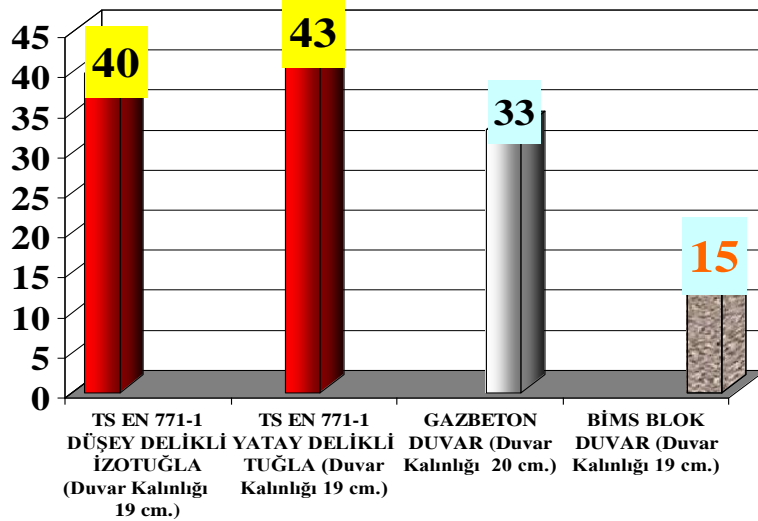


## TÜBİTAK SES DENEYİ ÖN AÇIKLAMASI

2006 ve 2007 yılında “duvar malzemeleri arasında akustik farkları ölçmek” için bir bilimsel çalışma planlanmış ve piyasadaki aynı kalınlıklara sahip 3 farklı yapı malzemesi TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ’ndeki Akustik Laboratuvara gönderilmiştir. Çalışmada tuğla için iki farklı ürün denemeye alınmıştır. Deneylerin sonuçları İTÜ Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Prof.Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale tarafından yorumlanarak bir makale hazırlanmıştır.

*Not: Bu çalışmada deneyin yapıldığı dönemde geçerli olan “deney standartları” kullanılmıştır. Bugün kullanılan deney standartları eski-geçersiz olsa da farklı yapı malzemelerinin karşılaştırması için bize bir fikir vermekte, aradaki farkları çok açık ortaya koymaktadır.*

EK’te detaylı olarak gönderdiğimiz Prof. Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale çalışmasına özet olarak baktığımızda karşımıza aşağıdaki tablo çıkmaktadır. (Tablodaki değerler dB olarak verilmiştir.)



Tuğla ve Bims ürünler için 19 cm kalınlık kullanılmış, Gazbeton üretimlerinde 19 cm. lik bir ürün olmadığı için en yakın ebat olan 20 cm. genişlik tercih edilmiştir.

**Deneyin sonuçlarından da anlaşılacağı gibi yapı malzemeleri arasında “akustik performans” son derece dramatik farklar içermektedir.**

**YAPI ELEMANLARINDA SESİN YAYILMASI,  
CEŞİTLİ DUVARLARIN SES GEÇİŞ KAYBI  
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**PROF. DR. SEVTAP YILMAZ DEMİRKALE  
İTÜ MİMARLIK FAKÜLTESİ**

**OCAK, 2008**

# İÇİNDEKİLER

## 1. TEK TABAKALI YAPI ELEMANLARINDA HAVA DOĞUŞLU SESİN YAYILMASI

- 1.1. Düşük Frekanslarda Ses Dalgasının Yayılması
- 1.2. Sertlik Etkisi ve Kütle Kanunu
- 1.3. Yüksek Frekanslarda Ses Dalgasının Yayılması
- 1.4. Panelin Kalınlığı ve Çakışma Etkisi
- 1.5. Yapı Malzemesinin Titreşim Emiciliği ve Kritik Frekans Etkisi

## 2. İKİ TABAKALI YAPI ELEMANLARINDA SESİN YAYILMASI

- 2.1. Düşük Frekans Bölgesinde
- 2.2. Orta Frekans Bölgesinde
- 2.3. Yüksek Frekans Bölgesinde
- 2.4. Yapı Konstrüksiyonunun Tabakalarını Ayırmanın Önemi
- 2.5. Geniş Boşluk Derinliğinin Önemi
- 2.6. Boşlukta Gözenekli Ses Yutucu Malzeme Kullanmanın Önemi
- 2.7. Boşlukda Yalıtımın Yoğunluğu
- 2.8. Yapı Tabakalarının Birbirinden Farklı Olmasının Önemi

## 3. ÇEŞİTLİ DUVAR KONSTRÜKSİYONLARINDA HAVA DOĞUŞLU SESLERİN YALITIMI

- 3.1. Tek Tabakalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı
- 3.2. Çift Tabakalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı
- 3.3. Kaplamalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı
- 3.4. Tuğla Duvarlarda Yalıtım Prensipleri
- 3.5. Tuğla Duvar Konstrüksiyonları

## 4. KOMPOZİT DUVARLARDAN SESİN YAYILMASI

## 5. HAVA İLE YAYILAN SESİN YALITIMI İÇİN TEK SAYILI BÜYÜKLÜK

## 6. SONUÇ

## 7. KAYNAKLAR

# 1. TEK TABAKALI YAPI ELEMANLARINDA HAVA DOĞUŞLU SESİN YAYILMASI

Hava doğuşlu seste, iletilen dalganın büyüklüğü önem kazanır. Bu büyüklüğün bulunmasında genel olarak ses geçiş katsayısı( $\tau$ ) ve ses geçiş kaybından (TL veya R) yararlanır, frekanslarda malzemenin farklı özellikleri etkin olduğu için kullanılan yöntemler frekansla bağlantılı olarak değişir.

Ortam sesi yalıtımı ses kaynağının yer aldığı ortamı alıcı ortamdaki bölücü eleman ile sağlanır. Havadaki ses dalgaları bölücü elemana çarparak, elemanın titreşimi sonucunda kaynak ortamından alıcı ortama geçer. Elemandan iletilen sesin şiddeti elemanın ses geçiş kaybına göre değişmektedir. Bölmeden iletilen sesin bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ses geçiş katsayısı,  $\tau$  'yu verir.

Elemanın ses geçiş kaybı TL ise bu katsayıya bağlı olarak,

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

$$TL = 10 \log \frac{\text{Bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{Bölmeden iletilen sesin şiddeti}} \quad (2)$$

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.

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log (s/a) \quad (3)$$

$L_1$ : Kaynak odasındaki ses basınç düzeyi, dB

$L_2$ : Alıcı odasındaki ses basınç düzeyi, dB

s : Sesi ileten duvarın alanı,  $m^2$

a : Alıcı odasının toplam emicilik değeri, sabin  $m^2$

$L_1-L_2$ : 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 malzemedeki ses geçişinin olmadığı anlamına gelir;  $\tau =1$  ise, tüm ses malzeme tarafından geçiriliyor yani malzeme akustik olarak saydam demek.  $\tau =1$  e örnek olarak açık pencereler yada duvardaki boşluklar olarak gösterilebilir. Eğer  $\tau = 0,2$  ise ortaya çıkan ses enerjisinin %20'si iletilmiş demektir.

Ses geçiş katsayısı aşağıda verilen bağıntı ile bulunabilir:

$$\tau = \frac{1}{10^{TL/10}} \quad (4)$$

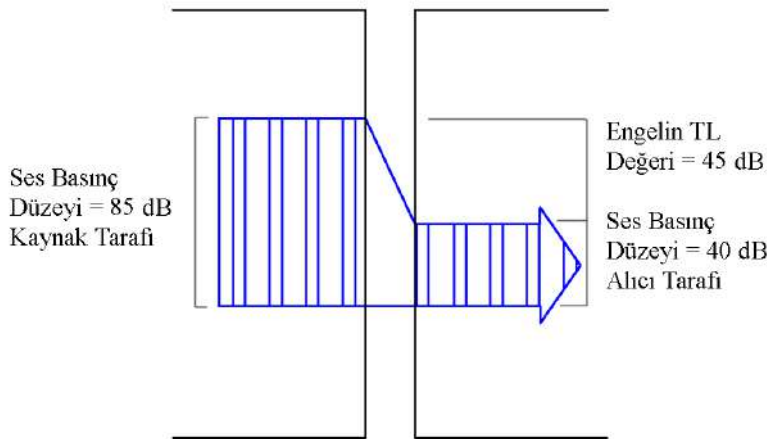
T.L. değerinin pratik olarak st limiti 70 dB kabul edilebilir.

Genellikle kullanılan duvar döşeme tipleri için  $\tau$  değerleri  $10^{-2}$  ile  $10^{-8}$  arasında değişmektedir. Örneğin 6 mm kalınlığındaki bir camın  $\tau$  değerleri  $7.8 \times 10^{-4}$  ve 20 cm kalınlığındaki beton döşemenin  $\tau$  değerleri yaklaşık  $6.3 \times 10^{-6}$  civarındadır. Bu tarz rakamlar algılanması g değerler oldukları için, bir elemanın iletim özelliği ses geçiş kaybı (TL) olarak tanımlanır.

Yukarıdaki bağıntıya bağlı olarak,  $\tau=1$  ise  $TL=0$ , ve eğer  $\tau=0$  ise TL tanımsız olur. Tabi ki  $\tau$  değerleri tam olarak 0 olan bir malzeme yaratmak mümkün değildir, ama eğer malzeme çok kalın ve ağır ise ve  $\tau$  değerleri 0'a çok yakın ise TL değerleri çok büyük olur. TL değerleri dB cinsinden verilir.

Örneğin, tuğla duvarın ses kaynağı tarafındaki ses basınç değerini 85 dB, algılayıcı tarafındaki ses basınç değerini 40 dB ise, malzemenin TL değerini Şekil 1 de görüldüğü gibi 45 dB'dir. Eğer aynı panelin kaynak tarafındaki ses basınç değerini 90 dB olursa, 5 nolu bağıntı kullanılarak alıcı tarafındaki değer 30 dB olacaktır. Bir panelin TL değerleri ne kadar büyük olursa sağladığı ses yalıtımı da o derecede büyük olur. TL değerleri 60 dB olan bir panelin ses yalıtımı özelliği TL değerleri 45 dB olan bir malzemeden daha iyidir.

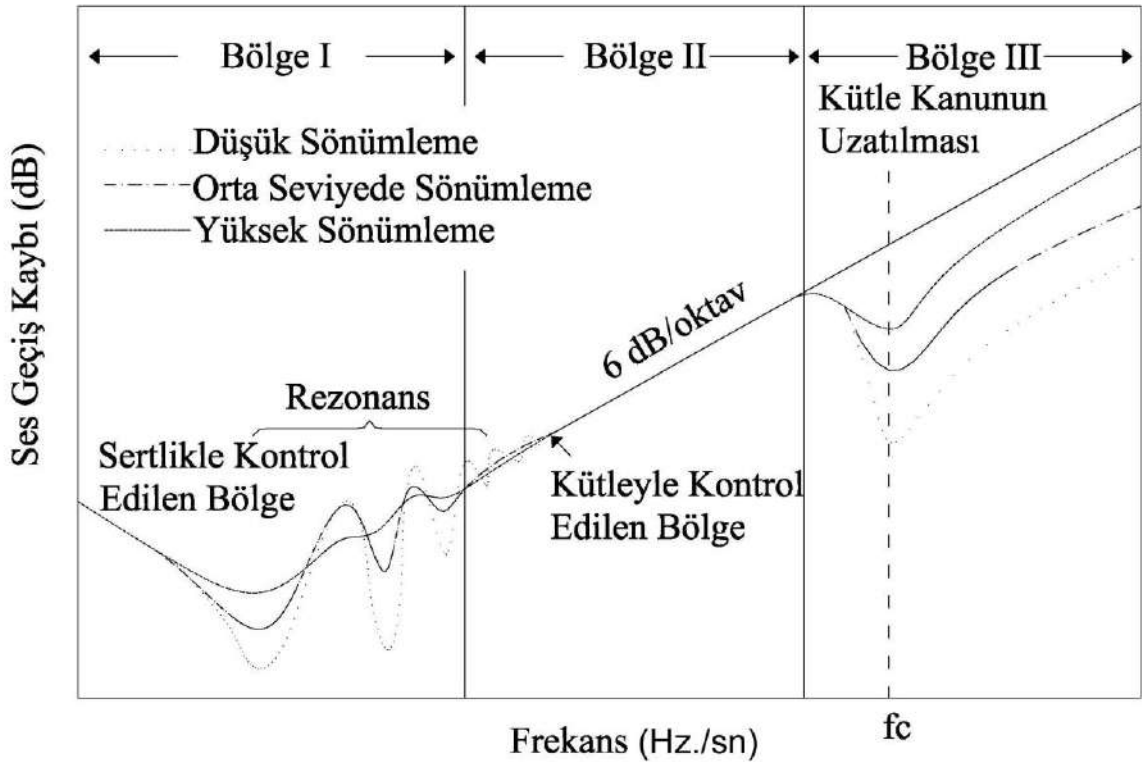
$$TL = SPL_{\text{kaynak tarafı}} - SPL_{\text{alıcı tarafı}} \quad (5)$$



**Şekil 1.** Bir malzemenin ses iletiminin tanımlanması

Ses dalgasının katı ortamlardaki davranışı frekansa ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Şekil 2 de, ses geçiş kaybı-frekans grafiğinde dalganın

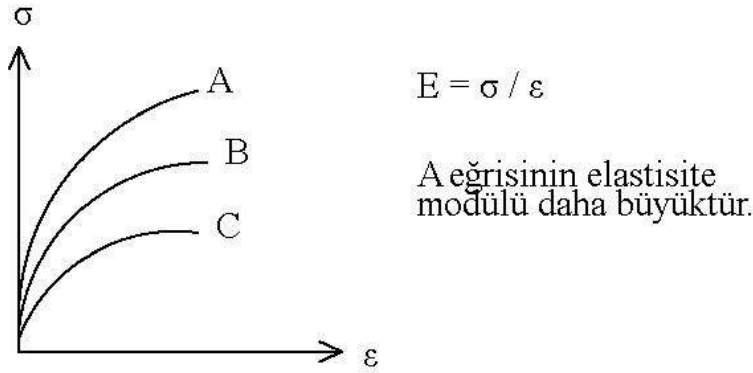
davranışı ve malzemenin hangi özelliğinin etkili olduğu şematik olarak ifade edilmiştir. Ses dalgasının davranışında belirgin farklar olduğu için grafik düşük, orta ve yüksek frekanslar olarak üç ayrı frekans bölgesine ayrılmış ve her bölge ayrı ayrı incelenmiştir. Genel olarak incelendiğinde, düşük frekanslarda malzemenin sertliği etkilidir. Frekans yükselip rezonans bölgesine girdiğinde ise ses geçiş kaybını malzemenin sönümlemesi etkiler. Orta frekans bölgesinde ise ses geçiş kaybı malzemenin kütlesine bağlıdır(1).



**Şekil 2.** Ses geçiş kaybı-frekans grafiği ve etkin malzeme özelliği (3)

### 1.1. Düşük Frekanslarda Ses Dalgasının Yayılması

Düşük frekanslarda ses dalgasının duvarda oluşturduğu hareketleri yapı elemanının boyutları, yüzey yoğunluğu ve kullanılan malzemenin sertliği kontrol eder. Malzemenin kütlesi ve sönümlemesi ise önemli değildir (4,6). Şekil 3 de görüldüğü gibi malzemelerin sertlikleri elastisite modülü ile, dolayısıyla mukavemeti ( $\sigma$ ) ve şekil değiştirmesi ( $\epsilon$ ) ile bağlantılıdır. Elastisite modülü ( $E$ ) ne kadar büyükse malzeme o kadar serttir. Malzemenin elastisite modülü ise mukavemet-şekil değiştirme grafiğinde eğrinin ilk açısı büyüdükçe büyür.



**Şekil 3. Mukavemet şekil değiştirme grafiği (4)**

Ses dalgasının davranışlarının malzeme sertliği tarafından kontrol edildiği bölge ile malzeme kütlesi tarafından kontrol edilen bölge arasında rezonans bölgesi bulunmaktadır. Rezonans frekansı aralığında ( $f_{n_x, n_y}$ ) bulunmasında 6 nolu bağıntı kullanılabilir.

$$f_{n_x, n_y} = 0.45c_L \cdot d \cdot \left[ \left( \frac{n_x}{I_x} \right)^2 + \left( \frac{n_y}{I_y} \right)^2 \right] \text{ Hz} \quad (6)$$

$c_L$ : Boylamsal dalgaların hızı (m/sn)

$d$ : Panelin et kalınlığı (m)

$I_x, I_y$ : Plağın boyutları (m)

$n_x, n_y$ : Bir birlerinden ayrı integral değerler olabilirler, en düşük rezonans frekansı için her iki değer de 1'dir.

Kütle kanunu bölgesi içinde ses geçiş kaybı:

- Frekansın her iki katı için 6 dB (yani 6 dB her oktavda) ve
- Yüzey yoğunluğunun her iki katı için 6 dB,
- (veya verilen malzeme kalınlığının her iki katı için ) 6 dB artar.

Kütle kanununa göre, homojen yapı elemanları ( cam, ahşap, beton, vb. ) için, TL ve ses iletim sınıfı derecesi (STC), yüzey ağırlığının iki kat artmasıyla 5 dB artar.

Ses geçiş kaybı sesin yapı elemanına geliş açısına bağlı olarak değişir:

- Sesin yapı elemanına dik varış açılarından en büyük değerleri alır.

- Dikten yataya geçiş açıları azalır.
- Yatay doğrultuda teorik değeri 0'dır.
- 0° – 90° arası bütün varış açıları için geçerli olan yayınlık ses alanı için bu etkiye dayanarak dik ses varış doğrultusuna oranla yaklaşık 3 dB lik bir indirim meydana gelir.

Ortalama Ses Geçiş Kaybı için ( $R_{ort}$ ) kütle kanunundan;

$$TL_{ort} = 20 \log m + 10 \text{ yazılabilir.} \quad (7)$$

Orta frekanslarda havanın ve sınırlayıcı elemanın rölatif empedansı da önem kazanır. Bir malzemenin empedansı ( $Z$ ), bu karakteristik empedans olarak da geçmektedir, malzemenin yoğunluğu ( $\rho$ ) ile sesin hızının ( $c$ ) çarpımıdır. Empedansların yakın değerlere sahip olduğu durumlarda sesin büyük bölümü iletilir, empedanslar farklı ise ses yansır. Örnek verilirse; havadaki ses tuğla veya beton gibi daha yoğun ve sert bir malzeme ile karşılaştığında yansır(1).

## 1.2. Sertlik Etkisi ve Kütle Kanunu

Kütle kanunu panelin her parçasının yanındaki parçayı herhangi bir etkide bulunmadığı kabulü üzerine kuruludur. Ama bu sadece eğer malzemenin sertlik değeri 0 olursa mümkün olur, yani malzeme tam olarak gevşek ise. Bu yüzden kütle kanunu gevşek kütle kanunu olarak da adlandırılır.

Gerçek bir panel gevşek değildir. Gerçek panelin her parçası birbirinden bağımsız değildir, elastik kuvvetlerle birbirine bağlıdır. Panelin herhangi bir parçasının bükme kuvvetine maruz kalması malzemede bükülme dalgası oluşmasına yol açar. Başka bir deyişle malzemenin sertliği parçalar arasındaki elastik bağla oluşur ve bu da TL değerini etkiler.

Panelin sertliği, onun TL değerini azaltır.

Birçok malzeme için yüzey kütlesi ve sertlik ilişkili değerlerdir. Örneğin bir malzemenin yüzey kütlesi o malzemenin kalınlığı artınca artar, bu aynı zamanda malzemenin sertlik derecesini de artırır. Yüzey kütlesinin ve sertliğin TL değeri üzerinde ters bir etkisi olduğuna göre kütle kanunu gerçek paneller için tam olarak geçerli değildir. Diğer bir deyişle, tek katmanlı bir panelin TL değeri sadece malzemenin kütlesinin bir fonksiyonu değildir, şu üç faktöre bağlıdır:

Kütle

Sertlik (stiffness)

Sönümlenme (damping)

Ama kütlenin en önemli faktör olduğu bilinmelidir. Aslında, gerçek bir panelin TL değeri frekansın veya kütlenin iki katına çıkması halinde kütle yasasının belirttiği gibi 6 dB değil 5 dB artar(1).



### 1.3.Yüksek Frekanslarda Ses Dalgasının Yayılması

Yüksek frekanslarda etkili davranış biçimi çakışma etkisidir. Çakışma etkisi kritik frekansın ( $f_c$ ) üzerindeki her frekansta, belirli bir açı ile gelen sesin havadaki dalga boyunun eğilme dalgasının boyuna eşit olduğu veya ondan büyük olduğu sürece yaşanır. Çakışma etkisi altında “teorik olarak” sesin azaltılma uğramadan tamamen iletimi söz konusu olmasına rağmen, uygulamada bu durum tam olarak gerçekleşmez ve bu bölgede ses dalgasının davranışını malzemenin eğilme sertliği ve yapı elemanı bünyesinde oluşan eğilme dalgaları belirler.

Kritik Frekans ( $f_c$ ) iletilen sesin havadaki dalga boyu ile malzemedeki eğilme dalgasının boyunun aynı olduğu en düşük frekansta ve bağıntı 8 kullanılarak bulunabilir(1).

$$f_c = \frac{c^2}{Kh} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad (8)$$

c: Dalganın havadaki hızı (m/sn)

h: Malzemenin et kalınlığı (m)

$\rho$ : Malzemenin yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

E: Malzemenin elastisite modülü ( $\text{N/m}^2$ )

K: Katsayı 1,8 olmaktadır.

### 1.4. Panelin Kalınlığı ve Çakışma Etkisi

Bu alanın en karakteristik özelliği akustik boşluk olarak tabir edilen düşüştür ve çakışma çukuru olarak adlandırılır. Bu düşüş bazı sert materyaller için 15 dB civarındadır, ve panelin üzerine etki eden ses dalgasının dalga boyu ile paneldeki eğilme dalgasının dalga boyu çakıştığı zaman üretilen rezonans olayı nedeniyle oluşur. Bu çakışma rezonansın bir tipidir, çakışma frekansı şu üç maddeye bağlıdır:

Maddenin yoğunluğu,

Maddenin elastikiyet modülü,

Malzemenin kalınlığına bağlıdır.

Belirli bir malzeme için elastiklik değeri ve yoğunluk sabit değerlerdir. Bu yüzden maddenin çakışma frekansı o maddenin kalınlığı ile ilişkilidir, daha doğrusu onunla ters orantılıdır.

$$\text{Çakışma Frekansı} \approx 1 / \text{panel kalınlığı} \quad (9)$$

Çakışma frekansı TL değerini ters oranda etkilediği için, onun etkisini azaltmak için çakışma frekansı konuşma aralığını etkilemeyen frekans aralığına çekilebilir.

Kalınlığına bağlı olduğu için, malzemenin kalınlığı değiştirilerek çakışma frekansı da değiştirilebilir. Panel kalınlığının azaltılması, malzemenin yüzey kütlesini azalttığı için, TL değerini de azaltır. Bu yüzden çakışma frekansını artırmak için malzeme kalınlığını azaltırken dikkatli olmak gereklidir. Genelde kalın bir kütle halinde uygulanan beton, tuğla ve taş için çakışma frekansı genelde 100 Hz gibi düşük bir seviyededir. 100 Hz'in altındaki değerler binadaki ses problemleri incelenirken nadiren dikkate alınır.

Genelde çakışma frekansı ince kütleler halinde uygulanan alçıpan, cam, kontrplak gibi malzemelerde dikkate alınır. Bu alan kritik alandır, çünkü hem konuşma bilgisi bu alanda oluşur, hem de bu alanda kulağın ses hassasiyeti oldukça fazladır. Tablo 1 de birçok güncel yapı malzemesinin fiziksel özellikleri vermektedir. Tablo 1 de görüldüğü gibi 200 mm kalınlığındaki tuğlanın kritik frekansı 115 Hz. olup bu değer uygulama frekans aralığının altındadır.

Malzeme sertliği arttıkça, plato yüksekliği azalır ve ses yalıtım performansı azalır. Tam tersi olarak malzeme yumuşaklaştıkça, plato yüksekliği artar ve ses yalıtım performansı artar. Malzeme daha yumuşak oldukça, plato genişliği azalır ve sesi daha iyi yalıtır. Kurşunun ve alçı panonun plato genişliği çelikten daha azdır. Alçı panoya vurulduğunda tok bir ses çıkarır ancak çelik çınlar. Bu sebepten ötürü çelik havalandırma kanalları sesi kolay iletir ve içten alçıyla kaplanmaları gerekir. Kurşunun ağır ve esnemeye dirençsiz bir yapı elemanı olarak iyi akustik özellikleri burada göze çarpar. Çelik, alüminyuma göre yine üstündür.

Pratikte sık kullanılan tek katlı yapı elemanları ne yeterli dirençli ne de yeterli dirençsizdir. Böyle yapı elemanlarının ses geçiş kaybı değerleri kütle kanunun belirttiği değerlerin çok altında kalır(1).

**Tablo1.** Malzemelerin fiziksel özellikleri

| Malzeme   | Kalınlık<br>(mm) | Kritik Frekansı<br>(Hz) |
|-----------|------------------|-------------------------|
| Çelik     | 3                | 4.000                   |
| Alüminyum | 3                | 4.000                   |
| Beton     | 200              | 110                     |
| Tuğla     | 200              | 115                     |
| Cam       | 3                | 5.000                   |
| Alçı      | 13               | 2.500                   |
| Kurşun    | 3                | 17.000                  |
| Kontrplak | 13               | 1.700                   |
| Vinil     | 3                | 10.000                  |

## 1.5. Yapı Malzemesinin Titreşim Emiciliği Ve Kritik Frekans Etkisi

Rezonans çukurunun etkisini azaltmanın bir yöntemi de yapı malzemesinin ses titreşimi emiciliğini ( sönümlemesini ) arttırmaktır. Bu özellik arttıkça, çakışma çukuru düzleşecektir.

Yapı malzemelerine, viskoelastik malzemeler kullanarak damping eklemek mümkündür. Çeşitli tiplerde visko – elastik malzemeler vardır. Bu mastikler yapı malzemesinin üzerine püskürtülür ya da sürülür. Başka bir yöntem de, visko – elastik bir malzeme olan polimer filmin, malzeme üzerine yapıştırılmasıdır. Bazı filmler, etiket şeklinde üretildiğinden, kullanımları oldukça kolaydır.

Mastik ve filmler, genellikle, iki tabaka malzeme arasına yerleştirilir. Bunlar aynı malzeme olabildiği gibi, farklı malzemeler de olabilir. Örneğin iki kontrplak tabakası arasına damping bir tabaka yerleştirilebilir. Bu malzemenin ses geçiş kaybı, aynı kalınlıktaki tek tabaka kontrplaktan oldukça yüksektir.

Titreşim emme özelliği, ses geçiş kaybı – frekans ilişkisindeki kütle kontrollü bölgeye olan etkisi çok azdır ya da hiç yoktur. Sadece sertlik kontrollü bölgede etkilidir. Titreşim emici malzemeler, rezonans halindeki eğimli ve titreşimli enerjileri emerek, ısı enerjisine dönüştürür. Bu özelliğe sahip malzemeler, sahip, çelik, alüminyum ve cam gibi sert malzemelerde etkilidir(1).

## 2. İKİ TABAKALI YAPI ELEMANLARINDA SESİN YAYILMASI

### 2.1. Düşük Frekans Bölgesinde

Çok düşük frekanslarda ve aradaki hava boşluğunun genişliği sesin dalga boyundan çok küçük olduğu durumlarda hava tabakası iki katmanı bağlayan yumuşak bir yay gibi davranır. Eğer iki panelde de ses geçiş kaybı malzeme kütlesi tarafından kontrol ediliyorsa duvarın kütle kanununa uyduğu düşünülebilir. Bu özellikle çok hafif katmanlı ve hava tabakası genişliği çok küçük olan paneller için geçerlidir. Fakat bu ikinci bir sorunu da beraberinde getirir. Bu sorun kütle-hava-kütle rezonansı veya çift tabakalı duvar rezonansı olarak adlandırılmaktadır.

### 2.2. Orta Frekans Bölgesinde

Ses geçiş kaybı bu bölgede karakteristik empedanslarının uyumsuzluklarına bağlı olarak değişir, bu sebeple hava tabakalı çift duvar uygulaması iyi sonuçlar verir. Fakat yine de alınan sonuçlar teorik hesaplardaki kadar yüksek olmamaktadır. Bunun sebebi duvar panellerinin birbirlerine bağlanmış olması veya aradaki hava tabakasının bağlantı görevi görmesi olabilmektedir. Çift tabakalı tuğla duvarlarında yalıtım değeri yüksektir.

### 2.3. Yüksek Frekans Bölgesinde

Hava tabakalı çift katmanlı duvarlarda düşük frekanslardaki ses geçiş kaybı tek tabakalı hafif panel kadar olmakla beraber yüksek frekanslarda ses geçiş kaybı iyileşir. Katmanları aynı özelliklere sahip duvarlar için rezonans frekansı aşağıdaki formül yardımıyla ile bulunabilir.

$$f_{res} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2\rho c^2}{md \cdot \cos^2 \theta}} \text{ Hz} \quad (10)$$

- m: Bir panelin yüzey yoğunluğu (kg/m<sup>2</sup>)  
 ρ: Katmanların yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 θ: Ses dalgasının geliş açısı

Dalgalar normal açı ile geldiklerinde en düşük rezonans frekansı ( $f_0$ ) genelde kullanılan frekans aralığı dışındadır. Fakat daha eğimli açılarda  $f_0$  değeri beş katına kadar çıkabilir ve kullanılan frekans aralığı içinde kalabilir. Bazı hafif panelli uygulamalarda ise normal açılarda bile rezonans frekansı kullanılan frekans aralığı içinde olabilir ve çift duvarın yalıtımı tek duvardan bile daha az olabilir. Tuğla duvarların yüzey yoğunluğu önemlidir, gerekli olan hava boşluğu bırakılarak yapılan uygulamalarda çift duvarların yalıtım değeri artmaktadır.

Eğik açılardaki ve hafif panellerdeki yüksek rezonans frekansı etkisini azaltmak için hava boşluğundaki havanın yatay hareketi emici malzemeler kullanılarak engellenebilir ve bu sayede düşük ve yüksek frekanslarda uygun sonuçlar elde edilebilir. Kullanılacak dolgu malzemesinin havaya mukavemeti<sup>1</sup> yüksek, içsel sönümlenmesi<sup>2</sup> iyi ve rijitliği yüksek olmalıdır. Cam yünü gibi lifli yumuşak malzemeler bu şartları sağlamaktadır. Böyle bir uygulama yapılması durumunda en düşük rezonans frekansı ( $f_0$ ) aşağıda verilmektedir.

$$f_0 \cong \frac{170}{\sqrt{md}} \text{ Hz / sn} \quad (11)$$

Ayrıca dolgu malzemesi olarak kullanılacak malzemenin boşluklu fakat hava geçirgen olmaması da gerekir. Hava geçirgen olması durumunda hava doğuşlu sesin yalıtım değeri düşer ve ses geçiş kaybı değeri yetersiz kalır.

Çift tabakalı bir duvarda oluşan ses geçiş kaybı (TL) aşağıda verilen bağıntı ile bulunabilir;

$$TL = 20 \log_{10}(m d) + K \text{ dB} \quad (12)$$

- TL: 100-3200Hz arasında ortalama ses iletim kaybı (dB)  
 m: Birleştirilmiş yüzey yoğunlukları (kg/m<sup>2</sup>)  
 d: Hava boşluğunun genişliği (m)

<sup>1</sup> Havaya mukavemeti: Air resistance

<sup>2</sup> İçsel sönümlenme: Internal damping

K: Katsayı, 34 alınır.

Verilen bu formülle bulunan değer 500 Hz'e denk gelmektedir. Daha düşük ve yüksek frekanslar için 6dB/oktav'lık eğim kabul edilebilir.

Bir çift katmanlı duvarın ses geçiş kaybı iki panel arasındaki hacmin genişliğine, yüzey yoğunluğuna ve yapım tarzına bağlıdır. Tuğlanın yüzey yoğunluğu ve iki tuğla duvar arasındaki hava boşluğu artıkça duvarın yalıtım değeri artmaktadır. Tuğla duvarının örülmesi çok önemlidir, eğer duvar örülürken harçlar aradaki hava boşluğuna kaçarsa iki duvar arasında köprü oluşturacağı için tuğla duvarın yalıtım değeri düşer. İki tuğla arasındaki rasgele ses gelişi için TL yaklaşık olarak aşağıda verilen bağıntı ile de hesaplanabilir(1):

$$TL = 20\log m + 13\log d + 20 \log f - 58 \quad (13)$$

m: Çift katmanlı bariyerin yüzey yoğunluğu kg / m<sup>2</sup>

d: Tabakalar arasındaki mesafe, cm, d > 2.5 cm için

f: Frekans

f = 500 hertz olduğu durum için eşitlik:

$$TL_{500} = 20\log m + 13\log d - 4 \quad (14)$$

yazılabilir.

#### 2.4. Yapı Konstrüksiyonunun Tabakalarını Ayırmanın Önemi

Duvar katmanlarının birbirlerine bağlanmadığı durumlarda bile arada bulunan hava tabakası katmanları birleştirme görevini görür ve bu bağlantıda hava tabakasının genişliği önem kazanır. Hava tabakasının genişliği sesin dalgaboyundan daha küçük ise kütle-hava-kütle rezonansı oluşur. Eğer dalgaboyundan daha büyük bir açıklık varsa hava boşluğu ayrı bir oda gibi ele alınır ve ses azaltımı duvar tabakalarının toplam azaltımından daha yüksek olur.

İdeal olarak, çok tabaka birbirine bağlı olmamalıdır. Eğer bir şekilde, yapı elemanları, birbirlerinden bütünüyle bağımsız olacak şekilde birleştirilebilecek olsalardı, bu sistemin ses geçiş kaybı, her tabakanın ses geçiş kayıpları toplamına eşit olacaktı. Ancak gerçek bir yapı sisteminde bu tam anlamıyla mümkün değildir. Çünkü strüktürel açıdan bağımsız olsalar da, iki tabaka birbirine, altta ve üstte, döşeme ve tavan ile bağlıdır. Ayrıca, iki tabakayı içten birbirine bağlayan elemanlar da mevcuttur(1).

## 2.5. Geniş Boşluk Derinliğinin Önemi

Boşluk rezonansının etkisini azaltmanın ikinci yolu da iki tuğla duvar arasındaki boşluğun genişliğini arttırmaktır. Boşluktaki havanın rezonans frekansı, boşluğun genişliğiyle ters orantılıdır. Eğer genişlik etkili bir şekilde arttırılırsa, boşluktan kaynaklanan rezonans çukurunu, bizi etkilemeyen bir frekans aralığına düşürmek mümkündür. Yalnız, bu artış, uygulanabilir pratik ölçüler içinde yapılmalıdır.

İki tabakalı bir yapı panelinde, malzemeler arasında çok dar bir hava boşluğu bırakılırsa, ses geçiş kaybının performansı, tek tabakalı bir panelden daha kötü olabilir. Bunun sebebi boşluğun oluşturduğu rezonans çukurudur.

Eğer iki duvar arasında hava boşluğu varsa, bu duvarın TL değeri arasındaki hava boşluğunun genişliğine bağlıdır. Bu genişlik 30 cm den fazla ise bu duvarın TL değeri tek tek iki duvarın TL değerinin toplamına eşittir. Bu genişlik 30 cm' den az ise duvarın TL değeri iki duvardan ağır olanın TL değerine aradaki hava boşluğuna bağlı olarak değerler eklenir. Bu değerler Tablo 2'de hava boşluğuna bağlı olarak her frekanstaki eklenecek değerler gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Çift katmanlı duvarlarda hava boşluğuna bağlı olarak TL değerini bulmak için eklenecek değerler

| Hava Boşluğu Genişliği | Merkez Oktav Bant Frekansları, Hz |     |     |     |      |      |      |
|------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
|                        | 63                                | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 3,75 cm                | 0                                 | 0   | 1   | 2   | 5    | 8    | 12   |
| 7,5 cm                 | 0                                 | 1   | 3   | 6   | 10   | 14   | 16   |
| 15 cm                  | 2                                 | 4   | 8   | 11  | 15   | 17   | 19   |

## 2.6. Boşlukta Gözenekli Ses Yutucu Malzeme Kullanmanın Önemi

Yukarıda anlatıldığı gibi iki tabakalı tuğla duvarların ses geçiş kaybı – frekans bağıntısına ek olarak başka bir rezonans çukuru vardır. Bu çukur, boşluktaki havanın rezonansına bağlı olarak oluşur. Boşluğun genişliği azaldıkça sertliği artar ve rezonans daha yüksek bir frekansta oluşur. Boşluğun arttırılması, daha alçak frekanslarda rezonans oluşturur.

Tuğla duvarın boşluğuna fiberglas ya da açık gözenekli plastik köpük gibi gözenekli bir ses yutucu malzeme koymak gerekir. Fiberglas, boşluğun eni ve boyunu kaplayacak şekilde konulmalıdır. Kalınlığın, boşluğun genişliğinin dörtte üçünü aşmasına gerek yoktur, çünkü bu artış, ses geçiş kaybında çok az bir gelişme sağlar.

## 2.7. Boşlukda Yalıtımın Yoğunluğu

Tuğla duvarlarda düşük yoğunluklu cam yünü kullanıldığında ( $< 11 \text{ kg / m}^2$ ), hava boşluğunun tamamen kapatılması en iyi çözümdür. Ancak mineral yünü kullanıldığında ( $> 11 \text{ kg / m}^2$ ), hava boşluğu tamamen doldurulmamalıdır, çünkü sert malzeme ses köprüsü olarak sesi boşluğa iletir(1).

## 2.8. Yapı Tabakalarının Birbirinden Farklı Olmasının Önemi

Tek tabakalı tuğla duvarlarda olduğu gibi çift tabakalı tuğla duvarlarda da rezonans çukuru vardır. Yalnız, rezonans problemi, bu tip sistemlerde daha karışıktır. Ancak rezonans etkisi, farklı rezonans frekansına sahip malzemeler kullanılarak azaltılabilir. Eğer iki tabaka birbiriyle aynıysa, yani iki tuğla duvardan olmuşsa ve aynı şekilde uygulanmışsa (aynı ölçüde veya aynı bağlantı aralıklarıyla), aynı rezonans frekansına sahip olacaklardır. Sonuç olarak, rezonans etkisi vurgulanmış ve rezonans çukuru artırmıştır. Bu sebeple, farklı kalınlıkta tuğla duvar kullanmak ya da farklı malzemeler kullanmak bu çukurun şiddetini azaltır. Tuğla duvar kullanılarak çift duvar uygulamaları yapılırken farklı kalınlıkta tuğla duvar kullanılmalıdır.

Aralarında hava boşluğu olan ve bu alan ses yutucu malzemelerle kaplanmış çift katmanlı duvarlarda (çift panel, duvar, cam birleşimi gibi) ses geçiş kaybı değerini hesaplamak zordur.

Bu tarz uygulamalarda hesaplamada sıkıntılar yaşandığına dair nedenler şunlardır:

Hava doğuşlu ses birinci tuğla duvardan ve hava boşluğundan geçip ikinci tuğla duvara geldiğinde, birinci ve ikinci duvar arasında oluşmuş herhangi bir köprü ses titreşim enerjisini ikinci duvara iletebilir. Sıklıkla çift katmanlı duvarların uygulanması sırasında duvarlar arasında ve döşeme birleşimlerinde mekanik köprüler oluşmakta ve ses titreşim enerjisinin ikinci panele geçmesine imkân vermektedir.

Bağımsız panellerin ses enerjisinin kolaylıkla geçişine imkan veren ve panel boyutlarına ve sınırlarına bağlı olan rezonans frekanslarının tespiti çok zordur.

Ses yutucu malzemelerin ara hacimdeki miktarları ve yerleşimleri çift katmanlı tuğla duvardan ses geçişini etkileyebilir. O halde genel kural olarak çift tabakalı yapı bileşenlerinin hava doğuşlu ses yalıtımı bakımından yeterli olabilmesi için rezonans frekansının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekir. Kabukların ağırlığın ve aradaki hava tabakası derinliğinin artması bileşenin bu kurala uymasını sağlar.

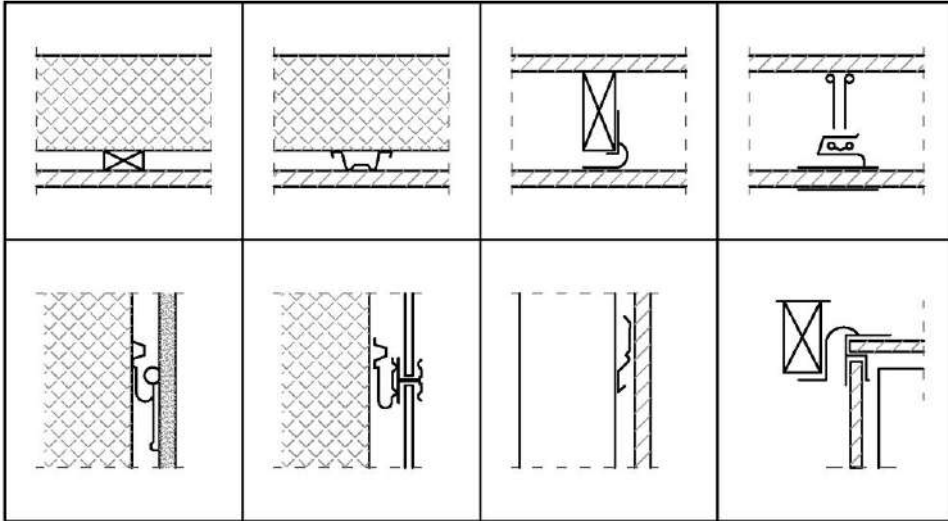
Rezonans frekansın ( $f_r$ ) ve min. hava tabakası derinliği ( $d_{\min}$ ) ile ilgili hususlar, hava tabakası ses akımını yeterince etkileyecek nitelikte ise geçerlidir. Bu nitelik en basit şekliyle hava tabakası elyafı yalıtım malzemeleri ile doldurularak elde edilir. Ancak malzemenin çok yumuşak ve esnek olması şarttır.

Çift tuğla duvar arasındaki boşluk hakikatten boş bırakılırsa o zaman etkisi ancak mevcut kalınlığının  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{4}$  'ü varmış gibidir.

- İki tuğla duvarın farklı yüzey ağırlıkları olmalı,
- Boşluk ses emici malzeme içermeli,
- Tuğla duvarlar arası hava köprüsü olmamalı,
- Duvarlar konstrüksiyon yöntemi ile birbirlerine bağlanmamış olmalı

Eğer duvarları birbirlerine bağlamak gerekiyorsa direnç uyumsuzluğu sağlanmalıdır. Bu da; ağır paneller ile hafif bağlar, hafif paneller ile ağır bağlar kullanılması gerektiğini gösterir

Çift tabakalı duvarlarda parçalar arasında lif levha, cam lifi levha gibi elastik katmanlar, yarı elastik bağlantılar ve elastik bağlantılar ucuz olmakla birlikte fazla bir işçilik gerektirmemekte ve çift parçalı bölmenin STC değerini 2–5 dB artırmaktadırlar. Şekil 4 de tuğla olup çift tabakalı duvarlarda iyileştirme detayları verilmektedir(1).



**Şekil 4.** Çift Tabakalı Duvarlarda İyileştirme Detayları

### 3. ÇEŞİTLİ DUVAR KONSTRÜKSİYONLARINDA HAVA DOĞUŞLU SESLERİN YALITIMI

#### 3.1. Tek Tabakalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı

Yığma duvarların ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi, kütle kanunu prensiplerine uymaktadır, ancak, yığma duvarlar, harç ve tuğla, taş gibi bileşenlerden oluştuğu için kompozittir ve belirli bir bağıntıya gidilemez. Bu sistemlerde ses geçiş kaybını olumsuz etkileyen, blokları birleştiren harç, blokların gözenekli yapısı veya blokların ortasındaki deliklerdir. Harç ve blok birleşim yerleri de, ses geçişinde zayıf bölgeler olabilmektedir.



Yığma duvarları oluşturan hafif beton blokların gözenekli yapısı ve ortalarındaki boşluk, ses geçiş kaybını olumsuz etkilediği gibi, harcın sürülmesini de zorlaştırabilir. Zaten dar bir alana uygulanan harç, nitelikli işçiler tarafından uygulanmazsa, ses geçişi artar.

Yığma duvarlar oluşturulurken tuğla kullanılan sistemlerde harç, tüm yüzeye yayıldığı için, ses geçişi azdır. Beton bloklarla oluşturulmuş bir duvar, aynı kalınlığa ve ağırlığa sahip tuğla duvarla karşılaştırıldığında görülecektir ki, tuğla duvar daha az ses geçirir ve daha iyi yalıtım sağlar. Tek tabakalı yığma duvarlarında rezonans çukuru 125 Hz – 4kHz frekans aralığında yoktur ve ses geçiş kaybı, frekans ve kalınlığa bağlı olarak artmaktadır.

İki duvarı birbirinden ayırmanın başka bir yolu da, boşlukta titreşimi emen yüksek yoğunluklu fiberglas gibi malzemeler kullanmaktır. Bu malzeme, iç kısımda, tek bir tarafa yerleştirilir. Duvarları birbirine bağlayan metal bağlantıların iki parçadan oluşması gerekir. Çünkü tek parça metal elemanlar ses köprüsü gibi çalışarak ses geçiş kaybını 7 dB' den fazla düşürürler(1).

### **3.2. Çift Tabakalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı**

Genel olarak boşluklu sistemlerde, aradaki hava boşluğu dar olduğunda, düşük frekanslarda, boşluk rezonansı oluşur. Ancak, günümüzde sık olarak kullanılan boşluklu yığma duvarlar, aynı ağırlığa sahip tek duvarlardan daha iyi ses geçiş kaybına sahiptir. Ses yalıtımındaki bu artışın sebebi, hava boşluğunun, tabakaların birbirinden ayrılması sonucu oluşmasıdır. Yani neden değil, doğal sonuçtur.

Taşıma sistemleri de dahil olmak üzere, birbirinden tamamen ayrılmış yığma sistemler üst derecede yalıtım sağlar. Bu sistemlerin hava boşluğunda gözenekli ses yutucu malzeme vardır ve aradaki hava boşluğunun arttırılması, tabakaların ayrılmasını arttırır.

Hava boşluğunun arttırılmasının bir olumlu nedeni de, iki tuğla duvarın birbirine çok yakın olması halinde, harçların boşlukta birbirine yapışması ve ses köprüsü oluşturmasıdır. İdeal olan hava boşluğu genişliği 100 mm' dir. Genellikle kullanılan genişlik ise, 50 mm' dir ve aynı ağırlığa sahip tek yığma duvardan daha iyi bir ses geçiş kaybına sahiptir(1).

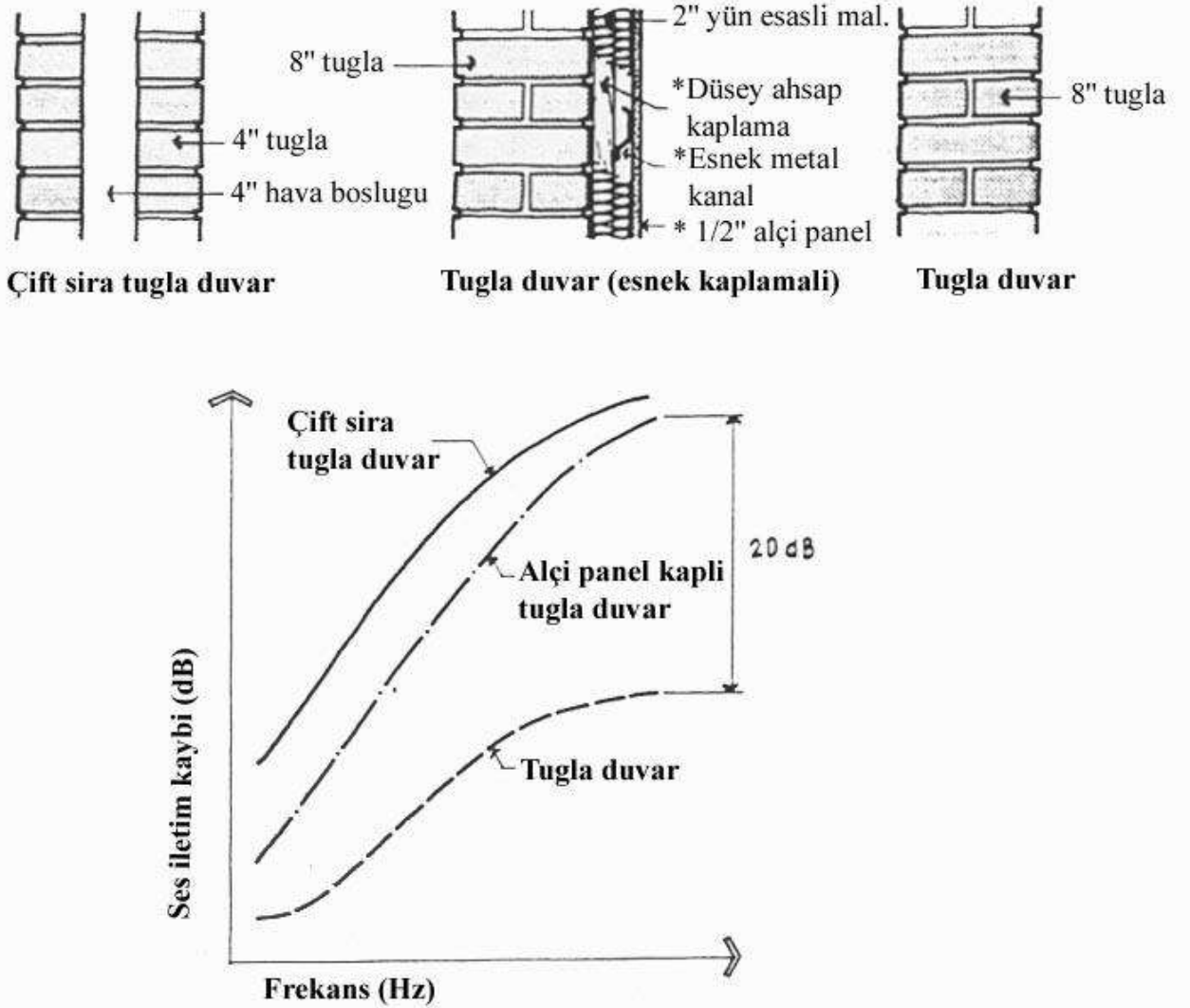
### **3.3. Kaplamalı Yığma Duvarlarda Sesin Yalıtımı**

Yığma duvarlara, metal ya da ahşap bağlantı parçalarıyla alçı paneller birleştirilebilir. Bu sayede, yığma duvarın ses yalıtımı arttırılır. Daha fazla yalıtım da, aradaki hava boşluğunda fiberglas kullanılarak ya da alçı panel ve duvar arasında esnek kanal kullanımıyla gerçekleştirir(1)..

### **3.4. Tuğla Duvarlarda Yalıtım Prensipleri**

Şekil 5 deki örneklerde, 8 inc (20 cm) kalınlığındaki tuğla duvarın TL performansı, direk ses iletim yollarının kesilmesiyle arttırılmıştır. Duvarın yalıtımı, 4 inc (10 cm)

kalınlığında iki eşit parçaya ayrılarak ve arada 4 inc (10 cm) hava boşluğu bırakılarak arttırılabildiği gibi, içten düşey bir kaplamayla duvara monte edilmiş ½ inc (12 mm) kalınlığındaki alçı panolarla da arttırılabilir(1)..



**Şekil 5.** Farklı tuğla tipi duvarların ses geçiş kaybı değerlerinin karşılaştırılması

### 3.5. Tuğla Duvar Konstrüksiyonları

Tuğla duvarlı sistemlerde yüksek TL alınması için yapılması gerekenler aşağıda özetlenmiştir:

1. Tuğla duvarların üstü sağlam harçla sıvanmalı ve tüm birleşim yerleri doldurulmalı ve gözenekler kapatılmalıdır.
2. Derzleri kum veya harçla kapatılmış ağır veya orta ağırlıkta tuğlalar kullanılmalıdır.

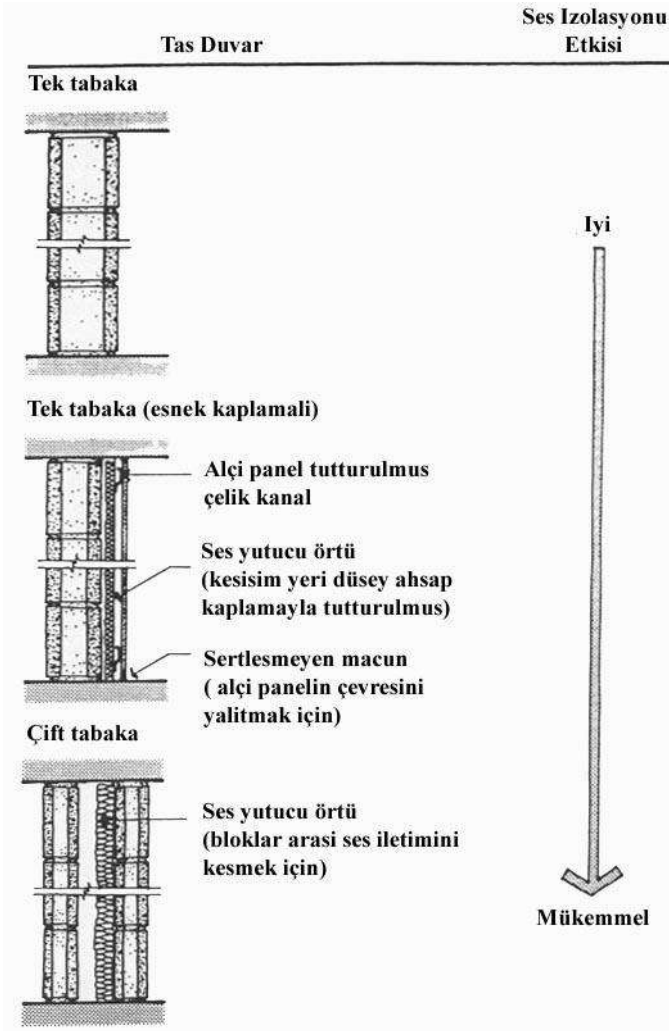
3. Tek duvarlar için, hava sızdırmazlığın sağlanması için, duvarın bir yüzü, alçı panolarla, üç katlı kauçuk blok doldurucuyla ya da kalın reçine esaslı boyayla kapatılmalıdır.

4. Tek duvarları iyileştirmek için, arada hava boşluğu bırakılarak alçı panolar konulabilir. Hava boşluğunun içine düşük yoğunluklu cam yünü, vb ses yutucu malzeme de eklenmelidir. Başka bir çözüm de, lifli yalıtımı olmayan esnek bir malzemeyle duvarın kaplanmasıdır.

5. Tüm elektrik tesisatı harç üstüne monte edilmelidir.

6. Sert tel bağlantılarından kaçınılmalıdır, çünkü özellikle çift duvarlarda, ses köprüsü gibi çalışarak TL'yi 7 dB' den fazla düşürürler(1).

Çift duvarlı sistemlerde arada hava boşluğu bırakılarak ve lifli malzeme yerleştirilerek elde edilecek TL gelişimi şekil 6 da verilmiştir:

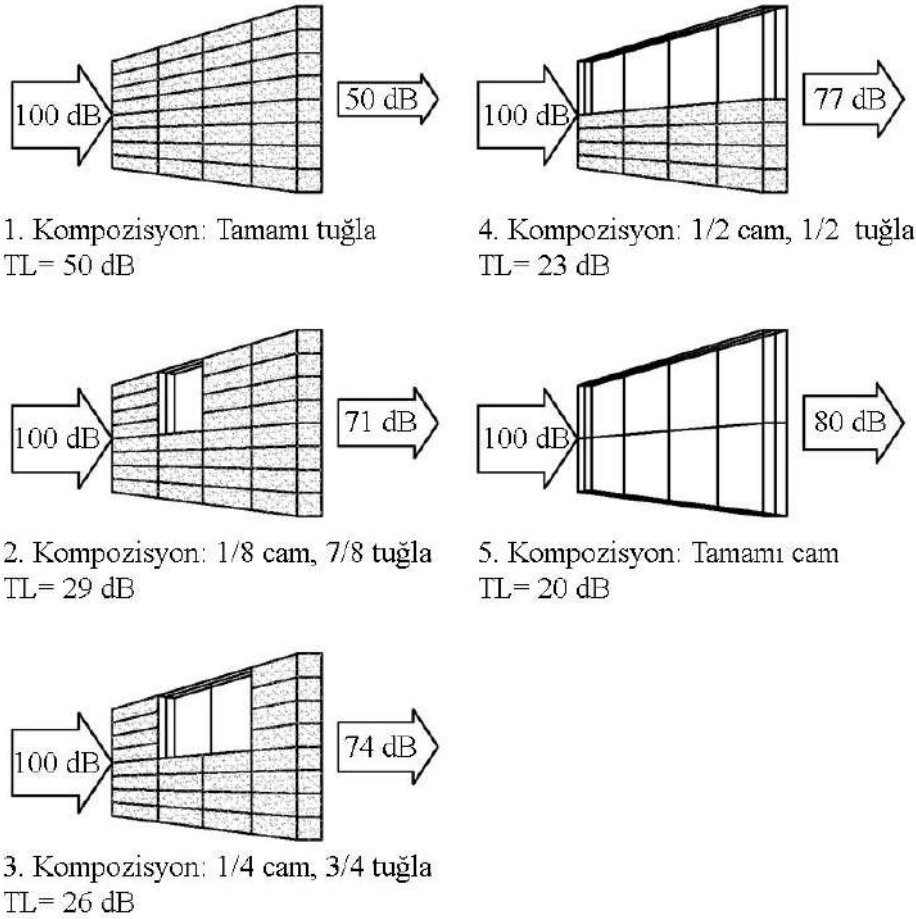


**Şekil 6.** Tuğla duvarların ses geçiş kaybının iyileştirilmesi

#### 4. KOMPOZİT DUVARLARDAN SESİN YAYILMASI

Bir yapıda duvarlar çoğu durumda tek bir yapı elemanından oluşmazlar; bölücülüğü sağlayan tuğla veya benzeri malzemelerden yapılan gövde dışında kapı ve pencere gibi diğer fonksiyonları sağlayan elemanların bütünü duvarı oluşturur. Kapı ve pencere gibi yapı elemanların ses geçiş kaybı değerleri masif duvara göre daha düşük olduğu için duvarın tamamının ses geçiş kaybı değeri düşük ses geçiş kaybı değerine daha yakın olur.

Şekil 7'de çeşitli tuğla duvar kompozisyonlarda oluşturulan duvarlar ve bu kompozisyonların ses geçiş kaybı üzerindeki etkisi görülebilir(1)



**Şekil 7.**Çeşitli Kompozisyonlarda Tuğladan Oluşmuş Kompozit Duvarlar İçin Son Ses Geçiş Kaybı Değeri

$S_1, S_2, S_3, \dots$ , alanlarına sahip bir duvarın ses geçiş kaybı değerleri  $TL_1, TL_2, TL_3$ , ise kompozit duvarın ses geçiş kaybı değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$TL = 10 \log \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots}{10^{-TL/10} S_1 + 10^{-TL_2/10} S_2 + 10^{-TL_3/10} S_3 + \dots + 10\dots} \quad (15)$$

Bir bölücünün toplam alanının bir kısmının bir T.L. değeri olduğu ve bir başka kısmının, farklı malzemelerden üretilenin farklı bir T.L. değeri olduğu kabul edilir. Bölücünün ortalama T.L. değeri, T.L. değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmez. Bölücünün T.L. değerinin bulunması için bu iki kısmın ortalama  $\tau$  'sunun bulunması gerekir. Ortalama  $\tau$  ( $\tau_{av}$ ) aşağıdaki denklemden elde edilebilir [1].

$$\tau_{av} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \tau_3 S_3 + \dots + \tau_n S_n}{S} = \frac{T}{S} \quad (16)$$

$\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots$  = bir bölücünün farklı elemanlarının ses geçiş katsayıları

$S_1, S_2, S_3, \dots$  = Farklı elemanlarının alanları

S = bölücünün tüm alanı

Kompozit bölücünün gerçek yalıtımı ses geçiş kaybı düşük olan elemanın verdiği ses geçiş kaybına daha yakındır.

Tablo 3 de bazı yapı malzemelerinin ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir(1).

**Tablo 3.** Bazı yapı malzemelerinin ses geçiş kayıpları, dB

| Malzeme                          | Oktav Bant Frekansları (Hz) |     |     |      |      |      |
|----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                                  | 125                         | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Tuğla (10 cm)                    | 30                          | 36  | 37  | 37   | 37   | 43   |
| Klinker blok boşluklu (20 cm)    | 33                          | 33  | 33  | 39   | 45   | 51   |
| Hafif beton blok, boyalı (15 cm) | 38                          | 36  | 40  | 45   | 50   | 56   |

## 5. HAVA İLE YAYILAN SESİN YALITIMI İÇİN TEK SAYILI BÜYÜKLÜK

Yapı elemanının performansını değerlendirmek için kullanılan değerler, aynı zamanda binanın performansını da değerlendirmek için kullanılabilir. Bu büyüklükler 1/3 oktav bantlarda hesaplandığı gibi, oktav bantlarda da olabilir. Benzer durumlarda elemanın performansını gösterecek tek sayılı değerler uluslararası standart ISO 717-1'de anlatıldığı gibi elde edilebilir, örneğin  $R_w(C; C_{tr})$ . (1). ISO 717-1'de verilen metoda göre, kaydırma yapıldıktan sonra 500 Hz' de referans eğrisinin desibel cinsinden değeridir.

### Hava doğuşlu ses için;

Saha testi:

Standartlaştırılmış Ses Seviye farkı

$D_{nT}$

Ağırlıklı Standartlaştırılmış Ses Seviye farkı  $D_{nTw}$

Laboratuar testi:

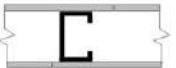

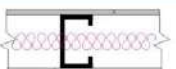




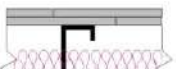

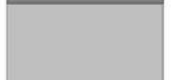


Ses azalma indeksi  $R$

Ağırlıklı ses azalma indeksi  $R_w$

Bazı yönetmeliklerde kullanılmaktadır.

Tablo 4'de bazı tipik duvar konstrüksiyonları için ses yalıtım değerleri verilmiştir[2].

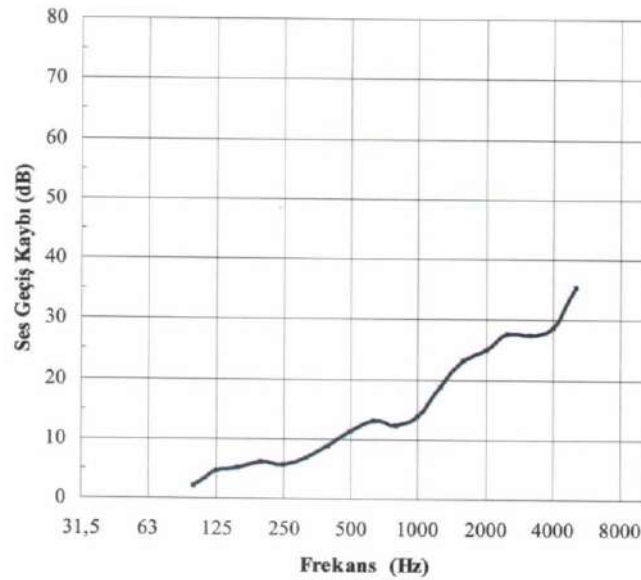
**Tablo 4.** Bazı tipik duvar konstrüksiyonları için ses yalıtım değerleri [2].

| Performans $R_w$ |   | Duvarlar- bazı tipik duvar konstrüksiyonları   |
|------------------|---|--|
| 35-40            | <br>  | Her iki yüzeyinde 1x12,5 mm alçıpan levha olan metal taşıyıcılı duvar (toplam duvar kalınlığı 75mm)<br><br>100mm kalınlığında blok duvar (düşük yoğunluklu 52 kg/m <sup>2</sup> ) bir yüzeyi 12 mm sıvalı  |
| 40-45            | <br>  | Her iki yüzeyinde 1x12,5 mm alçıpan levha, duvar boşluğunda cam yünü/ kaya yünü ve 48mm kalınlığında metal taşıyıcılı duvar ( toplam kalınlık 75mm)<br><br>100mm kalınlığında blok duvar (orta yoğunluklu 140 kg/m <sup>2</sup> ) bir yüzeyi 12 mm sıvalı  |
| 45-50            | <br><br>    | Her iki yüzeyinde 2x12,5 mm alçıpan levha olan 70mm kalınlığında metal taşıyıcılı duvar (toplam duvar kalınlığı 122mm)<br><br>115 mm kalınlığında tuğla duvar, her iki yüzeyi yüzeyi 12 mm sıvalı<br><br>100 mm kalınlığında blok duvar (orta yoğunluklu 140 kg/m <sup>2</sup> ) her iki yüzeyi 12 mm sıvalı   |
| 50-55            | <br><br> | Her iki yüzeyinde 2x12,5 mm alçıpan levha, duvar boşluğunda cam yünü/ kaya yünü ve 150 mm kalınlığında metal taşıyıcılı duvar ( toplam kalınlık 198mm)<br><br>225 mm kalınlığında tuğla duvar, her iki yüzeyi yüzeyi 12 mm sıvalı<br><br>215 mm kalınlığında blok duvar (yüksek yoğunluklu 140 kg/m <sup>2</sup> ) her iki   |
| 55-60            | <br>  | Her iki yüzeyinde 2x12,5 mm alçıpan levha, duvar boşluğunda cam yünü/ kaya yünü ve 60mm kalınlığında şaşırtmalı sabitlenen metal taşıyıcılı duvar ( toplam kalınlık 178mm)<br><br>100 mm kalınlığında blok duvar (yüksek yoğunluklu 200 kg/m <sup>2</sup> ), bir yüzeyi 12 mm sıvalı, diğer yüzey ise 50mm duvar boşluğunda cam yünü/ kaya yünü dolgu ile metal taşıyıcılara sabitlenmiş 1x12,5 mm alçıpan levha |

Tablo 5,6,7,8, ve şekil 8,9,10,11' de çeşitli kalınlıklarda ve çeşitli tip duvarların ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir (3).

**Tablo 5.** 19 cm kalınlığında bims bloklü (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

| Frekans<br>(Hz) | Ses Geçiş Kaybı<br>(dB) | Hesaplanan Ağırlıklı<br>Ses Azaltımı İndisi<br>$R_w$<br>(dB) |
|-----------------|-------------------------|--|
| 100             | 2,1                     | 15   |
| 125             | 4,6                     |  |
| 160             | 4,9                     |  |
| 200             | 5,9                     |  |
| 250             | 5,4                     |  |
| 315             | 6,7                     |  |
| 400             | 8,7                     |  |
| 500             | 11,2                    |  |
| 630             | 13,0                    |  |
| 800             | 12,2                    |  |
| 1000            | 13,7                    |  |
| 1250            | 18,6                    |  |
| 1600            | 23,1                    |  |
| 2000            | 24,7                    |  |
| 2500            | 27,5                    |  |
| 3150            | 27,4                    |  |
| 4000            | 28,6                    |  |
| 5000            | 35,3                    |  |

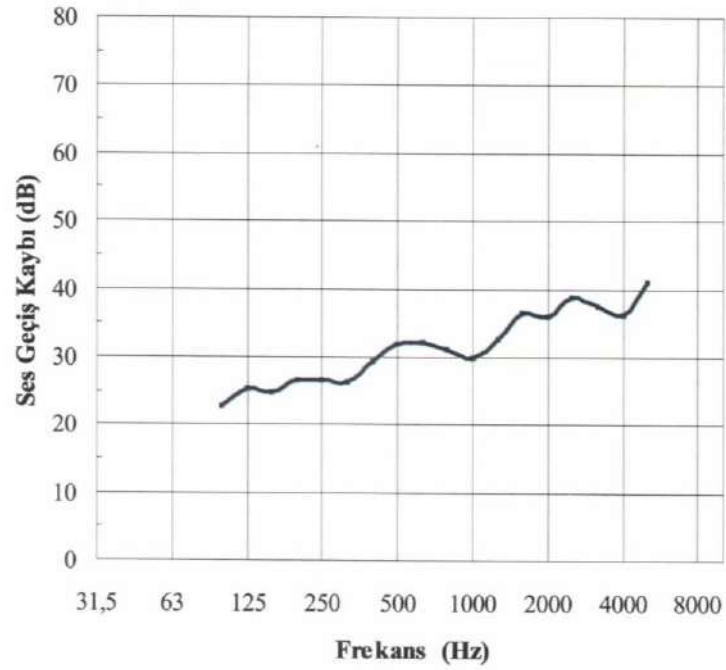


**Şekil 8.** 19 cm kalınlığında bims bloklü (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)



**Tablo 6.** 20 cm kalınlığında gaz betonlu (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

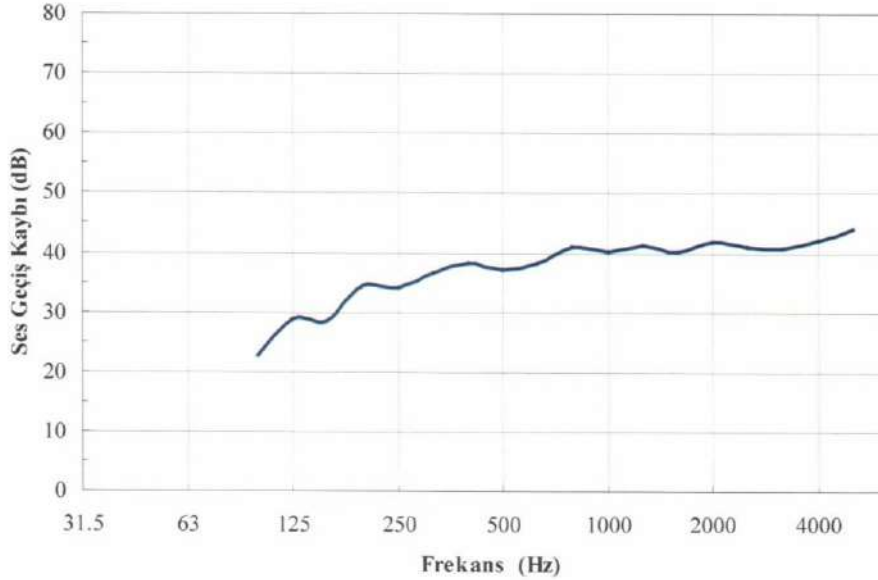
| Frekans<br>(Hz) | Ses Geçiş Kaybı<br>(dB) | Hesaplanan Ağırlıklı<br>Ses Azaltımı İndisi<br>$R_w$<br>(dB) |
|-----------------|-------------------------|--|
| 100             | 22,5                    | 33   |
| 125             | 25,0                    |  |
| 160             | 24,5                    |  |
| 200             | 26,5                    |  |
| 250             | 26,5                    |  |
| 315             | 26,2                    |  |
| 400             | 29,1                    |  |
| 500             | 31,6                    |  |
| 630             | 32,0                    |  |
| 800             | 31,1                    |  |
| 1000            | 29,8                    |  |
| 1250            | 32,5                    |  |
| 1600            | 36,2                    |  |
| 2000            | 35,9                    |  |
| 2500            | 38,6                    |  |
| 3150            | 37,4                    |  |
| 4000            | 36,1                    |  |
| 5000            | 40,8                    |  |



**Şekil 9.** 20 cm kalınlığında gaz betonlu (sıvasız) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

**Tablo 7.** Düşey delikli 19 cm kalınlığında sıvasız düşey delikli hafif tuğla (TS-EN 771-1) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

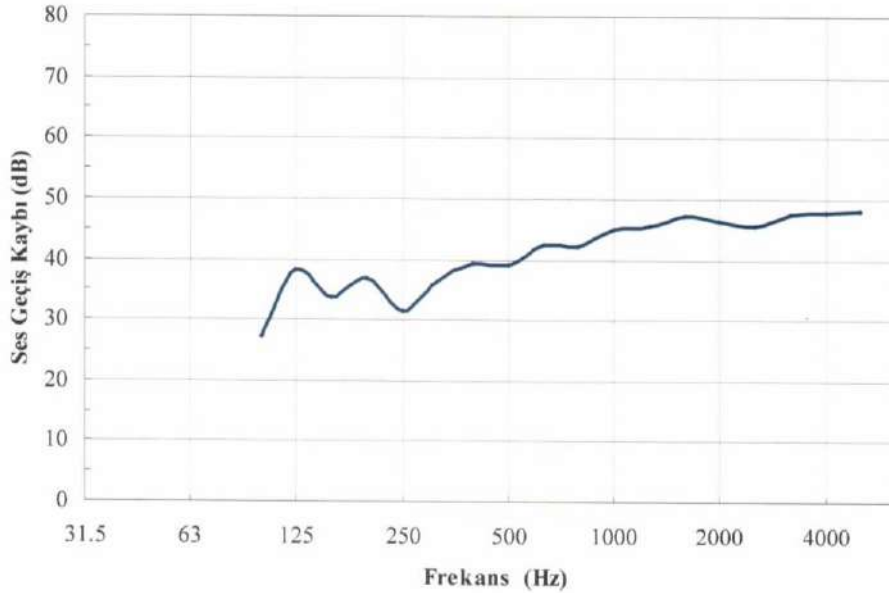
| Frekans<br>(Hz) | Ses Geçiş Kaybı<br>(dB) | Ağırlıklı<br>Ses Azaltımı İndisi<br>$R_w$<br>(dB) |
|-----------------|-------------------------|---|
| 100             | 22,6                    | 40  |
| 125             | 28,9                    |   |
| 160             | 28,6                    |   |
| 200             | 34,2                    |   |
| 250             | 34,0                    |   |
| 315             | 36,5                    |   |
| 400             | 38,3                    |   |
| 500             | 37,0                    |   |
| 630             | 38,2                    |   |
| 800             | 40,9                    |   |
| 1000            | 40,1                    |   |
| 1250            | 41,3                    |   |
| 1600            | 40,1                    |   |
| 2000            | 41,9                    |   |
| 2500            | 41,0                    |   |
| 3150            | 40,8                    |   |
| 4000            | 42,0                    |   |
| 5000            | 44,0                    |   |



**Şekil 10.** Düşey delikli 19 cm kalınlığında sıvasız düşey delikli hafif tuğla (TS-EN 771-1) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

**Tablo 8.** Yatay delikli 19 cm. kalınlığındaki sıvasız yatay delikli tuğla (TS-EN 771-1) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

| Frekans<br>(Hz) | Ses Geçiş Kaybı<br>(dB) | Ağırlıklı<br>Ses Azaltımı İndisi<br>$R_w$<br>(dB) |
|-----------------|-------------------------|---|
| 100             | 27,4                    | 43  |
| 125             | 38,2                    |   |
| 160             | 33,6                    |   |
| 200             | 36,8                    |   |
| 250             | 31,5                    |   |
| 315             | 36,2                    |   |
| 400             | 39,4                    |   |
| 500             | 38,9                    |   |
| 630             | 42,5                    |   |
| 800             | 42,1                    |   |
| 1000            | 44,8                    |   |
| 1250            | 45,5                    |   |
| 1600            | 47,1                    |   |
| 2000            | 46,3                    |   |
| 2500            | 45,6                    |   |
| 3150            | 47,4                    |   |
| 4000            | 47,7                    |   |
| 5000            | 48,0                    |   |



**Şekil 11.** Yatay delikli 19 cm. kalınlığındaki sıvasız yatay delikli tuğla (TS-EN 771-1) duvarın ses geçiş kaybı değerleri, dB (3)

## 6. SONUÇ

Tablo 9 da TÜBİTAK UME de ölçülen dört tip duvarın ses geçiş kaybı değerleri ve  $R_w$  değerleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 9.** Ses geçiş kaybı ölçülen duvarların değerlerinin karşılaştırılması

| Frekans, Hz.            | Ses Geçiş Kaybı, dB               |                                   |   |   |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|
|                         | 19 cm bims bloklü duvar           | 20 cm gaz betonlu duvar           | Yatay delikli 19cm. sıvasız tuğla duvar | Düşey delikli 19 cm sıvasız tuğla duvar |
|                         | Yoğunluk<br>522 kg/m <sup>3</sup> | Yoğunluk<br>500 kg/m <sup>3</sup> | Yoğunluk<br>600 kg/m <sup>3</sup>       | Yoğunluk<br>800 kg/m <sup>3</sup>       |
| 100                     | 2,1                               | 22,5                              | 27,4                                    | 22,6                                    |
| 125                     | 4,6                               | 25,0                              | 38,2                                    | 28,9                                    |
| 160                     | 4,9                               | 24,5                              | 33,6                                    | 28,6                                    |
| 200                     | 5,9                               | 26,5                              | 36,8                                    | 34,2                                    |
| 250                     | 5,4                               | 26,5                              | 31,5                                    | 34,0                                    |
| 315                     | 6,7                               | 26,2                              | 36,2                                    | 36,5                                    |
| 400                     | 8,7                               | 29,1                              | 39,4                                    | 38,3                                    |
| 500                     | 11,2                              | 31,6                              | 38,9                                    | 37,0                                    |
| 630                     | 13,0                              | 32,0                              | 42,5                                    | 38,2                                    |
| 800                     | 12,2                              | 31,1                              | 42,1                                    | 40,9                                    |
| 1000                    | 13,7                              | 29,8                              | 44,8                                    | 40,1                                    |
| 1250                    | 18,6                              | 32,5                              | 45,5                                    | 42,3                                    |
| 1600                    | 23,1                              | 36,2                              | 47,1                                    | 40,1                                    |
| 2000                    | 24,7                              | 35,9                              | 46,3                                    | 41,9                                    |
| 2500                    | 27,5                              | 38,6                              | 45,6                                    | 41,0                                    |
| 3150                    | 27,4                              | 37,4                              | 47,4                                    | 40,8                                    |
| 4000                    | 28,6                              | 36,1                              | 47,7                                    | 42,0                                    |
| 5000                    | 35,3                              | 40,8                              | 48,0                                    | 44,0                                    |
| <b><math>R_w</math></b> | <b>15</b>                         | <b>33</b>                         | <b>43</b>                               | <b>40</b>                               |

**Tablo 9 da ölçülen değerler karşılaştırılırsa:**

Ses geçiş kaybı değerleri frekans bazında karşılaştırıldığında, 19 cm kalınlığında ve 522 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğundaki bims bloklü duvarın ses geçiş kaybı değerleri diğer duvarlara göre en düşük değerdedir. 20 cm. kalınlığında ve 500 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğundaki gaz beton örülen duvarın ses geçiş kaybı değerleri bims bloklü

duvara göre iyi, ama yatay ve düşey delikli tuğla duvarlara göre daha düşüktür. 19 cm kalınlığında ve  $800 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğundaki sıvasız düşey delikli tuğla duvarın ses geçiş kaybı değerleri 19 cm kalınlığında ve  $600 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğundaki sıvasız yatay delikli tuğla duvarın ses geçiş kaybı değerlerinden daha düşüktür. Yukarıda verilen duvar tiplerinden ses geçiş kaybı en yüksek olan 19 cm kalınlığında ve  $600 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğundaki sıvasız yatay delikli tuğla duvardır.

$R_w$  değerleri açısından karşılaştırılsa  $R_w$  değeri en yüksek olan duvar ses açısından en yalıtımlı duvardır. Yukarıdaki tabloya göre  $R_w$  değeri 43 olan tuğla duvar tipi gürültü sorunu açısından performansı en yüksek olan duvar tipidir. İkinci sırada  $R_w$  değeri 40 olan tuğla duvar tipi gelmektedir. Diğer duvarların  $R_w$  değerleri daha düşüktür. Duvarların sıvalanması ses yalıtımı açısından son derece önemlidir. Sıva duvarların ses geçiş kaybını artırır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Yılmaz Demirkale, Sevtap, "Çevre ve Yapı Akustiği", Birsen Yayınevi, Ocak 2007, İstanbul
2. Building Bulletin 93, 2003, Acoustic Design of Schools, Department for Education and Skills. The Stationary Office, London
3. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde ölçülen ses geçiş kaybı deney raporları