

46933

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ VE ÖNERİ GETİRİLMESİ

Mak. Müh. Ahmet Sinan ARPACI

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz SOYLU

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SEMBOL LİSTESİ	1v
ŞEKİL LİSTESİ	v11
GRAFİK LİSTESİ	v111
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	x11
TEŞEKKÜR	x111
ÖZET	x1v
ABSTRACT	xv
1.0. GİRİŞ	1
I. TEMEL SES BİLGİSİ	2
1.1. Ses Dalgalarının Özellikleri	2
1.2. Desibel	4
1.3. Ses Gücü, Ses Basıncı, Ses Şiddeti Ve Düzeyleri	5
1.3.1. Ses Gücü Düzeyi	5
1.3.2. Ses Basıncı Düzeyi	5
1.3.3. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi	6
1.4. Desibellerle İşlem	7
1.5. Oktav Bantları	8
1.6. Gürültünün Sınıflandırılması	9
II. SES YÜKSEKLİĞİ VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜTÜ	11
2.1. Ses Yüksekliği Ve Ses Yüksekliği Düzeyi	11
2.2. Gürültü Ölçütü Eğrileri	16
2.3. Ses Düzeyi	17
2.4. Eşdeğer Sürekli Ses Düzeyi ve Ses Etkilenim Düzeyi	18

III.	ENDÜSTRİYEL GÜRÜLTÜ KAYNAKLARININ SES GÜCÜ DÜZEYLERİ	21
3.1.	Bazı Makinaların Ses Gücü Düzeylerinin Yaklaşık Olarak Bulunması	21
3.2.	Pompalarda, Elektrik Motorlarında, Fanlarda, Dişlilerde Gürültü	22
3.2.1.	Pompalarda Gürültü	22
3.2.2.	Elektrik Motorlarında Gürültü	23
3.2.3.	Fanlarda Gürültü	23
3.2.4.	Dişlilerde Gürültü	24
IV.	GÜRÜLTÜNÜN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ, GÜRÜLTÜ DENETİM ÖLÇÜTLERİ VE GÜRÜLTÜNÜN TSE'YE GÖRE ÖLÇÜMÜ	26
4.1.	Gürültünün İnsanlar Üzerindeki Etkisi	26
4.2.	İşyerlerinde Oluşan Gürültünün İncelenmesi Ve İlgili Standartlar	26
4.3.	Şehiriçi Yollar, Trafik Gürültüsü Tespit ve Önlemleri İle İlgili Standartlar.	28
4.3.1.	Genel Kurallar	28
4.3.2.	Trafik Gürültüsünde Üst Sınırlar	29
4.3.3.	Trafik Gürültüsünün Tespiti	29
4.3.4.	Trafik Gürültüsü Önlemleri	34
4.4.	TSE'ye Göre Akustik Konuşmanın Anlaşılabilirliği Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi	35
4.5.	Gürültü Ölçümlerinde Dikkat Edilecek Hususlar	36
V.	TÜRKİYE'DE ÇEVRE BAKINLIĞI'NIN GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ YASAK VE HÜKÜMLERİ	38
5.1.	Gürültü Kaynakları, Karayolu, Havayolu Taşıma Araçları, Sanayi, Yol Ve İnşaat Makinaları	38

5.2.	Yerleşim Yapı Malzeme	40
5.3.	Diğer Gürültü Yasakları	41
VI.	TİTREŞİM YALITIMI VE SÖNÜMLEMESİYLE	
	GÜRÜLTÜ KONTROLÜ	43
6.1.	Temel Titreşim Bilgisi	43
6.2.	Titreşim Yalıtımı	46
6.3.	Titreşim Yalıtımında Kullanılan Malzemeler	47
6.4.	Sönümlemeyle Titreşim Kontrolü	49
VII.	GÜRÜLTÜ KONTROLÜ VE ÖNERİ GETİRİLMESİ	51
7.1.	Giriş	51
7.2.	Planlama Ve Bakım İle Gürültü Kontrolü	53
7.3.	Malzemelerin Ses İletim Kaybı	54
7.4.	Duvarların Gürültüyü Azaltması	55
7.5.	Gürültü Kaynağının Örtülmesiyle Gürültü Kontrolü	56
7.6.	Bariyerlerle Gürültü Kontrolü	57
7.7.	Ses Yutucu Malzeme Kullanarak Oda Akustiğinin Değiştirilmesiyle Gürültü Kontrolü	58
7.8.	Hava Kanallarında Ses Yalıtıcı ve Yutucu Malzemeye Gürültü Kontrolü	60
7.9.	Susturucularla Gürültü Kontrolü	62
7.10.	Kulak Koruyucularla Gürültü Kontrolü	63
7.11.	Akışkan Kaynaklı Gürültü Sorunları Ve Öneri Getirilmesi	65
	SONUÇLAR	67
	KAYNAKLAR	69

SEMBOL LİSTESİ

$A \text{ (m}^2\text{)}$	Alan
$A_0 \text{ (dB)}$	Akustik iyileştirmeden önce toplam ses yutumu
$A_2 \text{ (dB)}$	Akustik iyileştirmeden sonra toplam ses yutumu
$bw \text{ (Hz)}$	Bant genişliği
$c \text{ (m/sn)}$	Ses hızı
c	Vizkoz sönüm katsayısı
$d_1 \text{ (m)}$	Metal plaka kalınlığı
$d_2 \text{ (m)}$	Kaplama malzemesinin kalınlığı
E_1	Elastisite modülü
E'_2	Kaplama malzemesinin elastisite modülü
F	Makina türüne bağlı çevirme katsayısı
$F_0 \text{ (N)}$	Harmonik kuvvet genliği
$F \text{ (m}^3\text{/s)}$	Debi
$F'_0 \text{ (N)}$	Zemine iletilen dinamik kuvvet genliği
$f \text{ (Hz)}$	Frekans
$IL \text{ (dB)}$	Gürültü kaybı
$I \text{ (w/m}^2\text{)}$	Birim alandaki ses gücü
$K_f \text{ (dB)}$	Fan için ses gücü düzeyi sabiti
$K_p \text{ (dB)}$	Pompanın ses gücü düzeyi sabiti
k	Yay sabiti
k	Dalga boyu sabiti
L	Susturucu uzunluğu
$L_p \text{ (dB)}$	Ses basıncı düzeyi

L_w (dB)	Ses gücü düzeyi
L_L (phone)	Sesyüksekliği düzeyi
L_{p_1} (dB)	Gürültünün duvara yakın yerdeki ses basıncı düzeyi
L_{p_A} (dB)	Çevre gürültüsünün ses basıncı düzeyi
L_{p_B} (dB)	Kaynağın ses basıncı düzeyi
L_{p_i} (dB)	i tane ses basıncı düzeyi
L_{p_t} (dB)	Toplam ses basıncı düzeyi
L_{eq} (dB)	Ses düzeyi
m_1	Pompanın bir dönüşte basınç çevrim sayısı
m (kg)	Sistemin kütlesi
m_2	Kesitin düşüş yüzdesi
m_3	Dişli üzerindeki diş sayısı
N (dev/dak)	Pompanın devir sayısı
n	Pompanın kanat sayısı
P (cm H ₂ O)	Statik basınç
$P(t)$ (dB)	Ölçülen sesin A ağırlıklı ses basıncı
P_o (dB)	Referans ses basıncı
Q	Yönelme katsayısı
R	Oda sabiti
r (m)	Kaynağın alıcıya uzaklığı
S (sone)	Ses yüksekliği
S_w (m ²)	Duvarın toplam alanı
$S_{1,2}$	Susturucunun giriş ve çıkış kesitleri
T (sn)	Periyot
T	Ses iletim katsayısı
TL (dB)	Ses iletim kaybı

Tr	Kuvvet iletim oranı
V	Verim
W (kg/m^2)	Malzeme yüzey yoğunluğu
W (w)	Ses gücü
W_o (w)	Referans ses gücü
W_2	İletilen ses gücü
W_n (Hz)	Doğal frekans
W_d (Hz)	Sönümlü doğal frekans
W_m (w)	Makina gücü
$\bar{\alpha}$	Ortalama ses yutma katsayısı
δ	Sönüm katsayısı
η_e	Kayıp faktörü
ψ	Faz açısı
λ (m)	Dalga boyu
δ (kg/m^3)	Ortam yoğunluğu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 6.1. Titreşen Bir Sistemin En Basit Modeli	43
Şekil 6.2. Titreşim Yalıtımı	46
Şekil 7.1. Tek Genleşme Odalı Basit Bir Susturucu	62

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa

Grafik 1.1. Basit Harmonik Bir Ses Dalgasının Bir Noktada Oluşturduğu Ses Basıncının Zamanla Değişimi	2
Grafik 1.2. Basit Harmonik Bir Ses Dalgasının Bir Yönde İlerleyişi	3
Grafik 1.3. Desibel Toplama Eğrisi	7
Grafik 2.1. Arı Sesler İçin Eşyükseklik Eğrileri	12
Grafik 2.2. İşitme Sınırları	13
Grafik 2.3. Ses Yüksekliği ve Ses Yüksekliği . . . Çevrim Eğrisi	14
Grafik 2.4. Eşyükseklik İndeksi Eğrileri	15
Grafik 2.5. Gürültü Ölçütü (PNC) Eğrileri	16
Grafik 2.6. A, B ve C Ağırlıklı Ses Düzeyleri İçin Çevrim Eğrileri	18
Grafik 2.7. Zamanla Değişen Ses Düzeyinin Leq İle Değişimi	19
Grafik 2.8. Bir Uçağın Kalkışı Sırasında Çıkan Tipik Gürültünün Ses Düzeyi Ve Ses Etkilenim Düzeyi	20

Grafik 4.1. Temel Gürültü Seviyesi	30
Grafik 4.2. Ortalama Trafik Hızı Ve Ağır Araç Oranına Göre Düzeltme	31
Grafik 4.3. Tırmanan Eğime Göre Düzeltme	31
Grafik 4.4. Yol Yüzeyi Düzeltmesi	32
Grafik 4.5. Yutucu Zeminde Uzaklık Ve Yüksekliğe Göre Düzeltme	33
Grafik 6.1. Çeşitli Sönüm Oranları İçin, İletim Oranının Frekans Oranıyla Değişimi	47
Grafik 7.1. Homojen Bir Malzeme İçin Ses İletim Katsayısının Frekansla Değişimi	54
Grafik 7.2. Ses Basıncı Düzeyi İle Ses Gücü Düzeyi Arasındaki Değer Farkının, Kaynağa Olan Uzaklık ve Oda Sabiti İle Değişimi	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Sesin 21 °C'deki Yayılma Hızları	4
Tablo 1.2. Bazı Ses Güçleri ve Ses Düzeyleri	5
Tablo 2.1. Çeşitli Yerlerdeki Önerilen PNC Değerleri	17
Tablo 3.1. Bazı Makinaların Çevirme Katsayıları	21
Tablo 3.2. Pompaların Kp Değerleri	23
Tablo 3.3. Fanlar İçin Ses Gücü Düzeyi Sabiti	24
Tablo 3.4. Dişli Kutularının Ses Gücü Düzeylerinin Oktav Bantlarındaki Değerlerine Bir Örnek	25
Tablo 4.1. OSHA Standartlarına Göre, Değişik Düzeylerdeki Sürekli Gürültülerin Etkisi Altında Kalınabilecek Süreler	28
Tablo 4.2. Kabul Edilebilir Gürültü Üst Seviyeleri	29
Tablo 4.3. Yeterli Anlaşılabilirlik	36
Tablo 5.1. Bazı Makinaların Gürültü Seviyesi Limitleri	38

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.2. Endüstriyel Ve Şantiye Gürültü Seviyeleri	39
Tablo 5.3. İşyerleri İçin Gürültü Seviyesi	39
Tablo 5.4. İç Mekan Ses Basıncı Düzeyi Limitleri	40
Tablo 5.5. Metro Ve İstasyonlarda Kabul Edilebilir Ses Düzeyi	40
Tablo 7.1. Bazı Malzemelerin Yüzey Yoğunluğu Ve Plato Yüksekliği	55

KISALTMALAR

1. İSGÜM İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Enstitüsü
2. NR Gürültü Azalması
3. OSHA Occupational Safety And Health Act
4. SEL Ses Etkilenim Düzeyi



TEŞEKKÜR

Tez konusunu veren, çalışmalarımı yöneten, bu süre içinde öneri ve yardımlarıyla destek olan Prof.Dr. Oğuz SOYLU'ya böyle bir çalışmayı gerçekleştirebilmem için gerekli bilgi birikimini sağlayan başta bölüm başkanımız Prof. Ertuğrul KÜÇÜKKARAMIKLI olmak üzere tüm öğretim üyelerine, Türkiye'deki gürültü kirliliğiyle ilgili döküman bulmamı sağlayan Çevre Bakanlığı ve TSE'ye ayrıca gerek Türkçe gerekse yabancı dilde kaynak bulmama yardımcı olan Sabancı Kütüphanesi'ne ve Makina Mühendisleri Odasına,

Tezimi okuyup değerlendiren jüri üyelerine, hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Aileme,

Teşekkür ederim.

ÖZET

Gürültü kirliliği, çağımızda günden güne büyüyen ve önlenmesi gereken bir problem haline gelmiştir. Bu bakımdan ilerleyen kısımlarda ilk olarak temel ses bilgisi, ses yüksekliği ve ses yüksekliği düzeyi, gürültü ölçütü incelenmiş, endüstriyel gürültü kaynaklarının (Pompalar, Elektrik Motorları, Fonlar, Dişliler) ses gücü düzeylerinden bahsedilmiştir. Ayrıca araştırmanın temelini oluşturan, gürültünün insanlar üzerindeki psikolojik ve duyma sistemi üzerindeki etkileri incelenmiş, TSE'ye göre gürültü sınırları ve ölçümleri belirtilmiş; trafik, işyeri ve konutlarda gürültüyü önleyici tedbirler ve yasaklardan bahsedilmiştir.

Son iki bölümde gürültü kontrolü üzerine çeşitli yöntemler ve öneriler örneklerle sunulmuştur. Bunlardan biri olan titreşimle gürültü kontrolünde, titreşim izolasyonu, izolatör çeşitleri ve titreşim sönümleyicileri incelenmiştir. Genel olarak gürültü kontrolünde ise, duvarların gürültüyü azaltması, gürültü kaynağının örtülmesiyle gürültü kontrolü, bariyerlerle ve ses yutucu malzemelerle, susturucu ve kulak tıkaçlarıyla gürültü kontrolü üzerinde durulmuş, gürültü kontrolündeki esas olayın, ilk müdahalenin gürültünün kaynaklandığı noktala yapılması gerektiği, ancak bunun çok zor ya da maddi açıdan olanaksız olduğu durumlarda kulak tıkaçları kullanmak gibi gürültü kaynağından uzakta bir önlem alınması gerektiği konusu vurgulanmıştır.

ABSTRACT

In our century, noise pollution has become a problem that is getting larger day by day and that must be prevented. So in following sections, fundamentals and basic terminology about the sound, sound power and sound power level, noise criteria have been described and the sound power level of some of the industrial noise sources (Pumps, electrical motors, fans, cogwheels) have been explained. In addition the psychological and hearing damages effects on the humanbeing that build the base of the investigation up, have been examined, the noise limits and the noise measuring according to TSE have been pointed out; taking the precautions and the forbiddens about the noise pollution have been explained in offices, in buildings and generally at environs.

On the last two sections some methods and suggestions have been given by examples to prevent the noise pollution. One of them is the vibration control. In this section, vibration isolation, types of isolators and vibration absorbers have been examined. In the last section, noise pollution control with enclosures, barriers, wrapping, muffling devices, damping, sound absorption materials have been explained. The most important thing in noise pollution control is to prevent the noise at the noise source. If it's impossible technically and financially then ear plugs or earmuffs must be used, as a prevention the noise far away from the source.

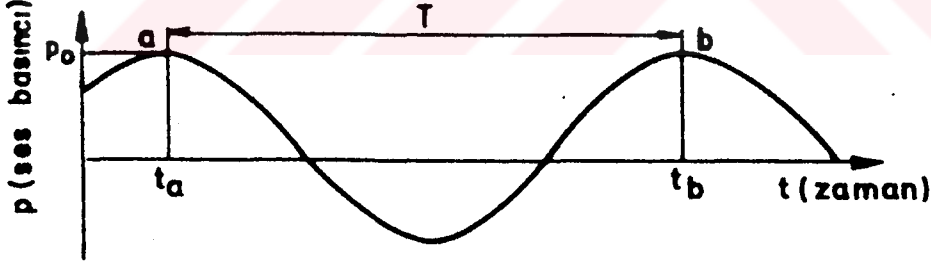
1.0. GİRİŞ

Ses dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Sesin tanımını kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri bir ortamda basınç değişimi olarak verebiliriz. Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletimiyle olur. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar havada basınç değişiklikleri oluşturur. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve beyin tarafından ses olarak algılanır. Hava basıncının değişim miktarına ses basıncı denir. Ses nesnel bir kavramdır. Yani ölçülebilir ve varlığı kişiye bağlı olarak değişmez. Gürültü ise öznel bir kavramdır. Gürültüyü hoşla gitmeyen, istenmeyen rahatsız edici ses olarak tanımlayabiliriz. Tanımından da anlaşılacağı gibi bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişilere bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte birçok gürültü tipinin kuşkuyla yer vermeksizin herkes tarafından gürültü olarak kabul edileceği açıktır. Endüstriyel gürültü bu tip bir gürültüdür. Ayrıca çok yüksek sesin hoşla gitse bile işitme kaybından birçok fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklara dek uzanan zararlı etkisi nedeniyle kontrol edilmesi gerekir.

1. TEMEL SES BİLGİSİ

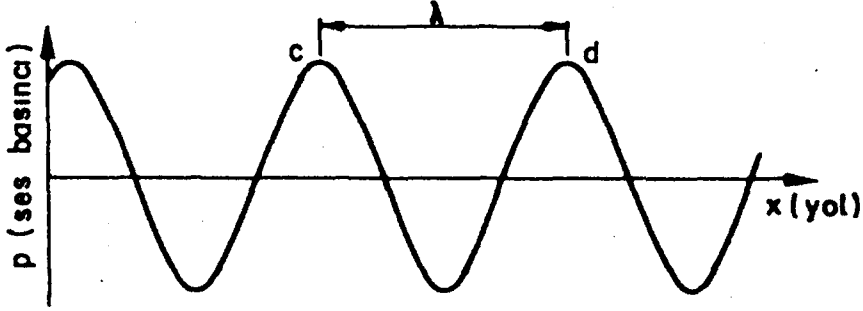
1.1. Ses Dalgalarının Özellikleri (Frekans, Periyot, Dalga Boyu)

Grafik 1.1. basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini göstermektedir. P_0 ile gösterilen, basıncın en büyük değerine genlik denir. Basıncın, birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana (örneğin, $t_b - t_a$) periyot adı verilir. Birimi sn sembolü (T)'dir. Grafik 1.1.'den görüldüğü gibi basınç değişimi her periyotta tekrarlanmaktadır. Periyotun tersi ($1/T$) frekanstır. Frekansı birim zamanda basınç değişimi devri sayısı olarak tanımlayabiliriz. Bu tanımlardaki "basınç değişim devri" ile anlatılmak istenen, basıncın aynı düzeye ulaştığı birbirini izleyen iki nokta arasındaki kısımdır (örneğin a ve b). Frekans genellikle bir saniyedeki devir sayısı (Hertz) ile ölçülür.



Grafik 1.1- Basit Harmonik Bir Ses Dalgasının Bir Noktada Oluşturduğu Ses Basıncının Zamanla Değişimi.

Herhangi bir anda, ses dalgasının yarattığı ses basıncının ses kaynağından olan uzaklıkla değişimi ise Grafik 1.2'de olduğu gibi gösterilebilir. Grafik 1.2'de yatay eksen yolu gösterdiğinden birbirini izleyen iki benzer nokta (örneğin c ve d) arasındaki uzaklık dalga boyu (λ) olacaktır.



Grafik 1.2- Basit Harmonik Bir Ses Dalgasının Bir Yönde İlerleyişi.

Dalga boyu λ olan bir dalga, periyodu T olan sürede kendi boyu kadar gideceğinden, dalganın yayılma hızı,

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (1.1)$$

olacaktır. Dolayısıyla, bir dalganın frekansı veya periyodu ile dalga boyu arasındaki ilişki, yayılma hızı c 'ye

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (1.2)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Sesin havadaki yayılma hızı, havanın ideal gaz olarak kabul edilmesiyle,

$$c = 20,05 \sqrt{T_K} \text{ m/sn} \quad (1.3)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada,

$$T_K (\text{Kelvin}) = 273 + {}^{\circ}\text{C} (\text{derece}) \quad (1.4)$$

olduğundan sesin havadaki yayılma hızı 344 m/sn olur.

Sesin bazı ortamlardaki yayılma hızları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1- Sesin 21°C'deki Yayılma Hızları.

Ortam	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava	344
Mantar	500
Kurşun	1200
Su	1400
Sert Kauçuk	1400-2400
Beton	3000-3400
Tahta	3300-4300
Dökme Demir	3700
Çelik-Alüminyum	5100
Cam	5200

1.2. Desibel

Alexander Graham Bell'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla 1 bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok yüksek olmasından dolayı desibel adı verilen ve oranların logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından; desibel, söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının 10 katıdır. Desibel ile ölçtüğümüz büyüklüklere düzey adı verilir. Örneğin, W değerindeki bir gücün W_0 referans değerine göre düzeyi,

$$\text{Düzey (dB)} = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (1.5)$$

olarak gösterilir. Alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur. Desibel genelde güç ya da güç esdeğeri büyüklükleri ölçmekte kullanılır.

1.3. Ses Gücü, Ses Basıncı, Ses Şiddeti ve Düzeyleri

1.3.1. Ses Gücü Düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi denir. (L_W) Referans gücü olarak uluslararası referans $W_0 = 10^{-12}$ W kullanılır. Yukarıdaki tanıma göre ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi L_W ,

$$L_W = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \quad (1.6)$$

eşitliğiyle bulunabilir.

Tablo 1.2'de bazı ses güçleri ve düzeyleri verilmiştir.

Tablo 1.2- Bazı Ses Güçleri ve Ses Düzeyleri

Kaynak	Ses Gücü (W)	Ses Gücü Düzeyi (dB)
Fısıltı	10^{-9}	30
Normal konuşma	10^{-5}	70
Bağırarak konuşma	10^{-3}	90
Kamyon kornası	10^{-1}	110
Pervaneli uçak motoru	1	120
Senfoni orkestrası	10	130
Dört pervaneli uçak	100	140
Dört jet motorlu uçak	5×10^4	167
Satürn roketi	5×10^7	197

1.3.2. Ses Basıncı Düzeyi

Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir. Ses basıncı düzeyi L_p ,

$$L_p = 10 \log \frac{P^2}{P_o^2} \quad (1.7)$$

olarak tanımlanır. Burada P ses basıncının ortalama kare değerinin karekökü (rms değeri) P_o ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen 20 mikropaskal ($20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$) alınır. Burada ses basıncının rms değeri:

$$P = \left[\frac{1}{T} \int_0^T P(t)^2 dt \right]^{1/2} \quad (1.8)$$

olarak tarif edilir.

L_p eşitliği;

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_o} \quad (1.9)$$

olarak yazılabilir.

20 mikropaskalın referans olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin frekansı 1000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1000 Hz'deki duyma referans olarak alınmıştır. Ses basıncı düzeyinin tanımında basınçların değil de basınçların karelerinin oranının kullanılma nedeni dB'in genellikle güç oranları için kullanılması ve gücün basıncın karesiyle orantılı olmasıdır.

1.3.3. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi

Sesin, kaynağın bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle, kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak değişen bir özelliğide ses şiddetidir. W gücüne sahip bir ses kaynağından çıkan ses dalgasının A alanından geçtiği anı düşünelim. Bir alandaki güç:

$$I = \frac{W}{A} \quad (1.10)$$

ses şiddetini verir. Ses şiddetini ölçmek zordur. Fakat,

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (1.11)$$

formülündeki ortam yoğunluğu ρ yayılma hızı c ve ses basıncının rms değerinden I hesaplanabilir.

1.4. Desibellerle İşlem (Toplama, Çıkarma, Ortalama Alma)

Ses basıncı düzeyleri Lp_i olan n ayrı ses dalgasının toplam ses basıncı düzeyi, Lp_i 'lerin aritmetik toplamıyla bulunamaz. Bunun için;

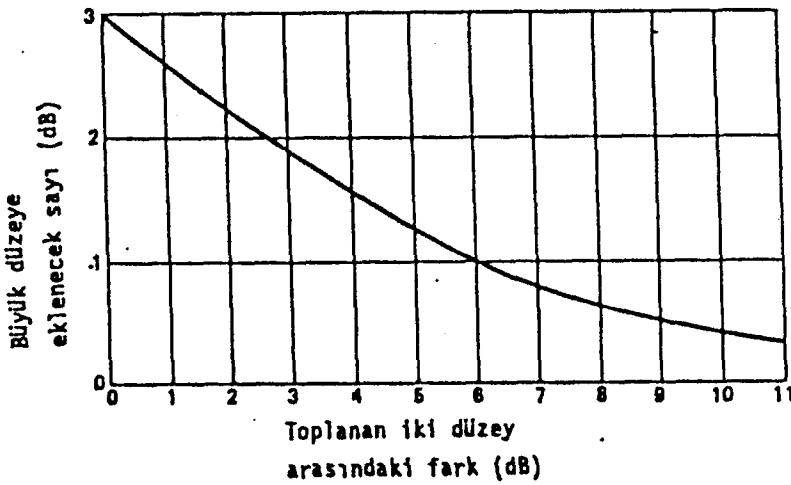
$$Lp_t = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{Lp_i/10} \right) \quad (1.12)$$

eşitliği geçerlidir. Örneğin ses şiddeti düzeyi 80 ve 83 dB olan iki ses kaynağının ses şiddeti düzeyi,

$$Lp_t = 10 \log(10^{80/10} + 10^{83/10}) = 84,8 \text{ dB} \quad (1.13)$$

olur.

Veya Grafik 1.3'deki desibel toplama eğrisinden bulunabilir.



Grafik 1.3- Desibel Toplama Eğrisi.

Desibellerde çıkarma işlemi, ölçülen ses basıncı düzeyinden (L_{p_t}) çevre gürültüsünün yarattığı ses basıncı düzeyini (L_{p_A}) çıkararak belli bir kaynağın yarattığı ses basıncı düzeyini (L_{p_B}) bulmak gerektiği ya da benzeri durumlarda kullanılır. Desibellerle toplamdakine benzer bir yol izlenerek,

$$L_{p_B} = 10 \log \left[10^{L_{p_t}/10} - 10^{L_{p_A}/10} \right] \quad (1.14)$$

eşitliği ile bulunabilir.

Aynı noktada birden fazla ölçümün farklı olması durumunda ortalama alma gereği duyulabilir. Bu durumda da aşağıdaki formül ile ortalama bulunabilir.

$$\bar{L}_p = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10} \right) \quad (1.15)$$

Burada n ölçülen ses düzeylerinin sayısıdır.

1.5. Oktav Bantları

Frekans analizinde karşılaşacağımız ilk soru, hangi frekans aralığında inceleme yapmamız gerektiğidir. Bir sesi oluşturan harmoniklerin tümünün, örneğin frekansı 100 kHz olan bir harmoniğin katkısının incelenmesi gerekir mi? Bu sorunun yanıtını vermek için insan kulağının işitebileceği frekansları bilmemiz gerekir. Konumuz ses ve gürültü olduğundan, insan kulağının duyarlı olmadığı frekansları incelemenin bir yararı yoktur. İnsan kulağı yaklaşık olarak 16-20000 Hz arasındaki seslere karşı duyarlıdır. Kulağın en hassas olduğu frekans 3000 Hz'dir. Görüldüğü gibi incelememiz gereken frekans aralığı çok geniştir ve sabit genişlikte bantların kullanılması bir çok durumda çok uzun analiz süresi gerektirir. Bu nedenle ses analizlerinde inceleyeceğimiz frekans aralığı oktav bandı adı verilen kısımlara bölünür. Bir oktav bandında, bantın üst sınır değeri, alt sınır değerinin iki katıdır ve her bantın üst sınır değeri, bir sonraki bantın alt sınır değeridir. Her bantın merkez frekansı ise alt ve üst sınır

değerlerinin geometrik ortalamasıdır. Matematiksel olarak:

$$f_2 = 2f_1 \quad (1.16)$$

$$f_o = \sqrt{2f_1} = f_2/\sqrt{2} \quad (1.17)$$

f_1 = alt sınır frekansı

f_2 = üst sınır frekansı

f_o = merkez frekansı

Bant genişliği (b_w) ise üst ve alt sınır değerleri arasındaki farktır. Yani,

$$bw = f_2 - f_1 \quad (1.18)$$

olur. Standart olarak kabul edilen oktav bantlarının merkez frekansları 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 ve 16000 Hz'dir.

1.6. Gürültünün Sınıflandırılması

Gürültü değişik açılardan sınıflandırılabilir. Gürültüyü

a) Frekans dağılımına (spektrumuna)

b) Ses düzeyinin zamanla değişim şekline

bağlı olarak sınıflandırabiliriz. Frekans dağılımına göre yapılan sınıflandırmada iki tip gürültüden söz edebiliriz.

1) Geniş bant gürültü: Gürültüyü oluşturan arı seslerin frekansları geniş bir aralığı kapsar. Yani, gürültünün frekans spektrumunu yayılmış, hiçbir frekans bandında toplanmamıştır. Her frekanstaki katkının aynı olduğu geniş bant gürültüye ise beyaz gürültü denir.

2) Dar Bant Gürültü: Geniş bant gürültünün tersine, bu tür gürültünün frekans dağılımı, belli bir frekans bandında toplanmış bir grafik gösterir. Diğer bir deyişle, gürültüyü oluşturan arı seslerden frekansı belli bir aralıkta olanlar

baskındır.

Ses düzeyinin zamanla değişimi açısından, gürültüyü yine iki ayrı grupta incelemek olasıdır.

- 1) Kararlı Gürültü: Gürültünün düzeyinde zamanla önemli bir değişme gözlenmez. Sabit bir hızda ve güçte çalışan bir motorun yaratacağı gürültü, kararlı gürültüye iyi bir örnektir.
- 2) Kararsız Gürültü: Gürültü düzeyinde zamanla önemli değişikliklerin gözleendiği gürültü türüdür. Zamanla değişme, dalgalanma ya da durup yeniden başlama (kesikli olma) şeklinde gözlenebilir. Bu tür gürültülere sırasıyla, dalgalı gürültü ve kesikli gürültü adı verilir. Kararsız gürültünün diğer bir şeklide darbe gürültüsüdür. Darbe gürültüsünün kesikli gürültüden farkı; her gürültü anının, darbe gürültüsünde çok daha kısa olmasıdır. (Genellikle 1 sn'nin altında)

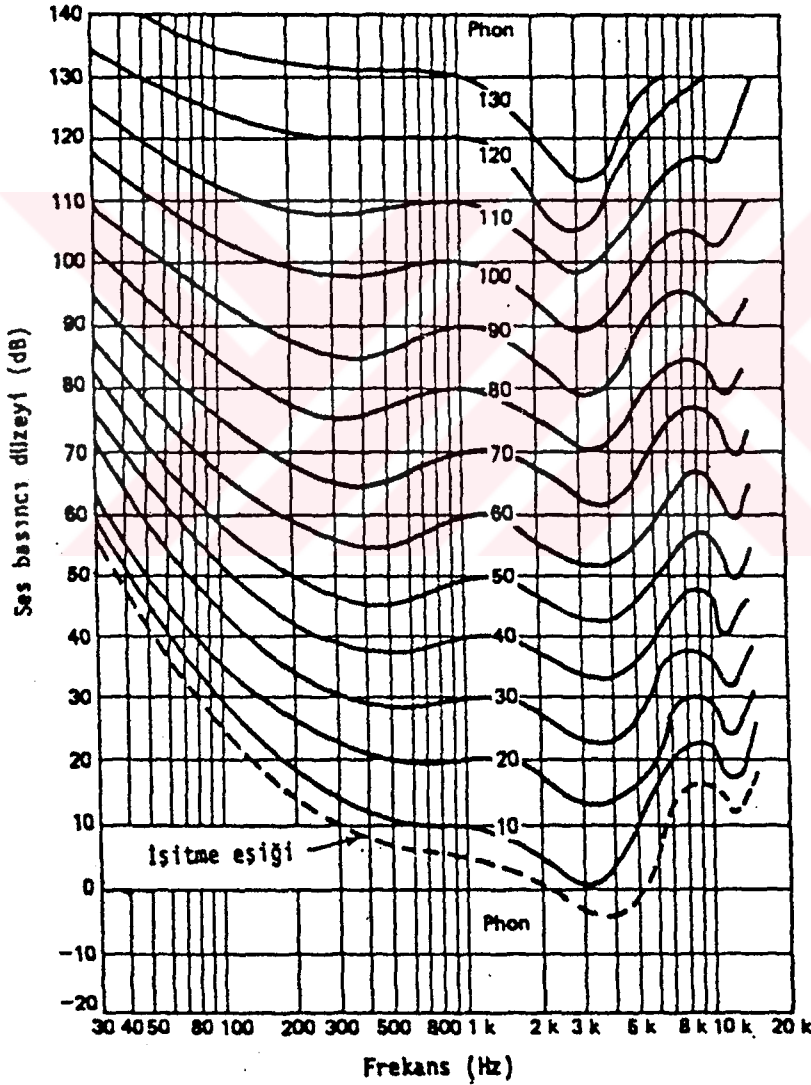
2. SES YÜKSEKLİĞİ VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜTÜ

2.1. Ses Yüksekliği ve Ses Yüksekliği Düzeyi

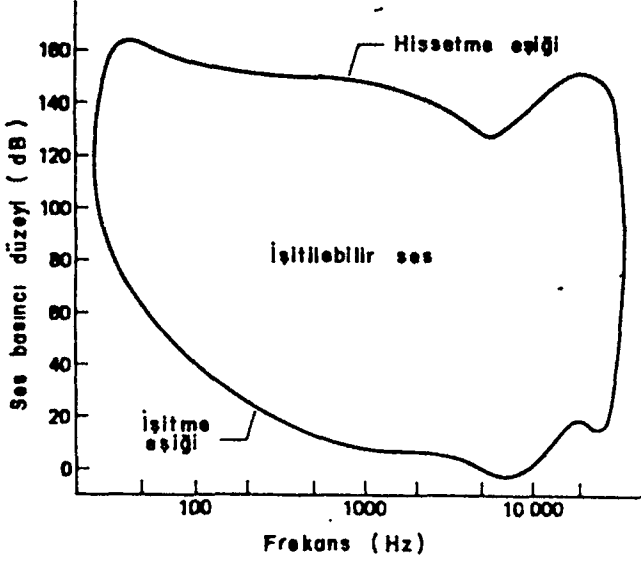
Bir sesin yüksekliği yalnız o sesin yarattığı ses basıncı tarafından belirlenmez. Yani, aynı ses basıncını yaratan değişik frekanslardaki sesler, kişilerce değişik yükseklikte algılanırlar. Dolayısıyla; ses yüksekliği, sesin frekansı ve yarattığı ses basıncı tarafından belirlenir. Değişik frekanslarda aynı yükseklikte duyulan iki sesin ses basınçları arasındaki ilişkinin saptanması için kaçınılmaz olarak kişisel yargıya başvurulmuştur. Ölçüt olarak çok sayıda kişinin kişisel tepkileri alınmış ve istatistiksel sonuçlara dayanarak, ses yüksekliği ile ses basıncı ve frekansı arasındaki ilişki bulunmuştur.

Aynı yükseklikte duyulan değişik frekanslardaki saf tonların ses basıncı düzeylerinin frekansla değişimleri çizilerek eş yükseklik eğrileri elde edilmiştir. Herhangi bir eş yükseklik eğrisinin üzerindeki her nokta aynı yükseklikteki sesleri göstermekte ve eğrinin 1000 Hz'i kesteği noktadaki ses basıncı düzeyinin sayısal değerine o yükseklikteki sesin yükseklik düzeyi (ya da ses yüksekliği düzeyi) denilmektedir. Birimi phon (fon)'dur. Örneğin, 1000 Hz'de 40 dB ses basıncı düzeyine sahip bir arı sesin yaratacağı sesin yükseklik düzeyi 40 phon'dur; kulağa bu yükseklikte gelen seslere, hangi frekansta olurlarsa olsunlar, 40 phon yükseklik düzeyine sahip denilir. Ses yüksekliği tamamen öznel bir kavram olduğu için, uygulamada standartlaşma sağlamak amacıyla "ortalama insana" göre elde edilen eşyükseklik eğrileri kullanılmaktadır. Grafik 2.1 eşyükseklik eğrilerini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi; belli bir ses yüksekliği için gereken ses basıncı, 3 kHz dolaylarında en düşük değerini alırken, frekans küçüldükçe yükselmektedir. Bu da insan kulağının en çok 3 kHz dolayındaki frekanslara karşı duyarlı olduğunu gösterir. Grafik 2.1'in incelenmesi, bir arı sesin frekansının yükselmesi sonucu, sesin belli bir frekansta aniden

duyulabilirliğini yitirdiğini göstermektedir. Bu eğrinin altında kalan noktalar, ortalama bir insan kulağı tarafından duyulamayacak titreşimleri gösterir. İşitme sınırları Grafik 2.2'de gösterilmektedir. Kapalı eğri içinde kalan noktalara karşı gelen sesler, insan kulağı tarafından duyulabilen seslerdir. Eğrinin alt kısmı duyma eşiğini, üst kısmı ise hissetme eşiğini göstermektedir. Eğri dışında kalan tüm noktalar duyulmayan titreşimlere aittir.



Grafik 2.1. Arı Sesler İçin Eşyükseklik Eğrileri.



Grafik 2.2. İşitme Sınırları.

Ses yüksekliği düzeyi logaritmik olarak ölçülmektedir. Dolayısıyla kıyaslama için yine insanların kişisel görüşlerine başvurulmuştur, bunun sonucunda da 10 phon'luk bir ses artışı, ses yüksekliğini iki katına çıkardığı görülmüştür. Bu nedenle, ses yüksekliği iki katına çıkınca sesin, yüksekliğini gösteren sayısında iki katına çıkacağı yeni bir ölçü bulunarak birime sone (son) adı verilmiştir. Ses yüksekliği birimi olan sone, 1000 Hz frekansındaki 40 dB ses basıncı düzeyine sahip arı bir sesin ses yüksekliği olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, 40 phon ses yüksekliği düzeyindeki bir sesin ses yüksekliği 1 sone'dur. Phon ile sone arasındaki ilişki,

$$S = 2^{(L_L - 40)/10} \quad (2.1)$$

eşitliğiyle gösterilmektedir. Burada:

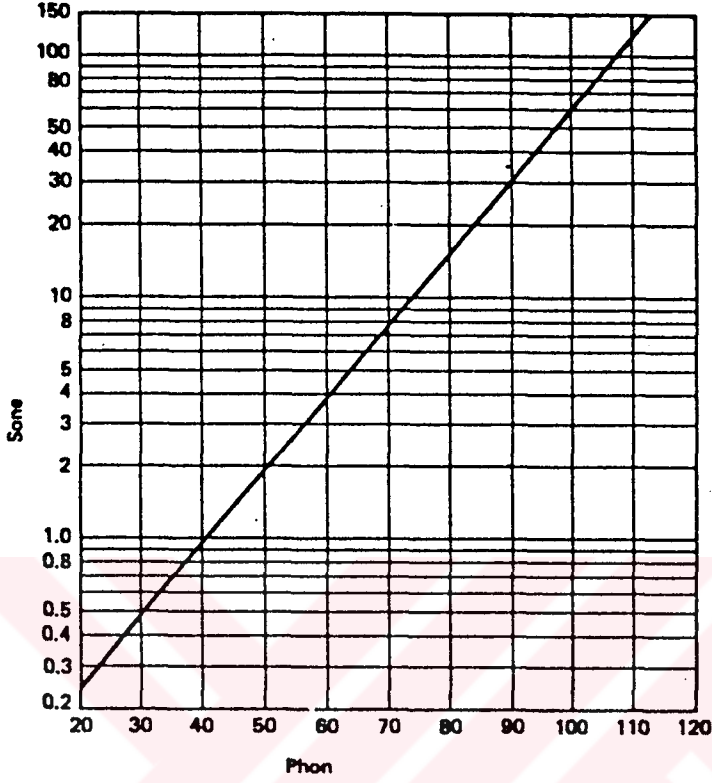
S = sone (ses yüksekliği)

L_L = phone (ses yüksekliği düzeyi)

Ters çevrim için ise;

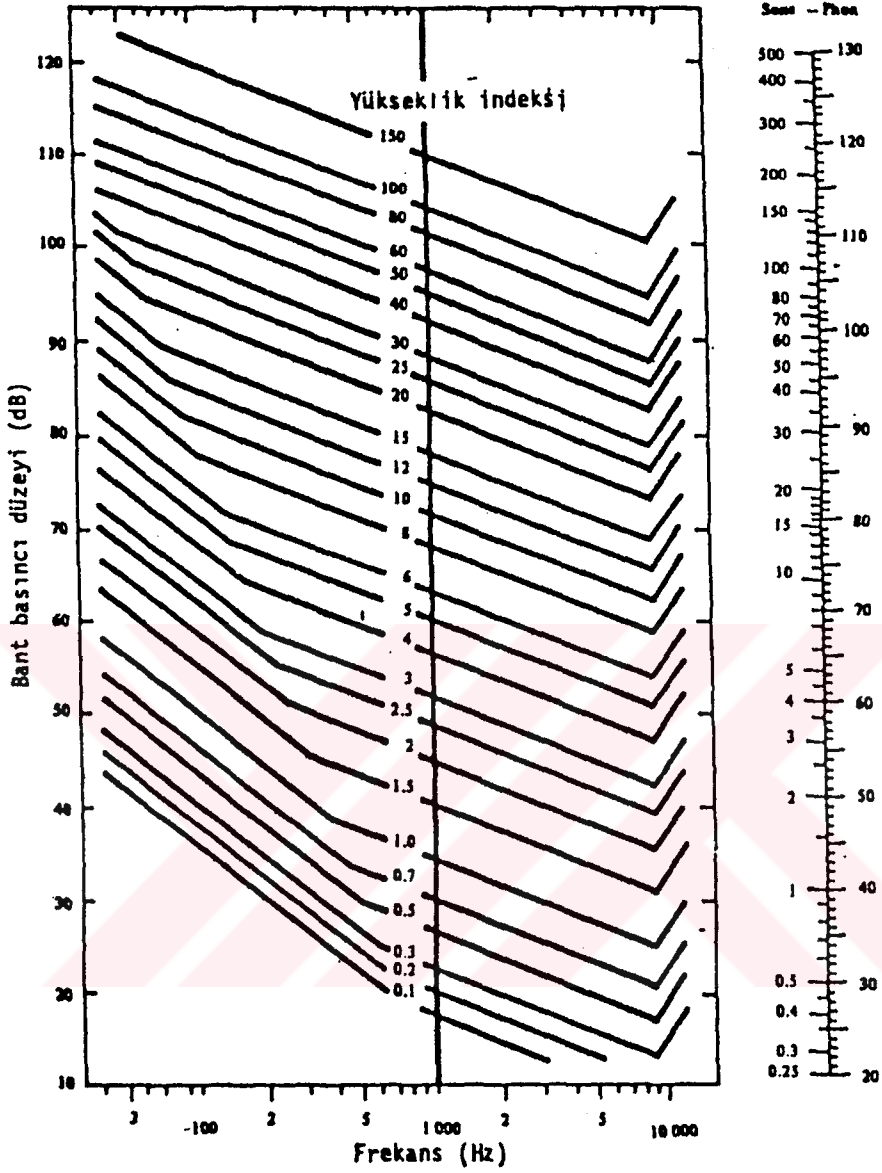
$$L_L = 33,3 \log S + 40 \quad (2.2)$$

eşitliği kullanılır. Ses yüksekliği ve ses yüksekliği düzeyi için aşağıdaki Grafik 2.3 kullanılır.



Grafik 2.3. Ses Yüksekliği ve Ses Yüksekliği Düzeyi Çevrim Eğrisi.

Şimdiye kadar arı sesler ve frekansları incelendi. Genelde sesler arı olmayıp bir çok harmonikten oluşan karışık seslerdir. Bu durumda S.S. Stevens tarafından aşağıdaki Grafik 2.4' teki eşyükseklik indeksi eğrileri geliştirilmiştir.

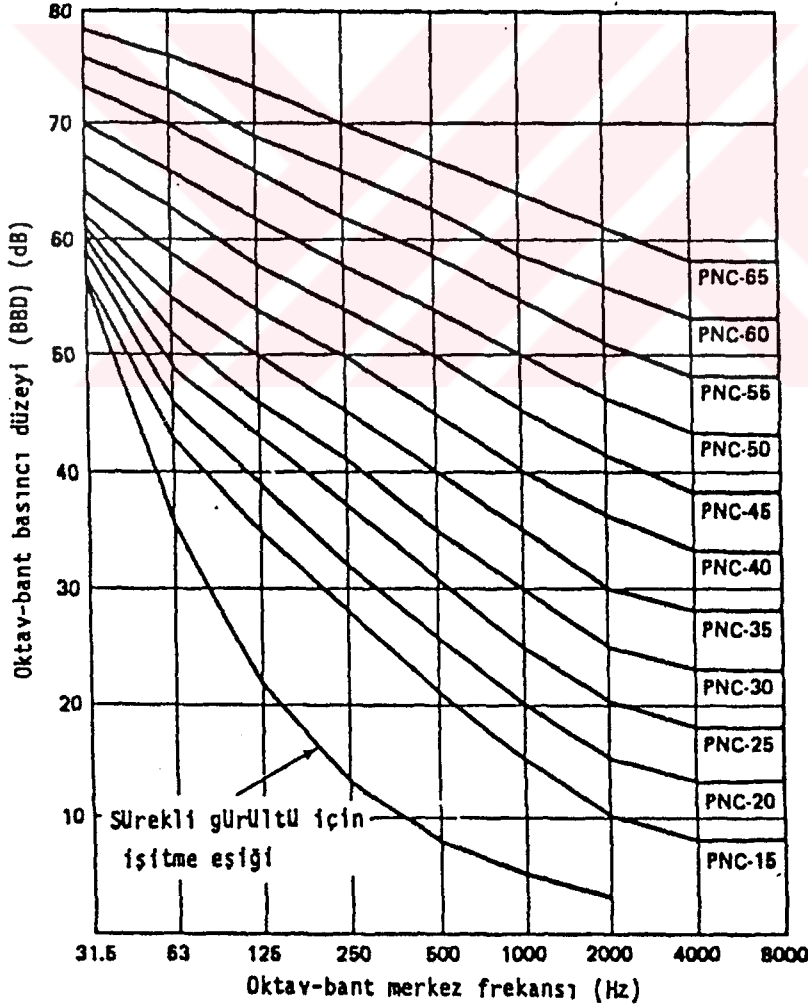


Grafik 2.4. Eşyükseklik İndeksi Eğrileri.

Bunun Grafik 2.1'den farkı, tek bir frekans yerine, frekans bandının kullanılmasıdır. Yani, düşey eksen tek bir frekansa sahip bir sesin ses basınç düzeyini değilde, bir çok harmonikten oluşan bir sesin belli bir frekans bandında ölçülen bant basıncı düzeyini göstermektedir.

2.2. Gürültü Ölçütü Eğrileri

Kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsünün düzeyini saptananın ve bilinen sınır değerlerle kıyaslamamanın bir yolu, gürültü ölçütü eğrilerini kullanmaktır. Aşağıdaki Grafik 2.5'de gürültü ölçütü eğrilerinden PNC eğrileri verilmiştir. Her eğri, verilen belli bir PNC değeri için ulaşılabilecek en yüksek oktav bant basıncı düzeyini göstermektedir. En basit kullanımda, incelenen gürültünün ölçünün oktav bant basıncı düzeyleri PNC eğrilerinin üzerine işaretlenir; en büyük PNC değerine yakın nokta gürültünün PNC değerini belirler.



Grafik 2.5. Gürültü Ölçütü (PNC) Eğrileri.

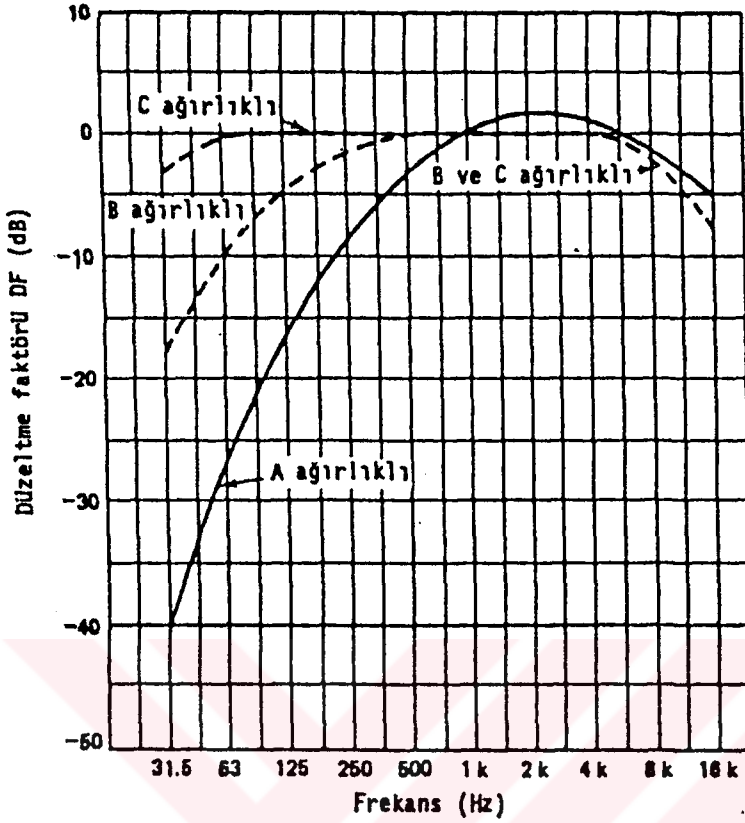
Aşağıdaki Tablo 2.1'de çeşitli kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen PNC değerleri görülmektedir.

Tablo 2.1. Çeşitli Yerlerdeki Önerilen PNC Değerleri

Yer	PNC Değeri
Konser salonları	15 - 20
Yatak odaları	25 - 35
Ofis ve sınıflar	30 - 35
Oturma odaları	35 - 45
Dükkanlar	35 - 50
Laboratuvarlar	40 - 45
Bilgisayar odaları, banyolar	45 - 55
Üretim yapılan bölgeler	45 - 60

2.3. Ses Düzeyi

Ses düzeyi, ses basıncı düzeyinin belli bir eğriye göre ağırlıklı olarak bulunmuş şeklidir. Bu kısımda yine karmaşık bir sesin yüksekliğini tek bir sayıyla ifade etmenin en basit yolu incelenenektir. Temel ilke, kulağın duyarlılığı ile orantılı ağırlıklar kullanmaktır. Kulağın duyarlı olduğu frekanslardaki harmoniklerin ses basıncı düzeylerine ağırlık verilip, kulağın duyarlılığının azaldığı frekanslara sahip harmoniklerin ses basıncı düzeylerinin ağırlıkları azaltılarak bulunan toplam ses basıncı düzeyi, kulağın söz konusu sesi hangi yükseklikte algılandığının bir ölçüsü olmaktadır. Aşağıdaki Grafik 2.6 A, B, C ağırlık eğrilerini göstermektedir. Bu eğrileri kullanarak yapılan ölçümlere ses düzeyi ölçümü denir. Ağırlıklamayı kendi içinde yapıp, ölçüm sonunda doğrudan ses düzeyini veren ölçüm cihazlarına ses düzeyi ölçer denilmektedir. Ses düzeyinin birimi kullanılan ağırlık eğrisine göre dBA, dBB ya da dBC'dir.



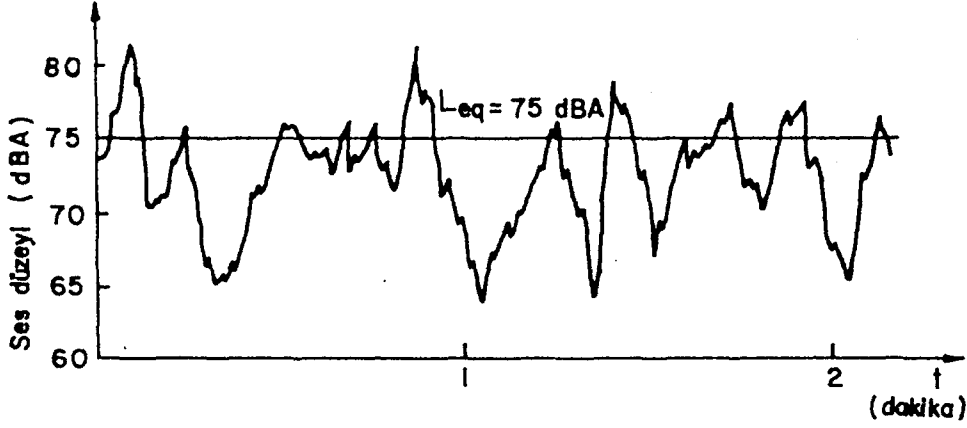
Grafik 2.6. A, B ve C Ağırlıklı Ses Düzeyleri İçin Çevrim Eğrileri.

Oktav bant ya da 1/3 oktav bant ses basıncı düzeyleri bilinen bir sesin toplam ses düzeyini bulmak için, her bant için dB cinsinden verilen ses basıncı düzeyine grafikten o frekans için okunan değer eklenir (işareti göz önünde bulundurularak) ve bulunan değerler önceki bölümde gördüğümüz desibel toplama kuralına göre toplanır.

2.4. Eşdeğer Sürekli Ses Düzeyi ve Ses Etkilenim Düzeyi

Ses düzeyinde alçalıp yükselmelerin olduğu ya da ses düzeyinin zamanla gelişigüzel değiştiği tür gürültülerin değerlendirilmesinde; ses düzeyinin zamanla değişiminin incelenmesi yerine, sesin eşdeğer sürekli ses düzeyi kullanılır. Genellikle Leq ile gösterilen eşdeğer sürekli ses düzeyi; verilen bir zaman aralığında, söz konusu ses ile aynı toplam enerjiye

sahip, sabit düzeydeki sesin ses düzeyi olarak tanımlanır. (Grafik 2.7).



Grafik 2.7. Zamanla Değişen Ses Düzeyinin (L_{eq}) ile Değişmesi.

Bu tanıma göre, eşdeğer sürekli ses düzeyi, bir sesin A ağırlıklı ses basıncının rms değerinin düzeyine eşittir. Buna göre eşdeğer sürekli ses düzeyi,

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_o^2} dt \right] \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir.

T = ölçüm süresi

$p(t)$ = ölçülen sesin A ağırlıklı ses basıncı

p_o = referans ses basıncı.

Eşdeğer sürekli ses düzeyinin yeterli bilgiyi sağlayamadığı bir durum, çok kısa süren ve birden yükseldikten sonra alçalan sesin değerlendirilmesidir. Örneğin bir uçağın havalanması sırasında çıkardığı ses saniyelerle belirtilebilecek bir süre devam eder. Bu durum da L_{eq} olumlu sonuç vermeyecektir. Böyle durumlarda L_{eq} yerine ses etkilenim düzeyi (SEL) kullanılmaktadır. Böylelikle SEL, kısa sürede önemli düzey değişimi gösteren bir sesin enerjisine sahip, 1 saniye süren sabit düzeyli sesin ses düzeyidir. T saniye süren bir olayın

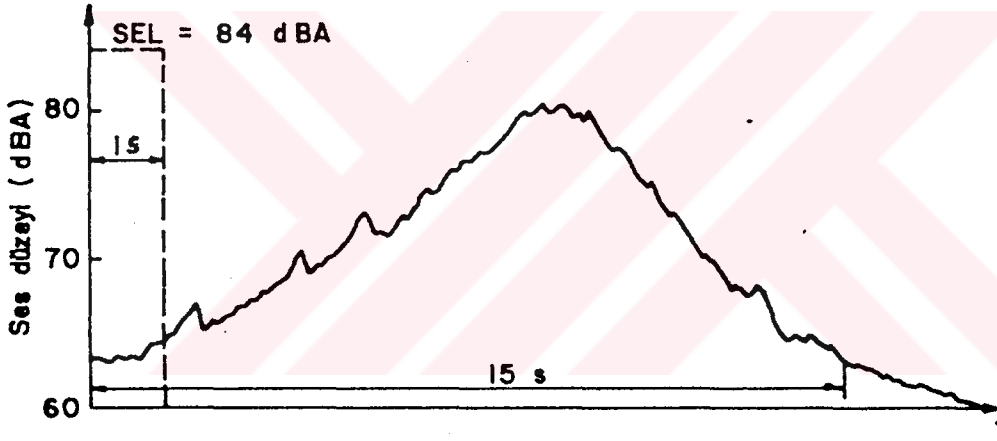
neden olduğu sesin SEL değeri ile L_{eq} değeri arasında,

$$L_{eq} = SEL - 10 \log T \quad (2.3)$$

bağıntısı vardır. Değişik SEL değerlerindeki n ayrı sesin, toplam T saniyedeki eşdeğer sürekli ses düzeyi,

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{SEL_i/10} - 10 \log T \quad (2.4)$$

eşitliğiyle bulunur. Aşağıdaki Grafik 2.8'de bir uçağın kalkışı sırasında çıkan tipik gürültünün ses düzeyi ve ses etkilendirme düzeyi görülmektedir.



Grafik 2.8. Bir Uçağın Kalkışı Sırasında Çıkan Tipik Gürültünün Ses Düzeyi ve Ses Etkilenim Düzeyi.

3. ENDÜSTRİYEL GÜRÜLTÜ KAYNAKLARININ SES GÜCÜ DÜZEYLERİ

3.1. Bazı Makinaların Ses Gücü Düzeylerinin Yaklaşık Olarak Bulunması

Bir makinanın ses gücünün bulunması için kullanılacak yöntem, genelde, makinanın cinsine bağlıdır. Her tür makinada toplam gücün değişik bir oranın ses gücüne çevrilmesinin yanında, makinanın özelliğine bağlı olarak ses gücünü bulmada karmaşık yöntemler kullanmak gerekebilir. Bununla birlikte bir makinanın ses gücünü yaklaşık olarak bulmak için,

$$W = F W_m \quad (3.1)$$

eşitliği kullanılabilir. Burada:

W_m = Makinanın gücü

W = Makinanın yaklaşık ses gücü

F = Makinanın türüne bağlı çevirme katsayısıdır.

Aşağıda Tablo 3.1'de bazı makinaların çevirme katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı Makinaların Çevirme Katsayıları

Gürültü Kaynağı	Çevirme Katsayısı		
	Düşük	Orta	Yüksek
Hava Kompresörleri(1-100 Hp)	3×10^{-7}	$5,3 \times 10^{-7}$	1×10^{-6}
Dişli Kutuları	$1,5 \times 10^{-8}$	5×10^{-7}	$1,5 \times 10^{-6}$
Hoparlörler	3×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}
Dizel Motorları	2×10^{-7}	5×10^{-7}	$2,5 \times 10^{-6}$
Elektrik Motorları(1200dev/dak)	1×10^{-8}	1×10^{-7}	3×10^{-7}
Pompalar (1600dev/dak üstü)	$3,5 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}
Pompalar (1200dev/dak'dan yavaş)	$1,5 \times 10^{-6}$	$4,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-5}$
Gaz Türbinleri	2×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-5}

Yukarıdaki eşitlikten bulunan W kullanılarak hesaplanan ses gücü düzeyi; 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz oktav bantlarındaki toplam ses gücü düzeyidir. Bu basit yöntemle bulunan ses gücü düzeyi, oldukça yaklaşık bir değer olacaktır.

3.2. Pompalarda, Elektrik Motorlarında, Fanlarda, Dişlilerde Gürültü

3.2.1. Pompalarda Gürültü

Pompalarda gürültünün başlıca iki kaynağı vardır: Hidrolik gürültü kaynakları ve mekanik gürültü kaynakları. Kavitasyon ve basınç dalgalanması hidrolik gürültünün temel nedenidir. Mekanik gürültünün nedenleri ise çok çeşitli olmakla birlikte; dişliler, balans bozukluğu, mekanik parçaların rezonansa gelmesi, içlerinden en önemlileridir. Pompalarda gürültü doğrudan doğruya yayılmaz; yayılma, akışkanla ya da gövde ile temasta bulunan yapının titreşimiyle olur.

Pompalar 3000 Hz'in üzerinde geniş frekans bantlı gürültü yaratırlar. Bunun nedeni kavitasyon ve yüksek hızlı akıştır. Bir de ana pompalama frekansı olarak adlandırılan frekansta ve onun harmoniklerinde arı sesler yayılır. Ana pompalama frekansı (f);

$$f = \frac{N \cdot m_1}{60} \text{ Hz} \quad (3.2)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada;

N = Pompanın dönüş hızı (dev/dak)

m_1 = Pompanın bir dönüşündeki basınç çevrim sayısıdır.

Yapımcı firmanın ses gücü düzeyini veremediği durumlarda;

$$L_w = 10 \log HP \left(1 - \frac{V}{2}\right) + K_p \quad (3.3)$$

eşitliği kullanılarak hidrolik gücü H_p ve verimi V bilinen bir pompanın ses gücü düzeyi yaklaşık olarak bulunabilir. K_p pompanın ses gücü düzeyi sabit olup aşağıdaki Tablo 3.2'den okunabilir.

Tablo 3.2. Pompaların Kp Değerleri

Pompa Tipi	Kp		Kp	
	Hız	1600 dev/dak için	Hız	1600 dev/dak için
1- Santrifüj		95		90
2- Helisel		100		95
3- Pistonlu		105		105

3.2.2. Elektrik Motorlarında Gürültü

Elektrik motorlarında gürültü yaratan nedenler çok çeşitli olduğundan, bir elektrik motorunun ses gücü düzeyini genel bir eşitlikle vermek oldukça güçtür. Bununla birlikte elde fazla bir bilgi yoksa 500-4000 Hz, dört oktav bandındaki toplam ses gücü düzeyi;

$$L_w = 20 \log HP + 15 \log N + 13 \text{ dB} \quad (3.4)$$

eşitliğinden yaklaşık olarak bulunur. Bu formülasyon gücü 1-300 Hp arasında değişen motorlar için geçerlidir.

3.2.3. Fanlarda Gürültü

Bir fanın yaratacağı gürültü düzeyi ya da fanın teknik özellikleri yapımca firma tarafından verilmemişse, fanın ses gücü düzeyini, ancak önceki bölümde gördüğümüz yöntemle yaklaşık bulabiliriz. Burada Graham tarafından santrifüj ve eksenel fanlar için geliştirilen bir yöntem verilmiştir.

Debisi $F(\text{m}^3/\text{s})$ ve statik basıncı $P(\text{cm H}_2\text{O})$ olan bir fanın ses gücü düzeyi,

$$L_w = 10 \log F + 20 \log P + K_f \quad (3-5)$$

olarak tanımlanır. Aşağıdaki Tablo 3.3'de fanlar için ses gücü düzeyi sabiti verilmiştir.

Tablo 3.3. Fanlar İçin Ses Gücü Düzeyi Sabiti

Fan Tipi	Kf (dB)
1- Eksenel, radyal, santrifüj	72
2- Kanat profilli santrifüj	59
3- Pervaneli	77

Fanlar, fanın kanat sayısına ve dönme hızına bağlı olarak değişen, kanat geçiş frekansında ek bir gürültü yaratırlar. Kanat geçiş frekansı (f), fanın N (dev/dak) hızından ve n toplam kanat sayısından,

$$f = \frac{n \cdot N}{60} \text{ Hz} \quad (3.6)$$

eşitliğiyle bulunabilir. Eğer f, ses gücü düzeyinin hesaplandığı 500-4000 Hz oktav bantları içerisinde kalıyorsa, eşitlik 3.2'den bulunan toplam ses gücü düzeyine 3 dB eklemek gerekir.

3.2.4. Dişlilerde Gürültü

Dişli sistemlerinde de gürültü düzeyi önemli ölçüde dişli tipine ve yapımçı firmaya bağlıdır. Gürültünün bir çok değişik nedeni olmakla birlikte; toleransa, dişlerin eğilmesine ve titreşime bağlı olarak dişlerin birbirine çarpması temel neden olarak gösterilebilir. Dişli kutusunun gövdesinin ve ona bağlı mekanik yapının rezonansa gelmesiyle yayılan gürültü de birçok durumda önemli olmaktadır. Gövde ve ona bağlı mekanik yapının rezonansa gelmemesi için, dişlilerin çarpma frekansının (f) ve bunun tam katlarının, sistemin doğal frekanslarıyla çakışmaması gerekir. Dişlilerde çarpma frekansı,

$$f = \frac{N \cdot m_3}{60} \text{ Hz} \quad (3.7)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada;

N = dişlinin bağlı olduğu milin dönme hızı (devir/dakika)

m₃ = dişlinin üzerindeki diş sayısıdır.

Tablo 3.4. Dişli Kutularının Ses Gücü Düzeylerinin Oktav Bantlarındaki Değerlerine Bir Örnek.

Dişli Kutusu Tipi	Lw - Ses Gücü Düzeyi (dB)							
	Oktav Bandı Merkez Frekansı (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Yüksek hızlı	94	107	99	99	99	98	95	89
Orta hızlı	86	88	90	90	90	89	83	79

4. GÜRÜLTÜNÜN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ, GÜRÜLTÜ DENETİM ÖLÇÜTLERİ ve GÜRÜLTÜNÜN TSE'ye GÖRE ÖLÇÜMÜ

4.1. Gürültünün İnsanlar Üzerindeki Etkisi

Gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini iki grupta inceleyebiliriz.

- 1) İşitme duyusuna yaptığı olumsuz etkiler
- 2) Bunun dışında fizyolojik ve psikolojik etkiler.

Gürültünün işitme duyusunda oluşturduğu olumsuz etkiler, ya ani etkiler şeklindedir, ya da zamanla görülür. Ani ve yüksek bir sesin kulak zarını parçalaması ya da hassas korti organının fizyolojik yapısını düzelmeyecek şekilde bozması ani oluşan etkilerdir. Bununla birlikte, ani zarar oluşturmayacak düzeydeki gürültüde uzun süre kalan kişilerde sürekli işitme kayıpları görülebilir.

İşitme duyusuna olan olumsuz etkilerinin yanında, gürültü insanlara başka bakımdan da zarar vermektedir.

Bu olumsuz etkileri, fizyolojik ve psikolojik olarak iki grupta inceleyebiliriz. Fizyolojik etkilerin başlıcaları; kas gerilmeleri, stres, kan basıncında artış, kalp atışlarının ve kan dolaşımının değişmesi, gözbebeği büyümesi ve uykusuzluktur. Bunların çoğu kısa süren etkilerdir. Yalnız stres ve uykusuzluk gürültünün uzun süren fizyolojik etkilerindendir.

Gürültünün psikolojik etkilerinin başında ise; sinir bozukluğu, korku, rahatsızlık, tedirginlik, zihinsel etkinliklerde yavaşlama ve iş veriminin azalması gelir.

4.2. İşyerlerinde Oluşan Gürültünün İncelenmesi ve İlgili Standartlar

Gürültünün, önceki bölümde gördüğümüz, insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle kontrol altına alınması gereği

insancıl bir yaklaşımdır. Bunun yanında, işyerlerindeki gürültü düzeyini tehlike sınırlarının altında tutabilmek için bir çok ülkede yasal zorlamalara gidilmiştir. İşverenleri sınır değerlere bağlı kalmaya zorlayıcı yasa, tüzük ve yönetmelik maddeleri konulmuş, standartlar geliştirilmiştir. Ülkemizde doğrudan bu amaçla kurulmuş bir örgüt yoktur. Bununla birlikte daha genel amaçla kurulmuş resmi ve resmi olmayan bazı kuruluşların bu amaçla bazı çalışmaları vardır. Bu kuruluşların başında Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na bağlı İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Enstitüsü (İSGÜM) gelmektedir. İSGÜM, 1970 yılından bu yana işyerlerinde gürültü düzeyini saptamakta, bunların değerlendirmekte, gürültülü işlerde çalışanların işitme kaybı testlerini yapmakta ve gerekli görülen durumlarda işçilerin kullanması gereken kişisel koruyucuların seçiminde yardımcı olmaktadır.

Gürültü konusunun yasal yönüne gelince; ülkemizde yasaların doğrudan gürültü konusuyla ilgili bir madde yoktur.

Yalnız 1475 sayılı İş Kanunu'na göre çıkarılan tüzüklerde gürültü sınırlamasına ilişkin maddeler yer almaktadır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği tüzüğü'nün 22. maddesinde "Ağır ve tehlikeli işlerin yapılmadığı yerlerde gürültü derecesi 80 desibeli geçmeyecektir. Daha çok gürültülü çalışmayı gerektiren işlerin yapıldığı yerlerde gürültü derecesi en fazla 95 dB olabilir. Ancak bu durumda işçilere başlık, kulaklık veya kulak tıkağları gibi uygun malzemeler verilecektir"denilmektedir.

ABD'de 1970 yılında uygulamaya konulan OSHA (Occupational Safety and Health Act)'da esas alının standart bir çok ülkede de temel alınmıştır. Bu standartta değişik düzeylerdeki gürültünün etkisi altında bir günde kalınabilecek değerler verilmiştir. Bu değerler aşağıdaki Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. OSHA Standartlarına Göre, Değişik Düzeylerdeki Sürekli Gürültülerin Etkisi Altında Kalınabilecek Süreler.

Ses Düzeyi(dBA)	Bir Günde Etki Altında Kalınabilecek Süre (Saat)
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1,5
105	1
110	0,5
115	0,25

4.3. Şehiriçi Yollar, Trafik Gürültüsü Tespit ve Önlemleri ile İlgili Standartlar

4.3.1. Genel Kurallar

Trafik gürültüsünün TS 8535'de belirtilen sonometre ile ölçümünde; her zaman aynı seviyede olmayan, devamlılık gösteren ve bu devamlılıkta değişik pikleri (tepe değerleri) bulunan, bu piklerin sıklığı, süresi ve şiddeti istenmeyen gürültü kirlenmesini meydana getirdiğinden, trafik gürültü seviyesi L_{10} (Level %10) olarak dB(A) cinsinden ifade edilmelidir. Sabah 6 gece 24 saatleri arasındaki 18 saatlik sürede, 1 saatlik periyodlarda genel gürültü seviyesini %10 geçen gürültülerin ortalaması L_{10} değeri olarak alınır.

- Trafik gürültüsü ölçümü, yol kenarında kenartasından en az 3 m uzaklıkta ve 1,2-1,5 m yükseklikte, gürültünün etkilediği alıcı noktada bina varsa bu binanın 1 m önünde yapılmalıdır. (TS 2606).

- 18 saatlik sürede trafik akımının 10000 araçtan az olması halinde gürültü ölçüm veya hesaplamasına gerek yoktur.

- Doğrudan ölçüm yapılmadan trafik gürültüsünün hesaplama yoluyla bulunmasında araçların motor, lastik, fren, bakım ve kullanma şartları dışında, trafik akımının ortalama hızı, akımdaki ağır araç oranı, yol eğimi, yolun genişliği, yol ile alıcı arasındaki zemin durumuna göre, bu standartta verilen şekil ve çizelgeler kullanılmaktadır.

4.3.2. Trafik Gürültüsünde Üst Sınırlar

Ölçülen veya hesaplanan trafik gürültüsünde çevredeki arazi kullanım şekline göre kirlilik yaratmayan kabul edilebilir gürültü seviyeleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kabul Edilebilir Gürültü Üst Seviyeleri dB(A)

Kullanım Sınıfı	L_{10} Gürültü Seviyesi (dB)	Açıklama
A	50 (içerde)	Konut, otel, toplantı salonu, okul, camii, kütüphane, hastane.
B	60 (dışarda)	Sessizliğin önemli olduğu açık hava tiyatrosu v.b.
C	65 (dışarda)	A gibi.
D	70 (dışarda)	B ve C sınıfına girmeyen yerler.

4.3.3. Trafik Gürültüsünün Tespiti

Trafik Gürültüsünün Doğrudan Ölçümü:

Trafik akımının serbest olmadığı çok kavşaklı, sık otobüs duraklı ve trafik lambalı sıkışık yollarda TS 8535'de belirtilen sonometre ile trafik gürültüsü doğrudan tespit edilmelidir.

Trafik Gürültüsünün Hesaplanması:

Bu yöntemde çeşitli grafikler kullanılmakta olup, yol eğimi, ağır araç, yol yüzeyi gibi etkenler etkili olmaktadır. Bunu

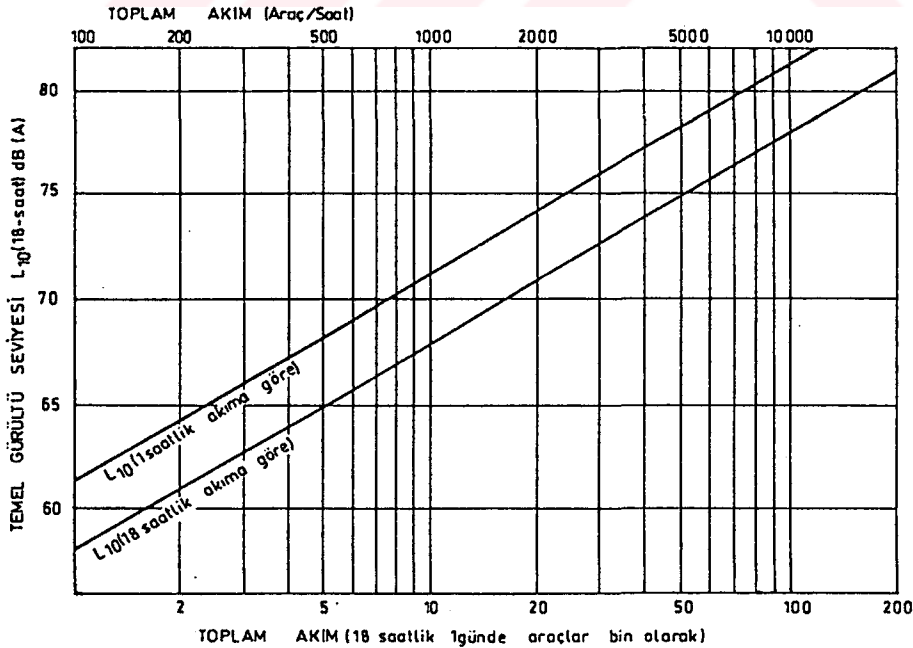
bir örnekle açıklayalım:

18 saatlik iki yöndeki toplam akım	: % 15
Ortalama trafik hızı	: 50 km/h
Yol eğimi	: % 2
Yol düzeyi	: 5 mm'den fazla pürüzlü malzeme
Kaynak alıcı arası uzaklık	: 10 m
Kaynak alıcı arası yükseklik	: 5 m
Kaynak alıcı arası zemin	: Engel yok.

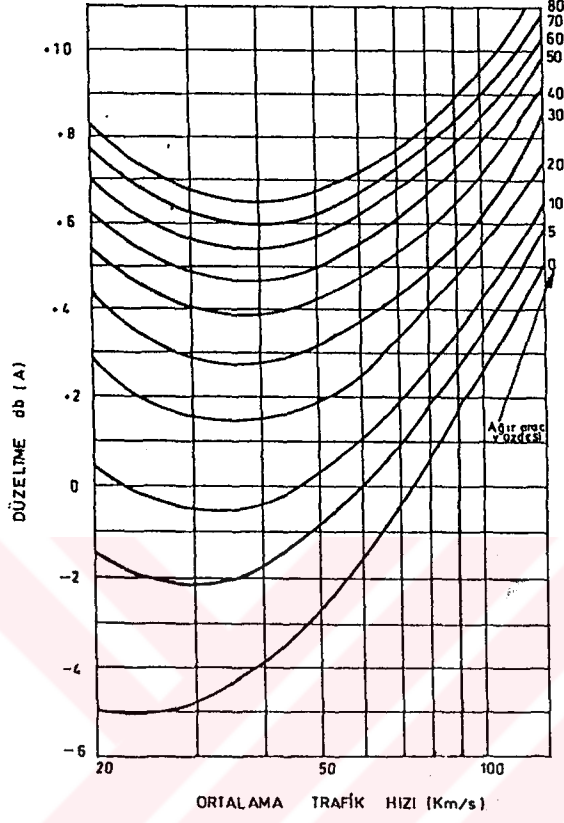
- a) Temel Gürültü Seviyesi Grafik 4.1'den
2000 araç/18 saat için :: 71,1 dB(A)
- b) Hız ve ağır araç düzeltmesi Grafik 4.2'den: -1 dB(A)
- c) Eğim düzeltmesi Grafik 4.3'den : -0,4 dB(A)
- d) Yol yüzeyi %10 düzeltmesi Grafik 4.4'den : -1 dB(A)

Toplam : 74,7 dB(A)

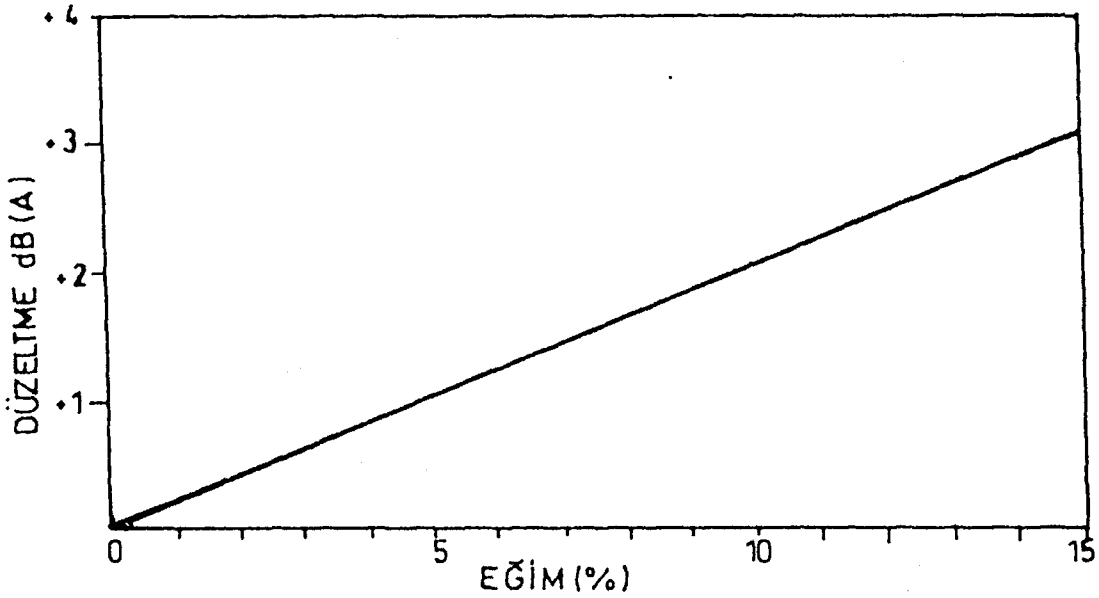
Sonuç yuvarlatılarak $L_{10} = 75$ dB(A) bulunur.



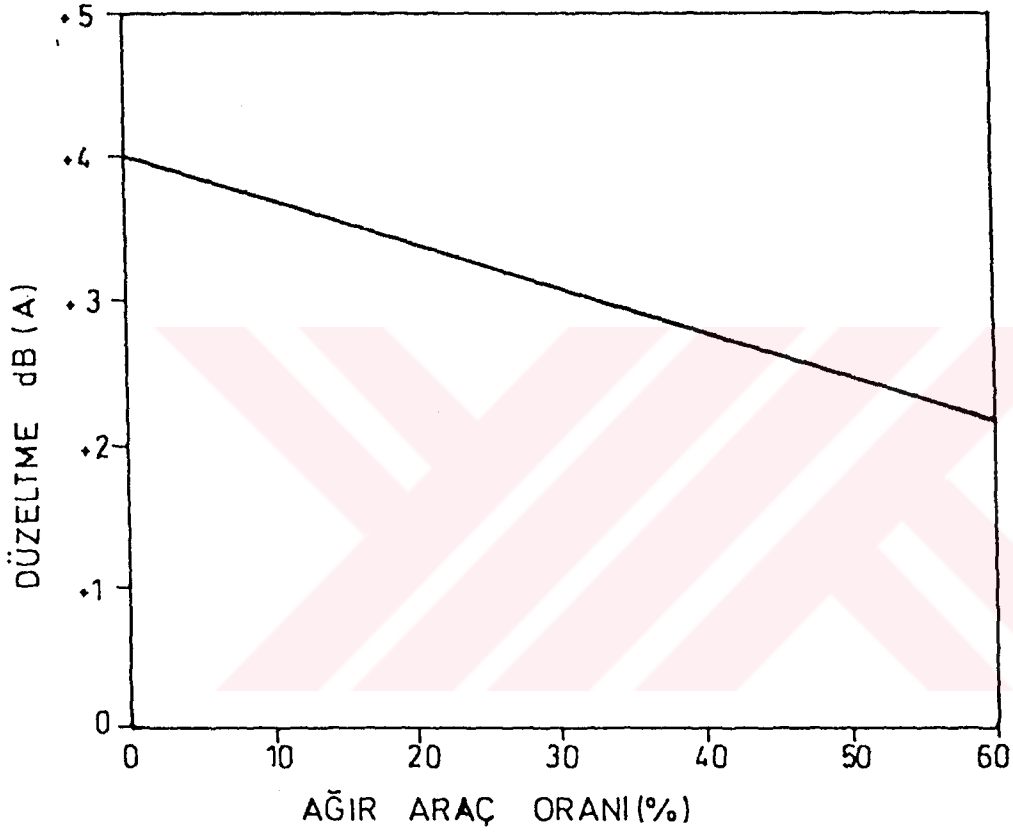
Grafik 4.1. Temel Gürültü Seviyesi



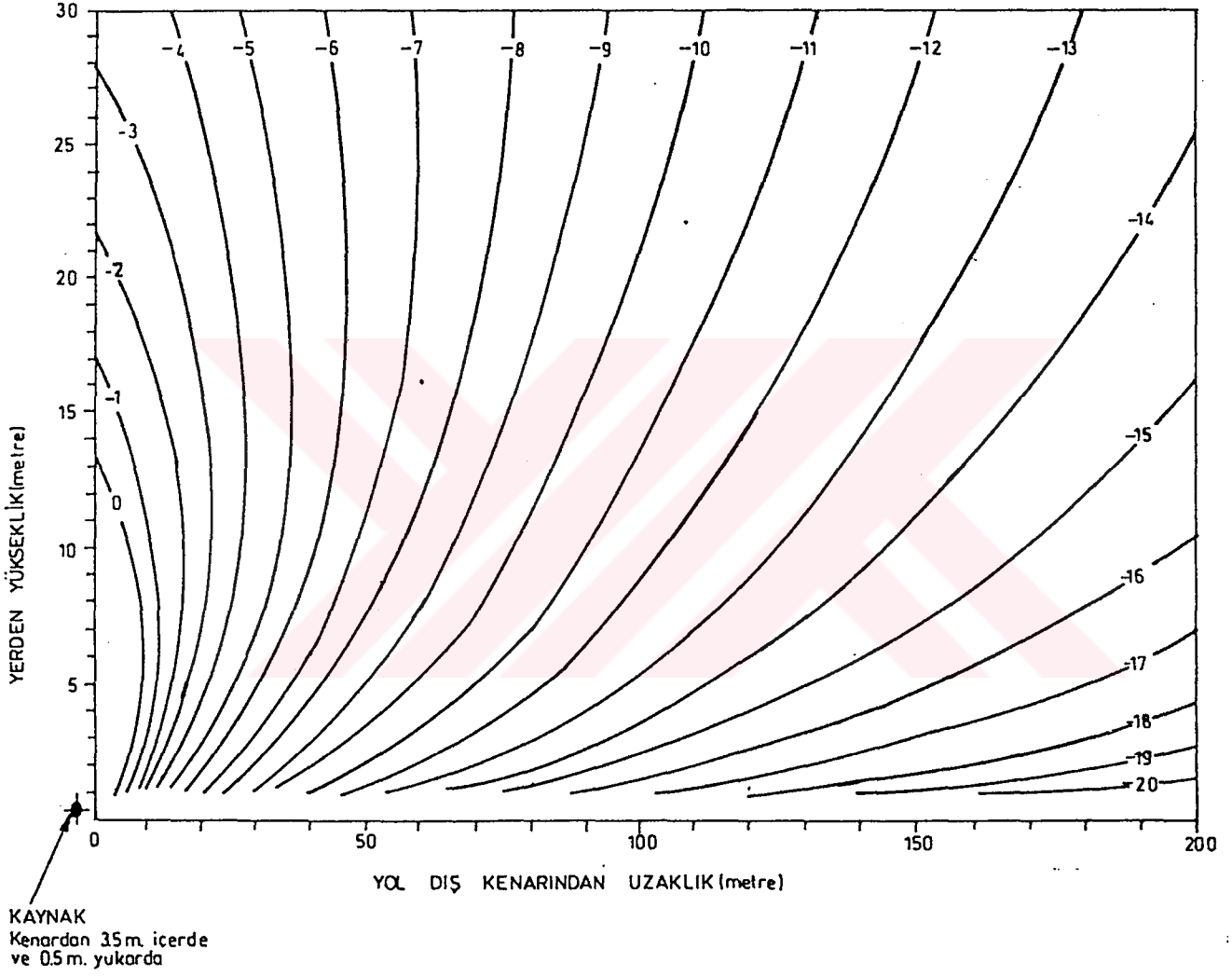
Grafik 4.2. Ortalama Trafik Hızı ve Ağır Araç Oranına Göre Düzeltme.



Grafik 4.3. Tırmanan Eğime Göre Düzeltme.



Grafik 4.4. Yol Yüzeyi Düzeltmesi.



Grafik 4.5. Yutucu Zeminde Uzaklık ve Yüksekliğe Göre Düzeltme.

4.3.4. Trafik Gürültüsü Önlemleri

Yol ve Çevre Tasarımındaki Önlemler:

- Planlama ve uygulamada ağır trafiği olan şehir içi esas dağıtıcı yollar, sanayi demiryolu gibi zaten gürültülü alanlardan geçirilmeli, konut alanlarından mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır.
- Yol kenarına ses yutucu yapay veya ağaç-bitki kümesi gibi tabii engellerle perdelenmelidir.
- Ses yutucu yapay engellerle perdeleme şehir estetiği bakımından tercih edilmediğinden kaynak ile alıcı arası gürültüye daha az hassas büro, çok katlı çarşı, otopark, park, spor salonu gibi tampon bölge ile gürültü yayılmasında gölgeleme tesiri yaratılmalıdır. Kaynak ile alıcı arası mümkün olduğunca ağaçlanıp çimlendirilmelidir.
- Mevcut yerleşik alanlarda dar yollarda yansıma olacağından bu tip yerlere çok katlı binalar yapılmamalıdır.

Bina Tasarımındaki Önlemler:

- Yol kenarındaki yapılarda mümkünse yatak odaları yola cepheleli inşa edilmemelidir.
- Okul binalarında sınıflar, okuma salonları; jimnastik salonları gibi gürültüye hassas olmayan yapılarla gölgelenmelidir.
- Binalarda çift camlı sistemde kullanılabilir.

Trafik İdaresi Önlemleri:

- Her tür araç her saatte şehrin her yoluna sokulmamalıdır.
- Trafik akımı sık sık kesilmemelidir.
- Gereksiz korna çalınmamalıdır.

- Doğru vitesle araç kullanma, bozuk ekzosla trafiğe çıkma denetlenmelidir.
- Mümkün olduğunca otobüs durakları aynı bölgede çok sık konmamalıdır.
- Yol eğimi de gözönüne alınarak, tırmanan trafik olmayacak şekilde gerektiğinde tek yön uygulaması belirli yerlerde tesis edilebilir.

4.4. TSE'ye Göre Akustik Konuşmanın Anlaşılabilirliği Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi

İlgili Standartlar:

TS 2604

TS 2036

Anlaşılabilirlik:

Anlaşılabilirlik, normal bir konuşma sırasında anlaşılan kelime sayısının konuşulan toplam kelime sayısına oranıdır.

Yeterli anlaşılabilirlik %95 ve üstüdür.

Ölçme Yöntemleri:

Band basınç seviyesi ölçmeleri merkez frekansları 500, 1000, 2000, 4000 Hz olan oktav bantlarında ve dinleyicinin başının bulunduğu konumda olanak varsa dinleyici yokken yapılmalıdır.

Yeterli Anlaşılabilirlik Yönünden Gürültünün Değerlendirme Yöntemi:

Aşağıdaki Tablo 4.3'de normal ve yüksek sesle yapılan konuşmalarda yeterli anlaşılabilirliğin olduğu kabul edilen en büyük uzaklıkları, konuşmaya karışan seviyenin bir fonksiyonu olarak göstermektedir.

Tablo 4.3. Yeterli Anlaşılabilirlik.

Konuşmaya Karışan Gürültü seviyesi (dB)	Normal Konuşmanın Yeterli Anlaşılabilirlikte Olacağı En Büyük Uzaklık (m)	Yüksek Sesli Konuşkanın Yeterli Anlaşılabilirlikte Olacağı En Büyük Uzaklık (m)
35	7,5	15
40	4,2	8,4
45	2,3	4,6
50	1,3	2,6
55	0,75	1,5
60	0,42	0,85
65	0,25	0,50
70	0,13	0,26

4.5. Gürültü Ölçümlerinde Dikkat Edilecek Hususlar

Gürültü ölçümlerinde karmaşık yolların denenmesi yerine ses düzeyi ölçerler kullanılır. Burada dikkat edilecek husus uygun ses düzeyi ölçerin uygun yerde kullanılmasıdır. Bu çok karmaşık ve uzmanlık isteyen bir konudur. Bunun haricinde dikkat edilecek diğer hususlar:

- Herşeyden önce elimizdeki cihazın pillerinin yeterli güçte olup olmadığı kontrol edilir.
- Ölçümlerden önce ve sonra cihaz kalibre edilmelidir.
- Kullanılan cihazın tipi bir yere not edilmelidir.
- Ölçüm yapılan ortamın atmosferik özellikleri saptanmalıdır.
- Ölçümün yapıldığı yerin planının çıkarılması, çevredeki yansıtıcı ve yutucu etkenlerin ölçümü ne kadar etkilediğini bilmek açısından yararlıdır.
- Bir gürültü kaynağının gürültü düzeyi ölçülecekse, önce söz konusu kaynak çalışmadan, ölçüm noktasındaki arka plan gürültüsünün ölçülmesi gerekir. Eğer arka plan gürültüsü ile ölçüm yapılacak cihaz arasındaki ölçüm değeri 10 dB, ya da daha

fazla varsa ölçüm 0,5 dB hassasiyetle yapılıyor demektir. Aradaki fark 10 dB'den azsa, ikisinin farkı gerçek ölçüm olarak alınır.



5. TÜRKİYE'DE ÇEVRE BAKINLIĞI'NIN GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ
YASAK VE HÜKÜMLERİ

5.1. Gürültü Kaynakları, Karayolu, Havayolu Taşıma Araçları
Sanayi, Yol ve İnşaat Makinaları

Madde 6- Sanayi, Yol ve İnşaat Makinaları

1) Değişik gürültü kaynakları ve bu kaynaklardan yayılmasına izin verilen max. gürültü seviyeleri aşağıdaki Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bazı Makinaların Gürültü Seviyesi Limitleri

Gürültü Kaynakları	Gürültü Seviyesi L_{eq} (dBA)
Yük Araçları (7,5m'de)	85
Yol Taşıtları (7,5m'de)	85
Motosiklet (7,5m'de)	80
Lokomotif (30 m'de)	90
Paketli Kepçeler (40-60 KW)	120
Ekskavatörler (40-80 KW)	105
Paletli Vinç	105
Beton Karıştırıcısı	115
Beton Pompası	115
Kompresör	115
Dişliler	115
Elektrik Motorları (300Hp/1200 dev/dak)	120
Havalı Matkap	95
Torna,Planya,Dişaçma,Freze Tezgahı	95
Kaynak Makinası	95

2) Şantiye gürültüsünün seviyeleri çevrede bulunan gürültüye hassas yapıların lm. uzaklığında Tablo 5.2'de verilen kabul edilebilir değerleri aştığı taktirde bu yönetmelikle belirlenen yetkililerce şantiye çalışma saatlerinin azaltılması, yapının durdurulması tedbirleri alınır.

Tablo 5.2. Endüstriyel ve Şantiye Gürültü Seviyeleri

Gürültü Kaynağı	L_{eq}	
	Gündüz (06:00-22:00)	Gece (22:00-06:00)
Demiryolu Gürültüsü	65	55
Endüstri Gürültüleri	65	55
Şantiye Gürültüleri	70	-
Hava Alanları	70	60

Madde 7- Karayolları Taşıtları

- 1) Hiç kimse susturucusuz ve diğer ses giderici parçalar olmadan motoru çalıştıramaz.
- 2) Kamuya açık yerlerde çalıştırılan motorlu taşıtların çıkardıkları gürültü seviyeleni yukarıda daha önce bahsedilen Tablo 5.1'de verilmiştir.

Madde 8- Havayolu, Demiryolu Taşıtları

- 1) Türk tescilindeki ve Yabancı ülke tescillindeki hava yolu araçlarının gürültü sertifikasına sahip olmaları gerekir.
- 2) Banliyö ve şehirlerarası trenlerden çıkan gürültü seviyeleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Madde 9- İşyerleri ile İlgili Olarak

- 1) İşitme sağlığı açısından kabul edilebilir en yüksek gürültü seviyeleri için Tablo 5.3'de verilen değerler esas alınır.

Tablo 5.3. İşyerleri İçin Gürültü Seviyesi

Gürültüye Maruz Kalınan Süre (Saat/gün)	Max.Gürültü Seviyesi (dBA)
7,5	80
4	90
2	95
1	100
0,5	105
0.25	110
0,125	115

2) İşyerlerinde tavsiye edilen gürültü seviyelerinin aşıldığı, gürültü ve vibrasyonların kaynağında azaltılması için teknik imkanların yetersiz olduğu durumlarda, işveren işçilere 1475 sayılı İş Kanununda belirtilen koruyucu giysiler ve gereçleri sağlamakla yükümlüdür.

5.2. Yerleşim, Yapı, Malzeme

1) Yerleşim alanı içinde bulunan yapı tiplerine göre kabul edilebilir iç mekan ses basıncı seviyeleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. İç Mekan Ses Basıncı Düzeyi Limitleri

<u>Kullanım Alanı</u>	<u>Kabul Edilebilir Ses Basıncı Düzeyi (dBA)</u>
Tiyatro Salonları	25
Konferans Salonları	30
Otel ve Hastahaneler	30
Oturma Odaları (Şehir içi)	60
Derslikler, Laboratuvar	45
Spor Salonu, Yemekhane	60
Özel Büro	50
Fabrikalar	80

Ayrıca metrolar ve istasyonlarda kabul edilebilir ses düzeyi limitleri aşağıdaki Tablo 5.5'deki gibidir.

Tablo 5.5.Metro ve istasyonlarda Kabul Edilebilir Ses Düzeyi

<u>Yeraltı İstasyonları</u>	<u>L_{eq} (dBA)</u>	<u>Yerüstü istasyonları</u>	<u>L_{eq} (dBA)</u>
Gişeler, merdivenler	55	Duran,kalkan trenler	75
İstasyondaki vantilasyon	55	Çalışır durumda bekleyen	
Düran ve kalkan trenler	80	trenler	65
Geçen trenler	85		
Çalışır yolcu bekleyen			
trenler	65		

5.3. Diğer Gürültü Yasakları

Yukarıda bahsedilen yasakların haricindeki diğer gürültü yasakları şunlardır:

- 1) Endüstri yapıları ve işyeri sahipleri işyeri açma izni alırken, kendi sınırları içinde makina, araç ve donatımların yapı içinde ve dışında uygun yerleştirilmesi gerekmektedir.
- 2) Konut bölgeleri içinde gürültüye hassas yerlerde, gürültü çıkaran alet ve makinalar 20.00-8.00 saatleri dışında çalışabilmesi için özel izin alması gerekir.
- 3) Gazino, kahvehane, diskotek, lunapark ve dans salonlarından çıkan müzik sesi 90 dBA'yı aşamaz.
- 4) Eğlence yerlerinin kapılarının üzerine "Dikkat:İçerideki ses düzeyi devamlı duyma bozukluğuna yol açabilir" şeklinde ikaz levhaları konulmalıdır.
- 5) Yetkili kurumlarca saatleri belirlenerek gösterilen yerler dışında, oturma ve ticaret alanlarında bağırarak satış yapmak yasaktır.
- 6) Oturma alanları ve yakın çevresiyle gürültüye hassas bölgelerde rahatsız edecek şekilde motosiklet veya herhangi bir motorlu aracı imal etmek, üzerinde değişiklik yapmak yasaktır.
- 7) Su yollarında, 15 m. mesafede veya kıyının daha yakın olduğu yerlerde en yakın kıyı şeridinde 70 dBA'yı ve tekne içinde 80 dBA'yı geçecek şekilde gürültü yapmak yasaktır.
- 8) Oturma alanlarında gürültüye hassas yerlerde gürültü çıkaran makinaları çalıştırmak 20.00-08.00 saatleri arasında yasaktır.
- 9) Yetkili kurumların izni olmaksızın, patlayıcı, maytap ve benzeri şeyleri kullanma ve bunun sonucunda gürültü yaratma ve yüksek seviyede ses çıkarma yasaktır.

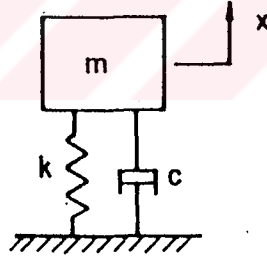
10) Olağanüstü durum sinyallerinin gereğinin dışında çalıştırılması ve gürültü yaratılması mecburi denemeler dışında yasaktır.

11) Sık,sık veya belirli zaman aralıkları ile rahatsız edici sesler çıkartan hayvanları, oturma alanlarında bulundurmak yasaktır.

6. TİTREŞİM YALITIMI VE SÖNÜMLEMESİYLE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

6.1. Temel Titreşim Bilgisi

Titreşim, bir sistemin denge konumu etrafında yaptığı salınımlardır. Titreşen en basit sistem, bir yayın ucuna bağlanmış bir küttedir. Böyle bir sistem denge konumundan uzaklaştırıldıktan sonra serbest bırakılırsa, denge konumu etrafında salınımlar gözlenir. Bu salınımlara serbest titreşimler adı verilir. Serbest titreşimler, bir sistemin, üzerinde hiçbir dış kuvvet yokken, yalnız başlangıç koşulları nedeniyle yaptığı titreşimlerdir. Şekil 6.1'de titreşim yapan bir sistemin en basit modeli görülmektedir. Burada; k sistemin direngenliğini gösteren yay katsayısı, m sistemin kütlesi, c ise sistemin enerji kaybını gösteren vizkoz sönüm katsayısıdır. x sistemin belli bir başlangıç konumuna göre yer değiştirmesini göstermektedir.



Şekil 6.1. Titreşen Bir Sistemin En Basit Modeli

Gerçek bir mekanik sistemin Şekil 6.1'deki gibi ideal elemanlarından (k, m, c) oluşan modeline matematik model adı verilir. Herhangi bir sistemin titreşim analizinin yapılabilmesi için, amaca uygun bir matematik modelinin elde edilmesi gerekir.

Titreşimleri genel olarak 3 grup altında toplayabiliriz.

1) Sönümsüz Serbest Titreşimler

Şekil 6.1'de gösterilen tek serbestlik dereceli sistemin hareketini tanımlayan diferansiyel denklem;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (6.1)$$

şeklinde yazılabilir. Sistemin sönümsüz olması durumunda $c = 0$ alınarak hareket denklemi;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \quad (6.2)$$

şeklini alır. Bu denklemin çözümü:

$$x(t) = X \sin(W_n t - \psi) \quad (6.3)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik 6.1'de tanımlanan bir sistem için doğal frekans;

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.4)$$

şeklinde bulunur.

Serbest titreşimler yapan sönümsüz bir sistemin titreşim genliği X ve faz açısı ψ başlangıç koşullarına bağlı olurken, doğal frekans başlangıç koşullarına bağlı değildir.

2) Sönümlü Serbest Titreşimler

Şekil 6.1'de gösterilen tek serbestlik dereceli sönümlü sistemin hareket denkleminin Eşitlik 6.1 ile verildiğini görmüştük. Bu denklemin çözümü $c/2\sqrt{km}$ oranına bağlı olarak, değişik şekillerde olabilir. Bu orana sönüm adı verilir, ve δ ile gösterilir. Şu şekilde tanımlanır:

$$\delta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{c}{2mW_n} \quad (6.5)$$

Burada denklem 6.1'in çözümü

$$x(t) = X e^{-\delta W_n t} \sin(W_d t - \psi) \quad (6.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada W_d sönümlü doğal frekanstır.

$$W_d = W_n \sqrt{1-\delta^2} \quad (6.7)$$

3) Zorlanmış Titreşimler

Şekil 6.1'de gösterilen tek serbestlik dereceli bir sistemin kütlesine, $F(t)$ gibi bir dış kuvvet uygulanmasıyla oluşan titreşimlere zorlanmış titreşim denir. Zorlanmış titreşimlerde titreşimin özelliği dış kuvvetin özelliğine bağlıdır.

Mekanik titreşimler ve gürültü açısından harmonik zorlama en önemli uyarı şeklidir. Bunun nedeni, endüstriyel, uygulamalarda uyarı kuvvetinin, genellikle, dönen dengesiz parçalardan doğan harmonik kuvvet oluşudur. Örneğin, bir fan, jeneratör ya da elektrik motorunun neden olduğu uyarı kuvveti harmoniktir.

F_0 genlikli ve W frekanslı;

$$F(t) = F_0 \sin wt \quad (6.8)$$

şeklinde harmonik bir kuvvetin Şekil 6.1'deki sistem kütlesi üzerine uygulanmasıyla oluşan zorlanmış titreşimler

$$X(t) = X_0 \sin (wt-\phi)$$

$$X_0 = \frac{F_0/k}{\sqrt{(1-w^2/w_n^2)^2 + (2\delta w/w_n)^2}} \quad (6.9)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\delta w/w_n}{1-w^2/w_n^2} \quad (6.10)$$

olarak yazılabilir.

6.2. Titreşim Yalıtımı

Titreşim yalıtımı, değişik amaçlarla kullanılan bir titreşim kontrolü yöntemidir. Titreşim yalıtımını iki grupta toplayabiliriz.

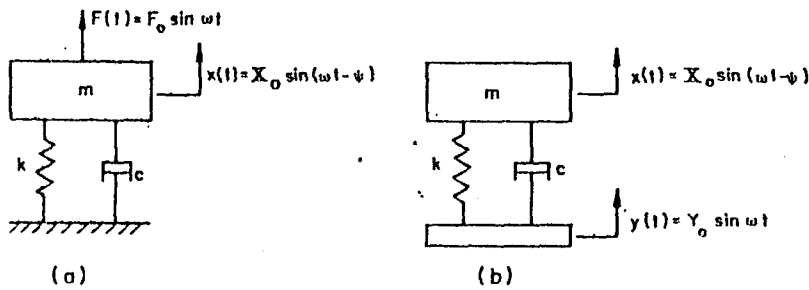
- 1) Kuvvet Yalıtımı: Titreşen bir sistemin zeminden yalıtımı.
- 2) Hareket Yalıtımı: Bir sistemin, titreşen bir tabandan yalıtımı.

1) Kuvvet Yalıtımı

Kuvvet yalıtımında temel amaç, titreşen bir sistemin, bağlantı noktaları aracılığıyla bağlandığı zemine ilettiği kuvveti azaltmaktır. Bazı makinalarda titreşim işlevsel durumdadır (titreşimli eleklerde olduğu gibi). Bu tür makinaların zemine montajında titreşim yalıtımı sağlanırsa, zemin titreşimleri önemli ölçüde azalacaktır. Zeminde azaltılan titreşim ilk bakışta inşaat mühendisliği açısından önemli gibi gözükse de, zemine bağlı diğer sistemlerin titreşimlerinin bu şekilde azaltılacağı düşünülürse, kuvvet yalıtımının makina mühendisliği ve gürültü kontrolü açısından da önemli olduğu görülür.

2) Hareket Yalıtımı

İkinci tür titreşim yalıtımı problemlerinde temel amaç, bir sistemi titreşen bir tabandan yalıtmaktır. Örneğin hassas bir ölçü aletini tümüyle yok edemediğimiz titreşimlerden korumak için Şekil 6.2'de görüldüğü gibi birer eşdeğer yay ve sönüm elemanı ile modellenen destekler üzerine koyabiliriz. Böylece zemin Y_0 genliğiyle titreşmesine karşın, ölçü aleti Y_0 'dan daha küçük bir genlikle titreşecektir.

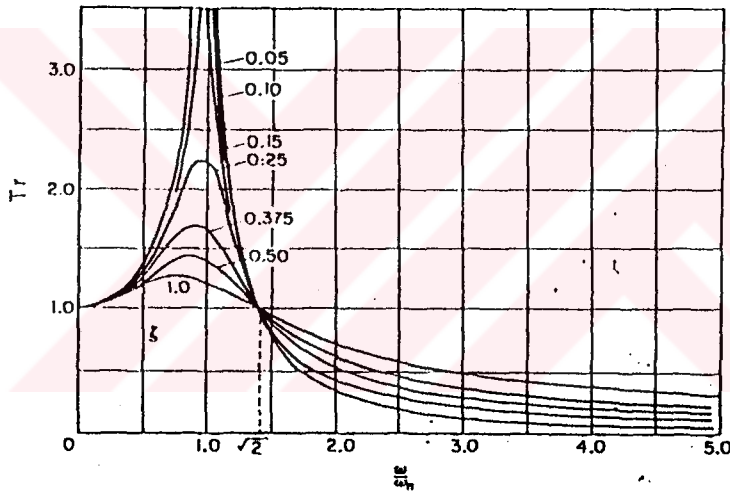


Şekil 6.2. Titreşim Yalıtımı a) Kuvvet Yalıtımı b) Hareket Yalıtımı.

Titreşimli sistemlerin zemine ilettiği dinamik kuvvetin genliğinin (F'_0), sistem üzerindeki harmonik kuvvetin genliğine (F_0) oranına kuvvet iletim oranı adı verilir. Bu oran Tr ile gösterilirse, kuvvet iletim oranı ile sistem özellikleri ve uyarı frekansı arasındaki ilişki

$$Tr = \frac{F'_0}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\delta W/W_n)^2}}{\sqrt{1 + (W^2/W_n^2)^2 + (2\delta W/W_n)^2}} \quad (6.11)$$

eşitliğiyle verilebilir. Aşağıdaki Grafik 6.1'de çeşitli sönüm oranları için, iletim oranının frekans oranıyla değişimi görülmektedir.



Grafik 6.1. Çeşitli Sönüm Oranları İçin, İletim Oranının Frekans Oranıyla Değişimi.

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı gibi etkili bir titreşim yalıtımı için sistemin doğal frekansının, uyarı frekansının $1/\sqrt{2}$ 'sinden daha küçük olması gerektiği ve bu koşullarda destek elemanlarının sönümü az malzemeden yapılmış olması gerekir.

6.3. Titreşim Yalıtımında Kullanılan Malzemeler

1) Metal Yaylar

Metal yaylar çok hafif ve hasas makinaların yalıtımı ile çok

ağır makinelerin yalıtımına kadar bir çok yerde kullanım alanı vardır. Bunun hedenleri ise şöyle açıklanabilir.

- a) Çevre koşullarından çok az etkilenirler.
- b) Sünme (krip) olmaz.
- c) Düşük frekanslı tipler için kullanılabilirler.
- d) Ekonomiktirler.
- e) İstenilen yay katsayısını verecek şekilde tasarlanabilirler.

Bunun haricinde dezavantajları da şöyledir:

- a) Düşey yönde kullanılan bir yay yatay yönde belli bir esneklik göstereceğinden yalpa hareketine ya da yanıl titreşimlere neden olur.
- b) Sönümünün az olmasından dolayı, doğal frekansın çok üstünde titreşen bir sistemde iletim oranı sıfıra yaklaşır. Bu da sistemin zeminle ilişkisinin kaybolmuş şekilde davranmasına neden olacağından, istenmeyen bir durumdur.

2) Elastomerler

Bu grupta doğal ve yapay kauçuklar bulunur. Doğal kauçuk, en uygun ve en ekonomik yalıtım malzemelerinden biridir. Ancak çevre koşullarından çok etkilenir. Güneş ışığı, ozon ve oksijen, yüzey çatlaklığı oluşturur. $-50^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılabilirler. Yapay kauçuğun birçok türleri vardır. En yaygın olanı neoprendir. Yapay kauçuk, çevre şartlarına doğal kauçuğun tersine dayanıklıdır.

Sönümleme özellikleri, metal yaylarına göre 10 kat fazla olduğundan, rezonanstan geçişleri fazla olmayan makinelerin yalıtımında kullanılırlar. Özellikle kütlesi küçük çalışma frekansı yüksek olan makina ve elektrik motorlarının yalıtımında kullanılırlar.

3) Esnek Yastık ve Tokozlar

Bu grupta; mantar keçe, cam elyafı türü malzemeler vardır.

Keçe konusundaki bilgiler oldukça sınırlıdır. Hem ucuz hem de kullanımı kolay olan keçe, yüksek frekansta titreşen makinelerin yalıtımı için uygundur. (Genellikle 40 Hz'in üzerinde) Mantar da yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımında kullanılır. Gözenekli yapısından dolayı ezilmeye kauçuktan daha elverişlidir. Kauçuk türü malzemenin tersine üzerindeki yük arttıkça daha esnek bir yapı kazanır. Keçe ve mantarlar genel olarak çok silindirik motorlar, fanlar, turbo hava kompresörleri gibi makinelerin titreşiminde kullanılırlar.

6.4. Sönümlemeyle Titreşim Kontrolü

Titreşimin kaynakta kontrolünün, ya da kaynağın titreşen yüzeylerden yalıtımının yeterli olmadığı, güç olduğu veya ekonomik olmadığı durumlarda, titreşim sönümlemesiyle gürültü kontrolü sağlanabilir. Bu yöntem özellikle titreşen geniş metal yüzeylerin söz konusu olduğu durumlarda etkili bir gürültü kontrolü sağlar. Yüzeylerin sönümlerinin arttırılması için sisteme bir dış sönüm elemanı eklemek yeterlidir. Titreşen yüzeylerin iç sönümünü arttırmak daha pratik bir yöntemdir. İç sönümlerin arttırılmasında genelde iki ayrı uygulama sağlanır.

- 1) Titreşen yüzeylerin sönümleme özelliği yüksek bir malzemeye kaplanması.
- 2) Yukarıda belirtilen türde malzemelerden yararlanarak yapılmış çok katlı plakaların kullanılması.

Bu yöntemle gürültü kontrolü sağlanan alanlar, tezgah gövdesinden, hava kanallarındaki kanal yüzeylerindeki gürültüyü azaltmaya kadar kullanım alanı vardır. Ancak bu yöntemden önce titreşim yalıtımı ilk olarak düşünülmesi gereken unsurdur. Titreşen yüzeylerin direngenliklerinin arttırılarak doğal frekanslarının yükseltilmesi ve böylece yüzeylerin rezonansa gelmesini önlemesiyle de önemli ölçüde gürültü azalması sağlanır. Örneğin bir hız testeresinde geniş bıçak yüzeyinin kesme sırasında malzeme içinde kalmayan kısmının sönümleme

özelliği olan bir malzemeyle kaplanması yanında, atkı elemanlarıyla direngenliği arttırılmış bir parçanın bıçak yüzeyine bağlanmasıda düşünülebilir. Metal plakaların viskoelastik malzemelerle kaplanmasıyla çeşitli plakalar elde edilebilir. Metal bir plakanın üzerine, kayıp faktörü η_2 olan bir viskoelastik malzemenin yapıştırılmasıyla elde edilen kaplı plakanın eşdeğer kayıp faktörü η_e yaklaşık olarak;

$$\eta_e = 14 \left(\frac{\eta_2 E_2'}{E_1} \right) \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (6.12)$$

E_1 = Metal plakının elastisite modülü

E_2' = Kaplama malzemesinin elastisite modülü

d_1 = Metal plaka kalınlığı

d_2 = Kaplama malzemesinin kalınlığı.

Yapıların sönüm özellikleri yapıldıkları malzemenin kayıp faktörüyle ölçülür. Her malzemenin kayıp faktörü farklı değerdedir.

7. GÜRÜLTÜ KONTROLÜ VE ÖNERİ GETİRİLMESİ

7.1. Giriş

Gürültü, "İstenmeyen, rahatsız edici ses" olarak tanımlandığı için, sağlığa zarar verecek düzeyde olmasa bile rahatsız edici özelliğinden dolayı yok edilmeli ya da azaltılmalıdır. Bir gürültünün rahatsız ediciliği, gürültünün,

- 1) Yüksekliğinden,
- 2) Cinsinden,
- 3) Değişkenliğinden

kaynaklanabilir.

Gürültüyü yok etmek ya da azaltmak olanaksızsa, gürültüden etkilenen kişileri herhangi bir şekilde gürültüden korumak gerekir. Kişileri gürültüden korumak için alınabilecek önlemlerin tümüne gürültü kontrolü denir. Gürültü kontrolü genel olarak üç şekilde sağlanabilir.

- 1) Gürültüyü kaynağından azaltmak,
- 2) Gürültüyü yayılma alanında azaltmak,
- 3) Gürültünün algılandığı noktada önlemler almak.

Temel kural, olanak varsa gürültünün kaynaktan azaltılmasıdır. İkinci olarak gürültünün alanında azaltılması gelir. Bu bölümde gürültü kontrolü yöntemleri toplu ve sıralı bir şekilde incelenmektedir. Önce; kaynaktan, yayılma alanında ve gürültünün algılandığı yerde gürültü kontrolünün ne gibi yöntemlerle sağlanabileceğini görelim.

A) Kaynaktan Gürültü Kontrolünü Sağlamanın Yolları

- Kaynağın yaydığı ses enerjisini azaltmak,
- Kaynak ile sesi yayan yüzey arasında yalıtımı sağlamak,
- Yüzeyin ses yaymasını azaltmak.

B) Yayılma Alanında Gürültü Kontrol Yöntemleri

- a- Gürültü Kaynağının bulunduğu bölgenin ses yalıtıcı malzemeyle ayrılması,
- b- Ses bariyerlerinin kullanılması,
- c- Gürültü yayılma alanının kontrolü.

C) Gürültünün aygılandığı yerde kontrolü ise; gürültüden etkilenen kişileri, kulak korumaları kullanarak yapılan kontroldür.

Şimdi de kaynakta kontrolü içeren birkaç örnek şöyle verilebilir:

- 1) Kesme işlemi için hız teztèresi yerine başka bir tezgah kullanılması,
- 2) Testerenin kesme sırasındaki titreşimlerinin azaltılması
- 3) Testere tablasının kesme sırasındaki titreşimlerinin azaltılması,
- 4) İş parçasıyla, testere tablası arasına titreşim yalıtıcı malzeme koyulması,
- 5) İş saatlerinin düzenlenmesiyle, işçinin ve ustabaşının birlikte çalıştığı saatlerin en aza indirilmesi.

İletim yolunda kontrole verilebilecek örnek ise:

- 1) Testere tablasıyla zemin arasına yalıtıcı malzeme koymak,
- 2) Ustabaşının çalışma masasının testereden el verdiğiince uzağa konulması,
- 3) Tavanın ve duvarın ses yutucu malzemeyle kaplanması,
- 4) Zemini, tahta, halı gibi malzemeyle kaplayıp, zeminin ses yutmasını sağlamak,
- 5) Ses bariyerlerinin kullanılması,
- 6) Testerenin tam ya da yarı hücreyle örtülmesi,
- 7) Tezgahın yönünün veya duvardan uzaklığının değişimi.

Algılandığı yerde kontrolde ise, ustabaşının kulak koruyucuyla korunması en iyi örnektir.

7.2. Planlama ve Bakım ile Gürültü Kontrolü

Planlama ile gürültü kontrolü, gürültü kontrolünün en az önem verilen şeklidir. Planlama ile gürültü kontrolü, üretim alanlarında, işlemlerin ve tezgahların saptanması ve makinaların yerleşimi aşamasında, ileride doğabilecek gürültüyü en aza indirecek şekilde alınabilecek önlemleri içerir. Bu kısım 3 bölümde incelenebilir.

1) İşlem ve tezgah seçimi: Bu kısımda işlem ve tezgah seçiminde min. gürültüyü oluşturacak şekilde önlemler alınmasıdır.

2) Fabrika için yerleşimi: Fabrika içi yerleşimi, planlamayla gürültü kontrolünün en önemli kısmıdır. Gürültü kontrolü açısından, fabrika içi yerleşiminde gözönünde bulundurulması gereken noktalar şunlardır:

i) Fabrika dışına verilen fan, baca, egzoz boruları çıkışlarının yer ve yönlerinin ayarlanması.

ii) Gürültü işlemlerinin bir araya toplanması.

iii) Ofisler, atölye gürültüsünden korunmak için cam bölmelerle gürültü olarak ölçüsünde, gürültülü bölgelerden uzakta seçilmelidir.

3) İleriye dönük önlemler almak: Gürültü bir sorun olmadan önce, yani planlama aşamasındayken, gerekli önlemlerin alınmasıyla ya da bu tür önlemler almaya elverişli yerleşimin yapılmasıyla, gürültü sorunu çok daha kolay ve ekonomik şekilde çözümlenebilir. Planlama aşamasında bu önlemler alınmazsa ileride bu iş için daha çok para harcanabilir.

Bakım ile gürültü kontrolü de oldukça önemlidir. Makinaların heriyodik bakımları yapıldığı taktirde 10-20 dB'e varan ses basıncı düzeyi düşüşleri sağlanabilir.

7.3. Malzemelerin Ses İletim Kaybı

Ses iletim kaybı; TL

$$TL = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (7.1)$$

olarak tanımlanır. Burada W_1 malzeme üzerine gelen toplam ses enerjisi, W_2 ise iletilen ses enerjisidir. Ses iletim kaybı, bir malzemenin, ses yalıtımı kapasitesini dB olarak veren bir özelliğidir. Ses iletim katsayısı,

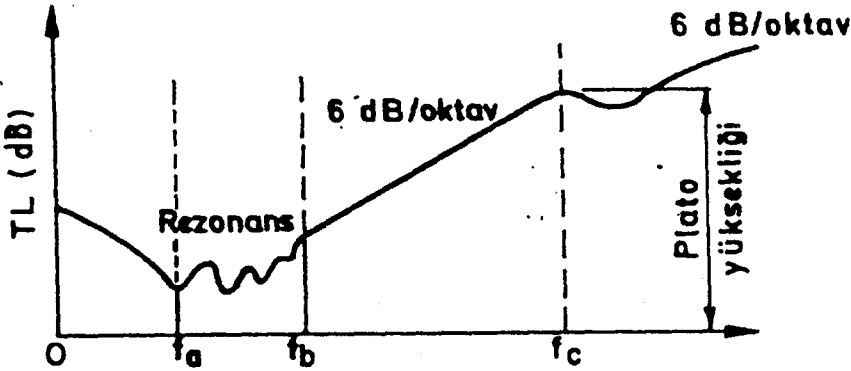
$$T = \frac{W_2}{W_1} \quad (7.2)$$

şeklinde tanımlanacak olursa ses iletim kaybı, ses iletim katsayısı cinsinden;

$$TL = 10 \log \frac{1}{T} \quad (7.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Ses yalıtımı açısından, bir malzemenin ses iletim katsayısının küçük olması istenir. Bir malzemenin ses iletim kaybı, frekansa ve malzemenin yüzey yoğunluğuna bağlı olarak değişir. TL'nin frekansla tipik değişimi aşağıdaki Grafik 7.1'de gösterilmiştir.



Grafik 7.1. Homojen Bir Malzeme İçin Ses İletim Katsayısının Frekansla Değişimi.

Yüzey yoğunluğu belli bir malzemenin rezonans bölgesi ve Tablo 7.1'de gösterilen plato yüksekliği malzemenin direngenliğine bağlıdır. Rezonanstan sonraki plato yüksekliğine erişilene kadar olan bölgeye kütle kontrollü bölge denir ve bu bölgede kütle kanunu adı verilen,

$$TL = 20 \log f + 20 \log w - 47 \text{ dB} \quad (7.4)$$

yaklaşık bağıntısı geçerlidir. Burada;

f = frekans (Hz)

w = malzemenin yüzey yoğunluğudur (kg/m^2)

Aşağıdaki Tablo 7.1'de bazı malzemelerin yüzey yoğunlukları ve plato yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 7.1. Bazı Malzemelerin Yüzey Yoğunluğu ve Plato Yüksekliği

Malzeme	Yüzey Yoğunluğu (her cm kalınlık için kg/m^2)	Plato Yüksekliği (dB)
Alüminyum levha	27	29
Beton	23	38
Cam	29	27
Çelik levha	78	40
Kurşun levha	125	56
Sıva	17	30
Tahta	4-8	19
Tuğla	19-23	37

7.4. Duvarların Gürültüyü Azaltması

En etkili gürültü kontrolü yöntemlerinden biri gürültülü bölgeyi duvarla ayırmaktır. Ses iletim kaybı bilinen bir duvarın, bir tarafındaki ses basıncı düzeyini bilirsek duvarın öteki tarafındaki ses basıncı düzeyini de hesaplayabiliriz.

Bir duvarın sağlayacağı gürültü azalması (NR),

$$NR = Lp_1 - Lp_2 \quad (7.5)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Burada,

Lp_1 = Gürültünün duvara yakın bir yerdeki ses basıncı düzeyi

Lp_2 = Gürültünün iletildiği odada, duvara yakın bir yerdeki ses basıncı düzeyi.

Burada, her iki oda serbest ses alanı ise;

$$NR = TL \quad (7.6)$$

şeklını alır.

Gürültü kaynağının bulunduğu odada, duvar yakınında dağınık alan oluşuyorsa;

$$NR = TL - 10 \log \left(\frac{1}{4} + \frac{Sw}{R_2} \right) \quad (7.7)$$

şeklını alır. Burada;

Sw = Duvarın toplam alanı

R_2 = Sesin iletildiği odanın oda sabitidir.

7.5. Gürültü Kaynağının Örtülmesiyle Gürültü Kontrolü

Örtme (ya da üzerini kapatma) ile gürültü kontrolü; gürültü kaynağının, tamamen ya da kısmen örtülerek, yarattığı gürültünün kısmen azaltılmasıdır. İki genel uygulama şekli vardır.

- 1) Hücre (odacık) içine alma
- 2) Kısmi hücre içine alma.

Hücre (odacık) içine alma, gürültü kaynağının üzerinin tümüyle örtülmesidir ve en etkili gürültü kontrol yöntemlerinden

biridir.

Kısmi hücre uygulamasında ise, makinaya ulaşabilmek için sürekli açık olan bir giriş bölmesi bulunur. Kısmi hücreler çok daha az etkilidirler ve fazla yarar sağlamadıklarından zorunlu olmadıkça kullanılmazlar.

Hücre uygulamasının performansını veren en uygun parametre gürültü kaybıdır. Gürültü kaybı (IL),

$$IL = Lp_0 - Lp_2 \quad (7.8)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Burada Lp_0 ve Lp_2 sırasıyla hücre uygulamasından önce ve sonraki ses basıncı düzeyleridir.

Gürültü kaybı ile hücre özellikleri arasındaki ilişki;

$$IL = 10 \log \frac{\bar{\alpha}}{\bar{T}} \quad (\bar{T} < \bar{\alpha} < \bar{1}) \quad (7.9)$$

eşitliğiyle belirlenir. Burada,

$\bar{\alpha}$ = hücrenin iç yüzeylerinin ortalama ses yutma kaybıdır.

$\bar{T}$ = hücre duvarlarının ortalama ses iletim katsayısıdır.

Ortalama ses yutma katsayısının 1 olması durumu ($\bar{\alpha} = 1$): Bu durumda sesin tümü hücre içinde yutulur ve bunun ancak bir kısmı dışarıya iletilir. Eşitlik 7.9'den;

$$IL = 10 \log \frac{1}{\bar{T}} = TL. \quad (7.10)$$

bulunur. Bu da en etkili kontrol şartıdır.

7.6. Bariyerlerle Gürültü Kontrolü

Bariyerler (ses engelleyiciler) gürültü kaynağıyla alıcı arasına konulan setlerdir. Serbest ses alanlarının bulunduğu yerlerde etkilidirler. Dağınık ses alanlarında hiçbir yarar sağlamazlar.

Bariyerlerle 10 dBA'nın üzerinde bir gürültü kaybı sağlamak güçtür. Erişilebilecek en büyük değer ise 15-25 dBA arasındadır. Yankılanım alanında etkisinin çok az oluşundan ötürü fabrika ve benzeri kapalı yerler için pahalı ve yetersiz bir gürültü kontrol yöntemidir. Buna karşılık, oto yolu kenarlarında, hava limanları çevresinde ve benzeri gürültülü açık alanlarda etkili ve uygulanabilirliği en fazla olan yöntemdir. Bir birayle elde edilen gürültü kaybı;

$$IL = 10 \log \left| \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) / \left(\frac{Q_B}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \right| \quad (7.11)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada,

IL = gürültü kaybı

Q = kaynağın yönelme katsayısı

R = Bariyer konmadan önceki oda sabiti

r = kaynağın alıcıya uzaklığı

$Q_B = Q_D$ olarak alınabilir. Ayrıca,

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_i} \quad (7.12)$$

olarak hesaplanabilir.

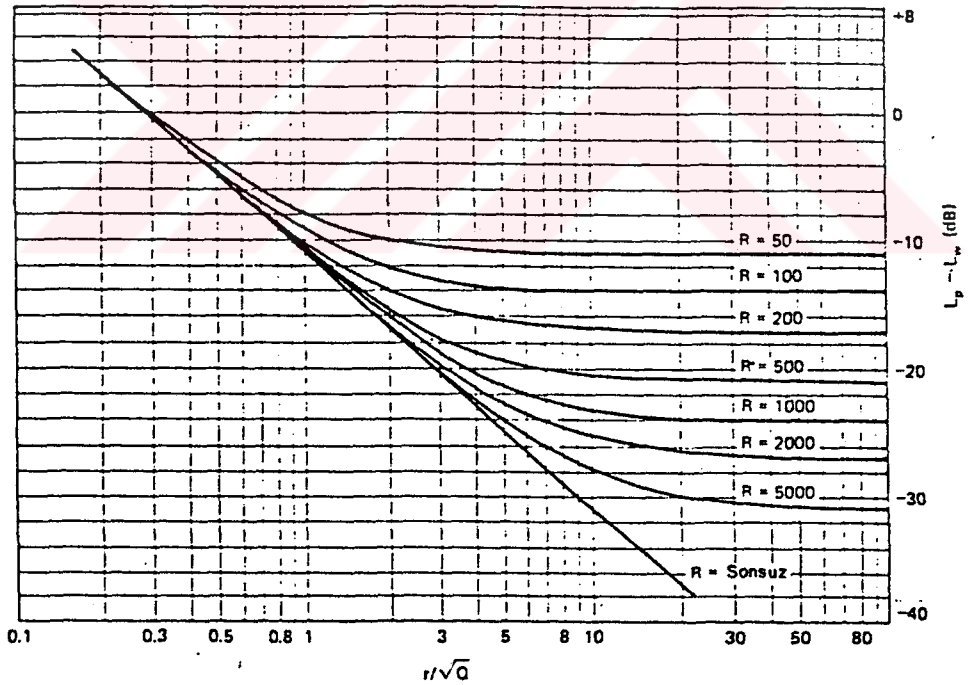
7.7. Ses Yutucu Malzeme Kullanarak Oda Akustiğinin Değiştirilmesiyle Gürültü Kontrolü

Kapalı yerlerde gürültü kontrolü için kullanılan yöntemlerden biri de oda akustiğinin değiştirilmesidir. Oda akustiğinin değiştirilmesi diyiminden, odanın, oda sabitinin değiştirilmesini anlıyoruz. Ses gücü düzeyi belli bir kaynağın kapalı yerde yaratacağı ses basıncı düzeyi, odanın oda sabitine bağlı olduğundan, oda sabitinin değişimi aynı kaynağın yaratacağı ses basıncı düzeyini etkiler.

Burada oda sabiti R,

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}} \quad (7.13)$$

eşitliğiyle tanımlanır ve oda içerisindeki sesin yankılanım derecesinin bir ölçüsüdür. S, odanın toplam yüzey alanı, $\bar{\alpha}$ ise odanın ortalama ses yutma katsayısıdır. Küçük R değerleri için bile, kaynağa çok fazla uzakta olunmadığı durumlarda dahi oda sabitinin etkisi görülmektedir. R yükseldikçe, ses basıncı düzeyi düşmektedir. Ancak, kaynağa çok yakın bir yerdeki gürültü düzeyinin oda akustiğini değiştirerek düşürülmesi, başlangıçtaki oda sabiti ne olursa olsun olanaksızdır. Bir gürültü kontrolü probleminde, oda sabitini değiştirmeyle gürültü kontrolü sağlanıp sağlanamayacağını ilk bakışta görmenin en kolay yolu aşağıdaki Grafik 7.2'ye bakmaktır.



Grafik 7.2. Ses Basıncı Düzeyi ile Ses Gücü Düzeyi Arasındaki Değer Farkının, Kaynağa Olan Uzaklık ve Oda Sabiti ile Değişimi.

Eğrinin yatay bir doğru olarak uzanan kısmında bulunmak, oda akustiğinin değiştirilmesiyle başarılı sonuç elde edilebilecektir. Buna karşılık, eğrinin, $R = \infty$ doğrusuna yakın bölgesinde bulunmak, oda akustiğinin değiştirilmesiyle önemli bir gürültü kaybı sağlanamayacağını gösterir. Akustik değişimden sonra gürültü kaybı IL ,

$$IL = 10 \log \frac{A_2}{A_0} \quad (7.14)$$

A_2 = Akustik iyileştirmeden sonraki toplam ses yutumu

A_0 = Akustik iyileştirmeden önceki toplam ses yutumu.

Burada A ,

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (7.15)$$

eşitliğiyle bulunabilir.

7.8. Hava Kanallarında Ses Yalıtıcı ve Yutucu Malzemeyle Gürültü Kontrolü

Borulardan ve hava kanallarından yayılan gürültü kimi zaman çok büyük boyutlara ulaşır. Çapları 200 mm'yi geçen boru ve akışkan kanallarında, kanal içinden geçen akışkanın yarattığı ve boru ya da kanal yüzeylerinin titreşimiyle etrafa yayılan gürültüdür.

Hava kanallarının ilettiği ya da neden olduğu gürültüyü azaltmak amacıyla uygulanacak yöntemler çok çeşitlidir. Bunlardan özellikle ısıtma ve havalandırma için uygulananları şöyledir:

- 1) Susturucu kullanılması,
- 2) Fan çıkışına ya da iki kanal arasına içi ses yutucu malzemeyle kaplanmış ses azaltma odası adı verilen geniş hacimli odacıkların konulması,
- 3) Kanalları birleştiren dirseklerin iç yüzeylerinin ses yutucu malzemeyle kaplanması,

4) Kanallarının iç yüzeylerinin ses yutucu malzemeyle kaplanması.

En genelde bir boru ya da kanalın iç veya dış yüzeylerinin kaplanmasıyla, kaplama malzemesinin özelliklerine bağlı olarak şu üç mekanizmayla gürültü azalması sağlanabilir:

- 1) Kanal içerisinde ilerleyen sesin yutulmasıyla,
- 2) Kanal içerisindeki sesin yalıtılıp, dışarıya iletilmesinin engellenmesiyle,
- 3) Kanal yüzeylerinin titreşimlerinin sönümlenmesiyle.

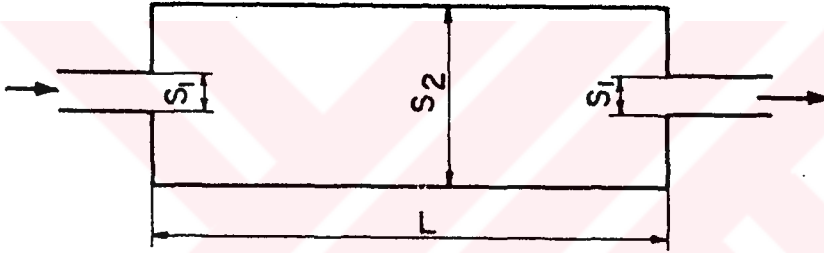
Gözenekli malzeme kaplamada, ses dalgaları kanal içerisinde ilerlerken bu malzeme tarafından yutulurlar. Kalın ve ağır malzeme ile kaplama ise, çeperlerin ses iletim kaybını arttıracığından gürültü yalıtımı sağlar.

Hava kanallarının iç yüzeylerinin ses yutucu malzemeyle kaplanmasıyla sağlanacak gürültü kaybı; gürültünün frekans dağılımına, kanalın uzunluğuna, ses yutucu malzemenin cinsine, kalınlığına ve kanalın kesit alanına bağlı olarak değişir. Bu tür uygulamalarda en önemli sorun, akışkanın ses yutucu malzemeyi aşındırmasıdır. Bunu önlemek için kaplama malzemesinin akışkanla temas ettiği kısımlarına fiziksel ya da kimyasal işlemle dayanıklaştırılabilir, ya da kuruyucu malzemeyle kaplanabilir. Genellikle geniş bir frekans bandında etkili olan ses yutucu malzemeyle kaplamada, kanal kesiti büyüyüp, kaplama malzemesi kalınlaştıkça daha düşük frekanslı sesler yutulur. Yüksek frekanslı seslerin yutulması için, havanın geçtiği kesit alanının dar, ses yutucu malzemenin ise ince olması gerekir. Bunu sağlamak için kanal içerisine, kanal boyunca uzanan ince ses yutucu tabakalar yerleştirilir. Böylece hem toplam kesit alanı sabit tutularak havanın geçtiği her bir kesit alanı daraltılmış hem de ince ses yutucu kullanılmış olur.

7.9. Susturucularla Gürültü Kontrolü

Boru ve kanalların dışarıya ilettikleri sesin azaltılmasında ya da dışarıya açılan boru ve kanalların neden oldukları gürültünün kontrol edilmesinde filtre elemanı olarak susturucular önemli rol oynarlar.

Susturucuların çok değişik tipleri vardır. Burada bunların tümünü detaylı olarak incelemek olanaksız olduğundan sadece tek genişleme odalı susturucular incelenmiştir. Aşağıdaki Şekil 7.1' de tek genişleme odalı susturucu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Tek Genişleme Odalı Basit Bir Susturucu.

Bir susturucunun girişindeki ses basıncı düzeyiyle, çıkışındaki ses basıncı düzeyinin farkı olarak tanımlanan, susturucu ses iletim kaybı (TL), düşüş adı verilen S_2/S_1 oranına, susturucunun boyuna ve söz konusu sesin frekansına bağlıdır:

$$TL = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kL \right] \quad (7.16)$$

Burada,

$$m_2 = \text{düşüş} = \frac{S_2}{S_1} \quad (7.17)$$

S_1 = susturucu giriş kısmının kesit alanı

S_2 = susturucu genişleme odacığının kesit alanı.

$$k = \text{dalga boyu} = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c} \quad (7.18)$$

λ = söz konusu frekansın dalga boyu

L = susturucunun boyudur.

Ancak, bu tip susturucular dar bir frekans bandı için yararlı olabilir. Boru ve kanallarda gürültü kontrolü yöntemi olarak susturucu kullanımının yeğlendiği ya da diğer yöntemlere ek olarak susturucuların da kullanıldığı başlıca yerler şunlardır:

- 1) Fabrika dışına gaz atan boru çıkışlarında
- 2) Isıtma, havalandırma sistemlerindeki hava kanallarında
- 3) Motor, gaz türbini, kompresör v.b. makinelerin hava giriş kısımlarında.
- 4) Pistonlu makinelerin ve vakumlu pompaların gaz çıkışlarında.

7.10. Kulak Koruyucularla Gürültü Kontrolü

Kulak koruyucuları kullanmak aslında tam bir gürültü kontrolü yöntemi olmayıp genellikle başka bir önlem alınamayan durumlarda, kişilerin, işitme mekanizmalarını gürültüden korumak için kullanılabilecekleri bir koruma yöntemidir. Kulak koruyucuları; öteki gürültü kontrolü yöntemlerinin uygulanamadığı, pratik ya da ekonomik olmadığı durumlarda veya başka bir gürültü kontrolü yönteminin uygulanmasına kadar geçen süre içinde geçici çözüm olarak kullanıldıklarını söyleyebiliriz.

Genel olarak iki tip kulak koruyucusu vardır:

- 1) Kulak tıkaçları
- 2) Manşonlar.

Kulak tıkaçları, dış kulak kanalının içine giren ya da kanalın girişini tıkayan tıkaçlardır. Plastik, kauçuk, camı pamuğu

ve benzeri yumuşak malzemeden yapılır. Kulak tıkaçları genellikle en az 15 dBA'lık bir ses azalması sağlayabilmektedir.

Manşorlar, kulak kepçelerini içine alan ve baş üzerinden geçen bir bantla birbirine tutturulmuş iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımların dışları sert ve yalıtkan malzemeden, kulağa değen iç kısımları ise yumuşak ve ses yutucu malzemeden yapılmıştır.

Kulak tıkaçlarının avantajları:

- 1) Küçüktürler, taşıma ve saklama kolaylığı vardır.
- 2) Sıcak ortamlarda daha rahat kullanılabilirler.
- 3) İlk yatırım masrafı manşonlara göre daha azdır.

Kulak tıkaçlarının dezavantajları:

- 1) Ses azaltmaları manşonlara göre daha azdır.
- 2) Kulağa uygun yerleştirilmeleri daha zordur.
- 3) Kulağa yerleştirme esnasında enfeksiyon tehlikesi vardır.
- 4) Koruyucu kullanması gereken kişilerin denetimi daha zordur.

Manşonların avantajları:

- 1) Kulak tıkaçlarına göre daha etkilidirler.
- 2) Denetimleri daha kolaydır.
- 3) Kullanıcıların manşon takmaya alışmaları daha kolaydır.
- 4) Kulak tıkaçları kadar kolay kaybolmazlar.

Manşonların dezavantajları:

- 1) Sıcak ortamda kullanıcıyı rahatsız ederler.
- 2) Taşınmaları ve saklanmaları kulak tıkaçlarına göre daha zordur.
- 3) Pahalıdırlar.
- 4) Kafa hareketini sınırlandıracağından kullanımı güçtür.
- 5) Düşük frekanslarda kulak tıkaçlarından daha az etkilidir.

7.11. Akışkan Kaynaklı Gürültü Sorunları ve Öneri Getirilmesi

Akışkan kaynaklı gürültülerden kasıt, akışkanın yarattığı türbülans kastedilmektedir. Türbülans, akışkanın ani yön değiştirdiği dirsek, klape ve branşman bölgelerinde oluşur. Gürültünün düzeyi akışkanın debisine, akışkanın içinden geçtiği elemanların büyüklüğüne ve türbülans miktarına bağlıdır. Kanal tasarımı, gürültü kontrolü açısından dikkat edilmesi gerekli bazı noktaları aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz:

- 1) Düzenli bir akış sağlanmalıdır.
- 2) Fittingslerden sonra boru çapının 5-10 katı kadar düz mesafe bırakılmalıdır.
- 3) Kanallar türbülansı azaltacak ve akış yönünü ve hızını ani den değiştirmeyecek şekilde olmalıdır.
- 4) Yüksek hızlardan kaçınılmalıdır.

Yukarıda sıralanan temel ilkeler hava kanalları dışındaki akışkan sistemleri içinde geçerlidir. Örneğin ana borudan ayrılan bir buhar borusunun üzerinde bulunan ardarda yerleştirilmiş bir kaç vanadan çok yüksek düzeyde ses çıkması durumunda, ana borudan ayrılan borunun dik dönüşler yapması engellenir ve vanalar mümkün olduğunca uzağa yerleştirilirse, ses mümkün mertebe azaltılmış olur.

Bir kanal üzerine konulan fanın, türbülans yaratan engellerden uzaklaştırılmasıyla gürültü azalması sağlanabilir. Fan gürültüsünü azaltmak için, fan çıkışından sonra geniş hacimli ses azaltma odası koymanın da etkili bir yol olduğunu görmüştük. Bu tür odaların geometrisi, elde edilecek ses azalmasını etkilemeyeceğinden, özellikle binaların ısıtma, havalandırma sistemlerinde, binanın kullanılmayan bir kısmı bu amaç için kullanılabilir. Böyle bir uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar; odanın azaltılması istenen en düşük frekans için yeterli büyüklükte olması, odacık içinin ses yutucu malzemeye

kaplanması ve giriş çıkış kanallarının karşılıklı gelmemesidir. Karşılıklı konulan giriş ve çıkış kanalları, yüksek frekansların azaltılmadan iletilmesine sebep olur.



SONUÇLAR

Gürültü kontrolünde temel esas, gürültüyü ilk olarak kaynaklandığı yerde azaltmak ya da yok etmeye çalışmaktır. Bu yöntemlerden olan planlama ve bakım, gürültü kontrolünde önemli ölçüde yararlar sağlar. Fakat, genel olarak işletmelerin ilk kuruluşunda bu husus pek dikkate alınmaz. Oysa gürültü faktörünü başta düşünüp, makina ve tezgah yerleşimlerini uygun bir şekilde gerçekleştirmek, gürültüyü sonradan kontrol etmekten çok daha kolaydır. Diğer bir yöntem olan susturucularla kontrol ise, fabrika borularındaki gaz çıkışlarında ve araba egzostlarında gürültüyü önlemek için kaçınılmaz bir yöntemdir. Yine yukarıda bahsedilenlerden çok değişik bir yöntem olan titreşim yalıtımı ve sönümlemeyle titreşim kontrolü, titreşen yüzey ve makinalara uygulanır. Titreşim yalıtımında temel esas, zemine iletilen darbelerin minimuma indirilmesidir. Bu da mantar, keçek, kauçuk, metal yay gibi malzemelerle sağlanacağından, ilk yatırım masrafları da fazla değildir. Sönümlemeyle titreşim kontrolünde genel olarak dönen metal yüzeylerin, iş gören kısımları hariçinde kaplanması ya da direngenliği arttırıcı bir disk bağlanması doğru bir uygulamadır. Yukarıdaki yöntemler gibi bunun da ilk yatırım masrafları yüksek değildir. Kapalı hücre içine alma yöntemi, daha sonra makinaya ulaşılması, dolayısıyla bakımının güçleşmesinden dolayı pek fazla tercih edilmez. Fakat diğer yöntemlerin uygulanmasından sonra yine bir yetersizlik söz konusu ise, düşünülebilecek yöntemler arasındadır. Pahalı bir uygulama değildir.

Gürültünün yayılma alanında kontrolünde, bölgenin akustiğinin değiştirilerek diğer bir deyişle ses yutucu malzemeye kaplanarak uygulanan gürültü kontrolü akla gelir. Fakat kaynak yanında ise bu yöntem hiç bir yarar sağlamaz. İlk yatırım masrafı yukarıdaki yöntemlere nazaran biraz daha fazladır. Ses

bariyerlerinde ise, yüksek frekansların engellenmesi söz konusudur. Fakat dağınık ses alanlarında hiç bir işe yaramazlar. İlk yatırım masrafları fazladır. Eğer gürültü sadece belli bir bölgeyi etkiliyorsa, oda akustiğinin değiştirilmesi daha uygun olur.

Gürültünün algılandığı yerlerdeki kontrollerde ise, kulak tıkaçları ve manşonlar akla gelebilir. Bu yöntem, geçici olarak diğer yöntemlerin uygulanamadığı durumlarda başvurulmuş bir çözüm şeklidir. Çok yüksek frekanslı seslerin olduğu yerlerde çalışanlar kesinlikle bu aletleri kullanmalıdırlar. Bunlardan kulak tıkaçları, manşonlara göre daha ucuzdur ve diğer gözlük gibi yardımcı cihazlarla birlikte kolay kullanılırlar. Fakat kulakta iltahaplanmaya yol açabilirler. Manşonların takip çıkarılmaları daha kolay olmakla birlikte, kullanan kişilerin denetimleri de daha kolaydır. Ayrıca sağlık açısından daha elverişlidirler. Manşonlar kulaklık şeklinde cihazlardır.

Kaynaklanan gürültülerin azaltılması genel olarak yukarıda belirtilen şekillerde olmaktadır. Fakat, gerek çevrede, gerekse trafikte olsun hiç kaynaklanmaması gereken gürültülerin denetimi için ise, Devlete ve yetkili mercilere büyük görevler düşmektedir. Bu konuda çeşitli kararlar alınmalı, yasalar çıkartılmalı ve uymayanlar cezalandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- 1- D.A.Bies and C.H. Hansen., Engineering Noise Control.
- 2- E. and. F.N.Span., Noise Control In Industry.
- 3- Doç.Dr. Nevzat Özgüven., Mayıs 1985., "Endüstriyel Gürültü Kontrolü"., Makina Mühendisleri Odası Yayını.Yayın No:118.
- 4- Türkiye'de Çevre Bakanlığı'nın Gürültü ile ilgili Yasak Ve Hükümleri.
- 5- Türk Standartları Enstitüsü., Şubat 1993, TS 10713 UDK 625, 098 Şehiriçi Yollar-Trafik Gürültüsü Tespit Ve Önlemleri. 1. Baskı.
- 6- Türk Standartları Enstitüsü., Nisan 1977, TS 2726 UDK 534.6: 612.78 "Akustik-Konuşmanın Anlaşılabilirliği Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi"., 1. Baskı.
- 7- Türk Standartları Enstitüsü., Aralık 1991, TS 2214 UDK 534.6: 629.11 "Akustik-Hareket Halindeki Karayolu Taşıtlarının Çıkarıldığı Gürültünün Ölçülmesi".

ÖZGEÇMİŞ

1 Ekim 1971 yılında İstanbul'da doğdum. İlköğrenimimi Moda İlkokulu'nda tamamladım. Orta ve Lise öğrenimimi Haydarpaşa Lisesi'nde bitirdim. 1988 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği öğrenimime başladım. 1992 yılında Makina Mühendisliğinden mezun olduktan sonra aynı yıl bölümümde yüksek lisans programına dahil oldum. İngilizce, Fransızca ve Almanca biliyorum.