

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

95755

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI TARIM MAKİNALARINA AİT SES DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Metin ÖZGÜVEN

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ANKARA

2000

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Doç. Dr. Mustafa VATANDAŞ danışmanlığında, Mehmet Metin ÖZGÜVEN tarafından hazırlanan bu çalışma 18 / 8 / 2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ahmet ÇOLAK

İmza



Üye : Doç. Dr. Mustafa VATANDAŞ

İmza



Üye : Doç. Dr. Cengiz ÖZARSLAN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Esmâ KILIÇ

Enstitü Müdürü



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI TARIM MAKİNALARINA AIT SES DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Metin ÖZGÜVEN

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa VATANDAŞ

Bu çalışmada, gerek traktörle çalıştırılan gerekse kendi güç kaynağına sahip tarımsal makina ve ekipmanlara ait gürültü düzeyleri tespit edilmiştir. Belirlenen değerler ulusal ve uluslararası standartlarda verilen sınır değerleriyle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Araştırmada gürültü ölçümü yapılan kendi yürür biçerdöver, çekiçli yem kırma makinası ve traktörle çalıştırılan çayır biçme makinası, silaj makinası gibi makinalarda 90 dB(A)'nın üzerinde gürültü düzeyi belirlenmiştir. Bunların yanısıra balya makinası, mikser, selektör ve süt sağım tesisi gibi makinalarla çalışmada gürültü değeri 85 dB(A)'nın altında belirlenmiştir. Çalışma sonuçları grafik gösterim yanında, gürültü haritalarına dayalı olarak da sunulmuştur. Diğer yandan gürültü sınırını aşan makinalarla çalışmada alınabilecek önlemler de tartışılmıştır.

2000, 92 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Ses, gürültü, akustik, ses düzeyi ölçer, tarım makinalarının gürültü düzeyleri.

ABSTRACT

MASTER THESIS

**DETERMINATION OF SOUND LEVEL BELONG TO SOME AGRICULTURAL
MACHINES**

Mehmet Metin ÖZGÜVEN

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Mustafa VATANDAS

In this study, sound levels of agricultural machines & equipments having their own power source and also running via a tractor are determined. The determined values are analysed in contrasting with the given boundary values in national and international standarts.

In the research, machines like self-propelled combine-harvester, hammer mill for feed, grass cutting machine running via a tractor, silage machine are examined and sound levels above 90 dB(A) were observed. Beside these, when running machines like haybalers, mixer, selector and milking machines, noise levels of less than 85 dB(A) were observed. The results of this study are shown graphically and also by noise maps. In addition of these, what measurements can be taken for working with the machines operating above noise limits are discussed.

2000, 92 pages

Key Words: Sound, noise, acoustic, sound level meter, sound level belong to agricultural machines.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tekniğin ve mekanizasyonun gelişmesine paralel olarak önemli bir sorun olarak karşımıza çıkan gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkilerinin, işleme kaybından iş veriminin önemli ölçüde azalmasına ve fizyolojik rahatsızlıklardan psikolojik bozukluklara dek uzandığı gerçeği ülkemizde tam olarak değerlendirilememektedir. Bu nedenle, birçok endüstri kolunda ve tarımsal makina ve ekipmanın kullanımında, çalışanların yüksek düzeyde gürültü etkisinde kalmasına karşın ciddi önlemler alınmamaktadır.

Gelişmiş ülkelerde, endüstriyel makinaların tasarımı aşamasından fabrika yerleşimine kadar her aşamada gürültü sorunu göz önünde bulundurulmaktadır. Ülkemizde ise bu konudaki çalışmalar daha başlangıç aşamasındadır. Gürültü sorununa bir çözüm arama girişiminde bulunulmayışının temel iki nedeninden biri, gerekli yasal düzenleme ve denetimin olmaması, öteki ise bu konulardaki bilgi birikiminin yetersizliğidir.

Ülkemizde tarımsal makina ve ekipmanların, gürültü düzeylerinin belirlenmesi konusunda fazla bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada tarımsal makina ve ekipmanların gürültü düzeyleri belirlenmektedir.

Bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan ve çalışmamın her safhasında yakın ilgi ve önerileriyle beni yönlendiren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Mustafa VATANDAŞ'a, yardımlarını gördüğüm Ziraat Mühendisi Sayın İlker ERESEN'e (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği), Sayın Gülden VURAL, Ali ÖZULUDAĞ ve Müdür Dr. Handan SABİR'a (Çalışma Bakanlığı İşçi Sağlığı ve Güvenliği Merkezi) teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Metin ÖZGÜVEN

Ankara, Temmuz 2000

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sesin Tanımı ve Fiziksel Özellikleri.....	1
1.2. Gürültü ve Gürültü Ölçütleri.....	16
1.3. Gürültü Kaynakları.....	32
1.4. Gürültünün Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri.....	33
1.5. Gürültü Önleme ve Azaltma Yöntemleri.....	36
1.6. Gürültü Standartları.....	38
1.7. Gürültü Ölçüm Teknikleri.....	43
1.8. Ses Düzeyi Ölçerler.....	50
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	55
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	66
3.1. Materyal.....	66
3.1.1. Gürültü Ölçümü Yapılan Makina ve Ekipmanlar.....	66
3.1.2. Ses Düzeyi Ölçer.....	68
3.2. Yöntem.....	70
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	73
4.1. Gürültü Düzeyine İlişkin Grafikler.....	73
4.2. Gürültü Haritaları.....	80
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	84
5.1. Tartışma.....	84
5.2. Sonuç.....	89
KAYNAKLAR.....	90

SİMGELER DİZİNİ

λ	Dalga boyu
ρ	Sesin iletiildiği ortamın yoğunluğu
BBD	Bant basıncı düzeyleri
b_w	Bant genişliği
c	Sesin ortamdaki yayılma hızı
f	Sesin frekansı
f_0	Merkez frekansı
f_1	Alt sınır frekansı
f_2	Üst sınır frekansı
I	Ölçülen ses şiddeti
I_0	Referans ses şiddeti
I_p	Ses şiddeti düzeyi
I_t	Teorik ses şiddeti
L	Ses yüksekliği düzeyi
L_{eq}	Eşdeğer sürekli ses düzeyi
L_i	i 'nci zaman aralığında ölçülen ses düzeyi (dBA)
L_p	Ölçülen ses basıncı düzeyi
L_{p1}	Ses basıncı düzeyleri
L_{po}	Ortalama ses basıncı düzeyi
L_{pt}	Toplam ses basıncı düzeyi
NC	Gürültü ölçütü eğrileri
NR	Gürültü sınıflandırma eğrileri
p	Ölçülen sesin oluşturduğu basınç
PNC	Yeğlenen gürültü ölçütü eğrileri
p_0	Referans ses basıncı
p_t	Ölçülen ses basıncının rms (etkin) değeri
$p(t)$	Ölçülen sesin A ağırlıklı ses basıncı
Q	Yönelme katsayısı
S	Ses yüksekliği

SEL	Ses etkilenim düzeyi
S_i	i'nci yükseklik indeksi
S_m	En büyük yükseklik indeksi
S_t	Toplam ses yüksekliği
T	Ölçüm süresi
T_d	Havanın sıcaklığı
t_i	i'nci zaman aralığının söz konusu toplam zaman aralığına oranı
T_k	Havanın Kelvin cinsinden sıcaklığı
W	Ölçülen ses gücü
W_0	Referans ses gücü düzeyi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi	1
Şekil 1.2. a) Harmonik, periyodik ve karmaşık seslerin oluşturduğu ses basıncı değişimleri, b) Bu fonksiyonların frekans dağılımları	5
Şekil 1.3. Ses basıncı ve ses basıncı düzeyleri	7
Şekil 1.4. Gürültü Tipleri a) Kararlı gürültü, b) Kararsız gürültü (Zamanla değişen), c) Kararsız gürültü (Darbeli)	18
Şekil 1.5. Arı sesler için eşyükseklik eğrileri	20
Şekil 1.6. İşitme sınırları	21
Şekil 1.7. Ses yüksekliği (son) – ses yüksekliği düzeyi (phon) çevrim eğrisi	22
Şekil 1.8. Eşyükseklik indeksi eğrileri	24
Şekil 1.9. Gürültü ölçütü (NC) eğrileri	25
Şekil 1.10. Yeğlenen gürültü ölçütü (PNC) eğrileri	26
Şekil 1.11. Gürültü sınıflandırma (NR) eğrileri	27
Şekil 1.12. A, B, C ve D Ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri	29
Şekil 1.13. Ses düzeyi ölçerinin blok diyagramı.....	52
Şekil 2.1. Önemli tarımsal çalışmalarda gürültü değerleri.....	56
Şekil 2.2. Gürültünün yayılması.....	59
Şekil 2.3. Gürültü kontrol yöntemlerinin uygulanması.....	59
Şekil 2.4. A tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	61
Şekil 2.4. B tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	61
Şekil 2.6. C tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	61
Şekil 2.7. D tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	62
Şekil 2.8. E tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	62
Şekil 2.9. F tipi susturucuda gürültü düzeyi.....	62
Şekil 3.1. Brüel & Kjaer 2209 Modelinin önden görünüşü	68
Şekil 3.2. Araştırmada kullanılan oktav bant filtresi.....	70
Şekil 4.1. $T_1 + B_1$ 'e ait gürültü düzeyleri	73
Şekil 4.2. B_2 'ye ait gürültü düzeyleri	74

Şekil 4.3. $T_2 + C_1$ 'e ait gürültü düzeyleri	74
Şekil 4.4. C_2 'ye ait gürültü düzeyleri	75
Şekil 4.5. $T_2 + E_1$ 'e ait gürültü düzeyleri	75
Şekil 4.6. $T_2 + E_2$ 'ye ait gürültü düzeyleri	76
Şekil 4.7. $T_3 + K$ 'ya ait gürültü düzeyleri	76
Şekil 4.8. M 'ye ait gürültü düzeyleri	77
Şekil 4.9. $T_1 + P$ 'ye ait gürültü düzeyleri	77
Şekil 4.10. S_1 'e ait gürültü düzeyleri	78
Şekil 4.11. $T_2 + S_2$ 'ye ait gürültü düzeyleri	78
Şekil 4.12a. S_3 'e ait gürültü düzeyleri (İnsan kulağında)	79
Şekil 4.12b. S_3 'e ait gürültü düzeyleri (Hayvan kulağında)	79
Şekil 4.13. Çekiçli yem kırma makinasına ait gürültü haritası.....	81
Şekil 4.14. Miksere ait gürültü haritası.....	82
Şekil 4.15. Selektöre ait gürültü haritası.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

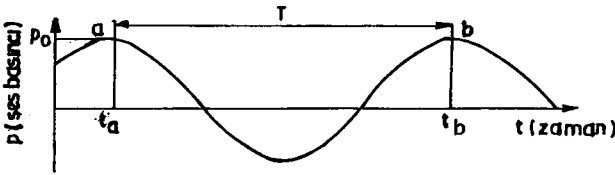
Çizelge 1.1. Sesin 21 °C'daki yayılma hızı.....	2
Çizelge 1.2. Sesin desibel merdiveni, şiddeti ve tipik örnekleri	6
Çizelge 1.3. Çeşitli ses ve gürültü kaynaklarının tipik ses güçleri ve ses gücü düzeyleri	10
Çizelge 1.4. Düzgün ses yayan bir ses kaynağının değişik konumlardaki yönelme Katsayısı.....	12
Çizelge 1.5. Oktav bant aralıkları ve merkez frekansları	15
Çizelge 1.6. Çeşitli kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen NC değerleri ...	28
Çizelge 1.7. Bir fabrikanın değişik bölgelerindeki ses düzeyi sınırları	30
Çizelge 1.8. Gürültü düzeyi ve işitme kaybına ilişkin bazı standartlar	41
Çizelge 1.9. Yüksek gürültü düzeylerinde kalabilme süreleri	42
Çizelge 1.10. Gürültünün zamanla değişme şekline göre yapılması gereken ölçümler ..	50
Çizelge 2.1. Gürültü kaynaklarının ses üretimini etkileyen yapısal ve işlemsel faktörler.	65
Çizelge 3.1. Gürültü ölçümü yapılan tarımsal makina ve ekipmanlar ve ölçümler sırasında kullanılan traktörler.....	67
Çizelge 3.2. Ölçüm sırasındaki atmosfer ve fiziksel koşullar.....	72

1. GİRİŞ

1.1. Sesin Tanımı ve Fiziksel Özellikleri

Ses dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Sesin tanımı, “kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri bir ortamdaki basınç değişimi” olarak verilmektedir (Özgüven 1986). Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklara iletilmesiyle olmaktadır. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar, havada basınç değişiklikleri oluşturmaktadır. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilmekte ve beyin tarafından “ses” olarak algılanmaktadır. Sesin havada oluşturduğu basınç değişimi miktarına ses basıncı denilmektedir ve μPa birimiyle ifade edilmektedir (Özgüven 1986).

Şekil 1.1’de basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi görülmektedir. p_0 ile gösterilen basıncın en büyük değerine genlik denilmektedir. Basıncın, birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana periyot adı verilmektedir. T ile gösterilen periyodun birimi, zaman birimi olan saniyedir. Periyodun tersi ise frekanstır. Saniyedeki basınç değişiklerinin sayısı “sesin frekansı” olarak adlandırılmaktadır. Frekansın birimi ise Hertz (Hz)’dir.



Şekil 1.1. Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi (Özgüven 1986).

Harmonik bir ses dalgası, periyodunun (ya da frekansının) ve genliğinin bilinmesiyle tanımlanabilmektedir. Sesin havadaki yayılma hızı, havanın ideal gaz olarak kabul edilmesiyle,

$$c = 20,05 \cdot \sqrt{T_k} \quad (\text{m/s})$$

eşitliğinden bulunabilmektedir (Özgüven 1986). Burada;

T_k : Havanın Kelvin cinsinden sıcaklığıdır. T_k ise,

$$T_k (\text{°K}) = 273,2^\circ + T_d \quad (\text{°C})$$

eşitliğinden bulunabilmektedir. Burada;

T_d : Havanın sıcaklığıdır.

Bu eşitliklere göre, 21°C 'da sesin yayılma hızı 344 m/s olmaktadır (Özgüven,1986). Sesin bazı ortamlarda, 21°C 'daki yayılma hızları çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Sesin 21°C 'daki yayılma hızı (Özgüven 1986).

Ortam	Yayılma hızı (m/s)
Hava	344
Mantar	500
Kurşun	1 200
Su	1 400
Sert kauçuk	1 400 – 2 400
Beton	3 000 – 3 400
Tahta	3 300 – 4 300
Dökme demir	3 700
Çelik – Alüminyum	5 100
Cam	5 200

Çizelge 1.1'deki değerlerden de anlaşılacağı gibi, sesin katılar içerisindeki yayılma hızı, havadaki hızına göre çok daha yüksektir.

Ses dalgaları yayılma ortamlarında iki tip enerjiye sahip olabilmektedir. Bunlardan birincisi, titreşen parçacıkların kinetik enerjisi, ikincisi ise elastik deformasyonun potansiyel enerjisidir. Ses enerjisi de diğer enerji çeşitleri gibi joule veya erg birimleriyle gösterilebilmektedir. Sesin bir ortamda yayılırken sahip olduğu hız, ortamdaki mekanik gerilmelerden etkilenmektedir. Bu nedenle oluşan enerji kayıpları da akustik direnç kavramıyla açıklanmaktadır (Sena 1973).

Sesin frekansı ve hızı bilindiğinde, dalga boyu belirlenebilmektedir. Bir ses kaynağından yayılan periyodik bir dalganın bir periyotluk zaman süresi içinde aldığı yola dalga boyu denilmektedir. Buna göre;

$$\lambda = c / f$$

olarak ifade edilebilmektedir (Başaran 1981). Burada;

λ : Dalga boyu,

c : Sesin hızı,

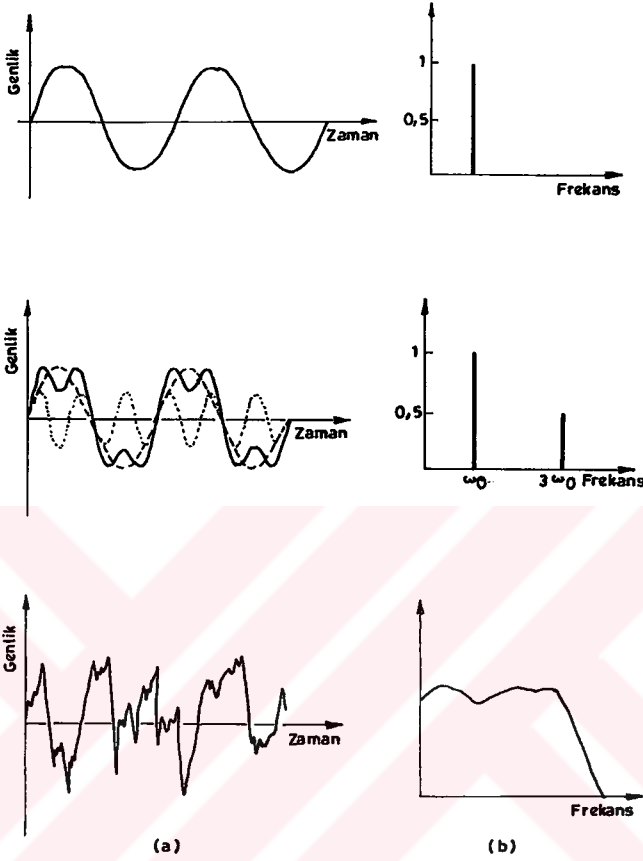
f : Sesin frekansdır.

Bu formülden değişik frekanslarda dalga boyu hesaplanabilmektedir. Örneğin 21°C hava sıcaklığında frekansı 20 Hz olan bir sesin havadaki dalga boyu 17,2 metre iken, frekansı 20 000 Hz olan bir sesin havadaki dalga boyu ise 1,7 cm'dir. Frekans yükseldikçe, dalga boyu küçülmektedir.

Harmonik ses basıncı değişiminin oluşturduğu seslere arı ses (saf ton) adı verilmektedir. Değişik frekanslardaki iki ya da daha çok arı sesin birleşmesi sonucunda harmonik olmayan periyodik sesler elde edilebilmektedir. Periyodik sesler, kendilerini oluşturan arı seslere ayrılabilirler. Doğada arı ses olarak nitelenen tek bir harmonikten oluşan seslere ender rastlanmaktadır. En yaygın örneği org veya akort çubuklarının çıkardığı sestir. Endüstride böyle bir örnek bulmak çok daha zordur. Bununla birlikte tek bir tonun baskın olduğu seslere örnek bulunabilmektedir (elektrik motorlarının ve transformatörlerin çıkardığı sesler gibi). Periyodik seslere doğada daha çok rastlanmaktadır. Örneğin, bir dizel motorunun çıkardığı sesler belli bir frekans ve onun katlarından oluşur. Üçüncü olarak, karmaşık (kompleks) seslerden söz edilebilmektedir. Bu tip sesler harmonik olmadıkları gibi, periyodik de değildirler. Yani, oluşturdukları ses basıncının zamanla değişimi gelişgüzeldir. Şekil 1.2'de üstte harmonik, ortada periyodik ve altta karmaşık sesin oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimine birer örnek verilmektedir.

İnsan kulağı, bir ses gücünün değeri hakkındaki kararını kesin bir terimle ifade edemez. Kulak, ses gücü hakkındaki kararını diğer bir ses gücünden ne kadar büyük veya ne kadar küçük olduğu şeklinde verebilmektedir. Bu davranış, çok geniş bir güç aralığını içine almaktadır. Böyle geniş bir güç aralığını belirtmek için uygun logaritmik cetvelin kullanılması gerekmektedir.

Ses düzeyi ölçümünde iki büyüklüğün oranının logaritması "Bell" olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla 1 Bell, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından; desibel, söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasınının 10 katıdır (Özgüven 1986). Desibel, genelde, güç ya da güç eşdeğeri büyüklükleri ölçmek için kullanılmaktadır ve doğrusal bir ölçek yerine logaritmik bir ölçek kullanılmasından dolayı, alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur.



Şekil 1.2. a) Harmonik, periyodik ve karmaşık seslerin oluşturduğu ses basıncı değişimleri, b) Bu fonksiyonların frekans dağılımları (Özgüven 1986).

Sesin, kaynağın bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle, kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak değişen bir özelliği de ses şiddetidir. Sesi oluşturan titreşimlerin atmosferde oluşturduğu basınç, sesin şiddetini belirler. Ses şiddeti de dB birimiyle gösterilmektedir. Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi seslerin desibel değerleri artarken, ses şiddeti logaritmik bir şekilde yükselmektedir. Desibel merdiveni 10'ar desibellik aralarla yükseldiğinde, sesin şiddeti de 10 katına çıkmaktadır.

Çizelge 1.2. Sesin desibel merdiveni, şiddeti ve tipik örnekleri (Shacked 1984).

Şiddeti	dB Karşılığı	Tipik Örnek
10 000 000 000 000	130	0,914 m mesafeden hidrolik pres (135 dB)
1 000 000 000 000	120	
100 000 000 000	110	180 m'den jet uçağı kalkışı (105 dB)
10 000 000 000	100	Otomatik torna tezgahı (95 dB)
1 000 000 000	90	
100 000 000	80	Ofis makinaları (75 dB)
10 000 000	70	
1 000 000	60	1 m'den konuşma (65 dB)
100 000	50	
10 000	40	
1 000	30	
100	20	1,219 m'den fısıltı (20 dB)
10	10	
1	0	İşitme eşiğı (0 dB) (1 000 Hz)

İnsan kulağı 1 000 Hz'lik sesi ancak 20 μ Pa (0 dB) basıncın üstünde duymaya başlamaktadır. Bu değer insan kulağının duyma eşiğidir. Yaklaşık 100 Pa'lık (140 dB) ses basınç düzeyi ise kulağın üst işitme sınırındır. Bu durumda kulakta ağrı başlar (Orhun 1982, Ünver 1995). Gürültü 90 desibeli aşarsa sözle anlaşma imkanı kaybolmaktadır (Şimşek 1994). Hiçbir zaman 140 dB'in üzerindeki ani sese maruz kalınmamalıdır (Koç 1997). Şekil 1.3'de değişik ortamlardaki ses basıncı ve ses basıncı düzeyleri verilmektedir.

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

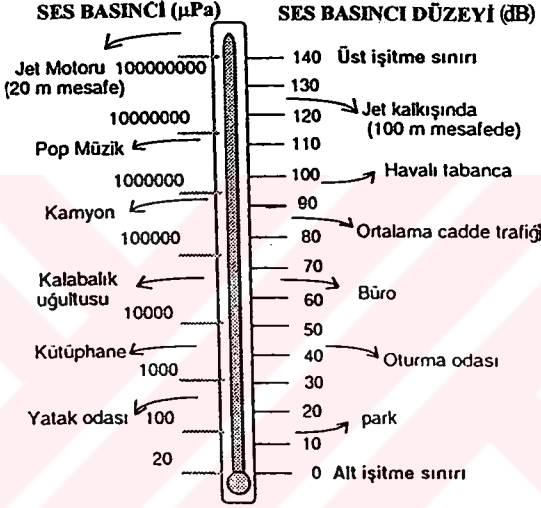
Ses basıncı düzeyi, ölçülen sestən doğan ortalama karekök (rms değeri) ses basıncının, referans ses basıncına oranının 10 tabanına göre logaritmasının 20 katı olarak belirtilmekte ve desibel cinsinden ifade edilmektedir. Buna göre ses basıncı düzeyi (L_p),

$$L_p = 20 \text{ Log } p / p_0$$

olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 1990). Burada;

p: ölçülen sesin oluşturduğu basınç,

p₀: uluslararası referans basıncı 20 µPa (20x10⁻⁶ Pa)'dır.



Şekil 1.3. Ses basıncı ve ses basıncı düzeyleri (Ünver 1995).

Diğer yandan ses basıncı düzeyi,

$$L_p = 10 \text{ Log } p^2 / p_0^2$$

şeklinde de verilebilmektedir (Özgüven 1986). 20 µPa'nın referans olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin, frekansı 1 000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az 20 x 10⁻⁶ Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1 000

Hz'deki duyma eşiği referans 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.

Ses basıncı düzeyleri L_{pi} ($i = 1, 2, \dots, n$) olan n ayrı ses dalgasının toplam ses basıncı düzeyi (L_{pt}) ise;

$$L_{pt} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right)$$

eşitliğinden bulunmaktadır (Özgüven 1986).

Ses şiddetini ölçmek genellikle zordur. Fakat, ses şiddeti ile ses basıncı arasındaki düzlemsel dalgalar için verilen ve kaynaktan uzak olmak koşuluyla diğer dalga tipleri için de geçerli olan,

$$I = p_t^2 / \rho \cdot c$$

bağıntısı kullanılarak, ses şiddeti (I) hesaplanabilmektedir (Özgüven 1986). Bu eşitlikte;

p_t : Ölçülen ses basıncının rms (etkin) değeri,

ρ : Sesin iletiği ortamın yoğunluğu,

c : Sesin ortamdaki yayılma hızıdır.

Ses şiddeti düzeyi I_p ise, daha önceki düzey tanımlamalarına benzer şekilde,

$$I_p = 10 \log I / I_0 \quad (\text{dB})$$

olarak tanımlanmaktadır (Başaran 1981). Bu eşitlikte;

I : Ölçülen ses şiddeti,

I_0 : Referans ses şiddetidir ve I_0 olarak 10^{-12} W/m² alınabilmektedir.

Sesin havada yayılması düşünüldüğünde,

$$I_p = L_p - 0,16 \quad (\text{dB})$$

eşitliği geçerlidir. Buradaki 0,16 dB insan kulağının fark edemeyeceği bir değer olduğundan, havada ilerleyen düzlemsel dalgalar için verilen ve kaynaktan uzak olmak koşuluyla diğer dalga tipleri için I_p yerine L_p alınabilmektedir. Bu nedenle gürültü analizlerinde ses şiddeti yerine, ölçülmesi çok daha kolay olan ses basıncı kullanılmaktadır (Özgüven 1986).

Ses düzeyinin belirlenmesinde basınç yerine güç parametresinin kullanımı da mümkündür. Bu durumda da ses gücü düzeyi dB olarak ifade edilmektedir. Teknik yönden ses gücü düzeyinin ölçümü daha uygun olmakla birlikte, uygulamada basıncı ölçmek daha kolay olduğundan, hemen bütün çalışmalarda ses basıncı düzeyi belirlenmektedir (Önal 1996).

Bir ses kaynağından yayılan enerjinin birim zamandaki miktarına ses gücü (veya akustik güç) denilmektedir. Bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi adı verilmektedir.

$$\text{Ses Gücü Düzeyi (dB)} = 10 \text{ Log } W / W_0$$

olarak tanımlanmaktadır (Orhun 1982, Anonymous 1991). Burada;

W: Ölçülen ses gücü

W_0 : Referans ses gücü düzeyi' ($W_0 = 10^{-12}$ W) dir

Bir makinanın ses gücü, bu makinanın toplam gücünün, ses olarak yayılan kısmıdır ve genellikle toplam gücün çok küçük bir kısmıdır. Amacı ses üretmek olan hoparlörlerde bile toplam gücün en fazla % 10'u ses gücüdür. Çizelge 1.3'de bazı ses ve gürültü kaynaklarının harcadıkları ses güçleri ve ses gücü düzeyleri verilmektedir.

Çizelge 1.3. Çeşitli ses ve gürültü kaynaklarının tipik ses güçleri ve ses gücü düzeyleri (Özgüven 1986).

Kaynak	Ses Gücü (W)	Ses Gücü Düzeyi (dB)($W_0 = 10^{-12}$ W)
Fısıltı	10^{-9}	30
Normal konuşma	10^{-3}	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

Bu çizelgenin incelenmesi, ses ölçümlerinde desibel boyutunu kullanmanın sağladığı kolaylığı açıkça göstermektedir. Çizelgede verilen ses gücü değerleri 10^{-9} W ile 5×10^7 W arasında değişirken, ses gücü düzeyleri sadece 30 dB ile 197 dB arasında kalmaktadır. Desibel boyutunun kullanılması, araştırmacıları çok küçük ya da çok büyük sayılarla uğraşmaktan kurtarmakta ve geniş bir aralığa yayılan sayıları, küçük bir aralıkta toplanmış sayılarla anlatabilme olanağını sağlamaktadır.

Ses, noktasal ideal bir ses kaynağından, küresel dalgalar şeklinde yayılmaktadır. Pratikte bunu sağlamak güçtür. Genellikle, bir ses kaynağından çıkan sesin herhangi bir uzaklıktaki ses basıncı, hoparlörün yüzüne dik yönde, diğer yönlerdekinden daha yüksek olacaktır. Bir noktadaki yönelme katsayısı Q; o noktadaki ses şiddetinin, sesin düzgün yayılması durumunda aynı noktada oluşturacağı ses şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel olarak ise,

$$Q = I / I_1$$

yazılabilmektedir (Özgüven 1986). Burada;

I: söz konusu noktadaki ses şiddeti,

I₁: aynı noktada, sesin küresel dalgalar halinde yayılması durumunda elde edilecek teorik ses şiddetidir.

Yönelme katsayısı,

$$Q = p^2 / p_1^2$$

şeklinde de yazılabilmektedir. Burada;

p: ölçülen ses basıncının rms değeri,

p₁: sesin düzgün yayılması durumunda bulunacak ses basıncının rms değeridir (Özgüven 1986).

Çevresinde hiçbir yansıtıcı yüzey bulunmayan bir ses kaynağı, kendi özelliğinden dolayı değişik yönlerde değişik yönelme katsayısına sahip olacağı gibi, her yönde düzgün ses yayan bir kaynak da bulunduğu konuma ve çevresindeki ses yansıtıcı yüzeylere bağlı olarak değişik yönelme katsayılarına sahip olabilmektedir. Çevresinde hiçbir yansıtıcı yüzey bulunmayan noktasal bir ses kaynağı için yönelme katsayısının her yönde 1 olacağı açıktır. Buna karşılık çevresinde yansıtıcı yüzeylerin bulunuşu, yönelme katsayısını yükseltecektir. Çizelge 1.4, noktasal bir ses kaynağının değişik konumlardaki yönelme katsayısını göstermektedir. Bu çizelge, her yönde düzgün ses yayan kaynaklar için verilmektedir. Eğer ses kaynağının sesi yayışı düzgün değilse, her yönde farklı bir yönelme katsayısına sahip olacaktır. Bu durumda yönelme, frekansla da değişmektedir.

Çizelge 1.4. Düzgün ses yayan bir ses kaynağının değişik konumlardaki yönelme katsayısı (Özgüven 1986).

Kaynağın konumu	Yönelme Katsayısı (Q)
Açıktaki (Tavandan odanın ortasına asılmış)	1
Yansıtıcı bir düzlem üzerinde (Yerde ve duvarlardan uzak)	2
Yansıtıcı iki düzlemin kesim çizgisinde (Yerle duvar arasında)	4
Yansıtıcı üç düzlemin kesim noktasında (Bir odanın köşesinde)	8

Her yönde değişik yönelme katsayısına sahip bir ses kaynağının herhangi bir yöndeki yönelme katsayısı, o yönde bir noktada ölçülen ses basıncı düzeyi ile kaynağa aynı uzaklıktaki ortalama ses basıncı düzeyinden yararlanarak,

$$Q = 10^{(L_p - L_{po}) / 10}$$

eşitliğinden bulunabilmektedir (Özgüven 1986). Bu eşitlikte;

L_p : Ölçülen ses basıncı düzeyi

L_{po} : Ortalama ses basıncı düzeyi'dir.

Ortalama ses basıncı düzeyi L_{po} , ya özel test odalarında ya da bunun olanaksız olduğu durumlarda büyük bir odada veya açık havada belirli noktalarda yapılan ses basıncı düzeyi ölçümlerinden hesaplanmaktadır.

Doğada rastlanan sesler genellikle karmaşık sesler olduğundan; frekans analizi, ses ölçüm ve analizinde önemli bir yer tutmaktadır. Karmaşık bir sesin frekans dağılımı incelendiğinde, o sesin daha çok hangi frekanslardaki seslerden oluştuğu görülebilir. Gürültü kontrolü açısından, birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir. Çünkü gürültü kontrolünü sağlamak için alınacak önlemler, yayılması ya da doğması önlenecek sesin frekansına bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca, kulağın her frekansa gösterdiği duyarlılık da farklı olmaktadır.

Bir ses kaynağının çıkardığı sesin frekans dağılımını elde etmek için birçok değişik ölçüm aygıtı kullanılabilir. Temel kural, gelen sinyalleri süzerek (filtre ederek) istenilen frekanslardaki bileşenlerin büyüklüğünü ölçmektir. Geçmesine izin verilen frekans aralığı değiştirilerek, her frekans bandındaki bileşenlerin katkısı bulunabilir. Burada önemli olan, gelen sinyalin hangi genişlikteki frekans bantlarında süzüleceğidir. Çok geniş bant aralığı kullanıldığında frekans ölçümleri fazla bir anlam taşımamaktadır. Buna karşılık çok dar bant aralığı kullanılması ise gereksiz zaman kaybına neden olabilmektedir. Bant genişliğini, genellikle yapılacak analizin niteliği ve duyarlılığı belirlemektedir.

Frekans analizinde cevaplandırılması gereken ilk soru, hangi frekans aralığında inceleme yapılacağıdır. Konu ses ve gürültü olduğundan, insan kulağının duyarlı olmadığı frekansları incelemenin fazla bir yararı yoktur. İnsan kulağı yaklaşık olarak 16 – 20 000 Hz arasındaki seslere karşı duyarlıdır. Bu frekans aralığı değişik kaynaklarda 16 – 16 000 Hz ya da 20 – 20 000 Hz olarak da verilmektedir. Kulağın en hassas olduğu frekans ise 4 000 Hz'dir. Normal bir konuşma 200 – 10 000 Hz frekans aralığını kapsamaktadır. Konuşmanın anlaşılabilir olması için 1 000 – 2 500 Hz aralığındaki frekanslar yeterlidir. Müzik, genel olarak konuşmadan daha geniş bir frekans aralığına sahiptir. Alt sınır 30 – 200 Hz'e veya biraz daha altına düşerken, üst sınır 10 000 Hz'in epey üzerine çıkabilmektedir. Buna karşılık, gürültü kontrolü açısından kulağın duyarlı olduğu tüm frekans aralığını incelemek gerekmeyebilir. Alt limit olarak 45 Hz civarı, üst limit olarak ise, duruma göre 6 000 Hz ya da 11 000 Hz alınabilmektedir (Dinçer 1977, Orhun 1982, Özgüven 1986).

Görüldüğü gibi incelenmesi gereken frekans aralığı çok geniştir ve sabit genişlikte bantların kullanılması birçok durumda çok uzun analiz süresi gerektirmektedir. Bu nedenle, ses analizinde, oktav bantları ve 1/n oktav bantları ($n = 2, 3, 10 \dots$) kullanılarak standartlaşmaya gidilmiştir. Genellikle oktav analizi kullanılmakla birlikte, hassasiyet gerektiren durumlarda yaygın olarak 1/3 oktav ya da 1/10 oktav analizi kullanılmaktadır. Burada incelenecek frekans aralığı oktav bandı adı verilen kısımlara

bölünmektedir. Bir oktav, üst değeri alt değerinin iki katı olan frekans aralığıdır. Bu amaçla duyulabilir ses frekans bölgesi (22-22 720 Hz) 10 oktav bandına bölünmüştür. Bir oktav bandında, bandın üst sınır değeri, bir sonraki bandın alt sınır değeridir. Her bandı temsil eden merkez frekansı ise, alt sınır değerinin $\sqrt{2}$ katıdır (Vatandaş vd 2000). Matematiksel olarak;

$$f_2 = 2 f_1$$

ve

$$f_0 = \sqrt{2} f_1 = f_2 / \sqrt{2}$$

olarak ifade edilmektedir (Özgüven 1986). Burada,

f_0 : Merkez frekansı,

f_1 : Alt sınır frekansı,

f_2 : Üst sınır frekansıdır.

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

$$b_w = f_2 - f_1$$

dir (Özgüven 1986).

Standart olarak kabul edilen oktav bantlarının merkez frekansları 31,5, 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000 ve 16 000 Hz'dir. Bu sayılar İngiliz B.S. 3593 standardında verilen seridir. Standart oktav bantlarının alt ve üst sınır değerleri çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Oktav bant aralıkları ve merkez frekansları (Orhun 1982).

Merkez Frekansı (Hz)	Oktav Bant Aralıkları (Hz)
31,5	22 – 44
63	44 – 88
125	88 – 177
250	177 – 355
500	355 – 710
1 000	710 – 1 420
2 000	1 420 – 2 840
4 000	2 840 – 5 680
8 000	5 680 – 11 360
16 000	11 360 – 22 720

Analizlerde genellikle 31,5 ve 16 000 Hz bantları kullanılmamaktadır. Ses analizinde en önemli veri, yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlardır. Karmaşık bir sesin frekans analizinin yapılabilmesi için, sesin çeşitli frekans aralıklarında süzülmesi gerekir. Yani, bu karmaşık sesi oluşturan harmonik seslerden, frekansı belli aralık içerisinde olan kısmın büyüklüğünün (veya katısının ne kadar olduğunun) saptanması gerekir. Oktav, birinin frekansı diğerinin iki katı olan iki titreşimin aralığıdır. Oktav analizinde oktav bantları ölçüm yapılacak frekans aralığı olarak alınır, elde edilen sonuçlar fazla hassas olmayacaktır. Örneğin, merkez frekansı 8 000 Hz olan bandın frekans aralığı incelenirse (5 680 – 11 360 Hz), bant genişliğinin 5 680 Hz olduğu görülecektir. Bu aralık için ölçümlerden tek bir değer elde edileceği için, bu aralık içerisindeki frekans dağılımı bilinmemektedir. Bu oktav bandındaki katkı önemli olduğunda ve bu bant içindeki frekans dağılımı bilinmek istendiğinde, yani oktav bant analizinin sağladığı bilginin yeterli olmaması durumunda, daha dar frekans bantları kullanmak gerekmektedir. Her ne kadar saf tonlara yaklaşacak derecede dar bantlarda analiz yapabilmeyi sağlayacak ölçüm aygıtları geliştirilmişse de, bu tür aygıtların çok pahalı olmaları nedeniyle pratikte genellikle 1/3 oktav ya da 1/10 oktav analizi kullanılmaktadır. Bu analizler için bir oktavlık aralık, sırasıyla, üçe veya ona bölünmektedir. Alt ve üst sınır değerleri için,

$$f_2 = 2^n f_1$$

ve

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

genel eşitlikleri kullanılabilir (Özguven 1986). Burada;

n: oktav, 1/3 oktav ve 1/10 oktav analizleri için, sırasıyla, 1, 1/3 ve 1/10 değerlerini almaktadır.

1/3 ve 1/10 oktav analizlerinde, bant genişliği daralmakla birlikte, düşük frekanslar için çok dar olan frekans aralığı, yüksek frekanslar için bu kadar dar olmamaktadır. Bu tür frekans analizlerine sabit yüzdeli bant genişlikli analiz adı verilmektedir. Bant aralığının merkez frekansına oranı sabittir. Bir de sabit bant genişlikli frekans analizleri vardır ki, ses ve gürültü analizlerinde kullanımları daha kısıtlıdır. Bu tip analizlerde adından da anlaşılacağı gibi, bant aralığı, merkez frekansının değerine bağlı olmaksızın aynı kalmaktadır.

Oktav bantlarının, bandın üst sınır değerinin, alt sınır değerinin iki katı olacak şekilde tanımlanmasının nedeni; kulağın, frekansları oranı tam sayı olan sesleri benzer ses olarak algılamasıdır. Diğer bir deyişle aralarında tam oktav farkı bulunan iki ses aynı notaya karşı gelir, yani kulak bu iki sesi benzer sesler olarak algılar.

1.2. Gürültü ve Gürültü Ölçütleri

Çevredeki istenmeyen, rahatsız eden veya sağlığa zararlı olabilen ses, gürültü olarak nitelenmektedir. Önceleri gürültünün, çalışma yerinin doğal bir sonucu olduğu kabul ediliyor ve genellikle işçi sağlığı üzerinde yıpratıcı ya da işitme kaybı oluşturacağı üzerinde durulmuyordu. Fakat bugün gürültünün çalışanlar üzerindeki fiziksel ve zihinsel etkileri anlaşılmiş ve özellikle teknolojinin geliştiği ortamda büyük bir sorun haline almaktadır (Dinçer 1977).

Gürültünün ölçülmesinde desibel (dB) birimi kullanılmaktadır. Fakat insan kulağının seslere karşı duyarlılığı, sesin frekansına da bağlı bulunmaktadır. Bunun anlamı insan kulağı, aynı ses basıncındaki, fakat farklı frekanstaki iki sesi aynı derecede duymamaktadır. Bu nedenle gürültü ölçümünde, frekansa bağlı olarak duyarlılık da dikkate alınarak geliştirilen dB(A) kullanılmaktadır (Dinçer 1977).

Sesin kavranılan gürültüsü, birçok kompleks faktörle tanımlanmaktadır. Bu faktörlerden bir tanesi insan kulağının bütün frekanslara karşı aynı ölçüde hassas olmamasıdır. Kulak, 2 kHz ile 5 kHz arasındaki seslerde daha yüksek ve daha düşük frekanslara göre daha hassastır.

Gürültü değişik açılardan sınıflandırılabilir. Buna göre gürültü,

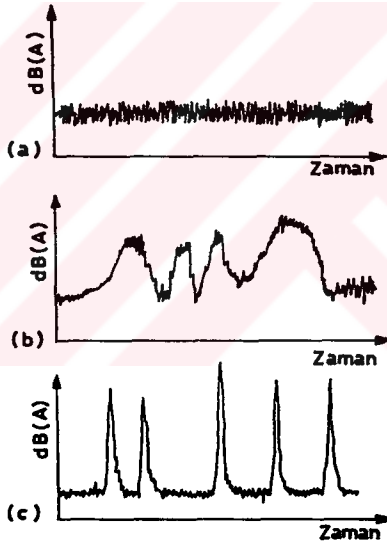
- a) Frekans dağılımına,
- b) Ses düzeyinin zamanla değişme şekline

bağlı olarak gruplandırılabilir (Özgüven 1986). Frekans dağılımına göre yapılan sınıflandırmada iki tip gürültüden söz edilmektedir:

1. Geniş bant gürültü: Gürültüyü oluşturan arı seslerin frekansları geniş bir aralığı kapsamaktadır. Yani gürültünün frekans spektrumu 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 göstermektedir. Diğer bir deyişle, gürültüyü oluşturan arı seslerden frekansı belli bir aralıkta olanlar baskındır.

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

1. Kararlı gürültü: Gürültünün düzeyinde zamanla önemli bir değişme gözlenmez. Sabit bir hızda ve güçte çalışan herhangi bir motorun oluşturacağı gürültü, kararlı gürültüye iyi bir örnektir.
2. Kararsız gürültü: Gürültü düzeyinde zamanla önemli değişikliklerin gözleendiği gürültü türüdür. Bu gürültüler zamanla değişme, dalgalanma ya da durup yeniden başlama (kesikli olma) şeklinde gözlenebilir. Bu tür gürültülere sırasıyla, dalgalı gürültü veya kesikli gürültü adı verilmektedir. Kararsız gürültünün diğer bir şekli de darbe gürültüsüdür. Darbe gürültüsünün, kesikli gürültüden farkı, her gürültü anının, darbe gürültüsünde çok daha kısa olmasıdır (genellikle 1 saniyenin altında). Şekil 1.4’de, gürültü tipleri görülmektedir.



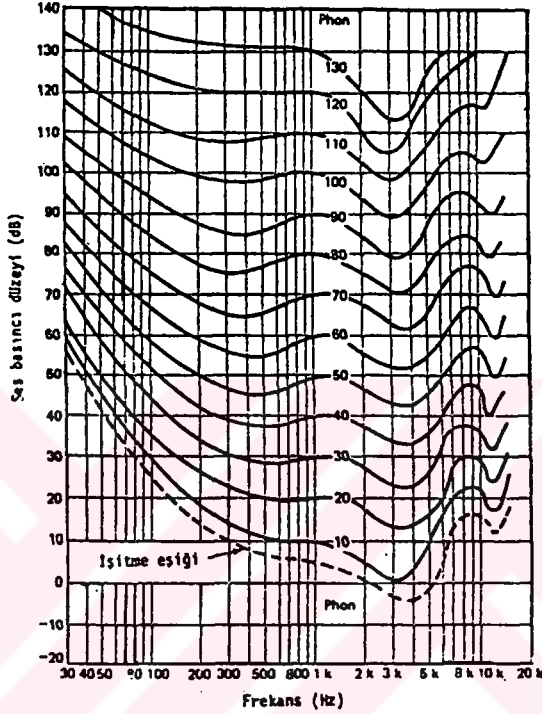
Şekil 1.4. Gürültü tipleri a) Kararlı gürültü, b) Kararsız gürültü (Zamanla değişen), c) Kararsız gürültü (Darbeli) (Orhun 1982).

Gürlük, insan kulağının sesin şiddeti hakkında yaptığı bir değerlendirmedir. Sesin gürlüğü, bir fiziksel ölçü aletinin gösterdiği bir büyüklük değildir. Gürlük birimi olarak “fon” veya “sone” diye bilinen fizyolojik birimler kullanılmaktadır.

Sesin yüksekliği, fizyolojik bir büyüklüktür. Bir sesin ince, tiz veya pes tonda olup olmadığı kulakla farkedilebilmektedir. Bir insana muhtelif tonlardaki sesler verildiğinde, kulağıyla yapacağı değerlendirme sayesinde “birinin ötekinden iki misli kalın veya iki misli ince olduğunu” söyleyebilmektedir.

Bir sesin yüksekliği; yalnız o sesin oluşturduğu ses basıncı tarafından belirlenmemektedir. Yani, aynı ses basıncını oluşturan değişik frekanslardaki sesler, kişilerce değişik yükseklikte algılanabilmektedir. Dolayısıyla; ses yüksekliği, sesin frekansı ve oluşturduğu ses basıncı tarafından belirlenmektedir. Değişik frekanslarda aynı yükseklikte duyulan iki sesin ses basınçları arasındaki ilişkinin saptanması için, kaçınılmaz olarak kişisel yargıya başvurulmuştur. Ölçüt olarak çok sayıda kişinin tepkileri alınmış ve istatistiksel sonuçlara dayanarak, ses yüksekliği ile ses basıncı ve frekansı arasında bir ilişki bulunmuştur. Aynı yükseklikte duyulan değişik frekanslardaki saf tonların ses basıncı düzeylerinin frekansla değişimleri çizilerek eşyükseklik eğrileri elde edilmiştir.

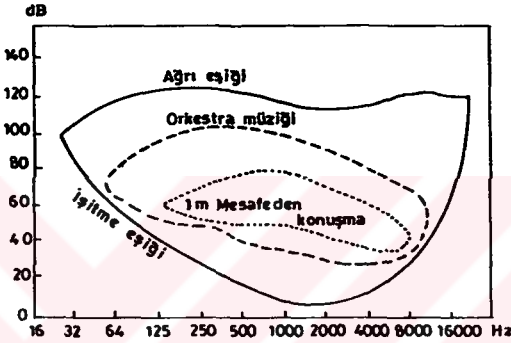
Herhangi bir eşyükseklik eğrisinin üzerindeki her nokta aynı yükseklikteki sesleri göstermekte ve eğrinin 1 000 Hz’i kestiği noktadaki ses basıncı düzeyinin sayısal değerine o yükseklikteki ses yükseklik düzeyi denilmektedir. Birimi “phon” (fon)’dur. Fon ölçüsü aynı şiddette aynı basıncı oluşturan fakat frekansları değişik seslerin, eş şiddetle algılanmaması olgusuna dayanmaktadır. Fon değerleri teknik bir aletle ölçülemez. Fon, gürültünün öznel şiddetini ölçebilmek için kullanılan boyutsuz bir ölçü birimidir. Bu değerler eğitilmiş gözlemcilerin takdir ettikleri öznel ses şiddeti değerleridir. Örneğin, 1 000 Hz’de 40 dB ses basıncı düzeyine sahip bir arı sesin yükseklik düzeyi 40 fon olup, kulağa bu yükseklikte gelen tüm seslere, hangi frekansta olurlarsa olsunlar, 40 fon yükseklik düzeyine sahip denilmektedir. Ses yüksekliği tamamen öznel bir kavram olduğu için, uygulamada standartlaşma sağlamak amacıyla “ortalama insana” göre elde edilen eşyükseklik eğrileri kullanılmaktadır. Şekil 1.5 eşyükseklik eğrilerini göstermektedir.



Şekil 1.5. Arı sesler için eşyükseklik eğrileri (Özgüven 1986).

Şekil 1.5'den de görüleceği gibi; belli bir ses yüksekliği için gereken ses basıncı, 4 kHz dolaylarında en düşük değerini alırken, frekans küçüldükçe yükselmektedir. Bu da, frekansın 4 kHz dolaylarında olması halinde etki en büyük olmaktadır. Genel bir kural olarak eğer frekans 1 000 Hz'den büyük ise, gürültünün şiddeti 85 dB, buna karşılık frekans 1 000 Hz'den küçük ise 95 dB değerini aşmamalıdır (Dinçer 1977, Özgüven 1986).

Şekil 1.5'in incelenmesi, bir arı sesin frekansının yükselmesi sonucu, sesin belli bir frekansta aniden duyulabilirliğini yitirdiğini göstermektedir. Şekilde kesikli olarak gösterilen eğri, işitme eşiğini belirtmektedir. Bu eğrinin altında kalan noktalar, ortalama bir insan kulağı tarafından duyulamayacak titreşimleri göstermektedir. İşitme sınırları ise Şekil 1.6'da görülmektedir. Kapalı eğri içinde kalan noktalara karşı gelen sesler, insan kulağı tarafından duyulabilen seslerdir. Eğri dışında kalan noktalar ise duyulamayan titreşimlere aittir.



Şekil 1.6. İşitme sınırları (Erkan 1988).

Ses yüksekliği düzeyi, tanımından da anlaşılacağı gibi logaritmik olarak ölçülmektedir. Bu nedenle; yükseklik düzeyi, iki ayrı sesin yüksekliğini tam olarak kıyaslamaya, birinin diğerinden ne kadar daha yüksek olduğunu belirtmeye elverişli değildir. Örneğin, yükseklik düzeyi 60 fon olan bir ses, yükseklik düzeyi 30 fon olan bir sese göre ne kadar yüksektir? Yine birçok kişinin, kişisel tepkisini ölçerek elde edilen sonuçlar, yaklaşık olarak 10 fon'luk bir artışın ses yüksekliğini iki katına çıkardığını göstermektedir. Bu nedenle, ses yüksekliği iki katına çıkınca sesin yüksekliğini gösteren sayının da iki katına çıkacağı yeni bir ölçü bulunarak buna "sone" (son) adı verilmiştir. Ses yüksekliği birimi olan son, 1 000 Hz frekansındaki 40 dB ses basıncı düzeyine sahip arı bir sesin, ses yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, ses yüksekliği düzeyi 40 fon olan bir sesin yüksekliği 1 son'dur. Fon ile son arasındaki ilişki,

$$S = 2^{(L-40)/10}$$

eşitliği ile gösterilmektedir (Özgüven 1986). Burada,

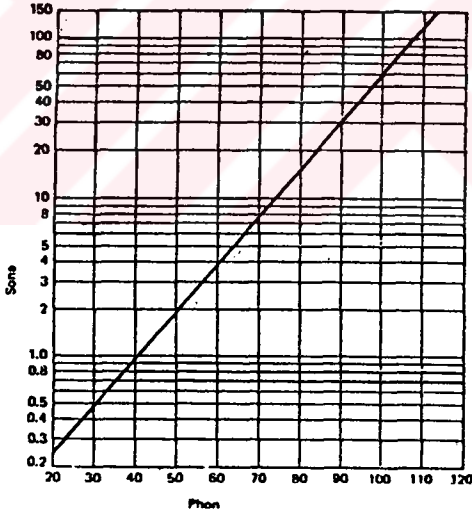
S : Ses yüksekliği (son),

L : Ses yüksekliği düzeyi (fon)'dur.

Ters çevrim için ise,

$$L = 33,3 \log S + 40$$

eşitliği kullanılmaktadır. Ses yüksekliği – ses yüksekliği düzeyi çevrimi için şekil 1.7’de verilen çevrim eğrisi de kullanılabilir.



Şekil 1.7. Ses yüksekliği (son) – ses yüksekliği düzeyi (phon) çevrim eğrisi (Özgüven 1986).

Şimdiye kadar arı seslerin, yani tek bir frekansa sahip seslerin ses yükseklikleri incelendi. Halbuki, yüksekliği ölçülmek istenen sesler, genelde arı sesler olmayıp birçok harmonikten oluşan karmaşık seslerdir. Bu durumda sesin yüksekliği şekil 1.5'deki eşyükseklik eğrilerinden yararlanarak bulunamamaktadır. Sesi oluşturan her harmoniği ayrı ayrı incelemek gerekir ki, bu da olanaksızdır. Bu durumda en uygun yöntem, sesi oktav bantlarına ayırıp her bantı ayrı ayrı ele almaktır. Karmaşık seslerin ses yüksekliklerinin ve ses yüksekliği düzeylerinin ölçülmesi için S. S. Stevens tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiş ve şekil 1.5'dekine benzer, eşyükseklik indeksi eğrileri çizilmiştir. Şekil 1.8'de gösterilen bu yeni eğrilerin daha önce tartışılan eşyükseklik eğrilerinden (şekil 1.5) farkı, tek bir frekans yerine bir frekans bandı kullanılıyor olmasıdır. Yani, düşey eksen tek bir frekansa sahip bir sesin ses basınç düzeyini değil de, birçok harmonikten oluşan bir sesin belli bir frekans bandında ölçülen bant basıncı düzeyini göstermektedir. Bant basıncı düzeyinin ölçülmesi, karmaşık bir sesin belli bir frekans bandında süzülerek, bu frekans bandındaki harmoniklerin oluşturacağı ses basıncı düzeyinin bulunmasıdır. Dolayısıyla, şekil 1.8'de belli bir frekanstan söz edildiğinden, yalnız o frekanstaki harmonik bir ses dalgası değil, o frekans merkez frekansı kabul eden bir frekans bandı içinde kalan tüm harmonikler kastedilmektedir. O frekans için okunan basınç düzeyi de yine söz konusu frekans bandı için ölçülen bant basıncı düzeyini göstermektedir. Bu nedenlerle, şekil 1.8'deki eğriler, şekil 1.5'de verilen eşyükseklik eğrilerinden farklıdır.

Stevens'in geliştirdiği, karmaşık bir sesin toplam ses yüksekliğini bulma yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

1. Oktav bant analiziyle her oktav bandındaki bant basıncı düzeyleri (BBD) ölçülmektedir (Genellikle 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000 ve 8 000 Hz bantlarını kullanmak yeterlidir).
2. Her merkez frekansı buna karşı gelen BBD kullanılarak her banttaki yükseklik indeksi şekil 1. 8'den bulunmaktadıdır.

3. Toplam ses yüksekliği aşağıdaki ampirik formülden hesaplanmaktadır.

$$S_t = S_m + K \left(\sum_{i=1}^n S_i - S_m \right)$$

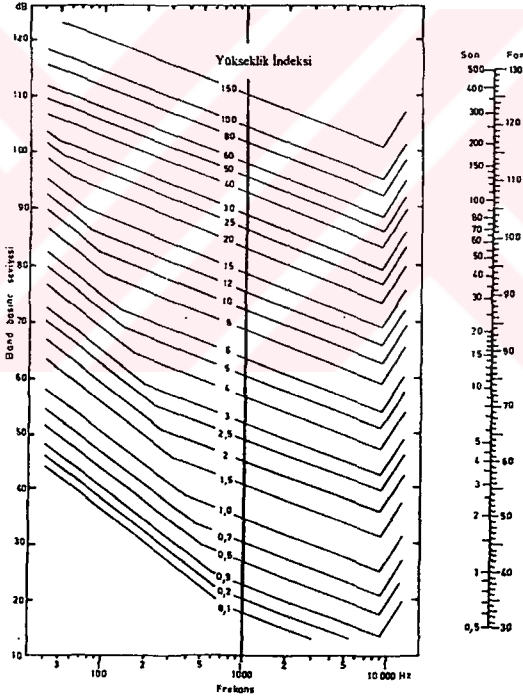
Burada;

S_t : Toplam ses yüksekliği (son),

S_m : En büyük yükseklik indeksi,

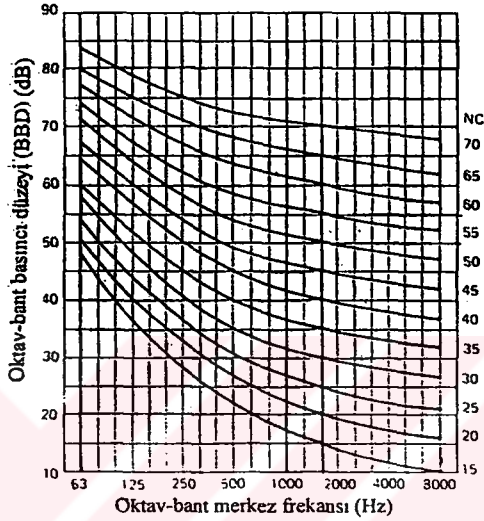
S_i : i 'ninci yükseklik indeksi,

$K = 0,3$ 'dür (Özgüven 1986).



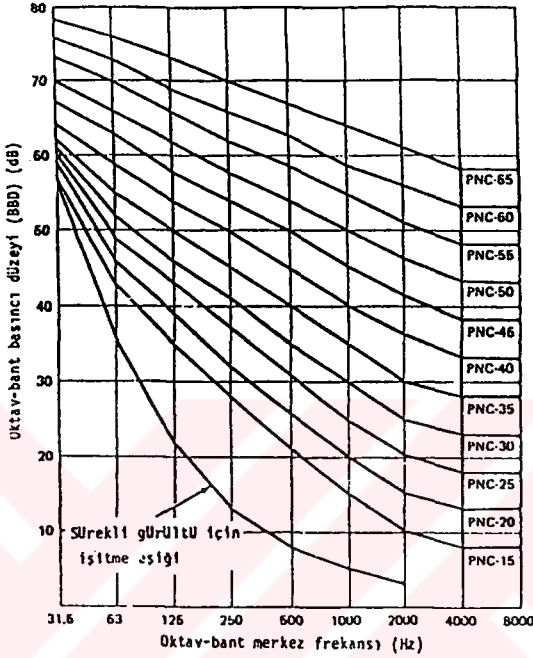
Şekil 1.8. EŞyükseklik indeksi eğrileri (Anonymous 1977).

Toplam ses yüksekliği düzeyi, toplam ses yüksekliği S_1 'den, fon ile son arasındaki eşitlikten ya da şekil 1.7'de verilen çevrim eğrisinden bulunabilmektedir.



Şekil 1.9. Gürültü ölçütü (NC) eğrileri (Turner ve Pretlove 1991).

Kapalı yerlerdeki arka plan (fon) gürültüsünün düzeyini saptamanın ve bilinen sınır değerlerle kıyaslanmanın bir yolu, gürültü ölçütü (NC) eğrilerini kullanmaktır. İlk olarak 1957 yılında çizilen bu eğriler kapalı yerlerdeki gürültüyü belirtmek için kullanılmaktadırlar. Şekil 1.9'da gösterilen NC eğrilerinin değişik kullanım şekilleri vardır. Burada, bunlardan en basit ve en yaygın olarak kullanılanı üzerinde durulacaktır. Her eğri, verilen belli bir NC değeri için ulaşılabilecek en yüksek oktav bant basıncı düzeyini göstermektedir. En basit kullanımda, incelenen gürültünün ölçülen oktav bant basıncı düzeyleri NC eğrilerinin üzerine işaretlenmekte; en büyük NC değerine yakın nokta gürültünün NC değerini belirlemektedir.

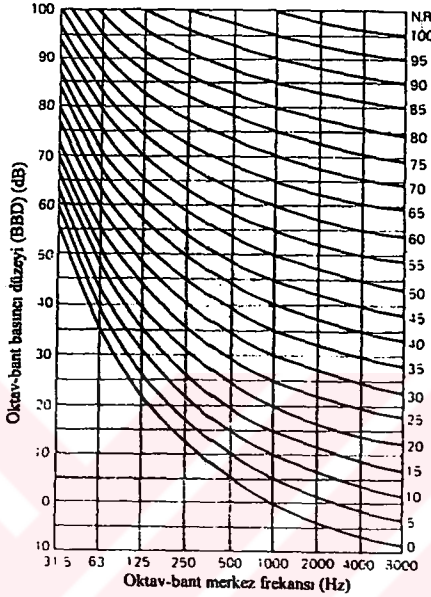


Şekil 1.10. Yeğlenen gürültü ölçütü (PNC) eğrileri (Özgülven 1986).

1971 yılında, NC eğrileri gözden geçirilerek yeniden çizilmişlerdir. Yeni eğrilere yeğlenen gürültü ölçütü (PNC) eğrileri adı verilmektedir. Şekil 1.10, PNC eğrilerini göstermektedir. Ayrıca, NR eğrileri adı verilen gürültü sınıflandırma eğrileri de kullanılmaktadır. NR eğrilerinin kullanımı, diğer eğrilerin kullanımı gibidir. Şekil 1.11'de verilen NR eğrilerinin, NC ve PNC eğrileriyle kıyaslanması, arada çok önemli bir fark olmadığını göstermektedir.

'Gürültü yüksekliğinin saptanması için Stevens'in fon ile ölçtüğü ses yüksekliği düzeyi ile NR, NC ya da PNC sayıları arasında tam bir bağıntı bulmak olanaksızdır. Bunun nedeni, her iki yöntemdeki yaklaşımların farklı olmalarıdır. Ayrıca gürültü yüksekliğine

ilişkin ölçümler kişisel yargıya dayanmaktadır. Bu da, NC eğrilerinin zamanla değişmesinin ve NC ile NR eğrileri arasındaki farklılığın önemli nedenlerinden biridir.



Şekil 1.11. Gürültü sınıflandırma (NR) eğrileri (Turner ve Pretlove 1991).

Genelde gürültü ölçütü eğrileri adı verilebilecek NC, PNC ve NR eğrilerinin kullanılmasının en büyük yararı, çeşitli kapalı yerler için izin verilen gürültü üst sınır değerlerinin tek bir sayıyla belirlenebilmesidir. Çizelge 1.6, bazı kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen NC değerlerini göstermektedir.

Ses düzeyi, ses basıncı düzeyinin belli bir eğriye göre ağırlıklı olarak bulunmuş şeklidir. Karmaşık bir sesin ses yüksekliğini belirlemekteki amaç, kulağın frekansa ve ses

basıncı düzeyine olan duyarlılığını göz önünde bulundurarak, birçok harmonikten oluşan bir karmaşık sesi hangi yükseklikte algılayacağını belirtebilmesidir.

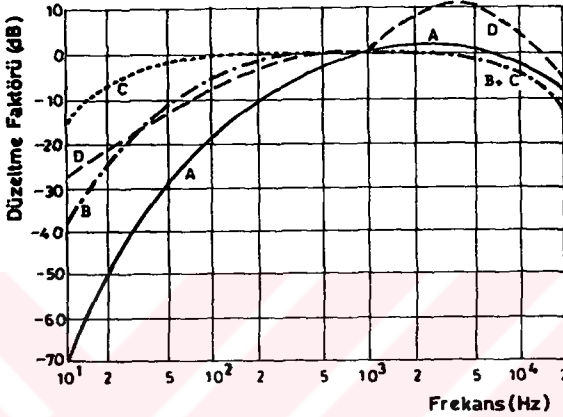
Çizelge 1.6. Çeşitli kapalı yerlerdeki arka plan gürültüsü için önerilen NC değerleri (Özgüven 1986).

Yer	NC Değeri
Konser salonları ve kayıt stüdyoları	15 – 20
Yatak odaları	25 – 35
Ofis ve sınıflar	30 – 35
Oturma odaları	35 – 45
Dükkanlar	35 – 50
Laboratuvarlar	40 – 45
Bilgisayar odaları, tuvalet ve banyolar	45 – 55
Üretim yapılan bölgeler, ustabaşı odası vb	45 – 60

Eğer kulak her frekanstaki sese aynı derecede duyarlı olsaydı, şekil 1.5'deki eğriler düz yatay çizgiler olurdu ve ses basıncı düzeyi aynı zamanda sesin yüksekliğini belirlerdi. Ne var ki, kulağın her frekansa olan duyarlılığı farklıdır. Örneğin, düşük frekanstaki bir sesin 3 kHz frekanstaki bir sesle aynı yükseklikte duyulması için düşük frekanslı sesin ses basıncı düzeyinin daha yüksek olması gerekir. Kulağın bu özelliğini göz önünde bulundurarak, karmaşık bir sesin yüksekliğini tek bir sayıyla ölçmenin pek kolay olmadığı sonucuna varılmaktadır. Karmaşık bir sesin yüksekliğini tek bir sayıyla göstermenin en basit yöntemi, her frekans bandındaki ses basıncı düzeyini belli bir ağırlıkta alıp, toplam ses basıncı düzeyini bulmaktır.

Ses düzeyi analizinde temel ilke, kulağın duyarlılığı ile orantılı ağırlıklar kullanmaktır. Bu amaçla dört ayrı tip ağırlık eğrisi geliştirilmiştir. Bunlardan A, B ve C adı verilen ilk üç tip, önceleri, sırasıyla düşük, orta ve yüksek ses düzeyleri için kullanılmışsa da, şu anda A tipi her yükseklik düzeyi için, işitme bozulması ve sesin oluşturduğu rahatsızlıklar açısından insanların gürültüye gösterdikleri tepkiyi ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. D ise hava araçlarındaki gürültü ölçümleri için düzenlenmiştir. Genellikle A ağırlık eğrisinin tercih edilmesinin nedeni, bu eğrinin kulak duyarlık eğrileriyle doğrudan olan ilişkisidir. Şekil 1.12; A, B, C ve D ağırlık eğrilerini

göstermektedir. Bu eğrileri kullanarak yapılan ölçümlere ses düzeyi ölçümü denilmektedir. Ağırlıklıdırımayı kendi içinde yapan, ölçüm cihazlarına ses düzeyi ölçer denilmektedir. Ses düzeyinin birimi, kullanılan ağırlık eğrisine göre dB(A), dB(B), dB(C) ya da dB(D) ile gösterilmektedir.



Şekil 1.12. A, B, C ve D ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri (Anonymous 1972).

Karmaşık bir sesin ses yüksekliğinin tek bir sayı ile belirlenebilmesi, ses düzeyi ölçümünün en önemli avantajıdır. Ses düzeyi, kulağın duyarlılığının frekansla değişimini göz önüne alarak bulunmuş bir değer olduğundan, gürültü denetimi için sınır değerlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin, çizelge 1.7 bir fabrikanın değişik bölgelerinde ses düzeyinin en fazla ne kadar olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 1.6'ya benzer şekilde hazırlanan bu çizelge, kullanılan sınır değerlerini vermektedir. Standartlarla belirtilen diğer koşullar sağlandığı sürece, bu çizelgede verilen sayıların üzerine çıkılabilir. Ses düzeyinin bu kullanımına karşılık, tek bir sayıyla bir sesin frekans dağılımını ve hangi frekanslardaki harmoniklerin daha baskın

olduğunu belirtebilmenin olanaksızlığından dolayı, gürültü kontrolü yöntemlerinin saptanması ve uygulanması aşamalarında “ses düzeyi” yeterli bilgiyi sağlayamamaktadır.

Çizelge 1.7. Bir fabrikanın değişik bölgelerindeki ses düzeyi sınırları (Özgüven 1986).

Yer	Ses Düzeyi Sınırı (dBA)
Toplantı ve konferans odası	35
Mühendislerin çalışma odası	40
Laboratuvar ve kalite kontrol bölgeleri	50
Soyunma odaları, tuvalet, banyo	55
Tamirhane	60
Montaj bölgeleri	75
Üretim alanları	80
Sürekli operatör istenmeyen makinaların bulunduğu bölgeler	90

Özetlenecek olursa, ses yüksekliğini belirtmek için başlıca üç yöntem kullanılmaktadır. Basitten, karmaşığa göre bunlar:

1. Ağırlık eğrilerinin kullanılmasıyla ses düzeyinin ölçülmesi: Genellikle ses düzeyi ölçer kullanarak, ses düzeyi doğrudan dB(A) (ya da dB(B), vb) cinsinden ölçülmektedir. Gürültünün frekans dağılımı hakkında hiçbir bilgi sağlanamamaktadır.
2. Gürültünün oktav bant analizini ve gürültü ölçütü eğrilerini kullanarak, gürültüyü NC, NR ya da PNC değeri olarak sınıflandırmak: Bu yöntemi kullanmak için her frekans bandında ölçüm yapmak gerekmektedir. Fakat gürültü sınıflandırma değeri (NC, NR ya da PNC değeri) en yüksek değerli eğriye yaklaşan ölçüm değerine göre belirlenmektedir. Diğer ölçüm değerlerinin hiçbir etkisi olmamaktadır. (Diğer ölçüm değerlerini de göz önünde bulunduran NC, NR ve PNC eğrilerini kullanma yöntemleri de bulunmakla birlikte, bunlar fazla yaygın değildir.)

3. Stevens'ın geliştirdiği toplama yöntemini ve yükseklik indeksi eğrilerinin kullanarak, toplam ses yüksekliğinin (son cinsinden) veya toplam ses yüksekliği düzeyinin (fon cinsinden) bulunması: Bu yöntemi kullanmak için de yine her frekans bandında lme yapmak gerekmektedir. Bu ölçümlerden yararlanarak, en yüksek gürültüyü oluşturan banttaki ölçüm değerine ağırlık veren, bu arada diğer bantların da katkısını belli oranlarda göz önünde bulunduran toplamayla, toplam ses yüksekliği değeri bulunmaktadır.

Yukarıda özetlenen yöntemlerden ilki, basitliği nedeniyle birçok uygulamada kullanılmaktadır. Söz gelimi, egzoz borusunda bozukluk olan bir aracın çıkardığı sesin limitlerin üzerinde olup olmadığının saptanması için bir polis memuru kolayca bir ses düzeyi leri kullanabilmekte ve tek bir ölçmeyle gürültünün düzeyini saptayabilmektedir. Buna karşılık görevi gürültü kontrolü olan bir mühendise, gürültünün dB(A) cinsinden yüksekliği çok sınırlı bir bilgi sağlamaktadır. Gürültü kontrolünde frekans dağılımının önemi çok fazla olduğundan gürültü yüksekliğinin NC vb değerlerle ya da son cinsinden bilinmesinin de fazla bir yararı olmamaktadır. Fakat bir gürültünün yüksekliğini son olarak ya da NC vb değer olarak belirtebilmek için oktav bant analizi yapılması zorunlu olduğundan, gürültü kontrolü için yeterli bilgi sağlanmış olmaktadır.

Ses yüksekliğini belirtmekte kullanılan üç ayrı ifade biçiminin (toplam ses yüksekliği düzeyi, sınıflandırma değerı, ses düzeyi) birbirlerine çevrilmesi olanaksızdır. Çünkü, her yöntem farklı bir temele dayanmaktadır. Bununla birlikte aşağıdaki yaklaşık bağıntılar birçok durumda kullanılabilir:

$$\text{NR değerı} = \text{Ses düzeyi (dBA)} - 5$$

$$\text{NC değerı} = [\text{Ses düzeyi (dBA)} - 6] \pm 2$$

Ses yüksekliği düzeyi (fon) = 1,05 x Ses düzeyi (dBA) + 10

ya da

Ses yüksekliği düzeyi (fon) = [Ses düzeyi (dBA) + 12] ± 2

1.3. Gürültü Kaynakları

Gürültü kaynakları değişik şekillerde gruplandırılabilir. Seslerin doğuş biçimlerine göre havada veya katı ortamlarda doğan gürültüler, akustik yönden noktasal, çizgisel veya düzlemsel kaynaklardan yayılabilmektedirler. Akustik kirlilik oluşturan çevre gürültüleri; kaynak ve alıcıların bir çevredeki konumlarına ve yayılma yollarına bağlı olarak iki grupta incelenebilir:

- a) Yapı içi gürültüler, yapıların içinde yer alan her türlü mekanik ve elektronik sistemler ile yaşam etkinliklerinden doğan gürültülerdir ki, doğrudan veya dolaylı olarak gürültüye duyarlı diğer mekanlara iletilmektedirler. Örnek olarak, konuşma sesleri, ev araçlarının gürültüleri; müzik cihazlarının yüksek sesleri, adım sesleri, darbeler, büro gürültüleri ve çeşitli makina ve donatımların (asansör, sıhhi tesisat, soğutma sistemleri, havalandırma ve iklimlendirme tesisatı, çöp bacaları ve hidrofor gibi) gürültüleri verilebilir.
- b) Yapı dışı çevre gürültüleri, yapıların dışında yer alan kaynaklardan üretilen ve gerek yapı içindeki hacimleri gerekse yapı dışındaki açık alanları kullanan kişileri etkileyen gürültülerdir. Bunlar da şu şekilde gruplandırılabilir:
 1. Endüstri gürültüleri: Endüstriye ait araç, gereç ve makineler ile işyerlerindeki çeşitli faaliyetlerden doğan gürültüler,
 2. Ulaşım gürültüleri: Karayolu, demiryolu, havaalanı gürültüleri,

3. Yapım (şantiye) gürültüleri: Yol ve bina yapım işlerinin ve makinaların gürültüleri,
4. İnsan faaliyetlerinden çıkan gürültüler: Çocuk bahçeleri, spor alanları, atış alanları ve kişisel gürültüler; yüksek sesli konuşmalar gibi,
5. Ticari amaçlı gürültüler: Açık hava sinemaları, eğlence yerleri, yükseltilmiş reklam ve müzik yayınları, sesli satıcılar gibi.

Bu kaynaklardan özellikle kentlerde en yaygın olarak bulunan ve bir çok ülkede yapılan etkilenme analizleri sonucunda en rahatsız eden gürültü türü olarak belirlenen; ulaşım ve özellikle motorlu araç trafiğinden doğan gürültülerdir.

1.4. Gürültünün Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri

Gürültünün etkileri dört grupta incelenmektedir (Anonymous 1998):

1. Fiziksel etkiler (geçici veya sürekli işitme hasarları),
2. Fizyolojik etkiler (vücut aktivitesindeki değişiklikler; kan basıncı artışı, dolaşım bozuklukları, solunumda hızlanma, kalp atışındaki hızlanma, ani refleksler, uyku bozukluğu),
3. Psikolojik etkiler (davranış bozuklukları, öfkelenme, sıkılma, genel rahatsızlık duygusu),
4. Performans etkileri (iş veriminin düşmesi, konsantrasyon bozukluğu, hareketlerin engellenmesi)'dir.

Gürültünün işitme duyusunda oluşturduğu olumsuz etkiler ya ani etkiler şeklindedir ya da zamanla görülmektedir. Ani ve yüksek bir sesin kulak zarını parçalaması ani oluşan etkilerdendir. Bununla birlikte, ani zarar oluşturmayacak düzeydeki gürültüde uzun süre kalan kişilerde; sürekli işitme kayıpları görülebilmektedir. İşitme duyusu zedelenen bir kişide, işitme kaybı ya da işitme eşiğinin kayması adı verilen işitme duyusunda azalma görülebilmektedir. İşitme eşiğinin kayması geçici olabileceği gibi sürekli de olabilmektedir.

Eşik kaymasının sürekli ya da geçici olması ve eşik kaymasının derecesi; etkisi altında kalan gürültünün düzeyine, gürültünün frekans dağılımına, kişinin bu gürültünün etkisinde kaldığı süreye ve kişisel duyarlılığa bağlıdır. Gürültünün süresi terimi; kişinin hem sürekli olarak bir defada gürültünün etkisi altında kaldığı süreyi, hem de aralıklı olarak gürültünün etkisinde kaldığı toplam yılları kapsamaktadır. Yani, belli yükseklikteki bir sesin etkisinde belli bir süre kalmak işitme kaybına yol açabileceği gibi, belli bir süre zararlı olmayacak yükseklikteki sesin etkisinde, çeşitli aralarla yıllarca kalmak da işitme kaybına yol açabilmektedir.

Gürültünün frekans dağılımı da önem taşımaktadır. Belli yükseklikteki bir sesin yüksek frekanslardan oluşması durumunda neden olacağı işitme kaybı, aynı yükseklikteki sesin düşük frekanslardan oluşması durumunda neden olacağı işitme kaybindan daha fazla olmaktadır. Bu nedenle; aşağı yukarı her frekansı içeren yüksek düzeydeki gürültünün etkisinde kaldığı için işitme kaybına uğrayan bir kimsede, yüksek frekanslardaki eşik kayması daha fazladır. Bir frekans aralığındaki işitme kaybı, diğer frekanslardaki sesleri işitmeyi etkilememektedir (Özgüven 1986).

İşitme duyusuna olan olumsuz etkilerinin yanında gürültü, insanlara başka bakımlardan da zarar vermektedir. Bu olumsuz etkiler, fizyolojik ve psikolojik olarak iki grupta incelenebilmektedir (Özgüven 1986). Fizyolojik etkilerin başlıcaları; kas gerilmeleri, stres, kan basıncında artış, kalp atışlarının ve kan dolaşımının değişmesi, göz bebeğinin

büyümesi ve uykusuzluktur. Bunların çoğu kısa süren etkilerdir. Yalnız stres ve uykusuzluk, gürültünün uzun süreli fizyolojik etkilerindedir. Ayrıca migren, ülser, gastrit vb hastalıkların ortaya çıkmasında gürültünün de önemli etkisi olabileceği ileri sürülmektedir (Özgülven 1986). Ancak, gürültünün, bu hastalıkların baş göstermesinde doğrudan etkili olduğu henüz kanıtlanamamıştır. Bu sonuçların çoğu, gürültülü ortamda çalışan kişiler üzerinde yapılan gözlemlere dayanmaktadır.

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

Endüstride gürültü pek çok açıdan önemli bir sorun olmaktadır. Öncelikle gürültü ortalama iş gücünü ve çalışma verimliliğini azaltıcı etkilerde bulunabilmektedir.

Gürültüyü zararlı etkileri açısından dört aralıkta incelemek olanaklıdır (Işıl 1951, Dinçer 1977, Şimşek 1994):

1. 30 – 65 dB (A) Gürültü Aralığı: Bu düzeydeki gürültü sadece psikolojik yönden önem taşır. Rahatsızlık, öfke, kızgınlık, konsantrasyon ve uyku bozukluğuna yol açabilir,
2. 65 – 90 dB (A) Gürültü Aralığı: Psiko-fizyolojik etkiler oluşturur. Özellikle vejetatif sinir sisteminde etkili olmaktadır. Sindirim organlarında, kalpte, solunum ve dolaşım fonksiyonlarında aksamalar olabilir,
3. 90 – 120 dB (A) Gürültü Aralığı: Bu gürültünün etkisinde uzun süre kalan kişilerde geçici sağrlık görülür. Etkisi bazen günler sonra ortadan kalkar. Bu şartlarda uzun yıllar çalışmada sürekli sağrlık meydana gelebilir,

4. 120 dB (A) Üzeri Gürültü Aralığı: Etki süresine bağlı olarak, kalıcı sağırılık kendini göstermektedir. Ayrıca sinir hücrelerinde mekanik arızalarda görülmektedir.

1.5. Gürültü Önleme ve Azaltma Yöntemleri

Tekniğin ve mekanizasyonun gelişmesi, çalışanları giderek artan biçimde gürültünün sakıncalarıyla karşı karşıya bırakmaktadır. Gürültü, istenmeyen, 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 fazlalığından, cinsinden ya da değişkenliğinden kaynaklanabilmektedir. Endüstriyel gürültünün azaltılma nedeni, rahatsız etmesinin ötesinde sağlığa zararlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Gürültü yalnız işyerlerinde değil, son zamanlardaki yoğun kentleşme ve hızlı sanayileşme nedeniyle günlük yaşamımızda da sorun olmaktadır. Çağımızda, tüm insanların bir sorunu haline gelmiş olan gürültüye karşı önlem almak gerekmektedir. Bu amaçla, gürültü, doğru bir biçimde ölçülmeli, değerlendirilmeli ve gerekli önlemler vakit geçirilmeden alınmalıdır.

Bir işyerindeki gürültü, yüksek sesle konuşmaların işitilemediği bir düzeye erişmişse, koruyucu önlemleri gerektirecek bir gürültü düzeyinden söz edilmektedir. İlk yapılacak iş, ortam gürültüsünü ölçmektir. Ses düzeyi ölçerlerle yapılan işyeri gürültü değerlendirmeleri, belli tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Gürültü ölçümleri işyerinde çok sayıda noktada yapılmakta ve daha sonra belirlenen eş gürültü düzeyine sahip olan noktalar birleştirilmektedir. Yapılan ölçümlerin sonunda işyerinin bir gürültü haritası çıkarılmaktadır. 1/20 000 veya 1/50 000 ölçekli olabilen haritalar, bilgisayar yardımıyla kolaylıkla elde edilebilmektedir. Gürültü haritalarıyla işyerindeki yerleşim planı

üzerinde gürültünün dağılımı gösterilmekte, hangi bölgede uyarı levhası ve hangi bölgede kulak tıkacı kullanılması gerektiği belirtilmektedir (Anonymous 1998).

Gürültüye karşı alınabilecek önlemler şu şekilde özetlenebilmektedir (Özgüven 1986, Orhun 1982):

1. Gürültüyü Kaynağında Önlemek: Gürültü yapan makina ve sistemlerde susturucu kullanılması, gürültüye neden olan parçaların yenilenmesi, bakım ve yağlama hizmetlerinin devamlı ve düzenli yapılması, titreşen yüzeylerin, titreşim sönmüleyici malzemeyle kaplanması gibi önlemler gürültüyü kaynaktan kesebilmekte ya da düzeyini düşürebilmektedir. Gürültüyü kaynağında önlemek, özellikle mühendislik işlemlerini gerektirmektedir ve daha işlemin tasarım aşamasında ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.
2. Gürültünün Yayılmasını Önlemek: Gürültünün kaynağını ses yalıtıcı ve yutucu malzemelerden yapılmış bölmelerin içine yerleştirmek yararlı olmaktadır. Büro bölmelerinin çoğu 20 ile 25 dB arasında bir gürültü yalıtımı sağlamaktadır (Anonymous 1974). Hafif madenden yapılmış bir bölme, gürültüyü 15 desibele kadar düşürebilmektedir. Çimento veya tuğladan yapılmış kalın duvarlı bir bölme ise gürültüyü yaklaşık 35 desibel azaltabilmektedir (İncir 1986).

Gürültü geçirgenliğini azaltmak için, duvarlar ses emici malzemeyle kaplanmalıdır. Bu arada, bina içinde ses emici ara bölmeler, duvarlara yerleştirilecek delikli karo kaplamalar, tavandan sarkıtılmış sesleri emici levhaların kullanılması olumlu etkiler sağlayabilmektedir.

Makinayla taban arasına amortisör yerleştirmek, makinaların yerleştiği tabanı titreşimi azaltan esnek bir malzemeyle, örneğin kauçukla kaplamak; titreşimli

makinaların oturduğu beton zemini yer yer kurşun veya asfalt plakalara bölmek gürültüyü önemli ölçüde azaltmaktadır. Gürültülü makinaları olanaklar ölçüsünde bir araya getirip, diğer bölmelerle bağlantısı olmayan bağımsız bölmelere yerleştirmeli ve sessiz çalışma gerektiren yerlerden uzaklaştırılmalıdır. Gürültünün sınır değerlerde olduğu hallerde (90 dB üstünde) genellikle bina içi önlemler yeterli olabilmektedir (Erkan 1988).

3. Gürültünün Kişiyeye Zarar Vermesini Önlemek: Bütün önlemlere rağmen, işyerindeki gürültü düzeyinin 80 dB dolaylarına yükseldiği durumlarda, çalışanlara kulak koruyucuları kullanarak gürültüden korunmaları sağlanmalıdır (İncir 1986). İyi bir kulak koruyucusu gürültüyü 25 – 40 dB kadar indirebilmektedir (Şimşek 1994).

Tüm bu önlemler alınmıyor veya alındığı halde gürültü yeterince azaltılmıyorsa, çalışma süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalı, yeterli dinlenme aralıkları verilmeli ve işçilerin değişmeli çalıştırılarak gürültüden daha az etkilenmeleri sağlanmalıdır.

1.6. Gürültü Standartları

Gürültünün, insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle kontrol altına alınması gereği insancıl bir yaklaşımdır. Bu nedenle, işyerlerindeki gürültü düzeyini tehlike sınırlarının altında tutabilmek için birçok ülkede yasal düzenlemelere gidilmiştir. Gürültüyü denetim altına almak ve sanayide gürültünün olumsuz etkilerinden korunabilmek için, gelişmiş ülkelerin pek çoğunda resmi örgütler kurulmuş; gürültünün koşullara bağlı olarak zararlı olacağı sınır değerler saptanmıştır. İşverenleri bu sınır değerlere bağlı kalmaya zorlayıcı yasa, tüzük ve yönetmelik maddeleri konulmuş, standartlar geliştirilmiştir (Özguven1986).

Ülkemizde akustik ve gürültü konusundaki çalışmalar, teorik ve kaçınılmaz biçimde uygulamalı olarak öncelikle üniversitelerde başlamıştır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na bağlı İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Merkezi (ISGÜM) 1970 yılından bu yana işyerlerinde gürültü düzeyi saptamakta, bunları değerlendirmekte, gürültülü işlerde çalışanların işitme kaybı testlerini yapmakta ve gerekli görülen durumlarda işçilerin kullanması gereken kişisel koruyucuların seçiminde yardımcı olmaktadır. İşçilerin kişisel koruyucular kullanmasını sağlamak amacıyla belli bir program çerçevesinde işbaşında eğitim çalışmaları da yapmaktadır. Bununla birlikte bu kuruluş, işyerlerinde gürültü düzeyinin azaltılması için gerekli tüm teknik hizmetleri verecek örgütlenmeden yoksundur. Daha sonra Türk Standartları Enstitüsü'nde de bazı laboratuvarlar kurulmuş ve çeşitli akustik ölçümler yapılmaya başlanmıştır. TÜBİTAK da gürültü ölçümünde kullanılan cihazların kalibrasyonlarının yapılabilmesi için gerekli olan birincil standartları oluşturmak, ülke içinde izlenebilirlik zincirini kurmak ve ölçüm birliğini sağlamak için Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) bünyesinde Akustik ve Titreşim Laboratuvarını kurmuştur. Ayrıca bu laboratuvar, endüstrinin ihtiyacının karşılanması amacıyla kalibrasyon ve ölçüm hizmeti verilmekte, taşıt iç gürültüsü ve titreşimle ilgili test ve ölçümler yapılabilmektedir. Gürültü denetimiyle ilgilenen öteki resmi kuruluşlar olarak Sağlık Bakanlığı, Devlet Planlama Teşkilatı sayılabilmektedir. Bu resmi kuruluşların gürültü konusundaki çalışmaları hem sınırlı, hem de işyerlerindeki gürültüden çok çevre gürültüsüyle ilgilidir. Ayrıca gönüllü bir kuruluş olan Çevre Vakfı gürültü sorunuyla yakından ilgilenmektedir.

Tarım traktörleri denemelerinde gürültü ölçümü, standart deney metodunda yer almaktadır. Bu amaçla yapılan ölçümlerde, motorun farklı yüklenmelerinde, sürücü kulak seviyesinde ve ayrıca traktörün hareket ekseninden 7,5 m uzaklıkta seyirci ses kayıtları yapılmaktadır (Leviticus ve Sampson 1996, Meyer vd 1993).

Traktör dışındaki tarım makinelerindeki gürültü düzeyini belirlemeye dönük çalışmalar ise son yıllarda artış göstermektedir. Bunlar arasında sağım makinelerinde gürültü düzeyi ve optimum susturucu tasarımının belirlenmesi (Alibaş ve Tunçkal 1997) ve

motorlu çapalarda gürültü düzeyinin ölçümü için yapılan çalışmalar (Ragni vd 1999) sayılabilmektedir. Diğer yandan biyolojik malzemelerin akustik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla gürültü ölçümünün yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Mexas ve Brusewitz 1987, Chen vd 1992, Chen ve De Baerdemaeker 1993, Massie vd 1993, Sugiyama vd. 1994, Galili vd 1998).

Günümüzde bazı özel sektör kuruluşları tarafından da bu konuda çalışmalar yapmak üzere araştırma laboratuvarları kurulduğu görülmektedir. Konu çeşitli bilim dallarıyla ilişkili olduğundan şehircilik, mimarlık, makina mühendisliği, çevre mühendisliği, elektrik ve elektronik mühendisliği, uçak ve uzay mühendisliği ve fizik mühendisliği gibi çeşitli alanlarda, genel olarak akustik, özel olarak gürültü ve titreşim konuları doğrudan ve dolaylı olarak yer almaktadır. Kulak sağlığıyla ilgili araştırmaların ve ölçüm çalışmalarının ise Tıp Fakültelerinin çeşitli bölümlerinde sürdürüldüğü görülmektedir. Ancak bilimsel çalışmaların yeterli düzeyde ve miktarda olmadığı belirtilebilmektedir.

İşyerlerinde etkide kalınabilecek gürültü düzeyi ve işitme kaybının tarifi, ülkeden ülkeye farklılık göstermekle beraber bu konuda ILO (International Labour Office) ve WHO (World Health Organization)'nun önerileri; uygulamada genel bir temel oluşturmaktadır. Bazı ülkelerdeki ve Türkiye'deki standartlar çizelge 1.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.8'da yer alan İşçi Sağlığı ve İş 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 desibel olabilir. Ancak bu durumda işçilere başlık, kulaklık veya kulak tıkaçları gibi uygun koruyucu araç ve gereçler verilecektir." denilmektedir (Orhun 1982).

Çizelge 1.8. Gürültü düzeyi ve işitme kaybına ilişkin bazı standartlar
(Orhun 1982, Şimşek 1994).

Standartın adı	İzin verilen Etkilenme Düzeyi dB (A)
BOHS (British Occupational Hygiene Society)	90 Haftada 40, günde 8 saat
B S (The British Standart BS: 5330)	90 40 Yıllık etkilenme
NIOSH (The National, Institute for Occupational Safety and Health, USA)	85 Günde 8 saat
OSHA (The Occupational Safety and Health Administration of US Department of Labour, USA)	90 Günde 8 saat
ACOH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist)	85 Günde 8 saat
ISO (International Standardization Organization)	90 Günde 8 saat
TSE (Türk Standartları Enstitüsü, TS 2607)	90 Haftada 40 saatlik etkilenme
İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü	80 Günde 8 saat
SSK Sağlık İşlemleri Tüzüğü	85

Çizelge 1.8'da belirtildiği gibi her ülkenin standartları hem kendi içinde hem de ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Bu yapı Türkiye için de geçerlidir. Bundan dolayı farklı yorumlar yapılabilmektedir. İzin verilen gürültü düzeyi, gürültü düzeyinin yüksekliğine ve gürültü etkisi altında kalma süresine bağlıdır. Çoğu ülkenin standartlarınınca izin verilen gürültü düzeyi, 8 saatlik bir iş günü boyunca genellikle 85 – 90 dB' dir (Koç 1997).

85 dB(A)'nın üzerindeki seslerin geçici veya kalıcı işitme yeteneği kayıpları gibi etkileri vardır. Bu nedenle Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), 85 dB(A)'yı uyarı sınırı 90 dB(A)'lık gürültü düzeyini tehlike sınırı kabul etmiştir (Sabancı 1988).

Bir gürültü standardında belirtilen günde 8 saat etkide kalılabilecek gürültü sınırı, 8 saatlik bir dönem içinde işçinin maruz kalabileceği toplam gürültü miktarıdır. Etkilenme

durumu sürekli ya da kesintili (sürekli olmayıp düzenli aralıklarla tekrarlanan) gürültü şeklinde olabilir (Koç 1997). Gürültü düzeyinin, etki altında kalma süresini kısaltmak koşuluyla, 95 dB(A)'nın üzerine çıkabileceği ve bunun sağlığa zararlı olmayacağı gösterilmiştir (Özgül 1986). Bu değerler de farklı standartlara göre değişmektedir. Çizelge 1.9'da 4 farklı standarda göre bu değerler karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Orhun 1982, Şimşek 1994).

Çizelge 1.9. Yüksek gürültü düzeylerinde kalabilme süreleri (Orhun 1982, Şimşek 1994).

İzin verilen düzey dB(A)	BOHS Günlük kalabilme süresi (saat)	ISO Haftalık kalabilme süresi (saat)	OSHA Günlük kalabilme süresi (saat)	TSE Günlük kalabilme süresi (saat)
88,0	12			
89,0	11			
89,5	9,10			
90,0	8	40	8	8
90,5	7	35		
91,0	6	30		
92,0	5	25	6	5
93,0	4	20		4
94,0	3	15		
95,0	2		4	
96,0	2	10		2
97,0			3	
99,0	1	5		1
100,0			2	
102,0	0,5	150 dakika	1,5	30 dakika
105,0		75 dakika	1	
107,0				10 dakika
108,0		40 dakika		
110,0			0,5	5 dakika
111,0		20 dakika		
114,0		10 dakika		
115,0			0,25	1,5 dakika

Bir günlük çalışma süresince etkisinde kalınan gürültü düzeyinde değişimler olduğu durumlarda günlük gürültü dozunun bulunmasında, bazı ülkelerde 8 saatlik çalışma

günü (ya da 40 saatlik bir çalışma haftası) için hesaplanacak eşdeğer sürekli ses düzeyi kullanılmaktadır.

Etkisinde kalınan gürültünün, belli sürelerde belli sabit düzeyleri varsa, söz konusu gürültü için eşdeğer sürekli ses düzeyi,

$$L_{eq} = 10 \log \left(\sum t_i 10^{L_i/10} \right)$$

eşitliğinden bulunabilmektedir (Özgüven 1986). Burada,

L_i : i'ninci zaman aralığında ölçülen ses düzeyi (dBA),

t_i : i'ninci zaman aralığının söz konusu toplam zaman aralığına oranıdır.

1.7. Gürültü Ölçüm Teknikleri

Gürültü kontrolünde gürültü ölçümleri önemli bir yer tutmaktadır. Gürültü ölçümlerinde amaç, gürültü kaynağını bulmak veya belli bir noktadaki gürültü düzeyini saptamaktan, gürültünün frekans dağılımını bulmaya ya da darbe gürültüsünü saptamaya kadar çok çeşitli olabilmektedir. En çok yapılan ölçüm, istenilen bir yerdeki gürültü düzeyinin saptanmasıdır. Bu tür ölçümler genellikle, çevre gürültüsünün standartlara uygunluğunu ya da bir işyerindeki gürültü düzeyinin istenen sınırlar içinde olup olmadığını kontrol etmek için yapılmaktadır (Özgüven 1986).

Bir çevrede yayılan ses enerjisinin niceliği konusunda yargıya varabilmek, öncelikle kaynağa ilişkin referans gürültü düzeylerinin belirlenmesine bağlı olmakla birlikte; sesin kaynaktan kullanıcıya ulaştığı ortamın fiziksel özelliklerinin de, ses dağılımına etkileri yönünden incelenmesini gerektirmektedir. Çevre faktörleri o kadar çok ve

çeşitlidir ki, bir modelde tümünün birden etkisini düşünmek çoğu kez imkansızdır. Ölçüm üzerinde etkili olabilen bu faktörlerden çevresel etkiler:

1. Rüzgar: Mikrofonun etrafındaki rüzgar birçok konu dışı ses oluşumuna neden olabilmektedir. Bu tıpkı kulakta oluşan rüzgar uğultusu gibi bir ses çıkarmaktadır. Bu sesi azaltmak için mikrofonun etrafına özel bir sünger kaplamak faydalı olabilmektedir. Bu aynı zamanda mikrofonun tozdan, kirden ve mekanik darbelerden korunmasına yardımcı olmaktadır.
2. Nem: % 90'a kadar nem oranı, ses düzeyi ölçer ve mikrofon üzerinde pek önemsenir bir etki yapmamaktadır. Ancak cihazı toz, kar ve benzeri maddelerden korumak gerekmektedir. Bir rüzgar koruyucu her zaman mikrofon üzerine yerleştirilmelidir. Rüzgar koruyucu çok ıslansa bile, ölçümler hala doğruluğunu korumaktadır. Ancak, uzun süreli kullanımda nemli ortamlarda özellikle dış mekan mikrofonları kullanılmalıdır.
3. Sıcaklık: Pek çok ticari tip ses düzeyi ölçerler -10 ila $+50$ °C arasındaki sıcaklık derecelerinde ölçüm yapabilmektedirler. Ancak ani sıcaklık değişimlerine karşı mikrofonu korumak gerekmektedir. Çünkü bu durum mikrofon üzerinde su buharı yoğunlaşmasına neden olabilmektedir.
4. Ortam Basıncı: Atmosfer basıncındaki \pm % 10'luk değişiklikler mikrofon hassasiyeti üzerinde \pm 0,2 dB'den daha az bir etkiye neden olmaktadır. Ancak, ani yükselmeler hassasiyeti bundan daha fazla etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek frekanslarda, enstrümanlar pistonfonla ayarlanıyorsa, atmosfer basıncı için bir kontrol şarttır.
5. Titreşim: Mikrofon ve ses düzeyi ölçer titreşime karşı hassas olmamakla beraber, onları yüksek dozda titreşimden ve şoktan uzak tutmak her zaman için faydalıdır. Cihazı sünger veya izole etmek için kullanılan bir madde ile kaplamak, yüksek titreşim koşullarında faydalı olmaktadır.

6. Manyetik Alan: Elektrostatik ve manyetik alanların ses düzeyi ölçer üzerindeki etkileri yüksek düzeyli olmamak koşuluyla pek fazla önemsenmemektedir.

Bunlardan başka; uzaklık, engeller (ses kırıcıları), ses yansıtıcı yüzeyler, zemin cinsi ve bitki örtüsü ile ağaç grupları ölçüm üzerinde etkili olabilecek parametreler arasında sayılabilmektedir. Ses dalgaları, yayılma sırasında bu faktörlerin etkileriyle yansıma, saçılma, kırılma gibi olaylara uğrayabilmekte ve ses düzeyleri kaynaktan uzaklığa bağlı olarak artmakta veya azalabilmektedir. Gürültü kontrolü işlemlerinde, bu faktörlerin ses azaltıcı etkilerinden yararlanılarak yeni tasarımlara gidilebilmektedir.

Sesi ölçerken, ölçülen büyüklüğün niteliğini bozmamak için tedbir alınmalıdır. Sadece aletin gövdesi ve operatörün varlığı, verilen yönden gelen sesi bloke etmekle kalmamakta, aynı zamanda ölçümün yanlış çıkmasına neden olabilecek yansımalarla yol açabilmektedir. Yapılan deneyler, ölçümlerin insandan 1 metreden daha az bir mesafede yapıldığında, vücudun neden olduğu 400 Hz civarındaki frekans yansımalarının 6 dB'e kadar hataya neden olabileceğini göstermiştir.

Ses ölçerin gövdesinden yayılan yansımaları en aza indirmek için, genellikle konik şekil verilmektedir. Yine de daha kesin ölçüm için bazı aletlere uzatma çubuğu yerleştirilmesi yararlı olabilmektedir. Dış uzatma kabloları da mikrofonu uzaklaştırmayı sağlamaktadır. Aleti bir kol boyu uzakta tutmak da faydalı olabilmektedir.

Ses düzeyi ölçmeleri, ölçümlerin amaçlarına göre;

1. Çevre gürültüsü ölçmeleri,
2. İşitme korunumu ölçmeleri,
3. Ses yalıtımı ölçmeleri

olarak üç gruba ayrılabilir (Anonymous 1998).

Çevre gürültüsü ölçmeleri ses yayılımı açısından farklılık gösteren iki ayrı ölçekte ele alınmaktadır (Anonymous 1998). Bunlar,

- 1) Kaynağın ses üretimi ölçmeleri (Kaynak sesi ölçmeleri),
- 2) Kaynaktan ses yayılımı ölçmeleri (Çevre gürültüsü ölçmeleri)'dir.

Ses üretimi ölçmeleri, gürültü kaynağından üretilen ses enerjisinin, çevre faktörlerinin etkisini elimine edebilecek belirli bir uzaklıktaki değerinin belirlenmesine yöneliktir. Bu tip ölçmeler, kaynağın yapısına ve işlem moduna bağlı olan ses düzeylerinin, gürültü yönetmeliklerinde verilen limitlere uygunluğunun kontrolü ve alınabilecek tedbirleri belirlemek için yapılmaktadır.

Ses yayılımına ilişkin ölçmeler ise; bir gözlemede bir veya birden çok kaynağın meydana getirdiği ses düzeyinin, çevresel faktörlerin değişimi de hesaba katılarak belirlenmesi ve bu değerlerin insan ve toplum sağlığı açısından konulmuş ölçütlerle karşılaştırılması amacıyla yapılmaktadır.

Genel olarak gürültü ölçümlerinde aşağıda belirtilen ilkeler uygulanmalıdır (Anonymous 1998):

1. Problemin doğru tanımı, ölçümlerin amacının belirlenmesi,
2. Uygun ölçüm sisteminin seçimi, kısa ve uzun süreli ölçüm sistemleri, anında değerlendirme veya yapılan kayıtların laboratuvarlarda değerlendirilmesi,
3. Uygun ölçme düzeninin kurulması, uluslararası standartlara uygun ölçüm araç ve gereçlerinin kullanılması,

4. Doğru kalibrasyonun yapılması, bir referans sinyaline göre mikrofon duyarlılığının kontrolü,
5. Ölçümlerin istenen doğruluk derecesiyle yapılması.

Gürültünün sahip olduğu akustik enerji ve ses basıncı ise iki yöntemle belirlenmektedir (Anonymous 1998):

- 1) Kuramsal Yöntemler: Analitik yöntemler, tasarım grafikleri ve bilgisayar simülasyonları,
- 2) Deneysel Yöntemler: Yerinde veya özel olarak kurulmuş test odalarında elektro-akustik araçlar yardımıyla yapılan ses ölçmeleridir.

Test odalarında yapılan ölçümlerde amaç, genellikle ses kaynağının ses yayma özelliklerinin bulunması ya da kaynağın ses gücü düzeyinin belirlenmesidir. Endüstriyel gürültü kontrolü için daha çok kaynağın bulunduğu ortamda ölçüm yapmak gerekmektedir.

En çok yapılan ölçüm, ses düzeyinin saptanmasıdır. Ses düzeyinin ölçümü için her banttaki ses basıncı düzeyini bulup, ağırlık eğrisini kullanarak, ağırlıklanmış toplam ses basıncı düzeyini hesaplamak yerine; bu amaç için geliştirilmiş ses düzeyi ölçerler kullanarak istenilen bir noktadaki ses düzeyi doğrudan ölçülebilmektedir.

Ses düzeyi ölçerlerin basit ve gelişmiş tipleri vardır. Basit tipleri, genel amaçlı olarak pratikte çok fazla kullanılırlar. Amaç, istenilen noktadaki ses düzeyini 1 dB ya da 0,5 dB hassasiyetle ölçmektir. Bu tip cihazların kullanımları basittir ve hızlı ölçüm için uygundur. Hassas türlerde ölçüm hassasiyeti 0,1 dB'dir. Gelişmiş tiplerin darbe tipi

gürültüleri ölçmekten, sesi çeşitli frekans bantlarında filtre etmeye kadar birçok değişik özellikleri olabilmektedir. Örneğin, preslerin veya şahmerdanların çıkardığı kısa süren darbe tipi gürültüler ancak gelişmiş tiplerle ölçülebilmektedir. Ayrıca eşdeğer sürekli gürültü düzeyini ve ses etkilenim düzeyini de doğrudan ölçebilen ses düzeyi ölçerler bulunmaktadır (Özğüven1986).


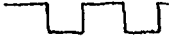


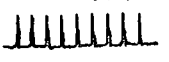

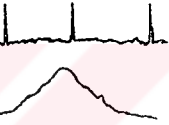
Ses düzeyi ölçer seçiminde önemli olan, amaca uygunluktur. “Endüstriyel tip” olarak da isimlendirilen basit türlerle hassas ölçüm yapmanın ya da darbe gürültüsü ölçmenin olanaksızlığı yanında; “hassas tip” adı verilen ve birçok değişik özelliği olan bir cihazın günlük kontrol ölçümlerinde kullanılmasının gereksizliği de vurgulanmaktadır. Ancak unutulmaması gereken, ses düzeyi ölçerlerin ölçümlerden önce kalibre edilmeleri gereğidir. Çok değişik çeşitleri olan bu cihazların hangi türlerinin, nerede ve nasıl kullanılacağı deneyim ve kimi zaman uzmanlık isteyen bir konudur. Genelde sorun, yalnız uygun cihazın seçimi değildir. Uygun mikrofonun nasıl seçileceğinin, mikrofonun cinsine göre gürültü kaynağına yöneltilme şeklinin ve özellikle gelişmiş cihazlarda bulunan ayarların ne şekilde kullanılacağıının (örneğin, ne tür gürültüde “hızlı” ayarının kullanılacağıının, ne zaman “yavaş” ya da “darbe” ayarlarının kullanılması gerektiğinin) ve benzeri noktaların iyi bilinmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, endüstriyel tip basit ses düzeyi ölçerlerle gürültü düzeyi ölçümlerinde; cihazı gürültü kaynağına yönlendirmek, ölçen kişiden olabildiğince uzakta tutmak, cihazın mikrofonu yakınında normalde orada olmayan sesi yansıtıcı ya da yutucu yüzeylerin bulunmamasına özen göstermek gibi birkaç kuralı uygulamak yeterli olabilmektedir. Güvenilir ve hassas ölçümler için aşağıdaki kuralları uygulamak gereklidir:

1. Her şeyden önce eldeki cihazın pillerinin yeterli güçte olup olmadığı kontrol edilmelidir,
2. Ölçümlerden önce cihaz kalibre edilmelidir,
3. Kullanılan cihazın tipi, numarası vb özellikleri bir yere not edilmelidir (özellikle değişik ölçüm cihazları bulunuyorsa),

4. Ölçüm yapılan ortamın atmosferik özellikleri saptanmalıdır (atmosfer basıncı, sıcaklık, nem oranı, dışarıda ölçüm yapılıyorsa rüzgar hızı ve yönü gibi),
5. Ölçümün yapıldığı yerin bir planının çıkarılması, ölçüm noktalarının ve çevredeki yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin plan üzerinde işaretlenmesi son derece yararlıdır. Yapılan ölçümlerin çevredeki yüzeylerden ne denli etkilenmiş olabileceğine karar verebilmek için böyle bir planın bulunması gereklidir,
6. Bir gürültü kaynağının gürültüsü ölçülecekse, önce söz konusu kaynak çalışmadan, ölçüm noktasındaki arka plan gürültüsünün ölçülmesi gerekir. Böylece, asıl ölçüm değerlerinin arka plan gürültüsünden ne denli etkilendiği belirlenebilir. Eğer arka plan gürültüsüyle asıl ölçüm değerleri arasında 10 dB ya da daha fazla fark varsa; yapılan ölçüm 0,5 dB hassasiyetle geçerlidir. Aradaki fark 10 dB'den daha azsa, söz konusu kaynağın gürültüsünü saptayabilmek için, asıl ölçümden arka plan gürültüsünün çıkarılması gereklidir (Özgüven 1986),
7. Kullanılan cihazın özelliklerine ve ölçülecek gürültünün türüne göre doğru ayarlar seçilmelidir. Çizelge 1.10, gürültünün zamanla değişme şekline göre ne tür bir ölçüm yapılması gerektiğini göstermektedir.

Basit ses düzeyi ölçerlerle yapılacak ölçümlerle yalnız ses düzeyi ve bunun değişik şekilleri saptanabilmektedir. Ölçülen sesi oluşturan harmoniklerin frekans dağılımları konusunda hiçbir bilgi elde edilememektedir. Amaç gürültü düzeyinin saptanması, standartlarla karşılaştırılması ya da sağlığa zararlı olup olmadığının araştırılması ise; yalnız ses düzeyinin ölçülmesi yeterli olmaktadır. Ölçüm sonucunda gürültünün fazla olduğuna ve azaltılması gerektiğine karar verilirse, o zaman yalnız ses düzeyini bilmek yeterli olmamaktadır. Aynı gürültü düzeyindeki iki ayrı ses çok farklı frekansa bağlı olduğundan, uygulanacak gürültü kontrolü yöntemine karar vermeden önce gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir. Bu da frekans analizi (spektrum analizi) ile sağlanabilmektedir. Frekans analizleri oktav bant filtre seti kullanılarak yapılmaktadır.

Çizelge 1.10. Gürültünün zamanla değişme şekline göre yapılması gereken ölçümler (Özgüven 1986).

Gürültü Türü	Ölçüm Tipi	Bu Tür Gürültüye Örnek	0 10 20 s
Kararlı gürültü (sabit süreklili gürültü)	Gürültü düzeyi	Havalandırma sistemi, elektrik motoru	
Sabit fakat kesikli gürültü	Gürültü düzeyi ve süresi ya da L_{eq}	Hava kompresörü	
Dalgali gürültü (periyodik)	Gürültü düzeyi veya L_{eq} ya da gürültü dozu	Yüzey taşıma	
Dalgali gürültü (periyodik değil)	L_{eq} ya da gürültü dozu	Tipik fabrika içi gürültü (montaj hattı vb)	
Tekrarlanan darbe gürültüsü	L_{eq} ya da gürültü dozu ve bunların yanında "darbe" ayarıyla gürültü düzeyi ("en yüksek" gürültü düzeyinin de saptanması gerekir)	Otomatik pres, perçinleme, delme, vb	
Tek darbe	L_{eq} ve "en yüksek" gürültü düzeyi	Pres, delme vb bir operasyonun tek olarak yapılması	
Kısa sürede yükselip daha sonra kaybolan gürültü (geçiş gürültüsü)	SEL Ses Etikilenim Düzeyi	Uçak havalanması	

En basit frekans analizi, mikrofonla elektrik sinyallerine çevrilen ses basıncı değişiminin filtre devreleriyle frekans bantlarındaki harmoniklerine ayrılmasıyla yapılmaktadır. Yapılan analiz türüne göre, filtre edilecek bantın genişliği, alt ve üst sınırları otomatik olarak ayarlanmakta ve incelenen sinyali oluşturan harmoniklerden yalnız istenen bant sınırları içinde kalanların geçmesine izin verilmektedir. Böylece yalnız bu harmoniklerin düzeyi ölçülmektedir. Aynı işlem değişik frekans bantları için yinelenirse, her banttaki ses basıncı düzeyi (bant basıncı düzeyi) ölçülmüş olacaktır. Bu amaçla genellikle 1/3 oktav ve 1/10 oktav bantları kullanılmaktadır.

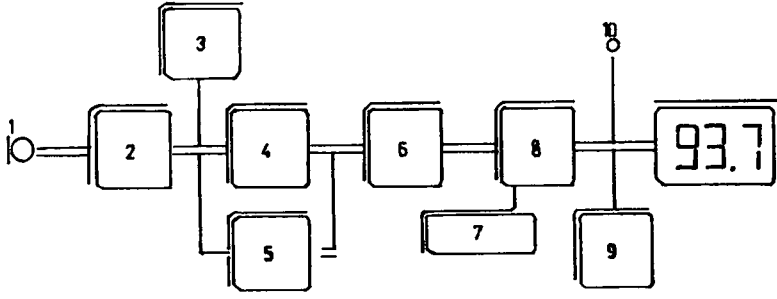
1.8. Ses Düzeyi Ölçerler

Sesin şiddetini ölçmeye yarayan aygıtlara ses düzeyi ölçer ya da sonometre denilmektedir. Ses düzeyi ölçerler sesin şiddetini desibel olarak ölçerler. Genellikle ses

düzeıy ölçerlerde A, B, C ve D olmak üzere dört elektronik Şebeke mevcut olup, sesin Şiddetinin insan kulağı tarafından algılandığı gibi ölçülmesini sağlamaktadırlar. A Şebekesi alçak ses basınç düzeyleri (55 dB'in altı) için tanımlanmış olmakla birlikte, son zamanlarda hemen tüm ölçümlerde kullanılmaktadır. B Şebekesi orta (55-85 dB), C Şebekesi ise yüksek (85 dB'in üzeri) basınç düzeyleri için geliştirilmiş olup, D Şebekesi ise hava araçlarının gürültü ölçümleri için düzenlenmiştir (Harris 1976). Diğer yandan A ağırlıklı Şebeke, insan kulağının duyumuna en yakın karşılığı verdiğinden, gürültünün sağlık üzerindeki etkileri araştırılırken çoğunlukla tercih edilmektedir. Kullanılan ağırlıklandırma Őebekesine göre ölçüm sonuçları belirli çarpanlar uygulanarak düzeltilmekte ve cihaz göstergesine verilmektedir. Böylece mikrofon tarafından algılanan ses basıncı düzeyi, ses düzeyine dönüştürülmüş olmaktadır (Peterson ve Gross 1963). Bazı ses düzeyi ölçerler ayrıca herhangi bir ağırlıklandırma işleminin yapılmadığı doğrusal (lineer) bir ölçme konumuna da sahip olabilmektedirler (Anonymous 1972).

Ses düzeyi ölçerin ölçtüğü gürültü düzeyi, gürültü kaynağının ses basınç düzeyi değildir. Ses düzeyi ölçerin ekranında görünlünen değer, genellikle bir RMS devresi çıkışından alınmaktadır. Bu işlem özel bir çeşit matematiksel ortalama alma tekniğidir. Çünkü sinyalin RMS değerı, sesin iğerdiği enerjiyle doğrudan ilişkilidir. Bunun yanısıra ölçüm büyüklüğüne ait değerlerin göstergede sürekli tutulması (hold) da sağlanabilmektedir.

Ses düzeyi ölçeri, bir mikrofon, ön yükseltici, aşırı yük seçici, ağırlıklandırma Şebekesi, filtreler, yükselteç, RMS devresi, zaman sabiti, tutma devresi ve göstergelerden oluşmaktadır. Bu cihazların taşınabilir olması, çalışanların kulaklarına gelen gürültü etkisini gün boyu ölçmeye de olanak sağlamaktadır. Böyle bir ses düzeyi ölçerinin blok diyagramı Şekil 1.13'de görülmektedir.



Şekil 1.13. Ses düzeyi ölçerinin blok diyagramı (1. Mikrofon, 2. Ön yükseltec, 3. Aşırı yük seçici, 4. Ağırlıklandırma şebekesi, 5. Filtreler, 6. Yükseltec, 7. Zaman sabiti devresi, 8. RMS devresi, 9. Tutma devresi, 10. Çıkış) (Vatandaş vd 2000).

Mikrofon, atmosferdeki ses basıncı düzeyini elektrik sinyallerine orantılı olarak çevirmektedir. Mikrofon tarafından ölçülen ses düzeyi pozitiften negatife salınım yapabilmektedir. Bu yüzden oluşan dalganın hem pozitif hem de negatif kısımlarının pozitif sonuç vermesi sağlanmaktadır. Fakat yüksek frekanslarda genlik değişmektedir. Kararlı bir düzey elde etmek için “ortalama” okuma, bir zaman sabiti üzerinden gerçekleştirilir. Daha sonra ortalama sinyalin karekökü, ortalama okunan değer RMS değerini oluşturur. Özel olarak geliştirilen cihazlar, ortalama büyüklük yerine büyüklüğün tepe değerini gösterecek şekilde tasarlanabilmektedir.

Tercih edilen ortalama zaman sabiti “yavaş” için 0,9 saniye, “hızlı” için 0,125 saniyedir. Bu durumda daha düşük oranlardaki ses düzeyi değişimleri farkedilebilmektedir. Normal olarak hız, ölçülen gürültünün türüne göre seçilmelidir. Eğer “hızlı” konumda ölçüm yapılacaksa, durgun sürekli gürültüler ölçülebilir. “Yavaş” konumda ise değişim gösteren gürültüler ölçülebilmektedir. Fakat önerilen ölçümlerin her iki kademede de yapılmasıdır. Eğer “hızlı” durumda gürültüdeki değişimler 6 dB ise, ortalama okuma, “yavaş” hızdaki okumalarla paralellik göstermektedir (Anonymous 1979).

Zaman sabiti veya tepki zamanının seçimi, farklı ses düzeyi ölçerlerine göre değişmektedir. Ortalama olarak insan kulağının tepki zamanı 200 milisaniyedir. 200 veya 120 milisaniye gibi daha az seviyeler genellikle standart veya hızlı diye tanımlanmaktadır. Ayrıca çoğu ölçü aleti 500 milisaniye tepki zamanı ile yavaş ölçümü de sağlamaktadır. Bu da hızlı konumda ölçülen ses düzeyinde dalgalanmalar olduğunda yararlı olmaktadır. Aslında skalada okunan değer hızlı ve yavaş konumlarda aynıdır.

Mikrofonlar; ses işaretlerini, elektriksel sinyallere dönüştüren aygıtlardır. Ses düzeyi ölçerlerde üç tip mikrofon kullanılmaktadır (Anonymous 1979, Başaran 1981):

1. Seramik mikrofon: Diyaframa tutturulan piezoelektrik özelliğe sahip seramik eleman, diyafram hareket ettikçe uçlarında elektriksel gerilim oluşturmaktadır. Seramik mikrofonlar, çok ekonomik fiyatlara iyi ve güvenilir bir performans sunarlar. Bu yüzden endüstriyel ses düzeyi ölçerlerde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Büyük sıcaklık ve nem değişimlerinden etkilenmemektedirler.
2. Kondansatör mikrofon ya da elektrostatik mikrofon: Kondansatör mikrofonun diyaframı, paralel levhali bir kondansatörün bir levhasını (elektrodunu) oluşturmaktadır. Kondansatör levhalarının uçlarına, bir doğru gerilim uygulanarak kutuplandırılmaktadır. Böylece, kondansatör mikrofon diyaframı, sabit levha karşısında hareket edince, uçlarında bir gerilim üretmektedir. Diyafram hareketi gayet azdır. Kondansatör mikrofonlar, mümkün olan en yüksek performansı sunmaktadır. Fakat fiyatlarının yüksek olması, kullanımlarını sınırlamaktadır.
3. Dinamik mikrofon: Diyafram, mıknatısın yakınına yerleştirilen ses bobinine tutturulmaktadır. Ses dalgasının etkisiyle diyaframla birlikte ses bobini de hareket etmektedir. Bu nedenle, buna devingen bobinli mikrofon da denilmektedir. Bobin, bir daimi mıknatısın kutupları arasına konulmaktadır. Bu tip mikrofonlar, elektromanyetik prensibe göre çalışmaktadır. Dinamik mikrofonlar, uygulamada sınırlı kullanılmaktadırlar.

Kalibratörler; ölçüm cihazlarının kalibrasyon kontrolü laboratuvar koşulları altında yapılabilmektedir. Ancak uygulamada kalibrasyonun ölçüm öncesinde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan kalibratörler iki ana gruba ayrılmaktadır (Anonymous 1979):

1. Mikrofon karşılıklı kalibratörler: Standart mikrofonların mutlak kalibrasyonu için kullanılmaktadırlar. Ayrıca diğer mikrofonları kalibre etmek ve mikrofon kullanan sistemlerin genel kalibrasyonu için bu mikrofonlardan yararlanılabilmektedir.
2. Ses düzeyi kalibratörleri: Sistemin bütün kalibrasyonu için kullanılmaktadırlar. Böyle kalibratörler sabit ses basınç düzeyi üreten mikrofonların kalibrasyonunu sağlamaktadırlar. Bu ses basıncı, hem elektriksel hem de mekanik olarak çeşitli yollarla üretilmektedir. Kullanımın uygunluğu, kullanılan akustik kalibratörün tipine karar vermek için mutlaka gereklidir. Bundan dolayı, mekanik tesadüfi gürültü kalibratörleri sadece sessiz koşullarda kullanım için uygun olabilmektedir. Ayrıca kalibrasyonun doğruluğu, sıcaklıktan etkilenebilmektedir.

Oktav Bant Filtreleri; bir ses kaynağının çıkardığı sesin, frekans dağılımını elde etmek için oktav bant filtreleri kullanılabilmektedir. Oktav bant filtreleri, temel olarak bir takım geçiş bantları sağlayan filtre devrelerinden oluşmaktadır. Burada kural, gelen sinyalleri filtre ederek belli bir aralıkta istenilen frekanslardaki bileşenlerin büyüklüğünü ölçmektir. Geçmesine izin verilen frekans aralığını değiştirerek her frekans bandındaki bileşenlerin katkısı bulunabilmektedir (Özgüven 1986).

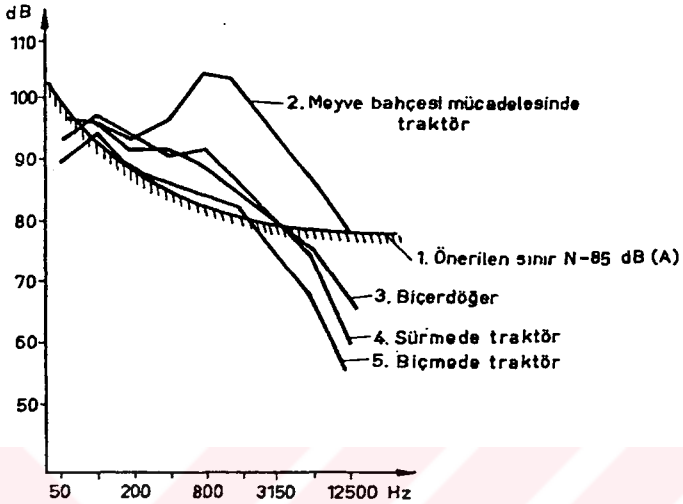
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, gürültü ölçümü konusundaki temel kaynakların yanısıra, tarım makinaları alanındaki gürültü ölçümüne ait çalışmalarda gözden geçirilmiştir.

Harris (1976); çok değişik çeşitleri olan ses düzeyi ölçerler hakkında bilgi vermiş, hangi türlerinin nerede ve nasıl kullanılacağı, ses düzeyi ölçerlerde bulunan ayarların ne şekilde yapılacağını, örneğin hangi tip gürültüde “hızlı” hangi tipte, “yavaş” veya “darbe” ayarlarının kullanılacağını belirtmiştir. Ayrıca, uygun mikrofonun nasıl seçileceği, mikrofonun cinsine göre mikrofonun gürültü kaynağına yöneltilme şeklinin nasıl olacağı ve ses düzeyi ölçerlerde bulunan diğer elemanlar olan yükseltici, ağırlıklandırma şebekesi, oktav bant filtresi, kalibratörler ve diğer devreler hakkında bilgiler verilmektedir.

Diñer (1977); yakın zamana kadar insanların tarımda ağır şartlarda ve uzun süre çalıştığını, yeterli işçilerin varlığı halindeyse bu durumların düzeltilmesi yönünde fazla çaba gösterilmediğini söylemektedir. Bugün geliştirilen makinaların insanları ağır bedeni çalışma şartlarından kurtardığını, ancak kontrol, ayarlama vb. gibi bilgi edinme ve değerlendirmenin önem kazandığını belirtmektedir. Ayrıca bu makinaların titreşim, gürültü gibi yeni zorlanış şekilleri de ortaya çıkardığını ve böylece önceleri endüstride başlatılan ergonomik çalışmaların, makinalaşmanın gereksinmesi olarak, tarım kesimine de girdiğini belirtmektedir.

Gürültünün, tarım tekniğinde de makinalaşmaya bağlı olarak artan ölçüde önem taşıdığını, çünkü traktörlerde, biçerdöverlerde ve diğer motorlu araçlarda gürültü genellikle 90 dB'in üzerinde olduğunu bildirmektedir. Örnek olmak üzere önemli tarımsal çalışmalarda gürültü değerleri şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Önemli tarımsal çalışmalarda gürültü değerleri (Dinçer 1977).

Şekilde N-85 ile gösterilen eğri, zararlı olmayan sınırı gösterdiğini ve bunun anlamının da 1 000 Hz değerinde 85 dB düzeyini kestiğini söylemektedir.

Orhun (1982); tekstil sanayiinde karşılaşılan işçi sağlığı sorunları içerisinde önemli bir yer tutmakta olan gürültü sorununun, çalışanların işitme sağlığını olumsuz etkilediğini, fizyolojik ve psikolojik dengelerini bozabildiğini, iş performansının azalmasına neden olduğunu bildirmiştir. Çalışmada koruyucu önlemleri geliştirmek, gürültüye maruz kalan işçileri gürültünün insan üzerindeki zararlı etkilerine karşı uyarmak ve eğitmek amacıyla, işitme duyusunun korunmasına yönelik alınması gerekli önlemleri açıklamıştır

Yazarın bildirdiğine göre, bir işyerinde çalışan insanlar, o işyerinin özelliğinden kaynaklanan bir çok zararlı etkenle karşı karşıyadır. Gürültü, bu zararlı etkenler içinde önemli bir yer tutmakta, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni boyutlara ulaşmaktadır. Tekstil işkolunda karşılaşılan işçi sağlığı sorunlarının içinde gürültü önemli bir yer tutmakta, özellikle dokuma bölümlerinde gürültüye maruz kalmak, istenmeyen işitme kayıplarına neden olabilmektedir.

Araştırma, gürültünün çalışan kişilerde meydana getirdiği etkilerin belirlenmesi ve gürültünün oluşturduğu sakıncaların azaltılması sorununa da eğilmektedir. Bu amaçla, gürültünün önemli bir sorun oluşturduğu tekstil işkolunda, bir dokuma atölyesinde çalışan işçilerin işitme kayıpları ölçülmüş, ortamdaki gürültü düzeyi saptanmış, koruyucu önlemlerin ne ölçüde uygulandığı gözlenmiş ve işitme duyusunun korunmasına yönelik öneriler daha önce yapılan aynı yöndeki araştırmalar dikkate alınarak geliştirilmeye çalışılmıştır.

Özgüven (1986); eserinde, endüstriyel gelişmenin bir yan ürünü olan endüstriyel gürültünün, gelişmeye paralel olarak önemli bir sorun durumuna geldiğini belirtmiştir. Gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkilerinin, işitme kaybından iş veriminin önemli ölçüde azalmasına ve fizyolojik rahatsızlıklardan psikolojik bozukluklara dek uzandığı belirtilerek, bu etkilerin ülkemizde henüz tam olarak değerlendirilemediği açıklanmıştır. Bu nedenle birçok endüstri kolunda, çalışanların yüksek düzeyde gürültü etkisinde kalmasına karşın ciddi önlemler alınmadığı, gelişmiş ülkelerde endüstriyel makinelerin tasarımı aşamasından fabrika yerleşim ve yönetimine kadar her aşamada gürültü sorununun göz önünde bulundurulduğu bildirilmiştir. Ülkemizde ise bu konudaki çalışmaların henüz başlangıç aşamasında olduğu, sanayi kuruluşlarının gürültü sorununa bir çözüm arama girişiminde bulunmayışlarının temel iki nedeninden birinin gerekli zorlama ve denetimin olmaması, ötekinin ise bu konulardaki bilgi birikiminin yetersiz olduğu vurgulanmıştır.

Eserde, çeşitli gürültü kontrolü yöntemleri uygulamaya dönük olarak incelenmiş ve böylece, endüstride çalışan mühendislere, bir makinanın tasarımı aşamasından işletilmesi aşamasına kadar her aşamada gürültü kontrolünün hangi yöntemlerle sağlanabileceği belirtilmiştir.

Yazar, gürültü kontrolü yöntemlerini üç aşamada incelemiştir:

A. Kaynakta gürültü kontrolü sağlamanın yolları:

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

Bunları sağlayabilmek için uygulanan yöntemler ise şu şekilde bildirilmiştir:

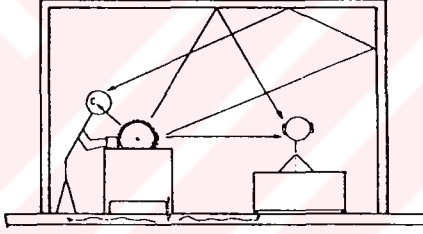
- a) Planlama ve bakımla gürültünün kontrol edilmesi,
- b) Susturucuların kullanılması,
- c) Kaynağın ses yalıtıcı ve yutucu malzemeye kaplanması,
- d) Titreşim yalıtımı,
- e) Titreşen yüzeylerin, titreşim sönmüleyici malzemeye kaplanması,
- f) Gürültü kaynağının kapalı hücreler içerisine alınması,
- g) Kaynakta malzeme ve tasarım değişiklikleri yapılması.

B. Yayılma alanında gürültüyü kontrol etmenin başlıca yöntemleri:

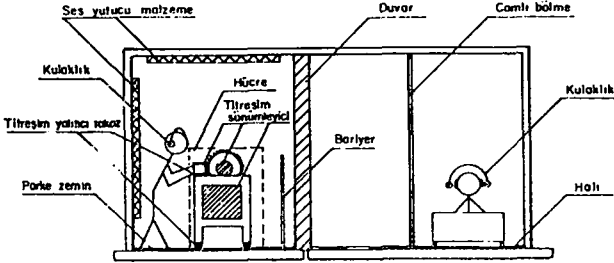
1. Gürültü kaynağının bulunduğu bölgenin ses yalıtıcı malzemeye ayrılması,
2. Ses bariyerlerinin kullanılması,
3. Gürültü yayılma alanının kontrolü (duvar, tavan vb. yüzeylerin ses yutucu malzemeye kaplanması, askılı ses yutucu yüzeylerin kullanılması vb yöntemler).

C. Gürültünün algılandığı yerde kontrolü ise; gürültüden etkilenen kişi veya kişileri, ya ses yalıtımı sağlanmış bölgelere alarak ya da kulak koruyucuları kullanarak gürültüden korumayı içermektedir. Bu yöntemlerle gürültü azaltılamamakta, fakat kişiler gürültüden korunabilmektedir.

Yazarın bildirdiğine göre, gürültü kontrolünde amaç, gürültü düzeyini istenilen düzeye en ekonomik bir şekilde indirme yöntemini saptamak ve bu yöntemi uygulamayı içermektedir. Koşullara bağlı olarak, uygulanacak yöntemler, yukarıda sayıldığı kadar çok olmayabilir ve yine koşullara bağlı olarak her yöntemin sağlayacağı gürültü azalması değişebilmektedir. Şekil 2.2'de çalışan bir makinadan çıkan gürültünün yayılması, şekil 2.3'de ise bu makinaya uygulanabilecek gürültü kontrolü yöntemleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Gürültünün yayılması (Özgüven 1986).



Şekil 2.3. Gürültü kontrol yöntemlerinin uygulanması (Özgüven 1986).

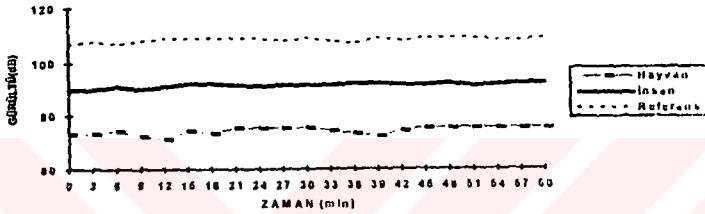
Ünver (1995); diğer endüstri dallarında olduğu gibi madencilik faaliyetlerinde mekanizasyon imkanlarının artmasına paralel olarak yapılan işin miktarı ve hızı açısından oldukça önemli aşamalar kaydedildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, çalışmalar sırasında ortama yayılan gürültü miktarında da önemli oranlarda artışlar olmakta, özellikle, yeraltı çalışmaları sırasında gürültünün yayılarak etkisinin azalabileceği genişlikte boşluklar bulunmadığından, yankılanma sonucu etkisinin artması söz konusu olabilmektedir. Yertüstü işletmelerinde de çok yüksek kapasiteli kamyon ve delici makina gibi ekipmanlar, yüksek seviyelerde gürültü oluşumuna neden olabilmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak gürültünün, insan üzerindeki bedensel ve ruhsal etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanması yapılmaktadır. Daha sonra, özellikle, yer altı ve yertüstü madencilik faaliyetleri sırasında oluşan gürültünün kaynakları incelenerek, gürültü seviyelerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin en az olacağı düzeylere indirilmesi için yapılması gereken işlemler özetlenmektedir.

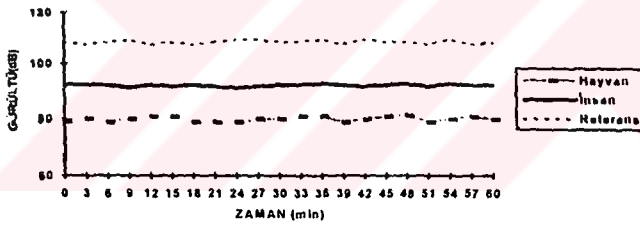
Günümüze kadar gürültünün özellikle yeraltında çalışan madenciler üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla değişik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda yeraltında çalışan işçilerin diğer endüstri dallarında çalışan kişilere oranla çok daha yüksek oranlarda işitme kayıplarına uğradıkları belirlenmiştir.

Alibaş ve Tunçkal (1997); arabalı süt sağım makinalarında gürültü ve enerji tüketimi yönünden en uygun vakum pompası susturucu sisteminin belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, yerli ve yabancı yapım altı adet vakum pompası susturucusundan yararlanılmıştır. Susturucuların her biri deney makinasına bağlanarak denenmiş ve çalışmada belirtilen kriterler açısından en uygun olan susturucu tipi belirlenmiştir.

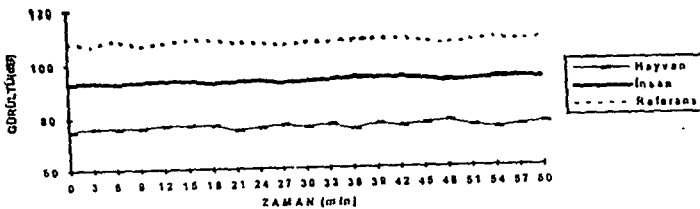
Hayvan sağlığı açısından gürültünün değerini belirlemek için, hayvan kulak seviyesi ile gürültünün kaynağı olan sağım makinasının susturucusu arasındaki mesafe 3 100 mm olarak alınmıştır. İnsan sağlığı açısından da 170 cm boyundaki bir insanın kulak mesafesi dikkate alınmıştır. Araştırmada; yerli yapım, arabalı çift sağım başlıklı, pulsatsız bir süt sağım makinasından yararlanılmıştır. Araştırmacılar A, B, C, D, E ve F tipi susturucuların zamana bağlı gürültü değişimlerini şekil 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9'daki gibi vermişlerdir.



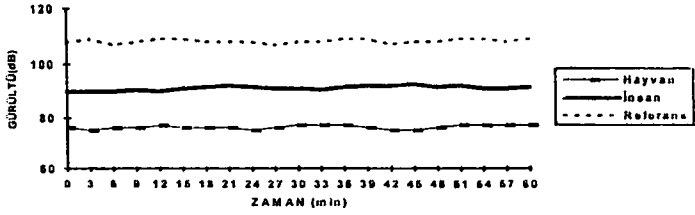
Şekil 2.4. A tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).



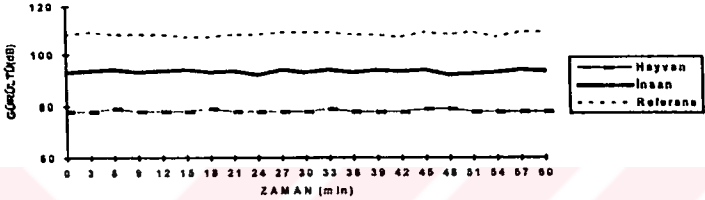
Şekil 2.5. B tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).



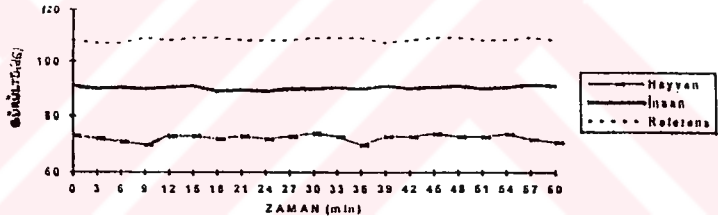
Şekil 2.6. C tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).



Şekil 2.7. D tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).



Şekil 2.8. E tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).



Şekil 2.9. F tipi susturucuda gürültü düzeyi (Alibaş ve Tunçkal 1997).

Araştırmada kullanılan altı farklı yapıdaki susturucuların, arabalı tip bir süt sağım makinasına bağlandıktan sonra; gürültü yönünden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

1. Genel olarak bütün susturucular, gürültüyü 1 000 Hz ile 3 000 Hz aralığında sönmülemektedir. Bu aralıkta; A ve B susturucusu 5-25 dB, C susturucusu 5-15 dB,

D ile E susturucuları 5-20 dB ve F susturucusu da 5-25 dB arasında gürültü sönümlendirmektedir. Ayrıca A, B ve F'de bu aralıkta basınç düzeylerinde anormal bir dalgalanma meydana gelmezken, diğer susturucularda bu frekans aralığında 5-15 dB'e varan düzey düşüşleri meydana gelmektedir. 3 500 Hz ile 4 000 Hz aralığında araştırmada kullanılan susturucuların hiçbir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Makinanın boşta çalıştırılmasıyla elde edilen gürültü-frekans grafiğiyle, susturucuların gösterdiği performans bu aralıkta aynı olmuştur. 4 000 Hz'lik frekansta gürültü 25 dB'e kadar düşmektedir. 0 ile 4 000 Hz'lik frekans aralığında gürültüyü optimum düzeyde sönümlendiren susturucunun F susturucusu olduğu belirtilmiştir.

2. Makinada mekanik titreşimlerden kaynaklanan gürültü probleminin olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle pompa-motor bloğunun şasiye bağlandığı noktalarda titreşimi yalıtıcı malzeme kullanılmamaktadır. Bunun dışında, ses çıkaran cihazlar arasında pulsator de vardır. Atölye içinde yapılan denemeler sırasında, pulsatöre yakın noktalardan ölçülen gürültünün 76 dB olduğu bulunmuştur. Ayrıca, sütün sağımı ve güğüme transferi sırasında da bir gürültü meydana geldiği gözlenmektedir. Bu gürültünün memelikler ve şeffaf hortumların bulunduğu kısımlarda olduğu bildirilmektedir. Meydana gelen bütün bu gürültülerin, süre uzadıkça zararı artmaktadır. Özellikle insan sağlığı açısından tehlikeli bir seviyede olduğu açıkça belirlenmektedir. Hayvan sağlığı açısından ise bu gürültünün kısa süreli strese neden olacak ve süt veriminde düşme olabilecek seviyede olduğu vurgulanmıştır.
3. Araştırmada kullanılan susturuculardan, iç hacmi küçük olanlarda sıcaklık, hızlı bir artış göstermektedir (B, D ve E susturucularında görüldüğü gibi). Susturucuların malzemelerinin et kalınlığı fazla olması durumunda; gürültüde azalma olurken, susturucu iç sıcaklığında bir artış meydana gelmektedir (A, C ve F susturucularında olduğu gibi). Ayrıca, susturucu çıkış ağzının darlığı, sıcaklık ve gürültünün artışıyla büyük oranda etkili olmaktadır (C'de olduğu gibi).

Koç (1997); mesleki gürültüye maruz kalmanın işçinin sağlığını ve güvenliğini nasıl etkileyeceği konusunda temel bilgiler sunulmuştur. Gürültü rahatsız edici olabilmekte, strese neden olmakta ve konsantrasyonu bozarak çalışmaya engel olabilmektedir. Ayrıca gürültü, kronik sağlık sorunları meydana getirebilmektedir. Aşırı gürültüye kısa süreli maruziyet, birkaç saniyeden birkaç güne kadar değişen geçici işitme kaybına yol açabilmektedir. Gürültüye uzun süre maruz kalınması, kalıcı işitme kaybına neden olabilmektedir. Zaman içinde gelişen işitme kaybı her zaman kolaylıkla fark edilemeyebilmektedir. Endüstriyel gürültüye maruz kalınması çoğu zaman asgari maliyetle ve teknik zorluklarla karşılaşmadan kontrol edilebilmektedir. Endüstriyel gürültünün kontrol altına alınmasındaki amaç, gürültünün gürültü kaynağında önlenmesi ya da azaltılmasıdır.

Ayrıca, gürültü ölçümü, gürültü standartlarıncı izin verilen gürültü düzeyleri, gürültü kontrol yöntemleri ve işçi sağlığı ve iş güvenliği temsilcilerinin mesleki gürültünün kontrol edilmesindeki rolü eserde tartışılan konular arasında yer almaktadır.

Anonymous (1998)'e göre, artan nüfus, gelişen endüstri ve ülkelerin doğal varlıklarını tehdit eden kirlenmeler, çevre sorunlarını yirminci yüzyılın son çeyreğinde insanlığın en önemli konularından biri haline getirmiştir. Çevreyi koruma ve çevre sorunlarını giderme çalışmalarının hareket noktası, sorunları bilmek ve tanımdır. Bu amaçla çevre sorunlarının ayrı ayrı ele alınarak incelendiği eserde, gürültü ayrı bir bölüm olarak incelenmiştir. Bu bölümde gürültü sorununun kısa bir tanımı yapıldıktan sonra, sorunları meydana getiren sebeplerle insan ve çevresine olan etkileri, gürültü sorunuyla ilgili resmi kuruluşların, bilimsel ve gönüllü kuruluşların çalışmaları ve gürültüyle ilgili hukuki bilgiler verilmektedir. Çizelge 2.1'de gürültü kaynakları ve gürültü düzeylerini etkileyen faktörleri özetlemektedir.

Çizelge 2.1.Gürültü kaynaklarının ses üretimini etkileyen yapısal ve işlemsel faktörler (Anonymous,1998).

ULAŞIM GÜRÜLTÜLERİ	Tek Kaynak Birimi	Taşıtın yaşı ve bakımı, motor ve fan tipi, fren sistemi, iletim sistemi, ağırlığı ve kalkış gücü, tekerlek ve lastik türü, egzoz sistemi, hızı ve ivmesi, uçuş profili
	Kaynak grubu	Ulaşım türü (duraklı-duraksız), Kompozisyonu (ağır taşıt yüzdesi) Ulaşım hacmi (taşıt, tren, uçuş sayısı / birim zaman)
	Yol	Kaplama tipi, eğim, dönemeç ve eğrilik yarıçapı, kavşaklar, yol genişliği, yolun çevreye göre kotu.
	Demiryolu	Rayların parlaklığı veya pürüzlülüğü, eğrilik yarıçapı, rayların bağlantı türü, demiryolu strüktürü, çevreye göre kotu.
	Pist ve uçuş izleri	Pist sayısı, pistlerin birbirine ve çevreye göre konumları, uçuş izinlerinin koordinatları.
ANTIYE VE YAPIM GÜRÜLTÜSÜ	Araç birimi	Makinanın yapısı, motor gücü, egzoz, fren ve iletim sistemleri, fan tipi, yapılan işin türü ve çalışma süresi, hareket doğrultusu ve işlemsel modu.
	Şantiye birimi	Aynı anda çalışan araç sayısı ve türleri, araçların şantiye içindeki konumları, şantiye içindeki toprak ve malzeme yığınları, toprak cinsi, şantiyede bulunan yansıtıcı cisimler.
ENDÜSTRİ GÜRÜLTÜSÜ	Makina ve Araç Birimi	Araçın veya makinanın yapısı, motor gücü ve devir sayısı, fan, egzoz ve iletim sistemleri, monte edildiği yüzey, taban ve altlık özellikleri, makinalara bağlı donatım, çevredeki yansıtıcı yüzeyler, çalışma modu ve süresi, yaşı ve bakımı.
	Fabrika ve çalışma yeri	Aynı anda çalışan makina sayısı ve türleri, makinaların çalışma modları ve birbirlerine göre konumları, endüstri yapısının mimari ve strüktürel özelliği, çevredeki yansıtıcı ve yutucu yüzeyler, çevredeki ses engelleri, endüstri yapısının dışarı açılışlar (donatım).

Ragni vd. (1999); tarımsal üretimin tamamının veya bir kısmının tarım makinalarına dayandığını ve bu nedenle tarım makinalarının ergonomik özelliklerinin büyük önem taşıdığını söylemektedirler. Yapılan araştırmada, toprağın işlenmesinde kullanılan bazı tarım makinalarının titreşim ve gürültü seviyeleri, uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak ölçülmüştür. Buna göre, tarım makinalarıyla çalışan işçilerin ortaya çıkabilecek işitme problemleri hakkında bilgi sahibi edilmesi gerektiği, ayrıca, bu makinaların en azından uygun yalıtım sistemleriyle donatılarak kullanıcılara sunulması gerektiği vurgulanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Gürültü Ölçümü Yapılan Makina ve Ekipmanlar

Tekniğin ve mekanizasyonun gelişmesine paralel olarak tarımsal üretimde de traktör ve diğer güç makinalarıyla çalıştırılan tarımsal makina ve ekipmanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde makina ve ekipmanların kullanılmasıyla yapılan işin daha çabuk ve kolay gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, üretimde de büyük ölçüde artış olmaktadır. Bunun yanında, makina ve ekipmanların işletilmeleri sırasında ortaya çıkan ses düzeylerinin önemli bir bölümü, istenmeyen sesler (gürültü) grubuna girmekte ve etkilenim süresine de bağlı olarak zararlı olabilmektedir.

Tarımsal makina ve ekipmanların çıkardıkları gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla gürültü ölçümü yapılması gerekmektedir. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre, gürültü kontrolüyle ilgili önlemler belirlenebilmektedir.

Bazı tarım makina ve ekipmanlarının ses düzeylerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada çizelge 3.1'de markası, modeli, tipi ve özellikleri verilen, traktörle ve diğer güç makinalarıyla çalıştırılan tarımsal makina ve ekipmanların gürültü düzeyleri belirlenmiştir.

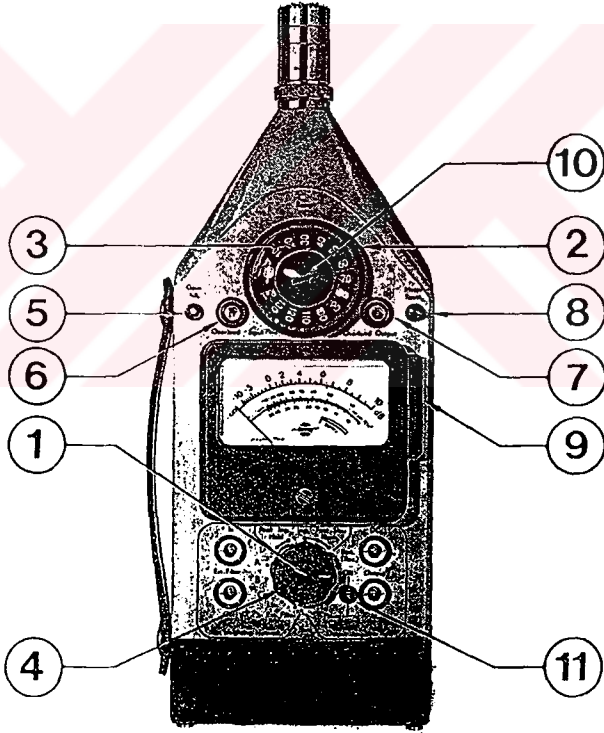
Çizelge 3.1. Gürültü ölçümü yapılan tarımsal makina ve ekipmanlar ve ölçümler sırasında kullanılan traktörler.

Makina veya Ekipman	MARKASI	TIPI /MODELI	ÖZELLİKLERİ
Balya Makinası, B ₁	SGORBATI	-	İş genişliği: 141 cm Balya genişliği: 47 cm Traktör kuyruk milinden hareketli
Bıçerdöver, B ₂	JOHN DEERE	955/1983	6 Silindirli dizel motor, kabinsiz, Bıçme genişliği: 4,2 m
Yır Bıçme Makinası, C ₁	KUHN	FC 250 RG	İş genişliği: 275 cm
Çekiçli Yem Kırma Makinası, C ₂	CANDAŞ	-	Elektrik motoru özellikleri: 45 kW, 2949 1/min
Kombine Ekim Makinası, E ₁	EKERMAK	1997	Ayak sayısı: 18; İş genişliği: 2,34 m
Pnömatik Ekim Makinası, E ₂	HASSIA	Unisem	4 sıralı, sıra arası ayarlanabilir tip, kuyruk milinden tahrikli, ekim sistemi hava emişli, iş genişliği: 2,4m, tohum deposu: 24 l, gübre deposu: 80 l
Mikser, M	-	-	Kapasitesi: 15 t/h
Kombine Pancar Hasat Makinası, P	ALTINÖRS	D1800/1998	Tek sıralı, traktörden çekilir, depo kapasitesi: 1800 kg
Selektör, S ₁	ROBER PETKUS	D - 4950/1986	-
Silaj Makinası, S ₂	CLASS	-	Tek sıralı, hidrolik indirmeli
Süt Sağım Tesisi, S ₃	ALFA LAVAL	ALWA 1 700	16 Başlıklı, kompresörün tipi: VP 78, 2 Adet; elektrik motoru özellikleri: 4,6 kW, 1435 1/min, 2 Adet
Kazayağı, K	EKERMAK	-	Ayak sayısı: 13; dişli tırmıklı
Traktör, T ₁ (Kabinli)	FIAT	70 - 56 DT /1997	Motor gücü: 70 BG (51,5 kW)
Traktör, T ₂ (Kabinli)	NEW HOLLAND	80 - 66 DT /1998	Motor gücü: 85 BG (62,6 kW)
Traktör, T ₃ (Kabinsiz)	NEW HOLLAND	80 - 66 DT /1998	Motor gücü: 85 BG (62,6 kW)

3.1.2. Ses Düzeyi Ölçer

Araştırmada kullanılan ses düzeyi ölçer, gelen sesleri kulağın algıladığı biçimde ölçmek üzere düzenlenmiştir. Çünkü ses basınç düzeyi, kendisini meydana getiren kaynaktan uzaklaştıkça, aradaki uzaklığın karesi ile orantılı olarak azalmaktadır. Eğer kaynakla aradaki uzaklık iki katına çıkarsa ses basınç düzeyi 6 dB azalmaktadır (Orhun 1982).

Ölçümler sırasında kullanılan ses düzeyi ölçerin (Brüel & Kjaer Model 2209) önden görünüşü şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Brüel & Kjaer 2209 Modelinin önden görünüşü.

Bu şekilde;

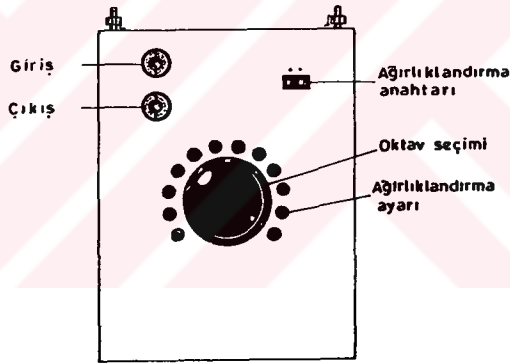
1. Ölçüm Anahtarı (Meter Switch),
2. Giriş Zayıflatıcısı (Input Attenuator) (Siyah düğme),
3. Çıkış Zayıflatıcısı (Output Attenuator) (Şeffaf düğme),
4. Ağırlıklandırma Şebekesi Şalteri (Weighting Network Switch),
5. Kazanç Ayarı (Gain Adjustment),
- 6,7. Aşırı Yük İkazları (Overload Indicators),
8. Yeniden Başlatma Düğmesi (Meter Reset Button),
9. Skala (Meter Scale),
10. Zayıflatıcı Skalası (Attenuator Scale),
11. Pilot Lamba (Pilot Light).

Cihazla ölçüm yapıldığında aşağıdaki yol takip edilmektedir.

1. Şebeke ağırlıklandırma şalteri (4) "Lin" konumuna getirilir,
2. Ölçüm anahtarıyla (1) istenen fonksiyon seçilir.
3. Alet, mümkün olduğunca sabit tutulmalı ve mikrofonun gözlemciden en az 1m uzakta tutulması sağlanmalıdır,
4. 2/3 Skala sapması sağlanana kadar, saat yönünde tam çevrilmiş olan şeffaf zayıflatıcı düğmesiyle (3), siyah zayıflatıcı düğmesi (2) çevrilir. Her durumda şeffaf düğme mümkün olduğunca saat yönünde çevrilmiş olarak tutulmalıdır. Böylece optimum sinyal elde edilmiş olur,
5. Şebeke ağırlıklandırma şalteri (4) istenilen konuma getirilir,
6. Eğer ölçüm değeri bu sırada 10 dB'nin üstünde ise zayıflatıcı düğmeleri kullanarak hassaslık derecesi azaltılır. Ölçüm 0 dB'nin altındaysa hassaslık derecesi artırılır.
7. Eğer giriş aşırı yük ikaz lambası (6) yanıyor, lampa sönene kadar siyah zayıflatıcı düğmesi saat yönünde döndürülerek ölçüm sapması düzeltilir. Eğer çıkış aşırı yük ikaz lambası (7) yanıyor, bu durum aletin kapasitesinin aşıldığını gösterir. Zayıflatıcı ayar düğmesinin döndürülmesiyle aşırı yük giderilemiyorsa, alınan sonuçlar sinyal seviyesinden düşük olacaktır. Bu durum sonuçlarla birlikte bildirilmelidir.

8. Ölçülen ses basıncı düzeyi veya ses düzeyi, göstergenin kaydettiği değer ile şeffaf zayıflatıcı göstergesinde iki kırmızı çizginin arasında görülen sayının toplamıdır.

Gürültü ölçümleri ve frekans analizleri Brüel & Kjaer marka 2209 tip ses düzeyi ölçeri ve 1613 oktav bant filtre seti kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan oktav bant filtreleriyle yapılan frekans analizi, cihazda var olan 31,5, 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000, 16 000 ve 31 500 Hz'lik merkez frekanslarını içermektedir (şekil 3.2). Ayrıca, gürültünün neden olabileceği geçici veya kalıcı işitme eşiği kayması açısından, insan kulağının en hassas olduğu frekans 4000 Hz'deki ses düzeyi olmaktadır (Orhun 1982, Erkan 1988). Bu nedenle ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre, gürültü kontrolüyle ilgili önlemler belirlenebilmesi için 4000 Hz'deki ses düzeyleri temel kriter olarak seçilmekte ve bu değerlere göre yapılması gerekli gürültü kontrolü çalışmaları belirlenmektedir.



Şekil 3.2. Araştırmada kullanılan oktav bant filtresi (Anonymous 1972).

3.2. Yöntem

Ses düzeyi ölçerde A, B, C ve D olmak üzere dört ağırlıklandırma şebekesi mevcut olup, sesin şiddetinin insan kulağı tarafından algılandığı gibi ölçülmesini sağlamaktadırlar. A ağırlıklı şebeke kulak duyumuna en yakın karşılığı verdiği için,

gürültü düzeyi A ağırlıklı şebeke kullanılarak dB(A) birimiyle ölçüm yapılmıştır. Bunlara ek olarak ses düzeyi ölçerde bulunan lineer ağırlıklı şebeke kullanılarak da ölçümler yapılmıştır. Bu şebeke sinyalin ağırlığını tespit etmemekle beraber, değişmeden (ağırlıklandırmasız) geçmesini sağlayarak yardımcı bir eleman için bir ön yükselteç olarak çalışma olanağı vermektedirler.

Ölçümler kapalı alanlarda yerden en az 1,5 m yukarıda işçinin kulak hizasında ve ölçüm yapan kişiden en az 1 m uzakta yapılmıştır. Tarla ölçümlerinde ise çalışma koşullarında yine operatörün kulak hizasında ve ölçüm yapan kişiden en az 1 m uzaktan kaydedilmiştir. Ses düzeyi ölçerinin mikrofonu her yönden gelebilecek sesleri alabilecek niteliktedir. Ayrıca ölçümlerin yapıldığı A.Ü. Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinin ölçüm sırasındaki atmosfer ve diğer fiziksel koşullarının (sıcaklık, nem gibi) ses düzeyi ölçerinin çalışma sınırları içinde olduğu saptanmıştır ve ölçülen değerler çizelge 3.2’de verilmiştir.

Belli bir makina parçası tarafından üretilen gürültü ölçülmek istendiğinde, doğru sonuçların elde edilebilmesi için, sessiz bir yerde ölçüm yapılmalıdır. Fakat bu her zaman mümkün değildir ve bu nedenle ölçümler genellikle arka plan gürültüsü varken yapılmak zorunda kalmaktadır. Eğer makinanın kapalı olduğu durumdaki gürültü düzeyi, makina çalışırken saptanan gürültü düzeyinden 10 dB’den daha büyük ise, arka plan gürültüsü için bir düzeltmeye gerek yoktur (Anonymous1972). Bu nedenle ölçümler sırasında toplam gürültü düzeyi ile arka plan gürültüsü arasındaki farklar 10 dB’den büyük olduğu için bir düzeltme yapılmamıştır.

Tarlada çalıştırılan makina ve ekipmanlar için ölçülen gürültü değerleri, oktav bantlarına göre ayrı ayrı belirlenmiş ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Kapalı yerlerde çalıştırılan makina ve ekipmanlar için ise gürültü haritaları oluşturulmuştur. Bu amaçla gürültü kaynağından değişik aralıkta bulunan noktalardaki gürültü düzeyleri tespit edilmiş, daha sonra eş gürültü noktaları birleştirilerek eğriler oluşturulmuştur.

Gürültü ölçümü yapılan yerlerde gürültü tipi süreklidir. Zaman içinde değişiklikler göstermemektedir.

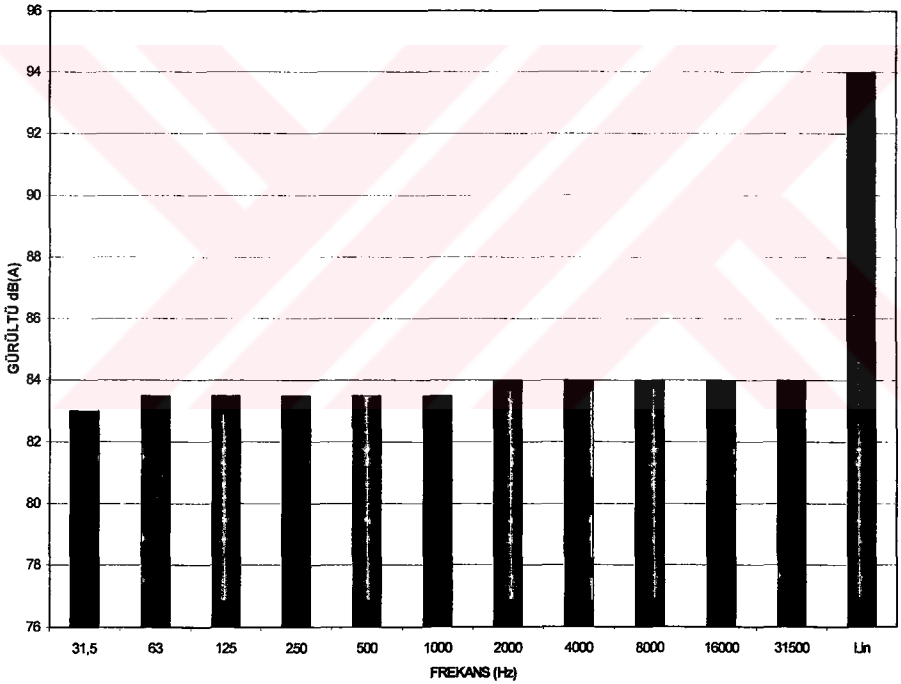
Çizelge 3.2. Ölçüm sırasındaki atmosfer ve diğer fiziksel koşullar.

Makina	Tarih	Atmosfer Basıncı	Bağıl Nem	Hava Sıcaklığı	Rüzgar Hızı	Rüzgar Yönü	Arka plan Gürültüsü
B ₁	29.7.1999	896,5 mbar	% 41	26,2 °C	1 m/s	Kuzeybatı	32 – 34 dB(A)
B ₂	29.7.1999	896,5 mbar	% 41	26,2 °C	1 m/s	Kuzeybatı	32 – 34 dB(A)
C ₁	23.05.2000	896,5 mbar	% 50	18 °C	6,6 m/s	Doğu	30 – 32 dB(A)
E ₁	5.10.1999	896,5 mbar	% 28	27,2 °C	0,25 m/s	Kuzeybatı	30 – 32 dB(A)
E ₂	23.05.2000	896,5 mbar	% 50	18 °C	6,6 m/s	Doğu	30 – 32 dB(A)
K	23.05.2000	896,5 mbar	% 50	18 °C	6,6 m/s	Doğu	30 – 32 dB(A)
P	26.10.1999	896,5 mbar	% 70	9 °C	1,1 m/s	Kuzey	32 dB(A)
S ₂	6.10.1999	896,5 mbar	% 26,5	26,8 °C	0,25 m/s	Kuzey	30 dB(A)

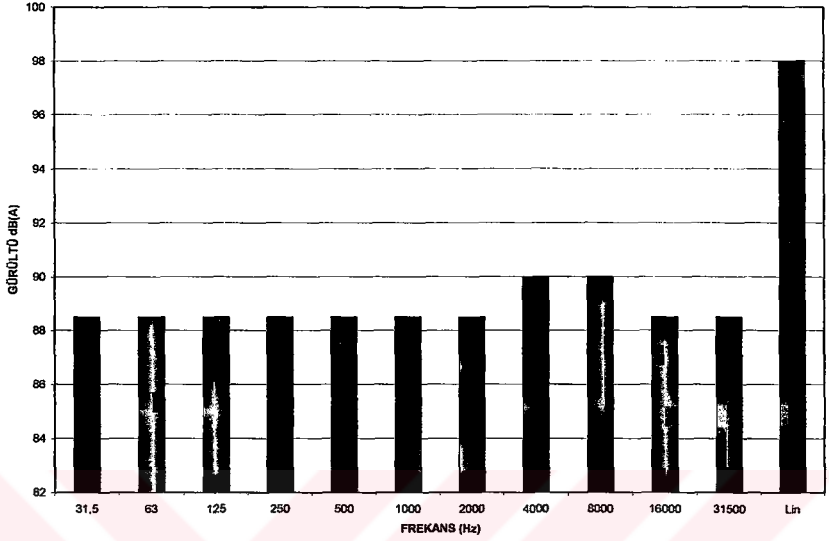
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Gürültü Düzeyine İlişkin Grafikler

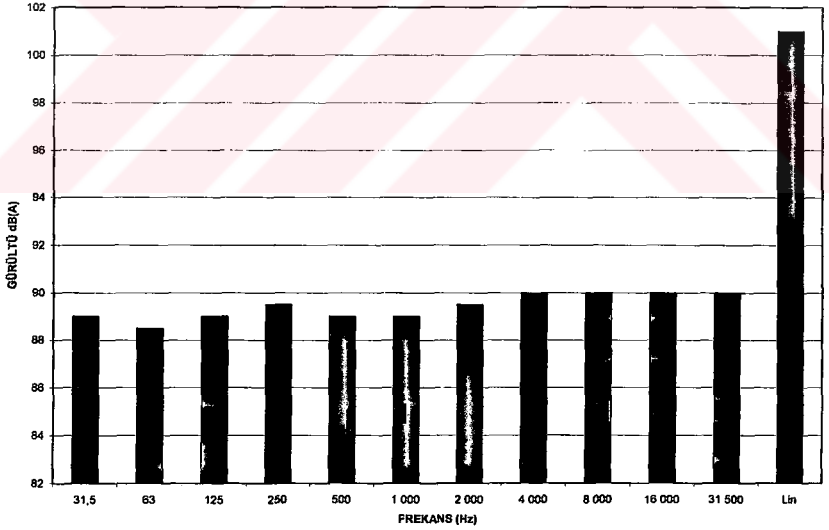
Araştırmayla belirlenen çeşitli alet ve makinaların gürültü düzeylerini gösteren grafik sonuçlar, şekil 4.1'den başlayarak 4.12 b'ye kadar sunulmuştur.



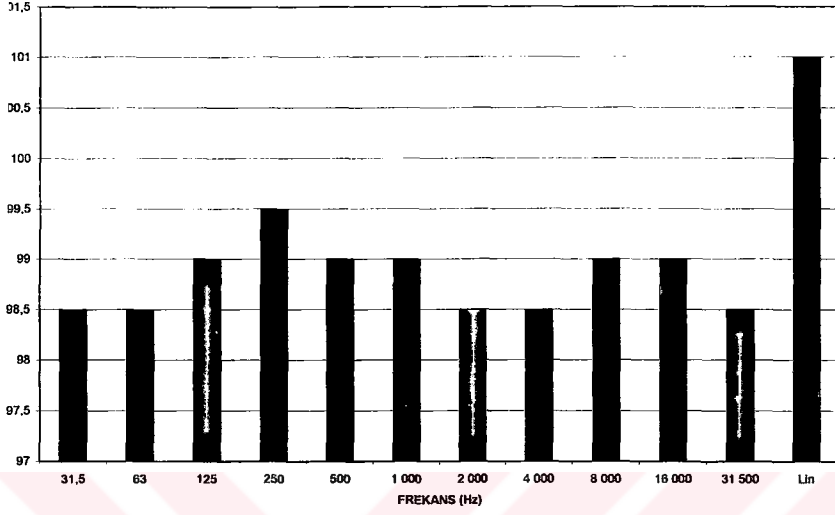
Şekil 4.1. T₁ + B₁'e ait gürültü düzeyleri.



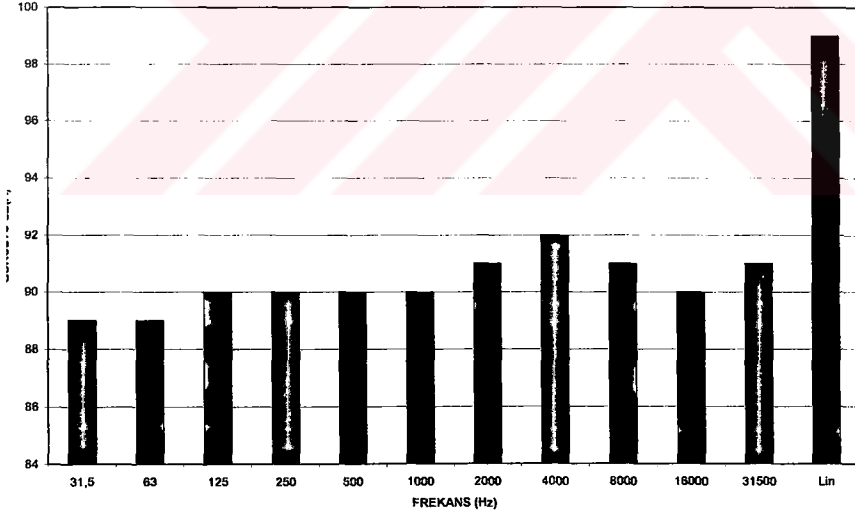
Şekil 4.2. B₂'ye ait gürültü düzeyleri.



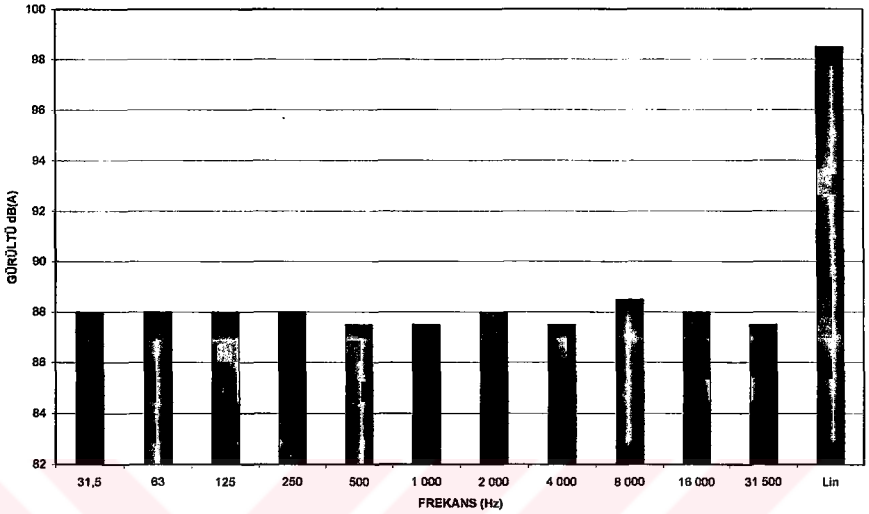
Şekil 4.3. T₂ + C₁'e ait gürültü düzeyleri.



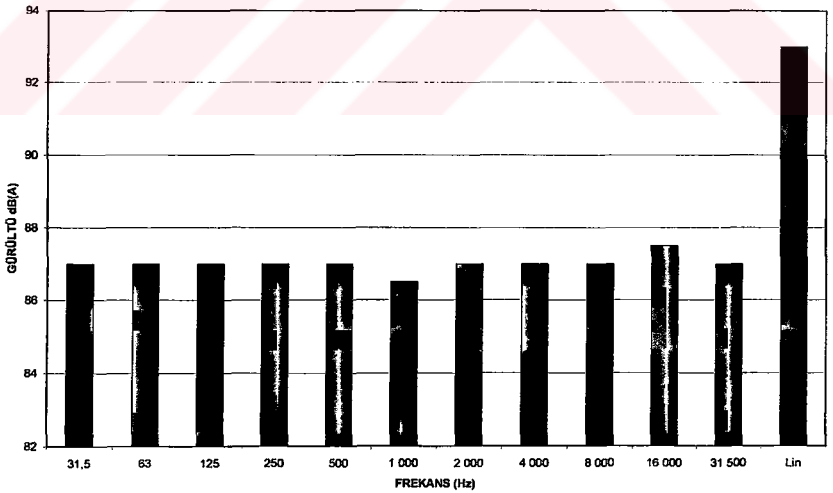
Şekil 4.4. C_2 'ye ait gürültü düzeyleri.



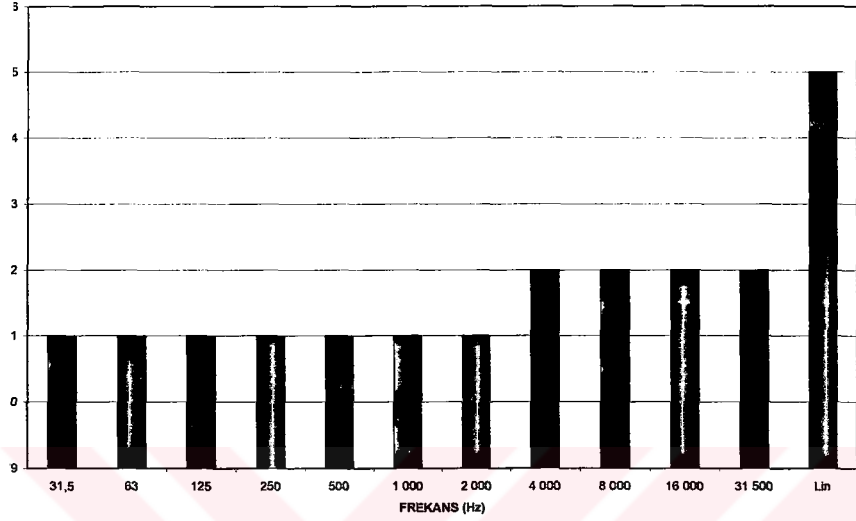
Şekil 4.5. $T_2 + E_1$ 'e ait gürültü düzeyleri.



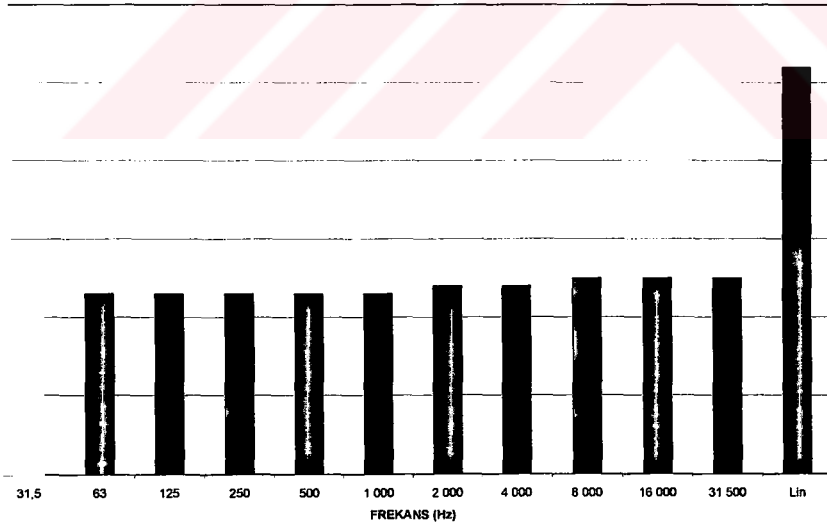
Şekil 4.6. $T_2 + E_2$ 'ye ait gürültü düzeyleri.



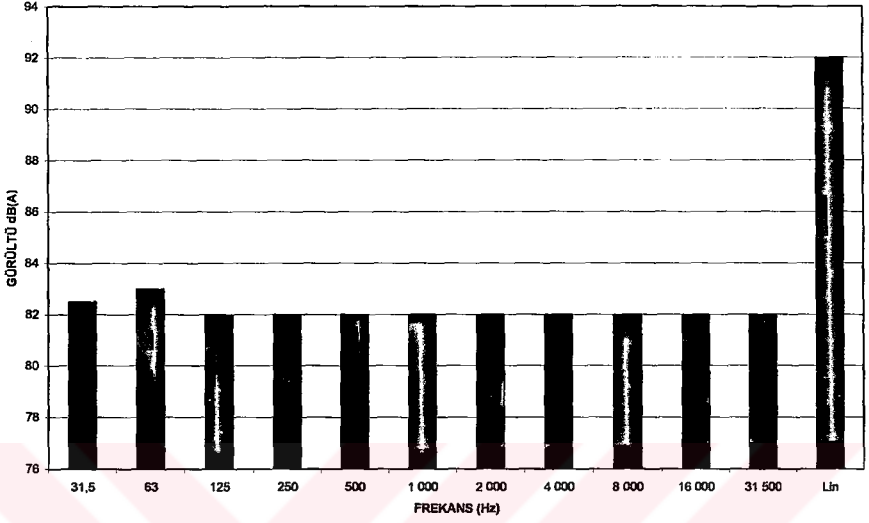
Şekil 4.7. $T_3 + K$ 'ya ait gürültü düzeyleri.



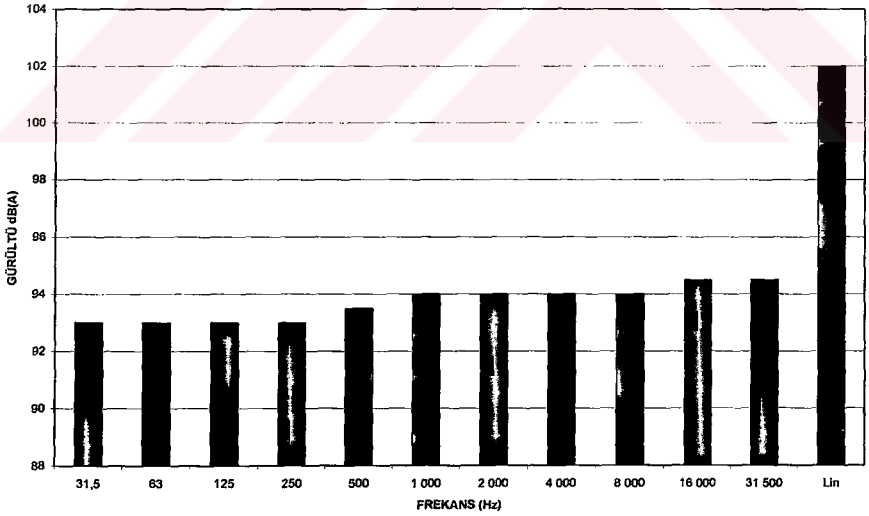
Şekil 4.8. M'ye ait gürültü düzeyleri.



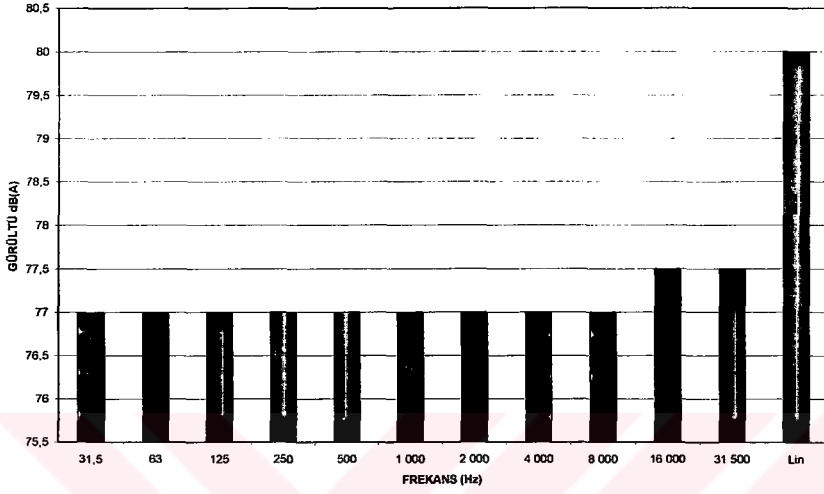
Şekil 4.9. T₁ + P'ye ait gürültü düzeyleri



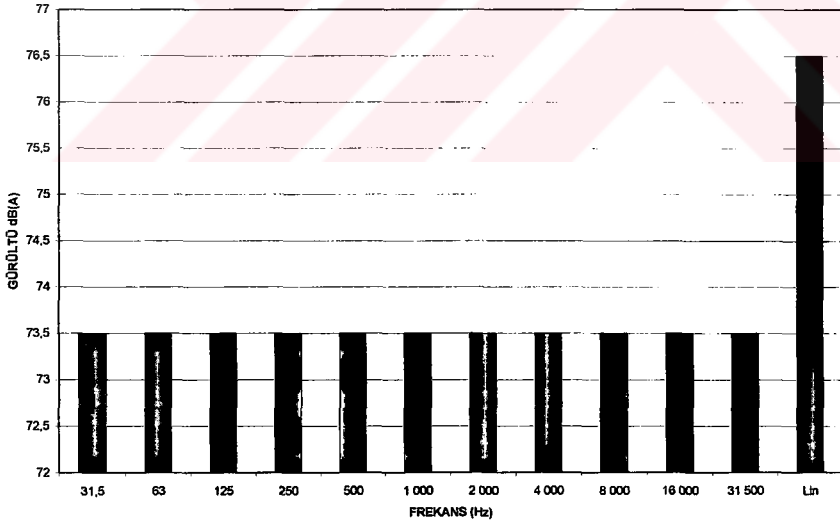
Şekil 4.10. S₁'e ait gürültü düzeyleri



Şekil 4.11. T₂ + S₂'ye ait gürültü düzeyleri.



Şekil 4.12 a. S_3 'e ait gürültü düzeyleri (İnsan kulağında).



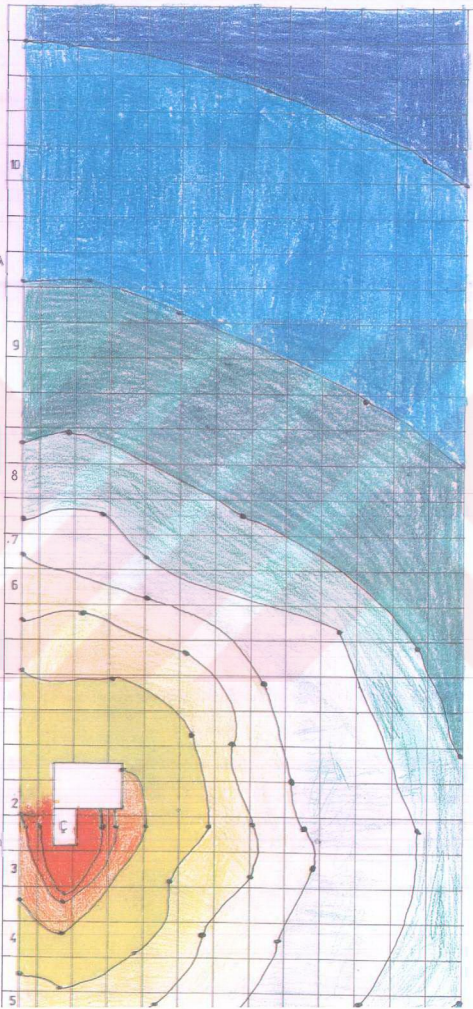
Şekil 4.12 b. S_3 'e ait gürültü düzeyleri (Hayvan kulağında).

4.2. Gürültü Haritaları

Kapalı yerlerde çalıştırılan çekiçli yem kırma makinası (şekil 4.13), mikser (şekil 4.14) ve selektör (şekil 4.15) için hazırlanmış gürültü haritaları aşağıda verilmiştir.

CIZGI NO	GÜRÜLTÜ DÜZEYİ (dBA)
1	98
2	96
3	93
4	85
5	81
6	74
7	66
8	58
9	51
10	41

1cm=1.5m

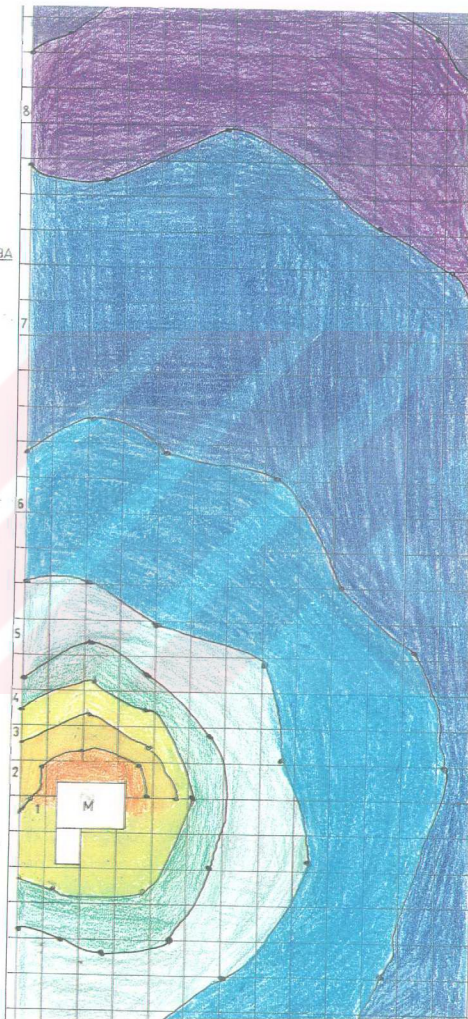


ŞEKİL 4.18 Çekiçli yarı kırma makinesine ait gürültü haritası.

CİZGİ NO	GÜRÜLTÜ DÜZEYİ dBA
1	81
2	77
3	74
4	68
5	60
6	49
7	40
8	31

1cm=1,5m

SEKİL 4.14. Mikserle ait gürültü haritası.



CIZGINO GÜRÜLTÜ DÜZEYİ dBA

1	82
2	79
3	74
4	66
5	58
6	50
7	44

1cm=1,86m

SEKİL 4.15. Sektöre ait gürültü haritası.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tartışma

Gürültüye bağlı işitme kayıpları, ortam gürültüsü 90 dB'in üstünde olan yerlerde görülmektedir (Erkan 1988). Gürültü 90 dB'i aşarsa sözle anlaşma imkanı kaybolmaktadır (Şimşek 1994). İzin verilen gürültü düzeyi, gürültü düzeyinin yüksekliğine ve gürültü etkisi altında kalma süresine bağlıdır. Çoğu ülkenin standartlarıncı izin verilen gürültü düzeyi, 8 saatlik bir iş günü boyunca genellikle 85-90 dB(A)'dır (Koç 1997). 85 dB(A)'nın üzerindeki seslerin geçici veya kalıcı işitme yeteneği kayıpları gibi etkileri vardır. Bu nedenle Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), 85 dB(A)'yı uyarı sınırı 90 dB(A)'lık gürültü düzeyinin tehlike sınırı kabul etmiştir (Sabancı 1988), (Alibaş ve Tunçkal 1997). Bu çalışmada standartlarda verilen 85 dB(A)'lık gürültü düzeyi uyarı sınırı, 90 dB(A)'lık gürültü düzeyi ise tehlike sınırı olarak alınmıştır.

Buna göre ses düzeyleri belirlenen tarımsal makina ve ekipmanlarına ilişkin aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilmektedir:

1. Balya Makinası (B₁):

Bu makinayla çalışmada kaydedilen en yüksek gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 84 dB(A)'dır. Bu değer standartlarda izin verilen 90 dB(A)'lık değerinin altındadır. Ancak standartlarda verilen 90 dB(A)'lık değerinin tehlike sınırı olarak verildiği, 85 dB(A)'nın ise uyarı sınırı olarak verildiği gözönünde bulundurulursa, balya makinasının gürültü düzeyi uyarı sınırındadır ve ayrıca ölçülen değer kabin içine ait olduğundan, balya makinasının gürültü düzeyinin biraz daha düşürülmesi gereklidir.

2. Biçerdöver (B₂):

Ölçümler sonucunda biçerdöverin en yüksek gürültü düzeyi, 4 000 Hz'de 90 dB(A) olarak belirlenmiştir ve bu değer standartlarda tehlike sınırı olarak verilen değerdir. 90 dB(A)'lık gürültü düzeyinin yapılacak gürültü kontrolü çalışmalarıyla gürültü düzeyi öncelikle 85 dB(A)'ya düşürülmelidir. Gürültünün azaltılmasında başvurulabilecek ilk önlem olarak operatör kabini belirtilebilir.

3. Çayır Biçme Makinası (C₁):

Çayır biçme makinasının gürültü düzeyi, 4 000 Hz'de 90 dB(A)'dır ve standartlarda tehlike sınırı olarak verilen değerdedir. 90 dB(A)'lık gürültü düzeyinin, çalışanların sağlığı açısından yapılacak gürültü kontrolü çalışmalarıyla öncelikle 85 dB(A)'ya düşürülmesi sağlanmalıdır. Gürültü azaltılması çalışmasında ilk olarak, gürültüye neden olan işleyen parçaların bakımının yapılması sağlanmalıdır. Ayrıca bu makinanın gürültü izolasyonu yapılmış başka bir kabinli bir traktörle çalıştırılması gereklidir.

4. Çekiçli Yem Kırma Makinası (C₂):

Kapalı alanda çalıştırılan çekiçli yem kırma makinasının gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 98,5 dB(A)'dır. Şekil 4.13'teki haritadan da görüleceği üzere kırmızı olan bölge de, gürültü sorunu yoğun olarak yaşanmaktadır. Bu bölgede çalışan herkes risk altındadır ve dolayısıyla bu bölgede gürültü açısından önlem alınması gerekmektedir. Gürültü düzeyi daha düşük bir makinayla çalışmanın mümkün olmaması durumunda, makinanın tamamının ya da makinanın ana gürültü kaynağının bir hücre (odacık) içine alınmasıyla gürültü kontrolü sağlanabilir. Ancak en son çare olarak çalışanların kulak koruyucusu kullanmaları yararlı olacaktır.

5. Ekim Makinası (E₁):

Ekim makinasının gürültü düzeyi yapılan ölçümler sonucunda 4 000 Hz'de 92 dB(A) olarak belirlenmiştir. Bu makinada gürültü kontrolü açısından alınabilecek önlemler şöyle sıralanabilmektedir:

- a) Gürültü düzeyinin yüksek olması nedeniyle ilk aşamada, gürültü düzeyi maksimum 85 dB(A) olan başka bir makinayla değiştirilmelidir. İşletme açısından bunun zorluğu açıktır.
- b) Ekim makinası kabinli bir traktörle çalıştırıldığı halde gürültü düzeyinin yüksek çıkması sebebiyle, bu gürültü düzeyinin çalışanlara zarar vermesini önlemek için, kabinin gürültü izolasyonu yapılmalı veya gürültü izolasyonu yapılmış başka bir kabinli traktörle çalıştırılmalıdır. 85 dB(A)'nın üzerindeki seslerin geçici veya kalıcı işitme yeteneği kayıpları gibi etkileri vardır. Bu nedenle 85 dB(A)'nın altına düşürülmelidir.
- c) En son çare olarak kulak koruyucu kullanılmalıdır. Burada kulak koruyucusu olarak kulak manşonu kullanılmalıdır.

6. Pnömatik Ekim Makinası (E₂):

Pnömatik ekim makinasının gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 87,5 dB(A) olarak belirlenmiştir. Hatta 8 000 Hz'de 88,5 dB(A)'ya kadar çıkmaktadır. Pnömatik ekim makinasının gürültü düzeyi, standartlarda izin verilen 90 dB(A)'lık değerin altındadır. Ancak gürültü düzeyinin 85 dB(A)'nın altına düşürülmesi çalışanların sağlığı açısından iyi olacaktır. Bu makinada bakım ve onarımla bu gürültü miktarı düşürülebilir. Ayrıca, kabinle makina arasına gürültüyü önleyecek plakalar konulabilir.

6. Kazayağı (K):

Kazayağının çalışması sırasındaki gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 87 dB(A) olarak belirlenmiştir. Kazayağıyla çalışma sırasında ortaya çıkan gürültü miktarının düşürülmesi gerekmektedir. Kabinli traktörle kullanılması veya kişisel koruyucular kullanılmalıdır. Burada kulak koruyucusu olarak kulak tıkacı kullanılabilir.

7. Mikser (M):

Çapalı alanda çalıştırılan makinalardan mikserin gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 82 dB(A) olarak belirlenmiştir. Standartlarda izin verilen değer in altında olduğundan herhangi bir gürültü kontrolü çalışması yapılmasına gerek yoktur. Ayrıca şekil 4.14'te belirli noktalar dan ölçüm alınarak hazırlanmış gürültü haritası verilmiştir.

8. Kombine Pancar Hasat Makinası (P):

Ölçümler sonucunda kombine pancar hasat makinasının çalışma koşullarındaki gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 87 dB(A) olarak belirlenmiştir. Bu değer, standartlarda verilen 90 dB(A)'lık tehlike sınırının altındadır. Ancak, 85 dB(A)'lık uyarı sınırının üstünde olduğundan gürültü düzeyinin yapılacak gürültü kontrolü çalışmaları ile biraz düşürülmesi gerekmektedir. Bunlar arasında gürültüye neden olan parçalarının değiştirilmesi ve bakımının yapılmasıyla gürültünün düşürülmesi veya kişisel koruyucular kullanılmalıdır. Burada kulak koruyucusu olarak kulak tıkacı kullanılabilir.

10. Selektör (S₁):

Selektörün gürültü düzeyi ise, 4 000 Hz'de 82 dB(A) olarak belirlenmiştir. Bu değer standartlarda izin verilen değerinin altında olduğundan herhangi bir gürültü kontrolü çalışması yapılmasına gerek yoktur. Selektörde kapalı alanda çalıştırıldığından şekil 4.15'te verilen gürültü haritası hazırlanmıştır.

11. Silaj Makinası (S₂):

Silaj makinasının gürültü düzeyi 4 000 Hz'de 94 dB(A) olarak belirlenmiştir. Bu makinede gürültü kontrolü açısından alınabilecek önlemler şunlardır:

- a) Gürültü düzeyinin yüksek olması nedeniyle gürültü düzeyi standartlarda izin verilen maksimum 85 dB(A) olan başka bir silaj makinasıyla değiştirilmelidir. İşletme şartları göz önünde bulundurulduğunda bunun zorluğu görülecektir. Bu nedenle 94 dB(A)'lık gürültü düzeyi, gürültü kontrolü çalışmalarında ikinci aşama olan gürültünün yayılmasını önleme yöntemleriyle öncelikle 85 dB(A)'lık gürültü düzeyine düşürülmelidir.
- b) Traktör kabininin gürültü izolasyonu daha iyi yapılmalıdır.
- c) En son çare olarak kulak koruyucu kullanılmalıdır. Burada kulak koruyucusu olarak baret kullanılması uygun olacaktır.

12. Süt Sağım Tesisi (S₃):

Süt sağım tesisinde 4 000 Hz'de ölçülen gürültü düzeyleri, insan kulağında 77 dB(A), hayvan kulağında ise 73,5 dB(A) olarak belirlenmiştir. Gürültü düzeyi standartlarda izin

n değerin altındadır. Ayrıca yapılan bir araştırmada, büyükbaş hayvanların 90 k gürültüden rahatsız olduğu belirlenmiştir (Alibaş ve Tunçkal 1997). Ölçülen y büyükbaş hayvanlar için belirlenen sınırın altındadır. Bu nedenle herhangi bir ltü kontrolü çalışması yapılmasına gerek yoktur.

. Sonuç

erinde yapılan ölçüm, inceleme ve araştırmalar ve ayrıca kaynak taramasına göre şağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Ülkemizde kullanılan bazı tarım makinalarında gürültü sorununun yaşandığı belirlenmiştir. Bunlar arasında; biçerdöver, traktörle çalıştırılan çayır biçme makinası, kombine ekim makinası, silaj makinası ve çekiçli yem kırma makinası sayılabileceğı tespit edilmiştir.
2. Gürültünün önlenmesinde temel prensip, gürültü çıkaran makinaların daha az gürültü çıkaran makinalarla, yani, gürültü limitleri belirlenmiş ve bunun da en fazla 85 dB(A) olduğu makinalarla değiştirilmesidir. Ancak, bu durumun, işletme şartları göz önüne alındığında, ekonomik açıdan büyük bir yatırım maliyeti getirmesi sebebiyle uygulanabilir olmadığı gözlenmiştir.
3. Mevcut makina ve ekipmanlarda bulunan gürültü önleyicilerin (traktör kabinleri gibi) pek sağlıklı olmadığı gözlemlenmiştir. Gürültü önleyicilerin rehabilitasyonunu sağlayacak çalışmaların yapılmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir.
4. Ekonomik şartlar göz önünde bulundurularak alınabilecek en önemli önlemin çalışanların korunmasına yönelik olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu çözümün de en son çözüm olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular göz önüne alınarak Türkiye genelinde kullanılan tüm tarım makinalarının da gürültü seviyelerinin belirlenmesi ve böylece bu alanda bir standardizasyona gidilmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alibaş, K. ve Tunçal, C., 1997. Arabalı Süt Sağım Makinalarında Gürültü ve En Tüketimi Yönünden En Uygun Vakum Pompası Susturucu Sistemi Belirlenmesi Üzerinde Karşılaştırmalı Bir Araştırma, Tarım Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı 708 – 723, Tokat.
- Anonymous, 1972. Impulse Precision Sound Level Meter Brüel&Kjaer Type 220 Instructions and Applications, Denmark.
- Anonymous, 1974. Gürültü, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: EN-Ç (2) 15, Ankara.
- Anonymous, 1977. Akustik-Ses Şiddeti Seviyesini Hesaplama Yöntemi, TS 2494, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1979. Handbook of Noise and Vibration Control, Trade and Technical Press Ltd., England.
- Anonymous, 1990. Ses Seviyesi Ölçme Aletleri, TS 8535, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1991. Akustik-Gürültü Kaynaklarının Ses, Güç Seviyelerinin Tayini-Rasat Metodu, TS 8958, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1998. Türkiye'nin Çevre Sorunları, Türkiye Çevre Vakfı Yayın No: 131, Ankara.
- Başaran, İ.E., 1981. Ses Frekans Tekniği, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Chen, P., Sun, Z. and Huang, L., 1992. Factors Affecting Acoustic Responses Of Apples, Transactions of the ASAE, 35 (6): 1915-1920, Michigan.
- Chen, H., De Baerdemaeker, J., 1993. Effect of Apple Shape on Acoustic Measurements of Firmness, J. Agric. Engng Res.: 56, 253 – 266.
- Diñçer, H., 1977. Ergonomi ve Tarım Tekniğindeki Yeri, Türkiye Ziraî Donatım Kurumu Mesleki Yayınları, Ankara.
- Erkan, N., 1988. Ergonomi. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 373, Ankara.
- Galili, N., Shmulevich, I. and Benichou, N., 1998. Acoustic Testing of Avocado for Fruit Ripeness Evaluation, Transactions of the ASAE, 41 (2): 399 – 407, Michigan.
- Harris, C.M., 1976. Handbook of Noise Control. McGraw-Hill. NewYork.
- Işıl, B., 1951. Ergonomi, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İzmit.
- İncir, G., 1986. Ergonomi, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 240, Ankara.
- Koç, C., 1997. İşyerinde Gürültü, Uluslararası Çalışma Örgütü, Ankara.
- Leviticus, L.I. and Sampson, B.T., 1996. Nebraska and OECD Tractor Test Data for 1996, University of Nebraska, Lincoln.
- Massie, D., Slaughter, D., Abbott J. and Hruschka, W., 1993. Acoustic, Single – Kernel Wheat Hardness, Transactions of the ASAE, 36 (5): 1393 – 1398, Michigan.
- Mexas, S., Brusewitz, G.H., 1987. Acoustic Grain Moisture Meter. Transactions of the ASAE. 30 (3): 853-857, Michigan.
- Meyer, M.E., Schwab, C.V. and Bern, C.J., 1993. Tractor Noise Exposure Levels for Bean-bar Riders. Transactions of the ASAE. 36(4): 1049-1056. Michigan.
- Orhun, H., 1982. Tekstil Sanayiinde Gürültü Sorunu ve Çözümü, Türkiye Tekstil, Örne ve Giyim Sanayii İşçileri Sendikası Yayınları, Ankara.
- Önal, H., 1996. Ses Düzeyinin Ölçülmesinde Basınca mı Dayanmalı Yoksa Güce mi?. Otomasyon, 54:96-97. İstanbul.

- üven, N., 1986. Endüstriyel Gürültü Kontrolü, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 118, Ankara.
- erson, A.P.G., Gross, E.E., 1963. Handbook of Noise Measurement. General Radio Company. Massachusetts.
- ni, L., Vassalini, G., Xu, F. and Zhang, L.B., 1999. Vibration and Noise of Small Implements for Soil Tillage. Journal of Agricultural Engineering Research. 74: 403-409, Silsoe Bedford.
- ancı, A., 1988. Tarımsal Mekanizasyonda Ergonomik Sorunlar ve Ülkemizde Durum, Ergonomi ve Tarımsal Mekanizasyon 1. Ulusal Kongresi, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 372, s: 333 – 344, Ankara.
- ia, L.A., 1973. Units of Physical Quantities and Their Dimensions. MIR Publishers. Moscow.
- acked, B., 1984. Applied Ergonomics Handbook, Butterworth Scientific, London.
- giyama, J., Otobe, K., Hayahsi, S. and Usui, S., 1994. Firmness Measurement of the ASAE, 37 (4): 1235-1241, Michigan.
- şek, M., 1994. Mühendislikte Ergonomik Faktörler, Marmara Üniversitesi Yayınları No: 547, İstanbul.
- rner, J.D. and Pretlove, A.J., 1991. Acoustics for Engineers. MacMillan Education Ltd., New York.
- iver, B., 1995. Madencilik Faaliyetleri Sırasında Oluşan Gürültünün İşçi Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkilerinin İncelenmesi, Uluslararası Madencilikte İşçi Sağlığı ve Çevre Konferansı, Ankara.
- atandaş, M., Gürhan, R. ve Özgüven, M.M., 2000. Gürültü ve Ölçümü, Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı 515-521, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Ankara'da 1976 yılında doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1992 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde 1997 yılında Ziraat Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Halen Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.