



Ses Yalıtım Performansı Geliştirilmiş Akustik Malzeme Tasarımının Araştırılması

Hamit ÖZYURT^{1, a, ✉}, Ferhat ÖZDEMİR^{1, b}

¹Kahramanmarař Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş, Türkiye

^aORCID: 0000-0003-4060-1583; ^bORCID: 0000-0002-2282-1884

✉ Sorumlu Yazar: hcanozyurt@gmail.com

Geliş tarihi: 06/08/2023

Kabul tarihi: 30/11/2023

Özet: Yapılan bu çalışmada kavak (*Populus deltoides*) soyma kaplama ve polivinil asetat (PVAc) tutkalı kullanılarak on tabakalı lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Ayrıca dört farklı materyal beşinci tutkal tabakasında kullanılarak deney grupları oluşturulmuştur. Bunlar; doğal kauçuk (A Grubu), linolyum (B Grubu), keçe (C Grubu), ve elastomerik sünger (D Grubu), olmak üzeredir. Çalışmanın ikinci bölümünde, kontrol ve deney gruplarına ait kompozit malzemelerden beş farklı yüzey formuna sahip panel (daire yüzey formuna sahip panel, pizza dilimi yüzey formuna sahip panel, şeritli yüzey formuna sahip panel, asimetric yüzey formuna sahip panel ve baklava dilimi yüzey formuna sahip panel) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Farklı panel tasarımları yapılarak, kompozit malzemelerin ses yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Üretilen panellerin düşük, orta ve yüksek frekans (63 Hz – 6300 Hz) bandındaki ses yalıtım performansları empedans tüpü ölçüm sistemi (ASTM E 2611) kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre baklava dilimi yüzey tasarımına sahip panellerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı tespit edilmiştir. Daire yüzey formuna sahip panellerin ise en düşük ses yalıtım performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Deney gruplarına (A, B, C ve D) ait kompozit malzemelerin akustik ses yalıtım paneli olarak kullanılması önerilebilir.

Anahtar Sözcükler: *Lamine ahşap kompozit, Akustik malzeme tasarımı, Ses iletim kaybı, Akustik özellikler, Gürültü kontrolü*

Investigation of Acoustic Material Design With Improved Sound Insulation Performance

Abstract: In the study, laminated wood composite boards (ten layers) were produced using poplar (*Populus deltoides*) peeling veneers and polyvinyl acetate (PVAc) glue. In addition, experimental groups were formed by using four different materials in the fifth adhesive layer. These; natural rubber (Group A), linoleum (Group B), felt (Group C), and elastomeric sponge (Group D). In the second part of the study, panel design with five different surface forms (circle, pizza slice, striped, asymmetrical and baklava slice) were made from composite materials belonging to the control and experimental groups. It is aimed to improve the sound insulation properties of composite materials by making different panel designs. The sound insulation performances of the produced panels at low, medium and high frequencies (63 Hz – 6300 Hz) were investigated (ASTM E 2611) using the impedance tube measurement system. According to obtained the data, it has been determined that the panels with the baklava slice surface design have the highest sound insulation. It has been determined that the panels with the circle surface form have the lowest sound insulation performance. It can be suggested that the composite materials belonging to the experimental groups be used as acoustic sound insulation panels.

Keywords: *Laminated wood composite, Acoustic material design, Sound transmission loss, Acoustic properties, Noise control*

1. Giriş

Günümüzde insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve yaşadığımız çevrenin kalitesini önemli ölçüde belirleyen faktörlerden biri de gürültüdür. Gürültü, “rahatsız edici, hoş gitmeyen, istenmeyen ses” olarak tanımlanabilmektedir. Özellikle hızlı büyüyen şehirlerdeki endüstrileşme oranındaki artış, sanayi ve mesken alanlarının plansız ve iç içe gelişmesi, elektronik aletlerin günlük hayatımızda daha çok var olması, trafik yoğunluğunun artması ile birlikte gürültünün neden olduğu rahatsızlık artmakta ve insanların çalışabilecekleri, dinlenebilecekleri, kısacası huzurlu bir şekilde yaşayabilecekleri mekanlar azalmaktadır. İnsan sosyal bir varlıktır, etkileşim ve iletişim kurmak için seslerin varlığına ihtiyaç duymaktadır. Nesnel bir kavram olan ses, ölçülebilmekte ve varlığı kişiye bağlı olarak değişmemektedir. Fakat, istenmeyen ses olarak tanımlanan gürültünün insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu olumsuz etkiler üzerine yapılan araştırmalar, açık alanlar ve iç mekanlardaki her tip gürültüyü kapsamaktadır. Bu sebeple, insan sağlığı ve akustik konfor şartları açısından mimari tasarım aşamasında gürültü kontrolünün yapılması gerekmektedir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011). Dolayısıyla ses yalıtımı açısından akustik konforun sağlanabilmesi için ses yalıtım performansı yüksek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda endüstrileşmenin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı hammaddeler kullanılarak ileri teknolojiye sahip yeni nesil kompozit malzemelerin tasarımı ve üretimi çok daha kolay hale gelmiştir. Kullanım amacı doğrultusunda tasarım ve test sürecini başarıyla tamamlayan kompozit malzemeler, siparişe özel üretilerek insanlığın hizmetine sunulmaktadır. Gürültü kontrolü ve akustik konforun sağlanması amacıyla kompozit paneller kullanılmaktadır. Ayrıca akustik kompozit panellerin yüksek teknolojik özellikleri, her türlü iç ve dış mekanlarda kullanılabilme kabiliyetini artırmaktadır.

İç ve dış mekanlarda akustik konforun sağlanabilmesi için ahşap ve ahşap esaslı kompozit malzemeler fazlaca kullanılmaktadır. Ahşap malzemelerin hafifliği, kolay monte edilebilmesi ve her şeyden önemlisi yüksek akustik performansı nedeniyle ses yalıtım malzemesi olarak tercih edilmektedir. Ayrıca birçok araştırmacı (Godshall ve Davis, 1969; Green v.d., 1999; Yang v.d., 2003; Döngel, 2005; Yoshikawa, 2007; Calegari v.d., 2011; Karlinasari v.d., 2012; Smardzewski v.d., 2014; Smardzewski v.d., 2015; Açık ve Tutuş, 2016; Ghofrani et al., 2016; Özyurt ve Özdemir, 2022) tarafından ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Fakat literatürde lamine ahşap kompozitlerin akustik özelliklerinin belirlenmesine yönelik detaylı ve yeterli sayıda araştırma bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışmanın amacı, farklı yüzey tasarımına sahip yeni nesil lamine ahşap kompozit panellerin akustik performanslarının araştırılmasıdır. Dolayısıyla bu araştırma özgün bir değer taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada kavak (*Populus deltoides*) soyma kaplama, Polivinil asetat (PVAc) tutkalı, doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Kavak kaplamaların kalınlığı 2.1 mm, genişliği 1,2 m ve uzunluğu 1,2 m olacak şekilde ebatlanmıştır. Aynı kalınlıkta (5 mm) olan doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik süngerin yoğunlukları sırasıyla 750 kg/m³, 800 kg/m³, 57 kg/m³, 60 kg/m³ 'dir. Araştırmada kullanılan malzemeler yerli tedarikçi firmalardan satın alınarak temin edilmiştir.

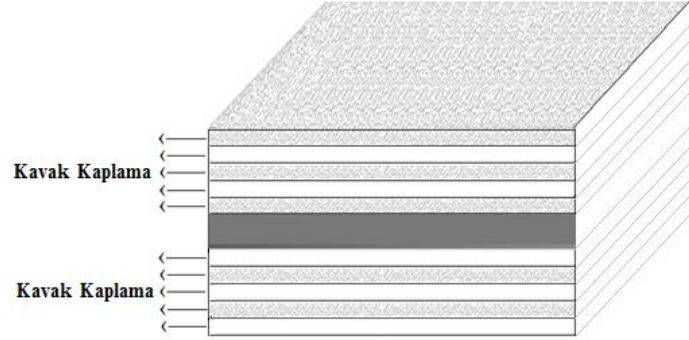
2.2. Metot

2.2.1. Lamine Ahşap Kompozitlerin Üretimi

Kavak soyma kaplamaların gevşek yüzeylerine ortalama 250 gr/m² polivinil asetat (PVAc) tutkalı sürüldükten sonra on adedi lif yönleri birbirine dik olacak şekilde üst üste yerleştirilerek hidrolik sıcak preste 50°C sıcaklık, 7 kg/cm² pres basıncı ve pres süresi 1 mm/dk olacak şekilde ayarlanarak preslenmiştir. Bir kontrol ve dört deney grubu oluşturulmuştur (Tablo 1). Deney gruplarının üretiminde takviye materyalleri 5. tutkal tabakasında kullanılmıştır (Şekil 1).

Tablo 1. Lamine ahşap kompozit üretim reçetesi

Örnek No	Örnek Kodu	Takviye Materyali	Açıklama
1	Kontrol	Tutkal tabakalarında takviye malzemesi kullanılmamıştır
2	A	Doğal kauçuk	5. tutkal tabakasında (orta tabaka) kullanılmıştır
3	B	Linolyum	5. tutkal tabakasında (orta tabaka) kullanılmıştır
4	C	Keçe	5. tutkal tabakasında (orta tabaka) kullanılmıştır
5	D	Elastomerik sünger	5. tutkal tabakasında (orta tabaka) kullanılmıştır

**Şekil 1.** Deney gruplarının şematik görüntüsü

2.2.2. Farklı Yüzey Formuna Sahip Akustik Panel Tasarımı

Üretilen kompozit malzemelerden beş farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı yapılmıştır (Tablo 2). Farklı yüzey tasarımlarının seçilmesiyle daha yüksek akustik performans elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, akustik paneller CNC (Computer Numerical Control) makinasında hassas kesim yapılarak üretilmiştir (Şekil 2). Üretilen panellerin teknik çizim görseli ve üretim detayları Şekil 3’de verilmiştir.

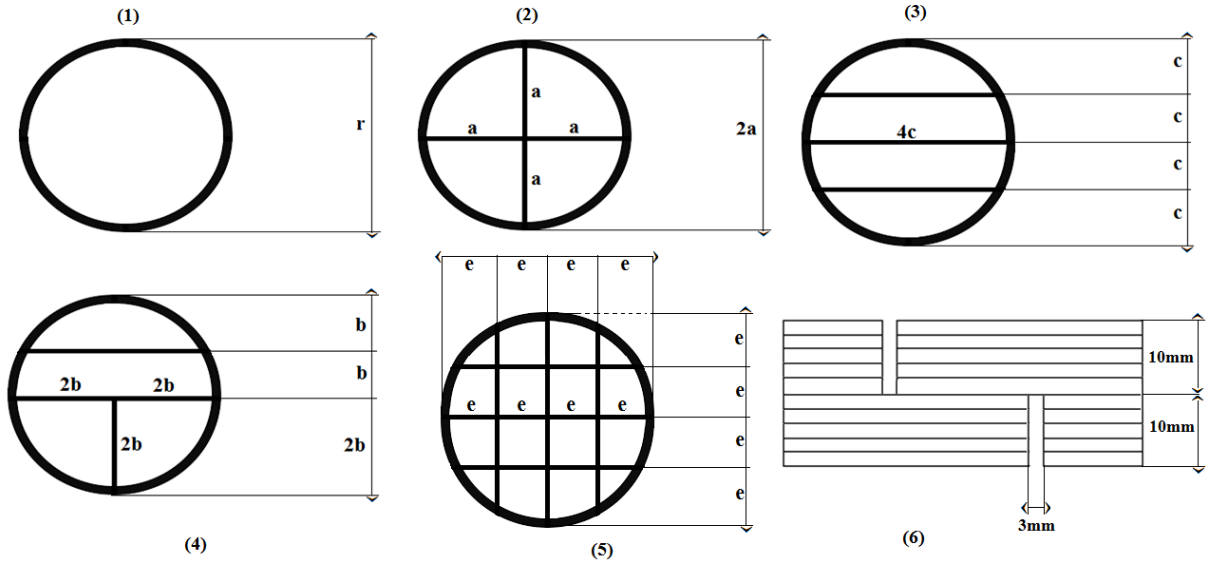
Tablo 2. Akustik panel tasarımı üretim reçetesi

Örnek No	Örnek Kodu	Takviye Materyali	Panel Tasarım Formu
1	K1	---	Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel
2	K2	---	Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel
3	K3	---	Şeritli yüzey formuna sahip panel
4	K4	---	Asimetrik yüzey formuna sahip panel
5	K5	---	Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel
6	A1	Doğal Kauçuk	Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel
7	A2	Doğal Kauçuk	Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel
8	A3	Doğal Kauçuk	Şeritli yüzey formuna sahip panel
9	A4	Doğal Kauçuk	Asimetrik yüzey formuna sahip panel
10	A5	Doğal Kauçuk	Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel
11	B1	Linolyum	Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel
12	B2	Linolyum	Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel
13	B3	Linolyum	Şeritli yüzey formuna sahip panel
14	B4	Linolyum	Asimetrik yüzey formuna sahip panel
15	B5	Linolyum	Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel
16	C1	Keçe	Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel
17	C2	Keçe	Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel
18	C3	Keçe	Şeritli yüzey formuna sahip panel
19	C4	Keçe	Asimetrik yüzey formuna sahip panel

20	C5	Keçe	Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel
21	D1	Elastomerik Sünger	Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel
22	D2	Elastomerik Sünger	Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel
23	D3	Elastomerik Sünger	Şeritli yüzey formuna sahip panel
24	D4	Elastomerik Sünger	Asimetrik yüzey formuna sahip panel
25	D5	Elastomerik Sünger	Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel



Şekil 2. Akustik özelliklerin tespit edilmesinde kullanılan test örnekleri (Sağdan Sola Doğru Sırasıyla; Baklava Dilimi Yüzey Formuna Sahip Panel, Asimetrik Yüzey Formuna Sahip Panel, Şeritli Yüzey Formuna Sahip Panel, Pizza Dilimi Yüzey Formuna Sahip Panel ve Daire Yüzey Formuna (Düz Yüzey) Sahip Panel)



Şekil 3. Akustik panellerin teknik çizim görseli ve üretim detayları (1: Daire Yüzey Formuna (Düz Yüzey) Sahip Panel, 2: Pizza Dilimi Yüzey Formuna Sahip Panel, 3: Şeritli Yüzey Formuna Sahip Panel, 4: Asimetrik Yüzey Formuna Sahip Panel, 5: Baklava Dilimi Yüzey Formuna Sahip Panel, 6: Yüzey Tasarımı Yapılan Akustik Panellerin Kesiş Özellikleri)

2.2.3. Lamine Ahşap Kompozit Panellerin Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kompozit malzemelerin ses iletim kaybı değerlerinin tespit edilmesi için ASTM E 2611 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Akustik özelliklerin tespit edilmesinde empedans tüpü ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu ölçüm sisteminde büyük tüp ve küçük tüp olmak üzere iki farklı tüp kullanılmıştır (Şekil 4). Her bir test örneği düşük frekanslardaki akustik değerlerin belirlenmesi için büyük tüpte, yüksek frekanslardaki akustik değerlerin belirlenmesi için küçük tüpte test edilmiştir. Test örnekleri 20°C sıcaklık ve %65 bağıl nem de kondisyonlandıktan sonra empedans tüpüne montaj işlemleri gerçekleştirilerek teste hazır hale getirilmiştir. Kompozit panellerin düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz), orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ve yüksek (Tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) akustik performanslarının tespit edilmesi amacıyla ölçümler yapılmıştır. Her test örneği üç tekrarlı

olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar raporlandıktan sonra SPSS programı kullanılarak varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır.



Şekil 4. Üretilen panellerin akustik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan empedans tüpü ölçüm sistemi (URL-1)

3. Bulgular

Üretilen kompozit panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri, bu değerlere ait ANOVA testi sonuçları Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, ve Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 3. Daire yüzey formuna sahip panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri ve ANOVA testi sonuçları

Frekans (Hz)	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K1	A1	B1	C1	D1	
63	23,4	25,7	26,3	30,2	41,2	0.000*
80	24,8	26,1	28,3	33,4	42,9	0.000*
100	26,2	27,5	29,3	34,5	44,5	0.000*
125	27,2	28,5	30,8	35,1	45,3	0.000*
160	27,5	29,7	31,8	36	47,2	0.000*
200	27,1	30	33,1	38,1	49,4	0.000*
250	27,4	31,9	35,1	39,7	50,9	0.000*
315	28,5	33,3	37,2	40,6	52,4	0.000*
400	29,9	35,8	39,5	41,9	53,8	0.000*
500	30,3	37,4	42,1	42,1	55,2	0.000*
630	30,9	39	44,4	48,7	57	0.000*
800	33,9	41,9	46,6	49,4	59,6	0.000*
1000	37,7	43,2	47,2	50,3	61,8	0.000*
1250	36,7	45,7	48,8	52,6	62,2	0.000*
1600	29,9	47	49,6	54,5	65,5	0.000*
2000	27,7	51	53,9	58,1	67,3	0.000*
2500	30	53	55,8	64,2	69,7	0.000*
3150	30,1	58,3	61,9	68,6	74,1	0.000*
4000	29,5	64,1	66,3	70,3	78,2	0.000*
5000	28,9	68,9	69,7	75,2	80,4	0.000*
6300	32	74,4	77,1	80	86,1	0.000*

Tablo 4. Pizza dilimi yüzey formuna sahip panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri ve ANOVA testi sonuçları

Frekans (Hz)	Grup adı					Önem Düzeyi (P<0,05)
	K2	A2	B2	C2	D2	
63	24,1	27,1	28,7	32,5	43,5	0.000*
80	25,2	27,9	30,2	36,2	45,8	0.000*
100	26,9	28,9	32,5	38,6	47,6	0.000*
125	28,5	29,5	33,1	40,3	50,1	0.000*
160	28,9	30,8	34,8	42,8	52,5	0.000*
200	29,2	32	36,3	40,5	55,3	0.000*
250	29,9	32,5	37,4	41,3	57,2	0.000*
315	30,3	34,2	39,3	43,8	59,1	0.000*
400	31,5	37,9	41,6	45,5	61,5	0.000*
500	32,6	39,2	43,8	47,2	63,4	0.000*
630	34	41,2	46,3	50,3	64	0.000*
800	35,9	42,8	48,9	54,9	65,2	0.000*
1000	39,1	44	51,4	57,6	67,5	0.000*
1250	38,8	48,1	53,6	59,8	68,7	0.000*
1600	38,2	49,3	54,5	62,5	70,3	0.000*
2000	35,7	54	55	65,4	72,4	0.000*
2500	35,1	55,6	57,3	67,7	74,6	0.000*
3150	36,3	60,1	64	72,3	76,8	0.000*
4000	37,1	66,3	68,5	75,6	80,8	0.000*
5000	37,8	70,2	70,9	79,2	83,5	0.000*
6300	38,3	76,6	79,5	83,4	88,2	0.000*

Tablo 5. Şeritli yüzey formuna sahip panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri ve ANOVA testi sonuçları

Frekans (Hz)	Grup adı					Önem Düzeyi (P<0,05)
	K3	A3	B3	C3	D3	
63	26,3	28,8	31,1	35,8	45,3	0.000*
80	27,1	29,4	32,5	38,4	47,6	0.000*
100	28,7	30,7	34,7	40,8	50,3	0.000*
125	29,4	32	36,2	43,5	52,4	0.000*
160	30,2	33,1	37,4	45,3	54,3	0.000*
200	31,3	34,2	39,2	47,7	57,6	0.000*
250	32,2	35,4	40,2	50,3	59,1	0.000*
315	33,5	36,9	42,4	54,1	62,3	0.000*
400	34,7	39,1	44,2	54,8	64,7	0.000*
500	34,6	41	46,1	55,7	67,9	0.000*
630	37,1	44,4	48,2	57,8	68,5	0.000*
800	37,4	45,7	50,2	60,5	70,3	0.000*
1000	38,3	46,9	53,8	62,4	72,2	0.000*
1250	39,6	50	55,4	64,3	74,1	0.000*
1600	40,4	51,4	57,2	66,7	75,3	0.000*
2000	37,6	56,7	59,1	69,8	77,7	0.000*
2500	36,3	58,8	60,4	71,1	79,4	0.000*
3150	37,4	62,3	66,3	74,6	82,1	0.000*
4000	38,5	68,9	70,4	76	83,9	0.000*
5000	39,1	72,8	74,2	81,1	85,3	0.000*
6300	39,9	78,1	81,9	85,2	89,7	0.000*

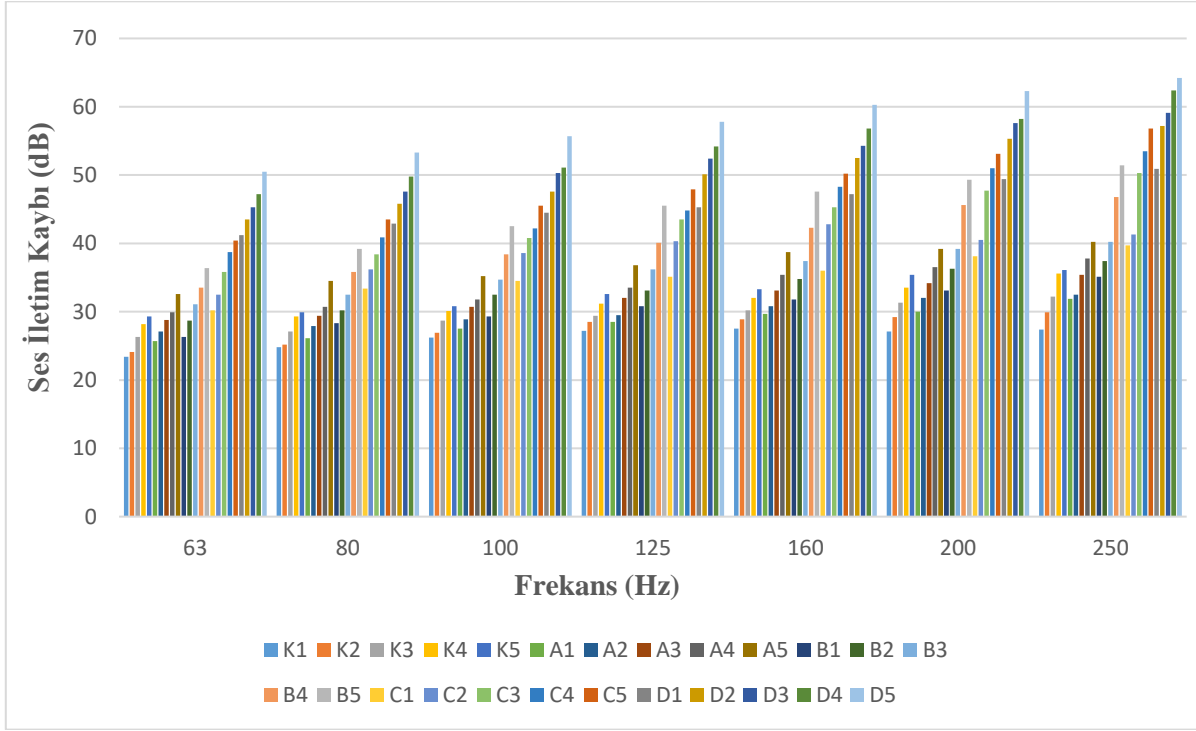
Tablo 6. Asimetrik yüzey formuna sahip panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri ve ANOVA testi sonuçları

Frekans (Hz)	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K4	A4	B4	C4	D4	
63	28,2	29,9	33,5	38,7	47,2	0.000*
80	29,3	30,7	35,8	40,9	49,8	0.000*
100	30,1	31,8	38,4	42,2	51,1	0.000*
125	31,2	33,5	40,1	44,8	54,2	0.000*
160	32	35,4	42,3	48,3	56,8	0.000*
200	33,5	36,5	45,6	51	58,2	0.000*
250	35,6	37,8	46,8	53,5	62,4	0.000*
315	36,5	38,8	48,3	55,4	65,1	0.000*
400	36,4	41,1	51,4	57,3	67,2	0.000*
500	36,9	43	52,6	59,9	70,3	0.000*
630	39,4	45,4	54,6	61,1	72,8	0.000*
800	39,2	47,4	56,7	63,3	74,2	0.000*
1000	40,1	48,6	58,3	65,6	76,3	0.000*
1250	41,8	53	60,3	68,7	78,4	0.000*
1600	42,1	54,1	63,6	70,3	80,8	0.000*
2000	39,7	58,5	65,2	72,6	83,2	0.000*
2500	38,6	60,1	67,7	73,7	85,7	0.000*
3150	39,4	65,5	70,2	76,2	86,2	0.000*
4000	40,2	70,2	72,3	78,9	87,3	0.000*
5000	41,1	75,9	76,8	83,4	88,9	0.000*
6300	41,9	80,3	83,6	86,9	91,2	0.000*

Tablo 7. Baklava dilimi yüzey formuna sahip panellerin ses iletim kaybı (dB) ortalama değerleri ve ANOVA testi sonuçları

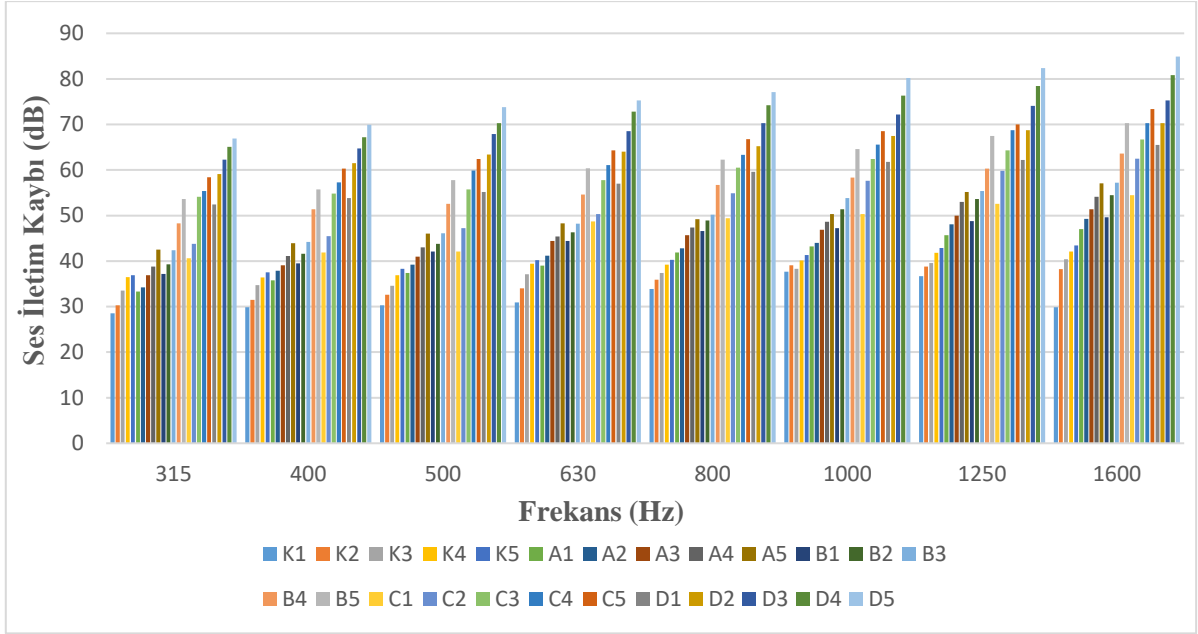
Frekans (Hz)	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K5	A5	B5	C5	D5	
63	29,3	32,6	36,4	40,4	50,5	0.000*
80	29,9	34,5	39,2	43,5	53,3	0.000*
100	30,8	35,2	42,5	45,5	55,7	0.000*
125	32,6	36,8	45,5	47,9	57,8	0.000*
160	33,3	38,7	47,6	50,2	60,3	0.000*
200	35,4	39,2	49,3	53,1	62,3	0.000*
250	36,1	40,2	51,4	56,8	64,2	0.000*
315	36,9	42,5	53,6	58,4	66,9	0.000*
400	37,5	43,9	55,7	60,3	69,9	0.000*
500	38,3	46	57,8	62,4	73,8	0.000*
630	40,2	48,3	60,4	64,3	75,3	0.000*
800	40,3	49,2	62,3	66,8	77,1	0.000*
1000	41,3	50,3	64,6	68,5	80,2	0.000*
1250	42,9	55,2	67,5	70	82,4	0.000*
1600	43,4	57,1	70,3	73,4	84,9	0.000*
2000	40,9	59,7	72,3	75,2	86,7	0.000*
2500	40,5	64,3	74,7	77,2	88,2	0.000*
3150	40,8	66,2	76,2	80,3	89,5	0.000*
4000	41,7	74,3	78,9	81,9	90,5	0.000*
5000	42,9	79,2	81,2	85,2	91,3	0.000*
6300	43,8	82,4	85,1	88,8	93,5	0.000*

Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de verilen sonuçlara göre, farklı tasarıma sahip kompozit panellerin ses iletim kaybı (dB) değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ses iletim kaybı (dB) değerlerine ait ANOVA sonuçlarına göre, farklı yüzey tasarımlarının, orta tabakada kullanılan malzemelerin, ses frekansının ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Üretilen kompozit panellerin ses iletim kaybı (dB) değişimleri Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



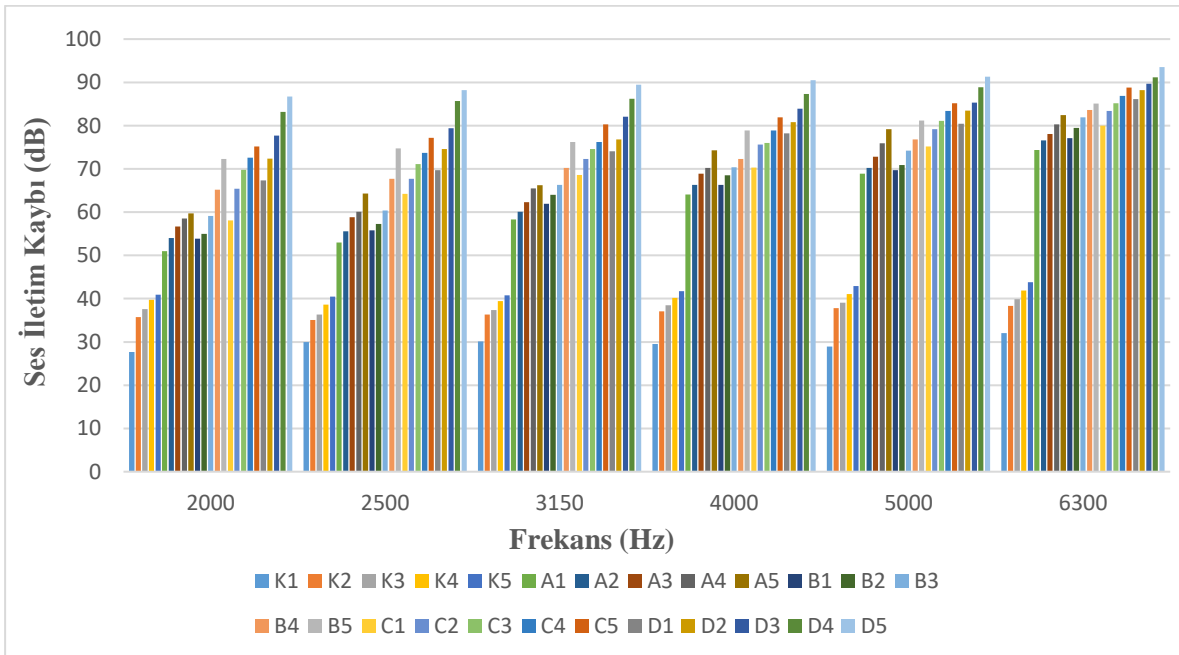
Şekil 5. Üretilen kompozit panellerin düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

Düşük (63 Hz - 250 Hz) frekans bandında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, daire formu ve düz yüzey yapısına sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri K5 ve K1 gruplarında sırasıyla 36,1 dB, 23,4 dB olarak, Pizza dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri A5 ve A1 gruplarında sırasıyla 40,2 dB, 25,7 dB olarak, şeritli yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri B5 ve B1 gruplarında sırasıyla 51,4 dB, 26,3 dB olarak, asimetrik yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri C5 ve C1 gruplarında sırasıyla 56,8 dB, 30,2 dB olarak, Baklava dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri D5 ve D1 gruplarında sırasıyla 64,2 dB, 41,2 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Üretilen kompozit panellerin orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

Orta (315 Hz-1600 Hz) frekans bandında elde edilen veriler incelendiğinde, daire formu ve düz yüzey yapısına sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri K5 ve K1 gruplarında sırasıyla 43,4 dB, 28,5 dB olarak, Pizza dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri A5 ve A1 gruplarında sırasıyla 57,1 dB, 33,3 dB olarak, şeritli yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri B5 ve B1 gruplarında sırasıyla 70,3 dB, 37,2 dB olarak, asimetrik yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri C5 ve C1 gruplarında sırasıyla 73,4 dB, 40,6 dB olarak, Baklava dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri D5 ve D1 gruplarında sırasıyla 84,9 dB, 52,4 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 7. Üretilen kompozit panellerin yüksek (tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

Yüksek (2000 Hz-6300 Hz) frekans bandında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, daire formu ve düz yüzey yapısına sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri K5 ve K1 gruplarında sırasıyla 43,8 dB, 27,7 dB olarak, Pizza dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri A5 ve A1 gruplarında sırasıyla 82,4 dB, 51 dB olarak, şeritli yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri B5 ve B1 gruplarında sırasıyla 85,1 dB, 53,9 dB olarak, asimetrik yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri C5 ve C1 gruplarında sırasıyla 88,8 dB, 58,1 dB olarak, Baklava dilimi yüzey formuna sahip kompozit panellerin en yüksek ve en düşük değerleri D5 ve D1 gruplarında sırasıyla 93,5 dB, 67,3 dB olarak ölçülmüştür.

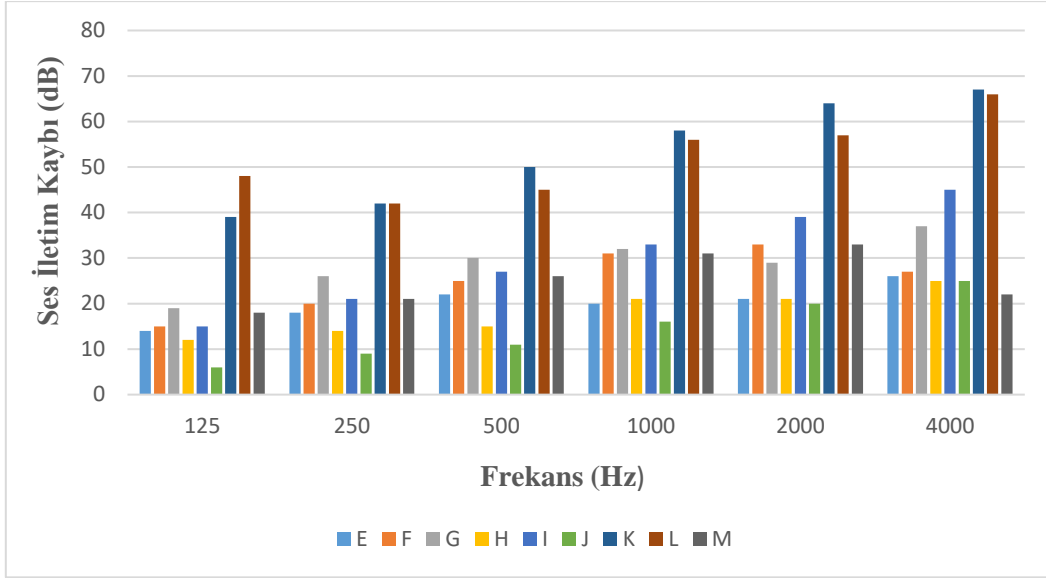
Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, takviye materyalleri arasında en yüksek ses yalıtım performansları elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerde ölçülmüştür. Panel tasarım grupları arasından en yüksek ses yalıtım performansı baklava dilimi yüzey formuna sahip panellerde tespit edilirken en düşük ses yalıtım performansı daire formu ve düz yüzey yapısına sahip panellerde ölçülmüştür. Üretimi yapılan kompozit panellerin oldukça yüksek ses yalıtım performansına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde; dokuz farklı malzemenin akustik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla düşük, orta ve yüksek frekans (125 Hz – 4000 Hz) bandındaki ses iletim kaybı (dB) performansları araştırılmıştır (Şekil 8). Elde edilen sonuçlara göre, 125 Hz frekansında en yüksek akustik performans 48 dB ile Betonarme Döşemede ölçülürken 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz frekanslarında en yüksek akustik performanslar Sıvalı Beton Duvarında sırasıyla 42 dB, 50 dB, 58 dB, 64 dB, 67 dB olarak ölçüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca çalışmada test edilen kontrplak malzemenin 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz frekanslarındaki akustik performansları sırasıyla 14 dB, 18 dB, 22 dB, 20 dB, 21 dB, 26 dB olarak ölçüldüğü bildirilmiştir (Muslu, 2013).

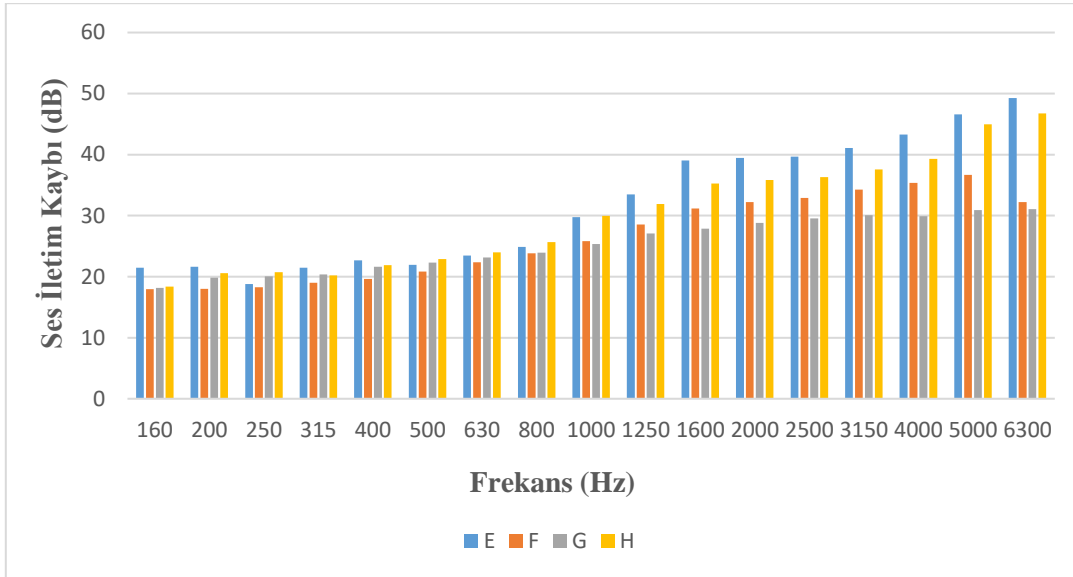
Başka bir çalışmada Yılmaz (2019) iç katmanı atık kağıt olacak şekilde sekiz adet farklı panel kaplama malzemesi (3 mm Kontrplak Kaplamalı Panel, 1,5 mm Papel Kaplamalı Panel, 4 mm MDF Kaplamalı Panel, 4 mm Yongalevha Kaplamalı Panel) kullanarak kompozit malzeme üretmiş ve üretilen malzemelerin akustik özelliklerini araştırmıştır (Şekil 9). Elde edilen sonuçlara göre, düşük (160 Hz - 250 Hz) frekans bandında ölçülen en yüksek ses iletim kaybı değeri 21,62 dB ile 3 mm Kontrplak kaplamalı panelde, orta (315 Hz-1600 Hz) frekans bandında ölçülen en yüksek ses iletim kaybı değeri 39,04 dB ile 3 mm Kontrplak kaplamalı panelde, yüksek (2000 Hz-6300 Hz) frekans bandında tespit edilen en yüksek ses iletim kaybı değeri 49,29 dB ile 3 mm Kontrplak kaplamalı panelde ölçüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca Yongalevha kaplamalı panel kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin 250 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz frekans bandında sırasıyla 20,73 dB, 22,87 dB, 24 dB, 25,67 dB ses iletim kaybı değerlerine sahip olarak en yüksek akustik performansa sahip olduğu bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada Smardzewski ve arkadaşları (2015) on yedi adet farklı ahşap esaslı malzemenin akustik performansını araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; yüksek gözenek yapısına sahip düşük yoğunluklu ahşap malzemelerin, 125 Hz ile 500 Hz bandındaki frekanslarda yüksek ses emicilik gösterdiklerini belirlemişlerdir. Ayrıca kağıt esaslı petek paneller, 1 kHz ile 2 kHz frekans bandında iyi düzeyde ses yutucu özellik sergilerken, yüzey formu (yapısı) düzensiz olan panellerin 4 kHz frekansında en iyi akustik performans sergilediklerini bildirmişlerdir.

Başka bir çalışmada Ghofrani ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, atık kauçuk ve ahşap kaplama kullanarak kontrplak üretmişlerdir. Ticari olarak satılan kontrplaklara kıyasla üretmiş oldukları lamine ahşap kompozitlerin çok daha iyi ses yutum performansına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Godshall ve Davis (1969) yapmış oldukları bir çalışmada, delikli ahşap esaslı levhaların deliksiz olan levhalara kıyasla daha iyi akustik yutuculuk sağladığını bildirmişlerdir. Literatürdeki araştırmalara kıyasla, bu çalışma kapsamında üretilen deney gruplarına ait kompozit panellerin daha yüksek akustik ses yalıtım performansına sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 8. Bazı malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değerleri (E: Kontrplak, F: Alçı Plaka-12.5 mm, G: Alçı Plaka - 2x12.5 mm, H: Çelik Sac, I: Kurşun Plaka, J: Camyünü Çatı Şiltesi, K: Sıvalı Beton Duvar - 15 cm, L: Betonarme Döşeme, M: Pencere Camı - 3 mm)



Şekil 9. Bazı malzemelerin malzeme dış katman yapısına göre ses iletim kaybı (dB) değerleri (E: 3 mm Kontrplak Kaplamalı Panel, F: 1,5 mm Papel Kaplamalı Panel, G: 4 mm MDF Kaplamalı Panel, H: 4 mm Yongalevha Kaplamalı Panel)

4. Sonuçlar ve Öneriler

1. Deneysel gruplarının üretiminde kullanılan doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik süngerin, kompozit malzemelerin ses iletim kaybı değerlerini artırdığı belirlenmiştir. En yüksek akustik performans ise elastomerik sünger kullanılarak üretilen panellerde tespit edilmiştir. Kontrol gruplarının ses iletim kaybı değerlerinin deneysel gruplarından daha düşük olduğu belirlenmiştir.
2. Akustik panel tasarımlarının ses yalıtım performansı açısından oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ses yalıtımı baklava dilimi yüzey tasarımına sahip kompozit panellerde tespit edilirken, en düşük ses yalıtımı daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip kompozit panellerde tespit edilmiştir.
3. Gürültünün arzu edilmediği ve ses yalıtımının amaçlandığı her türlü iç ve dış mekanda, deneysel (A, B, C ve D) gruplarından tasarlanan farklı yüzey formuna sahip lamine ahşap kompozit malzemelerin, akustik ses yalıtım paneli olarak kullanılması önerilmektedir.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazarların Katkı Oranı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Etik Beyan

Bu çalışmada sunulan veri, bilgi ve belgeler akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (KSU-BAP) desteklenmiştir. KSÜ BAP Proje No: 2020/1-15 D Ayrıca bu çalışma YÖK 100/2000 doktora projesi kapsamında 'Endüstriyel Ürünler Tasarımı' öncelikli alanında T.C. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

Açık, C., & Tutuş, A. (2016). Çok amaçlı salon iç mimarisinde kullanılan farklı yüzey kaplamalı lif levhaların akustik özelliklerinin incelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2016, Vol. 12 Issue 1, p11-20.

ASTM-E 2611. (2009). Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Calegari, L., Gatto, D.A., & Stangerlin, D.M. (2011). Influence of moisture content, specific gravity and specimen geometry on the ultrasonic pulse velocity in eucalyptus grandis hill ex maiden wood, *Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)*, Pelotas 64–74.

Döngel, N. (2005). Ahşap ve ahşap esaslı döşeme kaplama malzemelerinin (parke) teknik özellikleri, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı. Ankara. 131s.

Ghofrani, M., Ashori, A., Rezvani, M.H., & Ghamsari, F.A. (2016). Acoustical properties of plywood/waste tire rubber composite panels. *measurement*, 94, 382-387.

Godshall, W.D., & Davis, J.H. (1969). Acoustical absorption properties of wood-base panel materials, U.S.D.A. Forest Service, Forest Products Laboratory.

Green, D.W., Winandy, J.E., & Kretschmann, D.E. (1999). Mechanical properties of wood (General technical report), USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.

Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Martiandi, B., & Hadi, Y. (2012). Development of particleboard from tropical fast-growing species for acoustic panel. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 64-69.

Muslu, M.S. (2013). Ahşap esaslı duvar kaplama malzemelerinin ses geçiş kayıplarının belirlenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı. Ankara. 204s.

Özyurt, H., & Özdemir, F. (2022). Laminated wood composite design with improved acoustic properties, *BioResources* 17(1), 460-468.

Smardzewski, J., Batko, W., Kamisinski, T., Flach, A., Pilch, A., Dziurka, D., & Majewski, A. (2014). Experimental study of wood acoustic absorption characteristics. *De gryter*, 68(4), 467-476.

Smardzewski, J., Kamisinski, T., Dziurka, D., Mirski, R., Majewski, A., Flanch, A., & Pilch, A. (2015). Sound absorption of wood-based materials. *Holzforchung*, 4(69), 431-439.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Çevresel gürültü ölçüm ve değerlendirme kılavuzu. (2011). <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/cevresel-gurultu-olcum-ve-degerlend-rme-klavuzu-20180209145104.pdf>

URL-1. <https://butal.tubitak.gov.tr/tr/duyuru/tubitak-butalde-ses-yutum-katsayisi-olcumu>

Yang, H.S., Kim, D.J., & Kim, H.J. (2003). Rice straw–wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials, *Bioresource Technology*, 86, 117–121.

Yılmaz, C. (2019). Atık kâğıtlar ile üretilmiş ahşap esaslı panellerin bazı teknolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Ankara. 90s.

Yoshikawa, S. (2007). Acoustical classification of woods for string instruments, *Journal of the Acoustical Society of America*, 122 (1): 568-573.