



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDAKİ SES İZOLASYONUNUN BİLGİSAYAR ORTAMINDA SİMÜLASYONU

CEYHUN AKSOYLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Şubat-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

YAPILARDAKİ SES İZOLASYONUNUN BİLGİSAYAR ORTAMINDA SİMÜLASYONU

CEYHUN AKSOYLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ş. Engin MENDİ

2014, 108 Sayfa

Jüri
Danışmanın Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Teknolojinin hızla gelişmesi, çok çeşitli alanlarda insanların yaşamlarını olumlu yönde etkilerken, beraberinde getirdiği olumsuzluklar da her geçen gün etkisini göstermektedir. Bunlardan birisi hiç şüphesiz gürültüdür. Çağımızın problemi haline gelen gürültü, farkında olmadan birçok hastalıkları da beraberinde getirmektedir. İnsanlar evlerinde, ofislerinde daha doğrusu bulundukları her yerde sessiz ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Dolayısıyla yalıtılmış ortamlar insanlar için vazgeçilemez bir hal almıştır. İnsanların bu gibi ihtiyaçlarını karşılayabilmek için de çok çeşitli yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak: cam yünü, taş yünü, yumuşak poliüretan esaslı köpükler, melamin köpüğü, keçeler, delikli metaller, delikli ahşaplar, delikli alçı panolar, mantarlar, kauçuk köpüğü, susturucular, akustik laminasyonlu cam çözümleri verilebilir.

Literatür incelendiğinde, özellikle mühendislikte sıkça kullanılan simülasyon tekniklerinin ses yalıtım alanına da uygulanması üzerine bazı çalışmalar yapılmış olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar sayesinde, uzun ve maliyetli deneysel çalışmalar modellenerek çok daha kısa sürede malzemelerin ses yalıtım özellikleri hakkında önemli bilgilere ulaşılabilmektedir.

Bu tezde, farklı ses yalıtım modelleri kullanılarak yapı malzemelerinin ses geçiş kayıp değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırmalar, Bastian, Akuzoft, Insul ve dBKAisla modelleri ile Comsol akustik modülü kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan modellerden Bastian, EN12354, ISO 140 ve ISO 717 standartlarında analiz yapma kapasitesine sahipken, Akuzoft, bazı malzemelerin ses geçiş kayıplarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Diğer yandan Insul, malzemenin yüzey kütlesi ve frekansını dikkate almakta olup, dBKAisla da EN12354 standardında 1/3 oktav bant analizi yapabilmektedir. Son olarak Comsol ise, ses yalıtım problemlerinde de kullanılabilen sonlu elemanlar metodu tabanlı genel amaçlı bir simülasyon paket programıdır.

Yapılan bu çalışmada, farklı frekanslara karşılık gelen ses geçiş kayıp değerleri deneysel çalışmalar sonucunda bulunmuş malzemelerin, farklı ses yalıtım modelleri kullanılarak simülasyonları yapılmış, sonuçları karşılaştırılarak kullanılan ses yalıtım modellerinin etkileri belirlenmiştir. Analizler sonucunda, kullanılan modellerin farklı malzemeler için ses geçiş kaybı ve ses azaltım indisi bakımından etkinlikleri saptanmış, doğruluk değerleri hesaplanmıştır.

Bu tez çalışması, farklı disiplinlerden araştırmacıların ses yalıtımı konusunda ön bilgiye sahip olmaksızın ses yalıtım modellerini kullanarak malzemeye ait kalınlık, yoğunluk, elastisite modülü, porozite ve iç kayıp faktörü gibi malzemeye ait parametrik değerlerin bilinmesi halinde, ses geçiş kaybı değerlerini hesaplayabilmelerine imkân tanıyabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, ses yalıtımı, ses yalıtım modeli, simülasyon, yalıtım malzemeleri.

ABSTRACT

MS THESIS

Computer Simulation of Sound Insulation in Buildings

CEYHUN AKSOYLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Asist. Prof. Dr. S. Engin MENDİ

2014, 108 sayfa

Jury
Advisor Danışmanın Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

The rapid development of technology not only results in positive effects on human life in various areas but also brings negative impacts every day. One of them is undoubtedly noise. Noise, a major problem of our era, unwittingly leads to many diseases. People need quite environments in their houses, offices precisely wherever needed. Therefore, insulated environments are indispensible and as a consequence, various insulation materials have been developed. Such materials include glass wool, rock wool, polyurethane soft foam, melamine foam, felt, perforated metal, perforated timber, perforated gypsum boards, floats, rubber foam, silencers, and acoustic laminated glass.

When examining literature, there are some studies on sound insulation using simulation techniques which is often employed in engineering disciplines. These studies can provide valuable information only in a short time about sound insulation properties of the materials by modeling the experiments with long term and high cost.

In this thesis, sound transmission loss values of building materials have been comparatively investigated using different sound insulation models. Comparisons are performed with Bastian, Akuzoft, Insul ve dBKAisla models and Comsol acoustics module. Among the models used, while Bastian has capacity for analysis in EN12354, ISO 140 and ISO 717 standards, Akuzoft is used in the computation of sound transmission loss for some materials. On the other hand, while Insul takes the material's surface mass and frequency into account in the calculations, dBKAisla can carry out 1/3 octave band analysis in EN12354 class. Finally, Comsol is a general purpose finite element based software package which can be also used in sound insulation problems.

In this work, the effects of sound insulation models are examined on the materials whose values of sound transmission loss that correspond different frequencies are determined by experiments. Also, by the comparative analyses conducted, the effects of insulation models on the sound transmission loss and sound reduction index of different materials are explored.

This thesis may allow the researchers from different disciplines to compute sound transmission loss without having prior knowledge about sound insulation by using insulation models and providing specific parameters of a material such as width, density, elasticity module, porosity, and internal loss factor.

Keywords: Noise, sound insulation, sound insulation model, insulation materials.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını yöneten, tez konusunun belirlenmesinde, araştırma ve uygulama aşamasında, her türlü tecrübesini ve bilgisini paylaşan, çalışmamda desteğini esirgemeyen ve bana devamlı destek olan başta saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Ş. Engin MENDİ olmak üzere, katkısını ve yardımını esirgemeyen bana sürekli destek olan annem Yüksel AKSOYLU, babam Mehmet AKSOYLU ve kardeşlerim Kübra, Seyhun ve Yağmur Ecrin'e ayrıca sevgili nişanlım Esma nur ÇENGELOĞLU'na ve ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarken, mesai arkadaşım Arda Söylev'e ve diğer dostlarıma ve çalışma arkadaşlarıma en kalbi duygularımla teşekkür ederim.

Ceyhun AKSOYLU
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1. 1. Tezin Önemi 1
1. 2. Tezin Amacı 3
1. 3. Tezin Kapsamı 4
1. 4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi 4
1. 5. Tezin İçeriği 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

3. SES VE GÜRÜLTÜ **14**

3. 1. Sesin Oluşumu ve İletilmesi 14
3. 2. Frekansın Önemi 16
3. 3. Gürültü Kaynakları 21
3. 3. 1. Seslerin doğuş biçimlerine göre gürültü kaynakları 21
3. 3. 2. Akustik yönden gürültü kaynakları 23
3. 4. Frekans dağılımına göre gürültüler 25
3. 4. 1. Geniş bant gürültü 25
3. 4. 2. Dar bant gürültü 26
3. 4. 3. Ses düzeyinin zamanla değişme şekline göre gürültüler 26
3. 5. Gürültünün Süreç İçinde Artan Önemi 27
3. 6. Gürültü ve Etkileri 28
3. 7. Oluşturduğu Etkiye Göre Gürültü Düzeyleri 29
3. 8. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri 30
3. 9. Frekans Analizi ve Oktav Bantları 31
3. 9. 1 Oktav Bantları 33

4. BİNALARIN YERLEŞİM ŞEKİLLERİ VE GÜRÜLTÜ OLUŞUMU **35**

4. 1. Binalarda Gürültü 35
4. 2. Hava doğuşumlu gürültüler 35
4. 3. Darbe Kaynaklı Gürültüler 36
4. 4. Ekipman Kaynaklı Gürültüler 37
4. 5. Binaların Yerleştirilmesi ve Konumlandırılması 37

5. SES YALITIMI 41

5. 1. Ses Yalıtımı ve Etkileri 42
5. 2. Ses Yutma Katsayısı ve Ses Yalıtım Malzemeleri 42
5. 3. Ses Yalıtım Malzemesinde Aranması Gereken Özellikler.....47
5. 4. Ses Yalıtımı Açısından Kullanılan Diğer Malzemeler 48
5. 4. 1. GazBeton 48
5. 4. 2. Bims Beton Blok.....49
5. 4. 3. Tuğla 50
5. 4. 4. Hafif Beton 50

6. AKUSTİK MODELLER.....52

6. 1. Bastian Modeli.....54
6. 1. 1. Bastian Modeli İle Yekpare Duvarlar İçin Hesap Modeli.....56
6. 1. 2. Genel hesaplama modeli 58
6. 2. Akuzoft Modeli 60
6. 2. 1. Tek duvarlarda ses iletimi 60
6. 2. 2. Sonsuz bir plakanın ses iletim kaybı.....61
6. 3. Insul Modeli 66
6. 4. dBKAisla Modeli.....68
6. 5. Comsol Akustik Modülü 69

7. ANALİZ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI 73

8. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR 95

8. 1. Sonuçlar 95
8. 2. Tartışma 97
8. 3. Gelecek Çalışmalar 97

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ.....108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a: Alıcı odasının toplam emicilik değeri

α: Ses yutum katsayısı

a: Panel kısa kenarı

b: Panel uzun kenarı

c: Sesin havadaki hızı

c_0: Sesin havadaki hızı

C: ISO 717-1'e göre spektrum uyarlama terimi 1

C_{tr}: ISO 717-1'e göre spektrum uyarlama terimi 1

$C_{L:}$ Boyuna dalga hızı

$D_{nT,\ w}$: Standard hâle getirilmiş ses seviye farkı

$D_{n,\ w}$: Bir w sistemi içinden gelen dolaylı iletim için normalize edilmiş seviye farkı

E_i: Toplam gelen ses enerjisi

E_r: Yansıyan ses enerjisi

E_a: Enerjiye dönüşen ses enerjisi

E_t: Yansıyan ses enerjisi

E: Elastisite modülü

f: Frekans

f_0: Merkez frekansı

f_1: Alt sınır frekansı

f_2: Üst sınır frekansı

f_c: Hertz cinsinden kritik frekans

Hz: Hertz

I_i: Gelen ses şiddeti

I_t: İletilen ses şiddeti

l_1: Dikdörtgen biçimindeki elemanın uzun kenarının metre cinsinden uzunluğu

l_2: Dikdörtgen biçimindeki elemanın kısa kenarının metre cinsinden uzunluğu

k_p: Bükülme dalgası sayısı

L_p: Ses şiddeti

L1: Kaynak odasındaki ses basınç düzeyi

L2: Alıcı odasındaki ses basınç düzeyi

L1-L2: bölmenin gürültü azaltımı (NR)

η_{int}: İç kayıp faktörü

η_{tot}: Toplam kayıp faktörü

m' : Metre kare başına kilogram cinsinden, birim alanın kütlesi

NR: Gürültü azatlımı

ρ: Yoğunluk

ρ_0: Havanın yoğunluğu

ρ_s: Plakanın yüzey yoğunluğu

p: Porozite

P_0: Başlangıç ses basıncı

P: Son basınç

P_i: Gelen ses basıncı

P_t: İletilen ses basıncı

ΔP: Ses basınç farkı

R'_w: Görünür ses azaltma indisi

R_b: Yüksek sönüm

R_η: Ortam kayıp faktörü

R_{min}: Düşük kayıp faktörü

R: ISO' ya göre ses azaltım indisi ile ASTM'ye göre TL aynı ifadeyi göstermekte

s: Ses ileten duvarın alanı

t: İlgili panelin kalınlığı

u_i: Gelen ses hızı

u_t: İletilen ses hızı

u_n: Ortalama ses dalgasının hızı

ω: Açısal frekans

τ: Ses Geçiş Katsayısı

τ_w: Akustik empedans

σ : Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü,

σf: Cebrî iletim için yayılma faktörü

λ: Sesin dalga boyu

Kısaltmalar

ASTM: Test ve malzemeler uluslararası derneği

ÇGDYY: Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği

dB: Desibel

dB(A) : A ağırlıklı ses seviyesi

ISO: Uluslar arası standardizasyon örgütü

ISO 140: Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi

ISO 717: Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının değerlendirilmesi

Mpa: Megapascal

NRC: Gürültü azaltma katsayısı

SR: Ses azaltım indisi

STC: Ses iletim sınıfı

TS 4563: Fabrika tuğlaları-duvarlar için-yatay delikli tuğla standardı

TS 2561: Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları

TS EN12354-1: Yapı akustiği – Yapıların akustik performasının elemanların performanslarından hesaplanması

TL: Ses geçiş kaybı

WHO: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan bu yana insanoğlu her dönemde kendini doğanın zor şartlarından korumak için çeşitli yollar aramıştır. İlk zamanlarda mağaralara yerleşerek, barınaklar inşa ederek kendilerini koruma yollarını tercih etmişlerdi. Daha sonraları Kızılderililer çadırlar, Eskimolar buzdan kulübeler yaparak tarihin her döneminde bir şekilde kötü hava koşullarından kendilerini korumaya çalışmışlardı (Şen, 2006).

Günümüzde artık teknolojinin de ilerlemesi ile lüks binalar, alışveriş merkezleri, sinema salonları, tiyatrolar, konferans salonları yapılmaktadır. Bundan dolayı yalıtım teknikleri de göz ardı edilemez hale gelmiştir. Özellikle ses yalıtımının önemi her geçen gün artmaktadır. Önceleri gürültü düzeyinin düşük olması insanları böyle bir yalıtım ihtiyacına yönlendirmezken, zamanla gürültü düzeyinin artmasıyla, insanlar için ses yalıtımının önemi ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını iyileştirmek amacıyla hafifletilmesi, yüksek gürültülerin oluşmasına neden olmakta ve ses yalıtımının gerekliliğini gözler önüne sermektedir.

Sonuç olarak insanlar, çalıştıkları iş yerlerinin, yaşadıkları evlerinin çevresinde artan ses düzeyinden rahatsız olmaya başlamış, daha sessiz çalışma ve yaşama alanları arar hale gelmişlerdir (Erel, 1989). Dolayısıyla yalıtılmış ortamlar insanlar için vazgeçilemez bir hal almıştır (Yücel, 1995). Bundan dolayı insanların bu ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çok çeşitli yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak: cam yünü, taş yünü, yumuşak poliüretan esaslı köpükler, melamin köpüğü, keçeler, delikli metaller, delikli ahşaplar, delikli alçı panolar, mantarlar, kauçuk köpüğü, susturucular, akustik laminasyonlu cam çözümlerinin yanı sıra farklı kalınlıklarda tuğlalar, gaz betonlar, betonlar, bimsler, alçı paneller verilebilir.

Uygun ses yalıtım malzemelerinin uygun tasarımlarla bir araya gelmesi halinde ses yalıtımında maksimum fayda ve verim sağlanmaktadır. Özellikle duvarlar arasında çift katmanlı olarak uygulanması ses yalıtımına büyük fayda sağlamaktadır. Çünkü çift katmanlı olarak uygulanan ses yalıtım sistemleri hem dışarıdan gelen sesi ev içerisine sokmamakta hem de ev içerisindeki sesin dışarıya iletilmesini engellemektedir.

1. 1. Tezin Önemi

Günümüzde, yaşadığımız çevrenin kalitesini ve insan sağlığını olumsuz bir şekilde etkileyen en önemli faktörlerden birisi hiç şüphesiz gürültüdür. Gürültü öznel

bir kavramdır, bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişilere bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayıdır ki, kimilerinin severek ve eğlenerek dinlediği müzik bir başkasını rahatsız edebilmektedir.

Gürültü aslında günümüzde kentleşmenin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle plansız kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde gürültü, insan sağlığını ciddi boyutta tehdit eden ve yaşam koşullarını zorlaştıran bir etken olmaktadır. Gürültünün işitme kaybı başta olmak üzere birçok fizyolojik ve psikolojik açıdan rahatsızlıklara sebep olması, kontrol edilmesi gereken bir durum olduğunu göstermektedir.

Gürültünün kontrol edilmesi amacıyla özellikle son yüzyılda yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Çeşitli yalıtım malzemelerini duvarlarda, döşemelerde ve tavanlarda kullanarak gürültüye karşı önlemler alınmaya çalışılmaktadır.

Geliştirilmiş ve halen geliştirilmekte olan bu yalıtım malzemelerinin amacı ise insanların daha huzurlu, rahat ve konforlu bir hayat yaşamalarını sağlamaktır. Bu amaçla her geçen gün farklı yalıtım malzemeleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Deneysel çalışmaların yanı sıra son yıllarda büyük önem kazanan bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar da etkili sonuçlar vermeye başlamıştır.

Bilindiği üzere simülasyon, günümüzde önemi gittikçe artan bir alandır. Simülasyon, gerçek bir sistemi temsil eden bir model oluşturma işlemidir. Bu tip bir modelleme, bir problemi çözmede son derece etkili olmasından dolayı farklı amaçlar için birçok alanda uygulanabilen bir yöntem haline gelmiştir. Simülasyonlar vasıtasıyla, farklı yalıtım malzemelerinin ses yalıtım değerlerinin çok kısa bir sürede etkili bir şekilde hesaplanabilmesi, yapılan bu çalışma için temel teşkil etmektedir.

Yapılan bu tezde gürültünün kontrolü açısından fayda sağlayacağı amaçlanarak, deneysel çalışmaları yapılmış ses geçiş kaybı (TL) ve ortalama ses azaltım indisi (R_m) (DIN 52210-6, 1989) değerleri belirlenmiş olan çeşitli malzemelerin, farklı ses yalıtım modellerindeki TL ve R_m değerleri bulunarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Gürültü kontrolünde kullanılan bu ses yalıtım modelleriyle malzemelerin TL değerleri hesaplanmış ve her bir model birbiriyle karşılaştırılarak malzemeler için uygun ses yalıtım modeli tespit edilmiştir.

1. 2. Tezin Amacı

Yaşadığımız yüzyılın en ciddi problemlerinden birisi hiç şüphesiz gürültüdür. Nobel ödüllü Robert Koch'un 1910 yılında: "Gün gelecek, insanlar kolera, veba gibi hastalıklara karşı açtıkları savaşı, gürültüye de açacaktır." şeklindeki ifadesi çağımızın hastalığı haline gelen gürültünün zararlı etkisini en güzel şekilde açıklamaktadır (Chauhan ve ark., 2010).

Gürültünün etkilerini en aza indirmek için yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Özellikle bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması ile malzemelerin özelliklerine bağlı olarak TL değerlerinin hesaplanmasında gerek mühendisler ve mimarlar tarafından tasarım amaçlı gerekse akademisyenler tarafından akademik maksatlı kullanılan yazılım programları geliştirilmektedir. Bu sayede en uygun malzeme tespiti yapılabilmekte ve gürültünün etkileri azaltılabilmektedir. Ayrıca geliştirilen yazılımın yanı sıra akademik çalışmalardaki disiplinler arası yaklaşımlar da bu konuya ayrı bir bakış açısı getirmektedir. Bilindiği üzere bir malzemeye ait TL hesabını yapmak için uzunca bir zaman, emek ve yüksek maliyet ayırmak gerekmektedir. Ses ölçüm cihazlarının alınması, yansımasız odaların inşa edilmesi gibi pek çok yıpratıcı süreç, araştırmacıların çalışmalarını yavaşlatmaktadır. Yapılan çalışma, bu yorucu sürecin ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır.

Kullanılan deneysel veriler ışığında farklı ses yalıtım modellerinden faydalanılarak ileriki çalışmalara ışık tutacak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Öncelikle, daha önce deneysel çalışmaları yapılmış ve TL değerleri bilinen on bir adet malzeme, Bastian, Akuzoft, Insul, dBKAisla ve Comsol ile ayrı ayrı modellenerek, kullanılan yalıtım modelleri kendi içinde karşılaştırılmıştır. Bu sayede farklı yapı malzemeleri üzerinde hangi ses yalıtım modelinin etkili olduğu saptanmıştır.

2. Kullanılan beş farklı ses yalıtım modeliyle, malzemenin R_m ve TL değerleri hesaplanmış, deneysel olarak R_m ve TL değerleri bulunmuş olan malzemelere yakınlıkları doğruluk hesabı sonucu yüzde olarak belirlenmiştir. Bu sayede kullanılan ses yalıtım modellerinin etkinlikleri, her bir malzeme için açık bir şekilde görülmüştür.

3. Son olarak, farklı disiplinlerden araştırmacıların ses yalıtımı konusunda ön bilgiye sahip olmaksızın, ses yalıtım modellerini kullanarak, herhangi bir malzemeye ait kalınlık, yoğunluk, elastisite modülü, porozite ve iç kayıp faktörü gibi parametrik değerleri girerek çok kısa sürede bu malzemeye ait TL değerlerini hesaplayabilmeleri

sağlanmaktadır. Bu sayede zaman, emek ve maliyet azaltılmakta ve uygun malzeme tespiti kısa sürede yapılabilecektir.

1. 3. Tezin Kapsamı

Yapılan güncel çalışmalarda, simülasyon yöntemlerinin mühendislik çalışmalarında kullanımının artmasıyla, herhangi bir malzemeye ait TL değerlerinin belirlenmesi de mümkün olmaktadır. Simülasyon teknikleri ile malzemelerin TL ve R_m değerleri hakkında fikir edinme üzerine çalışmalar literatürde mevcuttur.

Bu tezin içeriğinde sözü edilen TL hesabında ses yalıtım modellerinin kullanımı ve kullanılan parametrelerden bahsedilmiş, TL hesabıyla ilgili disiplinler arası çalışmalar, literatür taraması ile ele alınmıştır. Simülasyonların deneysel çalışmaları yapılmış malzemeler üzerindeki etkisi, literatürde yapılan çalışmalarla incelenmiştir. Deneysel çalışmaları yapılmış malzemeler ile simülasyon sonuçları karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Malzemenin TL değeri kadar R_m değerinin de malzemenin ses yalıtımı açısından önemli olduğu doğruluk hesabı sonucu görülmüştür.

1. 4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın yaygın etkisinin ve getirisinin şu şekilde olduğu düşünülmektedir:

- Bu tez çalışması ile disiplinler arası çalışmanın benzer bir örneği gösterilmektedir. İnşaat mühendisliği, çevre mühendisliği, bilgisayar mühendisliği ve mimarlık gibi farklı disiplinlerin entegresi ile inovatif bir çalışma ortaya çıkarılmıştır.
- Kullanılan değişik malzemelerin TL ve R_m değerleri deneysel çalışmalar yapılmadan ses yalıtım modelleri ile gerçekleştirilebileceği ve ses yalıtım modellerinin geleceğe yönelik geliştirilerek daha kesin sonuçlar verebileceği öngörülmüştür.
- Ülke ekonomisi ve gürültü kontrolü açısından önemli bir çalışmanın temelleri atılmıştır. İleriki çalışmalara ışık tutacak olan bu tezin, maliyetleri azaltacağı gibi zaman ve emek bakımından da fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

- Ayrıca, binalarda ses yalıtımı kapsamında, gelecekte farklı parametreler de dikkate alınarak daha yeni modellerin geliştirilebileceği ve TL hesabında deneysel veriye daha yakın sonuçların daha etkili ve hassas bir şekilde bulunabileceği görülmüştür.

- Son olarak, beş farklı modelin malzemelere ait ses yalıtım değerlerini bularak karşılaştırması bakımından, Türkiye'deki akademik çalışmalar içerisinde bir ilk olma özelliği taşımaktadır.

1. 5. Tezin İçeriği

Yapılan çalışma sekiz bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde yapılardaki ses yalıtımının gerekliliği ve TL değerinin tespit edilmesi ile ilgili geniş bir literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde sesin ve gürültünün tanımı, frekansın ses iletimindeki önemi, gürültünün zamanla oluşturduğu etkilere karşılık alınması gereken önlemlerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde binaların yerleşim şekillerine bağlı olarak gürültünün oluşturduğu etkilerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde gürültüye karşı alınması gereken önlemler, ses yalıtım malzemelerinin önemi ve ses yalıtımında kullanılan malzemelerin özelliklerine değinilmiştir. Altıncı bölümde TL hesabında kullanılan ses yalıtım modelleri tanıtılmıştır. Yedinci bölümde kullanılan ses yalıtım modellerinden elde edilen frekansa karşılık TL değerleri şekil ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Son olarak sekizinci bölümde de yapılan tezin sonuçlarına, tartışmalarına ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ses yalıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar göstermektedir ki gürültüye karşı alınan önlemler her geçen gün artmaktadır. Yapılan çalışmalar, insanların daha sağlıklı, huzurlu ve konforlu ortamlarda yaşamak istediklerini göstermektedir.

Literatürde her geçen gün sayıca artan yeni çalışmalar insanlara, arzu ettikleri hayatı yaşamaları için yapı tasarımında hangi malzemeleri kullanmaları gerektiği konusunda yardımcı olmaktadır. Bu sayede uygun malzemeler, uygun tasarımlar ile bir araya gelerek yaşanılması mutluluk veren mekânların oluşturulmasına imkân sağlayabilmektedir. Bahsedilen çalışmaları incelediğimizde,

Arpacı (1995) gürültüyü azaltmak için, gürültü kaynağının örtülmesiyle gürültü kontrolü, bariyerlerle ve ses yutucu malzemelerle, susturucu ve kulak tıkaçlarıyla gürültü kontrolü üzerinde durmuştur.

Akdağ (1998) ses yalıtımı açısından uygun yapı malzemelerini belirlemek için yapmış olduğu çalışmasında, esas yapı malzemesi olarak bims blok, briket, gazbeton, pres tuğla ve yardımcı yalıtım malzemesi olarak da polistren köpük, polipan köpük ve cam yünü kullanmış ve bu malzemelerin ses yalıtım değerlerini belirlemiştir.

Akdağ (2001) binalarda bulunan iç duvarların ses yalıtımını sağlamak için çeşitli kesit seçeneklerini belirlemiştir. Ses iletim sınıfı (STC) değerlerini belirleyerek, duvarlar için uygun kesit seçeneklerini ortaya koymuştur.

Marco (2010) çalışmasında, Cambridge (2006)'ya benzer şekilde farklı kalınlıklardaki panellerin TL değerlerinin tespitini yapmak için kendi geliştirdiği Akuzoft modelini kullanmış ve bazı akustik problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar elde ederek literatürde geçerlilik kazanmıştır.

Arslan (2010) çalışmasında, Coşkun ve ark. (2008)'deki çalışmasına benzer şekilde tünel kalıp sistemleri üzerine incelemeler yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmada tünel kalıp binalarda beton sarfiyatını azaltmak, yapım maliyetini ve bina ağırlığını düşürmek, ısı ve ses yalıtım problemlerinden dolayı meydana gelen konfor azaltıcı etkileri ortadan kaldırmak amacıyla çapları 6 cm olan plastik topların betonarme sistemlerde uygulanabilirliğine yönelik çalışmalar yapmıştır. Döşeme ya da perdelerde kullanılan plastik topların ses emme kapasiteleri belirlenmiştir. Yapılan ses emme kapasite deneyleri, ses konforu açısından değerlendirildiğinde ses yalıtımında %27 mertebesinde değişmelere yol açtığı görülmüştür.

Ballagh (2004) çalışmasında, Akdağ (2001) çalışmasına benzer olarak kesit belirleme üzerine çalışmalar yapmıştır. Tek kat ve çift kat panellerde TL değerini tespit etmek için teorik modeller kullanmış, daha önceden deneysel çalışmaları yapılmış tek katmandan oluşan 19 mm alçıpanın, 190 mm beton duvarın ve çift katmandan oluşan farklı kalınlıklardaki betonun, alçıpanın, çeliğin, cam elyafın TL değerlerini kendi geliştirdiği teorik model ile karşılaştırmıştır. İlk olarak yüzey kütlesi, sönüm oranı ve panel boyutları bilinen homojen tek paneller üzerinde incelemeler yapmış, daha sonra çift panel duvarları, ilave faktörleri ve paneller arası hava boşluğunu dikkate alarak incelemeler yapmıştır. Sonuç olarak bu iki tip panel için önerilen teorik yaklaşımların TL hesabında iyi bir tahmin olduğunu görmüştür.

Bolton ve ark. (1996) yaptıkları çalışmada, Tadeu (2006)'da kullanılan Biot teorilerini temel alarak çok katmanlı panellerde elastik poros malzemeler için dalga yayılmasına bağlı olarak bir teori ortaya koymuştur. Ortaya koymuş olduğu teori ile köpük kaplı paneller için TL değerlerini hesaplamıştır. Yapmış olduğu teorik hesaplar sonucu bulmuş olduğu sonuçların deneysel çalışmalara olan yakınlığı teorinin başarılı olduğunu göstermiştir. Fringuellino ve ark. (2000) çalışmalarında, Bolton ve ark. (1996)'ya benzer olarak çok katmanlı malzemelerden oluşturulmuş duvarların frekansa karşılık gelen TL değerlerini hesaplamışlardır. Her bir malzeme katmanı için karakteristik empedans bilgisine sahip olarak TL değerlerini tüm sistem için ve her bir katman için ayrı ayrı hesaplamışlardır.

Cambridge (2006) çalışmasında, Tadeu ve ark. (2003)'e benzer çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada bitişik iki sınıf için farklı kalınlıklardaki panellerin TL değerlerini tespit etmek amacıyla Insul, Bastian, ENC, Reduct ve Winflag ses yalıtım sistemlerinin karşılaştırmalarını yapmıştır. Yapılan çalışmada Insul ve Bastian modellerinin birlikte daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca bir sınıfın, bir müzik odasına dönüştürülmesinde tek panel ve çift panel kullanılması durumları için TL değerlerinin tespitinde Insul ve Bastian modellerinin kullanımının güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

Cremer (1942) çalışmasında, ince sonsuz panelleri modellemiş ve TL tahmininde bulunmuştur. Teorisine göre eğilme sertliğini ve sesin panele geliş açısını dikkate almıştır. Daha sonra bu modeli diğer kompleks yapılarla karşılaştırmış ve sonlu paneller için uygulanamayacak önemli bir sınırlandırma olduğunu belirlemiştir. Guy (1981) çalışmasında, Cremer (1942)'deki çalışmasında sınırlandırmaların sonlu paneller için eksik olduğunu belirlemiştir. Yapmış olduğu çalışmada, sonlu eğilme dalgalarının

sonlu panellerde olmadığını göstermiştir. Genel olarak, sonsuz paneller için kabul edilen teori, sonlu yaklaşan bir panel olarak kabul edilmiştir. Bu kabuller aynı zamanda sonlu panellerin TL değerlerini etkileyen parametrik kaygıları da beraberinde getirmiştir.

Cremer ve ark. (2005) çalışmalarında, bir plaka üzerinde bir çizgi boyunca ses gücü yayılımını hesaplayan bir formül geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu formül yalnızca kritik frekansın altındaki frekanslar için uygulanabilmiştir. Yapmış olduğu çalışmada, hafif boşluklu duvarlar kullanılmış ve boşluklara ses yalıtım malzemeleri yerleştirilerek ses yalıtım değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken Heckl (1950a)'da dikkate alınan kütle bağıntıları göz ardı edilmiştir.

Coşkun ve ark. (2008) çalışmalarında, tünel kalıp sistemi kullanılarak yapılmış bir binanın, iç mekânlarında var olan farklı gürültü kaynaklarının (ud ile şarkı söylenmesi, terlik ile yürünmesi, dikiş makinesi çalıştırılması vb.) oluşturduğu gürültü seviyelerini ölçmüş ve sonuçları değerlendirmiştir. Bunun için çalışmasında, gürültü ölçüm cihazını (Extech Instruments, Digital sound level meter-model 40776) kullanarak, farklı odalarda, farklı zamanlarda oluşan gürültüleri desibel cinsinden ölçmüştür. Sonuç olarak Mart 2008 gün ve 26809 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe giren "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi" yönetmeliğinde (2002/49/EC) verilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerlerinin üzerinde gürültünün meydana geldiğini belirlemiştir.

Demirkale (2008) çalışmasında, 19 cm kalınlığında bims blok, 20 cm kalınlığında gaz beton, düşey delikli ve yatay delikli olmak üzere 19 cm kalınlığında tuğla malzemesine ait TL değerinin tespitini yapmak için deneysel çalışmalar yapmıştır. Sonuç olarak, gürültü sorunu açısından performansı en yüksek olan duvar tipinin tuğla duvar olduğunu belirlemiştir. Ayrıca duvarların sıvalanmasının TL değerini artırdığını, dolayısıyla ses yalıtımı açısından son derece önemli olduğunu vurgulamıştır.

Dym ve Lang (1974) sandviç panellerde TL tespiti için geliştirdikleri teorik tahminler, TL değerinin tespiti açısından yapılan ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır. Yaptıkları çalışmada, Ford ve ark. (1967)'de sandviç panellerin hareketine bağlı olarak geliştirdikleri kinematik varsayımlardan türeterek elde ettikleri beş ilişkili denklem kullanmışlardır. Geliştirdikleri bu denklemler, sandviç panellerin simetrik olma ve simetrik olmama durumları için ayrı ayrı düşünülmüştür. Teorik hesaplamalar sonucunda bulmuş oldukları TL değerlerini, Smolenski ve Krokosky (1973)'de sandviç

paneller üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, deneysel ve teorik hesaplamaların kabul edilebilir olduğunu saptamışlardır.

Dokumacı ve ark. (1980) çalışmalarında, İzmir'de yaşayan insanların yarısından fazlasının trafik gürültüsünü, en önemli çevre sorunu olarak kabul ettiklerini gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Bayraktar (1984) yapmış olduğu çalışmada, karayollarının gürültü oluşumunda etkisinin az, gürültünün tüm yol boyunca çizgisel bir şekilde devam etmesinden dolayı etki alanının büyük olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Karabiber (1991) yapmış olduğu anket çalışmasında, gürültü kirliliğinin en az diğer kirlilik türleri kadar önemli olduğunu belirtmiştir. Yapmış olduğu çalışma sonucunda halkın %60'ının gürültüden etkilendiğini tespit etmiştir. Bayraktar (1984)'ün çalışmasını destekler bir şekilde Yücel (1995) çalışmasında, 1992 yılından itibaren ayda 1 kere olmak üzere tüm hafta boyu saat 7.00-20.30 sırasında gürültü ölçümü yapmış, ölçümlerde Reşatbey Mahallesi, Cemalpaşa Mahallesi, Metal Sanayi Sitesi ile Karşıyaka Çarşısı hariç, tüm diğer alanlarda izin verilebilir değer olan 65 dB(A) sınırının aşıldığını belirlemiştir.

Erol (2003) çalışmasında, Arpacı (1995)'in çalışmasına benzer olarak gürültüyü kaynağında kontrol etmek için çalışmalar yapmıştır. Endüstriyel işletmelerde var olan araçların meydana getirdiği gürültünün, o işyerindeki çalışanlar için ciddi bir sorun oluşturduğunu ve bu sorunun çözülebilmesi içinde gürültünün kaynağında yok edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Gürültü oluşturan kaynaklardan birinin 2000-8000 Hz arasında hız testeresi olduğunu belirlemiş ve oluşan gürültüyü engellemek için kısmi hücre uygulaması diye adlandırdığı bir yöntemi uygulamıştır. İşin akışını engellememesi ve rahat bir çalışma ortamı sağlaması bu yöntemin etkili olduğunu göstermiştir. 125-500 Hz arasındaki gürültüyü engellemek için titreşim yalıtımının etkili bir yol olduğunu söylemiştir. Bariyer yönteminin kaynakta müdahale açısından yetersiz kaldığını; ancak gürültünün yayılmasını engelleme adına kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca kısmi hücre yönteminin de gürültünün tam olarak azaltılmasında yetersiz kaldığını göstermiştir. Bu nedenle, uygulanan mühendislik yaklaşımlarına ek olarak, bireysel koruyucuların kullanılması halinde, gürültüyü kaynağında etkisiz hale getirmeninde faydalı olacağını belirtmiştir.

Ford ve ark. (1967) çalışmalarında, izotropik sıkıştırılabilir üç katmanlı sandviç plaka modeli geliştirmişlerdir. Panelin simetrik davranışı için yapılan hesaplamalar, orta bölmenin elastik olması durumu için yapılmıştır. Çalışmada, simetrik ve simetrik olmayan durumlar için hava içerisindeki panellerdeki ses dalgası sayılarını

karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte üç katmanlı sistem için geliştirilmiş olan genel formülasyonlarla, ses dalgası sayıları sonsuz genişlikteki paneller için hesap edilmiştir. Sandviç paneller için geliştirdikleri model, Ford ve ark. (1967)'deki birçok alt çalışmalar sonucunda geliştirdikleri bir model olmuştur. Ayrıca bu çalışmalara benzer olarak Smolenski ve Krokosky (1973) de sandviç paneller üzerine çalışmalar yapmıştır. Böylelikle iki katmanlı sandviç panellerdeki TL değerlerini hesaplayıp teorik tahminlerle de karşılaştırmışlardır.

Ratnieks (2012) çalışmasında Ratnieks ve ark. (2011) çalışmalarını dikkate alarak, kilden yapılmış tuğla duvarlar için geliştirdiği matematiksel modeli, iki boyutlu Comsol akustik modülünü kullanarak ses azaltım indeksi (SR) değerini hesaplamıştır. Kullanılan birçok malzemenin hesabında EN 10140-1 (ISO 10140-1, 2010) ve EN 10140-5 (ISO 10140-5, 2010) standartlarını kullanarak tahminler yapmıştır. Sonlu elemanlar metoduna göre geliştirilen matematiksel modelin, deneysel çalışmaları yapılmış malzemelerin SR değerlerine yakın çıkması, geliştirilmiş olan matematiksel modelin başarılı olduğunu göstermiştir. Ratnieks (2012) çalışmasının temelleri Papadopoulos (2002 ve 2003) tarafından atılmıştır. Papadopoulos (2002 ve 2003) çalışmasında, üç boyutlu bir optimize test odası düşünmüş ve oluşturduğu sanal test tesisleri ile deneysel verileri karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen sanal modelin düşük frekanslar için uygun olduğu görülmüştür. Ancak frekansın artmasıyla, maliyetin de arttığı görülmüştür. Del Coz Diaz (2010) çalışmasında Papadopulos (2002 ve 2003) sistemine benzer olarak, iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu dikkate alarak duvarların SR değerlerini hesaplamış ancak SR hesabında farklı bir matematiksel hesaplama yöntemi kullanmıştır.

İlgun ve ark. (2010) çalışmalarında, temiz kâğıtlardan, çöplerden, şirketlerin arşivlerinden ve ofislerden almış oldukları atık kâğıtları sıvılaştırılmış bor ile karıştırıp 3 cm ve 5 cm kalınlığında paneller inşa etmişlerdir. İki odalı hücre içerisindeki ara bölmeye %88 oranında temiz kâğıtla %12 oranında borun karışımından oluşan ve %90 oranında atık kâğıtla %10 oranında borun karışımından oluşan farklı kalınlıklarda paneller inşa edilmiş ve TL değerleri tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, kullanılan atık kâğıdın yüksek frekanslar için daha etkili olduğu görülmüştür.

Kurra (2012) çalışmasında, farklı kalınlıkta ve kompozisyonda oluşturulmuş yapıların TL değerlerini hesaplamıştır. Bu hesaplamalarda üç model kullanmış ve bunlardan FMulay modelini geliştirmiştir. Kullandığı ve karşılaştırmalar yaptığı diğer iki modelde Insul ve Acousy modelleridir. Deneysel verilerle karşılaştırmaların

yapılması sonucu, Insul ve FMulay modellerinin TL değerlerinin çok yakın çıktığı ancak FMulay ve Acousy modellerinin daha az etkili sonuçlar verdiğini saptamıştır. Ayrıca hesaplamaları ve karşılaştırmaları yapılan üç model içerisinde Insul modelinin korelasyon katsayısının yüksek olmasından dolayı daha iyi sonuç verdiğini, Acousy modelinin de düşük frekanslar için iyi bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir.

Kurtze ve Watters (1959) çalışmalarında, sandviç kompozit panellerdeki TL değerlerinin tespiti için geliştirmiş oldukları formüllerle akustik alanında öncülük yapmışlardır. Özellikle sandviç kompozit panellerin tasarımında oluşan kayma dalga deformasyonlarından korunmak için, çakışma frekansını önlemişlerdir.

London (1950) çalışmasında, çift duvarların TL değerlerini incelemiştir. Model de çift duvarlı panellerin kritik frekansın altındaki düzlem dalgalar ile uyarılması sonucu, panellerdeki rezonansın göz ardı edilmesi için kütle kontrolü yapmıştır. Londan (1950) tarafından öne sürülen teori, hava boşluğu içindeki rezonans etkisini kontrol etmek için geliştirilmiştir. London (1950) çalışmasını dikkate alarak Beranek (1960) kütle-hava/kütle-rezonans düşüncesini tartışmalı bir şekilde matematiksel olarak geliştirmiştir. Daha sonra Fahy (2001) çalışmasında, Beranek (1960) çalışmasında ortaya koymuş olduğu matematiksel modeli kullanmıştır. Çalışmasında, gözenekli bir ses emici malzeme ile doldurulmuş bir hava boşluğundan, simülasyon sonucunda TL değerini hesaplamıştır.

Ratnieks ve ark. (2011) çalışmalarında, Comsol akustik modülünü kullanarak bitişik iki odayı modellemiş ve tuğla duvarın frekansa karşılık gelen TL değerini tespit etmişlerdir. Comsol akustik modülünün frekansa karşılık gelen TL değerinin hesaplanmasında iyi sonuçlar vermediğini görmüştür. Ancak modelde tanımlanması gereken parametrelerin ve geometrinin geliştirilmesi ile daha iyi sonuçlara varılabileceğini öngörmüştür.

Rahbarı (1995) tek duvarların, 100 Hz ile 4000 Hz arasında kalan 1/3 oktav band frekanslarındaki ses geçirgenliğini incelemiştir. Ayrıca çeşitli yoğunluk ve kalınlıktaki yapı malzemelerini kullanıp bunların sıvalı olup olmama durumları için, ayrı ayrı ses geçirgenliklerini tespit etmiştir. Rahbarı (1995)'teki duvarlar üzerine yaptığı çalışmaya benzer olarak Homsi (2003) çalışmasında, tek katmanlı ve çok katmanlı paneller için polimer bazlı malzemeler kullanılması durumu için, TL değerini analitik metot yöntemiyle belirlemiştir. Düşük frekanslar için malzemelerin TL değerlerini hesaplamış ve kullanılan analitik metodun başarılı bir sonuç verdiğini görmüştür. Homsi'nin (2003) analitik çalışmasına benzer olarak Tadeu ve ark. (2003),

Kirchhoff ve Mindlin yaklaşımını kullanarak analitik ve deneysel bulguları göreceli kütle yasasına göre tek ve çift kat paneller için ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Kullandıkları cam, çelik ve beton için ses yalıtım değerleri hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, tahmin edilen analitik modelin ses yalıtımı açısından etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca deneysel ve analitik sonuçlar arasında düşük frekanslarda farklılıklar meydana geldiği saptanmıştır.

Şen (2006) ısı, su, ses ve yangın yalıtımlarını ayrı ayrı ele alıp buna göre çalışmalar yapmıştır. Ülkemizdeki ve dünyadaki yalıtım çalışmalarını karşılaştırmış, ülkemizdeki yalıtım çalışmalarının artması ile enerji tasarrufunun sağlanacağını ve daha iyi yaşam koşullarına ulaşılabileceğini belirtmiştir.

Tadeu ve ark. (2003) çalışmalarında, iki odalı bir hücre içerisindeki ara bölmeye farklı kalınlıklarda cam, çelik ve betondan yapılmış panellerin konulması ile TL değerlerini hesaplamışlardır. Yapılan çalışma ile farklı frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin deneysel çalışma ile analitik çalışmada örtüştüğünü görmüşlerdir. Ancak yapılan deneyde, düşük frekanslarda akustik odalarda oluşan sabit dalgalardan ötürü rezonans etkisi ile birlikte ufak sapmaların olduğu da tespit edilmiştir.

Tadeu ve ark. (2006) çalışmalarında, Tadeu ve ark. (2003) çalışmalarında geliştirmiş olduğu tek katmanlı ve iki katmanlı paneller için analitik hesaplama modelini, üç katmanlı paneller içinde geliştirmişlerdir. Yapmış olduğu üç katmanlı sistemlerdeki TL hesabı geçerlilik kazanmıştır. Oluşturduğu model ile tek, çift ve üç katmanlı paneller için TL değerlerini hesaplamışlardır.

Yavuz (2007) çalışmasında, mimari akustiğin ana konuları olan gürültü denetimi ve hacim akustiğini incelemiştir. Ses kayıt stüdyolarının gelişim sürecini mimari akustik açısından değerlendirmiştir. Çalışmasında, ses kayıt stüdyolarında gürültü denetimi ve hacim akustiği parametrelerinin sağlaması gereken optimum değerleri belirlemiştir. Ayrıca, mimari akustik projelendirmenin tasarımcılar, ses kayıt stüdyosu sahipleri, prodüksiyon şirketleri ve kullanıcılar için önemine dikkat çekmiştir.

Yılmaz (2002) gürültünün her geçen gün artan etkisini ve çözüm yollarının neler olduğunu ayrıca konutlarda farklı ses etkilerine karşı istenen gürültü düzeyini sağlayacak mekân ve yapı elemanı tasarımı ilkelerini araştırmıştır. Gürültünün zararlı etkileri ile ilgili olarak Centrell (1979) çalışmasında, gürültünün stres üzerindeki etkilerini araştırmış, kan basıncında ve hormonlarda olumsuz değişiklikler gözlemlemiştir. Ancak gürültünün ortadan kaldırılması halinde bu olumsuzlukların da ortadan kalktığını tespit etmiştir.

Topalgökçeli (1995) belirli mekânların iç gürültüsü ile dış gürültüsü tespitlerini yaparak gerekli ses geçirmezliği sağlayacak yapı kabuğu ve bölme duvar tasarımlarını yapmıştır.

Villot ve Guigou (2003) hafif panellerde ses azaltım indisini dalga yaklaşımı ile hesaplamıştır. Kirişin eğilme ve burulma empedanslarından kiriş doğrultusundaki etki kuvveti ve momenti bulunmuştur. Sonsuz panellere mekânsal pencere tekniğini uygulamak için sonlu boyuttaki panel dikkate alınmıştır. İki panel arasında boşluk olması durumu için de aynı yaklaşımla paneller tek tek ele alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır.

Wang (2004) çalışmasında, Kurtz ve Watters (1959)'da yapmış olduğu kompozit sandviç plaklardaki TL değerlerinin tespitindeki formüllerden faydalanarak, simetrik ve simetrik olmayan paneller için geliştirmiş olduğu formülasyonlar ile TL değerlerini tespit etmiştir. Ayrıca simetrik ve simetrik olmayan paneller için empedans ve iletim katsayısını kullanarak geliştirmiş olduğu formülasyon, yüksek derecede geçerlilik kazanmıştır.

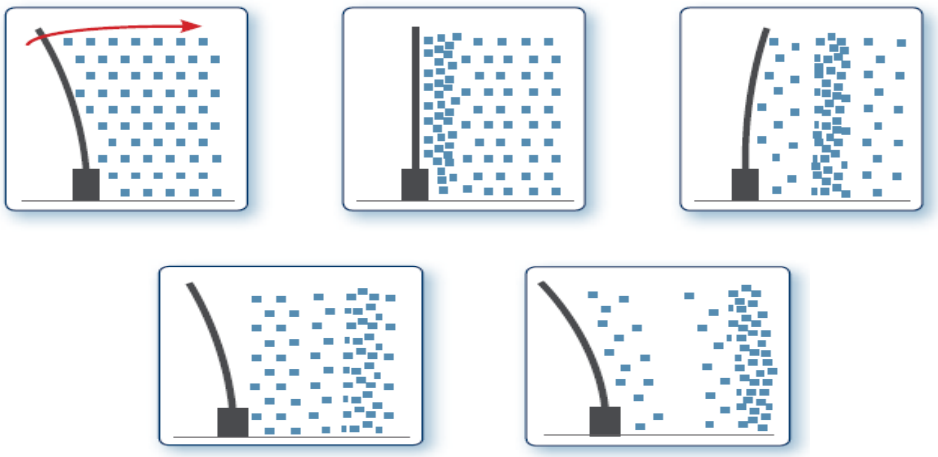
Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde farklı matematiksel modellerin TL değerlerinin tespiti için deneysel verilerle karşılaştırmalarının yapıldığı ve geliştirilen modellerin sınandığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar araştırmacılar tarafından geliştirilmiş formülasyonlar dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak literatür araştırmalarının incelenmesi sonucunda akademisyenlerin ve araştırmacıların ses yalıtım modellerine karşı ilgi duydukları; fakat çalışmalarında hangi ses yalıtım modelinin seçileceği konusunda zorluk çektikleri görülmektedir. Yapılan tez çalışmasında, akademisyenler ve araştırmacılar tarafından tercih edilen beş farklı simülasyon modeli deneysel çalışmalar sonucunda TL değerleri belirlenmiş olan onbir adet malzeme üzerinde denenmiştir. Bu sayede, hangi simülasyon modelinin hangi malzemeler üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, bu alanda çalışma yapan araştırmacılar için önem teşkil etmektedir. Ayrıca, bu alanda çalışma yapacak kişilere malzemelerin TL hesabında, simülasyon modellerinden hangilerini tercih etmeleri gerektiğini göstermesi bakımından önemli bir çalışmadır.

3. SES VE GÜRÜLTÜ

Ses, atmosferde canlıların işitme organları tarafından algılanabilen periyodik basınç değişimleridir (Macken, 1999). Sesin yayılması için maddesel ortama ihtiyaç vardır. Dolayısıyla, ses oluşumunun ve farklı ortamlardaki yayılımının bilinmesi, gürültüye karşı alınacak önlemler açısından önemlidir.

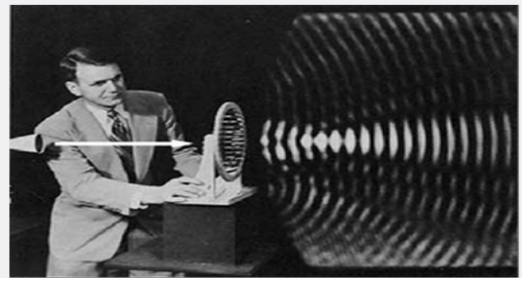
3. 1. Sesin Oluşumu ve İletilmesi

Titreşim yapan bir kaynağın, hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duyusunu uyaran fiziksel olaya ses denilmektedir (Özkan, 2001). Havada bir titreşim oluştuğunda bu titreşim, titreşimi oluşturan nesnenin denge pozisyonunun etrafındaki hava zerreciklerini hareket ettirir. Şekil 3.1'de denge halindeki bir nesnenin hareket ettirilmesinden sonra etrafındaki zerreciklerin titreşimi görülmektedir.



Şekil 3.1. Sesin titreşim sonucu meydana gelişi (ses yalıtımının temelleri)

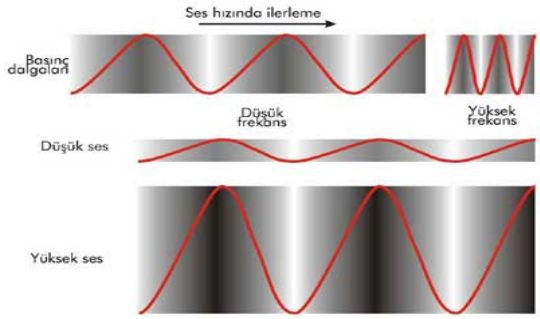
Benzer şekilde ses dalgaları sıkışma ve yayılma etkileri ile hareket eden hava zerrecikleri tarafından oluşturulur. Şekil 3.2'de ses dalgalarının oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Ses dalgalarının oluşumu (KEY Yapım)

Şekil 3.2'de 1960 tarihinde, özel bir ses merceği ve özel bir görüntüleme yöntemi kullanılmış olup sol tarafta görülen kornadan çıkan ses dalgalarının görüntüsü elde edilebilmiştir.

Ses farklı durumlar için farklı yayılmalar gösterir. Şekil 3.3'de ses dalgalarının yayılma şekillerine ait grafiksel gösterimi bulunmaktadır. Grafiklerde koyu renkli bölgeler sıkışmaları, açık renkli bölgeler ise genleşmeleri simgelemektedir. Görülen iki boyutlu eğriler, ses frekansındaki değişimlere bağlı olarak basınç dalgalarının sıkışma ve genleşme durumlarını göstermektedir. Ayrıca, sıkışma miktarı azaldıkça sesin şiddeti de azalmaktadır.



Şekil 3. 3. Ses dalgalarının farklı şekillerde yayılışı (sesin yayılması)

Bir cisim hava ortamında titreştiği zaman, yüzeyinde bulunan hava molekülleri de hareket etmeye başlar. Bu hareketler sonucu komşu moleküller de aynı biçimde titreşir ve zincirleme hareket sonucu titreşimler yayılır (D'Alessandro, 2005). İletilen bu titreşimlerin hızı duyulabilir alanlar içerisinde ise kulak zarını uyarır ve titreşimin oluşmasına neden olur. Bu titreşimler, sinirler vasıtasıyla beyne gittiklerinde, ses olarak algılanırlar. Sesin hızı, içinde hareket ettiği ortamın esneklik katsayısının kareköküne orantılıdır (Ateş, 2005). Esneklik katsayısı, bir nesne veya maddenin esneklik deformasyon eğiliminin matematiksel ifadesidir, yani bir maddenin esnekliği arttıkça,

içinden geçen sesin hızı azalır. Ses dalgalarının hızı, maddenin esneklik modülüne ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Ses, katı ve sıvılarda, gazlara göre daha hızlı yayılır. Bunun sebebi gazların esneklik modüllerinin düşük olmasıdır. Katılarda sıvılar kadar esnek olmadığından dolayı sesi daha hızlı iletirler. Sesin çelikteki ortalama hızı saniyede 5,500 metre, suda saniyede 1,450 metre, betonda saniyede 3,950 metre ve deniz seviyesinde havada saniyede 340 metredir (Özkan, 1995).

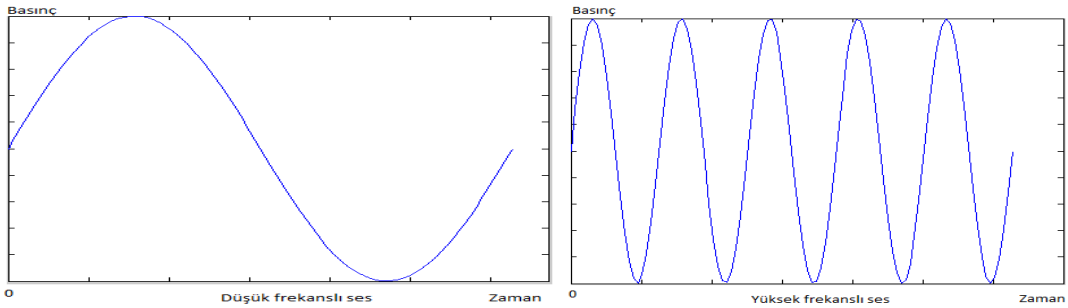
Diğer taraftan bir madde ne kadar sert ise, ses o madde içerisinde o kadar hızlı yayılır. Çizelge 3.1'de sesin farklı ortamlardaki yayılma hızı gösterilmiştir (Özgüven, 2008).

Çizelge 3.1. Sesin farklı ortamlardaki yayılma şekli

Ortam	Yayılma hızı (m/s)
Hava	340
Mantar	5,00
Kurşun	1,200
Su	1,450
Sert Kauçuk	1,400-2,400
Beton	3,000-4,300
Tahta	3,300-4,300
Dökme Demir	3,700
Cam	5,200
Çelik-Alüminyum	5,500
Tuğla	3,600

3. 2. Frekansın Önemi

Sesi oluşturan dalgaların 1 saniyedeki sayısına frekans (f) denir. Birimi Hertz (Hz) dir. İnsan kulağı 16 ile 20,000 Hz arasında olan sesleri duyabilir. En hassas olduğu frekans aralığı 1,000-4,000 Hz'dir. Gürültü ile oluşan işitme kayıpları da öncelikle bu bölgede başlamaktadır (Moore, 1975). Frekanslar düşük frekanslı ve yüksek frekanslı sesler olarak değerlendirilebilir. Şekil 3.4'de düşük ve yüksek frekanslı sesler gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Düşük ve yüksek frekanslar için basınç-zaman değişimi

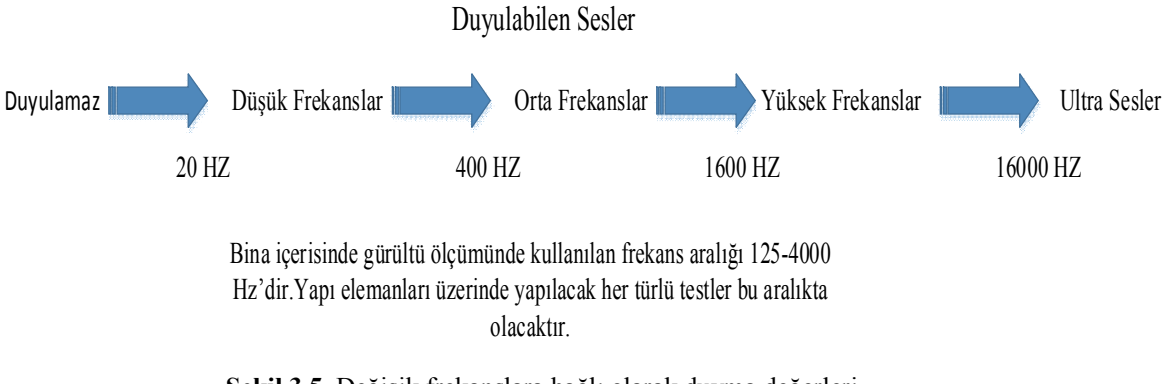
Ses ve frekans birbirine bağlantılı iki terimdir. Ses ve frekans aynı zamanda dalga boyu ile de bağlantılıdır. Denklem 3.1'de hız (c), frekans (f) ve dalga boyu (ʎ) arasındaki ilişki gösterilmektedir:

$$ʎ = \frac{c}{f} \qquad (3.\ 1)$$

Dalga boyu, ses dalgalarının bir periyotluk sürede aldığı yol olup ʎ ile ifade edilir. Bunun daha iyi anlaşılabilmesi için şu şekilde örneklendirilebilir:

17 Hz, ʎ ölçeğindeki bir ses dalgası 340/17 veya 20 metre boyundadır. Bu neredeyse yedi katlı bir bina yüksekliğini ifade etmektedir. Yine bir başka örnek verilecek olursa: 20,000 Hz ʎ ölçeğindeki bir ses dalgası 340/20,000 yani 1.7 santimetre boyundadır, yani yaklaşık olarak bir fasulye tanesi büyüklüğünü ifade etmektedir.

Sesler, farklı frekanslar için duyulabilen ve duyulamayan sesler olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.5'de değişik frekanslara bağlı olarak duyma değerleri gösterilmektedir.

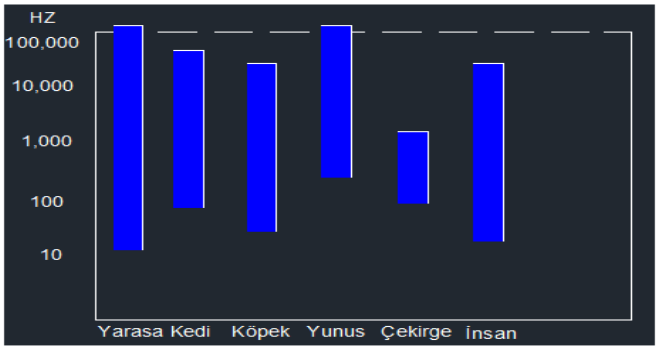


Şekil 3.5. Değişik frekanslara bağlı olarak duyma değerleri

Duyulabilen sesler incelendiğinde aşağıdaki bilgiler söylenebilir:

- İnsan kulağı yaklaşık olarak 16-20,000 Hz arasındaki seslere karşı duyarlıdır.
- Kulağın en hassas olduğu frekans ise 3000 Hz'dir.
- Normal bir konuşma 200-10,000 Hz frekans aralığını kapsar. Konuşmanın anlaşılabilir olması için 500-2,000 Hz aralığındaki frekanslar yeterlidir (Özdemir, 2012).

Canlıların işitme aralıkları açısından düşünüldüğünde Şekil 3.6'da canlı türüne bağlı olarak işitilen frekans aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.6. Canlı türüne bağlı olarak işitilen frekans aralıkları

Görüldüğü gibi her canlı için işitilen frekans aralığı farklıdır ve her frekansa karşılık gelen bir desibel değeri vardır. dB, bir ses basınç seviyesinin referans alınan bir başka ses basınç seviyesine oranının logaritması olarak tanımlanabilir. 1 dB insan kulağı ile ancak algılanabilirken, 5 dB rahatlıkla duyulabilmektedir İnsan kulağı farklı frekanslardaki sesleri farklı şiddetlerde algılamaktadır. Çizelge 3.2'de farklı frekanslara karşılık gelen ses şiddeti değerleri desibel cinsinden gösterilmiştir (Özkan, 2001).

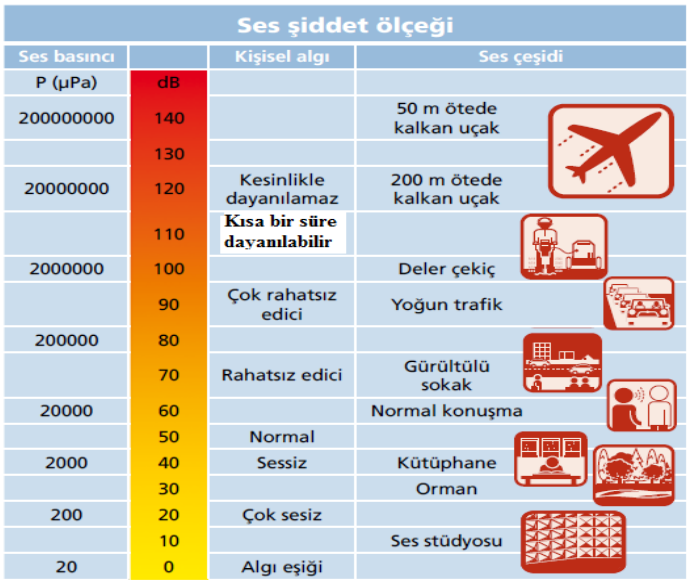
Çizelge 3.2. Farklı frekanslara karşılık gelen ses şiddeti değerleri

Frekans	Ses Şiddeti
25 Hz	65 dB
1,000 Hz	4.2 dB
2,000 Hz	1 dB
4,000 Hz	3.9 dB
20,000 Hz	35.1 dB

Ses şiddeti, sesin ürettiği enerji miktarını ifade etmektedir. Bir başka deyişle ses şiddeti, ses yayıldığında havada oluşan basınç değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Ses şiddeti, basınç seviyesindeki değişim düzeyinin referans basınçla karşılaştırılmasıyla ölçülmekte ve bir logaritmik ölçek kullanılarak hesaplanmaktadır (Bilgiç ve Sadıkhov, 1994). Denklem 3.2'de ses şiddetinin hesabı görülmektedir. Burada ses şiddeti (Lp), test edilen ses basıncı (P) ve en düşük duyulabilir ses basıncı (P_0=2*10^{-5} N/m^2) olarak ifade edilmektedir:

$$Lp = 10 \log \left(\frac{P}{Po}\right)^2 \qquad (3.2)$$

Denklem 3.2 kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda ses kaynağının şiddetindeki 20 dB'lik bir artış, ses şiddetinde 10 katlık bir artışa sebep olmaktadır. Bu şu şekilde hesaplanabilir: Lp= 20 dB ise, 20=10*log(P/1)^2'den P= 10 katlık bir artış meydana gelir. Ayrıca, insan kulağının açıkça ayırt edebileceği en küçük ses şiddeti değişim değeri, 3 desibeldir. Şekil 3.7'de gösterilen ses şiddet ölçeğinde, dB değerinde ki değişime bağlı olarak kişisel algı değişimleri belirtilmiştir.



Şekil 3.7. Ses basıncına karşılık desibel değerleri ve ortam durumları (ses yalıtımının temelleri)

Bir ortamda oluşan sesin desibel cinsinden değerini belirlerken bazı kriterler dikkate alınır. Örneğin, aynı ortamda aynı desibelde iki farklı kaynağın oluşturdukları seslerin toplam değerini bulurken, desibelleri doğrudan toplamak sonuç açısından yanlış olacaktır. Desibel hesabı yapılırken logaritmik ölçek kullanıldığı için aritmetik olarak

toplama yapılamaz. Yine benzer şekilde, aynı ortamda oluşan farklı desibelleri logaritmik toplamak gerekmektedir. Çizelge 3.3'de farklı iki kaynağın oluşturduğu gürültü değerleri ses düzeyleri arasındaki farka bağlı olarak desibellerin toplanması halinde, yüksek desibele sahip gürültü kaynağına eklenmesi gereken miktar gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Ses düzeyi arasındaki farklara göre desibellerin logaritmik toplanması

İki ses düzeyi arasındaki fark	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yüksek düzeydeki ses eklenecek dB değeri	3	2. 6	2. 1	1. 8	1. 5	1. 2	1	0. 8	0. 6	0. 5	0. 4

Yukarıdaki çizelgede de görüldüğü gibi iki ses eşit şiddette ise, toplam ses şiddetinin ölçümüne +3 desibel eklenir. Şekil 3.8'de aynı sesler için oluşan toplam ses şiddeti görülmektedir.



Şekil 3.8. İki sesin eşit şiddette olması sonucunda oluşan toplam ses şiddeti

İki ses şiddeti çok farklı ise, daha yüksek olan ses şiddeti toplam desibel ölçümünde baskın rol oynar ve daha düşük şiddetli sese ait ek dB değeri ihmal edilebilir düzeyde kalır. Şekil 3.9'da farklı sesler için oluşan toplam ses şiddeti değeri görülmektedir.



Şekil 3.9. İki sesin farklı şiddette olması sonucunda oluşan toplam ses şiddeti

Yukarıdaki ifadeler günlük hayat içerisinde de rahatça gözlemlenebilir. Yüksek ses yayan bir hoparlörün yanında duran birisi başka bir kişi ile konuşamaz; çünkü hoparlörün ses düzeyi, kişinin sesini bastırarak duyulmaz hale getirir.

3. 3. Gürültü Kaynakları

Toplumsal açıdan ve kişisel konfor açısından insanlar üzerindeki etkisi tespit edilmiş olan gürültü, çevre için zararlı olduğu kadar, yapı içinde ve yapı dışında oluşturduğu etkileri de bir hayli fazladır (Karabiber, 2000). Gürültüyü oluşturan kaynakların tespit edilmesi gürültü kaynaklarına karşı alınması gereken ilk önlemdir.

Gürültü kaynaklarını değişik yönlerden gruplandırmak mümkündür. Sesin doğuşuna bağlı olarak hava ortamında ve katı ortamında doğan gürültüler, akustik yönden ise noktasal, çizgisel ve düzlemsel kaynaklardan yayılan gürültüler olarak gruplandırılabilir (Bilgiç ve Sadıkhov, 1994).

3. 3. 1. Seslerin doğuş biçimlerine göre gürültü kaynakları

Kaynak ve alıcıların bir çevredeki konumuna ve yayılma yollarına bağlı olarak doğuş biçimli sesler iki gruba ayrılır: Bunlar yapı dışı gürültüler ve yapı içi gürültülerdir.

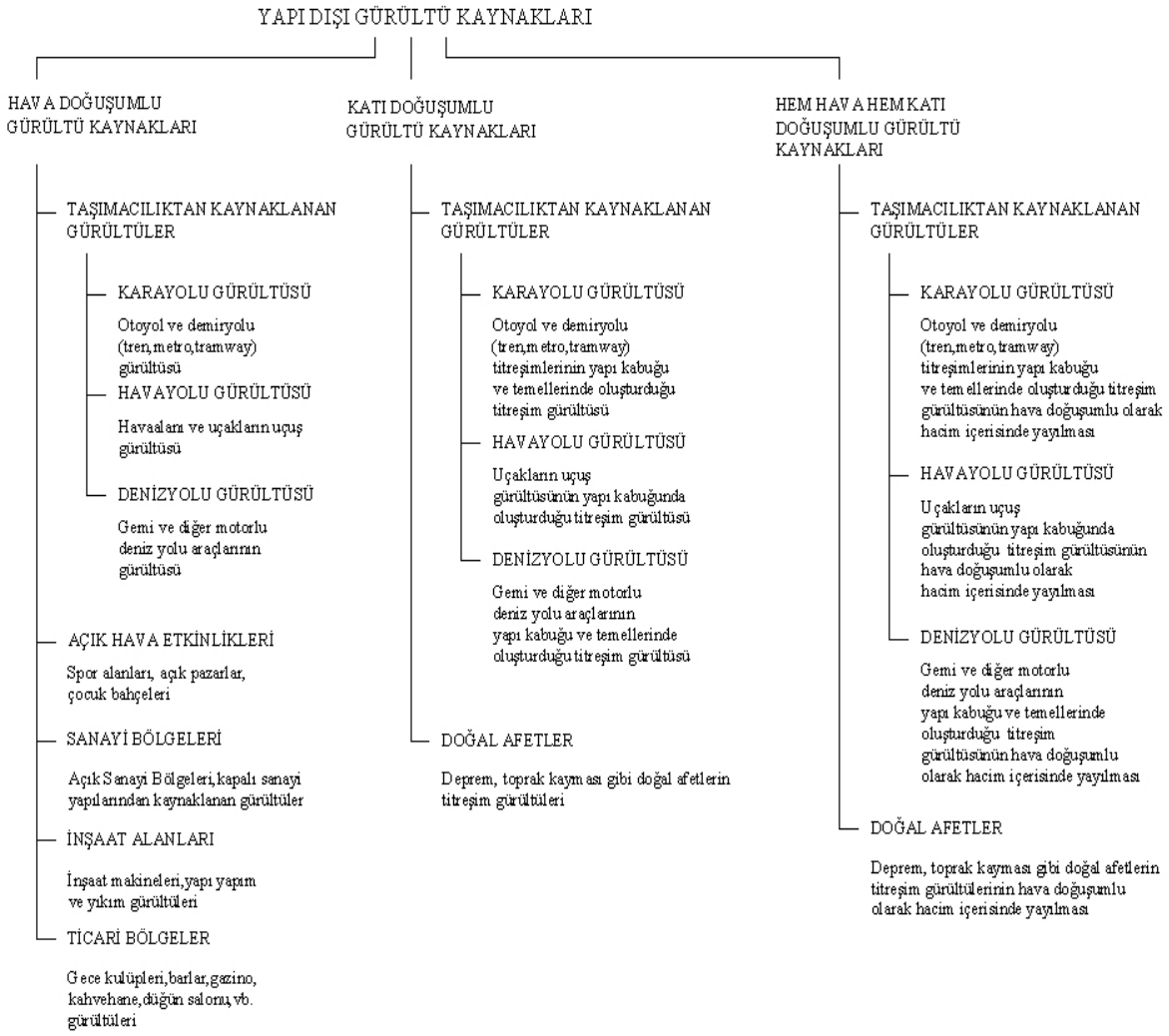
3. 3. 1. 1. Yapı dışı gürültüler

Yapıların dışındaki kaynak tarafından üretilen ve gerek yapı içi hacimleri gerekse yapı dışındaki açık alanları kullanan kişileri etkileyen gürültülerdir. Bunları aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür:

- İnsanların neden olduğu gürültüler (yüksek enstrümantal sesler, spor aktiviteleri ve poligon alanları, vb.)
- Reaksiyon ve ticari amaçlı gürültüler (oyun parkları, konserler, festivaller, vb.)
- Yapım gürültüleri (otoyol ve her türlü yapım işlerinin ve iş makinelerinin gürültüleri)

- Endüstri gürültüleri (çeşitli makineler, motorlar ve imalat işlerinden doğan gürültüler)
- Ulaşım gürültüleri (karayolu, denizyolu, demiryolu, uçak ve havaalanı gürültüleri) (Anonim, 1986).

  Yapı dışı gürültüler ayrıca Şekil 3.10'daki gibi de gösterilebilir.



Şekil 3.10. Yapı dışı gürültü kaynakları (Yavuz, 2007)

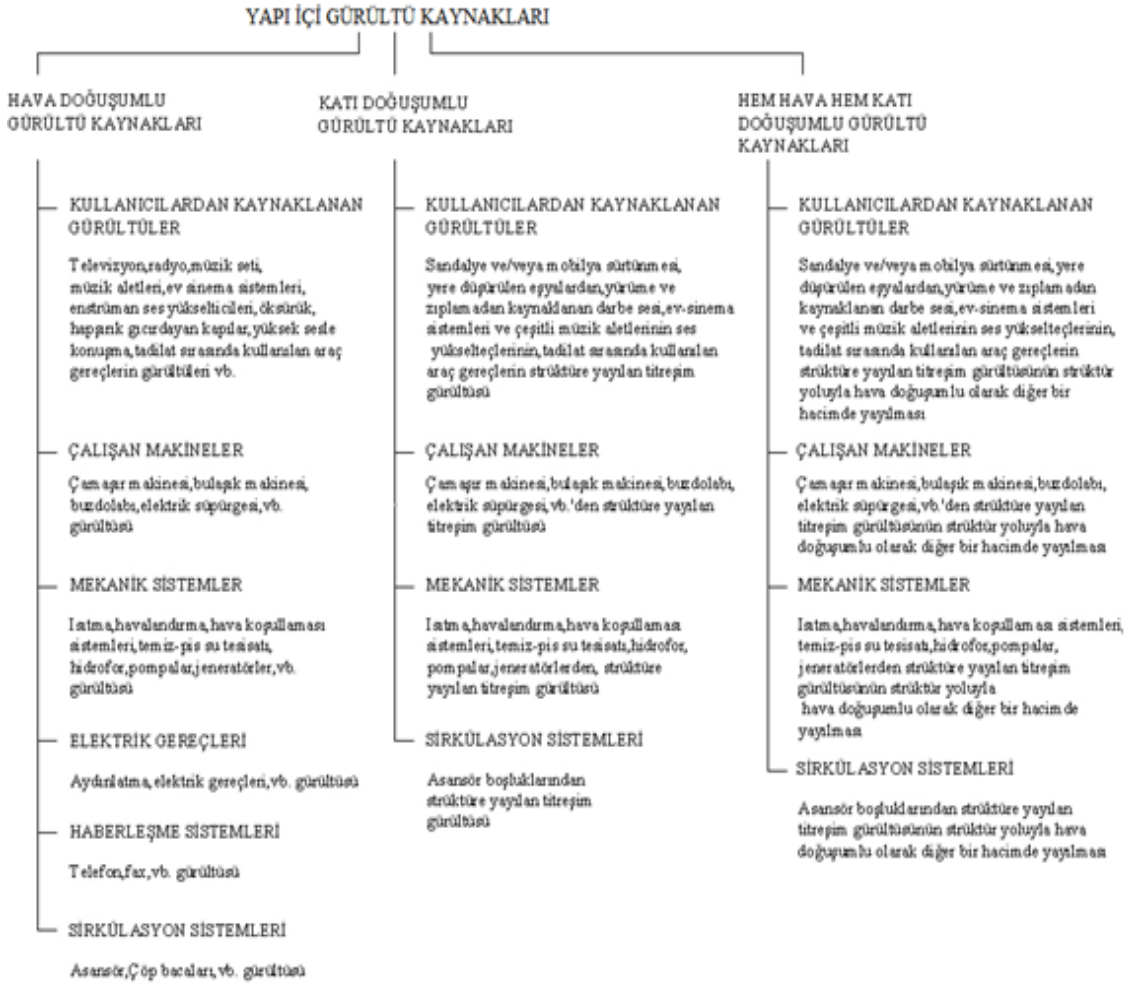
3. 3. 1. 2. Yapı içi gürültüler

Yapı içi gürültüler, yapının içinde yer alan kaynakların oluşturduğu gürültülerdir. Bunlara sırasıyla:

- Konuşma, zıplama ve bağırma sesleri, vb.
- Düşme ve eşyaların taşınması ile oluşan gürültüler

- Ofis, iş merkezi, oyun salonları gibi yapı içinde yer alan her türlü iş yerlerinden gelen gürültüler
- Her türlü makine donanımlarının oluşturduğu gürültüler (yürüyen merdiven, havalandırma ve benzeri) verilebilir (Anonim, 1986).

Yapı içi gürültüler ayrıca Şekil 3.11'deki gibi de gösterilebilir.



Şekil 3.11. Yapı içi gürültü kaynakları (Yavuz, 2000)

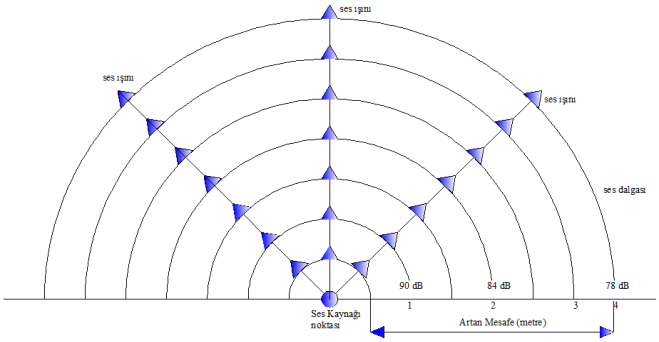
3. 3. 2. Akustik yönden gürültü kaynakları

Akustik yönden gürültü kaynakları sırasıyla üç başlık altında incelenebilir. Bunlar:

- Noktasal gürültü kaynakları
- Çizgisel gürültü kaynakları ve
- Alansal (düzlemsel) gürültü kaynaklarıdır.

3. 3. 2. 1 Noktasal gürültü kaynakları

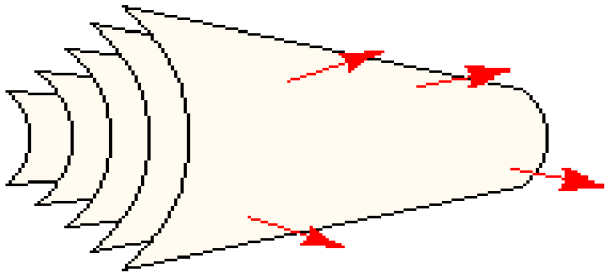
Bir gürültü kaynağından çıkan ses her yöne eşit olarak yayılıyor ve bu yayılım küresel bir dağılım gösteriyorsa, bu kaynağa "noktasal gürültü kaynağı" denilmektedir. Bir konser salonundan 100 m ve 500 m uzakta bulunan iki yerleşim yerinde hissedilen gürültü dB olarak farklıdır. Dolayısıyla bu konser alanı noktasal kaynağa örnek verilebilir (Özdemir, 2012). Şekil 3.12'de bir noktasal kaynak örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Noktasal Kaynak

3. 3. 2. 2. Çizgisel gürültü kaynakları

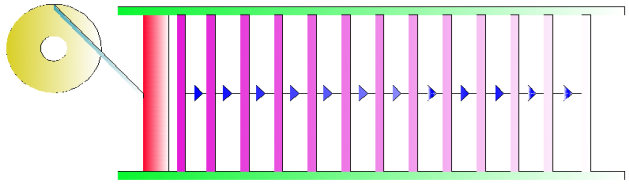
Noktasal kaynakların bir hat üzerinde yan yana bulunmaları ile çizgisel gürültü kaynakları meydana gelir. Demiryolları, karayolları, hava yolları, deniz araçları ve iş makinelerinden kaynaklanan gürültüler çizgisel gürültü kaynaklarına örnek verilebilir. (Bilgiç ve Sadıkhov, 1994). Şekil 3.13'de çizgisel bir kaynak örneği görülmektedir.



Şekil 3.13. Çizgisel Kaynak

3. 3. 2. 3. Alansal (Düzlemsel) gürültü kaynakları

Bir düzlem üzerinde yer alan gürültü kaynaklarına "alansal gürültü kaynakları" denir. Alıcı noktaya yakın olan bir eğlence yeri buna örnek verilebilir. Şekil 3.14'de bir alansal kaynak örneği görülmektedir.



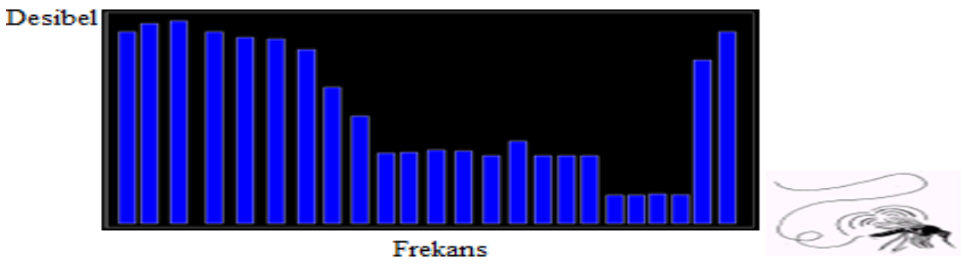
Şekil 3.14. Alansal Kaynak

3. 4. Frekans dağılımına göre gürültüler

Frekans dağılımına bağlı olarak gürültüler, geniş bant gürültüler ve dar bant gürültüler olarak ikiye ayrılır.

3. 4. 1. Geniş bant gürültü

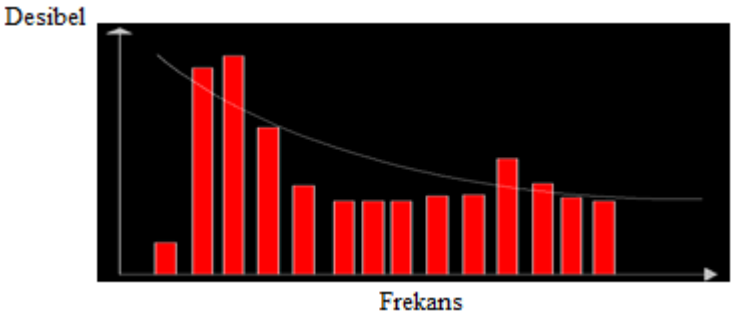
Gürültüyü oluşturan arı seslerin frekansları geniş bir aralığı kapsar. Gürültünün frekans spektrumu yayılmış, belirgin bir frekans bandında toplanmamıştır. Gürültüyü meydana getiren sesin frekansı, bir veya birkaç frekans aralığına değil, bütün frekansları içerecek şekilde tüm frekans boyunca yayılmıştır (Şerefhanoğlu, 1994). Sürekli geniş bant gürültüsüne örnek olarak bir beyaz gürültü olan konuşma sesi gürültüsü verilebilir (Doelle, 1972). Şekil 3.15'de geniş bant gürültüsünün belirgin bir frekans bandında toplanmadığı görülmektedir.



Şekil 3.15. Geniş bant gürültü

3. 4. 2. Dar bant gürültü

Gürültünün frekans spektrumu belirgin bir frekans bandında toplanmıştır. Bu gruba giren seslerde genel olarak birkaç frekans yoğun olarak yer alır (Özdemir, 2012). Diğer bir deyişle, gürültü içindeki belirgin tonlar açık olarak işitilebilir. Ray üzerinde hızla hareket eden bir trenin çıkardığı ses yüksek frekanslara sahip olduğundan bu sınıf içinde yer alır. Şekil 3.16'da bir trenin çıkarmış olduğu ses neticesinde oluşan frekans değişimi dar bant gürültüye ait örnek olarak gösterilmektedir.



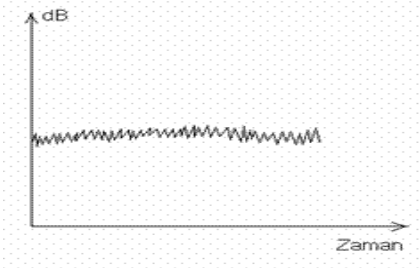
Şekil 3.16. Dar bant gürültü

3. 4. 3. Ses düzeyinin zamanla değişme şekline göre gürültüler

Ses düzeyinin zamanla değişme şekline bağlı olarak gürültü, kararlı gürültü ve kararsız gürültü olarak iki başlık altında incelenebilir (Kılavuz, 2011):

3. 4. 3. 1. Kararlı gürültü

Gürültü seviyesinde zamanla ciddi bir değişimin gözlenmediği gürültülerdir. Pompaların ve fanların oluşturdukları çevresel gürültülerin yanı sıra Şekil 3.17'de gösterilmiş olan sabit hızla çalışan bir motorun oluşturduğu gürültü, kararlı gürültüye örnek olarak verilebilir.

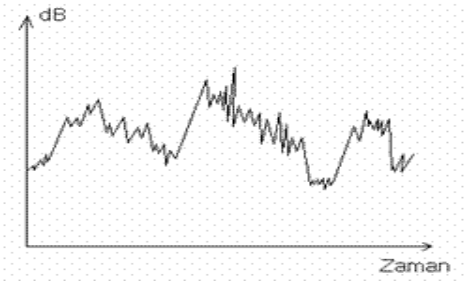


Şekil 3.17. Kararlı gürültü

3. 4. 3. 2. Kararsız gürültü

Gürültü düzeyinde zamanla önemli değişikliklerin gözlendiği gürültü türüne kararsız gürültü denilmektedir. Bu tür gürültü dalgalı, kesikli ve anlık gürültü olarak da bilinir.

Kararsız gürültünün diğer bir şekli de darbe gürültüsüdür. Darbe gürültüsünün kesikli gürültüden farkı, her gürültü anının darbe gürültüsünden çok kısa olmasıdır. Bundan dolayı oluşan gürültü zamanla ani değişimler göstermektedir (Şerefhanoğlu, 1994). Şekil 3.18'de darbe gürültüsüne bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.18. Kararsız gürültü

3. 5. Gürültünün Süreç İçinde Artan Önemi

Teknolojik gelişmelere paralel olarak her geçen gün artan etkisiyle dikkat çeken gürültü, çevre kalitesi başta olmak üzere insanların sağlığını, huzurunu ve konforunu olumsuz yönde etkilemektedir.(Lehman, 1970). Gürültü, insanlar tarafından tahammül edilemeyen, istenmeyen, huzursuzluk veren ses olarak tanımlanabilir. Ses, nesnel bir kavramdır, ölçülebilir ve kişilere bağlı olarak değişmez; fakat gürültü öznel bir kavramdır ve yaşa, cinsiyete, ortam koşullarına ve benzeri şartlara bağlı olarak kısaca kişisel algıya göre değişmektedir. Örneğin, kimilerinin severek, eğlenerek ve zevk alarak dinlediği bir müzik sesi bir başkasını rahatsız edecek düzeyde olabilir.

İçinde yaşadığımız yüzyıl sanayileşme ve ekonomi açısından sürekli artan ve ivme kazanan bir yüzyıldır (Erbaş, 2013). Bunun sonucunda da her geçen gün şehir sayısı ve şehirlerde yaşayan nüfus yoğunluğu artmaktadır. Artan nüfus yoğunluğu da haliyle insanların çevreleri ile ilişkilerinde bazı problemlere yol açmaktadır. Geçmişten günümüze şehir sayıları ve nüfus yoğunluğundaki artışlar göstermektedir ki gelecekte

kalabalık ve yaşanması güç birçok şehir ortaya çıkacak, üstelik bu şehirler sorunları ile birlikte büyüyecektir (Doelle, 1972).

Yirmi birinci yüzyılda gelişen teknolojinin insanların yaşam standartlarını bir taraftan iyileştirirken diğer taraftan da ciddi tahribatlara yol açtığı gözlenmiştir. Toplumdaki kültürel, ekonomik ve politik gelişmeler sanayileşmenin olumlu yönlerini bize gösterirken, her geçen gün artan ve insanları rahatsız eden çevre ve ortam sorunları olumsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ve sanayileşme beraberinde çevre sorunları, işçi sağlığı ve işçi güvenliği sorunlarını da gündeme getirmektedir (Çam, 1993). Bu sorunların en başında görülen gürültü, insanların sağlığı, mutluluğu ve huzuru üzerinde oldukça etkilidir. Gürültü, insanları psikolojik, fizyolojik ve sosyal yönden etkilediği gibi verimliliği de azaltmaktadır (Toprak ve Aktürk, 2004).

3. 6. Gürültü ve Etkileri

Gürültünün zararı uzun süredir bilinmektedir. Gürültünün dolaylı ve dolaysız, geçici ve kalıcı türde zararları vardır. Bu zararları, yalnızca insanları huzursuz etmekle kalmayıp, onları psikolojik ve fizyolojik açıdan da etkileyecek boyutlara ulaşmıştır. Gürültünün insanlar üzerindeki zararının bir kötü yanı da açıkça belli olmaması, etkisinin büyüklüğünün tahmin edilememesi, kısaca "sinsi" oluşudur (Forster, 1970). Çizelge 3.4'de gürültü seviyesindeki artışa bağlı olarak toplumun bu değişimden etkilenme seviyesi ve tepkileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Oluşturduğu olumsuz etkilere göre gürültü seviyelerinin toplum tarafından algılanma şekilleri (Kurra,1991)

Artış (dB)	Değişimin Toplum Tarafından Algılanması	Gürültünün Etkisi
0	**Ayırt** edilmez	Yok
3	Değişim Ancak Fark Edilebilir	Çok Az
3-5	Değişim Kolayca Fark edilebilir	Az
5-7	Aralıklı Şikâyetler Görülebilir	Orta Seviyede
7	Rahatsız Olunur	Orta Seviyede
7-10	Aralıklı Şikâyetler	Yüksek
10-15	Geniş çaplı Şikâyetler	Çok Yüksek
15-20	Grup Reaksiyonları Görülebilir	Çok Yüksek

Çizelge 3.4'de ifade edildiği gibi ses şiddetindeki değişimin artmasına bağlı olarak toplum tarafından sesin gürültü olarak algılanması da artmaktadır. Bu artış, insanların tahammül sınırlarını zorlamaktadır. Ses şiddetinde yaklaşık 20 dB'lik bir artış toplum tarafından dayanılmaz bir noktaya ulaşırken, 0 dB toplum tarafından fark edilemez bir düzeyde kalmaktadır.

3. 7. Oluşturduğu Etkiye Göre Gürültü Düzeyleri

Oluşturduğu etkiye göre gürültü düzeyleri kısaca şöyle özetlenebilir (Özdemir, 2012):

- **1. Derece Gürültü Düzeyi:** İletişimi negatif yönde etkileyen sosyal etkilerin, rahatsızlık duygusunun, öfkenin, kızgınlığın, konsantrasyonun ve uyku bozukluğunun artışına neden olan 30-60 dB(A) arası gürültülerdir. A ağırlıklı ses düzeyi olarak tabir edilen dB(A), gürültünün etkilenim değerlendirilmesi ve kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kılavuz, 2011).
- **2. Derece Gürültü Düzeyi:** 1. derecedekilere ek olarak fizyolojik bozukluklar da yapar. Solunum hızlanması, kalp atışlarının yavaşlaması gibi etkileri olan 60-90 dB(A) arası gürültülerdir.
- **3. Derece Gürültü Düzeyi:** Sosyal, psikolojik, fizyolojik etkilerin yanında baş ağrıları ve geçici duyma bozuklukları oluşturan 90-120 dB(A) arası gürültülerdir.
- **4. Derece Gürültü Düzeyi:** Tüm önceki etkilerin yanında sağırlığa neden olan 120-140 dB(A) arası gürültülerdir.
- **5. Derece Gürültü Düzeyi:**. Ciddi beyin tahribatı (felç) ve şok etkisinden dolayı kalp krizleri gibi önemli rahatsızlıklara neden olan 140 dB(A) ve üzerindeki gürültülerdir.

Bunun yanında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Gürültü Kirliliği Yönetmeliği'ne (ÇGDYY, 2002) göre gürültüye maruz kalma süreleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

- 80 dBA en çok 7.5 saat/gün
- 90 dBA en çok 4 saat/gün

- 95 dBA en çok 2 saat/gün
- 100 dBA en çok 1 saat/gün
- 105 dBA en çok 0.5 saat/gün
- 110 dBA en çok 0.25 saat/gün
- 115 dBA en çok 1/8 saat/gün olarak kabul edilmiştir (Köyağasıoğlu, 1988).

3. 8. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Gürültü, insanların işitme sağlığını ve algılamasını olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengelerini bozabilen, iş yapma gücünü yani verimliliğini azaltan, çevrenin hoşluğunu ve sakinliğini yok ederek niteliğini değiştiren çok önemli bir çevre kirliliğidir (Ekinci ve ark., 2004). Gelişmiş ülkelerde diğer kirlilik türlerinin yanında kişisel ve toplumsal refahın göstergesi sayılmaktadır (Toprak ve Aktürk, 2004).

Günümüzde yoğun iş temposu insanların gürültüye olan tahammüllerini azaltırken, bu konu üzerinde gerekli önlemlerin alınmayışı da düşünülmesi gereken bir durumdur. Gürültü sorunları da diğer çevre sorunları gibi değişik boyutlara sahiptir. Gelişen ve gelişmekte olan ülkelerde de bu sorun hızla artmakta, olumsuz etkileri fark edilmekte; fakat alınan önlemlerin ise yeterli olmadığı görülmektedir (Belgin, 1994).

Kırsal kesimlere kıyasla şehirlerde yaşamlarını sürdüren insanların gürültüden fazlasıyla etkilendikleri görülmektedir. Özellikle büyük şehirlerdeki gürültü kirliliğinin artış hızı insanlar için tehdit oluşturacak düzeylere çıkmaktadır. Günümüzde çevresel gürültü en zararlı ve rahatsız edici çevresel faktörlerden birisi olma yolunda ilerlemektedir (Chauhan, 2008). Avrupa Komisyonu Raporunda çevresel gürültünün olumsuz etkileri üzerinde durulmuş ve çıkan sonuçlar şu şekilde belirtilmiştir:

- Avrupa nüfusunun yaklaşık beşte biri çevresel gürültü seviyesi 65 dB(A)'dan fazla olan ve kara bölge olarak ifade edilen bir bölgede yaşamak zorunda kalmaktadır.
- Benzer şekilde yaklaşık 170 milyon insan gri bölge olarak bilinen, gürültü seviyesi 55 dB(A)'dan fazla olan bölgelerde yaşamaya mahkum edilmişlerdir.
- Son olarak da ortalama bir şehir için gürültü kirliliğinin oluşumunda otomobillerin, demiryollarının, ulaşım araçlarının, uçak gürültülerinin, endüstriyel fabrikaların ve inşaat işlerinin sırasıyla, %65, %75, %10, %5 ve %10 oranında etkilerinin olduğu saptanmıştır.

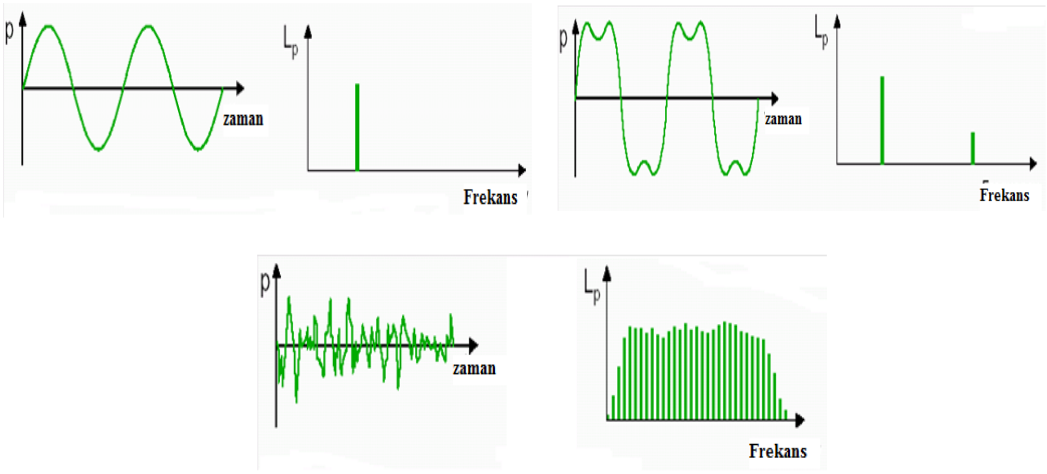
Avrupa Komisyonu Raporunda tespit edilen bu değerler diğer bölge ve şehirler içinde ufak değişikler göstermektedir (Büyüklü, 2011)**.** Gürültünün insan sağlığına olan olumsuz etkileri, hava kirliliği, su kirliliği kadar önem taşımaktadır. Çağımızın yorucu temposu içerisinde büyük şehirlerde yaşayan insanlar bu önemli faktörle birlikte yaşamaya mahkûm edilmektedir. Oluşturduğu olumsuz etkilere bağlı olarak gürültü düzeyleri Çizelge 3.5'de görülmektedir (Kurra, 1991). Verilen gürültü seviyeleri dB(A) cinsinden olup, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)' ne göre dB(A); insan işitme sisteminin en duyarlı olduğu orta ve yüksek frekanslara daha fazla ağırlık veren bir ses düzeyi ölçütüdür (Toprak ve Aktürk, 2004).

Çizelge 3.5. Oluşturduğu olumsuz etkilere göre gürültü seviyeleri (Evirgen,1994)

Gürültü Derecesi	**Etkilenme Aralığı (dBA*)***	**Sağlık Üzerine Etkileri**
1. Derecedeki gürültüler	30-65	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku düzensizliği ve konsantrasyon bozukluğu.
2. Derecedeki gürültüler	65-90	Fizyolojik reaksiyonlar; kan basıncı artışı, kalp atışlarında ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3. Derece gürültüler	90-120	Fizyolojik reaksiyonlar, baş ağrıları.
4. Derece gürültüler	120-140	İç kulakta devamlı hasar, dengenin bozulması
5. Derece gürültüler	>140	Ciddi beyin tahribatı, kulak zarının patlaması

3. 9. Frekans Analizi ve Oktav Bantları

Periyodik sesler kendilerini oluşturan harmoniklere ayrıldığı gibi, periyodik olmayan karmaşık sesler de sonsuz sayıda harmonik fonksiyonun toplamı şeklinde düşünülebilir. Bu bağlamda, teorik olarak sıfırdan sonsuza kadar her frekanstaki fonksiyonun, verilen karmaşık bir fonksiyonu oluşturmakta katkısının olabileceği görülür. Her frekanstaki fonksiyonun katkısını frekansın fonksiyonu olarak çizersek sürekli bir eğri elde edilir. Bu tür eğrilere "frekans dağılımı eğrileri" veya **"**frekans spektrumu" denir. Periyodik bir fonksiyonun frekans spektrumu çizilirse, yalnız belli frekanslar için değerler bulunur. Şekil 3.19'da üç tip fonksiyonun frekans dağılımı eğrilerinin nasıl olacağı gösterilmektedir (Çevre Yönetimi).

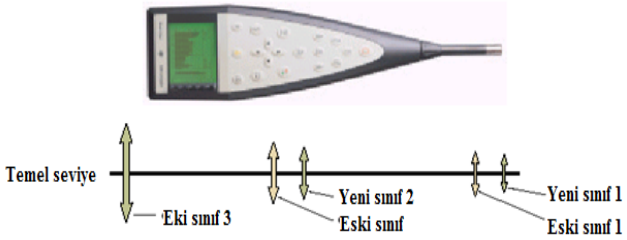


Şekil 3.19. Farklı tipteki fonksiyonların frekans dağılım eğrilerine karşılık ses şiddeti değerleri (Özdemir, 2012)

Doğada rastlanılan sesler genellikle karmaşık sesler olduğundan, frekans analizi, ses ölçümü ve analizi de önemli bir yer tutmaktadır. Karmaşık bir sesin frekans dağılımı incelenirse, o sesin daha çok hangi frekanstaki seslerden oluştuğu kolayca görülebilir.

Gürültü kontrolü açısından, birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir (Jensen, 1995). Çünkü gürültü kontrolünü sağlamak için alınacak önlemler, yayılması ya da doğması önlenecek sesin frekansına bağlı olarak değişebilir. Ayrıca her kulağın gösterdiği duyarlılık farklıdır. Bir ses kaynağının çıkardığı sesin frekans dağılımını elde etmek için birçok değişik ölçüm aygıtı kullanılabilir. Temel kural, gelen sinyalleri süzerek (filtre ederek) istenilen frekanslardaki bileşenlerin büyüklüğünü ölçmektir (Doelle, 1972). Geçmesine izin verilen frekans aralığını değiştirerek, her frekans bandındaki bileşenlerin katkısı bulunabilir.

Burada önemli olan, gelen sinyalin hangi genişlikteki frekans bantlarından süzülmesi gerektiğinin bilinmesidir. Çok geniş bant aralığı kullanıldığında frekans ölçümleri fazla bir anlam taşımamaktadır. Buna karşılık çok dar bant aralığı kullanılması, gereksiz zaman kaybına neden olmaktadır. Bant genişliği, genellikle yapılacak analizin niteliğini ve duyarlılığını belirler. Şekil 3.20'de bant aralıklarının durumu görülmektedir (Özdemir, 2012).



Şekil 3.20. Ses basınç düzeyinin ölçümü için kullanılan cihaz

3. 9. 1 Oktav Bantları

İşitilen sesler, aralığı 16-20,000 Hz arasında yaklaşık olarak 20,000 tane frekanstan oluşur. Bu 20,000 tane frekansta işlem yapmak oldukça zor ve zahmetli olduğundan 20,000 tane frekans bazı aralıklara bölünmüştür. Ses analizlerinde incelenecek frekans aralıklarına "oktav bandı" denir. Her oktav bandında çok sayıda frekans vardır, alçak frekansların özellikleri çok sık aralıklarla değiştiğinden, alçak frekansların oktav bantlarında frekans sayısı az, yüksek frekanslı oktav bandında frekans sayısı daha fazladır. Bu sayı alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru artar.

Oktav bandında, bandın üst sınır değeri, alt sınır değerinin iki katıdır ve her bandın üst sınır değeri, bir sonraki bandın alt sınır değeridir. Her bandın merkez frekansı ise alt ve üst sınır değerlerinin aritmetik ortalaması olmayıp, geometrik ortalamasıdır. Matematiksel olarak Denklem 3.3 ve 3.4'deki gibi ifade edilir:

$$f_2 = 2 * f_1 \tag{3. 3}$$

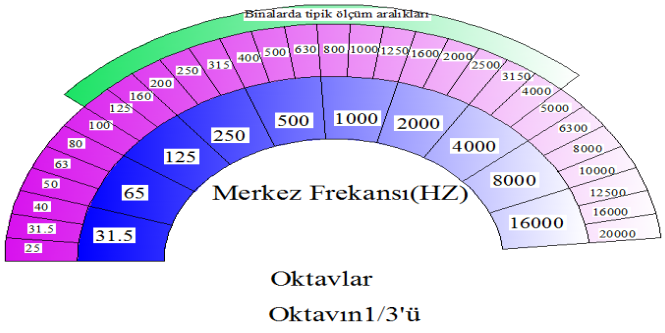
$$f_0 = \sqrt{2} * f_1 = \frac{f_2}{\sqrt{2}} \tag{3. 4}$$

Burada f_1 alt sınır frekansı, f_2 üst sınır frekansı ve f_0 merkez frekansıdır. Çizelge 3.6'da oktav bant aralıkları ve merkez frekansları görülmektedir (Kılavuz, 2011).

Çizelge 3.6. Oktav bant aralıkları ve merkez frekanslar

Merkez Frekans, (f_0)	Alt Sınır Frekansı, (f_1)	Üst sınır Frekansı, (f_2)
31.5	22	44
63	44	88
125	88	177
250	177	355
500	355	710
1,000	710	1,420
2,000	1,420	2,840
4,000	2,840	5,680
8,000	5,680	11,360
16,000	11,360	22,720
31.5	22	44

Standart olarak kabul edilen oktav bantlarının merkez frekansları 31.5, 63, 125, 250, 500, 1,000, 4,000, 8,000 ve 16,000 Hz dir. Analizlerde genellikle 31.5 ve 16,000 Hz bantları kullanılmaz. Standart oktav bandı ile 1/3 oktav bandı Şekil 3.21'de görülmektedir.



Şekil 3.21. Merkez frekans, oktav bant ve 1/3 oktav bantların gösterimi

Üçte-bir oktav, daha kesin bilgi elde etmek için oktavın aktif bandını üç parçaya bölerek hesaplanabilmektedir. Sesler bir oktavı veya üçte-bir oktavı ölçebilen sonometreler ile ölçülmektedir. Binalarda tipik ölçüm aralığı 125-4,000 Hertz aralığı olarak kabul edilmektedir (Kılavuz, 2011).

4. BİNALARIN YERLEŞİM ŞEKİLLERİ VE GÜRÜLTÜ OLUŞUMU

Ses, başlangıçta düz bir çizgi halinde yayılmaktadır. Gürültüden etkilenen bir konuttan yola doğru bakıldığında, gürültünün yalnızca mesafe arttıkça azaldığı görülür. Bundan dolayı, yapılan binaların gürültü kaynağına olan uzaklıkları ne kadar fazla olursa insanların yaşam kaliteleri o kadar iyi olmaktadır. Binalarda gürültü oluşumunu hava doğuşumlu gürültüler, darbe kaynaklı gürültüler ve ekipman kaynaklı gürültüler açısından incelemek alınacak önlemler bakımından önemlidir (Gangwar ve ark., 2006).

4. 1. Binalarda Gürültü

Binalarda gürültü kirliliği rahatsız edici ses kaynaklarının varlığından kaynaklanmaktadır. Rahatsızlık sebepleri dış kaynaklar (trafik gibi) ve iç kaynaklar (bina tesisatı, bir odadaki gürültü vb.) olabilmektedir. Ses bakımından ele alındığında bina içi alanlar iki türe ayrılır (Tang ve Tong, 2004): Bunlardan birincisi kaynak alanlarıdır ki bu alanlar gürültünün oluştuğu alanlardır. Bir diğeri ise alıcı alanlardır, bu alanlarda dinlenme alanları olarak bilinir. Ayrıca binaları etkileyen farklı gürültü çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla hava doğuşumlu, darbe kaynaklı ve ekipman kaynaklı gürültülerdir.

4. 2. Hava doğuşumlu gürültüler

Ses dalgaları havada hareket ederek ulaştıkları yapı elemanlarının titreşmesine neden olurlar (Sabuncu, 1994). Oluşan titreşimler yayılarak ortamdaki çeşitli boşluklardan geçerek ses kaynağına komşu olan hacme iletilir. Hava doğuşumlu ses iletimine, şarkı söyleme, müzik dinleme vb. faaliyetler örnek verilebilir.

Bir ortamın ses yalıtımı o ortamı ses kaynağından ayıran bir bölücü eleman ile sağlanır. Havada dalgalar halinde yayılan ses moleküllerinin bu bölücü elemana çarpmasıyla, bölücü elemanın titreşmesine ve sesin bir kısmının iletilmesine neden olurlar. Ayrıca iletilen sesin şiddeti malzemelerin TL değerine bağlı olarak değişmektedir. Bölmeden iletilen sesin bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ses geçiş katsayısını (τ) verir. Elemanın TL değeri ise bu katsayıya bağ1ı olarak Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'deki gibi hesaplanmaktadır (Demirkale, 1999):

$$TL=10log\frac{1}{\tau}\ \text{dB veya} \quad (4.\ 1)$$

$$TL=10\log\frac{\text{bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{bölmeden geçen sesin şiddeti}} \quad (4.\ 2)$$

İki reverberasyon hacmi arasındaki bölmenin TL değeri, bölmenin alanı (S), alıcı hacmin yutuculuğu (a) ve gürültü azaltımına (NR) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$TL=L1-L2+10\log(S/a) \quad (4.\ 3)$$

Burada:

L1: Ses kaynağının bulunduğu odadaki ses şiddeti, dB

L2: Ses kaynağına bağlı olarak alıcı odadaki ses şiddeti, dB

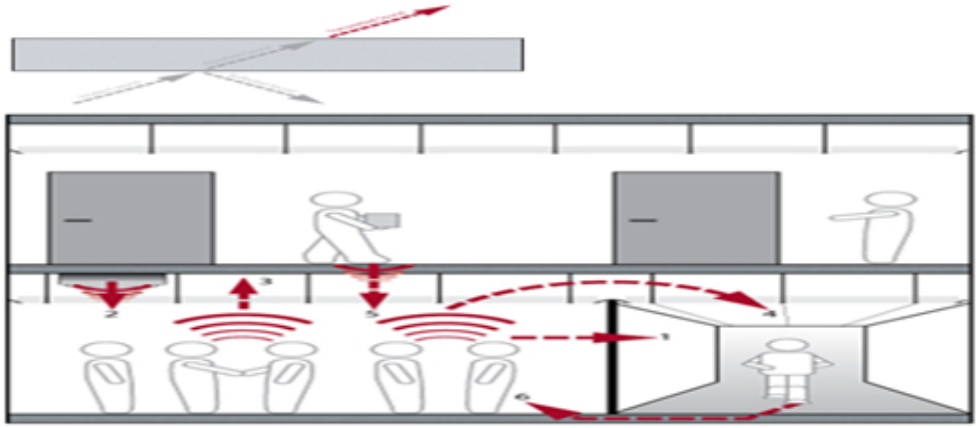
S: Ses ileten duvarın alanı, m2

a: Alıcı odasının toplam emicilik değeri, Sabin değeri, m^2

L1—L2: Bölmenin gürültü azaltımıdır (Özdemir, 2012).

4. 3. Darbe Kaynaklı Gürültüler

Bir nesnenin yapı elemanına çarpması, yapı elamanının her iki yüzeyinin de titreşmesine bağlı olarak ses dalgalarının oluşmasına ve bu dalgaların bulunulan hacimle bitişik olan diğer hacimlere iletilmesine neden olur. İşte bu tip ses iletimine de darbe kaynaklı ses iletimi denilmektedir. Darbe kaynaklı ses iletimine örnek olarak: ayak sesleri, zıplama, eşyaların düşürülmesi, sürüklenmesi vb. verilebilir (İzoder, 2009). Ayrıca darbe kaynaklı gürültü oluşumunu engellemek için kullanılan ses yalıtım malzemelerine örnek olarak polietilen, kauçuk köpüğü, mineral yünler ve ahşap yünü verilebilir. Şekil 4.1'de darbe kaynaklı ses iletimi görülmektedir.



Şekil 4.1. Darbe kaynaklı gürültülerin oluşumu (ses yalıtımının temelleri)

4. 4. Ekipman Kaynaklı Gürültüler

Ekipman kaynaklı gürültüler, hava ve darbe kaynaklı gürültülerin bileşimidir. Bu tür gürültülere örnek olarak tuvalette sifon çekilmesi, klima veya asansörlerin neden olduğu gürültüler gösterilebilir. Hava kaynaklı, darbe kaynaklı ve ekipman kaynaklı gürültü çeşitleri Şekil 4.2'deki gibi özetlenebilir.

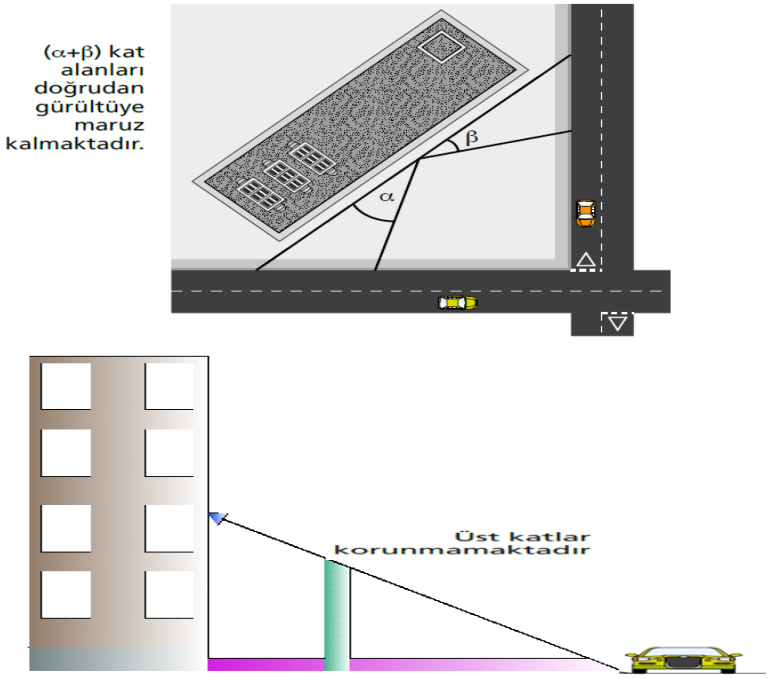


Şekil 4.2. Hava doğuşumlu, darbe kaynaklı ve ekipman kaynaklı gürültülerin oluşumu (ses yalıtımının temelleri)

4. 5. Binaların Yerleştirilmesi ve Konumlandırılması

Yapı bloğunun rastgele seçimi, gürültü sorununu ortaya çıkarmakta hatta gürültü seviyesinin artmasına dahi neden olabilmektedir. Böyle hataların giderilmesi genellikle çok masraflı olmakta, çoğu zaman ise düzeltilmesi imkânsız hale gelmektedir. Bu nedenle, yapı elemanlarının gelen ses ışınları karşısındaki davranışlarını bilmek,

alınması gereken önlemler bakımından önemlidir. Şekil 4.3'de binaların gürültüye maruz kaldığı durumlara ait örnekler gösterilmiştir.



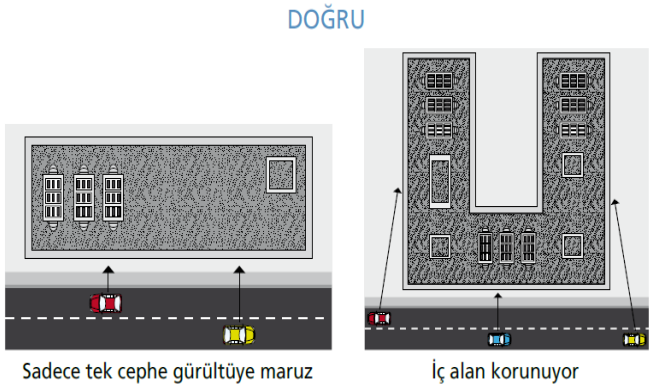
Şekil 4.3. Binaların gürültüye maruz kaldığı durumlar

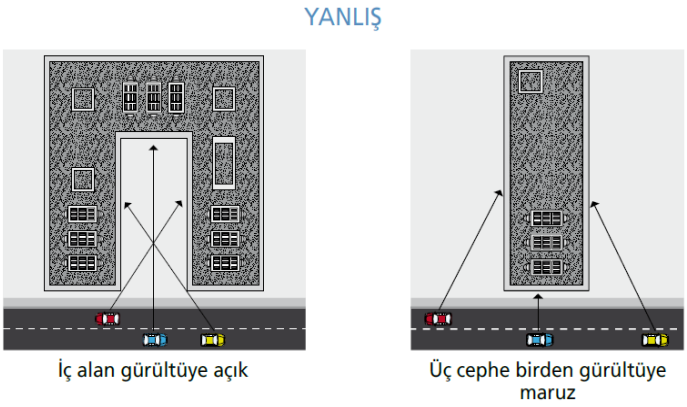
Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi, bir binada en yüksek ses yalıtım performansına ulaşmak, gürültü kaynaklarına doğrudan maruz kalmamakla veya kullanılan yalıtımın artırılmasıyla mümkündür. Diğer bir ifade ile gürültünün yapılar üzerindeki etkilerini en aza indirmek için, yapıların bulundukları konumları ve tasarlanma şekillerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Yapılacak olan yapıların otoyollar, demiryolları, hava alanları gibi yerleşim alanlarından uzak yerlere yapılması gürültü kontrolü açısından etkili olmaktadır. Benzer şekilde, gürültü kaynağı ile yerleşim merkezleri arasında yapay setler oluşturulması gürültü kontrolü açısından etkili bir yol olmaktadır. Ayrıca Şekil 4.4'deki gibi yansımaya neden olacak avlulu U tipi binalardan kaçınmak da gürültüye karşı alınacak önlemler arasında bulunmaktadır. Bununla beraber aşağıdaki önlemleri almak da gürültü kontrolü açısından avantaj sağlayabilmektedir (Özdemir, 2012):

- Binaların kullanım amaçları ve dolayısıyla akustik gereksinimlerine bağlı olarak gürültü kaynağına uzaklıkları yine düşünülmesi gerekli bir faktör olmaktadır.
- Arazi engebesi ve ağaçlık alanların engelleme etkilerinden bu aşamada yararlanılabilir. Ayrıca kaynak ile bina arasındaki zemin örtüsünün çim,

çalılık veya işlenmiş toprak olması, ses yutuculuk özelliklerinden dolayı önemli olmaktadır.

- Bina kütleleri, bir ana yolun kenarına paralel olarak yerleştirildiğinde ortaya çıkacak karşılıklı yansımalardan kaçınmak gerekmektedir. Bir trafik yolu boyunca karşılıklı sıralanmış yüksek katlı binaların araları azaldıkça gürültü koşulları kötüleşir. Kütlelerin bilinçli yerleştirilmeleri gerekmektedir.
- Gürültü kontrolünde, gürültüye karşı daha az duyarlı olan bir bina yerleştirilerek elde edilebilecek korunma çok önemli olmaktadır. Ayrıca kenarına yapılabilecek perde duvarların ya da yol kotunun düşürülmesi ile oluşan şevlerin, gölge bölgelerinden yararlanılabilir.
- Hafifçe eğri biçimli bina kütleleri, eğer eğrilik gürültü kaynağı tarafından konveks ise uygun bir akustik ortam sağlamaktadır.
- Binalar pencereli cepheleri bölgenin sakin kısmına bakacak şekilde yerleştirilmeli, masif ve penceresiz duvarlar gürültü kaynağına bakmalıdır.
- Uzun bir kütleden oluşan tek bir bina ana yol veya tren yolu kenarına yerleştirilecekse, binanın ana aksını yola dik olacak şekilde konumlandırmak ve bina içindeki gürültüye çok duyarlı hacimleri, yoldan uzaktaki bina bölmelerine yerleştirmek gerekmektedir.





Şekil 4.4. Binaların gürültüden korunması için konumlandırılması

Şekil 4.4'den de anlaşılacağı üzere iyi bir bina tasarımının ön koşulu, gürültü kaynaklarını tanımlamak ve değişik tasarımların binadaki gürültü seviyelerini nasıl etkileyeceğini göz önünde bulundurmaktır.

5. SES YALITIMI

Yaşanılan konut, okul, iş yeri vb. binalar ile çevreyi istenmeyen seslerden yalıtarak gürültünün zararlı etkilerinden korunmak; kayıt stüdyoları, sinema, konser salonu vb. mekânları istenmeyen seslerden yalıtarak gerekli kullanım koşullarını oluşturmak; jeneratör, hidrofor, kalorifer vb. gürültülü mahalleri yalıtarak çevreye yaydıkları gürültüyü azaltmak amacıyla yapılan uygulamalara 'ses yalıtımı' denir (Purkis, 1962).

Gürültünün insan üzerinde oluşturacağı etkiyi en aza indirmek için yapılan çalışmalara ses yalıtımı çalışmaları denir. Gürültü farklı frekans bileşenlerine sahip olan, düzensiz yapılı ve genellikle zamana ve mekâna göre değişken olan istenmeyen ses topluluğudur (Deka, 2000). Kısaca rahatsız edici ses olarak tanımladığımız gürültü, doğal olarak kentleşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Daha çok kentleşmenin plansız olduğu bölgelerde gürültü, insan sağlığını, konforunu ve huzurunu etkilemektedir (Büyüklü, 2011).

Yaşadığımız toplumda çoğu zaman maruz kaldığımız gürültü kirliliği, bir yandan toplumun en geniş kesimini etkileyen, öte yandan en az önem verilen çevre kirliliği etkenidir. Uzun yıllar boyunca gürültünün bu olumsuz etkilerinin anlaşılamamasının sebebi, toplum üzerindeki etkisinin uzun süreli birikimler sonucu ortaya çıkmasındandır.

Bir yapı elemanının sahip olması istenen ses geçişine karşı direncine, "yalıtım ölçütü" denir. Yalıtım (izolasyon), kullanıldığı duruma göre dış etkenlerden ayırmak veya tecrit etmek demektir. Dış yapı elemanlarının ses yalıtım performansı, doğrudan dış gürültü seviyesi ile ilişkilidir; Ancak dairelerdeki bölücü elemanlardan farklı olarak yapı dış kabuğu farklı elemanlardan oluşmaktadır. Pencereler ve çatı kabuğu ses geçişine karşı en zayıf noktalardır. Bundan dolayı, dış kabuğun yalıtım değeri, kabuğun dolu-boş oranına bağlı olarak değişmektedir.

Bir elemanın ses geçişine karşı direnci hesaplanırken pek çok etken dikkate alınmalıdır; lakin çoğu etken hesaplamalar da dikkate alınmamaktadır. Örneğin, bir odaya ait bölücü duvarın ses yalıtım değeri yapım koşullarına ve ortam şartlarına bağlı olarak hesaplanan değerden farklı çıkabilir (Doelle, 1972). Bu nedenle yapı elemanlarının ses yalıtım değerlerini hesaplarken gerçeğe en yakın koşullarda ölçüm yapılması gerekmektedir; fakat bu yöntemin pahalı olması ve uygulama alanının sınırlı

olmasından dolayı, genellikle malzemelerin yüzeysel kütleleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır.

5. 1. Ses Yalıtımı ve Etkileri

Gürültü, insanların rahatı ve huzuru için istenmeyen bir durumdur. İnsanları, psikolojik, fizyolojik ve verim yönünden etkiler. Yapılan araştırmalar neticesinde uzun süre gürültüye maruz kalan kişilerde davranış bozuklukları, işitme kayıpları, kulak çınlamaları ve bazı psikolojik hastalıkların oluştuğu görülmüştür. Üstelik gürültü sonucu oluşan işitme kayıplarının ilaçla veya cerrahi bir müdahale ile tedavisi de mümkün değildir (Everest, 1994).

Yine yapılan bir başka araştırmada sürekli 55 dB mertebesindeki gürültüye maruz kalan kişilerde, sinirlilik, saldırganlık, öfke ve uyku düzensizliklerinin olduğu ve uzun süre yüksek gürültü ile karşı karşıya kalındığında beyinde salgılanan adrenalinin psikolojik sorunların oluşmasına neden olduğu görülmüştür.

Danimarka'nın Schiprol Havalimanının kalkış ve iniş güzergâhlarında yapılan bir araştırma, 10 yıl içinde kalp rahatsızlıklarının iki katına çıktığı, uyku hapı kullanımının ise yüzde 20 ile yüzde 50 arasında arttığı görülmüştür (İzoder, 2013). Bundan dolayı gürültünün bu gibi etkilerini azaltmak için ses yalıtımının önemi her geçen gün artmaktadır (Özdemir, 2012).

5. 2. Ses Yutma Katsayısı ve Ses Yalıtım Malzemeleri

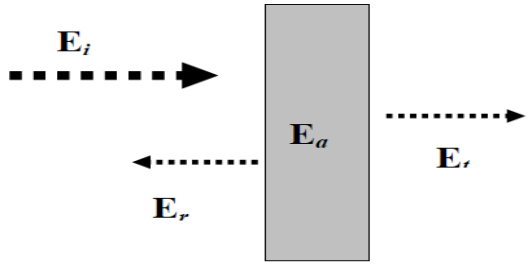
Bir yüzeye gelen ses enerjisi, yüzeye temasının ardından üç parçaya ayrılır: Gelen ses enerjisinin (E_i) bir kısmı yansır (E_r), bir kısmı ise yüzey elemanı tarafından yutulur, enerjiye dönüşür (E_a), geriye kalan kısmı ise yansımaya uğrar (E_t). Buna bağlı olarak Denklem 5.1 ve 5.2'deki gibi ses yutum katsayısı hesap edilir:

$$Ei = Er + Ea + Et \tag{5. 1}$$

Ses yutum katsayısı (α) ise:

$$\alpha = \frac{(Ei - Er)}{Ei} = \frac{(Ea + Et)}{Ei} \tag{5. 2}$$

Denklem 5.2'de gösterilen hesaplamanın ikinci kısmı yansımanın olmadığı şartlar için geçerli kabul edilir (Karaağaçlıoğlu, 2012). Şekil 5.1'de ses enerjisinin yansıması, emilimi ve iletimi gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Ses enerjisinin bir yüzey üzerindeki dağılımı

Yalıtım malzemeleri yapıda iki amaç için kullanılabilmektedir: Bunlardan birincisi hacim içindeki sesin dağılımını ve yansımasını kontrol etmek için iç yüzey elemanları, ikincisi ise dışarıda oluşan sesin ara bölmeden (duvar) geçen kısmının izolasyonu için panel, duvar veya sandviç sistem elemanı olarak kullanılmasıdır.

Ses yalıtımında hacme gelen sesin frekansı ve/veya oktav bandı tespit edilmelidir. Buna göre ağırlıklı oktav bandı üzerinden malzeme seçimi yapılmalıdır.

α ile gösterilen ses yutma katsayısı diğer bir deyişle sabin değeri, 0 ile 1 arasında frekansa bağlı olarak değişen değerler alabilir ve 1'e doğru yaklaştıkça malzemenin yalıtım kalitesi artmaktadır. α'nın 0 olması, tümüyle yansıtıcı yüzeyleri, α'nın 1 olması ise, ses enerjisinin tümünü yutan yüzeyleri gösterir. Bir yalıtım malzemesinde kaynaktan çıkan ses enerjisinin %45'i yutuluyorsa, %55'i yansımış demektir. Böyle bir durumda malzemenin (α) değeri 0.45'dir denilir (Karaağaçlıoğlu, 2012).

Genellikle insan kulağının algıladığı oktavlar dikkate alındığından, α_{250}, α_{500}, α_{1000}, α_{2000} için gürültü azaltma katsayısı (NRC) en yüksek olan malzeme en iyi malzeme olarak kabul edilmektedir. NRC değeri Denklem 5.3'deki gibi basitçe hesaplanabilir (Özdemir, 2012):

$$NRC = \frac{\alpha_{250}+\alpha_{500}+\alpha_{1000}+\alpha_{2000}}{4} \qquad (5.3)$$

Ses yalıtımı homojen yapı elemanlarında birim alanın ağırlığı (kg/m^2) ile orantılıdır. Ses azaltma yoğunlukla orantılıdır. Bir malzemenin yoğunluğunun yüksek olması, ses yalıtımının iyi olduğunu göstermektedir. Örneğin selüloz gibi esnek

malzemeler daha etkili ses absorbe ederler. Bu özellik selülozun diğer yalıtım malzemelerine göre yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2004). Diğer yandan, düz cam plakasının ses yalıtım değeri 4 mm için 30 dB(A), 15 mm için 37 dB(A)'dır ve kalınlıkla doğru orantılı olarak artar. Tek plaka durumu için yüksek ses yalıtımı sağlamak büyük kütle gerektirir. Çift plaka durumu için ise çok daha yüksek ses yalıtımı sağlanmaktadır. Plaka sayısını artırarak ses yalıtımını artırmak yanlış bir düşüncedir; Çünkü böyle bir uygulama hem hacim azalmasına hem de ısı yalıtımının artmasına yol açar. İyi bir yalıtımdan kasıt, alınan önlemlerle 5-10 dB'lik bir iyileşme sağlanmasıdır (Karaağaçlıoğlu, 2012). Yalıtımın başarısını sadece ölçüm yapılan cihaz değil, o ortamda yaşayan insanlar da belirgin olarak hissetmelidir. Ayrıca ses yalıtım malzemeleri, kapalı bir ortamda sesin yansıma süresini düzenleyen, gösterdiği dirençle ses enerjisini mekanik enerjiye ve ısı enerjisine dönüştüren ürünlerdir. Bu ürünler şu şekilde özetlenebilir:

- **Mineral yünler**, yalıtım amaçlı kullanılan inorganik yapılı maddelerdir. Mineral yün kelimesi, mineral özlü elyaflar anlamına gelmektedir. Mineral yün kavramı cam yünü, taş yünü ve cüruf yününü kapsar. Mineral yünler benzersiz doğal özellikleri sayesinde, yangına karşı korumanın yanı sıra üstün bir ses yalıtımı kombinasyonu da sunmaktadır (İzoder, 2009). Şekil 5.1'de mineral bir yün örneği görülmektedir.



Şekil 5.1. Mineral yün (izocam)

- **Cam yünü,** inorganik ham madde olan silis kumunun 1200-1250ºC'de ergitilerek elyaf haline gelmesiyle ısı ve ses izolasyonunda kullanılan, şekil verilebilen, ateşe dayanıklı cam lifleridir. Ülkemizde kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve yoğunlukta yerli olarak imal edilmektedir. Ham maddesi kum, soda, boraks gibi inorganik maddelerin karışımıdır. Her türlü yapılarda, iç ve dış duvarlarda, çift cidarlı sanviç duvarlarda araçlarda, çatı

katı döşemelerinde tesisat ve sanayide gerek ses gerek ısı yalıtımında kullanılmaktadır (izoder, 2009). Yangın sınıfı A (yanmaz) olup, yangın güvenliğinin arzulandığı konstrüksiyonlar da güvenle kullanılmaktadır (İzoder, 2013). Ayrıca, çatı şiltesi olarak her türlü ahşap oturtma çatılar da, metal çatılar da ve sandviç çatılar da kullanılır (Özer, 2006).

- **Taş yünü**, bazalt kayasının hamur haline getirilip, daha sonra istenilen kalınlığa göre preslenmesiyle elde edilen yalıtım malzemesidir. İç ve dış duvarlarda, cephe giydirme sistemlerinde, yangın bölmelerinde ve asma tavanlarda kullanılan ve ülkemizde üretimi gerçekleşen bir yapı malzemesidir. Hammaddesi bazalt kayasıdır. Cam yünü ve taş yünü gibi lifli yalıtım malzemeleri, yapı malzemelerinin önünde ve arkasında veya arasında kullanıldığında iyi bir ses yalıtımı sağlarlar.
- **Melamin köpüğü**, bir plastik çeşidi olup melaminden üretilen yalıtım malzemesidir.
- **Kauçuk köpüğü,** kauçuktan üretilen bir yalıtım malzemesidir**.**
- **Yumuşak poliüretan esaslı malzemeler,** genleşme oranlarına bağlı olarak yüksek yoğunluklu, orta yoğunluklu ve düşük yoğunluklu köpükler olarak 3'e ayrılır. Poliüretan esaslı malzemeler ses yalıtımı açısından önemli malzemelerdir. Yapılan yalıtım yüzey artırılarak yapılmaktadır. Poliüretan esaslı malzemelerin TL değeri 30 dB olurken genellikle yüzeyi piramit şekilli, renkli ve elastiktir. Yüzeyinin piramit şeklinde olması ses şiddetini sönümlemesi içindir (izocam).

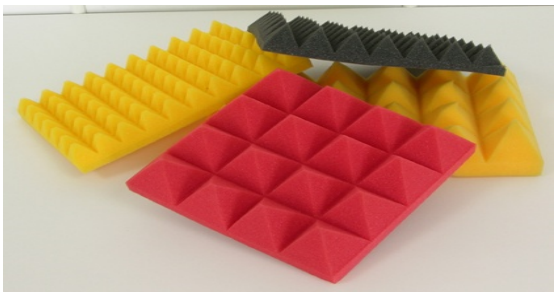
Bunların yanında:

- keçeler
- delikli metaller
- delikli ahşaplar
- delikli alçı panolar
- mantarlar
- susturucular
- akustik laminasyonlu cam çözümleri de örnek olarak verilebilir.

Şekil 5.2'de bazı yalıtım malzemesi örnekleri görülmektedir (İzoder, 2009).



Yanmaz Ses Yalıtım Süngeri

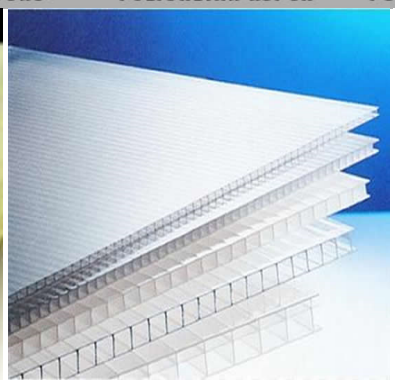


Piramit Süngerler





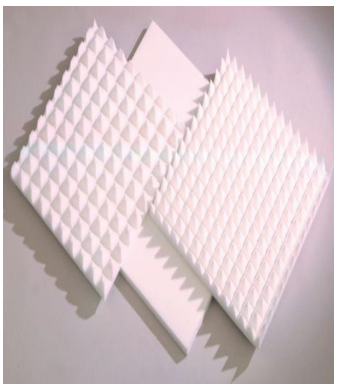
Mineral Yünler



PoliEtilen



Kauçuk Köpüğü



Melamin Köpük



Ahşap Yünü



Akustik yumurta sünger

Şekil 5.2. Ses yalıtım malzemelerine ait örnekler

5. 3. Ses Yalıtım Malzemesinde Aranması Gereken Özellikler

Ses yalıtım malzemeleri gürültü kontrolü açısından büyük faydalar sağlamaktadır; Ancak üretilen yalıtım malzemelerinin tümü benzer özellik taşımamaktadır. Uygulama açısından incelediğinde, bazı ürünler diğerlerine göre daha uygun olabilmektedir. Akustik açıdan değerlendirildiğinde, sesin nasıl yayıldığının bilinmesi uygun malzeme seçiminde kolaylık sağlamaktadır. Ses enerjisi, katı bir yüzeye çarptığında yansıyabilir, absorbe edilebilir veya iletilebilir. Bu nedenle sesin karşılaştığı yapı elemanının yani yalıtım malzemesinin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bunlar genel olarak, yalıtım malzemesinin yoğunluğu, sertliği, hücre yapısı gibi doğrudan ses yalıtımına etkisi olan özellikler olarak tanımlanabildiği gibi bunun yanında fiziksel, mekanik dayanım, nem, küf, böceklenme ve yanma dayanımı gibi özellikleri de dikkate alınması gereken özelliklerdir. Sırasıyla bu özellikleri şu şekilde açıklamak mümkündür (Karaağaçlıoğlu, 2012):

- **Yoğunluk:** Kullanılan ses yalıtım malzemelerinin yoğunluğu arttıkça ses yalıtım özelliği de artar. Düşük yoğunluklu malzemeler (110-130 kg/m^{3}'ten küçük) yeterli ses yalıtımı sağlayamazken, çok yüksek yoğunluklu malzemeler yapının statik yükünü artırarak deprem yükü gibi etkilerin artmasına yol açmaktadır.
- **Sertlik:** Sert malzemeler yüksek yoğunluğa sahip olsalar dahi darbe seslerini yalıtma özellikleri yoktur (beton gibi). Malzemenin sert olması değil esnek olması darbe emme yeteneğinin artmasını sağlamaktadır.
- **Hücresel Yapı:** Malzemelerin açık hücrelere sahip olması, ortamın ses yalıtım performansını arttırırken, kapalı hücrelere sahip olması titreşimleri sönümlemesini sağlayarak darbe sesleri yalıtımında etkinliğinin artmasını sağlar.
- **Fiziksel Dayanım:** Özellikle yapı elemanlarında kullanılan yalıtım malzemeleri sürekli olarak yüke ve darbeye maruz kaldıkları için zamanla ses yalıtım özelliklerini kaybederler.
- **Nem ve Küfe Dayanım:** Lifli ya da sentetik malzemelerin neredeyse tamamı neme ve küfe karşı dayanıksızdır. Nem, küf ve bazen de bakteri oluşumları zamanla malzemenin yapısını bozarak, yalıtım gücünün yitmesine yol açmakla kalmaz, insan sağlığı için de tehlike oluşturur.

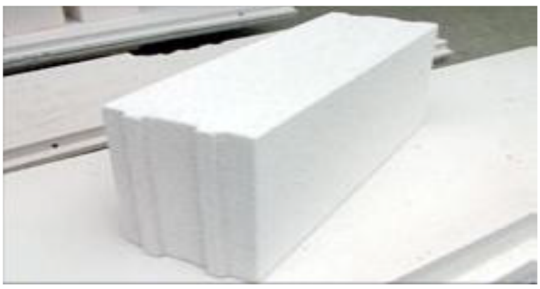
- **Yangın Güvenliği:** Yangın yalıtımı bakımından cam köpüğü, vermikülit, kalsiyum silikat plakaları, cam yünü, taş yünü, genleştirilmiş perlit tercih edilebilirken, yalıtımda çabuk alevlenen ve yandığında ortam hava koşullarını zehirli gaz çıkararak değiştiren sentetik ürünler tercih edilmemelidir.
- **Böceklenme:** Her türlü haşeratın yumuşak yapı elemanlarına ulaşması yalıtımı başarısız kılacağı gibi sağlıksız ve yaşanılması güç mekânların oluşmasına da neden olacaktır.

5. 4. Ses Yalıtımı Açısından Kullanılan Diğer Malzemeler

Kullanılan ses yalıtım malzemelerinin dışında yapılarda kullanılmaları halinde ses yalıtımı sağlaması açısından gazbetonlar, tuğlalar, bims bloklar ve hafif betonlar etkili olmaktadır.

5. 4. 1. GazBeton

Gazbeton, inorganik bağlayıcı bir madde ile ince öğütülmüş silisli agreganın karıştırılması ve gözenek oluşturucu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi sonucu oluşturulan gözenekli hafif betondur (TS 453, 2005). Şekil 5.3'de bir gaz betonun gözenekli yapısı görülmektedir (Ytong, 2006).



Şekil 5.3. Gazbeton duvar bloğu

Gazbeton malzemeler yüksek gözenek oranına sahip oldukları için ses enerjisini kolaylıkla ısı enerjisine dönüştürebilmektedirler (Topçu, 2005). Böylelikle birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerleri, diğer bazı yapı malzemelerine göre 2 dB daha yüksektir. Gazbeton, gözenekli bir yüzeye sahip olması ve porozitesinin

yüksek olmasından dolayı ses yutma özelliği iyi olan bir malzemedir (Alyanak Kaya, 2010). Frekansın 125-4,000 Hz arasındaki değişimini incelediğimizde gazbeton 0.10 0.27 arasında değişen bir ses yutma kapasitesine sahip olmaktadır (Çiçek, 2002).

5. 4. 2. Bims Beton Blok

Bims taşı kullanılarak bims betondan üretilen kâgir birimlere 'bims blok' denilmektedir (Erdoğan, 2007). Pomzadan imal edilen çok çeşitli malzemeler içerisinde en yaygın ve önemli olanı bims bloklardır (Gündüz, 2005). Şekil 5.4'de bir bims blok yapı malzemesi görülmektedir.



Şekil 5.4. Bims blok duvar (Erdoğan, 2007)

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yapı işleri Genel Müdürlüğünde yapılmış olan bir deneyde, kullanılan 39x19x18.5 cm boyutlarındaki bir blok üzerinde sıvalı yüzey ağırlığı 229 kg/cm^2 olan bir numunenin ortalama ses sönümleme değeri 45 dB olarak belirlenmiştir (Alyanak Kaya, 2010). Yine aynı yerde yapılan deneyde, 39x19x15 cm boyutlarında ve sıvalı yüzey ağırlığı 194 kg/cm^2 olan bir numunenin ortalama ses yalıtım değeri 44 dB olarak bulunmuştur (Alyanak Kaya, 2010). İtalya'da yapılan deneylere göre ise ses sönümleme değeri ortalama 47 dB olarak, Almanya'da Rhenotherm Ltd. Şti. tarafından yapılan deneylerde ise ses yalıtımı 44 dB olarak belirlenmiştir (Alyanak Kaya, 2010). Ancak bu değer 0.5 gr/cm^3 yoğunluktaki malzeme için bulunmuştur (Tokyap Bims). Bilindiği üzere malzemenin yoğunluğu artırılırsa, ısı direnci düşmekle birlikte sese karşı yalıtımı artmaktadır. Örneğin, 36.5x24.5x23.0 cm boyutlarında ve yoğunluğu 0.9 gr/cm^3 olan bir numunenin ses azaltım indisi 52 dB olarak bulunmuştur (Köse ve ark., 1997).

5. 4. 3. Tuğla

İmalatı yapılan ilk yapı malzemesi olma özelliği taşıyan tuğla, yaklaşık olarak on beş bin yıldır yapıların yapımında kullanılan bir malzemedir (Görçiz, 2000). Fiziki olarak sert, gevrek ve ısıya karşı dayanıklı bir malzeme olarak bilinen tuğla içerisindeki kuartz kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuartz kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar; ayrıca inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200^{o}C civarındadır (Aydın, 2007). Şekil 5.5'de yatay delikli tuğla örneği görülmektedir.



Şekil 5.5. Yatay delikli tuğla (Tukder, 2005)

TS 705'e göre fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın kullanılması sonucu makinelerle şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir (Çiçek, 2002). Yapıda kullanılan duvar malzemelerinin seçiminde dayanıklılık, düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olma, ısı köprüsü oluşturmama, hafif, homojen ve ekonomik olma tercih sebepleri arasında bulunmaktadır.

Yapılan deneylere göre 19x13.5x19 cm boyutlarında yatay delikli bir fabrika tuğlası (TS 4563) ile yapılan duvarın, ses izolasyonu açısından Avrupa Birliği ülkelerince minimum değer olarak kabul edilen 48 dB hava sesi direncini sağladığı görülmüştür **(**Yılmaz Karaman, 2004).

5. 4. 4. Hafif Beton

Birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3'ten fazla, 2,000 kg/m^3'ten az olan, agregası tamamen veya kısmen hafif agrega olan betona "hafif beton" denilmektedir. Diğer bir deyişle, 28 günlük minimum basınç dayanımı 17 Mpa olan ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1850 kg/m^3 olan betonlara hafif beton denilmektedir (ASTM C 330-2a,

2003). TS 2511'e göre ise, 28 günlük minimum basınç dayanımı 16 MPa olan ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1900 kg/m^3 olan betonlara hafif beton denilmektedir (TS 2511, 1977). Normal betonların yerine hafif betonların kullanılması, toplam beton miktarını azalttığından ve binaların hafiflemesini sağladığından dolayı, deprem etkisi altındaki yapıların yıkılma riskini azaltmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre hafif betonun normal betona göre tercih edilmesindeki en önemli sebep hafif olmalarından dolayı kesitlerinin küçük olması, donatı ve malzeme gereksinimlerinin azalmasından dolayı ekonomik olması, kullanılabilir mekânların artması, ısı ve ses yalıtımı için ikinci bir malzeme kullanımına ihtiyaç duyulmaması, donma, çözülme ve ateşe dayanıklılığının yüksek olması ayrıca depreme dayanıklı olması görülmektedir (Bilgiç, 2009).

6. AKUSTİK MODELLER

Günümüzde teorik hesaplamalar dikkate alınarak geliştirilmiş olan ses yalıtım modellerinin amacı, deneysel olarak malzemeye ait TL değerlerinin bulunması sırasında harcanan zamanı, emeği ve maliyeti azaltmaktır. Bu yazılım modellerinin her biri kendi içinde farklı teorik hesapları dikkate alarak deneysel veriye en yakın sonucu sunmak için geliştirilmişlerdir. Dolayısla bu yazılım modellerini incelemeden önce genel anlamda hava doğuşumlu bir sesin iletilmesinde kullanılan teorik hesapların bilinmesi, ses yalıtım modellerinin anlaşılmasında önemlidir.

Hava doğuşumlu ses yalıtımındaki teorik temeli anlayabilmek için öncelikle sistem içerisinde hareket eden enerjinin nasıl kontrol edildiği bilinmelidir. Termodinamiğin birinci yasasına göre, enerji yoktan var edilemeyeceği gibi vardan yok edilemez, sadece bir durumdan başka bir duruma dönüşür (Termodinamik). Bu kanunun bir sonucu olarak, herhangi bir yüzeye çarpan ses dalgası, ya bu yüzey tarafından emilir, ya yansımaya uğrar, ya da iletilir (Çengel, 2003). Eğer ses dalgası yüzey tarafından emilirse, ses enerjisi durum değiştirerek ısı enerjisine dönüşür. Sonuç olarak bir panelin veya herhangi bir odanın ses yalıtımı basitçe ölçülebilir ve ölçülen değere göre nasıl bir önlem alınması gerektiği tespit edilebilir (Cambridge, 2006).

Hava doğuşumlu seste iletilen dalganın büyüklüğünün hesaplanmasında τ, TL veya R'den yararlanılır. TL ve R literatürde ses geçiş kayıp değeri olarak bilinmektedir. Bir ortamda bulunan ses kaynağının şiddetinin alıcı ortama etkisini azaltmak için araya bölücü eleman yerleştirilir. Bu sayede havada hareket halinde olan ses dalgaları bu bölücü elemana çarparak bölücü elemanın titreşmesine ve dolayısıyla kaynak ortamından alıcı ortama belli bir oranda ses geçişinin sağlanmasına neden olur (Demirkale, 1999). Elemandan iletilen sesin şiddeti elemanın TL değerine bağlı olarak değişmektedir. Ses geçiş katsayısı olarak bilinen τ değeri, bölmeden iletilen sesin, bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ile bulunmaktadır. Elemanın TL değeri ise τ değerine bağlı olarak Denklem 6.1 ve Denklem 6.2'deki gibi hesaplanır (TS EN12354-1):

$$TL = 10\ log\ (1/\tau)\ \text{dB veya} \tag{6. 1}$$

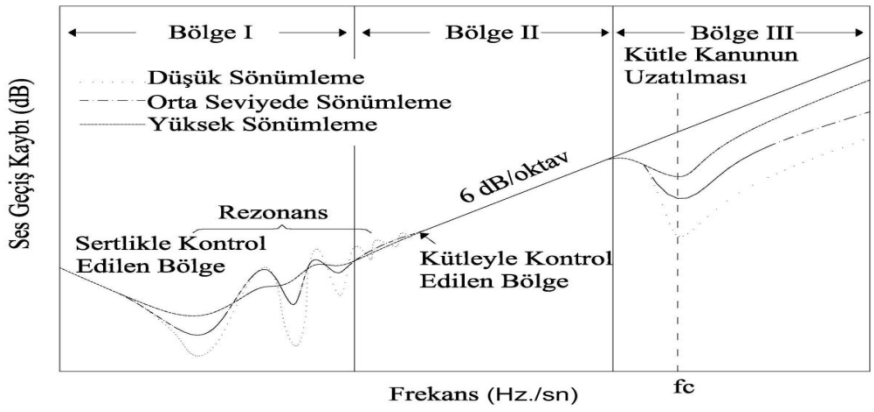
$$TL = 10\ log \frac{\text{Bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{Bölmeden iletilen sesin şiddeti}} \tag{6. 2}$$

Çınlayan iki hacim düşündüğümüzde bölmenin TL değeri, bölmenin alanı (s), alıcı hacmin yutuculuğu (a) ve gürültü azaltımına (NR) bağlı olarak Denklem 6.3'deki gibi hesaplanır (TS EN12354-1):

$$TL = L1 - L2 + 10\,log\left(\frac{s}{a}\right) \qquad (6.\ 3)$$

TL değeri yutuculukta olduğu gibi frekansa bağlı olarak da farklılıklar gösterir. τ, 0 ile 1 arasında değişen değerler alır. τ değerinin 0 olması, kullanılan malzemenin sesi hiçbir şekilde geçirmediğini ifade ederken 1 olması, kullanılan malzemenin sesi tümüyle geçirdiğini ifade etmektedir. Buna en güzel örnek açık bırakılan kapı ve pencerelerden geçen ses verilebilir. Genel anlamda τ değerinin 0.4 olması ortaya çıkan ses enerjisinin %40'nın iletilmiş olduğunu göstermektedir (Demirkale, 1999).

Ses havada dalgalar halinde yayılır, bu yayılma esnasında katı bir engele çarparsa ve bu engel içerisinde yayılırsa, frekans ve malzemenin özellikleri TL değerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Ses dalgasının katı bir ortamdaki hareketi sırasında davranışında belirgin farklar olduğundan, frekansa karşılık gelen TL grafiği üzerinde üç ayrı frekans bölgesi oluşturularak değerlendirilir. Şekil 6.1'de üç farklı frekans bölgesine bağlı olarak TL değerindeki değişimler gösterilmektedir (Demirkale, 2008).



Şekil 6.1. Ses geçiş kaybına karşılık gelen frekans grafiği ve etkin malzeme özelliği (Demirkale, 2008)

Genel olarak Şekil 6.1 incelendiğinde, düşük frekanslarda malzemenin sertliği etkilidir. Frekans yükselip rezonans bölgesine girdiğinde ise TL değerini malzemenin

sönümlemesi etkiler. Orta frekans bölgesinde ise TL değeri malzemenin kütlesine bağlıdır (Demirkale 2007).

Diğer taraftan malzemelerin TL değeri kadar R_m değerinin bilinmesi ses yalıtımı açısından önemlidir. R_m değerinin hesaplanmasında aritmetik ortalama yöntemi kullanılmaktadır (DIN 52210-6, 1989). Kullanılan beş farklı ses yalıtım modelinin her biri için TL değerine bağlı olarak bulunan R_m değeri, Denklem 6.4'e göre hesap edilmiştir:

$$R_m = \sum_{f=1}^{n=18} \frac{TL_1 + TL_2 + TL_3 + \cdots TL_n}{n} \quad (6.\ 4)$$

Burada:

f: Frekans

TL: Ses geçiş kaybıdır.

Denklem 6.4'de her bir model için bulunan R_m değeri, deneysel olarak bulunan $R_{m,\ deneysel}$ değerine oranlanarak, her bir model için doğruluk değeri yüzde cinsinden hesap edilmektedir. Denklem 6.5'de doğruluk tespiti hesabı gösterilmektedir:

$$Doğruluk = \left(1 - \left|\frac{R_{m,deneysel} - R_m}{R_{m,deneysel}}\right|\right) \quad (6.\ 5)$$

Modellerin doğruluk hesabı yapılırken de her model için 11 malzemeye ait Denklem 6.5'le hesaplanan doğruluk değerlerinin ortalaması alınarak, modellerin doğruluk yüzdesi belirlenmektedir. Bu sayede en etkili model tespit edilebilmektedir.

6. 1. Bastian Modeli

Bastian modeli, yan yana bulunan odalar arasında hava doğuşumlu ses iletimi esnasında ses yalıtımının hesaplanmasında kullanılan grafiksel ara yüze sahip bir ses yalıtım modelidir. Bastian hesaplama modelinin temeli Avrupa standardı olan EN12354 standardına dayanmaktadır. Bu standartlara ek olarak ISO 140 ve ISO 717 gibi standartlarda destekleyici yan parametreler olarak dikkate alınmaktadır. Bastian tarafından geliştirilmiş olan bu teori Craik, Fischer, Maidanik, Timmel, Somtag, Cremer, Donato, Heckl ve diğer bazı araştırmacıların çalışmaları dikkate alınarak ortaya

konulmuştur (Cambridge, 2006). Bu teori yaklaşık olarak 1,500 yapısal veri tabanına sahip olmasının yanı sıra 40 adet ses kaynağını da bünyesinde bulundurmaktadır (Gerretsen, 1986). Bu program içerisinde bulunan yapısal veriler uygun standartlar dikkate alınarak yapılan ölçüm sonuçlarına dayanmaktadır. Hava doğuşumlu ses iletiminde Bastian hesaplama modeli gürültü iletiminin hesaplanmasında başarılı sonuçlar vermiştir. Bu hesaplamalar basit yapısal tasarım modellerinin ve ayrıntılı yapısal modellerin hesaplanmasında son derece etkili sonuçlar vermektedir. Bu hesaplamalarda kullanılan standartlar ve hesaplama modelleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Bastian Modeli içerisinde bulunan bazı genel hesaplama modelleme seçeneklerinin özeti (TS EN12354-1)

Özellik	Standart	Açıklama
Ayrıntılı Model	DIN EN12354-1, 2, 3	Veri girişi 1/3 oktav bantlarında olurken, hesaplama sonuçları oktav bantlarında verilebilir.
Basit Model	DIN EN12354-1, 2, 3	Ayrıntılı modelden ISO 717-1, 2 standardına göre basit model için sınırlı bir alan çıkarılabilir.
Hava doğuşumlu ses yalıtımı	DIN EN12354-1	$C_{100\text{-}5000}$, $C_{50\text{-}5000}$, $C_{50\text{-}3150}$ ifadeleri kabul edilerek C cinsinden R'_w, $D_{nT,\ w}$ ve $D_{n,\ w}$ değerleri hesaplanabilir.
Darbe kaynaklı ses yalıtımı	DIN EN12354-2	C_I veya $C_{I,50\text{-}250}$ ifadeleri kabul edilerek $L'_{n,\ w}$ ve $L'_{nT,\ w}$ değerleri spektrum uyum açısından hesaplanabilir.
Açık ses iletimi	DIN EN12354-3	$C_{tr,}$ $C_{tr,100\text{-}5000}$, $C_{tr,50\text{-}5000}$, $C_{tr,50\text{-}3150}$ cinsinden $R'_{45}{}^{0}{}_{,w}$, $R'_{tr,s,w}$, $D'_{2m,\ nT\ ,w}$, $D'_{2m,\ n,\ w}$ değerleri hesaplanabilir.

Bastian modelinin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için bazı varsayımların yanı sıra hesaplama modellerinin kullanılması gerekmektedir.

6. 1. 1. Bastian Modeli İle Yekpare Duvarlar İçin Hesap Modeli

Bastian modeli malzemelerin TL değerinin hesaplanmasında aşağıdaki verileri dikkate almaktadır:

- Kalınlık (m)
- Yoğunluk (ρ)
- Yüzey Kütlesi (m")
- Boyuna Dalga Hızı (C_L)
- Porozite (p)
- İç kayıp faktörü (η_{int})
- Elastisite Modülü (E)
- Havanın yoğunluğu (ρ_0)

Yukarıda belirtilen ilgili parametreler ışığında radyasyon faktörü, serbest hareket halindeki dalgalar ve toplam kayıp faktörü de dikkate alınarak TL değeri Denklem 6.4'deki gibi hesaplanmaktadır. TL değerinin önündeki eksi işareti ses azaltımını ifade etmektedir. Bu hesaplamada Josse ve Lamura (1964) çalışmaları dikkate alınarak geliştirilmiş olan aşağıdaki formüller EN12354 standardında yer alan TL hesaplama modelini ifade etmektedir (Cambridge, 2006):

$$TL=-10*\log \tau \qquad (6.6)$$

$$\tau = \begin{cases} \left(\frac{2*\rho 0*c0}{2*\pi*f*m'}\right)^2 * \left(\frac{\pi*fc*\sigma 2}{2*f*\eta tot}\right) & f > f_c \\ \left(\frac{2*\rho 0*c0}{2*\pi*f*m'}\right)^2 * \left(\frac{\pi*\sigma 2}{2*\eta tot}\right) & f \approx f_c \\ \left(\frac{2*\rho 0*c0}{2*\pi*f*m'}\right)^2 * \left(2*\sigma f + \frac{(l1+l2)^2}{(l1^2+l2^2)} * \sqrt{\frac{fc}{f}} * \frac{\sigma 2}{\eta tot}\right) & f < f_c \end{cases}$$

Burada:

τ : İletim faktörü

m' : Metre kare başına kilogram cinsinden, birim alanın kütlesi

f: Hertz cinsinden frekans

c_0: Ses dalgasının havadaki hızı

t: İlgili panelin kalınlığı

f_c: Hertz cinsinden kritik frekans $\left(\frac{C_0^2}{1{,}8*C_L*t}\right)$

η_{tot}: Toplam kayıp faktörü (laboratuar durumu için)

σ: Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü

σ_f: Cebrî iletim için yayılma faktörü

C_L: Boyuna dalga hızı

l_1, l_2: Dikdörtgen elemanın kenarlarıdır.

Bastian modelinde ses iletim faktörü hesabında EN12354-1 standardında yer alan yukarıdaki denklemler kullanılmaktadır. Bu denklemlerden de anlaşılacağı üzere frekansın kritik frekanstan büyük olması durumlarında iletim kaybı hesabında panel boyutlarının etkisi dikkate alınmamaktadır; Ancak frekansın kritik frekanstan düşük olması halinde iki farklı durum meydana gelmektedir. Bastian modelinde düşük frekanslar için ses azaltım değeri göreceli eşitsizliklerin karşılaştırılmasına bağlı olarak Denklem 6.5'deki gibi hesaplanabilmektedir (Cambridge, 2006):

$$R_b = 20 * log_{10}\left(\frac{\pi * f * m'}{\rho 0 * c0}\right) - 3dB$$

$$R_\eta = R_b - 10*\log_{10}\left(1 + \frac{2{,}25*\sigma T,corr2*\pi*fc}{\eta tot,lab*f}\right) \qquad (6.\ 7)$$

$$R_{min} = 10 * \log_{10}\frac{\pi*f*m'}{\rho 0*c0} + 10\log_{10}\frac{\pi*S*\sqrt{f*fc}}{U*c0}$$

$R_{low} = R_b$ $\qquad R_\eta > R_b$

$R_{low} = R_{min}$ veya $R_{low} = R_\eta$ $\qquad R_\eta > R_b$

Burada:

R_b: Yüksek sönüm

R_η: Ortam kayıp faktörü

R_{min}: Düşük kayıp faktörü

p_0: Levhanın yüzey yoğunluğu

$\sigma_{T,corr}$: Serbest kırılan dalgalar için düzeltilmiş yayılma faktörü

f: Frekans

U: Panelin alanıdır.

Denklem 6.5'den anlaşılacağı üzere, düşük kayıp faktörü durumunda panelin alanı dikkate alınmaktadır, aksi halde panel boyutlarının bir önemi yoktur. Ayrıca belirtilen R_b değeri, tek tabakalı paneller için yapılmış çalışmalar dikkate alınarak geliştirilmiştir (Ljunggren, 1991). İfade edildiği gibi zorla iletimden dolayı iletim kaybı kritik frekansa bağlı olarak aşağıdaki Denklem 6.6'daki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tau = 20\log\left(\frac{w*m}{2*\rho*c}\right) - 3 - 10\log S_d \qquad (6.\ 8)$$

Yukarıdaki denklemde S_d ses iletiminde kullanılan radyasyon faktörünü ifade etmektedir. Ljunggren (Ljunggren, 1991) bu radyasyon faktörünü Sato (Sato, 1973)'deki veya Sewell (Sewell, 1970)'deki çalışmalarında kullandıkları grafiklerden hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Ancak Bastian'ın yekpare duvarların iletim kaybı hesaplamalarında bu radyasyon faktörü dikkate alınmamıştır. Bunun yerine bitişik odalardaki iletim kaybı hesabı için Sonntag (Sonntag, 1965)'deki çalışmalarında kullandığı düzeltme faktörünü kullanmıştır.

6. 1. 2. Genel hesaplama modeli

Bitişik iki oda arasındaki ses gücü kaybı alıcı odada, bölme yapı elemanları ve odadaki yan yapı elemanları tarafından yayılan ses ile ilgili doğrudan ve dolaylı olarak hava ile yayılan ses iletiminden dolayı oluşmaktadır. Toplam iletim faktörü, algılama odasındaki her bir elemanla, doğrudan ve dolaylı hava ile yayılan iletime katılan elemanlar ve sistemlerle ilişkili iletim faktörlerine bölünebilir. Hava doğuşumlu ses iletiminde Bastian modeli, EN12354-1 standardında bulunan aşağıdaki denklemleri kullanarak hesaplamalar yapmıştır. Toplam TL değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$TL = -10\log\tau' \qquad (6.\ 9)$$

$$\tau' = \tau_d + \sum_{f=1}^{n}\tau_f + \sum_{f=1}^{n}\tau_e + \sum_{f=1}^{n}\tau_s$$

Bu bağıntıdaki terimlerin d, f, e ve s olarak kullanılan indisler, Şekil 6.2'de sağ bölmede gösterilen ses iletimine farklı katkılarını belirlemek için kullanılmıştır (EN12354-1). Şekil 6.2'de:

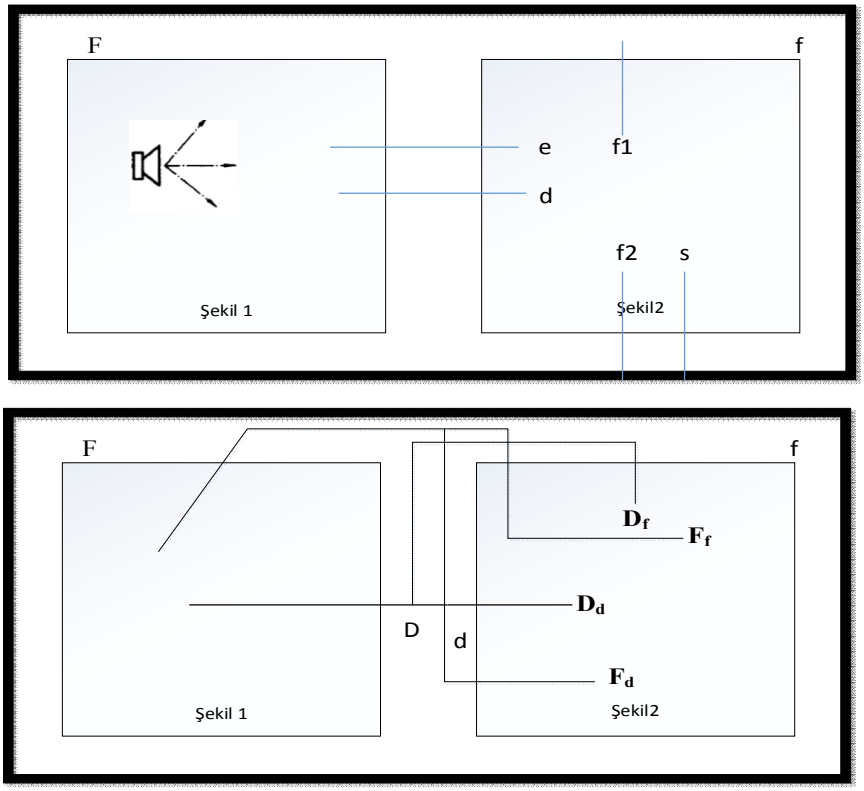
τ' : Algılama odasında yayılan ses gücünün bölme elemanının ortak bölümü üzerine gelen ses gücüne göre ses gücü oranıdır.

τ_d: Bölme elemanının ortak kısmı tarafından yayılan sesin, bölme elemanının ortak kısmına gelen ses gücüne göre ses gücü oranıdır. Şekil 6.2'de gösterilen D_d ve F_d yolları içerilmektedir.

τ_f: Algılama odasındaki yan eleman f tarafından yayılan sesin, bölme elemanının ortak kısmı üzerine gelen ses gücüne göre ses gücü oranıdır. Şekil 6.2'de gösterilen F_f ve D_f yolları içerilmektedir.

τ_e: İletim sistemi üzerine gelen dolaylı olarak havada taşınması yüzünden, algılama odasındaki bölmenin bir elemanı tarafından yayılan sesin, bölme elemanın ortak kısmı üzerine gelen ses gücüne göre ses gücü oranıdır.

τ_s: İletim sistemi üzerine gelen dolaylı olarak havada taşınması yüzünden bir s sistemi tarafından algılama odasında yayılan ses gücünün bölme elemanının ortak kısmına gelen ses gücüne göre ses gücü oranıdır (EN12354-1).



Şekil 6.2. İki oda arasında ses iletim yollarının tanımlanması

6. 2. Akuzoft Modeli

Bir diğer ses yalıtım modeli olan Akuzoft, bazı akustik problemlerin modellenmesi için matlab'de geliştirilmiş kullanıcı dostu grafiksel bir hesaplama modelidir. Akuzoft modeli ile duvarlardaki TL değeri hesaplanabilmektedir. Bazı duvar malzemeleri üzerine yapılan deneysel çalışmaların TL değerlerini hesaplamak üzere geliştirilmiş olan bu model, deneysel sonuçlara vermiş olduğu yakın sonuçlarla literatürde geçerli bir yer edinmiştir.

Akuzoft modeli malzemelerin TL değerinin hesaplanmasında aşağıdaki verileri dikkate almaktadır:

- Kalınlık (m)
- Yoğunluk (ρ)
- Yüzey Kütlesi (m'')
- Kritik frekans
- Boyuna Dalga Hızı (C_L)
- Porozite (p)
- İç kayıp faktörü (η_{int})
- Elastisite Modülü (E)
- Havanın yoğunluğu (ρ_0)

6. 2. 1. Tek duvarlarda ses iletimi

Ses hava yoluyla yayılabildiği gibi katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarda da yayılabilmektedir. Yayılan bu dalgalar enine, boyuna ve eğilme dalgaları olarak bilinir. Bu dalgalar belli frekanslarda yayıldıklarından dolayı her frekans değeri önemlidir. Özellikle TL hesabında dikkate alınması gereken frekans aralığı, 125-4,000 Hz olmaktadır. Duvarlardaki TL hesabında dikkate alınması gereken önemli parametrelerden birisi sesin havadaki hızı (c), dikkate alınarak belirlenen kritik frekans değeridir. Denklem 6.10'da kritik frekans değerinin hesaplanma şekli ifade edilmektedir:

$$f_c = \frac{c^2}{2*\pi}\sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \qquad (6.\ 10)$$

Burada:

ρ_s : Malzemenin yüzey yoğunluğu

B: Malzemenin eğilme sertliği

c: Sesin havadaki hızıdır.

Homojen bir plaka için eğilme sertliği, Denklem 6.11'deki gibi ifade edilmektedir:

$$B = \frac{E*h^3}{12*(1-\nu^2)} \quad (6.\ 11)$$

Burada:

E: Malzemenin elastisite modülü

h: Malzemenin kalınlığı

ν: Malzemenin poisson oranıdır.

Poisson oranı 0.5 değerini geçemez ve belirli bir doğruluk derecesi için ν^2 değeri 1'den çok küçük olduğu için ihmal edilebilir (Laman ve Keskin, 2004).

6. 2. 2. Sonsuz bir plakanın ses iletim kaybı

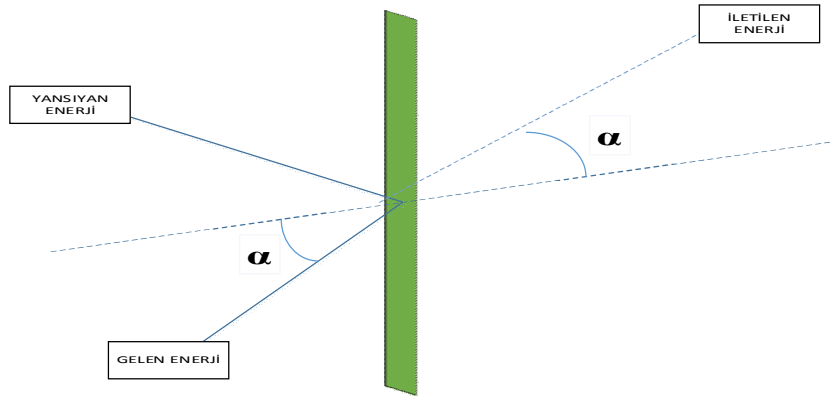
Gürültü iletimi üzerine sistem kurulurken bazı fiziksel parametrelerin tanımlanması, TL hesabında önemlidir. Teknik açıdan düşünüldüğünde, enerji iletimi söz konusu olmasından dolayı ses enerjisinin plakaya çarpma anının incelenmesi gerekmektedir. TL logaritmik bir hesaplama sonucu bulunan enerji endeksli bir değer olmasından dolayı, plakaya çarpma anında sesin plaka tarafından emilim şekli önemlidir (Beranek, 1954).

Matematiksel olarak Denklem 6.12'de TL ve τ, hesaplamanın temelini oluşturmaktadır:

$$TL = 10\,log\left(\frac{1}{\tau}\right)\ \text{dB ise,}\quad \tau = \frac{Bölmeden\ iletilen\ sesin\ şiddeti}{Bölmeye\ gelen\ sesin\ şiddeti}\ \text{ifadesinden} \quad (6.\ 12)$$

$$TL = 10\,log\frac{Bölmeye\ gelen\ sesin\ şiddeti}{Bölmeden\ iletilen\ sesin\ şiddeti}\ \text{bulunur.}$$

Bir ses dalgası bir engele çarptığında gelen enerjinin bir kısmı yansır bir kısmı emilir ve bir kısmı da iletilir. Şekil 6.3'de sesin bir engele çarpma anındaki durumu gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Ses dalgasının bir engele çarpması sonucu dağılım şekli

Yukarıda da bahsedildiği gibi, τ bölmeden iletilen sesin şiddetinin bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ile bulunmaktadır. Yani açısal bir büyüklüğe bağlı olarak değeri değişmektedir. Denklem 6.13'de τ değeri, açıya, ses şiddetine, sesin hızına ve ses basıncına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir:

$$\tau(\alpha) = \frac{I_t}{I_i} = \left|\frac{{P_t}^2}{{P_i}^2}\right| = \left|\frac{{u_t}^2}{{u_i}^2}\right| \qquad (6.\ 13)$$

Burada:

I_i: Gelen ses şiddeti

I_t: İletilen ses şiddeti

P_i: Gelen ses basıncı

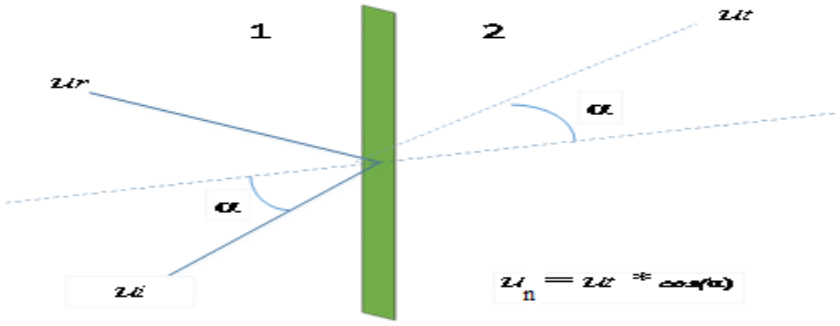
P_t: İletilen ses basıncı

u_i: Gelen ses hızı

u_t: İletilen ses hızıdır.

α: Sesin engele geliş açısıdır.

Denklem 6.13'deki basınç farkına ve hıza bağlı olarak Denklem 6.14'de akustik empedans bağıntısı verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.4'de ses basıncına ve ortalama hıza bağlı olarak akustik empedans gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Ses basıncına ve ortalama hıza bağlı akustik empedans

$$z_w = \frac{\Delta P}{un} \qquad (6.\ 14)$$

$$\Delta P = P1 - P2 = P_0 * c * (ui + ur - ut)$$

Burada:

un: Parçacığın hızı

P1: Gelen ses basıncı

P2: İletilen ses basıncı

ΔP: Ses basınç farkı

z_w: Akustik empedanstır.

Burada:

$ur = ui - ut$

$\Delta P = 2 * \rho * c * (ui - ut)$ olduğundan,

$un = ut * \cos(\alpha)$ bağlı olarak,

$z_w = \frac{\Delta P}{u_n} = \frac{2*Po*c*(ui-ut)}{ut*\cos(\alpha)} = \frac{2*Po*c}{\cos(\alpha)}\left(\frac{ui}{ut} - 1\right)$ hesaplanır.

Burada:

ΔP: Ses basınç farkı

ur: Ortalama ses dalgasının hızı

z_w: Akustik empedans

P_0: Başlangıç basınç değeri

c: Sesin havadaki hızı

α: Sesin engele geliş açısı

u_i: Gelen ses hızı

u_t: İletilen ses hızı

p: Kullanılan panelin yoğunluğudur.

Denklem 6.13 ve Denklem 6.14 birleştirilerek Denklem 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19 elde edilmiştir:

$$\tau(\alpha) = \left|(1 + \frac{\tau_w * cos\ (\alpha)}{2 * Po * c})^{-2}\right| \quad (6.\ 15)$$

Bükülme dalgası denklemi de dikkate alınarak:

$$\Delta P = B\nabla^4\xi + \rho_S * \frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \quad \text{hesaplanmıştır.} \quad (6.\ 16)$$

Burada:

B: Malzemenin eğilme rijitliği

ρ_S:Malzemenin yüzey yoğunluğu

ξ :Basınç kayıp katsayısı

z_w: Akustik empedanstır.

Ayrıca:

$$\xi(x,t) = \xi_0 * e^{(w*t-k_p*x)} \quad (6.\ 17)$$

kabul edilerek eğilme dalgası sayısı (k_p) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Marco, 2010):

$$\nabla^4\xi = k_p^4 * \xi \quad (6.\ 18)$$

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = w^2 * \xi \quad (6.\ 19)$$

Denklem 6.18 ve Denklem 6.19'daki değerler Denklem 6.16'da yerine konulursa, sırasıyla Denklem 6.20, Denklem 6.21 ve Denklem 6.22 elde edilir:

$$\Delta P = B * kp^4 * \xi - \rho_s * \omega^2 * \xi \quad (6.\ 20)$$

Ayrıca:

$$u_n = \frac{\partial \xi}{\partial t} = j * w * \xi \quad (6.\ 21)$$

$$k_p = k * \sin(\alpha) \quad (6.\ 22)$$

Denklem 6.13, Denklem 6.19, Denklem 6.20 ve Denklem 6.21 birleştirilerek Denklem 6.23 elde edilmiştir:

$$\tau_w = j * w * \left(\rho_s - \frac{B*w^2*\sin^4(\alpha)}{c^4}\right) \quad (6.\ 23)$$

Buradan, Denklem 6.24'de görülen sertlik kompleks modülüne geçiş yapılmıştır:

$$B' = B * (1 + j * \eta) \quad (6.\ 24)$$

Burada:

B: Malzemenin eğilme sertliği

η : İç kayıp faktörü

p_s: Malzemenin yüzey yoğunlu

k_p: Eğilme dalga sayısı

j: Sertlik katsayısı

f: Frekans

w: Açısal frekanstır (2*π*f).

Denklem 6.23 ve Denklem 6.24 birleştirilerek Denklem 6.25 elde edilmiştir:

$$\tau_w = \frac{\eta*w^3*B*sin^4(\alpha)}{c^4} + j * w * \left(\rho_s - \frac{B*w^2*sin^4(\alpha)}{c^4}\right) \quad (6.\ 25)$$

Son olarak da, Denklem 6.15 ile Denklem 6.25 birleştirilerek Denklem 6.26 elde edilmiştir (Marco, 2010):

$$\tau_w = \left\{\left[1 + \eta * \left(\frac{w*\rho_s*\cos(\alpha)}{2*\rho_0*c}\right) * \left(\frac{w^2*B*\sin^4(\alpha)}{c^4*\rho_s}\right)\right]^2 + \left[\left(\frac{w*\rho_s*\cos(\alpha)}{2*\rho_0*c}\right) * \left(1 - \frac{w^2*B*sin^4(\alpha)}{c^4*\rho_s}\right)\right]^2\right\}^{-1} \quad (6.\ 26)$$

Burada:

w: Açısal frekans

ρ_s: Malzemenin yüzey yoğunluğu

B: Malzemenin eğilme sertliği

η: İç kayıp faktörü

***c*:** Sesin havadaki hızı

α: Sesin engele geliş açış açısıdır.

Akuzoft modeli, TL hesabında Denklem 6.27'deki genel TL hesaplama formülünü kullanmaktadır. Yapılan ampirik hesaplamalar sonucunda belirli korelasyon katsayıları ve integralin sınır değerleri ses yankısının olmaması durumu için 0 ile 78^0 sınır değerleri olarak kabul edilmiştir (Marco, 2010):

$$\tau = 2.0904\left\{\left[1+\eta*\left(\frac{\mathrm{w}*\rho_S*\cos(\alpha)}{2*\rho_0*c}\right)*\left(\frac{\mathrm{w}^2*\mathrm{B}*\sin^4(\alpha)}{\mathrm{c}^4*\rho_S}\right)\right]^2+\left[\left(\frac{w*\rho_S*\cos(\alpha)}{2*\rho_0*c}\right)*\left(1-\frac{w^2*B*sin^4(\alpha)}{c^4*\rho_S}\right)\right]^2\right\}^{-1}*\cos(\alpha)*\sin(\alpha)$$

$$TL = 10*\log\frac{1}{\tau} \qquad (6.\ 27)$$

Burada:

TL: Ses geçiş kaybı

τ: Ses geçiş katsayısı

ω: Açısal frekans

ρ_s: Malzemenin yüzey yoğunluğu

B: Malzemenin eğilme sertliği

η: İç kayıp faktörü

c: Sesin havadaki hızı

α: Sesin engele geliş açış açısıdır.

6. 3. Insul Modeli

Malzemelerin TL değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer ses yalıtım modeli olan Insul, malzemenin yüzey kütlesini ve frekansını dikkate alarak hesaplama yapmaktadır. Tek homojen panellerin modellenmesinde Insul modelinin kritik frekansın yarısına kadar olan kısmı için oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Yapılardaki

duvarlar, döşemeler ve pencerelerin TL hesaplama değerlerinin bulunmasında etkili sonuçlar vermektedir (Insul, 2011). Insul, hesaplama modelinde uygulamalı kütle yasasını geliştirmiştir, ayrıca B. H. Sharp, Cremer ve diğer araştırmacılarında dikkate aldığı kritik frekans değerini de kullanmıştır (Cambridge, 2006). Insul, veri tabanında yaklaşık 20 ile 30 arasında malzeme için geliştirilmiş bir model olma özelliği göstermektedir. Bunun yanı sıra istenilen yeni malzemelere ait yoğunluk, kritik frekans, yüzey alanı ve yüzey kütlesi değerlerini de modelde girdi alarak TL hesabı yapılabilmektedir. Bu özelliği sayesinde Insul modeli daha esnek ve yeni modüllerin eklenmesi için daha kullanışlı bir model olma özelliği göstermektedir.

6. 3. 1 Tek panellerde ses iletimi

Insul modelinde, tek panellerin TL değerinin hesabında kütle yasası dikkate alınmaktadır (Ballagh, 2004). Denklem 6.28'de frekansın kritik frekanstan küçük olması hali ile Denklem 6.29'da frekansın kritik frekansa eşit veya büyük olması durumlarında TL değerinin hesaplanma şekli gösterilmiştir (Insul, 2011):

$$TL = 20 * \log(m * f) - 48 \quad (6.\ 28)$$

$$TL = 20 * \log(m * f) + 10 * \log(\frac{2*\eta*f}{\pi*f_c}) - 44 \quad (6.\ 29)$$

Burada:

m: Yüzey kütlesi

f: Frekans

Ŋ: Kayıp faktörü

f_c: Kritik frekanstır.

Yukarıdaki denklemler Cremer'ın çalışmaları dikkate alınarak geliştirilmiştir (Cremer, 1998). Insul programı tek, çift ve kompozit panellerin tasarımında ve TL değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ljunggren ve Rindell'in çalışmalarında kullandıkları deneysel hesaplamaların doğrulukları Insul modeliyle yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Ljunggren, 1991 ve Rindel, 2005).

6. 4. dBKAisla Modeli

dBKAisla, malzemelerin ses yalıtımını tespit etmek için tasarlanmış bir modeldir. Tek ve çift panel duvarların yalıtımında kullanılan bu model, teorik hesaplamaları dikkate alarak panellerin simulasyonunu gerçekleştiren bir model olma özelliği taşımaktadır. Panellerin yanı sıra panolar da, döşemeler de ve pencerelerdeki TL hesaplamalarında da kullanılan geniş veri tabanına sahip ve geliştirilmeye ve yeni malzemeler tanımlamaya müsait bir yazılım programı olma özelliği taşımaktadır.

dBKAisla modeli ile yapılan simülasyonlar, ISO 12354 standardı dikkate alınarak 1/3 oktav bant analizlerine göre Denklem 6.30'daki gibi hesaplamalar yapmaktadır:

$$TL = 10 * \log\frac{1}{\tau} \qquad (6.\ 30)$$

Burada:

TL: Ses geçiş kaybı, dB

τ: Ses geçiş katsayısıdır.

Yapılan simülasyon çalışmaları, deneysel çalışmaları yapılmış olan malzemeler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Insul modelinin bir diğer özelliği hava doğuşumlu ses yalıtımının tespiti yapılabildiği gibi darbe kaynaklı ses yalıtımı hesabı da yapılabilmesidir. Insul modelinde olduğu gibi kütle yasası esas alınarak hesaplamalar yapan bu model sonuçları itibari ile de etkili sonuçlar verdiği görülmektedir (dBKAisla, 2009).

Kütle yasası, panelin her bir parçasının yanındaki diğer parçaları etkilemediği kabulü üzerine kurulan bir yasadır. Bu yasanın kabulüne göre malzemenin sertlik değerinin sıfır olması gerekmektedir. Bu yüzden kütle kanunu gevşek kütle kanunu olarak da bilinmektedir. Oysaki gerçek bir panelin her bir parçası birbirine bağlıdır ve her bir malzemenin eğilme kuvvetine maruz kalması sonucu malzemede eğilme dalgası oluşmaktadır. Bu da doğal olarak malzemenin TL değerini etkilemektedir. Panelin sertliği onun TL değerini azaltmaktadır (Demirkale, 2007).

Birçok malzeme için yüzey kütlesi ve sertlik birbirine bağımlı değişkenlerdir. Yani, bir malzemenin kalınlığı arttıkça sertliği ve doğal olarak da yüzey kütlesi artmaktadır. Bilindiği üzere yüzey kütlesinin ve sertliğin TL değeri üzerinde ters bir

etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla kütle kanunu gerçek paneller için tam olarak geçerli olamamaktadır.

Yapılan hesaplamalarda kütle yasasını ve düzeltilmiş kütle yasasını dikkate alarak iki farklı alternatif sunan bu model, farklı parametreleri her bir yasa için de dikkate almaktadır. Yapılan seçim kütle yasası ise, gerekli olan parametre ilgili panelin adı ve yüzey kütlesi olurken, düzeltilmiş kütle yasası olması halinde ilgili parametrelere ek olarak çakışma frekansı ve iç kayıp faktörü dikkate alınmaktadır. dBKAisla modeli ISO 12354 standardındaki ilgili denklemleri dikkate alarak hesaplamalar yaparken TL değeri bulunmak istenilen malzemeye ait aşağıdaki bilgilerin bilinmesi yeterli olmaktadır. Bunlar sırasıyla:

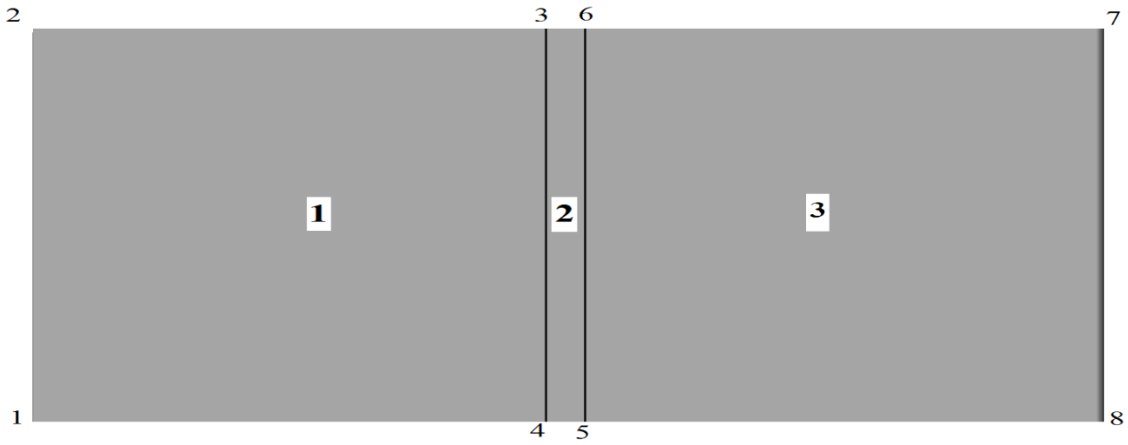
- Kalınlık
- Yoğunluk
- Yüzey kütlesi
- Elastisite modülü
- İç kayıp faktörü
- Sesin havadaki hızı olarak ifade edilmektedir (dBKAisla, 2009).

6. 5. Comsol Akustik Modülü

Comsol akustik modül, hesaplama yöntemi olarak sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Bilindiği üzere sonlu elemanlar metodu karmaşık mühendislik problemlerinin en hassas şekilde çözülmesinde kullanılan bir hesaplama yöntemidir (Çalık, 2004). Günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan bu metot, hesaplamalarda etkili sonuçlar vermektedir. Sonlu elemanlar metodunun değişik mühendislik alanları için bu kadar yaygın kullanılmasının nedeni bilgisayar programıyla giriş verilerinin kolayca değiştirilerek özel bir problemin çözümünü kolaylaştırmış olmasıdır (Arıkan, 2000).

Sonlu elemanlar metodundaki ana düşünce, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Problemin basit hale indirgenmiş olması karmaşık sistem hakkında bir bilgi vermesinin yanı sıra çoğu zaman kesin sonuçlara ulaşmamızı sağlamaktadır. Sonlu elemanlar metoduyla yapılan işlem, hesaplanması istenilen bölgenin çok sayıda ve küçük birbirine bağlı sonlu eleman adı verilen bölgelere ayrılmasıyla yapılır.

Comsol, sonlu elemanlar metoduna göre yapılan hesaplamalarda oldukça popüler bir yazılım programıdır. Comsol'da yapılan hesaplamalar, oldukça yoğun ve karmaşık simülasyonların çözümünde etkili sonuçlar sunmaktadır. Comsol akustik modülünde TL hesaplaması yapılırken en önemli şart sınır koşullarının doğru sağlanmasıdır. Comsol ile TL hesaplaması yapılırken yapılması gereken ilk iş uygun geometrinin Şekil 6.5'deki gibi tanımlanmasıdır.



Şekil 6.5. Comsol akustik modülü ile geometrinin tanımlanması

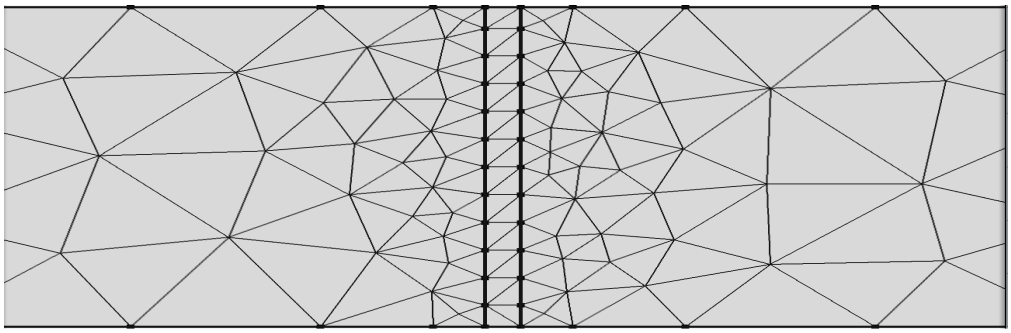
Şekil 6.5'de tanımlanmış olan geometri boyutlarının her bir köşe noktası bir sınır ifade etmektedir. Yukarıda tanımlanmış olan sistem üç kısımdan oluşmaktadır: Birinci kısım ses kaynağının bulunduğu, ikinci kısım TL değerinin belirlenmesi için istenilen malzeme çeşidi ve üçüncü kısımda da sesin malzemeden geçtikten sonra ulaştığı alıcı ortam olmaktadır. Ses basıncı birinci ortamdan gönderildikten sonra ses dalgalar halinde yayılarak orta bölgede bulunan ikinci bölüme çarpmaktadır. Çarpan ses enerjisinin bir kısmı yansımakta, bir kısmı malzeme tarafından absorbe edilmekte (yani enerjiye çevrilmekte) ve bir kısmı da alıcı ortama geçmektedir.

İstenilen geometrinin tanımlanmasından sonra TL hesaplaması için gerekli olan parametreler modelde tanımlanabilmektedir. Comsol akustik modülünde aşağıdaki parametreler sisteme veri olarak girilebilmektedir:

- İlgili geometrik uzunluklar, (a, b)
- Kalınlık, (h)
- Yoğunluk, (ρ)
- Poisson oranı, (p_o)
- Elastisite Modülü, (E)

- İç kayıp faktörü, (Ƞ)
- Sesin havadaki hızı, (c)
- Basınç, (P)
- Frekans. (f)

Sonlu elemanlar metoduna göre hesaplamalar yapmakta olan Comsol, Şekil 6.6'daki gibi sistemi sonlu elemanlara ayırmaktadır.



Şekil 6.6. Elemanların sonlu üçgen elemanlara ayrılması

Comsol, katı ve sıvı ortamlar için geliştirilmiş olan fizik kurallarını dikkate alarak çok çeşitli simülasyonlar yapılmasına imkân tanımaktadır. Comsol ile çok çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Papadopoulos, 2003):

- Frekans alanı ve geçici basınç akustiği
- Akustik yapı etkileşimi
- Basınç akustiği
- Hava akustiği
- Sınır durum akustiği
- Isı akustiği
- Hava içindeki akışkan akustiği

Comsol ile çok çeşitli fiziksel kurama bağlı olarak farklı parametreleri veri alarak hesaplamalar yapılabilmektedir. Tanımlanmış olan geometrik şeklin ortasındaki malzemeye ait TL değerini bulmak için Denklem 6.31 kullanılmaktadır:

$$TL\,(f) = 20 * log\frac{P_k}{P_a} \qquad (6.\,31)$$

P_k kaynak ortamındaki basıncı, P_a ise alıcı ortamdaki basıncı ifade etmektedir. Ayrıca Denklem 6.31'de görüldüğü gibi TL değeri, frekansa bağlı olarak 20 ile 20,000 Hz arasındaki tüm değerler için kaynak ortamındaki basıncı ve alıcı ortamındaki basıncı dikkate alarak hesaplanabilmektedir (Anonim, 2012).

7. ANALİZ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri deneysel olarak belirlenmiş malzemelerin, simulasyon sonucunda çıkan değerleri karşılaştırılmaktadır.

Yapılan çalışmada, deneysel çalışma sonucunda frekansa karşılık gelen TL değerleri ve TL değerlerine bağlı olarak bulunan R_m değerleri hesaplanmış 11 adet malzemenin, Bastian, Akuzoft, Insul, dBKAisla ve Comsol olmak üzere beş farklı ses yalıtım modeliyle karşılaştırılması aşağıdaki çizelgeler ve şekillerle ifade edilmiştir.

İlk olarak 19 cm düşey delikli hafif tuğla duvara ait deneysel bilgiler (Demirkale, 2008) dikkate alınarak kullanılan beş farklı ses yalıtım modelinin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Kullanılan modellerde düşey delikli 19 cm kalınlığında sıvasız hafif tuğla duvar için dikkate alınan parametreler şunlardır:

Kalınlık: 0.19 m

Yoğunluk: 800 kg/m^3

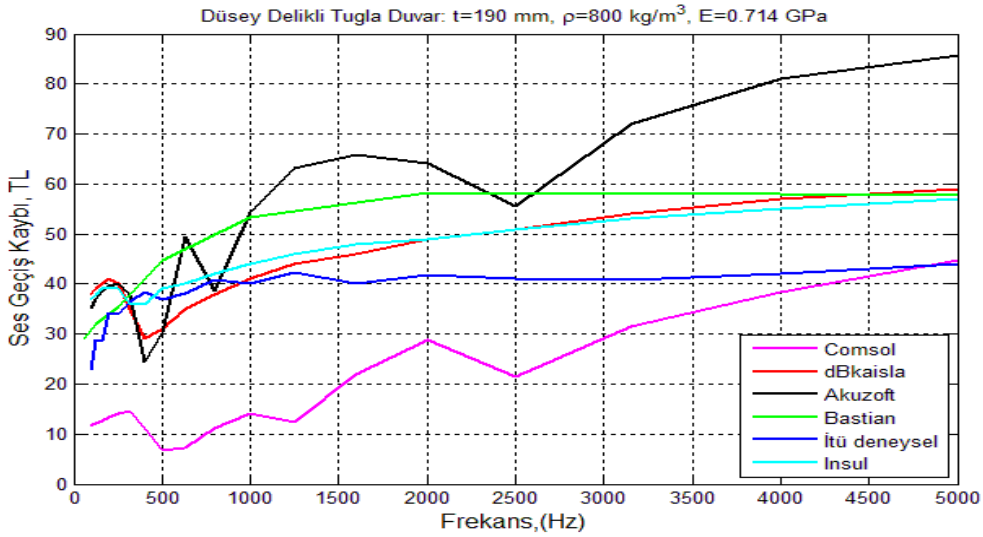
Porozite: 0.55

Elastisite modülü = 0.714*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.01

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.1'de ve Çizelge 7.1'de sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Düşey delikli 19 cm kalınlığında sıvasız düşey delikli hafif tuğla duvarın frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

Şekil 7.1, düşey delikli 19 cm kalınlığında hafif tuğla duvar için frekansa karşılık gelen TL değerlerinin grafiğini göstermektedir. Binalardaki tipik değerlendirme aralığı 125-4,000 Hz olarak kabul edilmektedir. Grafikte düşük frekanslar için Bastian, Insul ve dBKAisla modellerinin deneysel veriyle değişimlerinin paralel olduğu görülmüştür; ancak yüksek frekanslar da Bastian modelinin deneysel veriden uzaklaştığı saptanmıştır. Comsol akustik modülü ile deneysel veri arasında olan başlangıçtaki 10 dB'lik bir fark, 4,000 Hz'e yaklaştığında 3 dB'e kadar düşmektedir. Çizelge 7.1'de gösterilen doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Insul, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.1'de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.1. Düşey delikli 19 cm kalınlığında sıvasız düşey delikli hafif tuğla duvarın frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

Düşey delikli 19 cm sıvasız tuğla duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	11.5	38	35.2	31.0	22.6	37
125	12.0	39	36.8	32.0	28.9	38
160	12.7	40	38.5	33.1	28.6	39
200	13.4	41	39.6	34.2	34.2	39
250	14.2	40	40.0	35.5	34.0	39
315	14.5	35	37.8	37.9	36.5	36
400	11.1	29	24.4	41.5	38.3	36
500	6.8	31	30.4	44.9	37.0	39
630	7.4	35	49.3	47.9	38.2	40
800	11.2	38	38.7	51.0	40.9	42
1000	14.0	41	54.2	53.4	40.1	44
1250	12.3	44	63.1	55.3	42.3	46
1600	21.9	46	65.8	57.4	40.1	48
2000	28.8	49	64.2	58.3	41.9	49
2500	21.4	51	55.6	58.3	41.0	51
3150	31.5	54	72.1	58.1	40.8	53
4000	38.3	57	81.1	58.0	42.0	55
5000	44.8	59	85.6	57.8	44.0	57
R_m	18.2	42.6	50.7	47.0	37.3	43.8
%Doğruluk	49	86	64	74	100	83

Kullanılan modellerde 19 cm kalınlığında yatay delikli sıvasız hafif tuğla duvara ait deneysel veriler (Demirkale, 2008) için dikkate alınan parametreler şunlardır:

Kalınlık: 0.19 m

Yoğunluk: 600 kg/m^3

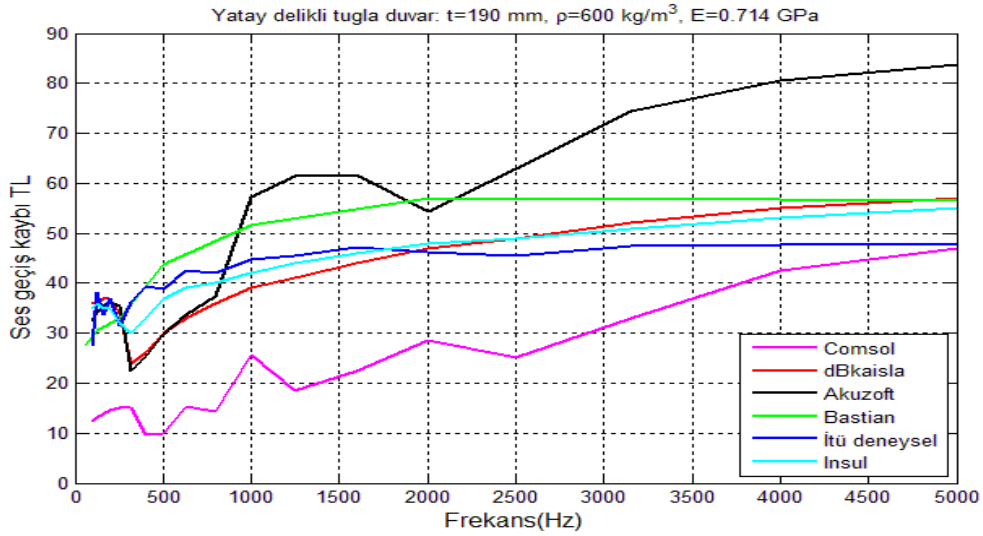
Porozite: 0.55

Elastisite modülü = 0.714*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.01

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.2 ve Çizelge 7.2, sırasıyla, belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafik ve çizelgesini göstermektedir.



Şekil 7.2. Yatay delikli 19 cm kalınlığında sıvasız yatay delikli hafif tuğla duvarın frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

X ekseni frekansı, y ekseni TL değerini gösteren Şekil 7.2, 100 Hz-5000 Hz arasındaki değerlerin her biri için TL değerlerinin grafiğidir. Yapılar için düşünüldüğünde 125 Hz-4000 Hz aralığı TL hesabında dikkate alınan bir aralık olmaktadır. Düşük frekanslar için deneysel sonuca Insul, dBKAisla, Bastian ve Akuzoft modelleri çok yakın sonuçlar verirken, Comsol akustik modülü dB olarak uzak olmasının yanında grafiğin eğimi bakımından yakın sonuçlar sunmaktadır. Yaklaşık olarak 2000 Hz frekansta TL değerleri Insul, dBKAisla ve deneysel veri için aynı olmaktadır. Yüksek frekanslar da Insul, dBKAisla, Comsol ve Bastian modelleri deneysel veriye yakın sonuçlar verirken, Akuzoft modeli deneysel veriden oldukça uzak sonuçlar sunmaktadır. Genel olarak Çizelge 7.2'de görüldüğü gibi doğruluk

yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, Insul, dBKAisla, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır. Özellikle Comsol akustik modülü, deneysel veriye olan uzaklığından dolayı kullanılan ilgili parametrelerin daha hassasiyetle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Çizelge 7.2'de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.2. Yatay delikli 19 cm kalınlığında sıvasız yatay delikli hafif tuğla duvarın frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

Yatay delikli 19 cm sıvasız tuğla duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	12.4	36	32.5	29.5	27.4	35
125	13.0	36	34.1	30.5	38.2	36
160	13.8	37	35.5	31.3	33.6	35
200	14.5	37	36.3	32.0	36.8	35
250	15.1	34	35.5	33.0	31.5	32
315	15.1	24	22.5	35.5	36.2	30
400	9.8	26	25.4	39.8	39.4	33
500	9.9	30	29.9	43.8	38.9	37
630	15.2	33	33.8	46.6	42.5	39
800	14.4	36	37.4	49.5	42.1	40
1000	25.7	39	57.3	51.7	44.8	42
1250	18.4	41	61.5	53.7	45.5	44
1600	22.4	44	61.6	55.9	47.1	46
2000	28.5	47	54.3	57.0	46.3	48
2500	25.2	49	62.8	57.0	45.6	49
3150	32.9	52	74.4	56.9	47.4	51
4000	42.6	55	80.5	56.8	47.7	53
5000	47.0	57	83.8	56.6	48.0	55
R_m	20.9	39.6	47.7	45.4	41.1	41.1
%Doğruluk	51	96	87	90	100	100

Kullanılan modellerde kalınlığı 20 cm olan gazbetonlu (sıvasız) duvara ait deneysel veri (Demirkale, 2008) için dikkate alınan parametreler şunlardır:

Kalınlık: 0.2 m

Yoğunluk: 500 kg/m^3

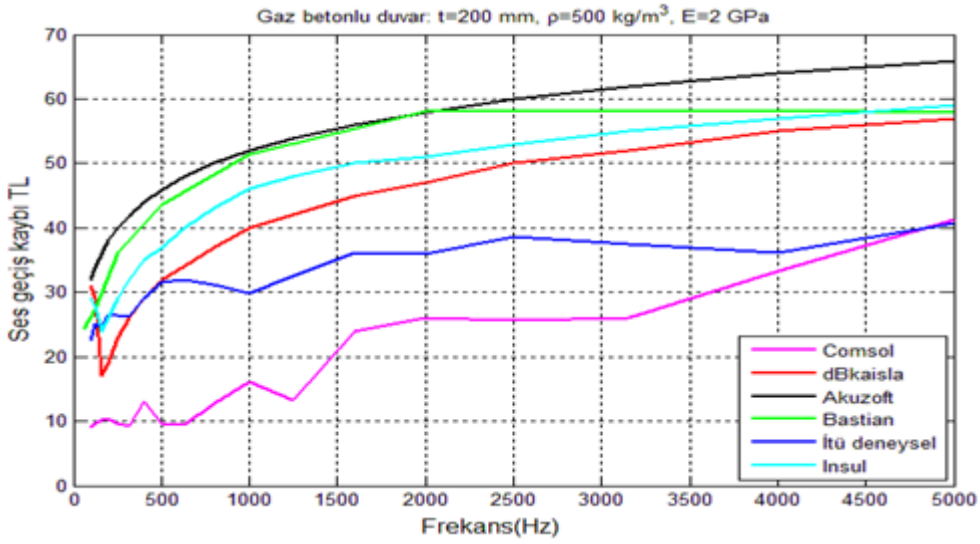
Porozite: 0.74

Elastisite modülü = 2*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.01

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.3'de ve Çizelge 7.3'de sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi verilmiştir.



Şekil 7.3. Kalınlığı 20 cm olan gazbetonlu (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

20 cm kalınlığındaki gazbetonlu sıvasız duvarın, frekansa karşılık gelen TL değeri yukarıdaki grafikte görülmektedir. Grafik düşük frekanslar ve yüksek frekanslar için incelenecek olursa, düşük frekanslar için Insul, Bastian ve Akuzoft modelleri deneysel veriye paralel sonuçlar verirken, yüksek frekanslarda deneysel veriden uzaklaşmaktadırlar. Bunun yanında dBKAisla modeli düşük frekanslar ve yüksek frekanslar için değerlendirildiğinde ortalama olarak deneysel veriye en yakın sonucu vermektedir. Comsol akustik modülü ise düşük frekanslar da deneysel veriden dB olarak uzak olsa da grafiksel eğim açısından iyi sonuç vermekte, yüksek frekanslar için deneysel veriye yakın sonuçlar sunmaktadır. Genel olarak Çizelge 7.3'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Insul, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.3'de de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.3. Kalınlığı 20 cm olan gazbetonlu (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri

20 cm gazbetonlu duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	9.0	31	32.0	29.5	22.5	29
125	9.6	29	33.9	30.5	25.0	28
160	10.1	17	36.0	31.3	24.5	24
200	10.3	19	38.0	32.0	26.5	26
250	9.6	23	39.9	33.0	26.5	29
315	9.2	26	41.9	35.5	26.2	32
400	13.1	29	44.0	39.8	29.1	35
500	9.7	32	45.9	43.8	31.6	37
630	9.4	34	47.9	46.6	32.0	40
800	12.8	37	50.0	49.5	31.1	43
1000	16.2	40	51.9	51.7	29.8	46
1250	13.3	42	53.9	53.7	32.5	48
1600	24.0	45	56.0	55.9	36.2	50
2000	26.1	47	58.0	57.0	35.9	51
2500	25.6	50	59.9	57.0	38.6	53
3150	26.1	52	61.9	56.9	37.4	55
4000	33.2	55	64.0	56.8	36.1	57
5000	41.4	57	65.9	56.6	40.8	59
R_m	17.2	36.9	49.0	45.4	31.2	41.2
%Doğruluk	55	82	43	54	100	68

Kullanılan modellerde 12 cm kalınlığa sahip beton duvara ait deneysel veri (TS EN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler aşağıdaki gibidir:

Kalınlık: 0.12 m

Yoğunluk: 2300 kg/m^3

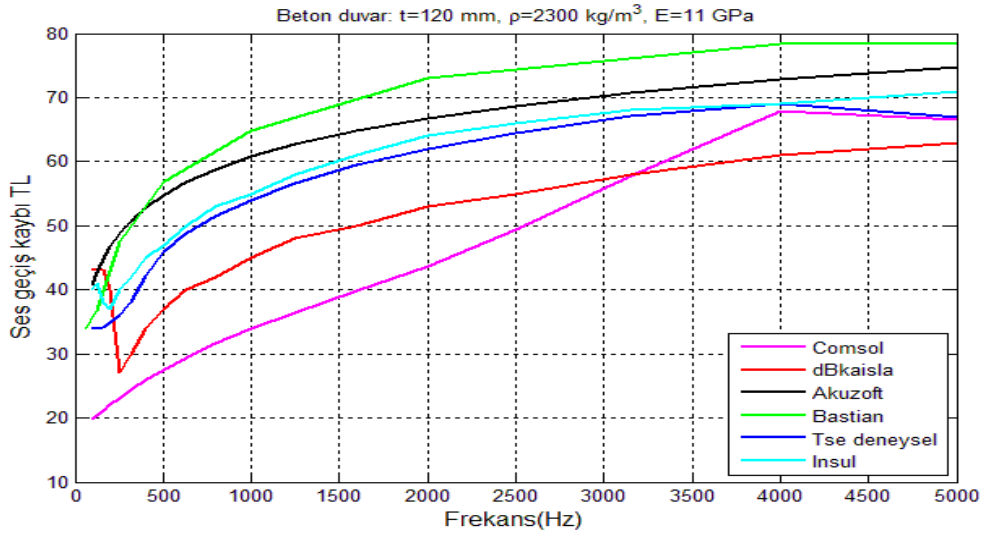
Porozite: 0.27

Elastisite modülü = 11*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.006

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.4 ve Çizelge 7.4, sırasıyla, 100 Hz-5000 Hz frekans aralığına karşılık gelen TL değerlerinin grafik ve çizelgesini göstermektedir.



Şekil 7.4. Kalınlığı 12 cm olan beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Frekanslara karşılık gelen TL değerleri gösterilmiş olan yukarıdaki grafikte, beş farklı modelin deneysel veriye düşük frekans ve yüksek frekans durumları için yaklaşımları görülmektedir. 100 Hz'lik frekans için deneysel verinin TL değeri yaklaşık 35 dB civarında olduğundan, Bastian, Insul dBKAisla ve Akuzoft modelleri deneysel veriye yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca grafiğin doğrultusu bakımından da Bastian, Insul, dBKAisla ve Akuzoft modeli deneysel veriye paralel bir şekilde yol almaktadır. Comsol modülü ise düşük frekanslarda daha düşük bir TL değerine sahip iken yüksek frekanslarda deneysel veriye daha yakın sonuç vermektedir. Ayrıca yapılarda dikkate aldığımız üst limit olan 4000 Hz'de, Insul, Akuzoft ve Comsol modelleri deneysel veriye en yakın sonuçları vermektedir. Genel olarak Çizelge 7.4'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, Insul, dBKAisla, Akuzoft, Bastian ve Comsol modeli etkili olmaktadır

Çizelge 7.4'de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.4. Kalınlığı 12 cm olan beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 120mm beton duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	20	43	40.8	35.5	34.2	40
125	20	43	42.7	36.8	34.0	41
160	21	43	44.8	39.5	34.2	38
200	22	40	46.8	43.4	34.9	37
250	23	27	48.7	47.5	36.0	40
315	24	30	50.7	50.7	38.2	42
400	26	34	52.8	54.0	42.1	45
500	27	37	54.7	56.8	46.0	47
630	29	40	56.8	59.5	48.8	50
800	32	42	58.8	62.3	51.5	53
1000	34	45	60.8	64.8	54.0	55
1250	36	48	62.7	67.4	56.6	58
1600	40	50	64.8	70.6	59.5	61
2000	44	53	66.8	73.0	62.0	64
2500	49	55	68.7	75.1	64.5	66
3150	58	58	70.7	77.2	67.2	68
4000	68	61	72.8	78.4	69.0	69
5000	67	63	74.7	78.4	66.9	71
R_m	35.6	45.1	57.8	59.5	50.0	52.5
%Doğruluk	71	90	84	81	100	95

Kullanılan modellerde kalınlığı 26 cm olan beton duvara ait deneysel veriler (TS EN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler aşağıda verilmektedir:

Kalınlık: 0.26 m

Yoğunluk: 2300 kg/m^3

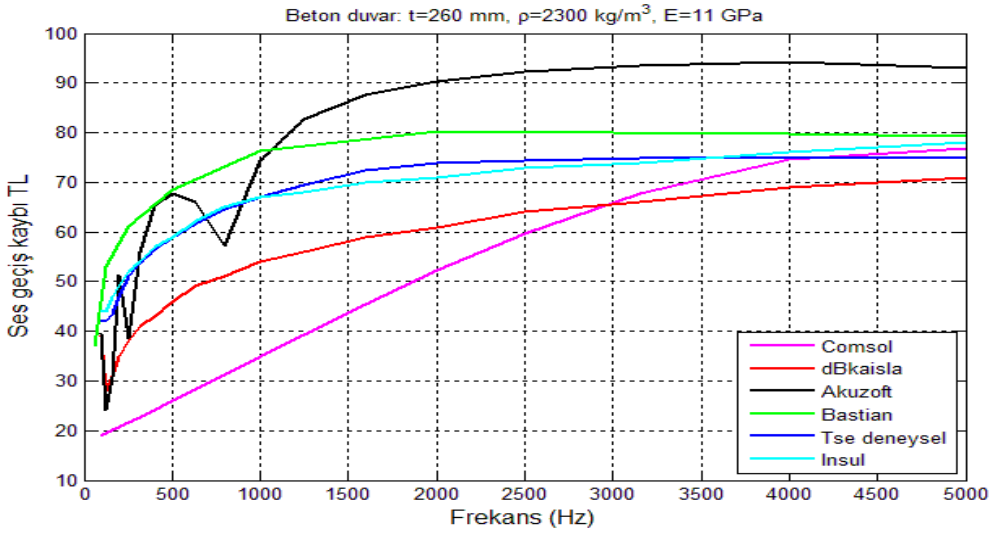
Porozite: 0.27

Elastisite modülü = 11*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.006

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.5'de ve Çizelge 7.5'de sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Kalınlığı 26 cm olan beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Her bir frekansa karşılık gelen farklı TL değerleri için Şekil 7.5'de verilen grafik hazırlanmıştır. Deneysel veriye yakınlıklarına bağlı olarak kullanılan ses yalıtım modellerinin başarılı olduğu söylenebilir. Düşük frekanslar ve yüksek frekanslar için değerlendirilen Şekil 7.5'de hem başlangıç değerleri hem de grafiksel doğrultu açısından Insul, Bastian ve dBKAisla modellerinin iyi sonuç verdiği görülmektedir. Akuzoft modeli başlangıç değer olarak yakın sonuç vermekle beraber düşük frekanslarda dalgalı bir görünüm çizmekte, yüksek frekanslarda deneysel veriye paralel bir eğim göstermektedir. Genel olarak Çizelge 7.5'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, Insul, Akuzoft, Bastian, dBKAisla ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.5'de de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri ve R_m değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.5. Kalınlığı 26 cm olan beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 260 mm beton duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	19	39	39.6	48.2	42.1	44
125	19	28	24.2	53.0	42.0	44
160	20	31	30.7	56.3	43.4	47
200	21	35	51.3	58.9	47.0	49
250	22	38	38.5	61.2	51.0	52
315	23	41	55.9	63.7	53.7	54
400	24	43	65.3	66.2	56.5	57
500	26	46	67.7	68.6	59.0	59
630	28	49	66.2	71.2	61.7	62
800	31	51	57.3	74.1	64.5	65
1000	35	54	74.3	76.3	67.0	67
1250	39	56	82.7	77.9	69.5	68
1600	46	59	87.7	79.6	72.4	70
2000	52	61	90.4	80.4	74.0	71
2500	60	64	92.2	80.3	74.4	73
3150	68	66	93.6	80.1	74.8	74
4000	75	69	94.1	79.7	75.0	76
5000	77	71	93.1	79.2	74.8	78
R_m	38.0	50.1	66.9	69.7	61.3	61.7
%Doğruluk	62	82	91	86	100	99

Kullanılan modellerde 11 cm kalınlığa sahip olan Ca-Si duvara ait deneysel veri (TSEN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler aşağıdaki gibidir:

Kalınlık: 0.11 m

Yoğunluk: 1750 kg/m^3

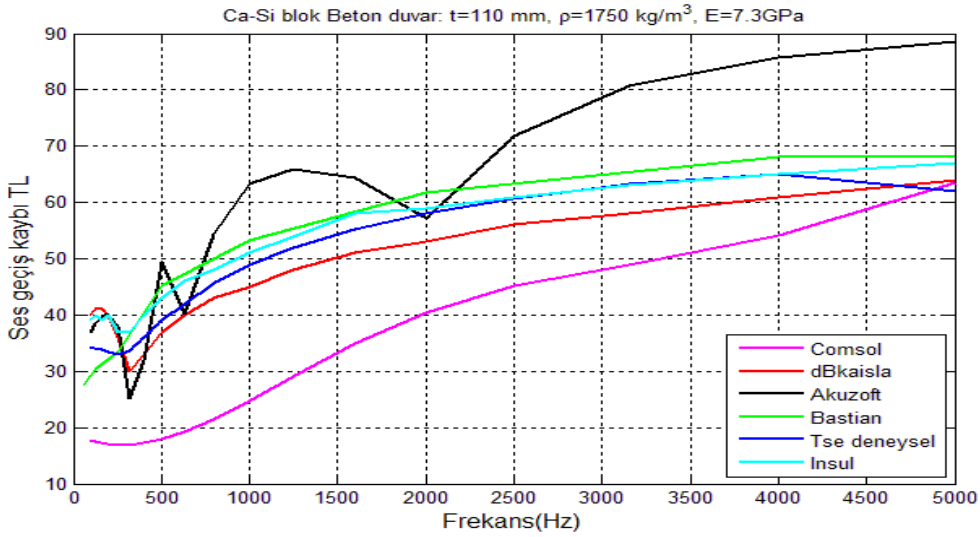
Porozite: 0.91

Elastisite modülü = $7.3*10^9$ N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.015

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.6'da ve Çizelge 7.6'da sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi verilmiştir.



Şekil 7.6. Kalınlığı 11 cm olan Ca- Si duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Her bir frekansa karşılık gelen TL değerlerinin bilinmesi, malzemenin ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi için önemli olmaktadır. Şekil 7.6'da yer alan grafikte, frekanslara karşılık TL değerleri kullanılan ses yalıtım modellerinin etkinliğini göstermektedir. Düşük frekanslarda Comsol akustik modül dışındaki diğer dört modelin deneysel veriye yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun yanında Akuzoft modeli hariç diğer dört modelin deneysel veriye paralel sonuçlar sunduğu görülmektedir. Genel olarak Çizelge 7.6'da görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Bastian, Insul, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.6'da her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.6. Kalınlığı 11cm olan Ca-Si blok duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 110 mm Ca-Si blok duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	22	40	37.0	29.4	34.0	39
125	21	41	38.5	30.4	34.0	40
160	20	41	39.7	31.3	33.8	39
200	19	40	40.1	32.2	33.4	40
250	18	36	38.1	33.4	33.0	37
315	17	30	25.1	36.1	33.7	37
400	15	33	31.9	40.8	36.1	40
500	15	37	49.3	45.1	39.0	43
630	16	40	40.1	48.0	41.9	46
800	19	43	54.4	50.8	45.6	48
1000	25	45	63.3	53.3	49.0	51
1250	33	48	65.9	56.0	52.0	54
1600	39	51	64.3	59.2	55.3	58
2000	41	53	57.1	61.8	58.0	59
2500	42	56	71.9	64.0	60.6	61
3150	52	58	80.8	66.4	63.4	63
4000	53	61	85.8	68.0	65.0	65
5000	61	64	88.5	68.4	62.0	67
R_m	29.4	45.4	54.0	48.6	46.1	49.3
%Doğruluk	64	98	83	95	100	93

Kullanılan modellerde kalınlığı 24 cm olan Ca-Si duvar ait deneysel veri (TSEN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler şunlardır:

Kalınlık: 0.11 m

Yoğunluk: 1750 kg/m^3

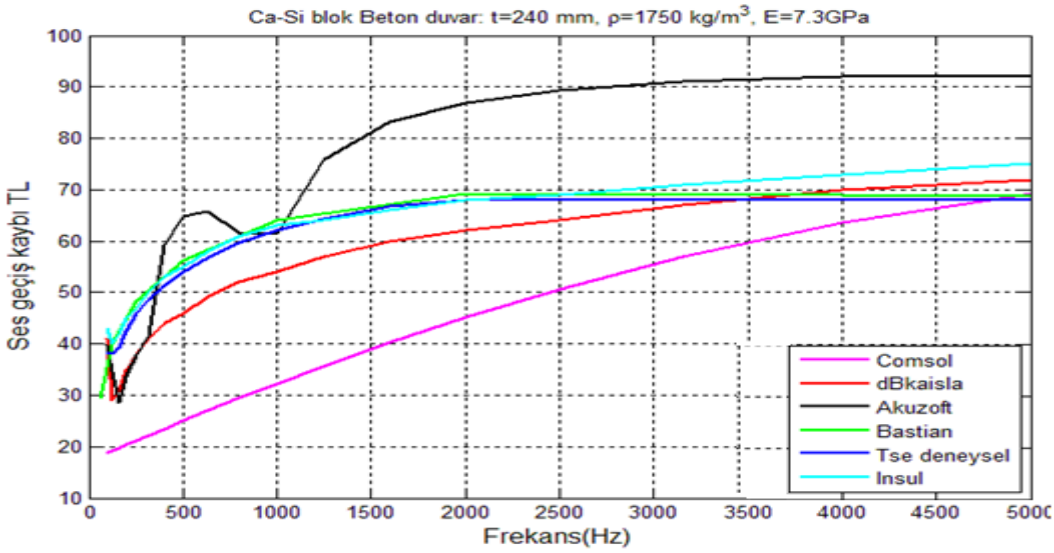
Porozite: 0.24

Elastisite modülü = $7.3*10^9$ N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.015

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.7 ve Çizelge 7.7, sırasıyla, belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafik ve çizelgesini göstermektedir.



Şekil 7.7. Kalınlığı 24 cm olan Ca- Si duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Kalınlığı 24 cm olan Ca-Si duvarın frekansa karşılık gelen TL grafiğinin gösterildiği Şekil 7.7'de her bir frekansa karşılık TL değerlerinin değişimi görülmektedir. Yapılar için düşünüldüğünde 125 Hz-4000 Hz, TL hesabında dikkate alınan bir aralık olmaktadır. Bu aralık için Bastian, dBKAisla ve Insul modelinin etkili sonuçlar verdiği Şekil 7.7'de de görülmektedir. Genel olarak Çizelge 7.7'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, Bastian, Insul, dBKAisla, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.7'de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri ve her bir model için R_m değerleri ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.7. Kalınlığı 24 cm olan Ca-Si duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 240 mm Ca-Si blok duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	19	41	39.8	36.6	38.0	43
125	19	29	34.7	40.1	38.0	40
160	20	31	28.5	43.2	39.2	42
200	20	35	33.7	45.9	42.4	45
250	21	38	37.8	48.4	46.0	47
315	22	41	41.5	51.0	48.6	50
400	23	44	59.0	53.7	51.4	53
500	25	46	64.8	56.1	54.0	55
630	27	49	65.9	58.8	56.7	58
800	29	52	61.6	61.8	59.6	61
1000	32	54	61.5	64.2	62.0	63
1250	36	57	75.9	66.1	64.2	64
1600	40	60	83.3	68.2	66.8	66
2000	45	62	87.0	69.2	68.0	68
2500	51	64	89.3	69.2	68.0	69
3150	57	67	91.0	69.1	68.0	71
4000	64	70	92.1	69.0	68.0	73
5000	69	72	92.2	68.7	68.0	75
R_m	34.4	50.7	63.3	57.7	55.9	57.9
%Doğruluk	62	91	87	97	100	96

Kullanılan modellerde 12 cm kalınlığındaki hafif kütleli beton duvara ait deneysel veri (TSEN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler aşağıdaki gibidir:

Kalınlık: 0.12 m

Yoğunluk: 1300 kg/m^3

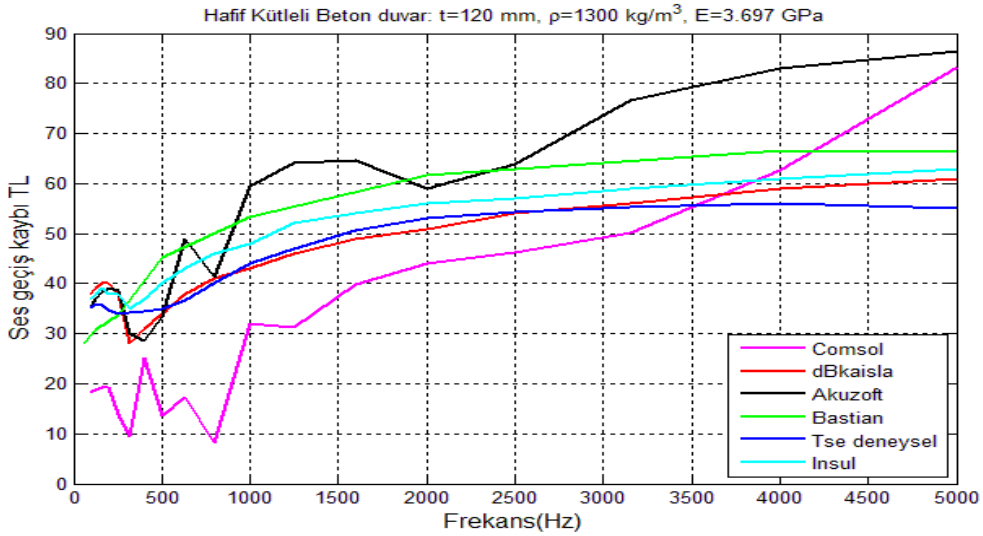
Porozite: 0.7

Elastisite modülü = 3.697*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.015

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.8'de ve Çizelge 7.8'de sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi verilmiştir.



Şekil 7.8. Kalınlığı 12 cm olan hafif kütleli beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Binalarda dikkate alınan frekans aralıkları 125 Hz ile 4000 Hz aralığı olmaktadır (Demirkale, 2008). Bu frekanslar içerisinde malzemenin TL değerinin tespiti, malzemenin ses yalıtımı açısından etkisini göstermektedir. Şekil 7.8, düşük ve yüksek frekanslar için değerlendirildiğinde hem başlangıç değerleri hem de grafiksel doğrultu bakımından Insul, Bastian ve dBKAisla modellerinin iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ayrıca Akuzoft modeli başlangıç değer olarak yakın sonuç verirken, düşük frekanslarda dalgalı bir görünüm çizmekte, yüksek frekanslarda ise deneysel veriye paralel ama uzak bir yaklaşım göstermektedir. Deneysel veriye yakınlıklarına bağlı olarak kullanılan ses yalıtım modellerinin başarılı olduğu söylenebilir. Genel olarak Çizelge 7.8'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, Bastian, Insul, dBKAisla, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.8'de her bir frekans değerine karşılık gelen TL değerleri ve her bir model için R_m değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 7.8. Kalınlığı 12 cm olan hafif kütleli beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 120mm hafif kütleli beton duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	20	43	40. 8	29.9	34.2	40
125	20	43	42. 7	30.8	34.0	41
160	21	43	44. 8	31.7	34.2	38
200	22	40	46, 8	32.5	34.9	37
250	23	27	48. 7	33.7	36.0	40
315	24	30	50. 7	36.3	38.2	42
400	26	34	52. 8	40.9	42.1	45
500	27	37	54. 7	45.1	46.0	47
630	29	40	56. 8	48.0	48.8	50
800	32	42	58. 8	50.8	51.5	53
1000	34	45	60. 8	53.3	54.0	55
1250	36	48	62. 7	56.0	56,6	58
1600	40	50	64. 8	59.3	59.5	61
2000	44	53	66. 8	61.8	62.0	64
2500	49	55	68. 7	63.6	64.5	66
3150	58	58	70. 7	65.5	67.2	68
4000	68	61	72. 8	66.5	69.0	69
5000	67	63	74. 7	66.4	66.9	71
Rm	35.6	45.1	57.8	48.4	49.9	52.5
%Doğruluk	71	90	84	97	100	95

Kullanılan modellerde kalınlığı 10 cm olan gazbeton duvara ait deneysel veri (TSEN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler aşağıdaki gibidir:

Kalınlık: 0.10 m

Yoğunluk: 650 kg/m^3

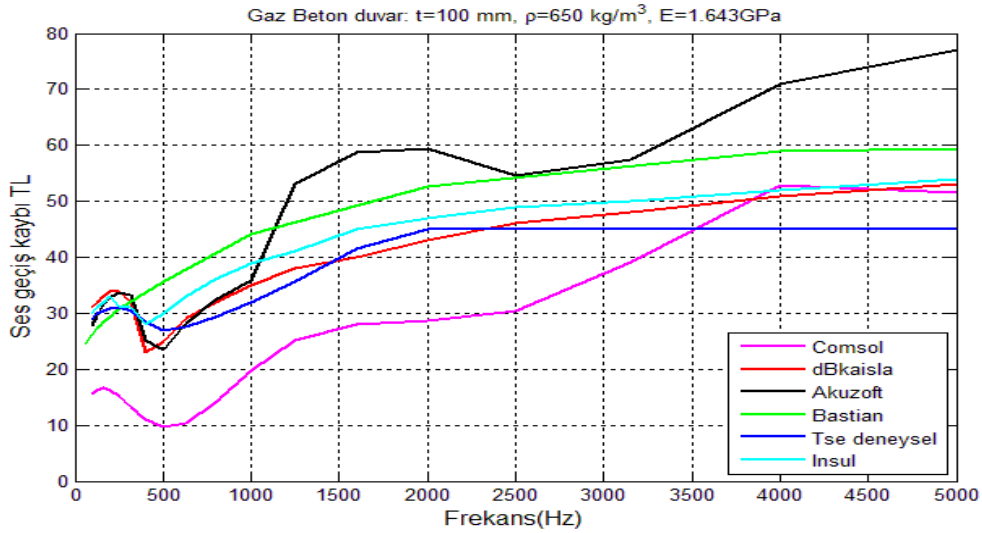
Porozite: 0.74

Elastisite modülü = 1.643*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.015

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.9'da ve Çizelge 7.9'da sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Kalınlığı 10 cm olan gaz beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

Kalınlığı 10 cm olan gazbeton duvarın frekansa karşılık gelen TL grafiğinin gösterildiği Şekil 7.9'da, her bir frekansa karşılık gelen TL değerlerinin değişimi görülmektedir. Özellikle Insul, Akuzoft, dBKAisla ve Bastian modelleri düşük frekanslarda deneysel veriye olan yakınlıkları ile ön plana çıkmaktadır. Artan frekanslara bağlı olarak Akuzoft modeli deneysel veriden uzaklaşırken Comsol akustik modülü yaklaşık 3500 Hz'de deneysel veri ile aynı TL değerine sahiptir. Ayrıca Comsol akustik modülü 100 Hz-2000 Hz aralığında grafiksel yaklaşım olarak deneysel veriye dB değeri olarak uzak olsa da iyi bir sonuç vermektedir. Genel olarak Çizelge 7.9'da görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Insul, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.9'da her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için R_m değerleri ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.9. Kalınlığı 10 cm olan gazbeton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 100 mm gaz beton duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	16	31	27.9	26.3	28.9	30
125	16	32	29.6	27.3	30.0	31
160	17	33	31.4	28.5	30.5	32
200	16	34	32.8	29.6	30.8	33
250	15	34	33.6	30.8	31.0	31
315	13	32	33.3	32.2	30.3	31
400	11	23	25.1	33.9	28.4	28
500	10	25	23.4	35.7	27.0	30
630	10	29	28.3	38.2	27.6	33
800	14	32	32.4	41.2	29.4	36
1000	20	35	35.9	44.2	32.0	39
1250	25	38	53.2	46.9	35.6	41
1600	28	40	58.8	50.1	41.5	45
2000	29	43	59.3	52.6	45.0	47
2500	30	46	54.6	54.9	45.0	49
3150	39	48	57.3	57.3	45.0	50
4000	53	51	70.9	58.9	45.0	52
5000	52	53	77.1	59.3	45.0	54
R_m	23.0	36.6	42.5	41.5	34.9	38.4
%Doğruluk	66	95	78	81	100	90

Kullanılan modellerde 20 cm kalınlığındaki gazbeton duvara ait deneysel veri (TSEN12354-1, 2006) için dikkate alınan parametreler şunlardır:

Kalınlık: 0.20 m

Yoğunluk: 650 kg/m^3

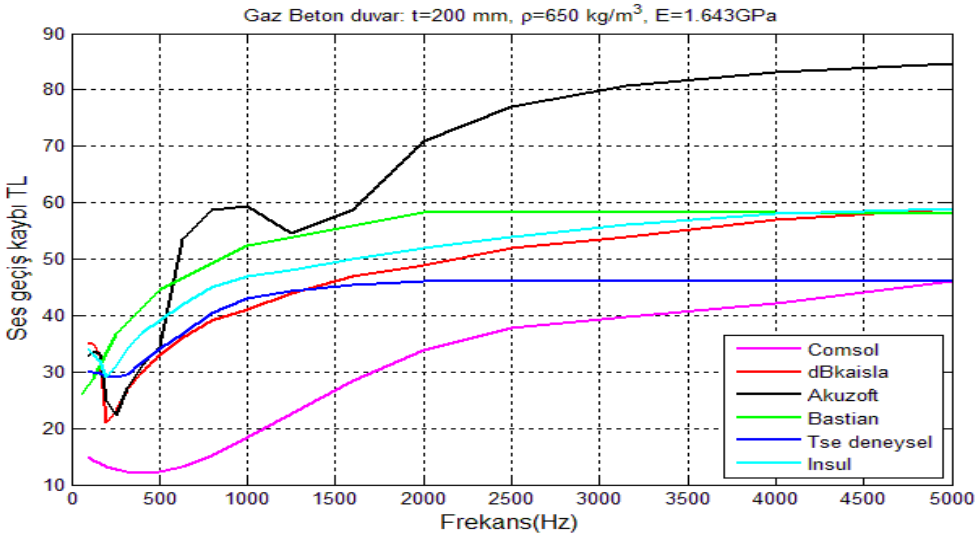
Porozite: 0.74

Elastisite modülü = 1.643*10^9 N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.010

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.10 ve Çizelge 7.10, sırasıyla, belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafik ve çizelgesini göstermektedir.



Şekil 7.10. Kalınlığı 20 cm olan gaz beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TL değerleri açısından Şekil 7.10 değerlendirildiğinde, kullanılan beş modelin deneysel veriye olan yakınlıkları farklılık göstermektedir. Deneysel veriye olan yakınlık, kullanılan yalıtım modelinin başarısını göstermektedir. Düşük frekanslar için Comsol akustik modülü hariç diğer dört modelin deneysel veriye yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Grafiğin eğimine bakıldığında, yaklaşık 500 Hz frekansa kadar Akuzoft ve dBKAisla modelleri iyi sonuç vermektedir. Başlangıç frekansı açısından Comsol modülü diğer modellere göre en uzak sonucu vermesine rağmen yüksek frekanslar için en iyi sonuca ulaşmaktadır. Genel olarak Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Insul, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır.

Çizelge 7.10'da açık bir şekilde her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.10. Kalınlığı 20 cm olan gaz beton duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB

TSE 200 mm Gazbeton duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	15	35	32.8	27.6	30.0	34
125	14	35	33.6	28.8	30.0	33
160	14	33	33.1	31.0	29.8	32
200	13	21	25.0	33.8	29.4	29
250	13	23	22.4	36.7	29.0	31
315	12	27	27.1	39.3	29.6	34
400	12	30	31.1	42.1	31.6	37
500	12	33	34.4	44.6	34.0	39
630	13	36	53.5	47.2	36.7	42
800	15	39	58.8	50.1	40.3	45
1000	18	41	59.3	52.4	43.0	47
1250	23	44	54.5	54.6	44.3	48
1600	29	47	58.8	57.1	45.5	50
2000	34	49	70.9	58.4	46.0	52
2500	38	52	77.1	58.4	46.0	54
3150	40	54	80.8	58.4	46.0	56
4000	42	57	83.2	58.4	46.0	58
5000	46	59	84.7	58.1	46.0	59
R_m	22.4	39.7	51.2	46.5	38.0	43.3
%Doğruluk	59	96	65	78	100	86

Kullanılan modellerde kalınlığı 1.3 cm olan alçı panele ait deneysel veri (Yavuz, 2007) için dikkate alınan parametreler aşağıdaki gibidir:

Kalınlık: 0.013 m

Yoğunluk: 661.5 kg/m^3

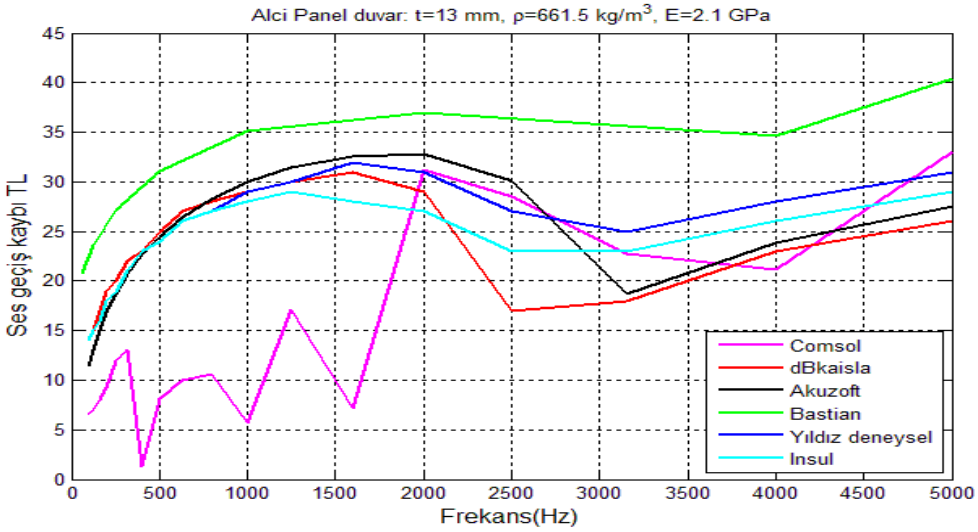
Porozite: 0.6

Elastisite modülü = $2.1*10^9$ N/m^2

İç kayıp faktörü: 0.006

Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Şekil 7.11'de ve Çizelge 7.11'de sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi verilmiştir.



Şekil 7.11. Kalınlığı 1.3 cm olan alçı panelin ses geçiş kaybı değerleri, dB

Son analiz çalışması olan alçı panelde, frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği Şekil 7.11'de verilmiştir. Grafikteki eğimlere bakıldığında deneysel verinin yaklaşık 2800 Hz civarında Akuzoft modeli ile aynı değeri verdiği görülmektedir. Deneysel verinin yaklaşık 3100 Hz civarında yapmış olduğu eğim değişikliği, Insul modelinde 2500 Hz'de olurken Bastian ve Comsol modelinde 4000 Hz civarında olmaktadır. Genel olarak Çizelge 7.11'de görüldüğü gibi doğruluk yüzdelerinin deneysel veriye yakınlıkları açısından sırasıyla, dBKAisla, Insul, Bastian, Akuzoft ve Comsol modeli etkili olmaktadır. Genel anlamda Şekil 7.11'de de görüldüğü gibi sırasıyla Akuzoft, Insul, dBKAisla ve Bastian modelleri deneysel veriye yakın sonuç verirken, Comsol modülü en uzak sonucu vermektedir. Çizelge 7.11'de her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri her bir model için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Çizelge 7.11. Kalınlığı 1.3cm olan alçı panelin ses geçiş kaybı değerleri, dB

Yıldız 13 mm Alçı Panel duvarın ses geçiş kaybı (TL), dB						
Frekans	**Comsol**	**dBKAisla**	**Akuzoft**	**Bastian**	**Deneysel**	**İnsul**
100	7	14	11.4	22.6	14.0	14
125	7	15	13.1	23.6	15.0	15
160	8	17	15.0	24.8	16.0	16
200	9	19	16.9	25.9	18.0	18
250	12	20	18.7	27.1	19.0	19
315	13	22	20.6	28.4	21.0	21
400	1	23	22.6	29.7	23.0	23
500	8	25	24.5	31.0	24.0	24
630	10	27	26.4	32.4	26.0	26
800	11	28	28.3	34.0	27.0	27
1000	6	29	29.9	35.2	29.0	28
1250	17	30	31.4	35.9	30.0	29
1600	7	31	32.6	36.6	32.0	28
2000	31	29	32.8	36.9	31.0	27
2500	29	17	30.1	36.6	27.0	23
3150	23	18	18.7	35.5	25.0	23
4000	21	23	23.8	34.6	28.0	26
5000	33	26	27.5	40.4	31.0	29
R_m	14.0	22.9	23.6	31.7	24.2	23.1
%Doğruluk	58	95	98	59	100	95

8. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR

8. 1. Sonuçlar

Malzemeye ait TL değerlerinin belirlenmesi, gürültüye karşı alınması gereken önlemlerin başında gelmektedir. Kullanılan malzemelerin ses yalıtımı açısından etkisi, ilgili standartlarda verilen şartları sağlamasına ve TL değerinin yüksek olmasına bağlı olmaktadır. Bir malzemenin TL değeri ne kadar yüksek ise o malzeme ses yalıtımı açısından o kadar iyi bir özellik taşıyor demektir. Ses yalıtımı açısından malzemeleri değerlendirirken karşımıza üç farklı yol çıkmaktadır. Bunlar sırasıyla: analitik hesaplama yöntemi, deneysel çalışma yöntemi ve simülasyon uygulamalarıdır. Bu yöntemlerin ortak amacı ise ses yalıtımı açısından en uygun malzemenin tespitini yapmaktır. Yöntemler içerisinde en etkili sonucu, ortam koşulları, gerekli teçhizatlar ve gerekli optimum şartları sağlaması bakımından deneysel çalışma yöntemleri vermektedir. Ancak deneysel çalışmalara yakınlığı son zamanlardaki çalışmalarla bir hayli yüksek olan simülasyon uygulamaları da malzemelerin ses yalıtım değerlerinin tespitinde kullanılmaya başlanmış ve bu tez kapsamında da simülasyon modellerinin etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada geçen şekiller ve çizelgeler incelendiğinde, malzemeye ait TL ve R_m değerlerinin bilinmesi malzemenin ses yalıtımı açısından başarısını vurgulamada önemlidir. Detayları verilmiş olan ses yalıtım modelleri ile malzemelerin ses yalıtım değerlerinin tespit edilmesi sonucu, kullanılan modellerin etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Modellerin doğruluğunun ölçülmesinde ise her modelin R_m değerinin, deneysel çalışma sonucu olan R_m değerine oranı kullanılmıştır. Modellerin doğruluk hesabı yapılırken de her model için 11 malzemeye ait doğruluk değerlerinin ortalaması alınarak modellerin doğruluk yüzdesi belirlenmiştir. Aşağıda sonuçları verilen bu çalışmadan elde edilen sonuçların gelecek çalışmalara ışık tutması hedeflenmektedir:

- TL değerleri frekans bazında karşılaştırıldığında malzemelerin TL değerleri ne kadar büyükse sağladığı ses yalıtım değeri de o kadar büyük olmaktadır.
- R_m değerleri açısından ise R_m değeri en yüksek olan duvar, ses açısından en yalıtımlı duvarı temsil etmektedir. Ancak yapılan karşılaştırmalar, kullanılan modeller ile deneysel veriler arasında olduğundan, deneysel verinin R_m değerine en yakın model, ses yalıtımı açısından daha etkili olmaktadır.

- Deneysel veriler sonucunda elde edilmiş olan R_m değerlerine bağlı olarak 11 adet malzemenin doğrulukları karşılaştırıldığında sırasıyla Insul modeli %91, dBKAisla modeli %91, Bastian modeli %82, Akuzoft modeli %78 ve Comsol akustik modülü %61 seviyesinde oldukları saptanmıştır.
- Kullanılan ses yalıtım modelleri içerisinde dBKAisla ve Insul modelinin doğruluklarının aynı çıkması dikkat çekmektedir. Bu ses yalıtım modellerinin deneysel veriler ışığında hesaplanmış olan TL ve R_m değerlerine yakın sonuçlar vermesi, bu modellerin malzemelerin ses yalıtım değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilecek olduğunu göstermektedir.
- Bastian modeli TS EN12354 standardındaki hesaplama kriterlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulmuştur. Bu model, deneysel çalışmalardan elde edilen TL ve R_m değerlerine yakınlığı bakımından dBKAisla ve Insul modeline göre daha az etkili olmaktadır.
- Kullanılan diğer bir ses yalıtım modeli olan Akuzoft'un, deneysel çalışmaları yapılmış olan ve malzemelere ait TL ve R_m değerlerinin hesaplanması sonucu bulunan doğruluk değeri, Insul, dBKAisla ve Bastian modeline göre çok da etkin olmadığı görülmüştür.
- Kullanılan son ses yalıtım modeli olan Comsol akustik modülü, deneysel olarak TL ve R_m değerleri hesaplanmış olan malzemelere doğruluk değeri açısından uzak sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla kullanılan diğer beş model içerisinde çok da etkin olmadığı görüşüne varılmıştır. Ayrıca bu model düşük frekanslar için TL değeri açısından deneysel veriye yakın sonuçlar vermezken, yüksek frekanslarda deneysel veriye daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Genel anlamda ses yalıtım modellerini kendi içinde karşılaştırdığımızda sırasıyla Insul ve dBKAisla modellerinin deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiği, Bastian ve Akuzoft modellerinin daha az etkili olduğu, Comsol akustik modülünün ise çok da etkili olmadığı söylenebilir.

8. 2. Tartışma

Yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar literatür açısından önemlidir. Bu tezde kullanılan ses yalıtım modelleri arasından özellikle Insul ve dBKAisla modellerinin elde edilen sonuçlar itibariyle oldukça başarılı oldukları görülebilir. Elde edilen sonuçlara göre Bastian ve Akuzoft modelinin, geliştirilmesi halinde daha etkili sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Comsol modülü düşük frekanslarda deneysel olarak belirlenmiş TL değerlerine uzak sonuçlar verirken, yüksek frekanslarda yakın değerler elde edilmesi bu modelin çok da etkili bir model olmadığını göstermektedir. Comsol modülünün deneysel sonuçlara uzak olmasının nedenlerinden birisinin, modellenen sistemin iki boyutta modellenmiş olmasından kaynaklandığı**,** gerçek bir sistem üç boyutlu olarak inşa edildiğinden, yapılan iki boyutlu modellemenin sonuçlarını etkilediği düşünülmektedir. Comsol modülünün etkili sonuç vermemesinin bir diğer nedeninin, sistem modeli oluşturulurken girilen parametrelerin artırılabilir olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Ratnieks'in (2012) kilden yapılmış tuğla duvarlar için TL hesabında kullandığı matematiksel modeli ile iki boyutlu Comsol akustik modül programını kullanarak düşük frekanslar için hesaplamış olduğu ortalama TL değerini deneysel verilere yakın bulmuş olması, Comsol modülünün geliştirilmesi halinde çözüme ulaşılacağını göstermiştir.

Diğer taraftan Insul ve dBKAisla modelleriyle karşılaştırıldığında Akuzoft ile daha az doğruluk oranı elde edilmiştir. Akuzoft modeliyle bulunan sonuçların deneysel değerlere nispeten uzak olmasının nedeni, ses geçiş katsayının hesaplanmasına ilişkin oluşturduğu denklemde, ses yankısının olmaması durumu için integral sınır değerlerini 0^0 ile 78^0 olarak kabul etmiş olması düşünülmektedir.

8. 3. Gelecek Çalışmalar

Gürültü kontrolünü sağlamak üzere disiplinler arası çalışmalar neticesinde belirlenmiş olan TL ve R_m değerleri, özellikle bu alanda yapılacak çalışmalara bir temel teşkil etmektedir. Simülasyon çalışmalarının her geçen gün artması ile insanların çalışma alanlarını bu yöne kaydırmaları, yapılan bu tez çalışmasının önemini daha da artırmaktadır.

Öncelikli olarak, malzemelere ait TL ve R_m değerlerinin bulunmasında kullanılan her bir parametre, yapılan çalışmanın sonucunu etkilemektedir. Bu anlamda

yapılacak yeni çalışmalarda kullanılacak olan parametrelerin seçimi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bu tezde sadece 11 adet TL ve R_m değerleri deneyler sonucunda saptanmış malzemelerin doğruluk analizi yapılmıştır. Bundan dolayı malzeme sayılarının artırılması ve modellerin malzeme üzerindeki etkilerinin daha fazla araştırılması, modellerin etkinliğini tespit etmekte fayda sağlayacaktır. Comsol modülünün daha detaylı incelenmesi neticesinde kullanılacak parametrelerin ve ilgili geometrik sınırların daha ayrıntılı olarak belirlenmesi ile daha doğru sonuçların alınacağı yapılan çalışma neticesinde öngörülmektedir.

Ayrıca gelecekte bu tezde kullanılmış Insul, dBKAisla, Bastian, Akuzoft ve Comsol modellerini bir arada bulunduracak bir ara yüz programının geliştirilmesi planlanmaktadır. Diğer taraftan, yapılan çalışma tek paneller için uygulanmış olup çok katmanlı ve kompozit paneller için yapılacak çalışmaların ön hazırlığı niteliğindedir.

KAYNAKLAR

Arslan, M.H.,ve ark., "Tünel Kalıp Sistemiyle Üretilen Konutlarda Isısal Ve İşitsel Konforun Sağlanması Amacıyla Betonarme İçinde Plastik Malzeme Kullanımı", *E-Journal Of New World Sciences Academy (Nwsa),* 6, 4, 1146-1160, Mayıs, 2011.

Marco, A. A. B., 2010, Diseño E Implementación De Una Aplicación Computacional Para El Modelado De Soluciones Acústicas, Master's Thesis, *Universidad Austral De Chile Facultad De Ciencias De La Ingeniería Escuela De Ingeniería Civil Acústica* Valdivia, Chile.

Anonim, 2012, Acoustics of a Particulate, Filter Like System, 3-26.

Anonim, 1986, Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, 19308.

Ataş, A., Şahin, E., ve ark., 1995, "Endüstriyel gürültünün işitme eşikleri üzerine etkileri", *5. Ergonomi Kongresi*, İstanbul, 9-261.

Ateş, İ. T., Yapı Bilgisi, Ders Notları, Muğla/Milas, 2005.

Chauhan, A., et al, "Assessment of noise level status in different areas of Moradabad City", *Report and Opinion,* 2, 5, 59-61, 2010.

Arpacı, A., 1995, Gürültü kirliliğinin incelenmesi ve öneri getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Akdağ, Ö., 1998, Çeşitli inşaat malzemelerinin ses yalıtım değerinin deneysel karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.

Akdağ, N. Y., 2001, "Ses Yalıtımı Açısından İç Duvarların Değerlendirilmesi", *Yalıtım kongresi, 23-24-25 Mart 2001*, Eskişehir, Türkiye.

Alyanak Kaya, F., 2010, Binalarda Isı Yalıtım Kurallarına Uygun Yapı Üretiminde Duvar Malzemesi Seçimine Yönelik Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Bölümü, Isparta.

Aydın, O., 2007, Termik Santral Atığı Küllerin Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyon.

Arıkan, M.A.S., Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, *Ders Notları*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2000.

ASTM C 1012, Standart Test Method for Length Chance of Hydraulic-Cement Motars Exposed to a Sulfate Solution, *Annul Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA.

Ballagh, K.O., 2004, "Accuracy of Prediction Methods for Sound Transmission Loss", *The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, 2004.

Bayol, H., 1997, Yapı elemanlarında ses geçiş kayıplarının bilgisayar yordamıyla hesaplanması ve yapılan uygulama örnekleriyle ses geçirimsizliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Bayraktar, A., 1984, "Karayollarından Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Önerileri", *V. Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu*, 84, 11-16, İzmir, 1984.

Bilgiç, M., 2009, Yüksek Performanslı Prefabrike Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yapı Eğitimi Anabilim Dalı*, Isparta.

Belgin, E., 1994, "Gürültünün insan sağlığına etkileri", *Kent ve Gürültü Sempozyumu*, 2009, Ankara, 39-46.

Bilgiç E., ve Sadıkhov, E., 1994, Gürültü ve Titreşim, *Ulusal Metroloji Enstitüsü Fizik Grubu, Akustik ve Titreşim laboratuvarı*, *UME 94-008*, Aralık, Gebze, Kocaeli.

Beranek, Leo L., "Criteria for office quieting based on questionnaire rating studies", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 28, 833.

Beranek, L., "Criteria for noise and vibration in buildings and vehicles" *Noise Reduction, McGraw-Hill, New York,* 514-538.

Büyüklü, K. 2011, İzocam A.Ş, *Mühendis ve Makine*, 47, 563.

Bolton, J., Shiau, N., Kang, Y., "Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials", *Journal of Sound and Vibration*, 191 3, 317–347, 4 April, 1996.

Cambridge, J.E., 2006, An evaluation of various sound insulation programs and their use in the design of silent rooms, Master's Thesis, *Chalmers University of Technology*, Göteborg, Sweden.

Cantrell, R. W., Physiological effects of noise", *Otolaryngologic Clinics of North America*, 12, 3, 537-549, 1979.

Coşgun, T., Yüksel, F. A., ve Çoşgun, A., "Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binalarda Yaşanan Gürültü Problemleri Üzerine Bir Araştırma", *Uygulamalı Yerbilimleri,* 1, 65-72, Mayıs-Haziran, 2008.

Cremer, L., Heckl, M., and Petersson, B. A., "Structure-borne sound: structural vibrations and sound radiation at audio frequencies", *Springer-Verlag*, 1, 492-497, Berlin and New York, 2005.

Cremer, L., "Theorie der Schalld", *Akustische Zeitschrift*, 7, 81-104, 1942.

Çalık, A., Ansys ve Uygulamaları, Proje Raporu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 2004.

Chauhan, A., "Study of noise pollution level in different places of Haridwar and Dehradun city", *Environment Conservation Journal*, 9, 3, 21-25, India, 2008.

Çiçek, Y., 2002. Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin, Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 112, İstanbul.

Çam, İ., "Türkiye'deki iş kazaları ve meslek hastalıkları probleminin çözümünde iş güvenliği eğitiminin önemi üzerine bir araştırma", *Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayını*, 50, 49-88, Ankara, 1993.

Çengel, A. C., "Heat transfer a practical approach", *McGraw-Hill*, 2003.

Çengel, A. Y., "Heat transfer a practical approach", *Tata McGraw-Hill*, 2007.

Çevre Yönetimi, Çevresel gürültü ölçüm ve değerlendirme kılavuzu, Ankara, 2011.

D'Allessandro, F. et Al. 2005, "Sound absorption properties of sustainable fibrous materials inan enhanced reverberation room", *Environmental Noise Control*, *Proc. of internoise,* 07-10 August, 2005*,* Rio de Janeiro, Brazil.

Del Coz Diaz, J.J., et.al., 2010, "Sound transmission loss analysis through a multilayer lightweight concrete hollow brick wall by FEM and experimental validation", *Building and Environment,* 45, 11, 2373-2386, November, 2010.

Deka, S., "Study on noise pollution in different areas of Guwahati city", *Indian Journal of Environment and Ecoplanning*, 3, 3, 633-636, India, 2000.

Demirkale, S.Y., 1999, "Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi", *Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Ocak, 1999, 41-53.

Demirkale, S. Y., "Çevre ve Yapı Akustiği", *Birsen Yayınevi*, Ocak 2007, İstanbul, 2007.

Demirkale, S.Y., 2008, Yapı Elemanlarında Sesin Yayılması, Ceşitli Duvarların Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması, Rapor, *İtü Mimarlık Fakültesi,* Ocak, 2008.

Demirkale, S. Y., Ses yalıtımı ve denetimi, *İYEM Ders Notları,* Gebze, 1999.

Dokumacı, E., Kızılöz İ., Dicle, Z., "Trafik Gürültüsü ve Oturulan Bölgelerdeki Etkileri, İzmir İncelemesi", *Tübitak VII. Bilim Kongresi Çevre Araştırmaları Grubu Tebliğleri,* 3-7 Kasım 1980, İstanbul.

Doelle, L., "Environmental Acoustics", *McGraw-Hill*, USA, 1972.

Dym, CL., and Lang, MA., "Transmission of sound through sandwich panels", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 56, 1523, June, 1974.

Evirgen, M., "Gürültü kontrol yönetmeliği, mevcut uygulamalar", *Gürültü ile mücadele, Kent ve Gürültü Sempozyumu*, Ankara, 18-30, 1994.

Eroğlu, H. ve Usta, M., Kağıt ve Karton Üretim Teknolojileri Ders Kitabı. 1. Cilt, İstanbul Esen Ofset Matbacılık, 94-112, 2004.

Erdoğan, Y., 2007, Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,* Adana.

Everest, F.A., and Pohlmann, K. C., "*The* Master Handbook of Acoustics", *McGraw-Hill,* 4, New York, 1994.

Ekinci, C.E., Güler, Ç., ve Eminel, M., "Yapılarda elektroiklimsel kirliliğe neden olan etkenlerin incelenmesi", *Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Denetimi-Yalıtım Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı,* 455-471, İstanbul, 2004.

Erbaş, N., "Sanayileşme ile gelen çevre sorunları", *Standart, Ekonomik ve Teknik Dergi,* 42, 497, 29-33, 2003.

Erel, S.S., "Bir toplumun yaşam standardı evlerde oluşur", *MPM Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi*, 1, 5, 5, 1989.

Fahy, F., "Foundations of engineering acoustics", *Elsevier*, New York, 2001.

Fringuellino, M., and Guglielmone, C., "Progressive impedance method for the classical analysis of acoustic transmission loss in multilayered walls", *Applied Acoustic,* 59, 3, 275–285, 2000.

Ford, RD., and et. Al., "Sound transmission through sandwich constructions", *Journal of Sound Vibration*, 5 1, 9–21, January, 1967.

Forster, FM., "Human Studies of epileptic seizures induced by sound and their conditioned extinction", *In: Physiological effects of noise, edited by Welch BL and Welch AS, Plenum Press,* 151–85, 1970, New York, USA.

Guy, R. W., "The transmission of airborne sound through a finite panel, air gap, panel and cavity configuration a steady state analysis", *Acoustica,* 49, 4, 323-333, December, 1981.

Gangwar, K.K., Joshi, B.D. and Swami, A., "Noise pollution status at four selected intersections in commercial areas of Bareilly Metropolitan city", U.P. *Him. J. Env. & Zool.* 2006, 20,1, 75- 77, 2006.

Gerretsen, E., "Airborne and impact sound Insulation between dwellings", *Applied Acoustics*, 19, 4, 245-264, 1986.

Gündüz, L., "İnşaat Sektöründe Bimsblok", *Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi*, 928, Isparta, 2005.

Görçiz, G., "Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi", *Tukder yayınları*, 3, 9, 26-32, Manisa, 2000.

Heckl, M., "Schallabstralung von Platten bei Punktförmiger Anregung (Sound radiation from plates with point excitation) ", *Acust*., 9, 371-380, 1959.

Homsi, N., E., 2003, Acoustical Characterization and Parameter Optimization of Polymeric Noise Control Materials, PhD Thesis, *New Jersey Institute of Technology Newark*, New Jersey.

Ilgun, A., et al., "Determination of sound transfer coefficient of boron added waste cellulosic and paper mixture panels", *Sci. Res. Essays,* 5, 12, 1530-1535, 2010.

Insul, "Sound Insulation Prediction Program", *Marshall Day Acoustics version 6*, New Zealand, 2011.

İzoder**,** Yalıtım Sektörü Envanter Araştırması Raporu*,* İstanbul, 2009.

İzoder, İnşaat Teknolojisi, Isı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneği, İstanbul, 2013.

ISO 10140-1, "Acoustics Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements", Part 1: *Application rules for specific products*, 2010.

ISO 10140-5, "Acoustics Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements", Part 5: *Requirements for test facilities and equipment*, 2010.

Jensen, MM., Rasmussen, AT., "Audiogenic stress and susceptibility to infection. In: Physiological effects of noise", *Springer*, 7–19, New York, 1995.

Josse, R., Lamure, J., "Transmission du son par une paroi simple", *Acustica,* 14, 5, 266-280, 1964.

Karabiber, Z., "Gürültü İnsan Etkileşimi", *Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelik Sempozyumu, Boğaziçi Üniv. Çevre Bilimleri Enst., I. Bildiriler*, 1, 458-470, İstanbul, 1991.

Karabiber, Z., 2000, "Gürültü Kirliliği ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği II", *Tesisat, Dergisi*, 60, 156-164, 2000.

Karabiber, Z., "Gürültü kirliliği ve yapılarda ses yalıtımı", *İzolasyon Dünyası Dergisi* , 6-10, 2002.

Karaman, Ö. Y., "Ülkemizde Kullanılabilecek Dış Duvar Elemanlarının Ses Yalıtım Performansı- Isı Geçirgenlik Katsayısı-Maliyet Açısından Değerlendirilmesi",

Çatı Cephe Fuarı-Cnr, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, 2-3 Nisan 2004.

Köyağası, L., G. Çalış, "Gürültü ile Mücadele", *Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi*, 5-9 Haziran, İzmir, 1998.

Karaağaçlıoğlu, İ. E., 2012, Bor ve Mineral katkılı selülozik yalıtım malzemesi üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Köse, H., ve ark., "Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları", *2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 97-105, 1997.

Kurra, S., "Comparison of the models predicting sound Insulation values of multilayered building elements", *Applied Acoustics*, 73, 575-589, 2012.

Kurra, S., "Türkiyenin Çevre Sorunları", *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, 447-484, Ankara 1991.

Kurtze, G., and Watters, BG., "New wall design for high transmission loss or high damping", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 31, 739–48, 1959.

London, A., "Transmission of reverberant sound through double walls", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 270, October, 1950.

Laman,M., ve Keskin,M. S., "Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi", *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri,* 431, 2004.

Ljunggren, S., "Airborne sound Insulation of thin walls", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 89, 2324, March, 1991.

Lehman, AG., 1970, "Psychopharmacology of the response to noise with special reference to audiogenic seizure in mice". In: Physiological effects of noise, edited by Welch BL and Welch AS, *Plenum Press*, 227-257, New York, USA, 1970.

Macken W, J., et Al., "Learning, Memory, and Cognition", *Journal of Experimental Psycholog,* 25, 3, 810-814, May, 1999.

Moore JA., 1975, Sound transmission loss characteristics of three layer composite wall constructions. *Ph.D. thesis,* MIT.

Maidanik, G., "Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields", *The Journal of the Acoustical Society of America,* 34, 809, 1962.

Özkan, S., "Ses yalıtım uygulamaları", *Yalıtım kongresi,* 23-24-25, Mart 2001, Eskişehir.

Özdemir, C., Gürültü Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya, 2012.

Özgüven, H.N., "Gürültü Kontrolü", *Türk Akustik Derneği Yayını*, 35-196, Ankara, 2008.

Özkan, G., "Ses ve verimlilik", *MPM: Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi*, 7 80, 6, 1995.

Papadopoulos, C. I., "Development of an optimized standard-compliant procedure to calculate sound transmission loss: Design of transmission rooms", *Applied Acoustics*, 63, 9, 1003-1029, September, 2002.

Papadopoulos, C. I., "Development of an optimized standard-compliant procedure to calculate sound transmission loss: Numerical measurements", *Applied Acoustics,* 64, 11, 1069-1085, November, 2003.

Purkis, H.J., "Sound Insulation and Absorption", *The Control of Noise Proceedings of Conference*, London, 1962.

Rahbari, R., 1995, Sound transmission through single walls, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Ratnieks, J., Jakovics, A.ve Klavins J., "Development of Mathematical Model for Determining Sound Reduction Index of Building Elements", *Comsol Conference,* Stuttgart*,* 2011.

Ratnieks, J., Jakovics, A., ve Klavins, J., "Mathematical Model for Prediction of Transmission Loss for Clay Brick Walls", *Comsol Conference,* Stuttgart*,* 2012.

Rindel, J.H, and Rasmussen, B., "Concepts for evaluation of sound Insulation in dwellings-from chaos to consensus", *Forum Acusticum Budapest*, 2081-2092, 2005.

Sabuncu, H.H., Ses fizyolojisi, Gürültü ile oluşan işitme kayıpları ve korunma yöntemleri Çevre, Yapı ve Endüstri'de Akustik Sorunlar ve Gürültü Kontrolü, İTÜ, İstanbul, 1994.

Sato, H., "On the mechanism of outdoor noise propagation through walls and windows", *J. Acoust. Soc. Jpn*, 29, 509-516, 1973.

Sewell, E.C., "Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid bare", *Journal of Sound and Vibration*, 21-32, 1970.

Smolenski, CP., Krokosky EM., "Dilatational-mode sound transmission in sandwich panels", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54, 1449, July, 1973.

Sonntag, E., "Der Einudes Verlustfaktors auf das Schalldammavon Blechkapseln Hochfrequenztechn, *Elektroakust*", Leipzig, 74, 206-211, 1965.

Şahin, E., "Gürültü Kontrol Yöntemleri-Bir Uygulama", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18, 4, 67-80, 2003.

Şen, A., 2006, Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri dünyada ve Türkiye'de yalıtım, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Şerefhanoğlu, M., "Yapılarda Gürültü Sorunu ve Denetimi", *Yapı Endüstrisi Seminer Bildirisi* , İTÜ, İstanbul, 1996.

Tang S., and et Al., "Estimating traffic noise for inclined roads with freely flowing traffic", *Applied acoustics*, 65, 2, 171-181, February, 2004.

Tamari, I., "Audiogenic stimulation and reproductive function. In: Physiological effects of noise", *Plenum Press*, 117–30, New York, USA, 1970.

Tadeu, A., Anto´nio, J., Mateus, D., "Sound Insulation provided by single and double panel walls-a comparison of analytical solutions versus experimental results", *University of Coimbra, Department of Civil Engineering*, Polo II-Pinhal de Marrocos, 64, 1, 15-29, January, 2003.

Toprak, R., ve Aktürk, N., *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi,* 61, 1-2-3, 49-58, 2004.

Topalgökçeli, M., 1995, Gürültü denetiminde gerekli ses geçirmezliği sağlayacak yapı kabuğu ve bölme duvarı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Topçu, İ. B., ve ark., "Gaz Beton Kırıklarının Betonda Agrega Olarak Kullanılması", *Deprem Sempozyumu,* 23-25, Mart, 2005.

TS 453, Ön Yapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları. Türk Standartları Enstitüsü, 22, Ankara, 2005.

TS EN12354-1, Yapı Akustiği–Yapıların Akustik Performasının Elemanların Performanslarından Hesaplanması -*Bölüm 1: Odalar Arasında Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı*, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2006.

TSE, TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Ankara, 1977.

DIN52210-6, Testing of acoustics in buildings, airborne impact and sound insulation; measurement of level difference, 1989.

TS EN12354-1, *Building Acoustics* - Estimation of acoustic performance of buildings from the elements Part 1: Airborne sound Insulation between rooms, CEN, 2000.

Yavuz, A.,2007, Ses Kayıt Stüdyosu Tasarımı ve Mimari Akustik, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programında*, İstanbul.

Yılmaz, Ö., 2002, Dış kaynaklı ses yalıtım yönetmeliklerinin Türkiye koşullarında konut yapıları için irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

Yılmaz Karaman, Ö., "Ülkemizde Kullanılabilecek Dış Duvar Elemanlarının Ses Yalıtım Performansı/Isı Geçirgenlik Katsayısı/Maliyet Açısından Değerlendirilmesi", *Çatı Cephe Sempozyumu*, 8, 2004.

Yücel, M., 1995. Çevre Sorunları Ç.Ü. Ziraat Fak. Ders Kitabı, 302, Adana, 1995.

Villot, M. ve Guigou-Carter, C., "Modelling of sound transmission through lightweight elements with stiffeners, *CSTB*", *France Building Acoustics,* 10, 3, 193-209, 2003.

Wang, T., "Assessment of sandwich models for the prediction of sound transmission loss in unidirectional sandwich panels", *Applied Acoustics*, 66, 245–262, USA, 2005.

ÇGDY, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği, İnternetsitesi:http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.14012&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch= [15 Eylül 2012].

İzoder, ısı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneği, internet sitesi: http://www.izoder.org.tr [30 Mart 2013].

İzocam, internet sitesi: http://www.izocam.com.tr/tr-tr/urunler/yalitim-malzemeleri/camyunu.aspx [5 Haziran 2013].

Kılavuz, 2011, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Klavuzu, Ankara, 2011, internet sitesi: http://gurultu.cevreorman.gov.tr/gurultu/files/gurultu/dokumanlar/kilavuz.pdf. [5 Kasım 2013].

KEY Yapım, internet sitesi: http://www.key.com.tr/ses-dalgalar-.html [17 Temmuz 2013].

Ses yalıtımının temelleri, internet sitesi: http://www.ursaInsulation.com.tr [4 Kasım 2012].

Ses Bilimi, internet sitesi: http://www.deckon.com.tr/SesBilimi.aspx#SesYalitimi [13 Temmuz 2013].

Sesin yayılması, internet sitesi www.google.com.tr/search?q=ses+dalgaları&source=lnms&tbm [23 Ağustos 2013].

Tokyap Bims, 2009. İnternet Sitesi: http://www.bims.tk/ [8 Kasım 2013].

Tukder, 2005, İnternet Sitesi: http://www.tukder.org [19 Kasım 2013].

Ytong, 2006, internet sitesi: http://www.ytong.com.tr/index.asp?contentid=24 [26 Ekim 2013].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ceyhun AKSOYLU
Uyruğu : T. C
Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya-1988
Telefon : 0530 561 60 40
Faks : 0332 202 0043
e-mail : ceyhun.aksoylu@karatay.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Çağlayan Lisesi (YDAL)**	**2006**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi (İnşaat Mühendisliği Bölümü)**	**2011**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi (Çevre Mühendisliği Bölümü)**	**2012**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi (İnşaat Mühendisliği Bölümü)**	**2013**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	**SPC**	**Saha Mühendisi**

YABANCI DİLLER

İngilizce