

# Lamine Panellerde Ses Yutma Katsayısı Değerlerinin Belirlenmesi

Mustafa ALTUNOK\*, Suat AYAN\*

\*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

## Araştırma Makalesi

### ÖZET

Bu çalışmada, iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.), tropik ağaçlardan iroko (*Chlorophora excelsa*) ve ara kat malzemesi olarak Uludağ köknarı (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) ağaçlarında elde edilmiş lamine panellerin ses yutma katsayısı değerleri, TS EN ISO 354 (2007)' de belirtilen esaslara uyularak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri, yoğunluğu daha yüksek olan iroko panellerin ses yutma katsayısı değerlerinden yüksek bulunmuştur. Ayrıca, düz panellerde düşük frekanslarda (160–200 Hz) en yüksek ses yutma katsayısı değeri elde edilirken, delikli panellerde orta frekanslarda (400–1000 Hz) en yüksek ses yutma katsayısı değeri elde edildiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağaç malzeme, laminasyon, ses yutma katsayısı, sarıçam, iroko ve Uludağ köknarı.

# Determination of Sound Absorption Coefficient Values on The Laminated Panels

### ABSTRACT

In this study, sound absorption coefficient values of laminated panels obtained from scotch pine (*Pinussylvestris* L.) as a coniferous tree, iroko (*Chlorophoraexcelsa*) as a tropic tree and Uludag fir (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) as a middle layer material were determined by complying with the principles specified in TS EN ISO 354 (2007).

In conclusion, sound absorption coefficient values of Scotch pine panels were found higher than sound absorption coefficient values of Iroko panels having a higher density. Moreover, it was also reported that flat panels obtain the highest sound absorption coefficient value in low frequency (160 – 200 Hz) while perforated panels obtain the highest sound absorption coefficient value in low frequency in medium frequencies (400 – 1000 Hz).

**Keywords:** Wooden material, lamination, sound absorption coefficient, pine, Iroko and Uludag fir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan kulağında işitsel duyulanma uyandırabilen maddesel ortam titreşimlerine ses denir (1). Gürültü ise istenmeyen ses olarak nitelendirilmektedir. Sesin insan kulağında daha iyi duyulanabilmesi için ihtiyaç duyulan metotları geliştirme işlemleri akustik biliminin konusudur. Akustik bilimi, sesin oluşumu, yalıtımı, duyulanımı ve özellikleri ile uğraşan bilim dalıdır (2).

Akustik, mimari tasarım parametrelerinin en önemli değişkenlerinden birisidir. Bir mekanın mimari planlaması sürecinde, gürültü sorununun ele alınması, tasarımla beraber çözülmesi gereken bir olgudur. Mimari anlamda ses ve tasarım ilişkisini, Romalı mimar Vitruvius' un "Mimarlık Üzerine On Kitap" (M.Ö. 25) adlı eserinde sesin tiyatrolarda iyi duyulanabilmesi ilkeleri konusunda verdiği bilgilerle ortaya koymuştur. 1853' de Dr. J.B. Upham' ın oditoryumlarda çınlama konusundaki ilk düşünceleri sonucunda bu konuda

çalışmalar başlamış ve 1898-1905 yılları arasında Prof. Wallace C. Sabine' nin ses üzerine yaptığı teorik çalışmalar ile bilimsel bir nitelik kazanmıştır (3).

Beton, alçı, alçıpan, halı ve bunlar gibi tipik materyallerin ses yutma katsayılarına ait standart değerler ders kitaplarında bulunmaktadır (4, 5).

Yapıların iç mekân akustiğinin sağlanmasında mimari tasarımın ardından en önemli olgu hacim içinde kullanılacak yapı malzemelerinin seçimidir. Hem dekoratif olması hem akustik özelliklerinin yanı sıra şekil ve form olarak istenilen özelliklerin verilebilmesi ağaç malzemeyi tercih edilir kılmaktadır. Masif ahşap olarak kullanılabilmesinin yanı sıra, değişik ölçülerde ve özelliklerde imal edilebilen ahşap esaslı malzeme olarak da kullanılabilir.

Akustiğin esas amacı işlevsel sesin iyi duyulmasını sağlamaktır. Bunun için ses yutucu, yansıtıcı ve saçıcı malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Ağaç malzeme bu üç işlevi de aynı anda yerine getirebilmektedir. Gelişen teknoloji ile malzeme üzerinde farklı işlemler yaparak bu üç temel özelliklerden birini arttırabilmekte dolayısıyla aynı ağaç

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: maltinok@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.3 , 117-125

malzemeye değişik şekil ve formlarda farklı amaçlarda kullanılabilirliktedir.

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik yutucu özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin yoğunluk değerlerine bağlı olarak düşük yoğunluktaki malzeme örneklerinin yüksek yoğunluktaki malzeme örneklerinden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (6). Malezya ağaçlarının ses yutma özelliklerinin araştırıldığı çalışmada; genel olarak, Malezya odununun daha düşük frekanslarda (< 500 Hz), beklendiği gibi, ses yutum katsayısı daha düşük bulunurken, yüksek frekansta (> 500 Hz) ses yutum katsayısı daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, daha yüksek frekans ve daha yüksek yoğunluk değerinde bir örnekleme ait ses yutum katsayısı daha düşük yoğunluğa sahip bir başka örnekleme karşılaştırılarak daha düşük bulunmuştur (7).

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik yutucu özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin delikli olan örneklerinin ses yutma özelliklerinin deliksiz olan örneklerden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (6). Yüzeydeki delik oranlarının ses yutma katsayısına etkisinin araştırıldığı benzer çalışmalarda delik oranlarının artmasıyla ses yutma katsayısını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (8, 9, 10).

Perfore panelin ses yutma performansının frekans aralığını genişletmek için, duvarın arkasındaki hava boşluğunun gözenekli fiberle doldurulduğu, gözenekli fiber ile duvar arasındaki hava-boşluğunun korunduğu bir çalışmada perfore panelin kalınlığının ve hava boşluğunun derinliğinin artırılması rezonans frekansını düşürmüştür. Dolayısıyla, hava sahasının derinliğini ve perfore panelin kalınlığını değiştirerek ses yutma performansının frekans aralığı genişletilmiştir (11).

Delikli plakaların, hava boşluğu katmanının ve gözenekli malzemelerin, ses yutma katsayısı değerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, delik oranlarının ve panel arkasında kullanılan gözenekli malzemelerin yoğunlukların, rezonans frekansına yakın frekans bantlarında daha yüksek ses yutma katsayısı elde edildiği bildirilmiştir (12, 13). Perfore plywoodun ses yutma katsayısı değerlerinin araştırıldığı bir çalışmada; düz yüzeyli plywoodun 125 ile 4000 Hz aralığında ses yutma katsayısının 0,02 ile 0,04 arasında değiştiğini, % 6, % 7 ve % 12 perforasyon oranında delinmiş plywoodların en yüksek ses yutma katsayısı değerlerinin 500 ve 1000 Hz' de 1,1 olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir (14).

Masif ağaç malzemedeki bulunan budak, çatlak, lif kıvrıklığı ve bu gibi kusurlar büyük boyutlu taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzemenin kullanım imkanlarını sınırlamaktadır. Kavisli elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça kullanılması fire oranını arttırdığından ekonomik olmamaktadır. Ayrıca, eğri forma göre kesilen ağaç malzemedeki diyagonal liflilik

oluşacağından, direncini olumsuz etkilemektedir. Laminasyon tekniği bu olumsuzlukların giderilmesinde kullanılmaktadır (15).

Lamine ağaç malzemeler mimaride ve iç dekorasyonda istenilen formda çalışma imkanı sağlamaktadır. Masif ağaç malzemeye göre estetik, ekonomik ve teknolojik özellikleri bakımından daha üstün olan lamine ağaç malzemelerin LVL (Laminated Veneer Lumber) mobilya üretiminde özellikle dolap masa, sandalye, raf ve döşemeli mobilyaların mukavemet gerektiren iskelet elemanlarında kullanılması önerilmektedir (16).

PAVc-D4 tutkalı ile lamine edilen sarıçam, Toros sediri, doğu kayını, ve sapsız meşe odunlarının kullanıldığı bir çalışmada; örneklerin, yoğunluk, termik genleşme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı, çalışma miktarı, basınç, eğilme, makaslama, çekme yarıma, yapışma ve elastikiyet modülleri belirlenmiştir. Lamine ahşap örnekleri ile masif ahşap örneklerinin bazı özelliklerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda lamine edilen ağaç malzeme örneklerinin bu özellikleri ile masif ahşap örneklerinden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir (17).

Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam odunları kullanılarak, PVAc-D4 tutkalı ile lamine edilen örneklerinin liflere paralel ve liflere dik yapışma dirençleri araştırılmış. Sonuç olarak; liflere paralel yapışma direncinde en yüksek değeri sapsız meşenin (15,58 N/mm<sup>2</sup>), en düşük değeri sarıçamın (3,09 N/mm<sup>2</sup>); liflere dik yapışma direncinde ise en yüksek değeri kayının (1,8567 N/mm<sup>2</sup>), en düşük değeri ise sarıçamın (0,9133 N/mm<sup>2</sup>) verdiği bildirilmiştir (18).

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin ses yutma katsayılarının belirlendiği birçok çalışma olmasına rağmen, lamine ahşap malzeme veya panellerin ses yutma katsayılarının belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada; sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.), iroko (*Chlorophora excelsa*) ve Uludağ göknarı (*Abies Bommulleriana* Matff.) odunlarından, çift bileşenli Polivinil asetat (PVAc-D4) kullanılarak elde edilen 3 katlı lamine ahşap panellerin, iki farklı yüzey şekli (düz ve delikli) ve iki farklı montaj tipinde (E 70 ve E 70+Taşyünü) ses yutma katsayısı değerleri araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzeme (Material)

#### 2.1.1. Ağaç malzeme (Wooden Material)

Bu çalışmada, mobilya ve dekorasyon endüstrisinde kullanımı yaygın olan iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) , tropik ağaçlardan iroko (*Chlorophora excelsa*) ve ara kat malzemesi olarak Uludağ göknarı (*Abies bommulleriana* Matff.) kullanılmıştır. Ağaç malzemeler Ankara' daki kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi yöntemle temin edilmiş ve seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerin düzgün, ardaksız, reaksiyon

odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına dikkat edilmiştir.

### 2.1.2. Tutkal (Adhesive)

Yapıştırıcı olarak, Polivinil asetat esaslı ve çift komponentli D4 (PVAc D4) tutkalı kullanılmıştır. Üretici firma tarafından tutkalın teknik özellikleri; yoğunluğu  $\sim 1,12 \text{ g/cm}^3$ , viskozitesi ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $13000 \pm 2000 \text{ mPas}$ , pH değeri  $\sim 3$ , jelleşme zamanı 6–10 dakika, tebeşirleşme noktası  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ , donma direnci  $-300 \text{ }^\circ\text{C}$ , sertleştirici oranı %5 (Turbo-Hardener 303,5), kullanım miktarı  $180\text{-}200 \text{ g/m}^2$ , uygulama şekli fırça ya da silindri sürme makinesi, depolama süresi  $\sim 12$  ay, presleme süresi;  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 15 dakika,  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 5 dakika,  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 dakika olarak verilmiştir (19).

### 2.1.3. Taş yünü (Rock wool)

Çalışmada, TS EN 13162 standartlarında 50 mm kalınlığında  $50 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğunda taş yünü kullanılmıştır. Kullanılan taş yününün teknik özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir (20).

Çizelge 1. Taş yününün teknik özellikleri

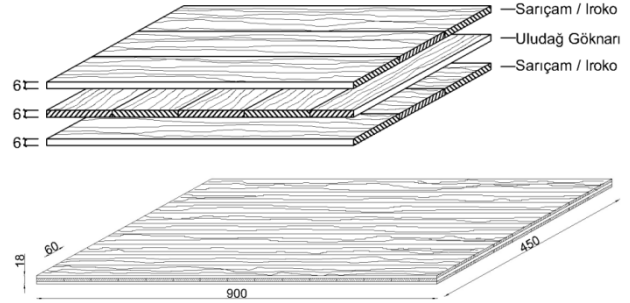
Yoğunluk	$50 \text{ kg/m}^3$
Isı iletkenlik katsayısı	$0,04 \text{ W/mK}$
Özgül ısı kapasitesi	$840 \text{ J/kgK}$
Su buharı difüzyon direnç faktörü	$\mu=1,1$
Dayanım sıcaklığı	$750 \text{ }^\circ\text{C}$
Ergime sıcaklığı	$1100 \text{ }^\circ\text{C}$
Çekme dayanımı	$7,9 \text{ kN/m}^2$
Yangın Dayanımı	TS EN 13501-1 A Sınıfı
Ses yutma katsayıları	125 Hz 0,30
	250 Hz 0,85
	500 Hz 1,03
	1000 Hz 1,07
	2000 Hz 1,06
	4000 Hz 1,00

## 2.2. Yöntem (Method)

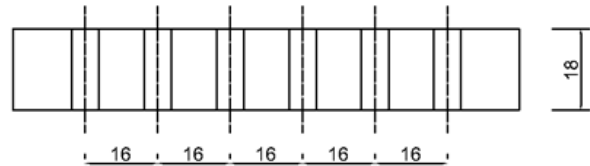
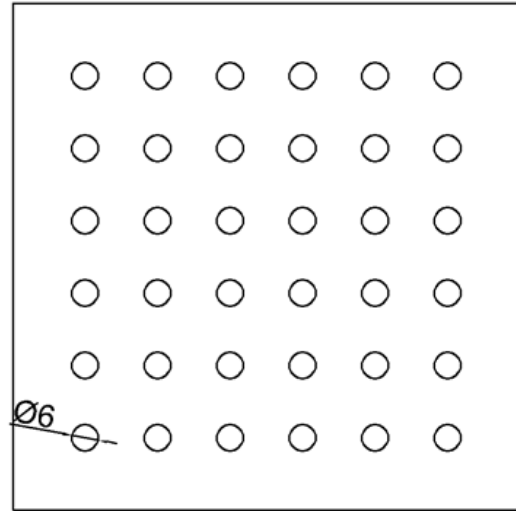
### 2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması (Preparation of test samples)

Lamine ağaç malzeme TS EN 386 (21) esaslarına uyularak, hava kurusu halindeki  $60 \times 6,5 \times 910$  mm ölçüsündeki sarıçam ve iroko lataları ile  $60 \times 6 \times 910$  mm ölçüsündeki göknar lataları, özel geliştirilmiş yatay deney presi kullanılarak yan yana düz birleştirme yapılarak alt, üst ve orta kat plakaları üretilmiştir. Yan yana birleştirmede üretici firmanın talimatları doğrultusunda sadece bir yüzeye  $\sim 200 \text{ gr/m}^2$  PVAc-D4 tutkalı sürülmüş ve  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de  $0,7 \text{ N/mm}^2$  lik pres basıncında 12 saat bekletilmiştir. Elde edilen sarıçam ve

iroko plakaları alt ve üst katmanları, göknar plakaları ise orta katmanı oluşturacak şekilde lif yönleri birbirine zıt preslenerek paneller üretilmiştir. Kalibre zımpara makinesinde paneller 18 mm net kalınlıkta, daire testere makinesinde paneller  $450 \times 900$  mm ölçülerinde ebatlanmıştır (Şekil 1). Üretilen sarıçam panellerin yoğunluğu  $0,49 \text{ gr/cm}^3$ , iroko panellerin yoğunluğu  $0,60 \text{ gr/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir. Daha sonra örnekler 2 gruba bölünmüş, grubun birinde, paneller 6 mm çapında, merkez aralıkları 16 mm olan delikler delinmiştir (Şekil 2). Böylece yüzeyde % 11,5 perforasyon oranı sağlanmıştır.



Şekil 1. Üretilen panel örneği (Ölçüler mm' dir)

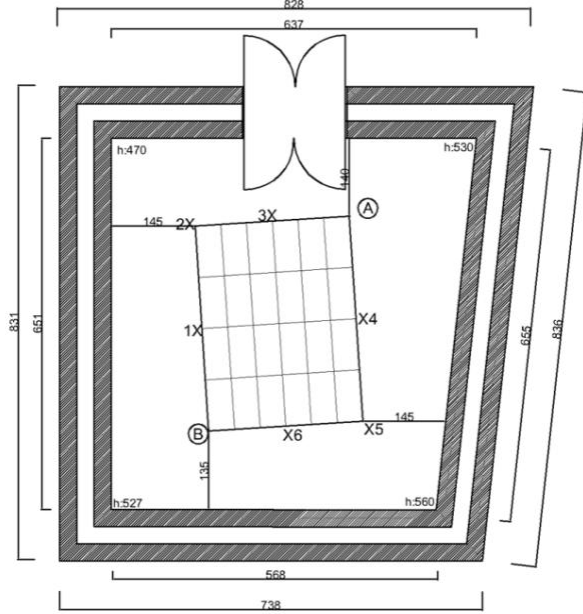


Şekil 2. Delikli panellerin delik şeması (Ölçüler mm' dir)

### 2.2.2. Deney yöntemi (Test method)

Ses yutma katsayılarının belirlenmesinde TS EN ISO 354 (22)' de belirtilen esaslara uyulmuştur. Deneyler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü Yapı Malzemeleri Daire Başkanlığı Laboratuvar Şube Müdürlüğü Akustik Laboratuvarında yapılmıştır. Çınlama odasının planı

Şekil 3.' de ve resmi Resim 1.' de verilmiştir. Ölçümler esnasında, çınlama odasındaki bağıl nem %60 ve sıcaklık 17°C olarak düzenlenmiştir. Her bir ölçüm öncesi çınlama odasının sıcaklığı ve bağıl nemi ölçülerek kaydedilmiştir



Şekil 3. Çınlama odasının ölçüleri, numune yerleşimi, mikrofon ve ses kaynağı konumları,

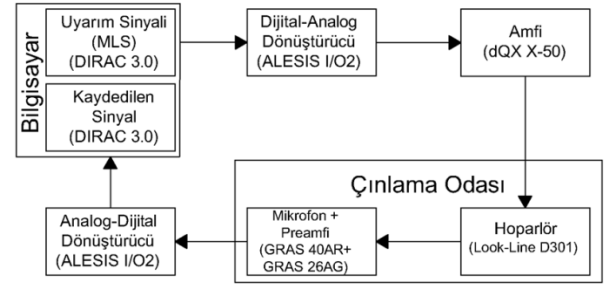


Resim 1. Çınlama odası

A ve B : Ses kaynağı konumları  
1, 2, 3, 4, 5 ve 6 : Mikrofon konumları

Çınlama odasının hacmi 208 m<sup>3</sup>, taban alanı 39 m<sup>2</sup> ve toplam yüzey alanı 211,2 m<sup>2</sup>' dir. Deney numunelerinin yüzey alanı 9,72 m<sup>2</sup>, mikrofonun yerden yüksekliği 1,6 m, ve ses kaynağının yerden yüksekliği 1,6 m' dir. Ölçümler 2012 yılının Ocak ve Şubat aylarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, test sinyalinin üretilmesinde ve ses basıncı seviyelerinin analizinde bilgisayar yazılımı (Dirac 3.0) kullanılmıştır. Yazılım tarafından üretilen geniş bant MLS sinyali (Maximum Length Sequence), ses arabirimi (ALESIS I/O 2 24-bit/48 KHz) ve entegre güç amfisi (dQX X-50 iki kanallı 1800 W) kullanılarak çok yönlü hoparlöre (Look-Line D301) gönderilmiştir. Çınlama odasındaki sinyaller yönsüz mikrofon (1/2" GRAS 40 AR entegre preamfi GRAS 26AG) ile toplanarak ses arabirimine iletilmiştir. Toplanan sinyaller bilgisayar yazılımı ile kaydedilmiştir. Tüm sistemlerin üretici firma talimatları doğrultusunda kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçüm prosedürünün akış şeması Şekil 4.' de ve kullanılan ekipmanlar Resim 2.' de verilmiştir.



Şekil 4. Ölçüm prosedürü akış şeması.



Resim 2. Ölçümlerde kullanılan ekipmanlar

Ölçümler, her bir numune grubu için 2 farklı hoparlör ve 6 farklı mikrofon konumu olmak üzere toplam 12 kombinasyonda yapılmıştır. Hoparlör ve mikrofon konumları Şekil 3.' de verilmiştir. Her bir ölçüm 3' er defa tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Birbirinden bağımsız 12 azalma eğrisi ölçülmüştür. Çınlama odası, MLS sinyali ile 95 dB duyurulana kadar sinyal verilmiştir. Sinyal kesilmesinin ardından ses basıncı seviyeleri her 20 ms' de kaydedilmiş ve bilgisayar yazılımı ile 1/3 oktav bandında 100 Hz ile 5000 Hz arasında çınlama süreleri hesaplanmıştır.

Her bir frekans bandındaki çınlama süresi ( $T$ ), bu frekans bandında alınan toplam çınlama süresi ölçümlerinin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Deney numunesinin eş değer ses yutum alanı ( $A_T$ ) metrekare cinsinden Eş. 1. ile hesaplanmıştır (22).

$$A_r = A_2 - A_1 = \left[ \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_2} - 4 \cdot V \cdot m_2 \right] - \left[ \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_1} - 4 \cdot V \cdot m_1 \right] \quad (\text{m}^2) \quad (1)$$

Burada;

- $A_T$  : Deney numunesinin eş değer ses yutum alanı ( $\text{m}^2$ ),  
 $A_1$  : Boş çınlama odasının eş değer ses yutum alanı ( $\text{m}^2$ ),  
 $A_2$  : Deney numunesi içeren çınlama odasının eş değer ses yutum alanı ( $\text{m}^2$ ).  
 $V$  : Boş çınlama odasının hacmi ( $\text{m}^3$ ),  
 $c$  : Sesin havada yayılma hızı (m/s),  
 $T_1$  : Boş çınlama odasının saniye cinsinden çınlama süresi (s),  
 $T_2$  : Deney numunesi yerleştirildikten sonra çınlama odasının çınlama süresi (s),  
 $m_1$  : Ölçme boyunca boş çınlama odasında mevcut olan iklim şartları kullanılarak ISO 9613-1' e göre hesaplanan güç azalma kat sayısıdır (1/m).  
 $m_2$  : Ölçme boyunca deney numunesi bulunan çınlama odasında mevcut olan iklim şartları kullanılarak ISO 9613-1' e göre hesaplanan güç azalma kat sayısıdır (1/m).

Deney numunelerinin ses yutma kat sayıları Eş. 2. ile hesaplanmıştır (22).

$$\alpha_s = \frac{A_r}{S} \quad (2)$$

Burada;

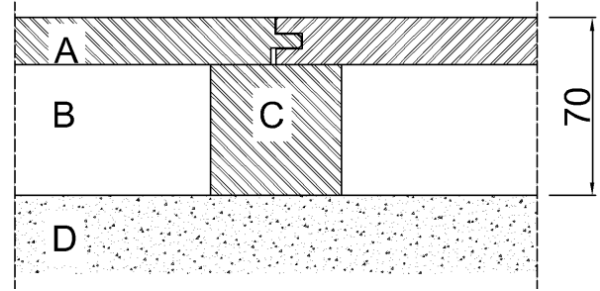
- $\alpha_s$  : Ses yutum katsayısı,  
 $A_T$  : Deney numunesinin eş değer ses yutum alanı ( $\text{m}^2$ ),  
 $S$  : Deney numunesinin kapladığı alan ( $\text{m}^2$ ).

Ses yutma katsayısı değerleri; yüzey özellikleri ve montaj tipleri yönleriyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yüzey özellikleri; düz panel ve delikli paneller. Montaj şekli ise; E 70 tipi hava boşluklu ve E 70 tipi izolasyonlu olarak düzenlenmiştir.

#### Ses yutma katsayısı deneyleri için deney numunesi montajı:

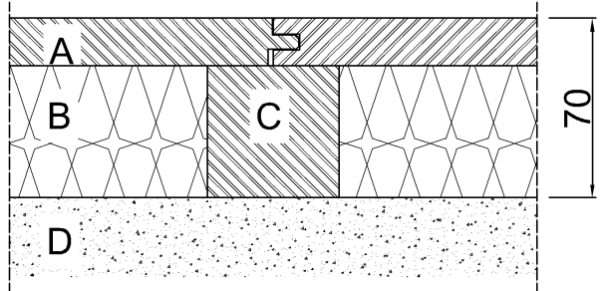
Ses yutma katsayısı deneylerinde, TS EN ISO 354' de belirtilen esaslar doğrultusunda, E-70 tipi montaj uygulanmıştır. Ölçümler, panellerin arkasında hava boşluğu olacak şekilde ve ayrıca arkadaki boşluk taşıyıcı ile doldurulmak suretiyle iki farklı montaj tipinde gerçekleştirilmiştir.

E 70 tipi montajda deney numuneleri çınlama odasının zemini ve deney numunelerinin ön yüzeyleri arasındaki mesafe 70 mm olacak şekilde deney numuneleri ve zemin arasında hava boşluğu bırakılarak yerleştirilmiştir (Şekil 5). Deney numuneleri arkalarına 50 mm kalınlığında 50 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda taş yünü ile (Şekil 6) ve taş yünü olmadan test edilmiştir. Deney numunelerinin arkasında çerçeve konstrüksiyon ile taşıyıcı karkas oluşturulmuştur. Montaj bağlantısı ile oda yüzeyi arasında ve montaj bağlantısı ile deney numunesi arasında bulunan birleşme yerleri çevrelenen alan ile dışarı arasında bir hava kaçağının önlenmesi amacıyla 18 mm MDF ile kapatılmıştır.



Şekil 5. E 70 Tipi montaj gösterimi.

- A: Deney numunesi      C: Karkas  
 B: Hava boşluğu      D: Zemin



Şekil 6. E 70 Tipi montaj gösterimi (Taş yünü ile).

- A: Deney numunesi      C: Karkas  
 B: Taş yünü      D: Zemini

#### 2.2.3. Veri analizi

Deneyler sonucu elde edilen verilere çoklu varyans analizi "ANOVA" (Analysis of Variance) testi uygulanmıştır. Varyans analizleri sonucunda, gruplar arası fark önemli çıktığında, grup içinde faktörlere Duncan testi ile ikili karşılaştırma yapılmıştır. Ardından, ortalama değerleri alınan faktörlerin birbirleri arasındaki başarı sıralamaları, *en küçük önemli fark (LSD)* kritik değerine göre homojenlik gruplarına ayrılarak belirlenmiştir.

#### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ses yutma katsayısı değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Yüzey Şekli	Malzeme Türü	Montaj Tipi	Frekans	N	$X_{min}$	$X_{max}$	$X_{ort}$	Std. Sp.
Düz Panel	Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,13	0,18	0,15	0,0142
			250		0,18	0,25	0,22	0,0197
			500		0,13	0,17	0,15	0,0129
			1000		0,09	0,12	0,10	0,0092
			2000		0,12	0,16	0,14	0,0115
		4000	0,14	0,18	0,16	0,0141		
		E 70 + Taş yünü	125	10	0,37	0,50	0,43	0,0392
			250		0,32	0,44	0,38	0,0353
			500		0,17	0,23	0,20	0,0191
			1000		0,11	0,15	0,13	0,0115
	2000		0,12		0,16	0,14	0,0115	
	4000	0,15	0,21	0,18	0,0176			
	Iroko Panel	E 70	125	10	0,12	0,16	0,14	0,0123
			250		0,15	0,21	0,18	0,0176
			500		0,10	0,13	0,11	0,0092
			1000		0,08	0,10	0,09	0,0067
			2000		0,09	0,12	0,10	0,0092
		4000	0,10	0,14	0,12	0,0115		
E 70 + Taş yünü		125	10	0,34	0,46	0,40	0,0353	
		250		0,30	0,41	0,35	0,0322	
		500		0,17	0,23	0,20	0,0191	
		1000		0,11	0,15	0,13	0,0115	
	2000	0,11		0,15	0,13	0,0115		
4000	0,14	0,19	0,17	0,016				
Delikli Panel	Sarıçam Panel	E 70	125	10	0,25	0,37	0,31	0,0341
			250		0,37	0,56	0,47	0,0529
			500		0,45	0,67	0,57	0,062
			1000		0,36	0,54	0,46	0,049
			2000		0,25	0,37	0,31	0,0341
		4000	0,24	0,36	0,31	0,0334		
		E 70 + Taş yünü	125	10	0,28	0,42	0,36	0,0389
			250		0,45	0,68	0,57	0,063
			500		0,54	0,81	0,68	0,0741
			1000		0,48	0,71	0,60	0,0629
	2000		0,30		0,46	0,38	0,044	
	4000	0,26	0,40	0,33	0,0381			
	Iroko Panel	E 70	125	10	0,21	0,31	0,26	0,0271
			250		0,33	0,49	0,41	0,044
			500		0,39	0,59	0,49	0,0542
			1000		0,27	0,41	0,34	0,0381
			2000		0,19	0,29	0,24	0,0262
		4000	0,21	0,31	0,26	0,0282		
E 70 + Taş yünü		125	10	0,23	0,35	0,29	0,032	
		250		0,42	0,63	0,53	0,058	
		500		0,49	0,73	0,62	0,066	
		1000		0,41	0,63	0,53	0,06	
	2000	0,25		0,39	0,32	0,0381		
4000	0,24	0,36	0,30	0,0341				

 $X_{min}$ : En küçük değer $X_{max}$ : En büyük değer $X_{ort}$ : Ortalama değer

Std.Sp.: Standart Sapma

Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerleri üzerinde etkili olup olmadığına ilişkin varyans analizi Tablo 3' de verilmiştir.

benzer çalışmalarda delik oranlarının artmasıyla ses yutma katsayısını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (8, 9, 10).

Tablo 3. Yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi ve frekansın ses yutma katsayısı değerine etkisine ilişkin varyans analizi

Faktör	Ser. Derece.	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	P≤0,05
Yüzey Şekli (A)	1	6,1630	6,1630	4682,3740	0,00
Malzeme Türü (B)	1	0,2070	0,2070	157,3320	0,00
Montaj Tipi (C)	1	1,0460	1,0460	794,8990	0,00
Frekans (D)	5	2,0150	0,4030	306,2340	0,00
Yüzey Şekli × Malzeme Türü (A×B)	1	0,0470	0,0470	35,7120	0,00
Yüzey Şekli × Montaj Tipi (A×C)	1	0,0020	0,0020	1,8810	0,17
Yüzey Şekli × Frekans (A×D)	5	2,1560	0,4310	327,6430	0,00
Malzeme Türü × Montaj Tipi (B×C)	1	0,0060	0,0060	4,8470	0,03
Malzeme Türü × Frekans (B×D)	5	0,0040	0,0010	0,5460	0,74
Montaj Tipi × Frekans (C×D)	5	0,2220	0,0440	33,7240	0,00
Yüzey × Malzeme × Montaj (A×B×C)	1	0,0001	0,0001	0,0570	0,81
Yüzey × Malzeme × Frekans (A×B×D)	5	0,0180	0,0040	2,7010	0,02
Yüzey × Montaj × Frekans (A×C×D)	5	0,4030	0,0810	61,2810	0,00
Malzeme × Montaj × Frekans (B×C×D)	5	0,0070	0,0010	1,0330	0,40
Yüzey×Malzeme×Montaj×Frekans (A×B×C×D)	5	0,0030	0,0010	0,3920	0,85
Hata	432	0,5690	0,0010		
Toplam	480	56,5080			

Tablo 3' e göre; yüzey şekli, malzeme türü, montaj tipi, frekans ve bunların karışıklı etkileşimlerinden yüzey şekli × malzeme türü, yüzey şekli × frekans, malzeme türü × montaj tipi, montaj tipi × frekans, yüzey şekli × malzeme türü × frekans ve yüzey şekli × montaj tipi × frekansın ses yutma katsayısı değeri üzerinde etkili olduğu görülmektedir (P≤0,05).

Ses yutma katsayısı değeri üzerinde en etkili faktörün yüzey şekli olduğu tespit edilmiştir (F=4682,3740). Bunu sırasıyla; montaj tipi, frekans ve malzeme türü takip etmektedir. İkili etkileşimlerde en etkili faktörün yüzey şekli × frekans olduğu tespit edilmiştir.

Ses yutma katsayısı değerlerine göre farklılık yaratan faktörlerin tespitine ilişkin homojenlik testleri yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Yüzey şekillerine göre ses yutma katsayısı değerleri; delikli paneller için 0,42, düz paneller için 0,19 olarak tespit edilmiştir. Panellerde % 11,5' lik yüzey perforasyon oranının, ses yutma katsayısı değeri üzerinde % 100' lük bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu sonucu, Godshall ve Davis (1969), çalışması desteklenmektedir (6). Yüzeydeki delik oranlarının ses yutma katsayısına etkisinin araştırıldığı

Montaj tiplerine göre ses yutma katsayısı değerleri; E 70 + taşıyıcı montaj tipi uygulanan panellerin ses yutma katsayısı değeri (0,35), E 70 montaj tipi uygulanan panellerin ses yutma katsayısı değerinden (0,26) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Delikli panellerin duvar ile arasındaki hava boşluğunun gözenekli fiber ile doldurulmasının, panellerin ses yutma performanslarının frekans aralığını genişlettiği belirtilmiştir (11, 12, 13).

Orta yoğunluktaki sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değeri 0,32 iken, yoğunluğu daha yüksek olan iroko panellerin ses yutma katsayısı değeri 0,28 olarak tespit edilmiştir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde yoğunluk arttıkça ses yutma katsayısı değerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu sonuç literatür ile desteklenmektedir (6, 7).

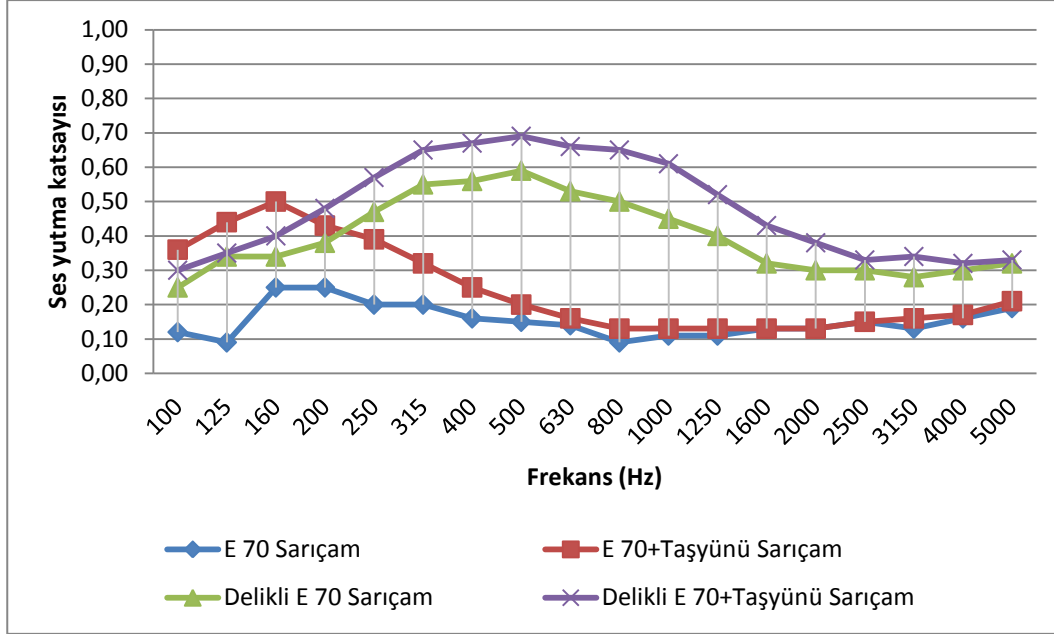
Frekansa göre ses yutma katsayısı değerlerinde; en yüksek ses yutma katsayısı değeri 250 Hz' de 0,39 elde edilirken bunu sırasıyla, 500 Hz' de 0,38, 1000 Hz' de 0,30, 125 Hz' de 0,29, ve 2000 ve 4000 Hz' de (0,23) takip etmiştir. Sarıçam ve iroko panellerin rezonans frekansları 250 – 500 Hz olarak tespit edilmiştir. Frekans değerlerine göre ses yutma katsayısı değerleri malzemelerin özelliklerine, yüzey şekillerine, ve montaj

tiplerine göre farklılık gösterdiği, literatürdeki bir çok çalışmada belirtilmiştir (6, 12, 13, 14).

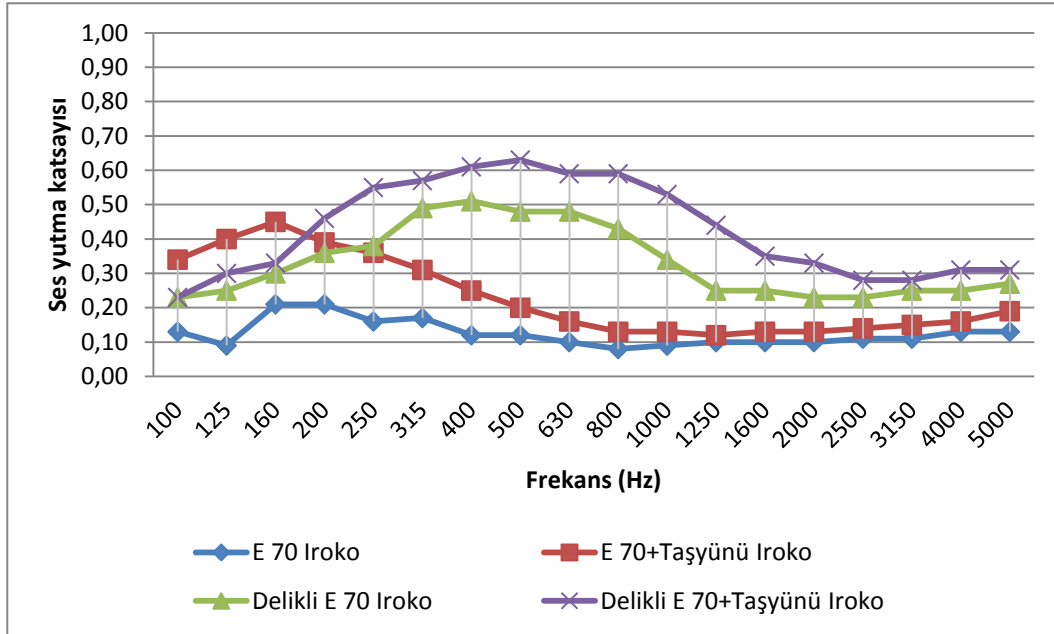
Sarıçam ve iroko panellerin 1/3 oktav banttaki ses yutma katsayısı değerleri Grafik 1 ve Grafik 2' de verilmektedir.

frekanslarda daha iyi ses yutma katsayısı değeri elde edilmiştir. Panel yüzeylerinde yapılan perforasyonun ses yutma katsayısı değeri üzerinde olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, montajda taşıyünü uygulaması da panellerin ses yutma katsayısı değerleri

Grafik 1. Sarıçam panellerin ses yutma katsayısı değerleri



Çizelge 2. İroko panellerin ses yutma katsayısı değerleri



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Buna (Çizelge 1 ve Çizelge 2) göre, düz yüzeyli panellerde en yüksek ses yutma katsayısı değerleri 160 ve 200 Hz' de elde edilmiştir. Bunun yanında delikli panellerde en yüksek ses yutma katsayısı değerleri 400 – 600 Hz aralığında elde edilmiştir. Düz yüzeyli panellerde düşük frekanslarda daha iyi ses yutma katsayısı değeri edilirken delikli panellerde orta

üzerinde belirli oranlarda arttırdığı görülmüştür.

İç mekân düzenlemesinde kullanılacak materyallerin ses yutma katsayıları; tiyatro, sınıf, stüdyolar, alışveriş merkezleri, spor tesisleri gibi yerlerin yankılanma (reverberasyon) süresinin belirlenmesinde mimar ve mühendisler için önemli bilgidir. Elde edilen bu verilere göre iç mekânın, kullanıma bağlı olarak (sadece müzik, konuşma, ya da



her ikisi için) dinleyicilere hangi uygun akustik ortamı sunacağını belirlemede akustik hesaplama denklemlerinde yer alacağı düşünülmektedir.

#### Katkı Belirtme (Acknowledgements)

Bu çalışmayı, 07/2011-73 proje numarası ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi' ne teşekkür ederiz.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karabiber, Z., "Mimari Akustikte Ses Ölçmeleri" *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul (1992).
2. Demirkale, Y., "Çevre ve Yapı Akustiği", *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2007).
3. Baytın T., "Binalarda Akustik Tedbirler", *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, İstanbul (1963).
4. Everest, F.A., "The Master Handbook of Acoustics", 3rd edition, *TAB Book*, NewYork, 152-153 (1994).
5. Long, M., "Architectural Acoustics (Applications of Modern Acoustics)", *Academic Press*, London (2005).
6. Godshall, W. D., Davis, J. H., "Acoustical Absorption Properties of Wood-Base Panel Materials", *U.S.D.A. Forest Service*, Forest Products Laboratory, (1969).
7. Mohammad, J., I., Johari N., Fouladi, M., H., "Numerical Investigation on the Sound Absorption Coefficients of Malaysian Wood", *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, ICA, Sydney, Australia (2010).
8. Zulkifli, R., Nor, M. J. M., Ismail, A. R., Nuawi M. Z., Tahir, M. F. M., "Effect of Perforated Size and Air Gap Thickness on Acoustic Properties of Coir Fibre Sound Absorption Panels", *European Journal of Scientific Research*, 28 (2): 242-252 (2009).
9. Wassilieff, C., "Sound Absorption of Wood-Based Materials", *Applied Acoustics*, 48 (4): 339-356 (1996).
10. Lee, F. C., Chen, W. H. "Acoustic Transmission Analysis of Multi-Layer Absorbers", *Journal of Sound and Vibration*, 248 (4): 621-634 (2001).
11. Maekawa, Z., Lord, P., "Environmental and Architectural Acoustics", *E & FN SPON*. London, 11-12 (1994).
12. Chen, W. H., Lee, F. C., Chiang D. M., "On the Acoustic Absorption of Porous Materials with Different Surface Shapes and Perforated Plates", *Journal of Sound and Vibration*, 237 (2): 337-355 (2000).
13. Davern, W. A., "Perforated Facings Backed with Porous Materials as Sound Absorbers—An Experimental Study", *Applied Acoustics*, 10: 85-112 (1977).
14. Negro, F., Cremonini, C., Properzi, M., Zanuttini, R., "Sound Absorption Coefficient of Perforated Plywood: An Experimental Case Study", *World Congress On Timber Engineering*, Italy (2010).
15. Şenay, Y., "Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1996).
16. Eckelman, C. A., "Potential Uses of Laminated Veneer Lumber in Furniture, Department of Forestry and Natural Resources", *Purdue University, Forest Product Society Journal*, U.S.A., 43, 19-24 (1993).
17. Keskin, H., "Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2001).
18. Altınok, M., Söğütü, C., Kahraman, N., "Vakumlu Membran Preste Üretilmiş Ahşap Lamine Elemanların Yapışma Performanslarının Belirlenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 1: 51-59 (2009).
19. Üretici Firma Dökümantasyonu, "303 Kataloğu" *Kleiberit*, Ankara, 23-24 (2004).
20. Üretici Firma Dökümantasyonu, "ODE Taş Yünü", *ODE Yalıtım*, İstanbul, 8 (2011).
21. TS EN 386, "Yapıştırılmış Lamine Ahşap Performans Özellikleri ve Asgari Üretim Şartları", *TSE*, Ankara (1999).
22. TS EN ISO 354, "Akustik – Çınlama Odasında Ses Absorpsiyonunun Ölçülmesi", *TSE*, Ankara, (2007).