

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK KÂĞITLARI KULLANARAK GÜRÜLTÜ  
İZOLASYON MALZEMESİ ÜRETİMİ**

**Tezi Hazırlayan  
Salih Sancar TURAL**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2018  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK KÂĞITLARI KULLANARAK GÜRÜLTÜ  
İZOLASYON MALZEMESİ ÜRETİMİ**

**Tezi Hazırlayan  
Salih Sancar TURAL**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2018  
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA danışmanlığında Salih Sancar TURAL tarafından hazırlanan “Atık Kâğıtları Kullanarak Gürültü İzolasyon Malzemesi Üretimi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

10/09/2018

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Melayib BİLGİN



Üye : Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA




Üye : Dr. Öğr. Ü. Sevgi GÜNEŞ DURAK

ONAY

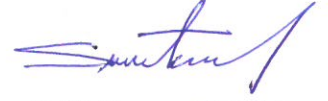
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/09/2018 tarih ve 37-307 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

12/09/2018  
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Salih Sancar TURAL

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen, tezimde büyük emeği olan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA'ya,

Proje desteğinden ötürü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No: YLTPF33),

Maddi ve manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, her türlü sorunda daima yanımda olan AİLEME,

Desteklerinden dolayı Çevre Mühendisliği Anabilim dalı öğretim üyeleri hocalarıma, İzdüşüm Çevre ve Jeoloji Müh. Dan. Tic. Ltd. Şti. ailesine ve Çevre Yüksek Mühendisi Çiğdem ASLAN EKŞİ'ye, Global Teknik İş Sağlığı Güvenliği ve Çevre Laboratuvarı Müdürü Çevre Mühendisi Cihan SİDAL'e teşekkür ederim.

# ATIK KÂĞITLARI KULLANARAK GÜRÜLTÜ İZOLASYON MALZEMESİ ÜRETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Salih Sancar TURAL

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2018

## ÖZET

Bu çalışmada, gürültünün insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi amacıyla halen kullanılan gürültü izolasyon malzemelerine alternatif olabilecek yeni bir izolasyon malzemesinin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma gerçekleştirilirken, gündelik yaşantımızda yoğun kullanımlar sonucu oluşan atık niteliği kazanmış kağıtların çevre ve insan sağlığına zararının en aza indirilmesi ve ekonomiye katkı sağlaması esasları dikkate alınmıştır. Bu amaçla, strafor (EPS), atık kâğıt ve pomza taşı tozu kullanılarak altı farklı modifikasyonda izolasyon panelleri üretilmiştir. Üretilen bu panellerde ses geçiş kaybı analizleri 100 – 2.000 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak üretilen panel ile 1.000 Hz. frekansta 15,8 desibel gürültü azaltımı sağlanmıştır. Böylece ülkemizde yılda 2 milyon tondan fazla çıkan ancak sadece %50'sini geri dönüştürebildiğimiz atık kâğıdın, izolasyon panelleri için ham madde olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Atık kâğıt, gürültü, izolasyon, panel, ses.

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Sayfa Adedi: 96**

# PRODUCTION OF NOISE ISOLATION MATERIALS BY USING WASTE PAPERS

(Master Thesis)

SALIH SANCAR TURAL

NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

September 2018

## ABSTRACT

In this study, it was aimed to produce a new isolation material which could be an alternative to the currently used noise isolation materials in order to minimize the negative effects of noise on human health. For this purpose, six different modified insulation panels were produced using styrofoam (EPS), waste paper and pumice powder. In these panels produced, the sound transmission loss analyses were carried out at a frequency range of 100 – 2.000 Hz. As a result, it was determined that the material has the isolation ability up to 15,8 decibels at 1.000 Hz frequency. Thus, it is understood that the waste paper which can be recycled by only 50% of our country, which is more than 2 million tons per year, can be used as raw material for the insulation panels.

*Keywords: Waste paper, noise, isolation, panel, sound.*

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Numbers of Pages: 96**



## İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
1.BÖLÜM .....	1
GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM .....	3
GENEL BİLGİLER .....	3
2.1 Temel Ses Kavramları.....	3
2.1.1 Dalga hareketleri .....	3
2.1.2. Frekans (f).....	4
2.1.3. Oktav bandlar .....	4
2.1.4. Dalga boyu ( $\lambda$ ).....	6
2.1.5. Periyot ve genlik.....	7
2.1.6. Sesin hızı (c).....	7
2.1.7. Sesin şiddeti (I).....	8
2.1.8. Ses basıncı .....	9
2.1.9. Desibel.....	10
2.1.10. Ses gücü düzeyi.....	11
2.1.11. Yönelme ve yönelme katsayısı.....	11
2.2. Gürültü Birimleri ve İndeksleri .....	13
2.2.1. Ses düzeyi.....	13

2.2.2.	Eşdeğer (sürekli) gürültü (ses) düzeyi.....	13
2.2.3.	Ses etkilenim düzeyi (SEL, $L_E$ ).....	15
2.2.4.	Gündüz-gece gürültü düzeyi .....	16
2.2.5.	En yüksek ses düzeyi tepe düzeyi ( $L_{max}$ ) .....	17
2.3.	Serbest Alanda Sesin Yayılması .....	17
2.3.1.	Sesin açık alanda (serbest alanda) yayılması koşullarında kaynağın özellikleri .....	18
2.3.1.1.	Nokta kaynak .....	18
2.3.1.2.	Çizgi kaynak.....	19
2.3.1.3.	Düzlem kaynak.....	19
2.4.	Kapalı Mekânlarda Sesin Yayılması .....	19
2.4.1.	Sesin yansımaları .....	20
2.4.2.	Sesin yutulması .....	22
2.4.3.	Sesin yayılması (saçılması) .....	24
2.4.4.	Sesin kırılması .....	25
2.5.	Gürültünün Sınıflandırılması.....	26
2.5.1.	Frekans spektrumuna göre gürültü türlerinin sınıflandırılması.....	26
2.5.1.1.	Sürekli geniş band gürültüsü .....	26
2.5.1.2.	Sürekli dar band gürültüsü .....	26
2.5.2.	Zamana bağlı olarak gürültü türlerinin sınıflandırılması .....	26
2.5.2.1.	Kararlı gürültü.....	26
2.5.2.2.	Kararsız gürültü.....	26
2.5.2.3.	Kesikli gürültü.....	26
2.5.2.4.	Darbe gürültüsü.....	27
2.6.	Gürültü Kaynakları.....	27
2.7.	Gürültüden Teknik Korunma Yöntemleri .....	27
2.7.1.	Mekânların akustik özelliklerinin değiştirilmesi.....	27

2.7.2.	Ses engelleyici duvar (bariyer) uygulaması .....	32
2.7.3.	Ses iletimi.....	33
2.7.3.1.	Hava doğuşumlu ses iletimi .....	33
2.7.3.2.	Darbe kaynaklı ses iletimi .....	33
2.7.4.	Ses yalıtımı ve malzemeleri .....	33
2.7.4.1.	Ses yalıtımı.....	33
2.7.4.2.	Yalıtım malzemeleri.....	34
2.8.	Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	35
2.8.1.	Gürültünün insan üzerindeki etkileri ve sınıflandırılması.....	37
2.8.1.1.	Gürültüye bağlı işitme bozukluğu.....	38
2.8.1.2.	Konuşmanın engellenmesi .....	39
2.8.1.3.	Gürültünün uyku üzerindeki etkileri .....	40
2.8.2.	İşitilebilir frekanslar .....	42
2.8.2.1.	Çeşitli seslerin frekans içerikleri.....	42
2.8.3.	Gürültünün insan sağlığı üzerinde yarattığı olumsuz etkileri .....	43
2.9.	Çevresel Gürültü .....	43
2.9.1.	Ulaşım gürültüsü .....	45
2.9.1.1.	Karayolları gürültüsü .....	45
2.9.1.2.	Demiryolu gürültüsü .....	46
2.9.1.3.	Havaalanı gürültüsü .....	47
2.9.1.4.	Denizyolu gürültüsü.....	48
2.9.2.	Endüstri tesislerinden kaynaklanan çevre gürültüsü .....	48
2.9.3.	İnşaat (şantiye) gürültüsü .....	49
2.9.4.	Rekreasyon ve eğlence yerlerinin çevresel gürültüsü .....	50
2.10.	Gürültü Ölçümü ve Değerlendirilmesi.....	50
2.10.1.	Gürültü ölçümünde kullanılan cihazlar .....	50

2.10.1.1.	Ses düzeyi ölçer.....	50
2.10.1.2.	Frekans analiz cihazı.....	51
2.10.1.3.	Mikrofonlar .....	52
2.10.2.	Gürültü ölçümü .....	52
2.10.3.	Gürültünün haritalanması.....	54
2.11.	Geri Kazanım Sistemleri ve Geri Kazanılabılır Atıklar .....	55
2.11.1.	Tanımlar .....	55
2.11.2.	Geri kazanım yaklaşımı.....	56
2.11.3.	Geri kazanılabılır katı atık çeşitleri .....	57
2.11.3.1.	Kâğıt atıklar.....	58
2.11.4.	Geri kazanımın ekonomisi .....	58
2.12.	Kâğıdın Kimyasal Yapısı ve Kâğıt Üretiminden Kaynaklı Çevresel Etkiler .....	59
2.12.1.	Kâğıdın kimyasal yapısı .....	59
2.12.2.	Kâğıt üretimi ve üretilen kâğıdın kimyasal yapısı .....	60
2.12.2.1.	Kâğıt hamurunun hazırlanması .....	60
2.12.2.2.	Kâğıt üretiminde kullanılan maddeler.....	60
2.12.2.3.	Kâğıt hamurunun ağartılması.....	63
2.12.3.	Kâğıt üretiminden kaynaklı çevresel etkiler ve alınacak önlemler .....	64
2.12.3.1.	Selüloz üretiminden kaynaklanan çevre sorunları .....	64
2.12.3.2.	Kâğıt-karton üretiminden kaynaklanan çevre sorunları.....	64
2.12.4.	Atık kâğıttan kâğıt üretim sonucu ortaya çıkan sorunlar .....	64
2.13.	Atık Kâğıt Kaynakları ve Toplama Sistemleri.....	65
2.13.1.	Atık kâğıt kaynakları.....	65
2.13.1.1.	Sanayi tesisleri .....	65
2.13.1.2.	Büro, okul vb. yerler .....	65
2.13.1.3.	Meskenler.....	65

2.13.2.	Atık kâğıt toplama sistemleri .....	66
2.13.2.1.	Tüketiciye getirtme yöntemleri .....	66
2.13.2.2.	Tüketiciden alma yöntemleri.....	67
2.13.3.	Türkiye’de atık kâğıt toplama sistemi .....	67
2.13.3.1.	Kâğıt firmaları .....	68
2.13.3.2.	Sokak toplayıcıları .....	68
2.13.3.3.	Çevreci kuruluşlar .....	68
2.13.3.4.	Belediyeler, kamu kurum ve kuruluşları .....	69
2.14.	Atık Kâğıt Geri Kazanım Uygulamaları .....	69
2.14.1.	Atık kâğıt kullanımı .....	69
2.14.2.	Bazı gelişmiş ülkelerde geri kazanım uygulamaları .....	70
2.14.2.1.	Almanya .....	70
2.14.2.2.	Amerika Birleşik Devletleri .....	70
2.14.3.	Türkiye’de atık kâğıt sektörünün gelişimi .....	70
2.14.3.1.	Türkiye’de kâğıt ve kâğıt ürünleri ithalat ve ihracat rakamları.....	71
2.14.4.	Atık kâğıdın ses yalıtımında kullanılmasına dair çalışmalar .....	71
2.15.	Türkiye’de Geri Kazanılabılır Atıklar İçin Hazırlanmış Yasal Mevzuatlar.	72
2.15.1.	Ambalaj atıkları kontrolü yönetmeliği .....	73
2.15.2.	Atık yönetimi yönetmeliği .....	74
3. BÖLÜM	.....	76
MATERYAL VE YÖNTEM	.....	76
3.1.	Kullanılan Materyallerin Özellikleri .....	77
3.1.1.	EPS köpük .....	77
3.1.2.	Atık kâğıt.....	78
3.1.3.	Pomza tozu .....	79
3.1.4.	Ses empedans cihazı.....	79

3.1.4.1.	AFD 1200 – sound transmission tube .....	80
3.1.4.2.	AFD 1201 – analysis software .....	80
3.1.5.	Numunelerin hazırlanması ve ölçülmesi .....	80
IV.	BÖLÜM .....	86
	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	86
4.1.	Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi .....	86
5.	BÖLÜM .....	92
	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	92
	KAYNAKLAR .....	94
	ÖZGEÇMİŞ .....	96

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Oktav bandlar ve merkez frekansları .....	6
Tablo 2.2. Çeşitli ortamlarda sesin yayılma hızı.....	8
Tablo 2.3. Düzgün ses yayan bir ses kaynağının değişik konumlarda sahip olacağı yönelme katsayısı ve yönelme indeksi .....	12
Tablo 2.4. Bazı malzemelerin ses yutma katsayısı.....	29
Tablo 2.5. Gürültünün işitme duyusunda oluşturduğu olumsuz etkileri .....	41
Tablo 2.6. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri.....	43
Tablo 2.7. Ülkemizdeki standart ve prosedürler.....	45
Tablo 2.8. Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri .....	46
Tablo 2.9. Hafif raylı sistemler için çevresel gürültünün sınır değerleri.....	47
Tablo 2.10. Havaalanı çevresel gürültü sınır değerleri .....	48
Tablo 2.11. Endüstri tesisleri için çevresel gürültü sınır değerleri .....	49
Tablo 2.12. Şantiye alanı için çevresel gürültü sınır değerleri.....	50
Tablo 2.13. Geri kazanılabilir atıkların kompozisyonu .....	57
Tablo 2.14. Malzemeye göre yıllık zorunlu kullanım oranları .....	73
Tablo 2.15. Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri .....	74
Tablo 3.1. EPS levhalar için TS EN 13163'e göre sınıflama .....	78
Tablo 4.1. Ses geçiş kaybı analiz sonuçları.....	90

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Ses basıncının zamanla değişimi.....	10
Şekil 2.2.	Bir uçağın kalkışı sırasında çıkan tipik gürültünün ses düzeyi ve ses etkilenim düzeyi .....	16
Şekil 2.3.	Sesin yansımalarına etki eden etkenler .....	18
Şekil 2.4.	Yansıma olabilmesi için dalga boyu ve yüzey ilişkisi .....	21
Şekil 2.5.	Ses ışınlarının farklı yüzey biçimlerinden yansımaları.....	22
Şekil 2.6.	Gözenekli bir tabakadaki yutuculuğun şematik gösterimi .....	22
Şekil 2.7.	Sesin saçılmasını sağlayan yapı elemanından kuşbakışı görünüş .....	25
Şekil 2.8.	Kırılma olma koşulu.....	25
Şekil 2.9.	Ses basıncı düzeylerinin oda sabiti ve uzaklığa göre değişimi .....	32
Şekil 2.10.	Cam yünü .....	34
Şekil 2.11.	Taş yünü .....	34
Şekil 2.12.	Poliüretan .....	35
Şekil 2.13.	Melamin köpüğü .....	35
Şekil 2.14.	Etkisinde kalınan gürültü düzeyine bağlı olarak 25 dB ya da daha fazla işitme kaybına uğrayan kişilerin toplam grup içerisindeki oranı.....	37
Şekil 2.15.	İşitme eşiği .....	42
Şekil 2.16.	Ses düzeyi ölçer.....	50
Şekil 3.1.	1. Numuneye ait yapısal gösterim.....	83
Şekil 3.2.	2. Numuneye ait yapısal gösterim.....	83
Şekil 3.3.	3. Numuneye ait yapısal gösterim.....	84
Şekil 3.4.	4. Numuneye ait yapısal gösterim.....	84
Şekil 3.5.	5. Numuneye ait yapısal gösterim.....	85
Şekil 3.6.	6. Numuneye ait yapısal gösterim.....	85



Şekil 4.1	1 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	86
Şekil 4.2	2 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	87
Şekil 4.3	3 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	87
Şekil 4.4	4 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	88
Şekil 4.5	5 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	88
Şekil 4.6	6 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları .....	89

## 1.BÖLÜM

### GİRİŞ

Dünyamızda her geçen gün küresel olarak artan şehirleşme ve endüstrileşme faaliyetleri beraberinde ciddi çevre sorunlarını gün yüzüne çıkararak gerek makro olarak dünya sağlığını gerekse mikro olarak birey sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çevre kirliliği kavramı genel olarak evsel ve endüstriyel atıklarla özdeşleşmiş olmasına rağmen kirlilik türleri irdelendiğinde ve daha derine inildiğinde fark edilmektedir ki, bu durum yalnızca atıklar ile sınırlandırılabilir kadar sığ bir anlam teşkil etmemektedir. Çevresel kirliliği daha geniş perspektifte ele alıp inceleyecek olursak su kirliliği, toprak kirliliği, hava kirliliği, görüntü kirliliği, ışık kirliliği ve gürültü kirliliği gibi ana başlıklar altında toplandığı görülmektedir. Elbette ki her kirliliğin etki ettiği alan ve etki derecesi farklılık göstermekle birlikte bütün kirlilik sonuçları doğrudan; dünya düzenini, toplum sağlığını ve birey sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Tez konusu kapsamında gürültü kirliliği ele alındığında, gürültü; en basit tanımıyla istenmeyen rahatsız edici ses olarak tanımlanmaktadır. Gürültünün ön plana çıkması ilk olarak endüstrileşmenin ve şehirleşmenin yüksek olduğu büyük kentlerde gerçekleşmiştir. Bu gürültülerin artmasının sebepleri arasında yoğun trafik, endüstriyel işletmelerin yerleşim yerine yakın olmaları, inşaat çalışmaları vb. gibi faaliyetler gösterilebilmektedir. Mesken bölgelerinde ise eğlence merkezleri, alışveriş merkezleri, müzik sesleri gibi etmenler gürültüye maruz kalan bireylerde psikolojik ve fizyolojik etkiler oluşturmaktadır.

Gürültünün bireyler üzerinde bıraktığı psikolojik ve fizyolojik etkiler, şehirleşme ve endüstrileşmenin büyümesiyle doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Günümüzde gürültünün tamamıyla engellenmesi imkânsıza yakın bir durum iken, gürültünün bireyler üzerinde bıraktığı her türlü olumsuz etkinin minimuma indirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu durum biraz daha fazla irdelendiğinde gürültüye karşı alınacak önlemler arasında gürültüyü kaynağında azaltmak, kişisel koruyucu ekipmanlar kullanmak, gürültü engelleyici paneller kullanmak, sesi engelleyici akustik iç ortam malzemeleri kullanmak, inşaat vb. çalışmalarda ses yalıtımı yapmak, havaalanı, fabrika

vb. gibi yüksek ses oluşturması muhtemel kuruluşları yerleşim yerlerinden uzakta inşa etmek gibi bazı önlemler gösterilebilir.

Ülkemizde bu durum ele alındığında; ses engelleyici iç ortam akustik malzemeleri, ses engelleyici paneller, kişisel koruyucu ekipmanlar gibi önlemlerin alındığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada mevcut ses engelleyici akustik malzemelere alternatif olarak, atık kâğıtların tekrar kullanılabilme özelliğinden yararlanarak yeni bir akustik malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Bu hedefe doğru ilerlerken, gerek mevcut çalışmalarını ve yayınlarını gözden geçirerek bir kıstas hedefi belirleyerek kendi alanında özgün olması için gerekli hassasiyet ve önem gösterilmiş olup, gerekse, ülkemizde yeniden kullanılabilir malzemeleri hedef alarak ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

Ses, kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri elastik bir ortamdaki basınç değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilmektedir ve beyin tarafından ses olarak algılanmaktadır. Çevremizde duyduğumuz seslerin büyük bir çoğunluğu harmoniktir ve ses nesnel bir kavramdır [1].

#### 2.1 Temel Ses Kavramları

##### 2.1.1 Dalga hareketleri

Sesin oluşumu, ortamdaki parçacıkların titreşimi, yayılması ise oluşan bu titreşimin bir parçacıktan yanındaki parçacığa iletilmesiyle tanımlanabilir. Ortamdaki parçacıklar titreşerek havada basınç dalgaları oluşturmaktadır. Bu basınç değişimleri kulaklarımız tarafından enerjiye dönüştürülerek ses dalgası olarak algılanır. Sesin doğuşu esnasında oluşan havadaki bu dalgalanmaların gözle görülmesi mümkün olmasa da suya düşen bir taşın su yüzeyinde oluşturduğu dairesel dalgalanmalarla görselleştirilebilir.

Rüzgârsız bir ortamda, durgun haldeki bir yüzeysel su kaynağı ele alındığında, bu su kaynağına yüzeydeki durgunluğu bozacak bir cisim atıldığında su yüzeyi cismin ilk çarptığı merkez noktadan dışarıya doğru dairesel olarak hareketlenir. Hareketlenmenin merkezi cismin su yüzeyine temasından kaynaklanan basınç değişimiyle oluşan ses doğuşunu ifade etmektedir. Merkezden dışa doğru büyüyen dairesel hareketlenmeler ise oluşan titreşimin hemen yanındaki parçacığa iletilmesi ve titreşimin gittikçe çap olarak büyümesi, aynı zamanda sesin yayılımının görsel olarak gözlenmesine olanak sağlar.

Titreşen bir cisimden havada sıkışma ve gevşeme noktaları yaratarak ilerleyen dalgalar bütününe ses dalgaları denir. Sıkışma ve gevşeme dalgaları hava partiküllerinin titreşmelerine neden olmaktadır [2].

Suyun üstünde yüzen cisimler incelendiğinde görüleceği gibi dalga hareketi sırasında dalgacık ilerlemekte fakat su partikülleri normal pozisyonları civarında yukarı ve aşağı doğru salınmaktadırlar. Bir dalga hareketinde ilerleyen, ortamdaki partiküller değil dalganın enerjisidir.

Ses, bir ortam içerisinde titreşimlerden oluşan fiziksel bir hareket şeklinde yayılmaktadır. Eğer bu hareket, işitme frekansı dizisi içindeyse kulak ve diğer yardımcı alıcı organlar tarafından ses olarak algılanmaktadır. Sesin var olabilmesi için bir kaynak (çapını büyülterek küçülten bir cisim) ve esnek bir ortam (örneğin hava) gerekmektedir. Durgun bir suya atılan taşın su yüzeyinde oluşturduğu dalgalanmaların yayılmasına benzetelebilen ses dalgaları, ortamın moleküllerini sıkıştırıp gevşeterek ses enerjisini çevreye dağıtmaktadır [3].

### **2.1.2. Frekans (f)**

Doğadaki birçok dalga tek bir dalgacıktan değil, her biri öncekini takip eden dalgacık serilerinden oluşmaktadır. Birim zamanda üretilen dalgacık miktarı ya da bir saniyede tamamlanan devir sayısı frekans olarak adlandırılmaktadır. Bir partikülün tamamladığı devreye devir denilmektedir. Bir saniyede tamamlanan devir sayısı ise frekans olarak tanımlanmaktadır.

Yüksek frekanslar için Hertz'in 1.000 katı olan kilo Hertz (kHz) kullanılmaktadır. İşitebileceğimiz frekans aralığı yaklaşık olarak 16-16.000 Hz'dir. Bu değer bazı literatürlerde 20-20.000 Hz arasında verilmektedir. 20 Hz'in altındaki frekanslar infrasonik frekanslar olarak adlandırılmaktadır. 20 kHz'in üstündeki frekanslar ultrasonik frekanslar olarak adlandırılmaktadır. Bunlar da insanlar tarafından duyulamazlar fakat bazı hayvanlar bu frekansları duyabilmektedir.

Bir sesin frekans-ses basınç ilişkisine frekans spektrumu adı verilmektedir. Çevremizdeki çoğu ses komplekstir. Frekans serilerinden oluşmaktadır ve spektrumları devamlı bir eğri şeklinde gözlemlenmektedir. Örneğin, insan sesi yaklaşık 100 Hz'den 2 kHz'e kadar olan frekansları içermektedir. Erkeğin sesinin tepe değeri yaklaşık 400 Hz, kadın sesinin ise yaklaşık 500 Hz'dir [2].

### **2.1.3. Oktav bandlar**

20-20.000 Hz arasında yaklaşık olarak 20.000 tane frekans bulunmaktadır. 20.000 tane frekansta işlem yapmak oldukça zor ve zahmetlidir. Bu nedenle 20.000 tane frekans bazı aralıklara bölünmüştür. Ses analizlerinde incelenecek frekans aralıklarına oktav band denilmektedir. Bir oktav bandında, bandın üst limit frekansı alt limit frekansının iki katına

eşittir. Her oktav bandında çok sayıda frekans bulunmaktadır. Alçak frekansların özellikleri çok sık aralıklarla değiştiğinden oktav bandların frekans sayısı az, yüksek frekanslı oktav bandında frekans sayısı daha fazla olmaktadır. Bu sayı alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru artmaktadır. Tablo 2.1.'de oktav bandlar ve merkez frekansları verilmiştir. Her oktav bandında çok sayıda frekans bulunmaktadır. Bu frekansları temsil etmek için merkez frekanslar bulunur. Merkez frekanslar, bandın aritmetik değil geometrik ortalamasını vermektedirler. Yani,

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (2.1)$$

$$f_2 = 2f_1 \quad (2.2)$$

$$f = \sqrt{2} f_1 = f_2 \cdot 1/\sqrt{2} \quad (2.3)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Burada;

f : Merkez veya orta frekans,

f<sub>1</sub> : Oktav bandın alt sınır frekansı ve

f<sub>2</sub> : Oktav bandın üst sınır frekansı'dır.

Band genişliği alt ve üst sınır farkından oluşmaktadır. Band genişliği eşitlik 2.4.'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$b_w = f_2 - f_1 \quad (2.4)$$

Mimari akustikte 50 Hz'ten düşük ve 10 kHz'ten büyük frekanslar genelde önemsizdir. Bu yüzden merkez frekansları 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4kHz ve 8 kHz olan 8 oktav kullanılmaktadır. Örneğin, merkez frekansı 250 Hz olan oktavın alt ve üst frekans limitleri 177 Hz ile 354 Hz'dir. 63 Hz ile 250 Hz arası frekanslar genellikle düşük frekanslar, 500 Hz ile 1 kHz arası orta frekanslar ve 2kHz ile 8 kHz arası frekanslar yüksek frekanslar olarak adlandırılır [3].

Uygulamada özellikle 63-4.000 Hz arasındaki merkez frekanslar önemlidir. Bazı çalışmalarda 1 oktav yerine 1/3 oktav merkez frekanslar veya 1/10 oktav band merkez frekanslar önem kazanmaktadır [3].

Tablo 2.1. Oktav bandlar ve merkez frekansları [3]

Alt Sınır Frekansı ( $f_1$ )	Üst Sınır Frekansı ( $f_2$ )	Merkez Frekansı ( $f$ )
22	44	31.5
44	88	63
88	177	125
177	354	250
354	707	500
707	1.414	1.000
1.414	2.828	2.000
2.828	5.656	4.000
5.656	11.312	8.000
11.312	22.624	16.000

Oktav bandlar ve üst sınır değer arasındaki bağıntı eşitlik 2.5’de verilmiştir.

$$f_2 = 2^n \cdot f_1 \quad (2.5)$$

$n = 1$           1 oktav band için,

$n = 1/3$         1/3 oktav band için,

$n = 1/10$       1/10 oktav band için

katsayı değerini ifade etmektedir.

Oktav bandlarda üst sınır frekansının alt sınır frekansının iki katı olacak şekilde tanımlanmasının nedeni kulağın yapısından dolayıdır. Kulak frekansı oranları tam sayı olan iki sesi benzer ses olarak algılamaktadır [3].

#### 2.1.4. Dalga boyu ( $\lambda$ )

Dalga hareketi ile ilgili diğer önemli kavramlar ise dalga boyu ve dalganın hızıdır. Aslında frekans, dalga boyu ve dalga hızı birbirleriyle ilişkilidirler. Bu ilişki, su gibi sıvı bir ortamda üretilen dalgalar incelendiğinde anlaşılmaktadır. Dalgaların sıvı ortamdaki ilerleme hızlarının dakikada 100 m olduğunu ve dalgaların aynı noktadan 12 saniye aralıklarla suya atılan taşlarla üretildiği kabul edilir ise bu durumda frekans dakikada 5 taşa eşit olmaktadır. Dalga hızı 100 m/dk. olduğundan ikinci taş suya çarptığında, birinci taş 20 m’lik mesafe kat etmiş olacaktır.

Üçüncü taş su yüzeyine çarptığında birinci dalga 40 m, ikinci dalga ise 20 m uzaklıkta bulunmaktadır. 5. taş suyun yüzeyine çarptığında birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü dalgalar ise sırasıyla 80, 60, 40 ve 20 m uzaklıklarda olmaktadır. Bu noktada herhangi bir anda dalgalar arasındaki mesafeler sabittir [3]. Herhangi bir anda iki komşu arasındaki mesafeye dalga boyu adı verilmekte ve dalga boyu  $\lambda$  ile gösterilmektedir. Frekans, dalga boyu ve dalga hızı arasındaki bağıntı,

$$C = f \cdot \lambda \quad (2.6)$$

şeklinde yazılmaktadır.

Burada;

$f$  : frekans ve

$c$  : dalga hızı olarak ifade edilmektedir.

#### 2.1.5. Periyot ve genlik

Bir basınç değişim devri için geçen zaman periyot olarak tanımlanmaktadır. Ses basıncı, söz konusu noktadaki atmosferik basıncın değişme miktarını göstermektedir.  $p_0$  ile gösterilen basıncın en büyük değeri genlik olarak ifade edilmektedir. Bir ses titreşiminde genliğin azlığı veya çokluğu, ses şiddetinin azlığı veya çokluğunu ifade etmektedir. Frekansı değişmeyen bir ses titreşiminde genliğin artması ile aynı süre içinde elementler daha fazla yol kat edeceklerinden elementlerin genlik atılım hızının (titreşim hızı) artması, ses titreşimini meydana getiren kinetik enerjinin artması, yani ses şiddetinin artması demektir [3].

#### 2.1.6. Sesin hızı (c)

Dalga boyu  $\lambda$  olan bir ses dalgası, periyodu olan T sürede kendi boyu kadar yol almaktadır. Bu durumda sesin hızı,

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2.7)$$

olarak ifade edilmektedir [3].

Tablo 2.2.'de çeşitli ortamlarda sesin yayılma hızları verilmiştir.



Tablo 2.2. Çeşitli ortamlarda sesin yayılma hızı [3]

Ortam	Yayılma Hızları (m/s)
Hava	344
Su	1.400
Sert Kauçuk	1.400-2.400
Beton	3.000-3.400
Tahta	3.300-4.300
Dökme Demir	3.700
Cam	5.200

Çizelgedeki değerler incelendiğinde sesin katı ortamlardaki yayılma hızı, havadaki yayılma hızına kıyasla çok daha yüksektir. Ayrıca yapılan araştırmalarda ortamsal ve/veya çevresel faktörler (ör: sıcaklık, nem ve basınç gibi) sesin yayılma hızına az da olsa etki etmektedir.

Periyot ve frekans arasındaki ilişki Eşitlik 2.8’de verilmektedir. Sesin 20°C’de oda sıcaklığındaki hızı 340 m/s’dir [3].

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.8)$$

Burada;

f : frekans (Hz)

T : Periyot (sn.)’dir.

### 2.1.7.Sesin şiddeti (I)

Noktasal bir kaynaktan yayılan ses dalgasını sönmüleyecek bir engel, yansıtıcı yüzey ya da başka bir ses kaynağı yoksa mevcut ses dalgası giderek büyümekte ve küresel olarak yayılımına devam etmektedir.

Ses alanı içinde verilen bir noktada belirli bir doğrultu içindeki birim alandan geçen akustik gücün ortalama miktarına ses şiddeti denir [3]. Birimi Watt/cm<sup>2</sup>’dir. Bir dalğanın ses kaynağına uzaklığı iki katı arttığında küresel alan dört katı artmaktadır. Ses şiddeti uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır. Mimari akustikte bu durum Ters Kare Yasası olarak bilinmektedir. Şiddet bağıntısı,

$$I = \frac{W}{4\pi d^2} \quad (2.9)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;

I : Ses şiddeti (Watt/cm<sup>2</sup>)

W: Ses gücü (Watt) ve d : Uzaklık (cm)'dir [3].

### 2.1.8. Ses basıncı

Ses dalgalarından dolayı hava molekülleri titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan değişime ses basıncı denir. Birimi N/m<sup>2</sup> veya dyn/cm<sup>2</sup>'dir [4]. Kulakta ses duyumunu oluşturan şey ses basıncıdır. İnsan kulağı yapısı gereği yalnızca tek bir sese ait basıncı değerlendirmemekle birlikte, başka sesler ile karşılaştırarak hangisinin basınçla daha yüksek olduğuna karar vermektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde, ses basınçları kullanılan birime göre ölçüldüğünden geniş bir sayı aralığını kapsamaktadır ve kulağın bunları ayırt etme yeteneği çok yüksek olmadığından söz konusu değerlerin ifadesi için logaritmik bir ölçek kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Bunun sonucunda ulaşılan sonuç, ses biriminin desibel (dB) olarak kullanılmasıdır. Genelde herhangi bir sesin basınç düzeyi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir [4].

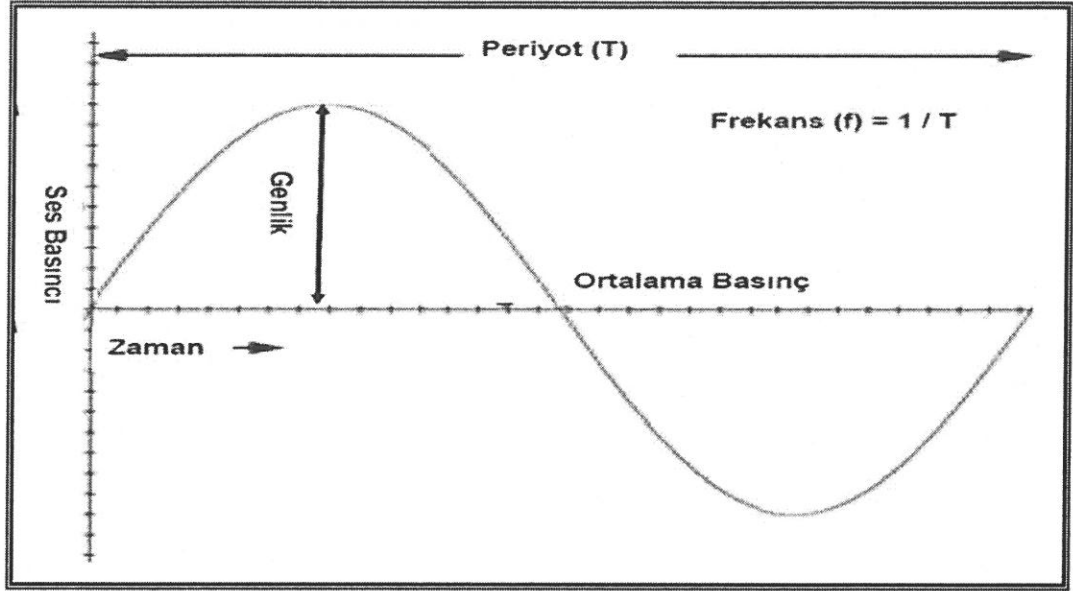
$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.10)$$

Burada,

L<sub>p</sub> : Ses basınç düzeyi,

P : Ses konusu olan sesin basıncı,

P<sub>0</sub> : Uluslararası referans basıncı (20 mikropascal)'dır [4].



Şekil 2.1. Ses basıncının zamanla değişimi [5]

### 2.1.9. Desibel

Desibel kavramı bilimsel olarak ilk kez elektrik mühendisliğinde kullanılmıştır. Desibel tanım olarak bir oranı veya bir değeri göstermektedir. Daha basit bir ifadeyle açıklanacak olursa, bir ses gücünün diğer bir ses gücünden ne kadar büyük veya ne kadar küçük olduğunu saptamaya yararmaktadır. Ses basıncında da belirtildiği gibi böyle bir güç aralığını belirlemek için logaritmik cetvel kullanılması gerekmektedir. Bu cetvel gürültü ölçümlerinde sık sık kullanılan on tabanında logaritma ile gösterilen ses gücü cetvelidir. Mucit Alexandre Graham Bell'in bilim dünyasına sunmuş olduğu katkılara ithafen Bell'in onda biri olan desibel dB simgesi ile gösterilmektedir [5].

Desibel ile ölçtüğümüz büyüklüklere düzey adı verilmektedir. Örneğin  $W$  değerindeki bir gücün  $W_0$  referans değerine göre düzeyi;

$$Düzey (dB) = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanmaktadır. Böylece, referans olarak alınan  $W_0$ 'ın değerinin bilinmemesi durumunda tek başına  $W$ 'nin, dB cinsinden düzeyi hiçbir anlam taşımamaktadır [5].

### 2.1.10. Ses gücü düzeyi

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

$$L_w = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \quad (2.12)$$

eşitliğinden hesaplanabilir [5].

Örneğin; 2 W ses gücü olan bir uçak motorunun ses gücü düzeyi,

$$L_w = 10 \log \frac{2}{10^{-12}} = 240 \text{ dB' dir.}$$

### 2.1.11. Yönelme ve yönelme katsayısı

Ses, daha önce de belirtildiği gibi etrafında yansıtıcı, engelleyici bir yüzey bulunmadığı takdirde noktasal bir kaynaktan küresel dalgalar şeklinde yayılmaktadır. Günlük hayatta birçok durumda sesin yayılması bu şekilde mümkün değildir. Çünkü ortam bazı düşünüldüğünde yansıtıcı yüzeyler ya da engelleyici yüzeyler oldukça fazladır. Bunun sonucu olarak ses kaynakları bazı yönlerde diğer yönlere kıyasla daha çok enerji yaymaktadır. Dolayısıyla bir ses kaynağından çıkan ses dalgaları her yönde farklılık göstermektedir. Örnek verilecek olursa, hoparlörden çıkan ses, kaynağından aynı uzaklıktaki zıt yönlerde aynı ses basıncını göstermez. Hoparlörün yüzüne dik yönde olan ses basıncı diğer yöne kıyasla daha yüksek olmaktadır.

Bir noktadaki yönelme katsayısı  $Q$ , o noktadaki ses şiddetinin, sesin düzgün yayılması durumunda aynı noktada oluşturacağı ses şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel olarak;

$$Q = \frac{I}{I_t} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada  $I$  olarak ifade edilen, belirtilen noktadaki ses şiddeti,  $I_t$  ise aynı noktada sesin küresel dalgalar halinde yayılması durumunda elde edilen teorik ses şiddetidir.

Yönelme katsayısı,

$$Q = \frac{p^2}{p_t^2} \quad (2.15)$$

şeklinde de ifade edilmektedir. Burada p ses basıncının ortalama kare değerinin karekökü (rms değeri),  $p_t$  ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen 20 mikropascal ( $20 \cdot 10^{-6}$  Pa ya da  $N/m^2$ )'dir (Eşitlik 2.15). 20 mikropascalın referans olarak seçilme nedeni, ortalama genç bir yetişkinin frekansı 1.000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az  $20 \cdot 10^{-6}$  Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir [1].

Daha basit bir ifadeyle belirtilecek olunursa, etrafında hiçbir yansıtıcı yüzey ya da engel bulunmayan herhangi bir ses kaynağı ele alınmalıdır. Bu ses kaynağı, kendi özelliğinden dolayı farklı yönlerde değişik yönelme katsayısına sahip olacaktır. Teorik olarak düşündüğümüzde etrafında hiçbir yansıtıcı yüzey bulunmayan bir ses kaynağının yönelme katsayısı her yönde aynı değerde olacaktır. Buna karşılık etrafında yansıtıcı yüzeylerin bulunuşu yönelme katsayısını yükseltmektedir. Bilimsel olarak bazı uygulamalarda yönelme katsayısının logaritmik olarak 10 katı olan yönelme indeksi kullanılmaktadır. Tablo 2.3'de, noktasal bir ses kaynağına ait yönelme katsayı değerleri ve bu yönelme katsayı değerlerine karşılık gelen yönelme indeksi değerleri gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Düzgün ses yayan bir ses kaynağının değişik konumlarda sahip olacağı yönelme katsayısı ve yönelme indeksi [1].

Kaynağın Konumu	Yönelme Katsayısı (Q)	Yönelme İndeksi
Açıkta (örneğin, tavadan odanın ortasına asılmış)	1	0
Yansıtıcı bir düzlem üzerinde (örneğin, yerde ve duvardan uzak)	2	3
Yansıtıcı iki düzlemin kesim çizgisinde (örneğin, yerle duvar arasında)	4	6
Yansıtıcı üç düzlemin kesim noktasında (örneğin, bir odanın köşesinde)	8	9

## 2.2. Gürültü Birimleri ve İndeksleri

### 2.2.1. Ses düzeyi

Ses basınç düzeyinin belli bir eğriye göre ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Karmaşık seslerin ses yüksekliğini tek bir değerle ifade etmek mümkündür. Üç tip ağırlık eğrisi bulunmaktadır. A eğrisi düşük düzeyde, C eğrisi ise yüksek düzeyde sesler için kullanılmaktadır. Günümüzde A eğrisi her yükseklikte ses düzeyleri için kullanılmaktadır. Bunun nedeni A eğrisi kulak duyarlılık eğrisi ile doğrudan ilişkilidir. A, B ve C eğrileri kullanılarak gürültü ölçümleri yapılmaktadır. Bir sesin oktav band veya 1/3 oktav band ses basınç düzeyleri belli ise o sesin toplam ses düzeyinin bulunması mümkündür. A, B, C ağırlık eğrileri, dB (A), insan kulağının çok hassas olduğu orta ve yüksek frekansların özellikle vurgulandığı bir ses değerlendirilmesi birimidir. Bu, ses yüksekliğinin sübjektif değerlendirmesi ile de ilişkilidir. İnsan kulağının frekansa bağlı olarak sese olan duyarlılığını en iyi A ağırlık eğrisi temsil etmektedir ve genelde A ağırlık eğrisi kullanılmaktadır. dB (B), Z olarak da bilinmektedir. Ani ses düzeylerinin ölçümünde kullanılan bir ses ağırlık eğrisidir. Jetlerin kalkış anlarında çıkardıkları ses ani ses'dir. dB (C), darbe gürültüsünün ölçümü olarak açıklanabilir[1].

### 2.2.2. Eşdeğer (sürekli) gürültü (ses) düzeyi

Ses alçalıp yükselmelerinin olduğu ya da düzeyinin zamanla gelişi güzel değiştiği gürültü türlerinin değerlendirilmesinde ses düzeyinin zamanla değişiminin incelenmesi yerine sesin eşdeğer sürekli ses düzeyi kullanılmaktadır. Genellikle  $L_{eq}$  ile ifade edilmektedir. Verilen bir zaman aralığında, söz konusu ses ile aynı toplam enerjiye sahip sabit düzeydeki sesin ses düzeyidir.

$L_{eq}$  nun fonksiyonu belirlenmiş bir periyot için zaman değişkenine göre tek sayı ölçüler elde etmek için kullanılmaktadır. Topluluk içindeki sesler, kamyon, otomobil gürültüsü, hava alanı gürültüsü ve birçok sanayi gürültüsü  $L_{eq}$  değerini analiz edebilecek tipik örneklerdir [3].

Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Bölümü  $L_{eq}$  değerini çevre gürültüsünü değerlendirmek konusunda tercih etmektedir. Bunun nedeni aşağıdaki maddelerle açıklanmaktadır.

- Gürültünün insan üzerindeki etkileri ile mükemmel uyuşmakta olması,
- Planlama ve uygulamada kullanılabilir olması,
- Belirlenmesi için kullanılan ölçüm cihazlarının standart olması ve piyasada kolay bulunabilir olması,
- Günümüzde kullanılan yöntemlerle birçok benzerliği olmasından dolayı geçerliliğini devam ettirmesi olarak gösterilebilir.

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \right] \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16'dan anlaşılacağı gibi  $L_{eq}$ , A ağırlıklı ses düzeyini vermektedir ve dB (A) ile ölçülmektedir. ISO 1996-1 standardında eşdeğer ses düzeyi  $LA_{eq, T}$  şeklinde gösterilmektedir. Böylece, hem A ağırlıklı kullanıldığı açıkça belirtilmiş olup hem de eşdeğer ses düzeyinin hesaplandığı ya da ölçüldüğü süre belirtilmiştir. Burada T saat cinsinden yazılmaktadır. Eşdeğer ses düzeyinin, ses düzeyinin zamanla değişimini gösteren grafikten hesaplanması mümkün olsa da gelişmiş ses düzeyi ölçerler istenilen zaman aralığındaki eşdeğer ses düzeyini doğrudan hesaplayarak vermektedir. Zaman aralığı, ölçülecek sesin özelliğine bağlı olarak bir değer seçilmektedir. Kararlı gürültü ölçümlerinde, süreyi uzatmanın sonucu fazla değiştirmeyeceğine emin oluncaya kadar ölçme süresini azaltmak gerekir [3].

Geçmişten günümüze yapılan çalışmalar incelendiğinde, eşdeğer sürekli ses düzeyinin sürekli olarak zamanla değişim gösteren seslerin değerlendirilmesinde kullanılmasının yanı sıra, belirli sürelerde sabit düzeylere sahip seslerin toplu olarak değerlendirilmesinde de kullanıldığı anlaşılmaktadır. Daha basit bir ifadeyle belirtilecek olunursa, bir kişinin gürültüden zarar görmemesi için gürültülü ortamda en fazla ne kadar kalabileceği, farklı gürültü düzeyleri için istatistiksel olarak saptanmıştır. Kişinin gürültüden etkilenme durumunu belirlemek için bir gün içerisinde değişik düzeylerdeki gürültünün etkisinde farklı sürelerde kalarak, bir eşdeğer sürekli ses düzeyi belirlenmektedir.

Bu tür uygulamalarda  $L_{eq}$  değerinin ses düzeyi ölçerler ile doğrudan ölçülmesi doğru değildir. Bunun nedeni zaman aralığının çok uzun olmasıdır. Eğer bu aralık 1 gün olarak alınrsa, toplam zaman aralığı sabit düzeylerin geçerli olduğu zaman aralıklarına bölünmektedir [3].

### 2.2.3. Ses etkilenim düzeyi (SEL, L<sub>E</sub>)

Gürültü maruzu çok kısa süren, birden yükselip birden alçalan seslerin değerlendirilebilmesinde eşdeğer sürekli ses düzeyi sağlıklı ve yeterli bilgiyi verememektedir. Bu durumda, ses düzeylerini belirlemede kullanılan bir diğer yöntem ses etkilenim düzeyi değeri, diğer adıyla en yüksek ses düzeyi belirleme esasları kullanılmaktadır. Örneğin, bir uçak havalanırken çıkardığı ses son derece kısa zaman zarfında yani saniyelerle belirtilebilecek bir süre içerisinde devam etmektedir. Böyle bir sesin L<sub>eq</sub> değeri ölçüldüğünde alınan zaman aralığına bağlı olarak farklı değerler bulunmaktadır. Bunun nedeni, uçağın havalanması sırasında çıkardığı sesin toplam enerjisinin sabit olmasıdır. Ölçüm süresi ile hesaplanan L<sub>eq</sub> değeri ters orantılı olduğundan, bu durumda ölçülen değer süresi uzadıkça hesaplanan L<sub>eq</sub> değeri düşmektedir. Bu ve benzeri türdeki seslerin ölçülüp değerlendirilmesinde kullanılan en uygun yöntem ses etkilenim düzeyi (SEL) adı verilen bir parametreyi kullanmaktır. Başka bir ifadeyle, kısa süreli ve yüksek güce sahip seslerin düzeyleri ölçülürken ses etkilenim düzeyini kullanmak en doğru sonucu verecektir. SEL'de de L<sub>eq</sub> gibi dB (A) kullanılmaktadır. Bazı kaynaklar SEL ifadesi yerine L<sub>E</sub> ifadesini de kullanmaktadır.

Şekil 2.2. bir uçağın kalkış esnasında ölçülebilecek tipik bir ses düzey değişimini ve bu sesin ses etkilenim düzeyini göstermektedir. Şekil 2.2. incelendiğinde, ölçüm süresi 10 ya da 15 saniye olduğu durumlarda ses etkilenim düzeyini değiştirmezken, L<sub>eq</sub> ölçüm süresinin 10 sn. olması durumunda 74 dB (A), 15 sn. olması durumunda 72.2. dB (A) olması neden SEL kullanılması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Ses etkilenim düzeyinin iki önemli uygulama alanı mevcuttur. Birincisi kısa süreli gürültülerin karşılaştırılmasıdır. Örneğin, önümüzden geçen bir otobüs ile daha yüksek ses çıkaran fakat daha kısa sürede önümüzden geçen bir motosikletin gürültü düzeylerini kıyaslamada taşıtların gürültü düzeylerinin en yüksek değerlerini almak yanıltıcı olmaktadır. Çünkü gürültü düzeyi yüksek olan ses daha kısa sürmektedir. Kişiyeye zararı bakımından, seslerin etkili oldukları sürelerdeki toplam enerjileri önemlidir. Bunun da ölçüsü SEL'dir. İkinci uygulama alanı ise kısa süren birçok kesikli gürültünün SEL değerlerinden yararlanarak belirlenen bir etki alanında kalma süresindeki L<sub>eq</sub> değerinin hesaplanmasıdır.



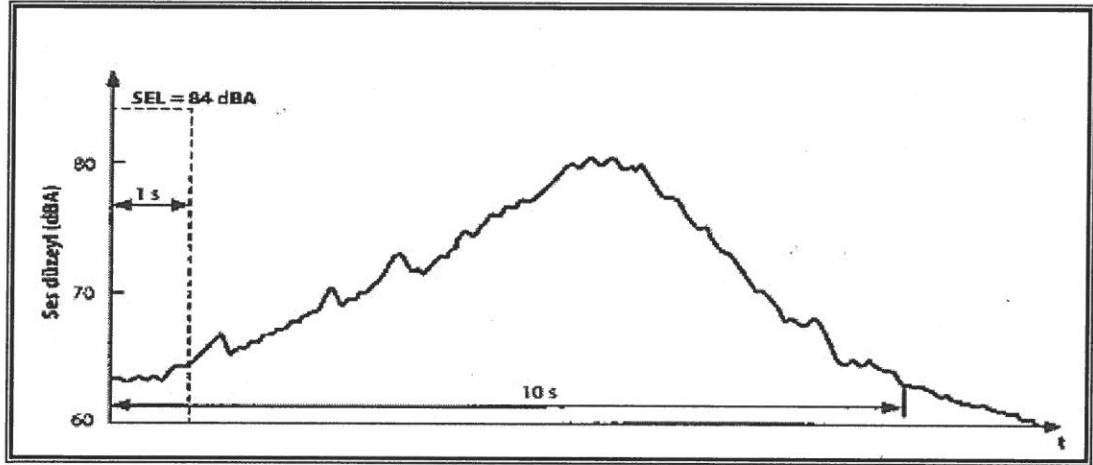
T saniye süren bir olayın neden olduğu sesin SEL değeri ile  $L_{eq}$  değeri arasında,

$$L_{eq} = SEL - 10l \log T \quad (2.17)$$

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

$$L = 10l \log \sum_{n=1}^i 10^{\left(\frac{SEL}{10}\right)^i} - 10l \log T \quad (2.18)$$

eşitliğinden bulunmaktadır. Bu eşitlikte enerjileri bulunan ayrı seslerin toplam enerjileri bulunur ve aynı enerjiyi T saniyede verecek sabit ses düzeyi hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2. Bir uçağın kalkışı sırasında çıkan tipik gürültünün ses düzeyi ve ses etkilenim düzeyi [1]

Gelişmiş ses düzeyi ölçerler, eşdeğer ses düzeyini ölçtükleri gibi ses etkilenim düzeyini de hiçbir hesaplama gerektirmeden doğrudan vermektedirler [1].

#### 2.2.4. Gündüz-gece gürültü düzeyi

Gürültünün değerlendirilmesinde en önemli faktör insanlara verdiği rahatsızlık olarak tanımlanabilmektedir. Gündüz ve gecenin gürültü düzeyleri birbirlerinden farklıdır. Bunun temelini ortamdaki diğer gürültüler oluşturmaktadır. İnsanların sosyolojik çalışma yapısı gündüze adapte edildiğinden dış ses olarak adlandırılacak birçok ses gündüz vakitlerinde oluşmaktadır. Bu durum gece süresinde gündüze kıyasla aynı olmamaktadır.

Aynı zaman diliminde, bir ses dalgası ile birden fazla ses dalgasının iletilmesi, soğurma ve sönümlenme açısından ilişkilidir.

Çevresel gürültüyü değerlendirmede, 24 saate karşılık gelen eşdeğer gürültü düzeyi yeterli olmamaktadır. Bu sebeple, gece süresindeki eşdeğer gürültü düzeyini ( $L_N$ ), gündüz süresindeki eşdeğer gürültü düzeyini ( $L_D$ ) ile ağırlıklı ortalamalarını alarak bulunan gündüz – gece gürültü düzeyi ( $L_{DN}$ ) tanımlanmıştır [3]. Gündüz gece gürültü düzeyi bütünleşik olarak 24 saati kapsamaktadır.

Ülkemizdeki ve Avrupa Birliği ülkelerindeki mevzuatlar incelendiğinde, gündüz – akşam – gece gürültü düzeyi ( $L_{den}$ )’nin kullanıldığı görülmektedir. Aynı tanım ülkemizdeki Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde gündüz – akşam – gece gürültü göstergesi ( $L_{gag}$ ) olarak belirtilmiştir.

Gündüz – gece gürültü düzeyi, istatistiksel olarak temsili sayılabilen ve 24 saat boyunca aralıklı bir şekilde ölçülen çok sayıdaki gürültü düzeyinden yararlanarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Gündüz süresindeki eşdeğer gürültü düzeyi  $L_D$ ’nin bulunabilmesi için gündüz ölçümlerinin ortalaması alınmaktadır. Gece süresindeki eşdeğer gürültü düzeyi  $L_N$ ’nin bulunabilmesi için gece ölçümlerinin ortalaması alınmaktadır. Burada gündüz süresini 07:00 – 22:00, gece süresini ise 22:00 – 07:00 zaman aralıkları belirtmektedir. Ortalama alma işleminin temelini desibel ile ortalama alma kuralı oluşturmaktadır. Son aşamada ise  $L_D$  ve  $L_N$ ’nin zaman ağırlıklı ortalamaları alınmaktadır. Bu hesaplama yapılırken aşağıdaki eşitlik (2.19) kullanılmaktadır.

$$L_{DN} = 10 \log \left[ \frac{1}{24} \left( 15 \times 10^{L_{DN}/10} + 9 \times 10^{(L_N+10)/10} \right) \right] \quad (2.19)$$

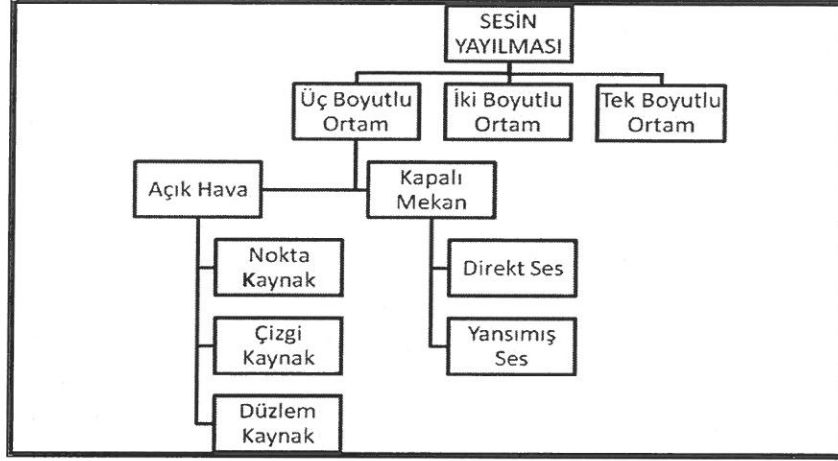
### 2.2.5. En yüksek ses düzeyi tepe düzeyi ( $L_{max}$ )

Herhangi bir zaman aralığında, zamana göre değişen gürültünün sahip olduğu maksimum yüksekliğin sayısal değerini ifade etmektedir.

### 2.3. Serbest Alanda Sesin Yayılması

Sesin yayılması ortamın fiziksel özellikleri ile ilişkilendirilebilir. Ortamın fiziksel yapısının karakterini, ortamdaki nesnelere belirlemektedir. Nesne sayısı, miktarı, hacmi arttıkça ortamın fiziksel karakteristik özellikleri artar. Bunun aksine sesin yayılma hızı

azalır. Çünkü ortamda sönümleyici olarak işlev görebilecek birçok nesne mevcut olabilir. Bunun tam aksine ortamdaki nesnelere sesin yayılmasına katkı da sağlayabilir. Aşağıdaki Şekil 2.3 sesin yansımalarına etki eden etkenleri şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.3. Sesin yansımalarına etki eden etkenler [3]

Şekil 2.3’de boyutlarından biri ötekilerin onda birinden küçük olan ortamları ifade etmektedir. Tek boyutlu ortamlar, koridorlar, kanallar, borular ve asansör boşlukları, iki boyutlu ortamlar ise boyutlarından ikisi üçüncüsünün on katından büyük olan ortamlar olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, asma tavan gösterilebilir. Üç boyutlu ortamlar açık hava yani serbest alan ve kapalı mekân olmak üzere gruplandırılmaktadır. Bu bölümde sesin serbest alanda yayılması ele alınmaktadır [18].

### 2.3.1. Sesin açık alanda (serbest alanda) yayılması koşullarında kaynağın özellikleri

Şekil 2.3 incelendiğinde gürültü kaynakları noktasal kaynak, çizgisel kaynak ve düzlemsel kaynak olarak görülmektedir.

#### 2.3.1.1. Nokta kaynak

Ürettiği sesin dalga boyundan çok daha küçük çaplı olan ve her yöne eşit dağıtım yapabilen (küresel olarak tanımlanabilir) kaynaklar olarak adlandırılmaktadır. Tek bir taşıyıcı nokta kaynağı olarak ele alındığında, taşıyıcıya ses neden olan lastik, motor, yol yüzeyi vb. etkenler taşıyıcının nokta kaynağı olarak incelenmesinde etkili olmaktadır. Aracın gürültü kaynağı olmasının nedeni, frenler, fan, soğutma sistemi, motor, yol ile lastik etkileşimi ve egzoz gürültüsü gibi ses oluşturan faktörler olmasıdır. Bu faktörlerin oluşturduğu ses

dalgaları ve gürültü düzeyi araç tipi, büyüklüğü, hızı, yükü, ağırlığı, bakımı gibi faktörlere de bağlı olmaktadır.

### **2.3.1.2. Çizgi kaynak**

Ses dalgalarının bir düzlem üzerinde çizgisel olarak yayılmasına neden olan kaynaklar, çizgi kaynak olarak tanımlanmaktadır. Çizgi kaynaklar, bir dizi nokta kaynaklarının birbirlerini takip etmesi, izlemesi ile oluşmaktadır. Çizgi kaynak ayrık ve bitişik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Ayrık çizgisel kaynaklara akan trafikteki taşıtlar örnek olarak verilebilirken, bitişik çizgisel kaynaklara trafik ışıklarında birbiri ardına dizilmiş taşıtlardan oluşan sesler örnek verilebilir.

### **2.3.1.3. Düzlem kaynak**

Düzlem üzerindeki ses dalgalarının oluşturduğu kaynak olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, bir fabrika içerisindeki makinelerin oluşturduğu gürültü düzlem kaynağa örnek olarak verilebilir.

Serbest alanda sesin yayılmasında etkili olan faktörler;

- Uzaklık faktörü,
- Sınırlı yol görüşü,
- Meteorolojik faktörler (sıcaklık, rüzgâr ve havanın yutuculuğu),
- Zemin faktörü ve
- Engel faktörü olarak belirtilmektedir [3].

## **2.4. Kapalı Mekânlarda Sesin Yayılması**

Sesin yayılmasında ortamın fiziksel şartlarının önemli olduğu belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak sesin kapalı mekânlarda yayılma davranışı aşağıdaki şekilde incelenebilir.

- Sesin yutulması,
- Sesin yayılması,

- Sesin kırılması,
- Çınlama süresi,
- Oda modları,
- Eko ve tekrarlayan eko,
- Sesin odaklanması,
- Bozulma ve
- Ses gölgeleridir.

Çınlayan alanda uzaklıkla çok küçük düşme olmaktadır veya hiç olmamaktadır. Ortamdaki emilme miktarı önemlidir ve kaynağın çok yakınında bulunan serbest alan koşulları etkili olmaktadır.

Kaynaktan  $d = \sqrt{a/4\pi}$  uzaklığı (genellikle 0.30-1.20) dışında ses şiddet düzeyi sabittir ve çoğunlukla toplam oda emmesine bağlıdır.

Eşitlik 2.21 ve 2.22'de serbest alanda ve çınlayan alanda ses şiddeti bağlantıları verilmektedir.

$$\text{Serbest alanda } I = W/4\pi d^2 \quad (2.21)$$

$$\text{Çınlayan alanda } I = W/a \quad (2.22)$$

Burada;

W: Ses gücü (Watt) ve A: Toplam emiciliktir [3].

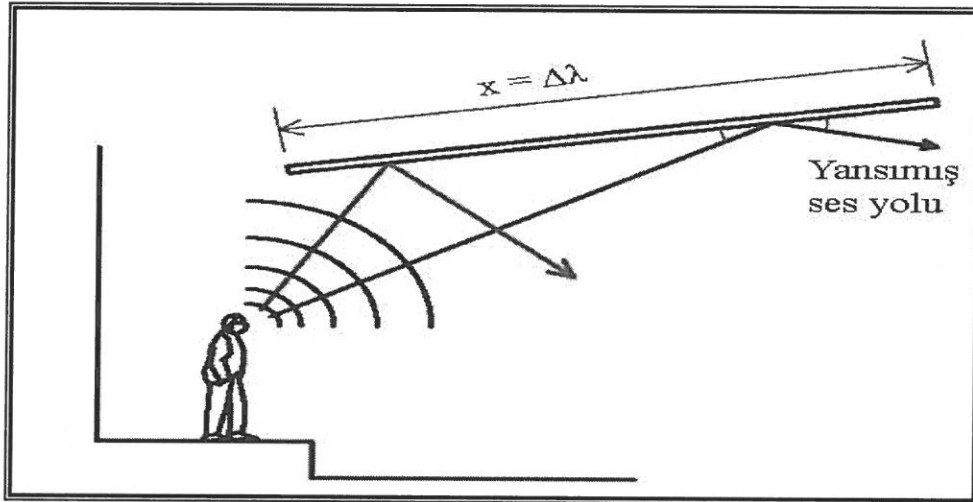
#### 2.4.1. Sesin yansımaları

Ses dalgaları, duvar gibi bir engele çarptığında bir kısmı yansımakta, bir kısmı yutulmakta bir kısmı da iletilmektedir. Gelen ses ışınının dalga boyu yüzey boyutlarından küçük tutularak ses dalgalarının yansımaya açısının geliş açısına eşit olması sağlanmaktadır. Hacim içindeki bir dinleyici ilk önce ses kaynağından direkt sesi sonra da direkt ve yansımış ses yolları arasındaki uzunluk farkına dayanan bir zaman aralığından sonra yansımış sesi duymaktadır. Eğer bu zaman gecikmesi 50 ms'nin üzerinde ise (örneğin, yol farkı 17 m'den fazlaysa) yansımalar ekoları arttırmaktadır [6]. Konuşma veya müzik

için yapılan büyük oditoryumlarda, tasarım yapılırken rahatsız edici ekoları ve titreşimleri engellemek için akustik kriterlere dikkat edilmektedir.

Ses dalga ışınlarının yansıması, geometrik optik yansımayla aynı prensiplere dayanmaktadır. Düzlem yüzeyde yansıma olduğunda geliş açısıyla aynı değere sahip bir açıyla yansıma gerçekleşmektedir. Ancak sesin dalga boyu yansıtıcı yüzey boyutundan büyük ise yansıma açısı geliş açısından farklı olmakta ve ses dağılarak saçılmaktadır.

Şekil 2.4 ses dalgalarının yansıması için gerekli olan dalga boyu ve yüzey ilişkisini göstermektedir. Şekil 2.4 incelendiğinde, sesin yansıması için ses dalgalarının çarptığı yüzeyin dalga boyundan büyük olması gerekmektedir. Yüzey alanı, ses dalgası boyu ve yansıma açısı açıkça görülmektedir.



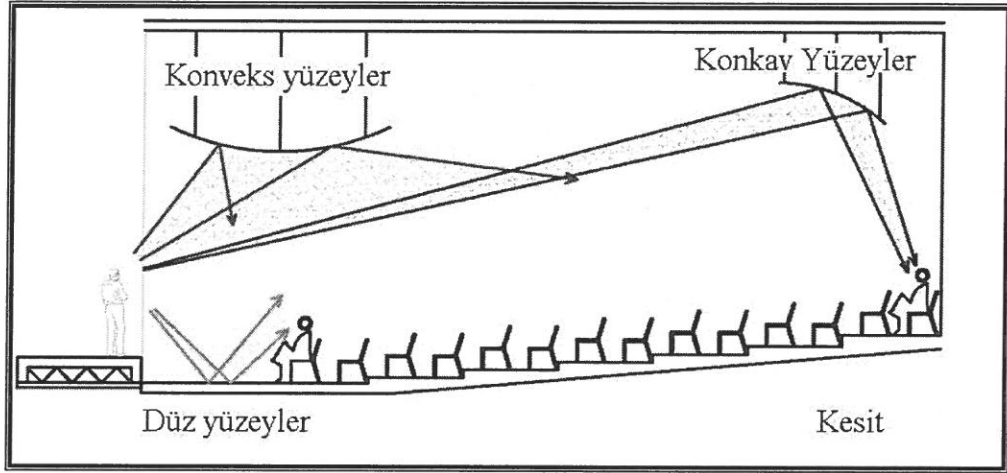
Şekil 2.4. Yansıma olabilmesi için dalga boyu ve yüzey ilişkisi [6]

Şekil 2.5 ise ses ışınlarının farklı yüzey biçimlerinden yansımasını göstermektedir.

Ses dalgası, dış bükey bir yansıtıcı yüzeyden düzlem yüzeyde olduğu gibi normal aksına simetrik şekilde yansımaktadır. Ancak bu durumda, normal aksı her geliş açısı için farklılık göstermektedir. Normal aksının belirlenmesinde yansıtıcı yüzeyin merkezi esas alınmaktadır. Temas noktasından çizilen teğet ve kaynak noktası (S) ile zahiri kaynak noktası (S') bulunur.

Yansımış ışın, zahiri kaynak noktası ve temas noktası hizasında oluşmaktadır. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi ses dalgaları dış bükey yüzeylerden dağılarak yansımaktadırlar.

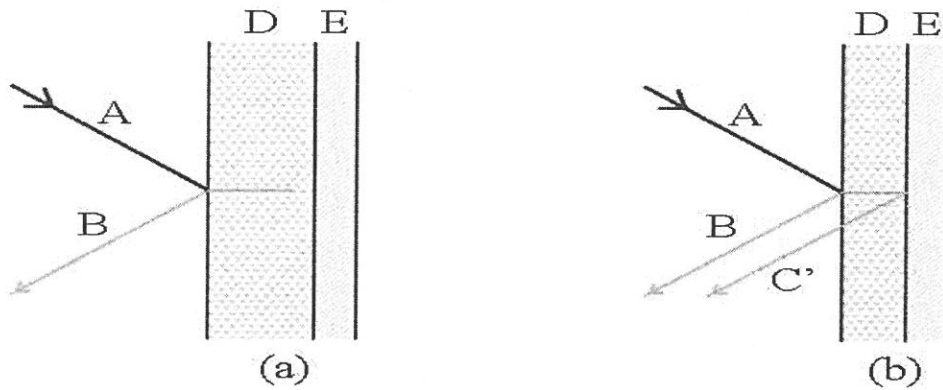
Ses dalgası, iç bükey bir yansıtıcı yüzeyden de aynı prensiple yansımaktadır. Dış bükey yansımadan farklı Şekil 2.5’de görüldüğü gibi ses dalgasının dairesel yansıtıcı yüzeyin merkezine doğru odaklanarak yansımalarıdır. İç bükey formların mekân içinde kullanımı birçok akustik kusuru da beraberinde getirmektedir.



Şekil 2.5. Ses ışınlarının farklı yüzey biçimlerinden yansımaları [6].

#### 2.4.2. Sesin yutulması

Ses dalgası bir engelle ya da bir cismin yüzeyine çarptığında enerjisinin bir kısmı çarptığı cisimden dolayı kaybolmaktadır. Şekil 2.6’da yapı nesnesinden sesin emilme/yutulma olayı gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Gözenekli bir tabakadaki yutuculuğun şematik gösterimi [6]

Şekil 2.6’da;

A - Gelen ses,

B - Yansımış ses,

C' - Arka duvar tarafından yansıtılan ses,

D - Gözenekli tabaka ve

E - Rijit arka duvarı göstermektedir.

Sesin yutulması çarptığı engelin yüzeyinin yumuşak olması, sert olması, gözenekli olması, düz olması vb. etkenlerle ilişkilidir. Özellikle yumuşak ve gözenekli maddelere çarpan ses dalgalarının önemli bir kısmı bu özellikteki engeller tarafından yutularak enerjisinin önemli bir kısmını kaybetmektedir. Bu örnek insanlar üzerinde de verilebilir. İnsan kıyafeti ve teni vb. yumuşak ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu için kendini çevreleyen ve kendilerine çarpan ses dalgalarının yutulmasına neden olabilir. Ses dalgası bir malzemeye temas ettiğinde ya da o malzemenin içinden geçmesi esnasında enerjisinin bir kısmını farklı bir enerji formuna (örneğin ısı enerjisine) dönüştürür. Bu dönüşüm sesin yutuculuğu olarak tanımlanır. Bilinmelidir ki, burada dönüşümün gerçekleştiği ısı enerjisinin miktarı oldukça azdır ve ses dalgasının hızı yutuculuktan etkilenmemektedir.

Günümüzde birçok yapı malzemesi tasarımları gereği sesin belli bir miktarını yutmaktadır. Ancak yutuculuğun yüksek derecede gerçekleşmesi hacimlerin başarılı akustik kontrolü için önemlidir. Hacim içinde 3 ana elemanın yutuculuk içerisinde etkisi söz konusudur. Bu elemanlar;

- Duvarlar, tavan ve döşeme yüzey uygulamaları
- İç hacim bileşenleri (perdeler, kumaşlar, kumaş kaplı koltuklar, halı vb.)
- Hacim içindeki havanın ses yutuculuğu

olarak ifade edilebilir.

Bir yüzeyin ses yutuculuk katsayısı o yüzeye gelen ses enerjisinin yutulan ya da yansıtılmayan oranı olarak tanımlanmaktadır ve  $\alpha$  ile gösterilmektedir. Bu değer, 0 ile 1 arasında değişmektedir. Örneğin, akustik bir malzemenin 500 Hz'de üzerine gelen ses enerjisinin %65'ini yuttuğu %35'ini yansıttığı için o malzemenin 500 Hz'deki yutuculuk



katsayısının 0.65 olduğunu göstermektedir. Tuğla, beton, taş gibi sert yüzeylere sahip malzemelerin ise ses enerjisinin ancak %5'ini yuttuğu ve 0.05'lik bir yutuculuk katsayısına sahip olduğunu belirtmektedir. Bu değer kalın yalıtım örtülerinde 0.80'i bulmaktadır. Ses yutuculuk katsayısı değeri, ses dalgasının geliş açısı ve frekansına göre değişmektedir. Ses yutucu malzemeler, başta çınlama sürelerinin kontrolü olmak üzere hacimlerde gürültü giderimi ve eko kontrolünde kullanılmaktadırlar [6].

### 2.4.3. Sesin yayılması (saçılması)

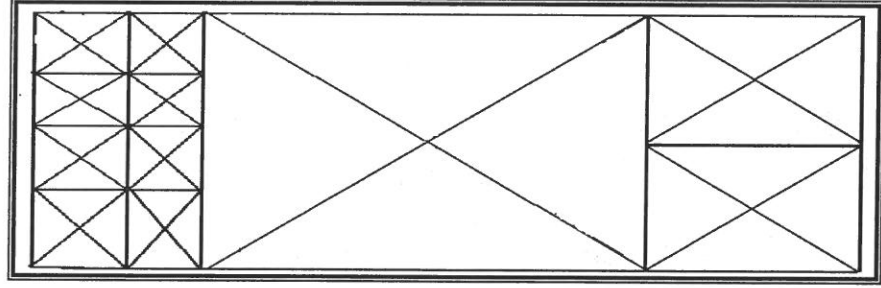
Yayıma, ses dalgalarının yüzeyden rastgele dağılımını veya saçılmasını ifade etmektedir. Yüzey boyutunun, sesin dalga boyuna eşit olması halinde meydana gelmektedir. Yayıma olayının gerçekleşmesi için ses ışınının dalga boyu ile ses ışınının geldiği yüzeyin boyutları arasındaki ilişki çok önemlidir [6].

Bir ortamda, örneğin bir oditoryumda her yerde ses basıncı eşit ise o ortamda ses homojen dağılıyor denebilmektedir. Bunun sebebi, basıncın eşit olması nedeniyle ses dalgalarının tüm yönlere hareket etmesidir. Bir diğer örnek olarak; konser salonları, müzik odaları, kayıt stüdyoları gibi hacimlerde yeterli ses yayılımı akustik ile ilişkili bir özelliktir. Çünkü bu durumlarda müziğin en şeffaf ve doğal özellikleri vurgulanmak istenmektedir. Bu özelliklerin en yüksek düzeyde yapılabilmesi istenmeyen akustik etkilerden kaçınmayı gerektirir.

Sesin çeşitli yüzeylerde yayılması yani saçılması için elemanın görünüşü Şekil 2.7'de verilmektedir. Sesin hacim içinde yayılması, pek çok yolla sağlanmaktadır. Bunların en çok kullanılanları,

- Yüzeylerde, girinti ve çıkıntı, malzeme farklılıkları gibi düzensizlikler ve ses saçıcı elemanların yaygın olarak kullanılması,
- Ses yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin ardışık düzenlenmeleri,

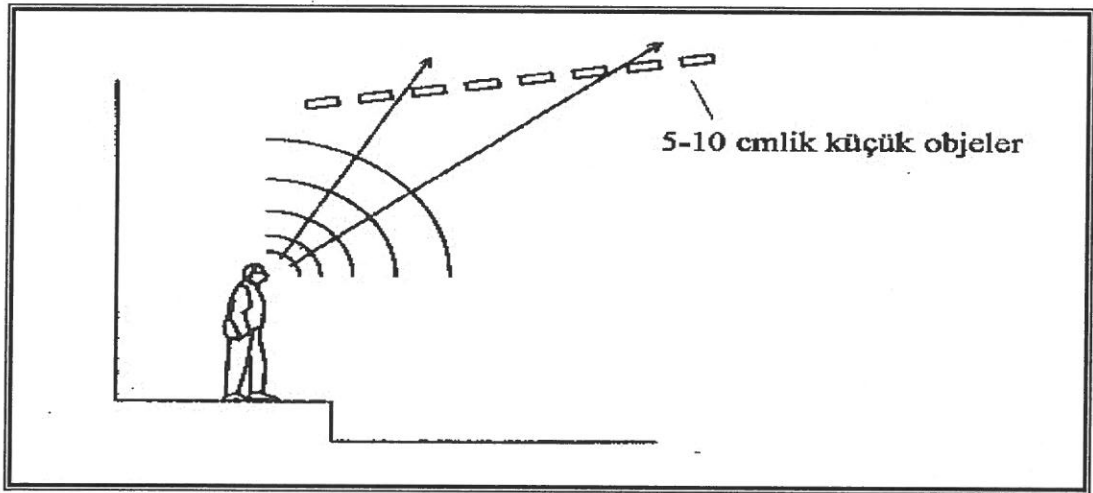
- Ses yutucu malzemelerin gelişigüzel ve düzensiz dağılımı olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.7. Sesin saçılmasını sağlayan yapı elemanından kuşbakışı görünüş [6].

#### 2.4.4. Sesin kırılması

Sesin kırılması, ses dalgalarının bir objenin etrafında veya bir aralıktan/açıklıktan akmasıdır. Şekil 2.8 kırılma olayını şematik olarak göstermektedir. Burada önemli husus, sesin kırılabilmesi için ses dalgasının etkileşim kurduğu her bir objeden daha büyük olması gerekmektedir.



Şekil 2.8. Kırılma olma koşulu [6]

Kırılma örneklendirilecek olunursa, bina iç hacimlerdeki kolonlar, köşeler, duvarlar, kirişler vb. gibi engellerde ses dalgalarının bükülerek uzaklaşması ya da saçılmasıdır. Yapılan araştırmalar, kırılmanın yüksek frekanstan ziyade düşük frekanslarda gerçekleştiğini göz önüne sermektedir.

## **2.5. Gürültünün Sınıflandırılması**

### **2.5.1. Frekans spektrumuna göre gürültü türlerinin sınıflandırılması**

#### **2.5.1.1. Sürekli geniş band gürültüsü**

Gürültüyü oluşturan arı seslerin frekansları geniş bir aralığı kapsamaktadır. Yani gürültünün frekans spektrumu hiçbir frekans bandında toplanmamaktadır [1].

#### **2.5.1.2. Sürekli dar band gürültüsü**

Geniş band gürültüsünün tersine bu tür gürültünün frekans dağılımı belli bir frekans bandında toplanmaktadır. Diğer bir ifade ile gürültüyü oluşturan arı seslerden frekansı belli bir aralıkta olanlar baskın olmaktadır [1].

İnsan kulağı belirli frekans bandının dışındaki frekansı algılayamamaktadır. Burada belirtilen baskın aralık, aslında insan kulağının işitme skalası içerisinde bulunan 16 Hz – 16 kHz veya bazı kaynaklarda 20 Hz – 20 kHz olarak belirtilen frekans aralığıdır.

### **2.5.2. Zamana bağlı olarak gürültü türlerinin sınıflandırılması**

#### **2.5.2.1. Kararlı gürültü**

Adından da anlaşılacağı üzere, gürültü seviyesinde zamana bağlı olarak önemli bir değişimin gözlenmediği gürültüdür. Sabit bir hız ile ve sabit bir güçte çalışan herhangi bir teknik ekipmanın (ör: motor) oluşturacağı gürültü, fan gürültüsü, klima gürültüsü vb. her türlü teknik ekipman bu tip gürültüye örnek olarak gösterilebilir.

#### **2.5.2.2. Kararsız gürültü**

Gürültü seviyesinde grafiksel zamanla artış, azalış veya değişme olan gürültü türü olarak tanımlanabilir.

#### **2.5.2.3. Kesikli gürültü**

Zaman içerisinde ve gözlem esnasında seviyesi aniden artan ve sonrasında tekrar kaynağında sıfırlanarak azalan gürültü olarak tanımlanabilir. Kesikli gürültüde, gürültü seviyesi birkaç saniye veya daha fazla süre sabit olarak devam ettikten sonra tekrar yok

olması hususu net bir şekilde anlaşılmalıdır. Kararsız gürültü ile kesikli gürültü arasındaki farkı bu etmen oluşturmaktadır. Örnek olarak trafik gürültüsü, çalar saat gürültüsü, fasılalarla çalışan bir fanın durup tekrar çalışması vb. olarak gösterilebilir.

#### **2.5.2.4. Darbe gürültüsü**

Birim zamanda her bir saniyeden daha az süren bir veya art arda birden fazla vuruşun çıkardığı gürültü olarak tanımlanabilir. Bu tip gürültüye yapı çalışmaları, silah patlaması, çekiç vb. örnekler verilebilir.

### **2.6. Gürültü Kaynakları**

Gürültü kaynakları, kaynak ve alıcı bir çevredeki konumlarına ve yayılma yollarına bağlıdır. Fiziksel gürültü kaynakları ve çevresel gürültü kaynakları olarak iki grupta incelenmektedir. Fiziksel gürültü kaynakları, gürültünün yayılım davranışlarına göre noktasal, çizgisel ve alan kaynak olarak sınıflandırılmaktadır [7].

### **2.7. Gürültüden Teknik Korunma Yöntemleri**

Sosyo – ekonomik şartlar göz önüne alındığında dünya üzerinde teknolojinin ve üretimin gelişmesine bağlı olarak gürültü kaçınılması imkânsız olan bir hal almıştır. Yine teknolojinin gelişmesine bağlı olarak gürültüye teknik olarak azaltacak önlemler almak mümkündür. Bu bölümde mekânların akustik özelliklerinin değiştirilmesi, ses engelleyici duvar bariyer uygulamaları gibi teknolojik önlemlere yer verilmiştir. Genel hatları itibariyle gürültüden korunma yöntemleri, gürültünün zararlı etkilerinden korunmak için alınabilecek önlemleri içermektedir. Bu önlemler teknik ve idari önlemler olarak 2'ye ayrılabilir. Gürültüyü önlemeye yönelik tüm ekipmanlar teknik önlemlere, teknik ekipmanların kullanılmasına yönelik şartlandırmalar, koşullar ise idari önlemlere örnek olarak verilebilir.

#### **2.7.1. Mekânların akustik özelliklerinin değiştirilmesi**

Mekânlara ses yutucu nitelikte malzeme ve bazı öğeler eklenerek kapalı mekânların akustik özelliklerinin değiştirilmesi mümkündür. Böylelikle mekânların ses yutma kapasiteleri de artırılmış olur. Bunu gerçekleştirmenin amacı, ortamı iç hacmi çevreleyen yapı elemanlarından ve duvarlardan yansıyan ses dalgalarının enerjisinin yutulması ya da

soğurularak azaltılmasıdır. Böylelikle daha önce de belirtildiği gibi ses dalgalarının enerjisi başka bir enerji formu olan ısı enerjisine dönüşür. Fakat bilinmelidir ki, ses dalgaları çok yüksek enerjiye sahip olmadıklarından dönüşüm sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi önemli ölçüde bir sıcaklık artışına neden olmamaktadır. Ses yutucu malzemeler özellik olarak genelde lifli yapı içermektedirler. Örnek olarak, cam yünü, taş yünü vb. lifli malzemeler ile açık gözenekli köpük ve türevlerinden oluşan malzemeler verilebilir.

Ses yutma mekanizmasına diğer bir örnek olarak hava verilebilir. Havanın sahip olduğu viskozite ile hava içerisindeki ısı iletimi bu oluşumun nedeni olarak gösterilebilir. Bu türden bir ses yutmanın oluşabilmesi için ses dalgalarının yüksek frekanslı olması gerekmektedir. Ses yutmanın havada gerçekleşmesi nedeniyle, bu durum sıcaklık ve neme bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Ayrıca günlük hayatta sık sık kullandığımız eşyalar, kapalı mekândaki kişiler vb. öğeler ses yutma özelliği göstermektedirler. Kişilerin ses yutumu elbise kalınlığı, giyinme şekilleri, kapladıkları alan ve kıyafet türü gibi özelliklerle ilişkilidir.

Malzemelerin ve yüzeylerin ses yutma özelliği, ses yutma katsayısı olarak bilinen ve  $\alpha$  ile gösterilen bir parametre ile nicel olarak ifade edilmektedir. Yüzey ya da malzeme tarafından yutulan sesin enerjisinin yüzey üzerine düşen ya da çarpan ses enerjisine oranı, ses yutma katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Yutulan ses enerjisi, yüzeye gelen ses enerjisinden daha küçük olacağı için ses yutma katsayısı değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Malzemelerin ses yutma katsayısı aşağıda verilen parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir.

**Frekans:** Ses yutma katsayısı genellikle sesin frekansı ile artan bir değişim göstermektedir. Diğer bir deyişle ses yutma katsayısı frekansa bağlıdır ve düşük frekanslardaki değeri daha düşük değerlerdedir. Ses yutma katsayıları uluslararası standartlara göre ölçülmekte ve genellikle 125 Hz ile 4.000 Hz arasındaki oktav bandlarda gösterilmektedir.

**Malzeme Özellikleri:** Ses yutma katsayısı genellikle malzemenin yoğunluğu ve kalınlığı arttıkça artmaktadır. Malzemenin gözenekli ve/veya lifli yapısı ses yutma katsayısını artırmaktadır. Malzemenin etkin porozitesi (hava ile bağlantılı gözeneklerin hacminin

toplam malzeme hacmine göre büyüklüğü) ses yutma katsayısını baskın olarak etkilemektedir.

**Malzemenin Montaj Şekli:** Ses yutma katsayısı malzeme arkasındaki yüzeyden (rijit duvar ya da başka bir yapı elemanından) uzakta olacak şekilde bir hava boşluğu bırakılarak yerleştirildiğinde genellikle artmaktadır. Süpermarket, ofis vb. mekânlarda asma tavan uygulaması buna en belirgin örneklerdendir. Ancak ses yutucu malzemenin arkasındaki boşluğun derinliğine bağlı olarak bazı frekanslarda ses yutma katsayısında düşmeler gözlenmektedir. Bu durum ara hava boşluğunda oluşan durağan ses dalgaları ile ilişkili olduğundan kaynaklanmaktadır.

**Kapalı mekânın geometrisi ve boyutları:** Ses yutucu malzemeler, geometrisi ve boyutları farklı olan kapalı mekânlarda değişik ses yutma performansları göstermektedir. Geometri ve boyutlar arasındaki ilişki kapalı mekân içinde yansıyan seslerin ses yutucu malzeme üzerine gelme/düşme açılarını dolayısıyla malzemenin ses yutma performansını etkilemektedir.

**Malzemenin kapalı mekân içinde konumu:** Mekânın yalnızca bir yüzeyi üzerine yerleştirilen ses yutucu malzeme, birbirine komşu iki yüzeyin toplam yüzey alanı ile aynı olan yüzeylere yerleştirilmesine oranla daha düşük ses yutma performansı göstermektedir.

Tablo 2.4. Bazı malzemelerin ses yutma katsayısı [5]

Malzeme	Oktav Band Merkez Frekansı					
	125	250	500	1000	2000	4000
Tuğla Duvar	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Boyalı Tuğla Duvar	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Beton blok-Pürüzlü	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Beton blok-Boyalı	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Mozaik Döşeme	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Parke Döşeme	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Pencere Camı	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Kontrplak Panel-9 Mm	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11

Çelik Plaka	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01
Kalın Cam-Geniş Yüzey	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Camyünü-5cm Kalınlık	0.17	0.55	0.80	0.90	0.85	0.80

Kapalı mekânlarda ses yutucu malzeme ekleyerek ses yutma kapasitesini arttırmak amacıyla uygulanan gürültü denetim önleminin değerlendirilmesi, gürültü kaybı (IL) değerlerine göre yapılmaktadır. Gürültü kaybı değerleri de frekansa bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Gürültü kaybı Eşitlik 2.23'de verilen denklem yardımıyla dB cinsinden hesaplanmaktadır.

$$IL = 10 \log \left\{ \left[ \frac{Q_0}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_0} \right] \right. \left. \frac{Q_0}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_n} \right\} \quad (2.23)$$

Burada r, istenen gürültü kaybına konu olan alıcı konumunun gürültü kaynağından uzaklığını m cinsinden ifade etmektedir.  $R_0$  ve  $R_n$  ise kapalı mekânda ses yutucu eklemesi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra oda sabiti değerlerini göstermektedir. Başlangıç durumunda oda sabiti her frekans bandında,

$$R_0 = \frac{S \cdot \alpha_0}{1 - \alpha_0} \quad (2.24)$$

eşitlikten elde edilmektedir. Burada S, mekân iç yüzeylerinin toplam alanını,  $\alpha_0$  ise mekânın başlangıçtaki ortalama ses yutma katsayısını ifade etmektedir. Ses yutucu malzeme eklemesi yapıldıktan sonra elde edilen mekânın yeni ortalama ses yutma katsayısı  $\alpha_n$ , başlangıç değerinden daha yüksek olmaktadır. Yeni durumda mekânın yeni oda sabiti  $R_n$  ise,

$$R_n = \frac{S \cdot \alpha_n}{1 - \alpha_n} \quad (2.25)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Yeni oda sabiti, başlangıç değerinden daha yüksek olmaktadır. Kapalı mekânın ortalama ses yutma katsayısı,

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n a_i S_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (2.26)$$

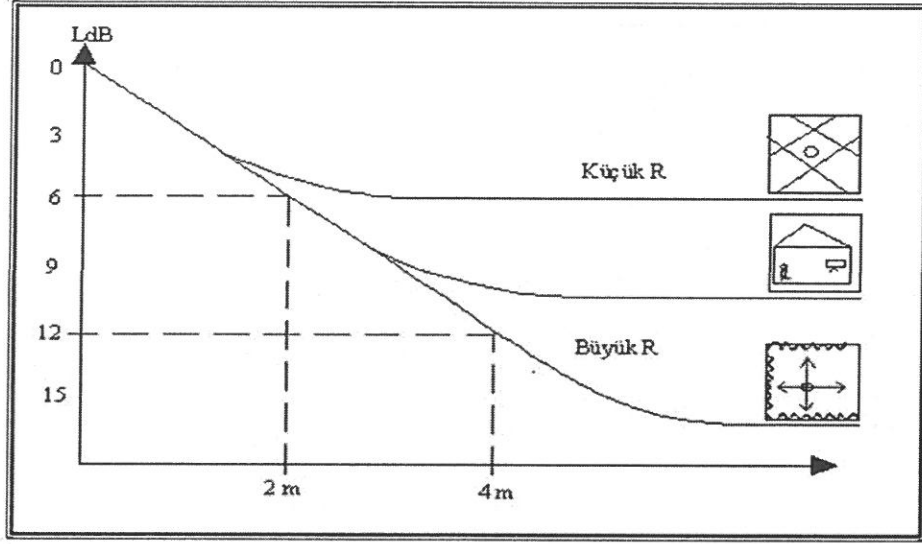
eşitliğinden hesaplanmaktadır. Yönelme faktörü  $Q_0$  ise ses (gürültü) kaynağı ile doğrudan ilgili olup kaynağın yönler göre ses yayma özelliğini ya da tercihini ifade etmektedir. Boyutsuz bir büyüklük olan yönelme faktörü, belli bir ses gücüne sahip bir ses kaynağından  $r$  uzaklıkta ve  $\theta$  açısal konumda oluşan ses basıncının karesel ortalamasının, aynı ses gücüne sahip her yöne düzgün ve eşit şiddet olan ses basıncının karesel ortalamasının aynı  $r$  uzaklığında oluşturacağı ses basıncının karesel ortalamasına oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Frekansa bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, özetlenen tüm hesaplamaların her oktav bandı için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Her yöne düzgün ses yayan küresel bir ses kaynağı, kapalı mekân içinde yerleştirildiği konuma göre farklı yönelme özelliği göstermektedir. Yönelme faktörü, kaynak havada asılı şekilde çalıştırıldığında 1, bir yüzey (tavan, döşeme, duvar vb.) üzerine yerleştirildiğinde 2, iki yüzeyin kesişme çizgisine konulduğunda 4 ve köşelere konulduğunda 8 değerini almaktadır [5].

İç hacimde duvarların tavanın ses yutucu özellikteki malzemeler ile kaplanmasıyla yapılacak değişimler, gürültü kaynağının yanında/yakınında çalışan ve gürültü kaynağının etkisine doğrudan maruz kalan kişiye, sınırlı ölçüde yardım etmektedir.

Şekil 2.9 belli bir ses gücüne sahip kaynağın, kapalı bir ortamda çalıştırılması ve mekân içinde oluşturacağı farklı ses basıncı seviyelerinin kaynaktan uzaklığa ve oda sabiti gibi parametrelere bağlı olduğunu göstermektedir.

Ses basıncı düzeyinin ve  $(L_p-L_w)$  değerlerinin sabit kaldığı ya da kaynaktan uzaklığa bağlı olarak değişmediği dağınık alan adını alan bölgeler, yansıyan ses dalgalarının kaynaktan doğrudan gelen ses dalgalarına baskın olduğu konumları simgelemektedir.





Şekil 2.9. Ses basıncı düzeylerinin oda sabiti ve uzaklığa göre değişimi [5].

### 2.7.2. Ses engelleyici duvar (bariyer) uygulaması

Adından da anlaşılacağı üzere ses engelleyici duvar, ses kaynağı ile etkilenen, maruz kalan nesne arasına yapılan duvar olarak tanımlanabilir. Duvarın arka kısmında kalan ve akustik gölge olarak tanımlanan alanda, kaynaktan çıkan ses dalgaları etkili olamamaktadır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, açık alan uygulamalarında 10 – 12 dB'lik bir kayba yardımcı olmaktadır. Kapalı mekânlarda maksimum verim ile uygulanabilmeleri için, bariyerin temas ettiği tavan kısmının da ses yutucu malzeme ile kaplanması şartını doğurmaktadır. Yaygın kullanım alanı olarak otoyol kenarları, endüstriyel iş yerleri vb. alanlar gösterilebilir. Her ses yutucu, engelleyici malzeme farklı frekanslarda farklı özellikler göstermektedir. Ses engelleyici duvarlar için bu durum yüksek frekanslarda ortaya çıkmaktadır. Yani, ses engelleyici bariyerlerden maksimum verim yüksek frekanslarda alınmaktadır. Bir otoyol ele alındığında, ses dalgaları çarptıkları engelden büyük ise yani sonlu bir engele çarpıyorsa, ses dalgaları enerjilerinin bir kısmını kaybederek hareketine devam etmektedir. Düşük frekans ve uzun dalga boyuna özgü olan bu durum kırınım olarak adlandırılmaktadır. Dalga boyu engelin boyundan daha kısa ise ses dalgaları yansıma gerçekleştirir. Bu yansıma engelin arka tarafında akustik gölge oluşturur. Oluşan bu gölge, yüksek frekanslarda maksimum verim sağlayarak engelin arka kısmında gürültü kaybına neden olur.

### **2.7.3. Ses iletimi**

Parçacıkların titreşimi sonucu oluşan ses, ortam karakteristiğine bağlı ilerleyen bir enerji türüdür. Burada ortam karakteristiği, iletim yolunun katı, sıvı veya gaz olmasıdır. Sesin iletilmesi ana olarak hava doğuşumlu ses iletimi ve darbe kaynaklı ses iletimi olarak iki şekilde meydana gelmektedir.

#### **2.7.3.1. Hava doğuşumlu ses iletimi**

Ses dalgaları hava içerisinde hareket ederek, ulaştıkları yapı elemanının titreşmesine neden olmaktadır. Titreşimler yapı elemanı içerisinde ilerleyerek veya yapı elemanında bulunan çeşitli boşluklardan geçerek ses kaynağına komşu olan hacime iletilmektedir. Tipik hava doğuşumlu ses iletimine örnek olarak; konuşma, müzik dinleme gibi faaliyetler verilmektedir [3].

#### **2.7.3.2. Darbe kaynaklı ses iletimi**

Bir nesnenin yapı elemanına (duvar, tavan veya döşeme) çarpması sonucu yapı elemanının her iki yüzeyi de titreşerek ses dalgası üretmektedir. Darbenin olduğu hacmin dışındaki diğer hacimlere ses iletmektedir. Tipik darbe kaynaklı ses iletimine örnek olarak; ayak sesleri, zıplama, eşyaların düşürülmesi, sürüklenmesi gibi faaliyetler verilmektedir.

### **2.7.4. Ses yalıtımı ve malzemeleri**

#### **2.7.4.1. Ses yalıtımı**

Teknolojinin her geçen gün açık bir şekilde geliştiği gözlemlenebilir bir durum olarak ön plana çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ürün kalitesini daima artırmaktadır gibi bir yaklaşım her zaman doğru olmamakta, teknolojinin gelişmesi ürün kalitesini azaltmakta ya da artırmaktadır. Özellikle yapı elemanlarında güvenlik sebebiyle hafif ürünler tercih edilebilmektedir. Bu konu gürültü çerçevesinde ele alınacak olunursa, yapı elemanlarının ses dalgaları karşısındaki davranış sorunları ürün kalitesiyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Yapı elemanları ile iletilen seslerin miktarlarında azaltım yapılması bireylerin huzurlu yaşamları için önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple bazı özel materyaller kullanılarak ses miktarlarındaki azaltım ses yalıtımı olarak tanımlanmaktadır.

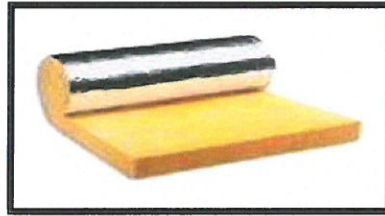
Ses yalıtımının prensibi, kaynaktan çıkan ses dalgalarının bir nesneye doğru ilerlerken dinamik olarak yumuşak malzemelerin sesin engelleneceği yapı alanına yerleştirilerek, ses dalgalarının bu yumuşak malzemelerle absorbe edilmesini sağlamaktır.

#### 2.7.4.2. Yalıtım malzemeleri

Yalıtım malzemeleri sesin belli bir oranda iç hacimlere geçişini ya da iç hacimlerden dış hacimlere geçişini engelleyen, düzenleyen ve ses dalgalarına karşı koyduğu direnç ile ses enerjisini ısı enerjisine dönüştüren materyallerin bütünüdür.

Kullanıldığı ortamlara göre farklılık gösteren yalıtım malzemelerine, taş yünü, cam yünü, ahşap yünü, yumuşak poliüretan esaslı köpükler, melamin kaplı köpükler, keçeler, delikli ahşaplar, delikli metaller, delikli alçı panolar, mantarlar vb. malzemeler örnek olarak verilebilir. Sırasıyla Şekil 2.10, Şekil 2.11, Şekil 2.12, Şekil 2.13'de bu malzemelerden en sık kullanılanlara görsel örnek gösterilmiştir.

Cam yünü, ergitilmiş camdan elde edilen ısı ve ses izolasyonunda kullanılan, bükülebilir ve ateşe dayanıklı cam liflerdir.



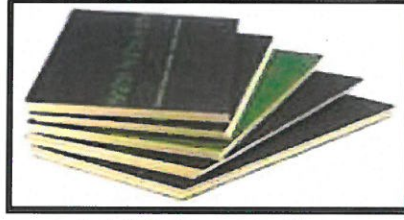
Şekil 2.10. Cam yünü

Taş yünü, bazalt kayasının hamur haline getirilip, daha sonra istenilen kalınlığa göre preslenmesiyle elde edilen yalıtım malzemesidir.



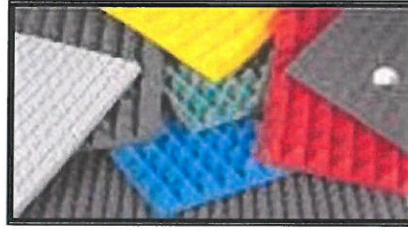
Şekil 2.11. Taş yünü

Ahşap yünü, ahşap kökenli bir yalıtım malzemesidir. Poliüretan, bir karbon bileşiğidir. Buzdolabı gibi günlük hayatımızda kullandığımız araçların yalıtımında kullanılmaktadır.



Şekil 2.12. Poliüretan

Melamin köpüğü, bir plastik çeşidi olan melaminden üretilen yalıtım malzemesidir.



Şekil 2.13. Melamin köpüğü

## 2.8. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

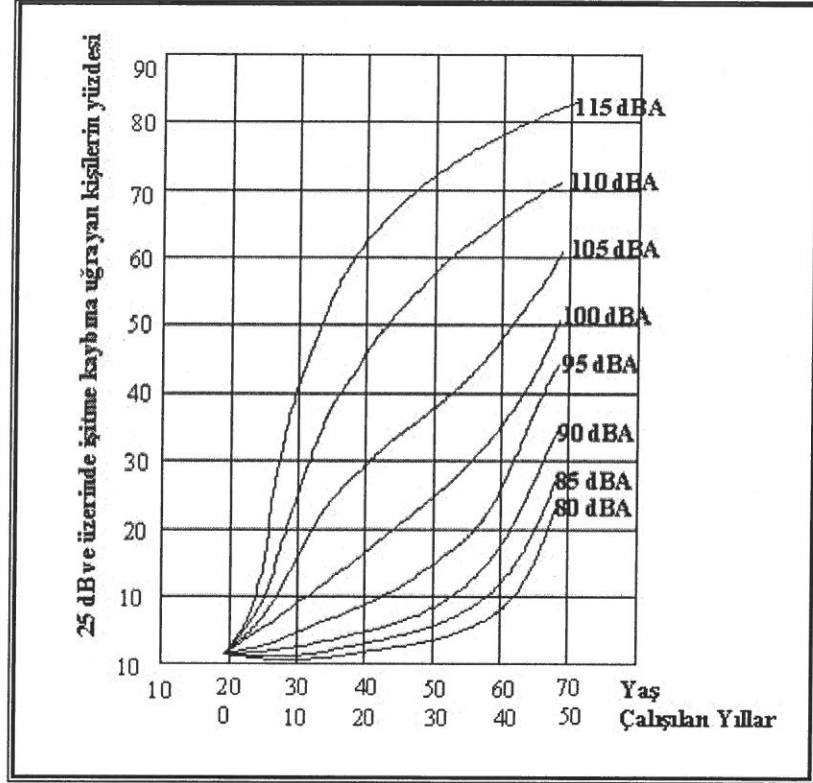
Gürültü, insanların işitme sağlığını ve algılamasını olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengeyi bozabilen, iş yapma gücünü yani verimliliği azaltan, çevrenin sakinliğini yok ederek niteliğini değiştiren çok önemli bir çevre kirliliği çeşididir [8].

İnsan kulağı anatomik olarak dış kulak, orta kulak ve iç kulak olarak adlandırılan üç ana bölümden oluşmaktadır. Ayrıca dış kulağın iç kulağa doğru ilerlediği kanalda bulunan kulak kepçesi ve kulak zarı ile kulak anatomisi sona ermektedir. İnsan vücudundaki bütün organların bir görevi olduğu gibi kulağın da bir görevi vardır. Kaynaklardan gelen sesi kulak kepçesi yardımıyla toplar ve kulak zarına iletir. Kulak zarı da orta kulakta sırasıyla çekiç, örs ve üzengi adı verilen mikro kemiklere iletmektedir. Birbirine bağlı olan çekiç, örs ve üzengi kulak zarına ulaşan ses titreşimlerini kokleanın oval pencere adı verilen kısmına iletir ve duyma işlemi gerçekleşir.

Gürültünün kulak üzerinde yani işitme hassası üzerinde oluşturduğu etkiler kısa vadede ve uzun vadede olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Diğer bir deyişle ani etkiler ya da zamanla ortaya çıkan etkiler olarak tanımlanmaktadır. Çok yüksek bir sese ani bir şekilde maruz kalan kulak, ses dalgasının basıncından dolayı iç kulakta bulunan kulak zarını yırtabilir, hassas olan korti organının fizyolojik yapısını bozabilecek kadar

kalıcı ve ciddi hasarlara yol açabilir. Bu durum ani oluşan etkilere örnek olarak gösterilmektedir. Ani gürültüye maruz kalmak yerine sürekli gürültüye maruz kalan bireylerde ise zaman içerisinde işitme kayıplarının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum da uzun vadede oluşan zarara örnek olarak verilmektedir. Yüksek düzeydeki ses ve ses dalgaları hücreleri zedeler ve korti organında çökme oluşur. İşitme sinir hücreleri de yüksek sese maruz kaldıklarında işlevlerini kaybeder ve işitme hassasında kalıcı olumsuz etkiler oluşturur. Gerçekleşen bu olay işitme eşiğinin kayması olarak ya da daha basit bir ifadeyle işitme kaybı olarak adlandırılmaktadır. Maruz kalınan süre ve ses basıncına göre bu durum geçici ya da sürekli olabilmektedir. Örnek verilecek olunursa, yetişkin bir birey 6.000 Hz frekansında, ses basıncı 1-2 dB olan bir sesi duyabiliyorken, uzun bir süre yüksek ses etkisi altında kaldıktan hemen sonrasında 25-30 dB'in altındaki 6.000 Hz'lik bir sesi duyamıyorsa bu kişi için işitme eşiğindeki kayma 6000 Hz için 25-30 dB olmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi eşik kayması ya da işitme kaybı sürekli veya geçici olabilmektedir. Bu durum, gürültünün etkisinde kalınan süreye, gürültünün düzeyine, gürültünün frekans dağılımına ve bireyin gürültüye karşı kişisel duyarlılığına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2.14. Etkisinde kalman gürültü düzeyine bağı olarak 25 dB ya da daha fazla işitme kaybına uğrayan kişilerin toplam grup içerisindeki oranı [1]

### 2.8.1. Gürültünün insan üzerindeki etkileri ve sınıflandırılması

Ulaşım, geçmişten günümüze insanoğlu için vazgeçilmez bir zorunluluktur. Bu zorunluluğun hayatımıza birçok kolaylık getirdiği göz ardı edilemez bir durumdur. Fakat ulaşımın artılarının yanı sıra eksileri de mevcut olup, aslında yaşantımıza dair kalıcı hasarlar bıraktığı kaçınılmaz bir gerçektir. Ulaşım birçok kaynaktan 4 ana başlık altında incelenmekte olup, bu başlıklar karayolu ulaşımı, havayolu ulaşımı, denizyolu ulaşımı ve demiryolu ulaşımı olarak adlandırılmaktadır.

Karayolu ulaşımı diğer ulaşım türleriyle kıyaslandığında tercih edilebilirliği açısından öne çıkmasının ana nedenleri arasında geniş bir ağına sahip olması ve ekonomik olması gösterilmektedir. Karayolu ile ulaşımın sağlanması karayolu taşıtları ile mümkündür ve bu durum gürültü açısından irdelendiğinde toplumdaki birçok bireyin karayolu gürültüsünden olumsuz etkilendiği anlaşılmaktadır. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar ele alındığında örneğin, 1971 yılında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan bir

çalışma sonucu gürültünün insan sağlığına karşı önemli bir tehdit oluşturduğu görüşüne varılmıştır. WHO'nun yaptığı araştırmalara göre, Avrupa nüfusunun yaklaşık %25'i 65 dB (A)'nın üzerinde ulaşım gürültüsüne maruz kalmaktadır [1]. 65 dB (A) değerinde bir gürültüye maruz kalan insanlarda uyku bölünmesi, çeşitli sağlık sorunlarının oluşması vb. gibi semptomlar görülebilmektedir.

Gürültünün insan sağlığına olan etkileri birkaç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar,

- Gürültüye bağlı işitme bozukluğu,
- Konuşmanın engellenmesi,
- Gürültünün uyku üzerindeki etkileri,
- Gürültünün kardiyovasküler ve fizyolojik etkileri,
- Gürültünün psikolojik etkileri,
- Gürültünün iş performansı üzerine etkileri,
- Gürültünün konut alanlarındaki genel davranış ve rahatsızlık üzerindeki etkileri,
- Birleşik gürültü kaynaklarının etkileri ve
- Gürültüye karşı hassas olan toplum grupları olarak sınıflandırılmaktadır [1].

#### **2.8.1.1. Gürültüye bağlı işitme bozukluğu**

İşitme kaybı, işitme eşiğinde düşme olarak tanımlanmaktadır. İşitme bozukluğu ise işitme kaybına ters olarak duyma eşiğindeki yükselme olarak tanımlanmaktadır. Bir bireyin duyma eşiğinin belirlenmesinde özel birtakım cihazlar kullanılmakta olup, bireyde işitme bozukluğu tespit edildiği cihetle bireyin günlük hayatını olumsuz etkileyebileceği ve iş/çalışma performansını da düşüreceği bilinmektedir. Bu durum yaşanmış birtakım olaylar dizisi incelendiğinde gürültü kaynaklı işitme kaybının ne yazık ki geri dönüşü mümkün olmayan bir problem olduğunu gözler önüne sermektedir. Teknoloji, sanayi, kalkınma ve inovasyonun büyüdüğü ülkelerde, büyümeye bağlı olarak çevre gürültüleri ve iş yeri gürültülerinde artış olması nedeniyle işitme bozukluğu riski ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda yapılan araştırmalar dünya üzerinde yaklaşık 120 milyon

insanın işitme bozukluğuna sahip olduğunu göstermektedir ve her geçen sürede artış olmaktadır.

Bir birey şiddetli bir sese ya da gürültüye maruz kaldığında dış kulağa gelen ses basıncı salyangoza iletilecektir. Fakat salyangoza gelen basınçlı ses dalgaları salyangozun sinir hücrelerinde geçici veya kalıcı hasara neden olmaktadır. Geçici hasarları aslında gün içerisinde yüksek ses ile müzik dinliyorsak zaman zaman yaşamaktayız. Bu durumun pratikteki ispatı kulaklık ile bir müddet yüksek sesli müzik dinleyen bireylerin kulaklığı çıkardıktan sonraki duymaya devam ettikleri çınlama sesi geçici hasara örnektir. Geçici hasarlarda işitme eşiği geçici olarak değişir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında yapılması gereken şey daha sessiz bir ortamda yeterli iyileşme süresi boyunca dinlenmektir.

Kalıcı hasara örnek olarak da fabrikada yüksek sese sürekli maruz kalan bir işçi örnek olarak gösterilebilir. İşçi belirli seviyedeki bir gürültüye tekrar eden bir şekilde maruz kalmaktadır ve işitme eşiği azar azar kaymaktadır. Bu durum literatürde gürültüye bağlı iç kulak zedelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Eğer bir birey gürültüye maruz kalması sebebiyle duyma eşiğini geçici kaybeder ve bu gürültüye maruz kalmaya devam ederse geçici hasar kalıcı hasara dönüşmektedir.

ISO 1999 Standardı, gürültüye bağlı işitme bozukluğunu hesaplamak için ortak bir yöntem önermektedir. Bütün nüfuslarda, her çeşit gürültü tipine (devamlı, aralıklı, ani) bu yöntem önerilmektedir. Gürültüye maruz kalma derecesi,  $LA_{eq}(8)$  ölçümüyle belirlenir. Standartta, işitme kaybı,  $LA_{eq}(8)$  ve 500 – 6.000 Hz frekans aralığına bağlı olarak 40 seneye kadar maruz kalma sınırları içinde verilir. Gürültüye bağlı işitme bozukluğu genellikle 3.000 – 6.000 Hz frekans aralığında yüksek derecelere ulaşır. 4.000 Hz frekansta ise en yüksek değerdedir.  $LA_{eq}(8)$  değerinde ya da gürültüye maruz kalma zamanında artış olursa, 2.000 Hz frekansındaki işitme bozukluğu da artmaktadır [3].

#### **2.8.1.2. Konuşmanın engellenmesi**

Bireyler birbirleriyle iletişim kurarken konuşmak durumundadır. Bu durumun gürültüyle olan ilişkisi ele alındığında, gürültünün düzeyi arttıkça insanlar anlaşabilmek maksadıyla seslerini yükseltmek zorunda kalmaktadırlar. Yapılan araştırmalar sessiz bir ortamda birim metre mesafede konuşma düzeyinin 45-50 dB (A) olduğunu ortaya koymaktadır.



Gürültülü bir ortamda, kişi sesini duyurabilmek için bağırarak zorunda kalacağından bu değer mevcut değere ek olarak 30 dB (A) daha yüksek olacaktır. Gürültünün konuşmayı engelleme üzerindeki etkisi olumsuz olacağından, bu durum elverişsiz durumların ortaya çıkması ve davranış bozukluklarının oluşmasına neden olacaktır.

Kadın veya erkeğin fizyolojik ses yapısı, ses telleri, ses frekans aralığı farklı olduğundan konuşma düzeyi cinsiyete ve ses gücüne bağlı bir terimdir. Dış ortamdaki ses düzeyi, mesafenin iki katına çıkmasıyla yaklaşık olarak 6 dB düşmektedir.

### **2.8.1.3. Gürültünün uyku üzerindeki etkileri**

İyi bir uyku beden ve ruh sağlığı için en önemli zorunluluktur. Uykunun kaliteli olması bireye canlılık, dirilik ve enerji katmaktadır. Uykusuz kalmanın insan sağlığı üzerinde çok ciddi hasarlara yol açtığı birçok kez incelenmiş olup, uykusuz kalanların metabolik faaliyetlerinden besin tüketimlerine kadar birçok olumsuz etkisi ispatlanmıştır. Uykunun kesintili ya da kesintisiz olması, uyku kalitesini belirlerken kullanılan önemli bir etkidir. Ruhsal yapının ve fizyolojik etkinin iyi bir yapıda olması için kesintisiz ve kaliteli uyku gerekmektedir. Bu durumun gürültü ile olan ilişkisi ele alındığında çevresel gürültülerin uykunun bölünmesine yol açarak uyku kalitesini düşürdüğü bilinmektedir. Uykunun kalitesini belirleyen parametreler uykusuzluk hissi, çok erken kalkma, uyku esnasında uyanmalar, uykuya dalmadaki güçlük olarak belirtilmektedir. Bu duruma örnek olarak Japonya'da yapılan bir araştırma verilebilir. Yapılan araştırmada laboratuvar ortamında tamamı kadınlardan olan 20-70 yaş aralığında 3.600 denek birtakım gürültülere maruz bırakılarak gözetim altına alınmıştır. Sonuç olarak deneklerin tamamına yakınında yukarıda belirtilen uyku kalitesini belirleyen parametrelerde olumsuz etkiler gözlemlenmiştir.

İyi bir uyku için iç mekândaki ses basınç düzeyleri maksimum ses basınç düzeyi ( $LA_{max}$ ) değeri olarak (gecede 10-15 kez) 45 dB'i geçmemelidir. Araştırmalar, ses etkileme düzeyi (SEL) değerlerinin 55-60 dB (A)'ı bulduğu gürültü değerlerinde uyku bölünmelerinin arttığını göstermektedir. Havaalanı gürültüsü gibi aralıklı gürültülerde 10-30 saniye gibi etkili süreye sahip 55-60 dB (A) değerinde bir SEL,  $LA_{max}$  değeri olarak yaklaşık 45 dB'dir. 8 saatlik gece periyodunda, 10-15 kez tekrar eden bu olayların  $LA_{eq}(8)$  değeri ise 20-25 dB'dir. Bu değer, sürekli gece gürültüsü  $LA_{eq}(8)$  saat değeri olan 30 dB'in altında olmasına rağmen aralıklı gürültü olduğu için kritik değerdir. Bu açıdan, aralıklı

gürültülerin söz konusu olduğu çevrelerde gece gürültüsünün limit değerleri iyi belirlenmelidir. Kritik çevrelerde inceleme iyi yapılmalıdır. Kritik çevreler;

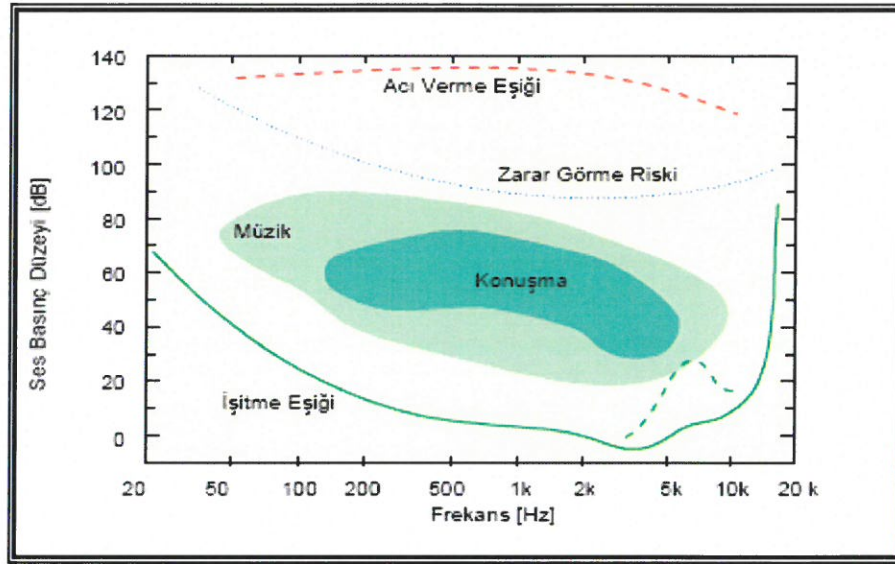
- Düşük arka plan ses seviyelerine sahip çevreler,
- Gürültü ve titreşimin aynı anda olduğu çevreler,
- Düşük frekans içeriğine sahip gürültü kaynakları.

Sonuçta sürekli gürültüler için iç mekândaki eş zamanlı ses basınç düzeyi değeri 30 dB (A)'yı geçmemelidir.

Tablo 2.5. Gürültünün işitme duyusunda oluşturduğu olumsuz etkileri [3].

	<b>Kısa Dönem</b>	<b>Uzun Dönem</b>
<b>Fizyolojik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Stress hormonu salgılama</li><li>➤ Savunma mekanizması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ İşitme kaybı</li><li>➤ Kalp krizi</li></ul>
<b>Psikolojik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Rahatsızlık</li><li>➤ Bilgi işlemede sorun</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Planlanan aktivitelerde rahatsızlık</li></ul>
<b>Sosyal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Yardımcı davranışlarda azalma</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Toplumsal ayırım</li></ul>
<b>Ekonomik</b>	-	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Sağlık masrafları</li><li>➤ Emlak fiyatlarında azalma</li></ul>

Aşağıdaki şekil işitme eşiği grafiğidir. Frekansa ve Ses basınç düzeyine bağlı işitme sınırları Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Şekil 3.2’de sağlıklı işitebildiğimiz sesler yeşil renkli kapalı alanda gösterilmektedir. Kapalı alan üzerindeki kısım zarar görme riskini, daha üst frekanslar ve ses basınç düzeylerinde ise acı verme eşiği görülmektedir. Kapalı alanın altında kalan kısımda ise işitme eşiğinin altında kalacağından duyulması mümkün olmayan frekansları simgelemektedir.



Şekil 2.15. İşitme eşiği [1]

### 2.8.2. İşitilebilir frekanslar

İnsan kulağının işitebildiği frekanslar bazı kaynaklarda 16 Hz – 16 kHz ve bazı kaynaklarda ise 20 Hz – 20 kHz olarak tanımlanmaktadır. Bireyler yaşlanmaya bağlı olarak işitme kaybı yaşamaktadırlar. Bu durum literatürde, 30 yaşındaki birey 1-2 dB, 65 yaşındaki birey 500 – 1.000 Hz frekans bandı aralığında 10-15 dB aralığında ve 2 – 4 Hz frekans bandı aralığında 20 – 40 dB olarak belirtilmektedir.

#### 2.8.2.1. Çeşitli seslerin frekans içerikleri

Ülkemiz gelişmekte olan bir ülke olduğundan gürültü sorunları da her geçen gün artış göstermektedir. Gürültüye bağlı rahatsızlıklar artmakta, belirginleşmekte ve yeterli önlem alınmakta sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Örneğin farklı rahatsızlıkları olan bireyler uzun süre gürültüye maruz kaldıklarında tedavi süreleri rahatsızlıkları sebepleri ile farklılık

göstermektedir. Bireylerin genelinde görülen ve öne çıkan problem vücut direncinin düşmesidir. Vücut direnci düştüğünde ise kişi daha kolay bir şekilde hastalanabilmektedir. Bu duruma çözüm önerisi olarak gürültü kaynağını ortadan kaldırmak verilmektedir. Eğer bunun gerçekleşmesi mümkün değilse, gürültünün çıkış noktası ile varış noktası arasında bir takım önleyici önlemler alınarak etkinin minimuma indirilmesi sağlanmaktadır.

### 2.8.3. Gürültünün insan sağlığı üzerinde yarattığı olumsuz etkileri

Uzun süren incelemeler yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 2.6. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri [1]

Derece	dB (A)	Belirtiler
1.	30 – 65	Rahatsızlık, öfke, uyku düzensizliği, konsantrasyon bozukluğu
2.	65 – 90	Fizyolojik reaksiyonlar, kan basınç artışı, kalp ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3.	90 – 120	Fizyolojik reaksiyonların artması, baş ağrıları
4.	120 – 140	İç kulakta devamlı hasar, dengenin bozulması
5.	>140	Ciddi beyin tahribatı

Yapılan bir araştırmaya göre gürültülü yerlerde çalışan bireylerin 4 saat sonra iş verimliliklerinin yaklaşık olarak %33 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

### 2.9. Çevresel Gürültü

Sesin üretilmesi çok geniş bir skalaya sahiptir. Birçok farklı kaynaktan ses oluşmaktadır. Çevresel gürültü adından da anlaşılacağı üzere dış ortam kaynaklı oluşan gürültülerdir. Örneğin açık bir alanda insan faaliyetleri sonucu oluşan trafik, taşımacılık işlemleri, eğlence, inşaat, endüstri vb. gibi birçok farklı gürültü kaynağı mevcuttur. Kaynaklarında oluşan bu sesler, gürültünün düzeyine bağlı olarak iç ortamlarda rahatsız edici seviyelere ulaşabilmektedir. Bu durum bireylerin yaşam kalitesini ve standardını düşürmektedir. Örneğin gürültü sebebiyle bireyler balkon ya da bahçe gibi sosyal ve açık alanlarda vakit geçirmekten kaçınmakta, uzun vadede stres içeren bir yaşantıya doğru sürüklenmektedirler. Bunun yanı sıra iletişim, uyku, okuma, ders çalışma vb. gibi durumlarda da olumsuz etkiler açıkça görülmektedir.

Gürültü ile ilgili ülkemizde de bir takım yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu konuda ilk olarak hazırlanan yönetmelik Çevre Kanunu'nun 14.maddesi hükümlerine dayandırılarak hazırlanan 1986 tarih ve 19308 sayılı Gürültü Kontrol Yönetmeliğidir. Daha sonrasında ülkemizin Avrupa Birliği ülkelerinden olabilmesi için revize ettiği birçok yönetmelik gibi bu yönetmeliğinde standartları değiştirilerek 07/03/2008 tarih ve 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. İlgili yönetmeliğin ismi değiştirilmeden 04/06/2010 tarih ve 27601 sayılı yazı ile Resmî Gazete'de yayımlanarak en güncel halini almıştır. Yönetmeliğin içeriğine derinlemesine girilmeden ana esaslar üzerinde durularak açıklama yapılacak olursa gürültü değerlerine çeşitli sınırlamalar ve yasaklamalar getirilmekte ve bu yasak ve sınırlamaların yetkili ve sorumlu mercilerce denetlenmesini hedefleyen sınırlardan oluştuğu görülmektedir. Yönetmeliğin belirlediği sınır değerlerin aşılması, yönetmeliğe aykırı harekette bulunulması ve yasaklamalara uyulmaması durumunda ise fabrika, atölye, eğlence merkezi, gerçek veya tüzel gibi kişi ve kurumlara idari ceza yaptırımları uygulanacağı yönetmelik içerisinde yer almaktadır.

Ayrıca ülkemizde Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik 31.05.2017 tarihinde 30082 sayılı Resmî Gazete'de yürürlüğe girmiştir. İlgili yönetmeliğin amacı, binaların içinden veya dışından insanların maruz kalacağı, beden ve psikolojik sağlığını, huzur ve sükun konularında gürültünün etkilerinin minimuma indirilerek bakım, işletim, kullanım, tasarım bakımından uyulacak kuralların belirlenmesidir. İlgili yönetmelik gürültüden kaynaklı insan sağlığına etki edecek bütün parametrelerin standart veya standardın üzerine çıkarılmasını esas alarak yapı elemanları, malzemeleri ve bileşenleri hakkında kalite yönetimini hedef almaktadır.

Avrupa Birliği'nin bu konuda daha hassas ve öncü olarak çalışmalar yaptığı göz önüne alındığında, ana hedefin ve stratejinin gürültü kaynağı oluşturan etmenler ve etkenlerde (örneğin, araba, uçak, motosiklet, tren, çim biçme makinesi, şantiye gürültüsü vb.) müsaade edilebilir en yüksek gürültü seviyesinin belirlenmesinin üzerine kurulu olduğu anlaşılmaktadır.

Avrupa ülkelerinde ses yalıtımı ve ölçümü için bir takım standart ve prosedürler oluşturulmuştur. Avrupa Birliği'nde oluşturulan standartlardan bazıları birebir

kopyalanarak ülkemizde uygulanmaya başlanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Ülkemizdeki standart ve prosedürler [8]

Standart	Açıklama
TS EN ISO 3744	Gürültü kaynağından üretilmiş ses gücü seviyesini hesaplamak için bir veya daha fazla yansıtıcı düzlem arasında ses basınç seviyesinin hesaplanması
TS ISO 8297	Çoklu gürültü kaynağına sahip sanayi tesislerinin ses basınç seviyelerinin tayini
TS 9798	Belirli bir arazi parçasında oluşan çevre gürültüsünün tanımlanması
TS 9315 ISO 1996-1	Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi
TS ISO 9613-2	Yerleşim alanlarında dış ortam gürültüsünün tarifi ile ilgili yöntemler
TS 8958 EN ISO 3746	Kaynak tarafından üretilen sesin güç seviyesinin hesaplanması

### 2.9.1. Ulaşım gürültüsü

Gelişmekte olan ya da gelişimini tamamlamış ülkelerde çevre sorunlarının başında gelen gürültülerden bir tanesi de ulaşım gürültüsüdür.

#### 2.9.1.1. Karayolları gürültüsü

Motorlu ulaşım araçlarının hareketleri neticesinde oluşan karayolları gürültüsü, araçlara ait motor, fren, teker-yol teması, korna vb. uyarıcı sistemler gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Karayollarında oluşan gürültü seviyesi bazı etmenlere bağlıdır. Bu etmenler, yol seviyesi, yolun kaplama cinsi, uzaklık, trafik hacmi ve yoğunluğu, aracın cinsi, modeli, teknik özellikleri, yolun eğim derecesi vb.'dir.

Karayolları gürültüsünün, aracın yol ve çevre ile etkileşimi sonucu, araç kaynaklı ve araçların yanlış kullanılması kaynaklı olmak üzere 3 ana unsuru vardır. Araçların hız seviyelerinin de karayolları gürültüsüne etki ettiği bilinmektedir. Yavaş seyir eden bir araç hızlı seyir eden bir araca göre daha az gürültü oluşturmaktadır. Ayrıca aracın eski olması da motor vb. teknik aksamaların eski olmasından dolayı daha çok ses çıkarmasına sebep olmaktadır.

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak yol yakınındaki noktalarda dalgalı, kesikli ya da kararlı gürültü, yoldan uzak noktalarda ise genellikle kararlı gürültü olarak kendini göstermektedir. Değerlendirme ölçüsü olarak  $L_{gündüz}$ ,  $L_{gece}$  ve  $L_{akşam}$  kullanılmaktadır [9].

Ülkemizde gürültü konulu yönetmelik olan 04/06/2010 tarihli ve 27601 sayılı yazı ile Resmî Gazete’de yayımlanarak Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre sınır değerler Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 2.8. Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri [8].

Alanlar	Planlanan, Yenilenmiş, Onarılmış Yollar			Mevcut yollar		
	$L_{gündüz}$ dB (A)	$L_{akşam}$ dB (A)	$L_{gece}$ dB (A)	$L_{gündüz}$ dB (A)	$L_{akşam}$ dB (A)	$L_{gece}$ dB (A)
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlar	60	55	50	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	63	58	53	68	63	58
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55	70	65	60
Endüstriyel alanlar	67	62	57	72	67	62

#### 2.9.1.2. Demiryolu gürültüsü

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde demiryolu gürültüsü ile ilgili olarak verilen sınır değerler Tablo 4.3’de verilmektedir.

Demiryolu gürültüsü kesikli gürültü olarak kendini göstermektedir. Değerlendirme kriteri olarak  $L_{gündüz}$ ,  $L_{gece}$  ve  $L_{akşam}$  kullanılmaktadır.

Tablo 2.9. Hafif raylı sistemler için çevresel gürültünün sınır değerleri [8].

Yeraltı İstasyonları		Leq dB (A)	Yerüstü İstasyonları		Leq dB (A)
Gişeler, merdivenler, koridorlar		55	Platformlar (platform kenarından 1.8 m)	Duran ve kalkan trenler için	70
Platformlar (platform kenarından 1.8 m)	Duran ve kalkan trenler için	80		Geçen trenler	75
	Geçen trenler	85		Çalışır durumda bekleyen trenler için	65
	Çalışır durumda bekleyen trenler için	65			
İstasyon içinde havalandırma sistemi		55			
Caddelerde havalandırma kanalları (9.0 m'de)		55			
İstasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22.5 m.'de)		80			

### 2.9.1.3. Havaalanı gürültüsü

Havaalanı gürültüsü kesikli gürültü olarak kendini göstermektedir. Değerlendirme kriteri olarak  $L_{gündüz}$ ,  $L_{gece}$  ve  $L_{akşam}$  kullanılmaktadır. Tablo 4.4'de verilen sınır değerler Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre verilmektedir.



Tablo 2.10. Havaalanı çevresel gürültü sınır değerleri [8].

Alanlar	Küçük hava alanları (yılda elli binin altında iniş/ kalkış) dBA			Büyük hava alanları (yılda elli bin ve üstü iniş/ kalkış) dBA		
	L <sub>gündüz</sub>	L <sub>akşam</sub>	L <sub>gece</sub>	L <sub>gündüz</sub>	L <sub>akşam</sub>	L <sub>gece</sub>
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlar	63	58	53	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55	68	63	58
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	67	62	57	72	67	62
Endüstriyel alanlar	70	65	60	75	70	65

#### 2.9.1.4. Denizyolu gürültüsü

Oluştugu alanlar liman, iskele vb. yerler ve deniz, boğaz, nehir, göl gibi alanlarda kullanılan ulaşım veya eğlence araçlarından çevreye yayılan gürültü olarak adlandırılabilir. Sınır değerler aşağıda verilmiştir.

İskele, liman ve benzeri yerler ile deniz, koy, göl, boğaz, nehir gibi su yollarında kullanılan ulaşım araçlarından yayılan çevresel gürültü seviyesi L<sub>gündüz</sub> 65 dB (A), L<sub>akşam</sub> 60 dB (A) ve L<sub>gece</sub> 55 dB (A) sınır değerlerini aşamaz.

İskele, liman ve benzeri yerler ile deniz, koy, göl, boğaz, nehir gibi su yollarında kullanılan araçlarda elektronik olarak yükseltilmiş müzik yayını yapılması sonucu yayılan çevresel gürültü seviyesi bu maddede verilen sınır değeri en fazla gündüz zaman dilimi için 5 dB (A), akşam zaman dilimi için 3 dB (A) aşabilir [8].

#### 2.9.2. Endüstri tesislerinden kaynaklanan çevre gürültüsü

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde sanayileşmenin büyümesi ile fabrika vb. gibi endüstri tesislerinden kaynaklı gürültüde artış göstermektedir. Artışın önlenmesi ülkelerin

ekonomik olarak refaha ulaşması için mümkün olmasa da birtakım sınırlamalar getirilmesi gürültünün kontrol edilmesi noktasında önem arz etmektedir. Bu konuda 04/06/2010 tarihli ve 27601 sayılı yazı ile Resmî Gazete’de yayımlanarak Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği yürürlüğe girmiş olup, yönetmelikte belirtilen sınır değerler Tablo 4.5’de gösterilmektedir.

Tablo 2.11. Endüstri tesisleri için çevresel gürültü sınır değerleri [8].

Alanlar	L <sub>gündür</sub> (dBA)	L <sub>ağşam</sub> (dBA)	L <sub>gece</sub> (dBA)
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin yoğunluklu olduğu alanlar	60	55	50
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	68	63	58
Organize Sanayi Bölgesi veya İhtisas Sanayi Bölgesi içindeki her bir tesis için	70	65	60

### 2.9.3. İnşaat (şantiye) gürültüsü

Ülkemizin gelişen ülke konumunda olması nedeniyle artış gösteren bir diğer faaliyet inşaat ve şantiye sahalarının yapı maksadıyla açılmasıdır. Buna bağlı olarak bu gibi alanlarda oldukça ciddi gürültü kirliliği oluşmaktadır. Kirliliği kontrol altında tutmak ve zararlı etkilerini minimuma indirmek amacıyla ilgili yönetmelikte çalışma saatleri konut alanlarında (bölgesi ve yakın çevresi dâhil olmak üzere) 07:00 – 19: 00 olarak belirlenmiştir. Yasal çerçeve neticesinde yönetmelikçe belirlenen saatler haricinde inşaat ve şantiye çalışmalarının devam etmesi yasaklanmış olup, yasağa uymayanlar hakkında idari ceza yaptırımlarının uygulanacağı belirtilmektedir. İlgili yönetmeliğe göre sınır değerler Tablo 4.6’da gösterilmektedir.

Tablo 2.12. Şantiye alanı için çevresel gürültü sınır değerleri [8].

<b>Faaliyet türü</b> (Yapım, Yıkım ve Onarım)	$L_{gündüz}$ (dBA)
Bina	70
Yol	75
Diğer kaynaklar	70

#### 2.9.4. Rekreasyon ve eğlence yerlerinin çevresel gürültüsü

Eğlence mekanları, düğün salonları, gazinolar, lunaparklar, fuarlar, piknik yerleri, açık hava sinemaları ve rekreasyon alanları vb. gibi alanlardan kaynaklanan gürültüdür.

### 2.10. Gürültü Ölçümü ve Değerlendirilmesi

#### 2.10.1. Gürültü ölçümünde kullanılan cihazlar

##### 2.10.1.1. Ses düzeyi ölçer

Sesin basıncının ölçümünü yapmayı sağlayan cihazlara ses düzeyi ölçer denmektedir. Literatürde desibelmetre veya sonometre gibi isimlerle de tanımlanan cihazların çalışma mantığı, ses dalgalarının mikrofona yardımıyla elektrik sinyaline dönüştürülmesini sağlamaktır. Mikrofon tarafından algılanan ses dalgaları amfi yardımıyla sinyalleri yükseltir ve ölçülen değer monitör/ekran adı verilen donanım üzerinden sayısal olarak ölçülür. Görünüm ve ebat olarak telsiz özelliklerinde olan bu cihazın mikrofona kapasitif (sığasal), dinamik ve piezoelektrik (başyüklenimli) olmak üzere 3 ayrı tipte bulunabilmektedir. Şekil 2.16’da bir ses düzeyi ölçer görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.16. Ses düzeyi ölçer [5]

Gelişmiş ses düzeyi ölçerler, ses düzeylerinin zamana göre integralini almaya olanak sağlayan elektronik devreler ile donatılmıştır. Bu tür ses düzeyi ölçerler yardımıyla Eşdeğer Sürekli Ses düzeylerini ( $L_{eq}$ ) ve Ses Etkilenim Düzeylerini (SEL) ölçme olanağı bulunmaktadır. Her iki ölçüm için gerekli integrasyon işlemi, cihaz üzerinde bulunan başlatma düğmesine basılarak başlatılmaktadır. Ses etkilenim düzeyi ölçümü için ses düzeyleri, SEL ya da  $L_{eq}$  konumlarından birine getirilerek istenen ölçüm yapılmaktadır. Burada genel çizgileri ile özetlenen ses düzeyi ölçerlerin en iyi şekilde kullanımı için yapımcı firmanın hazırladığı kullanım kılavuzlarından yararlanılması gerekmektedir.

Bazı gelişmiş ses düzeyi ölçerlerde ölçülen ses basıncının manyetik teyp üzerine kaydedilmesine ya da bir yazıcıdan çıktı alınabilmesine olanak sağlayan kaydedici çıkış terminalleri ya da uçları bulunmaktadır. Yine gelişmiş ses düzeyi ölçerler dışarıdan kolayca takılabilen ya da üzerlerinde mevcut elektronik süzgeç (filtre) devreleri ile ölçülen gürültünün oktav band çözümlemesini yapma olanağına sahiptirler. Bu çözümleme ayrı ayrı her frekans bandı için yapılabildiği gibi sayısal cihazlarda tüm frekanslar için aynı anda da yapılabilmektedir. Sayısal cihazlar oktav band çözümlemesi vb. ölçüm sonuçlarının gösterilmesi amacıyla bir ekran ile donatılmışlardır [5].

#### **2.10.1.2.Frekans analiz cihazı**

Frekans analiz cihazlarının çalışma mantığı, ölçümü gerçekleştirilen sinyalin bir filtreden geçirilmesi yardımıyla istenilen frekans aralığındaki değerlerin sayısal olarak bulunması üzerine kuruludur. Frekans analiz cihazlarının büyük çoğunluğu sinyalleri filtre edebilme özelliğine sahiptir. Teknolojiye bağlı olarak bu durum da zaman içerisinde değişiklik göstermiştir. Gelişen teknoloji ile ses sinyallerini filtre edebilen cihazlar yerini real time analyzers denilen gerçek zamanlı analiz cihazlarına bırakmıştır. Bu cihazların çalışma mantığı ise sinyalleri bir filtreden geçirmek yerine bütün filtrelerden ayrı ayrı geçirilerek sinyalleri filtre etme değil analiz etme üzerine kuruludur. Güncel teknoloji ile kullanılan cihazlar hızlı analiz, sağlıklı bilgi gibi avantajları da beraberinde getirdiğinden daha sıkça tercih edilen cihazlardır.

Yaygın olarak kullanılan bu cihazlar, sesi belirli bir sürede devamlı olarak ölçer ve peş peşe alınan ses sinyalleri için analiz cihaz tarafından gerçekleştirildikten sonra tamamının ortalaması bulunur.

Burada önemli olan frekans analiz cihazını tercih ederken önce analizlerde ne tür bir band genişliğinin kullanılması gerektiğine karar vermektir. Bir sonraki aşamada band genişliğinin minimum hangi değerde olması gerektiğini belirlemek gerekir. Bilinçsiz bir şekilde karmaşık bir cihazın tercih edilmesi kullanım amacına uygun olmamakla birlikte ekonomik olarak yük getirebilmekte ve kullanım zorluğu çıkarabilmektedir.

### **2.10.1.3. Mikrofonlar**

Seslerin, ses basınçlarının ölçümünün gerçekleştirilebilmesi için öncelikle mikrofon adı verilen ekipman tarafından cihaz içerisine alınması gerekmektedir. Bu nedenle ölçüm ekipmanlarının önemli bir parçasını mikrofon oluşturmaktadır. Örneğin doğru ve kaliteli mikrofonun tercih edilmediği bir ölçüm düzeneğinde alınan sonuçlar yanlış, hatalı, eksik ve yetersiz olabilir. Mikrofon tercihinde ölçümü gerçekleştirecek olan teknik personelin yeterli bilgi birikimi yoksa bu noktada cihazı imal eden firma ile irtibat kurarak üreticiden teknik bilgilerle destek almak en akılcı çözüm yolu olacaktır. Mikrofon seçilirken çevre koşulları dikkate alınmalı ve ortamın nem, sıcaklık, toz, partikül ve rüzgâr gibi parametrelerin önem arz ettiği göz ardı edilmemelidir. Ortam şartları ve çevre koşullarının haricinde yine teknik özellikler de dikkat edilmesi gereken niceliklerden birisidir. Örneğin seçilen mikrofonun ölçebileceği minimum ve maksimum frekanslara dikkat edilmeli, basınç arasındaki fark olarak bilinen dinamik aralığın seçimde önemli bir kriter olduğu bilinmelidir. Teknik olarak çok fazla ayrıntıya girmeden mikrofon/mikrofonlardan bahsedilecek olursa; dinamik aralık olarak tanımlanan basınçlar arasındaki fark ve ölçüm frekans aralığı geniş olan standart gürültü ölçümleri için geliştirilmiş en ideal mikrofonlar kondensör mikrofonlar olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer mikrofon tipi ise piezoelektrik mikrofonlardır. Kondensör mikrofona kıyasla daha ekonomik ve dayanıklı olduğu bilinmektedir.

### **2.10.2. Gürültü ölçümü**

Gürültünün ölçülmesi sesin zararlı ya da zararsız seviyede olduğunun tespitinin yapılması ve bu konuda önlem alınabilmesi bakımından önem arz etmektedir. Gürültünün ölçümü ses düzeyi ölçer ve ilgili cihazın ortamda ölçüm esnasında kullanılması ile mümkün olup sırasıyla iki durum da aşağıda açıklanmıştır.

Gürültünün ölçümünden önce ve sonra yapılması gereken birtakım işlemler vardır. Bu işlemler:

Ölçüme başlamadan önce teknik ekipmanların, ölçüm cihazlarının kontrollerinin yapılması sağlıklı bir ölçüme başlamak için ilk adım olarak gösterilebilir. Örnek olarak cihazın pillerinin olup olmadığını kontrol etmek gösterilebilir. Cihazın sağlıklı bir ölçüm ve doğru bir sonuç okuyabilmesi için kalibrasyon son derece önemli bir işlemdir. Cihaz üreticisi tarafından kullanım kılavuzunda ya da cihaz üzerinde belirtilen kalibre değerler başlangıç aşamasında cihaz monitöründe okunamıyorsa cihazı kullanım talimatları dikkate alınarak kalibre etmek gerekmektedir. Ölçülecek olan gürültünün özelliklerine dikkat edilerek ses düzeyi ölçer cihazın ayar düğmelerin doğru konumda olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu işlemler için kullanma talimatını dikkate almak sağlıklı ölçüm için önem arz etmektedir.

Ölçüm cihazı tüm kontroller sonucunda ölçüme hazır halde ise ölçüm öncesinde ve esnasında:

Ölçümü gerçekleştirmeden önce ortamdaki gürültü kaynakları, ölçüm konumu ve yansıtıcı yüzey gibi etmenler kroki ile işlenerek belirtilmelidir. Ölçüm gerçekleştirilecek olan tüm cihaz ve ekipmanların özellikleri, seri numaraları kayıt altına alınmalı mikrofön seçiminin doğru bir şekilde yapıldığından emin olunmalıdır. Ölçüm yapan kişinin ölçüme etkisini en aza indirmek amacıyla cihazı bir kol boyu kadar uzaklıkta ve kımıldatmadan tutması gerekmektedir. İdeal ölçüm yüksekliği kulak hizasına karşılık gelen 1,2 m ile 1,5 m yüksekliğinde seçilmelidir. Ölçüm, ses düzeyi ölçer cihazının bir destek üzerine monte edilmesiyle gerçekleştirilecek olursa zeminin titreşiminin olmamasına dikkat edilmelidir. Aksi halde istenmeyen vibrasyonlar cihazın hatalı okumasına yol açabilmektedir. Cihazın aşırı gürültüye maruz kalması kalibrasyonunu bozabilmektedir ve bu nedenle sık sık kalibrasyon kontrol edilmelidir. Ölçüm cihazı birçok elektronik cihaz gibi manyetik kuvvetlerden etkilenebildiği için ölçüm ortamında manyetik alanlardan cihazı uzak tutmak gerekmektedir. Ölçümlerde en sık karşılaşılan sorun rüzgâr olmaktadır. Rüzgârın oldukça hafif olması bile ölçümün yanlış okunabilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle mikrofön üzerinde takılı olması gereken özel muhafazanın takılı olmasına dikkat edilmelidir. Ölçüm yapılan alanda kaynaktan 50 m ve üzeri uzaklıklarda rüzgârın kaynak tarafından gelmesine dikkat edilmeli, rüzgâr hızının 5 m/sn değerinden daha düşük

olmasına dikkat edilmelidir. Ölçümün yapıldığı nokta seçilirken etraftaki yansıtıcı yüzeylere dikkat edilmelidir. Eğer yansıtıcı yüzey var ise ölçüm noktası yansıtıcı yüzeyden uzak bir yerde seçilmelidir. Bu gibi durumlarda yasal yönetmelikler ve yasal çerçeveler dikkate alınmalıdır.

Gürültü ölçümünden önce ve ölçümler tamamlandıktan sonra ortamdaki arka plan gürültüsü ölçülerek kontrol edilmelidir. Eğer ölçülen düzeyler ile arka plan gürültüsü arasındaki fark 10 dB'den fazla ise herhangi bir işlem yapmaya gerek bulunmamaktadır. Bu fark 10 dB'den az ise desibel çıkarma işlemi ile ölçülen düzeyleri arka plan gürültüsünden arındırmak gerekmektedir. Sözü edilen farkın 3 dB'den az olduğu durumlarda ise güvenilir ölçüm yapma olanağı yoktur [5].

Ölçüm esnasında cihazın ayar düğmelerinin doğru olması gerekmektedir. Örneğin gürültü düzeyleri çoğunlukla A ağırlıklı ölçüldüğünden ağırlıklamayı belirleyen ilgili düğme ya da tuş dB (A) konumunda olması gerekmektedir. Kararlı gürültü ölçümü yapılırken ise ilgili düğmenin ya da tuşun S olarak alınması gerekmektedir. Kesikli, aralıklı ya da dalgalı gürültülerin ölçümünde ise aynı tuş F konumuna getirilmesi gerekmektedir. Bir uçak geçişi benzeri geçiş gürültüsü ölçümlerinde ise SEL konumunda dB (A) olarak ölçülmelidir. Patlama gürültüsü ya da tek darbe olarak daha önce de bahsedilen gürültü tipinde ise tuş ya da gösterge I konumunda ve dB (C) ağırlıklaması ile ölçülmelidir.

Ölçüm gerçekleştirildikten sonra tutanak tutmak ve tüm sonuçları kayıt altına almak gerekmektedir. İlk başta adı geçen kroki ile birlikte ölçüm esnasındaki ortam koşulları ve sonuçlar bu tutanakta yer almalıdır.

### **2.10.3. Gürültünün haritalanması**

Gürültü haritalarının amacı bölgesel olarak gürültü yoğunluğu yüksek sahaları belirleyerek o alanlarda daha çok bilgi sahibi olmak ve gürültü çalışmaları ile o sahalarda ön görüleri geliştirmektir. Gürültü haritaları aynı zamanda gürültü düzeylerinin mekânsal olarak dağılımının gösterilmesini sağlayan görsel bir rapordur. Gürültülü sahaların ön görülmesinin yanı sıra gürültü haritaları büyük şehirlerde planlama yapabilmek için de oldukça faydalı bir çalışmadır. Gürültü haritaları, toplumun ve toplumu oluşturan bireylerin sağlığını ve eylemlerini etkilememesi ya da minimum düzeyde etkilemesi için bir kontrol mekanizması oluşturabilir. Yakın zamandaki gürültü seviyelerinin kentin

hangi noktalarında artış gösterdiğinin izlenebilmesinin yanı sıra geleceğe dair ön görülerde bulunmak da gürültü haritaları ile mümkün olabilmektedir.

Gürültü haritalarını pratikte ölçüm yöntemi ile ya da hesap yöntemi ile 2 farklı şekilde oluşturmak mümkündür. Her iki ölçüm metodunun da birbirlerine kıyasla bir takım avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin, ölçüm yöntemi ile oluşturulacak olan bir gürültü haritası çalışmasında farklı kaynakların gürültüye olan katkılarını bilmek neredeyse mümkün olmamaktadır. Bunun aksine hesap yöntemi ile hazırlanacak olan bir gürültü haritasında farklı kaynakların gürültüye katkısı anlaşılabilir. Bu hesapları yapmak ise özellikle büyük şehirlerde önemli ve ciddi ölçüde bilgisayar gücü ve hafızası gerektirdiğinden dezavantaj olarak görülmektedir. Gürültü haritalandırılmasında genellikle Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS, Geographic Information System) kullanılmaktadır. CBS'in prensibi coğrafi bir harita üzerine bilgilerin yüklenmesi üzerine kurulu olduğundan gürültü haritalandırılması için de aynı durum geçerlidir.

## **2.11. Geri Kazanım Sistemleri ve Geri Kazanılabilir Atıklar**

Nüfusun hızla artması ve buna bağlı olarak tüketimin çoğalması doğal kaynaklarımızı olumsuz etkileyerek azaltmaktadır. Toplumların son yıllarda artış gösteren tüketim çılgınlığı olarak da tanımlanan bir dizayn içerisinde bulunması beraberinde bir takım kirlilik yükünün artmasına neden olmaktadır. En basit ifadeyle, alışveriş mağazasından alınan bir şişe suyun tüketilmesi sonucu doğaya bırakılan pet şişe milyonlarca yılda kaybolup gitmektedir. Bu durum dünyanın nüfusuyla oranlandığında oldukça ciddi bir kirlilik yükü açığa çıkmaktadır. Bu gibi durumlar sebebiyle geri kazanım yaklaşımı doğal kaynaklarımızın verimli kullanılması ve doğanın minimum hasarı alması bakımından son derece önemli bir yönetim biçimi olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı durum yalnızca plastik ve türevleri için değil cam, kâğıt-karton, hurda metal ve türevleri ve evsel nitelikli atıklar içinde geçerli olmaktadır. Bu tez çalışması atık kağıtları kullanarak gürültü izolasyon malzemesinin üretilmesi ile ilgili olduğundan geri kazanılabilir atık türlerinden kâğıt üzerinde yoğunluk göstermektedir.

### **2.11.1. Tanımlar**

**Tekrar kullanım:** Bir ürünün kullanımı ile ortaya çıkan, atık niteliği taşıyabilecekken aynı işte veya farklı işte tekrar tekrar kullanılabilir fiziki kondisyona sahip materyallerin



birden çok kez kullanılmasını ifade etmektedir. Atık oluşumunun azalmasının yanı sıra ekonomik olarak katkı da sağlayan bir yönetim biçimidir.

**Geri dönüşüm:** Bir ürünün kullanılması sonucu nihai atık olarak ortaya çıkan ve fiziksel kondisyon olarak tekrar kullanılmaya müsait olmayan ürünlerin, tekrar kullanılabilmesi amacıyla fiziksel ve/veya kimyasal birtakım işlemlerden geçirilerek ikincil hammadde haline getirilmesi olayıdır.

**Geri kazanım:** Geri kazanım tanım olarak tekrar kullanımı ve geri dönüşümü kapsamaktadır. Atıkların fiziksel, kimyasal ya da biyokimyasal yöntemler ile işlenerek başka bir materyal ya da enerji elde edilmesi olayıdır. Örneğin atık kağıtların toplanıp ayrıştırılarak saman kâğıt eldesinde kullanılmasıdır.

**Enerji kazanımı:** Atıkların muhteva ettiği enerjinin kullanılmasıdır.

Tüm bu tanımların yanı sıra kompostlaştırma, evsel katı atık, geri kazanılabilir evsel katı atık gibi birçok tanım bulunmaktadır. Fakat bu tez çalışması atık kâğıtlar üzerine yoğunlaştığından yukarıda açıklanan tanımların haricinde tanımlamalara gerek duyulmamıştır.

### **2.11.2. Geri kazanım yaklaşımı**

Geri kazanım yaklaşımı atıkların ikincil hammadde olarak tekrar kullanılması ve geri dönüştürülmesi için son derece önemli bir atık yönetim mekanizmasıdır. Atıkların doğaya verdikleri zararın minimuma indirilmesi gibi büyük bir avantaja sahip olmasının yanı sıra ülke ekonomisine de katkı sağlamaları geri kazanım yaklaşımını uygulanabilir kılmaktadır. Son yıllarda artış gösteren bu yaklaşım Avrupa ülkelerinde uzun dönemlerde uygulanmakta ve başarıyla yönetilmektedir. Geri kazanım yaklaşımının 20. Yüzyıl'dan önce uygulanmadığı göz önüne alındığında, o dönemler içerisinde atıkların gelişigüzel depolandığı (vahşi depolama), geri kazanılmak yerine yalnızca atık oluşturmak suretiyle doğaya bırakılması, ekonomik olarak bir kazanç kapısı görülmemesi vb. gibi öne çıkan etmenler evrensel doğada çok ciddi problemler ortaya çıkarmıştır. Yakın tarihte otoriteler tarafından sıkça kullanılan ve gündemde uzun bir süre kalan sera gazı etkisi bu durumun ciddiyetini biz insanlara sunmaktadır. Bu gibi kirletici yüklerin yaşam habitatına, yalnızca insan sağlığı değil doğa sağlığı ve hayvan sağlığı gibi yaşam formlarına da etki

etmektedir. İnsan elinin değdiği yerin çehresi, atıkların tekrar kullanılabilir hedeflerini içermeyen yönetildiği taktirde yok olup gitmeye mahkûm bir duruma dönüşmektedir. Böylelikle geri kazanım yaklaşımının hayati bir öneme sahip olduğu ve daima uygulanması gerektiği gözler önüne serilmektedir.

Geri kazanım yaklaşımı genel hatlarıyla incelendiğinde, atıkların muhteva ettiği farklı nitelikteki maddeleri ikincil hammadde olarak kullanmaya, yakıt kaynağı olarak kullanmaya, kompost gübre elde etmeye veyahut başka kaynaklar elde etmeye olanak sağlayan atık yönetim piramidinin en önemli zincirini oluşturduğu gözlemlenmektedir. Örneğin, düzenli depolama alanlarındaki metan gazı enerji elde edilmesini sağlarken, evsel nitelikli katı atıklar ve türevleri kompost gübre yapımını, demir ve türevleri metaller, cam, plastik ve kâğıt-karton gibi maddeler ise ikincil hammadde ihtiyacını sağlamaktadır. Avrupa ülkelerinde geri kazanım yaklaşımı toplumsal bilinç halini alarak toplum tarafından sahiplenilmiş bir değer haline dönüşmüştür. Ülkemizde ise bu durum 90'lı yıllarda ortaya çıkarak Avrupa Birliği'ne uyum süresi içerisinde hız kazanmış ve yaygınlaşmıştır.

### 2.11.3. Geri kazanılabilir katı atık çeşitleri

Geri kazanılabilir atık çeşitlerinin büyük kısmını ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Bunun sebebi, tehlikeli maddelerle kontamine olma riskinin az olduğu mutfak ve kişisel kullanım alanlarından oluşmasıdır. Geri kazanılması mümkün olan kâğıt-karton, cam, plastik gibi materyaller geri kazanılmadan doğaya bırakıldığı taktirde uzun yıllar boyu doğada bulunma özelliğine sahiptirler. Yapılan araştırmalar cam şişenin doğada yaklaşık 4.000 yıl, plastiğin yaklaşık 1.000 yıl, teneke kutuların yaklaşık 10-100 yıl arasında kaldığını göstermektedir. Bu durum gelecek nesillere temiz bir yaşam alanı ve doğa bırakabilmek adına bizlerin dikkat etmesi gereken önemli bir husustur.

Aşağıdaki tablo yeniden kullanılabilir atıkların bileşimini göstermektedir.

Tablo 2.13. Geri kazanılabilir atıkların kompozisyonu [10]

Atık Cinsi	(%)
Kağıt-Karton	45,48
Metal	8,62
Cam	18,46

Plastik	13,19
PET, PVC	6,15
Lastik Kauçuk	3,30
Tekstil	4,48

Tablo 6.1 incelendiğinde geri kazanılabilir atıkların en büyük dilimini yaklaşık %46 ile kâğıt-karton atıkları oluşturmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi bu tez çalışması kâğıt-karton ile ilgili olduğundan kâğıt-karton atığı üzerine yoğunlaşılacaktır.

### **2.11.3.1.Kâğıt atıklar**

Kâğıdın geçmişine bakılacak olunursa, Ts'ai Lun tarafından M.S. 105 yılında Çin'de icat edildiği bilinmektedir. İcat edildiği tarihlerden itibaren en önemli kullanım malzemeleri arasında yer almaktadır. Birçok farklı alanda kullanıldığı bilinen kâğıt gelişen teknolojiye bağlı olarak daha farklı alanlarda insanoğluna hizmet edeceği görülmektedir. Kâğıdın farklı farklı türlerinin olduğu bilinmektedir ve muhteva olarak incelendiğinde pamuk, odun, saman, kamış, kendir gibi hammaddeler kullanıldığı görülmektedir. Bu hammaddelerin yanı sıra ikincil lif, yapıştırıcı reçine vb. gibi kaynaklarda kâğıt üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Birincil hammadde ile üretilen kâğıtların daha kaliteli bir kâğıt yapısına sahip olduğu bilinmektedir. Fakat bu gibi kaynakların ülkemizde sınırlı ve yetersiz olması, beraberinde atık kâğıt ya da ikincil lif kullanılarak kâğıt üretimini ön plana çıkarmaktadır. Bu durum evrensel olarak ele alınıp incelenirse, Batı Avrupa ülkeleri ve Japonya'nın atık kâğıtların toplanarak işlenmesi sonucu tekrar kâğıt elde edilmesi ile ilgili teknolojik atığa kalktıkları ve bu durumu başarıyla yönettikleri görülmektedir. Aynı durum ülkemizde incelenirse teknolojik bir atak söz konusu olmayıp, ilkel toplama yöntemlerinin uygulandığı görülmektedir. Bu durum da beraberinde atık kâğıtların geri kazanım yüzdesini ve başarısını düşürmektedir.

### **2.11.4. Geri kazanımın ekonomisi**

Bundan önceki bölümlerde geri kazanım yaklaşımının çevresel öneminden bahsedilmişti. Bu başlık altında ise çevresel önemin yanı sıra ekonomiye olan katkısı irdelenecektir.

Geri kazanılabilir atığın üretim sürecine ikincil hammadde olarak tekrar dâhil edilmesi ile ülkelerin hammaddeye olan ihtiyacı azaltılır. Tekrar kullanım beraberinde depolama

alanı ihtiyacını azaltıp, toplama sisteminin yük yoğunluğunu azaltacaktır. Eğer ülkeler hammadde temini ihtiyacını yurt dışından ithal olarak sağlıyorsa, ülke içindeki atıkların geri kazanım yöntemiyle tekrar kullanılması dışı olan bağımlılığı etkileyecek olup, ülkelerin kalkınmasına büyük katkı sağlayacaktır. Bugün ülkemizde geri kazanım yaklaşımı her ne kadar artış göstererek benimsenmeye başlanmış olsa da bu durum maalesef ki dışarıdan ithal ürün almamıza henüz engel olamamıştır. Öyle ki, ülkemiz kâğıt için gerekli olan selüloz gibi yan ürünleri halen ithal eden ülke konumunda bulunmaktadır. Ve ülkemizde oluşan atık kâğıtların yaklaşık %57-64 oranı çöpe atılmaya devam edilmektedir. Geri kazanım yaklaşımının toplum bilincine oturmasını kısa vadede bekleyemeyiz fakat toplumsal bilinçlendirme çalışmaları yapılarak insanları bu konuda duyarlı olmaya davet etmek için çalışmaları sürdürmek durumundayız.

Zaman içerisinde atıkların artış göstermesi ve geri kazanımın uygulanması sonucu endüstriyel bazda geri kazanım sektörü oluşmuştur. Avrupa'da çok ciddi bir paya sahip olan bu sektör, Avrupa Birliği uyum süreci içerisinde ülkemizde de gelişimine devam ederek sektörel olarak gelişimini sürdürmektedir. Bu gelişim ülkemiz açısından ve atık yönetimi açısından olumlu sonuçlar doğuracaktır. Fakat büyüyen geri dönüşüm sektörü ve ülkemizin atık kapasitesi ortak payda da incelendiğinde halen gelişimini sürdürmesi gerektiği gözlemlenmektedir. Nitekim günümüz şartları içerisinde ülke yönetim mekanizmasının bu hususta çalışma yapan, yapmak isteyen girişimcilere karşı teşvikleri bulunmaktadır. Kümülatif olarak baktığımızda ise geri kazanım sektörünün maksimum başarı ve maksimum verim elde etmesi için tüketicilerin bu konuda bilinçlendirilmesi, toplama, ayırma ve değerlendirme ve ilgili maddelerin pazar payına sahip olmaları için çalışmalar devam etmelidir. Unutulmamalıdır ki, bu durumun geri dönüş yansıması ülkemiz ve toplumumuz yararına olacaktır.

## **2.12. Kâğıdın Kimyasal Yapısı ve Kâğıt Üretiminden Kaynaklı Çevresel Etkiler**

### **2.12.1. Kâğıdın kimyasal yapısı**

Kâğıdın üretim sürecine bakıldığında bileşenleri olarak, odun, lif, atık kâğıt gibi maddelerin kimyasal ve fiziksel yollar ile işlenerek elde edilen hamurların kesme, saçaklandırma, temizleme gibi işlemler ile yan ürün maddelerinin de ilave edilmesiyle elenerek sayfa oluşturulması, ıslak sayfaların kurutulması ve istenilen boyutta kesilmesi

sonucu ortaya çıkması olarak özetlenebilir. Kâğıdın üretilmesinde kullanılan başlıca hammadde herkesçe bilinen selülozdur. Kâğıt üretiminde kullanılan maddeler aşağıda açıklanmıştır.

Odun hamuru adından da anlaşılacağı gibi mekaniksel işlemler sonucu odundan elde edilmektedir.

Kimyasal odun selülozları, odundan elde edilmektedir. Beyazlatılmış ve beyazlatılmamış selülozları kapsamaktadır.

Yıllık bitkilerden üretilen hamur selülozlar, buğday sapı, çeltik sapı, kenevir, kamış, bambu, kendir gibi yıllık bitkilerden kimyasal yollarla elde edilir ve yine beyazlatılmış ve beyazlatılmamış olarak ikiye ayrılır.

Atık kâğıt hamuru adından da anlaşılacağı üzere kullanım ömrünü tamamlamış eski kâğıt, hurda kâğıt, kırıntı kâğıtlardan elde edilen hamur olarak tanımlanabilir.

### **2.12.2. Kâğıt üretimi ve üretilen kâğıdın kimyasal yapısı**

Kâğıdın kimyasal yapısı üretilen kâğıdın türüne göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle kimyasal yapısından ziyade üretim aşamasının proseslerinden aşağıda bahsedilmiştir.

#### **2.12.2.1. Kâğıt hamurunun hazırlanması**

Bir üretim sürecini temsil eden kâğıt hamurunun hazırlanmasında mekanik olarak Groundwood adı verilen mekanik yöntem, kimyasal-mekanik yöntem, termomekanik yöntem, ya da bleaching-unbleaching adı verilen kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, lifler kâğıt oluşturmak amacıyla mekanik olarak ayrılır. Liflerin ayrılması işlemi selülozun ve ligninin fiziksel ve kimyasal yapısında değişiklikler yapılması ile gerçekleştirilmektedir.

#### **2.12.2.2. Kâğıt üretiminde kullanılan maddeler**

Kâğıt üretim sürecinde yan ürün ve tamamlayıcı ürün olarak aşağıdaki maddeler kullanılmaktadır.

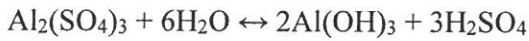
### Su Kullanımı

Hamur bulamacı içindeki su miktarı kâğıt yapım makinesine girmeden önce %1 düzeyine getirilmelidir. Kâğıt üreticilerinin ana endişesi bu suyu derhal ve düşük maliyetle uzaklaştırmaktır. Bunun için ise su geri kazanılır. Kullanılan su temiz olmalıdır, çünkü herhangi bir katkı kâğıdın parlaklık ve beyazlığını olumsuz etkiler. Ayrıca demir tuzları, manganez ve diğer geçiş metali iyonları uzaklaştırılmalıdır, çünkü bunlar renk bozulmalarına neden olmakta ve hidrojen peroksitli ağartmada engel oluşturmaktadır. Diğer yandan suyun pH'ı nötr ve kalsiyum setliği düşük olmalıdır [11].

### Yapıştırıcılar

Yapıştırıcı maddeler bulamaç, makineye girmeden önce uygun bir noktada eklenir. En çok kullanılan materyal ağaç reçineleridir. Reçine suda çözünemediğinden dolayı, ilk önce NaOH ile tepkimeye sokulup esterleşme sonucunda reçine sabununa dönüştürülür. Daha sonra hamur bulamacı içinde dağılımı sağlanır. Fakat su uzaklaştırılırken reçine kaybı olacağı için, alum yardımıyla reçine liflere sabitlenir. Alum,  $M_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3$  genel formülüne sahip, yapısında bir seri çift tuz içeren maddelerdir. Burada M,  $Na^+$  veya  $K^+$  dir.

Alum, suda hidroliz olarak sülfürik asit açığa çıkarır ki bu da alkalın sabununu nötralleştirir ve reçinenin lif üzerine çökmesini sağlar. Tepkime aşağıda verilmiştir.



Fakat bu yöntemin sakıncası, açığa çıkan kuvvetli asidin üretilen kâğıdın ömrünü azaltmasıdır. Ayrıca kullanılacak dolgu seçimini de kısıtlar.

En ekonomik dolgu  $3CaCO$  kireçtaşıdır fakat kireçtaşı sülfürik asit ile tepkimeye girerek  $2CO$  üretir ki bu da çözünerek istenmeyen bir durum olan köpüklenmeye neden olur.

Farklı reçineler, fotoğraf kâğıtları ya da mutfak ve tuvalette temizlik amacı ile kullanılan emici kâğıtların üretiminde kâğıdın suya dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılabilir. Bu yapıştırma amaçlı değildir ve üre ve melamin – formaldehit polimer

reçine içerir. Kâğıdın boyutlandırılması, kâğıt yapımında kurutma aşamasında gerçekleşir. Bunun için farklı boyutlandırma ajanları kullanılır, görevi ise baskı mürekkebinin kâğıda nüfuzunu ve yüzeye yayılmasını denetim altında tutmaktır. Ayrıca, küçük lifleri kâğıt gövdesine yapışmasını sağlayarak niteliksiz mürekkep kullanımını nedeniyle kâğıdın parçalanmasını önler [11].

#### Kâğıt üretiminde kullanılan dolgu maddeleri

Dolgular, beyaz mineral pigmentlerdir ve kâğıt hamuruna katılarak üretilecek kâğıdın opaklığını (donukluğunu) artırır.

Kil, kil ya da kaolin yüksek niteliği ve ucuzluğundan dolayı geniş kullanıma sahiptir. Kaolin örneğin talk gibi doğal mineral silikatlarıdır.

Kalsiyum karbonat, suda çözünmemesine rağmen asit içerisinde kolayca çözülebilir ve karbondioksit gazı açığa çıkarır bu yüzden de alum ile beraber kullanılamamaktadır. Kireçtaşı, tebeşir, mermer ve mercan içerisinde bolca bulunmaktadır.

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), kararlı, parlak beyaz ve yüksek opasiteye sahip bir pigmenttir. Bu özelliklerinden dolayı, etkili örtme gücü gereken uygulamalarda geniş kullanımı vardır. Maliyeti arttırdığından dolayı, kâğıtta kullanımı yüksek opasite ve dayanıklılığın gerekli olduğu durumlarla sınırlıdır.  $TiO_2$ 'nin üç farklı kristalin yapısı mevcuttur, bunlardan ikisi ticari olarak üretilebilmektedir. Bunlar anatase (kırılma indisi 2,52) ve rutile (kırılma indisi 2,76) dir. Rutile, anataseden daha opaktır bu yüzden daha az miktarı kullanılır. Ayrıca her iki madde de son derece inerttir [11].

Talk, ham kâğıt hamurunda fazla kullanımı olmamakla beraber geri dönüşüm kâğıdında nötralize edici ve beyazlaştırıcı olarak kullanılır. Ayrıca, kâğıda pürüzsüzlük ve yumuşaklık verir. Plaka şeklinde kristal yapısından dolayı kaydırıcı (lubricant) özellik gösterir. Talk, kaoline benzer karmaşık bir kristalografik yapıya sahip magnezyum silikat ( $Mg_3Si_4O_{11}H_2O$ ) molekülüdür [11].

#### Renklendirici

Renklendiriciler kâğıt hamuruna iki nedenden dolayı katılmaktadırlar, (1) renkli kâğıt üretimi ve (2) kâğıdın beyazlığını attırmak. Renklendirme kâğıdın opasitesini

arttıracığından, kullanılacak renklendirici ışığı absorblamalı ve geçişini azaltmalıdır. Çözünemeyen mineral pigmentler ve suda çözünebilen boya maddeleri, kullanılan iki ana renklendirici malzemedir. Pigmentler, neden oldukları yüksek geçirimsizlikten (opaklık) dolayı dolgu olarak da sınıflandırılabilir. Ayrıca pigmentler iyi bir ışık sağlamlığı ve kimyasal dayanıklılık avantajları sağlamasına rağmen, kâğıdı zayıflatmakta, iki yüzü birbirinden farklı kâğıt üretilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, faz oluşturmalarından dolayı kâğıt hamuru içinde homojen dağılmayabilirler.

Buna rağmen, boya katkıları kullanım kolaylığı ve iyi dispersiyon özelliği gösterir. Dezavantajları ise pH'a duyarlı olması, düşük ışık geçirgenliği ve lifin sağlamaştırılabilmesi için mordan katılımını gerektirmesidir. Suda çözünebilen boya katkıları doğal ve sentetik olarak ikiye ayrılır [11].

#### **2.12.2.3.Kâğıt hamurunun ağartılması**

Kompleks bir işlem olan ağartma işlemine bu başlık altında derinlemesine girilmeyip, yüzeysel olarak bahsedilmiştir. Ağartma işlemi temelinde kâğıdın beyazlatılması işlemidir. Bu süreçte amaç lifteki ligninin ve renk veren organik maddelerin ayrılması ile kâğıdın daha beyaz, parlak ve berrak hale getirilmesidir. Bu işlem klor tabanlı oksitleyici ajanlar ile uygulanır. Unutulmamalıdır ki, klor tabanlı oksitleyici ajanlar çevreye zarar vermeyerek dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Ligninin giderilmesi tek bir kademede gerçekleştirilmesi mümkün olmadığından dolayı ve uygulanan ajanların kâğıda zarar vermesi istenmediğinden dolayı ağartma prosesi adım adım kademeli olarak gerçekleştirilir. İlk aşamada tam olarak ağartmaya tabi tutulmayan kâğıt hamuru önce klor gazına maruz bırakılır. Bu maruziyet ligninin NaOH çözeltisinde ayrılmasını sağlar. İkinci kademede ise hamur sırasıyla kalsiyum hipoklorit çözeltisine, haz ClO ve suya maruz bırakılır. Sırasıyla yapılan bu işlemler lifin daha fazla zarar görmesini engeller ve tekrar NaOH ile muamele edilir.

Klor tabanlı oksitleyici ajanlar ile uygulanan ağartma yöntemine alternatif bir diğer ağartma yöntemi ozon ile ağartmadır. İlk yöntemle kıyasla bu yöntemde kâğıt hamuru yeterince beyazlatılamaz. Bir başka alternatif yöntem ise hamurun oksijen gazına tabi tutulmasıdır. Burada önemli olan husus ortamın sıcak alkali çözeltisi içerisinde olmasıdır.



### **2.12.3. Kâğıt üretiminden kaynaklı çevresel etkiler ve alınacak önlemler**

Kâğıt üretim sürecinde kaynaklı çevresel etkiler 2 başlık altında ele alınmaktadır. (1) selüloz üretiminden kaynaklanan çevresel etkiler, (2) kâğıt üretiminden kaynaklı çevresel etkilerdir.

#### **2.12.3.1.Selüloz üretiminden kaynaklanan çevre sorunları**

Selüloz üretiminden kaynaklanan çevresel etkiler, selülozun saflaştırılması aşamasında lignin alkali şartlar altında pişirildiği için bu prosten kaynaklı atık sular oluşmaktadır. Bu atıksuların muhteviyatı toksik karakterde olmasa da koyu renkli olmaları sebebiyle ve yüksek organik madde yüküne sahip olmalarından dolayı doğrudan alıcı ortama deşarj edilmezler. Nütrient içeriği yüksek olan bu atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi ötröfikasyona neden olarak alıcı ortamın yok olmasına sebep olabilmektedir. Bu nitelikteki atıksuların arıtılması, nütrient içermelerinden dolayı nütrient giderimi mümkün olan arıtım prosesleri ile gerçekleştirilmelidir.

#### **2.12.3.2.Kâğıt-karton üretiminden kaynaklanan çevre sorunları**

Kâğıt-karton üretiminden kaynaklanan çevresel etkiler, kâğıt hamuru kâğıt makinelerinden geçerek kâğıt haline dönüştürülmektedir. Bu süreçte kâğıdın saçakları, parçacıkları nedeniyle askıda katı madde oranı yüksek, organik madde miktarı düşük beyaz renkli atıksu oluşmaktadır. Beyaz rengin ana nedeni yine selüloz liflerinden ve kâğıt üzerindeki boşluklu yapıyı doldurmak için kullanılan dolgu maddesi kalsit ve kaolin yani kilden kaynaklanmaktadır. Bu tip atıksuların doğa üzerindeki etkileri nispeten görsel olmaktadır. Giderilmesi için fiziko-kimyasal yöntemler kullanılabildiği gibi aktif çamur tesisleri ya da havalandırılmalı lagünler ile biyolojik olarak da arıtılması mümkündür.

#### **2.12.4. Atık kâğıttan kâğıt üretim sonucu ortaya çıkan sorunlar**

Atık kâğıt kullanılmış ve kullanım ömrünü tamamlamış kâğıtlar olarak adlandırılabilir. Kâğıtların kullanılması, insanoğluna hizmeti üzerine yazı yazılması, çıktı alınması, fotoğraf veya resim basılması vb. gibi durumlar ile geçerlidir. Belirtilen tüm durumlarda kullanılan tek madde mürekkeptir. Bu nedenle atık kâğıttan tekrar kâğıt hamuru elde ederken oluşan en önemli kirleticiler, atık kâğıdın yapısında bulunan mürekkep ve yapıstırıcılardır. Atık kâğıttan tekrar hamur elde edilebilmesi için bu kirleticilerin kâğıttan

uzaklaştırılması gerekmektedir. İşte bu nedenle, ayrıştırma sonucu kirlilik yükü oluşmaktadır. Atık kağıttaki mürekkebin alınması literatür dilinde flotasyon denilen yüzdürme prosesi ile sağlanmaktadır. Flotasyon işlemi mürekkep parçacıklarının seyreltilmiş atık kâğıttan yüzdürme işlemine tabi tutulması ve bunun sonucunda sıyrılarak uzaklaştırılmasını içeren mekanik bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için ise kullanılan maddeler yağ asitleri, alkali tuzları ve sabun gibi maddelerdir. Dolayısıyla bu proses sonucu oluşan atıklar belirtilen bu maddeleri muhteva etmektedir. Granül hale getirilen kalıntı mürekkep depolanarak biriktirilmektedir. Katı atık durumuna gelen granül mürekkep katı atık gibi muamele görebileceğinin yanı sıra tuğla fabrikalarında ikincil hammadde olarak kullanılabilir.

### **2.13. Atık Kâğıt Kaynakları ve Toplama Sistemleri**

#### **2.13.1. Atık kâğıt kaynakları**

Atık kâğıtlar insan popülasyonunun olduğu sanayi tesisleri, meskenler, büro, okul, işyerleri vb. yerlerde üretilmektedir.

##### **2.13.1.1.Sanayi tesisleri**

Gazete, dergi, kitap vb. basım işleri yapan matbaa yerleri, kâğıt veya kartondan ambalaj malzemesi üreten üreticilerin hammaddesi kâğıt olduğundan bu gibi işletmeler bu sınıfta yer almaktadır. Bu tesisler en büyük ölçekli ve en önemli atık kâğıt üreticileri olarak kabul edilebilirler.

##### **2.13.1.2.Büro, okul vb. yerler**

Bankalar, okullar, bürolar vb. gibi yerler bu sınıfta yer almaktadır. Özellikle okullar ve bürolar kâğıttan üretilmiş ürünleri kullandığı ölçüde atık kâğıt oluşturmaktadırlar. Sanayi tesislerinden sonra en çok atık kâğıt üretiminin olduğu yerler olarak kabul edilebilirler.

##### **2.13.1.3.Meskenler**

Bu grupta toplumu oluşturan insanlar yer almaktadır. Günlük yaşantımızda kullandığımız sarf kâğıt mamulleri, kitaplar, dergiler, ders notları, defterler vb. gibi ürünler sonucu atık kâğıt oluşumu gözlenmektedir. Sanayi tesisleri ve büro, okul vb. gibi yerler ile

kıyaslandığında atık kâğıt oluşumunun en az olduğu grup olarak gösterilebilmektedir. Atık kâğıt oluştururken en dağınık grafiği oluşturan meskenler grubunda atık kâğıtların geri kazanım yaklaşımıyla toplanabilmesi adına bireylerin bu konuda eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi oldukça önemlidir.

### **2.13.2. Atık kâğıt toplama sistemleri**

Kâğıdın başlıca üç tür hammaddesi odun, yıllık bitkiler ve atık kağıtlardır. Bunlar arasında atık kâğıttan kâğıt üretimi çeşitli üstünlükleri sebebiyle sanayinin hızla gelişen dallarından birisi olup, dünyadaki uygulanması giderek yaygınlık kazanmaktadır. Atık kâğıt toplama işi umumiyetle gönüllü kuruluşlarla yapılmakta hatta bu kuruluşlara gelir kazandırmaktadır. Fakat geri kazanma için iyi bir planlama yapılmalı ve bu çerçevede bir organizasyon kurulmalıdır [16].

Atık kâğıtların toplanması, geri kazanılması ve tekrar değerlendirilmesi noktasında en önemli aşamadır. Geri kazanım yaklaşımını doğru şekilde uygulayabilmek için öncelikle gerekli olan maddenin en doğru şekilde toplanması gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse, atık kâğıtlar kaynağında doğru toplanmadığında yani organik atıklar birlikte toplandığında, atıkları işleyebilmek için önce organik atıklardan ayırmak gerekmektedir. Bu durum iş gücünü, enerji sarfiyatını artırmakla birlikte ekonomik külfeti de beraberinde getirmektedir. Bunun tam tersi olarak organik atıklardan ayrı toplanan atık kâğıtlar en doğru şekilde işlenerek kalitesi yüksek ikincil kâğıt olarak piyasa sürülebilmektedir. Atık kâğıtların toplanabilmesi iki farklı yaklaşım ile mümkün olmaktadır. Bu yaklaşımlar tüketiciye getirtme yöntemi ve tüketiciden alma yaklaşımlarıdır.

#### **2.13.2.1. Tüketiciye getirtme yöntemleri**

Bu yöntemde, tüketiciler atık kâğıtların geri kazanılabilirliği ve ekonomiye olan katkısı yönünde bilinçli bir toplumu temsil etmektedir. Adından da anlaşılacağı üzere atık kâğıtlar tüketici tarafından şehrin belirli bölgelerine yerleştirilmiş toplama kutularına getirilerek biriktirilip, doyunluğa ulaşan kumbaraların geri kazanım merkezlerinde işlenmesi ve nihai olarak yeni kâğıt oluşturulması ile gerçekleşmektedir. Bu tarz toplamanın farklı uygulamalarının olduğu bilinmektedir. Örneğin toplama gönüllülük esasına dayalı olabileceği gibi, bireylerin kendi menfaatleri karşılığında da getirme işlemini yapması mümkündür. Burada menfaatten kasıt, depozito mantığının atık kâğıtlar

üzerinde de uygulanması olayıdır. Bu sistemin verimi tamamıyla bireylerin toplumsal farkındalık ve bilinci ile girintili bir durum olarak öne çıkmaktadır.

### **2.13.2.2. Tüketiciden alma yöntemleri**

Tüketiciden alma yöntemi getirtmenin tam tersi olarak, kurulan toplama sistemi vasıtasıyla tüketici tarafından oluşturulan atık kâğıtların toplanması işlemidir. Bu toplama işlemi için tahsis edilmiş özel araçlar, personeller yöntemin önemini artırmaktadır. Bu yöntemin pratikteki uygulaması, belirli noktalara yerleştirilmiş toplama kutuları/kapları ve evlerden toplanan atıkların toplama merkezlerinde toplanıp biriktirilerek geri kazanımın gerçekleştirildiği tesislerde sürece dâhil edilmesiyle gerçekleşmektedir.

Yine burada da önemli olan ana unsur toplama veriminin yüksek olması ve aynı muhteviyata sahip atıkların birlikte toplanmasıdır. Eğer aynı potansiyele sahip olmayan atıklar birbirleri ile karıştırılırsa daha önce de belirtildiği gibi geri kazanım verimi maliyet artmasına bağlı olarak düşecektir. Bir diğer ortak nokta, toplumdaki bireylerin bu hususta bilinçlendirilmesidir.

### **2.13.3. Türkiye’de atık kâğıt toplama sistemi**

Atık kâğıt toplama sistemlerinin ülkemizdeki durumları göz önüne alındığında ne yazık ki modern ve sistemsel bir yönetim olmadığı açıkça görülmektedir. Özellikle yurtdışında yani Avrupa ülkelerinde bu durum çok geniş bir araç filosu, toplama merkezleri, ayrıştırma merkezleri ve geri kazanım merkezleri olmak üzere sistematik bir biçimde yönetilmektedir. Son yıllarda, kâğıt karton üretimi yapan firmalar kırpıntı üretim artığı kâğıtları tesis dışına göndermenin akılcı bir yol olmadığı farkına varıp üretim artığı kâğıtları kendi tesis bünyelerinde geri kazanarak tekrar üretim sürecine dâhil etmeyi başarmışlardır.

Ülkemizde atık kâğıdı toplama, tasnifleme ve balyalayarak geri kazanım sürecine dâhil etme amacıyla kurulan ilk şirketin Dökansan olduğu bilinmektedir. Ulusal anlamda faaliyet gösteren ve büyük bir firma olan Dökansan 1984 yılında İstanbul-Kartal’da kurulmuş ve bu sektöre öncülük etmiştir. Zamanla atık kâğıt toplama mantalitesi ülkemizde kısmen de olsa yerleşmiş ve toplumun bir kesimi için gelir kaynağı olmuştur. Fakat toplama yöntemi bu iş için üretilmiş geniş bir ağa sahip filolar ile değil, daha ilkel

görünümlü manuel-kişisel araçlarla gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla bu durum beraberinde atık kâğıtların toplanma sürecinde profesyonel bir yönetimi mümkün kılamamaktadır. Kişisel araçlarla toplanan atık kâğıtlar biriktirme merkezlerinde götürülmekte ve bu biriktirme merkezlerinde tasnifleme ve balyalama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Genel olarak atık kâğıt toplama süreci ülkemizde iki şekilde yönetilmektedir. Bunlardan birincisi şehrin belirli bölgelerine yerleştiren dış ortam ve okul, hastane vb. kamu kurum ve kuruluşlarına yerleştirilen iç ortam kumbaraları, ikincisi ise sokak toplayıcılarından satın alma yöntemidir. Kâğıt toplama işini yapan kurum, kuruluş ya da kişiler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

#### **2.13.3.1.Kâğıt firmaları**

Kâğıt firmalarının çalışma stratejisi genel olarak, yerel yönetimlerle karşılıklı protokol imzalayarak o bölgede yetkili firma statüsüne gelmektir. Kâğıt firmaları da tıpkı sokak toplayıcıları gibi kâğıdı ya doğrudan toplar ya da şehrin belirli bölgelerine yerleştirilmiş atık kâğıt kumbaralarını kullanırlar. Bu tarz firmaları, elde ettikleri atık kâğıtları geri dönüşüm firmalarına teslim eden ara kuruluşlar olarak da adlandırmak mümkündür.

#### **2.13.3.2.Sokak toplayıcıları**

Atık kâğıdın toplanmasını ulusal düzeyde en etkili bir biçimde gerçekleştiren grup sokak toplayıcılarıdır. Daha önce de belirtildiği gibi sokak toplayıcıları için bu sektör bir ekmeğe kapısı konumundadır. Bu yönetim sisteminin en büyük dezavantajı ilkel bir yapıda olmasıdır. Çok sayıdaki sokak toplayıcıları topladıkları kâğıtları doğrudan geri kazanım firmasına ücret karşılığı verdikleri gibi aracı niteliğinde olan toptancılara da vermektedirler. Sokak toplayıcıları atık kâğıtları çöp kumbaralarından topladıkları için genelde bu atık kâğıtlar organik atık ile kontamine olmuş ve nemli bir yapıda olabilmektedirler. Bu durum atık kâğıdın geri kazanım tesislerinde ayrıştırılmasını güçleştirdiği için geri kazanım maliyetini artırmakta ve kâğıt kalitesini düşürmektedir.

#### **2.13.3.3.Çevreci kuruluşlar**

Dünyadaki ülkelerin tamamına yakınında toplumun çevre bilincinin artırılması, atık yönetim sistemlerinin topluma aktarılması ve anlatılması noktasında bazı kurum ve kuruluşlar görev almaktadır. Ülkemizde için de aynı durum geçerli olmakta olup, atıkların

yönetimi ile ilgili faaliyetleri gösteren, halkı aydınlatan çevreci kuruluşlar bulunmaktadır. Çevreci kuruluşlar yalnızca tek bir tür atık için değil geri kazanımı mümkün olan bütün atık türlerini kapsayan bir muhteviyatta kurulmaktadır. Örneğin plastik, cam, kâğıt-karton pil, akümülatör vb. gibi. Yapılan araştırmalara göre bu kuruluşların yürüttüğü faaliyetler sonucu toplanan atık kâğıdın miktarında henüz istenilen seviyelere ulaşılmamıştır.

#### **2.13.3.4. Belediyeler, kamu kurum ve kuruluşları**

Geri kazanılabilir atıkların geri kazanılması amacıyla en büyük sorumluluk ve faaliyet belediyelerdedir. Bu durum büyük şehirlerde ele alındığında cadde ve sokaklara yerleştirilen atık kâğıt kumbaraları, halkı bilinçlendirmek için yapılan çalışmalar, okullarda düzenlenen eğitimler bu süreci başarılı yönetmedeki en büyük adımlardır ve titizlik ile uygulandığında sonuçların başarıya ulaştığı görülmektedir.

Ülkemizde birçok ilde birtakım kampanyalar başlatılmıştır. Örneğin yakın tarihte Ankara Yenimahalle de Çevre ve Geri dönüşüm eğitimi veren ekipler bir yıl içerisinde 17 bin 500 öğrenciye ulaşarak 2009 yılından bu yana ilçe genelinde iç mekânlara 16 bin 750, dış mekânlara bin 263 geri dönüşüm kutusu yerleştirmiştir. Bu kutular sayesinde gerek elektronik atık gerek pil atığı ve gerekse ambalaj atıkları yönetimi süreci başarıyla tamamlanmıştır. Yine son dönemde Türkiye Cumhuriyeti Başkanı Recep Tayyip Erdoğan ve eşi Emine Erdoğan himayesinde geri dönüşüm için öncelikle kamu kurum ve kuruluşları olmak üzere atıkların kaynağında ayrı toplanmasıyla ilgili sıfır atık projesi adı altında çalışmalara başlanmıştır.

### **2.14. Atık Kâğıt Geri Kazanım Uygulamaları**

#### **2.14.1. Atık kâğıt kullanımı**

Dünyanın gelişim sürecinde etkinliği olan ve geçmişten günümüze kadar birçok farklı alanda kullanılan ve kullanılmaya devam eden kâğıdın üretiminde hammadde olarak selüloz kullanılmaktadır. Selülozun ise ekosistemimizde hayati öneme sahip ağaçlardan elde edilmesi bu durumu bir ikilem halindeki çıkmaza sokmaktadır. Teorik olarak kâğıt hamuru üretimi için gereken orman oranı yıllık bazda yaklaşık 40 milyon hektar olmaktadır. Bu durum kâğıt üretimi sürecinde ormanların her yıl yaklaşık %1,5'i kesilmesiyle birlikte ekosisteme zarar vermektedir. Şehirleşmenin beraberinde getirdiği

kirlilik yükünün artması ormanların önemini gözler önüne sermektedir. Bu nedenle kâğıt üretiminde gerekli olan hammaddelerin ormanlardan değil de alternatif kaynaklardan elde edilmesi dikkat çekmeye başlamıştır. Bu problemin çözümünde öne çıkan belirgin alternatif atık kâğıtların tekrar tekrar kullanılmasıdır ve birçok ülke tarafından benimsenerek uygulanmaya başlanmıştır.

#### **2.14.2. Bazı gelişmiş ülkelerde geri kazanım uygulamaları**

##### **2.14.2.1. Almanya**

Almanya, Avrupa ülkeleri arasında ekonomik olarak güçlü ülkelerin başında gelmektedir. Bu ekonomik gücün sebebini elbette ki ekonomi sağlamaktadır. Çevre yönetimi konusunda bu durum ele alındığında da Almanya başlıca ülkeler arasında yer almaktadır. Çevresel anlamda Almanya'nın önemli atıklarından bir tanesi geri kazanılması mümkün olmayan ambalaj türlerinin kullanılmasını yasaklamaktır. Böylelikle geri kazanım ile ülke ekonomisine katkı sağlayamayan tüm ambalajların önüne geçilerek ulusal anlamda önem arz eden bir atılım olmuştur. Almanya'nın çevre konusundaki mevzuatları incelendiğinde ise daha çok atık yönetimi üzerine yoğunlaşmış olup, atıkların geri kazanılarak ülke ekonomisine katkısını sağlayan bir anlayış bulunmaktadır.

##### **2.14.2.2. Amerika Birleşik Devletleri**

Amerika Birleşik Devletleri'nde yine Almanya gibi çevre yönetimi konusunda öncü ülkeler arasında yer almaktadır. Bu amaçla kurulan Amerikan Çevre Koruma Ajansı geri kazanılabilir nitelikteki atıkların üzerine yoğunlaşmış olup, bu tarz ürünlerin ülke ekonomisine ciddi katkı sağladığı düşüncesiyle çalışmalar yürütmektedir. Bu programın uygulama alanlarının başında ofisler yer almakta ve bununla ilgili kampanyalar yürütülmektedir. Elbette ki projenin amacı geri dönüşümü mümkün olan ürünlerin kullanılması yönünde halkı teşvik etmek ve geri kazanılabilir atıkların tekrar toplanmasını sağlamaktır. Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri örneğinde de anlaşılacağı üzere her iki ülke de geri kazanılabilir atıkların ekonomik değerlerinin farkına varmışlardır.

#### **2.14.3. Türkiye'de atık kâğıt sektörünün gelişimi**

Ülkemizde kâğıdın üretilmesi ilk olarak Osmanlı döneminde gerçekleştirilmiş olup, Bursa, Yalova, Kâğıthane ve Beykoz'da kurulan o dönemki adı ile kâğıthaneelerde üretim

gerçekleştirilmiş olup sanayi anlamında ilk kâğıt makinesi 1846 yılında İzmir Halkapınar'da kurulmuştur. Bu fabrikaların yanı sıra zamanla gelişen teknoloji ve ülkemizde de teknolojinin yaygınlaşarak sanayileşmeye verdiği katkı ile farklı illerde kurulmaya devam edilmiştir.

#### **2.14.3.1. Türkiye’de kâğıt ve kâğıt ürünleri ithalat ve ihracat rakamları**

Ülkemizdeki kâğıt tüketimi ithalat ve üretim ile bağlantılı olup, ithalat arttıkça tüketim de artış göstermektedir. Kişi başına düşen kâğıt tüketim miktarı esas alınarak kıyaslama yapılırsa, ülkemizde kişi başına kâğıt tüketimi Afrika ve Asya'nın ortalamasının üzerinde olduğu, Avrupa ülkelerinin ise altında olduğu görülmektedir. Bu oranın düşük olması maalesef ki ülkemizde okuma alışkanlığının ve kültür düzeyinin düşük olmasıyla ilişkilendirilebilmektedir.

#### **2.14.4. Atık kâğıdın ses yalıtımında kullanılmasına dair çalışmalar**

Sarışık ve Sarışık (2010) benzer bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [14]. Bu çalışmalarında pomza agregalı hafif beton ve EPS (genleştirilmiş polistren) köpük kullandıkları, bu iki maddeyi birbirleri ile kombine ederek yeni bir blok üretim malzemesi elde ettikleri anlaşılmıştır. Bahsi geçen çalışmada asıl amacın, çalışma konusuna esas malzemenin standartlara uygunluğu ve diğer yapı elemanları ile karşılaştırılması olduğu tespit edilmiştir. Sarışık ve Sarışık'ın (2010) çalışması ile bu tez çalışması atık kâğıtların kullanımı noktasında farklılık göstermektedir. Bu tez çalışması atık kâğıtların tekrar kullanılmasını hedef alarak ülke ekonomisine katkı sağlanmasını, atık kâğıtların herhangi bir ön işlemden geçirilmeden endüstriyel anlamda hammadde olarak kullanılabileceğini ispat etmektedir.

Yine benzer bir çalışmaya Erdoğan ve Yaşar (2005) “Nevşehir Pomzasından Üretilen Briketlerin Isı ve Ses İletkenlikleri Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmaları örnek gösterilebilir [15]. Bu çalışma incelendiğinde Nevşehir pomzasının özelliklerinden yararlanarak farklı boyutlarda briketler oluşturulduğu, oluşturulan briketlerin birim hacim ağırlığı, ısı iletkenlik değeri, ses izolasyon değeri, elastisite modülü ve tek eksenli basma dayanımı gibi özellikleri incelenerek TSE standartlarına uygunluğunun belirlenmesinin amaçlandığı gözlemlenmiştir. Tıpkı Sarışık ve Sarışık'ın (2010) yaptığı çalışmada olduğu gibi Erdoğan ve Yaşar'ın (2010) çalışmalarında da bu tez çalışması ile arasındaki



fark, atık kâğıtların kullanılması olmaktadır. Bu tez çalışması ülkemizde oluşan atık kâğıt miktarının %50'sinin geri kazanılması ve diğer %50'lik kısmın geri kazanılamaması nedeniyle, atık kâğıtların tekrar kullanılmasını hedef alan bir çalışma olarak ön plana çıkmaktadır. Atık kâğıtların tekrar kullanılması ekonomik kalkınmaya katkı sağlamasının yanı sıra, çevresel açıdan kirlilik yükünün azaltılması noktasında da önem arz etmektedir. Bu çalışmada kullanılan atık kâğıtlar teknolojik herhangi bir ön işlem prosesinden geçirilmeden hammadde olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, atık kâğıtların ilk kullanım maliyetini de önemli oranda düşürmektedir.

İngilizce literatürde bir araştırma yapıldığında, atık kağıtları merkezine alarak gürültü izolasyonu üzerinde yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Fakat gürültü kirliliğini hakkında yapılan bazı çalışmalara rastlanılmıştır.

Patnaik'in (2015) atık yün ve geri dönüştürülmüş polyester fiberler (RPET) ile ısı ve ses yalıtım malzemesi üretmeyi amaçladığı anlaşılmaktadır [19]. Yapılan çalışma incelendiğinde, atık yün liflerinin iki tabakalı bir plaka şeklinde 50/50 oranında RPET fiberleri ile karıştırıldığı anlaşılmaktadır. Tüm örnekler ısı yalıtımı, akustik özellik, nem emme ve yangın özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. İlgili çalışmada oluşturulan örneklerin akustik özellikleri belirlenirken 50 – 5.700 Hz frekans aralığında çalıştığı anlaşılmaktadır. Patnaik'in (2015) yapmış olduğu çalışma ile bu çalışma arasındaki temel farklılığı kullanılan hammadde ve ölçüm frekans aralığı oluşturmaktadır. Atık kağıtların tekrar kullanılmasını, ekonomik değerinin ülkeye geri dönüşünün sağlanması, teknolojik herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kullanılabilir olduğunun ispatlanması tez çalışmamızı farklı kılan özellik olarak ön plana çıkmaktadır.

## **2.15. Türkiye'de Geri Kazanılabilir Atıklar İçin Hazırlanmış Yasal Mevzuatlar**

Ülkemizde kâğıt atıkların kazanılmasına ilişkin doğrudan çıkartılmış bir yönetmelik bulunmamakla birlikte, geri kazanılabilir atıklarla ilgili yönetim hükümlerini dolaylı yoldan içeren iki ayrı yönetmelik vardır. Bunlar, (1) 24/08/2011 tarih ve 28035 sayılı Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, (2) 02/04/2015 tarih ve 29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmelikleridir.

### 2.15.1. Ambalaj atıkları kontrolü yönetmeliği

Yönetmeliğin amacı, çevresel açıdan belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip ambalajların üretimine, ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yöntemleri kullanılarak bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, ambalaj atıkların çevreye zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesine, ambalaj atıklarının belirli bir yönetim sistemi içinde, kaynağında ayrı biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrılmasına ve geri dönüşümüne ilişkin teknik ve idari standartların oluşturulmasına yönelik prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesidir [12].

İlgili yönetmeliğin muhatapları ve yetkilendirilmiş kurum ve kuruluşlar ise; Bakanlık, İl Müdürlükleri, Belediyeler, Ambalaj Üreticileri, Tedarikçiler, Piyasaya sürenler, Yetkilendirilmiş kuruluşlar, Ambalaj atığı üreticileridir.

Burada önemli husus, ambalaj üreticilerinin üretimleri gerçekleştirirken Tablo 2.14 verilerine uygun olarak yıllık kullanım oranlarına riayet etmeleridir. Örneğin, bir kâğıt-karton üreticisi üretimi gerçekleştirirken 2018 yılı içerisinde üretiminin %25'ini geri kazanılmış ürünlerden elde edilen hammadde ile gerçekleştirmekle yükümlüdür.

Tablo 2.14. Malzemeye göre yıllık zorunlu kullanım oranları [12]

Yıllar	Malzemeye göre yıllık zorunlu kullanım oranları (%)			
	Plastik	Kâğıt-Karton	Cam	Metal
2018	4	25	12	10
2019	6	30	15	15
2020 ve sonrası	8	35	20	20

İlgili yönetmeliğin 19.maddesi 1.bendinde “Yetkilendirilmiş kuruluş/piyasaya sürenler, 2005 yılından 2018 yılına kadar ambalaj atıklarının en az Tablo 2.15’de belirtildiği oranlarda geri kazanım hedeflerini sağlamakla yükümlüdürler.” ibaresi yer almaktadır.

Tablo 2.15. Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri [12]

Yıllar	Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri (%)				
	Cam	Plastik	Metal	Kâğıt-Karton	Ahşap
2005	32	32	30	20	-
2006	33	35	33	30	-
2007	35	35	35	35	-
2008	35	35	35	35	-
2009	36	36	36	36	-
2010	37	37	37	37	-
2011	38	38	38	38	-
2012	40	40	40	40	-
2013	42	42	42	42	5
2014	44	44	44	44	5
2015	48	48	48	48	5
2016	52	52	52	52	7
2017	54	54	54	54	9

İlgili yönetmeliğin altıncı bölümünde “Ambalaj Atıkları Toplama Sistemi” içerisinde Biriktirme ekipmanları ve toplama araçlarının özellikleri, Belediye toplama sistemi hakkında bilgilendirmeler, Ambalaj atığı aktarma merkezleri hakkında bilgilendirmeler ve istenen şartlar yer almaktadır.

Ülkemizde geri kazanım yapan işletmelerin yasal yönetmelikler ve çerçeveler içerisinde kalarak stratejik birtakım unsurlara dikkat etmesi gerekmektedir. Bu unsurları belirleyen yönetsel sistemin adı Çevre Lisansı 'dır. Bir işletme geri kazanım ya da bertaraf faaliyetini yürütecekse öncelikle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ilgili kalite standartlarını sağladığının tespitini içeren çevre lisansını almakla yükümlüdürler. Ambalaj atıkları için bilgi verilecek olunursa, atıkların toplanması, ayrılması, geri dönüştürülmesi veya geri kazanılması amacıyla faaliyet göstermek isteyen tesisler, Çevre İzin ve Lisans yönetmeliği kapsamında Geçici Faaliyet Belgesi ya da Çevre Lisanslı almakla yükümlü olmaktadır.

### 2.15.2. Atık yönetimi yönetmeliği

02/05/2015 tarih ve 29314 sayılı yazı ile yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin amacı, atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanmasına, atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri

dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanmasına, çevre ve insan sağlığı açısından belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip, bu Yönetmeliğin kapsamındaki ürünlerin üretimi ile piyasa gözetimi ve denetimine ilişkin genel usul ve esasların belirlenmesidir [13].

Atık Yönetimi Yönetmeliği atık yönetim sürecinde elektrikli ve elektronik eşya, ambalaj, araç, pil ve akümülatörler, tehlikesiz ve tehlikeli atık vasfındaki birçok atık grubunu kapsamaktadır.

İlgili yönetmeliğin muhatapları ve yetkilendirilmiş kurum ve kuruluşlar ise; bakanlık, il müdürlükleri, belediyeler, atık üreticileri ve atık sahipleri, atık işleme tesisleridir.

Bu yönetmelik sürecinde atıklar tanımlanırken yönetmelik ekinde verilen tablolar dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Örneğin Tehlikeli atıklar tanımlanacaksa referans alınan tablo ek-3/A olmalıdır. Tabloda belirtilen A işaretli atıklar ek-3/B tablosunda yer alan tehlikeli atık konsantrasyonuna bakılmaksızın tehlikeli atık sınıfına dâhil edilmektedir. M ile işaretli atıklarda ise atıkların tehlikelilik özelliklerinin birtakım analizler ile belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmalar ve analizlerde ek-3/A tablosunda belirtilen H3-H8 ile H10-H11 ile ilgili değerlendirmelere, ek-3/B tablosunda belirtilen konsantrasyon değerleri esas alınarak gerçekleştirilmelidir. Atıkların tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesinde dikkat edilecek diğer ayrıntılar atık listesi ve atığın listede tanımlanması, atık listesinde atık kodunun belirlenmesi ve geçici depolama hakkında ayrıntılı bilgiler ilgili yönetmelik 3.bölümünde madde 11, madde 12 ve madde 13’de anlatılmaktadır.

Atık üreticileri, atık taşıyıcıları, atık geri kazanımı yapan ya da bertarafını gerçekleştiren firmalar, atıkları Bakanlığın belirlediği ve kontrol ettiği çevrimiçi sistemlere kayıt olarak bildirim yapmakla, bilgi vermekle ve tutulan kayıtları en az beş yıl süre ile saklamakla yükümlü olmaktadır. İlgili yönetmeliğin hükümleri tehlikesiz atıklar başlığı altında kâğıt-karton hükümlerine yer veriyor olsa da genel olarak tehlikeli atıkların toplanması, taşınması, ara depolanması, geri kazanımı, yeniden kullanımı ve bertarafı ile ilgilenen kişi, kurum ve kuruluşlarla ilgili hükümleri barındırmaktadır.

### 3. BÖLÜM

#### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Nevşehir ili sınırları içerisinde yüksek miktarda bulunan pomza taşı ve atık kağıtlar hammadde olarak kullanılarak alternatif gürültü izolasyon malzemesi üretimi amaçlanmıştır. Atık kâğıtlar günlük yaşantımızda hayatımızın her devresinde oluşan bir kirlilik yükünü temsil etmektedir. Hastane, okul, askeriye, ofisler, resmî kurumlar vb. gibi sosyal alanlarda fazla miktarlarda atık kâğıt oluşumu söz konusudur. Atık kâğıdın temin edilmesi noktasında kırtasiye atığı olarak nitelendirilen atık kâğıt türleri ile çalışılma yapılmıştır. Bahsi geçen materyalin temin edilmesi noktasında yukarıda bahsedilen sosyal alanlardan oluşan kâğıtlar kullanılmıştır. Atık kâğıtların tek başına kullanılması düşünülmemiş olup, Nevşehir ilinde coğrafik ve volkanik yapısı gereği fazlaca bulunması, gürültünün önlenmesi açısından önem arz etmesi ve son yıllarda bu gibi bilimsel çalışmalarda zaman zaman tercih edilerek birçok alanda kullanılabilir olduğunu kanıtlaması, çevresel etkileri minimuma indirecek bir materyal olabilme özelliğine sahip olması nedeniyle atık kâğıda ek olarak pomza da tercih edilmiştir. Pomza aynı zamanda halk arasında bims, hışır taşı, sünger taşı, topuk taşı vb. gibi isimlerle de bilinmektedir. Pomzanın tercih edilmesinin ana nedeni yalnızca bölgede yüksek miktarlarda bulunması değil; dayanıklı, hafif, ısı ve ses geçirgenliğinin düşük olması, kolay işlenebilir vb. gibi özelliklere sahip olmasıdır. Bilinmelidir ki pomza volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş silikat bazlı, gözeneklerinin birbirleriyle bağlantısının olmadığı çıplak gözle gözlenebilen, camsı, amorf ve tamamen doğal bir kayadır. İnşaat sektöründe kullanılması ile ön plana çıkan pomza kayacı aynı zamanda tarımda, kimyada ve hatta kot taşlama işlemlerinde tekstil sanayinde kullanılan çok yönlü bir materyal olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntem uygunluk sağlaması da dikkate alındığında pomzanın (bims) toz formunda kullanılması tercih edilmiştir. İnsan seslerinin 250 – 2.000 Hz frekans aralığında kalması, yapı içi ve yapı dışında oluşan seslerin de 0 – 2.000 Hz frekansta olması nedeniyle bu çalışmada 100 – 2.000 Hz frekans aralığında ölçüm yapılmıştır.

Bu çalışmada, ulaşılması hedeflenen alternatif gürültü izolasyon maddesi üretiminde üç ana hammadde kullanımı söz konusudur. Bu hammaddeler; strafor köpük, EPS köpük

gibi isimlerle anılan ve birçok sektörde kullanılan (beyaz) köpük, atık kâğıt ve pomzadır. Üç materyalinde özellikleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **3.1. Kullanılan Materyallerin Özellikleri**

#### **3.1.1.EPS köpük**

EPS köpükler özellikle ısı ve ses yalıtımında inşaat sektöründe çok sık bir şekilde kullanılmasıyla bilinen bir diğer adı strafor köpük olan, ambalaj sanayi dâhil olmak üzere soğuk hava depolarında ısı yalıtım amacıyla, gemilerde can yeleşği ve can simidi yapımında, zemin takviyelerinde, dayanımın, hafifliğin, kolay şekil verilebilen ve kolay uygulanması mümkün olan çok geniş alanlarda kullanılan bir materyaldir. EPS açılım olarak ele alındığında İngilizce kökenli olan ve Expanded Polistiren (Genleştirilmiş Polistiren) açılımıyla karşılık bulan bir terimdir. Üretimi petrolden gerçekleştirilen, köpük yapısına sahip, standart olarak beyaz renkli bir malzemedir. Polistiren taneciklerinin genleştirilmesi için kullanılan gaz pentan gazıdır. Pentan gazı tanecikler içerisinde küçük gözenekler oluşturduktan sonra üretim esnasında hava ile yer değiştirebilmektedir. Bu değişim sayesinde hava küçük gözenekler içerisinde hapsolür ve malzemenin yaklaşık %98'i hava olmaktadır. Bu durum aynı zamanda malzemenin hafifliğinin sebebini ortaya koymaktadır. Üretim sürecinde ikinci aşama ise içleri kuru hava ile dolu olan taneciklerin kaynaştığı kalıplama aşamasıdır. EPS'nin bir diğer özelliğı ise kullanıcının talebi doğrultusunda istenilen yoğunlukta üretilebiliyor olmasıdır. EPS çevresel açıdan da incelendiğinde görülmektedir ki, ozon tabakasına zarar vererek iklim değişikliğine sebep olmaz, geri dönüşümü mümkün olan bir üründür. Aşağıdaki tablo EPS köpüğünün teknik özelliklerini göstermektedir.

Bir maddenin sıcağına dayanımı sıcağın derecesi ve maruz kalma süresi ile belirlenmektedir. Dolayısıyla EPS köpüğünde sıcağına karşı dayanımı aynı koşullarda ölçülmektedir. Kısa süreli olarak sıcağına dayanımı yapılan testlerde 100°C olarak belirlenmişken uzun sürede ise maksimum 75-85 °C olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1. EPS levhalar için TS EN 13163'e göre sınıflama

EPS Tipi	%10 Deformasyondaki Basınç Gerilmesi (o10 kPa)	Eğilme Dayanımı (o10 kPa)	$\mu$ Değeri	Yaklaşık Yoğunluk (p, km/m <sup>3</sup> )	Isı İletkenliği (W/mk)
EPS 50	50	75	20-40	16	0,039
EPS 60	60	100	20-40	17	0,038
EPS 70	70	115	20-40	18	0,038
EPS 80	80	125	20-40	19	0,037
EPS 90	90	135	30-70	20	0,037
EPS 100	100	150	30-70	21	0,037
EPS 120	120	170	30-70	23	0,036
EPS 150	150	200	40-100	26	0,035
EPS 200	200	250	40-100	31	0,034
EPS 250	250	350	40-100	36	0,034
EPS 300	300	450	40-100	41	0,033
EPS 350	350	525	40-100	46	0,033
EPS 400	400	600	40-100	51	0,033
EPS 500	500	750	40-100	61	0,033

Bu çalışmada, kullanılan köpüğün dansitesi (yoğunluğu) 17 p, km/m<sup>3</sup> tür.

Bu çalışmada hazırlanan EPS köpüklerin çapları 10 cm, yükseklikleri; atık kâğıt ve pomza tozunun karışımının kalınlığına bağlı olarak sırasıyla 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm ve geometrik şekli daire olarak seçilmiştir. Bu durumun ana nedeni, gerekli ölçümü gerçekleştirecek olan ses empedans analiz cihazının yapısı gereği 10 cm'lik örnekleri analiz edebilmesidir. Bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki Ses Empedans Analiz Cihazı kısmında bulunan cihaz fotoğrafları incelenebilir.

Numunelerin yüksekliklerinin atık kâğıt ve pomza tozunun karışımına göre belirlenmesi Numunelerin Hazırlanması başlığı altında anlatılmıştır.

### 3.1.2. Atık kâğıt

Bu çalışmada, okul, ofis, banka vb. gibi herhangi bir alanda kullanım ömrünü yitirmiş nitelikteki atık kâğıtlar kullanılmıştır. Çalışma esnasında kullanılacak atık kâğıtların organik atıklar, tehlikeli atıklar, zehirli atıklar, yanıcı – parlayıcı vb. gibi atıklarla

kontamine olmadığı kontrol edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan atık kağıtların temini ofis ve kırtasiye atıklarından sağlanmıştır.

Bahsi geçen bu yerlerde oluşan atıklar kirletilmeden, katlanarak toplanmalı ve geçici depolama alanlarında biriktirilmelidir [17].

### **3.1.3. Pomza tozu**

Bu çalışmada pomza tozunun tercih edilmesinin sebebi gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Gürültüye sebep olan ses dalgalarını engellemede kullanılan akustik, ses engelleyici malzemelerin yüksek verimde çalışmasını sağlayan ortak özellik gözenekli ve boşluklu yapıya sahip olmasıdır. Yani bir akustik malzemenin yüksek verimlilik sağlaması için gözenekli bir yapıya haiz olması en önemli özellik olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca pomzanın Nevşehir İl sınırları içerisinde doğal kayaç olarak yüksek miktarlarda bulunması çalışmaya kolaylık ve avantaj sağlamıştır. Pomzanın gözenekli yapısının yanı sıra aynı zamanda hafif olması, yüksek izolasyon etkisinin bulunması, atmosferik şartlara karşı direncinin yüksek olması da belirleyici kriter olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan ve doğal bir maden olan pomzanın kimyasal yapısı inorganik mineral sınıfında olup, içerisinde muhteva ettiği  $\text{SiO}_2$  miktarı %72,11,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarı %14,07,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı %2,01,  $\text{K}_2\text{O}$  miktarı %3,9,  $\text{TiO}_2$  miktarı %0,22,  $\text{CaO}$  miktarı %1,35,  $\text{MgO}$  eser miktar,  $\text{Na}_2\text{O}$  miktarı %3,8,  $\text{SO}_3$  miktarı %0,003 diğer maddeler %2,537'dir. Çözünürlük olarak suda çözünmeyen, yoğunluğu  $2,268 - 2,370 \text{ gr/cm}^3$ , rengi beyaz, kokusuz, cilde temasta herhangi bir tehlike oluşturmayan fiziksel görünümü toz olan, yanmaz nitelikte pomza kullanılmıştır.

### **3.1.4. Ses empedans cihazı**

Bu çalışmada ölçümler esnasında, Ses Empedans Cihazı kullanılmıştır.

İlgili cihaz 100 – 2.000 Hz aralığında akustik ölçüm yapabilen, ses geçiş kaybı ve ses yutma katsayı ölçümlerini ISO 10534, ASTM E – 1050 standartlarında EN ISO 11654 VE EN 10534-2'ye uygun olarak gerçekleştirebilen bir cihazdır.



Ölçüm cihazı üreticisi olan ve ticari ünvanı Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH olan firmanın resmi internet sitesinde yer alan broşür incelendiğinde cihazın AFD 1001 ve AFD 1201 olmak üzere iki ayrı teknik özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu iki ayrı teknik özellik irdelendiğinde AFD 1001, Ses Absorbsiyon Yazılımını, AFD 1201, Ses İzolasyon Yazılımını (Ses Geçiş Kaybı Yazılımı) temsil ettiği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada Ses Geçiş Kaybı Ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle ölçümün gerçekleştirildiği AFD 1200 – Sound Transmission Tube I (Ses Geçiş Tüpü) ve AFD 1201 – Analysis Software (Analiz Yazılımı) hakkında teknik verilere yer verilmiştir.

#### **3.1.4.1. AFD 1200 – sound transmission tube**

- Tüpün çapı: 100 mm
- Kullanılabilir frekans aralığı: 100 Hz – 2.000 Hz
- Kullanılabilir maksimum genel örnek tutucu uzunluğu: 80 mm
- Kullanılabilir maksimum sıkışmış örnek tutucu uzunluğu: 170 mm

#### **3.1.4.2. AFD 1201 – analysis software**

- Yazılım versiyonu: 1.5.5.11
- Yazılım opsiyonları
  - Temel yazılım: Var
  - Veri tabanı seçeneği: Yok
  - Genişletilmiş gönderi işleme seçeneği: Var

#### **3.1.5. Numunelerin hazırlanması ve ölçülmesi**

Çalışmanın ilk aşamasında toplanan atık kâğıtlar herhangi bir makine yardımı olmadan, manuel bir şekilde daha küçük olan ve belirli bir ölçü tercih edilmeden rastgele ebatları temsil eden parçalara ayrıldıktan sonra teknik olarak uygun su dolu bir kap içerisinde yaklaşık 48 saat suda bekletilmiştir. Atık kâğıtların daha küçük parçalara ayrılmasının sebebi suyu daha rahat bir şekilde çekerek hamurlaşma sürecinin hızlandırılmasıdır. Kâğıt, niteliği sebebiyle hidrofilik bir özellik taşımaktadır. Bu çalışmada da suyun hamurlaşması sürecinde kâğıdın hidrofilik özelliğinden yararlanılmıştır.

Bir sonraki aşamada çalışmanın bir komponenti olan EPS köpükler hazırlanmıştır. Numunelerin tamamı ses empedans analiz cihazının iç hacim çapından dolayı 10 cm çapında hazırlanmıştır. Çalışmada 6 adet numune hazırlanarak ölçümleri yapılmıştır.

Bütün bir plaka halindeki EPS köpük, CNC tezgahında 10 cm çapında kesilmiştir. Kesilen köpükler numunelerin alt tabakasını oluşturmaktadır.

EPS köpükler plakadan tamamen ayrıldıktan sonra, bir sonraki aşamada EPS köpüklerin yükseklikleri ayarlanmıştır.

Alt tabakalar tekrar CNC tezgahında yükseklik ayarı yapılarak kesilmiştir. EPS köpüklerin yükseklikleri (et kalınlığı) sırasıyla 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm olacak şekilde kesilmiştir.

Bütün alt tabaka numuneleri 10 cm çapında ve sırasıyla 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm yüksekliklerindedir. Bu durumun nedeni üzerine ilave edilecek olan atık kâğıt – pomza tozu harcının ilave edilerek, ayrı ayrı bütün numunelerin yüksekliklerinin 5 cm'e tamamlanacak olmasıdır.

Farklı et kalınlıklarında hazırlanan EPS alt tabaka köpüklerinin etrafı PVC niteliğinde plastik kullanılarak kapatılmıştır. Bu kapatmanın sebebi kâğıt atık – pomza tozu harcının homojen ve sıkıştırılarak alt tabaka köpüklerine tutturulmasını sağlamaktır. Yaş harç olarak tanımlanabilecek atık kâğıt – pomza tozu harcı kuruduktan sonra PVC tabakalar (kalıplar) sökülerek ölçüm sonuçlarına etki etmemesi sağlanacaktır.

Kalıpların tamamının yüksekliği (et kalınlığı) 5 cm'dir. 1 nolu numune için 4 cm kalınlığında atık kâğıt – pomza tozu harcı, 2 nolu numune için 3 cm kalınlığında atık kâğıt – pomza tozu harcı, 3 nolu numune için 2 cm kalınlığında atık kâğıt – pomza tozu harcı, 4 nolu numune için 1 cm kalınlığında atık kâğıt – pomza tozu harcı ilave edilerek toplam yükseklik (et kalınlığı) 5 cm'ye tamamlanmıştır. Tüm bu numunelere ek olarak tamamı atık kâğıt – pomza tozu harcından oluşan ve et kalınlığı 5 cm olan numune ile tamamı EPS köpükten oluşan ve et kalınlığı 5 cm olan numuneler ile toplam numune sayısı 6 adet olmaktadır.

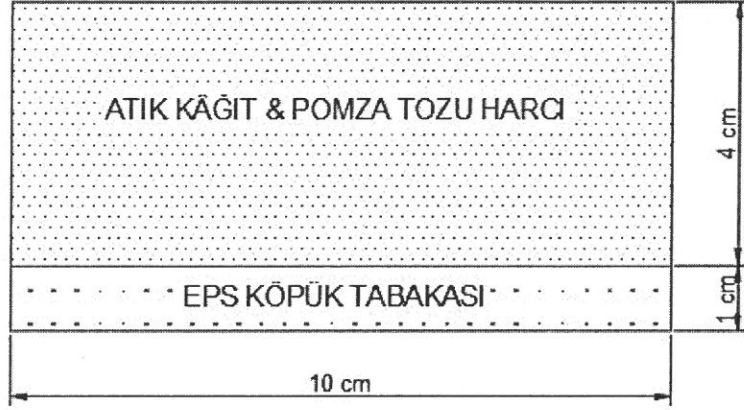
Alt tabaka köpükleri ve PVC ile hazırlanan kalıplara, bir önceki aşamada hazırlanan ve içeriği atık kâğıt – pomza tozu olan yaş harcın homojen bir şekilde ve manuel sıkıştırma yöntemi kullanılarak aktarılmıştır. Köpükler ile yaş harcın birbirini daha kolay tutması için herhangi yapıştırıcı nitelikte bir kimyasal tercih edilmemiştir. Bu nitelikte bir kimyasalın tercih edilmesinin, ölçüm sonuçlarına etki ederek çalışmanın amacından sapmasına yol açacağı düşünülmüştür. Bu nedenle alternatif bir çözüm yolu olarak genelde inşaat alanlarında kullanılan çapı 2 – 5 mm aralığında olan ince teller kullanılmıştır. İnce teller alt tabakanın kalınlığına göre farklı uzunluklarda kesilerek EPS köpüğe ve yaş harca saplanmıştır. Tüm numuneler için ayrı ayrı hazırlanan bu düzenek başarılı bir şekilde istenen tutuşu sağlamıştır.

Yaş harcın hazırlanmasında pomza tozu, küçük parçalara ayrılmış kâğıt parçacıkları ve su kullanılmıştır. Birbirleriyle muamele edilerek hazırlanan bu karışımın oranları %50 oranında atık kâğıt ve %50 oranında pomza tozu kullanılarak hazırlanmış olup, su ilavesi harcın tutuculuğuna göre belirlenmiştir.

Kurutma işlemi, doğal kuruma ile 72 saat sıcağa maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir.

6 nolu numune; tek başına 5 cm alt köpük tabakasını yani yalnızca strafor köpüğü temsil etmektedir. 5 nolu numune; harç tabakası 5 cm olan ve alt köpük tabakası kullanılmayan örneği temsil etmektedir. 4 nolu numune; alt köpük tabakası 4 cm, harç tabakası 1 cm'yi temsil etmektedir. 3 nolu numune; alt köpük tabakası 3 cm, harç tabakası 2 cm'yi temsil etmektedir. 2 nolu numune; alt köpük tabakası 2 cm, harç tabakası 3 cm'yi temsil etmektedir. 1 nolu numune; köpük alt tabakası 1 cm, harç tabakası 4 cm'yi temsil etmektedir. Buradaki amaç kıyaslama yaparak çalışmanın birbirleriyle olan ilişkilerinin ve verimliğinin belirlenmesidir. Böylelikle toplam numune sayısı 6 adet olmaktadır. Bütün numunelerin yapısal teknik çizimi sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

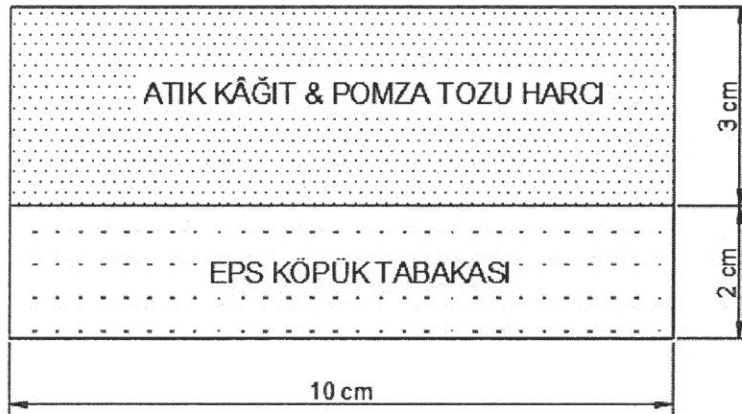
1 cm EPS KÖPÜK TABAKASI - 4 cm ATIK KÂĞIT & POMZA TOZU HARCİ



1. NUMUNE

Şekil 3.1. 1. Numuneye ait yapısal gösterimi

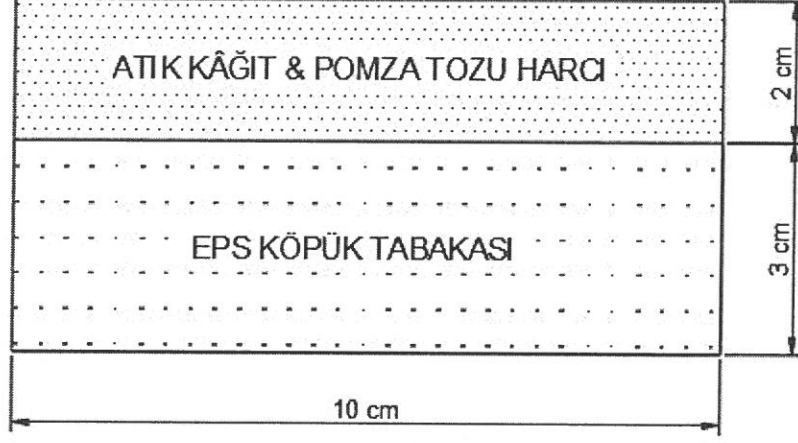
2 cm EPS KÖPÜK TABAKASI - 3 cm ATIK KÂĞIT & POMZA TOZU HARCİ



2. NUMUNE

Şekil 3.2. 2. Numuneye ait yapısal gösterimi

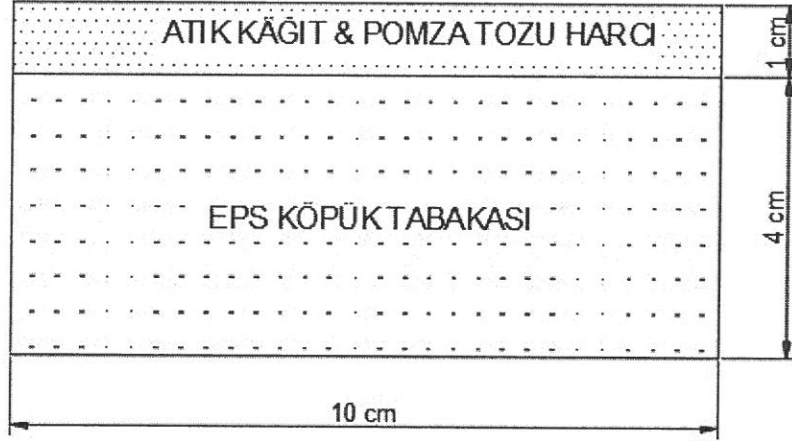
3 cm EPS KÖPÜK TABAKASI - 2 cm ATIK KÂĞIT & POMZA TOZU HARCI



3. NUMUNE

Şekil 3.3. 3. Numuneye ait yapısal gösterimi

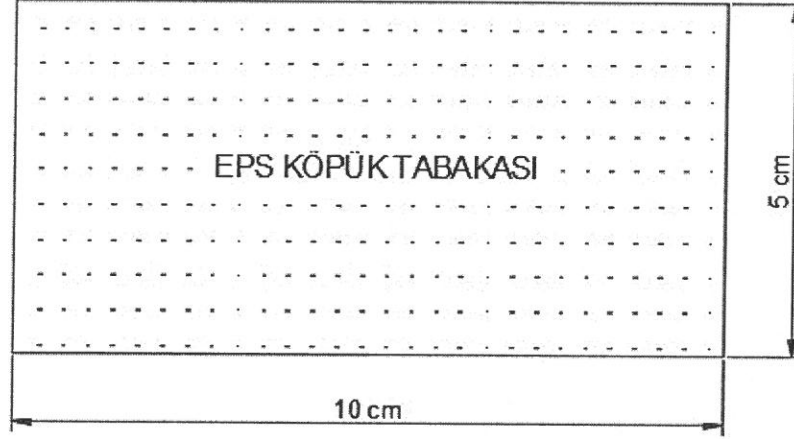
4 cm EPS KÖPÜK TABAKASI - 1 cm ATIK KÂĞIT & POMZA TOZU HARCI



4. NUMUNE

Şekil 3.4. 4. Numuneye ait yapısal gösterimi

5 cm EPS KÖPÜK TABAKASI



5. NUMUNE

Şekil 3.5. 5. Numuneye ait yapısal gösterimi

5 cm ATIK KÂĞIT & POMZA TOZU HARCİ



6. NUMUNE

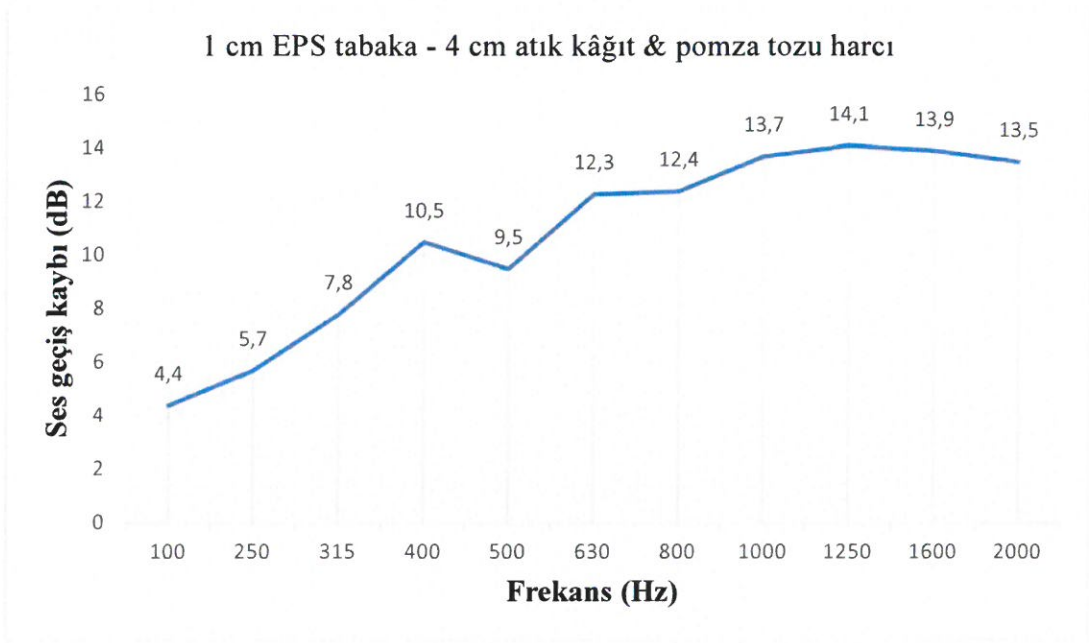
Şekil 3.6. 6. Numuneye ait yapısal gösterimi

## IV. BÖLÜM

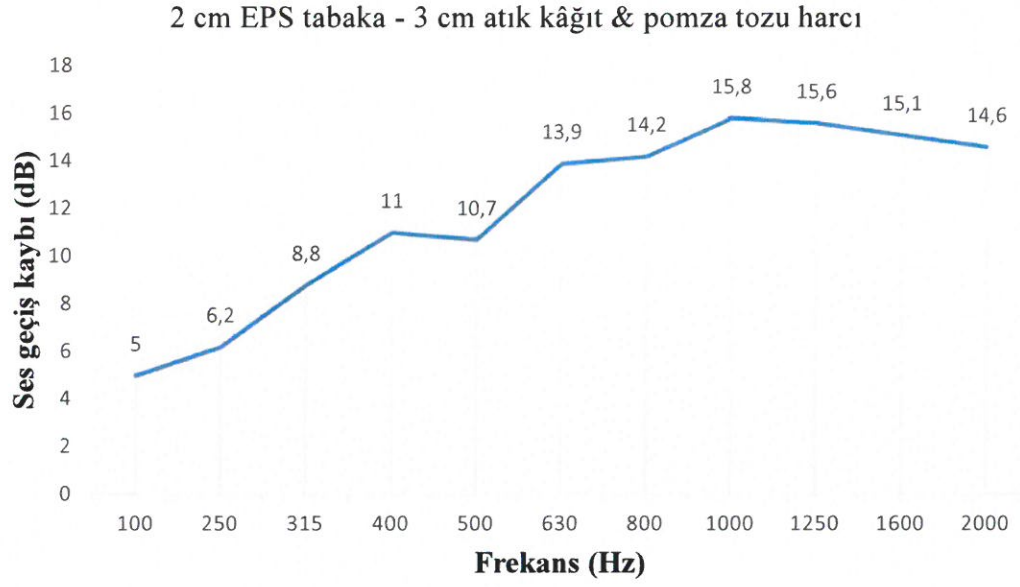
### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

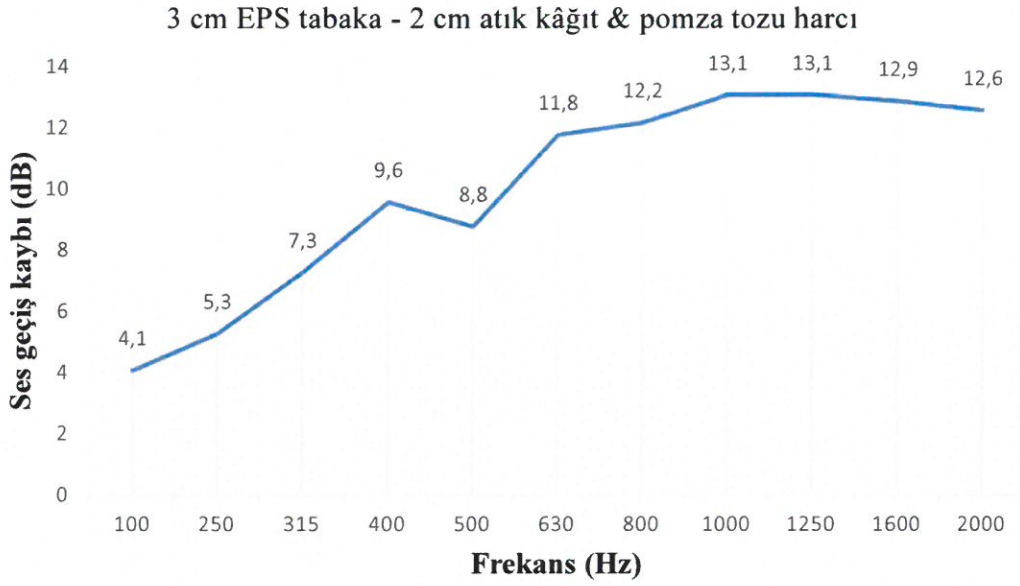
Tablo 4.1’de sunulan malzemeler, kıyaslama amacı ile 5 cm toplam kalınlıkta farklı kompozisyonlardan oluşturulmuştur. Örneğin, 5 cm’lik EPS tabakası, sadece kapalı gözenekli EPS malzemesinden oluşturulmuştur. Diğer üretilen panellerde ise kapalı gözenekli malzemeler giderek azaltılırken, açık gözenekli atık kâğıt & pomza tozu karışımı giderek artan boyutta kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda listelenmektedir.



Şekil 4.1. 1 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları

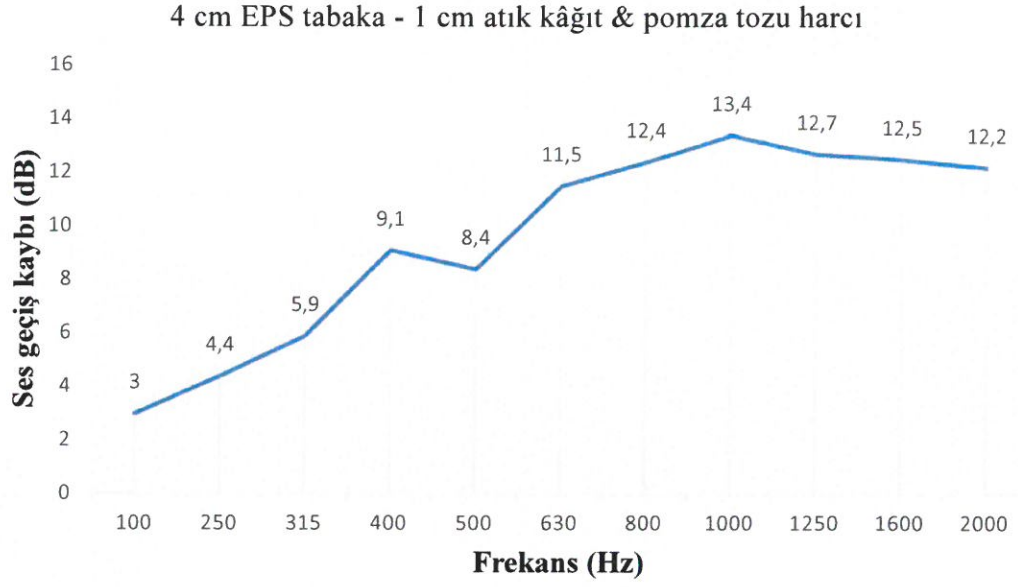


Şekil 4.2. 2 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları

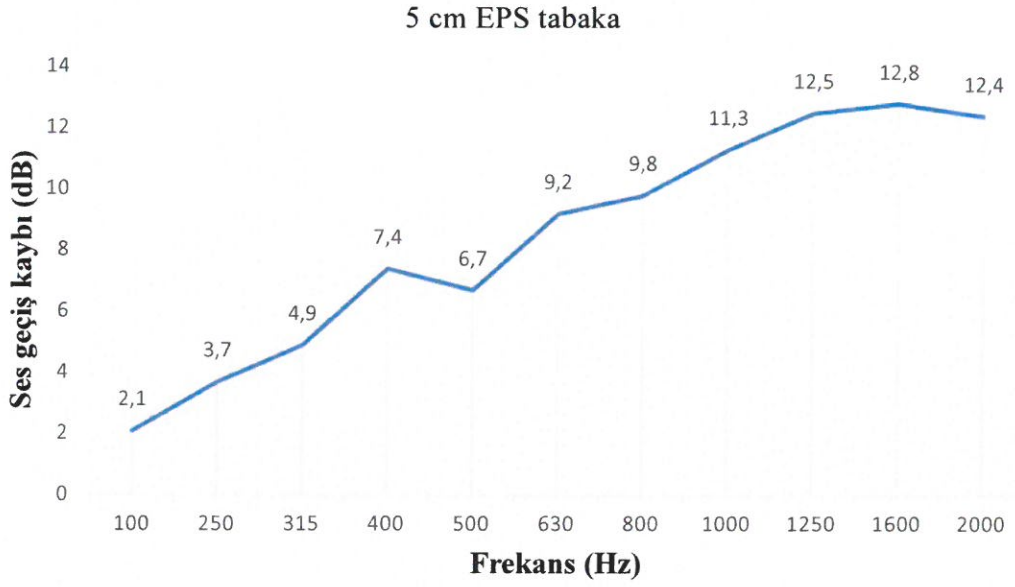


Şekil 4.3. 3 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları

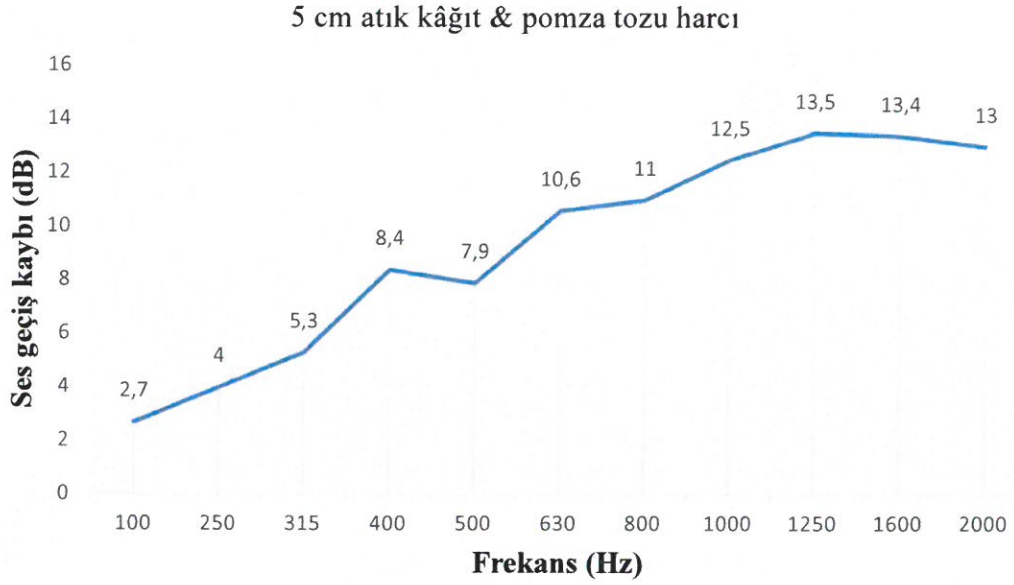




Şekil 4.4. 4 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları



Şekil 4.5. 5 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları



Şekil 4.6. 6 nolu numuneye ait ölçüm sonuçları

Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 incelendiğinde her bir malzemenin farklı frekanslarda farklı ses iletim kaybı sonucu verdiği görülmektedir. Bu durum, ses dalgalarının dalga boylarının frekans ile değişmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışma kapsamında üretilen malzemeler, açık yüzlü pürüzlü ve ses yutucu boşlukları olan panellerdir. Bu tür malzemelerin genel olarak artan frekans ile ses yutuculuk özelliği de artmaktadır. Artan frekans ile sesin dalga boyu kısalmakta ve kısalan dalga boyu ile ses, malzemenin içindeki hava boşluklarına daha kolay girmektedir. Ses dalgaları bu boşluklara girdiklerinde ses enerjisinin bir kısmı, malzemenin içindeki boşlukların yüzeyinde oluşan sürtünme ve titreşimlerden dolayı ısı enerjisine dönüşmektedir. Yani ses enerjisi, ses dalgalarının malzemenin içerisinde nüfuz edebildiği oranda azalmaktadır. Bu azalış frekans arttıkça, yani ses dalgalarının dalga boyları kısalıdıkça artmaktadır. Tablo 4.1'de her bir malzemede genel olarak frekanstaki artışa bağlı olarak ses geçiş kayıplarındaki artışın sebebi bu durumdur.

Tablo 4.1. Ses geçiş kaybı analiz sonuçları

Frekans (Hz)	5 cm EPS	5 cm Karışım	4 cm EPS ve 1 cm Karışım	3 cm EPS ve 2 cm Karışım	2 cm EPS ve 3 cm Karışım	1 cm EPS ve 4 cm Karışım
100	2,1	2,7	3	4,1	5	4,4
250	3,7	4	4,4	5,3	6,2	5,7
315	4,9	5,3	5,9	7,3	8,8	7,8
400	7,4	8,4	9,1	9,6	11	10,5
500	6,7	7,9	8,4	8,8	10,7	9,5
630	9,2	10,6	11,5	11,8	13,9	12,3
800	9,8	11	12,4	12,2	14,2	12,4
1.000	11,3	12,5	13,4	13,1	15,8	13,7
1.250	12,5	13,5	12,7	13,1	15,6	14,1
1.600	12,8	13,4	12,5	12,9	15,1	13,9
2.000	12,4	13	12,2	12,6	14,6	13,5

En düşük ses geçiş kayıpları, sadece EPS'den oluşturulan panelde bulunmuştur. Bu da kapalı yüzlü boşluklu malzemenin olmasından kaynaklanmaktadır. Atık kâğıt & pomza karışımı ile EPS'den oluşturulan panellerde, ön yüz bu karışımdan arka yüzü ise EPS'den oluşturulmuştur. Atık kâğıt & pomza karışımının gürültü kaynağına doğru açık yüzeyde yer alması, ses geçiş kaybını artırmıştır. En fazla ses geçiş kaybı, 3cm kalınlığında atık kâğıt & pomza karışımı ile 2 cm EPS'den oluşturulan kompozit yapıdaki panelde elde edilmiştir. Bu durum ses yalıtımında kompozit malzemenin daha başarılı olacağını göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, ses yalıtımı için farklı alanlarda atık olarak ortaya çıkan ve düşük ekonomik malzemeleri kullanarak çevre dostu, insan sağlığı için zararsız çözümler türetilebileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca bu çözüm ile ülkemizde ancak %50'si geri dönüştürülebilen atık kâğıdın nitelikli bir endüstriyel ürünün ham maddesi olabileceği de gösterilmiştir. Öte yandan ülkemizde büyük miktarlarda bulunan pomza taşının da bu alanda kıymetli bir hammaddeye dönüştürülebileceği ve farklı bir endüstriyel alanda kullanılabileceği açıktır.

Bu tez çalışmasında kullanılan malzemede gürültünün azalmasını nedenini şu şekilde açıklayabiliriz; bir malzemenin ses dalgalarını engelleyebilme veya hapsedebilme yeteneği o malzemeyi oluşturan bileşenlerin tanecikleri arasındaki boşluklu yapı ile ilişkili olmaktadır. Akustik malzemenin bileşenleri arasındaki boşluklu yapı o malzemeye çarpan ses dalgalarının enerji formunu değiştirmekte, etkisini azaltmakta ve akustik malzemenin diğer tarafına malzemenin boşluklu yapısına göre ses dalgalarını minimum oranda gecirmektedir. Bu tez çalışmasında oluşturulan malzemede de atık kâğıtların kullanılması tercih edilmiş olup malzeme niteliği oluşturulurken boşluklu bir yapı ile üretilmesine dikkat edilmiştir.

## 5. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Toplumunu oluşturan bireylerin yaşam faaliyetlerini her anlamda maksimum seviyede yararlı ve konforlu bir biçimde sürdürebilmeleri nedeniyle, bu çalışma kapsamında ele alınan gürültünün engellenmesi önem arz etmektedir. Gündelik hayatta kulağımıza gelen birçok ses, rahatsız edici bir parametre durumuna dönüşmüştür. Gürültünün özellikle bireylerin fiziksel ve psikolojik sağlıklarını etkiledikleri, bu nedenle de çevresel açıdan önlenmesi gereken bir kirlilik haline dönüşmesi sebebiyle bu soruna mühendislik yönleriyle müdahale edilmesi gerektiğini ön plana çıkarmaktadır.

Bu çalışma ışığında yapılan araştırmalar, özellikle atık kâğıtların tekrar kullanılabilir nitelikte olmaları nedeniyle birçok araştırmada doğrudan ve/veya dolaylı yoldan bazı bilimsel çalışmalarda kullanıldığını göstermiştir. Yapılan bu çalışmalar tüketici kaynaklı atık kâğıt oluşumunun azalmasına her ne kadar etki etmese de bahsi geçen atıkların doğada kendi hallerine bırakılmasının önüne geçilmesi, tekrar kullanılması, ekonomiye geri kazandırılması vb. gibi amaçlar neticesinde tercih edilebilir ikincil hammadde olarak kullanımı yönünden ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada Nevşehir ilinde yüksek miktarlarda bulunan ve birçok farklı sektörde kullanılan pomza maddesi ile atık kâğıtları kombine ederek, piyasa da halihazırda mevcut olarak bulunan ve akustik malzeme, gürültü izolasyon malzemesi vb. gibi isimlerle adlandırılan gürültü engelleme bileşenlerine ek olarak, alternatif yeni bir gürültü engelleme malzemesi oluşturulması ve toplumumuz tarafından yüksek miktarlarda açığa çıkartılan atık kâğıtların etkin bir biçimde kullanılarak, ekonomiye geri kazandırılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında altı ayrı numune hazırlanmış olup, her numunenin 100 – 2.000 Hz frekans aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1/3 oktav frekanslarında 100 – 2.000 aralığında gerçekleştirilen deneylerde, frekanstaki artış ile ses geçiş kaybı artmıştır. Bu durum malzemenin boşluklu yapısından kaynaklanmaktadır.

Malzemenin sadece EPS ve sadece atık kâğıt & pomza tozu karışımına kıyasla, bu iki malzemeden de oluşan kompozit bir yapıya dönüştürülmesi, ses geçiş kaybını artırmıştır. Bu durum, kompozit yapıya sahip olan malzemelerin yalıtım için daha uygun olduğunu göstermektedir.

Oluşturulan kompozit yapıdaki malzemeler incelendiğinde, 3 cm kalınlığında atık kâğıt & pomza karışımı ile 2 cm EPS'den oluşturulan kompozit yapıdaki panel, en yüksek ses geçiş kaybını sağlamıştır.

Bu çalışmada kullanılan hammaddeler ile ucuz, bol bulunan ve atık olarak toplanabilecek yapıdaki malzemeler ile gürültü yalıtımına karşı ekonomik ve çevre dostu çözümler bulunabileceği gösterilmiştir.

Atık kâğıdın gürültü yalıtım panellerinin üretiminde, teknolojik herhangi bir ön işlem veya işleme gerekmeden bile hammadde olarak kullanılabilir olduğu deneysel olarak belirlenmiştir.

Atık niteliği kazanmış kağıtların farklı bir endüstriyel alanda kullanılabilir olduğu gösterilmiştir. Bu durum, ülkemizde oluşan ve halen geri dönüştürülemeyen %50 oranındaki atık kağıtların da değerlendirilerek geri kazanım miktarının artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Atık kağıtların herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan, formunun değiştirilmeden doğrudan kullanımının mümkün olduğu bu çalışma kapsamında gösterilerek, geri kazanımın uygulama maliyetini azaltmada avantaj sağladığı ispat edilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Özgüven, H.N., “Gürültü Kontrolü ve Çevresel Gürültü”, *Uzerler Matbaacılık*, s. 271, Ankara, 2008.
2. Mehta, M., Johnson., “Architectural Acoustic Principals and Desing, Prentice Hall Inc.”, 1999.
3. Demirkale, Y.S., “Uçakların Yerden Kalkış Zamanları Sırasında Gürültü Konturlarının Saptanması İçin Atatürk Havaalanı Çevresinde Bir Uygulama Çalışması”, İTÜ, *Araştırma Fonu*, Proje No.204, İstanbul, 1994.
4. Foreman, J.E., “Sound Analysis and Noise Control”, *Van Nostrand Reinhold*, NewYork, 1992.
5. Çalışkan, M., “Çalışma Yaşamında Gürültü ve İşitmenin Korunması”, *Türk Tabipler Birliği Yayınları*, Ankara, 2004.
6. Sipahioğlu, D., “Anadolu Üniversitesi İletişim Fakültesi Televizyon Stüdyosu Akustik Performansının Değerlendirilmesi”, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.12-75, İstanbul, 1995.
7. Ener, G., “Köprülü Kavşakların Çevresel Trafik Gürültü Seviyelerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Çevre Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi*, s.122, Ankara, 2006.
8. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”, *Resmî Gazete*, Sayı: 20601, Ankara, 2010.
9. Soydaş, H.İ., “Taşıtlarda Gürültü Sebeplerinin Tespiti ve Giderilmesi”, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Antakya, 2007.
10. Yurtman, A. Aydın, C., “Atık Kâğıt Geri Dönüşümü ve Değerlendirme Olanakları”, *İstanbul Ticaret Odası*, İstanbul, s. 34-40, 2000.
11. Meteksan A.Ş., “Atık Kâğıdın Temizlenmesi, Mürekkep Alma ve Atık Kâğıt Hamuru”, 23. Teknik Kurul Toplantısı, *Meteksan A.Ş. Bildirisi*, Ankara, s. 3-7, 1992.
12. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği”, *Resmî Gazete*, Sayı: 30283, Ankara, 2011.

13. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Atık Yönetimi Yönetmeliği”, *Resmî Gazete*, Sayı: 29314, Ankara, 2015.
14. Sarıışık, A., Sarıışık G., “Yeni Üretim Prosesi İle Pomza Agregalı Hafif Beton ve EPS Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi, Standartlara Uygunluğu Diğer Duvar Yapı Elemanları İle Karşılaştırılması”, *Madencilik*, 49(2), s. 27-39, 2010.
15. Erdoğan, Y., Yaşar, E., “Nevşehir Pomzasından Üretilen Briketlerin Isı ve Ses İletkenlikleri Açısından Değerlendirilmesi”, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, IMCEnOOS, s. 3-7, İzmir, 2005.
16. Eroğlu, V., “Atık Kâğıt Kullanımının Çevre Açısından Önemi”, *İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü*, s. 43, İstanbul, 1990.
17. Dalkılıç, Y., “Atık Kâğıt Geri Dönüşümünde Karşılaşılan Sorunlar (Bahçelievler Belediyesi Örneği)”, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 103, İstanbul, 2012.
18. Aslan, Ç., “Yerleşim Alanlarındaki Eğlence Yerlerinde Gürültü Ölçümü ve Değerlendirilmesi”, *Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 20, Samsun, 2009.
19. Patnaik, A. ve arkadaşları, “Thermal and Sound Insulation Materials from Waste Wool and Recycled Polyester Fibers and Their Biodegradation Studies”, *Department of Textile Science, Faculty of Science, Nelson Mandela Metropolitan University, Port Elizabeth*, s. 1-3, 2015.



## ÖZGEÇMİŞ

Salih Sancar TURAL 1992 yılında Samsun'da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Samsun'da tamamladı. 2014 yılında bir değişim programı ile Varşova Teknik Üniversitesinde eğitim gördü. Lisans öğrenim sürecinde Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA danışmanlığında literatür araştırmalarında bulundu. 2016 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında İzdüşüm Çevre ve Jeoloji Mühendislik Danışmanlık Tic. Ltd. Şti'nde Çevre Mühendisi olarak işe başladı. Halen aynı şirkette Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Adres: İstasyon Mahallesi 56'lar Sokak Damla Apt. No:26/1 55060 – SAMSUN

Telefon: +90 (362) 234 38 60

Faks: +90 (362) 234 38 34

E-mail: ssancartural@gmail.com

