



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ LAMİNE
AHŞAP KOMPOZİT ÜRETİMİ VE TASARIMININ
ARAŞTIRILMASI

HAMİT ÖZYURT

DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ LAMİNE
AHŞAP KOMPOZİT ÜRETİMİ VE TASARIMININ
ARAŞTIRILMASI

HAMİT ÖZYURT

DOKTORA TEZİ
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hamit ÖZYURT



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

KSÜ BAP Proje No: 2020/1-15 D

Ayrıca bu tez çalışması YÖK 100/2000 doktora projesi kapsamında '*Endüstriyel Ürünler Tasarımı*' öncelikli alanında T.C. Yükseköğretim Kurulu tarafından desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**AKUSTİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ LAMİNE AHŞAP KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE TASARIMININ ARAŞTIRILMASI
(DOKTORA TEZİ)**

HAMİT ÖZYURT

ÖZET

Günümüzde endüstrileşme oranındaki artış ve sürekli gelişen teknolojik gelişmeler, kentleşmenin artmasına neden olmaktadır. Kentleşmeyle birlikte sosyal yaşam ve etkinlik alanlarının sayısı ve çeşitlerinde artış yaşanmaktadır. Sosyal yaşam ve etkinlik alanlarında akustik konforun sağlanması ise en temel ihtiyaçların başında gelmektedir. Yeni nesil ahşap esaslı kompozit malzemelerin tasarımı ve üretilmesiyle akustik konforun sağlanması mümkün olmaktadır. Yapılan bu çalışmanın ilk bölümünde akustik malzeme üretimine en uygun ağaç türünü belirlemek amacıyla üretimler yapılmıştır. Çalışmada tutkal olarak polivinil asetat (PVAc) ağaç türü olarak kavak (*Populus deltoides*), kayın (*Fagus orientalis Lipsky.*) ve huş (*Betula pendula*) soyma kaplamaları kullanılarak lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Aynı kalınlıkta üretilen kompozit malzemelerin akustik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak kavak ağacına ait soyma kaplamalar kullanılarak üretilen lamine ahşap kompozitlerin akustik malzeme üretimine daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra, araştırmaya kavak (*Populus deltoides*) ağacı ile devam edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde kavak (*Populus deltoides*) soyma kaplama, polivinil asetat (PVAc) tutkalı, doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak yeni nesil lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Araştırmada bir kontrol ve dört deney grubu oluşturulmuştur. Deney gruplarının üretiminde ise dört farklı malzeme orta tabakada (beşinci tutkal tabakası) kullanılmıştır. Bunlar; doğal kauçuk (A grubu), linolyum (B grubu), keçe (C grubu) ve elastomerik sünger (D grubu) olmak üzere 4 grup şeklindedir. Çalışmanın üçüncü bölümünde akustik konforun sağlanması amacıyla beş farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı yapılmıştır. Kontrol, A, B, C ve D gruplarına ait kompozit malzemeler kullanılarak üretilen panellerin yüzey tasarımları için; daire yüzey formuna (düz yüzey) 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 tercih edilmiştir. Bu yüzey tasarımları bütün gruplara uygulanarak toplam 25 farklı grup elde edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk, kalınlığına şişme ve su alma yüzdeleri, rutubet miktarı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çivi tutma direnci, vida tutma direnci, şok direnci, ısı iletim katsayısı, ısı geçirgenlik katsayısı gibi teknolojik

özellikleri ve ultrasonik ses iletim hızı, ses yutum katsayısı, ses iletim kaybı gibi akustik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, baklava dilimi yüzey tasarımına sahip grupların daha yüksek akustik performansa sahip olduğu, daire formuna sahip düz yüzeyli panellerin ise en düşük akustik performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düz yüzey formuna sahip kompozit malzemelerin ısı izolasyon özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubuna kıyasla deney gruplarına ait kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde pozitif gelişmeler kaydedildiği tespit edilmiştir. Akustik konforun sağlanması amacıyla deney gruplarına (A,B,C ve D) ait kompozit malzemelerin ses yutucu akustik panel ve akustik ses yalıtım paneli olarak, kontrol grubuna ait kompozit malzemelerin ise ses yansıtıcı akustik panel olarak kullanılması önerilebilir.

Anahtar kelimeler: Akustik Malzeme Tasarımı, Lamine Ahşap Kompozit, Doğal Kauçuk, Linolyum, Keçe, Elastomerik Sünger, Akustik Özellikler, Teknolojik Özellikler.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs / 2022

Danışman : Doç. Dr. Ferhat ÖZDEMİR

Sayfa sayısı : 142

**INVESTIGATION OF THE PRODUCTION AND DESIGN OF LAMINATED
WOOD COMPOSITE WITH IMPROVED ACOUSTIC PROPERTIES
(Ph.D. THESIS)**

HAMİT ÖZYURT

ABSTRACT

Nowadays, the increase in the rate of industrialization and continuous developing technological developments cause an increase in urbanization. With urbanization, there is an increase in the number and types of social life and activity areas. Providing acoustic comfort in social life and activity areas is one of the most basic needs. It is possible to provide acoustic comfort with the design and production of next generation wood based composite materials. In the first part of the study, productions were made in order to determine the most suitable tree species for acoustic material production. In the study, laminated wood composite boards were produced using polyvinyl acetate (PVAc) as glue, poplar (*Populus deltoides*), beech (*Fagus orientalis Lipsky.*) and birch (*Betula pendula*) peeling veneers as wood species. The acoustic properties of composite materials produced at the same thickness were investigated. As a result, it has been determined that laminated wood composites produced by using peeling veneers of poplar wood were more suitable for acoustic material production. After this stage, the research continued with the poplar (*Populus deltoides*) tree. In the second part of the study, next generation laminated wood composite boards were produced using poplar (*Populus deltoides*) peeling veneers, polyvinyl acetate (PVAc) glue, natural rubber, linoleum, felt and elastomeric sponge. One control group and four experimental groups were produced. In the production of the experimental groups, four different materials were used in the middle layer (fifth adhesive layer). These are; natural rubber (Group A), linoleum (Group B), felt (Group C) and elastomeric sponge (Group D). In the third part of the study, acoustic panel design with five different surface forms was made in order to provide acoustic comfort. For the surface designs of panels produced using composite materials belonging to Control, A, B, C and D groups; panel with a circle surface form (flat surface), panel with a pizza slice surface form, panel with a striped surface form, panel with an asymmetrical surface form and a panel with a baklava slice surface form were preferred. A total of 25 different groups were obtained by applying these surface designs to all groups. Tests were performed on the composites to investigate density, thickness swelling and water absorption percentages, moisture, modulus of rupture, modulus of elasticity, screw withdrawal strength, nail withdrawal strength, impact bending, thermal conduction

coefficient, heat transition coefficient, ultrasonic pulse velocity, sound absorption coefficient and sound transmission loss. According to obtained the data, it has been determined that the groups with the baklava slice surface design have the highest acoustic performance, flat surface panels with circle form have the lowest acoustic performance. In addition, it has been determined that the thermal insulation properties of composite materials with a flat surface form were better. Compared to the control group, positive improvements were observed in the physical and mechanical properties of the composite materials belonging to the experimental groups. In order to provide acoustic comfort, it can be suggested that the composite materials belonging to the experimental groups (A,B,C and D) be used as sound absorbing acoustic panels and acoustic sound insulation panels, the composite materials belonging to the control group as sound reflective acoustic panels.

Key Words: Acoustic Material Design, Laminated Wood Composite, Natural Rubber, Linoleum, Felt, Elastomeric Sponge, Acoustic Properties, Technological Properties.

Kahramanmaraş Sütçü Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering,
May / 2022

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ferhat ÖZDEMİR

Page number : 142

TEŞEKKÜR

“Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Lamine Ahşap Kompozit Üretimi ve Tasarımının Araştırılması” adlı çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı ve T.C. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) 100/2000 Doktora Projesi kapsamında Endüstriyel Ürünler Tasarımı öncelikli alanında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Ferhat ÖZDEMİR’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde bulunmayı kabul ederek yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ, Doç. Dr. Gökhan CEYHAN, Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ ve Prof. Dr. Selim ŞEN’e çok teşekkür ederim.

Çalışmamın mekanik testlerinde laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. İbrahim BEKTAŞ’a, testlerin yapımında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ayşenur KILIÇ AK ve doktora öğrencisi Saniye ERKAN’a teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca YÖK 100/2000 Doktora Projesi kapsamında burs imkanı sağlayarak mali olarak destekleyen T.C. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığına teşekkür ediyorum.

Doktora projemizi (Proje No: 2020/1-15 D) destekleyerek bu tezin oluşmasına katkıda bulunan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığına teşekkür ediyorum.

Ayrıca çalışmalarım sırasında her türlü desteği benden esirgemeyen değerli aileme teşekkür ediyorum.

Kahramanmaraş, Mayıs 2022

Hamit ÖZYURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sesin Özellikleri ve Etkileri.....	2
1.1.1. Periyot.....	4
1.1.2. Frekans.....	4
1.1.3. Genlik.....	4
1.1.4. Ses hızı (c).....	4
1.1.5. Ses şiddeti (I).....	5
1.1.6. Ses gücü.....	5
1.1.7. Ses basıncı.....	6
1.1.8. Ses ölçüm birimi desibel (dB).....	6
1.1.9. Eko.....	7
1.1.10. Oktav bantları.....	7
1.1.11. Rezonans.....	7
1.1.12. Reverberasyon (Yankı) süresi.....	8
1.1.13. Akustik empedans.....	8
1.1.14. Berraklık (C80)	8
1.1.15. Erken sönümlenme süresi (EDT)	9
1.1.16. Konuşma iletim indisi (STI)	9
1.1.17. Gürültü.....	9
1.1.18. Doppler etkisi.....	13
1.2. Akustik Ölçüm Parametreleri.....	14
1.2.1. Ses geçiş kaybı.....	14
1.2.2. Ses yutum katsayısı.....	14
1.3. Akustik Panellerin Teknik Kullanımları	15
1.3.1. Ses yansıtıcı yüzeyler.....	15
1.3.2. Ses yutucu yüzeyler.....	16
1.3.3. Ses dağıtıcı malzemeler.....	17
1.4. Ahşap Esaslı Malzemelerin Akustik Özellikleri.....	17
1.5. Akustik Performansı Etkileyen Malzeme Özellikleri.....	17
1.6. Lamine Ahşap Malzemelerin Akustik Özelliklerinin Geliştirilmesi.....	19

1.7. Kavak Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	20
1.8. Kayın Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	21
1.9. Huş Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	23
3. MATERYAL VE METOT.....	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Odun hammaddesi.....	31
3.1.2. Tutkal.....	31
3.1.3. Kauçuk.....	32
3.1.4. Linolyum.....	33
3.1.5. Keçe.....	33
3.1.6. Elastomerik sünger.....	34
3.1.7. Lamine ahşap kompozitlerin üretimi.....	34
3.1.7.1. Farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı.....	36
3.2. Metot.....	40
3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi.....	40
3.2.1.1. Hava kurusu yoğunluğun belirlenmesi.....	40
3.2.1.2. Kalınlığına şişme ve su alma.....	41
3.2.1.3. Rutubetin belirlenmesi.....	42
3.2.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi.....	43
3.2.2.1. Eğilme direncinin ve elastikiyet modülünün belirlenmesi.....	43
3.2.2.2. Şok direncinin belirlenmesi.....	44
3.2.2.3. Vida ve çivi tutma direncinin belirlenmesi.....	45
3.2.3. Isı izolasyon özelliklerin belirlenmesi.....	46
3.2.3.1. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesi.....	46
3.2.4. Akustik özelliklerin belirlenmesi.....	47
3.2.4.1. Ultrasonik ses iletim hızının belirlenmesi.....	47
3.2.4.2. Ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybının belirlenmesi.....	48
3.3. İstatistik Analizler.....	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
4.1. Lamine Ahşap Kompozitlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	52
4.1.1. Hava kurusu yoğunluk.....	52
4.1.2. Rutubet testi.....	54
4.1.3. Kalınlığına şişme ve su alma.....	55
4.1.3.1. Kalınlığına şişme testi.....	55
4.1.3.2. Su alma testi.....	58
4.1.4. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü.....	60
4.1.4.1. Eğilme direnci.....	60
4.1.4.2. Elastikiyet modülü.....	64
4.1.5. Şok direnci.....	66
4.1.6. Vida tutma direnci testi.....	70
4.1.7. Çivi tutma direnci testi.....	73
4.2. Farklı Yüzey Tasarımına Sahip Kompozit Panellerin Isı İzolasyon ve Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	76

4.2.1. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı testi.....	76
4.2.2. Ultrasonik ses iletim hızı.....	80
4.2.3. Ses yutum katsayısı.....	83
4.2.4. Ses iletim kaybı (dB).....	93
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	103
5.1. Sonuçlar	103
5.1.1. Hava kurusu yoğunluk.....	103
5.1.2. Rutubet testi.....	104
5.1.3. Kalınlığına şişme testi.....	104
5.1.4. Su alma testi.....	104
5.1.5. Eğilme direnci testi.....	104
5.1.6. Elastikiyet modülü testi.....	105
5.1.7. Şok direnci testi.....	105
5.1.8. Vida tutma direnci testi.....	105
5.1.9. Çivi tutma direnci testi.....	106
5.1.10. Isı iletkenlik katsayısı testi.....	106
5.1.11. Isı geçirgenlik katsayısı testi.....	106
5.1.12. Ultrasonik ses iletim hızı.....	107
5.1.13. Ses yutum katsayısı.....	107
5.1.14. Ses iletim kaybı (dB).....	108
5.2. neriler	109
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Ses dalgalarının yayılışı.....	3
Şekil 1.2. Ses dalgasının oluşturduğu ses basıncının değişimi.....	3
Şekil 1.3. Ses frekans alanının dağılımı.....	4
Şekil 1.4. Tek frekansa sahip bir ses dalgasının hava içerisindeki hareketi.....	6
Şekil 1.5. Yansıtıcı yüzeyin ses dalgalarını yansıtması.....	15
Şekil 1.6. Bir ortamdaki ses dalgalarının homojen şekilde yansıtılması.....	15
Şekil 1.7. Ses yutucu malzemelerin teknik kullanımı.....	16
Şekil 3.1. Ön araştırmada kullanılan farklı ağaç türlerine ait lamine ahşap kompozit örnekleri.....	31
Şekil 3.2. Araştırmada kullanılan kauçuk.....	32
Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan linolyum.....	33
Şekil 3.4. Araştırmada kullanılan keçe.....	34
Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan elastomerik sünger.....	34
Şekil 3.6. Soyma kaplamaların tutkalanması.....	35
Şekil 3.7. Kontrol grubunun şematik görüntüsü.....	36
Şekil 3.8. Deney gruplarının şematik görüntüsü.....	36
Şekil 3.9. Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel.....	37
Şekil 3.10. Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel.....	37
Şekil 3.11. Şeritli yüzey formuna sahip panel.....	37
Şekil 3.12. Asimetrik yüzey formuna sahip panel.....	38
Şekil 3.13. Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel.....	38
Şekil 3.14. Yüzey tasarımı yapılan panellerin kesiş özellikleri.....	39
Şekil 3.15. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için kullanılan test örnekleri.....	40
Şekil 3.16. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan hassas terazi.....	42

Şekil 3.17. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan kumpas.....	42
Şekil 3.18. Eğilme direnci ve Elastikiyet modülü test örnekleri.....	44
Şekil 3.19. Şok direnci testi uygulaması.....	45
Şekil 3.20. Test örneklerine pilot deliği açma işlemi.....	46
Şekil 3.21. Grupların test öncesi görüntüleri.....	46
Şekil 3.22. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçüm cihazı.....	47
Şekil 3.23. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçümünde kullanılan test örneği.....	47
Şekil 3.24. Ultrases ölçüm cihazı.....	48
Şekil 3.25. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan empedans tüpü (Küçük tüp).....	49
Şekil 3.26. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan empedans tüpü (Büyük tüp).....	49
Şekil 3.27. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test örnekleri.....	50
Şekil 3.28. Test örneklerinin empedans tüpüne montajı.....	50
Şekil 4.1. Grupların hava kurusu yoğunluk değişimleri.....	53
Şekil 4.2. Grupların rutubet yüzdeleri.....	55
Şekil 4.3. Grupların 2, 24 ve 336 saat sonundaki kalınlığına şişme değişimleri.....	57
Şekil 4.4. Grupların 2, 24 ve 336 saat sonundaki su alma değişimleri.....	59
Şekil 4.5. Grupların eğilme ve elastikiyet modülü testi esnasındaki görüntüler.....	62
Şekil 4.6. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin eğilme direnci değişimleri.....	63
Şekil 4.7. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin elastikiyet modülü değişimleri.....	65
Şekil 4.8. Şok direnci testi sonrası kontrol ve deney gruplarının görüntüsü.....	67
Şekil 4.9. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin şok direnci değişimleri.....	68
Şekil 4.10. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel şok direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki.....	70

Şekil 4.11. Grupların vida tutma direnci testi esnasındaki görüntüleri.....	71
Şekil 4.12. Grupların vida tutma direnci değişimleri.....	72
Şekil 4.13. Vida tutma direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki.....	73
Şekil 4.14. Grupların çivi tutma direnci testi esnasındaki görüntüleri.....	74
Şekil 4.15. Grupların çivi tutma direnci değişimleri.....	75
Şekil 4.16. Çivi tutma direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki.....	76
Şekil 4.17. Grupların ısı iletkenlik katsayısı değişimleri.....	78
Şekil 4.18. Grupların ısı geçirgenlik katsayısı değişimleri.....	79
Şekil 4.19. Ultrasonik ses iletim hızı testinin yapılışı.....	81
Şekil 4.20. Grupların ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değişimleri.....	81
Şekil 4.21. Farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları.....	82
Şekil 4.22. Farklı ağaç türlerine ait lamine ahşap kompozitlerin ultrases iletim hızları.....	82
Şekil 4.23. Grupların düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz) ses yutum katsayısı değişimleri.....	88
Şekil 4.24. Grupların orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ses yutum katsayısı değişimleri.....	89
Şekil 4.25. Grupların yüksek (tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) ses yutum katsayısı değişimleri.....	91
Şekil 4.26. Bazı ahşap esaslı malzemelerin ses yutum katsayısı değerleri.....	91
Şekil 4.27. Çeşitli yapı elemanlarının ses yutum katsayısı değerleri.....	92
Şekil 4.28. Farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses yutum katsayısı değerleri.....	92
Şekil 4.29. Grupların düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri.....	98
Şekil 4.30. Grupların orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri.....	99
Şekil 4.31. Grupların yüksek (tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri.....	100
Şekil 4.32. Bazı malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değerleri.....	101

Şekil 4.33. Malzeme dış katman yapısına göre ses iletim kaybı (dB) değerleri..... 102

Şekil 4.34. Farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses iletim kaybı (dB) değerleri..... 102



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Ses güçleri ve düzeyleri.....	5
Çizelge 1.2. Oktav bant merkez frekansları.....	7
Çizelge 1.3. Gürültülerin sınıflandırılması.....	10
Çizelge 1.4. Gürültü açısından etkenler.....	10
Çizelge 1.5. Gürültü derecesindeki farklılığın toplum tarafından algılanması	11
Çizelge 1.6. Bazı gürültü Kaynaklarının (dB) Değerleri.....	12
Çizelge 1.7. Farklı kaynaklara ait ses seviyelerinin kıyaslanması.....	13
Çizelge 1.8. Farklı malzemelerin ses geçiş kaybı (dB) değerleri.....	14
Çizelge 1.9. Farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları.....	19
Çizelge 3.1. Polivinil asetat (PVAc) tutkalının özellikleri.....	32
Çizelge 3.2. Lamine Ahşap kompozit üretim reçetesi.....	35
Çizelge 3.3. Akustik panel tasarımı üretim reçetesi.....	39
Çizelge 4.1. Hava kurusu yoğunluk ANOVA testi sonuçları.....	52
Çizelge 4.2. Hava kurusu yoğunluk ortalama değerleri ve Tukey testi sonuçları.....	53
Çizelge 4.3. Rutubet yüzdelerine ait ANOVA testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.4. Rutubet yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.5. Kalınlığına şişme yüzdelerine ait ANOVA testi sonuçları.....	56
Çizelge 4.6. Kalınlığına şişme yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları.....	56
Çizelge 4.7. Su alma yüzdelerine ait ANOVA testi sonuçları.....	58
Çizelge 4.8. Su alma yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları.....	59
Çizelge 4.9. Eğilme direnci değerleri ANOVA testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.10. Eğilme Direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları.....	63
Çizelge 4.11. Elastikiyet modülü değerleri ANOVA testi sonuçları.....	64

Çizelge 4.12. Elastikiyet Modülü değerleri ve Tukey testi sonuçları.....	65
Çizelge 4.13. Şok direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.....	67
Çizelge 4.14. Şok direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları.....	68
Çizelge 4.15. Vida tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.....	70
Çizelge 4.16. Vida tutma direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları.....	71
Çizelge 4.17. Çivi tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.....	73
Çizelge 4.18. Çivi tutma direnci ortalama değerleri ve Tukey testi sonucu.....	74
Çizelge 4.19. Isı iletkenlik katsayısı ANOVA ve Tukey testi sonuçları.....	77
Çizelge 4.20. Ultrasonik ses iletim hızı değerlerine ait ANOVA testi sonuçları.....	80
Çizelge 4.21. Ultrasonik ses iletim hızı ortalama değerleri ve Tukey testi sonucu.....	80
Çizelge 4.22. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (1).....	83
Çizelge 4.23. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (2).....	84
Çizelge 4.24. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (3).....	85
Çizelge 4.25. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (4).....	86
Çizelge 4.26. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (5).....	87
Çizelge 4.27. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (1).....	93
Çizelge 4.28. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (2).....	94
Çizelge 4.29. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (3).....	95
Çizelge 4.30. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (4).....	96
Çizelge 4.31. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (5).....	97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm³	:Santimetre küp
gr	:Gram
Kg	:Kilogram
KN	:Kilo Newton
x	:Aritmetik ortalama
m	:Metre
m²	:Metre kare
m³	:Metre küp
s	:Standart sapma
Max	:Maksimum
T	:Periyot
f	: Frekans
Min	:Minimum
mm	:Milimetre
mm²	:Milimetre kare
Hz	: Hertz
N	:Newton
dB	:Desibel
kHz	:Kilohertz
P	:Önem düzeyi
PVA	:Polivinil asetat

I	:Ses şiddeti
TS	:Türk standartları
W	:Ses gücü
RT	:Reverberasyon süresi
V₀	:Tam kuru örnek hacmi
Ort	:Ortalama
D₁₂	:Hava kurusu yoğunluk
LDN	:Lif doygunluk noktası
α	:Ses yutum katsayısı simgesi
TL (dB)	:Ses iletim kaybı simgesi
KŞ	:Kalınlığına şişme
SA	:Su alma
LAK	:Lamine ahşap kompozit
σ_{EM}	:Elastikiyet modülü
TT	:Tutkal tabakası
$\sigma_{şD}$:Şok direnci
GLAK	:Güçlendirilmiş lamine ahşap kompozit
P_{max}	:Maksimum kuvvet
a	:Genişlik
b	:Kalınlık
h	:Yükseklik
L	:Uzunluk

W_{12}	:Hava kurusu haldeki ağırlık
V_{12}	: Hava kurusu haldeki hacim
σ_{ED}	:Statik eğilme direnci
$\dot{I}D$: İstatistiksel değerler
F_{max}	:En büyük geri çıkma yükü



1. GİRİŞ

Dünyanın en önemli doğal kaynaklarının başında gelen ormanlar, süreklilik ilkesine uygun olarak yönetildiğinde yenilenebilir bir kaynak olmasının yanında ekonomik açıdan itici bir güç olmaktadır. Daha önceleri kırsalda yaşayan insanlar için geçim kaynağı olan ormanlar, gelişen teknoloji ve endüstrileşme oranındaki artış ile günümüzde şehirlerde ve metropollerde yaşayan insanlar için çok önemli bir kaynak haline gelmiştir. Fakat küresel iklimde meydana gelen değişim, sürekli artan dünya nüfusu, doğal afetler ve biyolojik çeşitliliğinin azalması orman kaynaklarının sürekliliğinin sağlanarak verimli kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (DPT, 2014).

Orman alanları yer yüzünde yaklaşık 3,4 milyar hektarlık alana sahiptir ve yerkürenin %27'sini kaplamaktadır. Dünyanın yıllık odun üretimi 3,4 milyar m³ olurken endüstriyel odun tüketimi ise yaklaşık 1,5 milyar m³ ve dünya ekonomisine katkısı ise 4 milyar amerikan dolarıdır (FAO, 1997). Odun hammaddesi açısından artan talebin karşılanması için hızlı gelişen ağaç türlerine endüstriyel plantasyon tesis ederek bu sayede odun üretiminin artırılması gerekliliği büyük önem arz etmektedir. Özellikle ülkemizdeki kavak yetiştiriciliği halkımız tarafından fazlaca tercih edilmektedir. Hızlı gelişen ağaç türlerinin endüstriye kazandırılması için maksimum verimle kullanılarak kullanım çeşitliliğini artırılması ve katma değer kazandırılması gerekmektedir. Mühendislik ürünü ağaç malzemeler ile tomruklardan yararlanma oranı oldukça artmaktadır (Meriç, 2009).

Masif ağaç malzemenin bünyesinde bulunan lif kıvrıklığı, çatlaklar, çürüklük, budak ve kurt yeniği gibi istenmeyen özelliklerin bertaraf edilmesi büyük önem taşımaktadır. Laminasyon tekniği ile ağaç malzemenin istenmeyen kusurlarından arındırılması sağlanmakta ve üretilen malzemenin yüksek teknolojik performansa sahip olması sağlanabilmektedir. Ayrıca bu teknik ile, istenilen boyut, ebat ve kalınlıkta malzeme üretilebilmesinden dolayı ahşap esaslı malzemelerin kullanım çeşitliliğinin artmasında önemli bir rol üstlenmektedir (Baltacı, 2011).

Son yıllarda orman endüstrisinde, yapı sektöründe ve mimaride gelişen teknolojik gelişmelere paralel olarak endüstriyel tasarım ürünü olan ahşap esaslı akustik malzemelere olan talep her geçen gün artarak devam etmektedir. Üretilen ahşap esaslı akustik paneller, otel lobileri, gece kulüpleri, radyo odaları, tiyatro, metro ve tren vagonları, kapalı yüzme havuzları, büyük restoranlar, idari binalar, duruşma salonları, konser ve sinema salonları, tren ve metro istasyonları, çok amaçlı salonlar, uçak ve otobüs terminalleri, kongre

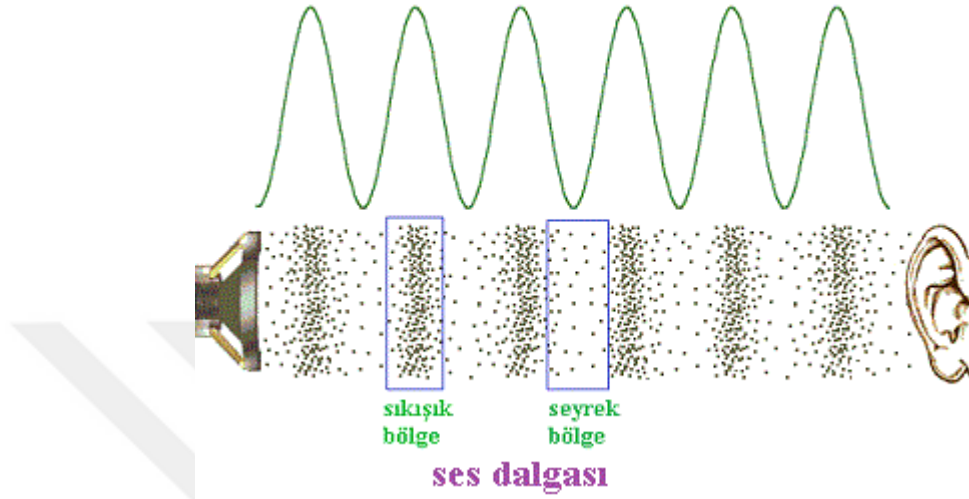
merkezleri, üniversite amfileri, camiler, kiliseler, ses kayıt stüdyoları, yat ve gemi salonları, mahkemelerde, büyük alışveriş merkezleri (AVM), müzik kayıt stüdyoları, lokantalar, kütüphaneler, telsiz odaları, otel toplantı salonları, eğlence merkezleri, dersaneler, düğün salonları, atış poligonları, spor salonları, barlar, açık ofisler, disko, oteller ve iletişim merkezleri gibi çok geniş kullanım alanlarında kullanılmaktadır. Akustik paneller, farklı hammaddeler ile ahşabın uygun tutkallar kullanılarak laminasyon tekniği ile entegre olmasının sağlanmasıyla kullanım amacına uygun olarak üretilebilmektedir. Üretilen hafif paneller sayesinde üretim maliyeti ve depolama giderlerinin azalması açısından önemli kazanımlar elde edilebilmektedir (Öztürk ve İmirzi, 2017).

Teknolojik gelişmelere ilaveten endüstrileşme oranının büyük bir hızla artması yeni nesil malzemeler ve akıllı elektronik cihazların hayatımıza girmesine yardımcı olmuştur. Endüstriyel ürünlerin tasarımı ve üretimi son yıllarda artarak birçok alanda istihdam sağlamış ve küresel ticaretin merkezindeki yerini almıştır. Bütün bu gelişmeler şehir merkezlerine ve metropollere olan göçü fazlasıyla tetiklemiştir. Dolayısıyla yeni ve birbirine yakın çok katlı binaların inşası sonrası daha az alanda çok sayıda insanın yaşamasına neden olmuş, gürültü ve istenilmeyen ses oluşumları insan hayatında önemli bir yere sahip olmuştur. Rahatsız edici ses oluşumları insanın fizyolojisine ve psikolojisine olumsuz etki etmekte ve çalışma performansını düşürmektedir. Bu nedenle bütün sektörlerde gürültünün minimize edilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmaların orijininde her ne kadar gürültü olsa da kulağa hoş gelen seslerin daha güzel bir şekilde duyulmasını sağlamak içinde araştırmalar yapılmaktadır (Öztürk, 2019).

1.1. Sesin Özellikleri ve Etkileri

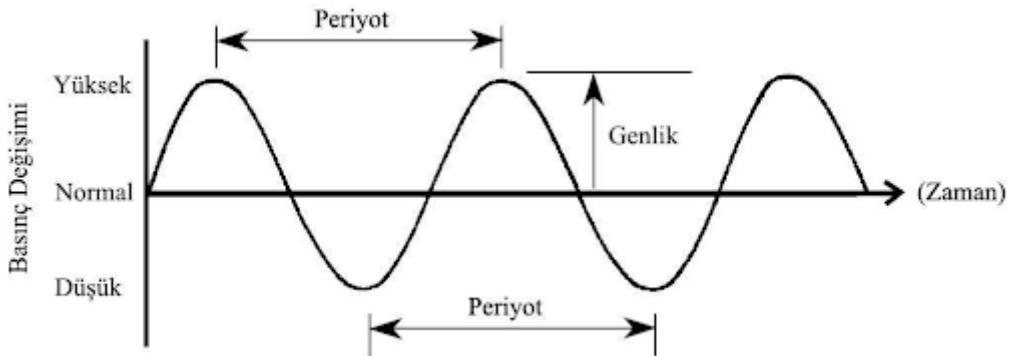
Akustik, ses bilimi olarak tanımlanmakta ve sesi incelemektedir. Akustik bilimi ve bu bilim dalıyla ilgilenen uzmanlar sesin çevreyle olan ilişkisini araştırır ve nasıl bir etki oluşturduğunu belirlemektedirler. Ayrıca ses dalgalarının meydana getirdiği olumsuz etkileri tasarımsal ve yapısal çalışmalar yaparak bertaraf edilmesini sağlamaktadırlar. Organik veya yapay bütün malzemeler belirli miktarlarda ses geçirgenliğini önlemektedir. Fakat bu durum her malzemeyi ses yalıtımı amacıyla kullanabileceğimiz manasını taşımaz. Ses geçirgenliğinin arzu edilmediği durumlarda malzemelerin farklı şiddet ve frekanslardaki davranışları detaylı olarak araştırıldıktan sonra en uygun seçim yapılarak kullanılması gerekmektedir (Ersoy, 2007).

Ses belirli bir mekanda oluşan basınç değişimlerinin kulaklarımız tarafından algılanmasıdır. Sesin oluşumu ve yayılması, mekandaki parçacıkların titreşmesinin komşu parçacıklara aktarmasıyla oluşmaktadır (Şekil 1.1.). Titreşen parçacıkların oluşturduğu dalgalar havada basınç farklılıkları oluşturur ve kulaklarımız tarafından elektrik sinyallerine dönüştürüldükten sonra beynimiz tarafından ‘ses’ olarak algılanmaktadır (Özgüven, 2008).



Şekil 1.1. Ses dalgalarının yayılışı (URL-1)

Harmonik ses dalgasının belirli bir noktada meydana getirdiği ses basıncı süreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Şekil 1.2.) (Küçükali, 2010).



Şekil 1.2. Ses dalgasının oluşturduğu ses basıncının değişimi (URL-2)

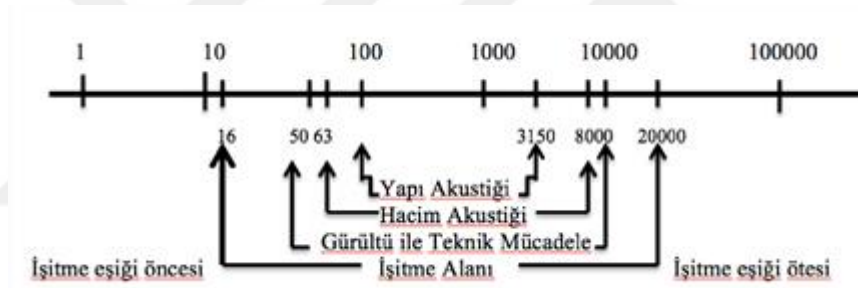
Bir enerji olarak açıklanabilen ses oluşumları ortamın esnekliğine, ağırlığına, özgül ağırlığına ve koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Sesin iletiminin sağlanabilmesi elastik bir ortamın olmasına bağlıdır (Erol, 2006).

1.1.1. Periyot

Basıncın birbirini takip eden en yüksek iki değeri arasındaki geçen zamana periyot veya devir süresi denir. Periyodun birimi T olarak gösterilmektedir ve zaman birimi ise saniyedir (Küçükali, 2010). Genellikle frekans ile karıştırılan periyot, bir tam devir gerçekleştiren basınç değişiminin harcamış olduğu süreyi ifade eder. Herhangi bir olay ardışık olarak meydana geldiğinde, bu olay periyodik olarak tanımlanabilmektedir. Periyot (T) ile frekansın (f) arasında ters bir orantı ($T= 1 / f$) (Fathı, 2014).

1.1.2. Frekans

Frekans, basınç değişiminin bir saniyedeki devir sayısı olarak tanımlanmaktadır ve Hertz (Hz) ile ölçülmektedir. Basınç değişim devri ile asıl kastedilen basıncın aynı düzeyde olduğu anda birbirini takip eden iki nokta arasındaki kısımdır. İnsan kulağı 20 Hz ile 20000 Hz frekans aralığındaki sesleri duyabilmekte iken en hassas olduğu frekans aralığı ise 1000 Hz ile 4000 Hz frekans aralığındaki seslerdir (Şekil 1.3.) (Küçükali, 2010).



Şekil 1.3. Ses frekans alanının dağılımı

1.1.3. Genlik

Genliğin birimi metre (m) ile ölçülmekte, simgesi ise 'a' olarak kullanılmaktadır. Bir taneciğin titreşerek maksimum ayrılması olarak tanımlanabilmektedir. Uygulamalı bir alanda havada oluşan ses dalgalarının genlikleri (a) çok küçük olmaktadır. Sağlıklı bir insan kulağı en düşük 0,1 µm genliğindeki sesi algılayabilmektedir. Kulağın zarar görme durumu ise genliğin üst limiti olan 100 µm'dir (Fathı, 2014).

1.1.4. Ses hızı (c) (celerity)

Sesin hızı her frekansta aynıdır ve frekansa bağlı olarak değişim göstermemektedir. Sesin bir katı maddenin içerisinden geçerken ki hızı hava ile kıyaslandığında daha hızlıdır. Ses oluşumlarının havadaki hızı, havanın sıcaklığına, basıncına ve nemine göre değişiklik göstermektedir (Fathı, 2014).

1.1.5. Ses şiddeti (I)

Ölçülebilir ve vektörel bir değer olan ses şiddeti (I), belirli bir ortamdaki sesin yayılımına dik olarak bir birim alandan geçen birim zamandaki ses enerjisinin ortalama değeri olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca ses şiddeti, birim alana düşen birim zamandaki ses enerjisi olarak da tanımlanabilir. Birimi ise W/m^2 ve simgesi I'dır ve aşağıdaki denkleme (1.1) göre hesaplanmaktadır (Fathi, 2014).

$$I = \frac{W}{4\pi d^2} \cdot cm^2 \quad (1.1)$$

I= Ses yeğnliği (W/m^2)

W= Ses gücü (W)

d= Uzaklık (cm)

Bazı durumlarda enerji geri veya ileri hareket ediyor ise böyle durumlarda ses yeğnliği (W/m^2) ölçülemez (Erol, 2006).

1.1.6. Ses gücü

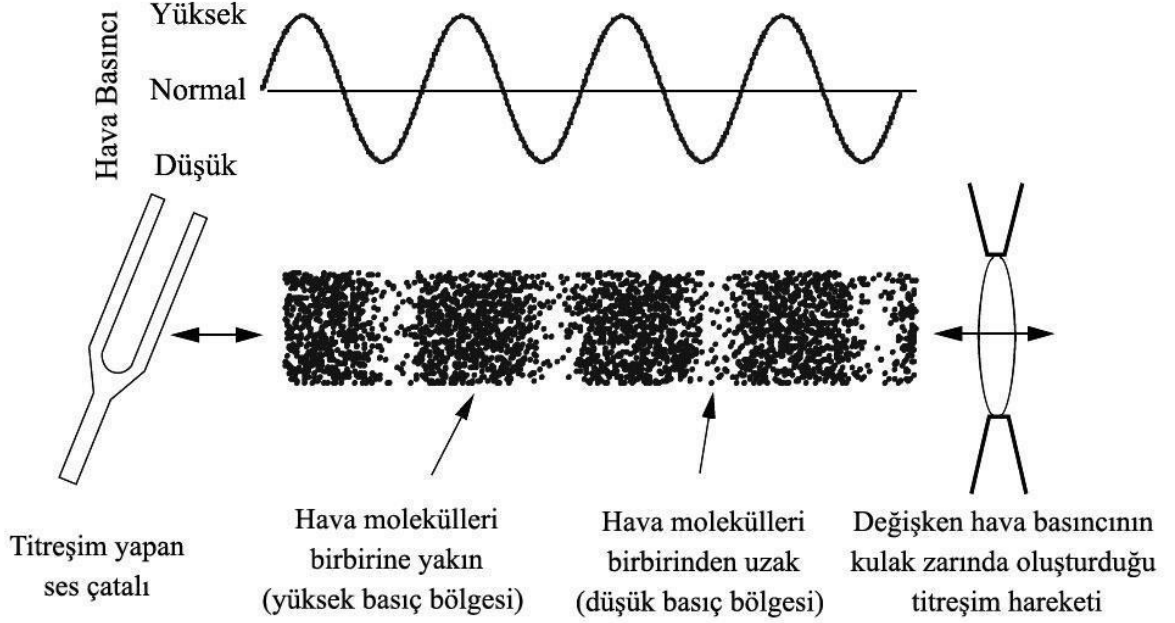
Kaynaktaki ses frekanslarının spektrumu olarak tanımlanan ses gücünün simgesi W, birimi ise Watt (W)'dır. Herhangi bir ses kaynağı ses gücü yayar ve böylelikle ses basıncını oluşturur (Karabiber, 1991). Bazı ses güçleri ve düzeyleri Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Ses güçleri ve düzeyleri (Erol, 2006)

Güç (WATT)	Güç düzeyi ($dB 10^{-12} W$)		
100 000 000	200	Uzay roketi	50 000 000W
1 000 000	180		
10 000	160	Jet uçağı	50 000W
100	140		
1	120	Büyük orkestra	10 W
0.01	100		1W
0.000 1	80	Bağırarak konuşma	0.001W
0.000 001	60	Normal konuşma	$20 \times 10^{-6}W$
0.000 000 01	40		
0.000 000 000 1	20	Fısıltı	$20 \times 10^{-9}W$
0.000 000 000 001	0		

1.1.7. Ses basıncı

Ses, hava basıncında meydana gelen değişiklikler (Şekil 1.4.) sonucu kulaklarımız tarafından algılanmaktadır. Herhangi bir ses kaynağının oluşturduğu ses basınç değişimi ses gücünden çok daha önemlidir. Ayrıca ses basıncı sağlıklı bir insan kulağının algılayabildiği bir parametredir (Küçükali, 2010).



Şekil 1.4. Tek frekansa sahip bir ses dalgasının hava içerisindeki hareketi (URL-2)

1.1.8. Ses ölçümü birimi Desibel (dB)

Desibel (dB), algılanan gürültü veya ses düzeyi birimidir. Duyulanma süreci uyarmanın logaritmasına benzer şekilde değiştiğinden hissedilen ses düzeyi de desibel cinsinden logaritmik olarak değişim göstermektedir. Örneğin, belirli bir uzaklıktaki gürültü kaynağı 50 dB düzeyinde algılanıyorsa, aynı büyüklükte, aynı koşullarda, ama farklı frekanslarda iki gürültü kaynağı 53 dB, dört gürültü kaynağı 56 dB ve sekiz gürültü kaynağı 59 dB civarında bir hissiyata neden olur. Desibel türünden toplama ve çıkarma işlemlerinde özel formüller kullanılmaktadır (Sirel, 2000).

1.1.9. Eko

Reverberasyon (yankı) süresi kısa ve yayılım yetersiz olduğu zaman eko oluşmaktadır. Eko sorununun daha az meydana gelebilmesi için reverberasyon süresinin uzun olması gerekmektedir. Oldukça büyük iç mekanlarda seslerin farklı yansımaları sonucu gecikmesi ekoya neden olmaktadır (Fathı, 2014). Belirli bir kaynaktan yeterli düzeydeki bağımsız ses dalgalarının bir yüzeyden yansısıyla birlikte belirli bir süre gecikme yaşayarak duyulması ve sesin tekrar etmesi sonucunda eko oluşmaktadır. Yansıyan sesin, ses kaynağı tarafından oluşturulan sestən 50ms ile 80ms arasındaki bir değer ile daha geç duyulmasıyla berrak bir eko oluşmaktadır (Binggeli, 2010).

1.1.10. Oktav bantları

Sağlıklı bir insan kulağı 16 Hz ile 20000 Hz arasındaki sesleri duyabilmektedir. Bu frekans aralığı farklı kaynaklarda 16 Hz – 16 kHz veya 20 Hz – 20 kHz aralığında verilmektedir. Kulaklarımızın en hassas olduğu frekans 3000 Hz'dir. Günlük bir konuşmanın anlaşılabilir olması için 1000 Hz ile 2500 Hz arasındaki frekanslar önemlidir. Telefonlar ise 500-3000 Hz frekans aralığındaki sesleri iletmekte iken, müzik günlük konuşmalardan çok daha geniş frekans aralığına sahiptir. Gürültü kontrolü için insan kulağının hassas olduğu bütün frekansları incelemek gerekmemektedir. Gürültü ve sesin analizinde, 1/n oktav bantları (n=2, 3, 10, 12, 14 vb.) kullanılarak standartlaşmıştır. Genellikle oktav ölçüm standartlarında 1/3 oktav bandı analizi kullanılmaktadır. Oktav bantına ait merkez frekansları Çizelge 1.2.'de verilmiştir (Muslu, 2013).

Çizelge 1.2. Oktav bant merkez frekansları (URL-3)

Merkez Frekansı [Hz]	Alt Sınır Frekansı [Hz]	Üst Sınır Frekansı [Hz]
63	44	88
125	88	177
250	177	355
500	355	710
1000	710	1420
2000	1420	2840
4000	2840	5680
8000	5680	11360

1.1.11. Rezonans

Rezonans, ses kaynağından çıkan sesin farklı frekanslardaki göstermiş olduğu aşırı tepki olarak tanımlanmaktadır. Küçük hacimlere sahip mekanlarda ciddi bir kusur

oluşturabilmektedir. Dar bir bant frekans içerisindeki belirli seslerin diğer frekanslardan daha yüksek çıkması şeklinde algılanmaktadır. Sesin mikrofonlar vasıtasıyla alındığı radyo ve kayıt stüdyolarına ait mekanların tasarımında, kusurun giderilmesi hususu önem taşımaktadır (Erol, 2006).

1.1.12. Reverberasyon (Yankı) süresi

Çok uzun bir süre belirli bir alandaki dinleti kalitesini yalnızca reverberasyon süresinin etkilemiş olduğu düşünülmüştür. Ses, kaynağından dışarıya çıktığı anda kulağımıza ulaşan ilk ses direkt sestir. Direkt sesin duyulmasının ardından geçen birkaç milisaniyenin ardından kulağa erken ses ulaşmaktadır. Erken sesin duyulmasından hemen sonra işitilen ses reverberasyondur. Sabine formülü denklem (1.2) yankı süresinin hesaplanması için kullanılmaktadır (Mehta ve ark. 1999).

$$RT = (0,161V) / A \quad (1.2)$$

RT: reverberasyon süresi

V: kabuğun hacmi (m^3)

A: kabuktaki toplam soğurma olarak (m^2)

1.1.13. Akustik empedans

Belirli bir nesnenin yüzeyinde oluşan ses basıncının, ses dalgalarının partikül hızına oranı olarak ($N.s.m^{-3}$) ifade edilmektedir. Farklı ortamlardaki ses dalgalarının ilerleyişi sırasında yüzeyin uygulamış olduğu direnci göstermektedir. Akustik empedans çoğunlukla karmaşık sayı olmaktadır. Enerji kaybını gerçel kısım gösterirken, faz farklılıklarını ise imajiner kısım göstermektedir (Cox ve D'Antonio, 2005).

1.1.14. Berraklık (C80)

Netlik veya berraklık, oluşan bir sesin bütün ayrıntısıyla algılanma derecesini tanımlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü (High Definition) başka bir deyişle HD ses oluşumlarının algılanması için berraklık (netlik) özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca berraklık teknik açıdan alıcının algıladığı erken ses enerjisinin (seksen milisaniye içerisinde direkt gelen ses düzeyi) seksen milisaniye sonrasında gelen ses enerjisine oranıdır (Odabaş ve ark. 2011). Müzikal bir aktivitenin detaylı olarak algılanabilmesi için netlik (C80) değerinin belirli sınırlar içerisinde olmalıdır. Buradaki C değeri 80 veya 50 milisaniyeden önce ve sonra algılanan seslerin desibel türünden oranıdır. Müzikal amaçlı mekanlarda C80 konuşma amaçlı hacimlerde C50 kullanılmaktadır (Yüksel Can, 2008).

1.1.15. Erken sönümlenme süresi (EDT)

Bir kaynaktan çıkan ses dalgalarının kulağa ulaştığı andaki duyulan ilk ses direkt ses olarak tanımlanmaktadır. Direkt sesin kulağa ulaşmasından birkaç milisaniye sonra duyulan ses erken ses olarak bilinmektedir. Ses kaynağının kapanmasını takiben ortam içindeki ses enerjisinin on desibel azalması için gereken zamanın 6 katı uzunluğundaki süre erken sönümlenme süresini ifade etmektedir. Erken sönümlenme süresini berraklık, yakınlık, sesin lateralizasyonu ve reverberasyon süresi etkilemektedir (Odabaş ve ark. 2011).

1.1.16. Konuşma iletim indisi (STI)

Konuşma iletim indisi, sosyal etkileşim alanlarındaki (kapalı veya açık hava ortamlarındaki) günlük konuşmalarımızın iletim ve anlaşılabilirliğinin kalitesi olarak ifade edilmektedir. Konuşmanın net bir şekilde algılanması için frekans bantlarındaki ses sinyallerinin korunması, yankılanan seslerden, çınlama sesinden ve arka plan gürültüsünden etkilenmemesi çok önem arz etmektedir (Odabaş ve ark. 2011).

1.1.17. Gürültü

İnsanoğlu sosyal bir varlıktır ve birbirleriyle sürekli olarak etkileşim ve iletişim halindedir. Dolayısıyla seslerin varlığı (müzik, konuşma, doğadaki sesler vb.) yaşantımız açısından vazgeçilmez bir gerçekliktir. Fakat istenmeyen ses oluşumları olarak tanımlanan gürültü, teknolojinin gelişmesi ve endüstrileşme oranındaki artışa paralel olarak günümüzde insan sağlığını etkileyen en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu nedenle artık gürültü üzerine yapılan araştırmalar açık alanlar, kapalı alanlar ve iç mekandaki her türlü gürültüyü kapsamaktadır. Akustik açıdan her türlü gürültü, kirlilik oluşturmaktadır. Dolayısıyla akustik bilimciler rahatsız edici sesleri yok etmek veya minimize etmek amacıyla araştırmalar yapmaktadır. Oluşan bir gürültünün karakteri, gürültünün frekans spektrumuna, gürültü seviyesinin zamanla değişimine ve ses alanının özelliklerine bağlıdır. Çizelge 1.3'de gürültünün etkileriyle ilgili bir sınıflandırma yapılmıştır. Gürültünün neden olduğu etkenler Çizelge 1.4.'de, gürültü düzeyindeki artışla birlikte toplumun bu değişimden etkilenmesi Çizelge 1.5.'de, bazı gürültü kaynaklarının dB dereceleri Çizelge 1.6.'da, farklı kaynakların ses seviyelerinin karşılaştırılması ise Çizelge 1.7.'de verilmiştir (URL-3).

Çizelge 1.3. Gürültülerin sınıflandırılması (URL-3)

I. Derecedeki Gürültüler 30 – 65 dB	<ul style="list-style-type: none"> • Konforsuzluk • Rahatsızlık • Sıkılma duygusu • Kızgınlık • Konsantrasyon • Uyku Bozukluğu
II. Derecedeki Gürültüler 65 – 90 dB	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fizyolojik gürültü</i> • <i>Kalp atışının değişimi</i> • <i>Solunum hızlanması</i> • <i>Beyindeki basıncın azalması</i>
III. Derecedeki Gürültüler 90 – 120 dB	<ul style="list-style-type: none"> • Fizyolojik gürültü • Baş ağrısı
IV. Derecedeki Gürültüler 120 – 140 dB	<ul style="list-style-type: none"> • <i>İç kulakta bozukluk</i>
V. Derecedeki Gürültüler 140 > dB	<ul style="list-style-type: none"> • Kulak zarının patlaması.

Çizelge 1.4. Gürültü açısından etkenler (URL-3)

1) Fiziksel Etkenler	<ul style="list-style-type: none"> • İşitme Hasarlılığı
2) Fizyolojik Etkenler	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Vücuttaki Bozukluklar</i> • <i>Kalp atışının bozulması</i> • <i>Kesiklik</i> • <i>Metabolizmada bozukluk</i> • <i>Uyku bozukluğu</i>
3) Psikolojik Etkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Sinir sistemi dejenerer olur • Aşırı tepkiler • Hoşnutsuzluk, tedirginlik duygusu
4) Performans Etkileri	<p><i>Eylem üzerindeki etkisi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Konuşma ile girişim olayının olması konuşmanın kesilmesi</i> • <i>Dinleme ve anlaşma güçlüğü</i> • <i>Konsantrasyonun kesilmesi</i> • <i>Dinlenmenin etkilenmesi</i>
5) Dinlenme ve bozukluğu	

Çizelge 1.5. Gürültü derecesindeki farklılığın toplum tarafından algılanması (URL-3)

Seviyedeki Artış (dB)	Değişimin Toplum Tarafından Algılanması	Gürültünün Etkisi
0	Fark edilmez	Yok
3	Değişim Ancak Fark Edilebilir	Çok Az
3-5	Değişim Kolayca Fark edilebilir	Az
5-7	Aralıklı Şikâyetler Görülebilir	Orta Seviyede
7	Rahatsız Olunur	Orta Seviyede
7-10	Aralıklı Şikâyetler	Yüksek
10-15	Geniş çaplı Şikâyetler	Çok Yüksek
15-20	Grup Reaksiyonları Görülebilir	Çok Yüksek

Çizelge 1.6. Bazı gürültü kaynaklarının (dB) değerleri (URL-3)

(dB)	Örnekler	Subjektif Değerlendirme
140	Jet motoruna yakın	Hasar verici
130	Ağrının başlangıcı	
105	Kuvvetli rock müzik	
100	3 m uzaklıkta otomobil klakson sesi	Çok yüksek
90	Şehir cadde gürültüsü	
82	Fabrika gürültüsü	
80	Akustik yalıtım yapılmamış okul, kantin gürültüsü	Yüksek
62	Açık trafikli yol	
62	Tali bir yolun gürültüsü	Orta
50	Büro gürültüsü	
40	Konutta düşük düzeyde çalınan müzik	Düşük
20	Fısıltı	Çok düşük
8	İnsanın nefes alış-verişi	
0	İşitmenin başlangıcı	

Çizelge 1.7. Farklı kaynaklara ait ses seviyelerinin kıyaslanması (URL-3)

Gürültü seviyesi, (dB)	Evle ilgili	Trafik	Uçak	İnsan tepkisi
160				Kulak için sürekli hasar
150				Kulakta geçici olan şiddetli ağrılar
140 – 130			Jet uçak motoru (15m uzakta)	Konuşmanın imkansız olma durumu
120			IC Aero motor (15m uzakta)	
110		Tankın geçmesi durumunda	150m yükseklikte jet uçağı için	Yalnız bağırarak konuşmak olası
100		Hava basınçlı matkap (183 m ilerde)		
90		Metroda bulunan tren durumu	Sivil uçağın kabin içinde	Yükseltilmiş sesle konuşma
80		Motor klaksonu		
70	Yüksek düzeyde radyo müziği	Ağır trafik		
60	Yüksek sesle konuşma	Tren veya otobüs içinde		
50	Konuşma	Tali yol trafiği		Normal konuşmak olası
40	Özel büro			
30	Saat tıkırtısı	Sessiz cadde		
20	Sessiz bahçe			
0 - 10				İşitme başlangıcı

1.1.18. Doppler etkisi

Doppler etkisi, ses kaynağının frekansı değişmemesine rağmen gözlemci tarafından değişiyormuş gibi algılanması olayıdır. Bu durum, ses kaynağının veya alıcının ya da her ikisinin de hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, gözlemcinin veya ses kaynağının hareket etmesiyle birlikte sesin gözlenen frekansındaki meydana gelen değişim olarak da tanımlanmaktadır (URL-4).

1.2. Akustik Ölçüm Parametreleri

1.2.1. Ses geçiş kaybı

Ses dalgalarının bir engeli geçerken ki uğramış olduğu kayba ses geçiş kaybı veya ses iletim kaybı denmektedir. Bu kayıp dB (desibel) cinsinden verilmektedir ve logaritmik bir büyüklüktür. Akustik bir enerji oranı olan ses iletim katsayısı veya ses geçiş kaybı aşağıdaki formüle (1.3) göre hesaplanmaktadır. Bazı malzemelerin ses geçiş kaybı ise Çizelge 1.8.'de verilmiştir (Muslu ve Sönmez, 2017).

$$TL=10\log(1/\tau) \quad (1.3)$$

$$\tau = 10^{-TL/10}$$

Çizelge 1.8. Farklı malzemelerin ses geçiş kaybı (dB) değerleri (Muslu, 2013)

Malzeme	Oktav Bant Merkez Frekansı (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Kontrplak- 9 mm kalınlık	14	18	22	20	21	26
Alçı plaka- 12.5 mm kalınlık	15	20	25	31	33	27
Alçı plaka-2x12.5 mm kalınlık	19	26	30	32	29	37
Çelik sac-1 mm kalınlık	12	14	15	21	21	25
Kurşun plaka-0,8 mm kalınlık	15	21	27	33	39	45
Camyünü Çatı şiltesi	6	9	11	16	20	25
Sıvalı beton duvar- 15 cm kalınlık	39	42	50	58	64	67
Betonarme döşeme-10 cm kalınlık	48	42	45	56	57	66
Pencere camı-3 mm kalınlık	18	21	26	31	33	22

1.2.2. Ses yutum katsayısı

Ses dalgalarının bir engeli geçerken ki kaybetmiş olduğu enerjinin, engelin yüzeyine gelen toplam enerjiye oranına ses yutum katsayısı (a) denmektedir ve aşağıdaki formüle (1.4) göre hesaplanmaktadır.

$$a=E_a/E_i \quad (1.4)$$

Ses yutum katsayısının birimi a olarak ifade edilmektedir. Bu değer 0-1 arasındaki değerleri alabilmektedir. Eğer değer 0 ise yansıtıcı yüzeyleri veya 1 olursa yutan yüzeyleri ifade etmektedir. Malzemelerin ses yutum katsayıları geometrik ve yapısal özelliklerine göre

değişkenlik göstermektedir. Yutum katsayısının yüzey alanı ile çarpımı ses yutumunu ifade etmektedir, birimi ise sabin'dir (Gelen, 2016).

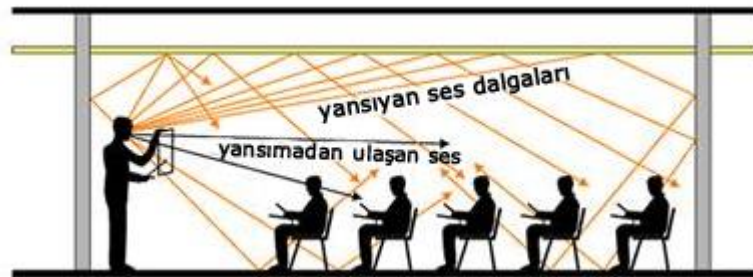
1.3. Akustik Panellerin Teknik Kullanımları

1.3.1. Ses yansıtıcı yüzeyler

Ses yansıtıcı paneller genellikle tavan ve duvarlarda değişik form ve yapıda kullanılmaktadır (Kavraz, 2008). Yansımaların meydana gelmesi ve iletilmesinde tavanın şekli ve malzeme özellikleri çok önemlidir. Yansıyan ilk ses dalgaları ortam içerisindeki dolaysız sesi güçlendirmektedir. Dolayısıyla ses düzeyinin artmasını istediğimizde tavan yüzeyinin ses yansıtılma kapasitesini artırmamız gerekmektedir. İlk yansımaların artırılması amacıyla, ses kaynağına yakın olan tavanların yan ve arka yüzeylerine ses dalgalarını yansıtan malzemeler yerleştirilmelidir. Çünkü bu yüzeylerin yansıtma kapasitesi yüksektir. Panellerin boyutları sesin dalga boyunun büyüklüğüne göre belirlenmeli ve iç bükey veya dış bükey formu tercih edilmelidir (Erol, 2006). Yansıtıcı malzemenin ses dalgasını yansıtarak duyulmasını sağlaması Şekil 1.5. ve 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.5. Yansıtıcı yüzeyin ses dalgalarını yansıtması (URL-5)



Şekil 1.6. Bir ortamdaki ses dalgalarının homojen şekilde yansıtılması (URL-5)

1.3.3. Ses dağıtıcı malzemeler

Ses dalgalarını yansıtması için genellikle masif ahşap, ahşap esaslı malzemeler, yonga levha, suntalam, yapay ve doğal taş malzemeler kullanılmaktadır. Ses dağıtıcı panellerin düşük frekanslarda etkili olması için yüzey formlarındaki girinti ve çıkıntıların genişletilmiş olması gerekmektedir (Kavraz, 2008).

1.4. Ahşap Esaslı Malzemelerin Akustik Özellikleri

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik açıdan en önemli özelliği hafif olmasına karşılık içerisindeki ses yayılma hızının oldukça yüksek olmasıdır. Ahşap malzeme yapısı itibariyle sesi hem boğabilmekte hem de sesin yayılmasını sağlayabilmektedir. Bu nedenle ahşap malzeme, diğer akustik malzemelerle kıyasla yapıldığında çok üstün özellikler göstermektedir. Böylelikle hem müzik aletlerinin yapımında kullanılmakta hem de tiyatro, konser, sinema ve konferans salonlarında akustik konforun sağlanması amacıyla duvar kaplaması olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İç mekanlarda, salonlarda ahşap malzemelerden üretilen malzemelerin sesi absorbe edici, ses dalgalarını düzenleyici, duvarlarda sesin yansıması ile oluşan istenmeyen ses yankılarını engelleyici etkisi oldukça önemlidir. Düzgün yüzeyli ve çıplak duvarlara sahip mekanlarda yansıyan ses dalgaları sebebiyle ses yankıları oluşmaktadır. Oluşan yankılanmayı engellemek amacıyla duvarların ses dalgalarını emen kumaş, talaş, keçe, kontrplak, masif tahta, lif levha veya akustik malzemelerle kaplanmasıyla mümkün hale gelmektedir. Böylelikle bazı ses dalgaları yutularak absorbe edilmektedir. Ahşap malzemelerin ses yutumu ağacın yapısına, yüzeyinin pürüzlü veya pürüzsüz oluşuna genel yapısının düzgünlüğüne, sahip olduğu rutubet oranı gibi pek çok etkene göre değişiklik göstermektedir. Ahşap malzemenin genel yapısı düzensizleştikçe, yüzey pürüzlülüğü ve ısısı arttıkça ses yutum oranı artmaktadır. Lif levhaların gözenekli yapıda olmaları ve pürüzlü yüzeye sahip olmaları sesin absorbe olmasını sağlamaktadır (Berkel, 1970). Ayrıca akustik malzemelerin yüksek ses yutum performansına sahip olabilmesi, porozitelerinin yüksek olmasıyla doğrudan ilişkilidir (Gelen, 2016).

1.5. Akustik Performansı Etkileyen Malzeme Özellikleri

Akustik malzemelerin birçok teknolojik özellikleri akustik performans üzerine direkt etki etmektedir. Malzemenin özellikleri akışkan ve katı olmak üzere iki ayrı fazda incelenmektedir. Akışkan faz hava, katı faz ise malzemenin kendisidir. Ses yutum

katsayısını katı ve akışkan faz etkilerken, ses iletim kaybını ise katı faz etkilemektedir (Gelen, 2016).

Gözenekli bütün malzemelerin bir miktar ses yutma özellikleri vardır. Gözenek sayısı, çeşiti ve büyüklüğü ses yutum özelliği için önem arz etmektedir. Ses dalgalarının malzemenin içerisinde sürtünerek yutulabilmesi için ses enerjisinin gözenekli yapıya girerek ilerleme kaydetmesi gerekmektedir. Yani ses enerjisinin önemli düzeyde yutulabilmesi için malzemenin yeterince gözenekli bir forma sahip olması gerekmektedir. Malzemenin gözeneklilik oranı aşağıdaki denklemde (1.5) verilmiştir (Gelen, 2016).

$$H=V_a/V_m \quad (1.5)$$

Burada:

H: Gözeneklilik Oranı

V_a : Toplam gözenek hacmi

V_m : Yutum malzemesinin toplam hacmi

Yoğunluk malzemelerin ses yutumunu etkileyen bir faktör olmasının yanında üretilen akustik panelin maliyetini direkt olarak etkilemektedir. Akustik ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, yüksek ve orta frekans bandında yoğunluğu yüksek malzemelerin ses yutma performanslarının çok daha iyi olduğu bildirilmektedir. Özellikle lifli malzemelerde yoğunluk artışı oldukça birim alandaki lif sayısı da artmaktadır. Böylelikle ses enerjisinin malzeme içerisindeki sürtünmesi artmakta buna bağlı olarak ses yutum katsayısı da artmaktadır (Gelen, 2016).

Ses dalgalarının yayılma hızı (m/sn) çeşitli mekanlardaki molekül düzenlerinin farklı olmasından dolayı, malzemenin elastikiyet modülüne (N/mm²) ve birim ağırlığına (gr/cm³) göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca ortamın sıcaklığı da ses iletim hızını etkilemektedir. Ses dalgalarının ahşap malzemelerde yayılma hızı odun yapısına (hücre çeperinin hava boşluk oranına, yıllık halka yapısına ve liflerin yönüne) özgül ağırlığa, rutubet oranına, sıcaklığa ve ses dalgalarının frekansına göre değişkenlik göstermektedir. Yeknesak bir yapıya sahip olan malzemeler ses dalgalarını bütün yönlerde eşit olarak yaymaktadır. Fakat anizotropik bir yapıya sahip olan ahşap malzeme lif yönlerine göre ses iletim ve yutum özellikleri değişiklik göstermektedir. Ahşap malzemelerde liflere paralel yöndeki ses dalgaları (liflere dik yön ile kıyaslandığında) daha hızlı yayılmaktadır. Ahşap malzemenin yeknesak yapısının kaybolması ve rutubetinin artması sonucunda ses dalgalarının yayılma

hızı da azalmaktadır. Ahşap malzemelerinin en önemli özelliklerinin başında ağırlığının hafif olmasına rağmen ses yayılma hızının yüksek olmasıdır (Berkel, 1970). Ses dalgaları uzayda ve boşlukta ilerlemeyez. Sesin ilerleyebilmesi için bir ortam gerekmektedir. Sesin havadaki hızı havanın sıcaklığına ve nem oranına göre değişkenlik göstermektedir. Ses havada 332 m/s hızla yayılmaktadır. Ses dalgaları sıcak havada (soğuk havaya göre) daha hızlı ilerlemektedir. Hava sıcaklığının bir derecelik artışı ses dalgalarının hızını 0,6 m/s artırmaktadır. Ses dalgalarının 20 °C’de havadaki hızı 344 m/s’dir. Çizelge 1.9.’da farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları verilmiştir (Sirel, 2000).

Çizelge 1.9. Farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları

<u>Ortam</u>	<u>Sesin Yayılma Hızı (0°C de)</u>
Suda	1.450 m/s
Betonda	4.000 m/s
Çelikte	5.000 m/s
Hava	332 m/s
Ahşap	3.828 m/s
Demir	5.103 m/s
Taş	5.971 m/s

1.6. Lamine Ahşap Malzemelerin Akustik Özelliklerinin Geliştirilmesi

Son yıllarda teknolojinin ve endüstrileşmenin gelişmesiyle birlikte farklı hammaddelerin belirli oranda birleştirilmesiyle yeni nesil kompozit malzemeler üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım amacına göre tasarımsal süreci geride bırakan malzemeler siparişe özel üretilebilerek insanoğlunun hizmetine sunulmaktadır. Geliştirilen kompozit malzemeler ilk önce risk grubu yüksek görevlerde, yapılarda daha sonra da iç ve dış mekanların tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Masif ağaç malzemenin tek parça halinde kullanılması, teknik açıdan, ekonomik olarak ve azalan orman kaynakları açısından tercih edilmemektedir. Çünkü ahşap malzemenin bünyesinde bulunan spiral liflilik, çatlak, budak vb. kusurları tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle laminasyon tekniği uygulanmaktadır. Fakat laminasyon tekniğinde genellikle yoğunluğu ve ekonomik değeri az olan ağaç türleri kullanılmaktadır. Yoğunluğu düşük lamine ahşap kompozitlerin teknolojik özellikleride arzu edilen düzeyde olmamaktadır. Yüksek yoğunluğa sahip ağaç türlerinin kullanımında ise maliyet artışı olmakta ve azalan orman varlığı açısından tercih edilmemektedir. Laminasyon tekniğinde genellikle kavak ağacı gibi

hızlı yetişen ağaç türleri kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ahşap dışındaki malzemelerin çeşitli tutkallar vasıtasıyla laminasyona entegre edildiğinde çok etkileyici sonuçlar elde edildiği bildirilmektedir. Özellikle laminasyonda akustik özellikleri yüksek hammaddelerin kullanımı sonucunda, ses dalgalarının mükemmel yakın bir şekilde kontrol edilerek, ortamın akustik performansının geliştirilmesi noktasında çok önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca üretilecek malzemeler istenilen boyut ve ebatlarda üretilerek farklı tasarımsal form ve yapıda kullanılabilmesine imkan sağlayacaktır. Böylelikle her türlü uç boyutlarda akustik malzeme tasarımı yapılarak, her türlü mekanda yüksek akustik performansa sahip ahşap malzemelerin yaygın olarak kullanılmasının önü açılmış olacaktır. Akustik performansı yüksek panellerin ultra hafif bir yapıya, bütün ortamlara uyum sağlayabilecek yüksek mukavemet direncine ve boyutsal stabiliteye sahip olması beklenmektedir. Bütün bu özellikler, akustik olarak güçlendirilmiş lamine ahşap kompozitlerin üretimiyle sağlanabilmektedir.

1.7. Kavak Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Kavak ağacı, populus cinsine ait her iki yarı kürenin ılıman bölgelerinde yayılış gösteren, bütün türleri boylu ağaç halini alan, 100'den fazla örnekleri olan ve her geçen gün yenileri elde edilen çok sayıda melezleri ve klonları olan önemli bir ağaç türüdür (Kayacık, 1963; Gökmen, 1973). Kavak ağaçları, doğal ormanları ve plantasyonları ile ılıman kuşağın en hızlı büyüyen ağaç türlerinden biridir (Lakany, 2004). Kavak odunu, genellikle beyaz renkli, işlenmesi kolay, yumuşak, düşük yoğunluğa sahip ve hafiftir (Ball ve ark. 2005). Kavak odununun önemi Türkiye için oldukça büyüktür. Sürekli azalan orman kaynakları açısından gelecek yıllardaki odun ihtiyacının artması sonucunda oluşacak talebe karşılık, hızlı gelişen yüksek verime sahip kavak ağacının, ormanlara yapılacak olan aşırı baskıyı hafifletebilmesinden dolayı bu ağaç türünün önemi her geçen gün artmaktadır. Kavak odununun kullanım alanlarında ilk sırayı lamine ahşap kompozit üretimi almaktadır. Kerestesinin hafifliği, yeterli direnç özellikleri, iyi çivi ve tel dikiş tutma kabiliyeti, tatsız ve kokusuz oluşu ambalaj sandığı üretiminde fazlaca kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca lif levha üretiminde de kullanılmaktadır (Ulupınar, 1998).

Kavak odununun aşağıdaki özelliklerinden dolayı akustik malzeme tasarımı ve üretiminde kullanılmasının önemli avantajları beraberinde getirdiği bilinmektedir;

1. Yumuşak dokulu yapıya sahip olduğundan montaj ve birleştirme işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır,

2. Alto ses karakterini (sınırını) yansıtma ihtimalinin oldukça yüksek olması,
3. Standart dışı olarak alt ses tablosunun kalınlık ölçülerini değiştirmeye imkan vermesidir (Kırılmayı önleme amaçlı gerçekleştirilen kalınlık artışı sonucunda alt ses tablosunun deformasyona uğramaması) (Güzey, 2014),
4. Pek çok ağaç türüyle kıyaslandığında, kavak türlerine ait odunların yoğunluk değerlerinin düşük, porozitelerinin (gözenekli) ise yüksek düzeyde olduğu bilinmektedir (URL-11). Gözenek sayısı, çeşiti ve büyüklüğü ses yutum özelliği için önem arz etmektedir. Ses dalgalarının malzemenin içerisinde sürtünerek yutulabilmesi için ses enerjisinin gözenekli yapıya girerek ilerleme kaydetmesi gerekmektedir. Yani ses enerjisinin önemli düzeyde yutulabilmesi için malzemenin yeterince gözenekli bir forma sahip olması gerekmektedir (Gelen, 2016). Dolayısıyla kavak ağacının sahip olduğu anatomik yapısı, akustik açıdan üstün performans sunabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, kavak odunu yalıtım levhası imalinde de kullanılmaktadır.

1.8. Kayın Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Kayın, ülkemizin orman varlıklarını oluşturan en kıymetli ağaç türlerinden birisidir. Türkiye’de Karadeniz bölgesinde sıkça görülürken, Marmara ve Ege bölgesinde de bu ağaç türüne rastlanmaktadır. Genellikle 40-50 metre boy, 1 metreye kadar çap artımı yapabilen düzgün gövdeye sahip doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.), Türkiye’nin orman varlığının %8,5’ini oluşturmaktadır (Anşin ve Özkan, 1993).

Kayın ağacının diri odunu sert yapıya sahip ve direnci yüksektir. Ayrıca diri odunu kolay empenye edilebilmekte iken öz odunu için bu işlem nispeten daha zordur. Genel olarak mobilya üretiminde, kontrplak, parke ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

1.9. Huş Ağacının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Huş ağacı, geniş bir coğrafi alanda (Kuzey yarım kürede, Asya, Avrupa, İsveç, Rusya, Norveç ve Orta Avrupa’da) yayılış göstermektedir. Ülkemizde özellikle Kuzey Doğu Anadolu’da, Doğu Anadolu’da ve Artvin’de görülmektedir (Anşin ve Özkan, 1993). Türkiye’deki doğal yetişme ortamı dikkate alınarak incelendiğinde, huşlar Doğu Anadolu Bölgesinde 2000-3000 metre rakıma sahip yükseklikleri, kış aylarında soğuk, yaz aylarında serin ve nemli bölgeleri tercih etmektedirler (Tanrıverdi, 1977).

Yüksek direnç özelliklerine sahip huş odunu kontrplak, taşımacılık, konstrüksiyon, kaplama, mobilya ve iç dekorasyon panellerin üretiminde kullanılmaktadır (Verkasalo ve Heräjärvi, 2002).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin akustik panel olarak üretilmesi ve kullanılması yeni bir araştırma konusu konu değildir. Bu zamana kadar farklı araştırmacılar tarafından, ahşap esaslı malzemelerin akustik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapmış oldukları çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

Bolt (1947) yapmış olduğu bir çalışmada, akustik empedansın tespit edilmesinde yeni bir yaklaşım geliştirdiğini bildirmiştir. Çalışmasında kullanmış olduğu perfore panellerin kaplanmamış kısımlarının arkasındaki malzemenin akustik empedansının bilinmesiyle perfore yüzeyin ses yutum katsayısının, geliştirmiş olduğu yaklaşıma dayanarak hazırladığı tablolar sayesinde bulunabileceğini belirtmiştir.

Uyanık (1995) yapmış olduğu bir çalışmada, çeşitli inşaat malzemelerinin empedans tüpü ölçüm yöntemine göre normal açılı ses yutum katsayılarını farklı frekans aralıklarında ölçmüştür. Çalışmada, kontrplak, kauçuk, kadife, strafor, hasır, halı, deri, pvc kaplanmış cam yünü, alüminyum, alçı, taş yünü, perlit sıva, duralit gibi malzemeler kullanılmış ve ses yutum performansları karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

Green ve arkadaşları (1999) yapmış oldukları bir çalışmada, ahşap malzemedeki ses dalgalarının hızı yoğunluk ve elastikiyet katsayısının fonksiyonu olduğu bildirilmiştir. Yoğunluğu 480 kg/m^3 olan ağaç malzemenin liflerinin boyuna yönündeki elastikiyet katsayısı $12,4 \text{ GPa}$ ses hızı ise 3800 m/s , teğet yönde ise elastikiyet katsayısı 6100 MPa ses hızını ise 8100 m/s olacağını belirlemişlerdir.

Ersoy (2007) yapmış olduğu bir çalışmada, atık çay yaprağı liflerinden üretilen kompozit malzemenin otomotiv ve tekstilde kullanılan keçe ile karşılaştırılarak ses yutum katsayısı araştırılmıştır. Sonuç olarak üretilen kompozit malzemenin keçeye yakın ses yutum özelliği olduğu belirlenmiştir.

Akdağ (2001) yapmış olduğu bir çalışmada, aynı ya da farklı işleve sahip hacimler arasındaki duvarlarda ses yalıtımı sağlayacak kesit örneklendirmeleri yapmıştır. Sonuç olarak yalıtım sağlamak amacıyla kesit oluşturmanın faydalar sağlayabileceği bildirilmiştir.

Wang ve Torng (2001) yapmış oldukları bir çalışmada, taş yünü ile cam yününün ses yutum özelliklerinin araştırıldığını, taş yününün cam yününe eşdeğerde ses yutum karakteri gösterdiğini bildirmişlerdir.

Koizumi ve arkadaşları (2002) yapmış oldukları bir çalışmada, bambu ağacının liflerinden üretilen kompozit malzemenin cam yününe yakın ses yutum performansına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca bambu malzemesinin yzeyinin fiber ile kaplanarak üretilmesi sonucunda kontrplağa göre ses yutumunun daha yksek olduğunu belirtmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2003) yapmış oldukları bir çalışmada, odun parçaları, pirinç çubukları ve üre-formaldehit tutkalı kullanılarak kompozit malzeme üretmişlerdir ve lif levha, yonga levha ve kontrplak ile ses yutum özelliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak üretilen kompozit malzemenin diğer malzemelere göre daha iyi ses yutum performansı gösterdiğini bildirmişlerdir.

Nor ve arkadaşları (2003) yapmış oldukları bir çalışmada, hindistan cevizi kabuklarının lifleri kullanılarak üretmiş oldukları levhaların ses yutum özelliklerini araştırmışlar ve çok katmanlı matris levhaların tek katmanlı malzemeler ile kıyaslandığında, dşuk frekanslardaki ses yutum katsayısının arttığını bildirmişlerdir.

Urry ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, esnek protein esaslı polimerler kullanılarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen malzemenin mekanik özelliklerinin artmasının yanında ses yutum performansının da arttığını bildirmişlerdir.

Kang ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, durağan dalga metodu ile 2 mikrofon metodu kıyaslandığında gürgen kerestesinin ses yutum katsayısında herhangi bir ölçüm farklılığının tespit edilmediğini bildirmişlerdir.

Zhou ve Huang (2007) yapmış oldukları bir çalışmada, küçük tane boyutuna sahip kauçuk partiküllerinden meydana gelen malzemenin gözenekli polimer esaslı malzemenin düşük frekanslarda daha iyi ses yutumu sağladığını bildirmişlerdir.

Dimon ve arkadaşları (2009) yapmış oldukları bir çalışmada, çoğunlukla camilerde hem dekoratif hem de caminin içerisindeki seslerin anlaşılabilirliğinin artırılması amacıyla kullanılan oymalı ahşap panellerin ses yutum katsayılarını araştırmışlardır. Yıldız ve baklava geometrik formuna sahip olan ahşap panellerin iyi bir ses absorban malzeme olduklarını bildirmişlerdir.

Mohammad ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları bir çalışmada, yüz adet farklı tip Malezya ağacının ses yutum katsayılarını araştırmışlardır. Sonuç olarak Malezya odununun 500 Hz'den düşük frekanslardaki ses yutum katsayısı düşük bulunurken, 500 Hz'den büyük frekanslardaki ses yutum katsayısı daha yüksek bulunmuştur.

Godshall ve Davis (1969) yapmış oldukları bir çalışmada, delikli ahşap esaslı panellerin deliksiz olan panellere göre daha iyi akustik yutuculuk sağladığını bildirmişlerdir.

Maekawa ve Lord (1994) yapmış oldukları bir çalışmada, perfore panelin daha geniş frekans aralığında ses yutum performansı göstermesini amaçlamışlardır. Sonuç olarak duvarın arkasında kalan hava boşluğu gözenekli bir yapıya sahip fiberle doldurulmalı ve duvarla arasındaki hava boşluğunun korunması gerektiğini bildirmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2001) yapmış oldukları bir çalışmada, gözenekli bir yapıya sahip lamine malzemenin 500-2000 Hz aralığındaki ses yutma katsayılarının, çok memnun edecek şekilde yüksek tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Yoshikawa (2007) yapmış olduğu bir çalışmada, telli alguların üretiminde kullanılacak uygun ağaçları sınıflandırabilmek için titreşim ve iletim savor parametresi olmak üzere yeni bir yöntem önermiştir. Önerilen bu modelin ereve ve ses plağı arasındaki farkı çok bariz bir şekilde gösterdiği bildirilmiştir.

Smardzewski ve arkadaşları (2015) yapmış oldukları bir çalışmada, on yedi adet farklı ahşap esaslı malzemenin akustik performansını araştırmışlardır. Sonuç olarak sandviç panellerin yapı sektöründe kullanımının uygun olmasına rağmen ses yutucu yapısal malzeme olarak kullanımının çok uygun olmadığı bildirilmiştir. Yüksek gözenekli yapıya sahip düşük yoğunluklu ahşap malzemelerin 125 ile 500 Hz bandındaki frekanslarda yüksek ses emicilik gösterdiklerini belirlemişlerdir. Kağıt esaslı petek paneller 1 kHz ile 2 kHz arasındaki frekans bandında iyi ses yutucu özellik sergilerken, yüzey formu düzensiz olan panellerin 4 kHz frekansında en iyi akustik performans sergiledikleri tespit edilmiştir.

Smardzewski ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları bir çalışmada, yüksek yoğunluğa sahip ahşap malzemelerin spesifik empedans değerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 2kHz frekans bandında am, dişbudak, meşe ve sapelli'nin yüksek ses yutum katsayısına sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Döngel (2005) yapmış olduğu bir çalışmada, ahşap esaslı parkelerin teknik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak kayından üretilen lamine parkenin ses iletim hızı en yüksek olarak ölçülürken, yonga levhadan üretilen laminat parkenin ses iletim hızı en düşük olarak ölçüldüğünü bildirmiştir.

Açık ve Tutuş (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, farklı ahşap esaslı malzemelerin akustik özelliklerini araştırmışlardır. 400 ile 6300 Hz frekans bandında yapılan ölçümlerde ses iletim kaybının en yüksek değerini yüzeyi kaplı HDF'de ölçülürken en düşük değerini ise ham MDF'de llmştir. 400 ile 2000 Hz frekans bandında yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının en yüksek değerini ham HDF'de ölçülürken en düşük değerini ise dekor kağıdı ile kaplanmış HDF'de ölçüldüğünü bildirmişlerdir.

Seçgin ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları bir çalışmada, ses yutum katsayısı ölçümü yapılan malzemenin sıcaklığının akustik performansını etkilediğini fakat ortamın şartlandırılması işleminin akustik performansı önemli düzeyde etkilemediği bildirilmiştir.

Kaya (2005) yapmış olduğu bir çalışmada, laboratuvar koşullarında malzeme üretmiş ve ses yutum katsayılarını araştırmıştır. Ürettiği levhaların yapılarındaki atık kağıt oranı arttıkça ses yutum özelliklerinin de arttığını bildirmiştir.

Ghofrani ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, atık kauçuk ile ahşap kaplama kullanılarak kontrplak üretmişlerdir. Literatürdeki ticari olarak satılan kontrplaklara kıyasla üretmiş oldukları kompozit malzemenin çok daha iyi ses yutum performansına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca laminasyon uygulamasında kayın kaplamaların kullanım oranının artmasıyla birlikte malzemenin akustik performansının da geliştiğini bildirmişlerdir.

Karlinasari ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, hızlı büyüyen ağaç türlerinden üretilen yonga levhaların akustik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak düşük ve orta yoğunluğa sahip levhaların düşük ve yüksek frekans bandında ses yutum performansının oldukça iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Sancak (2008) yapmış olduğu bir çalışmada, iç mekanlarda kullanılan monoblok kapıların akustik performansını ve bazı teknolojik özelliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak monoblok kapıların fabrikasyon kapılardan daha üstün özelliklere (akustik ve teknolojik) sahip olduğunu tespit etmiştir.

Yano (1994) yapmış olduğu bir çalışmada, mazı ağacından elde edilen odunlara metanol ile ekstraksiyon işlemi yapılmıştır ve test örnekleri hazırlanmıştır. Malzemelerin akustik performansındaki değişimler araştırılmıştır. Sonuç olarak, mazı ağacının öz odununun ses yutum katsayısı artarken diri odununun ses yutum katsayısı ise azalmıştır.

Oliveira ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, jatoba, okalıptüs ve karayip çamı odunlarından test örnekleri hazırlamışlardır. Elde edilen örneklerin ultrasonik ses iletim hızları (boyuna yöndeki) araştırılmıştır. Sonuç olarak yoğunluk artışına paralel bir şekilde ses iletim hızında da artış kaydedildiği bildirilmiştir.

Oliveira ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları bir çalışmada, *Goupia glabra* ağaç türüne ait odunlardan test örnekleri hazırlamışlardır ve ultrasonik ses iletim hızının rutubet ile olan ilişkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, rutubet artışının ultra sonik ses iletim hızını azaltıcı bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

Akitsu ve arkadaşları (1993) yapmış oldukları bir çalışmada, Glehn ladini ağacı odunundan hazırlanan test örnekleri on beş farklı kimyasal ile modifiye edilmiştir ve ses yutum katsayısı da dahil bazı teknolojik özellikler test edilmiştir. Sonuç olarak asetik anhidrit ile modifikasyon yapılan test örneklerinin, kontrol grubuna kıyasla ses yutum katsayı değeri daha düşük ölçüldüğü bildirilmiştir.

Kabir ve arkadaşları (1998) yapmış oldukları bir çalışmada, masif malzemenin (*Hevea brasiliensis*) lif açısının ve rutubet oranının artmasıyla birlikte ses iletim hızında azalma kaydedildiğini bildirmişlerdir.

Obataya ve arkadaşları (2000) yapmış oldukları bir çalışmada, masif malzemelerdeki ses iletim hızının liflere paralel yöndeki değeri, liflere dik yöndeki değerinin yaklaşık 2-4 katı kadar daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Calegari ve arkadaşları (2011) yapmış oldukları bir çalışmada, okalıptüs odununun özgül ağırlığı ve rutubet oranındaki değişimin ultrasonik ses iletimine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak yoğunluğun artmasıyla birlikte ultrasonik ses iletim hızında artış kaydedilirken, rutubet oranının artmasıyla birlikte ise ultrasonik ses iletim hızının azaldığı kaydedilmiştir.

Obataya ve arkadaşları (1998) yapmış oldukları bir çalışmada, rezonans ladini odununun rutubet oranındaki değişimin ultrasonik ses iletimine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak %0 ile %8 rutubet bandındaki ses yutum katsayısı değerinde azalma tespit edilirken, %8 ile %30 rutubet bandında ise rutubet oranındaki artışa bağlı olarak ses yutum değerinde artış kaydedildiği bildirilmiştir.

Aydoğmuş (2019) yapmış olduğu bir çalışmada, maun, akçaağaç ve ladin odunlarına kimyasal modifikasyon uygulamış, bazı teknolojik ve akustik özelliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak akustik dönüşüm katsayısı akçaağaç ve ladin odunlarına ait test örneklerinde azalırken maun odunu örneklerinde artış kaydedilmiştir. Akustik radyasyon değeri maun odununda artarken akçaağaç odununda azalış göstermiştir. Ayrıca maun ve ladin odunlarının modifikasyon sonrası akustik empedans değerinde ise artış kaydedildiği bildirilmiştir.

Ayan (2012) yapmış olduğu bir çalışmada, ısıtma işlemi uygulanan ahşap malzemelerden üretilen lamine panellerin ses yutum katsayısı araştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan ısıtma işleminin mekanik ve fiziksel özelliklerde düşüşe neden olurken ses yutum katsayısı değerinde ise artış sağladığı tespit edilmiştir.

Muslu (2013) yapmış olduğu bir çalışmada, duvarların kaplanması amacıyla kullanılan; kontraplak, lif levha, lif lam, yonga levha ve yonga lam ile sapsız meşe, sarıçam, doğu kayını ve uludağ göknarı gibi ahşap esaslı malzemeleri empedans tüpü kullanarak ses iletim kayıplarını araştırmıştır. Sonuç olarak masif numunelerin özgül ağırlığındaki artışın ve ahşap vernik etkileşiminin ses iletim kaybını olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelere ait test örneklerinde ise vernik ve yüzey kaplama türünün etkileşimlerinin ses iletim kaybını olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

Yılmaz (2019) yapmış olduğu bir çalışmada, sekiz adet farklı panel kaplama malzemesi kullanarak iç katmanı atık kağıt olacak şekilde kompozit malzeme üretmiştir ve bazı teknolojik özelliklerini araştırmıştır. Akustik test sonuçlarına göre ses iletim kaybı en yüksek (üç mm) kontrplak kaplamalı kompozit malzemede ölçülürken, ses iletim kaybının en düşük değeri ise (dört mm) MDF kaplamalı kompozit malzemede tespit edilmiştir.

Öztürk (2019) yapmış olduğu bir çalışmada, orta tabakası dört farklı geometrik yapıda olacak şekilde MDF paneller üretmiş ve akustik özelliklerini test etmiştir. Sonuç olarak en yüksek ses iletim kaybı daire yapılı (iç katmanı) panellerde tespit edilirken, en düşük ses iletim kaybı ise üçgen yapılı (iç katmanı) panellerde tespit edildiği bildirilmiştir.

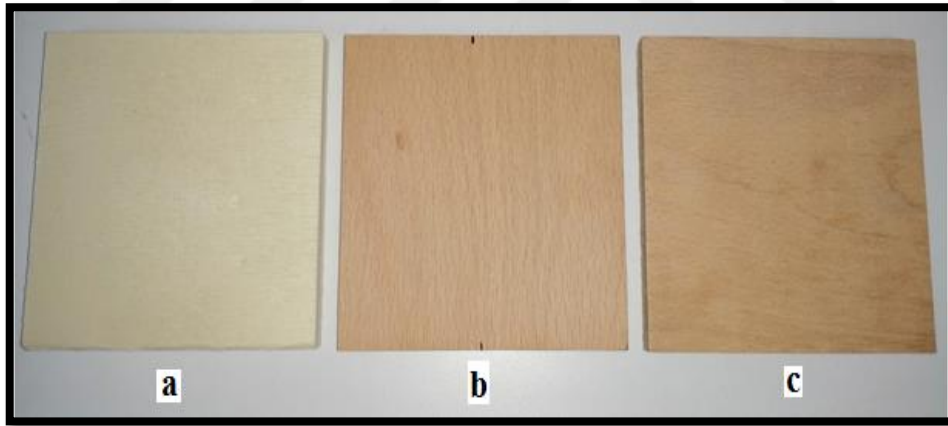
Bu çalışmanın amacı ve özgün değeri: Yapılan bu çalışmanın ilk bölümünde akustik malzeme üretiminde kullanılan üç farklı ağaç türünden en uygun olanın bir tanesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümde ise birinci bölümde en uygun olarak belirlenen kavak (*Populus deltoides*) soyma kaplamalarla, polivinil asetat (PVAc) tutkalı, doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak yeni nesil lamine ahşap kompozit levhaları üretilerek akustik özellikleri ve bazı teknolojik özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Lamine ahşap kompozitlerden akustik panel olarak tasarlanıp, akustik özellikleri ve bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışma, alanında ilk ve yeni bir çalışmadır ve dolayısıyla orijinal ve özgün bir değer taşımaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Odun hammaddesi

Bu araştırmanın ilk bölümünde akustik malzeme üretimi için en uygun ağaç türünün belirlenmesi amacıyla, üç farklı ağaç türüne ait soyma kaplamalar kullanılmıştır. Bunlar; kavak (*Populus deltoides*), kayın (*Fagus orientalis Lipsky.*) ve huş (*Betula pendula*) olmak üzeredir. Polivinil asetat (PVAc) tutkalı kullanılarak üretilen üç farklı ağaç türüne ait (Şekil 3.1.) lamine ahşap kompozitlerin (eşit kalınlıkta) akustik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak kavak ağacına ait soyma kaplamalar kullanılarak üretilen kompozitlerin akustik malzeme üretimine daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra, araştırmaya kavak (*Populus deltoides*) ağacı ile devam edilmiştir. Kavak soyma kaplamalar, özel bir kontrplak üreticisi olan firmadan temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan soyma kaplamaların kalınlığı 2.1 mm, genişliği 1200 mm ve uzunluğu 1200 mm olacak şekilde ebatlanmıştır. Kaplamaların kurutma işlemi ise aynı firmada gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Ön araştırmada kullanılan farklı ağaç türlerine ait lamine ahşap kompozit örnekleri (**a**: Kavak (*Populus deltoides*), **b**: Kayın (*Fagus orientalis Lipsky.*), **c**: (*Betula pendula*) Huş)

3.1.2. Tutkal

Kompozit malzemelerin tutkalanmasında APEL marka polivinil asetat (PVAc) tutkalı kullanılmıştır. Tutkal özel bir firmadan satın alınarak tedarik edilmiştir. Tutkalın özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Polivinil asetat (PVAc) tutkalının özellikleri

Özellikler	
Görünüş	Viskoz sıvı
Renk	Beyaz
Koku	Karakteristik
MFFT	5 °C
Viskozite	18.000 ±40.00
Katı madde. % (ağırlıkça)	58±2
pH (20 °C)	5.5-7
Yoğunluk (21 °C. gr/cm ³)	1.2
Kaynama noktası	100 °C
Buhar basıncı 20 °C	2.300 Pa
Suda çözünebilirlik	Kısmen çözünebilir

3.1.3. Kauçuk

Doğal kauçuk, kauçuk ağacının özsuyundan (lateks) üretilmektedir. Ağaç gövdesine V şeklinde açılan yarıklardan elde edilen lateksin kimyasal yapısı ise cis-1,4-poliizopren'dir. Önemli bir endüstriyel ürün olan doğal kauçuk, çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. Deney gruplarına ait kompozit malzemelerinin üretilmesi amacıyla A grubunda doğal kauçuk kullanılmıştır. Kauçuk, özel bir firmadan satın alınarak tedarik edilmiştir. Rulo şeklinde satın alınan kauçuğun yoğunluğu 750 kg/m³ kalınlığı ise 5 mm'dir. Araştırmada kullanılan kauçuğun görüntüsü Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Araştırmada kullanılan kauçuk

3.1.4. Linolyum

Linolyum; yer mantarı, kireç taşı, oksidize keten tohumu yağı veya odun unu, reçine ve pigmentlerinden elde edilen karışımın preslenmesi sonucu elde edilen malzemedir. Linolyum kaplama ise mantar tozu ve bezir yağı ile sıvanmış kendir dokumasından üretilen bir çeşit taban muşambasıdır. Alt tabanı çuha olarak adlandırılan pamuk ipliğinden yapılmaktadır. Soğukta sertleşir sıcakta ise şekil değiştirip genişlemektedir. Linolyum kaplamalar yapıştırılmak suretiyle uygulanmakta ve kullanılmaktadır. Bakteri, mikrop, kir barındırmamaları ve çevre dostu bir malzeme olmasının yanında akustik konforun (ses ve gürültü yalıtımı) sağlanması amacıyla kullanma imkanı vermesinden dolayı linolyum oldukça tercih edilebilir bir ürün olmaktadır. Arzu edilen boyutlarda üretilmektedir (URL-7). Deney gruplarına ait kompozit malzemelerinin üretilmesi amacıyla B grubunda linolyum kullanılmıştır. Linolyum, özel bir firmadan satın alınarak tedarik edilmiştir. Rulo şeklinde satın alınan linolyumun yoğunluğu 800 kg/m^3 kalınlığı ise 5 mm'dir. Araştırmada kullanılan linolyumun görüntüsü Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan linolyum

3.1.5. Keçe

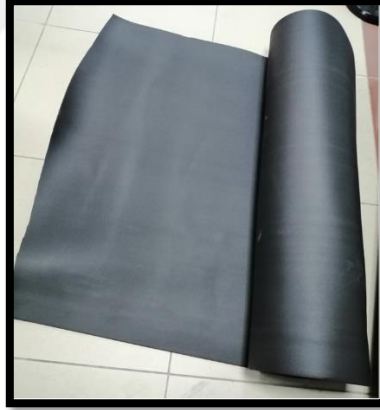
Keçe; polietilen tereftalatın geri dönüştürülmesiyle elde edilen elyafların harmanlanıp nonwoven iğneleme metodu ile sıkıştırılarak kullanılabilir kalınlığa getirildiği izolasyon malzemesidir. Kimyasal katkı maddesi içermeyen keçe, tamamen geri dönüşüm malzemesinden üretildiği için tekrar geri dönüştürülebilir bir malzemedir (URL-8). Deney gruplarına ait kompozit malzemelerinin üretilmesi amacıyla C grubunda keçe kullanılmıştır. Keçe, özel bir firmadan satın alınarak tedarik edilmiştir. Rulo şeklinde satın alınan keçenin yoğunluğu 57 kg/m^3 kalınlığı ise 5 mm'dir. Araştırmada kullanılan keçenin görüntüsü Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Araştırmada kullanılan keçe

3.1.6. Elastomerik sünger

Deney gruplarına ait kompozit malzemelerinin üretilmesi amacıyla D grubunda kauçuk reçinesinden üretilen elastomerik sünger kullanılmıştır. Elastomerik sünger, özel bir firmadan satın alınarak tedarik edilmiştir. Rulo şeklinde satın alınan elastomerik süngerin yoğunluğu 60 kg/m^3 kalınlığı ise 5 mm 'dir. Araştırmada kullanılan elastomerik süngerin görüntüsü Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan elastomerik sünger

3.1.7 Lamine ahşap kompozitlerin üretimi

Araştırmada kullanılacak olan kavak, kayın ve huş soyma kaplamalarının genişlik ve uzunlukları $1000 \times 1000 \text{ mm}$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Kaplama kusuru olarak nitelendirilen (kurt yeniği, çatlak, çürüme, budak vb.) kusurlu kaplamalar araştırmada kullanılmamış, homojen ve düzgün yüzeyli kaplamalar kullanılmıştır. Polivinil asetat (PVAc) tutkalı soyma kaplamaların gevşek yüzeylerine ortalama 250 gr/m^2 olarak tutkal sürme rulosu kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 3.6.). Soyma kaplamaların tutkallanmasından hemen sonra on adeti, lif yönleri birbirine dik olacak şekilde üst üste yerleştirilerek, hidrolik

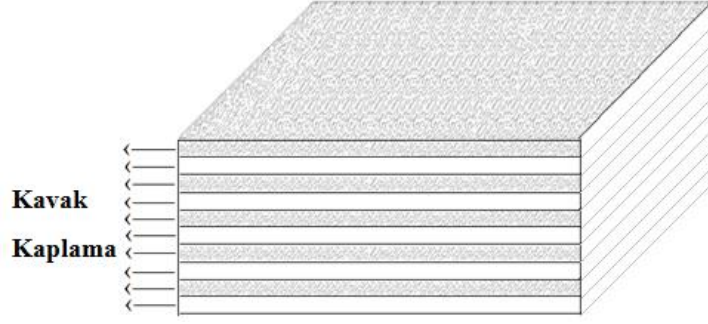
sıcak preste 50°C sıcaklık, 7 kg/cm² pres basıncı ve pres süresi 1 mm/dk olacak şekilde ayarlanarak preslenmiştir. Farklı ağaç türlerinin akustik malzeme üretimine etkisinin araştırılması amacıyla lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Optimum sonuçlara kavak ağaç türüne ait kompozit malzemelerde ulaşıldığı için, bu aşamadan sonra araştırmaya kavak soyma kaplamaları ile devam edilmiştir. Araştırmada bir kontrol ve dört deney grubu oluşturulmuştur. Yeni nesil lamine ahşap kompozit levhaları 10 tabakalı olarak üretilmiştir. Deney gruplarının üretiminde ise dört farklı malzeme seçilmiş ve orta tabakada (beşinci tutkal tabakası) kullanılmıştır (Çizelge 3.2.). Bunlar; doğal kauçuk (A grubu), linolyum (B grubu), keçe (C grubu) ve elastomerik sünger (D grubu) olmak üzere 4 grup şeklindedir. Kontrol ve deney gruplarının şematik görüntüleri Şekil 3.7. ve 3.8.'de verilmiştir.



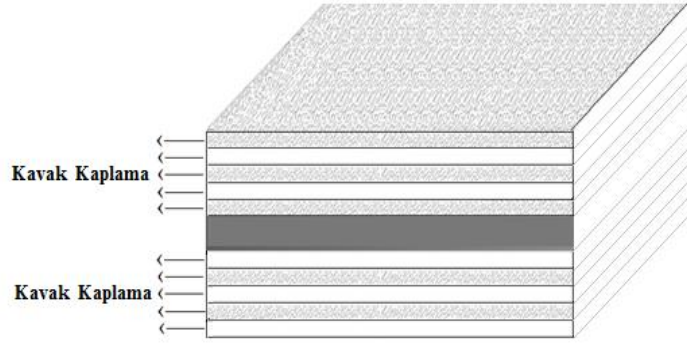
Şekil 3.6. Soyma kaplamaların tutkalllanması

Çizelge 3.2. Lamine ahşap kompozit üretim reçetesi

Örnek No	Grup Adı	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



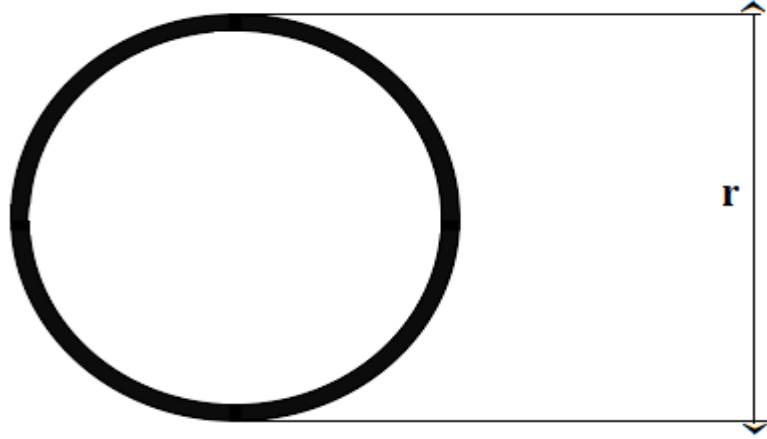
Şekil 3.7. Kontrol grubunun şematik görüntüsü



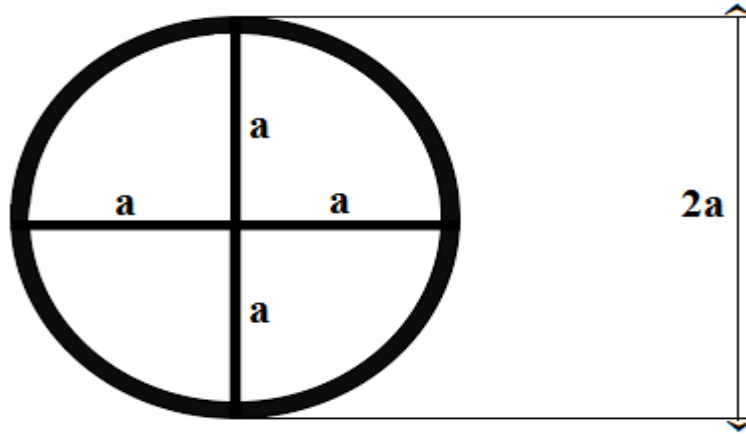
Şekil 3.8. Deney gruplarının şematik görüntüsü

3.1.7.1. Farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı

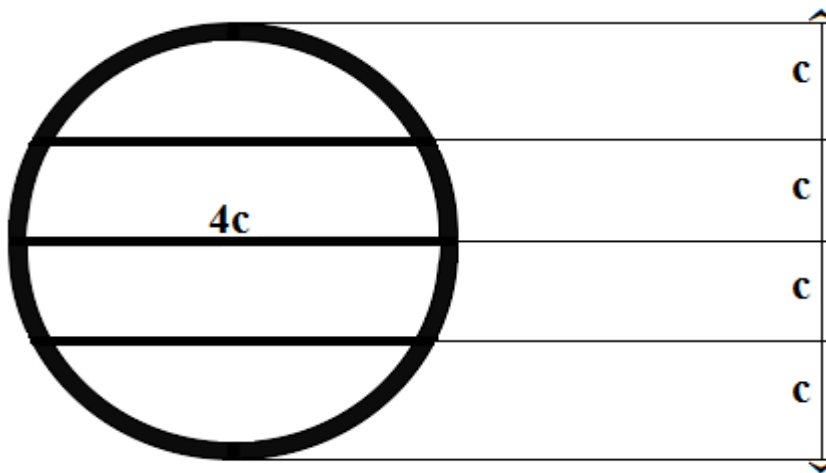
Akustik konforun sağlanması amacıyla yapılarda ve hertürlü iç mekanda kullanılmak üzere, beş farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı yapılmıştır. Kontrol, A, B, C ve D gruplarına ait kompozit malzemeler kullanılarak üretilen panellerin yüzey yapılarına ait teknik çizim görselleri Şekil 3.9. , 3.10. , 3.11. , 3.12. ve 3.13.'de verilmiştir. Farklı yüzey formlarının seçilmesiyle daha yüksek akustik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel, pizza dilimi yüzey formuna sahip panel, şeritli yüzey formuna sahip panel, asimetrik yüzey formuna sahip panel ve baklava dilimi yüzey formuna sahip panel tercih edilmiştir. Bu yüzey tasarımları kontrol, A, B, C ve D gruplarına uygulanarak toplam 25 farklı grup elde edilmiştir. Akustik paneller CNC (Computer Numerical Control) makinasında hassas kesim yapılarak üretilmiştir. Panellerin üretim (kesiş derinliği ve kesiş eni) planı Şekil 3.14.'de verilmiştir.



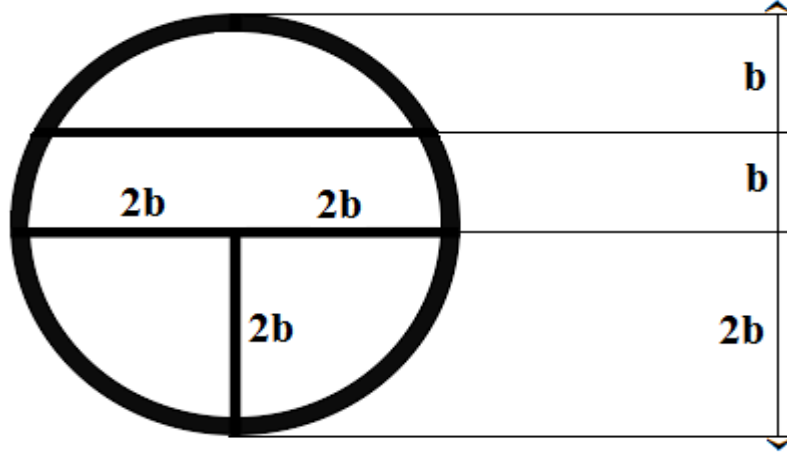
Şekil 3.9. Daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel



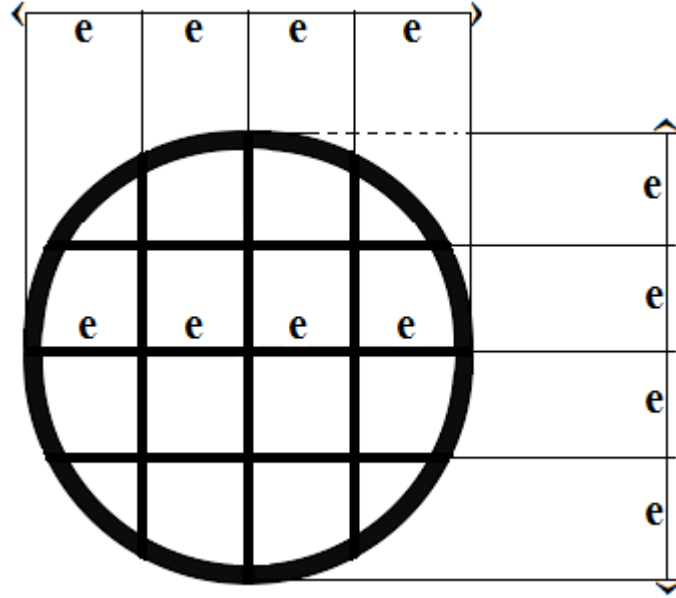
Şekil 3.10. Pizza dilimi yüzey formuna sahip panel



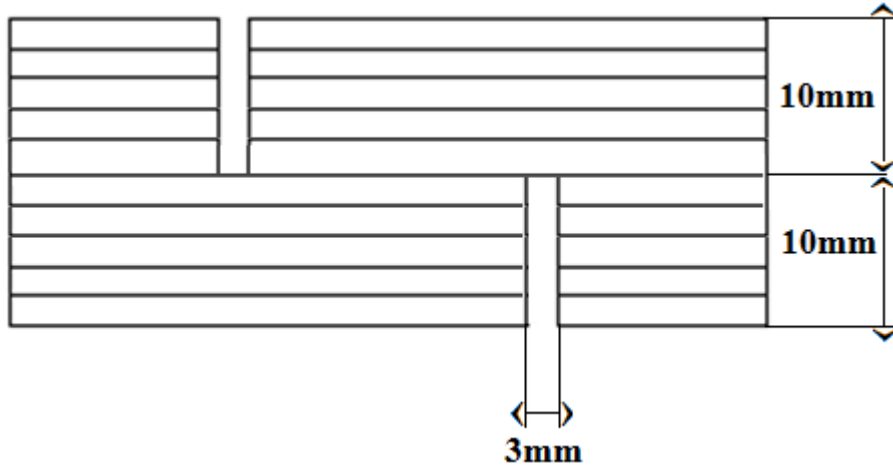
Şekil 3.11. Şeritli yüzey formuna sahip panel



Şekil 3.12. Asimetrik yüzey formuna sahip panel



Şekil 3.13. Baklava dilimi yüzey formuna sahip panel



Şekil 3.14. Yüzey tasarımı yapılan panellerin kesiş özellikleri

Tasarımı yapılan akustik panel levhaları toplam 25 farklı gruba ayrılmıştır. Gruplara ait özellikler, kodlamalar ve çeşitli ayrıntılar Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Akustik panel tasarımı üretim reçetesi

Örnek No	Grup Adı	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

3.2. Metot

3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Kontrol ve deney gruplarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde; hava kuru yoğunluk (gr/cm^3), denge rutubet miktarı, kalınlığına şişme ve su alma testleri yapılmıştır. Test örnekleri Şekil 3.15.'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için kullanılan test örnekleri

3.2.1.1. Hava kuru yoğunluğun belirlenmesi

Kompozit malzemelerin hava kuru yoğunluklarının belirlenmesinde TS EN 323 standardında belirtilen usul ve esaslara uyularak test örnekleri kullanılmıştır. Test örnekleri klima dolabına yerleştirilerek 20°C ' sıcaklık ve %65 bağıl nem de kondisyonlanmıştır. On beş günlük kondisyonlama süreci tamamlandıktan sonra grupların hava kuru yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Hava kuru yoğunluğun hesaplanması için aşağıdaki eşitlik (3.1) kullanılmıştır.

$$D_{12} = \frac{W_{12}}{V_{12}} \quad (3.1)$$

Burada;

D_{12} :Hava kuru yoğunluk(gr/cm^3)

W_{12} :Deney parçasının hava kuru haldeki ağırlığı(gr)

V_{12} :Deney parçasının hava kuru haldeki hacmi(cm^3)

3.2.1.2. Kalınlığına şişme ve su alma

Kompozit malzemelerin kalınlığına şişme (KŞ) ve su alma (SA) yüzdelерinin tespit edilmesinde TS EN 317 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur.

Test örneklerinin on beş günlük kondisyonlama sürecinden sonra kısa ve uzun süreli suda kalması sonucu kalınlığına şişme ve su alma yüzdeleri belirlenmiştir. Bu amaçla gruplara ait test örnekleri 2, 24 ve 336 saat süre ile suya daldırılmıştır. Bu süreler sonundaki su alma miktarının belirlenmesi için 0.01 gr duyarlıklı hassas terazi (Şekil 3.16.), kalınlığına şişme miktarının belirlenmesi için ise 0.01 mm duyarlıklı kumpas (Şekil 3.17.) kullanılmıştır. Kalınlığına şişme (KŞ) ve su alma (SA) yüzdeleri aşağıdaki formüllerle (3.2 ve 3.3) hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{a_2 - a_1}{a_1} \times 100(\%) \quad (3.2)$$

Burada:

SA: Su alma miktarı(%)

a_1 :Deney parçasının suya daldırmadan önceki ağırlığı(gr)

a_2 :Deney parçasının suya daldırmadan sonraki ağırlığı(gr)

$$KŞ = \frac{k_2 - k_1}{k_1} \times 100(\%) \quad (3.3)$$

Burada:

KŞ: Kalınlığına şişme miktarı(%)

k_1 :Deney parçasının suya daldırmadan önceki kalınlığı(mm)

k_2 :Deney parçasının suya daldırmadan sonraki kalınlığı(mm)



Şekil 3.16. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan hassas terazi



Şekil 3.17. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan kumpas

3.2.1.3. Rutubetin belirlenmesi

Üretilen kompozit malzemelerin rutubetlerinin belirlenmesi için TS EN 322 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Test örneklerinin rutubet miktarları (%) aşağıdaki eşitlik (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$r = \frac{M_r - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

r: deney parçasının sahip olduğu rutubet miktarı (%)

M_r : deney parçasının rutubetli haldeki ağırlığı (gr)

M_0 : deney parçasının tam kuru haldeki ağırlığı (gr)

3.2.2 Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, şok direnci , vida tutma direci ve çivi tutma direnci testleri yapılmıştır.

3.2.2.1. Eğilme direncinin ve elastikiyet modülünün belirlenmesi

Kompozit malzemelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespit edilmesinde TS EN 310 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri aynı örnekler üzerinde yapılmıştır. İki farklı kuvvet yönü uygulanarak testler yapılmıştır. Bunlar; tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel olmak üzere, ayrıca deney hızı 3 mm/dk olarak uygulanmıştır Eğilme direnci (σ_{ED}) ve Elastikiyet modülünün (σ_{EM}) hesaplanmasında aşağıdaki formüller sırasıyla (3.5) ,(3.6) kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan test örneklerinin görüntüsü ise Şekil 3.18.'de verilmiştir.

$$\sigma_{ED} = \frac{3.P_{max}.L}{2.b.h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

Burada;

P_{max} = Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b= Deney numunesinin genişliği (mm)

h= Deney numunesinin kalınlığı (mm)

$$\sigma_{EM} = \frac{\Delta F.L^3}{\Delta f.4.b.h^3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.6)$$

Burada;

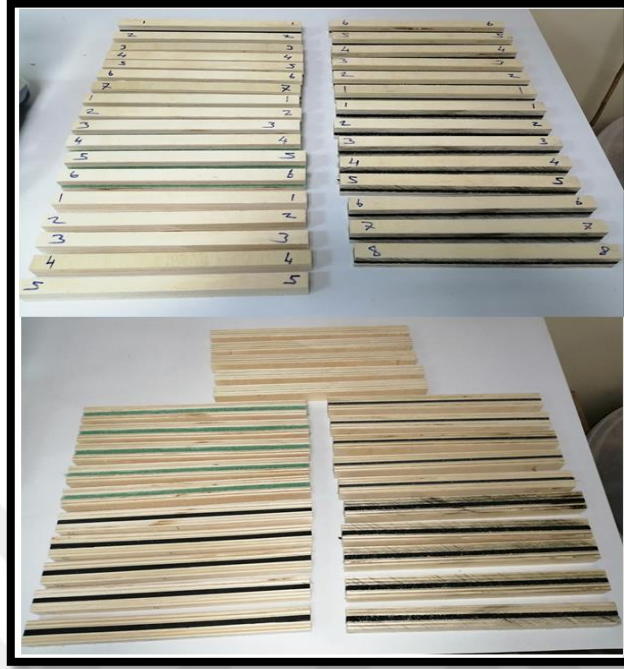
ΔF : Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı

Δf : Örnekteki eğilme miktarı farkı

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b= Deney numunesinin genişliği (mm)

h= Deney numunesinin kalınlığı (mm)



Şekil 3.18. Eğilme direnci ve Elastikiyet modülü test örnekleri

3.2.2.2. Şok direncinin belirlenmesi

Üretilen kompozit malzemelerin şok (dinamik eğilme) dirençlerinin belirlenmesi için TS 2477 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Şok direnci testleri için iki farklı kuvvet yönü uygulanmıştır. Bunlar; tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel olmak üzeredir, ayrıca test örneği tek bir çarpma ile kırılmış, yaptığı iş ise 0,1 kgm duyarlılıkta ölçülmüştür. Şok ($\sigma_{\text{şD}}$) direnci değeri aşağıdaki formül yardımıyla (3.7) hesaplanmıştır. Test esnasındaki görüntü Şekil 3.19.'da verilmiştir.

$$\sigma_{\text{şD}} = \frac{Q}{b \times h} \quad (3.7)$$

Burada;

$\sigma_{\text{şD}}$: Şok direnci (kgm/cm²)

Q: deney parçasının kırılması için gerekli enerji 0.1 (kgm)

b ve h: deney parçasının radyal ve teğet yönlerdeki boyutları (cm)



Şekil 3.19. Şok direnci testi uygulaması

3.2.2.3. Vida ve çivi tutma direncinin belirlenmesi

Kompozit malzemelerin vida ve çivi tutma dirençlerinin tespit edilmesi için TS EN 13446 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Testlerde 4mm x 50 mm (vida çapı x vida uzunluğu) boyutunda vida, 4mm x 50 mm (çivi çapı x çivi uzunluğu) boyutunda çivi kullanılmıştır. Test edilecek örneklerin on beş günlük kondisyonlama sürecinden sonra pilot delikleri (Şekil 3.20.) açılarak vidalama ve çivileme işlemi yapılmış ve teste hazır hale getirilmiştir. Vida ve çivi tutma direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla (3.8) hesaplanmıştır. Grupların test öncesi görüntüleri ise Şekil 3.21.'de verilmiştir.

$$f = F_{max}/dxI_p \quad (3.8)$$

Burada;

f: Vida veya çivi tutma direnci (N/mm²)

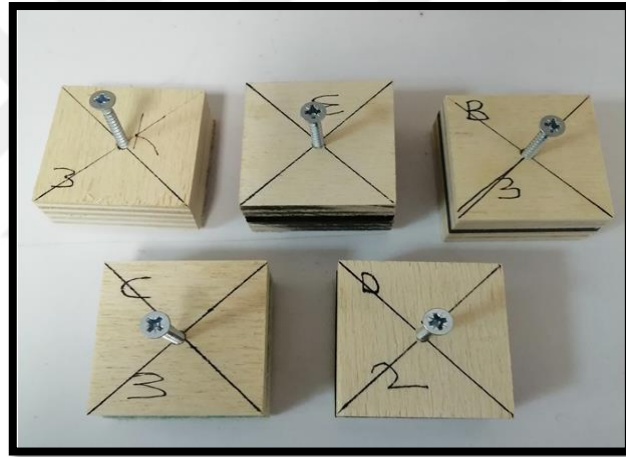
F_{max} : En büyük geri çıkma yükü (N)

d: Vida veya çivi çapı (mm)

I_p : Bağlayıcının girme derinliği (mm)



Şekil 3.20. Test örneklerine pilot deliği açma işlemi



Şekil 3.21. Grupların test öncesi görüntüleri

3.2.3. Isı izolasyon özelliklerinin belirlenmesi

3.2.3.1. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesi

Kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı değerlerinin tespit edilmesi için ASTM C 518 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Lamine ahşap kompozitlerin, TA Instruments FOX 314 termal iletkenlik analiz cihazı (Şekil 3.22.) ile ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik katsayıları ölçülmüştür. Isı iletkenlik ve geçirgenlik katsayısı test örneği Şekil 3.23.'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçüm cihazı (URL-10)



Şekil 3.23. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçümünde kullanılan test örneği

3.2.4. Akustik özelliklerin belirlenmesi

3.2.4.1. Ultrasonik ses iletim hızının belirlenmesi

Frekansı 20.000 Hz üzerinde olan sesler ultrasonik ses, ses ötesi ve ultrases olarak tanımlanmaktadır. Yapılan bu testte, kompozit malzemelerin yüzeylerine test aletinin iki probu yerleştirilmiş, verici probdan ultrasonik ses frekansına sahip ses dalgaları gönderilmiş ve alıcı probdan alınmıştır. Test örneklerinin içerisinde geçen ultrasonik ses dalgalarının

geçiş hızı aşağıdaki formül yardımıyla (3.9) hesaplanmıştır. Test aletinin görüntüsü Şekil 3.24.'de verilmiştir.

$$V = \frac{I}{t} \times 10^6 \quad (3.9)$$

Burada;

V: P dalga hızı (m/s)

I: Numune kalınlığı (m)

t: P dalgasının geçme süresi (mikrosaniye)



Şekil 3.24. Ultrases ölçüm cihazı

3.2.4.2. Ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybının belirlenmesi

Kompozit malzemelerin ses yutum katsayılarının tespit edilmesi için ASTM E 1050 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara, ses iletim kaybının tespit edilmesi için ise ASTM E 2611 numaralı standartta belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur. Ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerinin belirlenmesinde empedans tüpü ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu ölçüm sisteminde küçük tüp ve büyük tüp olmak üzere iki farklı tüp kullanılmıştır (Şekil 3.25. ve 3.26). Her numune düşük frekanslardaki akustik değerlerin tespiti için büyük tüpte, yüksek frekanslardaki akustik değerlerin tespiti için küçük tüpte test edilmiştir. Her bir test örneğinin yüzey tasarımları CNC (Computer Numerical Control) makinası kullanılarak yapılmış ve üretilen paneller (Şekil 3.27.) klima dolabına yerleştirilerek 20°C' sıcaklık ve %65 bağıl nem de kondisyonlanmıştır. Hassas kesim yapılan test örnekleri büyük tüpe ve küçük tüpe montajı yapılarak teste hazır hale

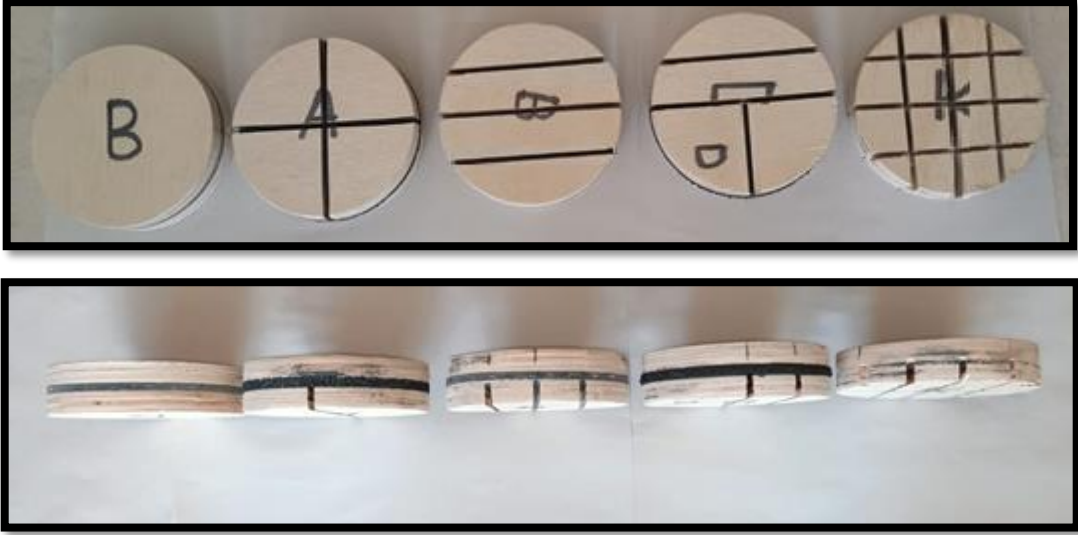
getirilmiştir (Şekil 3.28.). Kompozit malzemelerin düşük (Bas), orta ve yüksek (Tiz) frekanslardaki akustik performanslarının belirlenmesi amacıyla hem ses yutum katsayısı hem de ses iletim kaybı değerlerinin belirlenmesinde 63 Hz-6300 Hz frekans aralığında ölçüm yapılmıştır. Her test numunesi en az üç tekrarlı olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.25. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan empedans tüpü (Küçük tüp)



Şekil 3.26. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan empedans tüpü (Büyük tüp)



Şekil 3.27. Akustik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test örnekleri (Soldan sağa doğru sırasıyla; daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel, pizza dilimi yüzey formuna sahip panel, şeritli yüzey formuna sahip panel, asimetrik yüzey formuna sahip panel ve baklava dilimi yüzey formuna sahip panel)



Şekil 3.28. Test örneklerinin empedans tüpüne montajı

3.3. İstatistik Analizler

Üretilen kompozit malzemelere uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar raporlandıktan sonra Excel programında kaydedilmiş ve sonra SPSS programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Kontrol ve deney gruplarına ait sonuçlar varyans analizi yani ANOVA testi ile, grupların ortalamaları arasındaki farklar ise Tukey Honestly Significant Difference (HSD) çoklu karşılaştırma testi ile tespit edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan bu araştırmada kavak (*Populus deltoides*), kayın (*Fagus orientalis Lipsky.*) ve huş (*Betula pendula*) soyma kaplamaları kullanılarak lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir (Şekil 3.1.). Üretilen üç farklı ağaç türüne ait kompozit malzemelerin akustik özellikleri (Ultrasonik ses iletim hızı, Ses yutum katsayısı ve Ses iletim kaybı) araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kavak soyma kaplamaları kullanılarak üretilen lamine ahşap kompozitlerin akustik özelliklerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kavak (*Populus deltoides*) ağaç türünün en iyi sonuçlara sahip olduğundan, bulgularda kavak ağacından elde edilen lamine ahşap kompozit malzemelerin tüm özelliklerine ait sonuçlar ve tartışmalar verilmiştir. Kavak, kayın ve huş ağaç türlerine ait lamine ahşap kompozit malzemelerin ultrasonik ses iletim hızı (m/s), ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı (dB) değerleri sırasıyla Şekil 4.22, Şekil 4.28 ve Şekil 4.34’de verilmiştir.

4.1. Lamine Ahşap Kompozitlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Araştırmanın bu bölümünde tutkal olarak polivinil asetat (PVAc) ağaç malzeme olarak kavak soyma kaplama takviye malzemesi olarak doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak yeni nesil lamine ahşap kompozit levhaları üretilmiştir. Beş farklı grup oluşturulmuş olup Çizelge 3.2’de verilmiştir.

4.1.1. Hava kuruşu yoğunluk

Üretilen kompozit malzemelerin hava kuruşu yoğunluk ölçümleri her grup için 30 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava kuruşu yoğunluk değerlerine ait ANOVA ve Tukey testi sonuçları Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.’de verilmiştir.

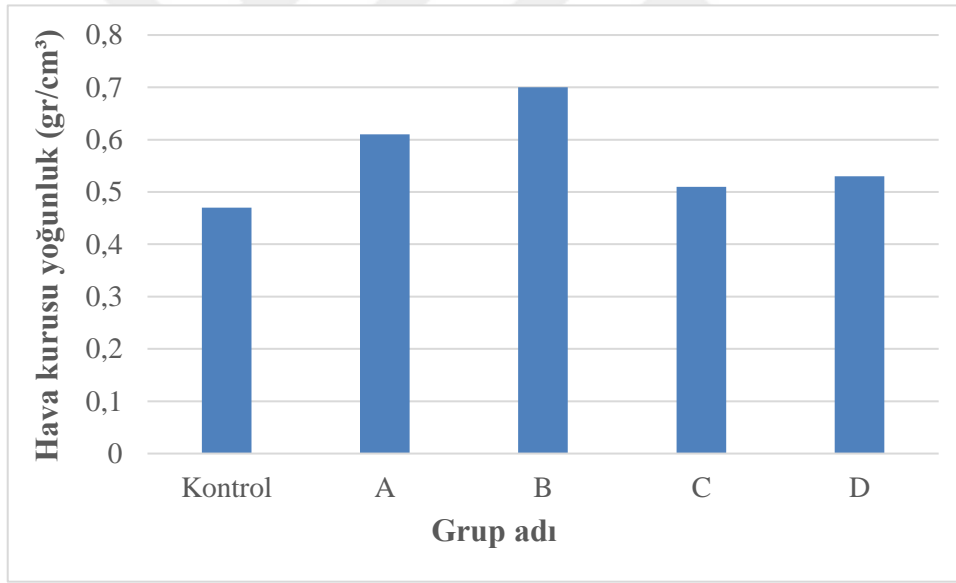
Çizelge 4.1. Hava kuruşu yoğunluk ANOVA testi sonuçları

Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	0,401	4	0,128	240,374	0,000
Gruplar içi	0,065	146	0,002		
Toplam	0,466	150			

Çizelge 4.1.’de verilen ANOVA testi sonucuna göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin hava kuruşu yoğunluk değişimleri Şekil 4.1.’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hava kuruşu yoğunluk ortalama değeri ve Tukey testi sonuçları

Grup adı	İ.D.	Hava kuruşu yoğunluk(gr/cm^3)
Kontrol	x	0,47 a
	s	0,02
A	x	0,61 d
	s	0,03
B	x	0,70 e
	s	0,02
C	x	0,51 b
	s	0,01
D	x	0,53 c
	s	0,02



Şekil 4.1. Grupların hava kuruşu yoğunluk değışimleri

Elde edilen verilere göre, en yüksek yoğunluk değeri B grubunda ölçülürken en düşük yoğunluk değeri ise kontrol grubunda ölçülmüştür. Kompozit malzemelerin hava kuruşu yoğunluk değeri kontrol grubunda $0.470 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ve diğeri A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla $0.61 \text{ gr}/\text{cm}^3$, $0.70 \text{ gr}/\text{cm}^3$, $0.51 \text{ gr}/\text{cm}^3$, $0.53 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının hava kuruşu yoğunluk değeri sırasıyla % 29.7, % 48.9, % 8.5, % 12.7'lik artış kayıt edilmiştir. Bu duruma deney gruplarının üretiminde kullanılan doğal kauçuk, linolyum, keçe ve

elastomerik süngerin sebep olduğu ve bu malzemelerin kompozit malzemelerin tabakalarına yapıştırılması amacıyla kullanılan tutkal miktarındaki artışın neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca lamine ahşap kompozitlerin teknolojik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, laminasyona entegre edilen ahşap malzeme dışındaki malzemelerin kullanılması ve levha tabakalarına yapıştırılırken ihtiyaç duyulan tutkal miktarındaki artışın, üretilen kompozit malzemelerin yoğunluğunun artmasına neden olduğu belirtilmiştir (Özyurt, 2015; 2020).

4.1.2. Rutubet testi

Üretilen kompozit malzemelerin rutubet yüzdelerine ait bulguların ANOVA test sonuçları Çizelge 4.3.'de ve Tukey test sonuçları Çizelge 4.4.'de verilmiştir. Çizelge 4.3.'de verilen ANOVA testi sonucunda göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların rutubet yüzdelerine ait değerler Şekil 4.2.'de verilmiştir.

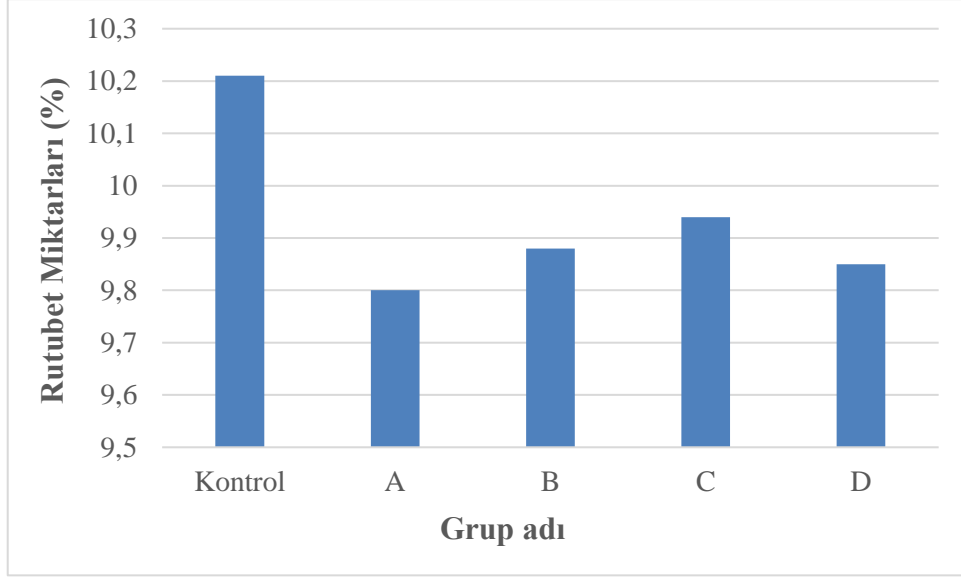
Çizelge 4.3. Rutubet yüzdelerine ait ANOVA testi sonuçları

Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	22,213	4	7,917	409,232	0,000
Gruplar içi	2,759	146	0,039		
Toplam	24,972	150			

Çizelge 4.4. Rutubet yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları

Grup adı	İ.D.	Rutubet miktarları (%)
Kontrol	x	10,21 d
	s	0,18
A	x	9,80 a
	s	0,11
B	x	9,88 b
	s	0,13
C	x	9,94 c
	s	0,15
D	x	9,85 b
	s	0,10

x:aritmetik ortalama s:standart sapma



Şekil 4.2. Grupların rutubet yüzdeleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin rutubet yüzdeleri onbeş günlük kondisyonlama sürecinin ardından kontrol grubunda %10,21 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla %9,80, %9,88, %9,94 ve %9,85 olarak belirlenmiştir. Gurupların hiçbirinin %12 denge rutubetine ulaşmadığı tespit edilmiştir. Yapısal kontrplak (plywood) ve LVL el kitabında kontrplakların denge rutubet miktarlarının % 6 ile % 14 arasında olması gerektiği belirtilmiştir (BS 1134, 1990). Ayrıca, Bal ve Bektaş (2013) yapmış oldukları çalışmada kavak, okaliptus ve kayın kaplamaları kullanarak üç farklı tutkal ile lamine ahşap kompozit üretmişlerdir. Kondisyonlama sürecinin sonunda grupların hiçbirinin %12 denge rutubetine ulaşmadığı tespit edilmiştir. Bu araştırmada üretilen kompozit malzemelerin denge rutubet yüzdelerinin literatüre uygun olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.3. Kalınlığına şişme ve su alma

Üretilen kompozit malzemelerin kısa süreli ve uzun süreli su içerisindeki davranışlarının belirlenmesi amacıyla kalınlığına şişme (K.Ş.) ve su alma (S.A.) testleri yapılmıştır. Test örnekleri 2, 24 ve 336 saat süre boyunca suda bekletilerek kalınlığına şişme ve su alma yüzdeleri tespit edilmiştir.

4.1.3.1. Kalınlığına şişme testi

Kompozit malzemelerin kalınlığına şişme yüzdelerine ait ANOVA testi sonucu Çizelge 4.5.'de ve Tukey testi sonucu 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kalınlığına şişme yüzdelere ait ANOVA testi sonuçları

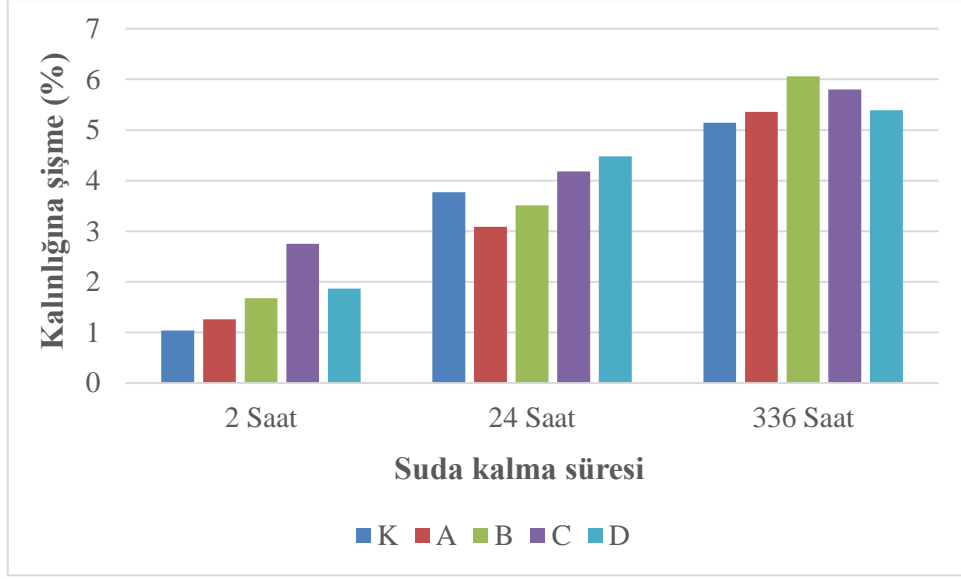
Süre (Saat)	Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
2	Gruplar arası	0,178	4	0,079	6,815	0,000
	Gruplar içi	0,803	146	0,009		
	Toplam	0,981	150			
24	Gruplar arası	0,189	4	0,085	5,822	0,000
	Gruplar içi	1,462	146	0,014		
	Toplam	1,651	150			
336	Gruplar arası	0,307	4	0,093	7,042	0,000
	Gruplar içi	12,138	146	0,106		
	Toplam	12,445	150			

Çizelge 4.5.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre grupların 2, 24, 336 saat sonundaki kalınlığına şişme yüzdeleri arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların kalınlığına şişme yüzdelere ait bulgular Şekil 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kalınlığına şişme yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları

Kalınlığına şişme yüzdeleri (N:30)				
Grup adı	İ.D.	2 Saat	24 Saat	336 Saat
Kontrol	x	1,04 a	3,77 c	5,14 a
	s	0,1	0,05	0,2
A	x	1,26 b	3,09 a	5,36 b
	s	0,09	0,11	0,32
B	x	1,68 c	3,51 b	6,06 d
	s	0,03	0,18	0,40
C	x	2,75 e	4,18 d	5,80 c
	s	0,01	0,21	0,38
D	x	1,87 d	4,48 e	5,39 b
	s	0,13	0,19	0,42

x:aritmetik ortalama s:standart sapma İ.D: istatistiksel değerler



Şekil 4.3. Grupların 2 , 24 ve 336 saat sonundaki kalınlığına şişme değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin 2 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek kalınlığına şişme değeri C grubunda ölçülürken en düşük kalınlığına şişme değeri ise kontrol grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 1.04, % 1.26, % 1.68, % 2.75, % 1.87 olarak tespit edilmiştir.

Kompozit malzemelerin 24 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek kalınlığına şişme değeri D grubunda ölçülürken en düşük kalınlığına şişme değeri ise A grubunda ölçülmüştür. Ayrıntılı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 3.77, % 3.09, % 3.51, % 4.18, % 4.48 olarak tespit edilmiştir.

Kompozit malzemelerin 336 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek kalınlığına şişme değeri B grubunda ölçülürken en düşük kalınlığına şişme değeri ise kontrol grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 5.14, % 5.36, % 6.06, % 5.80, % 5.39 olarak tespit edilmiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olan deney gruplarının kısa ve uzun süreli suda kalmaları sonucunda (2 saat ve 336 saat) kontrol grubuna göre daha fazla kalınlığına şişme yüzdelerine sahip olduğu, 24 saat suda kalma sonucunda ise A ve B gruplarının en düşük kalınlığına şişme yüzdelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Deney gruplarının üretiminde kullanılan malzemelerin (kauçuk, linolyum, keçe ve sünger) levha tabakalarına yapıştırılması için, kontrol grubuna kıyasla daha fazla tutkal kullanılmıştır. Bu durumun, deney gruplarının kalınlığına şişme

yüzdelerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda kompozit malzeme üretiminde kullanılan bağlayıcı madde miktarının artmasıyla birlikte üretilen levhaların boyutsal stabilitesinin geliştiği ve kalınlık artışının ise pozitif olarak desteklendiği belirlenmiştir (Halligan ve Schiewind, 1974; Maloney, 1970; Çolak ve ark. 2011). Ayrıca kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin kısa ve uzun süreli suda kalma performanslarının yani genel yapılarından kaynaklanan kalınlık artışının bu duruma etki edebileceği düşünülmektedir.

4.1.3.2. Su alma testi

Kompozit malzemelerin su alma yüzdelerine ait ANOVA testi sonucu Çizelge 4.7.'de ve Tukey testi sonucu 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Su alma yüzdelerine ait ANOVA testi sonuçları

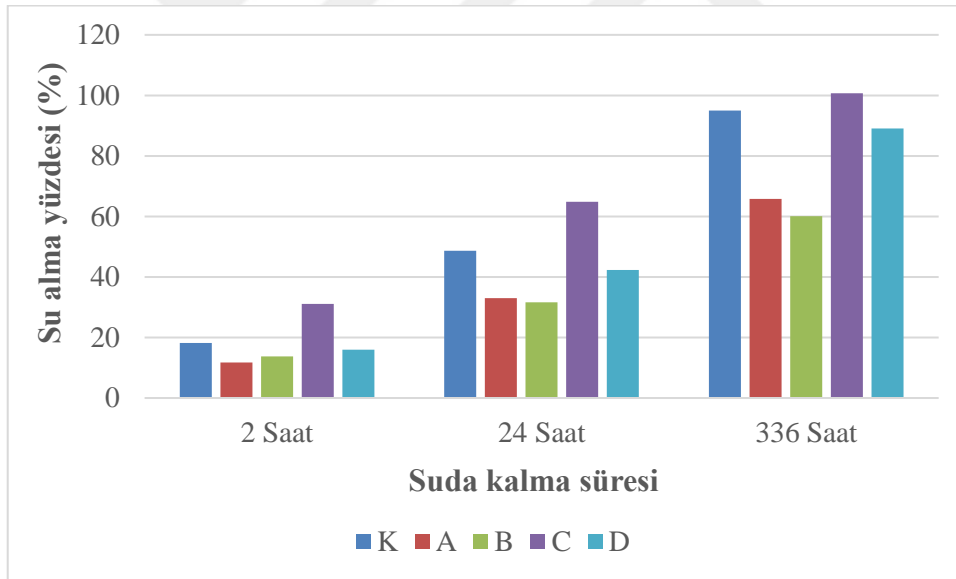
Süre (Saat)	Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
2	Gruplar arası	2529,715	4	983,989	90,358	0,000
	Gruplar içi	1089,743	146	12,145		
	Toplam	3619,458	150			
24	Gruplar arası	4385,024	4	1681,357	96,378	0,000
	Gruplar içi	1894,989	146	20,933		
	Toplam	6280,013	150			
336	Gruplar arası	6198,877	4	2593,958	61,468	0,000
	Gruplar içi	4689,972	146	50,031		
	Toplam	10888,849	150			

Çizelge 4.7.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre grupların 2, 24, 336 saat sonundaki su alma yüzdeleri arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların su alma yüzdelerine ait bulgular Şekil 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Su alma yüzdeleri ve Tukey testi sonuçları

Su alma yüzdeleri (N:30)				
Grup adı	İ.D.	2 Saat	24 Saat	336 Saat
Kontrol	x	18,19 d	48,62 d	94,95 d
	s	2,15	4,91	9,2
A	x	11,77 a	32,98 b	65,77 b
	s	1,89	3,17	5,22
B	x	13,72 b	31,60 a	60,12 a
	s	1,34	2,45	4,01
C	x	31,05 e	64,82 e	100,7 e
	s	1,77	3,31	5,48
D	x	15,98 c	42,35 c	89,01 c
	s	1,93	2,29	3,51

x:aritmetik ortalama s:standart sapma İ.D: istatistiksel değerler



Şekil 4.4. Grupların 2 , 24 ve 336 saat sonundaki su alma değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin 2 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek su alma yüzdesi C grubunda ölçülürken en düşük su alma yüzdesi ise A grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 18.19, % 11.77, % 13.72, % 31.05, % 15.98 olarak tespit edilmiştir.

Kompozit malzemelerin 24 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek su alma yüzdesi C grubunda ölçülürken en düşük su alma yüzdesi ise B grubunda ölçülmüştür. Ayrıntılı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 48.62, % 32.98, % 31.60, % 64.82, % 41.35 olarak tespit edilmiştir.

Kompozit malzemelerin 336 saat suda kalmaları sonucunda en yüksek su alma yüzdesi C grubunda ölçülürken en düşük su alma yüzdesi ise B grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak analiz edildiğinde, kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 94.95, % 65.77, % 60.12, % 100.72, % 89.01 olarak tespit edilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde kontrol grubuna kıyasla yoğunluğu yüksek olan A, B ve D gruplarının su alma yüzdelerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile su alma yüzdeleri arasında ters bir ilişki olduğu, yani yoğunluk arttıkça su alma yüzdelerinin azaldığı belirlenmiştir. Fakat C grubunda bu ilişkinin farklı olarak pozitif yönlü olduğu bunun ise kompozit malzeme üretiminde kullanılan keçenin gözenekli yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde gevşek yapıya sahip hafif ağaçların, yoğunluğu yüksek ağaçlara göre bünyesine daha yüksek oranda su alabildiği bildirilmiştir. Doğada en hafif ağaç olarak bilinen Balsa'nın bünyesine alabildiği su miktarı % 767 olurken, en ağır oduna sahip olan Pelesenk ağacının bünyesine % 31 oranında su alabildiği, kavak ağacında ise bu oranın % 205 olduğu ifade edilmiştir (Berkel, 1970). Bu sonuçlara göre, kavak soyma kaplamalar kullanılarak üretilen levhaların özellikle deney gruplarına ait kompozit malzemelerin su alma yüzdesinin önemli ölçüde düşük olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.4. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü

Üretilen kompozit malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü testleri aynı örnekler üzerinde yapılmıştır. Her grupta 25 adet test örneği kullanılmıştır. Testler iki farklı kuvvet yönü (tutkal hattına paralel ve tutkal hattına dik) kullanılarak yapılmıştır.

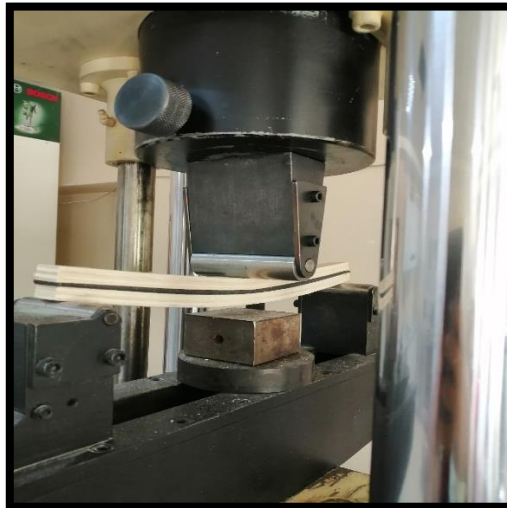
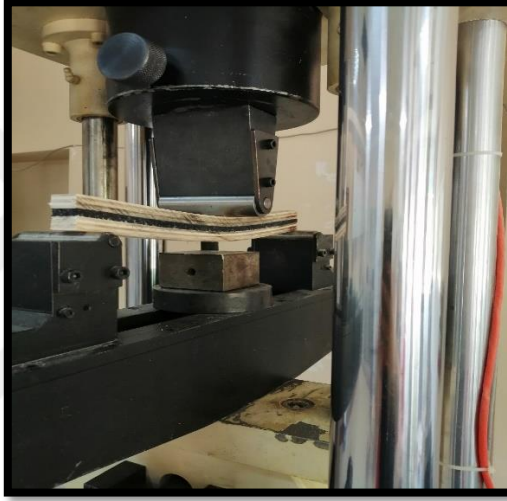
4.1.4.1. Eğilme direnci

Kompozit malzemelerin eğilme direncine ait ANOVA testi sonucu Çizelge 4.9.'da ve Tukey testi sonucu 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Eğilme direnci değerleri ANOVA testi sonuçları

Tutkal hattına dik	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	379,689	4	130,138	5,689	0,000
Gruplar içi	3078,225	121	42,027		
Toplam	3457,914	125			
Tutkal hattına paralel	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	362,276	4	131,034	6,013	0,000
Gruplar içi	3017,197	121	43,479		
Toplam	3379,473	125			

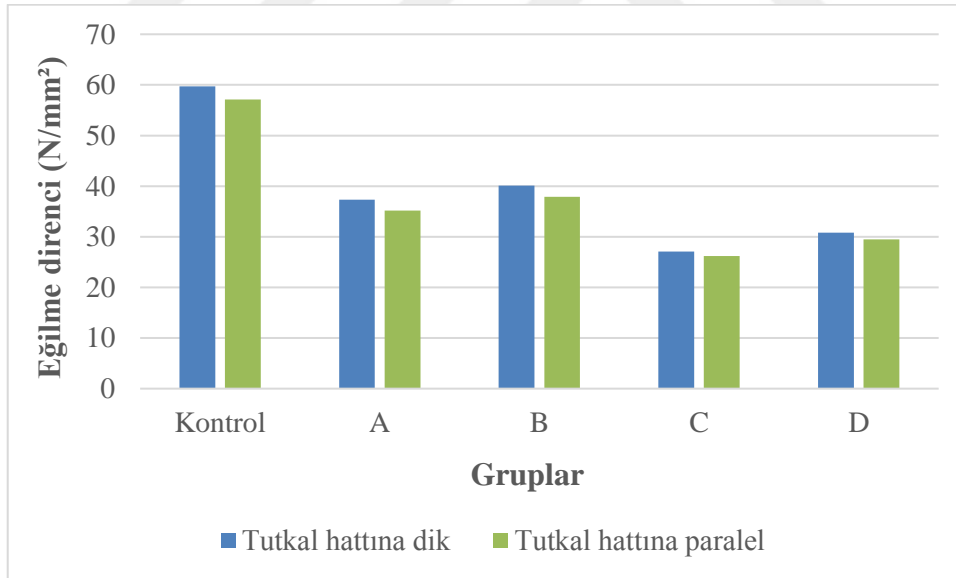
Çizelge 4.9.'da verilen ANOVA testi sonucuna göre grupların eğilme direnci değerleri arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların test esnasındaki görüntüleri Şekil 4.5.'de, eğilme direnci değerlerine ait bulgular ise Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Grupların eğilme ve elastikiyet modülü testi esnasındaki görüntüler

Çizelge 4.10. Eğilme Direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları

Eğilme direnci (N/mm ²)			
Grup adı	İ.D.	Tutkal hattına dik	Tutkal hattına paralel
Kontrol	x	59,7 e	57,1 e
	s	3,71	3,97
A	x	37,3 c	35,2 c
	s	3,34	3,19
B	x	40,1 d	37,9 d
	s	3,14	2,98
C	x	27,1 a	26,2 a
	s	2,66	3,05
D	x	30,8 b	29,5 b
	s	2,84	2,55



Şekil 4.6. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin eğilme direnci değişimleri

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerlerinden daha yüksek olduğu tespit

edilmiştir. En yüksek eğilme direnci değerleri kontrol grubunda ölçülürken en düşük eğilme direnci değerleri ise C grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde, tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 59,7 N/mm² , 37,3 N/mm² ,40,1 N/mm² ,27,1 N/mm² ,30,8 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 57,1 N/mm² , 35,2 N/mm² ,37,9 N/mm² ,26,2 N/mm² ,29,5 N/mm² olarak belirlenmiştir. Deney gruplarının eğilme direnci değerleri kontrol grubuna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin mekaniksel özelliklerinin neden olduğu düşünülmektedir. Basterra ve ark. (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, kavak odunu kullanılarak üretilen ikili kirişlerin (duo beams) keten elyafı ve cam elyafı ile güçlendirilmesi sonucu direnç özelliklerinde istatistiksel olarak bir gelişme belirlenmemiştir. Carvalho ve ark. (2004) yapmış oldukları bir çalışmada, E. Urophylla ve E.grandis hibridi odunundan lamine ahşap kompozit üretmişler, levhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülünü test etmişlerdir. Sonuç olarak tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinden daha yüksek ölçüldüğü rapor edilmiştir.

4.1.4.2. Elastikiyet modülü

Kompozit malzemelerin elastikiyet modülü değerlerine ait ANOVA testi sonucu Çizelge 4.11.'de ve Tukey testi sonucu 4.12.'de verilmiştir.

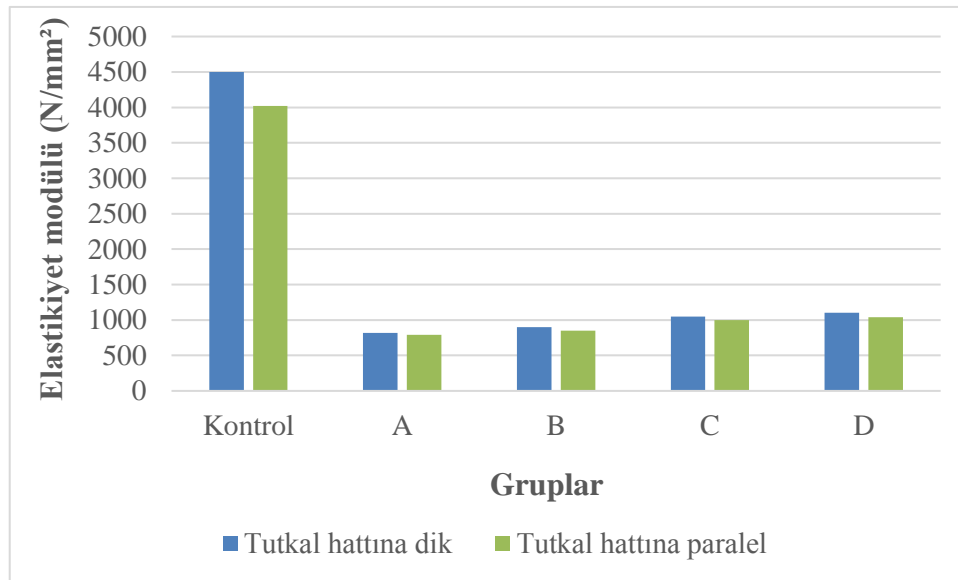
Çizelge 4.11. Elastikiyet Modülü değerleri ANOVA testi sonuçları

Tutkal hattına dik	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	5,134	4	2,036	80,003	0,000
Gruplar içi	2,518	121	245685,13		
Toplam	7,652	125			
Tutkal hattına paralel	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	5,013	4	2,237	78,104	0,000
Gruplar içi	2,483	121	247315,03		
Toplam	7,496	125			

Çizelge 4.11.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre grupların elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Elastikiyet Modülü değerleri ve Tukey testi sonuçları

Elastikiyet modülü (N/mm²)			
Grup adı	İ.D.	Tutkal hattına dik	Tutkal hattına paralel
Kontrol	x	4500 e	4020 e
	s	259	235
A	x	820 a	790 a
	s	95	97
B	x	900 b	850 b
	s	88	93
C	x	1050 c	998 c
	s	101	104
D	x	1103 d	1040 d
	s	121	138



Şekil 4.7. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin elastikiyet modülü değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek elastikiyet modülü değerleri kontrol grubunda ölçülürken en düşük elastikiyet modülü değerleri ise C grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde, tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 4500 N/mm² , 820 N/mm² ,900 N/mm² ,1050 N/mm² ,1103 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 4020 N/mm² , 790 N/mm² ,850 N/mm² ,998 N/mm² ,1040 N/mm² olarak belirlenmiştir. Deney gruplarının elastikiyet modülü değerleri kontrol grubuna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin odun hammaddesine göre daha az rijit yapıya sahip olmasından yani daha elastik formda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Issa ve Kmeid (2005) yapmış oldukları bir çalışmada, güçlendirilmiş ahşap esaslı lamine kirişlerin elastikiyet modülünü araştırmışlardır. Sonuç olarak güçlendirilmiş lamine kirişlerin güçlendirilmemiş olanlara kıyasla esneklik özelliklerinin geliştiğini, yük taşıma kapasitesinde ise artış sağlandığını bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada güçlendirilmiş ahşap lamine kirişlerin gerilmelerden dolayı ortaya çıkan çatlakları durdurucu özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir (Hallstrom ve Grenestedt, 1997). Ayrıca Biblis (1996) yapmış olduğu çalışmada, tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen direnç değerlerinin yüksek olduğunu belirlemiştir.

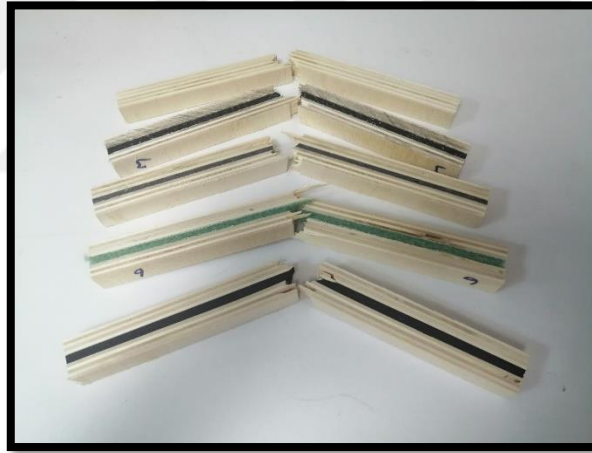
4.1.5. Şok direnci testi

Üretilen kompozit malzemelerin şok direnci değerlerinin tespit edilmesi için her grupta 30 adet test örneği kullanılmıştır. Testler için iki farklı kuvvet yönü belirlenmiştir. Bunlar; tutkal hattına paralel ve tutkal hattına dik olmak üzeredir. Kompozit malzemelerin şok direnci değerlerine ait ANOVA testi sonucu Çizelge 4.13.'de ,Tukey testi sonucu 4.14.'de ve şok direnci testi sonrası kontrol ve deney gruplarının görüntüsü Şekil 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Şok direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları

Tutkal hattına dik	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	2,514	4	0,814	301,426	0,000
Gruplar içi	0,328	146	0,006		
Toplam	2,842	150			
Tutkal hattına paralel	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	2,623	4	0,826	302,142	0,000
Gruplar içi	0,345	146	0,008		
Toplam	2,968	150			

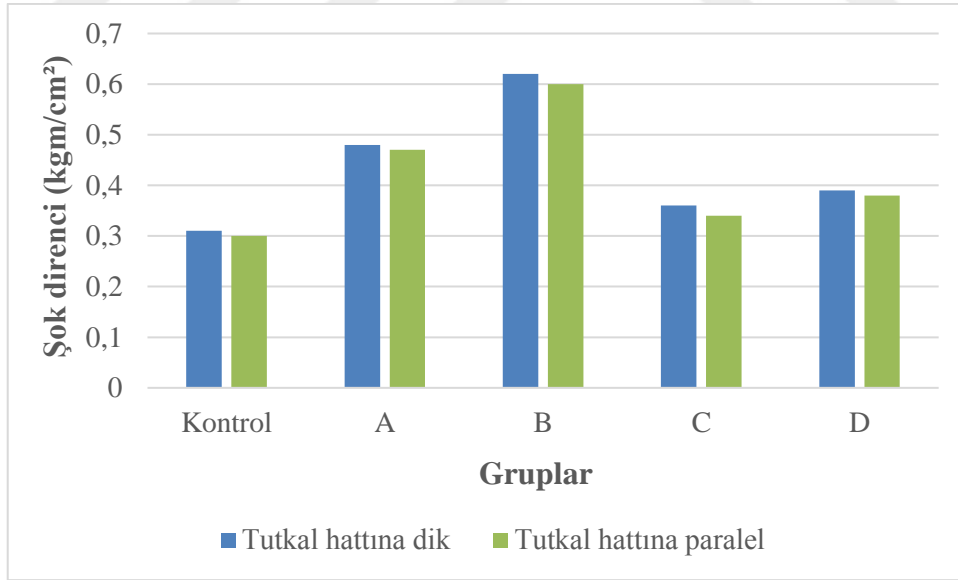
Çizelge 4.13.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre grupların şok direnci değerleri arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Grupların şok direnci değerlerine ait bulgular Şekil 4.9.'da verilmiştir



Şekil 4.8. Şok direnci testi sonrası kontrol ve deney gruplarının görüntüsü

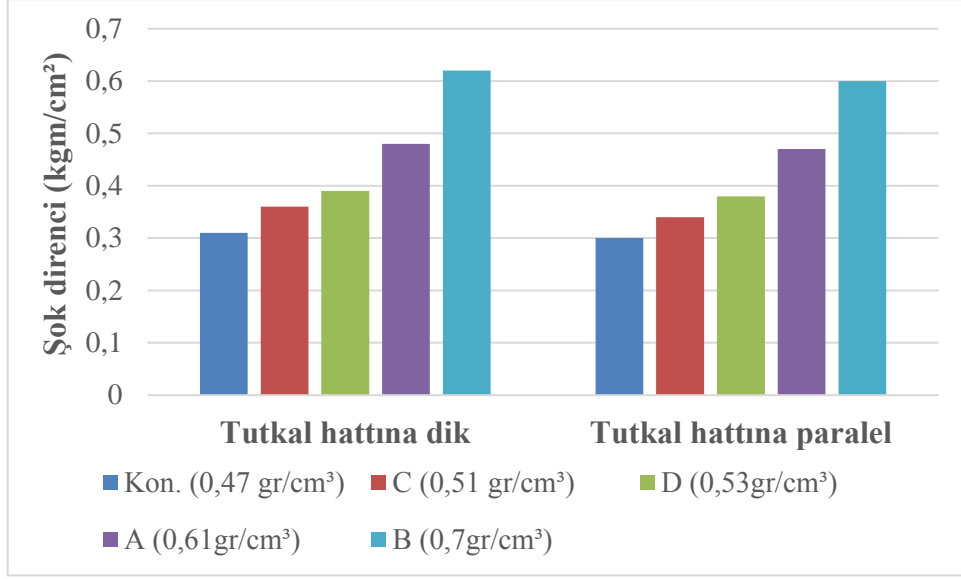
Çizelge 4.14. Şok direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları

Şok direnci (kgm/cm ²)			
Grup adı	İ.D.	Tutkal hattına dik	Tutkal hattına paralel
Kontrol	x	0,31 a	0,30 a
	s	0,05	0,03
A	x	0,48 c	0,47 d
	s	0,04	0,05
B	x	0,62 d	0,60 e
	s	0,05	0,04
C	x	0,36 b	0,34 b
	s	0,02	0,02
D	x	0,39 b	0,38 c
	s	0,04	0,03



Şekil 4.9. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel test örneklerinin şok direnci değişimleri

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerleri tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek şok direnci değerleri kontrol grubunda ölçülürken en düşük şok direnci değerleri ise C grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde, tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 0.31 kgm/cm², 0.48 kgm/cm², 0.62 kgm/cm², 0.36 kgm/cm², 0.39 kgm/cm² olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kontrol grubuna göre A, B, C, D gruplarında sırasıyla % 54.83, % 100, % 16.12, % 25.80'lik artış belirlenmiştir. Tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerleri ise Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 0.30 kgm/cm², 0.47 kgm/cm², 0.60 kgm/cm², 0.34 kgm/cm², 0.38 kgm/cm² olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara ilaveten kontrol grubuna göre A, B, C, D gruplarında sırasıyla % 56.66, % 100, % 13.33, % 26.66'lik artış belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile şok direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki (Şekil 4.10.) olduğu, yani yoğunluk arttıkça şok direnci değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Güler ve Subaşı (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, karbon ve cam elyafı kullanarak güçlendirilmiş lamine ahşap kompozit üretmiş ve bazı teknolojik özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kompozit malzemelerin şok direnci değerlerinde artış sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca Özyurt (2020) tarafından yapılan çalışmada, yeni nesil lamine ahşap kompozit tasarımı ve üretimi yapılmış ve bazı teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci değerlerinin tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen direnç değerlerinden daha yüksek ölçüldüğü rapor edilmiştir.



Şekil 4.10. Tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel şok direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki

4.1.6. Vida tutma direnci testi

Üretilen kompozit malzemelerin vida tutma direnci ölçümleri her grup için 25 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Vida tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.15. ,Tukey testi sonuçları Çizelge 4.16. ve grupların test esnasındaki görüntüleri Şekil 4.11.'de verilmiştir.

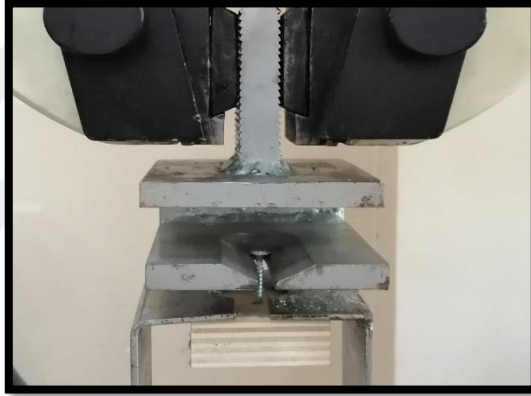
Çizelge 4.15. Vida tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları

Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	3009,010	4	978,351	92,050	0,000
Gruplar içi	1354,647	121	12,603		
Toplam	4363,657	125			

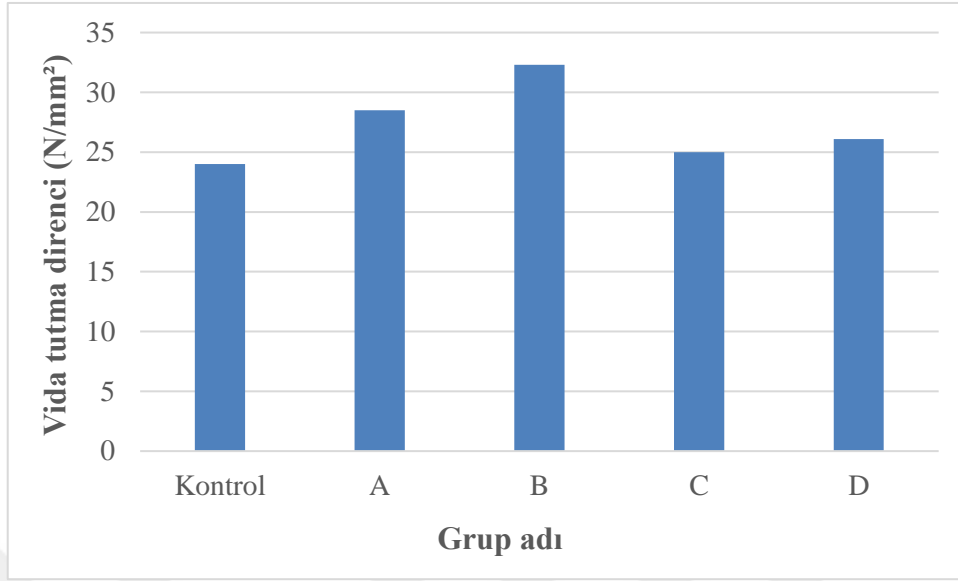
Çizelge 4.15.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin vida tutma direnci değişimleri Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Vida tutma direnci değerleri ve Tukey testi sonuçları

Grup adı	İ.D.	Vida tutma direnci (N/mm ²)
Kontrol	x	24 a
	s	0,02
A	x	28,5 d
	s	0,03
B	x	32,3 e
	s	0,02
C	x	25 b
	s	0,01
D	x	26,1 c
	s	0,02

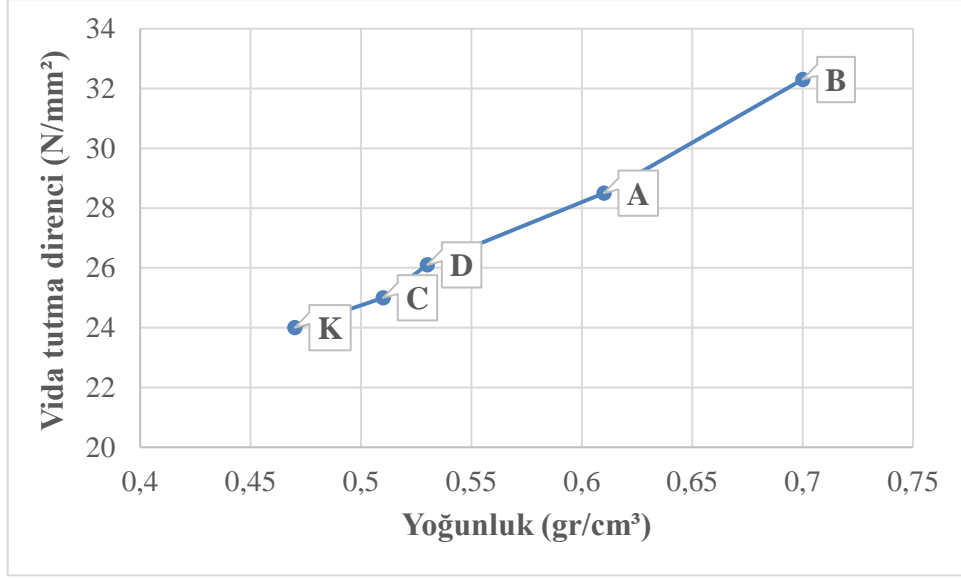


Şekil 4.11. Grupların vida tutma direnci testi esnasındaki görüntüleri



Şekil 4.12. Grupların vida tutma direnci değişimleri

Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek vida tutma direnci değeri B grubunda ölçülürken en düşük vida tutma direnci değeri ise kontrol grubunda ölçülmüştür. Kompozit malzemelerin vida tutma direnci değerleri kontrol grubunda 24 N/mm^2 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla 28.5 N/mm^2 , 32.3 N/mm^2 , 25 N/mm^2 , 26.1 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının vida tutma direnci değerlerinde sırasıyla % 18.75, % 34.58, % 4.16, % 8.75'lik artış kayıt edilmiştir. Deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin kompozit malzemelerin vida tutma direncini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile vida tutma direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki (Şekil 4.13.) olduğu, yani yoğunluk arttıkça vida tutma direnci değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Çelebi ve Kılıç (2007) yapmış oldukları bir çalışmada, kavak ve kayın kaplamalar kullanarak lamine ahşap kompozit üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozit malzemelerin vida ve çivi tutma dirençlerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre malzeme yoğunluğunun vida ve çivi tutma direnci üzerine etkisi olduğunu, radyal ve teğet yüzeylerde ise farklı sonuçlara ulaşıldığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.13. Vida tutma direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki

4.1.7. Çivi tutma direnci testi

Üretilen kompozit malzemelerin çivi tutma direnci ölçümleri her grup için 25 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çivi tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.17.'de ve Tukey testi sonucu Çizelge 4.18.'de ve grupların test esnasındaki görüntüleri Şekil 4.14.'de verilmiştir.

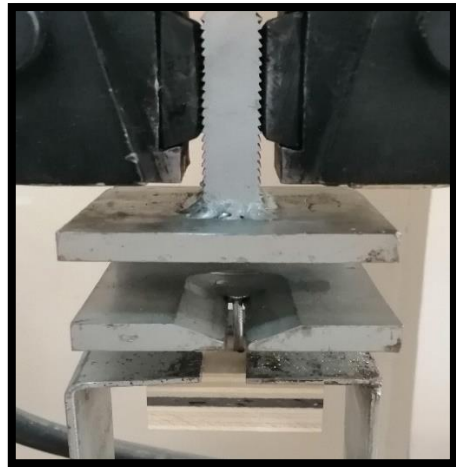
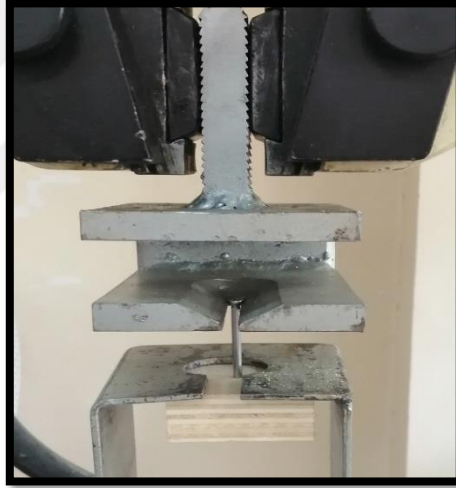
Çizelge 4.17. Çivi tutma direnci değerlerine ait ANOVA testi sonuçları

Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	18,867	4	6,993	338,208	0,000
Gruplar içi	2,108	121	0,019		
Toplam	20,975	125			

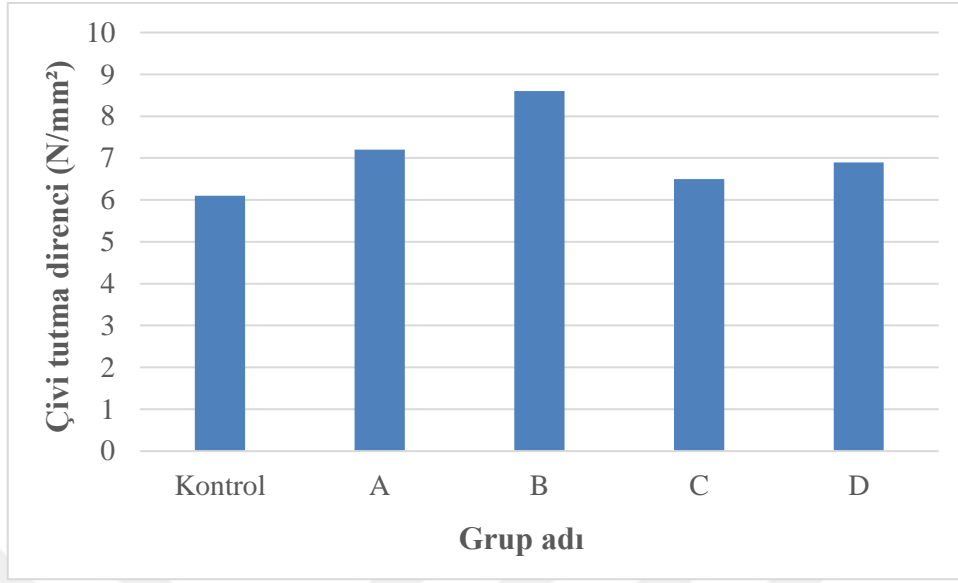
Çizelge 4.17.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin çivi tutma direnci değişimleri Şekil 4.15.'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Çivi tutma direnci ortalama değerleri ve Tukey testi sonucu

Grup adı	İ.D.	Çivi tutma direnci (N/mm ²)
Kontrol	x	6,1 a
	s	0,04
A	x	7,2 d
	s	0,06
B	x	8,6 e
	s	0,08
C	x	6,5 b
	s	0,02
D	x	6,9 c
	s	0,04

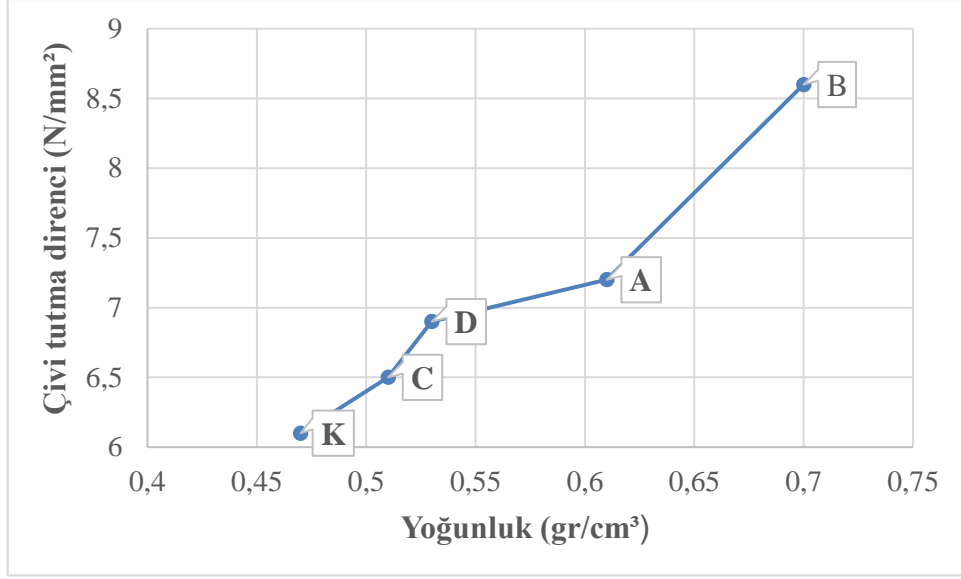


Şekil 4.14. Grupların çivi tutma direnci testi esnasındaki görüntüleri



Şekil 4.15. Grupların çivi tutma direnci değışimleri

Elde edilen verilere göre, en yüksek çivi tutma direnci değeri B grubunda ölçülürken en düşük çivi tutma direnci değeri ise kontrol grubunda ölçülmüştür. Kompozit malzemelerin çivi tutma direnci değeri kontrol grubunda 6.1 N/mm^2 ve diğeri A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla 7.2 N/mm^2 , 8.6 N/mm^2 , 6.5 N/mm^2 , 6.9 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının çivi tutma direnci değeri sırasıyla % 18.03, % 40.98, % 6.55, % 13.11'lik artış kayıtlıdır. Deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin kompozit malzemelerin çivi tutma direncini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile çivi tutma direnci değeri arasında pozitif bir ilişki (Şekil 4.16.) olduğu, yani yoğunluk arttıkça çivi tutma direnci değeri arttığı belirlenmiştir. Ahşap malzemenin özgül ağırlığının artmasıyla birlikte çivi ve vida tutma direnci de artmaktadır. Genellikle radyal kesit yüzeyler enine ve teğet kesit yüzeylere göre, teğet kesit yüzeyler de enine kesit yüzeylere göre daha yüksek vida ve çivi tutma direnci sağlamaktadır (Kılıç ve ark. 2006).



Şekil 4.16. Çivi tutma direnci değerleri ile yoğunluk arasındaki ilişki

4.2. Farklı Yüzey Tasarımına Sahip Kompozit Panellerin Isı İzolasyon ve Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi

Araştırmanın bu bölümünde akustik konforun sağlanması amacıyla yapılarda ve hertürlü iç mekanda kullanılmak üzere, beş farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı yapılmıştır. Farklı yüzey formlarının seçilmesiyle daha yüksek akustik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel, pizza dilimi yüzey formuna sahip panel, şeritli yüzey formuna sahip panel, asimetrik yüzey formuna sahip panel ve baklava dilimi yüzey formuna sahip panel tercih edilmiştir. Bu yüzey tasarımları kontrol, A, B, C ve D gruplarına uygulanarak toplam 25 farklı grup elde edilmiş olup Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Ayrıca üretilen panellerin ısı izolasyon performansları araştırılarak yalıtım özellikleri belirlenmiştir.

4.2.1. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı testi

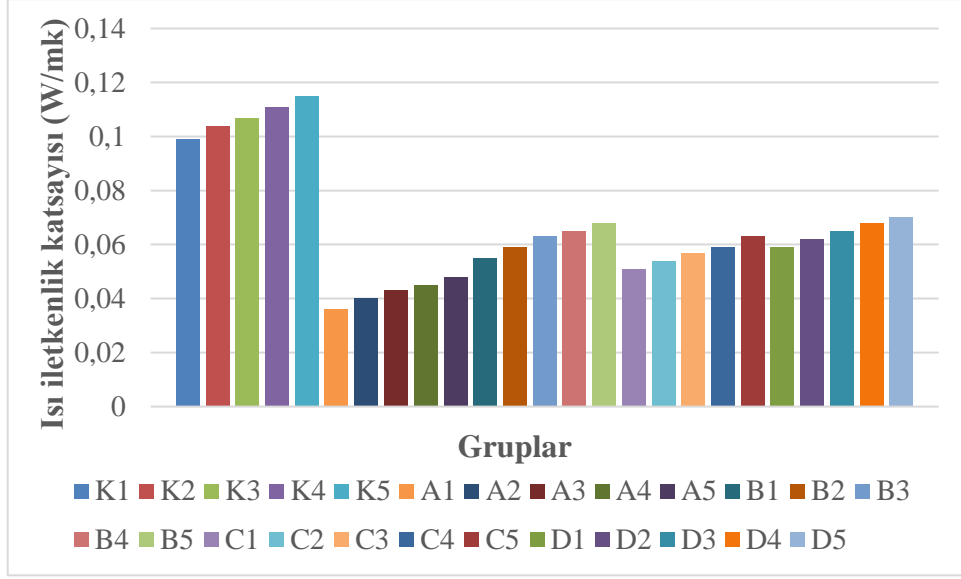
Üretilen kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ölçümleri her grup için 5 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ortalama değerlerine ait ANOVA testi sonuçları ve Tukey testi sonuçları Çizelge 4.19.'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı ANOVA ve Tukey testi sonuçları

Grup adı	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Tukey	Grup adı	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)	Tukey
K1	0,099	n	K1	0,88	q
K2	0,104	o	K2	0,94	r
K3	0,107	p	K3	0,99	r
K4	0,111	q	K4	1,002	s
K5	0,115	r	K5	1,004	s
A1	0,036	a	A1	0,30	a
A2	0,04	b	A2	0,33	b
A3	0,043	c	A3	0,37	c
A4	0,045	d	A4	0,4	d
A5	0,048	e	A5	0,43	e
B1	0,055	g	B1	0,49	h
B2	0,059	ı	B2	0,53	j
B3	0,063	j	B3	0,55	k
B4	0,065	k	B4	0,58	l
B5	0,068	l	B5	0,6	m
C1	0,051	f	C1	0,45	f
C2	0,054	g	C2	0,47	g
C3	0,057	h	C3	0,49	h
C4	0,059	ı	C4	0,52	ı
C5	0,063	j	C5	0,6	m
D1	0,059	ı	D1	0,53	j
D2	0,062	j	D2	0,55	k
D3	0,065	k	D3	0,63	n
D4	0,068	l	D4	0,67	o
D5	0,07	m	D5	0,73	p
Anova	0.000*		Anova	0.000*	

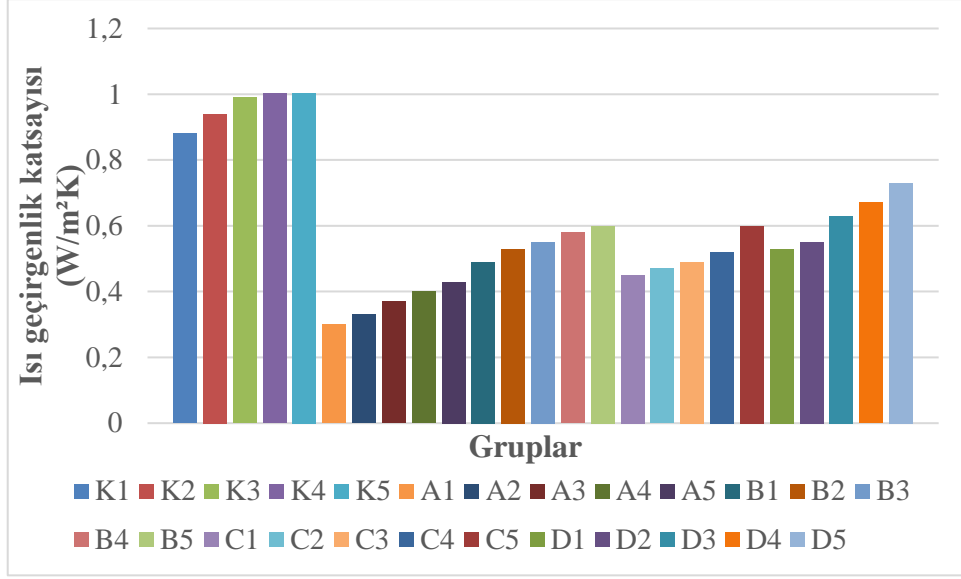
*=0,05'e göre önemli (anamlı)

Çizelge 4.19.'da verilen ANOVA testi sonucuna göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin ısı iletim katsayısı değişimleri Şekil 4.17.'de, ısı geçirgenlik katsayısı değişimleri ise Şekil 4.18.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Grupların ısı iletkenlik katsayısı değışimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin en yüksek ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değeri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 0,115 W/mK, 0,048 W/mK, 0,068 W/mK, 0,063 W/mK, 0,07 W/mK olarak ölçülmüştür. En düşük ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değeri ise düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 0,099 W/mK, 0,036 W/mK, 0,055 W/mK, 0,051 W/mK, 0,059 W/mK olarak ölçülmüştür. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değeri K5 grubunda tespit edilirken en düşük ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değeri ise A1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol gruplarının A, B, C, ve D gruplarının ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değeri göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından doğal kauçuk kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Grupların ısı geçirgenlik katsayısı değişimleri

Elde edilen sonuçlara göre, kompozit malzemelerin en yüksek ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla $1,004 W/m^2K$, $0,43 W/m^2K$, $0,6 W/m^2K$, $0,6 W/m^2K$, $0,73 W/m^2K$ olarak ölçülmüştür. En düşük ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) değerleri ise düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla $0,88 W/m^2K$, $0,30 W/m^2K$, $0,49 W/m^2K$, $0,45 W/m^2K$, $0,53 W/m^2K$ olarak ölçülmüştür. En yüksek ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) değeri K5 grubunda tespit edilirken en düşük ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) değeri ise A1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol gruplarının A, B, C, ve D gruplarının ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K) değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından doğal kauçuk kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı belirlenmiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, deney gruplarından özellikle düz yüzeyli tasarıma sahip olanların, ısı yalıtımının arzu edildiği ortamlarda ısı izolasyon malzemesi olarak tercih edilip kullanılabileceği düşünülmektedir. Doğal kauçuk kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ısı yalıtım performansı gösterdiği belirlenmiştir. Literatürdeki bazı araştırmalar incelendiğinde ahşap esaslı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan bağlayıcı maddelerin çeşitleri ve katkı maddelerin türü, üretilen levhaların ısı yalıtım performanslarında farklılık göstermesine neden olduğu belirtilmektedir (Lewis, 1967; Kamke ve Zylkowski, 1989).

4.2.2. Ultrasonik ses iletim hızı

Üretilen kompozit malzemelerin ultrasonik ses iletim hızı ölçümleri her grup için 10 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik ses iletim hızı değerlerine ait ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.20. ,Tukey testi sonucu Çizelge 4.21. ve testin uygulanışı esnasındaki görüntüsü Şekil 4.19.'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Ultrasonik ses iletim hızı değerlerine ait ANOVA testi sonuçları

Değişkenler	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	4,017	24	2,480	69,382	0,000
Gruplar içi	2,593	226	186372,13		
Toplam	6,610	250			

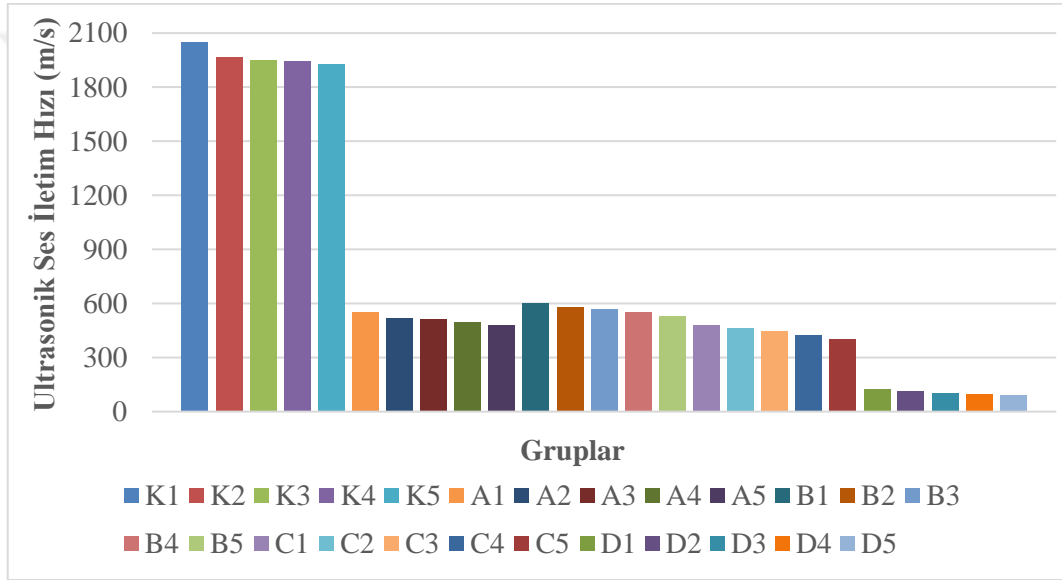
Çizelge 4.20.'de verilen ANOVA testi sonucuna göre gruplar arasındaki farklılık istatistiksel ($p < 0.001$) olarak anlamlı bulunmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin ultrasonik ses iletim hızı değişimleri Şekil 4.20.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Ultrasonik ses iletim hızı ortalama değerleri ve Tukey testi sonucu

Grup adı	K1	K2	K3	K4	K5
Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)	2050 x	1970 w	1951 v	1944 u	1930 t
Grup adı	A1	A2	A3	A4	A5
Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)	550 s	521 r	513 q	497 p	479 o
Grup adı	B1	B2	B3	B4	B5
Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)	600 n	578 m	566 l	554 k	528 j
Grup adı	C1	C2	C3	C4	C5
Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)	480 i	461 h	448 g	426 f	403 e
Grup adı	D1	D2	D3	D4	D5
Ultrasonik ses iletim hızı (m/s)	124 a	115 b	104 c	99 d	94 d



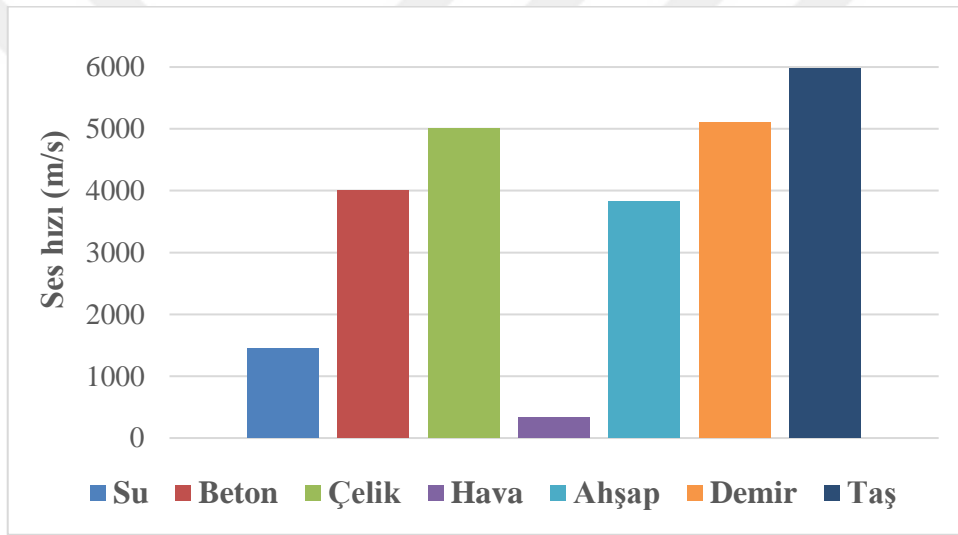
Şekil 4.19. Ultrasonik ses iletim hızı testinin yapılışı



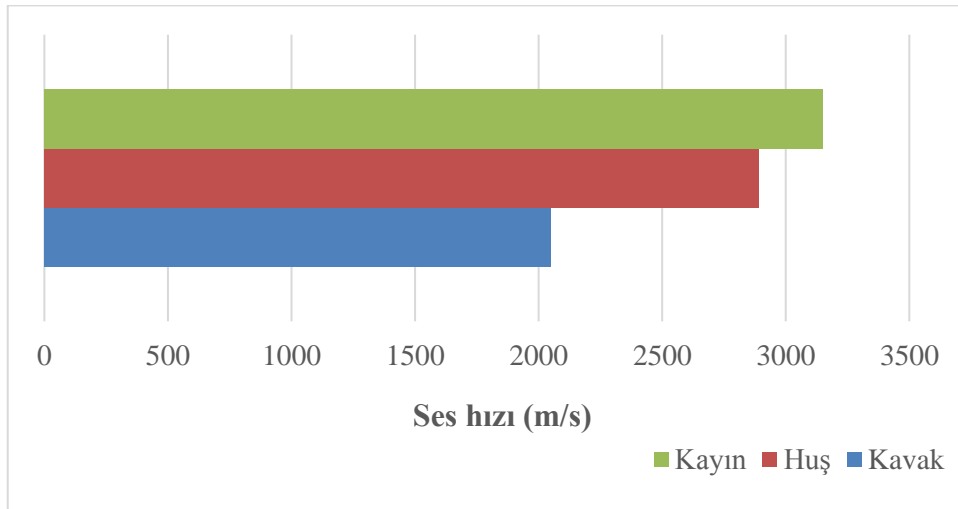
Şekil 4.20. Grupların ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit malzemelerin en yüksek ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değerleri daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 2050 (m/s), 550 (m/s), 600 (m/s), 480(m/s), 124 (m/s) olarak ölçülmüştür. En düşük ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değerleri ise baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 1930 (m/s), 479 (m/s), 528 (m/s), 403 (m/s), 94 (m/s) olarak ölçülmüştür. En yüksek ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değeri K1 grubunda tespit edilirken en düşük ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değeri ise D5 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubundan elde edilen panel tasarımlarının A, B, C, ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ultrasonik ses dalgalarına maruz bırakılan deney gruplarına (A, B, C ve D) ait kompozit panellerin ultrases hızına sahip ses

dalgalarının geçiş hızını başarılı bir şekilde yavaşlatarak absorbe ettiği tespit edilmiştir. Deneysel grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutumu sağladığı belirlenmiştir. Literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları (Şekil 4.21.) araştırılarak tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada, Green ve arkadaşları (1999) yapmış oldukları bir çalışmada, yoğunluğu 480 kg/m^3 olan ağaç malzemenin liflerinin boyuna yönündeki ses hızının 3800 m/s , teğet yönde ise 8100 m/s olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmanın ilk bölümünde farklı ağaç türlerinden üretilen kompozitlerin ultrases hızları Şekil 4.22.'de verilmiştir. Literatür ve ön araştırma sonuçlarına kıyasla, özellikle A, B, C ve D gruplarından üretilen farklı yüzey tasarımlarına sahip akustik panellerin, ultrasonik ses enerjilerini yüksek oranda yutarak ultrases dalgalarının geçiş hızlarını yavaşlattığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.21. Farklı ortamlardaki sesin yayılma hızları (Sirel, 2000)



Şekil 4.22. Farklı ağaç türlerine ait lamine ahşap kompozitlerin ultrases iletim hızları

4.2.3. Ses yutum katsayısı

Üretilen kompozit malzemelerin ses yutum katsayısı ölçümleri her grup için 10 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ses yutum katsayısı ortalama değerleri, bu değerlere ait ANOVA ve Tukey testi sonuçları Çizelge 4.22. ,Çizelge 4.23. ,Çizelge 4.24. Çizelge 4.25. ve Çizelge 4.26.'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (1)

Frekans	Grup adı					Önem Düzeyi (P<0,05)
	K1	A1	B1	C1	D1	
63	0,01	0,05	0,04	0,03	0,08	0.000*
80	0,02	0,07	0,06	0,04	0,08	0.000*
100	0,03	0,08	0,08	0,05	0,1	0.000*
125	0,05	0,11	0,1	0,08	0,13	0.000*
160	0,06	0,12	0,22	0,1	0,15	0.000*
200	0,05	0,15	0,3	0,14	0,16	0.000*
250	0,05	0,17	0,4	0,16	0,18	0.000*
315	0,05	0,21	0,35	0,19	0,2	0.000*
400	0,06	0,23	0,39	0,22	0,25	0.000*
500	0,08	0,3	0,42	0,25	0,33	0.000*
630	0,1	0,37	0,4	0,27	0,35	0.000*
800	0,11	0,44	0,4	0,34	0,36	0.000*
1000	0,12	0,46	0,4	0,3	0,38	0.000*
1250	0,14	0,38	0,42	0,31	0,4	0.000*
1600	0,15	0,5	0,44	0,3	0,55	0.000*
2000	0,17	0,55	0,45	0,35	0,6	0.000*
2500	0,16	0,51	0,47	0,4	0,57	0.000*
3150	0,16	0,59	0,49	0,5	0,66	0.000*
4000	0,19	0,65	0,51	0,55	0,74	0.000*
5000	0,2	0,7	0,55	0,58	0,79	0.000*
6300	0,28	0,84	0,7	0,76	0,92	0.000*
Tukey	a	d	b	c	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.23. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (2)

Frekans	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K2	A2	B2	C2	D2	
63	0,03	0,08	0,07	0,05	0,1	0.000*
80	0,05	0,1	0,09	0,07	0,13	0.000*
100	0,06	0,1	0,11	0,08	0,15	0.000*
125	0,08	0,13	0,14	0,1	0,16	0.000*
160	0,09	0,15	0,25	0,13	0,18	0.000*
200	0,09	0,18	0,33	0,17	0,2	0.000*
250	0,1	0,19	0,44	0,2	0,23	0.000*
315	0,11	0,25	0,4	0,24	0,26	0.000*
400	0,12	0,27	0,41	0,25	0,29	0.000*
500	0,13	0,31	0,46	0,28	0,37	0.000*
630	0,15	0,4	0,47	0,3	0,39	0.000*
800	0,17	0,46	0,49	0,37	0,42	0.000*
1000	0,2	0,47	0,5	0,4	0,45	0.000*
1250	0,21	0,47	0,5	0,39	0,49	0.000*
1600	0,23	0,53	0,51	0,38	0,58	0.000*
2000	0,26	0,57	0,52	0,42	0,67	0.000*
2500	0,29	0,54	0,54	0,46	0,68	0.000*
3150	0,3	0,61	0,56	0,55	0,7	0.000*
4000	0,32	0,68	0,59	0,6	0,78	0.000*
5000	0,33	0,74	0,61	0,65	0,83	0.000*
6300	0,35	0,86	0,73	0,8	0,93	0.000*
Tukey	a	d	b	c	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.24. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (3)

Frekans	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K3	A3	B3	C3	D3	
63	0,05	0,1	0,09	0,08	0,13	0.000*
80	0,07	0,11	0,12	0,1	0,14	0.000*
100	0,08	0,14	0,13	0,12	0,17	0.000*
125	0,09	0,16	0,17	0,15	0,19	0.000*
160	0,09	0,18	0,27	0,19	0,2	0.000*
200	0,1	0,2	0,35	0,21	0,23	0.000*
250	0,11	0,22	0,47	0,24	0,26	0.000*
315	0,13	0,27	0,42	0,26	0,28	0.000*
400	0,14	0,3	0,43	0,29	0,3	0.000*
500	0,16	0,34	0,47	0,3	0,39	0.000*
630	0,17	0,41	0,49	0,35	0,4	0.000*
800	0,2	0,48	0,51	0,39	0,45	0.000*
1000	0,22	0,5	0,53	0,44	0,5	0.000*
1250	0,23	0,51	0,53	0,42	0,54	0.000*
1600	0,26	0,55	0,55	0,43	0,6	0.000*
2000	0,28	0,6	0,56	0,45	0,7	0.000*
2500	0,3	0,61	0,58	0,5	0,7	0.000*
3150	0,32	0,64	0,6	0,59	0,73	0.000*
4000	0,34	0,7	0,62	0,66	0,8	0.000*
5000	0,35	0,78	0,64	0,7	0,85	0.000*
6300	0,37	0,87	0,75	0,83	0,94	0.000*
Tukey	a	d	b	c	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.25. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (4)

Frekans	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K4	A4	B4	C4	D4	
63	0,08	0,11	0,13	0,1	0,15	0.000*
80	0,01	0,14	0,15	0,13	0,16	0.000*
100	0,11	0,16	0,14	0,15	0,19	0.000*
125	0,12	0,19	0,2	0,18	0,21	0.000*
160	0,12	0,2	0,29	0,23	0,23	0.000*
200	0,13	0,22	0,38	0,26	0,25	0.000*
250	0,14	0,25	0,5	0,3	0,29	0.000*
315	0,15	0,3	0,43	0,31	0,31	0.000*
400	0,17	0,33	0,44	0,33	0,33	0.000*
500	0,18	0,37	0,49	0,33	0,41	0.000*
630	0,2	0,44	0,51	0,34	0,44	0.000*
800	0,22	0,5	0,53	0,41	0,49	0.000*
1000	0,24	0,51	0,55	0,47	0,53	0.000*
1250	0,26	0,53	0,56	0,49	0,58	0.000*
1600	0,27	0,58	0,59	0,49	0,62	0.000*
2000	0,3	0,63	0,61	0,53	0,73	0.000*
2500	0,32	0,65	0,64	0,55	0,74	0.000*
3150	0,34	0,66	0,66	0,62	0,79	0.000*
4000	0,35	0,73	0,67	0,69	0,84	0.000*
5000	0,37	0,8	0,71	0,76	0,88	0.000*
6300	0,39	0,89	0,78	0,86	0,95	0.000*
Tukey	a	d	b	c	e	

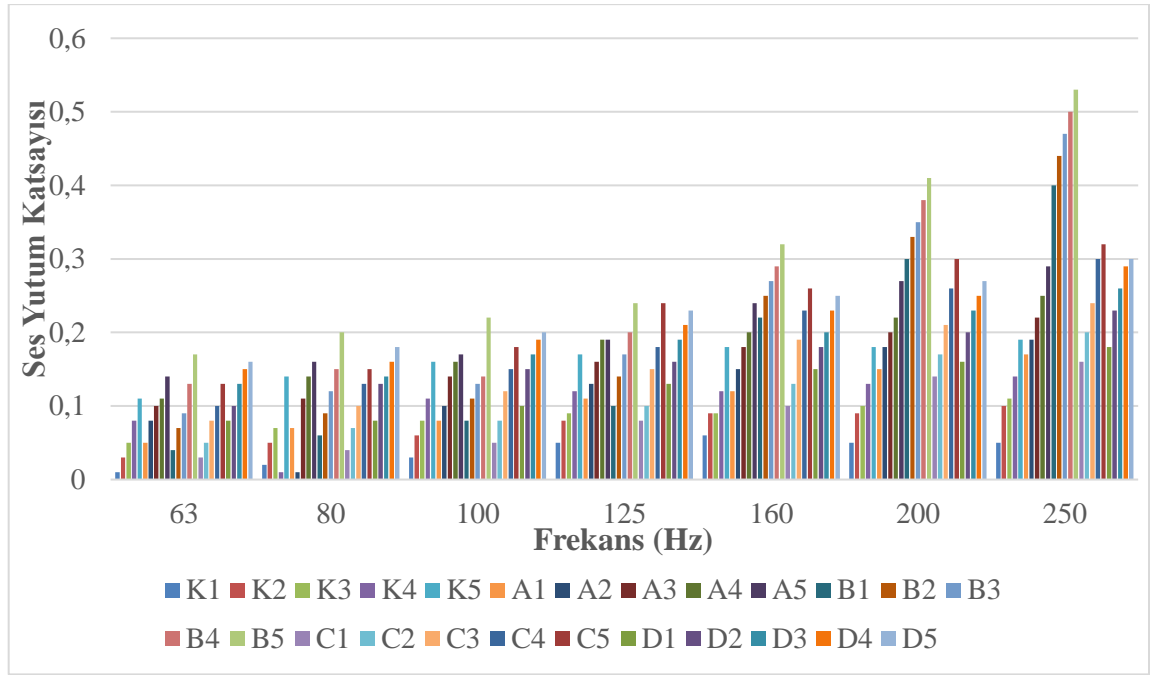
*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.26. Ses yutum katsayısı değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (5)

Frekans	Grup adı					Önem Düzeyi (P≤0,05)
	K5	A5	B5	C5	D5	
63	0,11	0,14	0,17	0,13	0,16	0.000*
80	0,14	0,16	0,2	0,15	0,18	0.000*
100	0,16	0,17	0,22	0,18	0,2	0.000*
125	0,17	0,19	0,24	0,24	0,23	0.000*
160	0,18	0,24	0,32	0,26	0,25	0.000*
200	0,18	0,27	0,41	0,3	0,27	0.000*
250	0,19	0,29	0,53	0,32	0,3	0.000*
315	0,2	0,33	0,5	0,35	0,33	0.000*
400	0,22	0,36	0,51	0,34	0,36	0.000*
500	0,23	0,4	0,52	0,36	0,44	0.000*
630	0,25	0,46	0,54	0,38	0,47	0.000*
800	0,26	0,53	0,56	0,45	0,5	0.000*
1000	0,29	0,56	0,58	0,49	0,55	0.000*
1250	0,3	0,57	0,6	0,52	0,6	0.000*
1600	0,32	0,6	0,63	0,54	0,65	0.000*
2000	0,35	0,65	0,66	0,56	0,76	0.000*
2500	0,36	0,68	0,69	0,58	0,76	0.000*
3150	0,37	0,7	0,72	0,67	0,84	0.000*
4000	0,39	0,76	0,75	0,74	0,88	0.000*
5000	0,4	0,83	0,77	0,79	0,92	0.000*
6300	0,42	0,91	0,86	0,89	0,97	0.000*
Tukey	a	d	b	c	e	

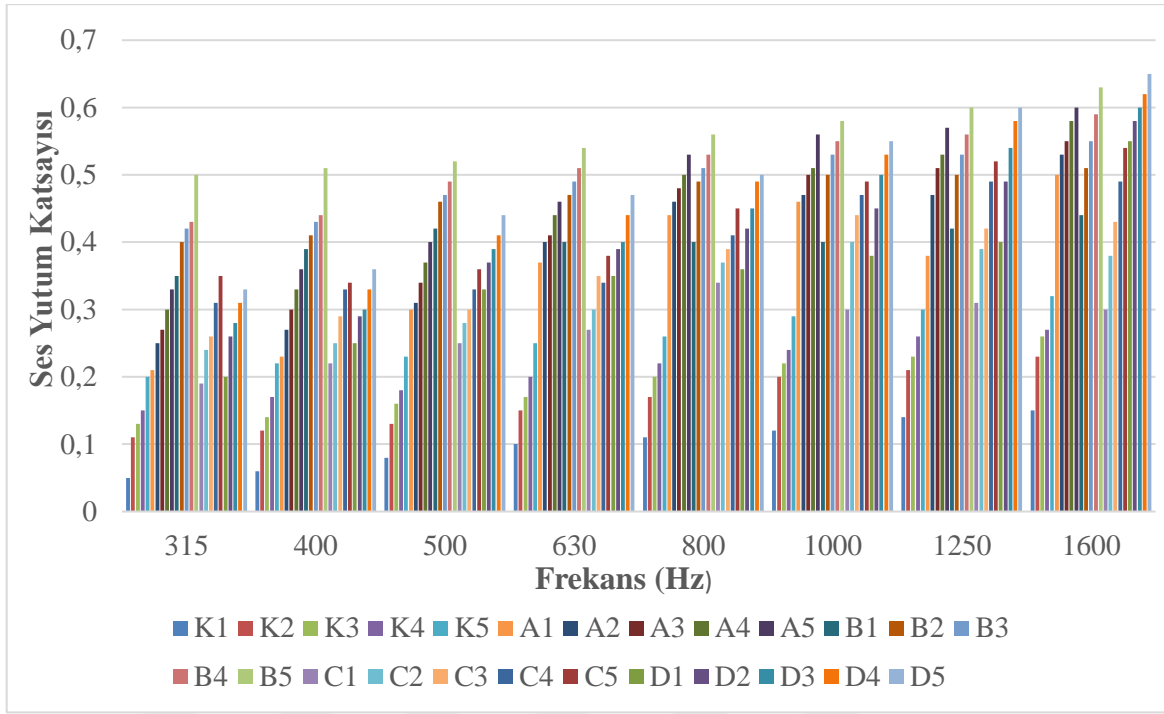
*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.22. ,Çizelge 4.23. ,Çizelge 4.24. Çizelge 4.25. ve Çizelge 4.26.'da verilen sonuçlara göre, farklı tasarıma sahip kompozit malzemelerin ses yutum katsayısı değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ses yutum katsayısı değerlerine ait ANOVA sonuçlarına göre, orta tabakada kullanılan malzemelerin, farklı yüzey tasarımlarının, ses frekansının ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (p<0,05). Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, en yüksek ses yutum performansı D grubuna ait D5 tasarımında tespit edilirken en düşük ses yutum performansı ise kontrol grubuna ait K1 tasarımında tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin ses yutum katsayısı değişimleri Şekil 4.23. , Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'de verilmiştir.



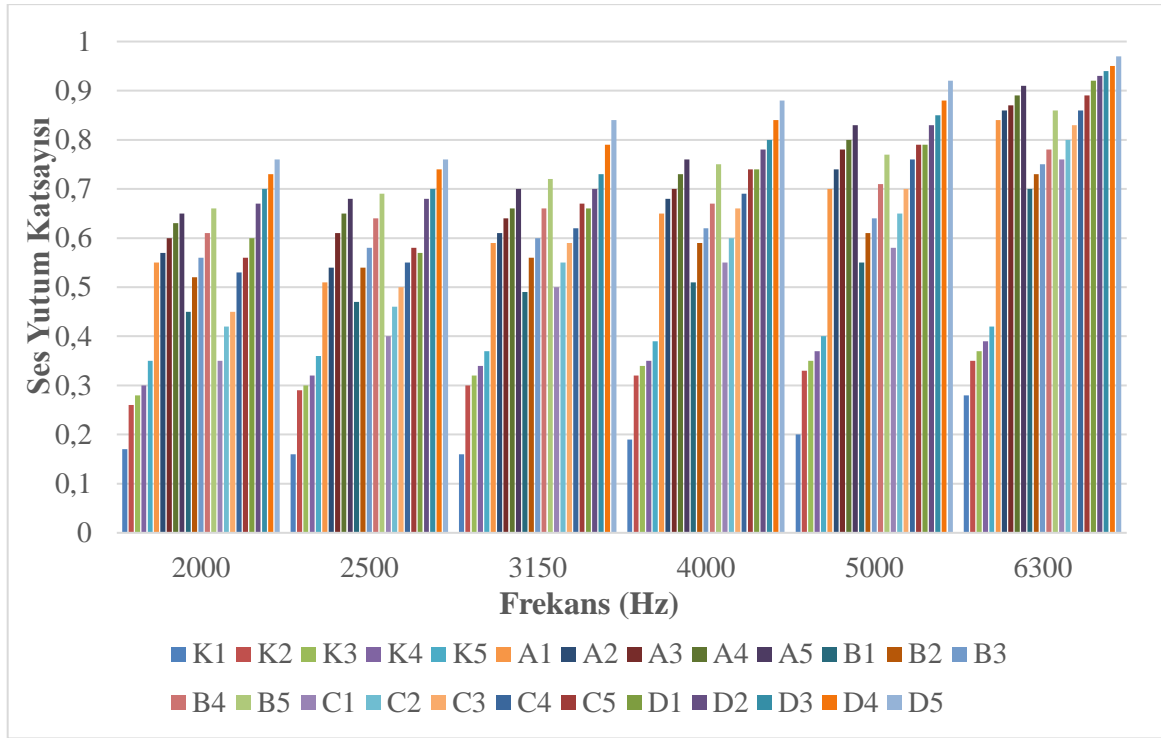
Şekil 4.23. Grupların düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz) ses yutum katsayısı değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, 63 Hz - 250 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutum katsayısı değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.19), (0.29), (0.53), (0.32), (0.30) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutum katsayısı değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.01), (0.05), (0.04), (0.03), (0.08) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutum katsayısı değeri B5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutum katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol gruplarının A, B, C, ve D gruplarının ses yutum katsayısı değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından linolyum kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutum sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde kontrol, A, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının düşük frekans bandında ses yansıtıcı özelliğe sahip olduğu, B gruplarından elde edilen panel tasarımlarının ise ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. Grupların orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ses yutum katsayısı değışimleri

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 315 Hz - 1600 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutum katsayısı değeri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.32), (0.6), (0.63), (0.54), (0.65) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutum katsayısı değeri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.05), (0.21), (0.35), (0.19), (0.20) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutum katsayısı değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutum katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol gruplarının A, B, C, ve D gruplarının ses yutum katsayısı değeri göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutum sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde kontrol gruplarından elde edilen panel tasarımlarının orta frekans bandında ses yansıtıcı özelliğe sahip olduğu, A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının ise ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.



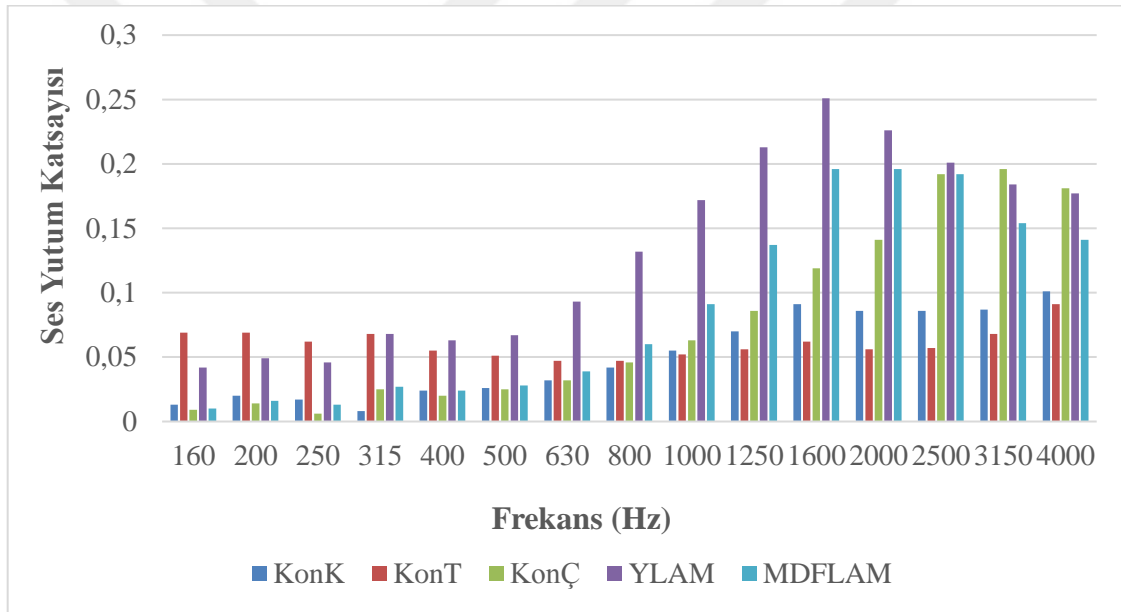
Şekil 4.25. Grupların yüksek (Tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) ses yutum katsayısı değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, 2000 Hz - 6300 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutum katsayısı değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.42), (0.91), (0.86), (0.89), (0.97) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutum katsayısı değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.35), (0.65), (0.66), (0.56), (0.76) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutum katsayısı değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutum katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol gruplarının A, B, C, ve D gruplarının ses yutum katsayısı değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutum sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde A, B, C, ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının yüksek (Tiz) frekans bandında ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

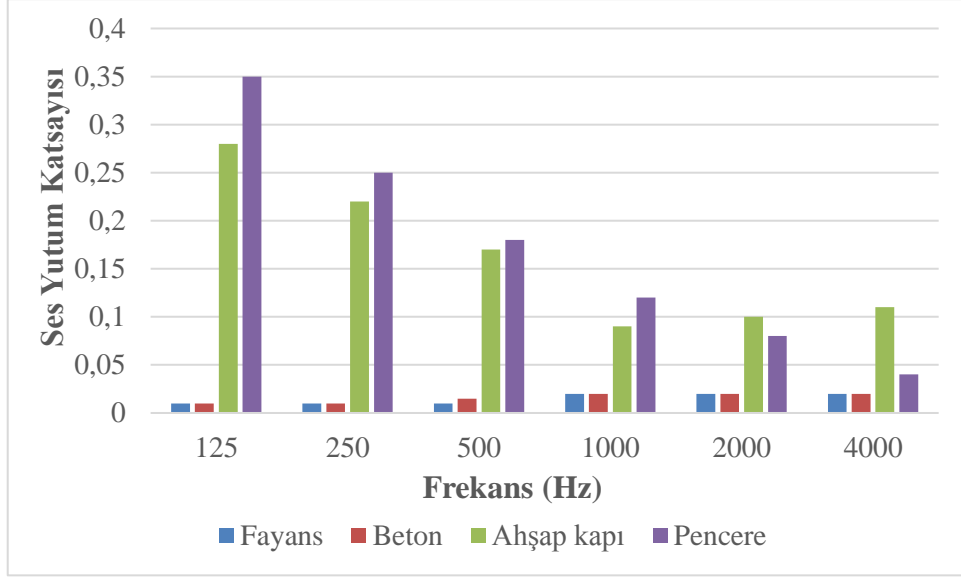
Literatürdeki bazı araştırmalar incelendiğinde; Ghofrani ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, atık kauçuk ile ahşap kaplama kullanılarak kontrplak üretmişlerdir. Literatürdeki ticari olarak satılan kontrplaklara kıyasla üretmiş oldukları kompozit malzemenin çok daha iyi ses yutum performansına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Ayrıca laminasyon uygulamasında kayın kaplamaların kullanım oranının artmasıyla birlikte malzemenin akustik performansının da geliştiğini bildirmişlerdir. Karlınasari ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, hızlı büyüyen ağaç türlerinden üretilen yonga levhaların akustik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak düşük ve orta yoğunluğa sahip levhaların düşük ve yüksek frekans bandında ses yutum performansının oldukça iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan bu araştırmada üretilen farklı tasarımlara sahip kompozit malzemelerin, literatürdeki bazı ahşap esaslı panellerin ve çeşitli yapı elemanlarının ses yutum katsayısı değerlerine göre (Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.) oldukça daha iyi ses yutum performansına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

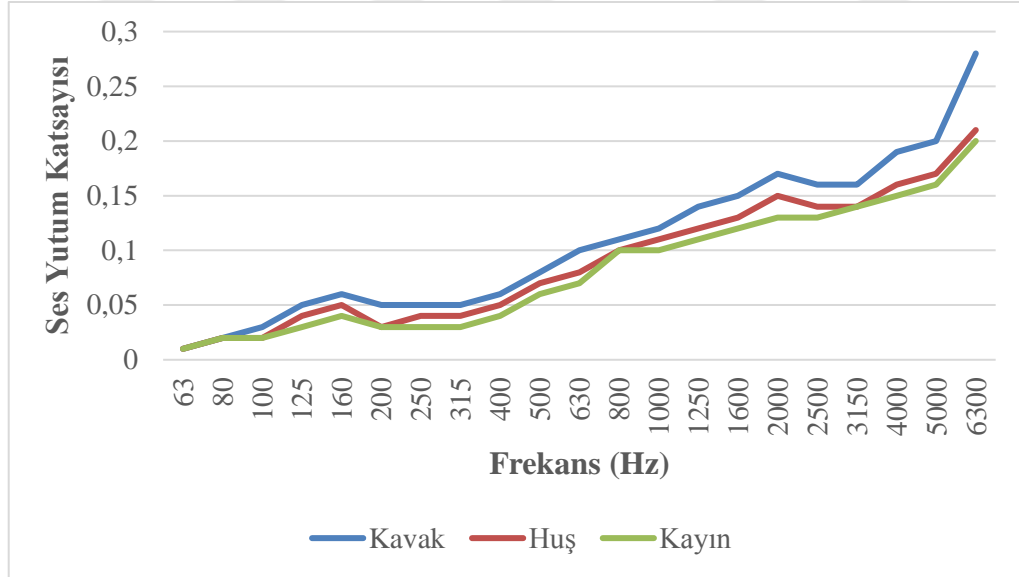


Şekil 4.26. Bazı ahşap esaslı malzemelerin ses yutum katsayısı değerleri (**KonK**: Kontraplak-Kontrol, **KonT**: Kontraplak-Tek Kompenant (vernük), **KonÇ**: Kontraplak-Çift Kompenant (vernük), **YLAM**:Sentetik Reçine Kaplı Yonga Levha, **MDFLAM**: Sentetik Reçine Kaplı Lif Levha) (Muslu, 2021)



Şekil 4.27. Çeşitli yapı elemanlarının ses yutum katsayısı değerleri (URL-9)

Ayrıca, çalışmanın ilk bölümünde farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses yutum katsayısı değerleri Şekil 4.28.'de verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara kıyasla, özellikle A, B, C ve D gruplarından üretilen farklı tasarımlara sahip kompozit panellerin oldukça yüksek ses yutum performansına sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. Farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses yutum katsayısı değerleri

4.2.4. Ses iletim kaybı (dB)

Üretilen kompozit malzemelerin ses iletim kaybı (dB) ölçümleri her grup için 10 adet test örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ses iletim kaybı ortalama değerleri, bu değerlere ait ANOVA ve Tukey testi sonuçları Çizelge 4.27. ,Çizelge 4.28. ,Çizelge 4.29. Çizelge 4.30. ve Çizelge 4.31.'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (1)

Frekans	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*
Tukey	a	b	c	d	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.28. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (2)

Frekans	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*
Tukey	a	b	c	d	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.29. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (3)

Frekans	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*
Tukey	a	b	c	d	e	

*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.30. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (4)

Frekans	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*
Tukey	a	b	c	d	e	

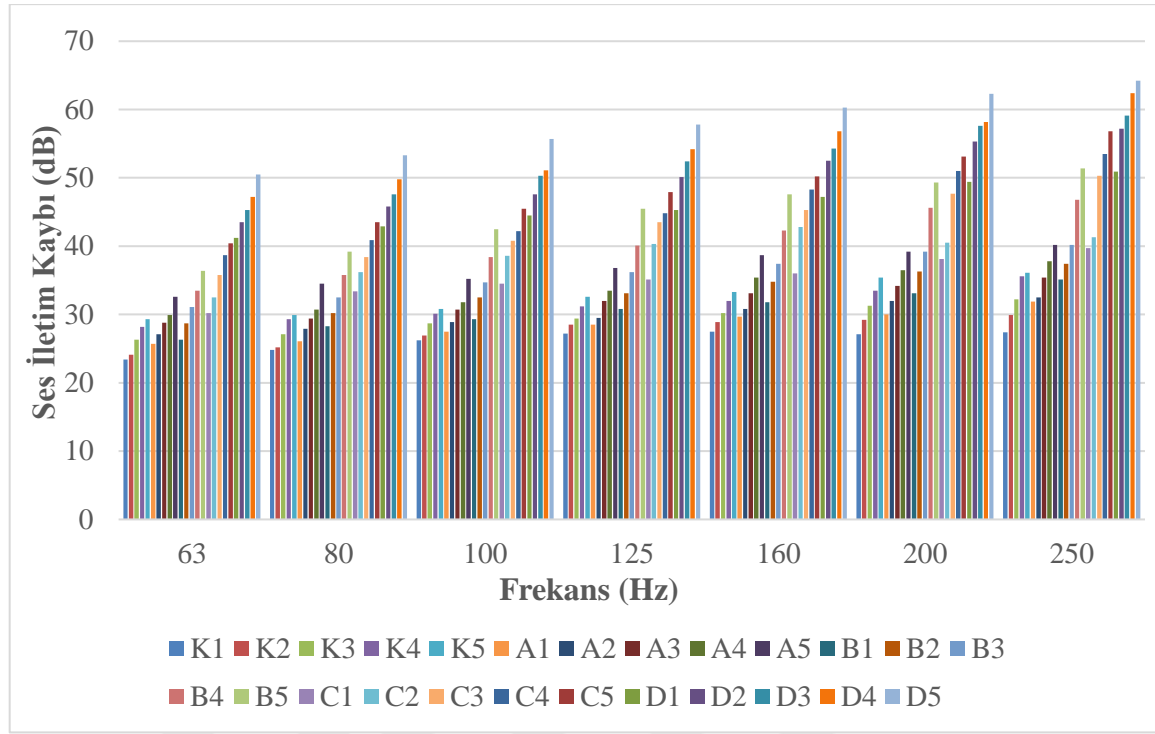
*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.31. Ses iletim kaybı (dB) değerleri, ANOVA ve Tukey testi sonuçları (5)

Frekans	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*
Tukey	a	b	c	d	e	

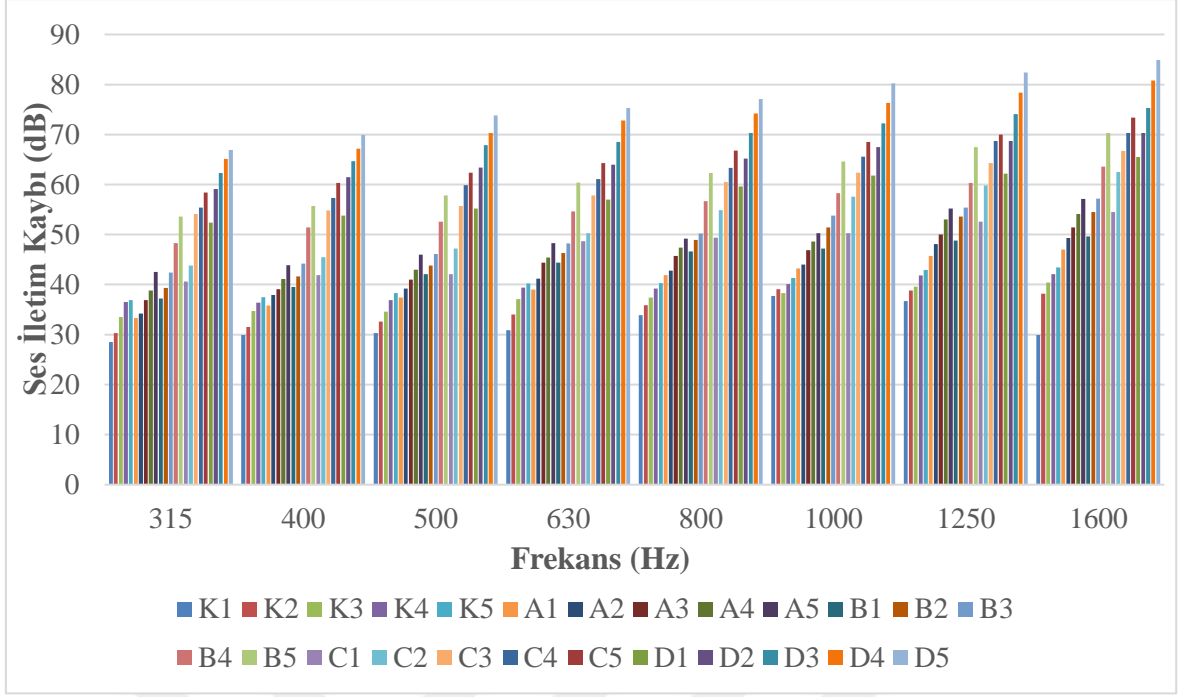
*=0,05'e göre önemli (anlamlı)

Çizelge 4.27. ,Çizelge 4.28. ,Çizelge 4.29. Çizelge 4.30. ve Çizelge 4.31.'de verilen sonuçlara göre, farklı tasarıma sahip kompozit malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ses iletim kaybı (dB) değerlerine ait ANOVA sonuçlarına göre, orta tabakada kullanılan malzemelerin, farklı yüzey tasarımlarının, ses frekansının ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (p<0,05). Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, en yüksek ses yalıtım performansı D grubuna ait D5 tasarımında tespit edilirken en düşük ses yalıtım performansı ise kontrol grubuna ait K1 tasarımında tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değişimleri Şekil 4.29. , Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.'de verilmiştir.



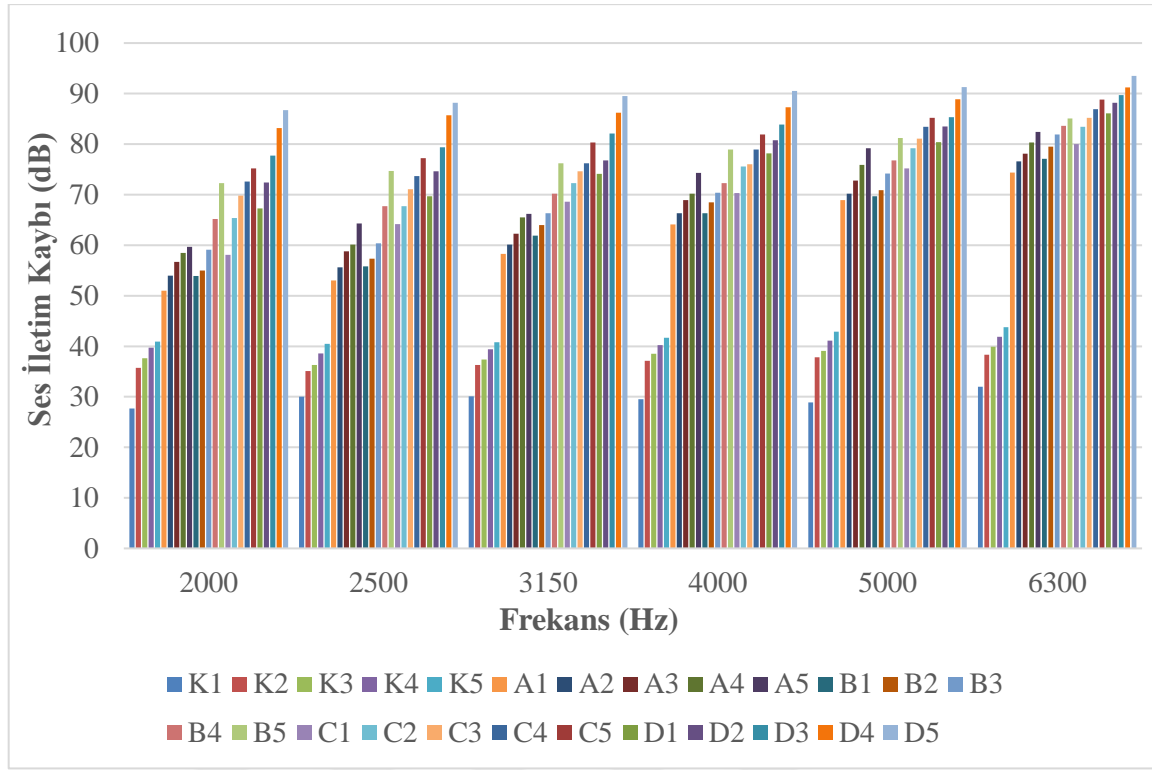
Şekil 4.29. Grupların düşük (bas) frekanslardaki (63 Hz-250 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, 63 Hz - 250 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 36,1 dB, 40,2 dB, 51,4 dB, 56,8 dB, 64,2 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 23,4 dB, 25,7 dB, 26,3 dB, 30,2 dB, 41,2 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubundan üretilen panel tasarımlarının A, B, C, ve D gruplarından üretilen panel tasarımlarının ses iletim kaybı (dB) değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde kontrol, A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının, düşük frekans bandında ses yalıtım performanslarının oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Grupların orta frekanslardaki (315 Hz-1600 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

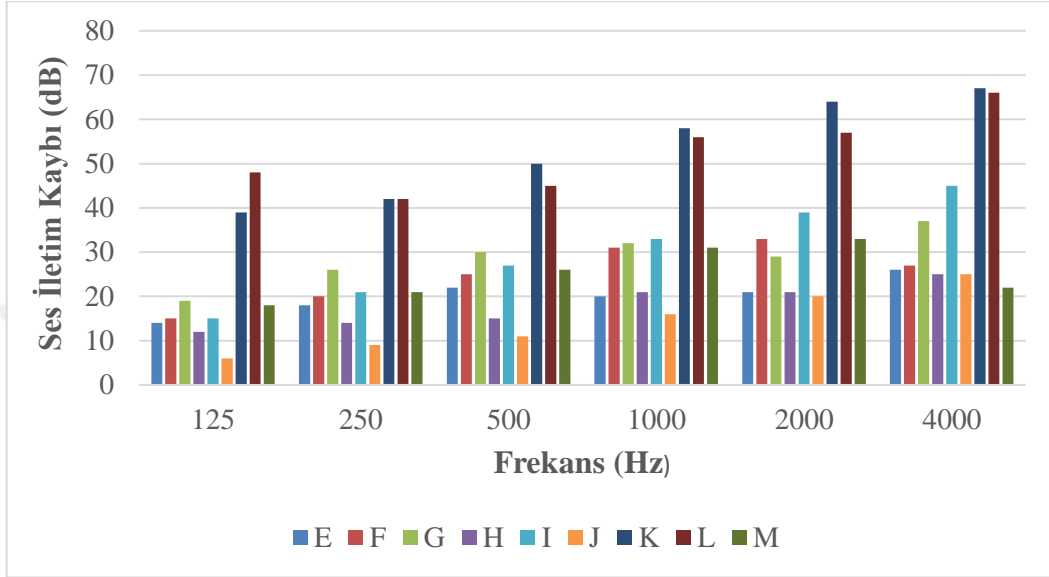
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 315 Hz - 1600 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 43,4 dB, 57,1 dB, 70,3 dB, 73,4 dB, 84,9 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 28,5 dB, 33,3 dB, 37,2 dB, 40,6 dB, 52,4 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubundan üretilen panel tasarımlarının A, B, C, ve D gruplarından üretilen panel tasarımlarının ses iletim kaybı (dB) değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının, orta frekans bandında yüksek ses yalıtım performansı sağladığı tespit edilmiştir. Kontrol grubundan elde edilen tasarımlardan ise K3, K4 ve K5 gruplarının ses yalıtım performansları K1 ve K2 gruplarına göre önemli ölçüde iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.31. Grupların yüksek (Tiz) frekanslardaki (2000 Hz-6300 Hz) ses iletim kaybı (dB) değişimleri

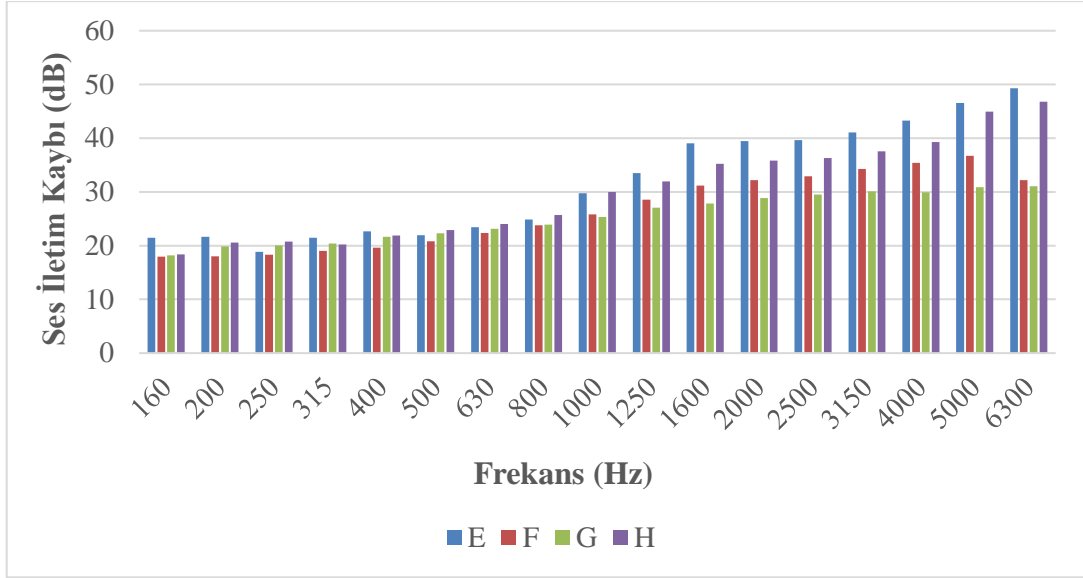
Elde edilen veriler incelendiğinde, 2000 Hz - 6300 Hz frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 43,8 dB, 82,4 dB, 85,1 dB, 88,8 dB, 93,5 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 27,7 dB, 51,0 dB, 53,9 dB, 58,1 dB, 67,3 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Detaylı olarak incelendiğinde ise kontrol grubundan üretilen panel tasarımlarının A, B, C, ve D gruplarından üretilen panel tasarımlarının ses iletim kaybı (dB) değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının, yüksek (tiz) frekans bandında oldukça yüksek ses yalıtım performansı sağladığı tespit edilmiştir. Kontrol grubundan elde edilen tasarımlardan ise K4 ve K5 gruplarının ses yalıtım performansları K1, K2, ve K3'e göre önemli ölçüde iyi olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca yapılan bu araştırmada A, B, C, ve D gruplarından üretilen farklı tasarımlara sahip kompozit malzemelerin, literatürdeki farklı malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değerlerine göre (Şekil 4.32.) oldukça daha iyi ses yalıtım performansına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

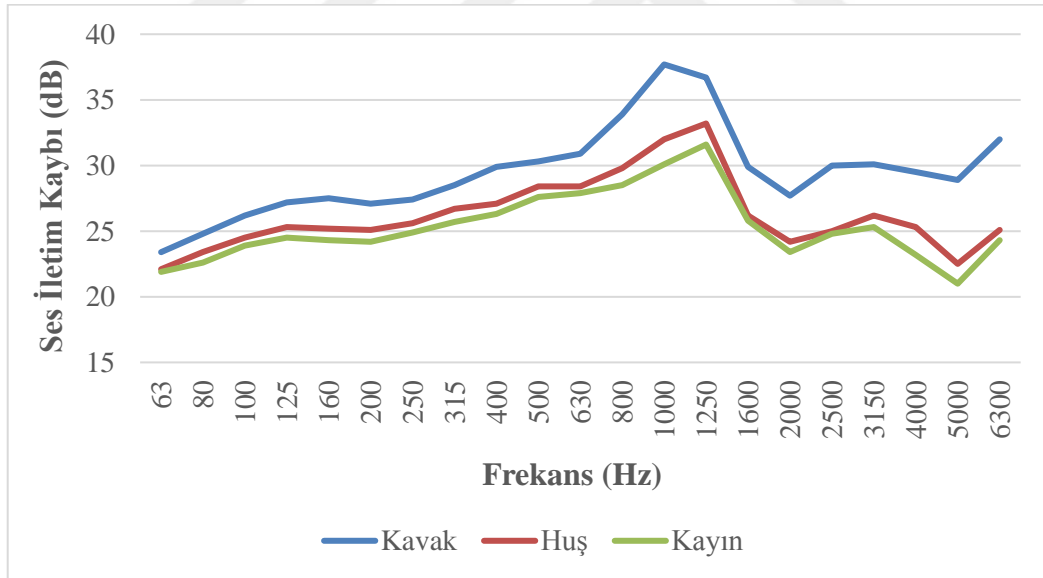


Şekil 4.32. Bazı malzemelerin ses iletim kaybı (dB) değerleri (**E**: Kontrplak, **F**: Alçı plaka -12.5 mm, **G**: Alçı plaka - 2x12.5 mm, **H**: Çelik sac, **I**: Kurşun plaka, **J**: Camyünü Çatı şiltesi, **K**: Sıvalı beton duvar - 15 cm, **L**: Betonarme döşeme, **M**: Pencere camı - 3 mm) (Muslu, 2013)

Başka bir araştırmada ise Yılmaz (2019), sekiz adet farklı panel kaplama malzemesi kullanarak iç katmanı atık kağıt olacak şekilde kompozit malzeme üretmiştir ve bazı teknolojik özelliklerini araştırmıştır. Akustik test sonuçlarına göre ses iletim kaybı en yüksek (üç mm) kontrplak kaplamalı kompozit malzemede ölçülürken, ses iletim kaybının en düşük değeri ise (dört mm) MDF kaplamalı kompozit malzemede tespit edilmiştir (Şekil 4.33.). Ayrıca, çalışmanın ilk bölümünde farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses iletim kaybı (dB) değerleri Şekil 4.34.'de verilmiştir.



Şekil 4.33. 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)



Şekil 4.34. Farklı ağaç türlerinden üretilen lamine ahşap kompozitlerin ses iletim kaybı (dB) değerleri

Literatür ve ön araştırma sonuçlarına kıyasla, özellikle A, B, C ve D gruplarından üretilen farklı yüzey tasarımlarına sahip akustik panellerin, daha üstün ses yalıtımı sağladığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, kavak soyma kaplama, polivinil asetat (PVAc) tutkalı, doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak yeni nesil lamine ahşap kompozit (LAK) levhaları üretilmiştir. Araştırmada bir kontrol ve dört deney grubu oluşturulmuştur. Lamine ahşap kompozit ve güçlendirilmiş LAK levhaları 10 tabakalı olarak üretilmiştir. Deney gruplarının üretiminde ise dört farklı malzeme orta tabakada (beşinci tutkal tabakası) kullanılmıştır. Bunlar; doğal kauçuk (A grubu), linolyum (B grubu), keçe (C grubu) ve elastomerik sünger (D grubu) olmak üzere 4 grup şeklindedir. Akustik konforun sağlanması amacıyla yapılarda ve hertürlü iç mekanda kullanılmak üzere, beş farklı yüzey formuna sahip akustik panel tasarımı yapılmıştır. Farklı yüzey formlarının seçilmesiyle daha yüksek akustik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, daire yüzey formuna (düz yüzey) sahip panel, pizza dilimi yüzey formuna sahip panel, şeritli yüzey formuna sahip panel, asimetrik yüzey formuna sahip panel ve baklava dilimi yüzey formuna sahip panel tercih edilmiştir. Bu yüzey tasarımları kontrol, A, B, C ve D gruplarına uygulanarak toplam 25 farklı grup elde edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin akustik özellikleri ve bazı teknolojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

5.1.1. Hava kuruşu yoğunluk

Üretilen kompozit malzemelerin hava kuruşu yoğunluk değerleri kontrol grubunda 0.470 gr/cm^3 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla 0.61 gr/cm^3 , 0.70 gr/cm^3 , 0.51 gr/cm^3 , 0.53 gr/cm^3 olarak tespit edilmiş, kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının hava kuruşu yoğunluk değerlerinde ise sırasıyla % 29.7, % 48.9, % 8.5, % 12.7'lik artış kayıt edilmiştir. Bu duruma deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin sebep olduğu ve bu malzemelerin kompozit malzemelerin tabakalarına yapıştirılması amacıyla kullanılan tutkal miktarındaki artışın neden olduğu düşünülmektedir.

5.1.2. Rutubet testi

Kompozit malzemelerin rutubet yüzdeleri onbeş günlük kondisyonlama sürecinin ardından kontrol grubunda %10,21 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla %9,80 , %9,88 , %9,94 ve %9,85 olarak belirlenmiştir. Grupların hiçbirinin %12 denge rutubetine ulaşmadığı tespit edilmiştir.

5.1.3. Kalınlığına şişme testi

Kompozit malzemelerin 2 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 1.04, % 1.26, % 1.68, % 2.75, % 1.87 olarak, 24 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 3.77, % 3.09, % 3.51, % 4.18, % 4.48 olarak ve 336 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında kalınlığına şişme yüzdeleri sırasıyla % 5.14, % 5.36, % 6.06, % 5.80, % 5.39 olarak tespit edilmiştir.

5.1.4. Su alma testi

Kompozit malzemelerin 2 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 18.19, % 11.77, % 13.72, % 31.05, % 15.98 olarak, 24 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 48.62, % 32.98, % 31.60, % 64.82, % 41.35 olarak ve 336 saat suda kalmaları sonucunda kontrol A, B, C, ve D gruplarında su alma yüzdeleri sırasıyla % 94.95, % 65.77, % 60.12, % 100.72, % 89.01 olarak tespit edilmiştir.

5.1.5. Eğilme direnci testi

Kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 59,7 N/mm² , 37,3 N/mm² ,40,1 N/mm² ,27,1 N/mm² ,30,8 N/mm² olarak, tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 57,1 N/mm² , 35,2 N/mm² ,37,9 N/mm² ,26,2 N/mm² ,29,5 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerleri tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen eğilme direnci değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5.1.6. Elastikiyet modülü testi

Kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 4500 N/mm^2 , 820 N/mm^2 , 900 N/mm^2 , 1050 N/mm^2 , 1103 N/mm^2 olarak, tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 4020 N/mm^2 , 790 N/mm^2 , 850 N/mm^2 , 998 N/mm^2 , 1040 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerleri tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen elastikiyet modülü değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.1.7. Şok direnci testi

Kompozit malzemelerin tutkal hattına dik olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerleri Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 0.31 kgm/cm^2 , 0.48 kgm/cm^2 , 0.62 kgm/cm^2 , 0.36 kgm/cm^2 , 0.39 kgm/cm^2 olarak tespit edilmiş, kontrol grubuna göre A, B, C, D gruplarında sırasıyla % 54.83, % 100, % 16.12, % 25.80'lik artış belirlenmiştir. Tutkal hattına paralel olarak uygulanan kuvvet sonucu elde edilen şok direnci değerleri ise Kontrol, A, B, C ve D grubunda sırasıyla 0.30 kgm/cm^2 , 0.47 kgm/cm^2 , 0.60 kgm/cm^2 , 0.34 kgm/cm^2 , 0.38 kgm/cm^2 olarak tespit edilmiş, kontrol grubuna göre A, B, C, D gruplarında sırasıyla % 56.66, % 100, % 13.33, % 26.66'lik artış belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile şok direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu, yani yoğunluk arttıkça şok direnci değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

5.1.8. Vida tutma direnci testi

Kompozit malzemelerin vida tutma direnci değerleri kontrol grubunda 24 N/mm^2 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla 28.5 N/mm^2 , 32.3 N/mm^2 , 25 N/mm^2 , 26.1 N/mm^2 olarak tespit edilmiş, kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının vida tutma direnci değerlerinde sırasıyla % 18.75, % 34.58, % 4.16, % 8.75'lik artış kayıt edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile vida tutma direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu, yani yoğunluk arttıkça vida tutma direnci değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

5.1.9. Çivi tutma direnci testi

Kompozit malzemelerin çivi tutma direnci değerleri kontrol grubunda 6.1 N/mm^2 ve diğer A, B, C, D gruplarında ise sırasıyla 7.2 N/mm^2 , 8.6 N/mm^2 , 6.5 N/mm^2 , 6.9 N/mm^2 olarak tespit edilmiş, kontrol grubuna göre A, B, C, ve D gruplarının çivi tutma direnci değerlerinde sırasıyla % 18.03, % 40.98, % 6.55, % 13.11'lik artış kayıt edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluğu ile çivi tutma direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu, yani yoğunluk arttıkça çivi tutma direnci değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

5.1.10. Isı iletkenlik katsayısı testi

Kompozit malzemelerin en yüksek ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla $0,115 \text{ W/mK}$, $0,048 \text{ W/mK}$, $0,068 \text{ W/mK}$, $0,063 \text{ W/mK}$, $0,07 \text{ W/mK}$ olarak ölçülmüştür. En düşük ısı iletkenlik katsayısı (W/mK) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla $0,099 \text{ W/mK}$, $0,036 \text{ W/mK}$, $0,055 \text{ W/mK}$, $0,051 \text{ W/mK}$, $0,059 \text{ W/mK}$ olarak ölçülmüştür. Deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, K1, A1, B1, C1 ve D1 gruplarına ait kompozit malzemelerin çok iyi bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır.

5.1.11. Isı geçirgenlik katsayısı testi

Kompozit malzemelerin en yüksek ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla $1,004 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak ölçülmüştür. En düşük ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla $0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) değeri K5 grubunda tespit edilirken en düşük ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) değeri ise Deney grupları arasından doğal kauçuk kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, deney gruplarından özellikle düz yüzeyli tasarıma sahip olanların ısı yalıtımının arzu edildiği ortamlarda ısı izolasyon malzemesi olarak tercih edilip kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

5.1.12. Ultrasonik ses iletim hızı

Kompozit malzemelerin en yüksek ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değerleri daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 2050 (m/s), 550 (m/s), 600 (m/s), 480(m/s), 124 (m/s) olarak ölçülmüştür. En düşük ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değerleri ise baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 1930 (m/s), 479 (m/s), 528 (m/s), 403 (m/s), 94 (m/s) olarak ölçülmüştür. En yüksek ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değeri K1 grubunda tespit edilirken en düşük ultrasonik ses iletim hızı (m/s) değeri ise D5 grubunda ölçülmüştür. Ultrasonik ses dalgalarına maruz bırakılan A, B, C ve D gruplarına ait kompozit panellerin ultras ses hızına sahip ses dalgalarının geçiş hızını başarılı bir şekilde yavaşlatarak absorbe ettiği tespit edilmiştir. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutumu sağladığı belirlenmiştir.

5.1.13. Ses yutumu katsayısı

Düşük frekans (63 Hz - 250 Hz) bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutumu katsayısı değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.19), (0.29), (0.53), (0.32), (0,30) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutumu katsayısı değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.01), (0.05), (0.04), (0.03), (0,08) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutumu katsayısı değeri B5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutumu katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Kontrol, A, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının düşük frekans bandında ses yansıtıcı özelliğe sahip olduğu, B gruplarından elde edilen panel tasarımlarının ise ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Orta (315 Hz - 1600 Hz) frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutumu katsayısı değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.32), (0.6), (0.63), (0.54), (0,65) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutumu katsayısı değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.05), (0.21), (0.35), (0.19), (0,20) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutumu katsayısı değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutumu katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutumu sağladığı belirlenmiştir. Kontrol gruplarından elde edilen panel tasarımlarının orta frekans bandında kısmen ses

yansıtıcı özelliğe sahip olduğu, A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının ise ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek (2000 Hz - 6300 Hz) frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses yutum katsayısı değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla (0.42), (0.91), (0.86), (0.89), (0.97) olarak ölçülmüştür. En düşük ses yutum katsayısı değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla (0.35), (0.65), (0.66), (0.56), (0.76) olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses yutum katsayısı değeri D5 grubunda tespit edilirken en düşük ses yutum katsayısı değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Deney grupları arasında elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yutum sağladığı belirlenmiştir. A, B, C, ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının yüksek (Tiz) frekans bandında ses yutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

5.1.14. Ses İletim Kaybı (dB)

Düşük (63 Hz - 250 Hz) frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 36,1 dB, 40,2 dB, 51,4 dB, 56,8 dB, 64,2 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 23,4 dB, 25,7 dB, 26,3 dB, 30,2 dB , 41,2 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri B5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Deney grupları arasında elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Kontrol, A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının, düşük frekans bandında ses yalıtım performanslarının oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir.

Orta (315 Hz – 1600 Hz) frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 43,4 dB, 57,1 dB, 70,3 dB, 73,4 dB, 84,9 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 28,5 dB, 33,3 dB, 37,2 dB, 40,6 dB , 52,4 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri B5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Deney grupları arasında elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde A, B, C ve D gruplarından

elde edilen panel tasarımlarının, orta frekans bandında yüksek ses yalıtım performansı sağladığı tespit edilmiştir. Kontrol grubundan elde edilen tasarımlardan ise K3, K4 ve K5 gruplarının ses yalıtım performansları K1 ve K2 gruplarına göre önemli ölçüde iyi olduğu belirlenmiştir.

Yüksek (2000 Hz – 6300 Hz) frekans bandında kompozit malzemelerin en yüksek ses iletim kaybı (dB) değerleri baklava dilimi yüzey yapısına sahip gruplarda; K5, A5, B5, C5, D5 sırasıyla 43,8 dB, 82,4 dB, 85,1 dB, 88,8 dB, 93,5 dB olarak ölçülmüştür. En düşük ses iletim kaybı (dB) değerleri ise daire formu ve düz yüzey yapısına sahip gruplarda; K1, A1, B1, C1, D1 sırasıyla 27,7 dB, 51,0 dB, 53,9 dB, 58,1 dB , 67,3 dB olarak ölçülmüştür. Bu frekans bandında en yüksek ses iletim kaybı (dB) değeri B5 grubunda tespit edilirken en düşük ses iletim kaybı (dB) değeri ise K1 grubunda ölçülmüştür. Deney grupları arasından elastomerik sünger kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin daha yüksek ses yalıtımı sağladığı belirlenmiştir. A, B, C ve D gruplarından elde edilen panel tasarımlarının, yüksek (tiz) frekans bandında oldukça yüksek ses yalıtım performansı sağladığı tespit edilmiştir. Kontrol grubundan elde edilen tasarımlardan ise K4 ve K5 gruplarının ses yalıtım performansları K1, K2, ve K3'e göre önemli ölçüde iyi olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Kavak soyma kaplama, PVAc tutkalı, doğal kauçuk, linolyum, keçe ve elastomerik sünger kullanılarak üretilen deney gruplarına ait lamine ahşap kompozitlerin denge rutubet miktarı değerinde düşüş sağlandığı, ayrıca kalınlığına şişme ve su alma oranlarında memnuniyet verici sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin her türlü iç mekanların yanında rutubet oranı yüksek eğlence yerleri (açık hava eğlence mekanları veya kapalı ortamdaki eğlence merkezleri), yüzme havuzları ve spor salonları gibi mekanların akustik konforlarının sağlanması amacıyla akustik malzeme olarak kullanılması önerilmektedir.

A, B, C ve D gruplarına ait kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde önemli düzeyde artışlar kayıt edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerden her türlü boyut, ebat ve geometrik şekillere sahip akustik panel tasarımı (Sabit veya hareket edebilen paneller) yapılarak kısa veya uzun süreli kullanım için inşa edilen iç ve dış mekanlara entegrasyonu ile uzun süreli olarak yüksek mekanik performansla kullanılabilceği düşünülmektedir.

Düşük yoğunluğa sahip veya ekonomik değeri düşük olan ağaç türlerinin, farklı endüstriyel malzemelerle birlikte laminasyon teknolojisi kullanılarak üretilmesiyle elde edilen yüksek teknolojik özelliklere sahip yeni nesil lamine ahşap kompozitlerin, ekonomik faydalar sağlamasına ilaveten kullanım alanlarının daha fazla genişleyeceği düşünülmektedir.

Deney gruplarının üretiminde kullanılan kauçuk, linolyum, keçe ve süngerin kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, K1, A1, B1, C1 ve D1 gruplarına ait kompozit malzemelerin, çok iyi bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Deney gruplarından özellikle düz yüzeyli tasarıma sahip olanların, ısı yalıtımının arzu edildiği ortamlarda ısı izolasyon malzemesi olarak tercih edilip kullanılabileceği düşünülmektedir.

Lamine ahşap kompozitler yani tabakalı ağaç malzemeler genellikle yapı sektöründe fazlaca kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı yüksek teknolojik (fiziksel, mekaniksel, ısı ve ses yalıtımı) özelliklere sahip olması beklenmektedir. Fakat bu malzemelerin üretiminde genellikle düşük ekonomik değere ve düşük yoğunluğa sahip ağaç türleri kullanıldığından istenilen teknolojik özellikler elde edilememektedir. Bu çalışmada, lamine ahşap kompozit malzemelerin güçlendirilmesiyle teknolojik özelliklerde önemli düzeyde artış sağlanabileceği vurgulanmaktadır.

Düşük yoğunluğa sahip ahşap malzemelerin ileri teknoloji ürünlerine dönüştürülerek endüstriye kazandırılmasının orman kaynaklarının sürekliliğinin sağlanarak verimli kullanılmasını sağlayabileceği düşünülmektedir.

Doğal kauçuk, linolyum, keçe, elastomerik sünger ve ahşap kaplama kullanılarak üretilen deney gruplarına ait kompozit panellerin ses yutum katsayısı değerlerinin oldukça yüksek, kontrol grubunun ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. İç ve dış mekanların (Konser salonları ve oditoryumlar, oteller, kongre merkezleri, sinema salonları, spor stadyumları, üniversiteler, alışveriş merkezleri (AVM), eğlence mekanları, radyo ve TV stüdyoları, opera evleri, ofisler, çağrı merkezleri, spor salonları, kütüphaneler, konser salonları, hastaneler, kara, deniz ve hava araçlarında, dini merkezler, çok amaçlı mekanlar, fabrikalarda, parlamento binaları, restoran, kafe ve lokantalar, resmi kurum ve kuruluşlar, ev ve bürolar vb.) akustik konforunun sağlanması amacıyla A, B, C ve D gruplarından tasarlanan farklı yüzey formuna sahip kompozit malzemelerin ses yutucu akustik panel olarak, kontrol

grubundan tasarlanan farklı yüzey formuna sahip kompozit malzemelerin ise ses yansıtıcı akustik panel olarak kullanılması önerilmektedir.

Ses iletim kaybı değerlerine göre A, B, C ve D gruplarından tasarlanan farklı yüzey formuna sahip kompozit malzemelerin yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Gürültünün arzu edilmediği ve ses yalıtımının amaçlandığı her türlü mekanda, A, B, C ve D gruplarından tasarlanan farklı yüzey formuna sahip kompozit malzemelerin, akustik ses yalıtım malzemesi olarak kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı materyaller kullanılarak akustik panel üretimi ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin birim maliyetleri aşağıda verilmiştir.

- Kavak soyma kaplama: 25 TL (1 Metrekare)
- Polivinil asetat (PVAc) tutkalı: 35 TL (1 Kilogram)
- Doğal kauçuk: 220 TL (1 Metrekare)
- Linolyum: 150 TL (1 Metrekare)
- Keçe: 44 TL (1 Metrekare)
- Elastomerik sünger: 60 TL (1 Metrekare)

En yüksek akustik performans D grubuna ait tasarımlarda tespit edilmiştir. Fiyat/performans veya maliyet/performans oranı açısından elastomerik sünger en tercih edilebilir takviye malzemesi olmaktadır.

Akustik malzeme tasarımı, üretimi ve kullanım alanlarının belirlenmesi amacıyla yapılacak olan araştırmalara bu çalışmanın bir kaynak olacağı, ilgili araştırmacı ve üreticilere bilgi verilerek referans olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Açık, C., Tutuş, A., 2016. Çok Amaçlı Salon İç Mimarisinde Kullanılan Farklı Yüzey Kaplamalı Lif Levhaların Akustik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2016, Vol. 12 Issue 1, p11-20.
- Akdağ, N.Y., 2001. Ses Yalıtımı Açısından İç Duvarların Değerlendirilmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi (23-25 Mart)*. MMO yayın no: E/2001/264, 108-114.
- Akitsu, H., Norimoto, M., Morooka, T., Rowell, R., 1993. Effect Of Humidity On Vibrational Properties Of Chemically Modified Wood, *Wood Sci. Technol.* 25 250–60.
- Anşin, R., Özkan, Z.C., 1993. Tohumlu bitkiler-odunsu taksonlar. Karadeniz. Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Genel Yayın No:167, Fak. Yay. No:19, Trabzon.
- ASTM C 518, 2003. Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus, Annual Book of Standards, 04.06, 153-164, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- ASTM-E 1050, 2006. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- 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.
- Ayan, S., 2012. *Isıl İşlemlerle Ahşap Lamine Panellerin Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 179s.
- Aydoğmuş, A., 2019. *Kimyasal Modifikasyon İşleminin Müzik Aletlerinin Ses Tınısı Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 110s.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2013. Okalıptus, Kayın ve Kavak Soyma Kaplamaları ile Üretilen Tabakalı Kaplama Kerestelerin Bazı Fiziksel Özellikleri, *A.Ç.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 14: 25-35.
- Ball, J., Carl, J., Del Lungo, A., 2005. Contribution of Poplars and Willows to Sustainable Forestry and Rural Development, *FAO Unisylva Volume 56*.
- Baltacı, B., 2011. *Karaçam Odununun Laminasyon Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kütahya. 61s.
- Basterra, L.A., Acuna, L., Casado, M., Lopez, G., Bueno, A., 2012. Strength Testing of Poplar Duo Beams, *Populus x euramericana (Done) Guinier cv. I-214*, With Fibre Reinforcement. *Constr Build Mater*, 36 (2012): 90-96.

- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın no: 147. İstanbul.
- Biblis, E.J., 1996. Comparison of flexural and shear properties of southern pine LVL and lumber from young plantation and natural stands, *Ann Sci For* 53:1167-1175.
- Binggeli, C., 2010. *Building Systems For Interior Designers*, 2nd edn, Wiley publishing.
- Bolt, R.H., 1947. On the Design of Perforated Facings For Acoustic Materials. *Journal of the Acoustical Society of America*, 19: 917-921.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1997. Ağaç teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 3998, Fak. Yay. No: 445, İstanbul.
- BS 1134, 1990. Assesment of Surface Texture, Part 1 and Part 2, British Standards Institute, BSI, Lindford, UK.
- 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.
- Carvalho, A.M., Lahr, F.A.R., Bortoletto, G., 2004. Use of Brazilian eucalyptus to produce LVL panels, *Forest Product Journal* 54 (10):61-64.
- Cox, T.J., and D'Antonio, P., 2005. *Acoustic Absorbers and Diffusers*, Spon Press, London and New York, UK and USA.
- Çelebi, G., Kılıç, M., 2007. Nail and Screw Withdrawal Strength of Laminated Veneer Lumber Made Up Hardwood and Softwood Layers. *Construction and Building Materials*, 21(4), 894-900.
- Çolak, S., Nemli, G., Demirkir, C., Aydın, İ., Demirel, S., 2011. Utilization Potential of Waste From Window Joints for Particleboard, *Journal of Composite Materials*, 45, 29-37.
- Dimon, M.N., Hashim, A.W.I., Hamid, S.Z.A., Harun, M., Rahman, F.A., Adzim, S.D.A.M., Kit, M.H., 2009. Normal Incidence Sound Absorption Coefficient Of Direct Piercing Carved Wood Panel With Star And Diamond Dominated Geometric Patterns, *Proceedings of ACOUSTICS*, Adelaide, Australia.
- Döngel, N., 2005. *Ahşap Ve Ahşap Esaslı Döşeme Kaplama Malzemelerinin (Parke) Teknik Özellikleri*, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 61s.
- DPT, 2014. *Sürdürülebilir Orman Yönetimi, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Onuncu Kalkınma Planı*, Ankara.
- Erol, H.B., 2006. *İç Mekanda Malzeme Kullanımında Akustik Performans Kriterleri*. Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 150s.

- Ersoy, S., 2007. *Endüstriyel Çay Yaprak Fiber Atıklarının Ses Yutum Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 63s.
- FAO, 1997. *State of The World's Forests*, M-30, ISBN 92-5-103977-1, Rome, Italy.
- Fathı, M., 2014. *İç Mekan Tasarımında Farklı Pamuk Tekstil Ürünlerin Akustik Performans Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 83s.
- Gelen, M., 2016. *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Akustik Malzemeler Ve Malzeme Özelliklerinin Akustik Parametrelere Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 85s.
- Ghofrani, M., Ashori, A., Rezvani, M.H., and 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.
- Gökmen, H., 1973. *Kapalı Tohumlular Angiospermae*, OGM Yayın No. 564/53. Şark Matbaası, Ankara.
- Green, D.W., Winandy, J.E., Kretschmann, D.E., 1999. *Mechanical Properties of Wood (General technical report)*, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Güler, C., Subaşı, S., 2012. *Karbon ve Cam Lifi ile Güçlendirilmiş Lamine Sarıçam (Pinus Sylvestris L.)*. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi Özel Sayı*. Kahramanmaraş. s.78-82.
- Güzey, Z., 2014. *Viyola Yapımında Kullanılan Akçaağaç ve Kavak Ağacının Karşılaştırılması*. Sanatta Yeterlik Tezi. Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul. 93s.
- Halligan, A.F., Schiewind, A.P., 1974. *Prediction of Particleboard Mechanical Properties at Varios Moisture Content*, *Wood Science Technology*, 8, 68-78.
- Hallstrom, S., Grenstedt, J.L., 1997. *Failure Analysis of Laminated Timber Beams Reinforced with Glass Fiber Composites*. *Wood Science And Technology*. 31: 17-34.
- Hong Zhou, B.L., Huang, G., 2007. *A Novel Impedance Matching Material Derived From Polymer Micro-Particles*, *J. Materials Science*, 42, 199-206.
- Issa C.A., Kmeid, Z., 2005. *Advanced wood engineering: glulam beams*. *Journal of Construction and Building Materials*, 19(2): 99-106.
- Kabir, M.F., Daud, W.M., Khalid, K., Sidek, H.A., 1998. *Effect Of Moisture Content And Grain Direction On The Dielectric Properties Of Rubber Wood At Low Frequencies*, *Holzforschung* 52 546-52.

- Kamke, A.F., Zylkowsky, S.C., 1989. Effects of Wood –Based Panel Characteristics on Thermal Conductivity, *Forest Products Journal*, 39, 5, 39-24.
- Kang, C., Matsumura, J., Oda, K., 2006. A Comparison of the Standing Wave and Two Microphone Methods in Measuring the Sound Absorption Coefficient of Wood, *Journal of Faculty Agr. Kyushu University*, 51 (1): 1-4.
- Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Martiandi, B., and Hadi, Y., 2012. Development Of Particleboard From Tropical Fast-Growing Species For Acoustic Panel. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 64-69.
- Kavraz, M., 2008. Salonların Tasarımında Malzeme Seçimi, 4. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi (12-13-14 KASIM)*: 142-156.
- Kaya, A.İ., 2015. *Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 239s.
- Kayacık, H., 1963. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 93*.
- Kılıç, M., Burdurlu, E., Usta, İ., Berker, U.Ö., Oduncu, P., 2006. Comparative Analysis of the Nail and Screw Withdrawal Resistances of Fir (*Abies Mill.*), Cherry (*Prunus avium L.*), Walnut (*Juglans Regia L.*) and Oak (*Quercus L.*) Wood, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 2 (2): 61–75.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi, A., 2002. The Development Of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers, 157-166 in High Performance Structures and Composites 4, High Performance Structures and Materials, Edited by: C. A. Brebbia, and W. P. De Wilde.
- Küçükali, M., 2010. *Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Örme Kumaşlar*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 118s.
- Lakany, M. H., 2004. 22nd Session IPC, Abstracts of Submitted Papers, FAO Rome, Italy.
- Lewis, W.C., 1967. Thermal conductivity of wood-base fiber and particle panel materials, research paper FPL 77, USDA. Forest Service Forest Products Lab., Madison, Wis.
- Maekawa, Z., Lord, P., 1994. Environmental and Architectural Acoustics, E & FN SPON. London, 11-12.
- Maloney, T.M., 1970. Resin Distribution in Layered Particleboard, *Forest Products Journal*, 20, 43-52.
- Mehta, M., Johanson, J., Rocafort, J., 1999. Architectural Acoustics Principles And Design, USA: Merrill Prentice Hall, ss. 260-339.
- Meriç, H., 2009. *Üç Farklı Melez Kavak Klonundan Fenol Formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilmiş Tabakalanmış Kaplama Kerestelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş. 64s.

- Mohammad, J.I., Johari, N., Fouladi, M.H., 2010. Numerical Investigation on the Sound Absorption Coefficients of Malaysian Wood, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA, Sydney, Australia.
- Muslu, M., Sönmez, A., 2017. İç Dekorasyonda Kullanılan Sapsız Meşe (*Quercus Petraea* L.) Ve Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Ağaç'larında Kesiş Yönü ve Su Bazlı Vernik Türünün Ses Geçiş Kaybına Etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 6 (2017): 338-344.
- Muslu, M.S., 2013. *Ahşap Esaslı Duvar Kaplama Malzemelerinin Ses Geçiş Kayıplarının Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 204s.
- Muslu, M.S., 2021. İç Mekanda Kullanılan Bazı Ahşap Esaslı Kompozit Levha Türlerinde Ses Yutma Katsayısının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi* 2021;1-1. DOI: 10.2339/politeknik.906275.
- Nor, M.J.M., Jamaluddin, N., Tamiri, F.M., 2003. A Preliminary Study Of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibres, *Electronic Journal Technical Acoustics*, 3: (2003).
- Obataya, E., Norimoto, M., Gril, J., 1998. The Effects Of Adsorbed Water On Dynamic Mechanical Properties Of Wood, *Polymer (Guildf)*. 39 3059–64.
- Obataya, E., Ono, T., Norimoto, M., 2000. Vibrational Properties Of Wood Along The Grain, *J. Mater. Sci.* 35 2993–3001.
- Odabaş, E., Gül, Z.S., Çalışkan, M., 2011. Doğramacızade Ali Paşa Camii'nin Akustik Ölçümlerle Değerlendirilmesi, *9.Ulusal Akustik Kongresi*, Ankara.
- Oliveira, F.G.R., Sales, A., 2006. Relationship Between Density And Ultrasonic Velocity In Brazilian Tropical Woods, *Bioresour. Technol.* 97 2443–6.
- Olivera, F., Candian, M., Lucchette, F., 2014. Moisture Content Effect On Ultrasonic Velocity In *Goupia Glabra*, *J. Indian Acad. Appl. Psychol.* 40 327–8.
- Özgüven H.N., 2008. Gürültü Kontrolü, Endüstriyel ve Çevresel Gürültü, Türk Akustik Derneği- Teknik Yayınları, İstanbul.
- Öztürk, V., 2019. *Ahşap Esaslı Akustik Kompozit Panellerin Bazı Teknolojik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 69s.
- Öztürk, V., İmirzi, H.Ö., 2017. Ahşap Esaslı Akustik Kompozit Panellerin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması. *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2017 Cappadocia / Turkey)*., Nevşehir, Türkiye.
- Özyurt, H., 2020. Design And Properties Of Composite Sustainable Building Material By Using Waste HDPE. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (3), 777-782.

- Özyurt, H., 2015. *Kavak Kaplama İle Üretilen Tabakalı Kaplama Kerestelerin Cam Elyaf Dokuma Kullanılarak Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 90s.
- Sancak, M., 2008. *Monoblok Dolu İç Mekân Kapılarının Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak. 82s.
- Seçgin, A., İhtiyaroğlu, Y., Kara, M., ve Ozankan, A., 2017. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Ses Yutma Katsayılarının Farklı Sıcaklık Koşulları Altındaki Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi. *18. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu (5-7 Temmuz)*, Trabzon.
- Sirel, Ş., 2000. Yapı Akustiğinde 30 Terim 30 Tanım. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, Kitapçık No:9; İlk Baskı: 20 Şubat 2000, İstanbul.
- Smardzewski, J., Batko, W., Kamisinski, T., Flach, A., Pilch, A., Dziurka, D., and Majewski, A., 2014. Experimental Study Of Wood Acoustic Absorption Characteristics. *De gruyter*, 68(4), 467-476.
- Smardzewski, J., Kamisinski, T., Dziurka, D., Mirski, R., Majewski, A., Flanch, A., and Pilch, A., 2015. Sound Absorption Of Wood-Based Materials. *Holzforchung*, 4(69), 431-439.
- Tanrıverdi, F., 1977. Huşların (Betula L.) Doğu Anadolu Bölgesinde Doğal Yayılış Alanları ve Peyzaj Mimarisinde Kullanılış Olanakları Üzerinde Bir Araştırma. *A.Ü. Ziraat Fak. Dergisi*, 8, 1.
- TS 2477, 1976. Odunun Çarpmada Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13446, 2005. Ahşap Esaslı Levhalar-Bağlayıcıların Geri Çıkma Kapasitesinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 310, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar, Eğilme Dayanımı ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 317, 1999. Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 322, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 323, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, TSE, Ankara.
- Ulupınar, M., 1998. *Lamine Edilmiş Melez Kavak (Populus Euramericana) 'ın Teknolojik Özelliklerinin Tesbiti*. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 92s.
- URL-1. <http://www.zamandayolculuk.com/html-3/sesdalgasi.htm>
- URL-2. <https://www.baglamaci.com/baglama-yapimi/enstruman-yapimi-ve-fizik/ses-fizigi-temel-bilgileri.html>

- URL-3. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/cevresel-gurultu-olcum-ve-degerlend-rme-klavuzu-20180209145104.pdf>
- URL- 4. <https://cnx.org/contents/N4kemM6L@2/Doppler-Effect-and-Sonic-Booms>
- URL-5. <http://www.karmabilgi.net/sesin-yansimasi/>
- URL-6. <https://www.trimline.com.tr/tr/service/interesting-facts/3/akustik>
- URL-7. <https://insapedia.com/linolyum-kaplama-nedir/>
- URL-8. <https://www.izoguard.net/isi-yalitim-kecesi-fiyatlari>
- URL-9. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/84ce4bb65d328ec_ek.pdf
- URL-10. <https://merlab.metu.edu.tr/tr/termal-iletkenlik-analiz-cihaz-tic>
- URL-11. [https://kavakcilik.ogm.gov.tr/Yayinlar/Muhtelif%20Yay%C4%B1nlar \(Türkiye'de Kavak Yetiştirme \(Fidanlık-Ağaçlandırma-Koruma-Hasılat-Ekonomi-Odun Özellikleri\).pdf](https://kavakcilik.ogm.gov.tr/Yayinlar/Muhtelif%20Yay%C4%B1nlar%20(Turkiye'de%20Kavak%20Yetistirme%20(Fidanlik-Agaclandirma-Koruma-Hasilat-Ekonomi-Odun%20Ozellikleri.pdf)
- Urry, D.W., Xu, J., Wang, W., Hayes, L., Prochazka, F., and Parker, T.M., 2006. Development of Elastic Protein-Based Polymers as Materials for Acoustic Absorption, Bioelastics Research, Ltd. United States.
- Uyanık, E., 1995. *Measurement and Evaluation of Acoustic Properties Domestic Building Materials*. Master of Science Thesis, The Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara. 109s.
- Verkasalo, E., Heräjärvi, H., 2002. Potential of European Birch Species for Product Development of Veneer and Plywood- Recovery, Grades and Mechanical Properties and Future Market Requirements, *Forest Product Industry*, 52, 40-51.
- Wang, C.N., Torng, J.H., 2001. Experimental Study Of The Absorption Characteristics Of Some Porous Fibrous Materials, *Applied Acoustics*, 62, 447-459.
- 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.
- Yang, T.L., Chiang, D.M., Chen, R., 2001. Development of a Novel Porous Laminated Composite Material for High Sound Absorption, *Journal of Vibration Control*, 7 (5): 675–678.
- Yano, H., 1994. The Changes in the Acoustic Properties of Western Red Cedar due to Methanol Extraction, *Holzforchung* 48 491–5.
- Yılmaz, C., 2019. *Atık Kâğıtlar İle Üretilmiş Ahşap Esaslı Panellerin Bazı Teknolojik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 90s.
- Yoshikawa, S., 2007. Acoustical Classification of Woods for String Instruments, *Journal of the Acoustical Society of America*, 122 (1): 568-573.

Yüksel Can, F.Z., 2008. Oditoryum Akustiği Ders Notları, İstanbul.

