



**KAPALI ÇALIŞMA ORTAMLARINDA GÜRÜLTÜ HESAPLAMA
YÖNTEMİ**

HAKAN GÜNDÜZ

AĞUSTOS 2022

ÇANKAYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

**KAPALI ÇALIŞMA ORTAMLARINDA GÜRÜLTÜ HESAPLAMA
YÖNTEMİ**

HAKAN GÜNDÜZ

AĞUSTOS 2022

ÖZ

KAPALI ÇALIŞMA ORTAMLARINDA GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİ

GÜNDÜZ, Hakan

İş sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Benhür SATIR

Ağustos 2022, 60 sayfa

Fabrika ve atölye benzeri kapalı çalışma ortamlarında, çeşitli kaynaklardan (makine ve ekipmanlar gibi sabit kaynaklar veya araçlar gibi hareketli kaynaklar) dolayı oluşan gürültü, en mühim ergonomik konulardan birisidir. Bu tip imalat merkezlerinde gürültünün çoğunluğunu genellikle sabit kaynaklar oluşturmaktadır. Gürültü haritası diye adlandırılan, imalathanenin kuşbakışı yerleşim planı üzerinde gürültü değerlerini (genellikle dBA cinsinden) eş eğriler ile gösteren krokiler, konunun uzmanlarınca imalathanede uzun süren ölçümler alınarak yüksek bedellerle hazırlanmakta, çalışanların gürültü maruziyetlerine göre alınacak tedbirler 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunundaki gürültü maruziyet limit ve uygulamalarına göre bu gürültü haritaları baz alınarak işyerince düzenlenmektedir.

Gürültüyü olduğu gibi kabul ederek kanunen ona uygun aksiyonlar almanın yanısıra, gürültü ile mücadele etmek de çok mühim bir konudur. Sabit gürültü kaynaklarının bulunduğu bir kapalı çalışma ortamındaki gürültünün, çalışma ortamının değişik noktalarındaki değerini hesaplamaya yönelik bir hesaplama yöntemi geliştirmek ve böylece gürültü haritasını daha kısa sürede ve ucuz maliyetle oluşturmak oldukça önemli bir iyileştirmedir. Bu hesaplama yöntemi sonucunda işletmede çalışanları gürültünün etkilerinden korumaya yönelik tedbirler oluşturulabilecektir ve gürültüyü maruz kalan kişide kontrol altına almak için

işletmedeki çalışanların maruziyet değerlerini önceden hesaplamak sureti ile önlem planlamak mümkün olacaktır.

Ses güç seviyesi belirsiz bir ses kaynağı için, sesin soğurulma ve yankılanmasını gösteren oda sabiti değeri belirsiz bir kapalı ortamda, herhangi bir noktada gürültü değerinin hesaplanabilmesini sağlamak bu çalışmanın ana hedefidir. Çoklu ses kaynakları için yöntemimiz genelleştirildiğinde, pratik hayatta olan üretim tesis koşullarında rastlanan ses güç seviyesi belirsiz makineler ve oda sabiti belirsiz kapalı retim alanlarında gürültü haritası oluşturmak ve nlemler belirlemek mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Gürültü, Ses Basınç Seviyesi



ABSTRACT

NOISE CALCULATION METHOD IN CLOSED WORKING ENVIRONMENTS

GÜNDÜZ, Hakan

Master of Science in Occupational Health and Safety

Supervisor: Dr. Instructor. Behür SATIR

August 2022, 60 pages

Noise caused by various sources (fixed sources such as machinery and equipment or moving sources such as vehicles) in closed working environments such as factories and workshops is one of the most important ergonomic issues. In this type of manufacturing centers, the majority of the noise is usually from stationary sources. The sketches that show the noise values (usually in dBA) on the bird's-eye layout plan of the workshop, called as the noise map, are prepared at high prices by taking long-term measurements in the workshop by the experts of the subject. It is arranged by the workplace based on these noise maps according to the applications and practices.

Besides accepting the noise as it is and taking legal actions, it is also very important to struggle with noise. Developing a noise calculation method to be used for different locations in a closed working environment with fixed noise sources and help to produce the noise map with less time and cost using the method would be a good improvement. As a result of this calculation method, measures can be created to protect the employees in the enterprise from the effects of noise, and it will be possible to plan measures by calculating the exposure values of the employees in the enterprise in order to control the noise in the exposed person.

The main goal of this study is to enable calculation of noise level at any location of a closed room, where the room constant defining the absorption and the reverberation is unknown, caused by a sound source with unknown sound power level. When our method is generalized to multiple sound sources, it would be possible to produce noise map and take precautions against noise for production facilities having machines with unknown sound power levels and closed working environments with unknown room constants.

Keywords: Ergonomics, Noise, Sound Pressure Level



TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sırasında; değerli vaktini esirgmeden sorularımı hibir zaman cevapsız bırakmayan, danıŐtıęım tım sorunları özen, yol gösteren, gelecekteki meslek hayatım için örnek aldığım, tez çalışması sürecinde yardım ve katkılarıyla beni bilgilendiren ve yönlendiren tez danıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Benhür SATIR'a ve bu çalışmada ölçüm setlerini oluşturmak için kullandığım ankaya Üniversitesi Spor Salonu çalıŐanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZDE İNTİHAL OLMADIĞINA DAİR BEYAN SAYFASI	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM I	
GİRİŞ	1
1.1. PROBLEM TANIMI	1
1.2. SES VE DUYUM.....	3
1.2.1. Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level: <i>SLP</i>).....	3
1.2.2. Ses Güç Seviyesi(Sound Power Level: <i>SLW</i>)	4
BÖLÜM II	
GÜRÜLTÜ, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ.....	5
2.1. GÜRÜLTÜNÜN İSG'DEKİ ÖNEMİ.....	5
2.2. GÜRÜLTÜYLE MÜCADELEDE MEVZUAT	6
BÖLÜM III	
GÜRÜLTÜNÜN YAYILIMI	8
3.1. SERBEST YAYILIM	8
3.1.1. Sesin mesafeye göre değişimi.....	8
3.2. KAPALI ORTAMDA YAYILIM.....	9
3.2.1. Kapalı ortamlarda sesin soğrulması ve yansımaları	10
3.2.2. Kapalı ortamlarda Oda sabiti	11
3.2.3. Kapalı ortamlarda ses kaynağının yönselliği	12
3.2.4. Kapalı ortamlarda sesin engellerden yansımaları ve kırınımı	14

3.2.5. Hava Şartlarının Ses Basınç Seviyesine Etkisi.....	16
BÖLÜM IV	
GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	18
4.1. GÜRÜLTÜ HARİTALARI.....	18
4.2. GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	19
BÖLÜM V	
GEREÇLER VE UYGULAMA.....	21
BÖLÜM VI	
SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ.....	23
6.1. BÜYÜK SPOR SALONU(BSS) ÖLÇÜMLERİ.....	23
6.2. STÜDYO-2 ÖLÇÜMLERİ.....	26
6.3. STÜDYO-3 ÖLÇÜMLERİ.....	29
BÖLÜM VII	
REGRESYON ANALİZİ VE BULGULAR.....	33
7.1. BSS SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ	35
7.2. STÜDYO-2 SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ	36
7.3. STÜDYO-3 SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ	38
7.4. GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİNİN GENEL BİR	
DEĞERLENDİRMESİ.....	39
BÖLÜM VIII	
SONUÇ.....	41
KAYNAKÇA	44

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2. 1: Farklı gürültülerin ses basınç seviyeleri	5
Tablo 2. 2: 6331 sayılı İSG Kanununa bağlı yönetmelikte Maruziyet Eylem/Sınır Değerleri	7
Tablo 2. 3: ABD Mevzuatına Göre Gürültü Düzeyleri ve Çalışma Süreleri	7
Tablo 3. 1: Yansıtıcı yüzeye yakın gürültü kaynağının Yönsellik Faktörü ve Yön indisleri	13
Tablo 6. 1: BSS içerisinde kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri	25
Tablo 6. 2: Stüdyo-2’de kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri	28
Tablo 6. 3: Stüdyo-3’de kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri	31
Tablo 7. 1: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri	35
Tablo 7. 2: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logatitmik sonuçları	35
Tablo 7. 3: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SLW ve R değerleri.....	36
Tablo 7. 4: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri	36
Tablo 7. 5: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logatitmik sonuçları	37
Tablo 7. 6: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SLW ve R değerleri	37
Tablo 7. 7: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri	38
Tablo 7. 8: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logatitmik sonuçları	38

Tablo 7. 9: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SLw ve R değerleri	39
Tablo 7. 10: Ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SLwort ve Rort değerleri	40



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1: Bir kaynaktan çıkan gürültünün serbest yayılma gösterimi	8
Şekil 3. 2: Ses dalgalarının uğrayabileceği değişimler	9
Şekil 3. 3: Yönsellik Faktörünün kaynağın konumuna göre farklı değerleri	14
Şekil 3.4. 1: Kaynak ve alıcı arasına bariyer konulduğunda sesin uğrayabileceği değişimler	15
Şekil 3.4. 2: Kaynak ve alıcı arasına bariyer konulduğunda ses yolunun artması.....	16
Şekil 4. 1: Bir dokuma ünitesindeki gürültü haritası ve makine konumu	18
Şekil 5. 1: Ses Seviye Ölçeri (Sound Level Meter)	22
Şekil 5. 2: Kalibratör.....	22
Şekil 5. 3: Lazermetre.....	22
Şekil 5. 4: Taşınabilir Şarjlı Hoparlör	22
Şekil 6. 1: BSS boyutları ve ses kaynağı konumları.....	23
Şekil 6. 2: BSS fotoğrafı.....	24
Şekil 6. 3: BSS fotoğrafı.....	24
Şekil 6. 4: Stüdyo-2 boyutları ve ses kaynağı konumları	26
Şekil 6. 5: Stüdyo-2 fotoğrafı	27
Şekil 6. 6: Stüdyo-2 fotoğrafı	27
Şekil 6. 7: Stüdyo-3 boyutları ve ses kaynağı konumları	29
Şekil 6. 8: Stüdyo-3 fotoğrafı	30
Şekil 6. 9: Stüdyo-3 fotoğrafı	30

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

m	:Metre
sn	:Saniye
kHz	:KiloHertz
dB	:desiBell
μ	:Mikro
Pa	:Paskal
ρ	:Hava yoğunluğu
c	:Sesin hızı
R	:Oda sabiti
D	:Yönsellik faktörü
DI	:Yön indisi
α	:Soğurma katsayısı

Kısaltmalar

<i>SLP</i>	:Ses Basınç Seviyesi
<i>SLW</i>	:Ses Güç Seviyesi
İSG	:İş Sağlığı ve Güvenliği
dB(A)	:A ağırlıklı filtreme ile desiBell birimi
dB(C)	:C ağırlıklı filtreme ile desiBell birimi
BSS	:Büyük Spor Salonu
<i>ort</i>	:Ortalama

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. PROBLEM TANIMI

Kapalı bir ortamda bir ya da daha fazla gürültü kaynağının belirli mesafede oluşturduğu gürültü seviyesi, ses seviyesi ölçerler (Sound Level Meter, SL Meter) ile ölçülebilmektedir. Ölçülen gürültü seviyesi(Ses Basınç Seviyesi), gürültü kaynağının bulunduğu yerdeki gürültü seviyesine(Ses Güç Seviyesi), kapalı ortamın gürültüyü ne kadar soğurduğu ve yansıttığı ile ilişkili olan ortamın karakteristik özelliklerine(Oda Sabiti), gürültü kaynağının var olan konumuna da bağlı olan ve kaynağın hangi yönde gürültü yaydığına(Yönsellik Faktörü), gürültü seviyesinin ölçüldüğü konumun kaynağa olan uzaklığına(Mesafe) ve ölçümün yapıldığı ortamın hava şartlarına(Sıcaklık, basınç, nem vb.) bağlıdır. Ölçülebilen gürültü seviyesini hesaplayabilmek için de gürültü kaynağına, kaynağın bulunduğu ortama özgü parametreleri önceden bilmek, öngörmek gereklidir. Kaynağa özgü parametreleri, ses güç seviyesi, yönsellik faktörü olarak ve ortama özgü parametreleri de, oda sabiti ve ortamın hava şartları olarak gruplandırabiliriz. Burada, kaynağın yönsellik faktörünün kaynağa özgü bir parametre olduğu kadar kaynağın bulunduğu konuma da bağlı(Duvar yakını, tavana asılı olma, hem zemin hem de bir ya da daha fazla yansıtıcı yüzeye yakın olma) bir parametre olduğunu belirtmemiz gerekir. Bu parametreleri göz önünde bulundurarak, kaynaktan belirli bir mesafede gürültü seviyesini(Ses basınç seviyesi) hesaplayabiliriz. Hesaplanan gürültü seviyesinin ölçülen gürültü seviyesiyle tutarlılığı, uygulanacak hesaplama yönteminde yukarıda sıraladığımız parametrelerin ne derece doğru bilgisine ulaştığımızla ilişkilidir. Çünkü gürültü kaynağının ses güç seviyesi ve kapalı ortamın oda sabiti değerleri var olan çalışma ortamlarında kolay ulaşılabilen veriler değildir. Kaynağın ses güç seviyesi, kaynağın özelliklerine bağlıdır. Ses kaynağının, örneğin bir makinenin, çalıştırıldığı

elektriksel güce ve ses kaynağını oluşturan tekil elemanların oluşturduğu ses seviyelerine ve bu elemanların yapısal özelliklerine bağlıdır. Kaynağın ses güç seviyesinin doğru bilgisine ulaşmak için kaynağı oluşturan elemanların tek tek yapısal özelliklerini ve kaynak birden fazla bileşenden oluşuyorsa her bileşenin ayrı ayrı güç seviyesini bilmek gerekir. Bu durumda bu bileşenleri ayrı ayrı çalıştırıp her birinin güç seviyesini ölçümler yaparak belirlemek gerekir ki, kaynak bu bileşenler birlikte çalıştığında beklenen iş verimini almak istediğimiz için var olan işletmelerde tercih edilmeyecektir. Kaynağın ses güç seviyesi, kaynak(makine) için yapılan işe göre değişebileceğinden gerçek hayatta iş yapılırken ölçülmek zorundadır. Farklı işletmelerde farklı elektriksel güçte çalıştırılabileceği(hızlı ya da yavaş gibi) ve kaynağın çalıştırılma süresine göre ses güç seviyesinde değişiklikler olacağı için aynı makine ya da cihazın ses güç seviyesi bilgisi önceden edinebilecek bir bilgi değildir. Belirli bir işyeri ortamında, belirli bir standarda uygun(elektriksel güç seviyesinin sabit tutulduğu belirli zaman dilimleri) çalıştırılan kaynağın ses güç seviyesini, o işyeri ortamında ölçümler alıp, analizler yaparak hesaplayabiliriz.

Ortamın oda sabiti, kaynağın oluşturduğu gürültünün ortamda ne kadar soğrulduğunun ve gürültünün ne kadar yankılandığının bilgisi verir. Bu oda sabiti değerine ulaşmak için de ses güç seviyesinde olduğu gibi bizi zorlu bir süreç bekleyecektir. Kapalı işyeri ortamını oluşturan tüm yüzeylerin yapısal özelliklerinin ve ayrı ayrı ölçülerinin, ortamdaki kapı, pencere ve havalandırma boşluğu gibi açıklıkların ölçülerinin, işyeri ortamında iş akışı içerisinde kullanılan diğer elemanların(farklı makine gövdeleri, bariyerler, bantlar, dolaplar, istiflenen ürünler vb.) yapısal özelliklerinin ve ölçülerinin bilinmesi gerekir ki o kapalı işyeri ortamının oda sabiti değerinin doğru bilgisine ulaşabilelim. Bu yavaş ve zorlu süreci takip etmek yerine, oda sabitini yine ses seviyesi ölçümleri alıp, analizler yaparak hesaplayabiliriz.

Hesaplanan gürültü seviyesinin ölçülen gürültü seviyesiyle tutarlılığını sağlamak için belirli bir çalışma ortamındaki gürültü kaynağının ses güç seviyesi bilgisine ve kapalı ortamın oda sabiti bilgisine ihtiyacımız olacaktır. O işyeri ortamında ses seviyesi ölçerler kullanılarak elde edilen sınırlı sayıda ölçüm setleriyle ve hızlı analizlerle, kaynağın güç seviyesi bilgisine ve oda sabitinin doğru değerine ulaşmış olacağız. Bunun sonucunda, belirli bir konumda bulunan kaynaktan yayılan gürültünün belirli mesafede oluşturduğu ses seviyesini hesaplayabiliriz. Hesaplanan

ses seviyesi değeri mevcut iş sağlığı ve güvenliği kanununda ve ilgili yönetmeliğindeki sınır değerlerinin üzerinde olduğunda, aynı oda içinde aynı gürültü kaynağının farklı konumları için herhangi bir noktadaki ses seviyesi değeri hesaplanabilir ve mevcut iş sağlığı ve güvenliği mevzuatına uygun aksiyonlar başlatılabilir.

1.2. SES VE DUYUM

Bir basınç dalgası olan ses, cisimlerin titreşimi ile oluşan ve hava, su vb. gibi maddenin değişik formlarında tanecikleri sıkıştırarak ve genişleterek ilerleyen dalgadır. Ses dalgaları ilerledikleri malzeme türüne göre maddenin gaz formunda örneğin havada 340 m/sn, sıvı formunda, su ile dolu havuzda 1.490 m/sn, katı formunda, çelikte 5.000 m/sn hızla ilerler. Ses dalgasının ilerlediği ortamdaki parçacıkları birim zamanda ne kadar sayıda titreştirdiği bilgisine sesin frekansı denir. Frekans, saniyedeki titreşim sayısıdır. Hertz birimi kullanılarak frekans değeri ifade edilir.(1 Hertz = 1 çevrim/saniye).

İnsanın duyum organı kulaktır ve kulağımız frekansları 20 ile 20000 Hz (20 kHz) arasında olan sesleri duyabilir. Sesin bir diğer parametresi şiddettir ve ses şiddeti, belirli zaman aralığında belirli bir alandan aktarılan ses dalgalarının enerjisidir. Ses şiddeti watt/m² biriminde gösterilir. Kulağımız, alçak ve tiz sesleri duyabilir. Ses düzeyini ifade etmek için kullanılan bir diğer birim desibeldir (dB). Ses, ortamdaki basınç değişikliklerine neden olduğu için sesin etkisini de basınç kavramıyla açıklıyoruz. Ses basıncı, alıcı(kulak) ile kaynak(hoparlör) arası uzaklığa bağlı olduğundan, kulak seviyesi dikkate alınmalıdır. Sağlıklı bir insan kulağı, 20 µPa ile 200 Pa arasındaki ses basınçlarına duyarlıdır. Bu değerlerden ilki işitme eşiği ve ikincisi ise ağrı eşiği olarak adlandırılır. Desibel (dB) birimi, oran içindeki ses basıncını belirtmek için kullanılır.

Gürültü bir ses dalgasıdır ve istenmeyen ses olarak tanımlayabiliriz. Gürültü, insanlarda belirli bir sistem (işitme sistemi) tarafından algılanır.

1.2.1. Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level: SL_p)

Ses basınç seviyesini ifade etmek için desibel (dB) birimi kullanılır. Logaritmik bir birimdir. Bu birimi kullanarak çok büyük değerleri küçük değerlerle ifade etmek mümkündür. Bu logaritmik birimi, desibel (dB)'i, sesin birimi olarak

ifade edebilmek için referans bir ses seviyesi seçmek gereklidir(20 µPa). Başka bir deyişle, kaynaktan belirli frekanslarda yayılan sesin basınç seviyesinin 20 µPa'a oranı sesin o frekanstaki dB değerini verecektir, yani dB üretilen sesin seviyesinin, referans ses seviyesine logaritmik oranıdır.

Ses Basınç Seviyesi:

$$SL_P = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (1.1)$$

$$P_0 = 0.00002 \text{ Pa}, 10 \text{ Bel} = 1 \text{ desibel} = \text{dB}$$

P : Ortamdaki ses basıncı, P_0 : Minimum ses basıncı (insan kulağı için)

1.2.2. Ses Güç Seviyesi(Sound Power Level: SL_W)

Sesin gücü yani akustik gücün birimi Watt'dır. Sesin gücü, bir sebep iken; örneğin bir makinenin çalışma hızında değişiklik ve farklı elektriksel güç seviyelerinde çalışması farklı akustik güçler oluştururken; Ses basınç seviyesi yani ortamdaki çalışanların hissettiği ses seviyesi bir sonuçtur. Ses kaynağının gücü değiştirildiğinde, ölçülen ya da çalışanın hissettiği ses basınç seviyesi aynı oranda değişmez. Burada, ses kaynağı ile alıcı(ölçüm cihazı ya da çalışanın kulağının hissettiği ses basınç seviyesi) arasındaki yani sesin iletim yolundaki değişkenler hissedilen ses basınç seviyesini etkiler. Ses kaynağının bulunduğu ortamda başka ses kaynaklarının olması, ortamın izolasyonu ve ortamın yansıma, soğurma ve iletim gibi diğer akustik özellikleri ölçülen ya da hissedilen ses basınç seviyesini etkileyecektir. Ses güç seviyesi, bir makine için yapılan işe göre de değişebilecektir.

Ses Güç Seviyesi:

$$SL_W = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (1.2)$$

Referans güç: $w_0 = 10^{-12}$ Watt

$$SL_W = 10 \log_{10} W - 10 \log_{10} W_0 \quad (1.3)$$

$$SL_W = 10 \log_{10} W + 120 \text{ dB} \quad (1.4)$$

BÖLÜM II

GÜRÜLTÜ, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

2.1. GÜRÜLTÜNÜN İSG'DEKİ ÖNEMİ

Endüstrinin gelişimi ile birlikte insan sağlığını etkileyen bir diğer olgu da gürültüdür. Gürültünün insan sağlığına etkisi fizikseldir. İstenmeyen ses, yani gürültü, ses basınç dalgalarının kulak zarını titreştirmesiyle hissedilir. Kulağın iç yapısındaki kulak kemikleri, salyangoz, salyangoz sıvısı, kulak zarının titreşimiyle harekete geçen salyangoz sıvısının hareketi ve saç hücreleri ile gürültü beynimize tarafından algılanır. Kulağımız dış ortamdaki basınç değişimlerine göre beynimize uyarı gönderen bir algıdır ve denge organıdır. Yüksek gürültüye maruz kalındığında insan beyni dış ortamdaki basınç değişimlerine hızlı reaksiyon veremeyeceği için denge kaybı oluşur.

Tablo 2. 1: Farklı gürültülerin ses basınç seviyeleri

Ses Basıncı Seviyesi dB(A)	Gürültü
0	Duyuma duyarılılığının başlangıcı (sadece lab ta ölçülebilir)
10	Düzensiz duyulabilen ses
15 – 20	Kağıt hisirtisi, açık alanda gece sesi
25 – 30	Fısıldama
30 – 40	Sakin yerleşim bölgesi
40 – 50	Alçak ses ile sohbet, sakın büro
50 – 60	Konuşma sesi, daktilo
55 – 65	Elektrikli süpürge
60 – 65	Gürültülü büro
65 – 70	Telefon zili, köpek havlaması, klasik müzik
70 – 80	Yoğun cadde trafiği
80 – 85	Çığlık atmak, bağırarak, torna tezgahı, opera müziği
90 – 100	Yük treni, turbo jeneratör, disco müziği
100 – 110	Gökgürültüsü
110 – 120	Uçak pervanesi, rock müzik
120 – 130	Acı – ağrı sınırı
130 – 150	Jet uçağı motoru
200	Uzay mekiği

Makine ve cihazların çıkardığı sesler, çalışanların makineyle ya da başka aletlerle etkileşimi sonrasında oluşan sesler gürültünün kaynağıdır. Bu yüksek düzeyde istenmeyen seslere sürekli maruz kalındığında ve yeterli tedbirler alınmadığında çalışanlar gürültüden zarar görmeye başlar. Gürültüye maruziyet, işitme duyusuna zarar verebileceği için çalışanlarda işitme kaybı, işitme eşiğinin kayması sonucu çalışma ortamında konuşma ile iletişimin etkisinin azalması ve buna bağlı olarak da başka İSG risklerinin oluşmasına neden olur.

Sürekli işlerin yapıldığı bir ortamda, işyerinde, gürültüye maruz kalındığında çalışanlarda sinir bozukluğu, yorgunluk, uykusuzluk, tedirginlik gibi psikolojik olumsuzluklar da görülebilir.

Bu belirtileri göstermeye başlayan çalışanlarda yapılan işe ve işin yapıldığı ortama güvensizlik başlar, iş verimi azalır ve bu psikolojik olumsuzluklar sonucunda başka güvenlik riskleri ortaya çıkar.

Gürültünün çalışanlar üzerindeki olumsuz fiziksel etkileri ve gürültüye maruziyet sonucunda görülebilen psikolojik olumsuzluklarla gelebilen başka güvenlik risklerinin ortaya çıkması, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında gürültüyle mücadeleyi öncelikli yapmaya başlamıştır[1].

2.2. GÜRÜLTÜYLE MÜCADELEDE MEVZUAT

Çalışanların gürültüye maruziyeti sonucunda oluşabilecek risklerden korunması için ilk olarak 06.02.2003 tarihli ve 2003/10/EC sayılı Çalışanların Gürültüye Maruz Kalmalarından Kaynaklanan Risklerden Korunmalarını Sağlayacak Asgari Sağlık ve Güvenlik Gereklileri Hakkında Avrupa Birliği Direktifi çıkarılmıştır. Gürültü maruziyetini sınır ve eylem değerleriyle ilişkilendiren bu direktiften sonra ülkemizde AB uyum süreciyle paralel olarak 23.12.2006 tarihli Gürültü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. 20/6/2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun yürürlüğe girmesiyle de “Gürültü Yönetmeliği” yerine bu kanuna bağlı “Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” geçerli olmaya başlamıştır.

En son geçerli olan bu yönetmelikle gürültüye maruziyet sonucu çalışanlarda görülebilecek özellikle işitme ile ilgili risklerden korunmak için asgari gereklilikler belirtilmiştir. 6331 sayılı İSG Kanunu kapsamındaki işyerlerinin tamamında belirli gürültü maruziyet sınır değerlerine uyulması zorunlu hale gelmiştir.

Tablo 2. 2: 6331 sayılı İSG Kanununa bağlı yönetmelikte Maruziyet Eylem/Sınır Değerleri

En düşük maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8saat}$)	80 dBA	Ptepe=112 Pa (Darbe gürültüsü 135 dBC)
En yüksek maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8saat}$)	85 dBA	Ptepe=140 Pa (Darbe gürültüsü 137 dBC)
Maruziyet sınır değerleri: ($L_{EX, 8saat}$)	87 dBA	Ptepe=200 Pa (Darbe gürültüsü 140 dBC)

ABD’de işyerleri için gürültü yönetimi mevzuatı, çalışma bakanlığına bünyesinde OSHA (Occupational Safety And Health Administration) tarafından yayınlanmıştır. Bu mevzuata göre, çalışanlar 8 saatlik ölçümde, en az 85 dB eşdeğer gürültü düzeyine eşit gürültüye maruz kaldığında bazı İSG aksiyonları alınmalıdır. Bunlar; kişisel koruyucu donanım bulundurmak(kulaklıklar), çalışanın gürültüye maruziyetini izlemek ve çalışanları bazı işitme testlerine tabi tutmaktır.

Tablo 2. 3: ABD Mevzuatına Göre Gürültü Düzeyleri ve Çalışma Süreleri

Gürültü Düzeyi (dBA)	Gürültüde kalma süresi (saat/gün)
90	8 s
95	4 s
100	2 s
105	1 s
110	30 dakika
115	15dakika

Havada yayılan gürültü; eşdeğer gürültü seviyesi cinsinden 115 dBA’yı, darbe gürültüsü ise 140 dBC’yi geçemez.

İngiltere’de geçerli olan gürültü yönetmeliği ilk olarak çıkarılan 2003/10/EC sayılı Çalışanların Gürültüye Maruz Kalmalarından Kaynaklanan Risklerden Korunmalarını Sağlayacak Asgari Sağlık ve Güvenlik Gereklere Hakkında Avrupa Birliği Direktifine dayanmaktadır(The Control of Noise at Work Regulations). Türkiye’de İSG kanuna bağlı çıkarılan “Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” de bu direktife dayandığı için İngiltere’de geçerli olan maruziyet eylem ve sınır değerleri ülkemizdeki ile aynıdır[2].

En düşük maruziyet eylem değerleri; 80 dB(A) ve 135 dB(C), En yüksek maruziyet eylem değerleri; 85 dBA; ve 137 dB(C), Maruziyet sınır değerleri 87 dB(A) ve 140 dB(C) verilmiştir.

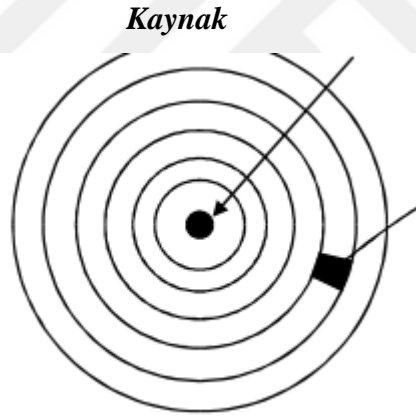
BÖLÜM III

GÜRÜLTÜNÜN YAYILIMI

3.1. SERBEST YAYILIM

3.1.1. Sesin mesafeye göre değişimi

Herhangi bir sınır ya da yansıtıcı yüzey olmadan, bir ses kaynağından her yöne yayılan gürültü, tüm yönlerde eşit enerji yayarak yayılır. Enerji, 1 saniyede yarıçapı 340 metre olan bir kürenin yüzeyine dağılır. Bu durum, küresel yayılma olarak adlandırılır.



Şekil 3. 1: Bir kaynaktan çıkan gürültünün serbest yayılma gösterimi

Kaynaktan r mesafede bir noktada, basınç, şiddet ve gürültü arasındaki ilişki aşağıdaki ilişkiyle ifade edilir.

$$P^2 = \rho c I = \frac{\rho c W}{4\pi r^2} \quad (3.1)$$

ρ : havanın yoğunluğu ve c : sesin hızı ve SL'_p 'ye ulaşmak için denklemin her iki tarafını

p_{ref}^2 'ye bölersek, ve her iki tarafın logaritmasını aldığımızda;

$$SL_p = 10 \log_{10} \frac{\langle P^2 \rangle}{p_{ref}^2} = 10 \log_{10} W + 10 \log_{10}(\rho c) - 10 \log_{10}(4\pi r^2) - 10 \log_{10} p_{ref}^2$$

$$10\log_{10}p_{ref}^2 = -94$$

$$p_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$SL_p = 10\log_{10}w + 10\log_{10}(\rho c) - 10\log_{10}(4\pi r^2) - (-94)$$

$$10\log_{10}w = SL_w - 120 \text{ dB}$$

$$SL_p = SL_w - 120 + 10\log_{10}(\rho c) - 10\log_{10}(4\pi r^2) - (-94)$$

$$SL_p = SL_w + 10\log_{10}(\rho c) - 10\log_{10}(4\pi r^2) - 26$$

$$-26 = 10\log_{10} \frac{1}{400}$$

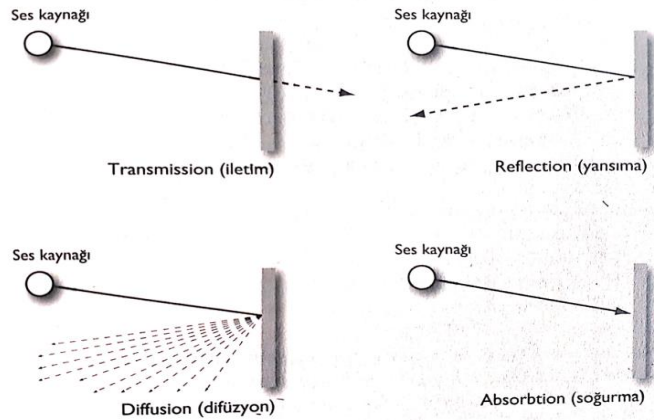
$$SL_p = SL_w + 10\log_{10} \frac{\rho c}{400} - 10\log_{10}(4\pi r^2) \quad (3.2)$$

$$SL_p = SL_m + 20\log_{10} \left(\frac{r}{r_m} \right) \quad (3.3)$$

ifadesine ulaşırız. Bu ifadeden, serbest yayılma durumunda, kaynakla gözlemci arasındaki mesafe iki katına çıktığında gürültü seviyesinin 6 dB azaldığını görürüz.

3.2. KAPALI ORTAMDA YAYILIM

Ses dalgaları kapalı ortamda yayılırken birçok değişime uğrayabilir. Ses dalgaları yüzeylere çarpıp yansır, bu yüzeylerden geçerek ilerlemeye devam edebilir ya da yüzeyler ve yüzeylerin yapıldığı maddenin yapısına göre soğurulabilir. Bunun dışında, ses dalgaları yüzeye çarptığında kırılarak yansır. Burada yansıtıcı yüzey ses dalgalarının dağıtarak kırar ve ses dalgaları birçok yönde yayılabilir[3]. Aşağıdaki şekilde ses dalgalarının uğrayacağı değişimleri görebiliriz.



Şekil 3. 2: Ses dalgalarının uğrayabileceği değişimler

Her yüzeyde ses iletilebilir, yansiyabilir ya da soğrulabilir. Sesin bir yüzeyle temasında sesin enerjisi yüzeyin diğer tarafına aktarılabilceği gibi soğrulma durumunda sesin enerjisi azalacak ve genellikle ısı olmak üzere başka enerji formlarına dönüşecektir.

3.2.1. Kapalı ortamlarda sesin soğrulması ve yansımaları

Ses dalgaları kapalı ortamlarda yayılırken uğrayabileceği değışimleri göz önünde bulundurduğumuzda hissedilen ya da ölçülen istenmeyen sesin yani gürültünün kapalı ortamın yüzey alanlarına ve yüzeylerin yapıldığı maddenin yapısına bağılı olduğunu söyleyebiliriz. Yukarıda gürültünün serbest yayılımında sesin basınç seviyesi denkleminde odanın şartlarına bağılı olan bu terimi de dahil etmemiz gerekecektir. Oda akustiğinde, bir ses kaynağının herhangi bir konumda oluşturduğu enerji yoğunluğu (E_{ort}) doğrudan ses alanı ile yankılanan ses alanının birleşimidir[4].

$$E_{ort} = \frac{E}{4\pi c} \left[\frac{\gamma}{r^2} + \frac{16\pi}{R} \right] \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) ile ses basıncı arasındaki ilişki kurmak için birim analizi yapabiliriz. Ses basıncının karesinin ortalama ifadesine ulaşmak için denklem (3.4)'ü ρc^2 ile çarptığımızda,

$$\langle P^2 \rangle = E_{ort} \rho c^2 = \frac{E \rho c^2}{4\pi c} \left[\frac{\gamma}{r^2} + \frac{16\pi}{R} \right] \quad (3.5)$$

Burada, c sesin hızı ve ρ ise ortamın hava yoğunluğudur.

$$\langle P^2 \rangle = E \rho c = \frac{E \rho c^2}{4\pi c} \left[\frac{\gamma}{r^2} + \frac{16\pi}{R} \right] \quad (3.6)$$

İfadesine ulaşırız. E: kaynağın enerji yayma hızı = Ses gücü = w olduğundan,

$$\langle P^2 \rangle = w \rho c \left[\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklem (3.7)'ye denklem (3.1)'e yaptığımız işlemleri uygularsak;

$$SL_p = SL_w + 10 \log_{10} \left[\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] + 10 \log_{10} \frac{\rho c}{400} \quad (3.8)$$

denkleminde ulaşırız. Burada, γ ses kaynağının yönsellik faktörüdür ve bir sonraki bölümde açıklaması yapılacaktır. Yönsellik faktörü, çok yönlü kaynak için 1 varsayılır, r kaynak ve alıcı arasındaki mesafe ve R oda sabitidir.

3.2.2. Kapalı ortamlarda Oda sabiti

Ortamın oda sabiti, kaynağın oluşturduğu gürültünün ortamda ne kadar soğrulduğunun ve gürültünün ne kadar yankılandığının bilgisi verir. Oda sabiti değeri için kapalı işyeri ortamını oluşturan tüm yüzeylerin yapısal özelliklerinin ve ayrı ayrı ölçülerinin, ortamdaki kapı, pencere ve havalandırma boşluğu gibi açıklıkların ölçülerinin, işyeri ortamında iş akışı içerisinde kullanılan diğer elemanların(farklı makine gövdeleri, bariyerler, bantlar, dolaplar, istiflenen ürünler vb.) yapısal özelliklerinin ve ölçülerinin bilinmesi gerekir.

R , Oda Sabiti, şu şekilde tanımlanır.[4]

$$R = \frac{\langle \alpha_S \rangle S}{1 - \langle \alpha_S \rangle} \quad (3.9)$$

$\langle \alpha_S \rangle$: Oda yüzey alanı üzerinden ortalama soğurma katsayısı,

S : Odanın toplam yüzey alanıdır.

Örnek: 6,0 metre eni, 6,2 metre boyu ve 3,1 metre yüksekliği olan kapalı bir işyeri ortamının oda sabiti değerini hesaplamak istediğimizde, 1,2 metreye 2,2 metre boyutlarında kapıyı da göz önünde bulundurduğumuzda;

Duvarlar için $\alpha_S = 0,06$

$$S_1 = (2)(6,2 + 6,0)(3,1) - (1,2)(2,2) = 75,64 - 2,64 = 73,0 \text{ m}^2$$

Kapı için $\alpha_S = 0,05$

$$S_2 = (1,2)(2,2) = 2,64 \text{ m}^2$$

Tavan için $\alpha_S = 0,55$

$$S_3 = (6,2)(6,0) = 37,2 \text{ m}^2$$

Zemin için $\alpha_S = 0,21$

$$S_4 = (6,2)(6,0) = 37,2 \text{ m}^2$$

6 çalışan olduğunu da varsayarsak; $\alpha_S = 0,44$ ise $6 \times 0,44 = 2,64 \text{ m}^2$

Kapalı ortamın tüm yüzey alanı:

$$S_0 = 75,64 + (2)(37,2) = 150,04 \text{ m}^2$$

Ortalama yüzey soğurma katsayısı ise;

$$\langle \alpha \rangle = \frac{(0,06)(73,0) + (0,05)(2,64) + (0,55)((37,2) + (0,21)(37,2) + 2,64}{150,04}$$

$$\langle \alpha \rangle = \frac{4,38 + 0,132 + 20,46 + 7,812 + 2,64}{150,04} = \frac{35,424}{150,04} = 0,2361$$

Oda sabiti, R, ise;

$$R = \frac{(150,04)(0,2361)}{(1 - 0,2361)} = 46,372 \text{ m}^2$$

olarak buluruz.

Birçok gürültü kaynağın bulunduğu ortam için ses basınç seviyesi hesaplamalarını incelediğimiz çalışmada[5] da denklem (3.9)'un doğruluğunu teyit edebildik. Bu çalışmada, oda sabiti ifadesinde $\frac{1}{1-\langle \alpha \rangle}$ teriminin olmadığını, oda sabitinin¹

$$R = \sum_i \alpha S_i \quad (3.10)$$

Olarak tanımlandığını ve $\frac{1}{1-\langle \alpha \rangle}$ terimi ortamdaki soğrulmayan ses alanını(yankılanan) gösterdiği için çalışmalarında sadece doğrusal ses alanı ve bu ses alanının yüzeyler tarafından soğrulması durumunu inceledikleri çıkarımını yaptık.

3.2.3. Kapalı ortamlarda ses kaynağının yönselliği

Genelde, serbest yayılımın aksine, gürültünün yayılımı yöne bağlıdır. Bazı yönlerde gürültü seviyesi daha yüksekken bazı yönlerde daha az olabilir. Gürültünün yöne bağlılığını bu çalışmada, şiddetin açıyla bağlı ilişkisini veren Yönsellik faktörü(D) ile ifade edeceğiz.

Ses şiddeti yöne bağlı ise, bu durumda tüm küresel yüzeydeki ortalama şiddeti (I_{ort}) tanımlamamız gerekir.

$$I_{ort} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (3.11)$$

Yönsellik faktörü(D) ise ses kaynağının merkezinden r mesafesinde ve küresel koordinatlarda θ ve φ yönündeki açığa bağlı şiddetle tanımlanır.

¹ Buradaki oda sabiti ifadesinin denklem (3.9)'dan farklılığını makalenin muhabir yazarına elektronik posta yoluyla sorduğumuzda, literatürde sık karşılaşılabilecek ifadesinin bu olduğunu belirtti. Ancak, literatür araştırması yaptığımızda, oda sabitinin denklem (3.10)'daki formu sadece sesin soğrulduğu durumu karşılayabiliyor. Hem sesin soğrulması hem de yansımalarının olduğu durumlar için oda sabitinin denklem (3.9)'daki formu geçerli olacaktır.

$$D = \frac{I_{\theta}}{I_{ort}} \quad (3.12)$$

Yönsellik Faktörü, ses kaynağının bir veya daha fazla sınırlayıcı yüzeyle konumuna göre, kaynaktan ilerleyen yayılımın etkisini tanımlamak için kullanılır.[6] Örnek vermek gerekirse; yer düzleminde ya da duvara yakın kaynaktan yayılan ses dalgaları her yönde değil sadece boşlukta olan yöne doğru ilerleyecektir. Bu da küresel yüzeyin yarısı olan yöne karşılık gelir ($2\pi r^2$).

Bu durumda yönsellik faktörünü; yayılımın olduğu yüzey alanını, eğer sınırlayıcı yüzey olmasaydı yayılımın mümkün olduğu toplam yüzey alanına bölerek bulabiliriz. Tabii ki burada sınırlayıcı yüzey olmasa kaynağın her yönde yayılım yaptığını varsayıyoruz.

$$\frac{1}{D} = \frac{2\pi r^2}{4\pi r^2} \quad (3.13)$$

Bu durumda, $D = 2$ olmaktadır .

Eğer kaynak iki sınırlayıcı yüzeye yakın olsaydı, sesin yayılımı küresel yüzeyin 1/4'ü kadar (πr^2) alacaktır. Bu durumda da $D = 4$ olur.

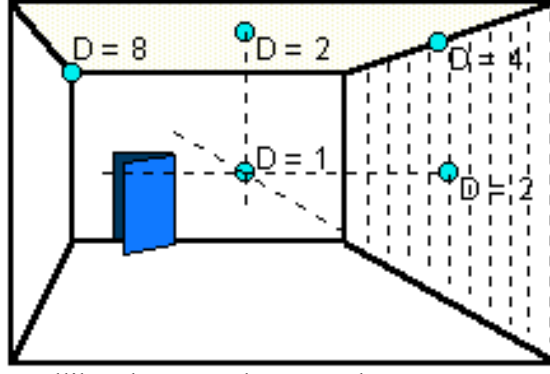
Yönsellik faktörünü kullanarak, sınırlayıcı yüzeyler bulunması durumunda gürültüdeki değişimi hesaplamak için Yön İndisini (DI) tanımlarsak;

$$DI = 10 \log_{10} D \quad (3.14)$$

Tablo 3. 1: Yansıtıcı yüzeye yakın gürültü kaynağının Yönsellik Faktörü ve Yön indisleri

Kaynağın konumu	Yönsellik Faktörü, D	Yön İndisi, DI (dB)
Boşlukta	1	0
Düz geniş yüzeyin merkezinde	2	3
İki düz geniş yüzeyin kesişiminde	4	6
Üç düz geniş yüzeyin kesişiminde	8	9

Aşağıdaki şekilde, ses kaynağı ve alıcının konumlarına göre Yönsellik Faktörünün farklı değerlerinin olabileceğini görebiliriz [7].



Şekil 3.3: Yönsellik Faktörünün kaynağın konumuna göre farklı değerleri

Gürültünün yani istenmeyen sesin gerek serbest yayılım gerekse kapalı ortamda uğrayacağı değişimleri ve kaynağın hangi yönde yayılım yaptığını belirten yönsellik faktörünü göz önünde bulundurduğumuzda, bu çalışmada başvuracağımız denklem aşağıdaki olacaktır.

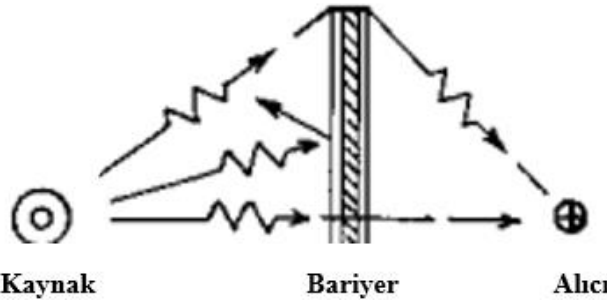
$$SL_p = SL_w + 10 \log_{10} \left[\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] + 10 \log_{10} \frac{\rho c}{400} \quad (3.15)$$

Bu denklemdeki ortamın oda sabiti (R) ise denklem (3.9)'da verilmiştir.

3.2.4. Kapalı ortamlarda sesin engellerden yansımaları ve kırınımı

Gürültünün çalışan üzerinde etkisini azaltmak için en çok başvurulan yöntem gürültü kaynağını çalışma ortamının diğer bölümlerinden izole etmek olmuştur. Bu yöntem, gürültü kaynağı olan makine ya da cihazla, çalışma ortamının diğer bölümleri arasında bir engel oluşturduğu için mevcut işyeri ortamındaki iş akışını yavaşlatacaktır ve başka güvenlik risklerini de beraberinde getirecektir. Aynı zamanda, gürültü kaynağı olan cihazı ya da makineyi bariyerlerle çalışma ortamının diğer bölümlerinden ayırdığımızda mevcut gürültü kaynağı olan cihazı işleten çalışan da bariyerlerden yansıyan ikincil gürültüye maruz kalacak ve gürültüden kaynaklı iş güvenliği riskinin belirli çalışanlar üzerinde artmasına neden olacaktır. Gürültüyle mücadele en çok uygulanan bu yöntemle gürültünün etkisinin tek bir çalışan üzerinde oluşmaması için mevcut işyeri yönetimi tarafından gürültüyü kaynağı olan cihazı işleten çalışanın belirli zaman aralıklarıyla değişimiyle gürültü azaltılmaz sadece belirli sayıda çalışanın gürültünün etkisine daha az maruz kalmasını sağlanmış olur. Gürültü kaynağı olan cihazı işletecek yeterli sayıda çalışan olmadığı durumda ise yine kulaklık kullanımına gidilecek ve bu yöntem de çalışanlar arasında iletişimi azalttığı için başka iş güvenliği riskleri oluşturacaktır. Yaptığımız çalışmada,

gürültünün değerini (ses basınç seviyesini) azaltmayan yöntemlerle alınacak tedbirler bu çalışmanın motivasyonu olmamıştır. Bunun yerine, bir işyeri ortamında gürültü değerini (ses basınç seviyesini) azaltabilecek aksiyonlar neler olabilir sorusu üzerinde durulmuştur. Mevcut işyeri ortamlarında sonradan yerleştirilebilen bariyerler olmasa da kontrol kabini, bir başka makinenin gövdesi, kolon ya da soyunma odası vb gibi işyerinde gürültüyü azaltabilecek bariyerler bulunabilir. Bariyer olabilecek bu işyeri elemanlarını ve gürültü kaynağı makinenin konumunu ayarlayarak gürültüyle mücadele edilebilir. Bu işyeri elemanlarının, yani mevcut bariyerlerin gürültünün etkisini ne kadar değiştirebileceğini incelediğimizde [8], işyeri ortamının kapalı yüzey alanlarına ek olarak bu bariyerlerin yüzey alanlarını da hesaba katmamız gerekecektir. Bu bariyerlerin yapısal özellikleri de (sesi soğurma katsayısı) gürültünün değerini değiştirecektir.



Şekil 3.4.1: Kaynak ve alıcı arasında bariyer konulduğunda sesin uğrayabileceği değişimler

İşyeri ortamının toplam yüzey alanını ve malzemelerin yapısal özelliklerini (sesi soğurma katsayısı) içeren oda sabiti (R) ifadesi bariyer konulduğunda aşağıdaki gibi değişecektir.

$$R_b = \frac{\langle \alpha_s \rangle S_0 + S_b (\alpha_1 + \alpha_2)}{1 - \langle \alpha_s \rangle - \left(\frac{S_b}{S_0} \right) (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (3.16)$$

R_b : Bariyer kullanıldığında oda sabiti

$\langle \alpha_s \rangle$: Bariyer kullanılmadığında oda yüzey alanı üzerinden ortalama soğurma katsayısı

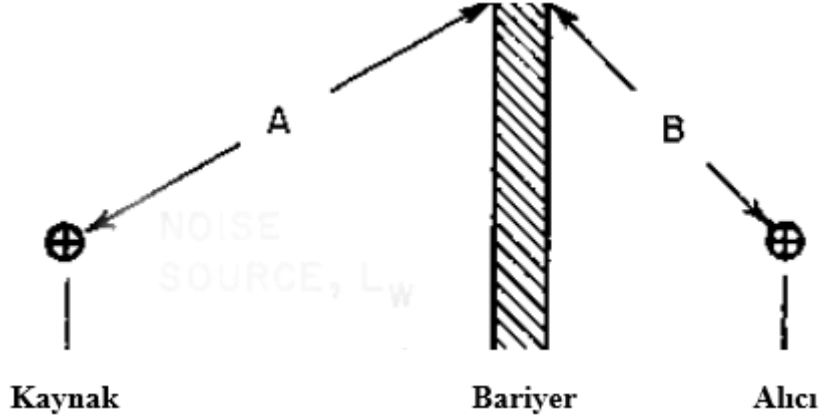
S_0 : Bariyer kullanılmadığında odanın toplam yüzey alanıdır.

S_b : Bariyerin tek tarafının yüzey alanı

α_1 : Bariyerin kaynağa bakan yüzeyinin sesi soğurma katsayısı

α_2 : Bariyerin diğer yüzeyinin sesi soğurma katsayısı

Denklem (3.16)'te bariyer yüzey alanı (S_b), işyeri ortamının kapalı yüzey alanlarının toplamına (S_0) göre çok küçük ise oda sabiti (R) ifadesi denklem (3.9)'daki formunu alacaktır.



Şekil 3.4.2: Kaynak ve alıcı arasına bariyer konulduğunda ses yolunun artması

Bariyer, kaynakla alıcı arasında engel oluşturduğu için sesin aldığı yol artacak, $r = A + B$ olacaktır. Bu durumda, değişen mesafeyi dikkate aldığımızda ve bariyerin karakteristik özelliklerini de dahil ettiğimizde, Denklem (3.15)'teki ses basınç seviyesi denklemi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$SL_p = SL_w + 10 \log_{10} \left[\frac{D(a_b + a_t)}{4\pi(A + B)^2} + \frac{4}{R_b} \right] + 10 \log_{10} \frac{\rho c}{400} \quad (3.17)$$

$A + B$: Kaynak ile bariyerinden dolayı alıcı arasındaki uzak mesafe

a_b : Bariyer katsayısı

a_t : Ses aktarımı(transmission) katsayısı

Kaynak ya da alıcı(ses basınç seviyesinin ölçüldüğü, hissedildiği konum) bariyerin çok uzak olması durumunda sesin bariyerden dolayı katettiği mesafe neredeyse bariyer olmadığında kaynak ile alıcı arasındaki mesafeye eşit olacak ($A + B \cong r$) ve sesin uğrayabileceği değişim bariyerin karakterinden dolayı olamayacaktır. Ses basınç seviyesi denklemi, denklem (3.15)'teki formuyla ifade edilebilecektir.

3.2.5. Hava Şartlarının Ses Basınç Seviyesine Etkisi

Ölçüm yapılan ortamın sıcaklık, basınç ve nem gibi hava şartları, gürültünün yayıldığı ortamı(sesin hızını)ve gürültüyü ölçerken kullandığımız ses seviyesi ölçerin mikrofونunun diyaframını(insan kulağında kulak zarı) etkileyebileceği için gürültü hesaplama denklemimiz denklem (3.15)'te son terimde belirtilmiştir. Ses seviyesi

ölçerimizin mikrofonunu 1000 Hz frekans değerinde 94 dB [A] sinyal üreten CEM markalı SC-05 model IEC 942 sınıf 2 kalibratör ile kalibre ederek hava şartlarının ölçüm cihazımıza etkisini ortadan kaldırmaya çalıştık. Hava şartlarının gürültünün yayıldığı ortama etkisi ise sesin hızı ile ilişkilidir. Aynı ortam içerisinde, sıcaklık, basınç ve nem gibi nedenlerden dolayı ortamın hava yoğunluğu değişebileceği için ses hızı da ortamın hava yoğunluğuna ters orantılı olarak değişecektir.

Bu durumda, $\rho c \cong 400$ olacaktır ve aynı odada ve benzer hava şartlarında yapılan ölçümleri bu çalışmada incelediğimiz için;

$$\frac{\rho c}{400} \approx 1 \quad \text{dolayısıyla} \quad \log_{10} \frac{\rho c}{400} \cong 0 \text{ olacaktır.}$$

Gürültü hesaplama denklemi de aşağıdaki formunu alacaktır.

$$SL_p = SL_w + 10 \log_{10} \left[\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$
$$R = \frac{\langle \alpha_s \rangle S}{1 - \langle \alpha_s \rangle}$$

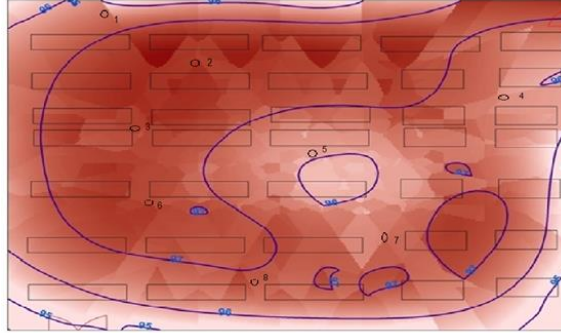
BÖLÜM IV

GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİ

Yapılan çalışmalarda, herhangi bir çalışma ortamının birçok konumda Ses Seviyesi Ölçüm Cihazı(Sound Level Meter) kullanılarak gürültünün çalışma ortamının hangi bölgesinde daha az olduğunun belirlenmesi için çok sayıda tekrarlanan ölçümler yapılmaktadır.[9]

4.1. GÜRÜLTÜ HARİTALARI

Gürültü değeri yani ses basınç seviyesi (SL_p), herhangi bir ortamda uygun donanıma sahip ses seviyesi ölçerler(sound level meter) ile yapılabilir ve o ortam içerisinde aynı gürültü değerine sahip yerler(eş gürültü değeri olan noktalar) gürültü haritası ile gösterilebilir [10] .



Şekil 4. 1: Bir dokuma ünitesindeki gürültü haritası ve makine konumu

Bu gürültü haritalarını oluşturmak için çok sayıda uzman personel ile çok sayıda ses seviyesi ölçerler kullanılması, ard arda ölçümler yapılması ve bu ölçümler yapılırken ses seviyesi ölçerlerin sürekli kalibre edilmesi gerekir. Belirli bir yerleşkede (fabrika, düğün salonu ve diğer eğlence mekanları) gürültü haritası oluşturmak için çalışan personelin çok sayıda ölçüm yaparak eş gürültü değerindeki yerleri gösterebilmesi gerekir. Bunu sağlamak için ölçüm yapılan yerleşkenin

büyüklüğüne ve gürültü kaynağı açısından ne derece kompleks olduğuna bakarak ölçümler uzun süreler alabilir. Gürültü haritası oluşturmak için gereklilikleri, insan kaynağı, cihaz ve teçhizat sayısı, cihazların bakımı ve işin yapıldığı periyodun uzun olması olarak sıralayabiliriz. Bu gereklilikleri işyerindeki İSG birimi yerine getiremeyecektir ve işveren uzman personellerle gürültü haritası çalışması yapan işletmelerden destek almak zorundadır. Gürültü haritasının gerekliliklerini göz önünde bulundurduğumuzda mevcut işyeri yönetimi için gürültü haritası temini maliyeti yüksek bir İSG adımı olacaktır. Çalışanların gürültünün etkilerinden korunması için bu adım yeterli olmayacak ve işverenin yüksek maliyetle elde ettiği gürültü haritası değerlendirilerek gürültünün etkilerini azaltmak için başka İSG tedbirleri alınması gerekecektir.

Bu ölçümlerden sonra da alınan önlemler ise gürültü kaynağı olan makinenin çalışma ortamının diğer bölümlerinden izole edilmesi (kaynakta önlem almak) ya da gürültünün seviyesinin en yüksek olduğu bölümlerde çalışanlar için ise kişisel koruyucu donanımlara, farklı türleri olan kulak tıkayıcı ve kulaklıklara, başvurmak olmuştur (alıcıda önlem almak). Gürültünün kaynağı makinenin bariyerlerle izole edilmesi çalışanın makineyle olan temasını zorlaştırdığı gibi işyerinde diğer makine ve cihazlar arasındaki iş akışının sürekliliğini olumsuz etkileyecektir. Çoğu işyerinde ise mevcut iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının en son adımı olan kişisel koruyucu donanımlara, kulaklıklara başvurmak ilk aksiyon olmuştur. Bu uygulamada da çalışanlar arasında iletişim azaldığı için başka güvenlik riskleri oluşacaktır.

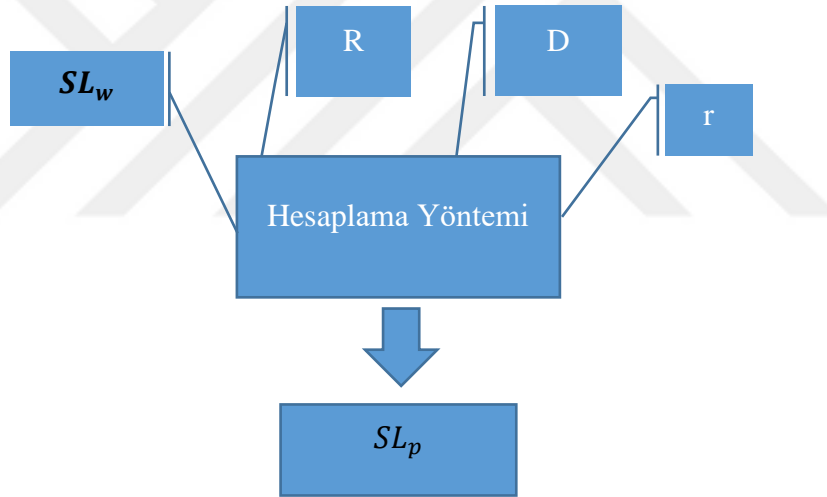
4.2. GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİ

Kapalı çalışma ortamında gürültünün etkisini, ses basınç seviyesini (SL_p), hesaplamak için denklem (3.15)'in nasıl işlevli olacağını bu çalışmada inceleyeceğiz. Bunun için, ses kaynağının güç seviyesi (SL_w), ses kaynağının bulunduğu konuma göre yönsellik faktörü (D) ve kapalı ortamın tüm yüzey alanlarının (S) ve yüzey elemanlarının soğurma katsayısı (α_s) bilgisine ihtiyaç vardır. Çoğu işyerlerinde SL_w , D , S ve α_s bilgilerinin doğru verisine ulaşmak maalesef zordur ya da gürültünün çalışanlarda oluşturduğu güvenlik riskini ortadan kaldırmak için hızlı değildir. Yaptığımız bu çalışmada, yapay bir gürültü kaynağı (hoparlör) kullanarak ve 3 farklı kapalı ortamının her birinde birden fazla ölçüm seti alınarak ses kaynağının güç seviyesi (SL_w) ve kapalı ortamın oda sabiti (R) MS Office Excel programında

Regresyon analizi yapılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kaynağın yönsellik bilgisi (D) ile beraber Regresyon analiziyle elde ettiğimiz SL_w ve R bilgilerini kullanarak kaynaktan belirli bir mesafede(r) gürültüden kaynaklı gürültüden kaynaklı iş güvenliği riskini en aza indirecek ses basınç seviyesinin(SL_p) düşük olduğu konum belirlenebilir ya da işyerinin tamamı dikkate alındığında çalışanların tümünün gürültüden kaynaklı güvenlik riskini en aza indirecek şekilde makinelerin konumları ayarlanması için çıktılar işyeri iş sağlığı ve güvenliği kuruluna öneri olarak sunulabilir.

$$SL_p = SL_w + 10 \log_{10} \left[\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

$$R = \frac{\langle \alpha_s \rangle S}{1 - \langle \alpha_s \rangle}$$



Yine elde edilen ölçüm setlerini kullanarak Regresyon analiziyle elde ettiğimiz oda sabitinin optimum düzeyde olması için öneriler iş sağlığı ve güvenliği kuruluyla paylaşılıp, gerekli aksiyonlar başlatılabilir.

BÖLÜM V

GEREÇLER VE UYGULAMA

Kapalı ortamlarda gürültü hesaplama yönteminin uygulanabilirliğini göstermek için Çankaya Üniversitesi Merkez Kampüsündeki kapalı spor kompleksinin Büyük Spor Salonu ve Stüdyo-1 ve Stüdyo-2 salonları kullanılmıştır. Yapay ses kaynağı olarak Mikado marka MD-BT57 model stereo hoparlör kullanılmış ve yapay ses kaynağı her ölçüm öncesi tam şarj edilerek ve CNC sesinin USB bağlantılı flash bellek ile hoparlörde yapay gürültü oluşturması sağlanmıştır. Yapay gürültü oluşturulduktan sonra gürültü ölçümleri IEC 651 sınıf 2 standardına uygun özellikte CEM markalı DT-8850 model ses seviye ölçeri (SL meter) ile yapılmıştır. Ses seviye ölçeri (SL meter) kuru pille çalıştırılıp her ölçüm öncesi tam dolu pillerle ve 1000 Hz frekans değerinde 94 dB [A] sinyal üreten CEM markalı SC-05 model IEC 942 sınıf 2 kalibratör ile kalibre edilerek ölçümler tamamlanmıştır. Ses seviyesi ölçerin mikrofonu yerden 1.5 m (kulak seviyesi), duvardan ise 0.8 m uzaklıkta tutulmuştur ve mikrofon gürültü kaynağı olan hoparlör yönüne tutulup ölçümler alınmıştır. Yapılan ölçümler, ISO R 1996 Standardı'na uygun olarak ve A ağırlıklı filtrelemeyle yapılmıştır. Mikrofonun ses kaynağı olan hoparlörden uzaklığı BOSCH marka GLM500 model profesyonel lazermetre ile en az 5 cm'de bir ölçülerek (ses kaynağına daha uzak olan ölçümler ise 10 cm'de bir), her uzaklık ölçümüne karşılık gelen maksimum ses seviyesi ölçümüyle eş zamanlı olarak yapılmıştır.



Şekil 5. 1: Ses Seviye Ölçeri (Sound Level Meter)



Şekil 5. 2: Kalibratör



Şekil 5. 3: Lazer metre



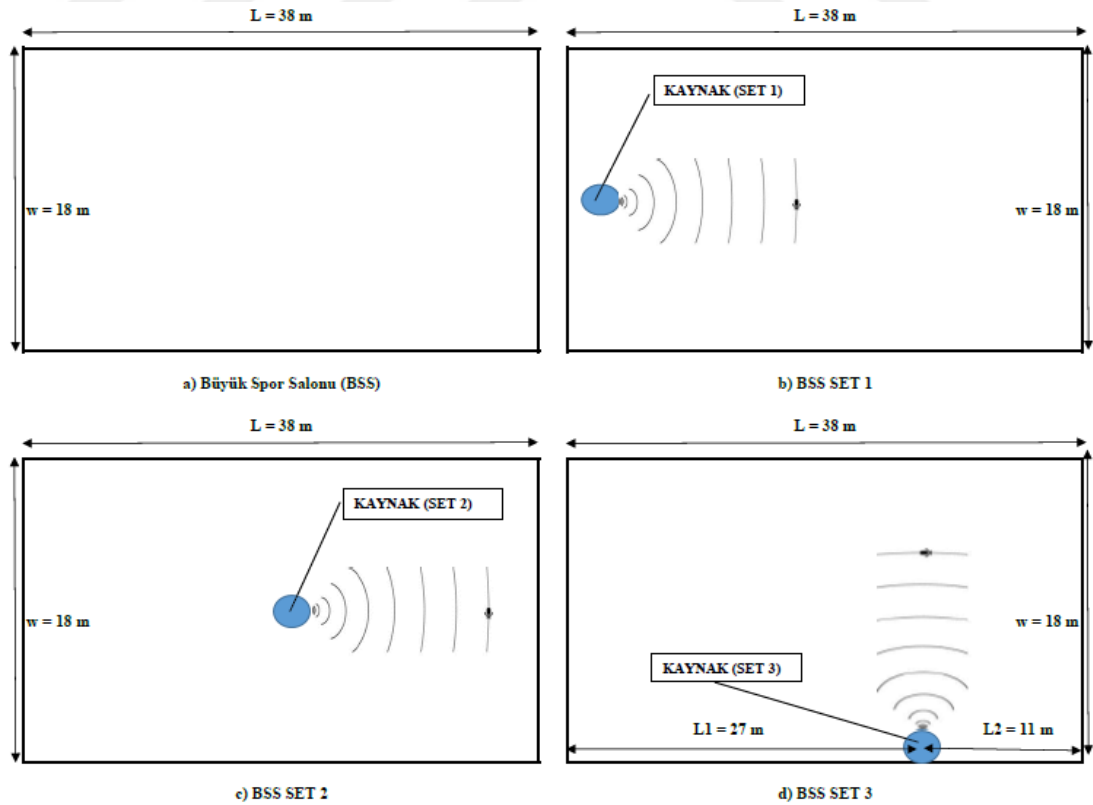
Şekil 5. 4: Taşınabilir Şarjlı Hoparlör

BÖLÜM VI

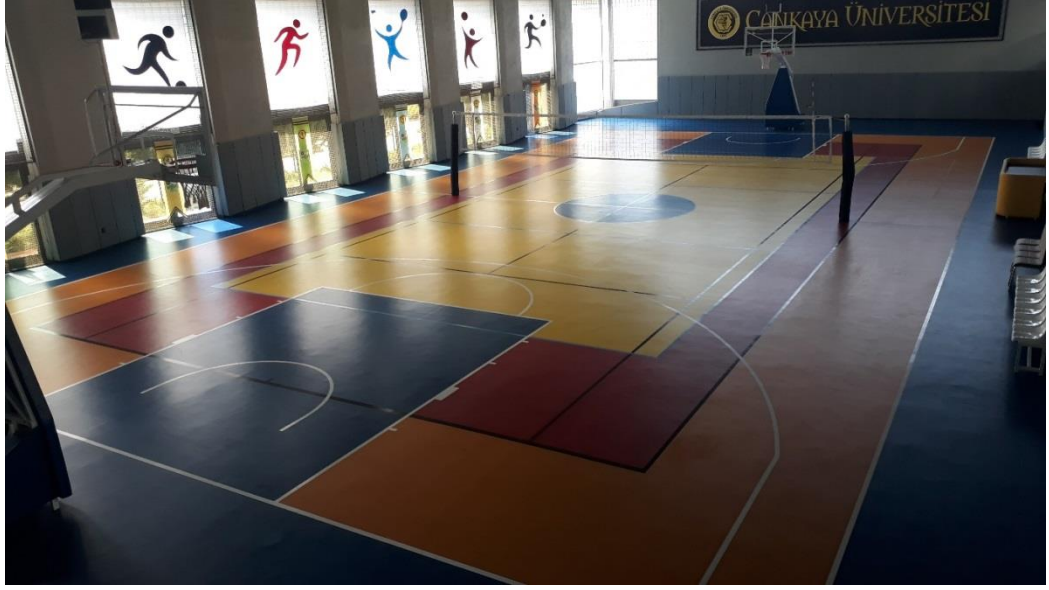
SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ

6.1. BÜYÜK SPOR SALONU(BSS) ÖLÇÜMLERİ

Çankaya Üniversitesi Merkez kampüsü kapalı spor kompleksi içerisindeki büyük spor salonu yapısından dolayı, aşağıda fotoğrafları verilecektir, büyük bir işyeri ortamını temsil ettiğinden burada ses seviyesi ölçümleri alınması tercih edilmiştir. Boyutları gereği, bu spor salonunda gürültü kaynağının 3 farklı konumunda mesafeye bağlı olarak ses seviyesi ölçümleri alınmıştır. Ölçümler alınırken hava şartlarının benzer olduğu günler tercih edilmiş ve kapalı spor kompleksinin diğer bölümlerinde insan kaynaklı gürültünün ölçümleri etkilememesi için akşam 18:00 – 20:30 saat aralıkları tercih edilmiştir.



Şekil 6. 1: BSS boyutları ve ses kaynağı konumları



Şekil 6. 2: BSS fotoğrafı



Şekil 6. 3: BSS fotoğrafı

Tablo 6. 1: BSS içerisinde kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri

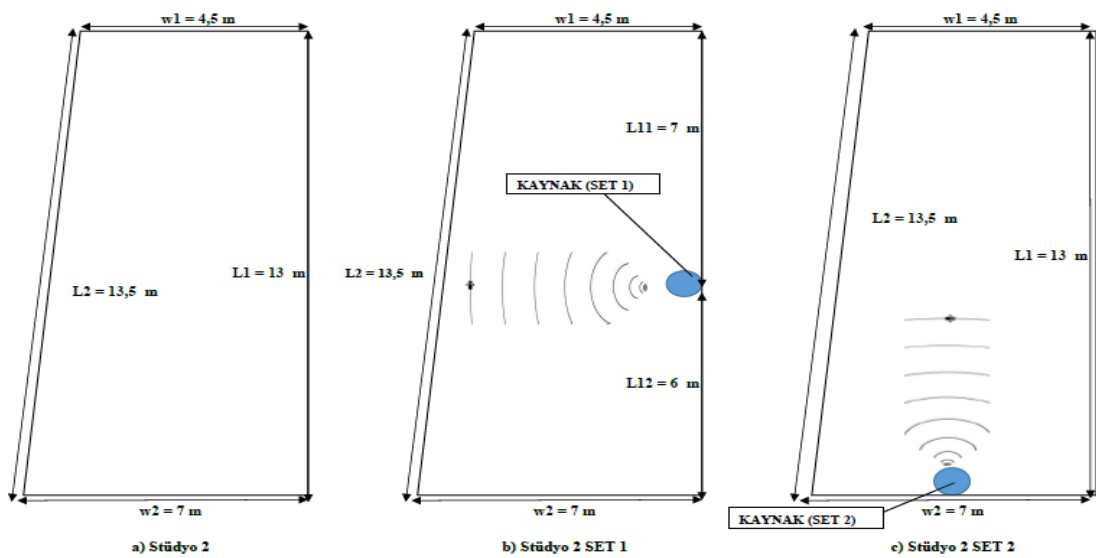
BSS SET 1			BSS SET 2			BSS SET 3		
Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)	Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)	Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)
1	0	102,6	1	0	102,5	1	0	102,7
2	5	101,0	2	5	100,6	2	5	101,3
3	10	98,7	3	10	98,5	3	10	99,0
4	15	96,1	4	15	96,1	4	15	96,6
5	20	94,0	5	20	94,0	5	20	94,6
6	25	92,4	6	25	92,3	6	25	93,2
7	30	91,2	7	30	91,4	7	30	92,0
8	35	89,8	8	35	89,8	8	35	90,7
9	40	89,2	9	40	88,6	9	40	89,7
10	45	88,3	10	45	87,6	10	45	88,9
11	50	87,0	11	50	86,6	11	50	87,8
12	55	86,3	12	55	86,0	12	55	85,8
13	60	85,6	13	60	85,6	13	60	85,4
14	65	84,8	14	65	84,9	14	65	84,5
15	70	84,4	15	70	84,3	15	70	84,0
16	75	84,0	16	75	84,6	16	75	84,5
17	80	83,7	17	80	85,0	17	80	85,5
18	85	83,4	18	85	84,7	18	85	84,1
19	90	83,0	19	90	83,8	19	90	83,3
20	95	83,4	20	95	82,3	20	95	82,9
21	100	83,0	21	100	81,4	21	100	82,8
22	110	82,1	22	110	80,4	22	110	82,0
23	120	81,5	23	120	80,2	23	120	81,1
24	130	80,2	24	130	79,4	24	130	81,5
25	140	79,6	25	140	78,8	25	140	80,7
26	150	79,1	26	150	78,8	26	150	79,9
27	160	77,8	27	160	78,8	27	160	80,2
28	170	77,3	28	170	78,0	28	170	81,0
29	180	76,7	29	180	78,0	29	180	79,7
30	190	76,4	30	190	77,1	30	190	79,4

Tablo 6.1'in devamı

31	200	77,7	31	200	76,9	31	200	79,2
32	220	77,0	32	210	77,2	32	210	76,4
33	240	76,2	33	220	76,0	33	220	76,1
34	260	75,7	34	230	75,8	34	230	75,9
35	280	75,4	35	240	77,2	35	240	74,8
36	300	74,7	36	250	76,1	36	250	75,8
			37	260	75,4	37	260	75,9
			38	270	75,2	38	270	76,1
			39	280	74,1	39	280	76,2
			40	290	74,3	40	290	75,0
			41	300	75,3	41	300	77,7

6.2. STÜDYO-2 ÖLÇÜMLERİ

Çankaya Üniversitesi Merkez kampüsü kapalı spor kompleksi içerisindeki Stüdyo-2 salonu yapısından dolayı, aşağıda fotoğrafları verilecektir, küçük bir işyeri ortamını temsil ettiğinden, boyutları gereği, bu spor salonunda gürültü kaynağının 2 farklı konumunda mesafeye bağlı olarak ses seviyesi ölçümleri alınmıştır. Ölçümler alınırken hava şartlarının benzer olduğu günler tercih edilmiş ve kapalı spor kompleksinin diğer bölümlerinde insan kaynaklı gürültünün ölçümleri etkilememesi için akşam 18:00 – 20:30 saat aralıkları tercih edilmiştir.



Şekil 6. 4: Stüdyo-2 boyutları ve ses kaynağı konumları



Şekil 6. 5: Stüdyo-2 fotoğrafı



Şekil 6. 6: Stüdyo-2 fotoğrafı

Tablo 6. 2: Stüdyo-2’de kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri

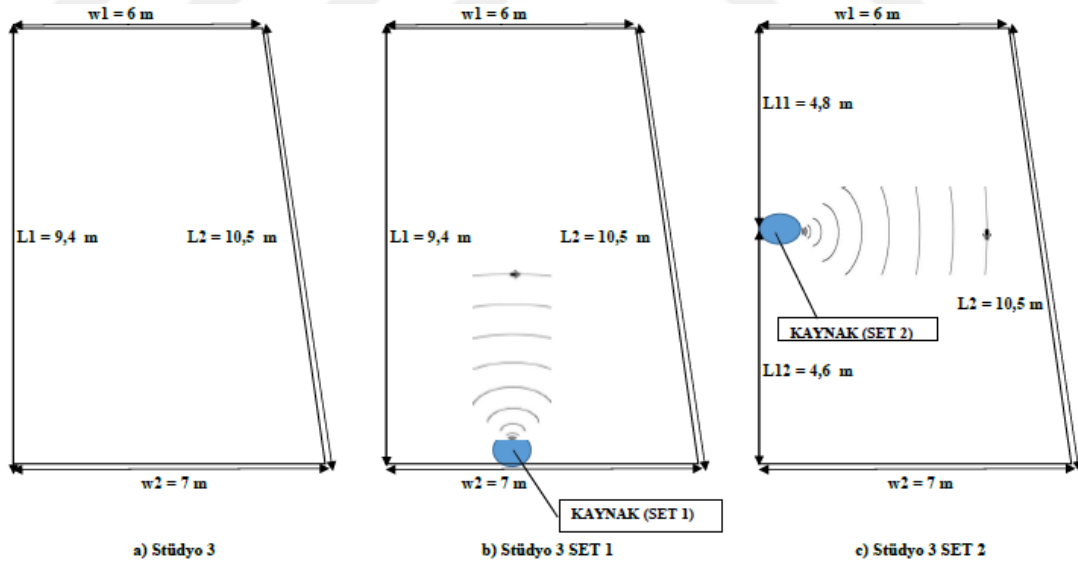
STÜDYO -2 SET 1			STÜDYO-2 SET 2		
Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)	Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)
1	0	102,2	1	0	102,5
2	5	100,9	2	5	100,8
3	10	99,7	3	10	98,7
4	15	97,8	4	15	96,8
5	20	95,8	5	20	95,3
6	25	93,6	6	25	93,8
7	30	92,4	7	30	92,1
8	35	91,4	8	35	91,5
9	40	91,4	9	40	90,7
10	45	89,8	10	45	90,1
11	50	88,7	11	50	89,3
12	55	88,3	12	55	88,4
13	60	87,9	13	60	89,1
14	65	87,3	14	65	88,2
15	70	86,8	15	70	86,6
16	75	86,3	16	75	85,2
17	80	86,1	17	80	85,5
18	85	86,3	18	85	86,1
19	90	85,9	19	90	86,7
20	95	84,9	20	95	87,4
21	100	84,7	21	100	88,1
22	110	85,9	22	110	85,9
23	120	86,1	23	120	83,7
24	130	84,8	24	130	83,9
25	140	86,6	25	140	83,9
26	150	84,4	26	150	81,5
27	160	83,7	27	160	80,7
28	170	82,7	28	170	82,6
29	180	84,1	29	180	86,2
30	190	86,3	30	190	86,4

Tablo 6.2'nin devamı

31	200	83,6	31	200	84,1
			32	210	82,6
			33	220	83,5
			34	230	80,4
			35	240	81,5
			36	250	83,5

6.3. STÜDYO-3 ÖLÇÜMLERİ

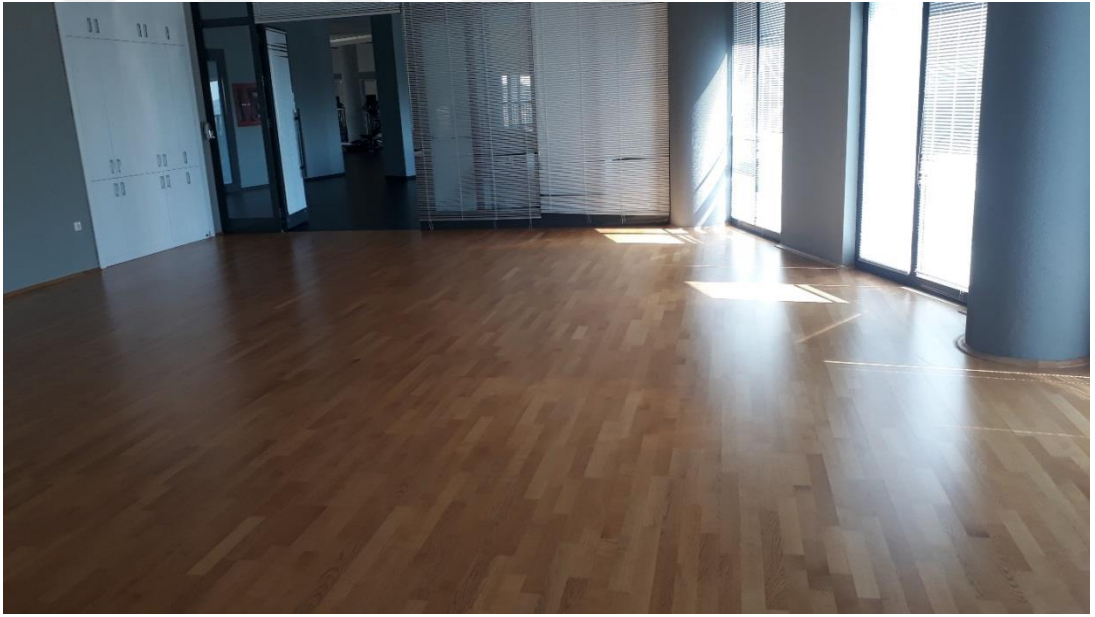
Çankaya Üniversitesi Merkez kampüsü kapalı spor kompleksi içerisindeki Stüdyo-3 salonu Stüdyo-2 gibi küçük bir işyeri ortamını temsil ettiğinden, boyutları gereği, bu spor salonunda gürültü kaynağının 2 farklı konumunda mesafeye bağlı olarak ses seviyesi ölçümleri alınmıştır. Ölçümler alınırken hava şartlarının benzer olduğu günler tercih edilmiş ve kapalı spor kompleksinin diğer bölümlerinde insan kaynaklı gürültünün ölçümleri etkilememesi için akşam 18:00 – 20:30 saat aralıkları tercih edilmiştir.



Şekil 6. 7: Stüdyo-3 boyutları ve ses kaynağı konumları



Şekil 6. 8: Stüdyo-3 fotoğrafı



Şekil 6. 9: Stüdyo-3 fotoğrafı

Tablo 6. 3: Stüdyo-3’de kaynağın farklı konumlarına göre ses basınç seviyesi ölçümleri

STÜDYO-3 SET 1			STÜDYO-3 SET 2		
Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)	Ölçüm No	Uzaklık (cm)	SPL (dBA)
1	0	102,7	1	0	102,3
2	5	101,1	2	5	100,9
3	10	98,9	3	10	99,1
4	15	96,9	4	15	96,9
5	20	95,5	5	20	95,1
6	25	94,1	6	25	93,4
7	30	92,3	7	30	92,3
8	35	91,5	8	35	91,0
9	40	90,9	9	40	90,1
10	45	90,3	10	45	88,9
11	50	89,4	11	50	88,5
12	55	88,6	12	55	88,0
13	60	89,5	13	60	88,0
14	65	88,4	14	65	89,1
15	70	86,9	15	70	89,5
16	75	85,4	16	75	89,4
17	80	86,0	17	80	88,4
18	85	86,2	18	85	87,3
19	90	87,1	19	90	87,5
20	95	87,7	20	95	87,4
21	100	88,3	21	100	87,4
22	110	86,1	22	110	85,6
23	120	83,9	23	120	86,3
24	130	84,1	24	130	86,5
25	140	84,1	25	140	84,8
26	150	81,7	26	150	82,7
27	160	80,9	27	160	84,3
28	170	82,8	28	170	86,5
29	180	86,4	29	180	86,2
30	190	86,6	30	190	85,7

Tablo 6.3'ün devamı

31	200	84,3	31	200	83,3
32	210	82,8			
33	220	83,7			
34	230	80,6			
35	240	81,7			
36	250	83,7			



BÖLÜM VII

REGRESYON ANALİZİ VE BULGULAR

Regresyon analizi, İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ölçmek için kullanılır ve tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistik sağlar. Basit doğrusal regresyon bize normal dağılmış iki değişken arasında doğrusal ilişki olup olmadığını test etme olanağı verir. Değişkenlerden biri tahmin, biri sonuç değişkenidir. Lineer(doğrusal) regresyonda, y olarak gösterilen sayısal bir bağımlı değişken ve x olarak gösterilen bir ya da daha fazla bağımsız değişken vardır. Doğrusal regresyon, bu iki değişken arasındaki ilişkiyi modellemeye çalışır.

Bu çalışmada başvuracağımız denklem (3.15)'de, eşitliğin her iki tarafını 10'a bölüp,

$$SL_p/10 = SL_w/10 + \log_{10} \left[\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] + \log_{10} \frac{\rho c}{400} \quad (7.1)$$

Eşitliğin her iki tarafını 10'un kuvveti olarak yazdığımızda,

$$10^{SL_p/10} = 10^{SL_w/10} \cdot \left(\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \cdot \frac{\rho c}{400} \quad (7.2)$$

Aynı odada ve benzer hava şartlarında yapılan ölçümleri incelediğimiz için;

$$\frac{\rho c}{400} \approx 1 \quad (7.3)$$

$$10^{SL_p/10} = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{4}{R} + 10^{SL_w/10} \cdot \frac{D}{4\pi r^2} \quad (7.4)$$

Sayısal bağımlı y değişkenini ve bağımsız x değişkenini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x \quad (7.5)$$

$$y = 10^{SL_p/10} \quad (7.6)$$

$$x = \frac{1}{r^2} \quad (7.7)$$

Aynı oda ve benzer hava koşullarında alınan ölçümler için β_0 ve β_1 sabitleri ise aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\beta_0 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{4}{R} \quad (7.8)$$

$$\beta_1 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{D}{4\pi} \quad (7.9)$$

MS Office Excel programında her bir ölçüm seti için Regresyon analizi yaptığımızda bu sabitleri bulabiliriz ve bu sabitlerden aynı oda ve benzer hava şartlarında yapılan ölçüm setlerinden ölçüm yapılan ortamın oda sabitini(R) ve ölçümde kullanılan yapay gürültü kaynağı taşınabilir hoparlerin ses güç seviyesini(SL_w) bulabiliriz.

$$\log_{10}(\beta_0) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{4}{R}\right) \quad (7.10)$$

$$\log_{10}(\beta_1) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right) \quad (7.11)$$

$$\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}(\beta_0) = \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right) - \log_{10}\left(\frac{4}{R}\right) \quad (7.12)$$

$$\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}(\beta_0) = \log_{10}\left(\frac{\frac{D}{4\pi}}{\frac{4}{R}}\right) \quad (7.13)$$

$$\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}(\beta_0) = \log_{10}\left(\frac{DR}{16\pi}\right) \quad (7.14)$$

Eşitliğin her iki tarafını 10'un kuvveti olarak yazdığımızda,

$$10^{\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}(\beta_0)} = \frac{DR}{16\pi} \quad (7.15)$$

$$R = \frac{16\pi}{D} \times 10^{\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}(\beta_0)} \quad (7.16)$$

Aynı odada ve benzer hava şartlarında yapılan her ölçüm seti için oda sabitini bulabiliriz.

$$\log_{10}(\beta_1) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right) \quad (7.17)$$

Denkleminde SL_w terimini bulmak istediğimizde;

$$\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right) = \frac{SL_w}{10} \quad (7.18)$$

$$SL_w = 10 \times \left(\log_{10}(\beta_1) - \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right) \right) \quad (7.19)$$

İfadesine ulaşabiliriz.

7.1. BSS SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ

Büyük Spor Salonu içerisinde yapılan her bir ölçüm seti için % 95 doğruluk ile regresyon yaptığımızda her bir set için β_0 ve β_1 değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak bulduk.

Tablo 7. 1: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri

	SET 1	SET 2	SET 3
$\beta_0 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{4}{R}$	420151691,1	371583072,5	424979069,6
$\beta_1 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{D}{4\pi}$	33592343,3	31012884,99	36209069,46

Bu β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik değerlerini hesapladığımızda yine her bir set için aşağıdaki tabloda verilen değerlere ulaştık.

Tablo 7. 2: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik sonuçları

	SET 1	SET 2	SET 3
$\log_{10}(\beta_0) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{4}{R}\right)$	8,623406116	8,570055921	8,628367541
$\log_{10}(\beta_1) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right)$	7,5262403	7,491542169	7,558817364

Yönsellik faktörünü açıklarken, ses kaynağının sınırlayıcı yüzey olmasa kaynağın her yönde yayılım yaptığını varsaymıştık. Taşınabilir ses hoparlörümüzün (Şekil 5.4) ses yayılımı küresel olarak her yöne değil ($D \neq 1$) de, sadece ön yüzeyinden ses yayılımı yaptığı için (Düz geniş yüzeyin merkezinde duran bir kaynak gibi) taşınabilir ses hoparlörümüzün yönsellik faktörünü 2 olarak alabileceğiz. Bu durumda BSS içerisindeki ölçüm setlerinin regresyon analizinden ses kaynağımızın güç seviyesi SL_w değerini ve BSS'nin oda sabiti R değerini bulmaya çalışacağız. Denklem (1.37) ve (1.40) ile bu değerleri hesapladığımızda her bir set için SL_w ve R değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak buluruz.

Tablo 7. 3: BSS ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SL_w ve R değerleri

	SET 1	SET 2	SET 3
SL _w	83,244202	82,897220	83,569972
R	2,009435	2,097617	2,141360
D	2	2	2

SL_w ve R değerleri, aynı oda ve aynı ses kaynağı kullanılarak yapılan ölçümler ve yapılan analizler sonucunda bulunduğu için her bir ölçüm setine karşılık gelen SL_w ve R değerleri birbirine yakın olacaktır. Tüm setlerden elde ettiğimiz ortalama SL_w ve R değerleri ise

$$SL_{w_{ort}} = 83,24 \text{ dB (A)}$$

$$R_{ort} = 2,08 \text{ olarak buluruz.}$$

7.2. STÜDYO-2 SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ

Stüdyo-2 içerisinde yapılan her bir ölçüm seti için % 95 doğruluk ile regresyon yaptığımızda her bir set için β_0 ve β_1 değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak bulduk.

Tablo 7. 4: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri

	SET 1	SET 2
$\beta_0 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{4}{R}$	877713804,7	702730832,1
$\beta_1 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{D}{4\pi}$	33188041,08	31708620,46

Bu β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik değerlerini hesapladığımızda yine her bir set için aşağıdaki tabloda verilen değerlere ulaştık.

Tablo 7. 5: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik sonuçları

	SET 1	SET 2
$\log_{10}(\beta_0) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{4}{R}\right)$	8,943352929	8,846789008
$\log_{10}(\beta_1) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right)$	7,520981619	7,501177348

Yaptığımız çalışmada her odada aynı ses kaynağını kullandığımız için taşınabilir ses hoparlörümüzün yönsellik faktörünü 2 olarak alacağız. Bu durumda Stüdyo-2 içerisindeki ölçüm setlerinin regresyon analizinden ses kaynağımızın güç seviyesi SL_w değerini ve Stüdyo-2'nin oda sabiti R değerini bulmaya çalışacağız. Denklem (1.37) ve (1.40) ile bu değerleri hesapladığımızda her bir set için SL_w ve R değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak buluruz.

Tablo 7. 6: Stüdyo-2 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SL_w ve R değerleri

	SET 1	SET 2
SL_w	83,19161487	82,99357216
R	0,950317112	1,134039544
D	2	2

SL_w ve R değerleri, aynı oda ve aynı ses kaynağı kullanılarak yapılan ölçümler ve yapılan analizler sonucunda bulunduğu için her bir ölçüm setine karşılık gelen SL_w ve R değerleri birbirine yakın olacaktır. İki ölçüm setinden elde ettiğimiz ortalama SL_w ve R değerleri ise

$$SL_{w_{ort}} = 83,09 \text{ dB (A)}$$

$$R_{ort} = 1,04 \text{ olarak buluruz.}$$

Stüdyo-2, BSS'den çok daha küçük bir oda olduğu için Stüdyo-2 oda sabiti R değeri BSS'nin oda sabiti değerinin yarısı kadardır. Denklem (1.20)'deki oda sabiti ifadesinden anlaşılacağı üzere bu durum sadece iki odanın yüzey alanlarının farklı olmasından dolayı değildir. Yüzeyleri kaplayan malzemelerin sesi soğurma katsayısı da burada belirleyicidir.

Stüdyo-2 içerisinde yapılan ölçümler BSS'de kullanılan aynı ses kaynağı ile yapıldığı için analiz sonucunda SL_w değerlerinin BSS SL_w değerlerine yakın

olmasını bekleriz. Stüdyo-2 $SL_{w_{ort}}$ değerine baktığımızda BSS'de $SL_{w_{ort}}$ değerine çok yakın olduğunu görürüz.

7.3. STÜDYO-3 SES SEVİYESİ ÖLÇÜMLERİ REGRESYON ANALİZİ

Stüdyo-3 içerisinde yapılan her bir ölçüm seti için % 95 doğruluk ile regresyon yaptığımızda her bir set için β_0 ve β_1 değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak bulduk.

Tablo 7. 7: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerleri

	SET 1	SET 2
$\beta_0 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{4}{R}$	730822434,9	856281307,1
$\beta_1 = 10^{SL_w/10} \cdot \frac{D}{4\pi}$	33872761,33	32185301,6

Bu β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik değerlerini hesapladığımızda yine her bir set için aşağıdaki tabloda verilen değerlere ulaştık.

Tablo 7. 8: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası β_0 ve β_1 değerlerinin logaritmik sonuçları

	SET 1	SET 2
$\log_{10}(\beta_0) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{4}{R}\right)$	8,863811871	8,932616463
$\log_{10}(\beta_1) = \frac{SL_w}{10} + \log_{10}\left(\frac{D}{4\pi}\right)$	7,529850602	7,507657583

Stüdyo-3'te de aynı ses kaynağını kullandığımız için taşınabilir ses hoparlörümüzün yönsellik faktörünü 2 olarak alacağız. Bu durumda Stüdyo-3 içerisindeki ölçüm setlerinin regresyon analizinden ses kaynağımızın güç seviyesi SL_w değerini ve Stüdyo-3'ün oda sabiti R değerini bulmaya çalışacağız. Denklem (1.37) ve (1.40) ile bu değerleri hesapladığımızda her bir set için SL_w ve R değerlerini aşağıdaki tabloda verilen değerler olarak buluruz.

Tablo 7. 9: Stüdyo-3 ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası SL_w ve R değerleri

	SET 1	SET 2
SL_w=	83,2803047	83,05837451
R=	1,164873031	0,944671862
D=	2	2

SL_w ve R değerleri, aynı oda ve aynı ses kaynağı kullanılarak yapılan ölçümler ve yapılan analizler sonucunda bulunduğu için her bir ölçüm setine karşılık gelen SL_w ve R değerleri birbirine yakın olacaktır. İki ölçüm setinden elde ettiğimiz ortalama SL_w ve R değerleri ise

$$SL_{w_{ort}} = 83,17 \text{ dB (A)}$$

$$R_{ort} = 1,05 \text{ olarak buluruz.}$$

Stüdyo-3 de, Stüdyo-2 gibi BSS'den çok daha küçük bir oda olduğu için Stüdyo-3 oda sabiti R değeri BSS'nin oda sabiti değerinin yine yarısı kadardır. Bu durumu, Denklem (1.20)'deki oda sabiti ifadesinden, sadece iki odanın yüzey alanlarının farklı olması ile değil aynı zamanda yüzeyleri kaplayan malzemelerinin farklılığı ve buna bağlı olarak da sesi soğurma katsayısının farklı olması durumundan, anlaşılabilir.

Stüdyo-3 içerisinde yapılan ölçümler Stüdyo-2 ve BSS'de kullanılan aynı ses kaynağı ile yapıldığı için analiz sonucunda SL_w değerlerinin Stüdyo-2 ve BSS SL_w değerlerine yakın olmasını bekleriz. Stüdyo-3 $SL_{w_{ort}}$ değerine baktığımızda Stüdyo-3 ve BSS'de $SL_{w_{ort}}$ değerine çok yakın olduğunu görürüz.

Stüdyo-3 ile Stüdyo-2 odaları, hem boyutlar ve hem de yüzey kaplayıcı malzemeler olarak benzer özellikler taşıdığı için bu iki odanın oda sabiti R değerinin de birbirine yakın olmasını bekleriz. Bu iki oda için R_{ort} değerlerine baktığımızda, hem yapı hem de malzeme benzerliğinin sonucu olarak hemen hemen aynı R_{ort} değerlerine sahip olduklarını görebiliriz.

7.4. GÜRÜLTÜ HESAPLAMA YÖNTEMİNİN GENEL BİR DEĞERLENDİRMESİ

Aynı gürültü kaynağı kullanarak ve farklı kapalı ortamlarda yaptığımız ölçümler ve analizler sonrasında her oda için aynı ses güç seviyesi değerine ulaştık.

Tablo 7. 10: Ölçüm setlerinin regresyon analizi sonrası $SL_{w_{ort}}$ ve R_{ort} değerleri

	$SL_{w_{ort}}$	R_{ort}
BSS	83,24 dB (A)	2,08
Stüdyo 2	83,09 dB (A)	1,04
Stüdyo 3	83,17 dB (A)	1,05

BSS, diğer iki odadan büyüklük ve yapı malzemesi açısından farklılık gösterdiği için BSS oda sabiti (R), diğer iki odanın oda sabiti (R) değerinden büyüktür. Stüdyo 2 ve Stüdyo 3 odaları da hem büyüklük hem de yapı malzemesi açısından benzerlik gösterdiği için bu iki oda için oda sabiti (R) değeri birbirine yakındır.

Sınırlı sayıda ölçüm setleri ve hızlı analiz sonrasında ulaştığımız her oda için oda sabiti değerleri ve aynı gürültü kaynağı kullanarak ulaştığımız ses güç seviyesi değerini denklem (3.15)'te kullanarak, her oda için farklı noktalarda ses basınç seviyesi değerini hesaplayabiliriz. Bu hesaplama yöntemiyle elde ettiğimiz ses basınç seviyesi değerinin ölçülen ses basınç seviyesi değeriyle tutarlılığı, hem ortamın hava şartlarının hem de odanın büyüklük ve yapısal olarak aynı kalmasıyla ilişkilidir. Yapısal olarak aynı kalmasını açıklamak istersek; çalışan sayısının aynı olması, iş akışının değişmemesi, aynı makinelerin kullanılması ve odanın yüzey alanını ve yüzey soğurma katsayısını değiştirmeyecek (istifleme alanı ya da farklı makine gövdeleri gibi) durumda olmasına bağlıdır. Buna ek olarak, ölçüm aletlerinin doğru kalibre edilip ölçümler yapılması da bu tutarlılığın sağlanmasında önemlidir.

Farklı bir gürültü kaynağı olsaydı, bu durumda, ilk olarak bu gürültü kaynağının ses güç seviyesi değerini belirlememiz gerekir ki; bu hesaplama yönteminin ilk aşamasıdır. Farklı bir gürültü kaynağı kullanarak ve farklı odalarda elde ettiğimiz sınırlı sayıda ölçüm setleriyle, denklem (3.15) sayesinde hesaplama yöntemimizi uyguladığımızda ses güç seviyesi değerini ve gürültü kaynağının bulunduğu ortamın oda sabiti değerini buluruz. Bu bilgilerle odanın farklı konumlarında ses basınç seviyesi değerini hesaplayabiliriz.

BÖLÜM VIII

SONUÇ

Bu tez kapsamında, ergonominin önemli unsurlarından birisi olan gürültü hakkında, kapalı çalışma ortamında gürültünün ölçülebilmesine yönelik bir metod geliştirdik. Gürültüyü ölçebilmek, hem kanuni mecburiyetler yönü ile hem de çalışma koşullarının iyileştirilmesi amacı ile tedbirler almak üzere zaruridir. Denklem (3.15) sayesinde konumu belli gürültü kaynağının, çalışma ortamında bir başka konumda sabit bulunan(cihaz başında) ya da hareketli olan çalışanın üzerindeki ses basınç seviyesini(SL_p) hesaplayabileceğimizi göstermeye çalıştık. Tabi ki bu denklemin işlevli olması için gürültü kaynağının ses güç seviyesinin(SL_w) bilinmesi gerekir. Bu da, var olan işletmelerde çok hızlı ulaşılabilir bir bilgi değildir. Aynı şekilde, var olan işletmelerde işyeri ortamının toplam yüzey alanı (duvarlar, duvar kaplayıcı malzemeler, kapı pencere gibi açıklıklar ve tavan yüksekliğindeki değişiklikler), yüzey kaplayıcı malzemelerin yapısal özellikleri(soğurma katsayısı) ve işyeri ortamında cihaz dışında bulunan diğer araç gereçlerin(depo, dolap ve ürün istifleme bölgesi) ne kadar yer kapladığı da hızlı ulaşılabilir bir bilgi olmadığı gibi kolay hesaplanabilen veriler de bulunmamaktadır. Dolayısıyla, işyeri ortamının oda sabiti R değeri de hızlı ve kolay ulaşılabilen bir bilgi değildir.

Bu çalışmada, denklem (3.15)'i kullanarak, ilk önce aynı ortam için (BSS, Stüdyo-2 ve Stüdyo-3 için ayrı ayrı) gürültü kaynağından belirli bir uzaklığa(r) göre ses basınç seviyesi ölçümleri (SL_p) alınmıştır. Bu ölçüm setlerinin MS Office Excel programındaki regresyon analizinden çalışmanın başında bilgi sahibi olmadığımız gürültü kaynağının ses güç seviyesi (SL_w) ve ölçüm yapılan ortamın karakteristik özelliğini belirleyen oda sabiti (R) değeri % 95 doğrulukla kestirilmeye çalışılmıştır. Aynı oda için yapılan ölçüm setlerinden yapılan regresyon analizi ile gürültü kaynağı olarak kullandığımız taşınabilir ses hoparlörünün ses güç seviyesi hesaplanmış ve bu ses güç seviyesi değeri diğer odalarda yapılan ölçüm setlerinden yapılan regresyon

analizi sonucu bulduğumuz ses güç seviyesi değeri ile yakın sonuç vermiştir. Tüm odalarda aynı gürültü kaynağı kullandığımız için, denklem (3.15)'un işlevliliği ile her odada kullandığımız taşınabilir ses hoparlörü gürültü kaynağının ses güç seviyesi değerlerinin bir birine çok yakın olması çalışmamızın başarılı bir öngörüsüdür.

Aynı şekilde, herhangi bir odada yapılan ölçümler sonucunda yapılan regresyon analiziyle bulduğumuz o odanın karakteristik özelliğini belirleyen oda sabiti R değeri de yakın değerler çıkmıştır. BSS, Stüdyo-2 ve Stüdyo-3'e göre büyük bir oda olduğu için BSS oda sabiti değeri diğer iki odanın oda sabiti değerinden büyüktür. Oda sabiti R değerinin farklı olması sadece odanın boyutları ile açıklanamaz ve odadaki yüzey kaplayıcı malzemelerin farklılığı BSS oda sabiti değeri ile diğer iki odanın oda sabiti değerlerinden farklı olmasını sağlamıştır. Stüdyo-2 ve Stüdyo-3 odaları yapı malzemeleri ve boyutları açısından benzerlikler gösterdiğinden, bu iki odaya ait oda sabiti R değerleri de birbirine çok yakındır.

Yapılan ölçümlerle birlikte regresyon analiziyle elde ettiğimiz SL_w ve R bilgileriyle ve kaynağın yönsellik bilgisini dahil ederek, kaynaktan belirli bir mesafede gürültüden kaynaklı iş güvenliği riskini en aza indirecek konum belirlenebilir ya da işyerinin tamamı dikkate alındığında çalışanların tümünün gürültüden kaynaklı güvenlik riskini en aza indirecek şekilde makinelerin konumları ayarlanması için çıktılar işyeri iş sağlığı ve güvenliği kuruluna öneri olarak sunulabilir. Yine elde edilen ölçüm setlerini kullanarak Regresyon analiziyle elde ettiğimiz oda sabitinin optimum düzeyde olması için öneriler iş sağlığı ve güvenliği kuruluşuyla paylaşılıp, işveren ya da işveren vekili gerekli aksiyonları başlatabilir.

Bu çalışmada, tek bir gürültü kaynağı(taşınabilir hoparlör) kullanılarak farklı kapalı ortamlarda sınırlı sayıda ölçüm setleriyle belirli bir konumdaki ses basınç seviyesi değerinin hesaplanabileceğini gösterdik. Mevcut kapalı işyerlerinde birden fazla gürültü kaynağı bulunabilmektedir ve bu kaynakların işyeri ortamında farklı konumlarda ses basınç seviyesi değerleri çok sayıda uzman personelle ve uzun süreler içerisinde çok sayıda ölçüm aleti kullanılarak gürültü haritası çıkarılarak mevcut işyeri iş sağlığı ve güvenliği birimine sunulabilmektedir. Bu işyerlerinde, tüm makine ya da cihazlar çalışırken oluşturulan gürültü haritası o işyerindeki iş sağlığı ve güvenliği personeliyle oluşturulamayacağından dolayı bu haritalama süreci işveren tarafından uzman işletmelere yaptırılmaktadır. Dışarıdan sağlanan bu hizmet,

uzman personel ve teçhizatlar gerektirdiği için pahalı bir süreçtir. Uzun süren ölçümler gerektirdiği için de gürültüden kaynaklı İSG risklerini ortadan kaldırmak için hızlı bir süreç de değildir. Çoğu işyeri ortamlarında da iş akışında değişiklikler olabileceği için (malzeme istifleme alanı, ürün istifleme alanı, çalışan personel sayısının artması gibi) gürültü haritasını çıkarmak mümkün olmayacak ya da çıkarılan gürültü haritası değişen iş akışına göre alınması gereken İSG tedbirleri için yeterli olamayacaktır. Tek gürültü kaynağı kullanılarak ses basınç seviyesi değerinin hesaplanabileceğini gösterdiğimiz bu yöntem birden fazla gürültü kaynağı için genelleştirildiğinde gürültü haritası oluşturma gibi pahalı ve uzun süreçten daha ucuz ve hızlı bir sürece geçiş olacaktır. Bu çalışmada gürültü hesaplamada kullandığımız ve işlevselliğini gösterdiğimiz denklem (3.15) modellendiği takdirde kapalı bir işyeri ortamında her türlü yerleşim için ses basınç seviyesi değeri hesaplanabilecek ve bu modelle gürültü haritası çıkarmanın ucuz ve hızlı yolu sağlanmış olacaktır.

KAYNAKÇA

- 1- LAÇİNER Vedat (2014), “İş sağlığı ve güvenliği hukukunda çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunması”, Ali Rıza Okur’a Armağan, *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, Sayı 20 Cilt 1 ss. 750-766, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/787651> E.T. 12.08.2022
- 2- DADAŞ Ezgi, DEMİREL Füsün (2019), “İş yerinde maruz kalınan gürültünün ulusal ve uluslararası mevzuatlar bağlamında incelenmesi”, *4. Uluslararası İş Güvenliği ve Çalışan Sağlığı Kongresi*, ss. 330-341, Ankara
- 3- ÖNEN Ufuk (2007), *Ses Kayıt ve Müzik Teknolojileri*, Sekizinci Basım, Çitlembik Yayınları, İstanbul
- 4- DENISON Michael.H. & ANDERSON Brian. E. (2019), “The effects of source placement on time reversal focusing in rooms”, *Applied Acoustics*, 156, ss. 279-288
- 5- RAZAVI Hamideh, RAMAZENIFAR Ehsan. & BAGHARZADEH Jalal. (2014), “An economic policy for noise control in industry using genetic algorithm”, *Safety Science*, Sayı 65, ss. 79-85
- 6- BIES David A. and HANSEN Colin H., (2003), *Engineering Noise Control, Theory and Practice*, Third Edition, Spon Press, London
- 7- Sound - Attenuation and the Directivity Coefficient, https://www.engineeringtoolbox.com/directivity-coefficient-sound-d_67.html E.T. 12.08.2022
- 8- BARRON Randall F., (2003), *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker, Inc., New York
- 9- ŞAHİN E. (2003), “Gürültü Kontrol Yöntemleri – Bir Uygulama.”, *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 18(4), ss 67-80.

- 10-** MONAZZAM M. Reza, HASHEMI Zehra, GOLMOHAMMADI Rostam and ZAREDAR Narges (2014), “A Passive Noise Control Approach Utilizing Air Gaps with Fibrous Materials in the Textile Industry”, *Journal of Research in Health Science*, 14(1), ss. 46-51

