

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARDLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI: İSTANBUL'DA BİR KONUT ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüsnü ÇAY

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARDLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI: İSTANBUL'DA BİR KONUT ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hüsnü ÇAY
(502091527)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502091527 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Hüsnü ÇAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: İSTANBUL’DA BİR KONUT ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sevtap YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Nurgün BAYAZIT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, beni değerli bilgileri ile yönlendiren, deneyimlerinden yararlanmam için gösterdiği anlayış ve verdiği destek için sayın hocam Prof. Dr. Sevtap YILMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ders alma sürecinde, bilgilerinden faydalanmama imkân veren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nurgün TAMER BAYAZIT'a teşekkür ederim

Ayrıca saha ölçümleri yapmamız için yardımcı olan Arş. Gör. Mine AŞÇIGİL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bana duyduğu sonsuz sevgi ile tez yazma sürecinde, sabırla bana moral veren ve elde ettiğim başarıda büyük pay sahibi olan eşime minnettarım.

Aralık 2013

Hüsnü ÇAY
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
2. SES YALITIMI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR ve SES YALITIM İNDEKSİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	3
2.1 Ses Yalıtımı Üzerine Yapılan Çalışmalar	3
2.1.1 Bina bölücü elemanlarının akustik özellikleri	4
2.1.2 EN 12354-1'e göre binalarda gazbetonun ses yalıtım performansı	9
2.1.3 Hafif tuğla duvarın akustik özellikleri ve yanıl ilettime etkisi	13
2.1.4 Kuruma sürecinin tuğla duvarın ses azaltım indeksine etkisi: laboratuvar ölçümleri ve teorik analizler.....	16
2.1.5 Yapılarda akustik kriter belirleme.....	20
2.2 Ses Yalıtımına Etki Eden Faktörler.....	23
2.2.1 Hava doğuşlu ses yalıtımı	24
3. TS EN 12354-1, TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARDLARININ İNCELENMESİ	33
3.1 TS EN 12354-1 Standardının İncelenmesi.....	33
3.1.1 Yapı performansını belirleyen büyüklükler	34
3.1.2 Eleman performansını ifade eden büyüklükler	35
3.1.3 Basitleştirilmiş model	42
3.2 TS 2381-1 EN ISO 717-1 Standardının İncelenmesi.....	43
3.2.1 Terimler ve tarifler	44
3.2.2 Tek sayılı niceliklerin değerlendirilmesi için işlem	46
3.3 TS EN ISO 140-4 Standardının İncelenmesi	49
3.3.1 Bir odadaki ortalama ses basınç seviyesi, L	49
3.3.2 Seviye farkı, D	50
3.3.3 Normalleştirilmiş seviye farkı, D_n	50
3.3.4 Standardlaştırılmış seviye farkı, D_{nT}	50
3.3.5 Görünen ses azalma indisi, R'	51
3.3.6 Ortalama ses basınç seviyesinin ölçülmesi	52
3.3.7 Mikrofon konumları	52
3.3.8 Ölçme	52
3.3.9 Ortalama alma süresi.....	52
3.3.10 Ölçmelerin frekans aralığı.....	53

3.3.11 Çınlama zamanının ölçülmesi ve eş değer ses absorpsiyon alanının hesaplanması	53
3.3.12 Fon gürültüsü için düzeltme	53
4. TS EN 12354-1, TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4	
STANDARDININ BİR KONUT ÜZERİNDE UYGULANMASI	55
4.1 Mevcut Sahanın Tanımlanması	55
4.1.1 Yapı elemanları veri tablosu	58
4.2 TS EN 12354-1 Standardının Uygulanması	58
4.2.1 Bölme duvar hesabı	59
4.2.2 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı	60
4.2.3 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)	64
4.2.4 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)	66
4.2.5 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)	67
4.2.6 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$	67
4.2.7 Yanal yolların hesabı: döşeme	68
4.2.8 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı	69
4.2.9 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)	72
4.2.10 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)	73
4.2.11 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)	74
4.2.12 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$	75
4.2.13 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$	76
4.2.14 Birleşim yeri hız seviye farkı	76
4.2.15 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini	77
4.2.16 Yanal yolların hesabı: cephe	78
4.2.17 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı	78
4.2.18 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)	79
4.2.19 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)	81
4.2.20 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)	82
4.2.21 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$	83
4.2.22 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$	84
4.2.23 Birleşim yeri hız seviye farkı	84
4.2.24 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini	85
4.2.25 Yanal yolların hesabı: tavan	85
4.2.26 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı	85
4.2.27 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)	87
4.2.28 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)	88
4.2.29 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)	89
4.2.30 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$	90
4.2.31 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$	91
4.2.32 Birleşim yeri hız seviye farkı	91
4.2.33 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini	92
4.2.34 Yanal yolların hesabı: iç duvar	92
4.2.35 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı	92
4.2.36 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)	94
4.2.37 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)	95
4.2.38 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)	96
4.2.39 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$	97
4.2.40 Eş değer absorpsiyon uzunluğu	98
4.2.41 Birleşim yeri hız seviye farkı	98
4.2.42 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini	99

4.2.43 Ana formülde hesap	99
4.3 TS EN ISO 140-4 Standardının Uygulanması	100
4.3.1 Alan ölçümünde kullanılan aletler ve yerleşimi	100
4.3.2 Alan ölçümü	102
4.4 TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 Standard Sonuçlarının Gösterilmesi.....	107
5. SONUÇ	109
5.1 Sonuç ve Değerlendirme	109
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	115

KISALTMALAR

ANSI	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standardlar Enstitüsü (American National Standards Institute)
ASTM	: Amerika Birleşik Devletleri Malzeme Test Topluluğu (American Society for Testing Materials)
ÇGDY	: Çevre Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
EN	: Avrupa Standardı
END	: Avrupa Parlemantosunu ve Komisyonu'nun Çevresel Gürültü Yönetmeliği (2002/49EC, Environmental Noise Directive)
ISO	: Uluslararası Standardlar Organizasyonu (International Standards Organization)
TS	: Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Örnek 1: ayırıcı tavan için malzeme listesi (Naumann, 2011).	9
Çizelge 2.2 : Örnek 1 için sonuçlar (Naumann, 2011).	9
Çizelge 2.3 : Örnek 2: bölme duvar için malzeme listesi (Naumann, 2011).	10
Çizelge 2.4 : Örnek 2: bölme duvar sonuçları (Naumann, 2011).	10
Çizelge 2.5 : Örnek 3 : iç duvar malzeme listesi (Naumann, 2011).	11
Çizelge 2.6 : Örnek 3 : iç duvar için sonuçlar (Naumann, 2011).	11
Çizelge 2.7 : Örnek 4: bölme duvar için malzeme listesi (Naumann, 2011).	12
Çizelge 2.8 : Örnek 4: bölme duvar sonuçları (Naumann, 2011).	12
Çizelge 2.9 : Ağırlıklı ses azaltım indeksi R_w ($R'w$)(Semprini & Barbaresi, 2008). 15	
Çizelge 2.10 : Ölçüm yapılan duvar tipleri (Scrosati vd., 2008).	17
Çizelge 2.11 : Tek tabakalı duvar için ölçüm sonuçları (Scrosati vd., 2008).	18
Çizelge 2.12 : Çift tabakalı duvar için ölçüm sonuçları (Scrosati vd., 2008).	18
Çizelge 2.13 : Tek yüzeyi kaplı duvar için ölçüm sonuçları (Scrosati vd., 2008).	19
Çizelge 2.14 : Hava ile yayılan sesin ağırlıklı hale getirilmesi için kullanılan referans değerler (Demirkale, 2007).	30
Çizelge 3.1 : Bina elemanlarının hava ile yayılan ses yalıtım özelliklerinin tek sayılı nicelikleri.....	45
Çizelge 3.2 : Binalarda hava ile yayılan ses yalıtımının tek-sayılı nicelikleri.....	45
Çizelge 3.3 : Hava ile yayılan ses için referans değerler.	47
Çizelge 4.1 : Alan yapı elemanları listesi.	55
Çizelge 4.2 : Alan yapı elemanları bilgi tablosu.....	58
Çizelge 4.3 : Bölme duvar için hesaplama modeli.	60
Çizelge 4.4 : Bölme duvar için K_{ij} değerleri.....	64
Çizelge 4.5 : Bölme duvar için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).	65
Çizelge 4.6 : Bölme duvar ses azaltma indisi, $R_{s,situ}$	68
Çizelge 4.7 : Yanal yollar için hesaplama modeli.	69
Çizelge 4.8 : Döşeme için K_{ij} değerleri.	71
Çizelge 4.9 : Döşeme için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).	72
Çizelge 4.10 : Cephe için K_{ij} değerleri.	79
Çizelge 4.11 : Cephe için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).	80
Çizelge 4.12 : Tavan için K_{ij} değerleri.	86
Çizelge 4.13 : Tavan için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).	87
Çizelge 4.14 : İç duvar için K_{ij} değerleri.	94
Çizelge 4.15 : İç duvar için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).	94
Çizelge 4.16 : Hesaplama modeli sonuç tablosu.	100
Çizelge 4.17 : Alan ölçümünde kullanılan alet listesi.	100
Çizelge 4.18 : L_1 :Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (dB).....	103
Çizelge 4.19 : L_2 : Algılama odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (dB).	104
Çizelge 4.20 : T :Algılama odasındaki çınlama zamanı, saniye cinsinden.	105
Çizelge 4.21 : B_2 :Algılama odası fon gürültü düzeyi (dB).	105

Çizelge 4.22 : Ölçüm sonuçları (fon gürültü düzeltmesi yapılmış).	106
Çizelge 4.23 : Sonuçların ISO 717-1'e uygun olarak tek bir sayıya dönüştürülmesi.....	107
Çizelge 5.1 : Ölçüm sonucu ile hesaplama sonucu fark tablosu.....	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : EN 12354 standardına göre sorumluluk alanlarının belirlenmesi (Simmons, 2009).	3
Şekil 2.2 : Seramik bloklardan oluşan bölücü elemanın ses yalıtım indeksi; metod 2, metod 3 (Butkus vd., 2011).	6
Şekil 2.3 : Tuğladan oluşan bölücü duvarın ses yalıtım indeksi: metod 2, metod 3 (Butkus vd., 2011).	7
Şekil 2.4 : Ahşap kütüklerden oluşan bölücü elemanın ses yalıtım indeksi: metod 1, metod 2, metod 3 (Butkus vd., 2011).	7
Şekil 2.5 : Keramzit beton bloklardan oluşan bölücü duvar ses yalıtım indeksi: metod 2, metod 3 (Butkus vd., 2011).	8
Şekil 2.6 : Örnek 1 için yerleşim planı (Naumann,2011).	9
Şekil 2.7 : Örnek 2 için yerleşim planı (Naumann, 2011).	10
Şekil 2.8 : Örnek 3 için yerleşim planı (Naumann, 2011).	11
Şekil 2.9 : Örnek 4 için yerleşim planı (Naumann, 2011).	12
Şekil 2.10 : Boşluklu tuğla numunesi ve inşa edilen duvar (Semprini & Barbaresi, 2008).	13
Şekil 2.11 : İki test numunesi için ses azaltım indeksi (Semprini & Barbaresi, 2008).	14
Şekil 2.12 : “T” bağlantı tipi (ikinci aşamadaki test) ve iki oda arasındaki “ij” ses geçiş yolları (Semprini & Barbaresi, 2008).	15
Şekil 2.13 : Hava doğuşumlu ve yapı doğuşumlu gürültü.	24
Şekil 2.14 : Sesin panelden geçişi (Simons & Waters, 2004).	24
Şekil 2.15 : Tek katlı homojen bileşenden oluşan panelin ses azaltım indeksinin frekansa bağlı grafiği (Demirkale, 2007).	27
Şekil 3.1 : 1/3 oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri... 46	46
Şekil 3.2 : Oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri.	47
Şekil 3.3 : 1/3 oktav bant ölçümlerindeki spektrum adaptasyon terimlerini hesaplamak için ses seviye spektrumları.	48
Şekil 3.4 : Oktav bant ölçümlerindeki spektrum adaptasyon terimlerini hesaplamak için ses seviye spektrumları.	48
Şekil 4.1 : Alan yerleşim planı.	55
Şekil 4.2 : Ölçüm yapılan alanın kat yerleşim planı.	56
Şekil 4.3 : Alan cephe görünüşü.	56
Şekil 4.4 : Alan kaynak odası.	57
Şekil 4.5 : Alan alıcı odası.	57
Şekil 4.6 : Geçiş yolları.	59
Şekil 4.7 : Bölme duvar – döşeme birleşimi.	61
Şekil 4.8 : Bölme duvar – cephe birleşimi.	62
Şekil 4.9 : Bölme duvar – tavan birleşimi.	62
Şekil 4.10 : Bölme duvar – iç duvar birleşimi.	63
Şekil 4.11 : Döşeme – bölme duvar birleşim detayı.	70

Şekil 4.12 : Döşeme - iç duvar birleşim detayı.....	70
Şekil 4.13 : Döşeme - cephe birleşim detayı.	71
Şekil 4.14 : B&K 2260 ses düzeyi ölçer.....	101
Şekil 4.15 : B&K 2716 güç yükseltici.	101
Şekil 4.16 : B&K 4165 kondenser mikrofon 1/2" ve B&K UA 1317 tripod.....	101
Şekil 4.17 : B&K 4295 omni hoparlör ve B&K UA 0801 tripod.....	102
Şekil 4.18 : Kullanılan aletlerin yerleşim krokisi.	102
Şekil 4.19 : Hesap ve ölçüm sonuç verileri.	107

TÜRKÇE TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARDLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: İSTANBUL’DA BİR KONUT ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde iyi yapı tasarımında akustik performansın en az aydınlatma ve havalandırma kadar iyi olması gerekliliği daha da önemli hale gelmiştir. Tasarlanan odanın çınlama süresinin istenilen düzeyde olmaması, fon gürültüsünün fazla olması ya da kontrolsüz giren ses nedeniyle konuşmanın anlaşılabilmesi ya da yatak odalarında kaliteli uykunun sağlanamaması gibi temel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde bu bağlamda Çevre ve Orman Bakanlığı’nın yayımladığı “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” uygulanmaktadır.

İlgili yönetmeliğin Ek 2 Bölüm 4’e göre gürültüye hassas yapıların, inşaat izni ve yapı kullanım izni safhalarında, aynı yönetmelikte getirilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerini sağlayacak şekilde mekânları çeviren yapı elemanlarının (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve diğer) ses yalıtımının belirlenmesi gerekmektedir. Uygulanacak ses azaltımının hesaplanmasında TS EN 12354 “Binaların Akustiği- Binaların Akustik Performansının Elemanların Performansından Hesaplanması” standard serisinden veya TS EN ISO 140 “Akustik – Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi” standard serisinden yararlanılmaktadır.

Bu tez kapsamında ilgili yönetmelikte belirtilen TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 standartları, İstanbul Kadıköy’de bulunan bir konut binasının ikinci katında yer alan, yan yana yerleşmiş, birbirinden bir iç duvar ile ayrılan ve salon olarak kullanılan iki mekan kapsamında uygulanmış olup elde edilen veriler TS 2381-1 EN ISO 717-1 standardında tanımlandığı şekilde tek sayılı derecelendirmeye çevrilerek sonuç verileri karşılaştırılmıştır.

TS EN 12354-1, “Yapı Akustiği - Yapıların Akustik Performansının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı” standardı, binalarda odalar arası hava doğuşlu sesin yalıtımını, yanal iletimleri de hesaba katarak belirleyen, teorik hesaplama yöntemini içermektedir.

TS EN ISO 140-4 “Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi - Bölüm 4: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımına ait Alan Ölçmeleri” standardı, iki oda için aralarındaki duvarların, zeminlerin, tavanların ve kapıların hava ile yayılan sesin yalıtım özelliklerinin ölçülmesi için alanda ölçüm gerçekleştirme yöntemini kapsar.

TS EN ISO 717-1 “Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı” standardının amacı, tek sayı özelliğindeki akustik performansla dönüştürülebilen hava ile yayılan ses yalıtımının frekans bağımlı değerler aracılığı ile bir metodun standard hâle getirilmesidir.

Hazırlanmış olan bu tez çalışması beş farklı bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde ilgili tez konusu tanıtılmış, çalışmanın hedef ve içeriği belirtilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde ses yalıtımı üzerine yapılan örnek çalışmalar anlatılmış ve hava doğuşlu ses yalıtımını etkileyen faktörler tanımlanmıştır.

Bu tez çalışmasının üçüncü bölümünde TS EN 12354-1 standardında yer alan hesaplama modeli ve formüller, TS EN ISO 140-4 standardında yer alan ölçüm metodu ve ölçüm için gerekli koşulların tanımlanması ve TS 2381-1 EN ISO 717-1 standardında yer alan ilgili terimler, büyüklükler anlatılmaktadır.

Bu çalışmanın dördüncü bölümünün ilk kısmında mevcut alan tanıtılarak, TS EN 12354-1 standardına bağlı hesaplama modelinin mevcut saha verileri doğrultusunda 1/1 oktav bantlarda hesaplanması ve elde edilen verilerin TS 2381-1 EN ISO 717-1 standardına bağlı olarak tek sayıya dönüştürülmesi anlatılmaktadır. Dördüncü bölümün ikinci kısmında TS EN ISO 140-4 standardında tarif edilen şartlar doğrultusunda mevcut konutta 1/3 oktav bantlarında yapılan alan ölçümü ve kullanılan aletler anlatılmaktadır.

Tez çalışmasının son bölümünde ilgili standartların mevcut alan üzerinde uygulanarak elde edilen verilerin karşılaştırılması, teorik yöntem ile alan ölçümleri arasındaki farklar belirtilerek buna neden olabilecek etmenler anlatılmıştır.

Bu tez kapsamında elde edilen hesaplama ve ölçüm verileri tek sayılı derecelendirmeye çevrilerek karşılaştırıldığında hesaplamanın 3dB daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Buna neden olarak bazı girdi verilerinin literatürden alınarak hesap yapılması ve mevcut sahanın inşaatı sırasında oluşan işçilik hatalarının akustik kusurlara neden olduğu söylenebilir. Mevcut sahanın ses yalıtım değerlerini TS EN ISO 140-4 standardına bağlı yapılan alan ölçüm sonuçları olarak kabul etmek daha doğrudur. Bununla birlikte TS EN 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modelinde proje aşamasında kullanılarak, ses yalıtım indeksinin yeterliliğinin analizi, malzemelerin uygunluğu gibi temel kararların tasarım aşamasında değerlendirilerek istenilen akustik kriterlerin karşılanması sağlanabilir.

COMPARISON OF TS EN 12354-1 and TS EN ISO 140-4 STANDARDS: EXAMPLE OF A RESIDENTIAL UNIT IN ISTANBUL

SUMMARY

Acoustical performance is as important as lighting and air-conditioning due to having a decent building design, which gets very essential factor nowadays. Not to have satisfactory reverberation time, to have high background noise or to have unbounded sound output creates some inconvenient circumstances, such as incomprehensible dialogues or absence of quality sleep. Within this context; the Ministry of Environment and Forestry published a guide line about ‘Assessment and Management of Environmental Noise Regulations’.

According to the regulations at Add 2 – Section 4, the interior noise regulations at sound sensitive buildings, which are emphasized at the mentioned regulation, sound insulations should be determined regard to building elements (such as wall, slab, ceiling, stair case and etc.) and these materials should satisfy the limit values during construction permit and usage phases. To calculate the sound insulation performance of the buildings or the materials, TS EN 12354 “Building Acoustics -Estimation of Acoustic Performance of Buildings from the Performance of Elements” or TS EN ISO 140 “Acoustics-Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements” standard series should be used.

Within the context of this thesis, the standards of TS EN 12354-1 and TS EN ISO 140-4 are applied to separating wall of two rooms which is used as a residential unit’s salons located in Kadıköy. The results has been converted to the single-number quantities in accordance with the standard of TS 2381-1 EN ISO 717-1 “Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements” and also the result has been compared.

TS EN 12354-1, “Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements-Part 1: Airborne sound insulation between rooms” standard describes calculation model designed to estimate the airborne sound insulation between rooms in buildings, primarily using measured data which characterize direct or indirect flanking transmission by the participating building elements and theoretically derivered methods of sound propagation in structural elements. The TS EN 12354-1 standard may help the commissioner to assign responsibility for the overall acoustic performance of the building, in particular for choosing appropriate construction products and defining adequate interfaces of the products. And also the designer can choose robust construction products and carefully define interfaces with other constructions, e.g. to minimize risks of air leakages, flanking transmission or structural bridges.

TS EN ISO 140-4, “Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms” standard specifies field methods for measuring the airborne sound insulation

properties of interior walls, floors and doors between two rooms under diffuse sound field conditions in both rooms, and for determining the protection afforded to the occupants of the building. By field measurements, this standard may help the controller to ensure that the performance of the building conform with the current noise regulation requirements.

TS 2381-1 EN ISO 717-1, “Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne sound insulation” standard’s purpose is to standardize a method whereby the frequency-dependent values of airborne sound insulation can be converted into a single number characterizing the acoustical performance.

This thesis consists of five different sections. At the first section, introduction of the thesis and indication of contents and subjects get discussed.

The second section of the thesis is based on examples about sound insulation and air born side effects on sound insulation.

The third section is about formulas and functions that are mentioned at TS EN 12354-1 standards, the measurement method and required circumstances for the specific measurements mentioned at TS EN ISO 140-4 standards, the related terms and relevant quantities mentioned at TS 2381-1 EN ISO 717-1 standards.

The forth section’s first part is about introduction of the field, calculating the datum in the range of 1/1 octave bands which are based of TS EN 12354-1 standards, conversion of the results to a single-number quantities that are mentioned at TS 2381-1 EN ISO 717-1 standards. Second part is about the measurement that is mentioned at TS EN ISO 140-4 standard. The measurement has been done at current field for the 1/3 octave bands.

The current field can be described as; the separating element 200mm brick wall, façade 4+12+4mm glazing wall, ceiling 150mm reinforced concrete, internal wall 150mm brick wall and the slab 150mm reinforced concrete. Basically vibration reduction index, absorption coefficient for bending wave, total loss factor, structural reverberation time, equivalent absorption length of a structural element, junction velocity level difference and sound reduction index according to has been followed for calculation method according to TS EN 12354-1 standard.

The condition of the field measurement complies with the TS EN ISO 140-4 standard that, the frequency range, microphone positions, correction for background noise, reverberation time measurement, equivalent sound absorption area, averaging, space and time procedures has been followed as described. The instrument for the measurements can be listed as; Brüel & Kjær 2260 sound level meter, Brüel & Kjær 2716 power amplifier, Brüel & Kjær omni spekaer, Brüel & Kjær 4228 pistpone, Brüel & Kjær condenser microphone and Brüel & Kjær 2669 preamplifier. Measurement of reverberation time and background noise level has done for three different points. Measurement of sound pressure level in both the source and receiving rooms has done at twentyone different points. Average values has been taken for the calculation to determine field sound insulation index. 1.3dB correction

for background noise has applied at the low frequencies that; 100Hz, 125Hz, 160 Hz and 200Hz. So that the field measurement results has been get.

The last part of the thesis is based on: comparison of the datum that is derived form the related standards application on the current residential field, the differences of calculation metod's and field mesurements' results and also the factors which is casued the difference has been described.

Analysis of the calculation metod and field measurement results shows that the calculation method data is 3dB higher then measurement. There would be two possible affect to gain this datum. One of them is, the datas like longitudinal wave speed, mass per unit area of element, internal loss factor has been taken from literature to make the calculaton method process. Second affect is the workmanship faulty that causes some essential acoustical problems.

In conclusion, the sound insulation index for existing residential unit could be regarded as field measurement according to TS EN ISO 140-4 standard would be more accurate. However, the calculation method depends on TS EN 12354-1 standard helps the interior designers, architects, acoustic consultants on essential decisions at design phase, like choosing construction elements, analysis of the adequacy of acoustic insulation index, suitability of materials that the performance of the building conform with the requirements.

1. GİRİŞ

Yeterli düzeyde akustik konfora sahip yapı tasarlanırken yapı elemanlarının tek başına akustik performansının hesap edilmesi veya yapı elemanlarının akustik ölçüm değerlerinin tek başına bilinmesi yeterli değildir. Bu sebepten bir yapı tasarımı yapılırken çeşitli prensip ve öğretilerin birlikte düşünülmesi gerekmektedir.

Türkiye’de bu bağlamda, 1986 yılından beri yürürlükte olan ve uygulayıcılar açısından Gürültü Yönetmeliğinde yaşanan sıkıntılar ve uygulamadaki sorunların giderilmesi amacıyla, Avrupa Birliği uyum sürecinde Ulusal Programda Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB)’ın sorumluluğunda yer alan 2002/49/EC sayılı Gürültü Yönetimi hakkındaki Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi de göz önüne alınarak 01 Temmuz 2005 tarih ve 25862 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetmeliği hazırlanmıştır (Aşçıgil, 2009).

İlgili yönetmeliğin Ek 2 Bölüm 4’üne göre, gürültüye hassas yapıların, inşaat izni ve yapı kullanım izni safhalarında, aynı yönetmelikte getirilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerini sağlayacak şekilde mekânları çeviren yapı elemanlarının (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve diğer) ses yalıtımının belirlenmesi gerekmektedir. Uygulanacak ses azaltımının hesaplanmasında TS EN 12354 “Binaların Akustiği- Binaların Akustik Performansının Elemanların Performansından Hesaplanması” standard serisinden veya TS EN ISO 140 “Akustik – Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi” standard serisinden yararlanılabilir.

TS EN 12354 standardında tanımlanmış olan hesaplama modelleri yapı sistemindeki doğrudan ve yanal geçişleri birlikte sistem olarak tanımlamakta olup, bu hesaplama dizisine bağlı olarak tasarım aşamasında yapıların daha iyi akustik konfora sahip olmaları için doğru malzeme seçimi, doğru bağlantı tipleri ve tasarım kriterlerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

TS EN ISO 140 standardında tanımlanan, yapıların ve yapı elemanlarının ses yalıtım ölçümleri ise hem üretici firmalar tarafından hem de yapı kontrolleri tarafından

uygulanmaktadır. Üretici firmalar bu standardda tanımlanmış olan ölçüm metodunu kullanarak uluslararası normlarda malzemenin akustik değerlerine ulaşarak üretimin iyileştirilmesi ya da geliştirilmesini analiz edebilmektedir. Yapı kontrolörleri ise bu standarda bağlı alan ölçümleri yaparak inşaatı tamamlanmış yapıların akustik açıdan analizini oluşturup, mevcut durumun yönetmeliklerde tanımlanmış şartlara uygunluğunu tespit etmektedirler.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, İstanbul Kadıköy’de bulunan bir konut binasının ikinci katında yer alan, yan yana yerleşmiş, birbirinden bir iç duvar ile ayrılan ve salon olarak kullanılan iki mekânın ilgili yönetmelik doğrultusunda ses azaltım oranının tanımlanmış TS EN 12354-1 standardına bağlı olarak hem hesaplanması hem de TS EN ISO 140 standardına bağlı olarak alan ölçümü yapılarak elde edilen sonuç verilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.

TS EN 12354-1 standardı tasarım aşamasında uygulanan hesaplama modelini tanımlamakta olup, tasarım süresince ilgili hesaplamalara bağlı olarak malzeme seçimi, yapı elemanlarındaki bağlantı tipleri gibi değişken verilerin tanımlanmasına bağlı olarak sistemin istenilen yönetmelikte sınırladığı değerlere uygunluğu kontrol edilmektedir. Bu bağlamda hesaplama modeli, tasarım yapan mimarlar / mühendisler tarafından uygulanmaktadır.

TS EN ISO 140 standard ise inşaat aşaması tamamlanan yapının alan ölçüm kriterlerini tanımlamakta olup, elde edilen ölçüm sonuçlarına bakılarak mevcut sahanın yönetmelikte sınırladığı değerlere uygunluğu tespit edilmektedir. Bu standard inşaatın tamamlanmasından sonra yapı kontrolörleri tarafından uygulanmaktadır.

Bu tez kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda teorik yöntem ile alan ölçüm yöntemi arasında ne derece sapma olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

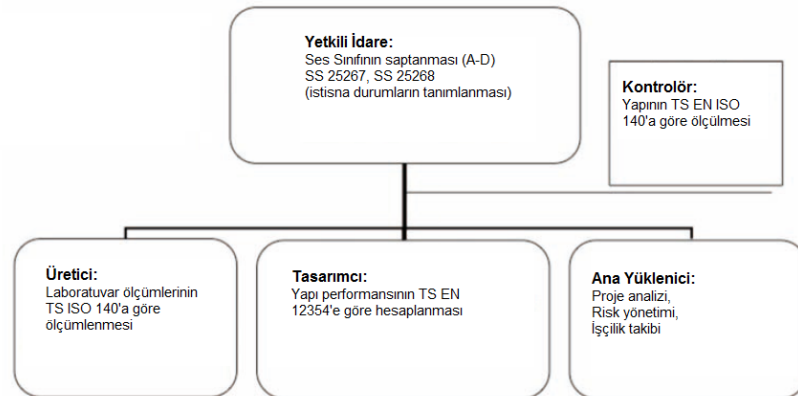
2. SES YALITIMI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR ve SES YALITIM İNDEKSİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bu bölümün ilk kısmında ses yalıtımı üzerine yapılan çalışmalar anlatılacak olup, ikinci kısmında ise ses yalıtım indeksini etkileyen faktörler tanıtılacaktır.

2.1 Ses Yalıtımı Üzerine Yapılan Çalışmalar

Doğrudan ve yanal yollar ile ses geçiş modelinin laboratuvar ölçüm ekipmanları ile birleştirilmesi yaklaşımı ilk olarak Gerretsen tarafından 1979 yılında ortaya atılmış olup daha sonra bu yaklaşım EN 12354 standardına dâhil edilmiştir (Hopkins, 2007).

EN 12354 standardının tarihsel gelişimi Christian Simmons tarafından şu şekilde özetlenmektedir; 1989 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN/TC126) Avrupa Komisyonu'na yapıların akustik performansının elemanların performansına bağlı olarak hesaplanması gerektiğini önermiştir. 1994 yılında Acta Acustica'da Gerretsen bu ihtiyaç için gerekli argümanları ve işin özgeçmişini açıklamıştır. Daha sonra Avrupa Standardizasyon Komitesi bu ihtiyacı EN 12354 standard serisinde geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu standardının ilk dört serisi (ses yalıtımı üzerine) 2000 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından kabul edilmiştir. EN 12354 standardının oda akustiği kısmı 2003 yılında, servis elemanlarından kaynaklanan ses kısmı ise 2009 yılında dâhil edilmiştir (Simmons, 2009).



Şekil 2.1 : EN 12354 standardına göre sorumluluk alanlarının belirlenmesi (Simmons, 2009).

Ayrıca Christian Simmons çalışmasında tasarımcı, müteahhit, üretici, kontrolör ve ilgili komitelerin standartlara bağlı görev dağılımını Şekil 2.1’de belirtmiştir (Simmons, 2009).

EN 12354 Standardına bağlı yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda anlatılmaktadır.

2.1.1 Bina bölücü elemanlarının akustik özellikleri

Bu çalışma farklı bileşen, yapı ve kütleye sahip malzemelerle oluşturulmuş ses bölücü elemanların belirli bir metodolojiye göre incelenmesini ve analiz edilmesini içermektedir. Analizler farklı üç metodun uygulanması sonucu elde edilmiştir (D.Butkus, T.Janusevicius, J.Mazuolis,2011).

Coimbra Üniversitesinde yapılan ses yalıtımı çalışmalarında, iki katmanlı çelik, beton ve camdan oluşan bölme duvarlar için ISO 12354-1 standardına tanımlanan hesaplama modeli uygulanarak elde edilen değerlerin alçak frekanslarda alan ölçmeleri verilerden daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır (Butkus vd., 2011).

Metodoloji:

Üç farklı metodla malzemelerin yalıtım değerleri elde edilmiştir, bunlardan ilk iki metod hesaplama yöntemi iken üçüncü metod ise alan ölçüm yöntemi olarak tanımlanmıştır. (Butkus vd., 2011).

Metod 1

Kütle kanunu esas alınarak hesaplanan teorik ses yalıtım indeksi R_w , aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$R = 20 \lg \frac{\pi f m}{\rho c} - 3 \quad (2.1)$$

Burada;

f: Hertz cinsinden frekans,

m: Kilogram/ metrekaire cinsinden, malzemenin birim alan kütlesi

c : Metre/saniye cinsinden sesin havadaki hızı;

ρ : Kilogram/metreküp cinsinden, malzemenin yoğunluğudur.

Metod 2

Bu kısımda ISO 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modeli takip edilerek sonuç verileri elde edilmiştir. (Gerretsen, 1979).

Metod 3

Bu metoddaki inşaatı devam eden sahalarda tanımlanmış olan malzemeler kullanılarak bölücü duvarlar inşa edilmiştir. Bölücü duvarları ayıracak mekanların eşit olması gözetilmiştir. Eğer odalar arasında fark var ise büyük olan oda kaynak odası, küçük olan oda ise alıcı odası olarak tanımlanmıştır. Büyük olan odaya difüzörler yerleştirilmiştir. Ölçümler 1/3 oktav bant aralığından daha geniş spektrumda yapılmıştır. Ölçümde beyaz gürültü kullanılmış, ayrıca fon gürültüsü kontrolü yapılarak her frekans için farkın 6 dB'den fazla olduğu teyit edilerek, nihai sonuçlar elde edilmiştir (Butkus vd., 2011).

Ölçüm için kullanılan aletler aşağıda belirtilmiştir;

- Ses düzeyi ölçer , Bruel&Kjaer mediator 2260;
- İki adet mikrofon, Bruel&Kjaer 4189;
- Kalibrasyon cihazı;
- Bruel&Kjaer Güç yükseltici;
- Çok yönlü hoparlör, Bruel&Kjaer OmniPower Type 4292.

Elde edilen veriler aşağıdaki verilen eşitlik 2.2'de yerine koyularak alan ölçüm sonuçlarına varılmıştır;

$$R'w = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (2.2)$$

Burada;

L_1 :Alıcı odada ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

L_2 :Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

A:Alıcı odada eş değer ses absorpsiyon alanı (metrekare),

S:Bölme elemanının alanı (metrekare) dır.

Alıcı oda eş değeri absorpsiyon alanı ise aşağı tanımlanan formül kullanılarak hesaplama yapılmıştır;

$$A = \frac{0,163.V}{T} \quad (2.3)$$

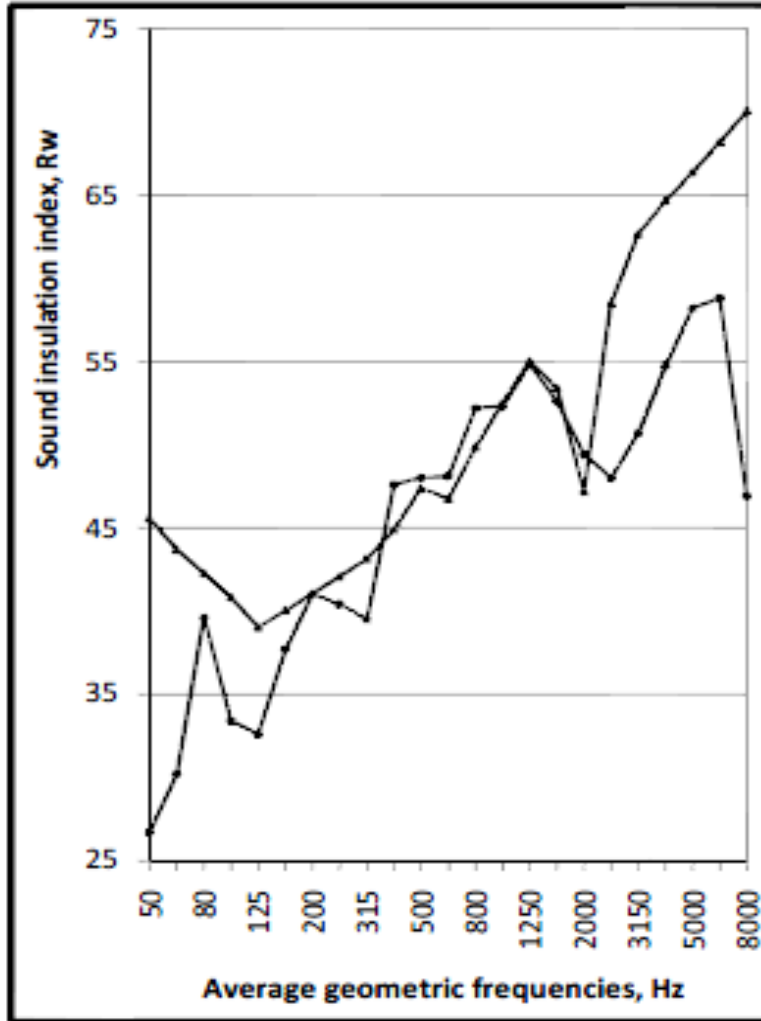
Burada;

V: Alıcı oda hacmi (metreküp),

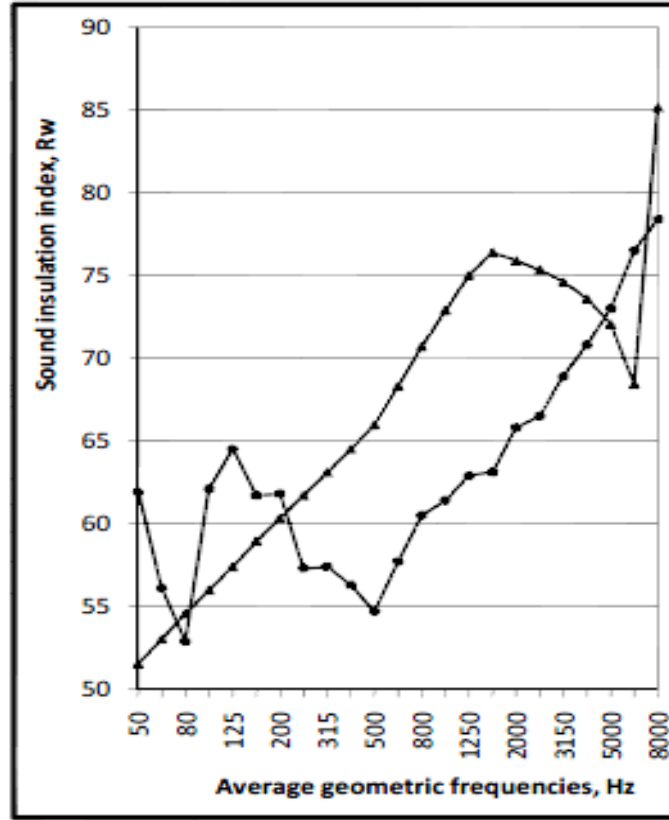
T: Alıcı oda çınlama süresi (saniye)'dir.

Sonuç

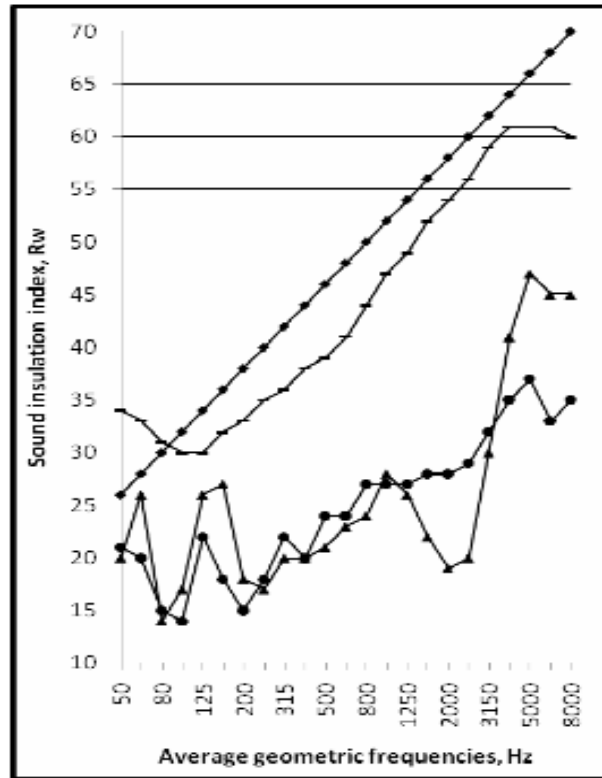
Her üç metod uygulanarak elde edilen sonuç verileri aşağıda yer alan Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



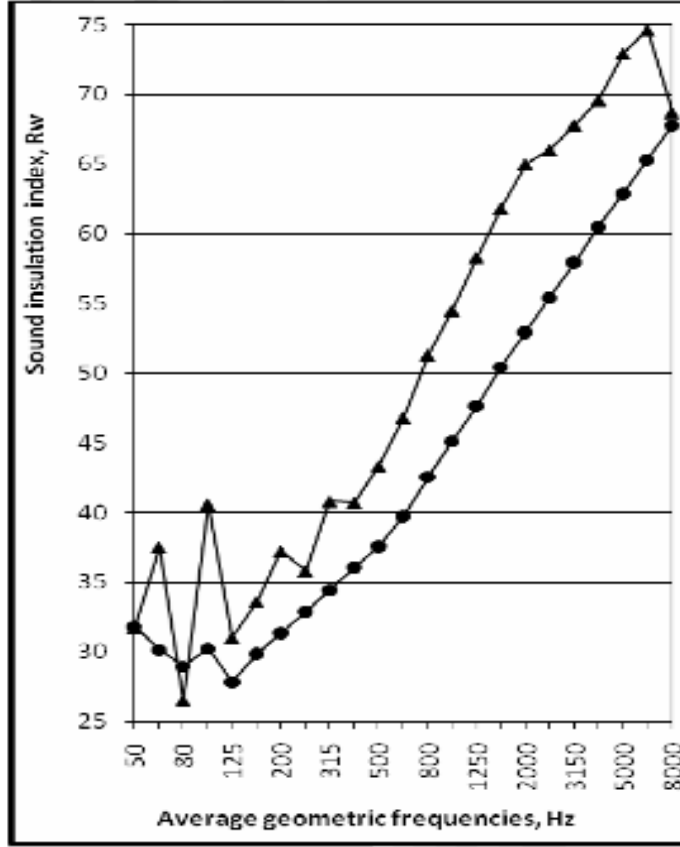
Şekil 2.2 : Seramik bloklardan oluşan bölücü elemanın ses yalıtım indeksi; metod 2; ▲ metod 3; ● (Butkus vd., 2011).



Şekil 2.3 : Tuğladan oluşan bölücü duvarın ses yalıtım indeksi: metod 2; ▲ metod 3; ● (Butkus vd., 2011).



Şekil 2.4 : Ahşap kütüklerden oluşan bölücü elemanın ses yalıtım indeksi: metod 1; ■ metod 2 ; ▲ metod 3; ● (Butkus vd., 2011).



Şekil 2.5 : Keramzit beton bloklardan oluşan bölücü duvar ses yalıtım indeksi: metod 2; ▲ metod 3; ● (Butkus vd., 2011).

Elde edilen veriler doğrultusunda üç ana sonuca ulaşılmıştır;

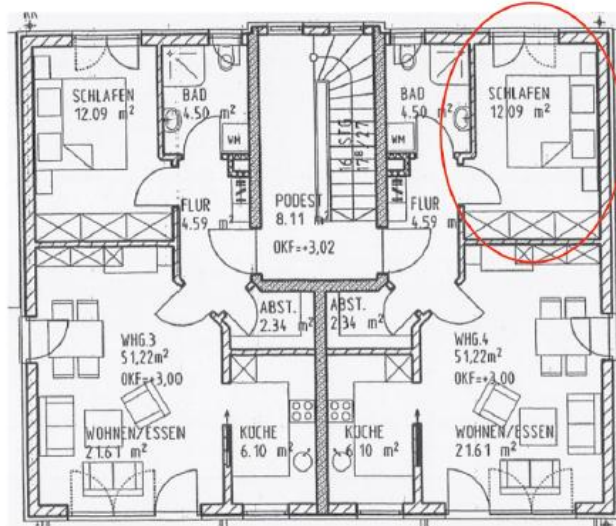
1. Bu çalışmada kullanılan malzemeler göz önünde bulundurulduğunda, uluslararası standard hesaplamaları daha doğru olmasına rağmen ses yalıtımı teorik hesaplamaları iki şekilde de yapılabilir: birincisi kütle kanunu, ikincisi ise uluslararası standarddaki hesaplama modelidir (Butkus vd., 2011).
2. Ahşap kütüklerden oluşan bölücü eleman için yapılan hesaplamalar ile alan ölçümleri uyuşmamaktadır. Bunun sebebi ahşap bölme elemanı monolitik değildir ve kütükler arası mikro boşluklar ses yalıtım değerini azaltmaktadır. Ayrıca ahşap kütüğün ses şiddeti ile titreme yapması çok kolay olduğundan ses diğer odaya yayılır. Hesaplama yapılırken bu dikkate alınmamalıdır (Butkus vd., 2011).
3. Yapılan hesaplamalar ile alan ölçümleri arasındaki uyumsuzlukların bir sebebi de ölçüm yapılan alanın etrafında yer alan ve yapımı devam eden diğer şantiye sahalarından kısmi de olsa ses geçişinin olmasıdır (Butkus vd., 2011).

2.1.2 EN 12354-1'e göre binalarda gazbetonun ses yalıtım performansı

Bu çalışmada Almanya'da yaygın olarak kullanılan DIN 4109 standardına EN 12354 standardının entegre edilmesi ve böylece taslak DIN 4109 standardı oluşturulması gerekliliği anlatılmaktadır. Bu kapsamda mevcut binalar üzerinde DIN 4109, taslak DIN 4109 (EN 12354) standardı ve ISO 140-4 standardına bağlı hesaplamalar ve alan ölçüm karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan örnek çalışmalar aşağıda anlatılmaktadır (Naumann, 2011).

Örnek 1: Ayırıcı Tavan

İki yatak odası arasındaki tavanın ses azaltım indeksi karşılaştırılmıştır. Odadaki yapı elemanları ve yerleşim planı aşağıda gösterilmektedir (Naumann, 2011).



Şekil 2.6 : Örnek 1 için yerleşim planı (Naumann,2011).

Çizelge 2.1 : Örnek 1: ayırıcı tavan için malzeme listesi (Naumann, 2011).

Yapı Bileşeni	Tanım	Malzeme	Kalınlık
Bölücü eleman	Tavan	Beton	20cm
Yanal yol - dış	Dış cephe duvarı	AAC Gazbeton P1,6/0,30	42,5cm
Yanal yol - iç	İç duvar	AAC Gazbeton P4/0,55	11,5cm

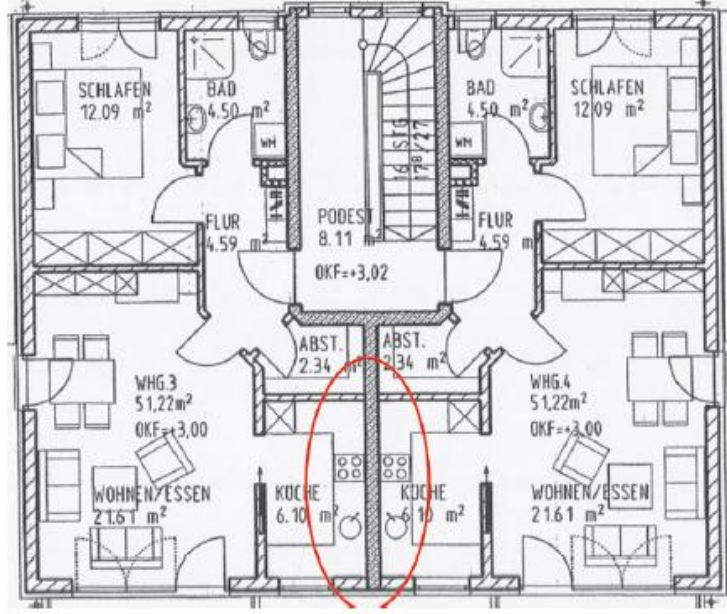
Elde edilen sonuçlar;

Çizelge 2.2 : Örnek 1 için sonuçlar (Naumann, 2011).

Standard	Sonuç: $R'_{w,R}$
DIN 4109 (1989)	$R'_{w,R}=54$ dB
Taslak DIN 4109 (EN 12354-1)	$R'_{w,R}=54,5$ dB
ISO 140-4 (alan ölçümü)	$R'_{w,B}=56$ dB

Örnek 2: Bölme Duvar

İki mutfak arasındaki bölme duvar için ses azaltım indeksi karşılaştırılmıştır. Odadaki yapı elemanları ve yerleşim planı aşağıda belirtilmiştir (Naumann, 2011).



Şekil 2.7 : Örnek 2 için yerleşim planı (Naumann, 2011).

Çizelge 2.3 : Örnek 2: bölme duvar için malzeme listesi (Naumann, 2011).

Yapı Bileşeni	Tanım	Malzeme	Kalınlık
Bölücü eleman	Tek katmanlı duvar	Kalsiyum silikat:yoğunluk sınıfı 2,0	24cm
Yanal yol - dış	Dış cephe duvarı	AAC Gazbeton P1,6/0,30	42,5cm
Yanal yol - iç	İç duvar	AAC Gazbeton P4/0,55	11,5cm
Yanal yol - tavan	Beton tavan	Beton	20 cm

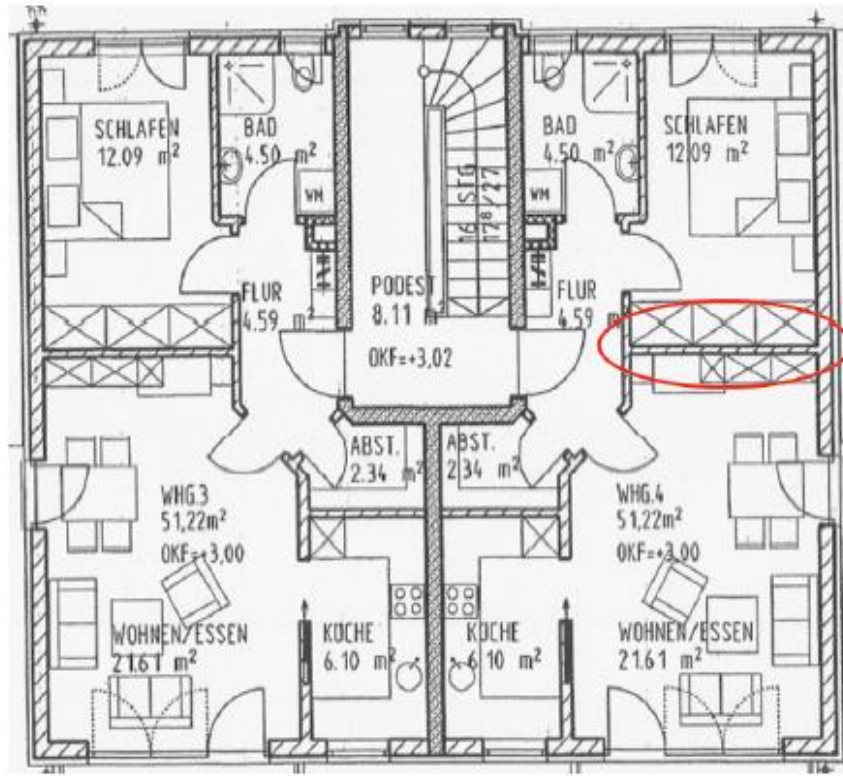
Elde edilen sonuçlar;

Çizelge 2.4 : Örnek 2: bölme duvar sonuçları (Naumann, 2011).

Standard	Sonuç: $R'_{w,R}$
DIN 4109 (1989)	$R'_{w,R}=52$ dB
Taslak DIN 4109 (EN 12354-1)	$R'_{w,R}=54,0$ dB
ISO 140-4 (alan ölçümü)	$R'_{w,B}=57$ dB

Örnek 3: İç Duvar

Salon ile yatak odası arasında kalan iç bölme duvar için ses azaltım indeksi karşılaştırılmaktadır. Yapı eleman bilgileri ve yerleşimi aşağıda sunulmuştur (Naumann, 2011).



Şekil 2.8 : Örnek 3 için yerleşim planı (Naumann, 2011).

Çizelge 2.5 : Örnek 3 : iç duvar malzeme listesi (Naumann, 2011).

Yapı Bileşeni	Tanım	Malzeme	Kalınlık
Bölücü eleman	Tek katmanlı duvar	AAC Gazbeton P4/0,55	11,5cm
Yanal yol - dış	Dış cephe duvarı	AAC Gazbeton P1,6/0,30	42,5cm
Yanal yol - iç	İç duvar	AAC Gazbeton P4/0,55	11,5cm
Yanal yol -tavan	Beton tavan	Beton	20 cm

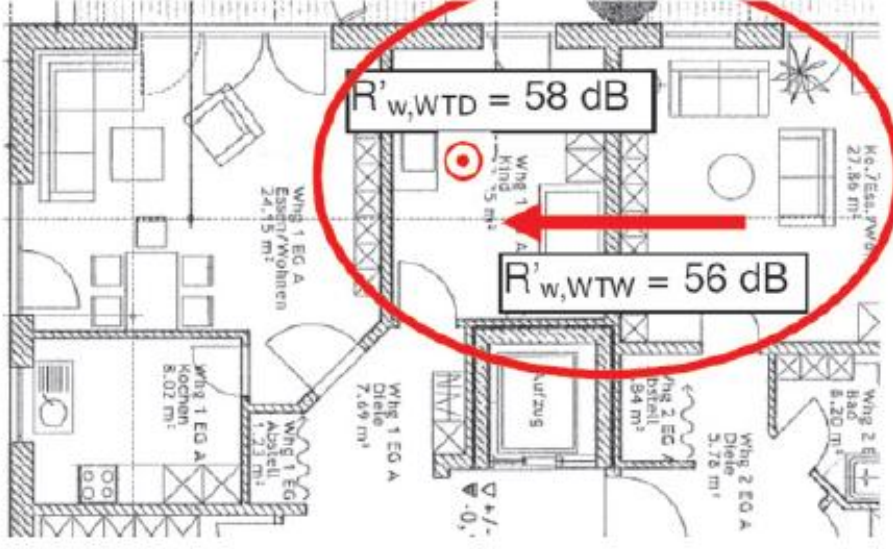
Elde edilen sonuçlar;

Çizelge 2.6 : Örnek 3: iç duvar için sonuçlar (Naumann, 2011).

Standard	Sonuç: $R'_{w,R}$
DIN 4109 (1989)	$R'_{w,R}=33$ dB
Taslak DIN 4109 (EN 12354-1)	$R'_{w,R}=37,2$ dB
ISO 140-4 (alan ölçümü)	$R'_{w,B}=39$ dB

Örnek 4: Bölme Duvar

Yatak odası ile salon arasında yer alan bölme duvar için ses azaltım indeksi karşılaştırılmıştır. Yerleşim planı ve malzeme bilgileri aşağıda gösterilmektedir (Naumann, 2011).



Şekil 2.9 : Örnek 4 için yerleşim planı (Naumann, 2011).

Çizelge 2.7 : Örnek 4: bölme duvar için malzeme listesi (Naumann, 2011).

Yapı Bileşeni	Tanım	Malzeme	Kalınlık
Bölücü eleman	Tek katmanlı duvar	Kalsiyum silikat:yoğunluk sınıfı 2,0	24cm
Yanal yol - dış	Dış cephe duvarı	AAC Gazbeton P1,6/0,30	42,5cm
Yanal yol - iç	İç duvar	AAC Gazbeton P4/0,55	11,5cm
Yanal yol -tavan	Beton tavan	Beton	20 cm

Elde edilen sonuçlar:

Çizelge 2.8 : Örnek 4: bölme duvar sonuçları (Naumann, 2011).

Standard	Sonuç:R'_{w,R}
DIN 4109 (1989)	R'_{w,R}=54 dB
Taslak DIN 4109 (EN 12354-1)	R'_{w,R}=56,0 dB
ISO 140-4 (alan ölçümü)	R'_{w,B}=56 dB

Sonuç olarak ele alınan tüm örnekler için ses azaltım indeksi sonuçlarına bakıldığında alan ölçüm sonuçlarının hesaplama sonuçlarından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu ilk bakışta pozitif gözükebilir. Ancak hesaplama modeli doğruluğu tam olarak tatmin edici değildir (Naumann, 2011).

Sonuçların farklı çıkmasına sebep olan etmenin yapı bileşenlerinin titreşim azaltım indisi olduğu düşünülmektedir. Bu detayda çok farklı tipte strüktür olmasının sebebi, farklı rijitlik değerleri nedeniyle çok sayıda kayıp faktörünün bulunmasıdır. Hesaplanmış ve ölçülmüş verileri doğrulamak için, ses azaltım indisi ve titreşim azaltım indislerinin her bağlantı noktası için ayrı ayrı ölçülmesi gerekmektedir (Naumann, 2011).

Sonuçların farklı çıkmasındaki bir diğer etkende farklı sayıda, ölçüde ve pozisyonda açıklıkların bulunmasıdır. Buna örnek olarak kapılar verilebilir. Ama şu anda mevcut durum için bu geometrik durumların etkisini değerlendirmek mümkün olmamaktadır (Naumann, 2011).

2.1.3 Hafif tuğla duvarın akustik özellikleri ve yanal iletme etkisi

Boşluklu tuğla duvarların yaygın kullanımı İtalya da binalarda iç duvar, ayırıcı duvar ve ayrıca çok katmanlı dış duvar olarak kullanılmaktadır. İlk durumda duvarın iki yüzü de sıvanacak şekilde sistem kurulur daha sonraki aşamalarda ise tek yüzeyi sıvanacak şekilde sistem oluşturulur. İki yapılandırma için akustik parametreler farklılık göstermektedir. Bunun nedeni çimento esaslı sıvaya bağlı olarak iki yüzeyinde yüzey kütlesinin ve sönümlemenin farklılaşmaktadır. Bu tür strüktürel etkiler, yanal duvar bağlantıları ve ağır bölücüler laboratuvar ortamında test edildi. Ayrıca “T” tipi bağlantıların yanal geçişe etkisini gösterebilmek için testler yapıldı. Deney sonuçları EN 12354-2 standartlarındaki ölçümler ile karşılaştırıldı (Semprini & Barbaresi, 2008).

İlk Test Numunesi ve Ölçüm sonuçları

Boşluklu hafif tuğla duvar test ortamında inşa edildi. Tuğla boyutları 8x25x25 cm ve boşluk boyutları da 4.5x2.7x2.5 cm’dir (Semprini, G.,Barbaresi L.,2008).

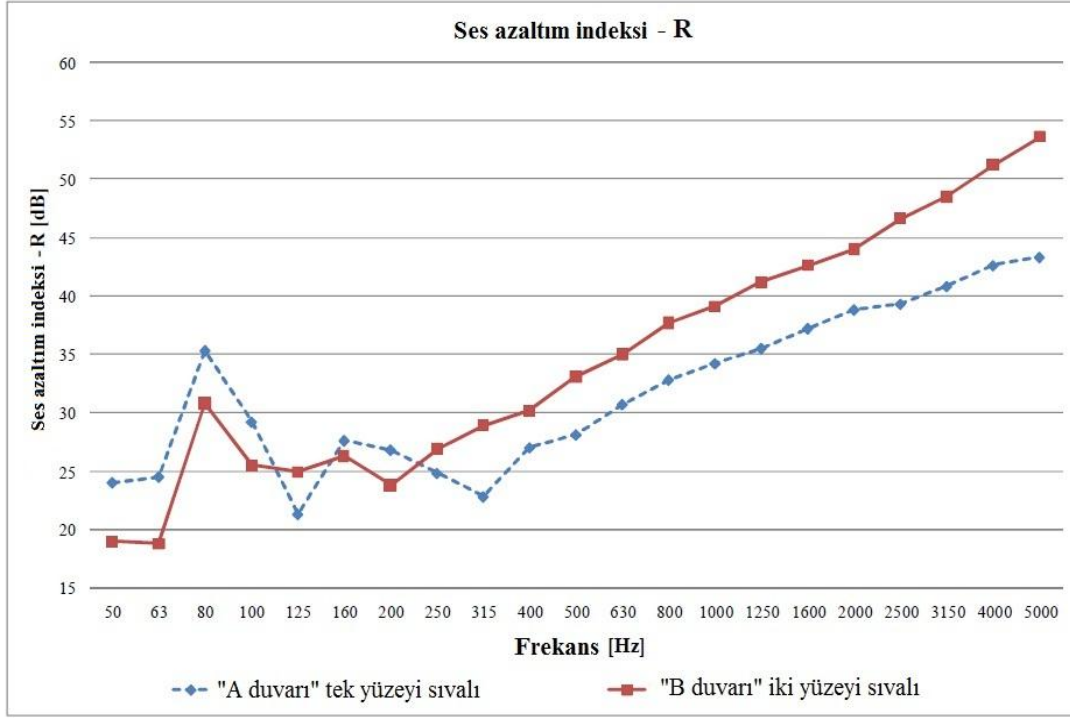
İlk oluşturulan duvar dikey ve yatay harçla inşa edildi.(“A” diye adlandırıldı) b

Bu duvarın sadece tek bir yüzeyi 1.5cm ve 1700kg/m³ olacak şekilde sıvandı. Numune duvar için yüzey kütlesi 1m² için 72 kg/m² olmuştur. İkinci olarak duvarın arka yüzeyi de sıvanarak “B” duvarı oluşturuldu. “B” duvarının yüzey kütlesi 97 kg/m³ olarak ölçülmüştür (Semprini & Barbaresi, 2008).



Şekil 2.10 : Boşluklu tuğla numunesi ve inşa edilen duvar (Semprini & Barbaresi, 2008).

Laboratuvar ortamında “A duvarı” ve “B duvarı” için ses azaltım indeksi, R_w , EN ISO 140-3 ve EN 717-1 standartlarına göre ölçümü yapıldı, “A duvarı” için $R_w = 33$ dB “B duvarı” içinse $R_w = 37$ dB olarak bulunmuştur. Ölçüm sonucu aşağıdaki Şekil 2.11’de gösterilmektedir (Semprini & Barbaresi, 2008).



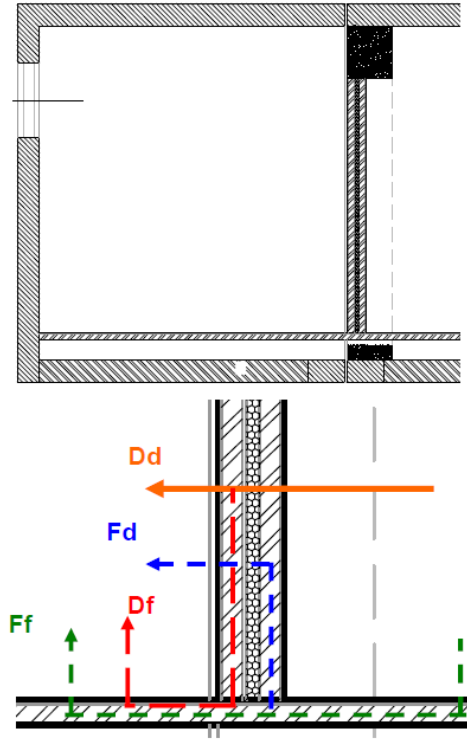
Şekil 2.11 : İki test numunesi için ses azaltım indeksi (Semprini & Barbaresi, 2008).

İkinci Test Numunesi ve Yanal İletim Etkileri

Yanal yayılım performansı için bir diğer ölçüm performansı yapıldı. Bu ölçüm için iki tuğla duvar (8x25x50 cm) arasına taş yünü (80kg/m³) 5 cm boşluğa koyularak test duvarı oluşturuldu. Bölme duvarın toplam yüzey kütlesi 290kg/m³'dür.

Aynı laboratuvar da yapılan ölçümlerde, EN ISO 140-3 ve EN717-1 'e uyulacak şekilde bu duvar için yanal iletimi kapsamında ses azaltım indeksi $R_w=52$ (-1,-2) dB olarak ölçülmüştür (Semprini & Barbaresi, 2008).

Bu aşamadan sonra Şekil 2.12'de gözüktüğü gibi tuğla duvar (8cm) tek tarafı çimento esaslı sıva ile kaplandı ve dikey olacak şekilde “T” bağlantı tipi ile bölme duvara eklendi ve titreşim azaltım indeksi saptanması K_{ij} , için ISO 10848:2006 göre ölçümler yapıldı. (Semprini & Barbaresi, 2008)



Şekil 2.12 : “T” bağlantı tipi (ikinci aşamadaki test) ve iki oda arasındaki “ij” ses geçiş yolları (Semprini & Barbaresi, 2008).

Test duvarının yanal iletim olmadan önceki R_w değeri 52dB iken “T” bağlantı tipi ile duvar eklendikten sonraki R_w değeri 44 dB’dir. Burada yanal iletimin ciddi etkisi olduğu saptanmıştır ki bu fark 8 dB olmaktadır.

Bu makale kapsamında ayrıca titreşim azaltım indeksi k_{ij} ve gözükten ses azaltımının EN 12354-1’de tanımlanan CEN modeline göre gözükten ses azaltım indeksinin hesaplanması standardda veriler doğrultusunda yapılmıştır. Ölçüm ve hesaplama sonuçları çizelge 2.9’da gösterilmiştir (Semprini, G.,Barbaresi L.,2008).

Çizelge 2.9 : Ağırlıklı ses azaltım indeksi R_w (R'_w) (Semprini & Barbaresi, 2008).

Test Edilen Duvar	K_{ij}	$T_{s,situ}/ T_{s,lab}$	R'_w
Bölme (8+5+8) +2 Duvar (8)	Ölçümler	Ölçümler	47
Bölme (8+5+8) +2 Duvar (8)	EN 12354	Hayır	47
Bölme (8+5+8) +2 Duvar (8)	EN 12354	Evet	45
Bölme (8+5+8) +2 Duvar (8)	Laboratuvar	Hayır	47
Bölme (8+5+8) +2 Duvar (8)	Laboratuvar	Evet	44

Sonuç olarak bu makalede gerçek binalarda uygulanan tipik hafif tuğla duvar akustik açıdan formülize edilip, ölçümler yapılarak analiz edilmiştir.

Ses azaltım indeksi, çimento esaslı sıvaya bağlı olarak ciddi farklılık göstermiştir (+4dB iki tarafında da sıvalı olduğu zaman) . Strüktürel çınlama süresi ve boylamsal dalga hızı da çimento esaslı sıvaya bağlı olarak kayda değer şekilde farklılaşmıştır.

Hesaplanmış ve ölçülmüş gözüken ses azaltım indeks karşılaştırmaları göstermektedir ki; önemli etki düzeltme terimi T_{sit}/T_{lab} ve bu nedenle bölmenin laboratuvarındaki strüktürel çınlama süre ölçümleri her zaman bir gerekliliktir (Semprini & Barbaresi, 2008).

2.1.4 Kuruma sürecinin tuğla duvarın ses azaltım indeksine etkisi: laboratuvar ölçümleri ve teorik analizler

Bu çalışma kapsamında, farklı tipteki tuğla duvarların ses azaltımına etki eden deneysel sonuçları gösterilmektedir. Analizler özellikle tek tabakalı duvar, çift tabakalı duvarlar ve tek tabakalı duvarların kaplanması ile elde edilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Genel amaç, tuğla duvar strüktürüne gerekli olan minimum kuruma süresinin, gerçek laboratuvar değerine en yakın olanın elde edilmesidir. Dahası, elde edilen değerlerin farklı laboratuvar değerleri ile karşılaştırılarak tekrar tekrar denemesidir. Tüm temel nicelikler, ses azaltım indeksi (R), ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w), spektrum uyum terimi C ve C_{tr} analiz edilmiş, sıcaklık (T) ve bağıl nem (R.H.) alıcı oda değerleri kayıt altına alınmıştır. Tanımlayıcı ses azaltım indeks eğri eğimine karşı, frekans, bütün duvar tiplerindeki kuruma süresini belirlemektedir. Ölçümler Milan'daki ITC-CNR (the Construction Technologies Institute of the Italian National Research Council) laboratuvarında yürütülmüş ve ISO 140 bölüm 3 teki prosedür takip edilmiştir (Scrosati, Scamoni & Valentini, 2008).

Ölçüm Prosedürü ve Test Numuneleri

Analizler tek tabakalı duvarlarda, çift tabakalı duvarlarda ve tek tabakalı duvarların kaplanması ile oluşturulan numunelerde gerçekleştirilmiştir. Bu duvar özellikleri aşağıdaki çizelgede tanımlanmıştır.

Çizelge 2.10 : Ölçüm yapılan duvar tipleri (Scrosati vd., 2008).

Duvar tipi	İlk duvar	İkinci duvar ya da kaplama malzemesi	Hava boşluğu	Ara Katman	Yüzey kütlesi
a1)	12-cm perforeli yüzey tuğlası / Bir yüzeyi sıvanmış	yok	yok	yok	218 kg/m ²
a2)	iki sıra 12-cm perforeli yüzey tuğlası / Bir yüzeyi sıvanmış	yok	yok	yok	335 kg/m ²
a3)	12-cm boşluklu tuğla / İki yüzeyi sıvanmış	yok	yok	yok	164 kg/m ²
b1)	12-cm boşluklu tuğla / iki tarafı sıvanmış	8-cm boşluklu tuğla / bir yüzeyi sıvanmış	4 cm	4 cm'lik PET fiber	299 kg/m ²
b2)	12-cm boşluklu tuğla / iki tarafı sıvanmış	8-cm boşluklu tuğla / bir yüzeyi sıvanmış	8 cm	8 cm'lik PET fiber	307 kg/m ²
b3)	12-cm perforeli yüzey tuğlası /bir tarafı sıvanmış	8-cm boşluklu tuğla / bir yüzeyi sıvanmış	10 cm	8 cm'lik PET fiber	318kg/m ²
c1)	iki sıra 12-cm perforeli yüzey tuğlası / Bir yüzeyi sıvanmış	5-cm mantar yapıştırılmış ve file üzeri sıvalı yüzey	yok	yok	348kg/m ²
c2)	iki sıra 12-cm perforeli yüzey tuğlası / Bir yüzeyi sıvanmış	5+5cm mantar yapıştırma ve file üzeri sıvalı yüzey	yok	yok	361kg/m ²
c3)	sıra 12-cm perforeli yüzey tuğlası / Bir yüzeyi sıvanmış	10-cm EPS yapıştırılmış ve file üzeri sıvalı yüzey	yok	yok	341kg/m ²
C4)	12-cm boşluklu tuğla / İki yüzeyi sıvanmış	10-cm EPS yapıştırılmış ve file üzeri sıvalı yüzey	yok	yok	178kg/m ²

Ölçüm süreci malzemelerin kurutulması, düzgün bir uygulama ve usta işçilik , R ölçümünün yapılması ve yüzey kütlesinin tanımlanması gibi bir kaç ana basamaktan oluşmaktadır (Scrosati vd., 2008).

Öncelikle kurtulma süreci tamamlanmış olup bu süreçte inşa edilecek duvar malzemeleri laboratuvar mikro kliması ile kurutulmuştur. Tuğlalar, açık havada bekletilmiş ve dış astar için kullanılacak malzeme kurudur (Scrosati vd., 2008).

Uygulanan tuğlalar “Düzgün Bir uygulama ve Usta İşçilik” ile tanımlanmıştır bununla kastedilen, dikey ve yatay tuğla boşluklarının tam anlamıyla kapatılması,

kırık tuğla kullanımının önlenmesi ve en son olarak tamamlanamamış, bitirilememiş bir astar yüzeyinin oluşmamasıdır (Scrosati vd., 2008).

Her bir test EN ISO 140'ta tanımlanan ölçüm metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Ses azaltım indeks ölçümleri aynı frekanstaki R değerinde farklılık oluşmayana kadar tekrarlanmıştır. Örnek duvar konstrüksiyonun tamamlanmasının bitiş süresi t=0 olarak tanımlanmıştır (Scrosati vd., 2008).

Yüzey kütlesinin tanımlanması, test duvarının ölçülendirilmesi ve ağırlığının tespit edilmesi ile belirlenmiştir, bu testin sonunda yapılmıştır. Normalde yüzey kütlesi, sıvanmış katmanların hesaplanması ile elde edilir. Yapılan test numunler için elde edilen sonuç verileri aşağıda verilmiştir (Scrosati vd., 2008).

Çizelge 2.11 : Tek tabakalı duvar için ölçüm sonuçları (Scrosati vd., 2008).

Duvar tipi	Süre: [saat]	Rw [dB]	C [dB]	Ctr [dB]	Sıcaklık [°C]	Bağıl nem
a1)	0,0	48	-1	-3	23,0	48,9%
	72,0	46	-1	-4	22,0	44,5%
a2)	71,0	52	-1	-3	28,0	57,7%
	263,0	51	0	-3	28,0	48,8%
a3)	22,0	44	-1	-3	29,0	46,8%
	46,0	44	-1	-3	30,0	45,8%

Çizelge 2.12 : Çift tabakalı duvar için ölçüm sonuçları (Scrosati vd., 2008).

Duvar tipi	Süre: [saat]	Rw [dB]	C [dB]	Ctr [dB]	Sıcaklık [°C]	Bağıl nem
b1)	17,0	60	-1	-3	19,3	46,0%
	63,5	54	-1	-3	19,1	49,7%
	88,0	54	0	-3	19,3	50,2%
	159,5	53	0	-3	19,8	53,3%
	183,5	53	-1	-3	20,0	52,4%
b2)	17,0	58	0	-2	20,0	51,9%
	39,5	54	0	-3	21,0	47,7%
	64,5	53	0	-2	20,0	50,7%
	159,0	53	0	-2	23,0	44,5%
b3)	18,0	59	0	-3	22,0	41,2%
	43,0	55	-1	-3	23,0	54,0%
	66,5	54	-1	-3	22,0	54,2%
	72,0	54	-1	-3	23,0	53,0%
	90,0	54	-1	-3	21,0	48,8%

Çizelge 2.13 : Tek yüzeyi kaplı duvar için ölçüm sonuçları
(Scrosati vd., 2008).

Duvar tipi	Süre: [saat]	Rw [dB]	C [dB]	Ctr [dB]	Sıcaklık [°C]	Bağıl nem [%]
c1)	0,0	51	-1	-3	27,0	28,8%
	24,0	50	0	-3	28,0	31,5%
	96,0	50	0	-3	28,0	53,1%
c2)	19,0	51	0	-3	28,0	27,7%
	42,0	51	-1	-3	28,0	32,0%
	66,5	51	-1	-3	27,0	37,4%
c3)	0,0	52	0	-4	28,0	57,9%
	24,0	50	0	-3	27,0	48,2%
	48,0	50	0	-3	28,0	46,0%
	72,0	51	-1	-4	28,0	41,3%
	96,0	51	-1	-4	27,0	43,4%
c4)	18,0	48	-2	-6	29,0	49,5%
	42,0	48	-3	-7	30,0	43,0%

Test edilen duvar tiplerine yukarıda anlatılan işlemler uygulanmıştır, özellikle, test numunelerinin yapımında kullanılan tuğla duvar sıvası ve harcı için. Amaç “minimum” ve “yardımcı” kuruma süresinin belirlenmesidir ki, teste tabi tutulan duvarın ,ses azaltım indeks değişimindeki ciddiye alınmayacak (± 1 dB) değişiminin garantiye alınmasıdır. Tek tabakalı duvarlar için, elde edilen bilgi kuruma süresi için 24 saatten daha az olmadığıdır. Çift tabakalı duvarlar için, en önemli olan, minimum kuruma süresi tek tabakalı duvarlara göre daha fazladır ve yaklaşık 4 gün (96 saat). Bunun nedeni çift tabakalı duvarlarda yatay ve dikey birleşimlerde daha fazla harç, sıva kullanılması ve iç yüzeyde kalan sıva, ek olarak boşlukta yer alan ve duvardaki nemi emen malzemenin hesaba katılmasıdır.

En son bir yüzeyi kaplı tekil duvarlar için kuruma süresi (fileli sıva uygulandıktan sonra) daha azdır (yaklaşık 20 saat) ve öncelikli olarak kaplama yüzeyine uygulanan sıvanın miktarına bağlıdır: Rw terimindeki değişim minimumdur (1 dB).

Sadece R değişim eğrisinin şekli ile ilgili bilgiler vermek tek başına spektrum uyum terimleri C ve Ctr’nin kontrol edilmesi için yeterli değildir: ilk test ile diğerleri arasında, alçak frekanslardaki aksi eğilim Ctr değer değişimi ile uygunluk göstermemektedir.

Kuruma süresine bağlı akustik performans değişimi, özellikle çift tabakalı duvarlarda, orta frekanslarda, 500 Hz de başlayarak, ses azaltım indeks eğrisini eğim değişimine bağlıdır. Daha kurumamış, duvarda yapılan ölçümler ile inşaat

tamamlandıktan sonra ilk 24 saat içinde yapılan ölçümlerde eğim 6 dB/oktavdır (kütle kanunundaki gibi). Time>40 saat zamanında yapılan ölçümlerde ise ses azaltım indeks eğri eğimi 9 dB/ oktav olmuştur (Scrosati vd., 2008).

2.1.5 Yapılarda akustik kriter belirleme

Başarılı yapı tasarımı, yapının akustik performansının aydınlatma ve havalandırmada sağladığı kadar iyi olmasına bağlıdır. Odadaki çok fazla arka fon gürültüsü ya da çok fazla çınlaması süresi nedeniyle oturanların konuşmanın anlaşılabilmesi kusurdur. Kontrolsüz giren ses nedeni ile konuşmanın anlaşılabilmesi kullanıcıların dikkatini dağıtmaktadır (Warnock, 2001).

Birçok evin maruz kaldığı kontrolsüz ses (müzik, TV, konuşma sesi, adım sesi gibi) bina strüktürü tarafından sönümlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma odalarında, işyerlerinde, davetsiz giren ses, özellikle konuşma sesi, çalışma yapan kişilerin dikkatini dağıtarak verimliliğin düşmesine neden olmaktadır, bu nedenle sadece konutlarda değil bu mekanlarda da sönümleme gerekli olmaktadır (Warnock, 2001).

Eğer bir yapı kabul edilebilir, makul akustik koşulları sağlayacaksa, ilk olarak binaların akustik kriterleri belirlenmelidir. Bu akustik kriter sadece strüktürü oluşturan elemanlara değil tüm mekanlara uygulanmalıdır. Sistem bir bütün olarak düşünülmeli, duvarlar, döşemeler ve diğer bağlantı elemanları ve akustik performansa o şekilde odaklanılmalıdır. Problemler tanımlanmalı ve belki bazıları ses kaynağında önlenmelidir. Duvar ve döşemelerde kullanılan bağlantı elemanlarının optimum tasarımının anahtarı kullanılan malzemelerden maksimum akustik avantaj sağlamaktır. Eğer istenilen avantaj sağlanamıyorsa farklı tasarımlar denenmelidir (Warnock, 2001).

Bu sistem yaklaşımının sonucunda yapılan tasarım uygulandıktan sonra belirlenen kriter değerlerini sağlandığını kontrol için testler uygulanmalı ve ölçümler yapılmalıdır (Warnock, 2001).

Odaların Temel Akustik Özellikleri

Odaların üç temel akustik özelliği, odanın kullanıma uygun olup olmadığını büyük ölçüde belirlemektedir,

- Oda ve bitişik alanlardaki sesin sönümlenmesi

- Odadaki fon gürültü seviyesi (havalandırma sesi, tesisat sesi ve mekanik sistem seslerine bağlı)
- Odanın cınlama süresi

Sesin Sönümlenmesi

Yapı bileşenleri (duvarlar, döşemeler vs.) hava doğuşlu gürültüyü önleme özelliklerine göre sınıflandırılırlar, ses geçiş sınıfı (STC) [ASTM* E413]; yüksek STC sınıfına sahip yapı bileşeni, yüksek ses sönümlemesine sahiptir. Ses geçiş sınıfı, yapı bileşenleri için laboratuvarla ölçülmektedir [ASTM E90] .Yapı kodları genellikle bina bileşenlerinin minimum STC değerini belirler, tam oda çiftlerinin ses yalıtımını değil. Tasarımın temeli olan bina bileşeni seçilirken, önemli olan nokta odalar arasındaki sönümlemeyi yapacak sistemin sağlanmasıdır. Binayı oluşturan duvarlar, döşemeler ve diğer tüm bileşenler bitişik odalardaki ses geçişine izin vermektedir ki, bu nedenle çoğunlukla gerçek ses sönümlemesi beklenenden daha düşük olmaktadır. (Warnock, 2001).

Odalar arasındaki ses sönümlemesine ulaşıldığından emin olmak için, tasarımcılar görünen ses geçiş sınıfı (ASTC) belirlenmelidir. Görünen ses geçiş sınıfı (ASTC) iki oda arasında yer alan konstrüksiyondaki tüm geçiş yollarının ses sönümlemesini temsil eder. ASTC'yi belirlemek için ölçümler ASTM E336 daki standartlara göre ölçümler yapılmaz. Ancak yanal ses geçişi için azaltımın herhangi biri alınmamalı ya da inşa hataları düzeltilmemelidir. Odalar olduğu gibi test edilmelidir (Warnock, 2001).

Görünen ses geçiş sınıfı (ASTC) özelliklerine ulaşmak için bileşen seçiminin iyi bilinmesi gerekmektedir, özellikle duvarlar ve döşemeler arasındaki bağlantı dikkatlice tasarlanmalı, yapım aşamasında sönümleme detayları uygulanmalı ve bu inşaat tamamlanmadan test edilerek istenilen değerlere ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilmelidir. İnşa işlemleri tamamlanmadan yapılacak olan kontroller, testler sayesinde tamamlandıktan sonra ortaya çıkabilecek masraflar önlenmiş olunur (Warnock, 2001).

Ses Sönümleme Kriteri

İdeal olan ses sönümleme kriteri müzik, TV, konuşma sesi, ayak sesi, diğer darbe sesleri, ortalama fon gürültü seviyesi ve oturan kişilerin diğer tüm durumları için tanımlanmasıdır. Bu tarz bir bilgi, ne kadar kişinin hangi düzeyde etkileneceğine

bağlı olarak tanımlanmalıdır. Rezidanslar için sadece kısıtlı miktarda bilgi bulunmaktadır, bu nedenle sönümlleme kriteri deneyimlere ve ekonomik tasarımlara dayanmaktadır. Çizelge 2.14’de farklı durumlar için görünen ses geçiş sınıfı (ASTC) gösterilmektedir (Warnock, 2001).

Fon Gürültü Düzeyi

Bir çok odada genellikle karmaşık gürültü düzeyi bulunmaktadır, örnek olarak trafik gürültüsü, havalandırma ekipmanlarının gürültüsü, tesisat ya da mekanik ekipman gürültüsü vs. özellikle konuşma ya da konsantre olmayı gerektiren durumlarda Diğer taraftan, çok da düşük olmamalıdır ki çok zayıf kontrolsüz seslerde rahatsız edici hale gelmektedir ki buna örnek olarak yatak odasında duyulan musluk damlaması göstertilebilir (Warnock, 2001).

Tüm hacimlerdeki fon gürültü düzeyi o alandaki normal aktiviteye göre seçilmelidir. Yatak odalarındaki fon gürültüsü o odadaki uyku zamanındaki rahatsız edici düzeye göre belirlenmelidir. Oturma odaları insanların dinlendiği ya da ofisler, konsantre gerektiren işlerin yapıldığı ve sakin ortamların gerektiği alanlardır ki gürültü düzeyi önemlidir. Ancak yatak odalarındaki uyumanın sağlanmasında daha az bağlayıcıdır (Warnock, 2001).

Fon gürültü düzeyi özellikle toplantı odalarında, sınıflarda, mahkemelerde ve konferans salonlarında kısaca konuşmanın ağırlıklı olduğu hacimlerde önem kazanmaktadır. Çok fazla sayıda bu tür odalarda, çeşitli kaynaklardan gelen fazla gürültü nedeniyle duymak zor olmaktadır. Özellikle konuşma kaybı yaşayan kişiler daha fazla etkilenmektedir. Okullardaki sınıflar özellikle kritik öneme sahiptir. konuşma anlaşılmazsa, öğrenciler cümlelerin içeriğinden kelimenin anlamını çıkarmaya çalışacaktır. Bu işitme kaybı olan genç öğrenciler için oldukça zor olmaktadır. Ayrıca eğitim dili yabancı olan öğrenciler içinde bu zor bir durumdur (Warnock, 2001).

Çınlama

Bir sesin 60dB düzeyine inmesi için geçen süreye çınlama süresi (RT) denmektedir. genellikle odalar için tanımlanır. Ancak odalardaki çınlama süresi çoğunlukla farklı frekanslar için ölçülür, genellikle 1000Hz deki çınlama süresi değeri alınır (Warnock, 2001).

Ses aniden durduğunda, odadaki fon gürültü düzeyine inmesi zaman almaktadır. Oda yüzeyleri ne kadar sert olursa, sesin azalması o kadar uzar ve çınlama süresi daha uzun olur. Çok fazla çınlamanın olduğu odalarda birbirine yakın olmayan kişilerin konuşmasının anlaşılması zordur. Bu nedenle çınlama süresi de önemlidir (Warnock, 2001).

Özet olarak başarılı akustik performansa ulaşmak için, tamamlanmış inşaat için performans kriteri belirlenmelidir. Bu değeri sağlamak için, malzemeler ve bileşenler, mekanik sistem ve özellikle uygulama detayları özenle seçilmelidir. Tasarımcı bu karmaşık görevi seçmeli ya da bu konuda akustik uzman birini yetkilendirmelidir ki bu kişi bu sorunların üstesinden gelebilir. Bazı detaylı çalışmalarda yetkilendirilme olsa da, hala farklı disiplinlerde farklı temel koordinasyon aynı kalmaktadır (Warnock, 2001).

2.2 Ses Yalıtımına Etki Eden Faktörler

Gürültü, en kısa şekliyle istenmeyen ve insan sağlığı ve psikolojisini olumsuz yönde etkileyen ses ya da sesler olarak tariflenebilir.

Mekan içine iletilen gürültünün, doğuş biçimi ve yayılma ortamı dikkate alındığında iki farklı şekilde ortaya çıktığı anlaşılır. Havada doğan ve hava yoluyla etkilenen kişiye ulaşan gürültü türüne hava doğuşumlu gürültü denir. Bir hoparlörden çıkan ve kişilere ulaşan ses buna en güzel örnektir. Diğer gürültü türü ise yapıya etkileyen kuvvet ya da etkiler sonucu yapı üzerinden yayılan gürültüye yapı doğuşumlu gürültü adı verilir. Kişilerin ayak seslerinden ortaya çıkan darbe gürültüsü bu tür gürültünün en belirgin şeklidir. Farklı yapıdaki her iki gürültü türü için farklı gürültü denetimi önlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu iki tür gürültü şekil 2.13'de özetlenmektedir.

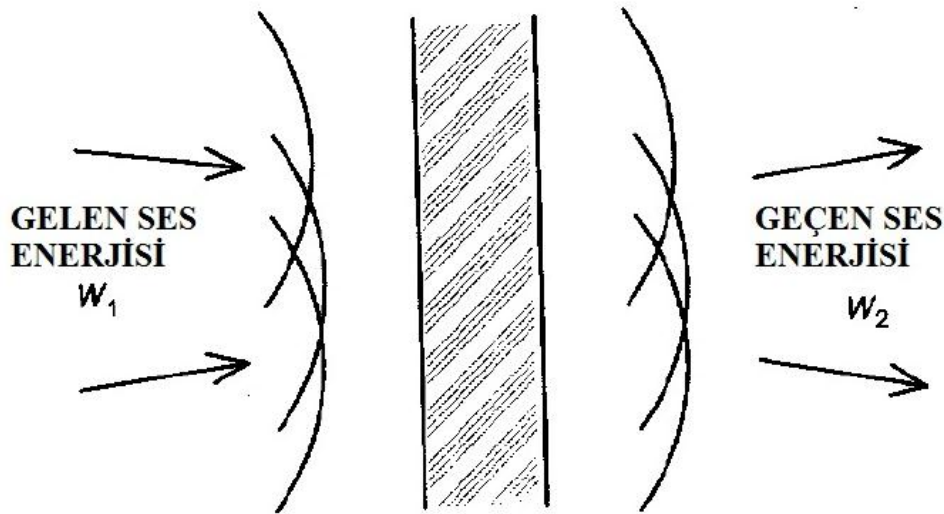
Ortak yapı elemanları üzerinde bulunan delik, çatlak, açıklık vb. sebeplerden doğan akustik sızıntılar, hava doğuşumlu gürültü olarak değerlendirilmektedir. Özellikle duvar, tavan, çatı, kapı, pencere vb. yapı elemanları aracılığı ile mekan içine iletilen gürültü hava doğuşumlu olarak yayılır.



Şekil 2.13 : Hava doğuşumlu ve yapı doğuşumlu gürültü.

2.2.1 Hava doğuşlu ses yalıtımı

Hava doğuşumlu gürültünün yalıtımında kullanılan parametreler ses geçiş katsayısı ve ses geçiş kaybıdır. Ses geçiş katsayısı (τ) yapı elemanından öbür tarafa geçen sesin enerjisinin ya da gücünün yapı elemanın ön yüzüne düşen ses enerjisine ya da gücüne oranı olarak tanımlanır. Doğallıkla bu sayı 1'den küçük, hem de çok küçük olacaktır. Tipik yapı elemanları için bu katsayı 0,01 ile 0,000001 arasında değişmektedir. Şekil 2.14'de ve aşağıdaki formülde ses geçiş katsayısı tanımlanmaktadır.



Şekil 2.14 : Sesin panelden geçişi (Simons & Waters, 2004).

Ses geçiş katsayı τ hesabında aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$\tau = \frac{W_2}{W_1} \quad (2.4)$$

Burada;

W_1 :Panele Gelen Ses Enerjisi

W_2 :Panelden Geçen Ses Enerjisi

İki oda arasındaki önemli ses azaltımı, ayırıcı duvarlar ya da ayırıcı döşemeler için duvara gelen ses enerjisinin sadece çok küçük bir bölümünün geçişine izin vermelidir. Duvara gelen ses enerjisinin duvardan geçen ses enerjisine oranı (desibel cinsinden dB) ses geçiş kaybı olarak tanımlanmaktadır. Ne kadar az ses enerji geçişi olursa ses geçiş kaybı o kadar fazla olmaktadır. İyi duvar ses azaltımı fazla olan duvardır (Warnock, 1998).

Hava doğuşlu seste, iletilen dalğanın büyüklüğü önem kazanır. Bu büyüklüğün bulunmasında genel olarak ses geçiş katsayısı (τ) ve ses geçiş kaybından (TL veya R) yararlanılır, frekanslarda malzemenin farklı özellikleri etkin olduğı için kullanılan yöntemler frekansla bağlantılı olarak değışir (Demirkale, S. Y.,2008).

Ortam sesinin yalıtımı ses kaynağının yer aldığı ortamı alıcı ortamdıan ayıran bir bölücü eleman ile sağılanır. Havadaki ses dalgaları bölücü elemana çarparak, elemanın titreşimi sonucunda kaynak ortamından alıcı ortama geçer. Elemandan iletilen sesin şiddeti elemanın ses geçiş kaybına göre değışmektedir. Bölmeden iletilen sesin bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ses geçiş katsayısı, τ ‘ yu verir (Demirkale, S. Y.,2008).

Elemanın ses geçiş kaybı TL ise bu katsayıya bağılı olarak,

$$TL = 10\log(1/\tau) \quad (2.5a)$$

veya

$$TL = 10\log \frac{\text{Bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{Bölmeden iletilen sesin şiddeti}} \quad (2.5b)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

İki çınlayan hacim arasındaki bölmenin ses geçiş kaybı, bölmenin alanı (s), alıcı hacmin yutuculuğu (a) ve gürültü azaltımına (NR) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Demirkale, 2008).

$$TL = L1 - L2 + 10 \log (s/a) \quad (2.6)$$

Burada;

L1 : Kaynak odasındaki ses basınç düzeyi, dB

L2 : Alıcı odasındaki ses basınç düzeyi, dB

s : Sesi ileten duvarın alanı, m²

a : Alıcı odasının toplam emicilik değeri, sabit m²

L1–L2: Bölmenin gürültü azaltımı (NR)

Ses geçiş kaybı, yutuculukta olduğu gibi frekansa bağlı olarak farklılık gösterir. Ses geçiş katsayısı değeri, 0 ila 1 aralığındadır. $\tau = 0$ demek, bir malzemeden ses geçişinin olmadığı anlamına gelir; $\tau = 1$ ise, tüm ses malzeme tarafından geçiriliyor yani malzeme akustik olarak saydam demektir. $\tau = 1$ ' e örnek olarak açık pencereler yada duvardaki boşluklar olarak gösterilebilir. Eğer $\tau = 0,2$ ise ortaya çıkan ses enerjisinin %2'si iletilmiş demektir (Demirkale, 2008).

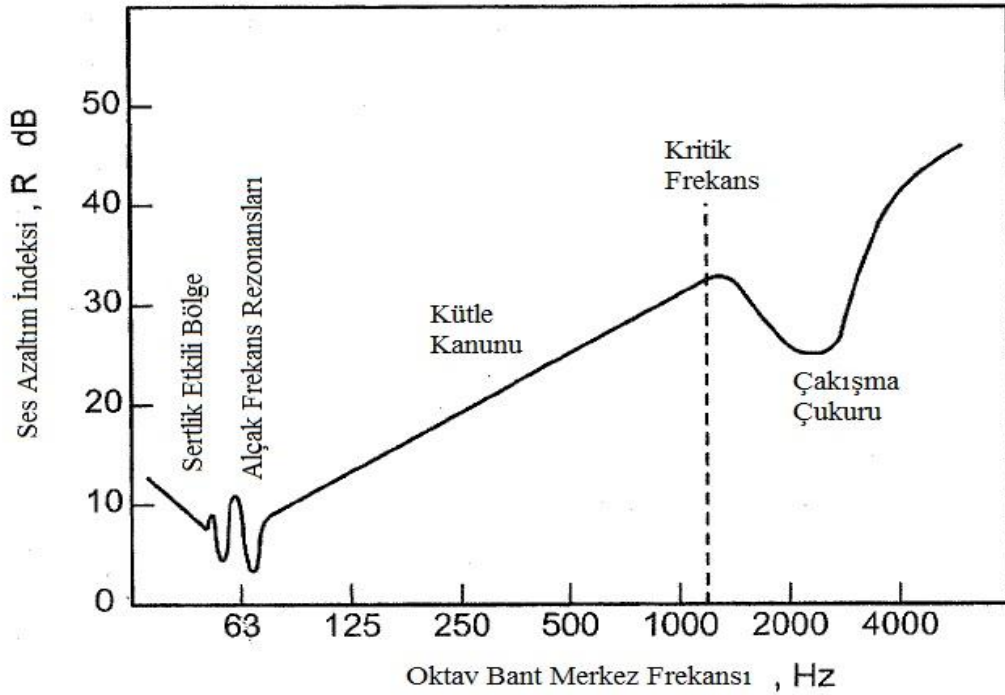
Tek Katlı Homojen Malzemeli Panellerin Ses Azaltım İndeksi

Ses dalgası bir panele çarptığında, panelde kompleks titreşimler oluşur, panelin yapısı panelden geçen ses enerji miktarını belirler. Bu prensibe etki eden faktörler aşağıda sıralanmıştır;

- Sesin frekansı,
- Panelin birim metre kare ağırlığı,
- Panelin rijitliği (sertliği),
- Panelin sönümleme katsayısı.

Tek tabakalı duvarlar için ses geçiş sınıfını (STC) belirleyen en önemli etken, birim alan kütlesi olduğu söylenebilir. Bu değer ne kadar yüksek olursa o kadar iyi yalıtım performansı sağlanmaktadır. Örnek olarak tek tabakalı beton blokların yüzeyi boya ya da sıva ile kaplandığı takdirde 45 ve 55 STC eşdeğerlerini sağlayacak yeterli

performans değeri oluşmaktadır. Homojen panellerin ses azaltım indeksinin frekansa bağlı değişimi Şekil 2.15'te gösterilmektedir (Warnock, 1998).



Şekil 2.15 : Tek katlı homojen bileşenden oluşan panelin ses azaltım indeksinin frekansa bağlı grafiği (Demirkale, 2007).

- İlk olarak düşük frekanslarda, frekans arttıkça R azalmaktadır. Bu alana sertlik etkili bölge denir.
- Daha sonra R rezonanslara bağlı olarak en düşük değerine ulaşır. Bu alan sertlik etkili bölge ile kütle kanunun arasındaki bölgedir.
- R rezonanslar bölgesinden geçer ve bu bölge sertlik etkili bölge ile kütle kanunu bölgesi arasında olur.
- Kütle kanunu bölgesinde R doğrusal olarak artar. Teorik olarak maksimum 6dB/oktav artış görülür.
- Kritik frekansa ulaşıldığında R düşüş gösterir ve minimum değerinden geçerek, frekansa bağlı olarak tekrar artmaya başlar. Buna çakışma çukuru denir (Demirkale, 2007).

Kütle kanununa bağlı olarak, tek katlı homojen malzemeli panelin ses azaltım indeksi kütlenin artması ile 6 dB lik artış göstermektedir. Uygulamada bu artış daha azdır, yaklaşık olarak 5 dB dir. Tek katlı homojen malzemeli panelin ses azaltım

indeksini arttırmanın en efektif yolu kütlesinin arttırılmasıdır. Genellikle uygulanan panellerde, ses azaltım indeksindeki R ilk düşüş, alçak frekansta ve alçak frekans rezonanslarında en düşük duyulabilir spektrumlara yakın bölgelerde olmaktadır ve bu genellikle önemsenmemektedir. Diğer taraftan, kritik frekansta oluşan panelin fiziksel özelliklerine ve panelin kalınlığına bağlı olan çakışma çukuru işitilebilir bölgede oluşmaktadır. Bu yüzden de çakışma etkisi önemlidir (Simons & Waters, 2004).

Kritik frekans malzemenin kalınlığı ile ters orantılı olarak değişiklik göstermektedir ve buna bağlı olarak malzemenin kalınlığının artması çakışma çukurunu daha alçak frekanslara çekmektedir. Birbirine bağlı olarak bir panelin yüzey kütlesinin arttırılması ya da kalınlığının arttırılması, kütle kanunu bölgesinde ses azaltım indeksinin artmasına sebep olmaktadır (Simons & Waters, 2004).

Ancak her ne kadar kütlenin arttırılması ses azaltım indeksinin artmasına sebep olsa da bazı frekanslarda, kütlenin artması ile oluşan yeni çakışma çukurlarına yakın bölgelerde ses azaltım indeksi R çok az artmaktadır (hatta bazen azalmasına neden olmaktadır.) (Simons & Waters, 2004).

Bu olay sonucunda, yüzey kütlesindeki net artış etkisinin ses azaltım indeksine etkisi (kütle kanunundan bağımsız olarak) tahmin edilenden çok daha azdır (hatta daha kötü hale getirmektedir) . Çünkü ev gibi mesken alanlarda düşük frekanslardaki ses azaltım indeksi önem kazanmaktadır (Simons & Waters, 2004).

Ses geçiş kaybı olan R (veya TL) bir yapı elemanının her bir frekanstaki ses geçiş kayıp değerini teker teker gösterirken, $R_w(C; C_{tr})$ değeri ISO 717-1’de verilen metoda göre kaydırma yapıldıktan sonra 500 Hz’ de referans eğrisinin desibel cinsinden değeridir (Demirkale, 2007).

Ses Azaltım İndeksinin Tam Sayılara Çevrilmesi

Hava doğuşlu ses izolasyon özellikleri 1/3 oktav bantlarda ölçülür. Duyulabilir spektrum bölümündeki ölçümler 100Hz ile 3150Hz arasında yapılmaktadır. Böylece R' (D_n vs.) için 16 adet değer ortaya çıkmaktadır. Bu 16 R' değeri için aritmetik ortalama hesabı yapılabilmektedir. Bu değerler hesaplandıktan sonra bulunan değer panelin tüm performans göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu iki sebepten ötürü tam tanımlayıcı olamamaktadır. İlk olarak bu değerdeki ortalama artış, kulağın duyabilme hassasiyet frekansı kadar hesaba katılamamaktadır. R' nin çok düşük

değerlerinde, aynı düşük değerdeki alçak frekanslara göre yüksek frekans bantları çok daha belirleyici etkiye sahip olabilmektedir. İkinci olarak, R' nin çok düşük değerlerinde her hangi bir frekans bandı ortalama yüksek değer için gizli hale gelmektedir. Dinleyici kişi etkilenene kadar, panelin ses izolasyon etkisinin sağlanmasının tespit edilmesi ortalama değerden ziyade çok düşük değerde olmaktadır. Bu yüzden R' nin $1/3$ oktav bantlarındaki tüm değerleri (16 adet) denetlenmelidir. Ancak bu hantal bir sistem ve fazlaca zaman kaybına neden olmakta ayrıca karşılaştırma yapmakta pratiklik kaybolmaktadır. Sonuç olarak bu hantal sistemin aşılabilmesi için 16 adet $1/3$ oktav bant indeks değerleri tam miktara çevrilerek performans belirleyici sayılar olarak kullanabilmektedir. Bunun birçok yöntemi bulunmaktadır. Bina düzenleyici metodu BS EN ISO 717-1: 1997 ile tanımlanmıştır. Bu yöntemde ölçülen değerler referans değerler ile karşılaştırılmıştır.

Frekans 100Hz den 125Hz çıktığında, referans değerlerde artış göstermektedir. Kulağın hassasiyeti orta ve yüksek frekanslarda daha iyi olması sebebiyle, ortalama değeri hesaplayabilmek için hesaba katılan ilk itiraz değerinin etkisi daha fazla olur. Bir panel için ölçülen ve ardından aynı tabloya yazılan referans değerleri, aynı frekanstaki iki değerle karşılaştırılır. Eğer referans değeri daha büyük ise, $R_{ref} - R'$ arasındaki fark not edilir. Eğer değer küçük ise önemsenmez. Böylece farkların toplamı için karşı sapma bulunmuş olunur. Böylece referans eğrisi yukarı ya da aşağı yönelmiş olur, birim zamanda 1dB olacak şekilde, karşı sapma değeri en büyük değerine ulaşıncaya kadar hesaplanarak eğrinin tam değeri tanımlanmış olur. Bu değer en fazla 32.0dB olabilir. Bu ölçüm ve grafik tamamlandıktan sonra eğri üzerinden 500Hz değeri okunur, bu değer panelin tek ağırlıklı görünür ses azaltım indeksi 'Single number weighted apparent sound reduction index' olarak tanımlanır. Aynı prosedür ve aynı referans değer dizisi için kullanılarak panelin ses izolasyon tekil sayısını üçüncü oktav bant ölçüm değerlerinde kullanılır. En önemlileri çizelge 2.15'de gösterilmiştir (Demirkale, 2007).

Sonuç olarak, 16 $1/3$ oktav bant aritmetik ortalama olarak alınması iyi olsa da tek ağırlıklı sayı göstergesi alçak frekans değerlerinde R' ne etkisi az olmaktadır. Bu en çok alçak frekanslarda önemli olmaktadır ki ayırıcı strüktürlerin en zayıf ses izolasyonuna sahip olduğu zamandır (Demirkale, 2007).

Çizelge 2.14 : Hava ile yayılan sesin ağırlıklı hale getirilmesi için kullanılan referans değerler (Demirkale, 2007).

Frekans Hz	Referans Değerler	
	1/3 Oktav Bantları	1/1 Oktav Bantları
100Hz	33	
125Hz	36	36
160Hz	39	
200Hz	42	
250Hz	45	45
315Hz	48	
400Hz	51	
500Hz	52	52
630Hz	53	
800Hz	54	
1000Hz	55	55
1250Hz	56	
1600Hz	56	
2000Hz	56	56
2500Hz	56	
3150 Hz	56	

Spektrum Uygunluk Terimi

Çizelge 2.14'te yer alan referans değerlerinin frekans düştükçe azalmasını nedeniyle, ağırlıklı tek sayı indeksinin hesabı bazı çıkartımlar oluşturmaktadır ve bunlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Kulağın hassasiyetinin frekansla değişen çeşitlemeleri (Simons & Waters, 2004),
- Kütle kanuna bağlı olarak alçak frekanslarda ses azaltım indeksinin etkisinin azalması (Simons & Waters, 2004).

Her ne kadar dinleyicinin sestten rahatsız olması, panelden geçen sese bağlı olsa da bu panelin sadece ağırlıklı tek sayı değerine değil (R , R' , D_n veya D_{nT} ya da o koşulda gerekli olan en uygun değer hangisi ise) ayrıca gürültü kaynağının frekans karakteristiğine de bağlıdır. Aynı normalleştirilmiş seviye farkı D_n , değerine sahip iki panel farklı ses azaltım indeksine sahip gözükebilir. Bundan başka ayrıca eğer gürültü kaynağı farklı ise, panelin gerçek performansı farklılık gösterebilir (zayıf olduğu yerlerde daha iyi olabilir).

Bina Tasarımında Hava Doğuşlu Ses Geçişinin Azaltılması

Bitişik, komşu odalar arasındaki hava doğuşlu ses geçişinin azaltılması için aşağıdaki üç maddeye dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Ayırıcı panelin tasarımına
- Yanal yayılımına bağlı olarak bitişik yapı elemanlarındaki geçiş yoluna
- Ayırıcı panelin yapımındaki işçilik kalitesi ve panele bitişik olan strüktüre

Tek katmanlı homojen paneller için genel kural, kütle kanununa bağlı olarak panelin ağırlığı arttırıldığı takdirde ses azaltım indeksi artış göstermektedir. Bu ağırlık arttırılması panelin rezonans frekansına ve çakışma çukuruna da etki etmektedir. Çift katmanlı ya da daha fazla katmanlı paneller için de ağırlık önem arz etmektedir ancak asıl prensip panel içindeki mekanik bağın azaltılması hatta yok edilmesidir. En azından panelin bir kısmı için bu uygulanmaya çalışılmalıdır. Rezonans etkisi çok katmanlı paneller için daha karmaşık ve mutlaka hesaba katılması gereken bir etkendir. İlk prensibe göre panelin yaklaşık ses azaltım indeksinin hesaplanması mümkün olabilmektedir ancak düzenleyici standard gibi özellikli bir hedef için ne tam kesin ne de yeterince gerçekçi bir hesap yapmak mümkün olmamaktadır. Ayırıcı panellerde iyi bir ses azaltım indeksine ulaşmak için gerekli tasarım parametreleri için geniş bir literatür, kaynak olduğu için birinci prensipteki hesap ikinci plana atılmaktadır (Simons & Waters, 2004).

Yanal yayılımı en az dört farklı yolla ilgilidir;

- Ayırıcı panelin bağlı olduğu strüktürde oluşturduğu titreşim yolu,
- Kaynak odadaki diğer bileşenlerdeki yollar ve geri kalan bina strüktürü,
- Hava doğuşlu sesin diğer duvarlardan (tavandan, döşemeden) başka mekâna, boşluğa geçip tekrar alıcı odaya ulaşması ile oluşan yolla,
- Servis kurulumu ile oluşan , örnek olarak havalandırma ya da ısıtma için döşenen hava kanalları yada baca ile oluşan yolla.

Özellikle ilk iki yol kontrol edilmesi zor olandır, çünkü yanal yayılımı sadece panelin birleşme noktaları ile alakalı değil ayrıca panelin bağlı olduğu strüktür ile de alakalıdır. Bu sebeple panel ve bağlı bulunan strüktür bir bütünmüş gibi hesaba katılmalıdır. Panelin kenar birleşimlerinin hesabı pek mümkün değildir, bilinen en iyi

ölçüm yöntemi binanın bire bir aynı ölçekte ve aynı işçilikte laboratuvar ortamında oluşturulmasıdır. Ancak bunun uygulanması hem zor hem de uygulanması düşünülen binanın aynı işçilikte yapılabilmesi imkânsızdır. Yanal yayılımındaki diğer yollar için, hava yoluyla oluşan yollar en büyük etkiye sahiptir, özellikle apartman ve rezidans gibi yapılarda panelin ses azaltım indeksinin atlanıp geçilmemesini kontrol altına almak gerekmektedir, buna örnek olarak havalandırma ve ısıtma sistemleri verilebilir. Bu hava yolu, oda ile panelin diğer bölümüne direk olarak bağlanmamalıdır (Simons & Waters, 2004).

Panelin performansını etkileyen en kritik etkenlerden biride panelin şantiyede iyi bir işçilikle uygulanmasıdır. Şantiyede uygulama sırasında panelin ses azaltım indeksini kötü etkileyen ya da zayıflaştıran bir çok etmen bulunmaktadır;

- Tuğla harcındaki boşluklar,
- Panel tavan birleşimindeki tamamlanamayan boşluklar,
- Yanlış ya da dikkatsiz yapılan servis kurulumları (hava kanalları gibi),
- Rijit formlarda ya da yanlış bağlarla oluşturulan çok katmanlı paneller, ya da yanlış bağlarla yapılandırılan panel kenar birleşimleri.

Yukarıdaki sebepler strüktürde hava yolu oluşumuna sebep olmaktadır. Bu oran çok az gözükse dahi ses azaltım indeksine etkisi azımsanmamalıdır. Dahası bu işçilik hataları iş tamamlandıktan sonra fark edilmesi çok zordur ve ses azaltımında da gizli etmenlerdir (Simons & Waters, 2004).

3. TS EN 12354-1, TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARDLARININ İNCELENMESİ

Bu bölümde TS EN 12354-1, TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4 standartları incelenecektir. Standartlarda yer alan terimler, hesaplamalar ve ilgili büyüklükler detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

3.1 TS EN 12354-1 Standardının İncelenmesi

TS EN 12354-1, “Yapı Akustiği - Yapıların Akustik Performansının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı” standardı, binalarda odalar arası hava doğuşlu sesin yalıtımını, yanıl iletimleri de hesaba katarak belirleyen, teorik hesaplama yöntemini içermektedir. Standard, frekans bantlarında hesap yapılan ve sonucu TS EN ISO 717-1 “Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı” standardı ile tek sayılı bir değere dönüştürülebilen ayrıntılı yöntemi ve tek sayılı değerin hesaplanabildiği yöntemi içermektedir.

Frekans bantlarındaki hesaplama için ayrıntılı bir model verilmiştir. Bu modelle, hesaplama sonuçlarına göre derecelendirme bir rakamla yapılabilir. Bu modelden, elemanların tek derecelendirme numarasını kullanan doğrudan tek numara derecelendirme sonucu veren sınırlı uygulama alanı olan basitleştirilmiş bir model elde edilebilir.

Bu standard, hesaplama programı ilkelerini açıklamakta, ilgili büyüklükleri listelemekte ve bunların uygulamalarını ve tâbi oldukları kısıtlamaları tanımlamaktadır. Bu standardın akustik uzmanları tarafından kullanılması amaçlanmakta ve bina inşaatı alanındaki diğer kullanıcılara yerel şartları hesaba katarak uygulama dokümanları ve araçları geliştirmeleri için bir çerçeve sağlamaktadır.

Bu standardda verilen hesaplama modellerinde, yapı elemanlarının performansını belirleyen ölçülebilir büyüklüklerle net bağlantılı mühendislik amaçları yönünden en

genel yaklaşım kullanılmaktadır. Hesaplama modellerinin bilinen kısıtlamaları bu standardda açıklanmıştır. Bununla birlikte, kullanıcılar bu standardda verilenin dışında, her birinin kendine has kısıtlamaları bulunan başka hesaplama modellerinin de bulunduğunu bilinmelidir.

Modeller, meskenlere ilişkin tecrübeye dayanmaktadır. Bu modeller, inşa sistemleri ve elemanlarının boyutları meskenlerinkinden çok farklı olmamak kaydı ile diğer tip yapılar için de kullanılabilir.

3.1.1 Yapı performansını belirleyen büyüklükler

EN ISO 140-4'e göre odalar arasında ses yalıtımı, ilgili bir kaç büyüklük cinsinden ifade edilebilir. Örneğin, R'_w , $D_{nT,w}$ veya $(D_{nT,w} + C)$ gibi bu büyüklükler, EN ISO 717-1'e göre yapı performansı için tek numara derecelendirilmesinden frekans bantlarında (bir bölü üç oktav veya oktav bantları) elde edilerek tayin edilebilir.

Görünür ses azaltma indisi, R'

R' indisi, normal olarak ölçmelerden aşağıda verilen bağıntı ile tayin edilir;

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S_s}{A} \quad (3.1)$$

Burada;

L_1 : Alıcı odada ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

L_2 : Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

A : Alıcı odada eş değer ses absorpsiyon alanı (metrekare),

S_s : Bölme elemanının alanı (metrekare) dır.

Standardize edilmiş seviye farkı, D_{nT}

İki odadan birinde, bir veya daha fazla ses kaynağı tarafından üretilen sesin bu iki odada oluşturduğu ses basınç seviyeleri yer ve zaman ortalamaları arasındaki, alıcı odadaki çınlama süresinin referans değerine karşılık gelen fark,

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (3.2)$$

Burada;

L_1 : Alıcı odada ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

L_2 : Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

T : Alıcı odadaki çınlama süresi (saniye),

T_0 : Referans çınlama süresi (saniye) dir.

Normalize edilmiş seviye farkı, D_n

İki odadan birinde, bir veya daha fazla ses kaynağı tarafından üretilen sesin bu iki odada oluşturduğu ses basınç seviyeleri yer ve zaman ortalamaları arasındaki alıcı odadaki, referans eş değer absorpsiyon alanına karşılık gelen fark.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (3.3)$$

Burada;

L_1 : Alıcı odada ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

L_2 : Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

A : Alıcı odada eş değer ses absorpsiyon alanı (metrekare),

A_0 : 10 m² olarak verilen referans absorpsiyon alanıdır.

3.1.2 Eleman performansını ifade eden büyüklükler

Elemanların performansını belirleyen büyüklükler, mesken performansını hesaplamada girdi verilerinin bir bölümü olarak kullanılabilir. Bu büyüklükler, bir bölü üç oktav bantlarında tayin edilir ve oktav bantlarında da ifade edilebilir. İlgili durumlarda eleman performansı için tek sayı derecelendirmesi, EN ISO 717-1'e göre, örneğin, $R_w(C;C_{tr})$, için buradan elde edilebilir.

Ses azaltma indisi, R

Deney numunesi üzerine gelen ses gücü W_1 'in, bu deney numunesinden iletilen ses gücü W_2 'ye oranının on tabanına göre logaritmasının on katı büyüklük:

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \quad (3.4)$$

Burada;

R:Ses azaltım indisi (desibel),

W₁:Deney numunesi üzerine gelen ses gücü (watt),

W₂:Kaynak odasındaki numune üzerine gelen ses yüzünden algılama odasına deney numunesi tarafından yayılan ses gücü (watt).

Elemanın normalize edilmiş seviye farkı, $D_{n,e}$

İki odadan birinde bir ses kaynağı tarafından üretilen sesin, diğer odaya sadece bir küçük yapı elemanı (hava iletim aygıtları, elektrik kablo kanalları, geçme sızdırmazlık sistemleri gibi) aracılığı ile iletildiği durumda bu iki odada oluşturduğu ses basınç seviyesi yer ve zaman ortalamaları arasındaki fark. $D_{n,e}$ alıcı odadaki referans eş değer ses absorpsiyon alanına (A_0) normalize edilmiştir. A_0 , 10 m²'dir.

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (3.5)$$

Burada;

L_1 : Alıcı odada ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

L_2 : Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (desibel),

A: Alıcı odada eş değer ses absorpsiyon alanı (metrekare),

A_0 : 10 m² olarak verilen referans absorpsiyon alanıdır.

Titreşim azaltma indisi, K_{ij}

Bu büyüklük, yapısal elemanların birleşim yerlerinden olan titreşim gücü iletimi ile ilgili olup değişmez kılınması için normalize edilmektedir. Bu büyüklük, aşağıda verilen bağıntı ile birleşme yerinde yöne göre ortalaması alınan hız seviye farkının, birleşme yerinin uzunluğuna ve eş değer ses absorpsiyon uzunluğuna normalize edilerek tayin edilir:

$$K_{i,j} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} dB \quad (3.6)$$

Burada;

$D_{v,ij}$: i elemanı uyarıldığında, i ve j elemanları arasındaki desibel cinsinden hız seviye farkı,

$D_{v,ji}$: j elemanı uyarıldığında, j ve i elemanları arasındaki hız seviye farkı,

l_{ij} : i ve j elemanları arasındaki birleşme yerinin metre cinsinden ortak uzunluğu,

a_i : i elemanının metre cinsinden eş değer absorpsiyon uzunluğu,

a_j : j elemanının metre cinsinden eş değer absorpsiyon uzunluğudur.

Buna bağlı olarak; genel tip birleşme yeri K_{ij} verileri, birbirine bağlantı elemanların m_1 ve m_2 ile gösterilen birim alan kütlelerine bağlı olarak verilmiştir. Veriler sadece, elemanların birleşme yerinin taraflarından birinde ve aynı düzlem içinde ve aynı kütleyle sahip olduğu birleşme yerleri için verilmiştir. K_{ij} bağıntılar aşağıdaki bağıntı ile tanımlanan M büyüklüğünün fonksiyonu olarak verilmiştir.

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \quad (3.7)$$

Burada;

m_i : İletim yolu ij üzerindeki i elemanının, kilogram/metrekare cinsinden birim alanının kütlesi,

$m_{\perp i}$: Birleşme yerini oluşturan elemana dik olan diğer elemanın kilogram/metrekare cinsinden birim alanının kütlesidir.

Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü, σ

Serbest dalgalar için yayılma faktörü aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanır;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} \quad (3.8a)$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0} \right)^2 \quad (3.8b)$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (3.8c)$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) \quad (3.8d)$$

$f_{11} \leq f_c/2$ ise bu durumda $f > f_c$ ve $\sigma = \sigma_1$

Burada;

f_c : Hertz cinsinden kritik frekans,

f : Hertz cinsinden frekans,

c_0 : Metre/saniye cinsinden sesin havadaki hızı; $c_0 = 340$ m/s,

l_1, l_2 : Elemanın (dikdörtgen biçiminde) kenarlarının metre cinsinden uzunluğudur.

Bir elemanın k kenarında kırılan dalga alanının absorpsiyon katsayısı, α_k

Absorpsiyon katsayıları duruma ve çevre ile bağlantılı olan yapısal elemanlara bağlıdır.

Saha durumu

Çevredeki absorpsiyon katsayısı, saha durumlarına göre 0,05 ilâ 0,5 arasında değişim gösterir. Bir yapı i için absorpsiyon katsayısı, α_k , değerlendirilmekte olan eleman i ile onunla bağlantılı olan eleman j arasındaki birleşme yerindeki titreşim azaltma indisi (K_{ij})’den elde edilebilir.

Laboratuvar durumu

EN ISO 140-3’e göre laboratuvarda yapılacak ölçmeler için, EN ISO 140-1’de belirtildiği gibi ortalama absorpsiyon katsayısı olup değeri ağır yapılar (yaklaşık 400 kg/m²) için yaklaşık 0,15’dir. Bu, deney açıklığı çevresinde ağır çerçeveli 600 mm kalınlığında bir beton yapı olabilir. Bu durum için α_k aşağıdaki bağıntılara göre hesaplanabilir:

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) \quad (3.9a)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2 \quad (3.9b)$$

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} \quad (3.9c)$$

İletim faktörü, τ

$f > f_c$ ise iletim faktörü aşadaki formül ile hesaplanır;

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad (3.10a)$$

$f=f_c$ ise olduğu durumlarda ise;

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}} \quad (3.10b)$$

$f < f_c$ ise;

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \left(2\sigma_f + \frac{(l_1 + l_2)^2}{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{\frac{f_c}{f}} \frac{\sigma^2}{\eta_{tot}} \right) \quad (3.10c)$$

Burada;

τ : İletim faktörü,

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

f : Hertz cinsinden frekans,

f_c : Hertz cinsinden kritik frekans ($= C_0^2/(1,8 C_{Lt})$),

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

σ : Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü,

σ_f : Cebriî iletim için yayılma faktörü,

l_1, l_2 : Elemanın (dikdörtgen biçiminde) kenarlarının metre cinsinden uzunluğudur.

Toplam kayıp faktörü, η_{tot}

1/3 oktav bantlarındaki hesaplamalar için frekans olarak, değerlendirilmekte olan bantın merkez frekansı alınır. Oktav bantları için en iyi tahmin, değerlendirilmekte olan oktav bant içindeki 1/3 oktav bantın merkez frekansı kullanılarak elde edilir. Bu bağlamda toplam kayıp faktörü aşağıda formül ile hesaplanmaktadır;

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k \quad (3.11)$$

Burada:

η_{tot} : Toplam kayıp faktörü,

f : Hertz cinsinden, bant merkez frekansı,

η_{int} : Malzemenin iç kayıp faktörü,

m' : Kilogram/metrekare cinsinden, birim alanın kütlesi,

σ : Serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü,

f_c : Hertz cinsinden kritik frekans,

S : Metrekare cinsinden elemanın alanı,

σ_k : k çevresinde kırılan dalganın absorpsiyon katsayısı,

l_k : Metre cinsinden, k çevresinin birleşme yerindeki uzunluğu,

c_0 : Metre/saniye cinsinden sesin havadaki hızı; $c_0 = 340$ m/s,

ρ_0 : Kilogram/metreküp cinsinden, havanın yoğunluğudur.

Genel homojen yapı elemanları için iç kayıp faktörü, yaklaşık olarak 0,01'dir. Normal olarak yayılma kayıpları ihmal edilebilir. Absorpsiyon katsayıları duruma ve çevre ile bağlantılı olan yapısal elemanlara bağlıdır.

Bir (homojen) elemanın yapısal çınlama süresi, T_s

Yapısal eleman T_s 'nin çınlama süresi, iç kayıpların, elemanın kenarlarından olan ve yayılma yüzünden olan kayıplardan, ve toplam kayıp faktöründen hesaplanabilir:

$$T_s = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} \quad (3.12)$$

Burada;

η_{tot} : Toplam kayıp faktörü,

f : Hertz cinsinden, bant merkez frekansıdır.

Kritik frekans, f_c

Hertz cinsinden kritik frekans için kullanılan formül aşağıda gösterilmiştir;

$$f_c = \frac{c_0^2}{1,8 c_L t} \quad (3.13)$$

Burada;

c_0 : Metre/saniye cinsinden sesin havadaki hızı; $c_0 = 340$ m/s,

c_L : Metre/saniye cinsinden malzeme içindeki boyuna hız,

t : Metre cinsinden malzeme kalınlığıdır.

Gerçek saha durumunda yapısal elemanın eş değer absorpsiyon uzunluğu a_{situ}

Hesaplamalar için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır;

$$a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (3.14a)$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_j}{C_0 T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (3.14b)$$

Burada;

$a_{i,situ}$: Gerçek saha durumunda, i elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu (metre),

$a_{j,situ}$: Gerçek saha durumunda, j elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu (metre),

f : Hertz cinsinden merkez bant frekansı,

f_{ref} : Referans frekans; $f_{ref} = 1000$ Hz dir,

c_0 : Sesin havadaki metre/saniye cinsinden hızı,

l_{ij} : i ve j elemanları arasında, metre cinsinden ortak birleşme yerinin kavrama uzunluğu,

S_i : i elemanının metre kare cinsinden alanı,

S_j : j elemanının metre kare cinsinden alanı,

$T_{s,i,situ}$: Gerçek saha durumunda i elemanının saniye cinsinden yapısal çınlama süresi,

$T_{s,j,situ}$: Gerçek saha durumunda j elemanının saniye cinsinden yapısal çınlama süresidir.

3.1.3 Basitleştirilmiş model

Basitleştirilmiş modelin uygulanması, esas itibariyle homojen olan elemanlarla doğrudan ve yan yolla iletim ile sınırlıdır. Elemanların yapısal sönümlendirmesinin etkisi, durumun özelliklerini ihmal ederek ortalama yol ile hesaba katılmaktadır. Her yan yol elemanı, hem kaynak hem de algılama tarafında aynı olmalıdır. Ses azaltma indisinin değerleri frekansa bağlı ise, 500 Hz'teki değer iyi bir yaklaşık değer olarak alınabilir, ancak sonucun doğruluğu düşük olacaktır.

İki oda arasındaki ağırlıklı görünür ses azaltma indisi aşağıda verilen bağıntı ile tayin edilir:

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right] \quad (3.15)$$

Burada:

$R_{Dd,w}$: Doğrudan iletim için desibel cinsinden ağırlıklı ses azaltma indisi,

$R_{Ff,w}$: İletim yolu Ff için desibel cinsinden ağırlıklı yan yol ses azaltma indisi,

$R_{Df,w}$: İletim yolu Df için desibel cinsinden ağırlıklı yan yol ses azaltma indisi,

$R_{Fd,w}$: İletim yolu Fd için desibel cinsinden ağırlıklı ses azaltma indisi,

n : Odadaki yan yol elemanlarının sayısıdır; normal olarak n=4'tür (dikkate alınmakta olan yapının tasarımına bağlı olarak, daha büyük veya daha küçük olabilir).

Gerçek saha durumunda i ve j elemanları arasında yöne göre ortalama alınmış birleşme yerinin seviye farkı $D_{v,ij}$

Birleşme yerleri için asıl yerinde iletim yöne bağlı ortalama birleşme yeri hız seviyesi farkı $D_{v,ij}$ situ ile karakterize edilmektedir. Bu sonuç titreşim azaltma indisinden gelmektedir:

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}} dB ; \overline{D_{v,ij,situ}} \geq 0 dB \quad (3.16)$$

Burada;

$a_{i,situ}$: Gerçek saha durumunda, metre cinsinden i elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu,

$a_{j,situ}$: Gerçek saha durumunda, metre cinsinden j elemanının eş değer absorpsiyon uzunluğu,

l_{ij} : i ve j elemanları arasında, metre cinsinden ortak birleşme yerinin kavrama uzunluğu,

K_{ij} : i ve j elemanları arasında, titreşim azaltma indisidir.

Yan yol ses azaltma indisi R_{ij}

Hesaplamalarda kullanılan formül aşağıda gösterilmiştir;

$$R_{ij,w} = R_{i,w} + \Delta R_{ij,w} + D_{v,ij,situ} + 10 \lg \frac{S_s}{S_j} \quad (3.17)$$

Burada;

$\Delta R_{ij,w}$: Gerçek saha durumunda i ve j elemanları arasında yöne göre ortalama alınmış birleşme yerinin seviye farkı,

$R_{i,w}$: Algılama odasındaki i yan yol elemanının decibel cinsinden ağırlıklı ses azaltma indisi,

$D_{v,ij,situ}$: Gerçek saha durumunda i ve j elemanları arasında yöne göre ortalama alınmış birleşme yerinin seviye farkı,

S_s : bölme elemanın metre kare cinsinden alanı,

S_j : j elemanının metre kare cinsinden alanıdır.

3.2 TS 2381-1 EN ISO 717-1 Standardının İncelenmesi

TS EN ISO 717-1 “Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı” standardının amacı, tek sayı özelliğindeki akustik performansa dönüştürülebilen hava ile yayılan ses yalıtımının frekans bağımlı değerler aracılığı ile bir metodun standard hâle getirilmesidir.

Kapsam

Bu standard;

- a) Duvarlar, döşemeler, kapılar ve pencereler gibi bina elemanlarını ve binalardaki hava ile yayılan sese karşı yalıtımın tek sayı nicelikleri,
- b) Bir binanın dışındaki trafik ve bir bina içindeki gürültü kaynakları gibi değişik gürültü kaynaklarının farklı ses seviyesi spektrumlarını,
- c) ISO 140-3, ISO 140-4, ISO140-5, ISO 140-9 ve ISO 140-10'a göre 1/3 oktav bant veya oktav bantlarla yapılan ölçmelerin sonucunda , bu miktarların belirlenmesi için kuralları kapsar.

Bu standard, tek sayılı nicelikler, bina kodlarındaki akustik kuralların formül hâline getirilmesini basitleştirilmesi ve hava ile yayılan sese karşı yalıtımın değerlendirilmesi için tasarlanır. Tek sayılı niceliklerin, gerekli olan sayısal değerleri, değişen şartlara göre belirtilir. Tek sayı nicelikleri oktav bantlar veya 1/3 oktav banttaki ölçmelerin sonuçlarına dayandırılır.

Lâboratuvar ölçmeleri ISO140-3,ISO140-9 ve ISO 140-10'a göre yapılır ve tek sayılı nicelikler sadece 1/3 oktav bant kullanılarak hesaplanmalıdır.

3.2.1 Terimler ve tarifler

Bu standardın amacı bakımından aşağıdaki tarifler uygulanır.

Hava ile yayılan sesin yalıtımının değerlendirilmesinde tek sayılı nicelik

Bu standardda belirtilen metoda göre kaydırıldıktan sonra 500 Hz'teki referans eğrisinin desibel cinsinden değeri.

Tek sayılı nicelikte kullanılan semboller ve terimler ölçme tipine bağlıdır. Binalarda hava ile yayılan sesin yalıtımı için Çizelge 3.2'de ve bina elemanlarının hava ile yayılan sese karşı yalıtım özellikleri ,Çizelge 3.1'de liste hâlinde verilmiştir

Spektrum adaptasyon terimi

Belirli ses spektrumlarının özelliklerinin dikkate alınması için (meselâ; R_w) tek sayılı değere ilâve edilen değer. Sonuç desibel cinsinden ifade edilir.

Çizelge 3.1 : Bina elemanlarının hava ile yayılan ses yalıtım özelliklerinin tek sayılı nicelikleri.

1/3 oktav bant değerlerinden türetme		Tanım	
Tek sayılı nicelik	Terim ve sembol		
Ağırlıklı ses azaltma İndeksi, R_w	Ses azaltma indeksi, R'	ISO 140-3:	Bağıntı (4)
Seviye farkı normal hâle getirilmiş ağırlıklı asma tavan, $D_{n,c,w}$	Seviye farkı normal hâle getirilmiş asma tavan, $D_{n,c}$	ISO 140-9:	Bağıntı (3)
Seviye farkı normal hâle getirilmiş ağırlıklı eleman, $D_{n,e,w}$	Seviye farkı normal hâle getirilmiş eleman, $D_{n,e}$	ISO140-10:	Bağıntı (1)

Çizelge 3.2 : Binalarda hava ile yayılan ses yalıtımının tek-sayılı nicelikleri.

Oktav bant veya 1/3 oktav bant değerlerinden türetme		Tanım	
Tek sayılı nicelik	Terim ve sembol		
Ağırlıklı görünür ses azaltma indeksi, R'_w	Görünür ses azaltma indeksi, R'	ISO140-4:-	Bağıntı (5)
Ağırlıklı görünür ses azaltma indeksi, $R'_{45^\circ,w}$	Görünür ses azaltma indeksi, R'_{45°	ISO140-5:-	Bağıntı (3)
Ağırlıklı görünür ses azaltma indeksi, $R'_{tr,s,w}$	Görünü ses azaltma indeksi, $R'_{tr,s}$	ISO-5:-5	Bağıntı (4)
Ağırlıklı normal hâle getirilmiş seviye farkı, $D_{n,w}$	Normal hâle getirilmiş seviye farkı, D_n	ISO140-4:-	Bağıntı (3)
Ağırlıklı standard hâle getirilmiş seviye farkı, D_{nTw}	Standard hâle getirilmiş seviye farkı, D_{nT}	ISO140-4:-	Bağıntı (4)
Ağırlıklı standard hâle getirilmiş seviye farkı, $D_{ls,2m,nT,w}$ veya $D_{ls,2m,nTw}$	Standard hâle getirilmiş seviye farkı, $D_{ls,2m,nT}$ veya $D_{ls,2m,nT}$	ISO140-5:-	Bağıntı (7)

3.2.2 Tek sayılı niceliklerin değerlendirilmesi için işlem

Genel

ISO140-3, ISO140-4, ISO140-5, ISO140-9 ve ISO140-10'e göre elde edilen değerler oktav bantlar için 125 Hz ilâ 2000 Hz, 1/3 oktav bantlar için 1000 Hz ilâ 3150 Hz aralığındaki ölçme frekansında (Madde 4.2) referans değerleri ile karşılaştırılır.

Karşılaştırma Madde 3.2.2 2'de belirtildiği gibi uygulanmalıdır.

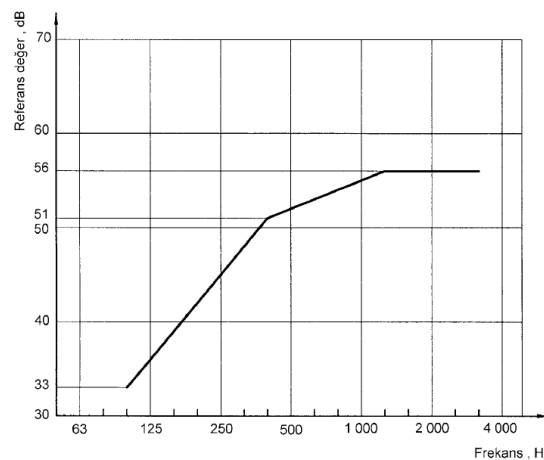
Ayrıca iki spektrum adaptasyon terimleri, Madde 4.1'de verilen frekans aralığı esas alınarak, iki tipik spektruma dayandırılarak hesaplanmalıdır (Madde 4.5). Bu iki terim, 50 Hz ve 5000 Hz arasındaki aralıkta en geniş frekansı kapsayan ilâve spektrum adaptasyon terimleri ile (ölçülen veriler mevcut ve gerekli ise), isteğe bağlı olarak katkıda bulunabilir.

Referans değerler

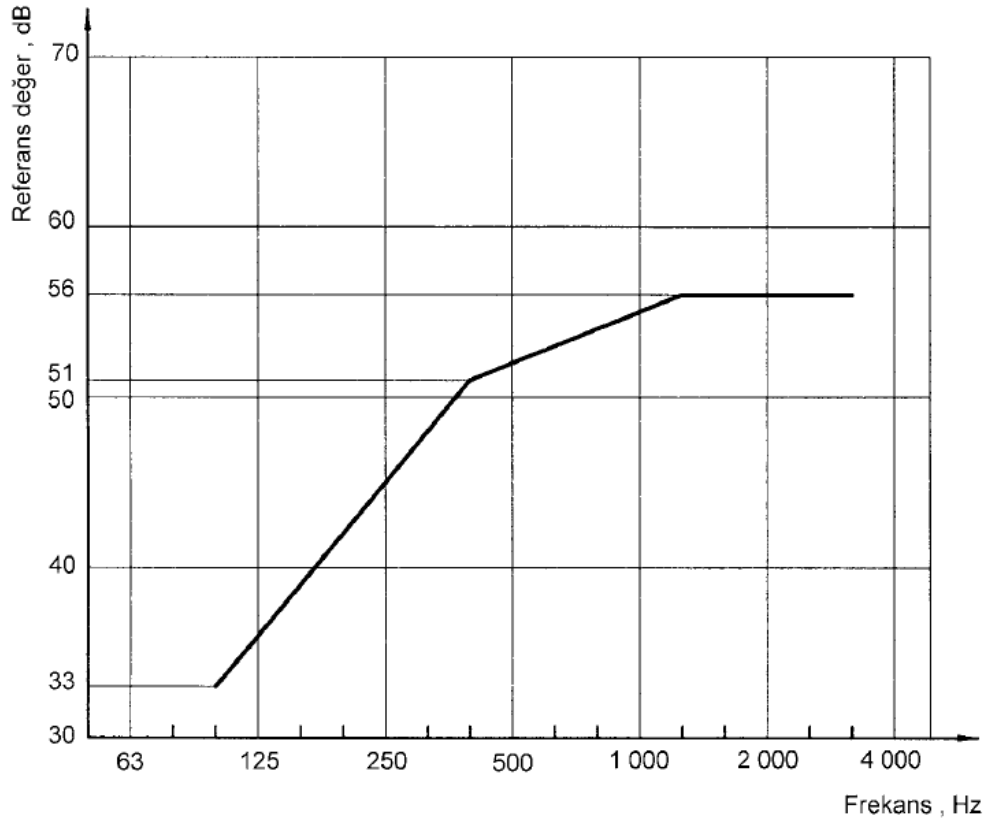
Ölçme sonuçları ile karşılaştırmak için kullanılan referans değerlere ait gruplandırma, Çizelge 3.1'de verilenler gibi olmalıdır. Referans eğriler, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

Ses spektrumları

Spektrum adaptasyon terimlerini hesaplamak için oktav bant ve 1/3 oktav bantlardaki ses spektrumlarına ait grup, Çizelge 4, Şekil 3 ve Şekil 4'te verildiği gibi olmalıdır. Spektrumlar A-ağırlıklıdır ve toplam spectrum seviyesi 0 dB'e normal hâle getirilmiştir.



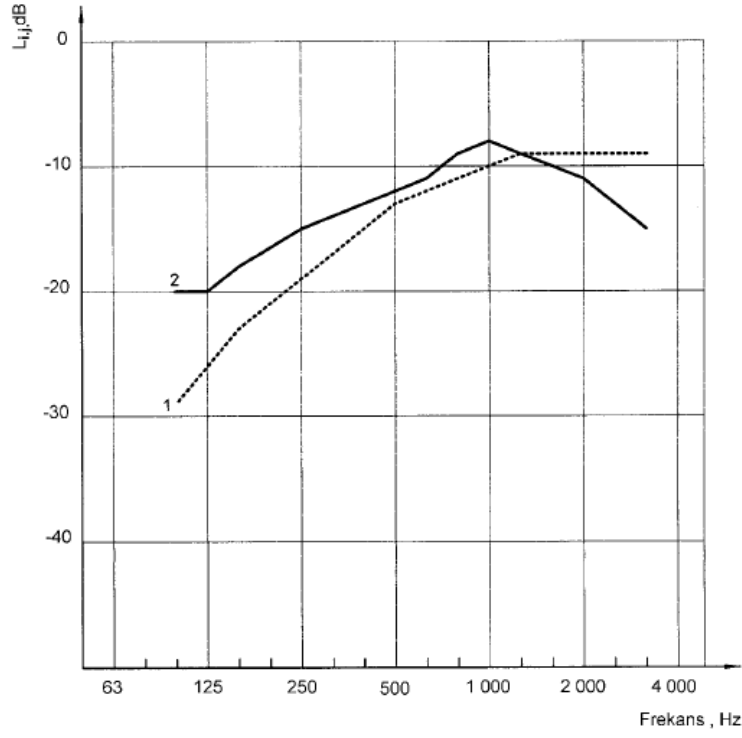
Şekil 3.1 : 1/3 oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri.



Şekil 3.2 : Oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri.

Çizelge 3.3 : Hava ile yayılan ses için referans değerler.

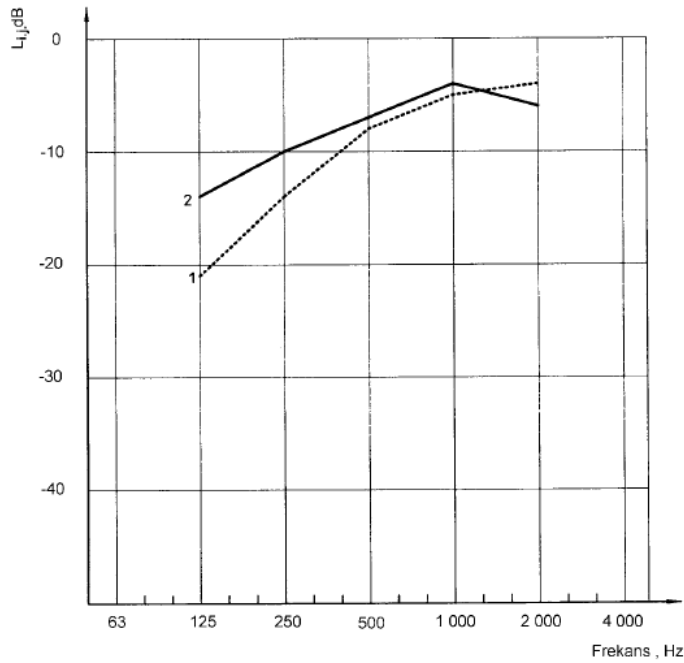
Frekans Hz	Referans değerler,dB	
	1/3 oktav bantlar	Oktav bantlar
100Hz	33	
125Hz	36	36
160Hz	39	
200Hz	42	
250Hz	45	45
315Hz	48	
400Hz	51	
500Hz	52	52
630Hz	53	
800Hz	54	
1000Hz	55	55
1250Hz	56	
1600Hz	56	56
2000Hz	56	
2500Hz	56	
3150 Hz	56	
Not –Tüm seviyeler A–ağırlıklıdır ve toplam spektrum seviyesi 0 dB’e normal hâle getirilmiştir.		



Açıklama

----- Spektrum No 1 C'nin hesaplanması
 ————— Spektrum No 2 C_{tr} 'nin hesaplanması

Şekil 3.3 : 1/3 oktav bant ölçümlerindeki spektrum adaptasyon terimlerini hesaplamak için ses seviye spektrumları.



Açıklama

----- Spektrum No 1 C'nin hesaplanması
 ————— Spektrum No 2 C_{tr} 'nin hesaplanması

Şekil 3.4 : Oktav bant ölçümlerindeki spektrum adaptasyon terimlerini hesaplamak için ses seviye spektrumları.

Karşılaştırma metodu

ISO 140-3, ISO 140-4, ISO 140-5, ISO 140-9 ve ISO 140-10'a göre, 0,1 dB yaklaşımla verilen 1/3 oktav bantlarda (veya oktav bantlarda) yapılan ölçmelerin sonuçlarını değerlendirmek için; ilgili referans eğriler istenmeyen sapmaların toplamı mümkün olduğunca büyük, ancak 32,0 dB'den (16, 1/3 oktav bantlardaki ölçme) veya 10,0 dB'den (5 oktav bantlardaki ölçme) büyük olmayacak şekilde 1 dB'lik adımlarla ölçülen eğriye doğru kaydırılır.

Ölçme sonuçları referans değerden az olduğunda, belli bir frekansta istenmeyen sapmalar meydana gelir. Bu durumda, sadece istenmeyen sapmalar dikkate alınmalıdır.

500 Hz'teki referans eğrinin, bu işleme uygun olarak değiştirilmesinden sonra, R_w , R'_w , $D_{n,w}$ veya D_{nTw} vb. elde edilir ve değer desibel cinsinden ifade edilir.

Alandaki oktav bantlardaki ölçmelerin sonuçlarının karşılaştırılması için, sadece oktav bantlardaki referans değerler kullanılır.

3.3 TS EN ISO 140-4 Standardının İncelenmesi

TS EN ISO 140-4 "Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi - Bölüm 4: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımına ait Alan Ölçmeleri" standardı, iki oda için aralarındaki duvarların, zeminlerin, tavanların ve kapıların hava ile yayılan sesin yalıtım özelliklerinin ölçülmesi için alanda ölçüm gerçekleştirme yöntemini kapsar. Bu standard, hava doğuşlu sesin yalıtımı için frekansa bağlı olan değerler verir ve bu değerler TS EN ISO 717-1'in uygulanmasıyla akustik performansı nitelendiren tek bir sayıya dönüştürülebilir.

Elde edilen sonuçlar, odalar arasındaki ses yalıtımının karşılaştırılması ve gerçek ses yalıtımı ile belirtilen özelliklerin kıyaslanması için kullanılabilir.

Bu bölümde TS EN ISO 140-4 standardında tarif edilen büyüklükler anlatılacaktır.

3.3.1 Bir odadaki ortalama ses basınç seviyesi, L

Ses basıncının karesinin yer ve zaman ortalamasının referans ses basıncının karesine oranının 10 tabanına göre logaritmasının on katı. Bir ses kaynağının doğrudan yayıldığı veya duvar ve benzeri sınır yüzeylerdeki yakın alanların yer aldığı bölümleri hariç, bütün oda boyunca alınan yer ortalaması önemli ölçüde etkilidir. Bu

değer desibel (dB) cinsinden ifade edilir.

Uygulamada, genellikle ses basınç seviyeleri, L_j , ölçülür. Bu durumda L aşağıdaki şekilde tayin edilir:

$$L = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{dB} \quad (3.18)$$

Burada L_j , odadaki n farklı konumda bulunan L_1 'den L_n 'e ses basınç seviyeleridir.

3.3.2 Seviye farkı, D

Odaların birinde bulunan bir veya birden fazla ses kaynağının kullanılmasıyla iki odada oluşturulan yer ve zaman ortalamalı ses basınç seviyelerindeki, desibel cinsinden, fark:

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.19)$$

Burada;

L_1 :Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,

L_2 : Algılama odasındaki ortalama ses basınç seviyesidir.

3.3.3 Normalleştirilmiş seviye farkı,, D_n

Algılama odasındaki referans absorpsiyon alanına karşılık gelen, desibel cinsinden, seviye farkı:

$$D_n = D - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{dB} \quad (3.20)$$

Burada;

D : Seviye farkı, desibel cinsinden,

A : Algılama odasındaki eşdeğer ses absorpsiyon alanı, m^2 cinsinden,

A_0 :Referans absorpsiyon alanı, m^2 cinsinden (kıyaslanabilir odalarda: $A_0=10\text{m}^2$)dir.

3.3.4 Standardlaştırılmış seviye farkı, D_{nT}

Algılama odasındaki referans absorpsiyon alanına karşılık gelen, desibel cinsinden, seviye farkı:

$$D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (3.21)$$

Burada;

D_{nT} :Seviye farkı,

L_1 :Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,

L_2 : Algılama odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,.

T :Algılama odasındaki çınlama zamanı, saniye cinsinden,

T_0 :Referans çınlama zamanı, konutlar için $T_0 = 0,5$ sdir.

3.3.5 Görünen ses azalma indisi, R'

Deneye tâbi tutulan bir bölme üzerindeki ses gücünün, W_1 , ayırıcı eleman üzerinden iletilen ses gücüne, W_2 , ilâve olarak yan elemanlar veya diğer bileşenler üzerinden de önemli ölçüde ses gücü, W_3 , iletiliyor ise algılama odasına iletilen toplam ses gücüne oranının 10 tabanına göre logaritmasının on katı. Bu değer desibel olarak ifade edilir:

$$R' = 10 \lg \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad (3.22)$$

Genellikle, algılama odasına iletilen ses gücü, birkaç bileşenin toplamından oluşur. Bu durumda da, iki odada yeterli ölçüde dağınık ses alanı olduğu varsayımına dayanarak, bu standarddaki görünen ses azalma indisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$R' = D + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (3.23)$$

Burada;

D :Seviye farkı,

S :Ayırıcı elemanın alanı,

A :Algılama odasındaki eşdeğer ses absorpsiyon alanıdır.

3.3.6 Ortalama ses basınç seviyesinin ölçülmesi

Ortalama ses basınç seviyesi, konumdan konuma taşınan tek bir mikrofon veya bir dizi sabit mikrofon kullanılarak veya sürekli bir biçimde hareket eden ya da salınma hareketi yapan bir mikrofon yardımıyla elde edilir. Farklı mikrofon konumlarındaki ses basınç seviyelerinin bütün ses kaynak konumları için enerji esas alınacak bir biçimde ortalaması alınmalıdır.

3.3.7 Mikrofon konumları

Aşağıda verilen mesafeler en düşük ayırma mesafeleridir:

- Mikrofon konumları arasında 0,7m,
- Herhangi bir mikrofon konumu ile oda sınır yüzeyleri veya saçıcılar arasında 0,5m,
- Herhangi bir mikrofon konumu ile ses kaynağı arasında 1,0m.

Saha ölçümündeki konumlandırma bu maddeler gözönüne alınarak yapılmış ve mevcut saha durumunda tüm minimum değerler sağlanmıştır.

3.3.8 Ölçme

a) Tek bir ses kaynağının kullanılması

Sabit mikrofon konumları kullanılırken en az on ölçme yapılmalıdır.

Hareketli bir mikrofon kullanılırken en az iki ölçme yapılmalıdır.

b) Eş zamanlı çalışan bir çoklu ses kaynağının kullanılması

Sabit mikrofon konumları kullanılırken en az beş ölçme yapılmalıdır.

Hareketli bir mikrofon kullanılırken en az bir ölçme yapılmalıdır.

3.3.9 Ortalama alma süresi

Her bir mikrofon konumunda, merkez frekansları 400 Hz'in altında olan her bir frekans bandı için ortalama alma süresi en az 6 saniye olmalıdır. Merkez frekansı daha yüksek olan bantlar için, ortalama alma süresi, 4 saniyeden az olmamak şartıyla düşürülebilir.

Hareketli bir mikrofon kullanıldığında, ortalama alma süresi yörünge hareketlerinin bütününe kapsamlı ve 30 saniyeden az olmamalıdır.

3.3.10 Ölçmelerin frekans aralığı

Ses basınç seviyeleri en azından aşağıdaki merkez frekanslara (Hz cinsinden) sahip 1/3 oktav bant filtreleri kullanılarak ölçülmelidir:

100Hz 125 Hz 160 Hz 200 Hz 250 Hz 315 Hz 400Hz 500Hz 630Hz 800Hz 1000Hz 1250Hz 1600Hz 2000Hz 2500Hz 3150Hz.

3.3.11 Çınlama zamanının ölçülmesi ve eş değer ses absorpsiyon alanının hesaplanması

Eş değer ses absorpsiyon alanını içeren düzeltme terimi ISO 354'e uygun bir şekilde ölçülen çınlama zamanından hesaplanır ve Sabine'nin formülü kullanılarak tayin edilir:

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (3.24)$$

Burada;

A :Algılama odasındaki eşdeğer ses absorpsiyon alanı, m² cinsinden,

V :Algılama odasının hacmi, m³ cinsinden,

T :Algılama odasındaki çınlama zamanı, saniye cinsindendir.

ISO 354 izlenmek suretiyle, çınlama zamanının azalma eğrisinden hesaplanmasına ses kaynağı kapatıldıktan yaklaşık olarak 0,1 s sonra veya ses basınç seviyesinden hesaplanmasına seviye, eğrinin başlangıcındaki seviyeden birkaç desibel aşağıda olduğunda başlanır. Ne 20 dB'den az, ne de gözlemlenen azalmanın düz bir çizgi olarak kabul edilemeyeceği kadar geniş bir aralık kullanılır. Bu aralıktaki en düşük seviye fon gürültü seviyesinden en az 10 dB yüksek olmalıdır.

Her bir frekans bandı için en az altı azalma ölçmesi gerekmektedir. Her bir durumda, en az bir hoparlör konumu ve her biri için iki kere ölçüm alınan üç mikrofon konumu kullanılmalıdır.

3.3.12 Fon gürültüsü için düzeltme

Algılama odasındaki gözlemlerin, deney odası dışından gelen gürültü, algılama sistemindeki elektrik kaynaklı gürültü veya kaynak ve algılama sistemleri arasında

oluşan elektrik kaynaklı parazitler gibi haricî seslerden etkilenmemesinin sağlanması için fon gürültü seviyeleri ölçülür.

Fon gürültüsü, birleşik sinyal ve fon gürültüsü seviyesinin en az 6 dB (tercihen 10 dB'den çok) altında olmalıdır. Seviyeler arasındaki fark 10 dB'den küçük ancak 6 dB'den büyük ise, aşağıda belirtilen eşitliğe göre sinyal seviyesinde yapılacak düzeltmeler hesaplanır:

$$L = 10\lg(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (3.25)$$

Burada;

L :Ayarlanan sinyal seviyesi, desibel cinsinden,

L_{sb} :Birleşik sinyal fon gürültüsü seviyesi, desibel cinsinden,

L_b : fon gürültüsü seviyesi, desibel cinsindendir.

Seviyeler arasındaki fark herhangi bir frekans bandında 6 dB'e eşit veya daha küçük ise, 6 dB'lik bir farka karşılık 1,3 dB'lik düzeltme kullanılır. Bu durumda D_n , D_{nT} veya R' değerleri ölçme raporunda gösterilir böylece rapor edilen değerlerin ölçme sınırları olduğu açık olarak ifade edilir.

4. TS EN 12354-1, TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4 STANDARTININ BİR KONUT ÜZERİNDE UYGULANMASI

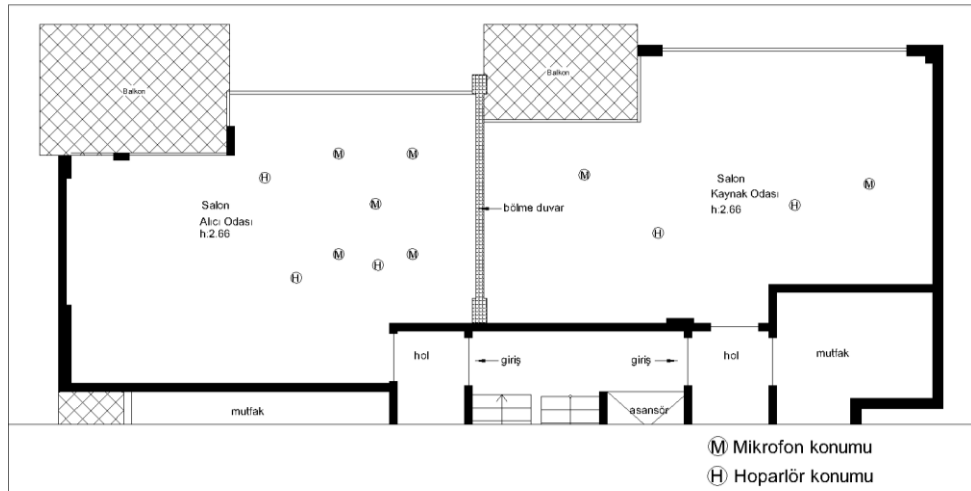
Bu bölümde öncelikle uygulama yapılacak konut alanı tanıtılacak olup sırasıyla TS EN 12354-1. TS 2381-1 EN ISO 717-1 ve TS EN ISO 140-4 standardının ilgili alan için uygulamaları anlatılacaktır.

4.1 Mevcut Sahanın Tanımlanması

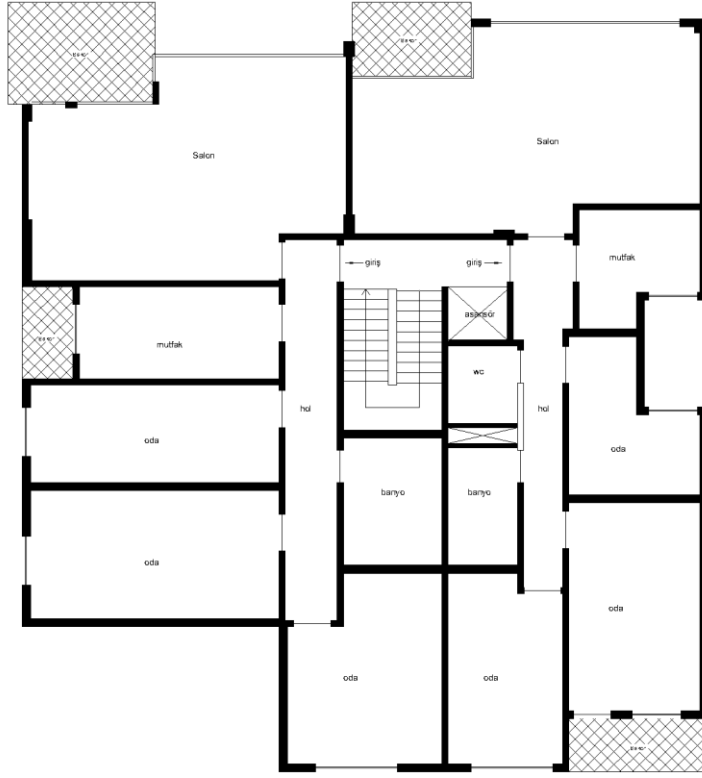
Seçilen örnek İstanbul, Kadıköy Moda’da yer almakta ve saha mesken olarak kullanılmaktadır. Bina betonarme karkas sistemde inşa edilmiş olup, konut 5 katlı binanın 2.katında yer almaktadır. Kaynak oda ve alıcı oda arasındaki bölme duvar, tuğla duvardır. Konutta yer alan ve ölçümde değerlendirmeye alınan yapı elemanları detayları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Alan yapı elemanları listesi.

Yapı Elemanı	Malzeme	Kalınlık	Alan
Bölme Duvar	Tuğla Duvar	20 cm	11,5m ²
Cephe	Cam	4+12+4 mm	26,2m ²
Tavan	Beton	15 cm	36,8m ²
Döşeme	Beton	15 cm	36,8 m ²
İç Duvar	Tuğla Duvar	15 cm	24,3 m ²



Şekil 4.1 : Alan yerleşim planı.



Şekil 4.2 : Ölçüm yapılan alanın kat yerleşim planı.



Şekil 4.3 : Alan cephe görünüşü.



Şekil 4.4 : Alan kaynak odası.



Şekil 4.5 : Alan alıcı odası.

4.1.1 Yapı elemanları veri tablosu

Saha yapı elemanları ile ilgili bilgi tablosu aşağıda gösterilmektedir. Bu bilgiler hesaplamadaki ilgili yerlerde kullanıldı.

Çizelge 4.2 : Alan yapı elemanları bilgi tablosu.

Yapı Elemanı Verileri	Bölme Duvar (Tuğla)	Döşeme (Beton)	İç Duvar (Tuğla)	Cephe (Cam)	Tavan (Beton)
En	4,33m	14,00m	9,16m	9,88m	14,00m
Boy	2,66 m	266m	2,66m	2,66m	2,66m
S(alan)	11,5m ²	36,8m ²	26,2m ²	26,2m ²	36,8m ²
t (Kalınlık)	0,2m	0,15m	0,1m	0,04m	0,15m
m' (birim alan kütlesi)	160 kg/m ²	287kg/m ²	150kg/m ²	130kg/m ²	230kg/m ²
η_{int} (iç kayıp faktörü)	0,0015	0,02	0,015	0,0013	0,02
C _L (Boyuna Dalga Hızı)	3800 m/s	2960m/s	3800m/s	5450m/s	2960m/s
f _c (Kritik Frekans)	87 Hz	148Hz	173Hz	302Hz	148Hz
Birleşim Yeri Uzunlukları					
Bölme Duvar	---	4,33m	2,66m	2,66m	4,33m
Döşeme	4,33m	---	9,16m	9,88m	---
İç Duvar	2,66m	9,16m	---	---	9,16m
Cephe	2,66m	9,88m	---	---	9,88m
Tavan	4,33m	---	9,16m	9,88m	---

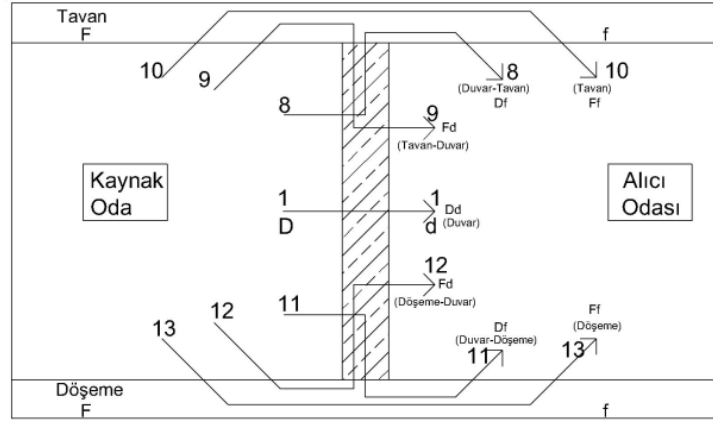
Çizelgede yer alan iç kayıp faktörü (η), boyuna dalga hızı (C_L), birim alan kütlesi (m') verileri ilgili tablolardan alınmıştır. Kritik frekans (f_c) bir önceki bölümde yer alan eşitlik 3.13'te yerine koyularak elde edildi. Örnek olarak bölme duvar için kritik frekans;

$$f_c = \frac{c_0^2}{1,8 C_L t} = \frac{344^2}{1,8 \cdot 3800 \cdot 0,2} = 87 \text{ Hz}$$

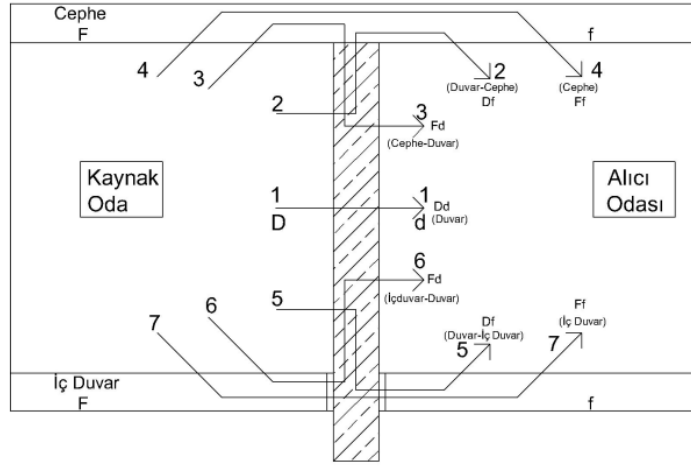
olarak hesaplandı.(C_0 sesin havadaki hızı 344 m/s alınmıştır).

4.2 TS EN 12354-1 Standardının Uygulanması

Bu bölümde TS EN 12354-1 standardında takip edilen hesaplama modeli incelenecektir. Bu standardda beş farklı geçiş yolu bulunmakta olup bunlar ana bölme elemanı ve dört farklı yanıl yol olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.6'da hesaplama modelinde yer alan geçiş yolları gösterilmektedir.



kesit



plan

Şekil 4.6 : Geçiş yolları.

Bölme duvar ve yanıl yol hesapları ayrı ayrı gösterilecek olup en son bölümde tüm yanıl yolların etkisi ana formülde hesaplanacaktır.

Ayrıca detaylı hesaplama sadece 500 Hz için uygulanacak olup diğer hesaplamalar çizelge halinde gösterilecektir.

4.2.1 Bölme duvar hesabı

Bölme duvar ve diğer elemanlar için hesaplama 500Hz için incelenecektir. Bölme duvar hesabı beş ana bölüme indirgenmiştir. Anlatım yöntemi olarak tümevarım kullanılacaktır. Bazı bölümlerde hesaplamalar saha ve laboratuvar için ayrı ayrı yapılmaktadır. Bölme duvar için izlenecek formüller Çizelge 4.3’de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.3 : Bölme duvar için hesaplama modeli.

Bölme Duvar	
Titreşim Yeri Azaltım İndisi: $K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$ $K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$	
Saha İçin Hesap	Laboratuvar İçin Hesap
Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10}$	Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$
Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$	Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^1 l_k \alpha_k$
Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}}$	Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}}$
Gerçek Saha Durumunda Elemanın Ses Azaltma İndisi: $R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}}$	

4.2.2 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı

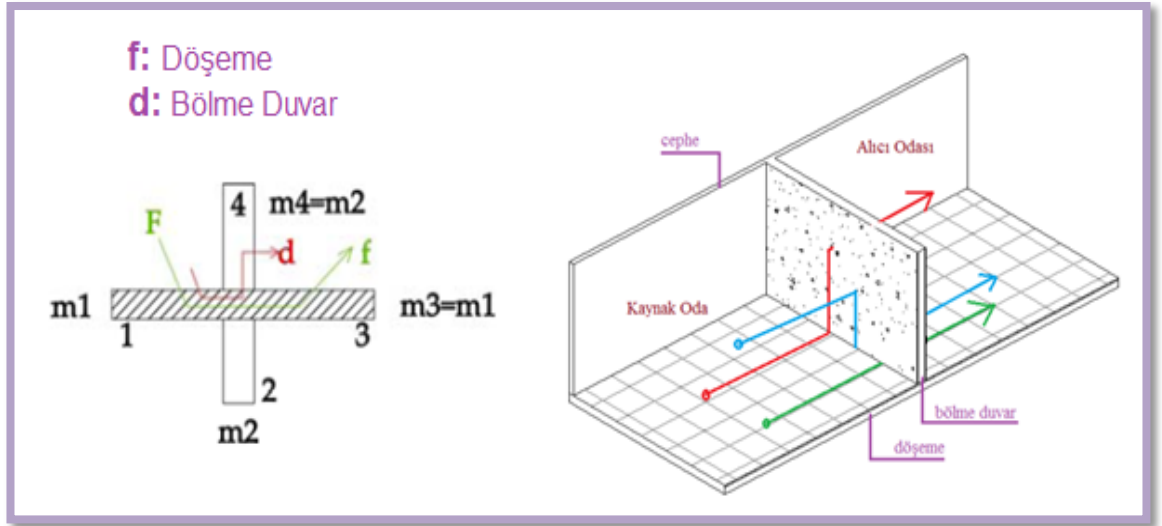
Titreşim azaltım indisi, tecrübi verilerdeki formül kullanılarak hesaplanılacaktır. İletim genel olarak frekansa, bağlı değildir. Bölme duvar için dört farklı birleşim noktası için ayrı ayrı hesap yapılacaktır. Bu hesaplamalarda bölme duvar ile yanal yol birleşim detayına bağlı olarak K_{ij} formülü ve “M” tanımlı fonksiyon farklılık göstermektedir. Titreşim azaltım indisi “M” için eşitlik 3.6 ve eşitlik 3.7 kullanıldı.

Bölme Duvar-Döşeme Bağlantısı :

$$M = \lg \frac{m'_{li}(\text{Bölme Duvar})}{m'_{i}(\text{Döşeme})} = \frac{160}{287} = -0,254$$

sonucu elde edildi.

Standardda yer alan sınırlayıcı değerler bölümüne bakılarak bölme duvar-döşeme birleşim detayı için kullanılacak formüller tespit edilmektedir. Mevcut örnek için birleşim detayı Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Bölme duvar – döşeme birleşimi.

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(-0,254) + 5,7(-0,254)^2 = 4,7$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(-0,254)^2 = 9,1$$

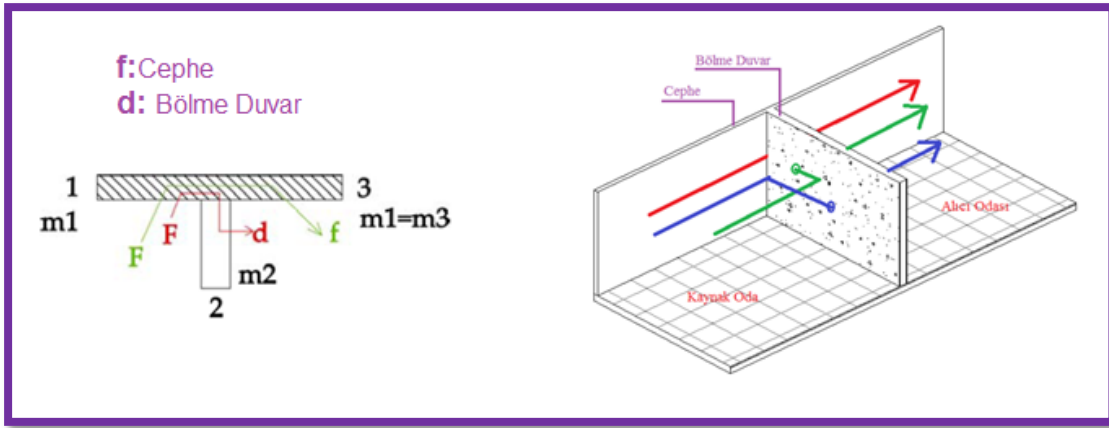
formülleri ile ilgili değerler bulundu.

Bölme Duvar-Cephe Bağlantısı :

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Bölme Duvar})}{m'_{i (\text{Cephe})}} = \frac{160}{130} = 0,09$$

sonucuna ulaşıldı.

Bölme duvar cephe birleşim noktası için sınırlayıcı değerlerde yer alan bağlantı detayı Şekil 4.8’te gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Bölme duvar – cephe birleşimi.

$$K_{13(Ff)} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2$$

$$= 5,7 + 14,1(0,09) + 5,7(0,09)^2 = 7,0$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 5,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 5,7 + 5,7(0,09)^2 = 5,7$$

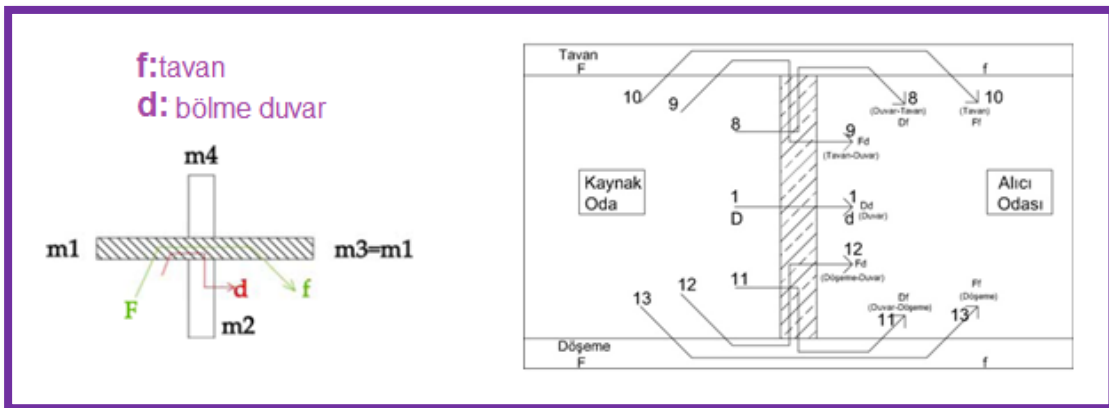
verisi elde edildi.

Bölme Duvar-Tavan Bağlantısı :

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Bölme Duvar})}{m'_{i} (\text{Tavan})} = \frac{160}{230} = -0,158$$

oldu.

Bölme duvar tavan birleşim noktası için sınırlayı değerlerde yer alan bağlantı detayı Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : Bölme duvar – tavan birleşimi.

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 dB$$

$$= 8,7 + 5,7(-0,158)^2 = 8,8$$

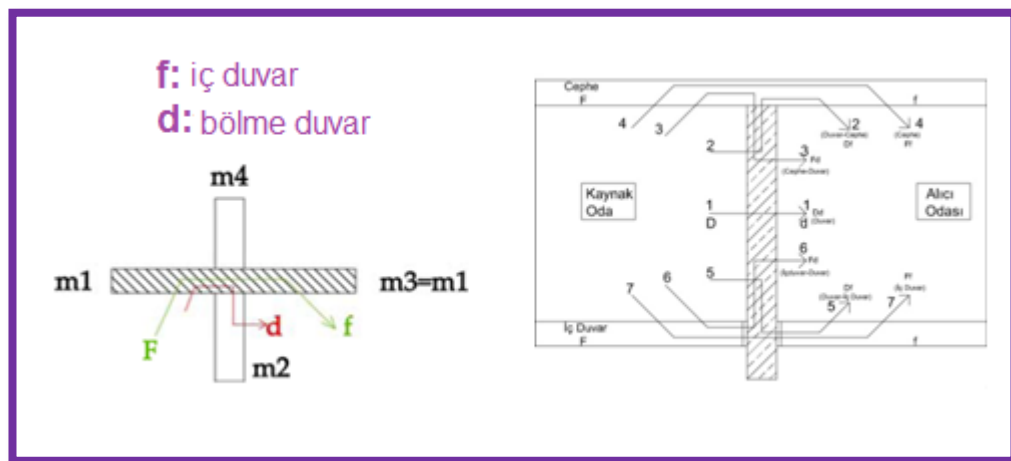
oldu.

Bölme Duvar-İç Duvar Bağlantısı:

$$M = \lg \frac{m'_{\text{li (Bölme Duvar)}}}{m'_{\text{i (İç Duvar)}}} = \frac{160}{150} = 0,028$$

sonucuna ulaşıldı.

Bölme duvar-iç duvar noktası için sınırlayı değerlerde yer alan bağlantı detayı Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Bölme duvar – iç duvar birleşimi.

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(0,028) + 5,7(0,028)^2 = 9,2$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(0,028)^2 = 8,7$$

oldu.

Bu hesaplamalara bağı olarak bölme duvar için hesaplanan K_{ij} verileri Çizelge 4.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : Bölme duvar için K_{ij} değerleri.

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	M	Frekans	K_{ij} Değerler $K_{13} / K_{12} / K_{23}$
Bölme Duvar	Döşeme	-0,254	500Hz	4,7 / 9,1 / 9,1
Bölme Duvar	Cephe	0,090	500Hz	7,0 / 5,7 / 5,7
Bölme Duvar	Tavan	-0,158	500Hz	6,1 / 8,8 / 8,8
Bölme Duvar	İç Duvar	0,028	500Hz	9,2 / 8,7 / 8,7

4.2.3 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)

Yapı absorpsiyon katsayısı saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı.

Saha Durumu

Bölme duvar için dört farklı birleşim noktası bulunmakta olup, dört nokta için ayrı ayrı hesaplama yapıldı. Sadece bölme elemanında dört farklı nokta hesabı yapılarak diğer yanal yol iletimleri için üç farklı nokta hesabı yapıldı. Bu hesaplamalar için eşitlik 3.9 kullanıldı.

Bölme Duvar –Döşeme için hesap;

$$\begin{aligned}
 \alpha_k &= \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10} \\
 &= \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-4,7/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-9,1/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,1/10} \\
 &= 0,213
 \end{aligned}$$

Bölme Duvar –Cephe için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-7,0/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-5,7/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-5,7/10} = 0,333$$

Bölme Duvar –Tavan için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-6,1/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-8,8/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-8,8/10} = 0,182$$

Bölme Duvar –İç Duvar için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-9,2/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-8,7/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-8,7/10} = 0,145$$

verileri elde edildi. Bölme duvar için yapı absorpsiyon katsayı değerleri Çizelge 4.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.5 : Bölme duvar için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	Frekans	α_k
Bölme Duvar	Döşeme	500Hz	0,213
Bölme Duvar	Cephe	500Hz	0,333
Bölme Duvar	Tavan	500Hz	0,182
Bölme Duvar	İç Duvar	500Hz	0,145

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için eşitlik 3.9 kullanılarak sadece tek bir değer hesabı yapılmaktadır;

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2$$

Hesaplama işlemi;

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} = \sqrt{\frac{31,1}{87}} = 0,599 \quad \text{ve} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} = 44,3 \frac{87}{160} = 23,95$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{0,599 \times 23,95} (1 + 0,599) (1 + 23,95)}{0,599(1 + 23,95)^2 + 2 \times 23,95(1 + 0,599^2)} \right]^2 = 0,00005$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = 0,0005161$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.4 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)

Toplam kayıp faktörü saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplanmadan önce serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü σ eşitlik 3.11’de verildiği gibi hesaplandı;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 87/500}} = 1,1$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0}\right)^2 = 4 \times 4,33 \times 2,66 \times \left(\frac{500}{344}\right)^2 = 97$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} = \sqrt{\frac{2\pi 500(4,33 + 2,66)}{16 \times 344}} = 1,57$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2}\right) = \frac{344^2}{4 \times 87} \left(\frac{1}{4,33^2} + \frac{1}{2,66^2}\right) = 67$$

$f_{11} > f_c/2$ yani $67 > (87/2)$ olduğunda $\sigma = \sigma_1$ kabul edildi ve sonuç olarak;

$$\sigma = \sigma_1 = 1,1$$

oldu.

Saha durumu

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k \\ \eta_{tot} &= 0,015 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,1}{2\pi \times 500 \times 160} \\ &\quad + \frac{340}{\pi^2 11,5 \sqrt{500 \times 87}} [(0,213 \times 4,33) + (0,145 \times 2,66) \\ &\quad + (0,182 \times 4,33) + (0,333 \times 2,66)] = 0,059 \end{aligned}$$

sonucu elde edildi.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için de eşitlik 3.11 kullanılmaktadır. Laboratuvar durumunda kullanılan değerler; frekans aşağı 1/3 oktav bant değeri 400Hz, elemanın alanı $S_{lab} = 10m^2$, yapı absorpsiyon katsayısı $\alpha_{k,lab} = 0,0005161$ ve birleşim yeri uzunluğu $l_k = 12,8m$ ’dir. Buna bağlı olarak toplam kayıp faktörü;

$$\eta_{tot} = 0,015 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,1}{2\pi \times 400 \times 160} + \frac{340}{\pi^2 10 \sqrt{400 \times 87}} [(0,0005161 \times 12,8)]$$

$$= 0,0172$$

hesaplandı.

4.2.5 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)

Yapısal çınlama süresi, saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı. Her iki durumda da frekans değeri aşağı 1/3 oktav bant 400 Hz kullanıldı.

Saha durumu

Saha durumunda toplam kayıp faktörü değeri eşitlik 3.12’de yerine koyulmaktadır.

$$T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} = \frac{2,2}{400 \times 0,059} = 0,091 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşılmaktadır.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için de hesaplanmış olan toplam kayıp faktörü eşitlik 3.12’de tanımlandığı gibi yerine konuldu.

$$T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0172} = 0,318 \text{ sn}$$

olarak hesaplandı.

4.2.6 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$

Yekpare elemanlar için ses azaltma indisi eşitlik 3.10 kullanılarak bulundu;

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}} \quad f = f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 2 \sigma_f + \frac{(l_1 + l_2)^2}{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{\frac{f_c}{f}} \frac{\sigma^2}{\eta_{tot}} \quad f < f_c$$

$f > f_c$ yani $500 \text{ Hz} > 87 \text{ Hz}$ olduğu için;

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot,lab}} = \left[\frac{2409,8}{2\pi 500 160} \right]^2 \frac{\pi 1,1^2}{2 0,172} = 0,000098$$

$$R = -10 \lg 0,000098 = 40,04 \text{ dB}$$

Girdi verilerinin asıl yerindeki değerlere dönüştürülmesi eşitlik 3.2 kullanılarak yapıldı. Bu durumda bölme duvarın 500 H'deki değeri için;

$$R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} = 40,04 - 10 \lg \frac{0,099}{0,318} = 45,44 \text{ dB}$$

sonucuna ulaşıldı.

İlave katman yer almadığı için $R_{Dd} = R_{s,situ}$ olmaktadır. Ana formülde bölme duvar elemanı R_{Dd} olarak gösterilmektedir.

Bölme duvar için hesaplanan değerler Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 : Bölme duvar ses azaltma indisi, $R_{s,situ}$.

Yapı Elemanı	Frekans	$R_{s,situ}$
Bölme Duvar	125Hz	37,33dB
Bölme Duvar	250Hz	36,65dB
Bölme Duvar	500Hz	45,44dB
Bölme Duvar	1000Hz	53,79dB
Bölme Duvar	2000Hz	62,04dB

4.2.7 Yanal yolların hesabı: döşeme

Döşeme için izlenecek hesaplama metodu bölme duvar ile benzer olup, yanal iletim yolu olması nedeniyle ilave hesaplamalar gerektirmektedir. Hesaplama metodunu iki ana başlıkta inceleyecek olursak ilk bölüm bölme duvar hesabı ile aynı olmakta, ikinci bölüm ise sadece yanal yollar (döşeme, iç duvar, tavan ve cephe) için uygulanacaktır. Elde edilen veriler doğrultusunda ana formülde hesap yapılarak sistemin nihai ses azaltım indisi hesaplanacaktır. Yanal yollar için takip edilecek detaylı hesaplama modeli Çizelge 4.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Yanal yollar için hesaplama modeli.

Yanal Yollar için Hesaplama Modeli (Döşeme, Tavan, İç Duvar, Cephe)		
1.Bölüm		2.Bölüm
Titreşim Yeri Azaltım İndisi: $K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$ $K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$		Eşdeğer Absorpsiyon Uzunluğu: $a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$
Saha Durumu	Laboratuvar Durumu	
Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10}$	Yapı Absorpsiyon Katsayısı: $\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$	Birleşme Yeri Hız Seviyesi Farkı: $D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$
Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$	Toplam Kayıp Faktörü: $\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^1 l_k \alpha_k$	Doğrudan ve Yan Yol Ses İletiminin Tayini: $R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$
Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}}$	Yapısal Çınlama Süresi: $T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}}$	İlave Katman Yok İse: $R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \frac{R_{j,situ}}{2} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$
Gerçek Saha Durumunda Elemanın Ses Azaltma İndisi: $R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}}$		

4.2.8 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı

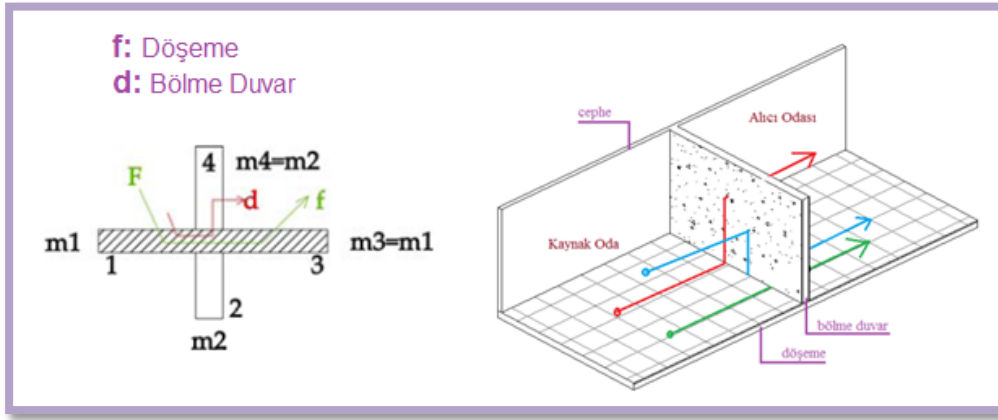
Titreşim azaltım indisi bölme duvarda dört farklı noktada hesaplanırken, döşeme için üç farklı bağlantı noktası olduğu için üç farklı hesap, eşitlik 3.5 ve eşitlik 3.6'da verildiği gibi yapıldı.

Döşeme – Bölme Duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Döşeme})}{m'_{i} (\text{Bölme Duvar})} = \frac{287}{160} = 0,254$$

olarak hesaplandı.

Döşeme ile bölme duvar arasındaki bağlantı detayı Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Döşeme – bölme duvar birleşim detayı.

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(0,254) + 5,7(0,254)^2 = 13,4$$

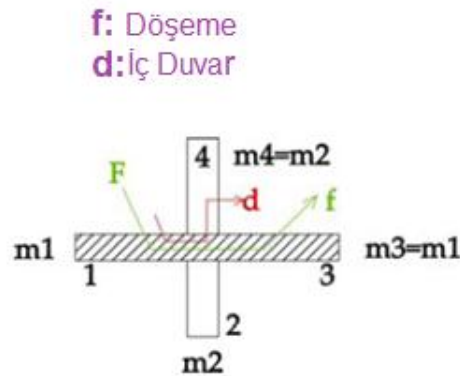
$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(0,254)^2 = 9,1$$

Döşeme – İç duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Döşeme})}{m'_{\perp i} (\text{İç Duvar})} = \frac{287}{150} = 0,282$$

olarak hesaplandı.



Şekil 4.12 : Döşeme - iç duvar birleşim detayı.

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(0,282) + 5,7(0,282)^2 = 14,0$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

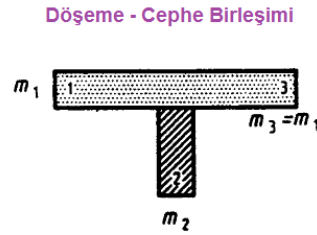
$$= 8,7 + 5,7(0,282)^2 = 9,2$$

değerine ulaşıldı.

Döşeme – Cephe:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Döşeme})}{m'_{i} (\text{Cephe})} = \frac{287}{130} = 0,344$$

olarak hesaplandı.



Şekil 4.13 : Döşeme - cephe birleşim detayı.

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 14,1(0,282) + 5,7(0,282)^2 = 11,2$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 5,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(0,282)^2 = 6,4$$

değerine ulaşıldı. Bu hesaplamalara bağlı olarak döşeme için K_{ij} verileri Çizelge 4.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : Döşeme için K_{ij} değerleri.

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	M	Frekans	K_{ij} Değerler $K_{13} / K_{12} / K_{23}$
Döşeme	Bölme Duvar	0,090	500Hz	13,4 / 9,1 / 9,1
Döşeme	Cephe	-0,158	500Hz	14,0 / 9,2 / 9,2
Döşeme	İç Duvar	0,028	500Hz	11,2 / 6,4 / 6,4

4.2.9 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)

Yapı absorpsiyon katsayısı saha ve laboratuvar için ayrı ayrı anlatılacaktır; Döşeme için üç farklı noktada ayrı ayrı hesap, eşitlik 3.9'da tanımlandığı gibi yapıldı.

Saha Durumu

Döşeme - Bölme Duvar için hesap;

$$\begin{aligned}\alpha_k &= \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10} \\ &= \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-13,4/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-9,1/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,1/10} \\ &= 0,097\end{aligned}$$

Döşeme –Cephe için hesap;

$$\begin{aligned}\alpha_k &= \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-14,0/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-9,2/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,2/10} \\ &= 0,113\end{aligned}$$

Döşeme –İç Duvar için hesap;

$$\begin{aligned}\alpha_k &= \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-11,2/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-6,4/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-11,2/10} \\ &= 0,256\end{aligned}$$

olarak hesaplandı. Hesaplanan değerler Çizelge 4.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 : Döşeme için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	Frekans	α_k
Döşeme	Bölme Duvar	500Hz	0,097
Döşeme	Cephe	500Hz	0,113
Döşeme	İç Duvar	500Hz	0,256

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için sadece tek bir değer hesabı eşitlik 3.9 kullanılarak yapıldı;

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2$$

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'}$$

Hesaplama işlemi;

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} = \sqrt{\frac{31,1}{148}} = 0,458 \quad \text{ve} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} = 44,3 \frac{148}{287} = 22,85$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{0,458 \times 22,85} (1 + 0,458) (1 + 22,85)}{0,458(1 + 22,85)^2 + 2 \times 22,85(1 + 0,458^2)} \right]^2 = 0,00081$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = 0,0000812$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.10 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)

Toplam kayıp faktörü saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplanmadan önce serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü σ eşitlik 3.8 doğrultusunda hesaplandı;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 148/500}} = 1,2$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0} \right)^2 = 4 \times 13,83 \times 2,66 \times \left(\frac{500}{344} \right)^2 = 311$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} = \sqrt{\frac{2\pi 500(13,83 + 2,66)}{16 \times 344}} = 2$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{344^2}{4 \times 87} \left(\frac{1}{13,83^2} + \frac{1}{2,66^2} \right) = 29$$

$f_{11} < f_c/2$ yani $67 < (148/2)$ olduğunda $\sigma = \sigma_1$ kabul edildi ve sonuç olarak

$$\sigma = \sigma_1 = 1,2$$

oldu.

Saha durumu

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$$

Bu formülde $\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$ kısmı bölme duvar için geçerli olup, yanal yollarda üç noktadan birleşme olduğu için hesaplarken $\sum_{k=1}^3 l_k \alpha_k$ formülü kullanıldı. Eşitlik 3.11’de tanımlanan verilerle girilerek ;

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,002 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,2}{2\pi \times 500 \times 287} \\ &\quad + \frac{340}{\pi^2 36,8 \sqrt{500 \times 148}} [(0,097 \times 4,33) + (0,113 \times 9,16) \\ &\quad + (0,256 \times 9,88)] = 0,034 \end{aligned}$$

sonucuna ulaşıldı.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için de eşitlik 3.11 kullanıldı. Laboratuvar durumu için kullanılan değerler; frekans aşağı 1/3 oktav bant değeri 400Hz, elemanın alanı $S_{lab} = 10m^2$, yapı absorpsiyon katsayısı $\alpha_{k,lab} = 0,0008121$ ve birleşim yeri uzunluğu $l_k = 12,8m$ ’dir. Buna bağlı olarak toplam kayıp faktörü;

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,002 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,2}{2\pi \times 400 \times 287} + \frac{340}{\pi^2 10 \sqrt{400 \times 148}} [(0,0008121 \times 12,8)] \\ &= 0,0210 \end{aligned}$$

oldu.

4.2.11 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)

Yapısal çınlama süresi saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı. Her iki durumda da frekans değeri olarak aşağı 1/3 oktav bant 400 Hz kullanıldı.

Saha durumu

Saha durumunda toplam kayıp faktörü değeri eşitlik 3.12’de yerine konuldu ve

$$T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} = \frac{2,2}{400 \times 0,034} = 0,157 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşıldı.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için hesaplanmış olan toplam kayıp faktörü de eşitlik 3.12’de tanımlandığı gibi yerine konularak;

$$T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}} = \frac{2,2}{400 \times 0,021} = 0,260 \text{ sn}$$

sonucunu ulaşıldı.

4.2.12 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$

Yekpare elemanlar için ses azaltma indisi eşitlik 3.10 kullanılarak bulundu;

$$R = -10 \lg \tau$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}} \quad f = f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 2 \sigma_f + \frac{(l_1 + l_2)^2}{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{\frac{f_c}{f}} \frac{\sigma^2}{\eta_{tot}} \quad f < f_c$$

$$f < f_c$$

$f > f_c$ yani $500 \text{ Hz} > 148 \text{ Hz}$ olduğu için;

$$\begin{aligned} \tau &= \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot,lab}} = \left[\frac{2 \times 409,8}{2\pi \times 500 \times 287} \right]^2 \frac{\pi \times 1,2^2}{2 \times 0,021} \\ &= 0,0000258 \end{aligned}$$

$$R = -10 \lg 0,0000258 = 45,86 \text{ dB}$$

Girdi verilerinin asıl yerindeki değerlere dönüştürülmesi eşitlik 3.2 kullanılarak yapıldı. Bu durumda 500 Hz için;

$$R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} = 45,86 - 10 \lg \frac{0,157}{0,260} = 48,04 \text{ dB}$$

sonucuna ulaşıldı.

Buraya kadar yapılan hesap bölme duvar ile aynı olup, birinci bölüm tamamlanmıştır. Bundan sonraki bölüm sadece yanal yol yapı elamanları için geçerli olmaktadır.

4.2.13 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$

Eş değer absorpsiyon uzunluğu eşitlik 3.14 kullanılarak yanal yol ile bölme duvar için ayrı ayrı hesaplandı:

$$a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_j}{C_0 T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

Burada:

$$a_{döşeme,situ} = \frac{2,2 \pi^2 36,8}{344 \times 0,157} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 20,817$$

$$a_{bölme \ duvar,situ} = \frac{2,2 \pi^2 11,5}{344 \times 0,0919} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 11,176$$

olarak bulundu.

4.2.14 Birleşim yeri hız seviye farkı

Eşitlik 3.16 doğrultusunda birleşim yeri hız seviye farkı üç farklı yol için ayrı ayrı hesaplandı.

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$$

Döşeme – bölme:

$$D_{döşeme,bölme duvarj,situ} = 9,1 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{20,8 \times 11,2}} = 14,36$$

Döşeme – döşeme:

$$D_{döşeme,döşemej,situ} = 13,4 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{20,8 \times 20,8}} = 20,05$$

Bölme duvar –döşeme:

$$D_{bölme duvar,döşemej,situ} = 9,1 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{11,2 \times 20,8}} = 14,36$$

olarak hesaplandı.

4.2.15 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini

Yukarıda elde edilen veriler eşitlik 3.17’de yerine koyularak , yerinde doğrudan ve yan yol ses iletim tayini için aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$$

Mevcut döşemede ilave katman olmadığı için;

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \frac{R_{döşeme,situ}}{2} + \frac{R_{bölme duvar,situ}}{2} + D_{bölme duvar,döşeme,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \\ &= \frac{48,04}{2} + \frac{45,44}{2} + 14,36 + 10 \log \frac{48,31}{\sqrt{36,8 \times 11,51}} \\ &= 64,82 \text{ dB} \end{aligned}$$

sonucu elde edildi.

4.2.16 Yanal yolların hesabı: cephe

Cephe için izlenecek hesaplama modeli Çizelge 4.11' de gösterilmiştir.

4.2.17 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı

Cephede üç farklı bağlantı noktası olduğu için üç ayrı hesap eşitlik 3.5 ve eşitlik 3.6 kullanılarak yapıldı. Hesap detayları aşağıda verilmiştir.

Cephe – Bölme Duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Cephe})}{m'_{i (\text{Bölme Duvar})}} = \frac{130}{160} = -0,090$$

oldu.

Birleşim detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ &= 8,7 + 17,1(-0,090) + 5,7(-0,09)^2 = 7,2 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 8,7 + 5,7(-0,090)^2 = 8,7 \end{aligned}$$

değerine ulaşıldı.

Cephe – Döşeme:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Cephe})}{m'_{i (\text{Döşeme})}} = \frac{130}{287} = -0,344$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ &= 8,7 + 17,1(-0,344) + 5,7(-0,344)^2 = 3,5 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 8,7 + 5,7(-0,344)^2 = 9,4 \end{aligned}$$

değerine ulaşıldı.

Cephe – Tavan:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Cephe})}{m'_{i} (\text{Tavan})} = \frac{130}{230} = -0,248$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \\ &= 5,7 + 14,1(-0,248) + 5,7(-0,248)^2 = 2,6 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 5,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 5,7 + 5,7(-0,248)^2 = 6,0 \end{aligned}$$

değerine ulaşıldı.

Cephe için hesaplanan K_{ij} verileri Çizelge 4.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.10 : Cephe için K_{ij} değerleri.

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	M	Frekans	K_{ij} Değerler $K_{13} / K_{12} / K_{23}$
Cephe	Bölme Duvar	-0,090	500Hz	7,2 / 8,7 / 8,7
Cephe	Döşeme	-0,344	500Hz	3,5 / 9,4 / 9,4
Cephe	Tavan	-0,248	500Hz	2,6 / 6,0 / 6,0

4.2.18 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)

Yapı absorpsiyon katsayısı saha ve laboratuvar için ayrı ayrı anlatılacaktır; Cephe için üç farklı nokta hesabı eşitlik 3.9'da verildiği gibi yapıldı;

Saha Durumu

Cephe – Bölme Duvar için hesap;

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10} \\ &= \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-7,2/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-8,7/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-8,7/10} = 0,168 \end{aligned}$$

Cephe –Döşeme için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-3,5/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,4/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-9,4/10} = 0,280$$

Cephe –Tavan için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-2,6/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-6,0/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-6,0/10}$$

$$= 0,445$$

olarak bulundu. Hesaplama sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Cephe için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	Frekans	α_k
Cephe	Bölme Duvar	500Hz	0,168
Cephe	Döşeme	500Hz	0,280
Cephe	Tavan	500Hz	0,445

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için sadece bir hesap eşitlik 3.9 kullanılarak yapıldı;

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2$$

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'}$$

Hesaplama işlemi;

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} = \sqrt{\frac{31,1}{302}} = 0,312$$

$$\Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} = 44,3 \frac{302}{130} = 102,76$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{0,312 \times 102,76} (1 + 0,312) (1 + 102,76)}{0,312(1 + 102,76)^2 + 2 \times 102,76(1 + 0,312^2)} \right]^2$$

$$= 0,00000135$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = 0,00000135$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.19 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)

Toplam kayıp faktörü saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplanmadan önce serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü σ eşitlik 3.8'de tanımlandığı gibi hesaplandı;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 301/500}} = 1,6$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0}\right)^2 = 4 \times 9,88 \times 2,66 \times \left(\frac{500}{344}\right)^2 = 222$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} = \sqrt{\frac{2\pi 500(9,88 + 2,66)}{16 \times 344}} = 2$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2}\right) = \frac{344^2}{4 \times 301} \left(\frac{1}{9,88^2} + \frac{1}{2,66^2}\right) = 15$$

$f_{11} < f_c/2$ yani $15 < (222/2)$ olduğunda $\sigma = \sigma_1$ kabul edildi ve sonuç olarak

$$\sigma = \sigma_1 = 1,6$$

oldu.

Toplam kayıp faktörü hesaplanırken, hem saha durumu hem de laboratuvar durumu için eşitlik 3.11 kullanıldı.

Saha durumu

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$$

Yanal yollarda üç noktadan birleşme olduğu için hesaplarırken $\sum_{k=1}^3 l_k \alpha_k$ formülü kullanılarak sonuca ulaşıldı.

$$\begin{aligned}\eta_{tot} &= 0,0013 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,6}{2\pi \times 500 \times 130} \\ &+ \frac{340}{\pi^2 26,2 \sqrt{500 \times 301}} [(0,168 \times 2,66) + (0,280 \times 9,88) \\ &+ (0,445 \times 9,88)] = 0,0301\end{aligned}$$

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için frekans değeri aşağı 1/3 oktav bant değeri 400Hz , elemanın alanı $S_{lab} = 10m^2$, yapı absorpsiyon katsayısı $\alpha_{klab} = 0,00000135$ ve birleşim yeri uzunluğu $l_k = 12,8m$ 'dir. Buna bağlı olarak toplam kayıp faktörü;

$$\begin{aligned}\eta_{tot} &= 0,00013 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,2}{2\pi \times 400 \times 130} \\ &+ \frac{340}{\pi^2 10 \sqrt{400 \times 301}} [(0,00000135 \times 12,8)] \\ &= 0,0044\end{aligned}$$

olarak hesaplandı.

4.2.20 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)

Yapısal çınlama süresi saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı. Her iki durumda da eşitlik 3.12 kullanıldı ve frekans değeri aşağı 1/3 oktav bant 400 Hz kabul edilerek hesaplandı.

Saha durumu

Saha durumunda hesaplanmış toplam kayıp faktörü değeri ilgili eşitlikte tanımlandığı gibi yerine konuldu.

$$T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0301} = 0,182 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşımaktadır.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için hesaplanmış olan toplam kayıp faktörü eşitlik 3.12'de yerine konuldu.

$$T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0044} = 1,226 \text{ sn}$$

olarak hesaplandı.

4.2.21 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$

Yekpare elemanlar için ses azaltma indisi eşitlik 3.10 kullanılarak bulundu;

$$R = -10 \lg \tau$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}} \quad f = f_c$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 2 \sigma_f^2 + \frac{(l_1 + l_2)^2}{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{\frac{f_c}{f}} \frac{\sigma^2}{\eta_{tot}} \quad f < f_c$$

$$f < f_c$$

$f > f_c$ yani 500 Hz > 301Hz olduğu için;

$$\begin{aligned} \tau &= \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot,lab}} = \left[\frac{2 \times 409,8}{2\pi \times 500 \times 130} \right]^2 \frac{\pi \times 1,6^2}{2 \times 0,0044} \\ &= 0,00214 \end{aligned}$$

$$R = -10 \lg 0,00214 = 26,68 \text{ dB}$$

Girdi verilerinin asıl yerindeki değerlere dönüştürülmesi için eşitlik 3.2'de tanımlanan değerler yerine konulmuş olup, bu durumda cephenin 500 Hz'deki değeri için;

$$R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} = 26,68 - 10 \lg \frac{0,182}{1,226} = 34,97 \text{ dB}$$

sonucuna ulaşıldı.

Buraya kadar yapılan hesapla birinci bölüm tamamlanmıştır. Bundan sonraki bölüm sadece yanal yol yapı elemanları için geçerli olmaktadır.

4.2.22 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$

Eş değer absorpsiyon uzunluğu hesabı için eşitlik 3.14 kullanıldı.

$$a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_j}{C_0 T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

Burada:

$$a_{cephe,situ} = \frac{2,2 \pi^2 24,36}{344 \times 0,182} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 11,941$$

$$a_{bölme duvar,situ} = \frac{2,2 \pi^2 11,5}{344 \times 0,0919} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 11,176$$

olarak bulundu.

4.2.23 Birleşim yeri hız seviye farkı

Birleşim yeri hız seviye farkı eşitlik 3.16 kullanılarak hesaplandı.

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$$

Cephe – bölme duvar:

$$D_{v cephe,bölme duvar,situ} = 8,7 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{11,94 \times 11,2}} = 12,841$$

Cephe – cephe:

$$D_{v cephe,cephe,situ} = 7,2 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{11,94 \times 11,94}} = 11,442$$

Bölme duvar – cephe:

$$D_{v bölme duvar,cephe,situ} = 8,7 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{11,2 \times 11,94}} = 12,841$$

verileri elde edildi.

4.2.24 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini

Yukarıda elde edilen veriler eşitlik 3.17’de yerine koyularak , yerinde doğrudan ve yan yol ses iletim tayini için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$$

Mevcut cephede ilave katman olmadığı için;

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \frac{R_{cephe,situ}}{2} + \frac{R_{bölme duvar,situ}}{2} + D_{bölme duvar,cephe,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \\ &= \frac{34,97}{2} + \frac{45,44}{2} + 12,84 + 10 \lg \frac{35,88}{\sqrt{24,3 \times 11,51}} = 54,90 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.2.25 Yanal yolların hesabı: tavan

Tavan için izlenecek yol Çizelge 4.11’ de gösterilmiştir.

4.2.26 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı

Tavanda üç farklı bağlantı noktası olduğu için üç ayrı hesap eşitlik 3.5 ve eşitlik 3.6 kullanılarak yapıldı.

Tavan – Bölme Duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Tavan})}{m'_i (\text{Bölme Duvar})} = \frac{230}{160} = 0,158$$

oldu.

Birleşim detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ &= 8,7 + 17,1(0,158) + 5,7(0,158)^2 = 11,5 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 8,7 + 5,7(0,158)^2 = 8,8 \end{aligned}$$

Tavan – İç Duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Tavan})}{m'_i (\text{İç Duvar})} = \frac{230}{150} = 0,186$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ &= 8,7 + 17,1(0,186) + 5,7(0,186)^2 = 12,1 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 8,7 + 5,7(0,186)^2 = 8,9 \end{aligned}$$

değerine ulaşıldı.

Tavan – Cephe:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{Cephe})}{m'_i (\text{Tavan})} = \frac{230}{130} = 0,248$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$\begin{aligned} K_{13(Ff)} &= 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \\ &= 5,7 + 14,1(0,248) + 5,7(0,248)^2 = 9,5 \\ K_{12(Df)} &= K_{23(Fd)} = 5,7 + 5,7M^2 \text{ dB} \\ &= 5,7 + 5,7(0,248)^2 = 6,0 \end{aligned}$$

değerine ulaşıldı. Bu hesaplamalara bağlı olarak tavan için hesaplanan K_{ij} verileri Çizelge 4.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 : Tavan için K_{ij} değerleri.

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	M	Frekans	K_{ij} Değerler $K_{13} / K_{12} / K_{23}$
Tavan	Bölme Duvar	0,158	500Hz	11,5 / 8,8 / 8,8
Tavan	İç Duvar	0,186	500Hz	12,1 / 8,9 / 8,9
Tavan	Cephe	0,248	500Hz	9,5 / 6,0 / 6,0

4.2.27 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)

Eşitlik 3.19’da verildiği gibi yapı absorpsiyon katsayısı saha ve laboratuvar için ayrı ayrı anlatılarak üç farklı noktada hesap yapıldı.

Saha Durumu

Tavan- Bölme Duvar için hesap;

$$\begin{aligned}\alpha_k &= \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10} \\ &= \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-11,5/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-8,8/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-8,8/10} \\ &= 0,102\end{aligned}$$

Tavan –İç Duvar için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-12,1/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-8,9/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-8,9/10} = 0,129$$

Tavan –Cephe için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,5/10} + \sqrt{\frac{302}{1000}} 10^{-6,0/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-6,0/10} = 0,292$$

sonucuna ulaşıldı. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13’de sunulmuştur.

Çizelge 4.13 : Tavan için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	Frekans	α_k
Tavan	Bölme Duvar	500Hz	0,102
Tavan	İç duvar	500Hz	0,129
Tavan	Cephe	500Hz	0,292

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı için de eşitlik 3.9 kullanıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2$$

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'}$$

Hesaplama işlemi;

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} = \sqrt{\frac{31,1}{148}} = 0,458 \quad \text{ve} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} = 44,3 \frac{148}{230} = 28,51$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{0,458 \times 28,51} (1 + 0,458) (1 + 28,51)}{0,458(1 + 28,51)^2 + 2 \times 28,51(1 + 0,458^2)} \right]^2 = 0,00004251$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = 0,00004250$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.28 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)

Toplam kayıp faktörü saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplanmadan önce serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü σ eşitlik 3.8'de tanımlanan değerler yerine koyularak hesaplandı;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 148/500}} = 1,19$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0} \right)^2 = 4 \times 13,83 \times 2,66 \times \left(\frac{500}{344} \right)^2 = 311$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} = \sqrt{\frac{2\pi 500(13,83 + 2,66)}{16 \times 344}} = 2,40$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{344^2}{4 \times 148} \left(\frac{1}{13,83^2} + \frac{1}{2,66^2} \right) = 29,28$$

$f_{11} < f_c/2$ yani $29 < (148/2)$ olduğunda $\sigma = \sigma_1$ kabul edildi ve sonuç olarak

$$\sigma = \sigma_1 = 1,19$$

oldu.

Toplam kayıp faktörü hesaplanırken, hem saha durumu hem de laboratuvar durumu için eşitlik 3.11 kullanıldı.

Saha durumu

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$$

Yanal yollarda üç noktadan birleşme olduğu için hesaplarırken $\sum_{k=1}^3 l_k \alpha_k$ formülü kullanıldı.

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,02 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,19}{2\pi \times 500 \times 230} \\ &\quad + \frac{340}{\pi^2 36,8 \sqrt{500 \times 148}} [(0,109 \times 4,33) + (0,129 \times 9,16) \\ &\quad + (0,292 \times 9,88)] = 0,0370 \end{aligned}$$

verisi elde edildi.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için frekans değeri aşağı 1/3 oktav bant değeri 400Hz, elemanın alanı $S_{lab} = 10m^2$, yapı absorpsiyon katsayısı $\alpha_{klab} = 0,00004250$ ve birleşim yeri uzunluğu $l_k = 12,8m$ 'dir. Buna bağlı olarak toplam kayıp faktörü;

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,02 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,2}{2\pi \times 400 \times 230} + \frac{340}{\pi^2 10 \sqrt{400 \times 148}} [(0,00004250 \times 12,8)] \\ &= 0,0216 \end{aligned}$$

olarak hesaplandı.

4.2.29 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)

Yapısal çınlama süresi saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı. Her iki durumda eşitlik 3.12 kullanılmış olup frekans değeri olarak aşağı 1/3 oktav bant 400 Hz kabul edilerek hesap yapıldı.

Saha durumu

Saha durumunda toplam kayıp faktörü değeri ilgili eşitlikte yerine koyulmaktadır.

$$T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0370} = 0,148 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşıldı.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için hesaplanmış olan toplam kayıp faktörü eşitlik 3.12’de yerine konuldu.

$$T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0216} = 0,253 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.30 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$

Yekpare elemanlar için ses azaltma indisi eşitlik 3.10’da tanımlanan değerler yerine koyularak bulundu;

$$R = -10 \lg \tau$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$f > f_c$ yani $500 \text{ Hz} > 148 \text{ Hz}$ olduğu için;

$$\begin{aligned} \tau &= \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot,lab}} = \left[\frac{2 \times 409,8}{2\pi \times 500 \times 230} \right]^2 \frac{\pi \times 1,19^2}{2 \times 0,0216} \\ &= 0,0000391 \end{aligned}$$

$$R = -10 \lg 0,0000391 = 44,06 \text{ dB}$$

Girdi verilerinin asıl yerindeki değerlere dönüştürülmesi için eşitlik 3.2 kullanılmış olup bu durumda tavanın 500 Hz’deki değeri için;

$$R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} = 26,68 - 10 \lg \frac{0,148}{0,253}$$

$$= 46,38 \text{ dB}$$

sonucuna ulaşıldı.

Buraya kadar yapılan hesapla birinci bölüm tamamlanmıştır. Bundan sonraki bölüm sadece yanal yol yapı elamanları için geçerli olmaktadır.

4.2.31 Eş değer absorpsiyon uzunluğu $a_{i,situ}$

Eş değer absorpsiyon uzunluğu yanal yol cephe ve bölme duvar için ayrı ayrı hesaplandı. Hesaplama için eşitlik 3.14 kullanıldı.

$$a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_j}{C_0 T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

Burada:

$$a_{tavan,situ} = \frac{2,2 \pi^2 36,8}{344 \times 0,148} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 22,101$$

$$a_{bölme duvar,situ} = \frac{2,2 \pi^2 11,5}{344 \times 0,0919} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 11,176$$

olarak bulundu.

4.2.32 Birleşim yeri hız seviye farkı

Birleşim yeri hız seviye farkı eşitlik 3.16'da verildiği gibi üç farklı yol için ayrı ayrı hesaplandı.

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$$

Tavan – bölme duvar

$$D_{v,tavan,bölme duvar,situ} = 8,8 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{22,101 \times 11,2}} = 14,272$$

Tavan - tavan

$$D_{v \text{ tavan,tavan,situ}} = 11,5 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{22,101 \times 22,101}} = 18,448$$

Bölme duvar – tavan

$$D_{v \text{ bölme duvar,tavan,situ}} = 8,7 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{11,2 \times 22,101}} = 14,272$$

değerine ulaşıldı.

4.2.33 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$$

Mevcut tavanda ilave katman olmadığı için;

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \frac{R_{tavan,situ}}{2} + \frac{R_{bölme duvar,situ}}{2} + D_{bölme duvar,tavan,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \\ &= \frac{46,38}{2} + \frac{45,44}{2} + 14,27 + 10 \log \frac{48,31}{\sqrt{36,8 \times 11,51}} = 63,89 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.2.34 Yanal yolların hesabı: iç duvar

İç duvar için izlenecek yol diğer yanal yollar ile aynıdır. Hesaplama modeli Şekil.4.11’ de gösterilmiştir.

4.2.35 Titreşim yeri azaltım indisi K_{ij} hesabı

İç duvar için üç farklı bağlantı noktası olduğu için üç farklı hesap eşitlik 3.5 ve eşitlik 3.6 doğrultusunda yapıldı.

İç duvar – Bölme Duvar:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{iç duvar})}{m'_i (\text{Bölme Duvar})} = \frac{150}{160} = -0,028$$

oldu.

Birleşim detayına bağlı olarak:

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(-0,028) + 5,7(-0,028)^2 = 8,2$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(-0,028)^2 = 8,7$$

İç Duvar - Döşeme:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{İç duvar})}{m'_{i} (\text{Döşeme})} = \frac{150}{287} = -0,282$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$K_{13(Ff)} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2$$

$$= 8,7 + 17,1(-0,282) + 5,7(-0,282)^2 = 4,3$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 8,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 8,7 + 5,7(-0,282)^2 = 9,2$$

değerine ulaşıldı.

İç duvar - Tavan:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i} (\text{İç duvar})}{m'_{i} (\text{Tavan})} = \frac{150}{230} = -0,186$$

olarak hesaplandı.

Bağlantı detayına bağlı olarak:

$$K_{13(Ff)} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2$$

$$= 5,7 + 14,1(-0,186) + 5,7(-0,186)^2 = 3,3$$

$$K_{12(Df)} = K_{23(Fd)} = 5,7 + 5,7M^2 \text{ dB}$$

$$= 5,7 + 5,7(-0,186)^2 = 5,9$$

değeri elde edildi.

İç duvar için hesaplanan K_{ij} verileri Çizelge 4.14’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 : İç duvar için K_{ij} değerleri.

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	M	Frekans	K_{ij} Değerler $K_{13} / K_{12} / K_{23}$
İç duvar	Bölme Duvar	-0,028	500Hz	8,2 / 8,7 / 8,7
İç duvar	Döşeme	-0,282	500Hz	4,3 / 9,2 / 9,2
İç duvar	Tavan	-0,286	500Hz	3,3/ 5,9 / 5,9

4.2.36 Yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha ve laboratuvar için)

Yapı absorpsiyon katsayısı saha ve laboratuvar için ayrı ayrı anlatılacaktır;

Saha Durumu

Saha durumu için üç farklı noktada hesap yapıldı. Hesaplama yapılırken eşitlik 3.9 kullanılmıştır.

İç duvar- Bölme Duvar için hesap;

$$\alpha_k = \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10}$$

$$= \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-8,2/10} + \sqrt{\frac{87}{1000}} 10^{-8,7/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-8,7/10} = 0,139$$

İç duvar - Döşeme için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-4,3/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-9,2/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-9,2/10} = 0,239$$

İç duvar - Tavan için hesap;

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-3,3/10} + \sqrt{\frac{148}{1000}} 10^{-5,9/10} + \sqrt{\frac{173}{1000}} 10^{-5,9/10} = 0,386$$

Çizelge 4.15 : İç duvar için yapı absorpsiyon katsayısı hesabı α_k (saha durumu).

Bölme Elemanı (d)	Yanal Yol (f)	Frekans	α_k
İç duvar	Bölme Duvar	500Hz	0,139
İç duvar	Döşeme	500Hz	0,239
İç duvar	Tavan	500Hz	0,386

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için sadece bir değer hesabı eşitlik 3.9 kullanılarak yapıldı;

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{\chi\Psi} (1 + \chi) (1 + \Psi)}{\chi (1 + \Psi)^2 + 2\Psi(1 + \chi^2)} \right]^2$$

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'}$$

Hesaplama işlemi;

$$\chi = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} = \sqrt{\frac{31,1}{173}} = 0,423 \quad \text{ve} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} = 44,3 \frac{173}{150} = 51,09$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[\frac{2\sqrt{0,423 \times 51,09} (1 + 0,423) (1 + 51,09)}{0,423(1 + 51,09)^2 + 2 \times 51,09(1 + 0,423^2)} \right]^2 = 0,00000826$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = 0,00000826$$

sonucuna ulaşıldı.

4.2.37 Toplam kayıp faktörü η_{tot} (saha ve laboratuvar için)

Toplam kayıp faktörü saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplanmadan önce serbest kırılan dalgalar için yayılma faktörü σ eşitlik 3.8'de tanımlanan değerler yerine koyularak hesaplandı;

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 173/500}} = 1,23$$

$$\sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c_0} \right)^2 = 4 \times 9,16 \times 2,66 \times \left(\frac{500}{344} \right)^2 = 205,9$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} = \sqrt{\frac{2\pi 500(9,16 + 2,66)}{16 \times 344}} = 2,03$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{344^2}{4 \times 173} \left(\frac{1}{9,16^2} + \frac{1}{2,66^2} \right) = 26,20$$

$f_{11} < f_c/2$ yani $26 < (173/2)$ olduğunda $\sigma = \sigma_1$ kabul edildi ve sonuç olarak

$$\sigma = \sigma_1 = 1,23$$

oldu. Hem saha durumu hem de laboratuvar durumu için eşitlik 3.11 kullanıldı.

Saha durumu

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$$

Yanal yollarda üç noktadan birleşme olduğu için hesaplarırken $\sum_{k=1}^3 l_k \alpha_k$ formülü kullanıldı.

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,015 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,23}{2\pi \times 500 \times 150} \\ &+ \frac{340}{\pi^2 \times 24,36 \sqrt{500 \times 173}} [(0,139 \times 2,66) + (0,239 \times 9,16) \\ &+ (0,386 \times 9,16)] = 0,0465 \end{aligned}$$

verisi elde edildi.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için frekans değeri aşağı 1/3 oktav bant değeri 400Hz. elemanın alanı $S_{lab} = 10m^2$, yapı absorpsiyon katsayısı $\alpha_{klab} = 0,00000826$ ve birleşim yeri uzunluğu $l_k = 12,8m$ alınmıştır. Bu bağlı olarak toplam kayıp faktörü;

$$\begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,015 + \frac{2 \times 409,8 \times 1,23}{2\pi \times 400 \times 150} + \frac{340}{\pi^2 \times 10 \sqrt{400 \times 173}} [(0,00000826 \times 12,8)] \\ &= 0,0176 \end{aligned}$$

olarak hesaplandı.

4.2.38 Yapısal çınlama süresi T_s (saha ve laboratuvar için)

Yapısal çınlama süresi saha ve laboratuvar için ayrı ayrı hesaplandı. Her iki durumda da frekans değeri olarak aşağı 1/3 oktav bant 400 Hz kullanıldı.

Saha durumu

Saha durumunda toplam kayıp faktörü değeri eşitlik 3.12’de yerine konuldu.

$$T_{s,i,situ} = \frac{2,2}{f \eta_{tot}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0465} = 0,118 \text{ sn}$$

sonucuna ulaşıldı.

Laboratuvar Durumu

Laboratuvar durumu için hesaplanmış olan toplam kayıp faktörü için de eşitlik 3.12’de tanımlanan değerler yerine konuldu.

$$T_{s,lab} = \frac{2,2}{f \eta_{tot,lab}} = \frac{2,2}{400 \times 0,0176} = 0,310 \text{ sn}$$

olarak hesaplandı.

4.2.39 Gerçek saha durumunda elemanın ses azaltma indisi $R_{s,situ}$

Yekpare elemanlar için ses azaltma indisi eşitlik 3.10 kullanılarak bulundu;

$$R = -10 \lg \tau$$

$$\tau = \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$f > f_c$ yani $500 \text{ Hz} > 148 \text{ Hz}$ olduğu için;

$$\begin{aligned} \tau &= \left[\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right]^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot,lab}} = \left[\frac{2 \times 409,8}{2\pi \times 500 \times 150} \right]^2 \frac{\pi \times 1,23^2}{2 \times 500 \times 0,0176} \\ &= 0,000142 \end{aligned}$$

$$R = -10 \lg 0,000142 = 38,47 \text{ dB}$$

Girdi verilerinin asıl yerindeki değerlere dönüştürülmesi için eşitlik 3.2 kullanılmış olup, bu durumda iç duvarın 500 Hz’deki değeri için;

$$R_{s,situ} = R - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} = 38,47 - 10 \lg \frac{0,118}{0,310} = 42,67 \text{ dB}$$

sonucuna ulaşıldı. Buraya kadar yapılan hesapla birinci bölüm tamamlanmıştır.

4.2.40 Eş değer absorpsiyon uzunluğu

Eş değer absorpsiyon uzunluğu, eşitlik 3.14 doğrultusunda yanıl yol ve bölme duvar için ayrı ayrı hesaplandı:

$$a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_j}{C_0 T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

Burada:

$$a_{iç duvar,situ} = \frac{2,2 \pi^2 24,36}{344 \times 0,118} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 18,390$$

$$a_{bölme duvar,situ} = \frac{2,2 \pi^2 11,5}{344 \times 0,0919} \sqrt{\frac{1000}{500}} = 11,176$$

olarak bulundu.

4.2.41 Birleşim yeri hız seviye farkı

Birleşim yeri hız seviye farkı üç farklı yol için ayrı ayrı hesaplandı. Hesaplamalarda eşitlik 3.16 kullanıldı.

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$$

İç duvar – bölme duvar

$$\begin{aligned} D_{v iç duvar,bölme duvar,situ} &= 8,7 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{18,39 \times 11,17}} \\ &= 13,73 \end{aligned}$$

İç duvar – iç duvar

$$D_{v iç duvar,iç duvar,situ} = 8,2 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{18,39 \times 18,39}} = 14,339$$

Bölme duvar – iç duvar

$$D_v \text{ bölme duvar, iç duvar, situ} = 13,7 - 10 \log \frac{4,5}{\sqrt{18,39 \times 11,17}} = 13,73$$

sonucu elde edildi

4.2.42 Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini

Yerinde doğrudan ve yan yol ses iletiminin tayini hesaplanırken eşitlik 3.17 kullanıldı.

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + D_{v,ij,situ} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}}$$

Mevcut tavanda ilave katman olmadığı için;

$$\begin{aligned} R_{ij} &= \frac{R_{iç \text{ duvar, situ}}}{2} + \frac{R_{bölme \text{ duvar, situ}}}{2} + D_{bölme \text{ duvar, iç duvar, situ}} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \\ &= \frac{42,67}{2} + \frac{45,44}{2} + 13,73 + 10 \log \frac{35,88}{\sqrt{24,36 \times 11,51}} = 61,10 \text{ dB} \end{aligned}$$

olarak hesaplandı.

4.2.43 Ana formülde hesap

500 Hz için yapılan hesapların tamamı eşitlik 3.15’de girdi olarak kullanılarak yanal yolların etkisi hesaplandı.

$$R'_w = -10 \log \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right]$$

Burada;

$$\begin{aligned} R'_w &= -10 \log \left[10^{\frac{45,44}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{64,82}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{61,10}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{54,90}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{63,89}{10}} \right] \\ &= 44,77 \text{ dB} \end{aligned}$$

sonucuna ulaşıldı

Bölme duvar, döşeme, iç duvar, cephe ve tavan için tüm 1/1 oktav bantlarda hesaplama çizelge 4.11’de tanımlanan hesaplama modeli doğrultusunda yapıldı. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.16 : Hesaplama modeli sonuç tablosu.

Yapı Elemanı	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	R’w
R_{Dd}	37,33	36,65	45,44	53,79	62,04	49
R_{F1d} (F₁:Döşeme)	54,50	55,56	64,82	73,56	81,65	67
R_{F2d} (F₂:İç Duvar)	56,79	51,85	61,10	69,53	77,27	64
R_{F3d} (F₃:Cephe)	54,05	55,97	54,90	67,71	75,69	63
R_{F4d} (F₄:Tavan)	54,61	54,71	63,89	72,57	80,62	67
R’_w	37,03	36,35	44,77	53,41	61,64	49
ISO 717-1 ‘e göre R’w (C,C_{tr})=49 (-1 ; -5) dB						

4.3 TS EN ISO 140-4 Standardının Uygulanması

Bu bölümde TS EN ISO 140-4 standardında tanımlanan değerler doğrultusunda mevcut konutun alan ölçümü anlatılacaktır.

4.3.1 Alan ölçümünde kullanılan aletler ve yerleşimi

Alanda kullanılan aletlerin tamamı TS EN ISO 140-4’ de belirtilen özelliklere ve normlara sahip, sınıf 1 Brüel &Kjær markadır. Kullanılan aletler Çizelge 4.17’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.17 : Alan ölçümünde kullanılan alet listesi.

Malzeme Kodu	Tanımı	Markası
B&K 2260 Sound Level Meter	Ses Düzeyi Ölçer	Brüel &Kjær
B&K 2716 Power Amplifier	Güç Yükseltici	Brüel & Kjær
B&K 4295 Omni Speaker	Çok Yönlü Hoparlör	Brüel & Kjær
B&K UA 0801 Tripod	Hoparlör İçin Üçayak	Brüel & Kjær
B&K 4228 Pistonphone	Kalibrasyon Cihazı	Brüel & Kjær
B&K 4165 Condenser microphone 1/2"	Sabit Mikrofon	Brüel & Kjær
B&K 2669 Preamplifier	Ön Yükseltici	Brüel & Kjær
B&K UA 1317 Microphone Holder	Mikrofon İçin Üçayak	Brüel & Kjær



Şekil 4.14 : B&K 2260 ses düzeyi ölçer.



Şekil 4.15 : B&K 2716 güç yükseltici.

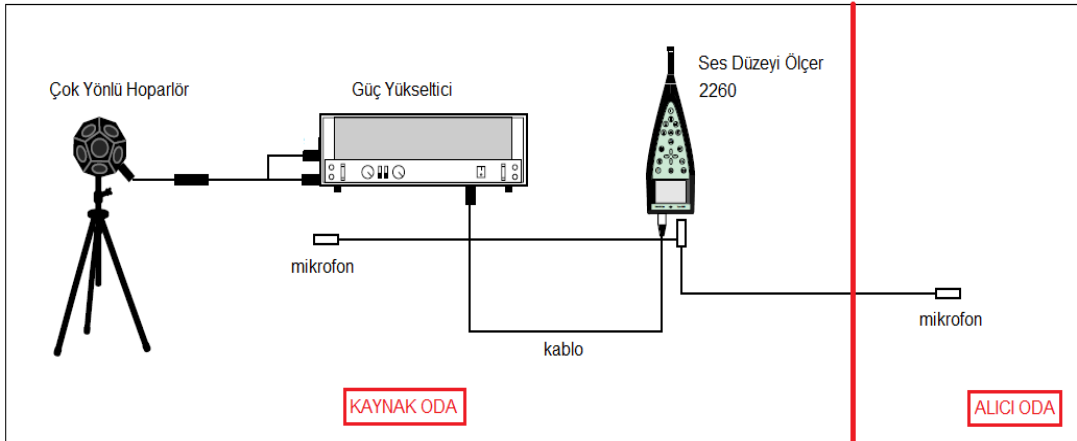


Şekil 4.16 : B&K 4165 kondenser mikrofon 1/2" ve B&K UA 1317 tripod.



Şekil 4.17 : B&K 4295 omni hoparlör ve B&K UA 0801 tripod.

Ölçüm sırasında uygulanan alet yerleşim diyagramı Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : Kullanılan aletlerin yerleşim krokisi.

4.3.2 Alan ölçümü

Alan ölçümü, Şekil 4.18’de gösterilen konumlarda, TS EN ISO 140-4 standardında tanımlanan sınırlayıcı değerlere uygun olarak, sınıf 1, Brüel &Kjær marka aletler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 4.18 : L_1 :Kaynak odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (dB).

L1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Avg
100Hz	56,8	56,4	56,5	56,4	56,7	55,1	55,6	55,8	55,9	55,3	57,6	57,6	57,9	57,6	57,8	57,8	60,7	60,5	60,3	60,7	60,6	58
125Hz	66,3	66	66,4	66,4	66,1	66,9	67	67,2	67	66,9	63,2	63,2	63,2	63,3	63,3	63,2	70,4	70,4	70	70,3	70,4	67,3
160Hz	75,6	75,4	75,3	75,4	75,6	70,1	69,8	70,3	69,7	69,8	71,7	71,4	71,3	71,7	71,5	71,5	77,5	78	77,5	77,3	77,9	74,6
200Hz	78,6	78,4	78,6	78,4	78,5	75,2	75	75,1	75,2	75	74,1	74,8	74,7	74,5	74,6	74,6	76,9	76,6	76,7	76,8	76,6	76,4
250Hz	78,7	78,9	78,9	78,8	78,7	78,6	78,7	78,7	78,8	78,7	78,1	78,3	78,2	78,3	78,3	77,8	82,9	82,6	82,6	82,8	82,8	80
315Hz	80	79,9	79,8	79,8	79,7	79,2	79,3	79	79,2	79,4	81,7	81,6	81,9	81,6	81,6	81,3	83,4	83,4	83,5	83,4	83,5	81,4
400Hz	79,2	79,4	79,3	79,5	79,4	79,5	79,5	79,4	79,7	79,5	78,1	78,1	77,9	78	78	78	80,9	80,8	80,8	80,9	80,9	79,5
500Hz	80,4	80,4	80,4	80,4	80,3	79,9	79,9	80	79,9	80	77,7	77,9	77,9	77,7	77,8	78	81,4	81,2	81,4	81,5	81,1	80
630Hz	78,6	78,8	78,6	78,7	78,8	77,3	77,5	77,4	77,4	77,5	77,9	78	78	78,1	78,2	78,1	81	81,2	81,1	81,1	81,2	79
800Hz	80,9	80,8	80,8	80,9	80,9	77,2	77,3	77,2	77,4	77,2	80,8	80,9	80,7	80,7	80,9	80,8	79,8	79,7	79,8	79,8	79,7	79,9
1000Hz	81,1	81	80,9	81,1	81	79,3	79,3	79,3	79,4	79,3	78,7	78,7	78,5	78,6	78,7	78,6	81,6	81,6	81,6	81,6	81,5	80,2
1250Hz	79,8	80	79,9	79,9	79,9	78,3	78,4	78,3	78,4	78,4	76,7	76,8	76,8	76,7	76,7	76,7	80,7	80,7	80,7	80,6	80,7	79,1
1600Hz	84,1	84	84,1	84	84,2	81,9	81,8	81,9	81,8	81,8	81,4	81,6	81,6	81,4	81,5	81,9	84,6	84,7	84,7	84,6	84,6	83,2
2000Hz	84	84	84	84	84,1	80,8	80,7	80,7	80,8	80,7	80	80,1	80,1	80,1	80,1	79,6	83,3	83,4	83,3	83,3	83,3	82,3
2500Hz	82,2	82,3	82,3	82,3	82,3	80	79,8	79,9	79,9	79,8	81,1	81,1	81,1	81,1	81	80,8	83,5	83,6	83,6	83,5	83,6	81,9
3150 Hz	83	83	83	83	83,2	80,8	80,7	80,7	80,7	80,6	79,4	79,4	79,6	79,4	79,4	79,5	83,9	83,8	83,9	83,9	83,8	82

Çizelge 4.19 : L_2 : Algılama odasındaki ortalama ses basınç seviyesi (dB).

L2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Avg.
100Hz	32,6	33	33,7	26,1	34,7	32,4	34,8	43,1	42,1	35,9	34,3	29,6	31,8	34,8	36,9	37,7	34,4	32,2	34,2	34,5	33,3	34,8
125Hz	39	35,3	28,1	28,5	34	35,9	37,9	43,2	30,6	35,3	36,2	34,5	31,9	33,3	33,1	35,6	34,6	33,9	33,7	35,5	29,8	34,5
160Hz	36,4	36,1	33,9	35,3	35,3	36,4	38,5	45,5	37,3	39,3	36,8	36,7	37,4	38,6	37,4	37,2	38,1	36,8	38,8	38,7	35,9	37,4
200Hz	38,4	37,4	36,2	37,3	38,1	38,8	39,4	42,4	40,5	39,8	38,3	39,2	43,5	41	39	41,6	39,6	39,9	43,6	41,8	41,6	39,2
250Hz	41,3	34,5	35,5	35,8	41,4	36,1	36,6	37,9	36,6	40,6	37,1	39,6	38,2	41,6	36,7	45	36,7	39,3	38,5	41,4	45,3	40
315Hz	42,6	40,5	33,6	39,3	42	41,4	41,1	38,1	39,2	40,3	39,8	41,7	39,1	38,6	39,5	40,1	39,6	41,6	39,1	38,6	40,4	40,1
400Hz	40,6	41	38,2	37	37,2	39	41	36,7	38,4	37,5	42,9	44,6	40,9	40,3	42,1	43,4	42,5	44,4	41,2	39,6	43,1	41,2
500Hz	36,7	37,1	32,2	32,8	33,1	37,5	36,8	32	34,2	31,9	39,2	39,9	35,9	36,1	38,8	37,6	39	39,2	35,9	36,4	39	36,9
630Hz	34,4	34,1	32,4	31,8	34,9	33,1	35	34	35	36,8	37,4	37,4	36,7	35,9	37,7	36,4	37,9	37,6	36,3	36	36,2	35,9
800Hz	34,3	35,1	31,1	32,7	32,4	35,5	33,4	32	33	34,5	37,8	37,9	35,3	36,6	37,5	37,4	37,6	37,5	35,4	36,7	36,9	35,7
1000Hz	32	31,7	28,5	28,9	30,8	31,3	31,9	29,3	29,3	32,6	35,3	33,7	32,2	31,2	35,1	34,5	35	33,6	32,3	31,3	32,9	32,5
1250Hz	26,9	27,9	25,7	25,8	27,4	26,6	28,9	27	26,6	26,7	28	27,3	28,2	28,2	28,4	31	28,5	27,4	28,9	28	28,5	27,3
1600Hz	29,3	28,8	28,8	26,9	28,1	30,1	30,6	29,2	29,5	28,3	30,3	30	29,2	30,2	30,5	31	30,3	30	29,7	30,2	30,8	29,7
2000Hz	27,9	27,4	25,1	25,2	26,3	27,3	27,1	26,7	27	26,7	28,2	27,5	27,2	27,1	26,8	28,3	27,3	27,4	27,6	27,5	27,7	27,2
2500Hz	25,7	24,9	23,5	23,9	24,5	24,6	25,6	24,8	24,9	25,5	26,1	27,9	25,2	26,2	26,4	27,4	27,2	27,4	25,8	25,5	26,6	25,9
3150 Hz	25,1	24,4	23,1	23,8	24,1	23,2	25	24,2	23,8	23,8	26	26	24,7	25,3	25	25,6	25,5	26,1	24,9	25,6	26,1	24,9

Çizelge 4.20 : T:Algılama odasındaki çınlama zamanı, saniye cinsinden.

T2	1	2	3	Avg
100Hz	0,61	N/A	N/A	0,61
125Hz	0,55	5,79	0,76	2,37
160Hz	0,44	6,35	0,41	2,4
200Hz	0,45	0,51	0,51	0,49
250Hz	0,46	0,35	0,44	0,42
315Hz	0,32	0,3	0,33	0,32
400Hz	0,35	0,29	0,36	0,33
500Hz	0,39	0,35	0,39	0,38
630Hz	0,42	0,32	0,33	0,36
800Hz	0,42	0,32	0,34	0,36
1000Hz	0,51	0,32	0,34	0,39
1250Hz	0,3	0,35	0,29	0,31
1600Hz	0,37	0,32	0,36	0,35
2000Hz	0,39	0,37	0,34	0,37
2500Hz	0,42	0,35	0,36	0,38
3150 Hz	0,34	0,35	0,37	0,35

Çizelge 4.21 : B2 :Algılama odası fon gürültü düzeyi (dB).

B2	1	2	3	Avg
100Hz	31,3	33,9	34	33,2
125Hz	29,6	29,7	30,1	29,8
160Hz	30,7	32	30,2	31,5
200Hz	34,7	34,4	32,4	34
250Hz	28,3	29,7	26,7	28,4
315Hz	26,8	27,6	24,9	26,6
400Hz	23,2	22,9	23,5	23,2
500Hz	23	20,2	19,9	21,2
630Hz	15,9	18,6	17,8	17,6
800Hz	15,6	16,9	12,3	15,3
1000Hz	20,3	19,4	16,2	18,9
1250Hz	20,1	20,2	14,9	17,1
1600Hz	17,1	18	14,1	16,7
2000Hz	13,3	14,8	12,6	13,7
2500Hz	10,7	11,9	9,2	10,8
3150 Hz	13	13,7	12,6	13,1

Elde edilen ölçüm sonuçları formül 4.1'e bağlı olarak hesaplandı. Hesaplama yapılırken ortalama (Avg.) değerler göz önüne alınmıştır. Standartta yer alan fon gürültüsü için düzeltme yapılarak nihai sonuç elde edilmiştir.

Örnek olarak 500 hz için:

$$R' = D + 10lg \frac{S}{A} \quad (4.1)$$

Burada;

D :Seviye farkı,

S :Ayrıcı elemanın alanı,

A :Algılama odasındaki eşdeğer ses absorpsiyon alanıdır.

Değerler yerine konulduğunda;

$$D_{nT} = 80 - 36,9 + 10 \lg \frac{10}{12,6} = 42,0dB$$

olarak hesaplanmıştır.Burada fon gürültüsü için düzeltme L2 ile B2 arasındaki farka bakılmalıdır,

L_2 : Algılama odasındaki ortalama ses basınç seviyesi,36,9dB

B_2 : Algılama fon gürültüsü ortalama ses basınç seviyesi,21,2dB

$$L_2 - B_2 = 36,9 - 21,2 = 15,7dB$$

Fark 10dB'den fazla olduğu için herhangi bir düzeltme yapılmamıştır. Fark 6 dB'den daha az olduğunda ise 1.3 dB'lik düzeltme uygulanmaktadır. Ölçüm sonuçlarında alçak frekanslarda fark 6dB den düşük çıktığı için 1,3dB lik düzeltme uygulanmış diğer frekanslarda ise herhangi bir düzeltme yapılmamıştır. İlgili sonuçlar Çizelge 4.22' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22 : Ölçüm sonuçları (fon gürültü düzeltmesi yapılmış).

Frekans	L1	L2	T2	B2	A	R'	L2-B2	Düzeltilme	Düzeltilmiş R'
100Hz	58	34,8	0,61	33,2	7,9	24,3	1,6	1,3	25,5
125Hz	67,3	34,5	2,37	29,8	2,0	39,8	4,7	1,3	41,0
160Hz	74,6	37,4	2,4	31,5	2,0	44,2	5,9	1,3	45,5
200Hz	76,4	39,2	0,49	34	9,8	37,3	5,2	1,3	38,6
250Hz	80	40	0,42	28,4	11,4	39,4	11,6	0	39,4
315Hz	81,4	40,1	0,32	26,6	15,0	39,5	13,5	0	39,5
400Hz	79,5	41,2	0,33	23,2	14,5	36,7	18	0	36,7
500Hz	80	36,9	0,38	21,2	12,6	42,0	15,7	0	42,0
630Hz	79	35,9	0,36	17,6	13,3	41,9	18,3	0	41,9
800Hz	79,9	35,7	0,36	15,3	13,3	43,0	20,4	0	43,0
1000Hz	80,2	32,5	0,39	18,9	12,3	46,9	13,6	0	46,9
1250Hz	79,1	27,3	0,31	17,1	15,5	49,9	10,2	0	49,9
1600Hz	83,2	29,7	0,35	16,7	13,7	52,1	13	0	52,1
2000Hz	82,3	27,2	0,37	13,7	13,0	54,0	13,5	0	54,0
2500Hz	81,9	25,9	0,38	10,8	12,6	55,0	15,1	0	55,0
3150 Hz	82	24,9	0,35	13,1	13,7	55,7	11,8	0	55,7

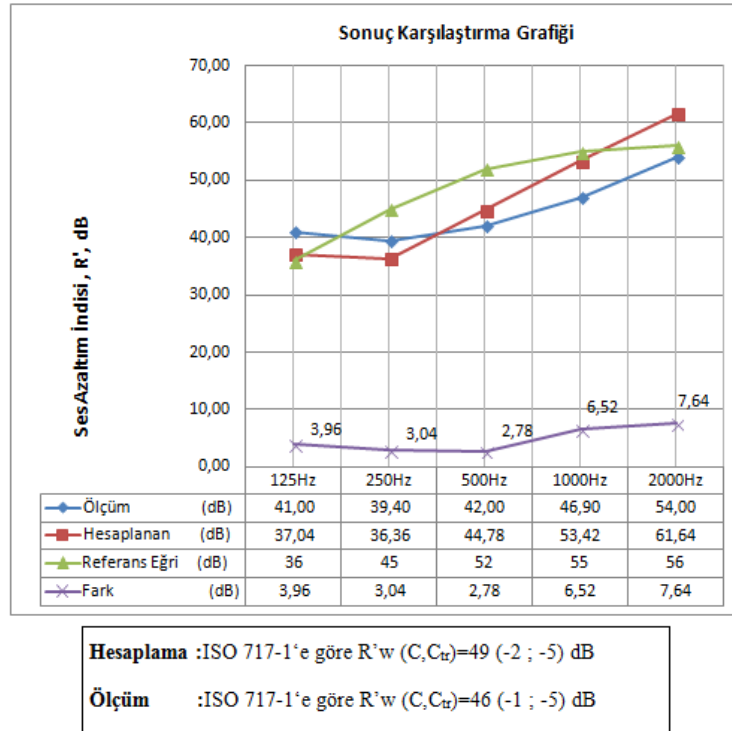
Elde edilen nihai değerler TS EN ISO 717-1 uygulanarak akustik performansı nitelendiren tek bir sayıya dönüştürülmüş olup Çizelge 4.23'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.23 : Sonuçların ISO 717-1'e uygun olarak tek bir sayıya dönüştürülmesi.

	R'_{field}	R_{52}	Δ	Adj	Def	C			C_{tr}		
						C_{ref}	Δ	$10^{\Delta/10}$	C_{ref}	Δ	$10^{\Delta/10}$
100 Hz	25,54	33	7,5	27	1,5	-29	-54,5	0,00000468	-20	-45,5	0,00003715
125 Hz	41,01	36	-5,0	30	-11,0	-26	-67,0	0,00000026	-20	-61,0	0,00000105
160 Hz	45,49	39	-6,5	33	-12,5	-23	-68,5	0,00000019	-18	-63,5	0,00000060
200 Hz	38,59	42	3,4	36	-2,6	-21	-59,6	0,00000148	-16	-54,6	0,00000468
250 Hz	39,42	45	5,6	39	-0,4	-19	-58,4	0,00000141	-15	-54,4	0,00000355
315 Hz	39,54	48	8,5	42	2,5	-17	-56,5	0,00000224	-14	-53,5	0,00000447
400 Hz	36,70	51	14,3	45	8,3	-15	-51,7	0,00000676	-13	-49,7	0,00001072
500 Hz	42,00	52	10,0	46	4,0	-13	-55,0	0,00000316	-12	-54,0	0,00000398
630 Hz	41,90	53	11,1	47	5,1	-12	-53,9	0,00000407	-11	-52,9	0,00000513
800 Hz	43,00	54	11,0	48	5,0	-11	-54,0	0,00000398	-9	-52,0	0,00000631
1000 Hz	46,90	55	8,1	49	2,1	-10	-56,9	0,00000204	-8	-54,9	0,00000324
1250 Hz	49,90	56	6,1	50	0,1	-9	-58,9	0,00000129	-9	-58,9	0,00000129
1600 Hz	52,10	56	3,9	50	-2,1	-9	-61,1	0,00000078	-10	-62,1	0,00000062
2000 Hz	54,00	56	2,0	50	-4,0	-9	-63,0	0,00000050	-11	-65,0	0,00000032
2500 Hz	55,00	56	1,0	50	-5,0	-9	-64,0	0,00000040	-13	-68,0	0,00000016
3150 Hz	55,70	56	0,3	50	-5,7	-9	-64,7	0,00000034	-15	-70,7	0,00000009
$R_w=46(-1,-5)$						$C=-1$			$C_{tr}=-5$		

4.4 TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 Standard Sonuçlarının Gösterilmesi

Hesaplama ve alan ölçüm sonuçları aşağıdaki Şekil 4.19'da sunulmaktadır.



Şekil 4.19 : Hesap ve ölçüm sonuç verileri.

5. SONUÇ

Bu bölümde mevcut alan üzerinde uygulanan hesaplama modeli ve ölçüm sonuçları gösterilerek elde edilen verilerin karşılaştırılması incelendi.

5.1 Sonuç ve Değerlendirme

TS EN 12354-1'e göre yapılan hesaplama ile TS EN ISO 140-4'e uygun yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4.20'de belirtilmiştir.

Sonuçlar karşılaştırıldığında alçak frekanslarda ölçüm sonuçlarının daha yüksek değerlere sahip olduğu, yüksek frekanslarda ise tam aksine hesaplama sonuçlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca ölçüm sonucu ile hesaplama sonuçlarının arasındaki fark alçak frekanslarda 3-4 dB aralığında iken yüksek frekanslarda bu fark yaklaşık 8 dB'e kadar çıkmaktadır. Elde edilen farkların frekansa bağlı değerleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Ölçüm sonucu ile hesaplama sonucu fark tablosu.

Frekans	Ölçüm Sonucu, R, dB	Hesaplama Sonucu, R, dB	Fark dB
125Hz	41,00	37,04	3,96
250Hz	39,40	36,36	3,04
500Hz	42,00	44,78	2,78
1000Hz	46,90	53,42	6,52
2000Hz	54,00	61,64	7,64

Hesaplama ve ölçüm sonuç değerleri ISO 717-1'e göre hesaplanarak elde edilen tek sayılı derecelendirmeler karşılaştırıldığında aradaki farkın 3dB olduğu saptanmıştır.

Teorik yöntem ile alan ölçümü arasında oluşan farkların nedenleri olarak şunlar sıralanabilir;

- TS EN 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modelindeki bazı girdi verileri literatür verilerinden faydalananak elde edilmiş ve ilgili formüllerde yerine koyulmuştur. Fakat bu değerler ile mevcut sahada yer alan yapı elemanlarının özellikleri farklılık gösterebilmektedir. Örnek olarak C_L , boyuna dalga hızı, Barron R. F. (2003) Ek C bölümünden alınarak 3800 m/s

olarak kabul edilmiştir. Bu kabulden sonra hesaplama modelinde yer alan kritik frekans hesabı yapılarak prosedür takip edilmiştir. Ayrıca η_{int} (iç kayıp faktörü) ve m' (birim alan kütlesi) de ilgili tablolardan alınarak formüllerde girdi olarak kullanılan diğer verilerdir.

- Mevcut yapının inşaat aşaması sırasında yapılan işçilik hataları nedeniyle ses yalıtım değerlerinde farklılık oluşabilmektedir. Örnek olarak tuğla duvar ile diğer yapı elemanlarının birleşiminde oluşan boşlukların tam olarak kapatılamaması ve bu bağlantı yerlerinde zayıf noktaların oluşması ya da tuğla duvarın yamukluğunun giderilmesi sırasında kullanılan sıva miktarının duvarın her yüzeyinde eşit olmaması gibi işçiliğe bağlı etmenler sebep olabilmektedir.

TS EN 12354-1 standardı ülkemizde geçerli olan yönetmelik tarafından tanımlanan hesaplama modeli olup, iki hacim arasındaki doğrudan ve yanal geçiş yollarının hesaba katılarak ses yalıtım değerinin bir sistem olarak hesaplanmasını tanımlanmaktadır. Bu standard, proje safhasında geçerli olup tasarım sırasında kullanılacak malzemeler, yapı elemanları arasındaki bağlantı tiplerinin belirlenmesi gibi tasarım kriterlerinin akustik açıdan yeterliliğini hesaplamaya yardımcı olmaktadır. Ancak ülkemizde yapı elamanı olarak kullanılan malzemelerin teknik verilerinin eksiliği nedeniyle bu standardın tam bir hesaplama modeli olarak kullanılması zor olmaktadır. Ayrıca hesaplama modelinin çok fazla kritere bağlı olması ayrıca uzun ve kompleks bir yöntem olması nedeniyle sadece akustik uzmanlar tarafından uygulanabilmesi yaygın bir metod olmasına engel teşkil etmektedir.

TS EN ISO 140-4 standardı da ilgili yönetmelikte alan ölçümü yapılmasında takip edilmesi zorunlu hale gelmiş bir metod olarak, uluslararası normlarda yapıların istenilen düzeyde akustik kriterlere uygunluğunu tespit etmekte kullanılmaktadır. Bu standard, inşaat tamamlandıktan sonra ya da belirli bir safhaya gelindiği zaman kontrolörler ya da yetkili idare tarafından uygulanmaktadır.

Sonuç olarak; mevcut sahanın ses yalıtım değerlerini TS EN ISO 140-4 standardına bağlı yapılan alan ölçüm sonuçları olarak kabul etmek daha doğrudur. Bununla birlikte TS EN 12354-1 standardında tanımlanan hesaplama modeli de proje aşamasında uygulanarak ses yalıtım indeksinin yeterliliğinin analizi, seçilen yapı

malzemelerin uygunluğu gibi temel kararların tasarım aşamasında değ erlendirilerek ilgili yönetmelikte istenilen akustik kriterlerin karşı lanması sağ lanabilir. Böylece inşaat tamamlandıktan sonra yapılması gerekli olabilecek tüm tadilatların, masrafların proje safhasında engellenmesi sağ lanarak inşaat süresinin uzamasına ve bütçenin artmasına engel olmak mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- Aşçıgil, M.** (2009). Karayolu Gürültü Haritalarının Hazırlanması : İstanbul Zincirlikuyu Ulaşım Hattı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü, İstanbul.
- Barron, R. F.** (2003). *Industrial Noise Control and Acoustics (2nd Edition)*. Newyork: Spon Press.
- Brüel & Kjaer.** (2000). Enviromental Noise, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S. Alındığı tarih: 31.05.2013, adres: <http://www.bksv.com/>
- Butkus, D. & Janusevicius, T. & Mazuolis, J.** (2011, May). *Building Partitions Acoustic Properties. The 8th Environmental Engineering International Conference*. Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius-Lithuania.
- Demirkale, S. Y.** (2007). *Çevre ve Yapı Akustiği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Demirkale, S. Y.** (2008). Yapı Elemanlarında Sesin Yayılması: Çeşitli Duvarların Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması.
- Gerretsen, E.** (1979). Calculation of the sound transmission between dwellings by partitions and fanking structures. *Applied Acoustics*, 12: 413–433.
- Hopkins, C.** (2007). *Sound Insulation*. Oxford: Elsevier.
- Naumann, K.** (2011). Performance of sound insulation of AAC in massive buildings –experience with EN 12354-1. *Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH*, Kloster Lehnin-Germany.
- Long, M.** (2006). *Architectural Acoustics*. Burlington: Elsevier Academic Press.
- Semprini, G. & Barbaresi, L.** (2008, June). *Acustical Properties of Light Brick Walls And Its Effect on Flanking Transmission. Euronoise Acoustics '08 Conference*. Palais des Congres de Paris, Paris-France.
- Simmons, C.** (2009). Managing Uncertainty in Building Acoustics : Comparisons of Predictions Using the EN 12354 Standards to Measurements. *Doctoral Thesis*, Luleå University of Technology, Luleå.
- Simons, M. W. & Waters, J.R.** (2004). *Sound Control in Buildings: A Guide to Part E of the Building Regulations*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Scrosati, C. & Scamoni, F. & Valentini F.** (2008, June). *Controlling Sound Transmission Through Concrete Block Walls. Euronoise Acoustics '08 Conference*. Palais des Congres de Paris, Paris-France.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği.
- TS EN 12354-1.** (2006). Yapı Akustiği – Yapıların Akustik Performansının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar

Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 140-4. (2006). Akustik – Yapılarda Ve Yapi Elemanlarında Ses Yalıtımının Ölçülmesi – Bölüm 4: Odalar Arasında Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımına Ait Alan Ölçmeleri, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

TS 2381-1 EN ISO 717-1. (2005). Akustik - Yapılarda Ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava İle Yayılan Sesin Yalıtımı, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

Warnock, A.C.C. (1998). Controlling Sound Transmission Through Concrete Block Walls. *Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada*. Alındığı tarih: 08.06.2013, adres: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ctu-sc/files/doc/ctu-sc/ctu-n13_eng.pdf/

Warnock, A.C.C. (2001). Specifying Acoustical Criteria for Buildings. *Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada*. Alındığı tarih: 10.06.2013, adres: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ctu-sc/files/doc/ctu-sc/ctu-n50_eng.pdf/

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hüsnü ÇAY
Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir / 1984
Adres: Şerifali / İSTANBUL
E-Posta: husnucay@hotmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü