seviyesinin motor devir sayısı ile değişimi

#### 4.2.3. Fiat Idea'nın İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

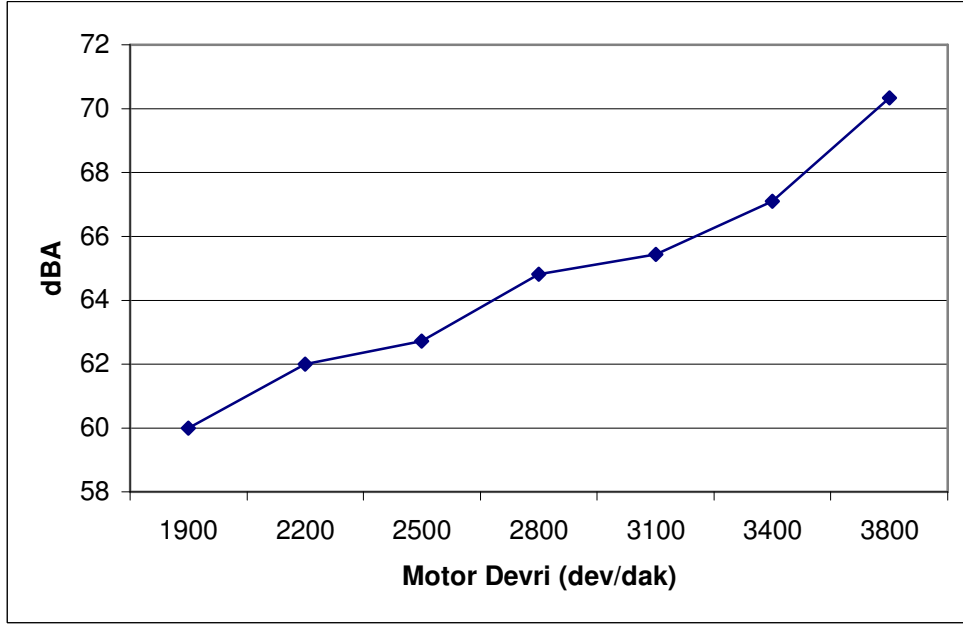
1300 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip taşıt, dizel ve 2006 modeldir. Taşıtın lastikleri ise 185/65 R 14 ebadındadır. Taşıtlarla ilgili ölçüm sonuçları Çizelge 4.5.' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

4.VİTES HIZ (KM/SAAT)	FİAT IDEA	
	DEVİR SAYISI (DEV/DAK)	İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)
60	1900	60,0
70	2200	62,0
80	2500	62,7
90	2800	64,8
100	3100	65,4
110	3400	67,1
120	3800	70,3



Şekil 4.5. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi



Şekil 4.6. Fiat Idea' nın iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi

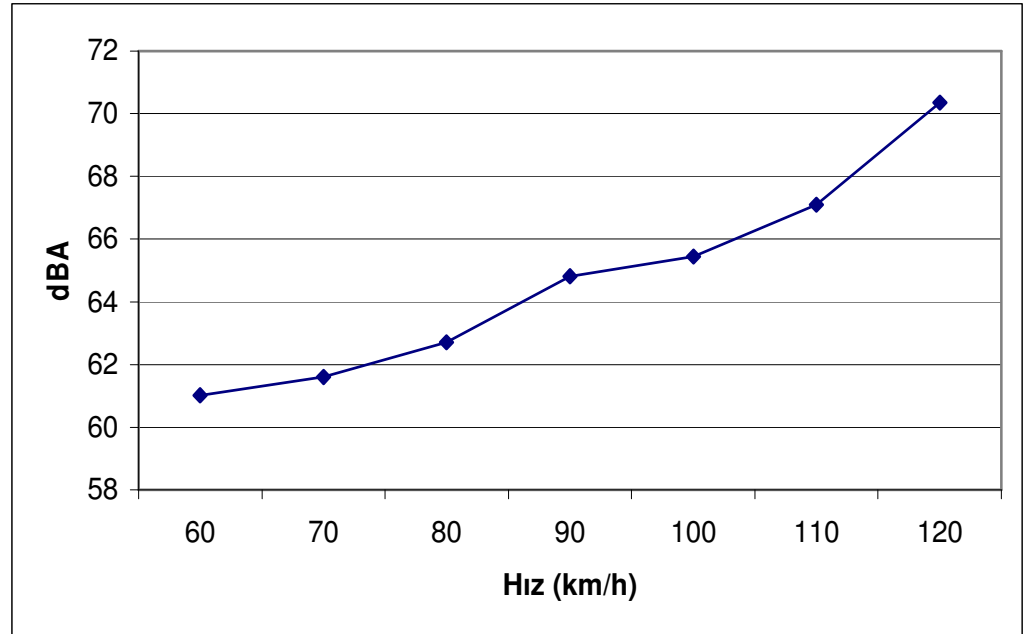


#### 4.2.4. Fiat Albea' nın İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

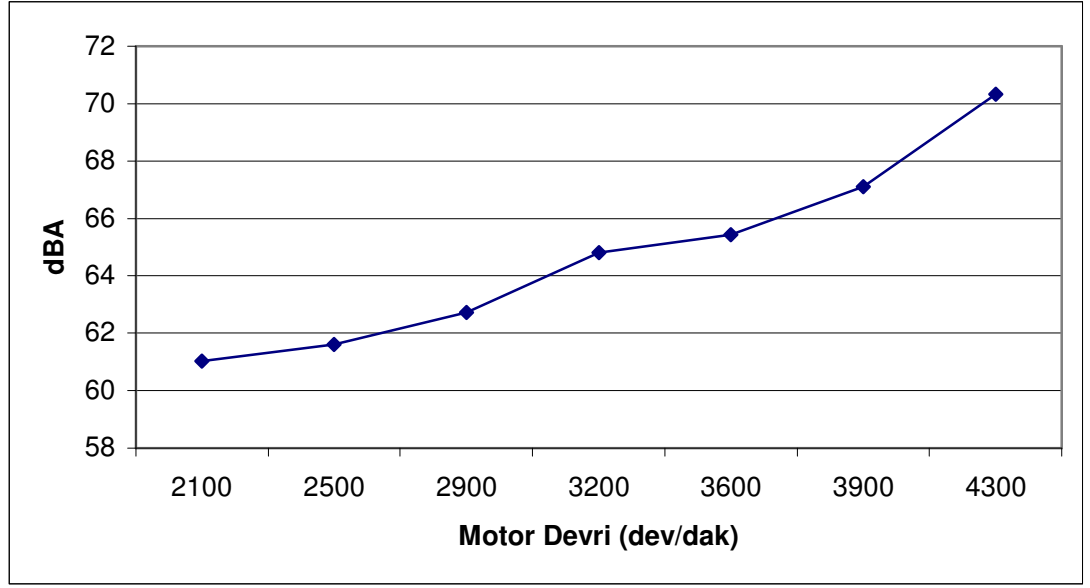
1300 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip taşıt, benzinli ve 2004 modeldir. Taşıtın lastikleri ise 185/65 R 14 ebadındadır. Taşıtlarla ilgili ölçüm sonuçları Çizelge 4.6.' de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

4.VİTES	FİAT ALBEA	
HIZ (KM/SAAT)	DEVİR SAYISI (DEV/DAK)	İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)
60	2100	61,0
70	2500	61,6
80	2900	62,7
90	3200	64,8
100	3600	65,4
110	3900	67,1
120	4300	70,3



Şekil 4.7. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi



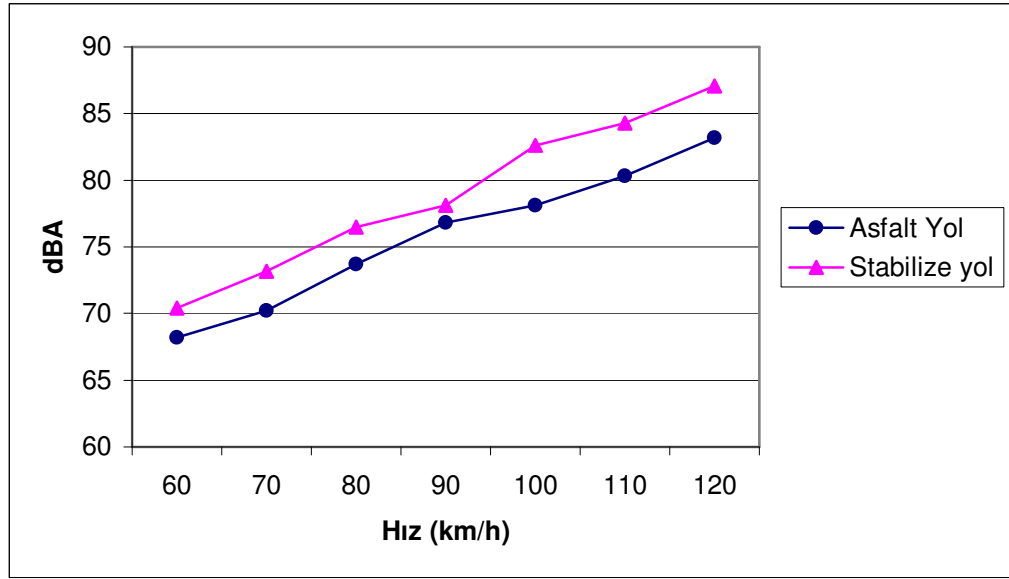
Şekil 4.8. Fiat Albea' nın iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi

#### 4.2.5. Renault-Toros' un İç Gürültü Seviyesi Ölçüm Sonuçları

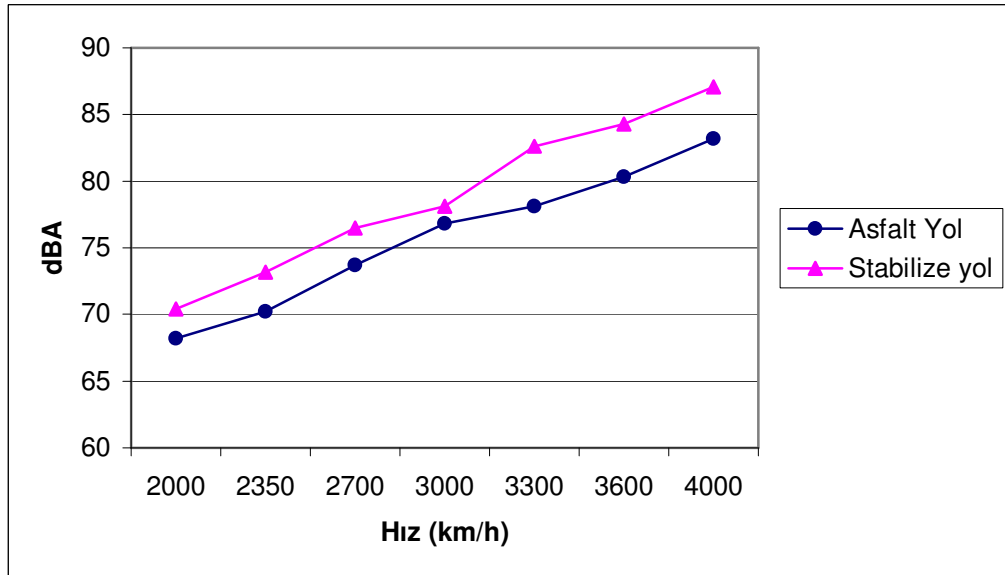
1400 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip taşıt, benzinli ve 1993 modeldir. Taşıtın lastikleri ise 165/80 R 13 ebadındadır. Taşıtlı ilgili ölçüm sonuçları Çizelge 4.7.' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Renault –Toros' un iç gürültü seviyesi ölçüm sonuçları

4.VİTES HIZ (KM/SAAT)	RENAULT-TOROS DEVİR SAYISI (DEV/DAK)	ASFALT YOL İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)	STABİLİZE YOL İÇ GÜRÜLTÜ SEVİYESİ (dBA)
60	2000	68,2	70,4
70	2350	70,2	73,2
80	2700	73,7	76,5
90	3000	76,8	78,1
100	3300	78,1	82,6
110	3600	80,3	84,3
120	4000	83,2	87,1



Şekil 4.9. Renault-Toros' un iç gürültü seviyesinin taşıt hızıyla değişimi



Şekil 4.10. Renault-Toros' un iç gürültü seviyesinin motor devriyle değişimi

### 4.3. ISO-7188

1990' dan sonra ISO 362' nin yetersizliğine istinaden ortaya atılmış yeni düşüncelerin meydana getirdiği bir standarttır. ISO 362' ye göre yapılan deneyde taşıt deney yolunu tam gazda geçecek, maksimum ses seviyesi bulunacaktır. Diğer yandan taşıtın bu yolu sabit hızda geçebileceği ve normal gürültü değerleri ölçülebileceği de düşünülmelidir. Yapılan araştırmalar orta ve zayıf güce sahip motorlu taşıtlarda ISO 362 ile memnun kalabileceğimiz gerçeğini ortaya koymuştur. Normal ve maksimum gürültü değerleri bu tip taşıtlarda büyük farklar içermemiştir. Bu durumda ISO 362 yeterli bulunmuştur. Çünkü fark az olduğu için seçim problemi olmayacaktır.

Ortaya çıkan diğer bir gerçek ise, güçlü motorlu taşıtlar da normal ve maksimum gürültü değerleri arasındaki büyük farklılıklardır. O halde bu tip araçlar ISO 362 ile doğru olarak değerlendirilemeyecektir, çünkü bu standart deney yolunda sadece tam gaz hareketi ihtiva eder. Daha doğru değerler için ortalama değerler bulunmalıdır. Maksimum ve normal gürültülerin aritmetik ortalaması, tam gaz ile sabit hız seviyelerinin ortalamalarına yaklaşık bir uygunluk gösterir.

## **5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

### **5.1. Taşıt Dış Gürültüsüne Bakış ve Analiz**

Günümüzde taşıtların dış gürültüsünün ölçümü için oldukça gelişmiş prosedürler uygulama alanları bulmaktadır. Kanun ve standartlara uygun deney şartları, açık hava ve alanlarda gerçekleştirilmektedir. Kapalı alanlarda yapılacak uygulamalar ise yüksek maliyetlere sebebiyet vermektedir.

Hızlı gelişmelere rağmen ülkemizde halen otomobiller için dış taşıt gürültüsü azami seviyesi 80 dBA değerindedir. AB ülkelerinde bu değer 3 dBA daha düşüktür. 1996 Ekim'inden itibaren ise bu değer AB ülkeleri için bir 3 dBA daha düşük sınır değere ulaşmıştır.

Ülkemizde yapılan ölçümler otomobil ve minibüsler için AB sınır değerlerini de sağlamaktadır. Bu tür taşıtlar için dış gürültü sınır değerleri pratik olarak AB değerlerine çekilebilir.

### **5.2. Kabin Gürültüsüne Bakış ve Analiz**

Kabin gürültüsünde de problem şekline ve ölçme koşullarına bağlı olarak duruma uygun bir ölçme prosedürü ve düzeni seçilmelidir. Analiz ve çözüme ancak sistematik yöntemle ulaşabilir.

Kabin gürültüsü ölçümü genellikle 60-120 km/h hızlar arasında geçilen sabit hızlarda yapılmaktadır. Bu durumda yaklaşık 1.5 km bir deney yoluna ihtiyaç vardır. Standartta herhangi bir sınır değerine ait bir gürültü değeri yoktur. Sınır değeri tespit edilirken, gürültünün hangi sabit hızda ortaya çıktığı belirtilmelidir.

Motor teknolojisindeki üretim farklılığı ve kullanılan malzemenin kalitesi, gürültü oluşumunda belirleyici bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Araç üzerinde bulunan motor ve daha çok vantilatör, marş motoru gibi dönen parçaların meydana getirdiği titreşim ve buna bağlı olarak oluşan gürültü, bu parçalarda görülen dinamik dengesizlik neticesinde istenmeyen boyutlara ulaşmaktadır.

Yükselen motor devriyle beraber gürültünün arttığı ve bu durumun bütün araçlarda aynı etkiyi yaptığı görülmektedir. Şehir içinde yüksek motor devri ve düşük hızla seyretmek neticesinde meydana gelen rahatsız edici değerlerdeki motor gürültüsü, şehirler arası yollarda ise lastik ve rüzgar gürültüsü olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle araçları motor gürültüsü yönünden değerlendirmeye tabi tutarken bütün araçları aynı motor devrinde ve aynı çevre ya da yol şartlarıyla incelemek daha doğru sonuç verecektir.

Bu çalışmada, 5 değişik araç türü için kabin içi gürültü ölçümleri yapılmış ve yapılan değerlendirmeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Araç türlerinin modellerinin ve yıpranmalarını farklı oluşu nedeniyle taşıt dışı gürültüler kabin içerisine yansımış ve yalıtım açısından güçlüklerle karşılaşmıştır.

- Elde edilen değerlerin grafiklerinden de anlaşılacağı üzere kabin içi gürültü değerlerinin AB normlarında olduğu gözlemlenmiştir.

- Gürültü değerlerinin insan psikolojisine herhangi bir olumsuz yansıması söz konusu değildir.

- Aynı veya birbirine yakın değerdeki motor hacmine sahip dizel taşıtların motor gürültüsü, benzinli araca oranla daha fazla olup motor kaputunda ve taşıtın ön göğsünde yapılacak yalıtım gürültünün değerini düşürecektir.

- Stabilize yolda elde edilen gürültü değerleri, asfalt yola oranla insanı rahatsız edici boyutlara ulaşmaktadır.

- Eski model, yıpranmış araçların yüksek devirlerdeki motor gürültüsü, titreşim ve gürültü izolasyonunun da iyi olmaması gibi nedenlerle diğer taşıtlara oranla daha fazladır.

## KAYNAKLAR

- AKTÜRK, N. ve GÜMÜŞDAĞ, C. F., 1998. Ankara Esenboğa Havalimanı'nın Neden Olduğu Çevresel Gürültünün Belirlenmesi. **IV. Ulusal Akustik Kongresi**, 29-31 Ekim, 77-91 s, Antalya.
- AKTÜRK, N. ve ÜNAL, Y., 1998. Gürültü, Gürültüyle Mücadele ve Trafik Gürültüsü. **G.Ü. Fen Bilimleri Enst. Bülteni**, No: 3, 21-32 s.
- AKTÜRK, N. ve GÜRPINAR, M., 2001. **Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi**, 25-27 Nisan, Gazi Üniversitesi, 346-359 s, Ankara.
- ALEXANDRE, A., 1975. **Road Traffic Noise**. New York-Wiley, ABD.
- ANONİM, 1999. **6. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu Bildiriler Kitabı**. TMMOB, Bursa.
- ANONİM, 2001. **7. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu Bildiriler Kitabı**. TMMOB, Bursa.
- BAY, F. ve GÜNEY, A., 1998. Lastik-Yol Gürültüsü. **IV. Ulusal Akustik Kongresi**, 29-31 Ekim, Kaş / Antalya.
- BERANEK, L. L., 1974. **Noise Reduction**. McGraw-Hill Book Co. Inc., ABD.
- BERANEK, L. L., 1993. **Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Application**, 682-686 p.
- EROĞLU, M. ve AKTÜRK, N., 2002. Taşıtlarda Kabin Gürültüsünün Yalıtımı. **Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi ve Fuarı**, 8-10 Mayıs, Ankara.
- GKY, 1986. Gürültü Kontrol Yönetmeliği. **11 Aralık 1986 tarihli 19308 tarihli Resmi Gazete**, 8-26 s.
- GÖNDEMİR, G., 1996. Taşıtlarda Kabin Gürültüsü Ölçümü ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.
- GÜNEY, A., 1994. Taşıt Gürültüsü Ölçümü ve Yönetmelikleri. **I. Ulusal Mekanik Sempozyumu**, İTÜ, 151-160 s, İstanbul.
- ISO 5128-1980(E), International Standard, Measurement of Noise Inside Motor Vehicles.
- KALKAT, M., 1995. **Dinamik Dengesizliklerin Mekanik Sistem Titreşimlerine Etkileri**. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- KALKAT, M., BAHADIR, M. and UZMAY, İ., 2001. The Vibration Calculation On Driver Seats Of Agricultural Tractors. **XVIII. Science and Motor Vehicles**, Belgrade, Yugoslavia.
- MAGRAB, E. B., 1988. **Environmental Noise Control**. John Wiley & Sons.
- ÖGE, A., ve ÖĞÜT, T., 1998. Bir Otomobil Egsoz Sisteminin İç Performans Analizi. **IV. Ulusal Akustik Kongresi**, 29-31 Ekim, Kaş/Antalya.
- TOPRAK, R. ve AKTÜRK, N., 2001. Raylı Ulaşım Sistemlerinin Neden Olduğu Çevresel Gürültü. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, **İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu**, 28-30 Haziran, İstanbul.
- WOWK, V., 1991. Machinery Vibration. New York: Mc Graw – Hill.
- YÜKSEK, İ., 1995. **Taşıt Titreşimlerinin Optimizasyonu**. YTÜ, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Gümüşhane' de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Samsun' da tamamladım. 1990 yılında başladığım Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi' nden 1996 yılında, Makina Mühendisi unvanıyla mezun oldum. 1998 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü' nde Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı' nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. 2003 yılında kurumlar arası yatay geçiş yaparak Niğde Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü' nde Makina Mühendisi olarak görevime devam ettim. 2005 yılında Köy Hizmetleri' nin kapatılması sonucu kurum olarak birleştirilen Niğde İl Özel İdaresi' ne geçiş yaptım ve halen aynı görevde çalışmaktayım.