



Çapraz lamine ahşap panellerin (CLT) ara katmanına uygulanan perforasyon işleminin levhaların ses yutma katsayısı değerlerine etkisinin incelenmesi

Zeliha Çavuş¹ , Musa Kaya² , Ramazan Bülbül*²

¹ Şiteks Şişmanlar Tekstil San. Tic. A.Ş., Ar-Ge Yöneticisi, Tekirdağ, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 06/11/2023

Kabul Tarihi : 26/12/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1385796>

*Sorumlu Yazar:

ramazanbulbul@gazi.edu.tr

ÖZ

Arařtırma Makalesi

Bu çalışmada katman kalınlıkları 17 mm ve katman sayıları ise 3 ve 5 adet olan 51 mm ve 85 mm kalınlığındaki göknar (*Abies* sp. L) ve meşe (*Quercus* L.) odunlarından elde edilen çapraz lamine ahşap panellerin (CLT) orta katmanlarına uygulanan; %10 ve %20 oranlarındaki perforasyon işlemi, katman sayısı, odun türü ve frekans seviyelerinin ses yutma katsayılarına etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen verilere

göre göknar odunundan üretilen çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayılarının meşe odunundan üretilen çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayılarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Perforasyon oranları, frekans seviyesi ve kullanılan odun türünün ses yutma katsayılarının etkilerinin ise anlamlı olduğu, panellerin katman sayısının ses yutma katsayılarına olan etkilerinin ise anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucuna göre ahşap yapısal uygulamalarda kullanılan çapraz lamine ahşap panellerin (CLT) ses yutma katsayılarının geliştirilmesi için daha düşük yoğunluklu odun türlerinin kullanılması ile birlikte uygulanan perforasyon oranlarının ise en az %20 uygulanması gerektiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz lamine ahşap paneller, perforasyon, ses yalıtımı

Examining the effect of the perforation process applied to the interlayer of cross-laminated wood panels (CLT) on the sound absorption coefficient values of the panels

ABSTRACT

In this study, it was applied to the middle layers of cross-laminated wood panels (CLT) obtained from fir (*Abies* sp. L.) and oak (*Quercus* L.) woods of 51 mm and 85 mm thickness, with layer thickness of 17 mm and layer numbers of 3 and 5; The effects of 10% and 20% perforation process, number of layers, wood type and frequency levels on sound absorption coefficients were investigated. According to the data obtained in the experiments, it was determined that the sound absorption coefficients of cross-laminated timber panels produced from fir wood were higher than the sound absorption coefficients of cross-laminated timber panels produced from oak wood. It was determined that the effects of perforation rates, frequency level and sound absorption coefficients of the type of wood used were significant, while the effects of the number of layers of the panels on the sound absorption coefficients were not significant. According to the results of the study, it can be said that in order to improve the sound absorption coefficients of cross-laminated timber panels (CLT) used in wooden structural applications, the perforation rates applied should be at least 20%, along with the use of lower density wood types.

Key Words: Cross-laminated wooden panels, perforation, sound insulation

Bu makaleye atıf:

Çavuş, Z., Kaya, M., Bülbül, R., 2023. Çapraz lamine ahşap panellerin (CLT) ara katmanına uygulanan perforasyon işleminin levhaların ses yutma katsayısı değerlerine etkisinin incelenmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 75-81.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Günümüz dünyasında sanayi ve teknoloji alanında meydana gelen gelişmelerle birlikte gelişen üretim yöntem ve tekniklerin varlığına bağlı olarak; ağaç malzemelerin farklı imalat süreçlerine dâhil edilmesi ile birçok ahşap esaslı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar genel olarak mobilya imalatı için lif levhalar, yonga levhalar ve kontrplak gibi malzemeler iken, ahşap yapı uygulamaları için ise Glulam, lamine keresteler, çapraz lamine ahşap levhalar (CLT) gibi malzemelerdir.

Ahşap esaslı kompozit panellerin üretilmesi ile genellikle hızlı yetiştirme potansiyeline sahip, düşük yoğunluklu, küçük çaplı, ekonomik değerleri düşük ve aynı zamanda düşük mekanik dirençlere sahip ağaçların orman ürünleri endüstrisine mühendislik ürünü ağaç malzemeler olarak kazandırılması sağlanmıştır (Mengeloğlu ve Kurt, 2004). Bununla birlikte yöresel veya bölgeye özgü ağaç türlerinin kullanılması da yaygındır. Buna örnek olarak Almanya'da ladin odunu kullanılırken Kanada'da ladin, çam, göknar; Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde ise çam odununun kullanımı daha yaygındır (Gavric, 2013). CLT panellerin geliştirilmesinin esas amacı ağaç malzemenin anizotropik yapısı kaynaklı teğet, radyal ve boyuna yönde meydana gelen davranış farklılıklarının paneller üzerine olan etkisinin azaltılması ve ahşap malzemede direnç azalmalarına neden olan budakların malzemeden uzaklaştırılarak panellerin mekanik özellikleri üzerine olan olumsuz etkisinin azaltılmasıdır (Mestek vd. 2008).

Çapraz lamine ahşap paneller, belli ölçülerdeki masif malzemelerin yan yana eklenmesi ile oluşturulan masif ahşap tabakaların elyaf yönleri genellikle birbirine dik gelecek şekilde farklı tutkallarla ve belirli bir basınç altında yapılandırılmasıyla üretilmiş, dayanıklılığı yüksek ve boyutsal kararlılığı olan yeni tip ahşap yapı elemanlarıdır (Birinci, vd. 2021)

Ahşap yapı endüstrisinde kullanılan CLT panellerin düzlem içi ve düzlem dışı mukavemetinin yüksekliği, sahip olduğu sağlamlık ve stabilitesi sayesinde 6 kattan daha yüksek çok katlı ahşap yapıların üretilmesine imkân sağladığı görülmüştür (Brandner vd. 2016; Brandner vd. 2013; Harte, 2017). Yapılarda çapraz lamine ahşap panellerin kullanımı; çevre dostu olmaları, hafif olmaları, hızlı ve kolay bir şekilde montaj edilebilme özelliğine sahip olmalarının yanında istenilen ölçülerde üretilebilmelerinden ötürü son yıllarda hızlı bir şekilde artmıştır (Di Bella, et al. 2020). Özellikle çapraz lamine ahşap panellerin Avrupa ve Amerika'da daha fazla kullanılması sayılan bu özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Schwarzmann vd., 2018). Kullanım alanlarına bakıldığında ise tek katlı binalardan çok katlı binalara, endüstriyel ve ticari binalardan köprü yapılarına kadar çok çeşitli kullanım alanlarının olduğu görülmektedir (Wieruszewski ve Mazela, 2017). CLT panellerin üretimi küresel çapta 2010'dan 2015'e kadar %250 oranında artış göstermiştir. Bu büyüme oranı çoğunlukla Avrupa dışındaki ülkelerde meydana gelmiştir (Espinoza vd. 2016). Söz konusu bu büyümenin 2025 yılına kadar aynı oranda artacağı tahmin edilmektedir (Brandner vd. 2016).

Türkiye'de ahşap yapıların inşa edilmesi özellikle betonarme yapıların gelişmesiyle ABD, Kanada ve Avustralya gibi ülkelerin aksine azalma meydana gelmiştir (Doğangün vd. 2005). ABD'de 2010 yılına ait verilere göre konutların

neredeyse %85'i ahşap strüktür ile yapılırken Türkiye'de bu oran %0,05 kadardır (Şişman, 2019).

Çapraz lamine ahşap panellerin depreme karşı dayanıklılığı bazı ülkeler tarafından gerçekleştirilen simülasyonlar vasıtası ile kanıtlanmıştır (Ceccotti vd., 2010). Bundan dolayı özellikle dinamik fay hatları üzerinde bulunan Japonya, ABD gibi ülkelerde ahşap yapılara olan ilginin, depremler sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarını en aza indirmek için daha da artmasına neden olduğu söylenilebilir. Ahşap yapıların özellikle gelişmiş ülkelerdeki varlıkları günden güne artarken; bu tür yapılar ile ilgili gerek mekanik özellikler, gerekse bu mekânlardaki yaşam konforunu etkileyen temel faktörlerden olan ısı ve ses yalıtımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Toftemo, vd. 2023).

İnsanların işitme sağlığını olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozan ve aynı zamanda iş verimini ve yaşam konforunu düşüren gürültü özellikle konut yaşam alanlarında ve çalışma mekânlarında en çok rahatsızlık duyulan konuların başında gelmektedir (Kaya ve Dalgar, 2017). Dolayısıyla konut yaşam alanlarında gürültü kontrolü ve denetimi önem arz etmektedir.

Yapılarda sesin daha iyi ıstılmasını sağlamak, sesin yayılışını, oluşumunu ve özelliklerini inceleyen bilim dalına akustik bilimi denilir (Demirkale, 2007). Yapı akustiğinde gürültü azaltma katsayısı (NRC) ses geçiş kaybı (TL) ve ses yutma katsayısı (α) terimleri ses yalıtım amaçlı kullanılan malzemelerin akustik performanslarını belirtmek için kullanılır (Crocker, 2007).

Ağaç malzeme estetik ve akustik özelliklerinin yanında kolaylıkla şekil verilebilir olması, söz konusu bu malzemenin mekânlarda kullanılabilirliğini artırmaktadır. Çünkü ağaç malzeme; sesin yutulması, sesin yansıtılması ve sesin saçılması işlevlerini yerine getirdiğinden dolayı akustik düzenlemeler için aranan malzeme niteliklerine sahiptir (Altınok ve Ayan, 2012). Aynı zamanda ağaç malzemenin ses yutma kabiliyeti anatomik yapısı, yoğunluğu, içerdiği rutubeti, sahip olduğu sıcaklık değeri, kalınlığı ve frekans seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak ağaç malzeme sahip olduğu yapısal özelliklerine (Gözeneklilik, lif yapısı, rutubet vb.) bağlı olarak ses enerjisinin %10'luk kısmını absorbe edebilmektedir (Örs ve Keskin, 2008). Günümüzde ağaç malzemelerdeki ses emme kapasitelerinin artırılması için perforasyon uygulamaları, doğal ve sentetik liflerle desteklenmeleri gibi çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Ses yutma katsayısı; ses kaynağına yöneltilen cisim tarafından emilen ses enerjisi, cismin üzerine gelen ses kaynağındaki genel ses enerjisi miktarına olan oranı olarak ifade edilir (Örs ve Keskin, 2008; Kaya ve Dalgar, 2017). Bu oran 0 ile bir arasında değişmektedir. Ses emme katsayısının (α) 0 olması sesin bütünüyle yansıtıldığı, 1 olması ise sesin bütünüyle malzeme tarafından yutulması anlamına gelmektedir.

Yapılan bu çalışmada; ahşap yapılarda duvar ve döşeme elemanları olarak uygulanan, göknar ve meşe odunları kullanılarak üretilen çapraz lamine ahşap panellerin (CLT) orta katmanlarına %10 ve %20 oranlarında perforasyon uygulaması yapılarak ses emme kapasitelerinin artırılması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Yapılan bu çalışmadaki çapraz lamine ahşap panellerin elde edilmesinde kullanılan ağaç malzemeler; meşe (*Quercus L.*) ve göknar (*Abies sp. L.*) odunlarından elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bu ağaç malzemelerin seçilmesinde; düzgün lifli, budaksız, çatlaksız, reaksiyon odunu, çürüme, böcek ve mantar tahribatının olmaması gibi kriterler göz önüne alınarak birinci sınıf özelliklere sahip olacak şekilde rastgele yöntemle temin edilmiştir. Çapraz lamine ahşap levhaların oluşturulmasında kullanılan malzemelere ait bazı özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çapraz lamine ahşap panellerin üretiminde kullanılan malzemelere ait bazı özellikler

No	Malzeme Adı	Ebatları	Yoğunluk (g/cm ³)	Rutubet (%)
1	Göknar	17 x 80 x 310	0,44	%11,3
2	Meşe ağacı	17 x 80 x 310	0,75	%12,4
3	PVAc	110-120 gr/m ²		

2.2 Metot

2.2.1 Çapraz lamine ahşap panellerin üretilmesi

Çapraz lamine ahşap panelleri oluşturan masifler, kaba ölçüleri; 20 mm x100 mm x1000 mm ölçülerinde kesildikten sonra yüz ve cumba temizleme işlemi yapılarak net ölçüsü olan 17 mm x 80 mm x 310 mm ölçülerine getirilmiştir. Net ölçüsüne getirilen masif ahşap parçalar 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanan masif parçalarının cumbalarına m²'ye 100 - 120 gr PVAc tutkallı sürülerek; Şekilde 1.a’de görülen pres makinesi vasıtasıyla yan yana yapıştırılması sonucu çapraz lamine ahşap panellerin katman tabakaları elde edilmiştir. Elde edilen katman tabakalarından sadece çapraz lamine ahşap panellerin orta katmanında kullanılacak olan tabakanın yüzey alanına; Şekil 1.b’de görüldüğü gibi, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü makine atelyesinde bulunan; SCM tech Z1 markalı CNC Ahşap işleme makinesi ile %10 ve %20 oranlarında perforasyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 1. (a) Lamine ahşap levhaların oluşturulması, (b) Ara katmanlarda kullanılacak perforasyonlu lamine ahşap levha

Çapraz lamine ahşap panellerin orta katmanlarında kullanılacak olan tabakalara uygulanan perforasyon işlemlerinin ardından, paneli meydana getiren dış katmanlardaki tabakaların

birer yüzeyine, iç katmanlardaki tabakaların ise her iki yüzeyine m²'ye 100 – 120 g PVAc tutkallı sürülerek 3 ve 5 katmanlı olacak şekilde Şekil 2’de görülen hidrolik pres makinesi ile cm²'ye 80 kg’lık basınç ile 12 saat boyunca sıkılarak çapraz lamine ahşap paneller elde edilmiştir. Preslenen çapraz lamine panellerin kodlanarak isimlendirilmesi Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çapraz lamine panellerin pres makinesi ile sıkılması

Çizelge 2. Çapraz lamine ahşap panellerin kodlanarak isimlendirilmesi

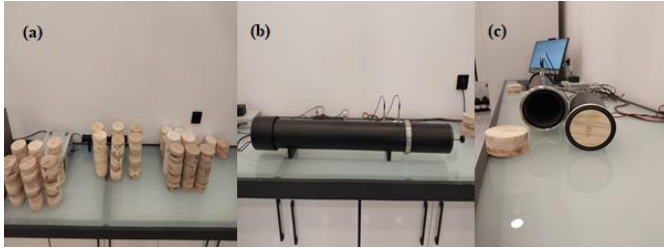
Panel Kodu	Çapraz Lamine Ahşap Panel (CLT) İsmi
3G0	3 Katmanlı Göknar Kontrol Grubu CLT panel
3G10	3 Katmanlı %10 perforasyonlu göknar CLT Panel
3G20	3 Katmanlı %20 perforasyonlu göknar CLT panel
3M0	3 Katmanlı Meşe Kontrol Grubu CLT panel
3M10	3 Katmanlı %10 perforasyonlu Meşe CLT panel
3M20	3 Katmanlı %20 perforasyonlu Meşe CLT panel
5G0	5 Katmanlı Göknar Kontrol Grubu CLT panel
5G10	5 Katmanlı %10 perforasyonlu göknar CLT panel
5G20	5 Katmanlı %20 perforasyonlu göknar CLT panel
5M0	5 Katmanlı Meşe Kontrol Grubu CLT panel
5M10	5 Katmanlı %10 perforasyonlu Meşe CLT panel
5M20	5 Katmanlı %20 perforasyonlu Meşe CLT panel

2.2.2 Çapraz lamine ahşap panellere ait hava kurusu yoğunlukları

Çapraz lamine ahşap panellerin hava kurusu yoğunluk değerlerinin tespiti TS EN 408+A1 (2014)’e göre yapılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri 20 ±2 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarında %12 rutubet oranına ulaşincaya kadar kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanma 6 saat aralıklarla yapılan ölçümlerde iki tartım arasında kütlece 0,001’den fazla olmadığı zaman numunelerin sabit ağırlığa geldiği kabul edilmektedir.

2.2.3 Çapraz lamine ahşap panellere ait ses yutma deneylerinin yapılması

Çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayılarının tespiti ŞİTEKS firması tarafından, empedans tüp yöntemi kullanılarak ASTM E 1050 – 08 standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu standarda göre 100 mm çapında hazırlanan deney numunelerinin 100 Hz'den 1250 Hz frekans bantlarına kadar ses yutma katsayıları tespit edilmiştir. Deney işlemine tabi tutulan numuneler 20°C sıcaklıkta ve 50% bağıl nem şartlarında kondisyonlandıktan sonra empedans tüpüne takılıp; ses yutma katsayıları belirlenmiştir. Ses yutma katsayısının tespitinde kullanılan deney numuneleri ve empedans tüpü Şekil 3.a, 3.b ve 3.c'de görülmektedir.



Şekil 3. (a) Deney numuneleri, (b) Empedans tüpü, (c) Numune takılmış empedans tüpü

2.2.4 Verilerin analiz edilmesi

DeneySEL metotlarla elde edilen verilerin analizinde SPSS 26 ve MSTAT-C programları tercih edilmiştir. Bu programlar ile tek yönlü (ANOVA) ve çoklu karşılaştırmalar 95% güven endeksi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Çapraz lamine ahşap panellere ait hava kuruşu yoğunlukları

Çapraz lamine ahşap panellerin, TS 5497 EN 408'e göre belirlenen hava kuruşu yoğunluk değerlerine ait istatistiksel veriler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Çapraz lamine ahşap panellere ait hava kuruşu yoğunluk değerleri

CLT Kodu	N	X _{min}	X _{max}	\bar{X}	Std. Sp.
3G0	3	0,445	0,461	0,453	0,008
3G10	3	0,431	0,453	0,442	0,011
3G20	3	0,387	0,409	0,398	0,011
3M0	3	0,735	0,761	0,748	0,013
3M10	3	0,701	0,735	0,718	0,017
3M20	3	0,686	0,712	0,699	0,013
5G0	3	0,446	0,458	0,452	0,006
5G10	3	0,429	0,439	0,434	0,005
5G20	3	0,382	0,402	0,392	0,010
5M0	3	0,709	0,727	0,718	0,009
5M10	3	0,694	0,710	0,702	0,008
5M20	3	0,689	0,697	0,693	0,004

Çizelge 3'e göre çapraz lamine ahşap panellerin hava kuruşu yoğunluk değerlerinin birbirlerinden farklı oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca panellere yapılan perforasyon uygulaması oranı ile panel yoğunlukları arasında ters bir orantının olduğu görülmüştür. Bununla birlikte çapraz lamine ahşap paneller yoğunluklarının panellerin ses yutma katsayılarına olan etkilerini belirlemek için yapılan regresyon analizi sonucu Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Panel yoğunluklarının ses yutma katsayılarına etkisinin tespitine yönelik regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	B	Std. Hata	R	R ²
Panel yoğunlukları	Ses yutma katsayıları	-11,74	10,90	0,54	0,30

Çapraz lamine ahşap panellerin yoğunlukları ve ses yutma katsayıları arasındaki ilişkinin yordanması (Bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkileme seviyesi) için yapılan regresyon analizinde panel yoğunlukları ile ses yutma katsayıları arasında negatif (-11,74) bir yönün mevcut olduğu görülmüştür. Yani panel yoğunlukları yapılan perforasyon işlemine bağlı olarak düştükçe; ses yutma katsayılarında artış meydana gelmiştir. Yine yapılan regresyon analiz sonucuna göre panellerin ses yutma katsayılarının sadece %30 kısmının panel yoğunlukları tarafından açıklandığı gösterilmektedir.

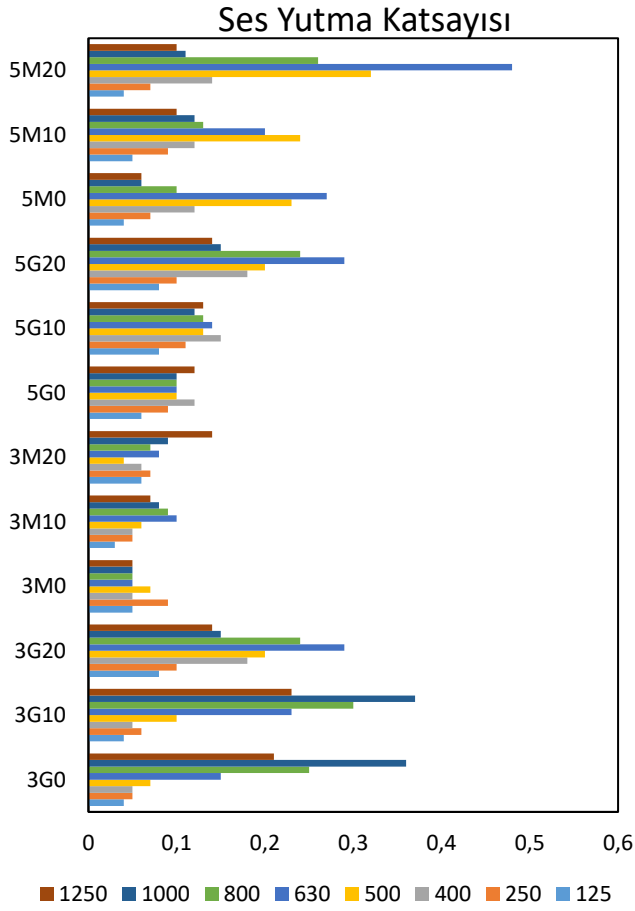
3.1 Çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayıları

ASTM E 1050 – 08'e göre empedans tüp yöntemiyle ses yutma katsayıları tespit edilen çapraz lamine ahşap panellere ait istatistiksel veriler Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Çapraz lamine ahşap levhaların ses yutma katsayılarına ilişkin ortalama veriler

Kod	Frekans (Hz)							
	125	250	400	500	630	800	1000	1250
3G0	0,04	0,05	0,05	0,07	0,15	0,25	0,36	0,21
3G10	0,04	0,06	0,05	0,10	0,23	0,30	0,37	0,23
3G20	0,08	0,10	0,18	0,20	0,29	0,24	0,15	0,14
3M0	0,05	0,09	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05
3M10	0,03	0,05	0,05	0,06	0,10	0,09	0,08	0,07
3M20	0,06	0,07	0,06	0,04	0,08	0,07	0,09	0,14
5G0	0,06	0,09	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
5G10	0,08	0,11	0,15	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13
5G20	0,08	0,10	0,18	0,20	0,29	0,24	0,15	0,14
5M0	0,04	0,07	0,12	0,23	0,27	0,10	0,06	0,06
5M10	0,05	0,09	0,12	0,24	0,2	0,13	0,12	0,10
5M20	0,04	0,07	0,14	0,32	0,48	0,26	0,11	0,10

Çizelge 5'e göre çapraz lamine ahşap panellerin 125 Hz ile 1250 Hz arasındaki frekans seviyelerinde ses yutma katsayılarının birbirlerinden farklı değerlerde olduğu; meydana gelen bu farklılığın anlamlı olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. Çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayılarına ilişkin sütun grafiği ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayılarına ilişkin sütun grafiği

Şekil 4'teki grafiğe göre %10 ve %20'lik perforasyon oranlarına sahip panellerin kontrol grubu (%) panellerine göre farklı oldukları görülmektedir. Gruplar arası farklılığın; kullanılan ağaç malzeme türüne, katman sayısına, perforasyon oranlarına ve frekans seviyelerine bağlı olarak anlamlılık seviyelerini belirlemek için yapılan ANOVA testi analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.

Çizelge 6. CLT panellerde kullanılan odun türünün ses yutma katsayısına etkisi

	Kareler Toplamı	S D	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık (p<0,05)
Gruplar Arası	0,058	1	0,058	6,400	0,013
Grup İçi	0,845	94	0,009		
Toplam	0,902	95			

Çizelge 6'ya göre panellerin üretilmesinde kullanılan ağaç malzemenin türüne bağlı tespit edilen ses yutma katsayılarının birbirlerinden farklı olduğu ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı (F: 6,400; p<0,05) olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan odun türü düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Odun türüne göre ses yutma katsayılarına ilişkin homojenlik grupları

Ağaç Malzeme Türü	N	\bar{X} (α)	HG
Gök nar	48	0.16	A
Meşe	48	0.11	B

Çizelge 7'ye göre göknar ağaç malzemenin ses yutma katsayısı ile meşe ağaç malzemenin ses yutma katsayılarının birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı oldukları, göknar ağaç malzemenin ses yutma katsayısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Meydana gelen bu farklılığın nedeni ağacın anatomik yapısı ve yoğunluğuna bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Sarıçam odunundan elde edilen masif panelin ses yutma katsayısı; düşük yoğunluğundan dolayı iroko odunundan elde edilen masif panelin ses yutma katsayısından daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde ses yutma katsayısı bu tür malzemelerdeki boşluk hacmine bağlı olarak değiştiğini de belirtmişlerdir (Altınok ve Ayan, 2012; Smardzewski vd. 2015; Kaya, 2023). Yapılan bu çalışmada elde edilen ses yutma katsayılarının, daha önce yapılmış benzer çalışmalardaki ses yutma katsayılarına benzer oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Çapraz lamine ahşap panellerin katman sayılarına bağlı olarak gerçekleşen ses yutma katsayılarına ilişkin ANOVA testi sonucu Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. CLT panellerdeki katman sayısının ses yutma katsayısına etkisi

	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık (p<0,05)
Gruplar Arası	0,006	1	0,006	0,648	0,423
Grup İçi	0,896	94	0,010		
Toplam	0,902	95			

Çizelge 8'e göre çapraz lamine ahşap panellerdeki katman sayısının ses yutma katsayısı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Çapraz lamine ahşap panellerin perforasyon oranlarına göre gerçekleşen ses yutma katsayılarına ilişkin ANOVA testi sonucu Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. CLT panellerdeki perforasyon oranının ses yutma katsayısına etkisi

	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık (p<0,05)
Gruplar Arası	0,058	2	0,029	30199	0,045
Grup İçi	0,844	93	0,009		
Toplam	0,902	95			

Çapraz lamine ahşap panellerde uygulanan perforasyon uygulamasının ses yutma katsayısına etkilerinin istatistiksel (p<0.05) olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Çapraz lamine panellerdeki perforasyon uygulamaları düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Perforasyon oranlarına göre ses yutma katsayılarına ilişkin homojenlik grupları

Perforasyon oranı	N	\bar{X} (α)	HG
%0	32	0,11	B
%10	32	0,12	BA
%20	32	0,16	A

Çizelge 10'daki perforasyon oranlarının ses yutma katsayılarına olan etkilerine göre kontrol grubuna göre %20'lik perforasyon oranının anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit edilmiştir. %10 perforasyon panelinin ses yutma katsayısı ortalama değerinin de kontrol grubuna göre farklı olduğu ancak istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

Ağaç malzemelerdeki iç boşlukların ses yutma katsayıları üzerinde etkilerinin olduğu (Bertolini ve diğerleri, 2019), çekirdek katmanları altıgen petekli ahşap esaslı paneller ve yine çekirdek katmanı farklı geometrik oluk tarzında oluşturulmuş olan kompozit panellerin ses yutma katsayılarında artışların meydana geldiğini belirtmişlerdir (Gündüz, 2022; Kaya, 2023). Dolayısıyla ses yutma seviyeleri yüksek olan malzemeler yüksek gözeneklilik olma eğilimine sahiptirler (Cox and D'Antonio, 2009). Böylece panellerin orta katmanlarında yapılan perforasyon oranının artmasıyla panellerdeki boşluklu hacmin ses yutma katsayılarını artırdığını; elde edilen bu sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu söylenilebilir. Çapraz lamine ahşap panellerin frekans seviyelerine bağlı olarak gerçekleşen ses yutma katsayılarına ilişkin ANOVA testi sonucu Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. CLT panellerdeki frekans seviyelerinin ses yutma katsayısına etkisi

	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık ($p<0,05$)
Gruplar Arası	0,245	7	0,035	4,684	0,000
Grup İçi	0,657	88	0,007		
Toplam	0,902	95			

Çizelge 11'e göre çapraz lamine ahşap panellerin frekans seviyelerinin ses yutma katsayısına etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Frekans seviyeleri arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi yapılarak sonuçları Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 12. Frekans seviyelerine bağlı ses yutma katsayılarına ilişkin homojenlik grupları

Frekans Seviyesi	N	\bar{X} (α)	HG
125	12	0,0508	D
250	12	0,0767	DC
400	12	0,0992	DCB
1250	12	0,1233	DCB
500	12	0,1517	CBA
1000	12	0,1583	BA
800	12	0,1758	BA
630	12	0,2133	A

Çizelge 12'ye göre frekans seviyelerine bağlı en yüksek ses emme katsayılarının 630 Hz ile 800 Hz frekans seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 100 Hz ile 1600 Hz arasındaki frekans seviyelerinde ses emme katsayıları incelenmiş ancak 1250 Hz frekans seviyesinden sonraki ses

emme katsayıları ile 100 Hz ve 125 Hz frekans seviyeleri ile çok yakın değerlerde olduğundan değerlendirilmeye alınmamıştır.

Ses yutuculuğu frekansa göre değişkenlik göstermektedir (Demirkale, 2007). Özellikle perforasyonlu panellerde ses yutma katsayısı 500 Hz ve 1000 Hz seviyelerinde gerçekleşmiştir (Negro et al. 2010). Yapılan diğer bir çalışmada ise düz yüzeyli panellerde en iyi ses yutma katsayısının 160 Hz ile 200 Hz frekans seviyelerinde, delikli yüzeylere sahip panellerde ise en yüksek ses yutma katsayısı ise 400 Hz ile 600 Hz frekans seviyelerinde meydana gelmiştir (Altınok ve Ayan, 2012). Frekans seviyelerine bağlı olarak ses yutma katsayılarının malzemelerin özelliklerine, yüzey şekillerine, gözenekli yapısına ve montaj şekline göre farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir (Godshall, and Davis, 1969). Yapılan bu çalışmada frekans seviyelerine bağlı olarak elde edilen ses yutma katsayılarının literatürde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen ses yutma katsayılarıyla uyumluluk gösterdiği tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada çapraz lamine ahşap panellerin ses yutma katsayıları 125 Hz ile 1250 Hz frekansları arasındaki değerleri tespit edilerek; özellikle bu tür panellerin düşük frekanslardaki kalın (Pest) seslere karşı ses yutum performansları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 600 ve 800 Hz frekans seviyelerinde ses yutma katsayılarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte panellere uygulanan perforasyon işlemlerinin de panellerin ses yutma katsayılarında artış sağladığı tespit edilmiştir. Ses yutma katsayılarındaki bir diğer önemli faktör ise kullanılan malzemenin yoğunluk değeri olup; özellikle göknar odununu daha düşük yoğunluğa sahip olmasına bağlı olarak ses yutma katsayısının meşe odununa kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak bundan sonra üretilecek olan çapraz lamine panellerin ses yutma katsayılarının artırılması için daha düşük yoğunluklu malzemelerin tercih edilmesi ile birlikte yüzeylerine uygulanacak perforasyon işlemlerinin de %20'den fazla olması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmı Bingöl 1. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi'nde sunulmuştur. Kongre kitabında özet olarak yayımlanmıştır. 2023, Bingöl.

Yazar Katkıları

Zeliha Çavuş: Deneylerin gerçekleştirilmesi. Musa Kaya: Verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması. Ramazan Bülbül: Çalışma konusunun belirlenmesi, Deney tasarımının yapılması, verilerin analiz edilmesi.

Kaynaklar

Altınok, M., Ayan, S., 2012. Lamine panellerde ses yutma katsayısı değerlerinin belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 15 (3), 117-125.

