

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEMELERİN
AKUSTİK ÖZELLİKLERİ VE
KARŞILAŞTIRMALI
DEĞERLENDİRİLMESİ

Adem ÇELİMLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEMELERİN AKUSTİK
ÖZELLİKLERİ VE KARŞILAŞTIRMALI
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Adem ÇELİMLİ tarafından hazırlanan tez çalışması 18.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ferhan HASMADEN, Üye
Özyeğin Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Neşe AKDAĞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Sürdürülebilir Malzemelerin Akustik Özellikleri ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Adem ÇELİMLİ

İmza



*Aileme
ve
eşime*

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca bilgisini ve tecrübesini paylaşan, desteğini her zaman hissettiğim danışmanım Prof. Dr. Neşe AKDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezi bitirmem konusunda beni destekleyen ve tez çalışması boyunca her türlü soruma sabırla ve özenle cevap veren sevgili meslektaşım ve arkadaşım Mimar Berat YAZICI'ya teşekkür ederim.

İş hayatında da birlikte çalışmaktan gurur duyduğum, bilgi ve tecrübesini paylaşmaktan sakınmayan, tez çalışmamda bana destek olan Jeoloji Mühendisi Muhammed ASLANTATAR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamı tamamlayabilmem için maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili ailem; annem Çerkez ÇELİMLİ, babam Cemil ÇELİMLİ, kardeşim Aydanur ÇELİMLİ ve bu süreçte maddi manevi her türlü zorluğu benimle birlikte üstlenen sevgili eşim Bahar SARRAF ÇELİMLİ'ye çok teşekkür ederim.

Adem ÇELİMLİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xvi
HARİTA LİSTESİ	xviii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ	1
2 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK VE AKUSTİK	6
2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı	6
2.2 Sürdürülebilirlik ve Mimarlık İlişkisi	9
2.3 Sürdürülebilir Sertifikalarda Akustiğin Yeri.....	10
3 SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEMELERİN AKUSTİKTE KULLANIM ALANLARI	16
3.1 Hacim Akustiğinde Yutuculuğu Etkilediği Parametreler	19
3.2 Malzemelerin Gürültü Denetimi ve Hacim Akustiğinde Kullanım Alanları	20
4 SÜRDÜRÜLEBİLİR AKUSTİK MALZEMELERİN SINIFLANDIRMASI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	24
4.1 Malzemelerin Akustik Performansını Belirleyen Faktörler	24
4.2 Sürdürülebilir Malzemelerin Sınıflandırması ve Akustik Özellikleri.....	26

4.2.1 Geri Dönüşümlü Atık Malzemeler ve Akustik Özellikleri.....	28
4.2.2 Doğal Akustik Malzemeler ve Akustik Özellikleri.....	60
4.3 Sürdürülebilir Akustik Malzemelerin Teknik Özellikleri.....	128
4.3.1 Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	138
4.3.2 Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Ses Yutma Katsayısının FrekanslaraGöre Değerlendirilmesi.....	163
4.3.3 Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Geleneksel Malzemelerle Karşılaştırılması.....	169
4.3.4 Sürdürülebilir Malzemeler ile Geleneksel Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	171
5 SONUÇ	175
KAYNAKÇA	180
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	193

SİMGE LİSTESİ

Ab	Birimlerin toplam yutuculuğu
Ø	Çap
dB	Desibel (Ses Basınç Düzeyi Birimi)
A	Hacmin Toplam Yutuculuğu
Ah	Havanın toplam yutuculuğu
Hz	Hertz
V	Hacmin büyüklüğü
α_i	Her bir oktav bant için 1/3 oktav bant ses yutma katsayısı
kHz	Kilohertz
kg	Kilogram
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
α	Ses Yutma Katsayısı
α_w	Ses yutuculuğunun derecelendirilmesi
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
Sn	Saniye
Ay	Yüzeylerin toplam yutuculuğu

KISALTMA LİSTESİ

BM:	Birleşmiş Milletler
Breeam	Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi
B	Bitkisel Kaynaklı Doğal Malzeme
BM	Bitkisel Meyve Kaynaklı Doğal Malzeme
BY	Bitkisel Yaprak Kaynaklı Doğal Malzeme
BG	Bitkisel Gövde Kaynaklı Doğal Malzeme
BK	Bitkisel Kabuk Kaynaklı Doğal Malzeme
BT	Bitkisel Tohum Kaynaklı Doğal Malzeme
CASBEE	Binaların Çevresel Etkinliği için Detaylı Değerlendirme Sistemi
CWC	Clean Washington Center
CIWMB	California Entegre Atık Yönetim Kurulu
CO ₂	Karbondioksit
C80	Netlik
D50	Ayırt Edilebilirlik
D-B	Delany ve Bazley
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EDT	Erken Düşme Süresi
G	Toplam Ses Düzeyi
G-P	Garai ve Pompoli
GD	Geri Dönüşümlü Atık Malzemeler
GBCA	GREEN STAR, Avustralya Yeşil Bina Konseyi
H	Hayvalsal Kaynaklı Doğal Malzeme
ISO	International Organization for Standardization
IEQ	İç Ortam Kalitesi

JCA	Johnson-Champoux-Allard
JaGBC	Yeşil Bina Konseyi
JSBC	Japonya Sürdürülebilir Bina Konsorsiyumu
LEED	Yeşil Bina Derecelendirme Sistemi
LF80	Yanal Enerji Oranı
NaOH	Sodyum Hidroksit
NSW	Çevre ve İklim Değişikliği Departmanı
NRC	Gürültü Azaltma Katsayısı
SAA	Ses Yutum Ortalaması
STI	Konuşma İletim Katsayısı
SBTool	Bina Sürdürülebilirlik Performansının Değerlendirilmesi
SOM	Sürdürülebilir Olmayan Malzemeler
T30	Yansıma süresi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çevresel sorunların nedenleri.....	6
Şekil 2.2 Sürdürülebilirlikteki üç ana kavram	9
Şekil 2.3 Sürdürülebilir tasarım ve kirliliği önlemek için kavramsal çerçeve.....	10
Şekil 2.4 Yapım malzemelerinin yaşam döngüsü	11
Şekil 2.5 Sertifikasyon sistemlerinde kategorizasyon oranları ve akustiğin yeri ..	15
Şekil 3.1 Direkt ve ses köprüsü yoluyla ses iletimleri.....	17
Şekil 3.2 Akustik malzemenin ses iletimini azaltmak için izlenebilecek yollar ...	17
Şekil 4.1 Kalınlığının Ses Yutum Kat sayısına Etkisi	24
Şekil 4.2 Yoğunluğun ses yutum katsayısına etkisi	25
Şekil 4.3 Hava boşluğunun ses yutum katsayısına etkisi	25
Şekil 4.4 Sürdürülebilir akustik yalıtım malzemeleri	27
Şekil 4.5 Tekstil atıkları.....	29
Şekil 4.6 Tekstil atıklarının ayrıştırılması	30
Şekil 4.7 Ahşap kalıp ile şekillendirilmiş malzeme	31
Şekil 4.8 AFD 1000 - ses empedans tüpü.....	31
Şekil 4.9 100 ila 4000 Hz frekanslarda ortalama ses yutum kat sayı	32
Şekil 4.10 Ahşap atıklar.....	33
Şekil 4.11 Ahşap atık malzemelerin kullanım alanları.....	34
Şekil 4.12 Yonga levha türüne ait kaplama çeşidi ve vernik türü deney sonuçlarının karşılaştırması	35
Şekil 4.13 Kontrplak-vernik türü-sentetik reçineli levha türü deney sonuçlarının karşılaştırması	37
Şekil 4.14 Empedans tüpü ölçümleri için ahşap numuneler: (a) meşe; (b) huş ağacı; (c) çam; (d) granül	37
Şekil 4.15 160–5000 Hz aralığındaki frekanslarda farklı kalınlıklara sahip ahşap numunelerden ses emme katsayısı (α) ölçümleri: (a) çam; (b) huş ağacı; (c) meşe	38
Şekil 4.16 400 °C, 500 °C ve 600 °C ısıtılma işlem görmüş sıcaklık oranlarına sahip granül kömür numunelerinin ses yutuculuk katsayısı (α): (a) çam; (b) huş ağacı; (c) meşe	39
Şekil 4.17 Metal atıklar	40

Şekil 4.18 Metal atıkların sınıflandırılması	41
Şekil 4.19 Hurda metal geri dönüşüm süreci.....	41
Şekil 4.20 Gözenekli metal malzeme yutucu değerleri	42
Şekil 4.21 Membran yutucu metal malzeme yutucu değerleri	43
Şekil 4.22 Rezonans yutucu metal malzemenin yutucu değerleri	43
Şekil 4.23 Kağıt atıklar.....	44
Şekil 4.24 Atık kağıdın geri dönüşüm süreci	46
Şekil 4.25 Eritilmiş seküloz.....	47
Şekil 4.26 Empedans tüpü ile ölçülen erimiş selülozun yutum katsayısı.....	48
Şekil 4.27 Tutkal ile gevşek malzeme ile elde edilen sert malzeme	48
Şekil 4.28 Akustik ölçümler için kullanılan rijit iskeletli numuneler.....	49
Şekil 4.29 Rijit iskelet selülozunun yutma katsayısı	49
Şekil 4.30 İnşaat malzemeleri döngüsü	50
Şekil 4.31 İnşaat yıkıntı atıklarının sınıflandırması.....	51
Şekil 4.32 Parçacık boyutlarına göre numune örnekleri.....	52
Şekil 4.33 Numunelerin ve betonun ses yutum katsayıları	52
Şekil 4.34 3 numunenin farklı kalınlıktaki ses yutum katsayıları	53
Şekil 4.35 Kauçuk geri dönüşüm ve parçalara ayırma işlemi	55
Şekil 4.36 Atık kauçuktan üretilen malzeme.....	56
Şekil 4.37 Atık kauçuktan üretilen malzemenin ses yutum katsayısı.....	57
Şekil 4.38 Geri dönüşümlü lastik granüller ebatları ve boyutları	57
Şekil 4.39 Empedans tüpündeki yutum katsayısının ölçümü için kullanılan numune	58
Şekil 4.40 En iyi performans gösteren örneklerin ses yutma katsayısı spektrumları	60
Şekil 4.41 Doğal malzemelerin sınıflandırılması	61
Şekil 4.42 Bu çalışmada kullanılan empedans tüpünün şematik görünümü	63
Şekil 4.43 Hurma lifinin farklı kalınlıklarda ses yutum katsayıları	65
Şekil 4.44 (a) Ham yağ palmyesinin boş meyve salkımı (b) 20 mm (c) 100 mm ses yutucu örnekler numuneler	66
Şekil 4.45 Ses yutum katsayısının ölçümü için deney düzeneği	67
Şekil 4.46 10 mm kalınlığındaki numune için farklı yoğunluklara sahip ses yutma katsayısı.....	68
Şekil 4.47 Farklı kütle ve kalınlıklara sahip ses yutum değerleri.....	69
Şekil 4.48 Farklı kalınlıklara sahip, yoğunluğu farklı olan numunelerin ses yutum değerleri	69

Şekil 4.49 Yoğunluğu 234 kg / m ³ ,kalınlıkları birbirinden farklı numunelerin ses yutum katsayıları.....	69
Şekil 4.50 Malzemenin aynı kalınlıktaki 50 mm taş yünü ile karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.51 Empedans tüpündeki numunenin arkasındaki hava boşluğu için kurulum	70
Şekil 4.52 292,3 kg/ m ³ yoğunluğunda 20 mm ve 20 hava boşluğuna sahip, 40 mm ve 0 hava boşluğua sahip 2 farklı numunenin ses yutum katsayıları ..	71
Şekil 4.53 Uzun ve kısa kapok lifli numunelerin ses yutma davranışı. Kalınlık: 30 mm; Yığın yoğunluğu: 10 kg/m ³	73
Şekil 4.54 Cam yünü ve kapok lifinin ses yutum katsayısı	74
Şekil 4.55 20 mm kalınlığında taze Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı	76
Şekil 4.56 Farklı kalınlıklara sahip taze Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayılarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.57 30 mm kalınlığında endüstriyel olarak hazırlanmış Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı	77
Şekil 4.58 50 mm kalınlığında endüstriyel olarak hazırlanmış Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı	77
Şekil 4.59 Çay yaprağı lifi.....	78
Şekil 4.60 Çay yaprağı lifli malzemesinin ses yutuculuğu.....	79
Şekil 4.61 Akçaağaç yaprakları toplama ve ayrıştırım.....	80
Şekil 4.62 Akçaağaç yapraklarının ses yutma katsayısı	81
Şekil 4.63 Akçaağaç yapraklarının ses yutma katsayısı	81
Şekil 4.64 Muar, Johor, Malezya'daki bir ananas çiftliğindeki ananas bitkileri....	83
Şekil 4.65 Ananas yaprağı lifinin elde edilme süreci	83
Şekil 4.66 Empedans tüpü hava boşluğu pistonu	84
Şekil 4.67 Yoğunluk ve kalınlık ile ananas yaprağı lifinin ses yutma özelliği	84
Şekil 4.68 Kalınlık ve kütleyle sahip altı numunenin ses yutma özelliği	85
Şekil 4.69 Farklı hava boşluğuna ve kütleyle sahip iki numunenin ses yutma özelliği	85
Şekil 4.70 Farklı hava boşluğuna ve kütleyle sahip iki numunenin ses yutma özelliği	86
Şekil 4.71 Farklı hava boşluğuna ve kütleyle sahip iki numunenin ses yutma özelliği	86
Şekil 4.72 Ananas yaprağı lifinin ses yutma katsayısının farklı yoğunluklarda ve aynı kalınlıktaki taş yünleri ile karşılaştırılması	87
Şekil 4.73 Kenaf lifinin 10 mm ,20 mm ve 30 mm kalınlığında ses yutma katsayısı	88

Şekil 4.74 Kalınlığı 20 mm olan Kenaf lifi numunesinin 10 mm ,20 mm ve 30 mm hava boşlu bırakılarak ölçülen ses yutma katsayısı	89
Şekil 4.75 Kalınlığının ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi	90
Şekil 4.76 Yoğunluğunun ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi	91
Şekil 4.77 Kenevir lifinin 3 farklı lif göre ses yutum katsayısı kıyaslaması	91
Şekil 4.78 2 cm uzunluğunda bambu (a) mikro delikli (b).....	92
Şekil 4.79 Mikro delikler olmadan 2 cm bambu için ses yutma katsayısı ve frekans grafiği.....	93
Şekil 4.81 Kırılan Su kamışı malzemesinin ortalama boyutu	94
Şekil 4.82 Karışık malzemenin ses yutum katsayıları	95
Şekil 4.83 Tek kabuk malzemenin ses yutum katsayıları.....	95
Şekil 4.84 Tek ahşap malzemenin ses yutum katsayıları	96
Şekil 4.85 Yutucu numunenin hazırlanış sürecinin akış şeması.....	97
Şekil 4.86 Poliüretan kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı.....	97
Şekil 4.87 Polyester kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı	98
Şekil 4.88 Poliüretan kullanılarak ölçülen ses yutum katsayısı.....	98
Şekil 4.89 Yoğunluğun ses yutuculuğu üzerindeki etkisi.....	99
Şekil 4.90 Şeker kamışı ve dokuma kumaş karşılaştırması.....	99
Şekil 4.91 Güney İtalya'nın tepelerinden toplanan süpürge lifi.....	100
Şekil 4.92 Ortalama çapı 3,0 mm olan parçalanmış süpürge lifi.....	100
Şekil 4.93 Ses yutum katsayısı ölçümleri için Kundt Tüpü	101
Şekil 4.94 6 cm kalınlığındaki numunelerin ses yutum katsayısı ölçümleri	101
Şekil 4.95 8 cm kalınlığındaki numunelerin ses yutum katsayısı ölçümleri	102
Şekil 4.96 12 cm kalınlığındaki numunelerin ses yutum katsayısı ölçümleri	102
Şekil 4.97 Arenga pinnata lifinin ses yutuculuğu.....	103
Şekil 4.98 Numune hazırlama adımları	104
Şekil 4.99 15 mm kalınlığındaki numunenin ses yutum katsayısı	104
Şekil 4.100 30 mm kalınlığındaki numunenin ses yutum katsayısı	105
Şekil 4.101 Hava boşluğunun yucca liflerinin ses emme katsayısı üzerindeki etkisi 15 mm	105
Şekil 4.102 Hava boşluğunun yucca liflerinin ses emme katsayısı üzerindeki etkisi (b) 30 mm.....	106
Şekil 4.103 Mısır kabuğu numunesinin hazırlanma süreci.....	107
Şekil 4.104 Mısır kabuğu numunesinin 500 – 3500 Hz aralığındaki ses yutum katsayıları.....	107
Şekil 4.105 Çeşitli kalınlık aralıklarında 100 mm çapında Test Numunesi Kalıpları	108

Şekil 4.106 Hesaplamalı ve deneysel sonuçların karşılaştırması	109
Şekil 4.107 55:45 numunenin ses yutum katsayısı	109
Şekil 4.108 60:40 numunenin ses yutum katsayısı	109
Şekil 4.109 65:35 numunenin ses yutum katsayısı	109
Şekil 4.100 Ağaç kabuğu numunesi için Ses Yutma Katsayısı	110
Şekil 4.111 Ağaç kabuğu A numunesinin ses yutma katsayısı	110
Şekil 4.112 Ağaç kabuğu B numunesinin ses yutma katsayısı	110
Şekil 4.113 Ağaç kabuğu C numunesinin ses yutma katsayısı	111
Şekil 4.114 Ağaç kabuğu D numunesinin ses yutma katsayısı	111
Şekil 4.115 Ağaç kabuğu E numunesinin ses yutma katsayısı	111
Şekil 4.116 Ağaç kabuğu F numunesinin ses yutma katsayısı	111
Şekil 4.117 (a) Durian meyvesi ve (b) Durian kabuğundan elde edilen atıklar ..	112
Şekil 4.118 Empedans tüpü yöntemi kullanılarak ses yutma ölçümü	113
Şekil 4.119 Farklı kalınlıklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($p = 214 \text{ kg/m}^3$) ...	113
Şekil 4.120 Farklı kalınlıklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($p = 285 \text{ kg/m}^3$) ...	114
Şekil 4.121 Farklı yoğunluklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($t = 20 \text{ mm}$)	114
Şekil 4.122 Farklı yoğunluklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($t = 30 \text{ mm}$)	115
Şekil 4.123 Çalışma için kullanılan küspe numuneleri	116
Şekil 4.124 Kalınlığın ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi	116
Şekil 4.125 Hava boşluğunun ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi	117
Şekil 4.126 Hava boşluğunun ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi	117
Şekil 4.127 Posidonia topları örnekleri (a,b)	118
Şekil 4.128 Deneysel ölçümler ve analitik model arasındaki karşılaştırma	118
Şekil 4.129 Yoğunluk değiştikçe Posidonia liflerinin ve iki geleneksel ses yutucu malzemenin yutuculuk katsayısı	119
Şekil 4.130 Polonya dağ koyununu	120
Şekil 4.131 Numunelerin üretim şeması	120
Şekil 4.132 Ring iplikten üretilen püsküllü kumaşlar	120
Şekil 4.133 Çekirdek kilim ipliğinden üretilen püsküllü kumaşlar	121
Şekil 4.134 Yün keçeler için ses yutma katsayısı	122
Şekil 4.135 Ring iplikten yapılmış püsküllü kumaş için ses yutma katsayısı	123
Şekil 4.136 Ring iplikten yapılmış püsküllü kumaş için ses yutma katsayısı	123
Şekil 4.137 Çekirdek halı ipliğinden yapılmış püsküllü kumaş için normal olayda ses emme katsayısı	123
Şekil 4.138 8 adet numunenin NRC değeri	124
Şekil 4.139 Tavuk tüyü ses yutum katsayısı	125

Şekil 4.140	Atık ördek tüyü ses yutma özelliği.....	127
Şekil 4.141	Kompozit yoğunluğunun ses yutma özelliklerine etkisi	127
Şekil 4.142	Hava boşluğu derinliğinin ses yutma özelliklerine etkisi.....	128
Şekil 4.143	Farklı ses yutma sınıflarına ait referans eğriler	131
Şekil 4.144	Geri dönüştürülmüş atık malzemelerin NRC değerleri	141
Şekil 4.145	Geri dönüştürülmüş atık malzemeler ses yutum sınıfı adetleri	142
Şekil 4.146	Geri dönüştürülmüş atık malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı.....	143
Şekil 4.147	Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri	145
Şekil 4.148	Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri	146
Şekil 4.149	Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıf dağılımı	147
Şekil 4.150	Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri.....	149
Şekil 4.151	Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf adetleri	149
Şekil 4.152	Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı	150
Şekil 4.153	Gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri.....	152
Şekil 4.154	Gövde kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf adetleri	153
Şekil 4.155	Gövde kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı	154
Şekil 4.156	Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri	156
Şekil 4.157	Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri	157
Şekil 4.158	Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı	158
Şekil 4.159	Tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri	160
Şekil 4.161	Tohum kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı	161
Şekil 4.162	Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri.....	162
Şekil 4.163	Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı	163
Şekil 4.164	En iyi performans gösteren malzemelerin ses yutma çarpanları	173

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Malzemelerin gürültü denetimi ve hacim akustiğinde kullanım alanları	21
Tablo 4.1 Sürdürülebilir tekstil atıkları kullanım alanları.....	29
Tablo 4.2 Yonga levha türüne ait deney sonuçları.....	35
Tablo 4.3 Kontrplak sentetik reçineli levha türüne ait deney sonuçları.....	36
Tablo 4.4 Atık kâğıtların sınıflandırılması.....	45
Tablo 4.5 Test edilen numunelerin özellikleri ve normal ortalama yutma katsayısı	58
Tablo 4.6 Üçte bir oktav bantlarda farklı hava aralıkları ile akustik yutma ölçümleri	64
Tablo 4.7 Kütle, kalınlık ve yoğunluğa sahip numunelerinin listesi.....	67
Tablo 4.8 Kapok lifinin yapı parametreleri.....	72
Tablo 4.9 Farklı yoğunlukta kapok lifini düzeneklerinin ses yutum katsayısı	72
Tablo 4.10 Farklı kalınlık ve kütle yoğunluklarına sahip kapok lifi numunelerin ses yutma katsayıları	73
Tablo 4.11 Taze Hindistan cevizi lifinin fiziksel özelliklerinin ölçülmesi	75
Tablo 4.12 Çay yaprağı lifinin fiziksel özellikleri	79
Tablo 4.13 Lamine akçaağaç yapraklarının ortalama ses yutma katsayısı	81
Tablo 4.14 Lamine akçaağaç yapraklarının ortalama ses yutma katsayısı	82
Tablo 4.15 Farklı Numunelerin test edilmesi için Kütle Yoğunluğu değerleri...	108
Tablo 4.16 Durian kabuğu liflerinin test numunelerinin parametreleri	112
Tablo 4.17 Dağ koyunu yününden yapılan malzemelerin özellikleri	121
Tablo 4.18 Ses yutma sınıflarına ait ağırlıklı ses yutma katsayısı değerleri.....	131
Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri	132
Tablo 4.20 Geri dönüştürülmüş atık malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı	142
Tablo 4.21 Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı	146
Tablo 4.22 Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı	150
Tablo 4.23 Gövde kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf sayısı....	153

Tablo 4.24	Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf sayısı.....	157
Tablo 4.25	Tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı	160
Tablo 4.26	Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı	163
Tablo 4.27	Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre durumu	164
Tablo 4.28	Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu	165
Tablo 4.29	Geleneksel malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu.....	170
Tablo 4.30	Sürdürülebilir malzemeler ile geleneksel malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması	171
Tablo 4.31	En iyi performans gösteren malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması	174

HARİTA LİSTESİ

Harita 4.1 İran’da hurma yetiştiriciliğinin yapıldığı yerler	62
---	-----------



Sürdürülebilir Malzemelerin Akustik Özellikleri ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Adem ÇELİMLİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Neşe AKDAĞ

Sürdürülebilirlik tanımına göre, bir ürünün sürdürülebilir olarak kabul edilebilmesi için, o ürünün üretildiği kaynakların sonraki nesiller için de kullanılabilir olmaya devam etmesini sağlaması gerekir. Böylece, sürdürülebilir bir ürünün olumsuz çevresel etkiler yaratmadan, atık ürünlere veya kirliliğe neden olmadan ve çalışanların veya toplumun sağlığını tehlikeye atmadan devamlı olarak üretilebilmesi mümkündür. İnsan sağlığı ve konforu için uygun akustik koşulları sağlayarak uygun ortamlar yaratmak amacıyla kullanılan ses yutucu malzemelerin çoğunlukla endüstriyel, zararlı yapay malzemelerden üretilmesi sürdürülebilirlik açısından bir çelişkidir. Bu çalışmada, mimari akustikte ses yutucu gereç olarak kullanılmak üzere günümüze değin geliştirilmiş olan sürdürülebilir doğal malzemeler araştırılmış ve sağladıkları ses yutma çarpanı değerleri, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu gereçlerin uygulanma biçimlerine bağlı olarak, alçak, orta ve yüksek frekanslarda sağladıkları yutuculuk değerleri açısından kalınlık, yoğunluk, hava boşluğu ve lif yapısına göre yeterliliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Endüstriyel yapay malzemelere (cam ve taş yünü) alternatif olarak literatür de yer bulan yeni malzemelerin ses yutucu yapıları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, sistemli bir inceleme yapmak üzere,

malzemeler doğal akustik malzemeler ve geri dönüştürülmüş atık malzemeler olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Doğal akustik malzemeler bitki ve hayvan gruplarına ayrılmış, bitkisel malzemeler ise meyve, yaprak, gövde, kabuk ve tohum olarak sınıflandırılmıştır. Sürdürülebilir akustik yalıtım malzemeleri 100 Hz ile 8 kHz frekans aralığında ses yutma katsayısı (α) ile birlikte gürültü azaltma katsayısı (NRC), ses yutma sınıflandırması (α_w) hesaplanıp kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı analizler sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak bu çalışmanın, sürdürülebilir akustik yalıtım malzemelerinin uygulamada tam olarak kullanımının sağlanması için, yangın ve ısı yalıtımı konusunda belirtilen kriterler kapsamında eksikliklerin incelenmesi ve tespit edilmesi ile gelecekte bu malzemelerde ulaşılması gereken noktaya ışık tutması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, doğal yapı malzemeleri, geri dönüştürülmüş atık malzemeler, ses yutma katsayısı, gürültü azaltma katsayısı.

ABSTRACT

Acoustic Properties and Comparative Assessment of Sustainable Materials

Adem ÇELİMLİ

Department of Architecture

Master of Science

Supervisor: Prof. Dr. Neşe AKDAĞ

According to the definition of sustainability, for a product to be considered sustainable, it must ensure that the resources from which it is produced continue to be available for subsequent generations. Thus, it is possible to continuously produce a sustainable product without creating negative environmental impacts, without causing waste products or pollution, and without jeopardising the health of employees or society. It is a contradiction in terms of sustainability that the sound absorbing materials used to create suitable environments by providing appropriate acoustic conditions for human health and comfort are mostly produced from industrial, harmful artificial materials. In this study, sustainable natural materials that have been developed so far for use as sound absorbing materials in architectural acoustics are analysed and their absorption multiplier values are evaluated comparatively. It is aimed to compare the adequacy of these materials in terms of thickness, density, air gap and fibre structure depending on the application area in terms of the absorption values they provide at low, medium and high frequencies. The sound absorption structures of new materials found in the literature as an alternative to industrial artificial materials (glass and rock wool) were examined. In order to make a systematic examination within the scope of the study, the materials were divided into two main groups as natural acoustic materials and

recycled waste materials. Natural acoustic materials were divided into plant and animal groups, and plant materials were classified as fruit, leaf, stem, shell and seed. The sound absorption coefficient (α), noise reduction coefficient (NRC) and sound absorption classification (α_w) of sustainable acoustic insulation materials in the frequency range of 100 Hz to 8 kHz were calculated and their usage possibilities were evaluated. Depending on the data obtained as a result of comparative analyses, this study is expected to shed light on the point to be reached in these materials in the future by examining and determining the deficiencies within the scope of the criteria specified in fire and heat insulation in order to ensure the full use of sustainable acoustic insulation materials in practice.

Keywords: Stainability, natural building materials, recycled waste materials, sound absorption coefficient, noise reduction coefficient.

1 GİRİŞ

Sürdürülebilirlik kavramının giderek yaygınlaştığı günümüzde, çevre kalitesinin korunması, çevresel kirliliğin önlenmesi ve kullanılan enerji kaynaklarında tasarruf sağlanabilmesi için yapı üretim sürecinde sürdürülebilirlik kavramı giderek önem kazanmaktadır. Yapı malzemelerinin kaliteli, fiziksel ve estetik ve maliyet yönünden uygun, aynı zamanda çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen, gerekli sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan malzemeler olması beklenmektedir. Bu doğrultuda, sürdürülebilirlik kavramı, doğal ve yapay çevredeki enerji kaynaklarının sürekliliğinin sağlanması olarak tanımlanmakta ve yapı malzemeleri üzerinde de etkili olmaktadır [1].

Günümüzde çoğu yapıda, temin etme kolaylığı ve sağladığı maliyet avantajları yüzünden beton ve plastik türevleri gibi geleneksel yapı malzemeleri tercih edilmektedir. Bu tür yapı malzemelerinin çevreye daha az duyarlı olmalarının nedeni, bu malzemelerin üretiminin çimento ve petrol gibi kimyasal hammaddelerin kullanımları sonunda geri dönüşüm ve yeniden kullanımlarının bitkisel ve hayvansal hammaddeli malzemelere göre daha zor olmasıdır [2]. Bu durum, özellikle yenilenebilir kaynaklara yönelimi artırmış ve mimariye “yeşil” bir karakter kazandırmaya yönelik bir yaklaşım ortaya çıkarmıştır.

Her geçen yıl nüfusun artması, sürdürülebilir olmayan bilinçsiz kaynak tüketimi ve kullanımı gibi nedenlerle son yıllarda döngüsel sisteme doğru bir geçiş yaşanmaktadır. En fazla atık üreten ve doğaya zarar veren sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dünyada insan var olduğundan beri korunmak ve barınmak için sürekli yapılar üretmekte ve malzemeyi biçimlendirme gereksinimi içerisinde bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yapı sektörüne yeni malzeme arayışları başlamış bu durum doğanın zamanla yok olmasına ve yaşanan küresel ısınmanın ana sebeplerinden biri olan CO² salınımının artışına neden olmuştur [3].

İnşaat malzemeleri, yapıların vazgeçilmez yapı taşları olmalarına rağmen, ömürleri boyunca kullanıcıyı ve çevreyi etkilemekte, enerji tüketimine ve CO² emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir, doğaya ve çevreye zarar vermeyen yapı malzemelerine gereksinim duyulmaktadır. Günümüzde tükenmekte olan kaynaklar düşünüldüğünde, yapıların daha sürdürülebilir tasarım ve malzeme birlikteliğiyle ortaya çıkması gerekmektedir.

Bu nedenle günümüzde birçok mimar ve ilgili diğer meslek gruplarında çalışan kişiler, yeni malzeme arayışlarına yönelerek, sürdürülebilir, doğaya daha az zararlı veya zararsız malzemeler üzerinde çalışmakta ve kendi ürünlerinde de bu malzemeleri tercih etmektedir. Tasarımlarda, insan sağlığı ve konforunun sağlanması önem taşıdığı için, insanın psikolojik yapısı, fizyolojik yapısı, öğrenim durumu, toplumsal konumu gibi birçok faktör mimari tasarımın ana kriterleri arasında yer alır. Mimari tasarımın her alt başlığı insan sağlığı ve konforu üzerine çalışır ve bu nedenle sürdürülebilir tasarım ile ilişkilidir.

Hayatın içinde çeşitli görev ve sorumluluklarla meşgul olan insan, bu uğraşları sürdürebilmek için birbirinden farklı fiziksel çevre koşullarına gereksinim duyarlar. İç ortam koşulları kendi fiziksel ihtiyaçlarını var eder, bu koşullar insanın çalışma kalitesini, yaşam kalitesi ve konfor düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, zihinsel aktivitenin yüksek olduğu eğitim ve ofis ortamlarında, iç ortam sıcaklığının dengede tutulması bilişsel ve konsantrasyon açısından uygun ortam koşulları yaratabilir. Bu noktada devreye yapı fiziği bilim dalı girer. Yapı fiziği, iç ortam koşullarını kullanıcıların ihtiyaçlarına göre, ses, ışık, nem, hava sıcaklığı gibi çevresel faktörleri analiz ve dizayn eder. Yapı fiziğinin alt disiplini arasında yer alan akustik tasarım, kullanıcıların işitsel konfor alanları sağlayarak sesin davranışını incelemektedir. Akustik tasarım sesin kontrollü dağılımı sağlamakla kalmayıp gürültü denetimini de amaçlar. Bu nedenle iç mekân konforu ses yalıtımıyla (sesin yutuculuğu, yansımaları, yayılması) beraber optimum düzeye getirilmesi hedeflenir. Bu sürecin doğru bir şekilde yürütmesi mimari tasarım kalitesini üst düzeye taşır [4].

Akustik ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki bu yaklaşım içerisinde sınırlı kalmayıp, sosyal sürdürülebilirlik boyutu altında kapsamlı bir yer tutar. Çünkü optimum düzeyde tasarlanmış iyi bir mekan, mekanın kalitesini ve kullanıcılarını

doğrudan etkiler. Akustik tasarımı ve gürültü denetimi yapılmış bir mekan bireylerin psikolojik sağlığı, sosyal ve genel yaşam memnuniyetini olumlu etki eder. Bu nedenle akustik konforun sağlanması teknik bir gereklilikle beraber mimarinin toplumsal sorumluluğunun yerine getirme aracı olarak değerlendirilir. Akustik tasarım aşamasında kullanılan malzemelerin üretim, geri dönüşüm ve doğal çevreye olan etkileri de sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda ele alınmalıdır. Doğal ve hayvansal yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, insan sağlığına ve düşük karbon ayak izine sahip akustik yapı malzemeleri hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sağlar. Akustik tasarım bu yönüyle, yalnızca işitsel konfordan ibaret olmayıp aynı zamanda doğal denge ve ekonomik kalkınma açısından da sürdürülebilirliğin ayrılmaz bir paydaşı haline gelir [5][6][7].

Sürdürülebilirlik kriteri açısından akustik doğal malzeme çalışmaları önem kazanmıştır. Sürdürülebilir doğal malzemeler, kendini yenileyebilen bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen, doğal çevreye saygılı sürdürülebilir malzemelerdir. Akustik tasarımında kullanılacak doğal malzemeler enerji verimliliğini artırırken, karbon ayak izini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra bu malzemelerin kullanımı akustik ve gürültü denetiminde estetik ve fonksiyonel açıdan yeni olanaklar sunmaktadır. Literatürde yapılan detaylı inceleme neticesinde sürdürülebilir akustik doğal malzemeler alanında yapılan çalışmalar oldukça eski yıllara dayanmadığı ve mimarlık alanı özelinde doğal akustik malzemelerle (küspe, kenevir, ananas yaprakları, koyun yünü) yapılan çalışmalar oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Sürdürülebilir doğal akustik malzemeler alanında yapılan araştırma ve incelemeler, yeni malzemelerin üretilmesi, mevcut malzemelere alternatif ve atıklardan elde edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin olanakları ve daha sürdürülebilir malzeme çözümlerin geliştirilmesi gibi konuları kapsamaktadır.

Çalışmada, literatür taraması kapsamında, sürdürülebilir alanda yapılan doğal akustik malzeme çalışmaları doğal lifler, yerel malzeme ve geri dönüştürülmüş malzemelerin üretilmesi olanakları tartışılıp akustik tasarımında kullanım olanakları ele alınmıştır. Sürdürülebilirlik kaygıları ve yerel malzeme alternatifleri sebebiyle tercih edilen malzemeler günümüzde yaygın olarak kullanılan geleneksel malzemeye kıyasla daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla sosyal sürdürülebilirlik bağlamında insan sağlığı ve konforunu ilgilendiren akustik tasarım

süreci, bitkisel ve hayvansal malzemelerin alternatifleriyle birlikte sürdürülebilir malzeme çözümleri ortaya koymakta ve bu malzeme ve çözümlerin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin gürültü denetimi açısından verimli olabilecek ulusal, uluslararası tez, makale, site incelenmiş olup birçok sürdürülebilir doğal hammaddeden elde edilen malzemeler hakkında bulgulara erişilmiştir. Sürdürülebilir doğal malzemeler ülkemiz de bulunan ve yetişen doğal malzemelerle sınırlanmamış dünya çapında yerelde var olan (Örneğin Malezya: Yağ palmyesi) doğal malzemelerle elde edilen sürdürülebilir doğal akustik malzemeler incelenmiştir. Aynı zamanda konuyu anlamak için incelenen türü farklı doğal malzemeler gruplaştırılmıştır. Teorik çalışmasının kapsamını oluşturan sistematik incelemede malzemelerin karşılaştırması yapılarak eksik bulguların akustik özelliklerinin potansiyel faydalarının araştırılması bir zorunluluktur.

- **Çalışmanın Amaç, Yöntem ve Hedefi**

Sürdürülebilirliğin gelişim göstermesiyle birlikte, sürdürülebilir inşa faaliyeti için doğal kaynaklarımızı korumak ve geleneksel malzemelerin zararlı etkilerini veya üretimlerindeki maliyetleri ve doğal kaynak kullanımını azaltmak için doğal yapı malzemelerinin kullanımı düzenli olarak değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin üretiminde kullanılan bitkisel kaynaklı kenevir, hayvansal kaynaklı koyun yünü, geri dönüştürülmüş atıklardan elde edilen tekstil hammadde seçeneklerini artırmak ve bunları geleneksel malzemeye alternatif olarak pazara sokabilmek önemlidir. Sürdürülebilirlik kapsamında literatürde var olan çalışmaların akustik ve gürültü kontrolü açısından olanakları hakkında bilgi vermek, gürültü kontrolü ve akustik yutum katsayılarına etki eden kriterlerin araştırılması, düşük – orta - yüksek frekanslara göre uygulama alanı hakkında uygun malzemenin yeterliliği, gürültü yutum katsayıları (NRC) - ses emilim ortalaması (SAA) - ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w) hesaplanıp malzemelerin akustik tasarım kullanımına alternatif olabileceği amaçlanmaktadır.

Bu araştırmanın temelini sürdürülebilirlik kavramı oluşturmaktadır. Daha sonra sürdürülebilir doğal akustik malzemenin ne olduğunu, kapsamını ve önemini açıklamak için geniş anlamda akustik tasarım kelimesine indirgenmiştir. Daha

sonra akustik tasarımın temelinin malzemelerin özellikleri olduğu görüldü. Bu malzemeler geri dönüştürülmüş atık malzemeler ve doğal akustik malzemeler olarak 2 gruba ayrıldı ve bu tanımların keskin sınırları belirlendi. Araştırmalar sonucunda elde edilen temel bilgiler ile sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin kullanılması gerektiği vurgulanmış ve geleneksel malzemelere alternatif olduğu ortaya konulmuştur. Düzen ve özgünlük kazandırmak amacıyla bu malzemeler sınıflara ve alt sınıflara yani kategorilere ayrılarak incelendi. Aynı zamanda bu malzemelerin kullanıldığı frekans aralığı ve diğer akustik özellikleri de anlaşılabilmesi için teknik bir föy haline getirilmiştir. Çalışmada şekil ve tablolara yer verilmiş fotoğraflarla konunun algılanması kolaylaştırılacaktır ve malzeme kataloglaması yöntemi kullanılmıştır.



2 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK VE AKUSTİK

2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı

20. yüzyıldan itibaren, yaşama koşullarını daha iyi hale getirmek isteyen insanlar, kendilerine sunulan tüm doğal kaynakları sınırsızca kullanma hakkına sahip olduklarını düşünmüşlerdir [8]. Yaşadığımız dünyanın ekolojik dengesi (Şekil 1.1) ve bu olumsuz gelişmeler, insanların kendilerini ve doğayı yeniden değerlendirmeye yöneltmiş ve sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur [8]



Şekil 2.1 Çevresel sorunların nedenleri [8]

Kelime anlamı “süreklilik” olan sürdürülebilirlik, ingilizce’de “sustainability”, fransızca’da “soutenabilite” veya “durabilite” ve almanca’da “nachhaltigkeit” olarak kullanılır [8].

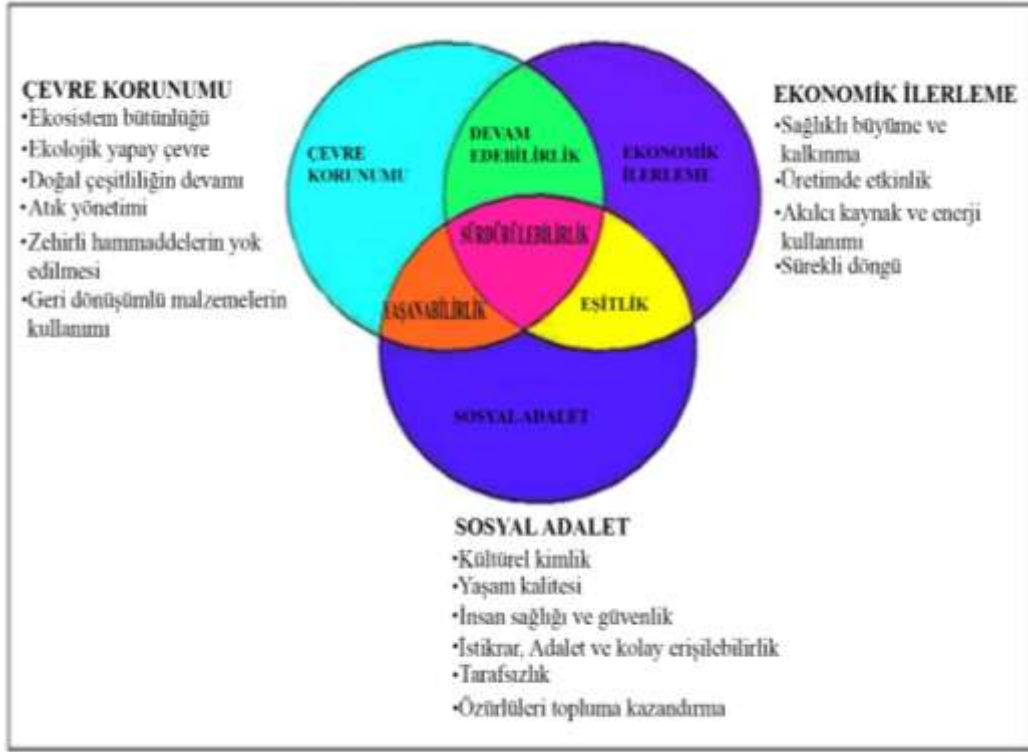
1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Başkanı Gro Harlem Brundtland tarafından hazırlanan ve yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” adlı raporda, sürdürülebilirlik “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan mevcut ihtiyaçları karşılama yeteneği” [8] olarak tanımlanmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramının geliştirmek amacıyla ulusal ve uluslararası düzeyde faaliyet gösteren birçok kurum ve kuruluş bünyesinde yürütölen çalışmalar kronolojik olarak verilmiştir [9].

1968'de David Rockefeller, dünyamızı tehdit eden problemlere çözüm bulmak amacıyla İtalya'nın Bellagio kentinde Roma Kulübü'nü kurdu. Sürdürülebilirliğe önem veren diplomatlar, politikacılar ve ekonomistlerin bir araya geldiğı kulüp, saygın bir bilim adamı ve iş adamının liderliğinde önemli çalışmaları hayata geçirdi. 1972'de Roma Kulübü, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki bir grup akademisyen tarafından hazırlanan ve iki ülke arasındaki büyüme ve kaynakları ele alan “Halte à la Croissance!” (Büyümeyi Durdurun!) başlıklı bir rapor yayınladı. Rapor, bu zorlukların üstesinden gelmek için öncelikle kontrolsüz büyümeyi frenlemek gerektiğini savunuyordu. Raporda, gerekli önlemler alınmazsa, büyüme ve sanayileşmenin yol açtığı ekonomik enerji kıtlığı, çevre kirliliğı ve arazi kaybının nüfusta önemli bir düşüşe yol açacağı belirtiliyordu. 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı'nda ekoloji ve ekolojik denge kavramları tartışıldı ve gelişmekte olan ülkeler için modellerin geliştirilmesine vurgu yapıldı. Ekoloji, sözlük tanımında “bitki ve hayvan ekonomisi bilimi; canlı organizmaların yaşam biçimlerini ve bunların yaşadıkları çevre ile ilişkilerini inceleyen biyoloji dalı” olarak tanımlanmaktadır. Ekolojik denge ise, 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 2. maddesinde “insanların ve diğeri canlıların varlığı ve gelişimi için gerekli koşulların toplamı” olarak tanımlanmaktadır. 1977 yılında, Dennis Pirages'in Sustainable Society (Sürdürülebilir Toplum) adlı eserinin yayınlanmasıyla sürdürülebilirlik, bilim çevrelerinde yoğun bir tartışma konusu haline geldi. 1980 yılında, Dünya Doğa Koruma Birliğı, sürdürülebilir kalkınma kavramına odaklanan “Dünya Koruma Stratejisi” (La Strategie Mondiale Pour La Conservation) başlıklı ilk raporunu yayınladı. Sürdürülebilir kalkınma, Peter Cookson Smith tarafından “kaliteyi sağlamak için kapasite, ekosistemler ve kaynakları dikkate alarak biyosferin yaşamı sürdürme yeteneğı” olarak tanımlandı. 1987 yılında, sürdürülebilirlik kavramı Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun “Ortak Geleceğimiz” raporunda tanımlanmıştır. Brundtland raporu, sürdürülebilir kalkınmanın tüm alanları kapsayan bütöncöl bir kavram olduğunu belirterek, bu konunun bir bütün olarak ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Sürdürülebilir kalkınma kavramı, Brundtland

Raporu ve ardından düzenlenen bir dizi uluslararası toplantıda tartışılmıştır. Sürdürülebilir kalkınma konusu gündeme getirilmiş ve alınan kararların uygulanması için bir dizi eylem planı ortaya konmuştur. Birleşmiş Milletler, Haziran 1992'de Rio de Janeiro'da Rio Sözleşmesi 2. Dünya Zirvesi'ni (Rio Zirvesi) düzenledi. Sürdürülebilirlik ilkeleri kabul edildi ve sürdürülebilir kalkınma kavramı, sürdürülebilir kalkınmanın tanımı “doğal sermayeyi tüketmeden ve gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmelerini sağlayarak ekonomi ve ekosistemler arasındaki dengeyi koruyan kalkınma” olarak tanımlanarak daha kapsamlı bir şekilde ele alındı. “Çevre Koruma”, “Ekonomik Kalkınma” ve “Sosyal Adalet”, sürdürülebilirlik tanımının içinde birbiriyle ilişkili kavramlardır. Rio Zirvesi'nde, 179 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeden 117 devlet başkanı, çevre ve kalkınma ile ilgili 27 ilke içeren Rio Çevre ve Kalkınma Programı'nın müzakerelerine katıldı. Böylece Kalkınma Bildirgesi, küresel sürdürülebilirlik yolunda önemli bir adım oldu. Rio Zirvesi sırasında, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi dahil olmak üzere çok sayıda yeni uluslararası anlaşma imzalandı. 1992 Rio Zirvesi ve Uluslararası Mimarlar Birliği Dünya Kongresi'nin ardından 1994 Kahire Nüfus ve Kalkınma Konferansı, 1995 Kopenhag Sosyal Kalkınma Konferansı, İstanbul Habitat II “Kentsel Zirve” ve sonraki Birleşmiş Milletler konferansları ve zirveleri, sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin dünya çapında yaygın olarak kabul edilmesine katkıda bulunmuştur. 1997 yılında Kyoto'da düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Toplantısı'nda, katılımcı ülkeler Kyoto Protokolü'nü imzalamıştır. Bu protokol, iklim değişikliği ve etkileri konusunda bir anlaşma oluşturmuştur. Sonuç olarak, hava kirliliğine neden olan sera gazı emisyonlarını 2012 yılına kadar azaltmak için bağlayıcı hedefler belirlenmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi (Johannesburg Zirvesi) 26 Ağustos-4 Eylül 2002 tarihleri arasında Güney Afrika'da düzenlendi. Yaklaşık 100 devlet başkanı ve binlerce hükümet yetkilisinin katıldığı Johannesburg Zirvesi, biyolojik çeşitlilik, yoksulluğun azaltılması ve doğal kaynakların korunmasına ilişkin kararları içeren bir program anlaşmasının imzalanmasıyla sonuçlandı. Johannesburg Zirvesi'ni Bu zirve, 1992 Rio Zirvesi'nin ardından düzenlendi. Zirvede tartışılan konular, küreselleşme sürecini yansıtacak şekilde çok daha geniş ve kapsamlıydı. Küreselleşme, yoksulluk, temiz su kaynaklarına erişim, temiz enerji, teknoloji,

sürdürülebilir üretim ve tüketim, okyanuslar, balıkçılık ve turizm ilk kez bu kadar ayrıntılı bir şekilde tartışıldı. Bu zirve, bu açıdan özel bir öneme sahiptir. 16 Şubat 2005 tarihinde Kyoto Protokolü yürürlüğe girerek, sanayileşmiş ülkelerin belirli bir zaman dilimi içinde sera gazı emisyonlarını azaltmalarını zorunlu kıldı [11].



Şekil 2.2 Sürdürülebilirlikteki üç ana kavram [10]

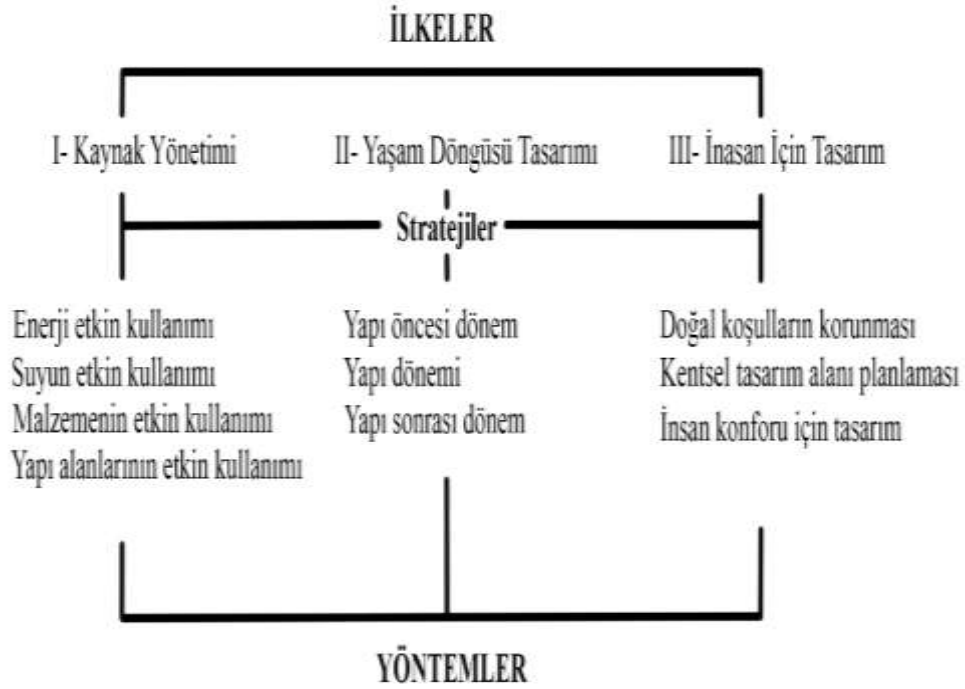
2.2 Sürdürülebilirlik ve Mimarlık İlişkisi

Sürdürülebilir mimarlık, doğaya verilen tahribatı en aza indiren ve ekolojik dengeyi koruyan mimarlıktır. Yapının inşası, kullanımı ve yıkımı aşamalarında malzeme, su ve su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayan ve enerjiyi etkin kullanan faaliyetler bütünü olarak tanımlanır.

Sürdürülebilir yapılar, kullanıcı sağlığı ve rahatlığını korunurken, mevcut ve gelecekteki doğal kaynakları tehdit etmeyen yıkım sonrası diğer yapılar için kaynak sağlayan ve çevreye zarar vermeyen atıklardan oluşmaktadır [12].

Binanın girdileri enerji, su ve malzemelerdir. Mimaride enerji, su ve malzemenin korunması, sürdürülebilir mimarinin temel bir ilkesidir. Bunların korunması, yenilenemeyen kaynaktan elde edilen malzemelerin kullanımının kısıtlanması ve inşaat atıklarının kontrol edilebileceği anlamına gelmektedir [13].

Yapım süreci yanı sıra kullanım, bakım ve onarım faaliyetleri ve atık bertarafı çok miktarda kaynağın kullanılmasını gerektirir. Bütün inşaat faaliyetlerinde insanoğlu refahı hesaba katılmaktadır. Sürdürülebilir mimarinin ilkeleri Şekil 2.2' de gösterildiği gibi -Kaynak Yönetimi, Yaşam Döngüsü Tasarımı ve -İnsanlar için Tasarımdır. “İlkeler” başlığı altında yer almaktadır. Bu esasların uygulanması için belirlenen strateji ve yöntemler Şekil 2.3 belirtilmiştir [14].



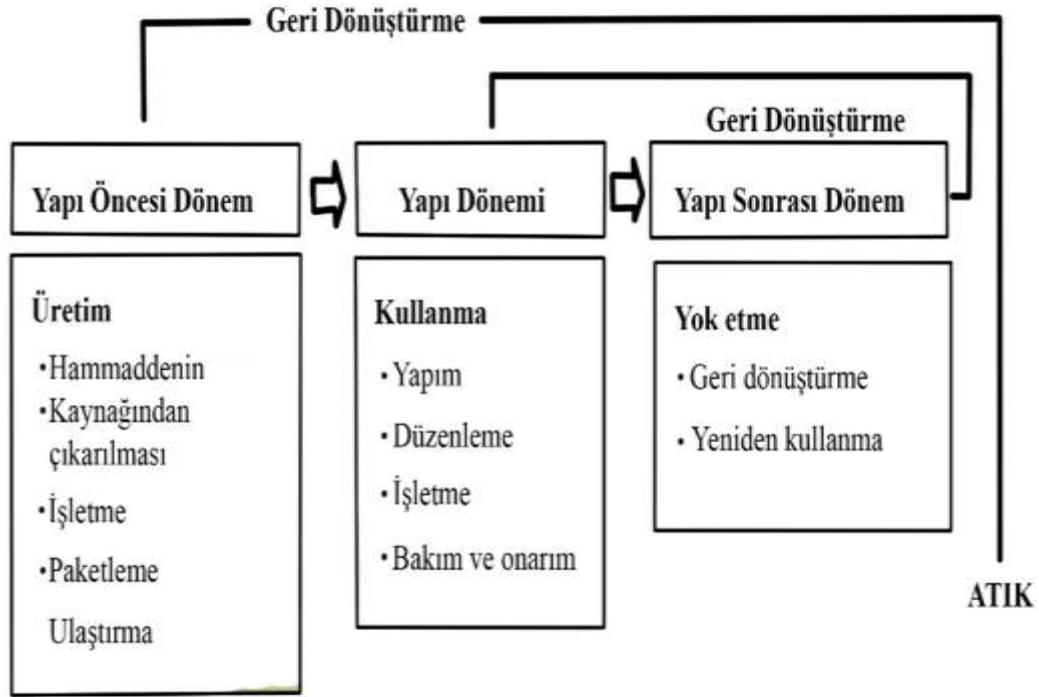
Şekil 2.3 Sürdürülebilir tasarım ve kirliliği önlemek için kavramsal çerçeve [14]

2.3 Sürdürülebilir Sertifikalarda Akustiğin Yeri

Sürdürülebilir yapı, mevcut malzemenin özellikleri ile tanımlanır. Herhangi bir bozulma meydana gelmeden önce malzeme arzında bir azalma olmaz, her zaman var olacak bir sistemin özelliklerine sahip bir süreçtir [15].

Sürdürülebilir yapı malzemeleri, hammaddenin temini, kullanımı, işlenmesi, bakım-onarımı ve atık oluşumu sırasında asgari miktarda enerji kullanan, çevreye ve insan sağlığına hiçbir şekilde olumsuz etkisi olmayan malzemelerdir [16]. Sürdürülebilir yapı malzemesi, bir başka deyişle “yeşil yapı malzemesi” olarak tanımlanan malzemeler, çevre dostu ve üretimde sınırlı kaynakların sınırlarına karşı hassas hammaddenin etkin kullanımıdır. Malzemelerin seçim aşamasında iyi

performans, iyi kalite, estetik ve maliyetin yanı sıra sürdürülebilirlik kriterlerinin de karşılanması beklenir [17].



Şekil 2.4 Yapım malzemelerinin yaşam döngüsü [17]

Sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçimi için aşağıdaki kriterler yaygın olarak kullanılmaktadır:

1. Yerel olarak üretilen ve tedarik edilen malzemeler
2. Nakliye maliyetleri ve çevresel etki
3. Termal verimlilik
4. Çalışanların ihtiyaçları ve sağlıkla ilgili hususlar
5. Finansal uygulanabilirlik
6. Yapı malzemelerinin ve yıkılan binanın geri dönüştürülebilirliği
7. Üretim sürecinde oluşan atık ve kirlilik
8. Üretim sürecinde gerekli enerji
9. Yenilenebilir kaynakların kullanımı
10. Ürünün ürettiği zehirli emisyonlar
11. Bakım maliyetleri

Sürdürülebilir yapı malzemeleri, yukarıda değinilen ölçütler açısından, üstün performansa sahip malzemeler olarak tanımlanabilir [18].

Araştırmada, yapıların değerlendirmesi için bir dizi uluslararası kabul görmüş kriterler analiz edilmiştir. BREEAM, LEED, CASBEE, YEŞİL, CASBEE, CASBEE, YEŞİL STAR, DGNB ve SBTool gibi Sertifikasyon sistemlerinde akustik kriterleri aşağıda özetlenmiştir:

Breeam (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi): Birleşik Krallık'ta Bina Araştırma Kuruluşu (BRE) öncülüğünde 1990 yılında ortaya çıkan çevresel değerlendirme yöntemi olup, tüm dünyada yeşil binalar için en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir.

Akustik kriteri Sağlık ve Memnuniyet sınıflandırması altında incelenmektedir. Her bir kriterin gerekli koşullar karşılandığında alabileceği belirli bir maksimum kredi sayısı vardır. Bu doğrultuda, binaların akustik kriteri için alabileceği en yüksek krediler şu şekildedir: mahkeme binaları 2; eğitim binaları 3; ileri eğitim binaları 2; endüstriyel binalar 1; sağlık binaları 2; ofisler 1; ticari binalar 1; eko-konutlar 4 ve cezaevleri 2. Bu kategorilerin altında, her bir kriterden elde edilen toplam krediler önceden belirlenmiş katlarla ağırlıklandırılarak toplam puan elde edilir ve belgelendirme bu değerlendirmeye göre yapılır. Sertifikasyon için bu kriter puanlarının en az %30'una ulaşılması gerekmektedir [19].

LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik): 2000 de Birleşik Devletler Yeşil binalar için (USGBC, United States Green Building Council) oluşturulan ilk resmi derecelendirme sistemidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılan bu sistem sürdürülebilir binalar için bir standart olarak kabul edilmiştir. LEED sertifikasyon sistemi binaların tipolojilerine göre: Okullar; Alışveriş Merkezleri (Perakende); Konut (Evler); Mahalle geliştirme projeleri; Bina Core&Shell; Ticari İç Mekanlar ve Sağlık Binalar (Sağlık Hizmetleri). olarak sınıflandırmıştır.

Akustik kriter yeşil binalar kapsamında İç hava kalitesi kategorisi altında yer almaktadır. Geleneksel yapıların yeşil yapıya dönüştürülmesi ve yeşil yapıların inşa edilmesi sürecinde birçok binanın puanlanmasını hedefleyen bu sistemde farklı performans kriterleri değerlendirilse de her bina için “akustik performans” kriteri kullanılıyor. Okullar (1 kredi), mevcut binalar ve binalara yönelik bakım onarım

işleri (3 kredi) LEED zorunluluğu arasında yer alıyor. Bu kategoriler Sertifikalı altında yer almakta ve her kriterde elde edilen toplam krediye göre Gümüş, Altın ve Platin olarak derecelendirilmektedir [20].

GREEN STAR, Avustralya Yeşil Bina Konseyi (GBCA) tarafından 2003 yılında kurulmuştur. Bu sistem, yapıların çevresel tasarımı ve inşası için kullanılır ve “yeşil bina” anlayışına uygun olup olmadığını değerlendirir. Akustik kriteri bu başlıklardan biri olan İç Ortam Kalitesi (İç Ortam Kalite (IEQ) kategorisinde iç mekan gürültü seviyesine göre değerlendirilir ve en fazla 2 kredi alabilir.

Bu yapılar farklı amaçlar için “iç mekan gürültüsü seviyesinde” Yeşil Yıldız sisteminde alınabilecek krediler aşağıdaki gibidir: Sağlık binaları (Sağlık v1 IEQ) 1, Endüstriyel binalar (Endüstriyel v1 IEQ) 2, Ofis içi (Ofis Interiors v1.1 IEQ) 1, Endüstriyel Uyumluluk IEQ 2, Ofis endüstriyel (Ofis Endüstriyel 2009 IEQ)2 , Çok birimli konut (Çok birimli konut v1 IEQ)2, Eğitim binaları (Eğitim v1 IEQ) 2, Alışveriş merkezleri (Perakende Merkezi v1 IEQ) 1, Ofis eğitim (Office Education 2009 IEQ) 2 ve Ofis tasarımı (Office Design v2 IEQ) 2.maksimum ağırlıklı kategori puanı, varsa yenilik için ek 5 puan birlikte 100 puandır [21].

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) yapı planlaması için bir sertifikasyon sistemidir ve 2007 yılında Alman Yeşil Bina Konseyi tarafından Birleşik Ulaştırma, İnşaat ve Kentsel İşler Bakanlığı ile birlikte ortaklaşa oluşturuldu. DGNB sertifikalandırma sistemi, yapıları yeni ve var olan yapılar olarak durumlarına göre ve yeni ve var olan yapılar olarak tipolojilerine göre incelemektedir. Yapılar Ofis ve İdari yapılar, Alışveriş merkezleri, Endüstriyel yapılar, Oteller, Hastaneler, Kongre merkezleri, Laboratuvarlar, Geçici mimari yapılar, Ofis mobilyaları, İç mekanlar, Altyapı tesisleri, Spor kompleksleri, Havaalanları ve mevcut yapılar: Ofis ve İdari yapılar. DGNB yeşil bina performans kategorileri ise altı kategoride değerlendirilmektedir: Ekolojik kalite, Ekonomik kalite, Sosyokültürel ve işlevsel kalite, Teknik kalite, Süreç kalitesi, Saha kalitesi. Her bir kategori doluluk durumuna göre tasarlanabilen bir dizi seçeneğe sahiptir ve ağırlıklandırılabilen ve ayrıca binanın tüm yaşam döngüsü göz önünde bulundurularak değerlendirilen 60 alt kriteri içermektedir.

Akustik kriteri, bu Sosyo-kültürel ve fonksiyonel kalite kategorisidir. Bu doğrultuda akustik kriteri en fazla 20 puan olup ağırlık katsayısı 1 olarak

belirlenmiştir. Bu katsayı projede kullanılan önceliğe göre değiştirilebilir. DGNB sertifikasyon sistemi binaların toplam performansına göre, hem sayı olarak hem de toplam yüzde puan olarak altın (min %80 puan veya 1,5 puan), gümüş (min %65 puan veya 2 puan) ve bronz (min %50 puan veya 3 puan) puan kazanmasını sağlar [22].

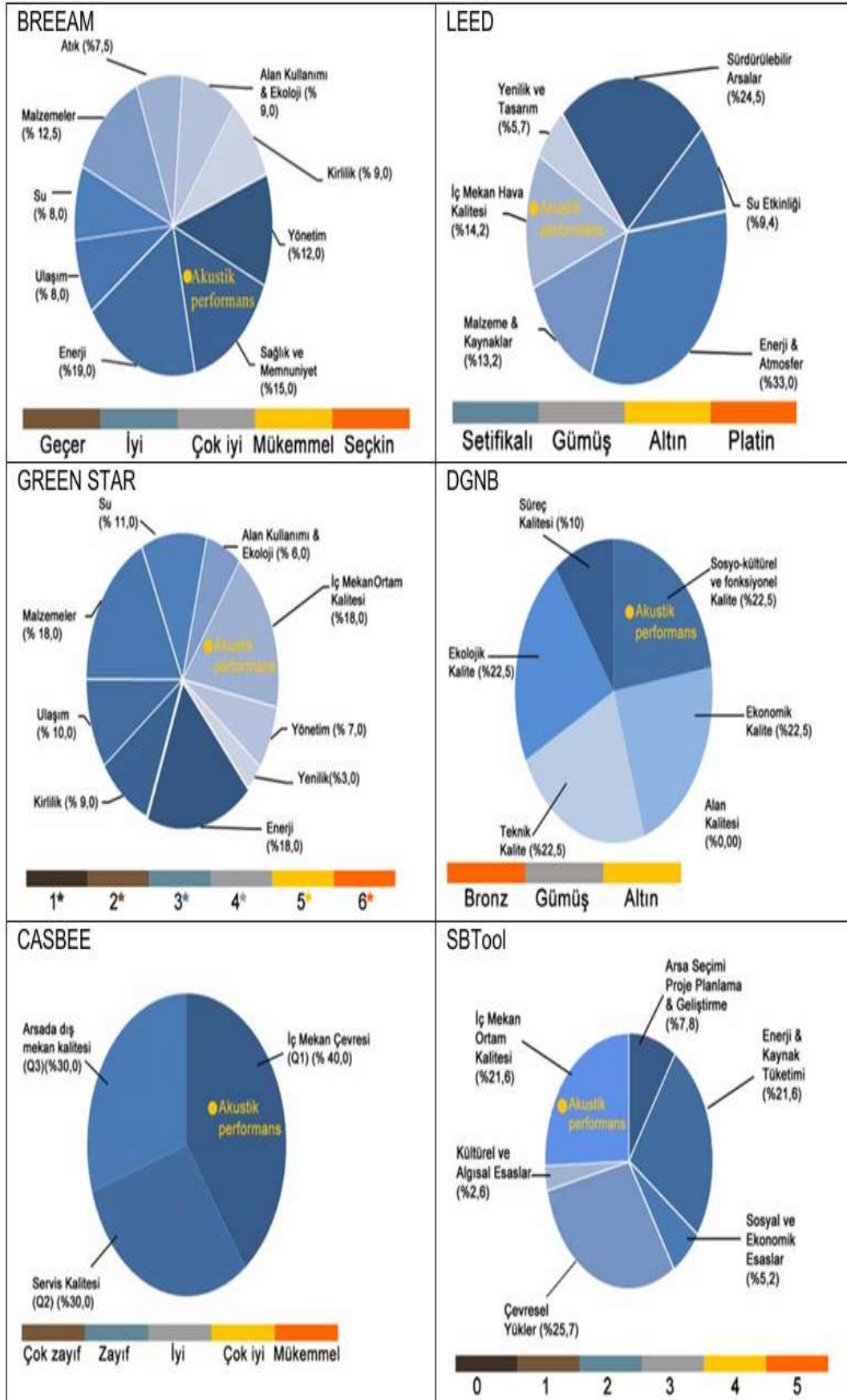
CASBEE (Binaların Çevresel Etkinliği için Detaylı Değerlendirme Sistemi); Japonya Sürdürülebilir Bina Konsorsiyumu (JSBC) ve Yeşil Bina Konseyi (JaGBC) ortaklığıyla 2001 yılında hazırlanmaya başlanmıştır. Japonya'nın dışında Asya ülkelerinin de benimsediği sürdürülebilirlik ilkeleri dikkate alınarak hazırlanan bu sistemde, binaların bulunduğu aşamaya göre araçlar kullanılmaktadır.

“Akustik ve Gürültü” arka plan gürültü seviyesi, donanım gürültüsü, ses yalıtımı ve ses yutuculuğu kategorileri altında ve %15'lik (0,15) bir yüzdesel pay ile birlikte değerlendirilmiştir [23].

SBTool ilk olarak yapılar için bir çevresel değerlendirme yöntemi için temel teşkil etmek üzere geliştirilmiştir. Bir dizi kalkınmış ülke tarafından 1998 yılında oluşturulmuş bir değerlendirme yöntemidir. Yeni binalar, mevcut binalar ve tadilatlar için olmak üzere dört farklı süreçte; Tasarım öncesi değerlendirme, Tasarım değerlendirmesi, İnşaat değerlendirmesi, Operasyon değerlendirmesi olmak üzere projeler durumlarına göre değerlendirilmektedir.

Bu sistem altında performans kategorilerinden İç mekan çevre kalitesi kategorisinde yer alan “Gürültü & Akustik” akustik kriteri değerlendirilmektedir. Bu sistemde değerlendirme, bina performans kriterleri için -1 ile 5 puan arasında puanlama yapan iki aşamalı bir ağırlık katsayısı uygulamasına dayanmaktadır. (-1: olumsuz performans; 0: kabul edilebilir; 3: iyi uygulama; 5: en iyi uygulama) [24].

Akustik değerlendirme tüm sertifikalandırma sistemlerinde arka plan gürültü seviyesi, ses yalıtımı ve reverberasyon süresi başlıkları altında değerlendirilmektedir. Sertifikalandırma sistemlerinde, farklı tipolojiler için istenen tüm konfor koşullarını sağlayan değerler belirli standartlara dayandırılır ve gerekli kredilerin alınabilmesi için bu standartlara uyulması gerekir. Bazı durumlarda, gerekli değerler sertifikasyon sisteminin kendi içinde tanımlanır [25].



Şekil 2.5 Sertifikasyon sistemlerinde kategorizasyon oranları ve akustikğin yeri [25]

3

SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEMELERİN AKUSTİKTE KULLANIM ALANLARI

Gürültü Denetimi:

Ses iletimi hava aracılığıyla ya da titreşim yoluyla gerçekleşebilir. Havada oluşan seslere hava kaynaklı sesler, titreşim ve darbe ile oluşan seslere ise katı kaynaklı sesler denir. Ses köprüsü ve ses delikleri, detaydaki hatalar ve uygulamadaki yetersizlikler neticesinde istenmeyen ses iletim yolları sonucunda hacimler arasında oluşan ses köprüleri ve ses delikleri olarak adlandırılır.

Hava doğuşlu ses iletimi:

Enstrüman veya insan kaynaklı sesler başta olmak üzere havada oluşan seslere hava doğuşlu ses denir. Hava doğuşlu sesler, havanın ve ses kaynağını çevreleyen duvar ve zemin gibi yapı elemanlarıyla sönümlenmektedir. Havadan doğuşlu sesler, havalandırma kanalları ve kapılar veya pencere gibi boşluklardan içeri girerek veya bölücü eleman üzerinde titreşim oluşturarak bir hacimden diğer hacme geçebilir. Bölme elemanı bu titreşime yeterli mukavemeti sağlayamazsa, iletilen ses seviyesi belirgin şekilde artmaktadır [26].

Katı doğuşlu ses iletimi:

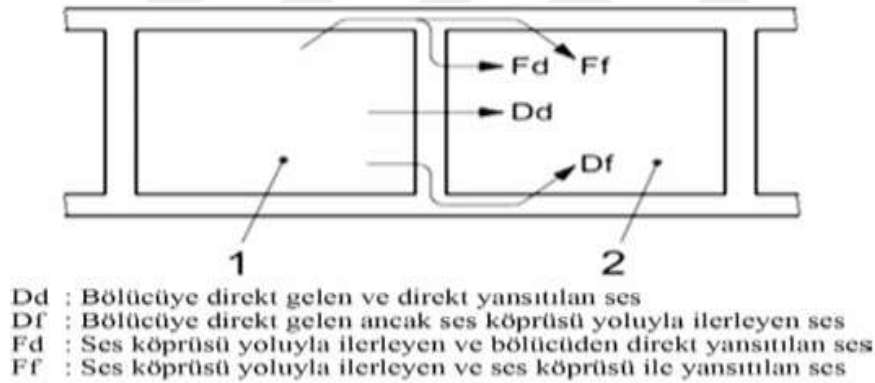
Titreşimden veya darbeden dolayı ortaya çıkan sese katı doğuşlu ses denir. Titreşim devamlı, düzenli veya düzensiz periyotlarla faaliyet gösteren kaynaklarca meydana gelebilirken, darbe sesi ise kısa vadeli kuvvet uygulanması neticesinde strüktürün titreşmesi ile meydana gelir. Katı doğuşlu sesler yapı içine ulaşır ulaşmaz tüm yapıya yayılarak yüzeylerin titreşimine neden olurlar [27]. Adım sesleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen araştırmalara göre; alçak frekanslı seslerin iletimi öncelikle insanın beden ağırlığına dolayısıyla saniyedeki adım sayısına göre değişiklik

göstermektedir. Yüksek frekanslarda iletilen ses miktarı ise giyilen ayakkabının cinsine göre değişmektedir.

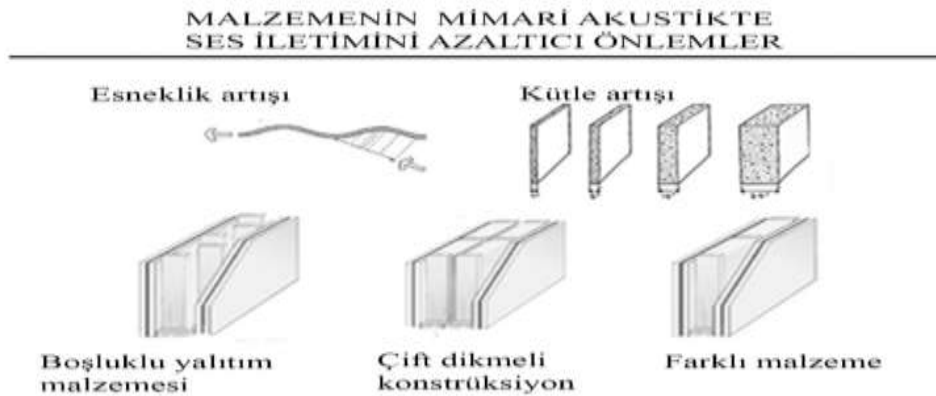
Adım gürültüsünün düşük frekanslarda dahi oldukça fazla rahatsızlık vermesi, diğer gürültü kaynaklarından ayıran önemli farklardan biridir [28]. Katı doğuşlu seslerin engellenmesi için yapı elemanları ve özellikle hafif yapı elemanları ile titreşim üreten cihazların teması esnek ve sönümleyici malzemelerle mutlaka kesilmeli ve gerekiyorsa yüzer döşeme uygulaması yapılmalıdır. Titreşim izolasyonu amacıyla sentetik kauçuk, askı elemanları, çerçeve altlıkları ve beton altlıklar kullanılabilir. Yapıda meydana gelen titreşim iletimini azaltılması amacıyla titreşimin ilk başladığı bölgeler mutlaka güçlendirilmelidir [27], [29].

Ses köprüleri yoluyla ses iletimi:

Bölücü eleman dışındaki iki hacim arasında sesin iletildiği hatlara ses köprüsü (flanking sound bridges) adı verilir [30]. Bu, ses titreşimlerinin Şekil 'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1 Direkt ve ses köprüsü yoluyla ses iletimleri [31]



Şekil 3.2 Akustik malzemenin ses iletimini azaltmak için izlenebilecek yollar

[32], [33]

Esnek malzeme

"Ortam sesi yalıtımı ses kaynağının yer aldığı ortamı alıcı ortamdan ayıran bir bölücü eleman ile sağlanır. Havadaki ses dalgaları bölücü elemana çarparak, elemanın titreşimi sonucunda kaynak ortamından alıcı ortama geçer. Elemandan iletilen sesin şiddeti ses geçiş kaybına göre değişmektedir" [34, s. 291]. Bu bağlamda gürültü denetimi sağlanması için malzeme bünyesinde kullanılacak olan malzemelerin daha esnek olanlarının tercih edilmesi ses yalıtımını arttırmaktadır.

Kütle artımı

Hava doğuşlu ses yalıtımını en çok etkileyen unsurlardan biri de kütledir. Ses dalgaları herhangi bir yüzeye çarptığında, yüzeyde bir titreşim hareketine neden olur. Bu harekete karşı yalıtım malzemesinin direnci kütlesine (veya ağırlığına) göre değişmektedir [32]. Kütle, orta ve yüksek frekanslı seslerin iletimi için belirleyicidir [30]. Kütle de yapılan artış malzemenin yoğunluğu ya da kalınlığının artırılmasıyla sağlanabilmektedir [27]. Gürültü denetiminde kütle artışı malzemenin yalıtımın değerini iyileştirmektedir.

Hava boşluğunun artırılması

Hava boşluğu düşük frekanslarda üst üste binme çukuruna neden olabilir. Ayrıca havanın kritik bir frekansı vardır ancak iki katman arasındaki mesafe azaldığında havanın daha sert davranması nedeniyle kritik frekans artar. Havanın çakışma çukuru üstündeki olumsuz etkisini en aza indirmenin bir yolu, katmanlar arasındaki uzaklığı artırmak ve böylelikle çakışma çukurunun oluştuğu frekansı hassas frekans bölgesinin altına düşürmektir. Çakışma etkisine bağlı olarak iki katmanlı malzeme tek katmanlı malzemeye göre kötü sonuç verebilmektedir [27], [35].

Boşlukta gözenekli yalıtım malzemesi kullanımı

Gürültü denetiminde kullanılan malzemenin içindeki hava boşluğu kritik frekansı hassas frekans aralığının altına düşürmenin bir başka yolu da gözenekli yalıtım malzemesi kullanılmasıdır. Gözenekli ve lifli yalıtım malzemenin kullanılması 80 Hz'in üzerindeki frekanslarda ses yalıtımını artırırken, bunun altındaki frekanslarda etki daha düşüktür. Kapalı gözenekli yalıtım malzemeleri ses yutucu olarak zayıftır ve bu nedenle fazla ses yalıtımı sağlayamamaktadır. Kapalı veya açık gözenekli olmaları dışında, kullanılacak yalıtım malzemelerinin türü ve diğer özellikleri ses yalıtımını çok az değiştirir. Malzemenin hava geçirimsizliğinin artırılması ve

buna bağı olarak yoğunluğunun ve ağırlığının artırılması 400 Hz'in üzerindeki frekanslarda performansı artırır [27], [36].

Dünyanın pek çok ülkesinde, yönetmelikler ve diğer bilgi verici kaynaklarca ortam gürültüsü, arka plan gürültüsü ve yapı elemanlarının ses yalıtımı için sınır değerler belirlenmiştir. Sürdürülebilir malzemelerin mimari akustikte kullanım olanaklarının incelenmesi ve değerlendirilmesi kapsamında incelenen doğal akustik malzemelerin ses iletim değeri hakkın da yeterli bilgi bulunmamaktadır. Malzemelerin gürültü denetiminde kullanım olanakları “Yapı elemanlarında ses iletimini azaltıcı önlemler” kapsamında değerlendirilmiş olup tablo 3.1’de açıklandığı gibidir.

Hacim Akustiğı

Dinleme amaçlı farklı işlevlere sahip olan kapalı hacimlerde, bütün dinleyicilere sesin en doğru biçimde iletilmesi Hacim Akustiğinin ana konusudur. Sesin dinleyicilere en doğru biçimde iletilebilmesi için ilk olarak hacmin hangi işleyle birlikte kullanılacağıının belirlenmesi gereklidir. İşlev belirlendikten sonra işleve uygun optimum parametre değeri belirlenir ve tasarımın bu değerlere uygun olması için etütler yapılarak uygunluğu sağlanır.

3.1 Hacim Akustiğinde Yutuculuğı Etkilediğı Parametreler

Yansıım süresi, kaynak kapatıldıktan sonra sesin bir hacimde 60 dB düşmesi için geçen süre olarak tanımlanır ve 1895-1900 yıllarında Walter.C. Sabine tarafından ortaya atılmıştır [37]. Yansıım süresi, hacmin toplam yutuculuğı ve hacmin büyüklüğü ile ilişkilidir [38].

Sabine yaptığı çalışmalar neticesinde yansıım süresini aşağıdaki gibi formülize etmiştir:

$$T_{30} = 0,16 V / A$$

T₃₀: Yansıım süresi (sn)

V: Hacmin büyüklüğü (m³)

A: Toplam yutuculuk (m²) [39].

Toplam yutuculuk ise; havanın, yüzeylerin ve birimlerin yutuculuğunun toplamı olarak tanımlanmıştır.

$$A = A_y + A_b + A_h$$

A_y : Yüzeylerin toplam yutuculuğu

A_b : Birimlerin toplam yutuculuğu

A_h : Havanın toplam yutuculuğu

Yüzeylerin toplam yutuculuğu için Sabine'in önerdiği eşitlik şu şekildedir:

$$A_y = \sum \alpha_n \times S_n$$

Formüle göre her bir S_n yüzeyi için bir yutma çarpanı (α_n) atanmalıdır [37].

Bu denklemden, yansıma süresinin yüzey alanına, hacmin büyüklüğüne ve yüzey yutuculuğuna göre farklılık göstereceği anlaşılmaktadır. Hacmin toplam yutuculuğu, yüzeylerin yüzey alanı ile yüzeylerde kullanılan malzemelerin yutuculuk katsayısının çarpılmasıyla elde edilir. Malzemelerin yutma katsayısı frekansa göre değişiklik gösterir. Dolayısıyla yansıma süresi her bir frekans için farklı değerler almaktadır. Farklı boyutlarda ve farklı yutma katsayılarına sahip malzemeler ile farklı yansıma sürelerine sahip hacimler elde edilebilir. Hacmin toplam yutuculuğu arttıkça yansıma süresi kısalmış, hacim büyüdükçe yansıma süresi uzamaktadır.

Erken Düşme Süresi (EDT), Ayırt Edilebilirlik (D50), Netlik (C80), Toplam Ses Düzeyi, Güç (G), Yanal Enerji Oranı (LF80), Konuşma İletim Katsayısı (STI) gibi parametreler hacim akustiğini inceleme alanına girmektedir.

Sürdürülebilir malzemelerin akustik özellikleri ve karşılaştırılmalı değerlendirilmesi kapsamında incelenen çalışmalarda doğal akustik malzemelerin yutuculuğu hakkında detaylı bilgi bulunmaktadır. Doğal akustik malzemeler farklı frekans aralıklarından incelenmiş olup tablo 3.1'de bulunan detaylı tabloda açıklandığı gibidir.

3.2 Malzemelerin Gürültü Denetimi ve Hacim Akustiğinde Kullanım Alanları

Gürültü denetimi ve hacim akustiğinde malzemelerin kullanım alanları 3.1.1 ve 3.1.2 bulunan bilimsel veriler eşliğinde tablo 3.1'de belirtilmiştir. Gürültü

denetiminde malzeme seçiminde göz önünde bulundurulan ses iletimini azaltıcı önemlerin başında kütle artırımını gelmektedir. Kütle ve yoğunlukla beraber gürültü denetiminde kullanılabilecek malzemeler belirlendi.

Hacim akustiğinde kullanılacak malzemeler belirlenirken hacim akustiğinde yutucuğu etkileyen parametlerden “Yansıma süresi” parametresi dikkate alınarak kullanılabilecek malzemeler belirlendi.

Tablo 3.1 Malzemelerin gürültü denetimi ve hacim akustiğinde kullanım alanları

Sürdürülebilir Malzemelerin Akustikte Kullanım Alanları			
Geri Dönüşüm (G.D), Bitkisel Kaynaklı (B) ve Hayvansal Kaynaklı (H) Akustik Yalıtım Malzemesi			
Kod	Malzeme Hammaddesi	Gürültü Denetimi	Hacim Akustiği
G.D.1	Tekstil	x	x
G.D.2	Ahşap	-	x
G.D.3	Metal	x	x
G.D.4	Selüloz	-	x
G.D.5	İnşaat Yıkıntı	x	-
G.D.6	Plastik Esaslı Kaucuk	x	x
B.1	Hurma Lifi	x	x
B.2	Yağ Palmiyesi	x	x
B.3	Kapok Lifi	x	x
B.4	Hindistan Cevizi	x	x
B.5	Çay Yaprağı	-	x
B.6	Akçaağaç Yaprakları	-	x
B.7	Ananas Yaprakları	x	x
B.8	Kenaf	x	x

Tablo 3.1 Malzemelerin gürültü denetimi ve hacim akustiğinde kullanım alanları
(devamı)

B.9	Kenevir	x	x
B.10	Bambu	-	x
B.11	Su kamuşu	-	x
B.12	Şeker Kamışı	-	x
B.13	Süpürge Lifi	-	x
B.14	Arenga Pinnata Lifi	-	x
B.15	Yucca Gloriosa Lifi	x	x
B.16	Mısır Kabuğu	-	x
B.17	Fıstık Kabuğu	-	x
B.18	Ağaç Kabuğu	x	x
B.19	Durian Kabuğu	x	x
B.20	Küspe	-	x
B.21	Posidonia Lifi	x	x
B.22	Tradescantia Zebria	-	x
H.1	Koyun yünü	x	x
H.2	Tavuk Tüyü	x	x
H.3	Ördek Tüyü	x	x

Gürültü denetimi ve hacim akustiğinde kullanılacak malzemeler belirlenirken 4.2.1 ve 4.2.2 açıklanan doğal akustik malzemelerin özellikleri dikkate alındı

Hacim akustiğinde kullanılamayan G.D.5 koduyla inşaat yıkıntı malzemesidir. İnşaat yıkıntı malzemesi hacim akustiğinde kullanılmamasının sebebi kütlesinin son derece ağır olması ve yutuculuk değerlerinin diğer akustik malzemelerle kıyasla istenilen seviyede olmamasıdır. Gürültü denetiminde kullanılmasının sebebi ise 4.1’de açıklanan bilimsel verilere dayanarak kütle ve yoğunluğa bağlı ses iletim yalıtımında iyileşme sağlamasıdır.

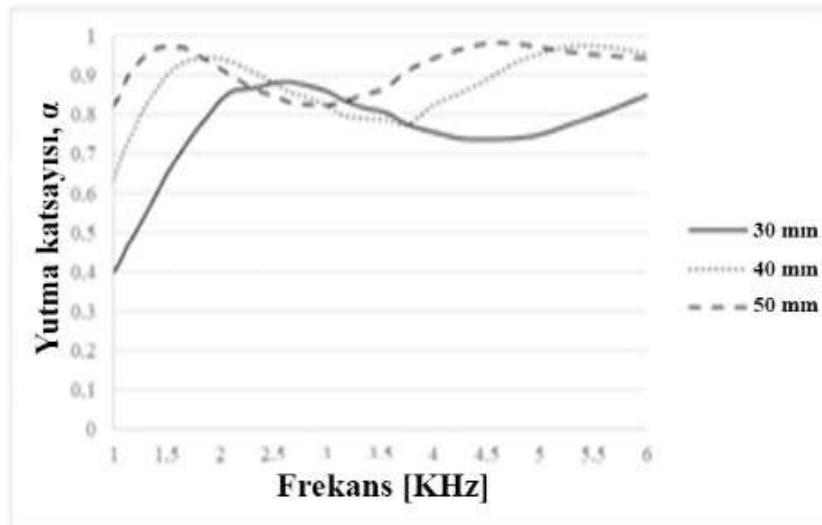
Bitkisel kaynaklı doğal malzemelerden oluşan bambu, su kamışı, şeker kamışı, süpürge lifi, arenga pinnata lifi, mısır kabuğu, fistic kabuğu, küspe, tradescantia zebria, ahşap, selüloz, çay yaprağı ve akçaağaç yaprağının gürültü denetiminde kullanılmamasının sebebi yoğunluğunun düşük olmasıdır. Sürdürülebilir malzemelerde bulunması gereken özellikler bağlamında değerlendirirsek finansal uygulanabilirlik bu malzemelerin kullanılmamasında etkili olan özelliktir. Örneğin gürültü denetiminde 100 kg/ m³ için kullanılacak kenevir miktarıyla mısır kabuğu miktarı aynı olmayıp malzeme kullanımını artırmakla kalmayı oransız ve mekana, mimariye uygun olmayan kalınlıkta malzemeler ortaya çıkabilir.

4

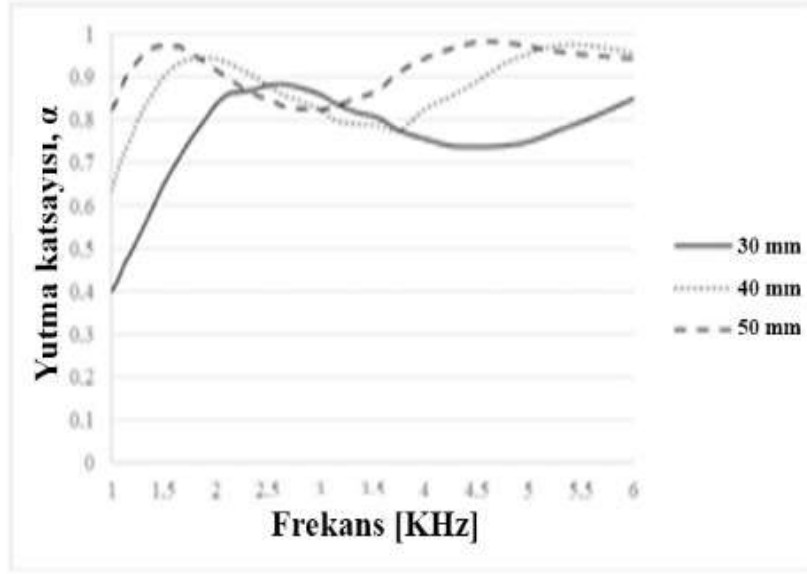
SÜRDÜRÜLEBİLİR AKUSTİK MALZEMELERİN SINIFLANDIRMASI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

4.1 Malzemelerin Akustik Performansını Belirleyen Faktörler

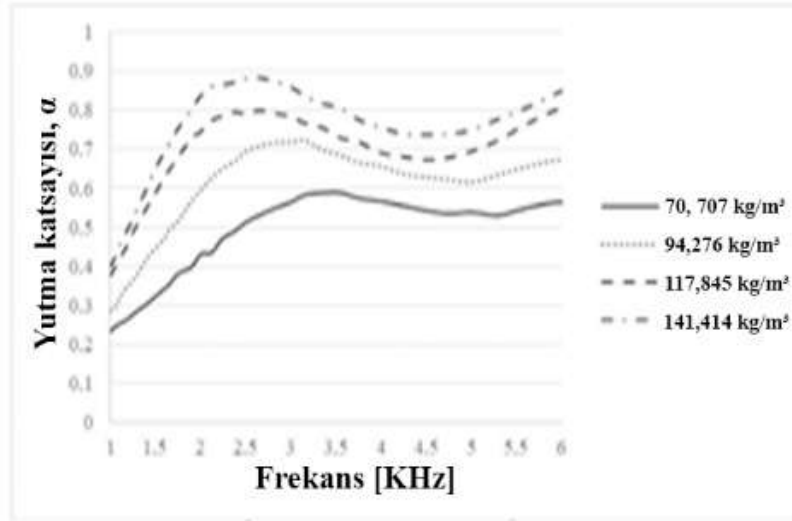
Yapı malzemelerinin akustik özelliklerini belirlemede kullanılan birçok faktör vardır. Bu özellikler malzemenin kalınlığı, hava boşluklarının miktarı, yoğunluğu, gözenek yapısı, hava akışına karşı direnci, liflerin yapısı ve miktarı, liflerin oryantasyonu ve bağlayıcı malzeme gibi birçok faktöre göre değişiklik gösterebilir [40]. Bu şekilde göre, malzeme kalınlaştıkça ses yutum kapasitesi artmaktadır [41]. Aynı zamanda, yoğunluk çok düşük olduğunda ses yutumunun da düşük olacağı, yoğunluk arttıkça ise sesin malzeme içinden geçemeyeceği için yansıma oranının artacağı gözlemlenir. Malzeme yoğunluğunun akustik performans üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma mevcuttur [35].



Şekil 4.1 Kalınlığının Ses Yutum Kat sayısına Etkisi [43]



Şekil 4.2 Yoğunluğun ses yutma katsayısına etkisi [43]



Şekil 4.3 Hava boşluğunun ses yutma katsayısına etkisi [43]

Malzemenin yüzeyindeki gözeneklerin tipi, boyutu ve yoğunluğu, ses yutma açısından büyük bir öneme sahiptir. Gözenekli ses yutucu malzemelerin yapısının yaklaşık %90'ı hava ile doludur. Ses enerjisi bu hava dolu bölgelere girerek orada yutulur. Ancak, düşük frekanslardaki ses dalgaları malzemenin içine giremeyebilir ve bu durumda gözeneklerin sert duvarlarından yansarak geri dönebilir. Hava akışına karşı gösterilen direnç ve gözeneklilik, akustik performans üzerinde belirgin etkilere sahiptir [44].

Lifin kalınlığı, şekli, enine kesit özellikleri ve bileşimi, malzemenin akustik performansını etkiler. İnce yapıda ve farklı enine kesite sahip liflerden üretilen malzemelerde, birim ağırlık başına daha fazla lif bulunur ve yüzey alanı genişlediği için ses yutma kapasitesi artar [45]. İnce liflerin kullanıldığı malzemelerde, yoğunluğun artmasıyla birlikte lifler birbirine dolanır ve bu durum sesin geçişini engeller [46].

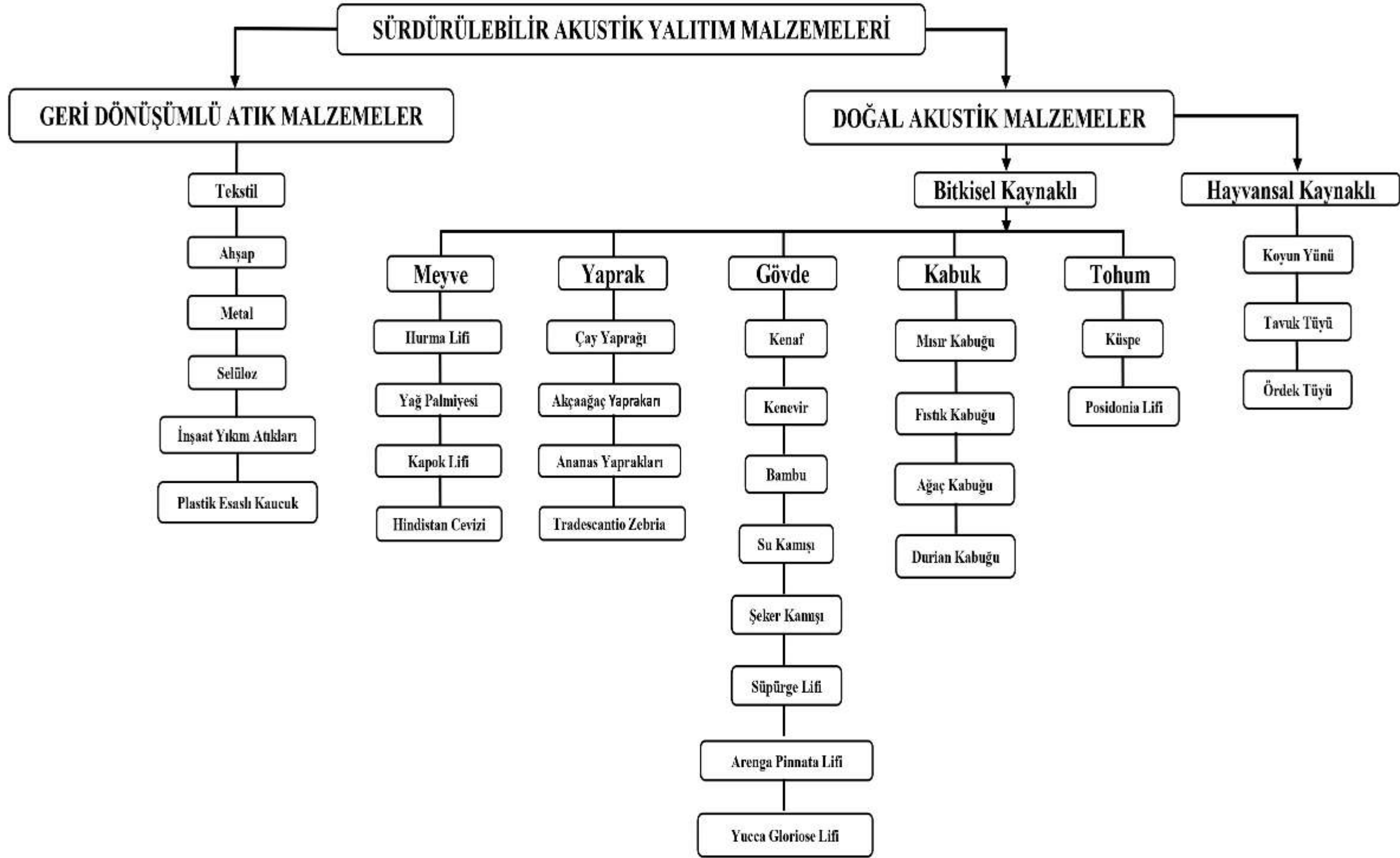
İçi boş liflerin kullanıldığı malzemelerin ses yutma kapasitesinin yüksek olduğu söylenebilir. Polyester ve içi boş polyester liflerinin karışımından [47], Estabragh lifleri ile polipropilen liflerinin bir araya getirilmesiyle elde edilen karışımından [48], kapok lifinin doğal olarak sahip olduğu boşluklu iç yapısı kullanılarak [49], Atık bir malzeme olan tavuk tüyü liflerinin boşluklu iç yapısından yararlanılarak üretilen malzemelerin akustik performansı oldukça yüksek bulunmuştur [50].

Ses yutma özelliğini etkileyen bir diğer önemli unsur ise bağlayıcı maddedir. Bağlayıcı maddenin belirli bir sınır değere kadar artışı, ses yutma kapasitesini artırabilir. Ancak, bağlayıcı madde fazla arttığında yapı sertleşir ve kırılabilir; bu durumda ses yutma azalırken yansım oranı artar [51]. Çok düşük yoğunluklu malzemelerde ses yutma oranı da düşük olacaktır; yoğunluk arttıkça ise ses malzemedan geçemez ve bu durum yansım oranını artırır. Malzeme yoğunluğunun akustik özellikler üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma mevcuttur [52].

4.2 Sürdürülebilir Malzemelerin Sınıflandırması ve Akustik Özellikleri

Yalıtım malzemelerini sürdürülebilirlik kriterine göre değerlendirmek için bu çalışmada, Doğal Akustik Malzemeler doğal kaynaklardan elde edilen alternatif malzemeler "Bitkisel ve Hayvansal " olarak ve geri dönüşüm içeriği taşıyan malzemeler ise " Geri Dönüşümlü Atık Malzemeler " olarak sınıflandırılmıştır. Bu kategorilere göre değerlendirme yapılarak yalıtım malzemelerinin akustik özellikleri şekil 4.4'te toplamda 30 adet malzeme olarak incelendi.

Doğal kaynaklardan elde edilen alternatif malzemelerin bitkisel malzemeler ise alt katagorilere ayrılmıştır. Bunlar: meyve, yaprak, gövde, kabuk ve tohum olarak ayrılıp genelden özele olacak şekilde sınırlandırılmıştır.



Şekil 4.4 Sürdürülebilir akustik yalıtım malzemeleri

4.2.1. Geri Dönüşümlü Atık Malzemeler ve Akustik Özellikleri

Literatürde atık malzemeler kullanımı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu atıkların genellikle kompozit yüzeyi oluşturan ana malzemesi olarak değil yardımcı malzeme olarak kullanıldığı fark edilmiştir. İlerleyen kısımlarda tekstil, ahşap, metal, selüloz, inşaat yıkım atıkları ve plastik esaslı kauçuk atıklarından üretilen malzemelerin akustik özellikleri incelenmiştir.

- **Tekstil**

Tekstil atıkları, lif ve tekstil üretimi ile hazır giyim sanayiinden, ayrıca tüketiciler, ticaret ve hizmet sektörlerine ait çeşitli süreçlerden ortaya çıkan atıklardır [53]. Tekstil Geri Dönüşüm Konseyi'ne (Council for Textile Recycling) göre, tekstil geri dönüşüm malzemeleri iki ana kategoriye ayrılmaktadır: tüketim öncesi ve tüketim sonrası atıklar [54].

Tüketim öncesi tekstil atıkları, lif, iplik, tekstil, teknik tekstil, dokusuz yüzeyler, hazır giyim ve ayakkabı üretim süreçlerinde oluşan tekstil atıklarından meydana gelir [55].

Tüketim sonrası tekstil atıkları, kullanım ömrünü tamamlayıp daha sonra atık tekstil ürünlerini içerir. Eskime, bedene uymama ya da modasının geçmesi gibi nedenlerle tüketicilerin artık ihtiyaç duymadığı giysiler ve ev tekstili ürünleri bu gruba dahildir. Tüketim sonrası oluşan atık miktarları oldukça yüksektir. Kalitesi kabul edilebilir seviyede olan ve hala giyilebilir durumdaki tekstil atıkları genellikle ikinci el olarak başka tüketicilere sunulur veya üçüncü dünya ülkelerine satılır. Giyilemeyecek kadar yıpranmış ürünler ise liflerine ayrılarak yeni ürünlerin üretiminde kullanılabilir [53].

Başka bir kaynağa göre, tekstil atıkları üç ana gruba ayrılmaktadır:

1. İplik fabrikalarından kaynaklanan atıklar,
2. Tekstil üretimi sırasında oluşan atıklar,
3. Tüketicilerin kullanım sonrası bıraktığı tekstil atıkları.

2008 yılı verilerine göre, Türkiye'de sanayi kaynaklı endüstriyel katı atıkların %4,37'sini tekstil ürünleri ve giyim eşyası üretiminden kaynaklanan atıklar oluşturmaktadır [56]. Tekstil atıkları, geri dönüştürülmüş iplik, kağıt, dolgu malzemesi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmektedir [57].



Şekil 4.5 Tekstil atıkları [61]

Sürdürülebilir tekstil atıklarından üretilen yalıtım malzemeleri hafif olmaları, üretim kolaylıkları, gözenekli yapıları ve düşük maliyetleri nedeniyle oldukça çok tercih edilmektedir. Bu alanda dokuma ve örme kumaşlar, halılar ve dokusuz yüzeyler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle duvar kaplamalarında kullanılan püsküllü halılar, döşemelik kumaşlar ile otomotiv tavanı, kapılar ile koltuklarda kullanılan kumaşların bu kullanım alanına örnek teşkil etmektedir [58], [59]. Bu kumaşların yalıtım özellikleri, kalınlıkları, dokuma yoğunlukları, lif içerikleri ve kumaş yapısına göre farklılık gösterebilmektedir [60].

Sürdürülebilir tekstil atıkları kullanım alanları zamanla artış göstermiştir. Günümüzde, tekstil ürünleri: döşeme, duvar, tavan ve mobilyalarda yer almaktadır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Sürdürülebilir tekstil atıkları kullanım alanları (Yazar tarafından hazırlandı)

Tekstil Atıklarından Üretilen Ürün	Kullanım Alanı	Üretilen Ürünün Kullanım Amacı
Lif tabakaları	Döşeme	Akustik Isı yalıtım
Duvar kağıdı Duvar halısı Duvar Panelleri	Duvar	Akustik Isı yalıtımı Estetik

Tablo 4.1 Sürdürülebilir tekstil atıkları kullanım alanları (Yazar tarafı ın hazırlandı) (devamı)

Perde Düşey paneller	Düşey yüzeyler	Akustik Gün ışığı kontrolü
Tavan panelleri Tavan kaplama kumaşları	Tavan	Akustik
Koltuklar Sandalyeler	Mobilya	Akustik Kaplama

Tekstil kullanımı, tasarımlarda arzu edilen algının oluşturulmasında önemli bir tasarım unsuru olarak öne çıkmaktadır. Tekstiller, mekana sağladıkları estetik değerlerin yanı sıra, işlevsel açıdan da kritik roller üstlenir. Bu bağlamda, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, gün ışığını kontrol etme gibi birçok işlevsel ihtiyacı karşılamaktadırlar. Tekstil atıklarının değerlendirilmesi üzerine yapılan literatür taramasında, tekstil atıklarının genellikle kompozit yüzeyin ana malzemesi olarak değil, daha çok yardımcı malzeme olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Kristops Siltumens ve arkadaşları [62], bu araştırmalarında kullanacakları tekstil atıklarını Letonya'nın kuzeyindeki Vidzeme şehrinde bulunan atık yönetim şirketinden temin ettiler. Elde edilen tekstil atıkları, shred tech ST 25 isimli endüstriyel parçalama ekipmanı kullanılarak parçalanmıştır. Tekstil atıkları parçalandıktan sonra, en büyük parçacık boyutu 2x2 cm olan bir form elde edilmiştir.



Şekil 4.6 Tekstil atıklarının ayrıştırılması [62]

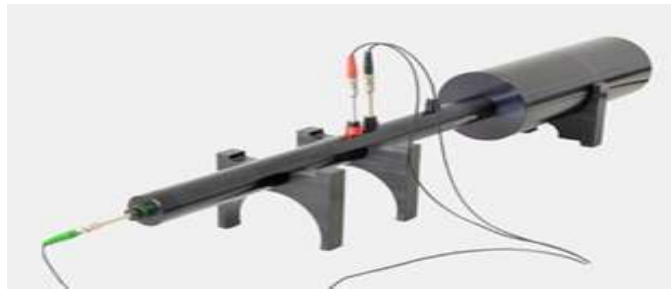
Bu parçalanmış atık tekstil malzemesi, parçalanmış atık tekstil malzemesinin kütlesinin sürekli bir malzeme olmasını ve yüzeyi boyunca tek tip özelliklerle bir arada kalmasını sağlamak için bir bağlayıcı ile karıştırıldı.



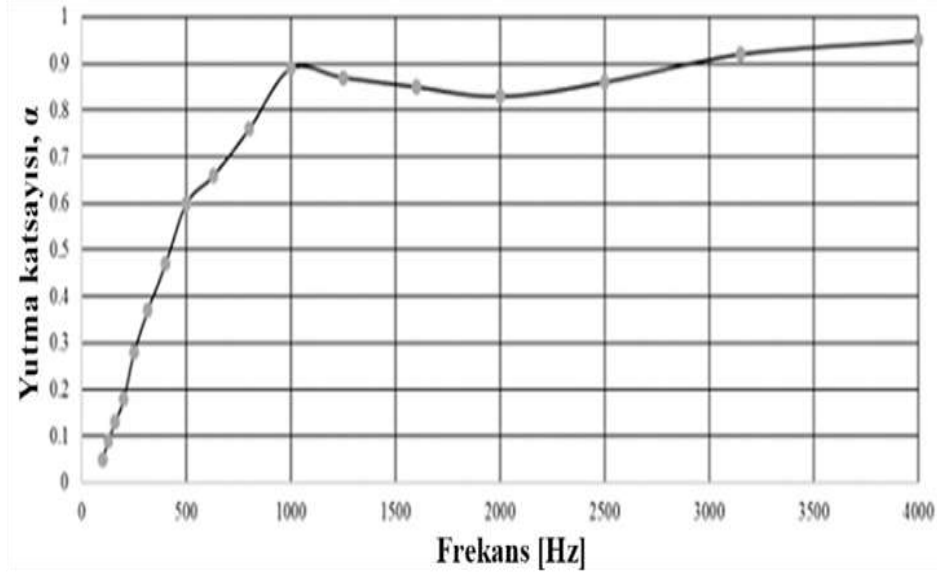
Şekil 4.7 Ahşap kalıp ile şekillendirilmiş malzeme [62]

Bağlayıcı ile karıştırılan parçalanmış atık tekstil malzemeleri 150 x 250 mm ölçülerinde ve 30 mm kalınlığındaki ahşap bir kalıp hazırlanarak hazırlanan malzeme bu kalıbın içine yerleştirilmiştir. Ahşap kalıp daha sonra üzeri bir kumaşla kapatılarak 24 saat kurumaya bırakılmıştır.

Parçalanmış atık tekstil malzemesinin ses yutma katsayısını belirlemek için AFD 1000 empedans tüpü kullanıldı. Bu tüp 100 Hz - 4000 Hz frekans aralığındaki ses yutma katsayılarını belirlemek için kullanıldı. Ölçüm işlemine 150 x 250 mm ahşap kalıpta hazırlanan malzemeden 40 mm çapında dairesel numuneler kesilerek başlandı. Daha sonra bu parçalar empedans tüpüne yerleştirilerek ses yutma katsayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma gerçekleştirilmeden öncelikle, ses yutum katsayısının belirlendiği bütün frekanslar düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Düşük frekanslar 100 - 250 Hz, orta frekans 315 - 1000 Hz ve 1250 - 4000 Hz olarak ayrıldı.



Şekil 4.8 AFD 1000 - ses empedans tüpü [63]



Şekil 4.9 100 ila 4000 Hz frekanslarda ortalama ses yutma kat sayı [62]

Ölçümler, 100 ile 4000 Hz aralığında yer alan çeşitli frekanslarda ortalama ses yutma katsayısını göstermektedir. En yüksek ses yutma kat sayısı 4000 Hz'de 0,95 iken en düşük ses yutma kat sayısı 100 Hz'de 0,05'tir. Artık tekstil malzemeler 1000 - 4000 Hz arasında optimum ses emilimi sergilemektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada Kristops Siltumens ve arkadaşları tarafından artık tekstil atıklarının akustik yalıtım malzemesi olarak kullanılabiliirliği araştırılmıştır. Olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

- **Ahşap**

Ahşap doğaya yüksek düzeyde uyum sağlayan, geri dönüşümü kolay diğer yapı malzemelerine kıyasla dayanımı yoğunluğundan yüksek olan ve yapı malzemeleriyle iyi entegre olan sürdürülebilir bir malzemedir [64]. Ahşap kullanım alanı oldukça geniş hacme sahip, bulunduğu yere göre kıymetli ve kullanışlı olmasının yanı sıra, kullanım alanı dar olmayan doğal kaynaktır. Ancak, kullanımın artmasıyla paralel olarak ahşap ham madde talebinin artmasıyla beraber dünya üzerinde bulunan ormanlık alanların bu kullanım ihtiyacı doğrultusunda tükenmesine neden olmaktadır. Sistemli periyodik rapor ve analizler, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde ormanlık alanların dünya üzerindeki kaybı %2 oranında azalmakta olduğunu göstermektedir [65].

NSW Çevre ve İklim Değişikliği Departmanı, ahşap atığın, kereste ve keresteden üretilmiş ürünler, bozulmuş ürün parçaları, tozlar, talaş ve kesimler olarak

tanımlanmaktadır. Ancak bu tanım ahşap atık olarak orman alanlarını kapsamaktadır. Bu kategoriye orman alanları dışında bahçe atıkları, dallar, ağaç kütükleri ve çalılar da dahil edilmektedir. Bu bağlamda ahşap atıklar kereste ürünlerinden ortaya çıkan atıklardır [66].

Clean Washington Center (CWC), ahşap atıkların stoklamak ve malzemeleri çeşitli gruplara ayırmak için eyalet ve yerel veri tabanlarından yararlanır. Bu gruplar arasında konutta ortaya çıkan ahşap atıklar, karışık katı atıklar, inşaat ve yıkım aşamasında ortaya çıkan ahşap atıklar, ticari ve endüstriyel ahşap atıklar, fırça ve kütükler ayrıca ahşap paletler yer alır [67].

California Entegre Atık Yönetim Kurulu (CIWMB), ahşap atık, biçilmiş kereste, budanmış dallar, kütükler ve ağaçlar tarafından ahşap atık verenlerin bir kısmı'' olarak tanımlandı. Ahşap atıklar arasından birincil kaynak olarak inşaat ve yıkım, ticari ve endüstriyel, ambalaj ve nakliye ile kamu hizmetlerinden ortaya çıkan ahşap atıklar olarak nitelendirilmektedir [68].



Şekil 4.10 Ahşap atıklar (Yazar tarafından hazırlandı)

Ahşap atık malzemeler kullanım alanları ve geri dönüştürülmesi 4 ana başlıkta değerlendirilir;

1. Yeniden Kullanım,
2. Doğrudan Geri Dönüşüm,
3. Dolaylı Geri Dönüşüm,
4. Enerji Üretimi.

Atık malzemelerin kullanım şekline göre üretilen malzeme şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Ahşap atık malzemelerin kullanım alanları [69] (Yazar tarafından hazırlandı)

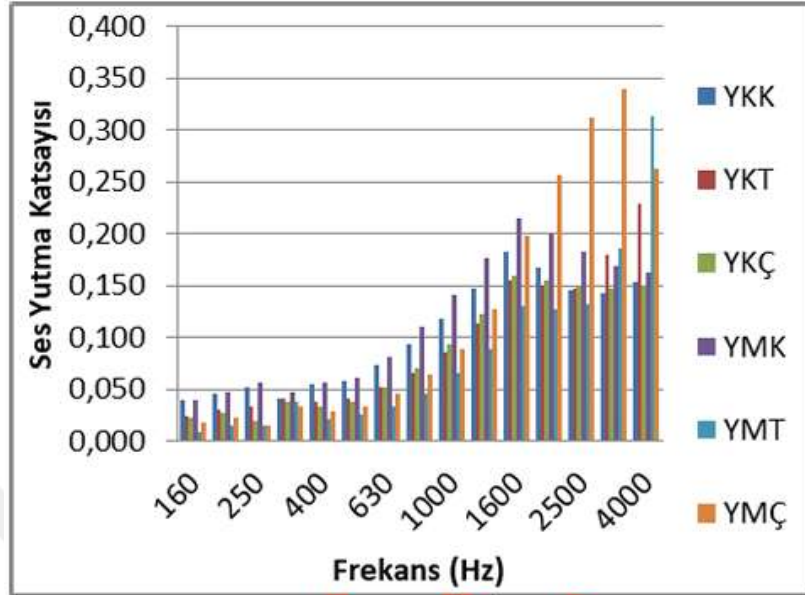
Sürdürülebilir ahşap atıklar yalıtım malzemesi olarak “Doğrudan Geri Dönüşüm” ve “Dolaylı Geri Dönüşüm” yöntemleri altında üretilmektedir. Doğrudan geri dönüşüm yöntemi altında yonga levhalar, dolaylı geri dönüşüm yöntemi altında ise kompozit malzemeler üretilmektedir. Üretilen yalıtım malzemeleri yapıştırıcı tutkallarla ile birleştirilerek belirli ebatlarda üretilmekte olup ısı yalıtım ve akustik yalıtımda kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında yonga levha ve kompozit malzemelerin akustik yalıtım özellikleriyle devam edilecektir.

İç mekanda ahşap atık malzemeler ile ses yalıtım kontrolünü sağlamak için zemin, duvar ve tavan döşemelerinin kaplanması gerekmektedir. İç mekan elemanlarının yüzeylerinin kaplamak sadece ses yalıtımı sağlamakla kalmayıp ısı, nem ve estetik unsurları da karşılamaktadır [70].

Muslu M.S., (2021) [71]. Yaptığı çalışmada ahşap atık malzemelerden üretilen yonga levha ve kompozit malzemelerin ses yutum katsayıları belirlemek amacıyla empedans tüp yöntemiyle 50-6400 Hz aralığında numuneler ölçülmüş ve ses yutma katsayıları 1/13 oktav bandına göre değerlendirildi. Sonuçlar ise 160-4000 Hz referans alınarak tablo haline getirilmiştir.

160-4000 Hz aralığında yonga levhalar çevreleme türleri ve vernik özelliklerine göre deney sonuçlarının değerlendirilmesi tablo 4.2’de, yonga levhaların ses yutuma çarpan değerleri 160-800 Hz aralığında birbirine oldukça yakın, en yüksek

ses yutum çarpan değeri ise 3150 Hz $\alpha=0,339$ ile Yoga-Meşe- Çift Kompenantla çevrelenen numuneden elde edilmiştir.Sonuçlara ait grafik şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Yonga levha türüne ait kaplama çeşidi ve vernik türü deney sonuçlarının karşılaştırması [71]

Tablo 4.2 Yonga levha türüne ait deney sonuçları [71]

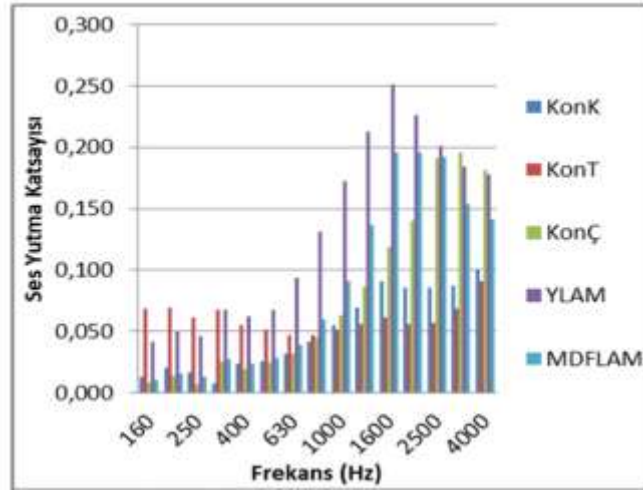
Frekans	YKK	YKT	YKÇ	YMK	YMT	YMÇ
160	0,039	0,025	0,023	0,040	0,009	0,018
200	0,046	0,031	0,027	0,047	0,014	0,023
250	0,053	0,033	0,020	0,056	0,014	0,015
315	0,041	0,041	0,039	0,047	0,038	0,033
400	0,055	0,037	0,034	0,056	0,021	0,029
500	0,058	0,041	0,038	0,061	0,025	0,034
630	0,073	0,051	0,052	0,082	0,034	0,046
800	0,094	0,065	0,070	0,111	0,046	0,064
1000	0,118	0,086	0,093	0,141	0,065	0,090
1250	0,148	0,113	0,123	0,177	0,089	0,128
1600	0,183	0,155	0,160	0,214	0,130	0,199
2000	0,167	0,151	0,156	0,200	0,128	0,256
2500	0,146	0,147	0,150	0,183	0,132	0,312
3150	0,142	0,180	0,148	0,169	0,186	0,339
4000	0,153	0,228	0,150	0,163	0,314	0,263
YKK: Yonga-Kayın -Kontrol YKT: Yonga-Kayın-Tek Komenant YKÇ: Yonga-Kayın-Çift Kompenant YMK: Yonga-Meşe-Kontrol YMT: Yonga-Meşe-Tek Kompenant YMÇ: Yonga-Meşe-Çift Kompenant						

İlaveten yonga levhanın içeriğindeki boşluklu yapısının oranı ve yongayla beraber kullanılan bağlayıcı tutkalın da ses yutma katsayısını artırıcı nitelikte olduğu düşünülebilir.

160-4000 Hz aralığında Kontrplak malzemenin kaplama türleri ve vernik özelliklerine göre deney sonuçlarının değerlendirilmesi tablo 4.3’de, Kontrplak malzemenin ses yutuma çarpan değerleri 160-800 Hz aralığında birbirine oldukça yakın, en yüksek ses yutum çarpan değeri ise 1600-2000 Hz $\alpha=0,196$ ile Sentetik reçine kaplı lif levhada, kaplanan numuneden elde edilmiştir. Sonuçlara ait grafik şekil 4.13’de gösterilmiştir [71].

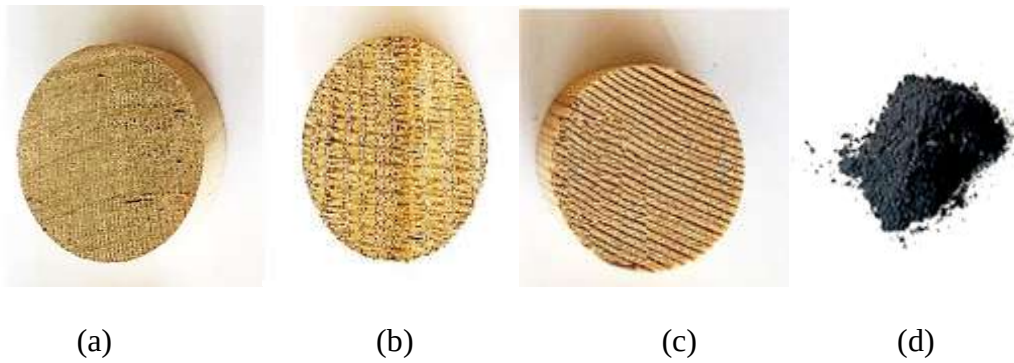
Tablo 4.3 Kontrplak sentetik reçineli levha türüne ait deney sonuçları [64]

Frekans	KonK	KonT	KonÇ	YLAM	MDFLAM
160	0.013	0,069	0,009	0,042	0,010
200	0.020	0,069	0,014	0,049	0,016
250	0.017	0,062	0,006	0,046	0,013
500	0.026	0,051	0,025	0,067	0,028
1000	0.013	0,069	0,009	0,042	0,010
1250	0.070	0,056	0,086	0,213	0,137
2000	0.086	0,056	0,141	0,226	0,196
2500	0,086	0,056	0,141	0,226	0,196
3150	0,087	0,068	0,196	0,184	0,154
4000	0,101	0,091	0,181	0,177	0,141
KonK: Kontrplak – Kontrol KonT: Kontrplak -Tek Kompenant KonÇ: Kontrplak – Çift Kompenant MDFLAM: Sestetik Reçine YLAM: Sestetik Reçine Kaplı Yonga Levha					



Şekil 4.13 Kontrplak-vernük türü-sentetik reçineli levha türü deney sonuçlarının karşılaştırması [71]

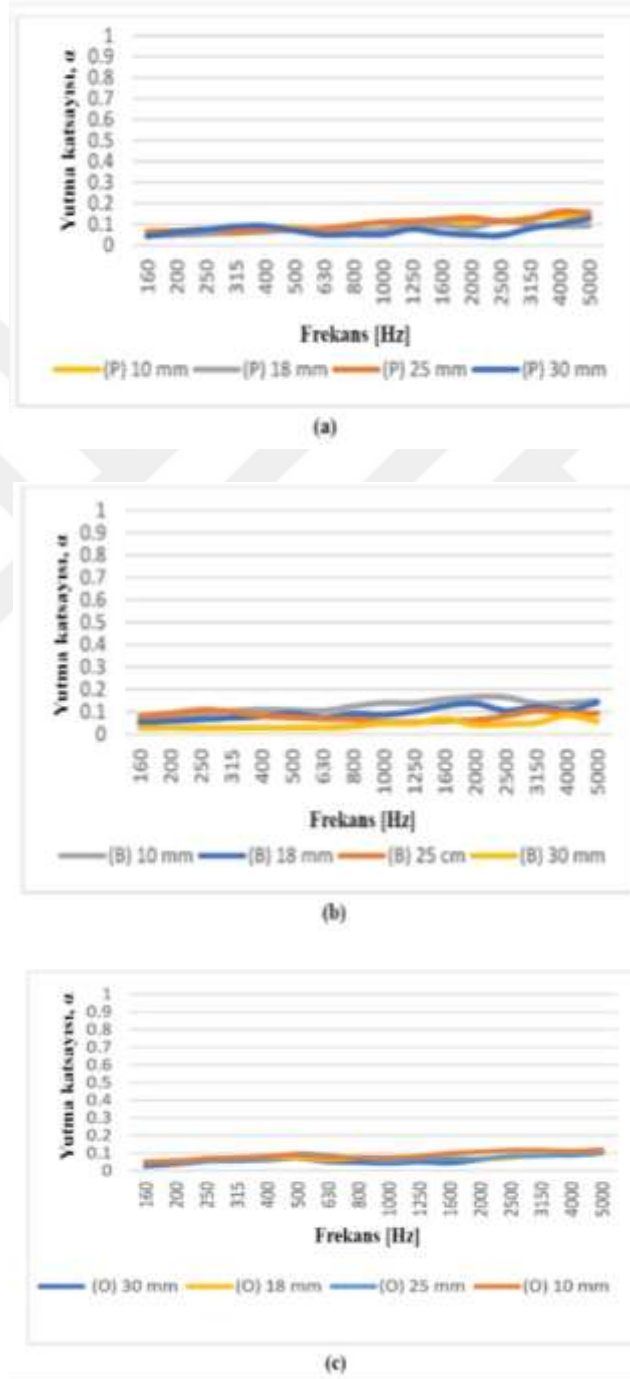
Olga Khrystoslavenko, Tomas Astrauskas ve Raimondas Grubliauskas [72], Bu çalışmalarında Litvanya'da yaygın olarak bulunan ahşap atık türlerinin akustik amaçlarla geri dönüştürülebilir malzemeler olarak kullanımına yoğunlaşmışlardır. Huş, çam ve ham odun atıklarının ses yutma katsayısı ile granül kömürün ses yutma katsayısının birbiriyle olan farkını incelemişlerdir. Araştırmada ses yutum katsayıları empedans tüpü kullanılarak bulunmuştur. Litvanya'da yaygın olarak görülen aynı yaşlara aiet huşa ağacı, çam ve meşe atığı örnekleri toplanmıştır. Atıklar havayla kurutmak için oda sıcaklığında (22 C) tutuldu. Hazırlanan numuneler 30 mm çapında ve 10 mm, 18 mm, 25 mm ve 30 mm kalınlığında kesilmiştir.



Şekil 4.14 Empedans tüpü ölçümleri için ahşap numuneler: (a) meşe; (b) huş ağacı; (c) çam; (d) granül [72]

10 mm, 18 mm, 25 mm ve 30 mm kalınlığında ham ahşap ile yapılan araştırmada ahşabın yutuculuk katsayısı değeri 0,02 ile 0,16 arasında değişkenlik

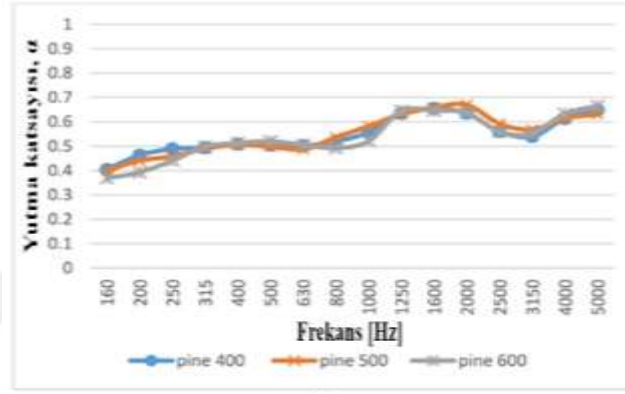
göstermektedir. Farklı kalınlıkta empedans tüpü ile yapılan araştırmalar incelendiğinde ahşabın kalınlığı arttıkça yutuculuk katsayısında da artış gözlenmektedir. Şekil 4.15 yutuculuk katsayılarının yüksekliği yönünden huş > çam > meşe olarak sıralanmaktadır. Bu sıralama yoğunluk, kalınlık ve diğer özelliklerinden dolayı ortaya çıkmaktadır.



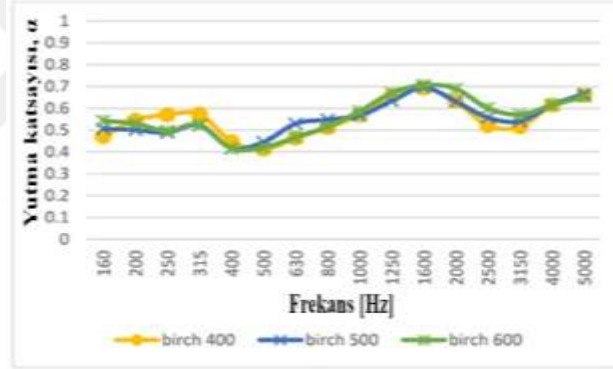
Şekil 4.15 160–5000 Hz aralığındaki frekanslarda farklı kalınlıklara sahip ahşap numunelerden ses emme katsayısı (α) ölçümleri: (a) çam; (b) huş ağacı; (c) meşe

[72]

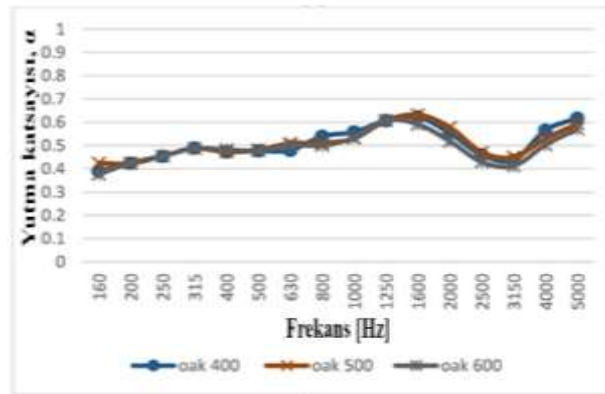
Ham ahşap atıklar 400 C, 500 C, 600 C'de granül kömür halinde hazırlanarak ses yutma katsayıları tekrar empedans tüpü ile belirlenmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen ölçümler neticesinde huş ağacı 0,56, çam 0,55 ve meşe 0,50 ortalama yutuculuk katsayısı sonuçları elde edilmiştir. Ham çalışmada olduğu gibi huş > çam > meşe yutuculuk katsayısı değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.16 400 °C, 500 °C ve 600 °C ısıtılmış sıcaklık oranlarına sahip granül kömür numunelerinin ses yutuculuk katsayısı (α): (a) çam; (b) huş ağacı; (c) meşe [72]

Ham olarak kullanılan ahşap atıklarıyla kömür haline getirilmiş ahşap atıkların ses yutuculuk değerleri arasında gözle görülebilir bir farklılık vardır. Bu farklılık malzemenin yoğunluk, kalınlık ve diğer özelliklerinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Granül kömür yapılan araştırmada akustik yapı malzemesi kompozit şeklin de kullanılabilir [72].

- **Metal**

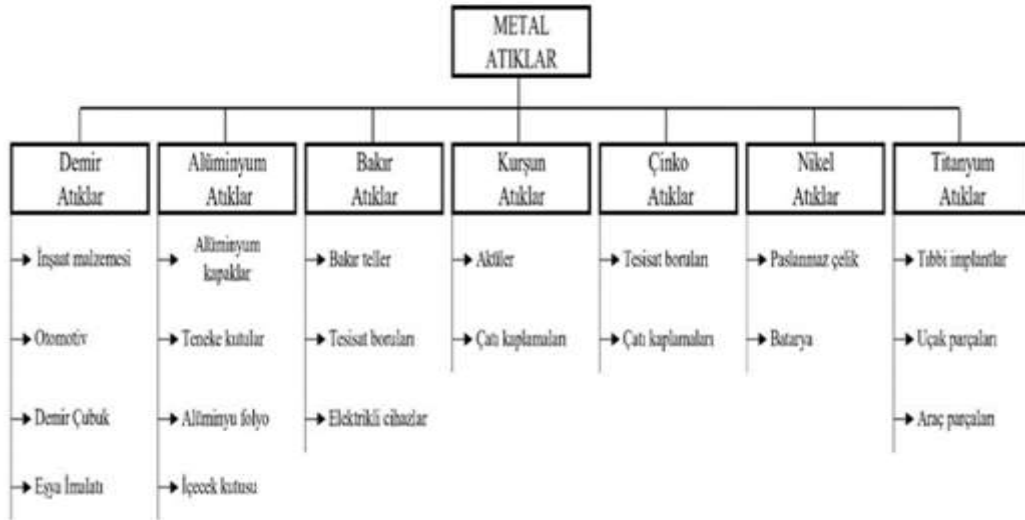
Metal, yer kabuğunda var olan birbirinden farklı minerallerin belirli sıcaklıkta eritilip arıtılması sonucunda üretilir [73]. Metal ürünler, yapı sektöründe tek tip malzeme ve diğer ürünlerin bir parçası olmalarından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır [74]. Metal malzemenin kullanılması, malzemenin üretilmesi ve cevherlerin çıkarılması yüksek enerji gereksiniminden dolayı çevresel maliyetlere neden olmaktadır. Bu durum üretilen son ürün maliyetinin diğer yapı malzemelerine kıyasla fiyatının daha yüksek olması sonucunu doğurmaktadır. Metal malzemenin kullanımındaki yaygınlık farklı yapı malzemesi alanlarında etkilemektedir. Çelik konstrüksiyon elemanlar, betonarme elemanlardaki donatılar, mekanik sabitleyiciler, kapı ve pencereler, kompozit yalıtım malzemeleri, başka ürünlerin aksamaları, borular, elektrik kabloları, cephe ve kaplama malzemeleri gibi montaj elemanları bu kullanım alanlarına dahildir. (Şekil 4.17) Metal malzemeler iki gruba ayrılır. Birincisi, inşaat sektöründe ağırlıklı olarak strüktür işlevi gören metaller. İkincisi, montaj elemanları, kapılar, pencereler ve kaplama malzemelerin imalatında kullanılan bakır, çünko, alüminyum gibi demir içermeyen metallerden oluşmaktadır [75].



Şekil 4.17 Metal atıklar [76]

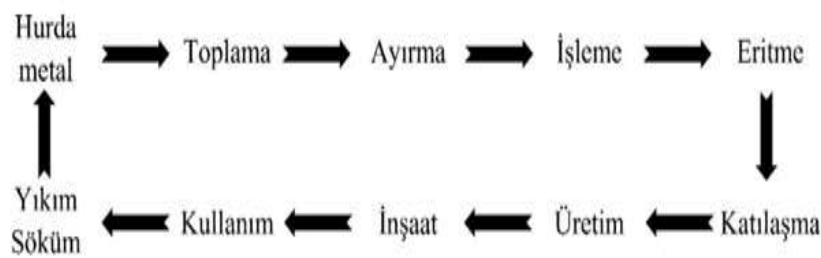
Metal çeşitlerinin neredeyse tamamının özellikleri bozulmaksızın yeniden geri dönüştürülmesi mümkündür. Ne var ki, buna karşılık şuanda metallerin sadece %30'u geri dönüştürülmektedir. Bazı ilave bilgilere baktığımızda: Dünya genelinde demir üretiminin %40'ı geri dönüştürülmüş demir ile üretilmektedir. Amerikan Birleşik Devletleri'ndeki işlenmemiş demirin %42'si geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmektedir. Demir ve çeliğin dünya genelinde tekrar kullanım malzemesi olmasının nedeni, bu malzemenin yeniden işlenmesinin kolaylığı ve büyük parçaların geri dönüştürülebilmesidir. Dünya üzerinde her yıl ortalama 400 milyon ton metal geri dönüştürülmektedir [77].

Geri dönüştürülmüş metal atıklar çoğunlukla metallerin imalatı, tüketimi ve geri dönüşümü esnasında oluşan atıkları belirtmektedir. Atık metaller yedi ayrı kategori de ele alınmış olup şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Metal atıkların sınıflandırılması (Yazar tarafından oluşturuldu)

Geri dönüştürülmüş metal atıklar dönüştürülerek tekrar kullanılabilmesi için belirli aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Hurda metalleri dönüştürme sürecinde,



Şekil 4.19 Hurda metal geri dönüşüm süreci (Yazar tarafından oluşturuldu)

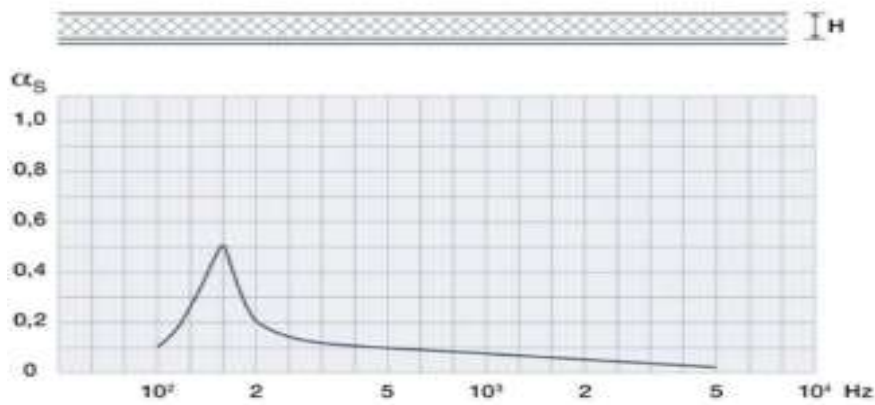
Geri dönüştürülmüş metal atıklar dönüştürüldükten sonra inşaat donatıları, akustik yalıtım malzemeleri, cephe kaplama malzemesi, kompozit malzemeler, otomotiv, mobilya, denizcilik ve enerji endüstrisinde kullanılmaktadır [79].

Sürdürülebilir metal atıklardan üretilen yalıtım malzemesi uzun yankılanma süresi ve hoş olmayan akustik kusurlar yaratmaktadır. 1951’de Danimarka da kurulan Dampa firması aynı cümlede yer alması zor olan sürdürülebilirlik ve metal malzemeyi daha az enerji harcayarak ve yörüngeden çıkmadan %100 geri dönüştürmektedir. Dampa firması metalin akustik özelliklerini açığa çıkarmak için metalin sert yüzeyine açtığı delikler vasıtasıyla malzemede üç tip yutucu türünü de harekete geçirmektedir: gözenekli, membran ve rezonans yutucu [80].

Metal tavan ve duvar plakaların ne derecede akustik olduğunu daha iyi anlayabilmek için öncelikle üç farklı yutucu tipine bakmak gerekmektedir.

a) Gözenek Yutucular

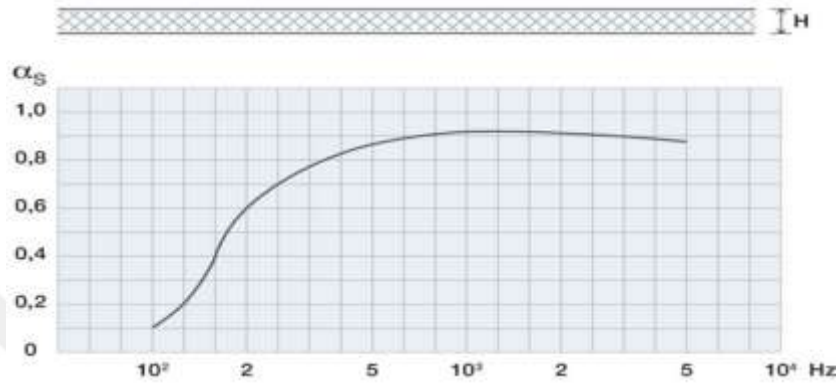
Gözenekli metal yutucu, ses dalgalarına temas ettiğinde hareket etmeye başlayan liflerden oluşmaktadır. Ses dalgası bu esnada durdurularak hareketli lifler vasıtasıyla ısıya dönüştürülmektedir. Gözenekli yutucuların bulunduğu mekanlara örnek olarak giysi satış mağazaları gösterilebilir. Diğer mağazalar birbirinden farklı ses ve akustiğe sahip olsa da, giysiler (veya gözenekli yutucu maddeler) yankılanma süresini önemli oranda azaltarak mağazayı alışveriş yapılabilir ve kalınabilecek keyifli bir mekan haline getirecektir. Gözenekli yutucu malzeme, bilgisayar cihazı sesleri, cam kırılması, ıslık, çığlık veya tahtaya çivi çakılması gibi yüksek frekanslı bölgelerde etkilidir ancak alt frekanslı bölgelerde etkili değildir [80].



Şekil 4.20 Gözenekli metal malzeme yutucu değerleri [80]

a) Membran yutucu

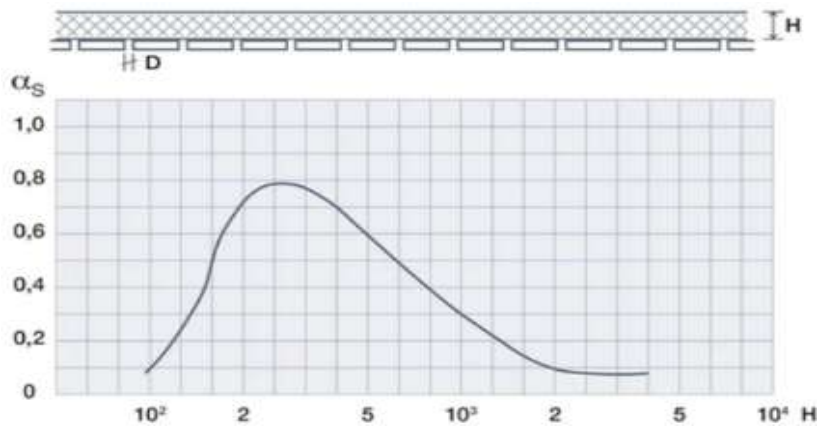
Membran yutuculuğu iki sert metal plaka arasındaki boşlukta oluşur. Örneğin, tavana ve duvara yerleştirilen delikli metal plaka ile delikli plaka arkasına konan deliksiz plaka arasında oluşan hava adeta bir yay görevi görür sert yüzeyle beraber sürekli ses dalgalarını yok etmeye yönelik bir salınım sistemi yaratılır. Bu yutucu, gözenekli yutucudan farklı olarak ve en çok düşük frekanslı alanlarda etkilidir [80].



Şekil 4.21 Membran yutucu metal malzeme yutucu değerleri [80]

b) Rezonans emici

Rezonans yutucu, membran yutucunun geliştirilmiş halidir. Rezonans yutucuda önemli olan ana unsur gözenekli ve membran yutucunun aksine deliklerdir. Delikler, ses dalgasına maruz kaldıklarında titreşim yaratacak, alt boşlukta hava ve gözenekli malzemeyi doğrudan etkilenecek olan “hava tıkaçlarına” sahiptir. Ses dalgaları delikleri titreştirerek enerjisini deliklerin titreşiminde kullanır. Bundan dolayı ses geri dönüp bulunduğu mekana yansımaz [80].



Şekil 4.22 Rezonans yutucu metal malzemenin yutucu değerleri [80]

- **Selüloz**

Atık kağıt; fonksiyonunu tamamlayıp, kullanım amacına uygun bir şekilde kullanıldıktan sonra çöpe atılan her türlü mukavvaya, kağıt ve kartona verilen genel bir isimdir. Bu ürünlerin fabrikada üretiminden ortaya çıkan artıklarda bu grupta değerlendirilir [81]. Artık kâğıtların endüstride değerlendirilmesi ilk olarak 1800 tarihinde İngiltere'de atık kâğıt kullanan bir fabrikanın faaliyete geçmesi ile gerçekleşmiştir. Bu konudaki ilk akademik araştırma 1886 tarihinde Amerika'da yayımlanan kâğıt üretimi ile ilgili kapsamlı bir kitabın içinde yer almaktadır. Bir diğer akademik yayın ise İngiltere'de 1918 tarihinde yayımlanmış ve bu kitap atık kâğıdın önemini belirtmiştir [82].



Şekil 4.23 Kağıt atıklar [83]

Selüloz kökenli doğal lifler kağıt ve diğer yapı malzemesi üretiminin en önemli temel yapı taşlarındandır, ancak doğal halleriyle bu liflerin doğrudan kullanılabilmesi imkansızdır. Her şeyden önce doğal liflerin kağıt ve diğer yapı malzemesi üretimine elverişli bir hale getirilmesi, yani 'kağıt hamuru' haline dönüştürülmesi gerekiyor. Selüloz kaynağı olarak tercih edilen ahşap ya da diğer bitkisel malzemeler, kimyasallar ya da mekanik yöntemlerle pişirilip ayrıştırılmaktadır. Bu yöntemle selüloz esaslı bitkisel liflerden elde edilen su bazlı karışım 'kağıt hamuru' diye adlandırılır. Kağıt hamuru yarı tamamlanmış bir hammadde olarak da düşünülebilir ve taşınmak için kurutulmuş formuna selüloz adı verilmektedir [84].

Atık kağıt toplama süreci iki farklı yöntemle yönetilmektedir; birincisi şehrin belirli bölgelerine yerleştirilen toplama kutuları, ikincisi ise sokak toplayıcılarından temin

etme yöntemidir. Kağıt toplayabilecek kurum, kuruluş ya da kişiler: kağıt firmaları, sokak toplayıcıları, çevre örgütleri, belediyeler, kamu kurum ve kuruluşlarıdır [85].

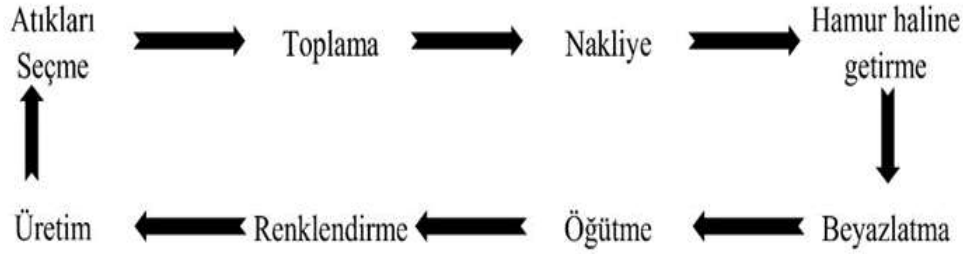
Geri dönüşümlü atık kağıt malzemeler kaynak olarak insanların yoğun olarak yaşadıkları işyerleri, okul, konut ve sanayi tesislerinde ortaya çıkmaktadır [85].

Geri dönüşüme tabi kağıt atıkların insan yoğunluklu mekanlardan çıkış sebeplerinin ve nasıl ortaya çıktığını anlamak için tablo 4.4'te özet olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.4 Atık kâğıtların sınıflandırılması [86]

Atık Kâğıt Türü	Atıkların Ortaya Çıkışları
Karışık kâğıtlar	Evsel ve ofislerden toplanmış kâğıtlar, kâğıt fabrikasında oluşan kenar kesim artıkları.
Gazete atıkları	Ev, fabrikalar, ofis ve işyerlerinden toplanan yüksek mekanik hamur içeren eski gazeteler
Kâğıt fabrikasyonu atıkları	Kâğıt fabrikasyonu esnasında oluşan baskı görmemiş beyaz ve renkli kâğıtlar, beyaz veya yarı ağartılmış kâğıtlar, kâğıt dönüşüm tesislerinde oluşan artık kâğıtlar.
Mürekkepli atıklar	Yüzeylerinde baskı ve yazıyla oluşmuş mürekkep bulunan her türlü kâğıtlar (defter, kitap, magazin, beyaz ve renkli kâğıtlar, bilgisayar çıktısı)
Kullanılmış karton kutular	Perakende dükkanları, fabrikalar, ofislerde oluşan her türlü eski karton kutular, kutu fabrikasında oluşan atıklar.

Tablo 4.4'te sınıflandırılan atık kağıtlar ve bunların nasıl ortaya çıktıkları özetlenmiştir. Ortaya çıkan atık kağıtların geri dönüşümü ve bu sürecin temel birleşenleri şekil 4.24'de gösterilmiştir



Şekil 4.24 Atık kağıdın geri dönüşüm süreci [87]

Geri dönüşüm temel birleşenlerini sırasıyla tamamlayan atık kağıt malzemeler kullanım şekline göre üretim yapmaya başlar. Üretimin temel birleşenleri üretim şekline göre değişiklik gösterir. Ses yalıtımı bağlamında değerlendirirsek kağıt hamur (selüloz) esnek yapısından dolayı sesi daha etkili bir şekilde yutar. Sesin yutulması malzemenin yoğunluğuyla ilgilidir. Kağıt hamuru yoğunluğundan ötürü ses yalıtım malzemesi üretiminde kullanılır.

Selüloz yalıtım malzemesi 1976 yılında ABD' deki şirketlerden 100 tanesi toplam 125 fabrika ile üretim yaparken, 1978 yılında bu sayı toplam 350 şirket ve buna bağlı olarak 500 fabrikaya ulaşmıştır. Geçen zaman zarfında ise bu sayı azalarak 1991 yılı itibariyle toplam 61 üretici şirkete gerilemiştir [88]. Bunun en büyük faktörü ise camyünü ve taşıyünü ile ilgili teknolojilerin gelişmiş olması olarak gösterilmektedir. Ancak bugün selülozik yalıtım çevre açısından daha dost [89], %20-30 daha az enerji ihtiyacı gerektiren [90], ham madde olarak %75-85 geri dönüştürülmüş malzeme kullanan, daha iyi bir ses yalıtımı [91], daha hafif olma ve yanmazlık sağlayan [92], [93].

Geri dönüştürülmüş atık kağıtların ses yalıtımında kullanılmasına ilişkin literatür taraması sonucu Asdrubali [94] ve Amelia Trematerra ve Illaria Lambardi [95], [96], [97] çalışmalar selülozun sürdürülebilir ses yalıtım malzemesi üretimine alternatif olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Asdrubali (2006), yapılarda ses yalıtımında çevreci ve sürdürülebilir malzemelerin kullanılabilirliği konusunda bir araştırma yürütmüştür [94]. Araştırmasında, 28 kg/m³ yoğunluğundaki 50 mm kalınlığındaki selüloz ürünün farklı frekanslardaki ses yutuculuk değerleri üzerinde çalışmıştır. Araştırmasında ulaştığı bu değerleri

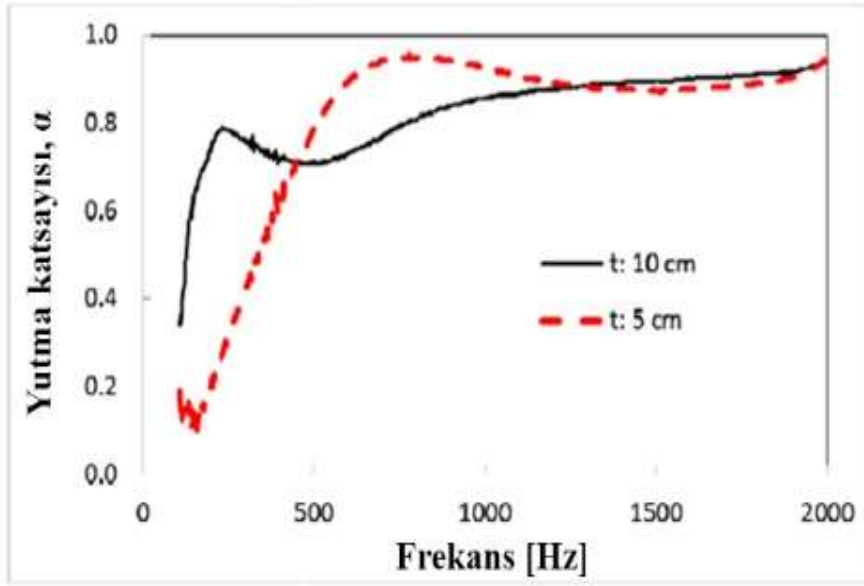
cam yünü ve polistiren ile mukayese etmiştir. Araştırmasında, ses yalıtımında gürültünün engellenmesinde petrol esaslı suni yalıtım malzemelerinin kullanılmasının yerine selülozdan üretilen yalıtım malzemesinin yeterli olduğu, selüloz yalıtımın cam yünü ve taş yününe karşı bir alternatif oluşturabileceği sonucuna varmıştır.

Amelia Trematerra ve Illaria Lambardi [95], [96], [97]. Yaptıkları çalışmada selülozun inşaat alanında kullanılan bir ısı yalıtım malzemesi olduğunu ve bu malzemenin akustik açıdan kullanılabilir bir malzeme olduğunu vurgulamışlardır. Yapılan ölçümler ISO 10534-2 empedans tüpü kullanılarak gerçekleştirildi. Akustik ölçüm için kullanılacak malzemeler birbirinden farklıdır. Öncelikle kullanılan ilk malzeme eritilmiş selülozdur. Bu malzeme direkt olarak geri dönüştürülmüş gazetelerin işlenmesinden elde edilir.

Bu malzeme eritilir ve sıkıştırılır. Şekil 25’de kullanılan malzemeyi ve şekil 4.26’te Empedans tüpü kullanılarak ölçülen katsayının iki farklı kalınlıktaki ses yutum değerini göstermektedir. Yutuculuk katsayısı değeri özellikle 500 Hz frekansın üzerinde yüksektir. Malzeme, 500 Hz'den daha düşük frekanslarda, gözenekli malzemeler için tipik bir sorun olan ses yutma kabiliyetinin bir kısmını kaybetmektedir. Kalınlık iki katına çıkarılsa bile (5 cm'den 10 cm'ye), düşük frekanslarda yutma katsayısının değeri her zaman düşüktür. Bu malzemelerin eriyebilir olması da bir kullanım sorunudur. Bu yüzden malzeme akustik olarak saydam torbalara yerleştirilmelidir [95], [96], [97].



Şekil 4.25 Eritilmiş seküloz [95], [96], [97]



Şekil 4.26 Empedans tüpü ile ölçülen erimiş selülozun yutum katsayısı [95], [96], [97]

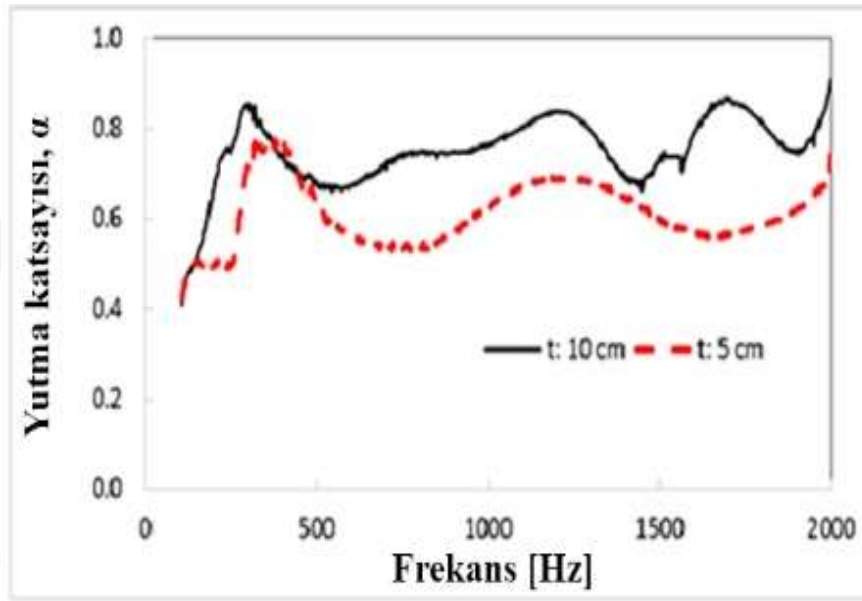
Bir diğer olasılık ise çözünmüş malzemenin bağlayıcı ile karıştırılarak ses yutumu için kullanılabilecek sert bir malzeme elde edilmesidir. Şekil 4.27'da gevşek malzemenin yapıştırıcı ile karıştırılmasıyla oluşan rijit malzeme gösterilmiştir. Malzeme bu şekilde rijit bir yapı kazanır, dolayısıyla kullanımı daha kolay olur. Şekil 'te akustik ölçümler için kullanılmış rijit iskelete sahip malzeme örneği gösterilmiştir. Şekil 4.28'de rijit çerçeve malzemesinin iki farklı kalınlığı (5 cm ve 10 cm) için empedans tüpü ile ölçülen yutma katsayısı değerlerini göstermektedir. Beklendiği gibi, yutma katsayısı değerleri rijit malzeme ile birlikte düşmektedir. 5 cm kalınlık için 0,6 ve 10 cm kalınlık için 0,7 yutum değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.27 Tutkal ile gevşek malzeme ile elde edilen sert malzeme [95], [96], [97]



Şekil 4.28 Akustik ölçümler için kullanılan rijit iskeletli numuneler [95], [96], [97]



Şekil 4.29 Rijit iskelet selülozunun yutma katsayısı [95], [96], [97]

Her iki çalışmada da selüloz, sesi yalıtmak için basit, ucuz ve çevre uyumlu iyi bir sistem olarak ele alınmıştır. Bunun yanı sıra, bu malzeme iyi düzeyde bir ısı yalıtkanı, insan sağlığına zararsız, geri dönüştürülebilir, yenilebilir, yaygın olarak bulunan ve düşük maliyetli olup birçok farklı uygulamada yapay liflere bir alternatif oluşturacağı görülmektedir.

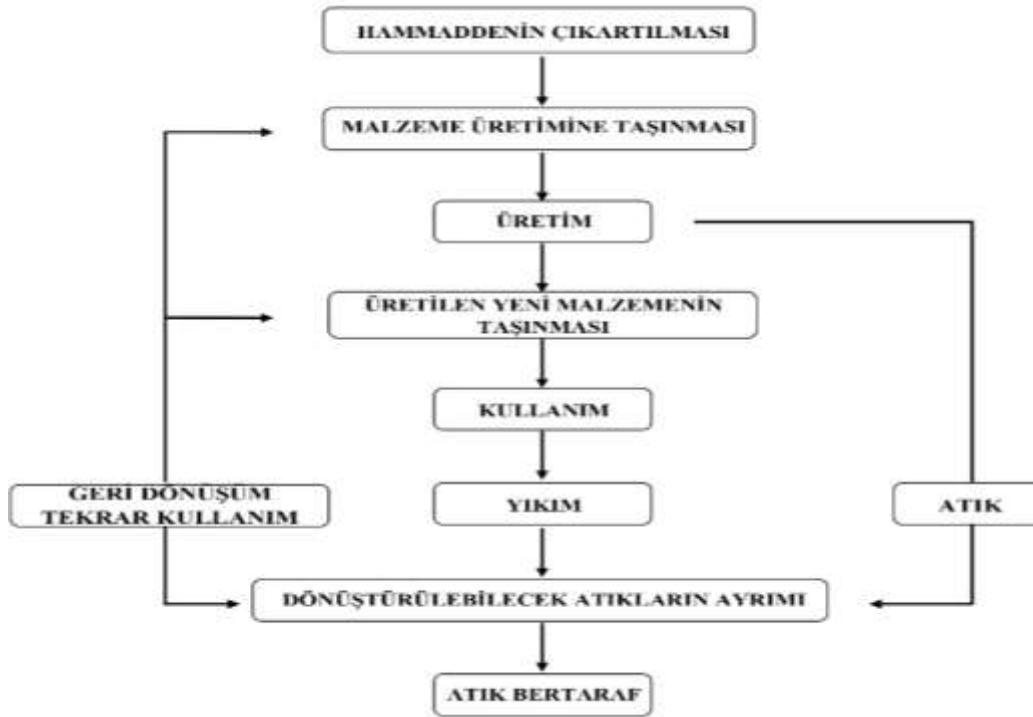
- **İnşaat Yıkım Atıkları**

Yol yapımı, alt ve üst yapıların inşaatları aşamasında açığa çıkan atıklar inşaat atıkları kapsamında tanımlanmaktadır. Konut, yapı, köprü, karayolu ve benzeri alt ve üst yapıların bakımı, onarımı, yenilenmesi, tahribatı veya tabii afet neticesinde meydana gelen atıklar ise yıkıntı atıkları olarak adlandırılmaktadır [98]. Yıkım atıkları, gerek planlı bir biçimde gerekse meydana gelen doğal felaketler neticesinde meydana gelsin, yüzde 90 civarında geri dönüştürülebilecek bir atık

türüdür. Bu atıkların kentlerde üretilen toplam atık miktarı içindeki ağırlığı neredeyse yüzde 30'dur ve ne yazık ki geri dönüşüm oranları potansiyelinin çok uzağındadır [99].

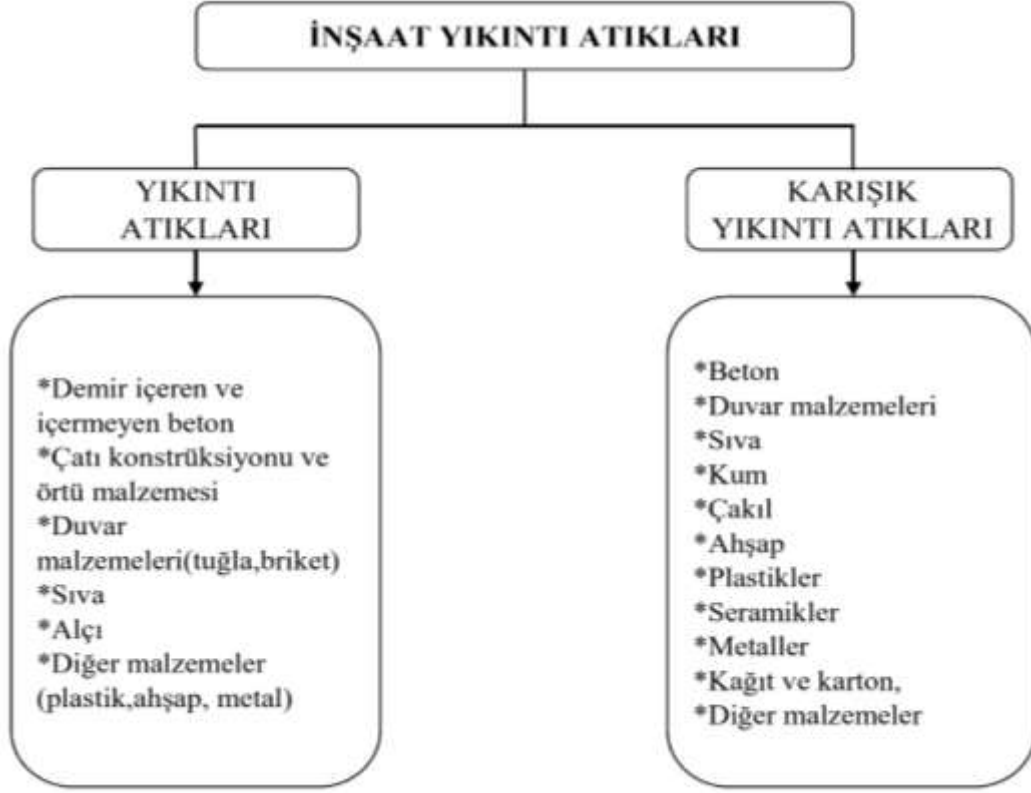
Bu yüzden atığın kullanılması en son düşünülen, hatta hiç düşünülmeyen bir konu olmaktadır. Ancak atıklara değer kazandırmak için öncelikle ayrıştırmanın yıkım sahasında yapılması en doğru yöntemdir. Binaların yıkım işlemi inşaat işçileri vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Şantiyede ayrıştırma hususunda bilgi birikimine hakim bir görevli eşliğinde yıkım gerçekleşmelidir. Yıkım tesisinde ayrıştırılmış olan çeşitli atıkların depolanması için bir alan bulunması gerekmektedir. Bu durum ise yıkım alanında ilave bir gider oluşturmaktadır.

Eğer bu maliyet ortadan kaldırılıp değerlendirilebilecek atıklar doğrudan depolama alanına gönderiliyorsa, bu durum kullanılabilir atıkların zarar görmesi ve depolama sahasında hijyen olmayan şartlara tabi olunması gibi sorunlar yaratmaktadır. Bir yapı malzemesi öncelikle kaynaktan çıkarılır, bir işleme tesisine ya da üretim tesisine taşınır, işlenir ve bir ürün olarak ortaya çıkar, şantiyeye gönderilir, şantiyede kullanılır, parçalanır, ayıklanır ve geri dönüştürülür. Bu döngü Şekil 4.30'da gösterilmektedir.



Şekil 4.30 İnşaat malzemeleri döngüsü [100] (Yazar tarafından hazırlandı)

İnşaat ve yıkım esnasında birbirinden farklı özelliklere sahip büyük miktarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların sınıflandırılması için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda incelenen çalışmalarda, yapı malzemesi olarak geri dönüştürülen yıkım atıkları ve kompozit atıklar olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.31 İnşaat yıkıntı atıklarının sınıflandırması [101] (Yazar tarafından hazırlandı)

Geri dönüştürülmüş inşaat yıkıntı atıkları belirli aşamaları tamamladıktan sonra yapı malzemesi ve endüstriyel bir malzeme olarak değerlendirilebilir (bkz. Şekil 4.30). Yapı malzemesi olarak kullanımı incelendiğinde çimento, agrega, asfalt, ses yalıtımı, yangın yalıtımı, donatı ve benzeri olarak geri dönüştürülerek inşaat sektöründe kullanılabilir. Çalışma kapsamında atık inşaat yıkıntılarının akustik malzeme ve ses yutucu malzeme olarak kullanımı üzerine bir araştırma yapılmıştır.

Bu kapsamda yapılan literatür araştırmasında, atık inşaat yıkıntılarının akustik malzeme ve ses yutma malzemesi üretmek için kullanılabileceği, bazı yazarların ise atık inşaat yıkıntılarının kompozit olarak çeşitli geri dönüştürülmüş malzemelerin karıştırılmasının daha kullanışlı olabileceğini tespit ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

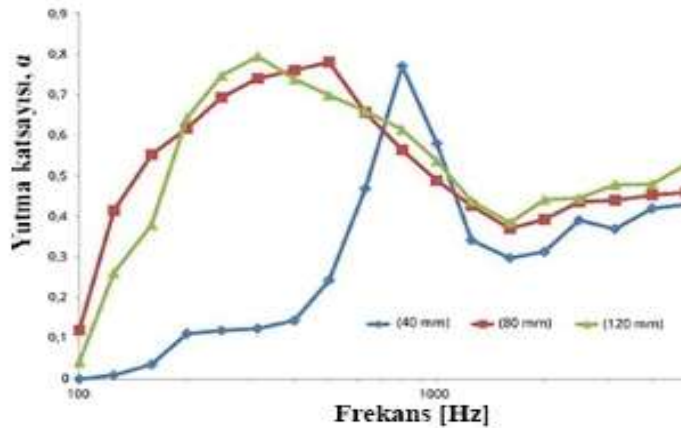
Geri dönüştürülmüş atık inşaat yıkıntıları ses yalıtımında kullanılmasına ilişkin literatür taraması sonucu Arenas, C.; Vilches, L.F ve arkadaşları [102] yaptığı çalışmada inşaat yıkıntılarının sürdürülebilir ses yalıtım malzemesi üretimine alternatif olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Arenas, C.; Vilches, L.F ve arkadaşları [102]. Trafik gürültüsünün kirlilik seviyesini azaltmak için geleneksel beton kullanımı yerine atık inşaat yıkıntı malzemesi olan seramiğin beton agregası olarak kullanımının üzerine çalışma yapmışlardır.



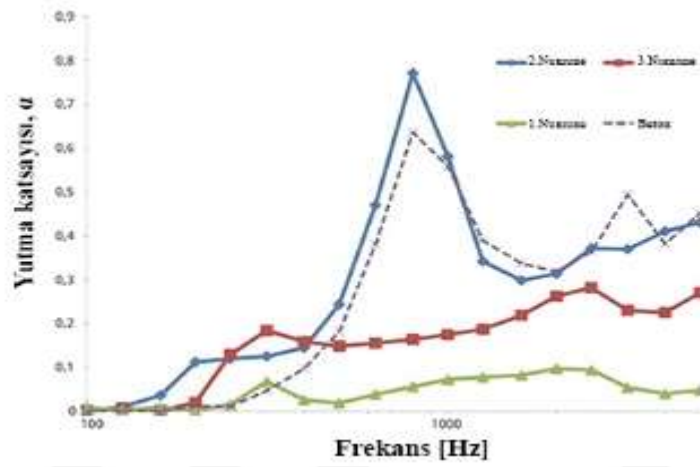
Şekil 4.32 Parçacık boyutlarına göre numune örnekleri [102]

Bu çalışmada atık inşaat yıkıntısı olarak kırmızı seramik kullanılmıştır. Kırmızı seramik atıklarının parçacık boyutlarına göre 3 farklı numune üretilip 28 gün bekletildi, var olan 3 farklı numune beton agregasıyla beraber EN ISO 10534-2 standardına göre empedans tüpü kullanılarak 3 oktav bandında ölçümler yapıldı. Bu numuneler arasında en iyi ses yutumu değeri düşük frekans da 0,8 yutma değeri ile parçacık boyutu en büyük olan 3 numuneye aittir. Çünkü ürünler arasındaki parçacık boyutu (gözenek) ne kadar artarsa ses yutumu sürtünmeden dolayı daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.33 Numunelerin ve betonun ses yutumu katsayıları [102]

Diğer bir yandan, gözenekli bir malzemenin akustik yutuculuğu test edilen numunenin kalınlığına göre değişmektedir. Bunun için farklı kalınlıklardaki CW malzemelerin aynı bileşimlerinde testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.34, 40 (K1), 80 (K2) ve 120 mm (K3) kalınlıklara sahip 3. numunenin ses yutma katsayısı eğrilerini göstermektedir. Kalınlık arttıkça 3 oktav bandında atık inşaat yıkıntılarından üretilen malzemenin ses yutum katsayısı düşük frekanslara kaymıştır. Bu bağlamda geri dönüştürülen yıkıntı atıkları gürültü denetimi ve akustik uygulamalarda farklı kalınlıklar da üretilerek soruna ve çözüme göre uygulanabilirliği saptanmıştır.



Şekil 4.34 3 numunenin farklı kalınlıktaki ses yutum katsayıları [102]

- **Kauçuk**

Kauçuk, batı uygarlığının gelişmeye ve kuvvetlenmeye başladığı dönemlerde gerçekleştirilen coğrafi buluşlar neticesinde keşfedilmiş ve teknolojik gelişmeler neticesinde ise kullanım alanı olağanüstü bir hızla yayılarak birçok endüstri dalında değerli bir hammadde haline dönüşmüştür.

Her geçen gün gelişen endüstriyle beraber kauçuk malzemeye olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmıştır. Kauçuk, hammaddesi adını taşıdığı bitkinin kendi sıvısından üretilmiş doğal bir malzemedir. Ancak özellikle içinde bulunduğumuz bu yüzyılın başından başlayarak, dünya savaşları süresince, kauçuğa duyulan gereksinimin her geçen gün artmasıyla beraber hammadde yetersizliği nedeniyle kauçuk hammaddesi arayışına yönelmiştir. Kimya alanında yürütülen araştırmalar ve incelemeler neticesinde yaşanan ilerleme, kauçuk hammaddesine bağımlı kalmaksızın bu gereksinimi giderebilme imkanı sağlamıştır. Bunun sonucunda

doğal kauçuğun haricinde sentetik bir malzeme yani yapay kauçuk üretilmiştir. Böylelikle doğal kauçuk haricinde bir başka kauçuk çeşidinden söz etmek mümkün olabilmektedir.

Kauçuk türleri doğal ve sentetik kauçuk olarak iki temel başlık altında toplanmıştır.

Kauçuk günlük yaşamda “lastik” olarak bilinen ve doğal bir maddedir. Kauçuk ağacından elde edilen bu madde, ağacın kabuğunda özel bıçaklarla V şeklide yarıklar oluşturulur. Bu yarıklardan akan süt görünümünde bulunan ve lateks olarak tanınan madde toplanır [103]. Günümüzde doğal kauçuk çoğunlukla araba lastikleri, teknik parçalar, ayakkabı tabanları, hortumlar, konveyör bantlar, zemin kaplamaları gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Yalnızca yağ ve yakıt çözücü maddeler ile ısı ve yaşlanma direncinin gerekli görüldüğü alanlarda uygulanmamaktadır [104].

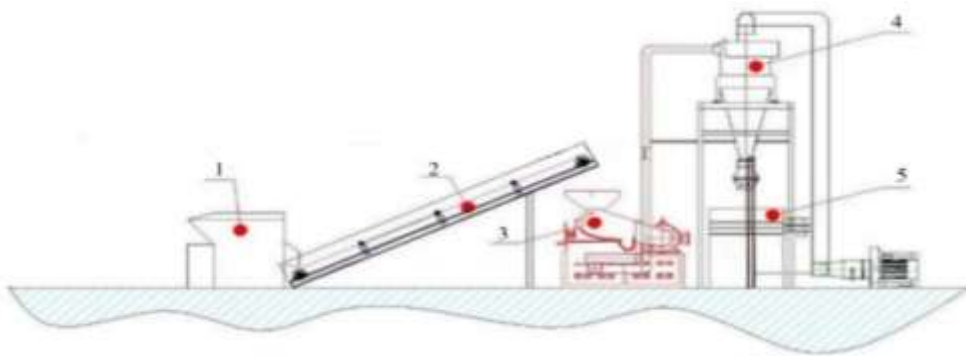
Yapılan bu araştırmalardan sonra, I. Dünya Savaşı'nda ihtiyaç duyulması sebebiyle Almanlar taş kömürünün hidrojenasyonundan türetilen 'BuNa' maddesini üretmişlerdir. Bütadienden türemiş ilk elverişli sülfürizasyon elastomerleri olan BuNa'da bileşen olarak Sodyum (Na) kullanılmıştır. Sonrasında S (Stiren) ve N (Nitril) elastomerlerinin bulunmasıyla BuNa-S ve BuNa-N adı verilen sentetik kauçuk üretilmiş [105].

Amerikalılar daha sonra petrolden yapay kauçuk elde ettiler. I. Dünya Savaşı'nda dünya devletlerinin kauçuk hammaddelerinden mahrum kalması sonucu, kalitesi ve maliyeti doğal ürünlere çok yakın yeni malzemelerin imalatı büyük hızla artmıştır [104]. Yapay kauçuk çoğunlukla araba lastikleri, teknik parçalar, ayakkabı tabanları, hortumlar, konveyör bantlar, zemin kaplamaları, yalıtım malzemesi gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir [106].

Ülkemizde ve dünya genelinde giderek yaygınlaşan kauçuk kullanımı, her yıl hızla büyüyen atık kauçuk sorununu da gündeme getirmiştir. Atık kauçuk, literatürde hurda kauçuk olarak adlandırılan otomobil lastiği atıkları ile lastik yapımında kullanılamayan kauçuk atıklarından oluşmaktadır. Dünya genelinde 2003 itibarıyla doğaya yaklaşık 950 milyon hurda lastik ve beraberinde ise toplam 19 milyon ton atık kauçuk bırakıldı. Bu rakamların 2010 yılı tahminlerine bakıldığında ise neredeyse bir buçuk katı olacağı öngörülmektedir [106].

Atık kauçuklar, günümüzde kullanım alanlarında oluşan farklılıklar sebebiyle birbirinden çok farklı ebatlarda malzemeden oluşmaktadır. Birbirinden farklı hacim ve şekillerde bulunan atık lastiklerin bir araya daha kolay getirilebilmesi için çözümler aranmış ve daha az alanda depolanması yoluna gidilmiştir. Bunun nedeni atık lastiklerin depolanmasının hem çok zor olması ve büyük alanlar işgal etmesi hem de depolanmasının bazı riskler taşımasıdır. Dolayısıyla atık lastiklerin ve hurda lastiklerin temel prensip olarak standard boyutlarda parçalanması gerekmektedir. Bu sebeple atık lastikler iri parçalardan granül boyutundaki tozlara kadar ayrıştırılıp sınıflandırılmaktadır [106].

Birbirinden çok farklı ebatlardaki atık kauçuk ve hurda lastiklerin küçük parçalara ayrılarak parçalanması işlemi çok sayıda aşamadan meydana gelmektedir. Öncelikle, toplanan değişik ebatlardaki atık lastikler 'parçalayıcı' adı verilmiş bir parçalama makinasından geçirilmektedir. Bu safhada lastikler çoğunlukla küçük parçalara ayrılmaktadır. Ardından lastiğin çelik ve tekstil parçaları ayrılarak yalnızca kauçuk kısım bırakılmaktadır. Daha sonraki adımda atık lastikler soğutularak elastik yapılarından dolayı parçalama yöntemi uygulanır. Bu süreçte ise çeşitli ebatlara getirilen atık lastikler sıvı ve gaz azot uygulanarak -80 dereceye kadar soğutulmaktadır. Donmuş bu parçalar kırılarak daha küçük bir hale getirilmektedir. Farklı ebatlardaki parçaların daha küçük ebatlara düşürülmesi için yapılan bu işleme 'kriyojenik parçalama' tekniği denilmektedir. Her aşamasında birbirinden farklı eleklerden geçirilerek 'grinder' adı verilen parçalama makinelerine konulan atık lastikler, bu şekilde daha küçük boyutlara getirilmektedir. Yapılan bu işlem sayesinde değişik boyutlardaki atık lastikler ve kauçuklar toz boyutuna indirgenmektedir [107].



Şekil 4.35 Kauçuk geri dönüşüm ve parçalara ayırma işlemi [108]

Geçtiğimiz yıllarda, daha önceden belirtildiği üzere, miktarı giderek artarak devam eden atık kauçuk, hem çevreyi hem de insan sağlığını büyük ölçüde tehdit etmekteydi. Bu kadar yüksek miktardaki atık kauçuğun depolanması çok fazla alan gerektirmektedir. Bunun yanı sıra depolanma esnasında zehirleyici gazlar açığa çıkmaktadır. Bu sebeple atık kauçuğun geri kazanımı amacıyla farklı yöntemlerin denenerek geliştirilmesi yoluna gidilmiştir. Bu çalışmaları direkt kullanım, divulkanizasyon işlemi sonucu kullanım ve şekillendirilerek yeni malzeme üretimi olarak üç ana bölümde gruplandırmak mümkündür.

Geri dönüştürülmüş atık kauçuğun dönüşüm biçimleri irdelendiğinde, şekil verilerek yeniden malzeme üretimi aşaması daha çok inşaat sektöründe görülmektedir. Genellikle inşaat alanında akustik yalıtım, ısı yalıtımı, su yalıtımı, zemin kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında geri dönüştürülmüş atık kauçuk malzemenin akustik malzeme olarak değerlendirilmesi ve akustik yalıtıma etkisi, belirli bir frekans aralığında ses yutum değerleri üzerine literatürde var olan çalışmalar ile incelenecektir.

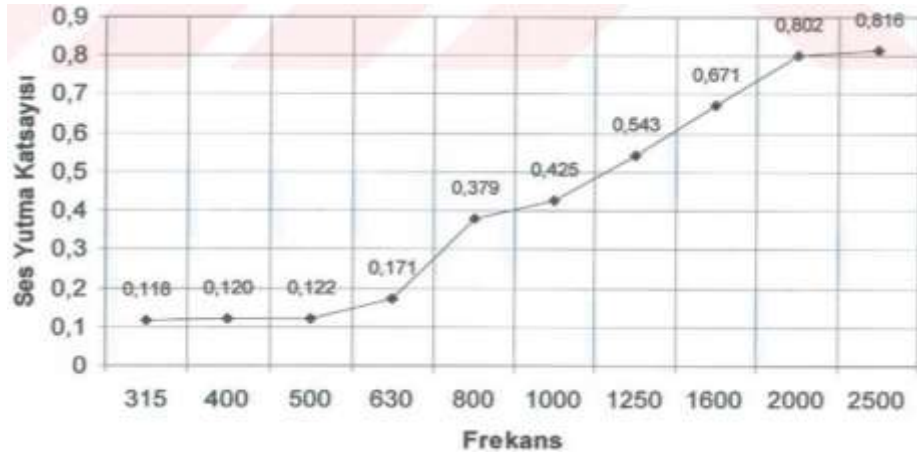
M.F. Bilge [106], Atık kauçukların, bağlayıcı olan yapıştırıcı ve katalizörle bir araya getirilmesiyle yeni bir malzeme üretmiştir. Yeni üretilen yapı malzemesi için 'I' formunda kalıp üretilmiş olup malzeme üretilen kalıbın şeklindedir.



Şekil 4.36 Atık kauçuktan üretilen malzeme [106]

Geri dönüştürülmüş atık kauçuktan üretilen malzeme uzunluğu 245 mm, genişliği 195 mm, kalınlığı 25 mm'dir Ortalama ağırlığı 960 gr olan yeni ürünün içinde 780 gr lastik tozu, 119,5 gr bağlayıcı ve 0.5 gr katalizör bulunmaktadır.

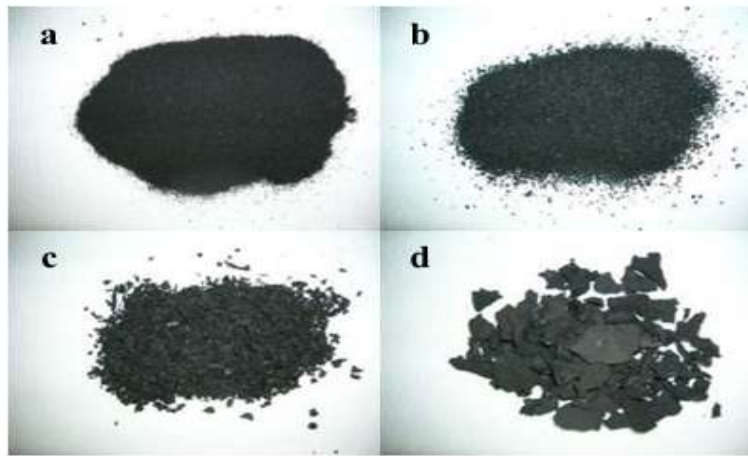
Malzemenin ses yutma katsayısı empedans tüpü yöntemiyle TS 7457'ye uygun olarak İ.T.Ü. Makine Fakültesi Sistem Dinamiği ve Kontrolü laboratuvarlarında yapılmıştır [107]. Ölçüm sonrası ses yutum katsayıları frekansa bağlı değişimi aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.37 Atık kauçuktan üretilen malzemenin ses yutum katsayısı [106]

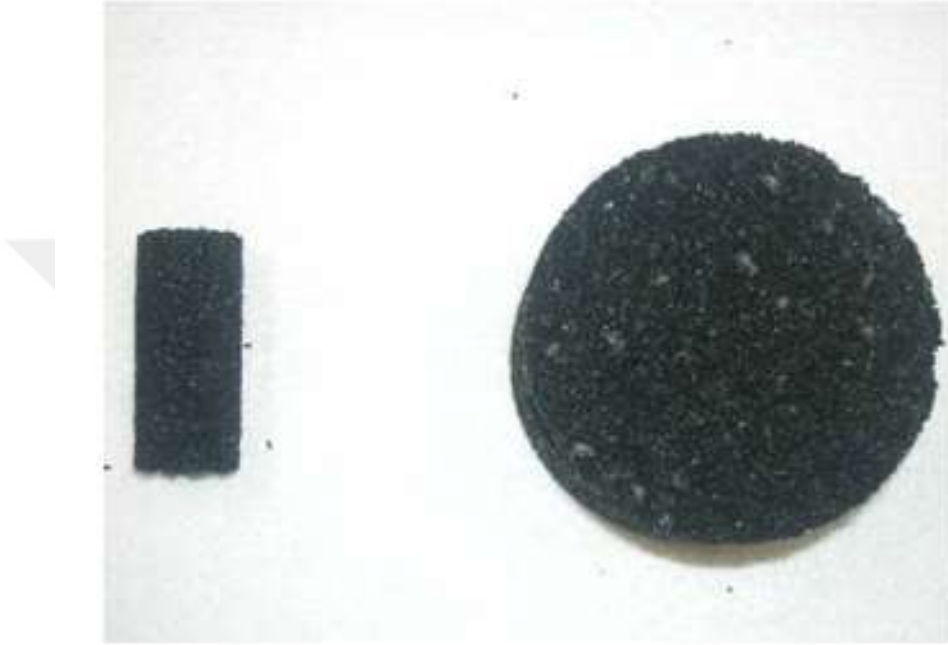
Üretilen yeni malzemenin ses yutum katsayıları incelendiğinde 315 Hz ile 2500 Hz arasında ölçüm yapılmıştır. Ölçümler neticesinde şekil 2'ye bakıldığından alçak frekanstan yüksek frekansa doğru gidildikçe 315 Hz ses yutum katsayısı 0,18, 1000 Hz ses yutum katsayısı 0,425 ve 2500 Hz ise ses yutum katsayısı 0,816 olduğu saptanmıştır. Orta frekanslarda yutum son derece yüksek alçak frekanslarda ise ses yutumunun düşük olduğu saptanmıştır

F. Asdrubali ve arkadaşları [110], Perugia Üniversitesi Akustik Laboratuvarı'nda geri dönüştürülmüş lastik granüllerinden numuneler hazırlamış ve ölçümler ISO 10534-2 standardına uygun bir empedans tüpü kullanılarak 29 mm ve 100 mm çapındaki dairesel numuneler ile gerçekleştirmiştir. Empedans tüpünde kullanılacak numunelerin boyutları kauçuk granül tozu ($\varnothing < 1$ mm), küçük boy ($\varnothing=1$ mm), orta boy ($\varnothing=3$ mm) ve büyük boy ($\varnothing>10$ mm) olarak ayrılmıştır.



Şekil 4.38 Geri dönüşümlü lastik granüller ebatları ve boyutları [110]

Numuneler için dört farklı büyüklükte lastik granülleri hazırlanmıştır. Bu numuneler yan yana getirilerek iki bileşenli poliüretan reçine (PB), iki bileşenli epoksi reçine (EB), tek bileşenli epoksi reçine (EM) bağlayıcıları ile birleştirilerek farklı numuneler elde edilmiştir. Numuneler daha sonra 24 saat kurumaya bırakılmış ardından 24 saat sonra empedans tüpünde kullanılmak üzere 29 mm ve 100 mm çaplarında kesilmişlerdir.



Şekil 4.39 Empedans tüpündeki yutum katsayısının ölçümü için kullanılan numune [110]

Tablo 4.5 Test edilen numunelerin özellikleri ve normal ortalama yutma katsayısı [110]

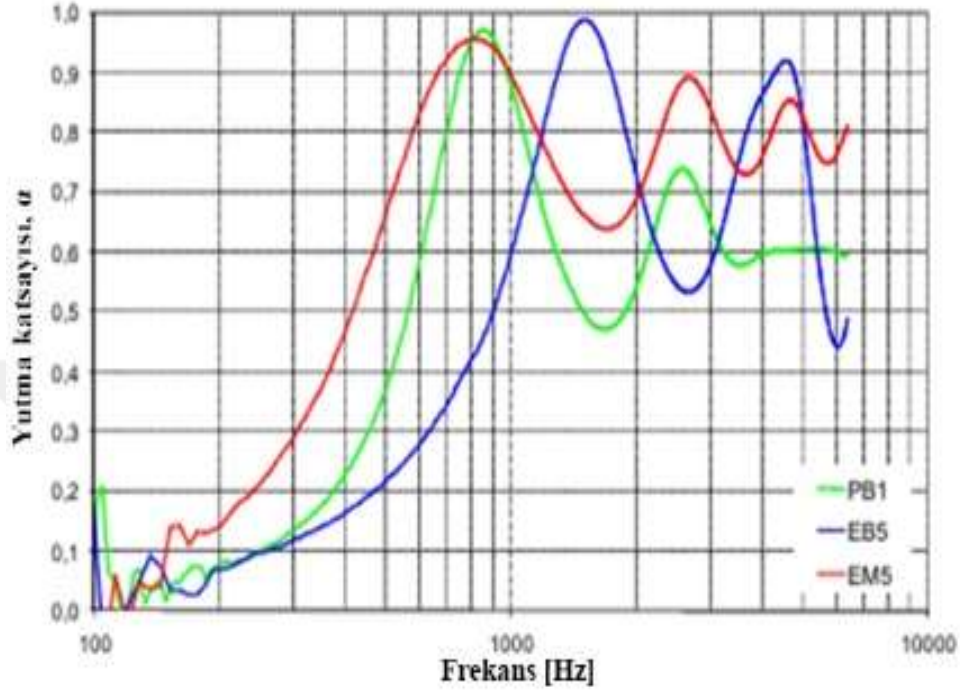
No	Kimlik Kodu	Kalınlık (mm)	Tane Büyüklüğü
1	0	19	-
2	PB1	48	Orta
3	PB2	21	Orta
4	PB3	21	Küçük

Tablo 4.5 Test edilen numunelerin özellikleri ve normal ortalama yutma katsayısı
[110] (devamlı)

5	PB4	49	%50 küçük + %50 orta	5
6	PB5	20	Küçük	6
7	PB6	25	Küçük	7
8	PB7	18	Küçük	0.533
9	EB1	18	Küçük	0.477
10	EB2	20	Orta	0.349
11	EB3	22	Küçük	0.601
12	EB4	21	Orta	0.388
13	EB5	38	Küçük	0.676
14	EB6	28	%50 küçük + %50 orta	0.549
15	EM1	33	Küçük	0.578
16	EM2	48	Küçük	0.674
17	EM3	45	Küçük	0.692
18	EM4	60	Küçük	0.698
19	EM5	62	Küçük	0.754

PB numunesi grubundaki en iyi ortalama yutma değeri PB1, EB numunesi grubundaki numune EB5 ve EM numunesi grubundaki numune ise EM5'tir. PB1 numunesinin genel karakteristiği orta tane boyutuna ($\varnothing 3\text{mm}$) sahip iki bileşenli poliüretan reçine, EB5 numunesinin genel karakteristiği küçük tane boyutuna ($\varnothing 1\text{mm}$) sahip iki bileşenli epoksi reçine ve EM5 numunesinin genel karakteristiği

ise küçük tane boyutuna ($\varnothing 1\text{mm}$) sahip tek bileşenli epoksi reçinedir. reçine küçük büyüklükteki tane büyüklüğüne sahip ($\varnothing 1\text{mm}$) ve EM5 malzemenin genel özelliği ise tek bileşenli epoksi reçine küçük büyüklükteki tane büyüklüğüne sahip ($\varnothing 1\text{mm}$) numuneyi ifade eder.



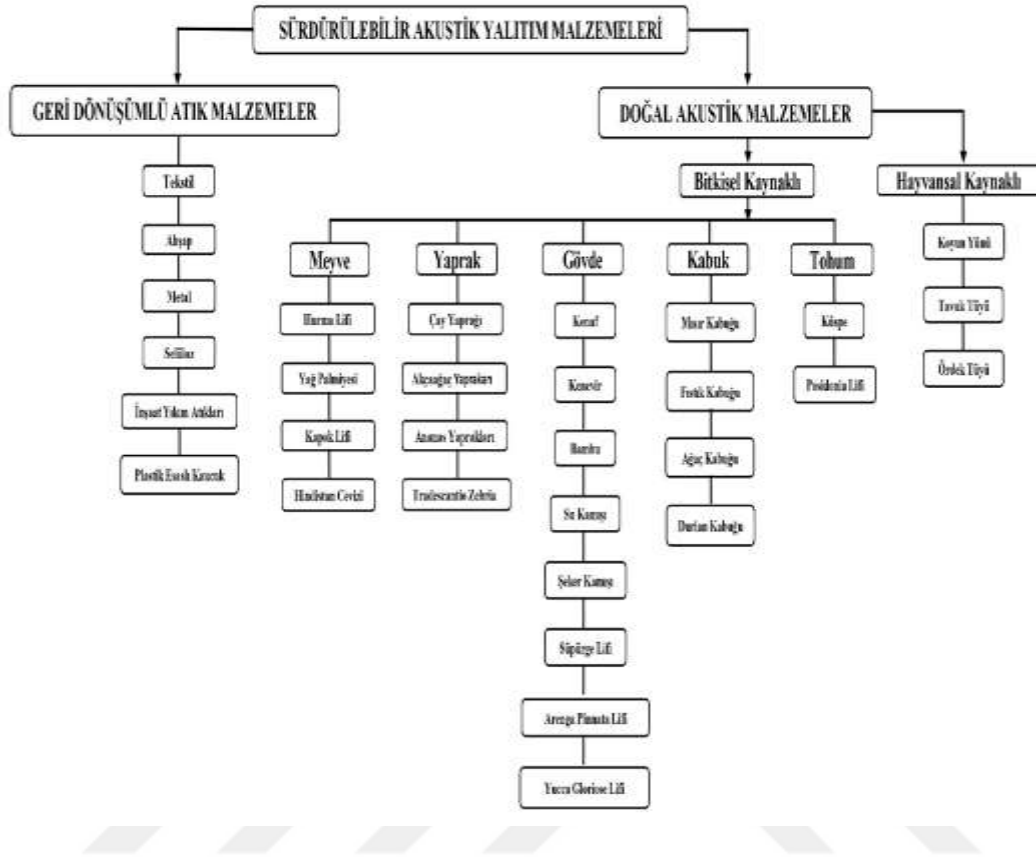
Şekil 4.40 En iyi performans gösteren örneklerin ses yutma katsayısı spektrumları [110]

3 numune analiz edildiğinde maksimum ses yutma katsayısı EB5 olarak bilinen iki bileşenli epoksi reçinenin küçük tane boyutuna sahip ($\varnothing 1\text{mm}$), 38 mm tane boyutuna sahip numunedir ve bu numunenin yutma değeri 0,96 olarak ölçülmüştür. Grafiğe bakıldığında sabit hareket eden numune EM5 olarak görülmekte ve 100 - 1000 Hz arasındaki tüm numunelerin yutma katsayısı 1000 Hz üzerindeki yutma katsayısından düşük olarak ölçülmektedir. Bu durumda kauçuk esaslı malzemelerin 1000 Hz üzerindeki seslerde daha iyi yutuculuk özelliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. F. Asdrubali ve arkadaşları geri dönüştürülmüş atık lastiklerin ses yalıtımı ve sürdürülebilirlik bağlamında umut verici olduğunu yaptığı çalışmada kanıtlamaktadır.

4.2.2 Doğal Akustik Malzemeler ve Akustik Özellikleri

Yalıtım malzemelerini sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirmek amacıyla bu çalışmada doğal kaynaklardan elde edilen alternatif malzemeler "Bitkisel ve

Hayvansal " olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.41’de doğal akustik malzemelerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 4.41 Doğal malzemelerin sınıflandırılması

4.2.1.1 Bitkisel Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler

Yapı malzemelerinin kullanıldıkları binanın özellikleri üzerindeki etkisi çok önemlidir. Aslında yapıda içinde bulunduğu hacmi sınırlandıran ve mekânı oluşturan malzemelerdeki seçimler, gözle görülebilir, algılanabilir etki ve sonuçlarının yanı sıra, doğrudan algılanamayan birçok mekânsal özelliğin şekillenmesine ve zarar görmesine de yol açar. Bu yapay ortama oluşan akustik koşulları, nem koşulları, ısı koşulları, havanın istenilen nitelikte olması, manyetik ve elektrik gibi konuları alanların niteliği ve niceliğini büyük oranda malzemenin belirlediği görülmektedir [111].

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, yapı malzemelerinin petrol türevli olması yerine sürdürülebilir, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin öncelikli olarak tercih edilmesi bir zorunluluktur. Bu bağlamda, bitkisel kökenli malzemelerin gelişimi ve kullanımı hem kaynak sıkıntısı çeken hem de çevresel problemlere neden olan yapı sektörü için çok büyük önem taşımaktadır. Bitkisel

kökenli yapı malzemeleri, alışıla gelmiş yapı malzemelerine göre kullanımı daha kolay ve muhtemelen çevreye daha duyarlı malzemelerdir.

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre ise yapı malzemelerinin sadece %5'i zararsız niteliktedir [112]. Bu olumsuz etkileri azaltabilmek amacıyla Dünyanın birçok ülkesinde bitkisel kökenli malzemelerin üretimine ilişkin araştırmalar yürütülmektedir. Bunlar tamamıyla doğal olup, hızla yenilenebilirler ve az enerji tüketen sürdürülebilir malzemelerdir [113]. Bitkisel kökenli yapı malzemeleri meyve, yaprak, gövde, kabuk ve tohum olmak üzere beş ana bölüme ayrılarak bu bölümde akustik bağlamda toplam 22 atık doğal malzemeden üretilen doğal akustik yalıtım malzemeleri hakkında genel bilgiler verilecektir.

- **Meyve Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**
- **Hurma Lifi**

Araştırma sırasında, doğal hurma atığı lifleri (çoğunlukla hurma dalları ve salkımlarından elde edilen liflerdir) İran'ın Güney Horasan bölgesindeki Tabas şehrinden temin edilmiştir. Harita 4.1 hurma ağaçlarının İran coğrafyasında yoğun olarak bulunduğu kesimler gösterilmiştir.[114].

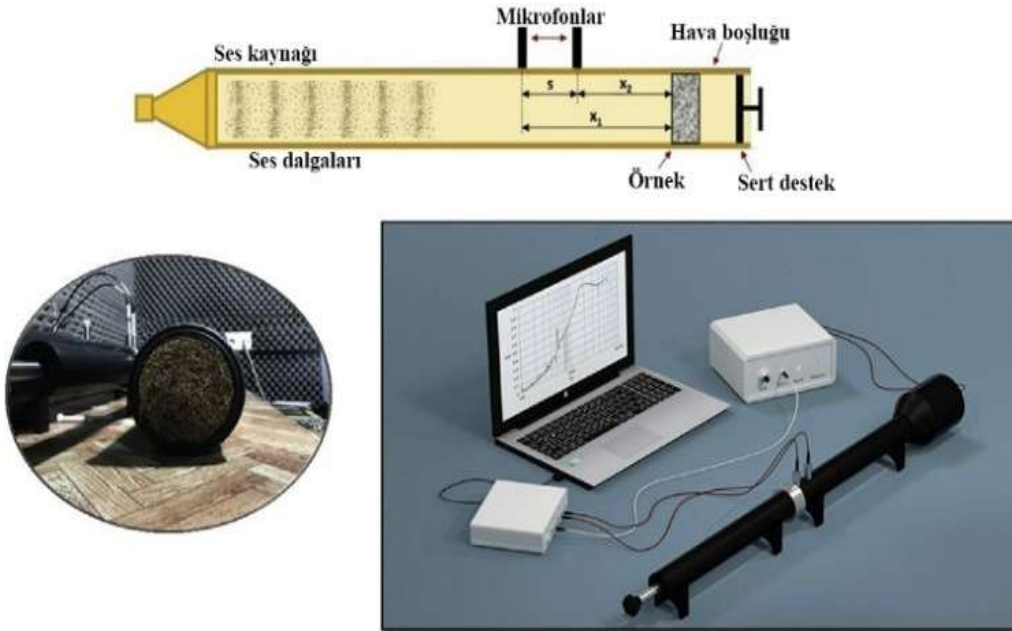


Harita 4.1 İran'da hurma yetiştiriciliğinin yapıldığı yerler [114]

Laboratuvara taşınan ham hurma atıkları, kurumaları ve sabit bir ağırlık elde etmeleri için 24 saat boyunca 70 C'de bir fırına yerleştirilmeden önce damıtılmış su ile durulanmıştır. Hurma atıkları daha sonra bir makas yardımıyla daha küçük

parçalara bölünmüş ve 2 mm gözenekli elekten geçirilerek oldukça homojen bir hale getirilmiştir. Lifleri birbirine bağlamak ve bir kompozit oluşturmak için polivinil alkol kullanılmıştır. Polivinil alkolün biyolojik olarak parçalanabilen bir malzeme olduğu bilinmektedir. [115].

Lifler alüminyum bir kalıpla sıkıştırılarak şekillendirilmiştir. Bu bağlamda, bir empedans tüp sisteminin iki tüpünün (büyük ve küçük) içine ayrı ayrı yerleştirilmek ve sırasıyla daha düşük (125-500 Hz) ve daha yüksek (1000-4000Hz) frekanslarda ses yutma katsayılarını elde etmek için 30 ve 100 mm çaplarında iki grup dairesel numune üretilmiştir. Kalıplama işleminden sonra numuneler, yutma katsayısı ölçümü için laboratuvara aktarılmadan önce tamamen kurumaları için 12 saat boyunca oda sıcaklığında bırakılmıştır. Bu işlemle oluşturulan numuneler 20, 30 ve 40 mm kalınlıklara ve 65 kg/m³ sabit yoğunluğa sahiptir. Toplamda 6 numune (3 adet 30 mm çapında ve 3 adet 100 mm çapında) akustik yutma katsayısını belirlemek için bir empedans tüpünde test edilmek üzere hazırlanmıştır [107]. Genel olarak, ses yutucuların yutma katsayısını ölçmek için çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada ses yutma katsayısı, ISO 10534-2'ye göre transfer fonksiyonu yöntemine göre empedans tüpü aracılığıyla ölçülmüştür (şekil 4.42) [116].



Şekil 4.42 Bu çalışmada kullanılan empedans tüpünün şematik görünümü [116]

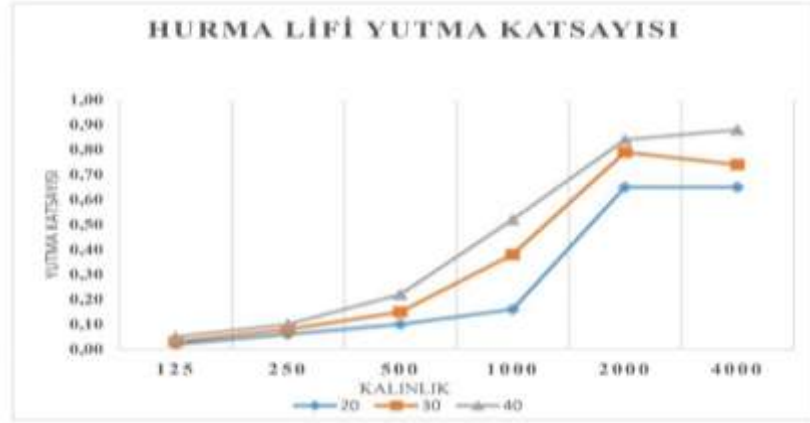
Malzemelerin standart yutma katsayısının elde edilmesine yönelik araştırmaların bir örneği olarak, bu çalışmada kullanılacak olan empedans tüp sistemi, düşük frekanslarda (63-1600 Hz) yutma katsayılarını ve iletim kaybını ölçmek için daha büyük çaplı bir tüp (100 mm). Daha yüksek frekanslarda (1000-6300Hz) yutma katsayısını ve iletim kaybını daha küçük çaplı bir tüp (30 mm) olmak üzere iki tüp ile donatılmıştır [114].

Hurma ağaçlarının doğal lif örneklerinin ses yutma katsayıları ilk olarak 20, 30 ve 40 mm kalınlıklarda ve 65 kg/m sabit yoğunlukta düşük (125-500 Hz) ve yüksek (1000-4000 Hz) frekans aralığında incelenmiştir. Tablo 4.6'daki sonuçların gösterdiği gibi, hurma lifinin ses yutma performansı yükselen frekans değerleri ile beraber önemli ölçüde yükselmiştir. Başka bir deyişle, düşük frekanslarda daha düşük yutma katsayıları elde edilirken, yüksek frekanslarda daha yüksek yutma katsayıları elde edilmektedir. Ayrıca, yukarıda belirtilen kalınlıklarda ve 125-4000 Hz frekans aralığında ortalama ses yutma katsayısı 20 mm kalınlıkta 0,27, 30 mm kalınlıkta 0,36 ve 40 mm kalınlıkta 0,44'tür.

Tablo 4.6 Üçte bir oktav bantlarda farklı hava aralıkları ile akustik yutma ölçümleri [114]

Malzeme	Kalınlık (mm)	Hava Boşluğu (mm)	Frekans (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
Hurma Lifi	20	0	0,02	0,06	0,10	0,16	0,65	0,65
		10	0,02	0,06	0,11	0,27	0,77	0,70
		20	0,03	0,08	0,12	0,44	0,76	0,68
		30	0,04	0,09	0,15	0,52	0,71	0,67
	30	0	0,03	0,08	0,15	0,38	0,79	0,74
		10	0,04	0,10	0,19	0,50	0,76	0,77
		20	0,05	0,12	0,25	0,64	0,73	0,79
		30	0,07	0,13	0,33	0,71	0,71	0,76
	40	0	0,05	0,10	0,22	0,52	0,84	0,88
		10	0,07	0,15	0,29	0,58	0,83	0,82
		20	0,07	0,18	0,33	0,66	0,88	0,80
		30	0,09	0,20	0,38	0,75	0,90	0,74

Xie ve arkadaşları da numunelerin kalınlığı ve gözenekliliği arttıkça malzemelerin yutma katsayısı da artmaktadır [117]. 2000 Hz frekansında Tablo 4.6'y a göre kalınlık ve akustik yutma katsayısı birbirini doğrudan etkilemektedir, öyle ki 40 mm kalınlıkta (20 mm'ye kıyasla) yutma katsayısı 0,84'e (%0,23 artış) ulaşmaktadır. Sonuç itibariyle, ses yutucu malzemelerin düşük frekanslardaki zayıflatma etkinliği ve verimliliği kalınlıklarıyla doğrudan ilişkilidir.



Şekil 4.43 Hurma lifinin farklı kalınlıklarda ses yutum katsayıları [114]

Bu araştırmada, hurma liflerinin ses yutma katsayıları incelenmiş ve raporlanmıştır. Bu lifler, hurma ağaçlarının kesilmesi ve budanmasıyla elde edilen doğal atık ürünlerdir ve özellikle sentetik liflerle karşılaştırıldığında insan sağlığına zararlı değildir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerin kalınlığındaki artışın ses yutma katsayılarını daha da artırabileceği gösterilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda, empedans tüpündeki numunelerin arkasına bir hava boşluğu eklenmesinin, özellikle 20 mm, 30 mm ve 40 mm kalınlıktaki ince numuneler için emilimin frekans bant genişliğini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini ortaya çıkartmıştır.

- **Yağ Palmiyesi**

Malezya'daki yağ palmiyesi Batı Afrika kökenlidir ve 1860'larda Malezya'da tanıtılmıştır [118]. Yağ palmiyesi Malezya'nın en önemli ticari ürünlerinden birisi olarak bilinmektedir. Dünyanın en büyük ikinci üreticisi olan palmiye yağı yetiştiriciliği Malezya ekonomisi için hayati önem taşımaktadır. Malezya Palmiye Yağı Kurulu'na göre, Malezya'daki palmiye yağı tarlaları 1920 yılında 400 hektar iken 2011 yılında bir milyon hektara çıkarılmıştır [119].

Palmiye yağına artan talep, dünya nüfusundaki hızlı artış ve ekonomik kalkınmadan kaynaklanıyor. 2013 yılı itibariyle Endonezya ve Malezya dünyanın en büyük iki palmiye yağı üreten ülkesi olup, birincisi yaklaşık 31 milyon ton, ikincisi ise yaklaşık 19,4 milyon ton palmiye yağı üretmiştir [120]. 1993-2013 arasında dünya çapında üretilen ortalama palmiye yağı meyvesi yaklaşık 159 milyon ton olup, bu meyvenin %83'ünden fazlası Asya kıtasında üretilmiştir [121].

Taze yağ palmiyesi meyve salkımı, boş meyve salkımının %22 ila 25'inden oluşur [122]. Palmiye yağı üretiminde, bir hektarlık alanda 5,5 ton yağ üretilmekte, aynı zamanda yan ürün olarak yılda 55 ton toplam kuru meyve biokütlesi üretilmektedir. Palmiye ağacından elde edilen çeşitli kuru biokütleler arasında, boş meyve salkımı biokütlenin %73'ünü oluşturmaktadır. Boş meyve salkımı, yağ palmiyesi meyvelerinin taze meyve salkımlarından ayrıldığı buharla sterilizasyon sürecinin bir yan ürünüdür. Kabuklar boş meyve salkımından çürütme işlemi ile elde edilebilir [123].

Malzeme numunesi, yağ palmiyesinin boş meyve salkımlarından elde edilmiştir. Ses yutma katsayısı ölçümleri için kullanılacak 1 gram ile 7 gram ağırlığındaki numuneler, empedans tüpü çapıyla aynı çapa sahip 33 mm alüminyum kalıba yerleştirilmiştir. Kalınlıkları 20 mm ile 100 mm arasında değişen bu numuneler 100 °C'de 5 dakikalık basınç altında sıkıştırılmıştır.



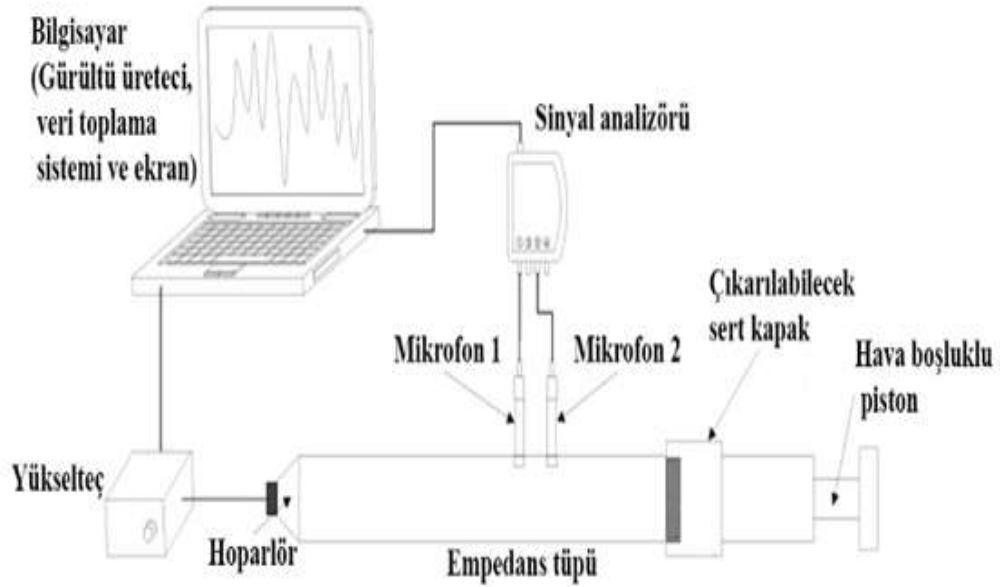
Şekil 4.44 (a) Ham yağ palmiyesinin boş meyve salkımı (b) 20 mm (c) 100 mm ses yutucu örnekler numuneler

Bu çalışmada yağ palmiyesinin ölçülen ses yutma katsayısı, numunelerin kalınlığı ve yoğunluğu ile tanımlanmaktadır.

Tablo 4.7 K t le, kalınlık ve yoğunluğa sahip numunelerinin listesi [124]

K�t�lesi m (g)	Kalınlığı t (mm)	Yoğunluğu $\rho = m / V$ (kg/m ³)
1	10	116,9
2	10	233,8
3	10	350,8
4	10	467,7
5	10	584,6
6	10	701,5
7	10	818,4
2	20	116,9
3	20	175,4
4	20	233,8
5	20	292,3
10	40	292,3
12,5	50	292,3

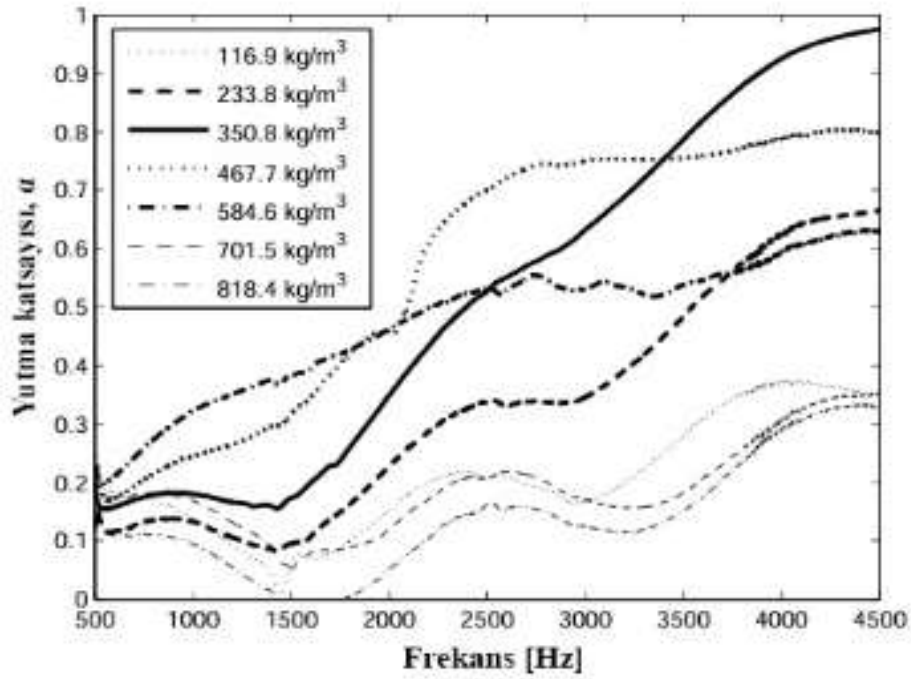
Yağ palmiyesi ses yutum katsayısının  l  m  ISO 10534-2'ye (BS EN ISO 10534-2, 2001) uygun olarak empedans tüpü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.  l  m kurulumu  ekil 4.45'de gösterilmiştir.



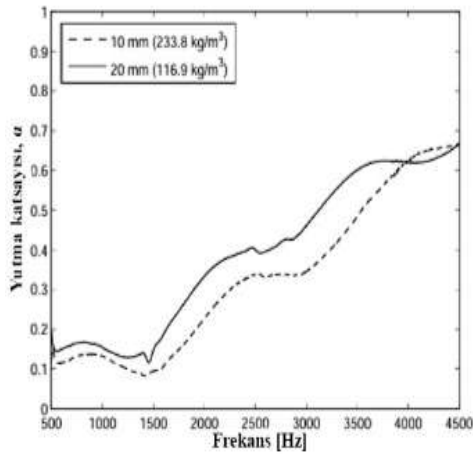
Şekil 4.45 Ses yutum katsayısının ölçümü için deney düzeneği

Şekil 4.46'da 10 mm kalınlıktaki farklı yoğunluklara sahip numuneler için ses yutma durumunu göstermektedir. Aynı kalınlık için, yoğunluk arttıka ses yutuculuğunda bir iyileşme görülmektedir. 468 kg/m³ (4 gram) yoğunlukta, 2000

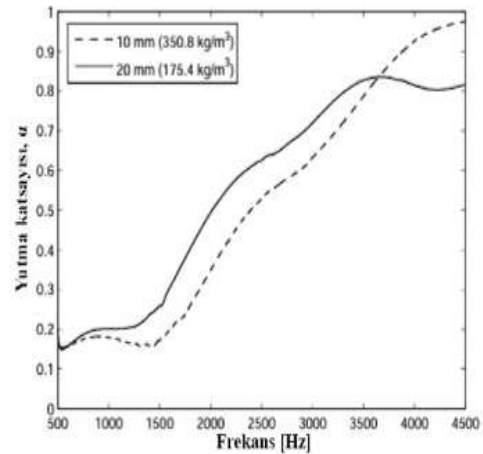
Hz'lik yüksek frekans aralığının üstünde $> 0,5$ 'lik iyi bir ses yutma katsayısı elde edilmiştir. Yoğunluktaki artış kıvrımlılığın artışına katkıda bulunur ve böylece daha fazla ses dalgası yakalanabilir veya yutulabilir. Bununla birlikte, çok yüksek yoğunluk numunedeki gözenekliliği azaltabilir, bu da ses dalgasının malzemesine nüfuz etmesine neden olarak ses yutuculuğunu bozar. Yoğunlukları 702 ve 818 kg/m^3 'ten yüksek olan numuneler, Şekilde görüldüğü gibi, test edilen tüm frekans aralığı için yutma kapasitesinin $0,5$ 'ten az olduğunu göstermektedir. Bu, 117 kg/m^3 'lük düşük yoğunluğa sahip numune için de benzer bir performanstır.



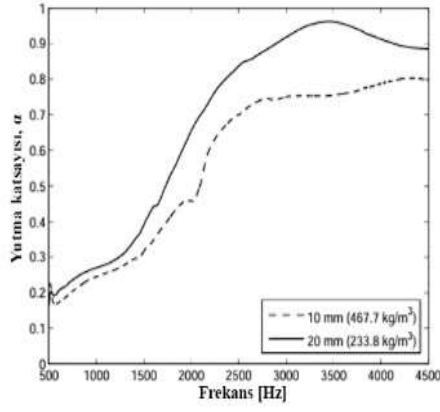
Şekil 4.46 10 mm kalınlığındaki numune için farklı yoğunluklara sahip ses yutma katsayısı [124]



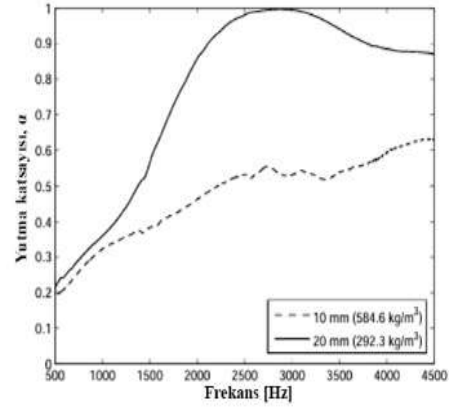
(a) 2 gram



(b) 3 gram

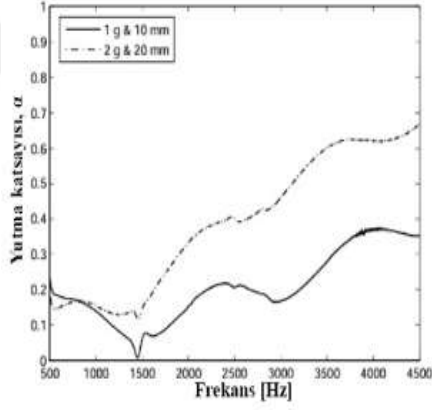


(c) 4 gram

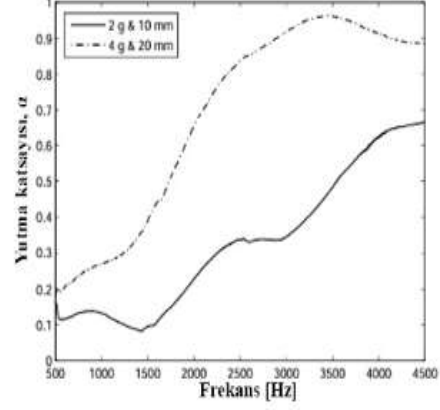


(d) 5 gram

Şekil 4.47 Farklı kütle ve kalınlıklara sahip ses yutum değerleri [124]

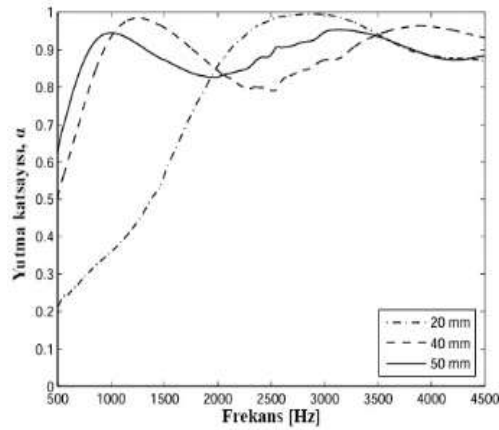


(a) Yoğunluğu 117kg / m³

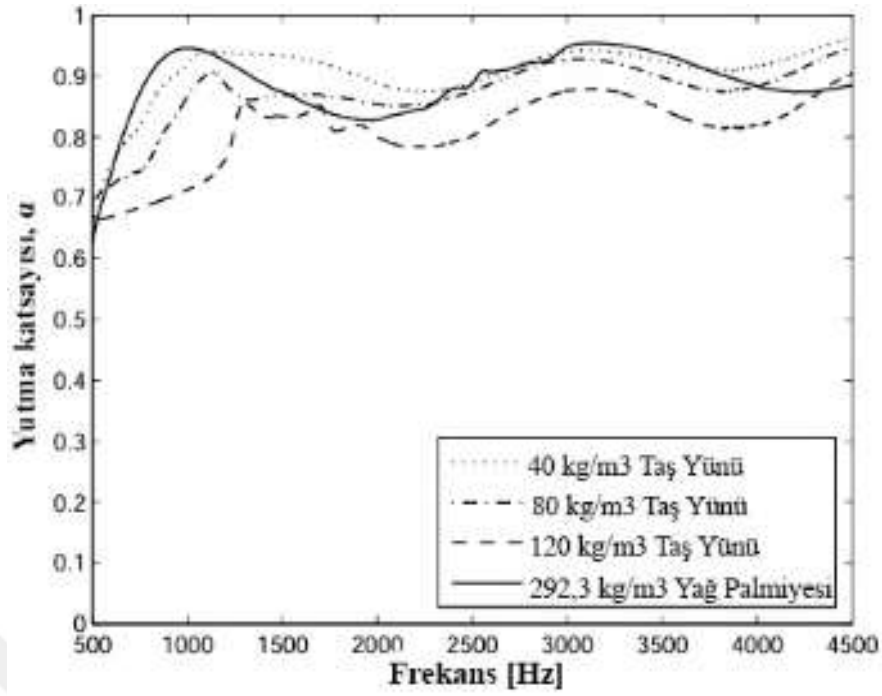


(b) Yoğunluğu 234 kg / m³

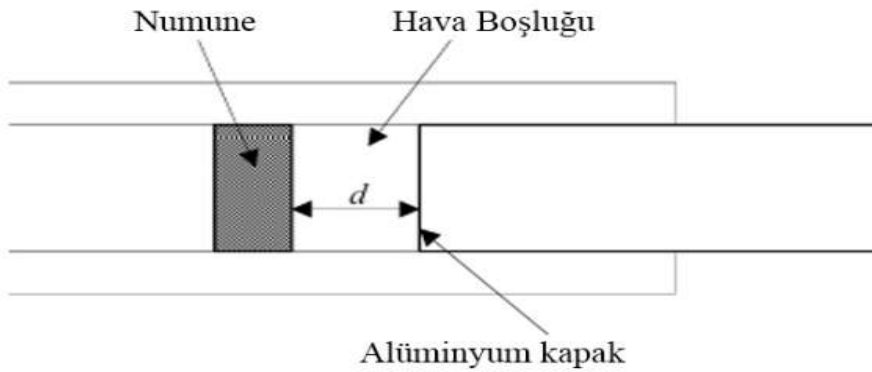
Şekil 4.48 Farklı kalınlıklara sahip, yoğunluğu farklı olan numunelerin ses yutum değerleri [124]



Şekil 4.49 Yoğunluğu 234 kg / m³, kalınlıkları birbirinden farklı numunelerin ses yutum katsayıları [124]



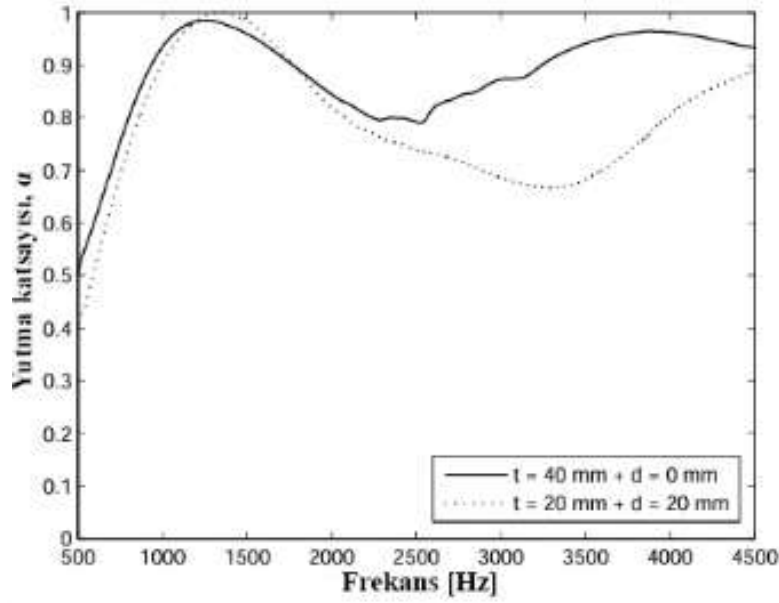
Şekil 4.50 Malzemenin aynı kalınlıktaki 50 mm taş yünü ile karşılaştırılması [124]



Şekil 4.51 Empedans tüpündeki numunenin arkasındaki hava boşluğu için kurulum [123]

Yağ palmiyesinin yoğunluk ve kalınlığa göre ölçümlerinde yüksek frekans bölgesinde performansının iyi olduğu, düşük frekanslarda yutma katsayısının performansını artırmak için daha kalın malzeme yerine hava boşluğu eklenmesi durumu düzeltir.

Şekil...’de gösterildiği gibi, 20 mm kalınlığa ve 20 mm hava boşluğuna sahip numunenin 500 ile 2500 Hz frekans aralığının da 40 mm kalınlığındaki daha kalın numune ile karşılaştırıldığında benzer ses yutum özellikleri göstermiştir.



Şekil 4.52 292,3 kg/ m³ yoğunluğunda 20 mm ve 20 hava boşluğuna sahip, 40 mm ve 0 hava boşluğua sahip 2 farklı numunenin ses yutum katsayıları [124]

Palmiye yağı boş meyve salkımlarının ses yutma performansı incelenmiştir. Araştırmada, 40 mm ve 50 mm kalınlığa ve 292 kg/m³ yoğunluğa sahip numuneler, 1000 Hz üzerinde ortalama 0,9 ses yutma katsayısı ile son derece yüksek ses yutma performansı göstermiştir. Ayrıca, optimum yoğunluğun tasarlanmasıyla, yani ilgili panel kalınlığı ve ağırlığının doğru miktarda sağlanmasıyla iyi ses yutma performansı elde edilebileceği kanıtlanmıştır. Düşük frekanslardaki performans, panelin arkasına bir hava boşluğu eklenerek de elde edilebilir. Aynı palmiye yağı boş meyve salkımı yoğunluğunda, hava boşluğu uygulaması, aynı toplam boşlukta daha kalın bir numuneye kıyasla palmiye yağı boş meyve salkımının kalınlığının azaltılmasını sağlar. Palmiye yağı boş meyve salkımının sentetik taş yünleriyle karşılaştırılabilir ses emme performansına sahip olduğu da gösterilmiştir [124].

- **Kapok Lifi**

Hai-fan Xiang, Dong Wanga ve arkadaşları [125]. Doğal kapok liflerinin ses yutma özellikleri araştırılmıştır. Kapok lifli düzenekler ile Farklı kütle yoğunluğu, kalınlık, elyaf uzunluğunun akustik performansları incelendi. Çalışmada kullanılan malzemeler farklı şirketlerden tedarik edilmiştir Bu şirketler ve tedarik edildiği malzeme: Doğal kapok lifleri, Qingdao Uygun Yastık Co., Ltd., Çin'den elde edildi. Cam yünü, Beijing Salable Environment Engineering Technologies Co., Ltd., Çin'den satın alındı. Yağ alma pamuğu lifleri (Yoğunluk: 2330 kg/m³) Shandong

Caoxian Huanu Medical & Health Material Co., Ltd., Çin tarafından tedarik edilmiştir. Kapok lifinin ses yutma katsayısının değeri ISO10534-2:1998 (E) yöntemiyle elde edilmiştir.

Tablo 4.8 Kapok lifinin yapı parametreleri [125]

Dış Çap (μm)	15 - 23
Duvar kalınlığı (μm)	0,7
Uzunluk (mm)	10
Gözeneklilik (%)	84 – 99
Yoğunluk (kg/m^3)	370

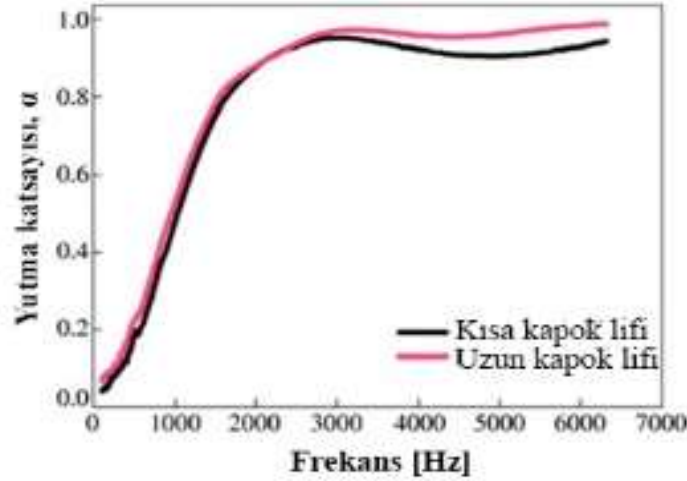
Kapok lifi gruplarının iyi bir akustik yutma performansına sahip olması için havanın ve numunelerin akustik empedansının eşleşmesi gerekir. İkincisi kütle yoğunluğu ile ilgili olduğundan, kütle yoğunluğu yaklaşık $25,0 \text{ kg/m}^3$ olduğunda optimum empedans eşleşmesi gerçekleştirilebilir. Kütle yoğunluğundaki daha fazla artış, hava ve kapok düzenekleri arasında empedans uyumsuzluğuna yol açacak ve bu da ses yutma katsayılarının azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle, kapok lifi numuneleri yaklaşık $25,0 \text{ kg/m}^3$ optimum kütle yoğunluğu ile verimli akustik yutma malzemeleri olarak kullanılması beklenmektedir.

Tablo 4.9 Farklı kütle yoğunluklarına sahip kapok lifini düzeneklerinin ses yutum katsayısı [125]

Kütle Yoğunluğu (kg/m³)	Kalınlı (mm)	Gözeneklilik (%)	Ses yutma katsayısı						Ortalama ses yutma katsayısı
			125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	
8,3	60	97,7	0,12	0,16	0,58	0,95	0,96	1	0,63
25	60	93,2	0,22	0,37	0,54	0,83	0,93	0,98	0,65
42	60	88,7	0,24	0,3	0,64	0,66	0,86	0,97	0,61
58	60	84,2	0,19	0,24	0,3	0,52	0,73	0,92	0,48

Lif Uzunluğunun Ses Yutma Özelliğine Etkisi Lif uzunluğunun ses yutma özelliği üzerindeki etkisini araştırmak için, kapok lifleri uzunluk 10 mm'den 0.5–5 mm'ye düşürülerek kesilmiştir. Şekil, uzun ve kısa fiberlerin kapok düzeneklerinin akustik

performanslarının, yüksek frekanslarda kısa kapok fiberleri için ses yutma katsayılarında hafif bir azalma dışında birbiriyle karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir, bu da kapok liflerinin ses emme özelliğinin fiber uzunluğuna çok az bağımlılık gösterdiğini göstermektedir.



Şekil 4.53 Uzun ve kısa kapok lifli numunelerin ses yutma davranışı. Kalınlık: 30 mm; Yığın yoğunluğu: 10 kg/m³ [125]

Kapok lifli numunelerin ses yutma katsayıları Tablo 4.10'da gösterildiği gibi kalınlık ile birlikte artış göstermektedir. Aynı kütle yoğunluğunda (aralık: 5-20 kg/m³), 40 mm kalınlığındaki kapok lifli numunelerin ortalama ses yutma katsayıları 20 mm kalınlığındaki numunelerinkinden %29-%70 daha yüksektir. Bu durum, malzeme ne kadar kalın olursa, özellikle düşük frekanslı sesler için ses yutma davranışının o kadar iyi olduğu şeklinde daha önce yapılan bir çalışmanın [126] sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Bunun nedeni, düşük frekanslı ses dalgalarının çoğunlukla daha kalın malzemelerden iletilmesi ve hava yolu boyunca ve içinden yutulmasıdır [127].

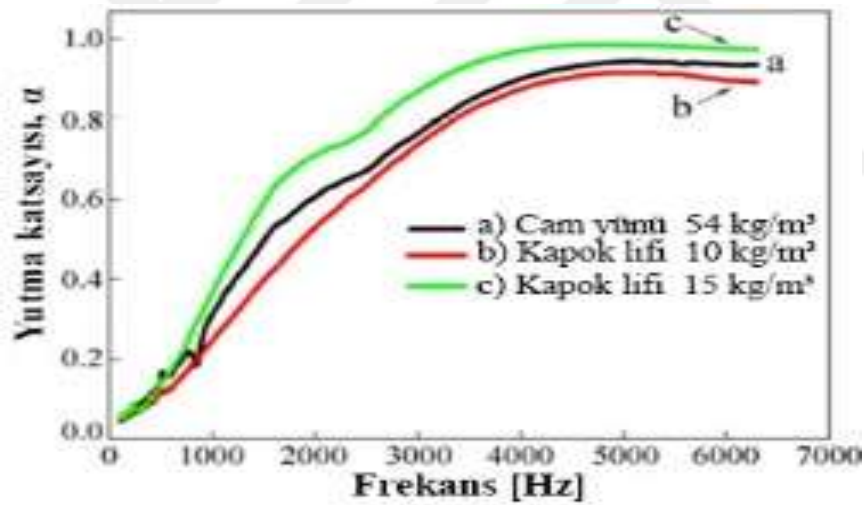
Tablo 4.10 Farklı kalınlık ve kütle yoğunluklarına sahip kapok lifi numunelerin ses yutma katsayıları [125]

Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Kalınlık (mm)	Ses yutma katsayısı						Ortalama ses yutma katsayısı
		125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	
5	20	0,06	0,08	0,11	0,17	0,34	0,67	0,24
5	40	0,08	0,11	0,19	0,41	0,76	0,88	0,41

Tablo 4.10 Farklı kalınlık ve kütle yoğunluklarına sahip kapok lifi numunelerin ses yutma katsayıları [125] (devamı)

10	20	0,07	0,08	0,13	0,3	0,62	0,92	0,35
10	40	0,08	0,13	0,31	0,71	0,98	0,96	0,53
15	20	0,07	0,09	0,16	0,41	0,79	1	0,42
15	40	0,11	0,14	0,4	0,86	0,98	0,96	0,58
20	20	0,07	0,09	0,19	0,55	0,89	1	0,47
20	40	0,11	0,2	0,44	0,91	0,95	0,98	0,6

Cam yünü, çevre ve insan sağlığı açısından taşıdığı risklere karşı mimaride en çok başvurulan akustik yalıtım malzemelerinden biridir [128]. Kapok liflerinin, yaklaşık akustik yutma davranışına ulaştıklarında cam yününden (54 kg/m^3) çok daha küçük bir kütle yoğunluğuna (10 kg/m^3) sahip olduklarını göstermiştir. Kapok liflerinin 1500 Hz üzerindeki 15 kg/m^3 'lük ses yutma performansı, 54 kg/m^3 'lük kütle yoğunluğuna sahip cam yününden çok daha iyidir. Açıkçası, kapok elyafının özel yapısı akustik enerji dağılımı için daha etkilidir.



Şekil 4.54 Cam yünü ve kapok liflinin ses yutma katsayısı [125]

Kapok liflerinin akustik özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kapok lifinin boşluklu yapısı nedeniyle iyi bir akustik yutuma sahip olduğunu göstermiştir. Kalınlık, kütle yoğunluğu ve lif boyutunun akustik koşullar üzerindeki etkisi araştırılmış ve sürdürülebilirlik bağlamında cam yünü ile bir karşılaştırma yapılmıştır. 15 kg/m^3 kapok lifi, 54 kg/m^3 yoğunluğa göre daha iyi akustik performans sergilemiştir. Bu durum akustik doğal malzemelerin sürdürülebilirliği açısından ilerisi için olumludur.

- **Hindistan Cevizi**

Mohammad Hosseini Fouladi, Masomeh Ghassem ve arkadaşları [129] Hindistan cevizi lifinin akustik yutma özelliklerini hesaplamak için analitik teknikler kullanılmış ve sonuçlar bir empedans tüpünde yapılan ölçümlerle doğrulamışlardır. Hindistan Cevizi, Malezya'da çok yaygın olarak kullanılan ve doğada kolayca ulaşılabilen bir tarım mahsulüdür.

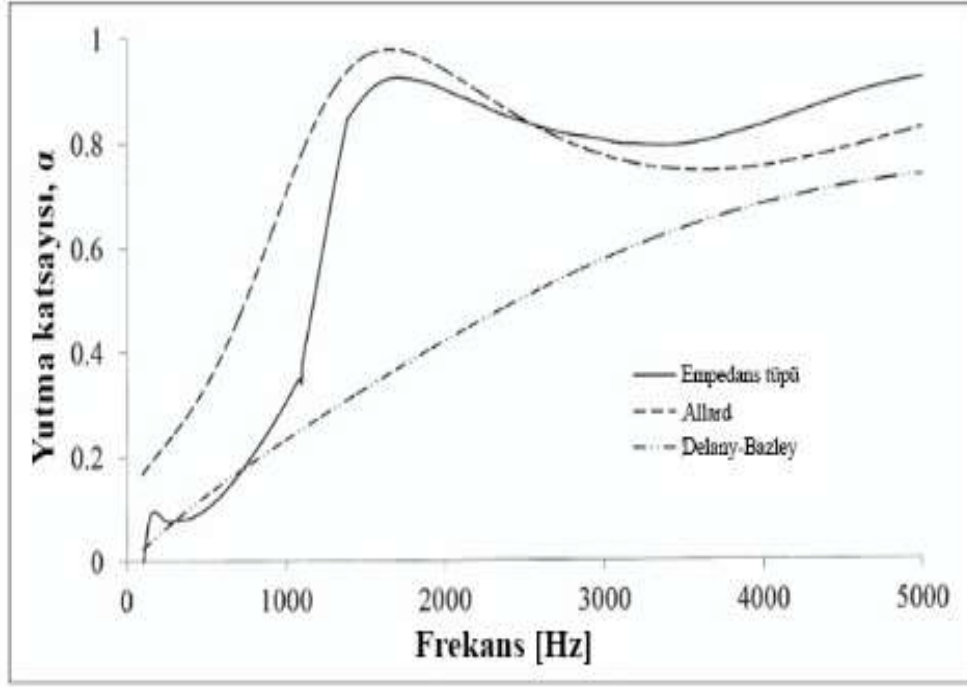
Gözenekli malzemelerin akustik yutma kapasitesini değerlendirmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hem kullanımı kolay Delany-Bazley ampirik yöntemi hem de Allard elastik modeli uygulanmıştır. Hindistan cevizi lifinin yüzey akustik empedansı iki teknik kullanılarak elde edilmiş ve ardından yutma katsayısını hesaplamak için uygulanmıştır. Empedans tüpü ölçümleri (ISO 10534-2), analiz sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için analizlere uygun olarak yapılmıştır.

Hindistan cevizi lifinin sahip olduğu fiziksel özellikler ölçülmüş ve tablolaştırıldı; taze lif için hazırlanan örnek Tablo 11'de gösterilmiştir. On beş lif örneği seçilmiştir ve bunların yoğunlukları, kütlesi, çapı ve uzunluğu ölçülerek hesaplanmıştır. Çok yüksek veya düşük veriler ihmal edilmiş ve kalan değerlerin ortalamaları alınmıştır.

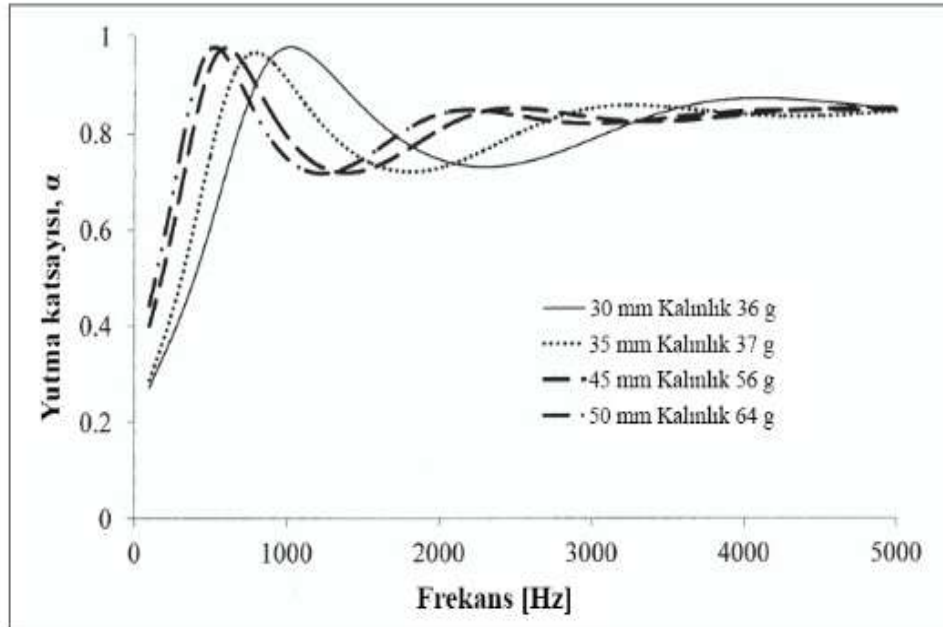
Tablo 4.11 Taze Hindistan cevizi lifinin fiziksel özelliklerinin ölçülmesi [129]

Numune No.	Ortalama Lif Çapı (µm)	Lif Ağırlığı (mg)	Lif Uzunluğu (mm)	Liflerin Hacmi (mm ³)	Lif Yoğunluğu (kg/m ³)
1	210	2,7	73	2,5	1068,4
2	227	2,2	84	3,4	647,5
3	303	5,1	108	7,8	655,9
4	238	2,6	78	3,5	751,7
5	271	4,1	89	5,1	797,1
6	250	2,8	70	3,4	815,3
7	252	3,8	82	4,1	927,1
8	371	8,3	85	9,2	905,4
9	238	2,8	77	3,4	820,1
10	339	4,5	84	7,6	592,7
11	326	5,3	70	5,8	909,4
12	244	2,8	67	3,1	894,2
13	193	1,8	69	2	889,1
14	169	1,1	67	1,5	729,4
15	156	1,2	69	1,3	914,3

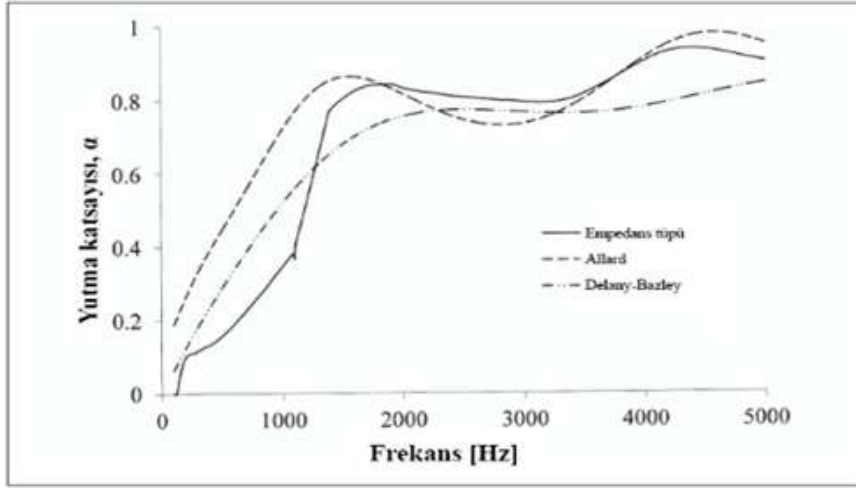
Şekil 4.55'de gösterildiği gibi, 20 mm kalınlığındaki taze Hindistan cevizi lifi örneğinin yutma katsayısı empedans tüpü, Allard ve Delany-Bazley teknikleri ile ölçülmüştür.



Şekil 4.55 20 mm kalınlığında taze Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı [129]

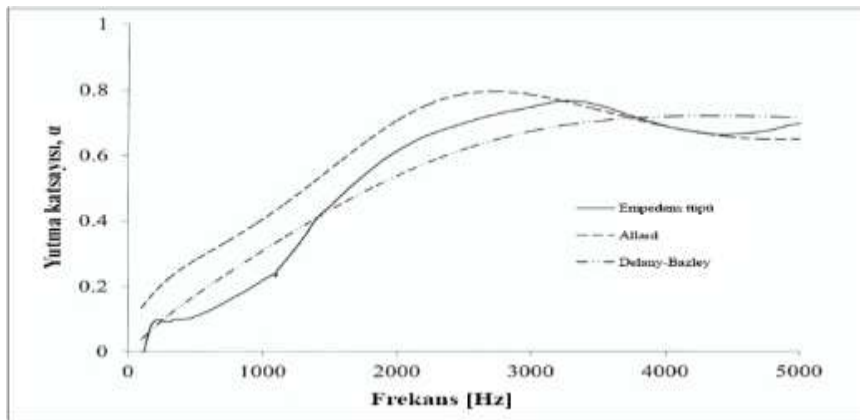


Şekil 4.56 Farklı kalınlıklara sahip taze Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayılarının karşılaştırılması [129]



Şekil 4.57 30 mm kalınlığında endüstriyel olarak hazırlanmış Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı [129]

Şekil 4.57’de 30 mm kalınlığında endüstriyel olarak hazırlanmış Hindistan cevizi lifinin akustik yutuculuğunu göstermektedir. Bu lif türü, Şekil4.56’da gösterilen 30 mm kalınlığındaki taze Hindistan cevizi lifine kıyasla daha düşük yutuculuk sergilemiştir. Bu düşük akustik yutuculuğun iki nedeni vardır; birincisi, endüstride liflerin birbirine yapışmasını sağlamak için liflere bağlayıcı karıştırılmaktadır. Bu ekleme liflerin sertliğini artırmış ve tepe noktalarını daha yüksek frekanslara çıkarmıştır. Bu nedenle, Şekil 4.56’daki 30 mm kalınlığındaki numunenin merkez frekansı 1000 Hz civarındayken, Şekil 4.57’deki aynı kalınlık için bu frekans 2600 Hz civarındadır. İkinci neden, taze lifin nem içeriğinin, yaşlanma nedeniyle daha az nem içeren endüstriyel liften daha yüksek olmasıdır.



Şekil 4.58 50 mm kalınlığında endüstriyel olarak hazırlanmış Hindistan cevizi lifinin akustik yutma katsayısı [129]

Şekil 4.57’de endüstriyel şekilde hazırlanan Hindistan cevizi lifi için kalınlığın artmasıyla birlikte daha yüksek tepe noktalarının oluştuğunu ve düşük frekanslarda

yutuculuğun iyileştiğini göstermektedir. Çalışmada iki tip elyaf kullanılmıştır; taze lif ve bağlayıcı ile karıştırılmış endüstriyel olarak hazırlanmış lif. Sonuçlar, taze lifin daha yüksek bir yutma katsayısına sahip olduğunu göstermiştir; örneğin, 30 mm kalınlığındaki bir numune için, 1000 Hz merkez frekansında, endüstriyel olarak hazırlanmış lif için ise yutma daha yüksek bir frekansta, 2600 Hz merkez frekansında görülmektedir. Bunun nedenleri arasında, endüstriyel panellerde liflerle karıştırılarak sertleştirilen ve doğal yapı yoğunluğunu artıran bağlayıcının varlığı olduğu düşünülmektedir. İkinci olarak, bu lifler doğal olarak daha düşük nem içeriğine sahiptir ve bu da düşük yutuculuğun nedenlerinden biri olarak bilinmektedir. Bununla birlikte, lifleri birbirine bağlamak için bir bağlayıcı eklenmesi gerekir ve yaşlanma ile nem kaybederler. Bu nedenle, bu liflerin gerçek dünya uygulamalarında kullanılması için yutma artırma tekniklerinin uygulanması şarttır.

- **Yaprak Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**
- **Çay Yapağı**

Sezgin Ersoy ve Haluk Küçük [130]. Çay yapağı lifinin ses yutma özellikleri araştırılmıştır. Doğal ve çevre duyarlı bir malzeme türü olan çay yapağı lifi ise ses yutuculuk özelliği bakımından test edilmiştir. Çay yapağı lifi, yaprakların kurutulup parçalanmasından sonra elde edilen, çay yapağı işlemlerinden kaynaklanan atık bir üründür. Çevre dostu bir malzeme olmasının yanı sıra, çay yapağı lifi yenilenebilir biyolojik kaynakların bir ürünüdür ve bu da onu biyolojik olarak parçalanabilir hale getirir.



Şekil 4.59 Çay yapağı lifi [130]

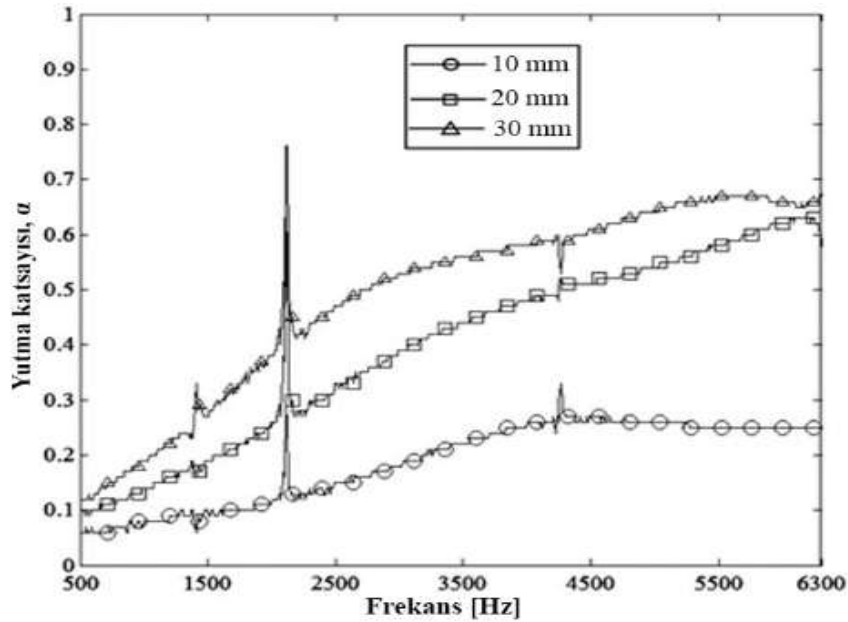
Çay yapağı lifi bir araya getirilerek 29 mm çapında dairesel bir tüpün içine yerleştirilmiştir. Empedans tüp düzeneği, ISO 10534-2 standardı kullanılarak 500 - 6300 Hz frekans aralığında ölçümler yapmak için kullanılmıştır.

Farklı kalınlıklardaki çay yaprağı lifi numuneleri için ortalama ağırlık ölçümleri 0.67, 1.34 ve 2.18 g olup, 10, 20 ve 30 mm kalınlık değerleri için sırasıyla 25.358 kg/m³, 25,35 kg/m³ ve 27.5 kg/m³ özgül ağırlığa karşılık gelmektedir. (Tablo 4.12).

Tablo 4.12 ay yaprağı lifinin fiziksel özellikleri

Numune No	Kütlesi m (g)	Kalınlığı t (mm)	Yoğunluğu (kg/m ³)
1	0,67	10	25,35
2	1,04	20	25,35
3	2,18	30	27,5

10 mm kalınlığındaki çay yaprağı numunesi, 4000-6300 Hz frekans aralığında en yüksek ses yutma katsayısı olan 0,26 değerini vermiştir (şekil 4.60). Numunenin kalınlığının artırılması, ses yutma katsayısında neredeyse çizgisel bir artış meydana getirmekte ve 6300 Hz'de 0,60'lık bir en yüksek değere ulaşmaktadır. 30 mm kalınlığındaki çay yaprağı lifi numunesi, 5600 Hz'de 0,7 değerine ulaşan ve 6300 Hz'de gelen ses dalgalarına kadar sabit kalan, giderek artan bir ses yutma katsayısı sergilemiştir.



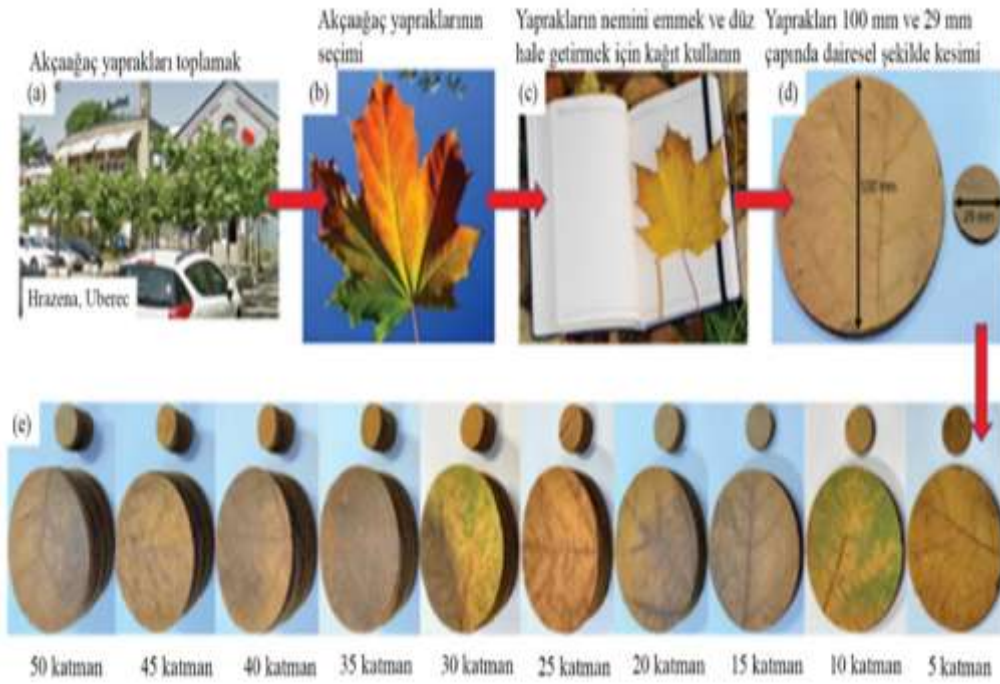
şekil 4.60 çay yaprağı lifli malzemesinin ses yutuculuğu [130]

Ersoy ve Küçük'e [130] tarafından çay liflerinin kullanılabilecek değerler içerisinde yer aldığı ve ses yutucu malzeme olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

- **Akçaağaç Yaprakları**

Tao Yang, Lizhu Hu, Xiaoman Xiong ve arkadaşları [131] Bu çalışmada Norveç akçaağaç yapraklarının ses yutma özellikleri incelemiştir. Büyümekte olan bitkilerin ses yutma özelliği incelendiğinde, bitkilerin yutma katsayısı yaprak alanı yoğunluğu ve yaprak yönelim açısı ile belirlenmektedir [132].

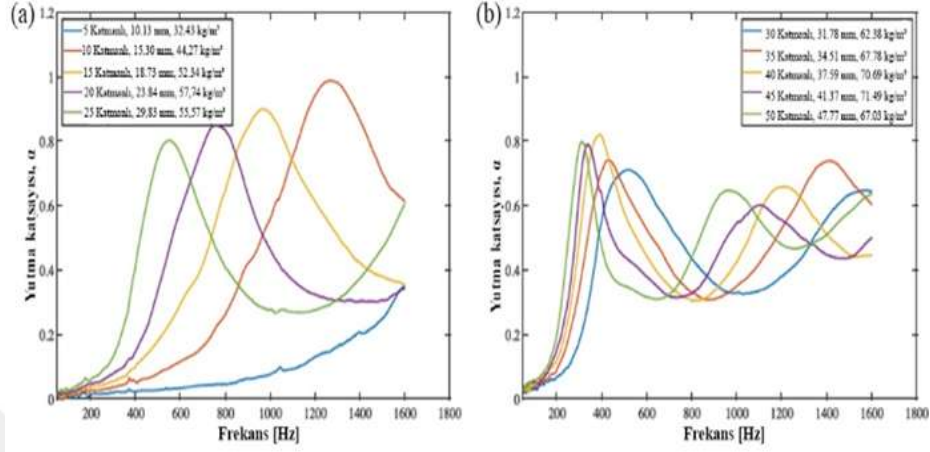
Yetiştirilen bitkilerin ses yutumu için kullanılmasının en tipik örneği dikey yaprak sistemidir. Wong ve diğerleri [133] dikey yaprak sisteminin gelişigüzel en yüksek ses yutma değerlerinden bir tanesine sahiptir. Büyümekte olan bitkilerin ses yutma özelliğine esas olarak ağaç yaprakları katkıda bulunur; bu da ağaç yapraklarının ses yutma için kullanılabilecek potansiyel bir malzeme olduğu sonucunu doğurur. Bu makalede, özellikle doğal olarak düşen ağaç yapraklarının ses yutma özellikleri incelenmiştir.



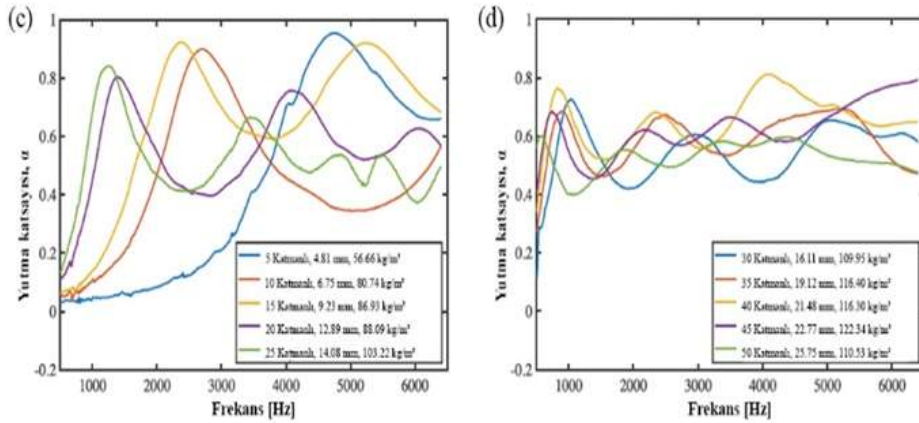
Şekil 4.61 Akçaağaç yaprakları toplama ve ayrıştırma [131]

Lamine yaprakların normal ses yutma katsayısı, ses frekansının bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Ses yutma katsayısı, ses dalgası enerjisinin ne kadarının malzeme tarafından yutulduğunu göstermektedir. Lamine akçaağaç yapraklarının normal ses yutma katsayıları Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'de gösterilmiştir. Farklı katmanlara ait 10 adet örnek üzerinden yapılan analizlerin sonuçlarını açıkça gösterebilmek için, her frekans aralığına yönelik sonuçların gösterildiği iki grafik

hazırlanmıştır. Ortalama ses yutma katsayısı ve örneklerin nitelikleri Tablo 4.13 'de listelenmiştir. Ortalama ses yutuculuğu, ölçülen frekans aralığındaki Ses yutuculuk katsayısının ortalama değeridir.



Şekil. 4.62 Akçaağaç yapraklarından elde edilen Çeşitli katmanlara sahip 10 numunenin 0 -1800 Hz ses yutma katsayısı [131]



Şekil 4.63 Akçaağaç yapraklarından elde edilen Çeşitli katmanlara sahip 10 numunenin 1000 -6000 Hz ses yutma katsayısı [131]

Tablo 4.13 Lamine akçaağaç yapraklarının ortalama ses yutma katsayısı

Katman		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Frekans aralığı: 500-6400 Hz	Kalınlık (mm)	4,81	6,75	9,23	12,89	14,08	16,11	19,12	21,48	22,77	25,75
	Kütle yoğunluğu (kg/m3)	56,66	80,74	86,93	88,09	103,22	109,95	116,4	116,3	122,34	110,53
	Ortalama ses yutma katsayısı.	0,3215	0,3973	0,5798	0,5007	0,4771	0,5069	0,551	0,6134	0,5874	0,5018

Tablo 4.14 Lamine akçaağaç yapraklarının ortalama ses yutma katsayısı

Katman	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Frekans aralığı: 50-1600 Hz										
Kalınlık (mm)	10,13	15,3	18,73	23,84	29,83	31,28	34,51	37,59	41,37	47,77
Kütle yoğunluğu (kg/m ³)	32,43	44,27	52,34	54,74	55,57	62,38	67,78	70,69	71,49	67,03
Ortalama ses yutma katsayısı.	0,0739	0,3957	0,3993	0,3591	0,3604	0,4066	0,4485	0,4386	0,4084	0,4442

Kalınlık ve kütle yoğunluğu, Şekil 62- 63'de numunenin adından sonra belirtilmiştir. Kütle yoğunluğu, katmanın artmasıyla birlikte, daha fazla yerçekimi nedeniyle oluşan daha büyük basınç yükü nedeniyle artmıştır. Beş yaprak katmanının zayıf bir ses yutma kapasitesine sahip olduğunu belirlenmiştir. Maksimum ses yutma katsayısı 1600 Hz' de 0,4'ten azdır ve Ses yutma katsayısı 0,0739 ile bütün örnekler arasında en düşük değerdedir.

On katmanlı yaprak numunesi, düşük ve orta frekans aralığında beş katmanlı numuneye göre önemli bir iyileşme göstermektedir. On katmanlı yaprak numunesinin ses yutma katsayısı beş katmanlı numunelerin beş katı daha fazladır. On katmanın en yüksek yutma katsayısı 1300 Hz civarında, 0,99'a yakın bir değerde ölçülmüş ve bu değer 1'e yakındır.

Yaprak katmanı arttıkça, katmanlı yaprakların ses yutuculuğunun tepe değerleri daha düşük frekansa doğrudur, ancak en yüksek değerler on yaprak katmanına göre daha düşüktür. Şekil 2(b)'de, daha kalın katmanlı yaprakların (yani >30 katmanlı yapraklar) ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi açıktır. Bu durum esas olarak yüksek kalınlığın neden olduğu rezonans etkisine bağlanmaktadır [134-135].

Sonuç olarak, daha kalın katmanlı yaprakların ses yutma katsayısı üzerindeki farkları önemsizdir. Ayrıca, yaprak katmanının artışının düşük frekans değişiminde ses yutuculuğuna katkısı ihmal edilebilir düzeydedir (bkz. Şekil 4.62 (b) ve Tablo 4.13). Örneğin, 15 katmanlı yaprakların ses yutma katsayısı 0,40 iken, kalın örneklerin en yüksek değeri 0,4485'tir, ancak kalınlık neredeyse iki katına çıkmıştır. Bu bağlamda, 15 kat akçaağaç yaprağının düşük ila orta frekans aralığında ses yutuculuğu için kullanılabileceği önerilmiştir.

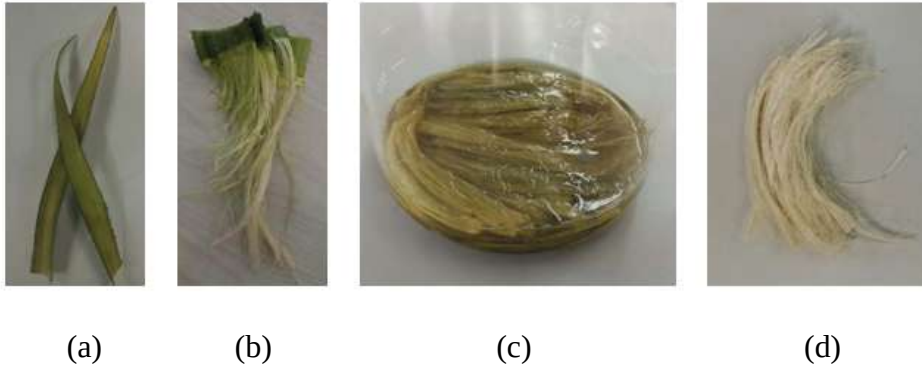
- **Ananas Yapağı Lifi**

Azma PUTRA, Khai Hee OR ve arkadaşları [136]. Bu araştırmada Malezya'daki popüler olan Moris Gajah ananas türünün ses yutma özellikleri araştırılmıştır. Araştırmada ananas yaprakları Muar, Johor, Malezya'daki bulunan özel amaçla kullanılan bir ananas çiftliğinden temin edilmiştir. Şekil 4.64'te bu araştırmada kullanılan ananas bitkisinin yapraklarını göstermektedir



Şekil 4.64 Muar, Johor, Malezya'daki bir ananas çiftliğindeki ananas bitkileri [136]

Ham ananas yapağı lifi şekil (a)'da gösterilen ekstraksiyon makinesine yerleştirilmiş ve ananas yaprağından selüloz parçaları, mumsu tabakalar ve su ayrıştırılmıştır. (Şekil 4.65 (b)) Ekstrakte edilen ananas yapağı lifleri ardından Şekil 4.56 (c)'de gösterildiği gibi alkali işlem için %1'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisine batırılmıştır. Bu işlem, ananas yapağı liflerinden kimyasal bileşik, kir ve diğer partikülleri temizlemek için uygulanmıştır. Son olarak, şekil 4.65 (d)'deki ananas yapağı liflerinden nemi uzaklaştırmak için güneşte kurumaya bırakılmıştır.

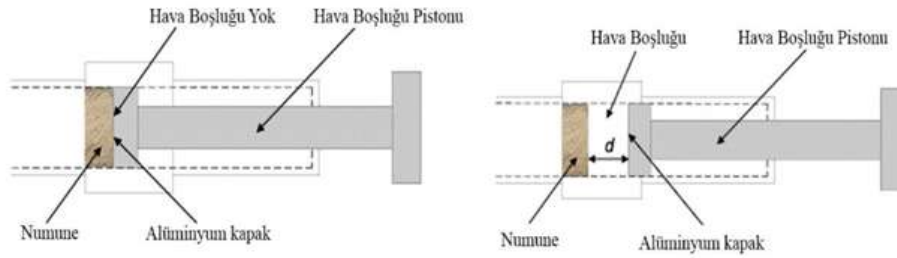


Şekil 4.65 Ananas yapağı lifinin elde edilme süreci [136]

Ananas yapağı lifi ses yutucu örnekleri, kütle yoğunluğu ve kalınlık farklılıkları ile tasarlanmıştır. Böylece örnekler, yoğunluğun etkisi ve kalınlığın ses yutma özellikleri üzerindeki etkisi ile analiz edilebilir. Ses yutma katsayısının ölçümü ISO

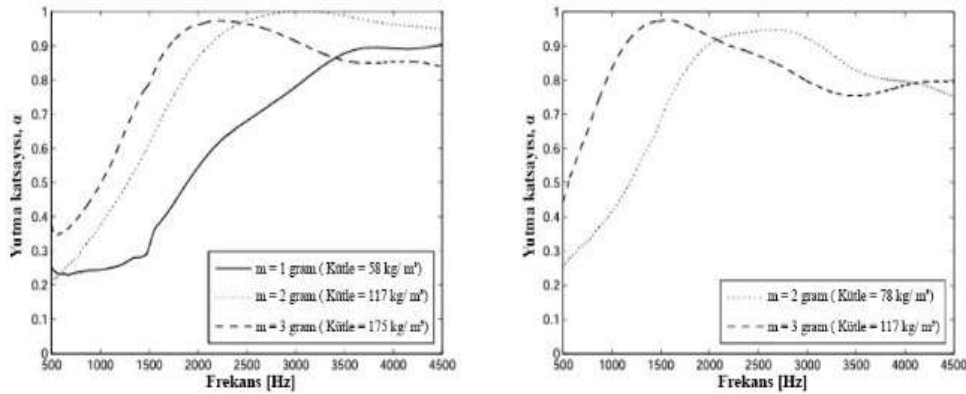
10534-2'ye göre empedans tüpü testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Empedans tüpü testi için hazırlanan numuneler 33 mm çapında, 10 mm ve 20 mm kalınlığındadır.

Empedans tüpü aynı zamanda numunenin gerisine hava boşluğu tabakasının uygulanabilmesine imkan veren hareketli bir hava boşluğu pistonuna sahiptir. D ile belirtilen hava boşluğu katmanının çizimi Şekil 4.66 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.66 Empedans tüpü hava boşluğu pistonu [136]

Şekil 4.67'de kütle yoğunluğu 117 kg/m^3 te sabit tutulmuş, farklı kalınlık ve kütleye sahip ananas yaprağı lifleri örneklerinin karşılaştırmasını ortaya koymaktadır. Aynı kütle yoğunluğu değeri için, kalınlık artışı düşük frekanslara doğru geniş bir bant aralığında ses yutma değerini iyileştirmektedir. Kalınlıkları 30 mm ile 60 mm arasında olan tüm numuneler 500 ile 4500 Hz arasında mükemmel ses yutuculuğu göstermektedir.



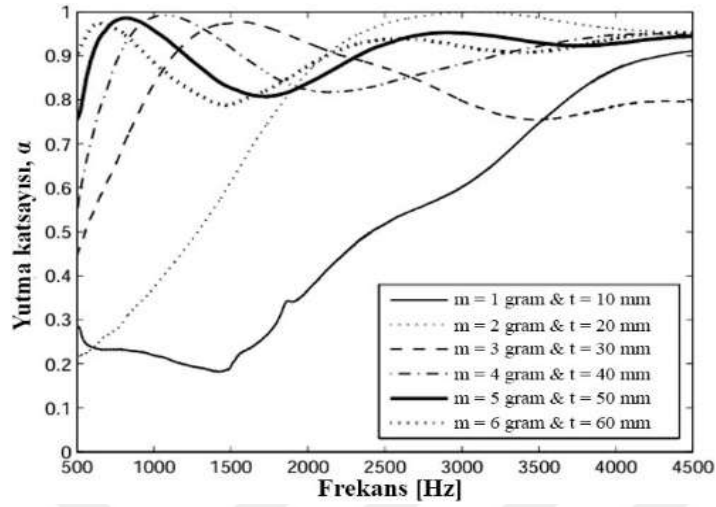
(a) $t = 20 \text{ mm}$

(b) $t = 30 \text{ mm}$

Şekil 4.67 Yoğunluk ve kalınlık ile ananas yaprağı lifinin ses yutma özelliği [136]

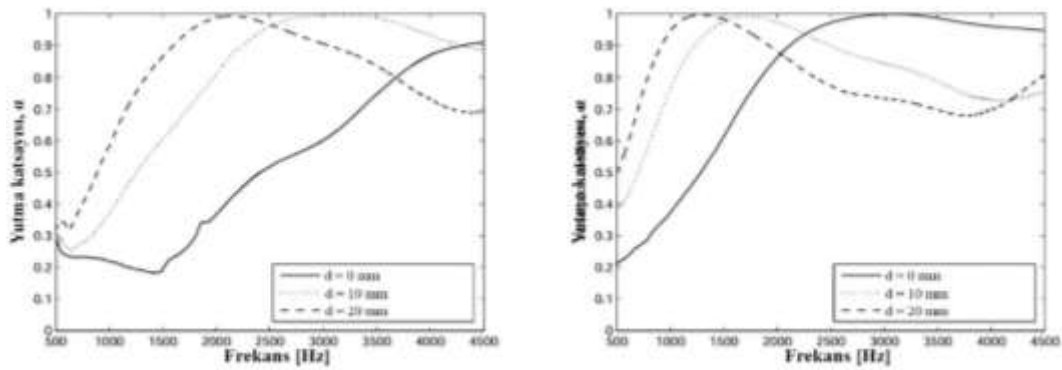
Şekil 4.68'de kütle yoğunluğu 117 kg/m^3 te sabit tutulmuş, farklı kalınlık ve kütleye sahip ananas yaprağı lifleri örneklerinin karşılaştırmasını ortaya koymaktadır. Aynı kütle yoğunluğu değeri için, kalınlık artışı düşük frekanslara doğru geniş bir bant

aralığında ses yutma değerini iyileştirmektedir. Kalınlıkları 30 mm ile 60 mm arasında olan tüm numuneler 500 ile 4500 Hz arasında mükemmel ses yutuculuğu göstermektedir.



Şekil 4.68 Kalınlık ve kütleye sahip altı numunenin ses yutma özelliği [136]

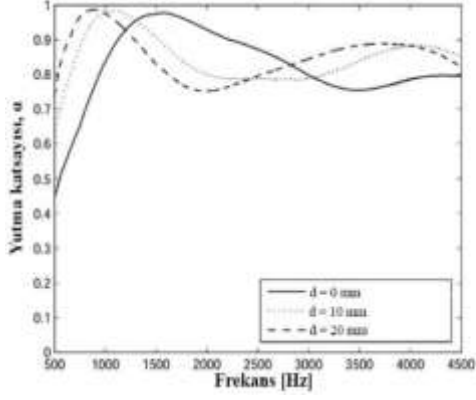
Şekil 4.69, şekil 4.70, şekil 4.71’de hava boşluğunun ananas yaprağı lifinin ses yutma özelliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Hava boşluğu bırakılarak ölçülen numunelerin düşük frekanslardaki ses yutma katsayısı üzerinde pozitif bir etki gözlemlenmiştir. Hava boşluğunun etkisi ince numuneler için daha belirgindir. Kalınlığı 10 mm ve 20 mm olan numuneler hava boşluğunun etkisiyle düşük frekanslarda iyileşme göstermiştir. Yüksek frekanslarda ses yutma özellikleri bozalsa da değerler hala 0,5’ in üzerindedir.



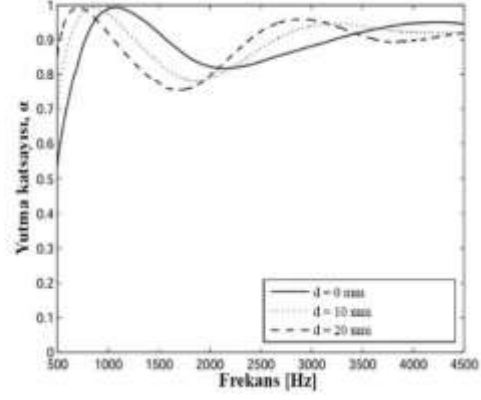
(a) m = 1 gram t = 10 mm

(b) m = 2 gram t = 20 mm

Şekil 4.69 Farklı hava boşluğuna ve kütleye sahip iki numunenin ses yutma özelliği [136]

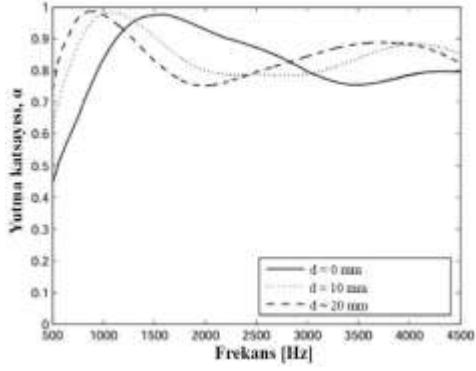


(c) $m = 3$ gram $t = 30$ mm

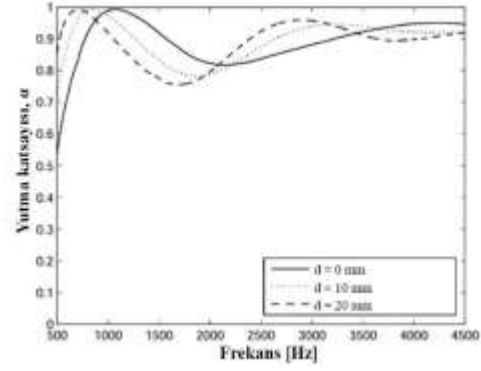


(d) $m = 4$ gram $t = 40$ mm

Şekil 4.70 Farklı hava boşluğuna ve kütleye sahip iki numunenin ses yutma özelliği [136]



(e) $m = 5$ gram $t = 50$ mm

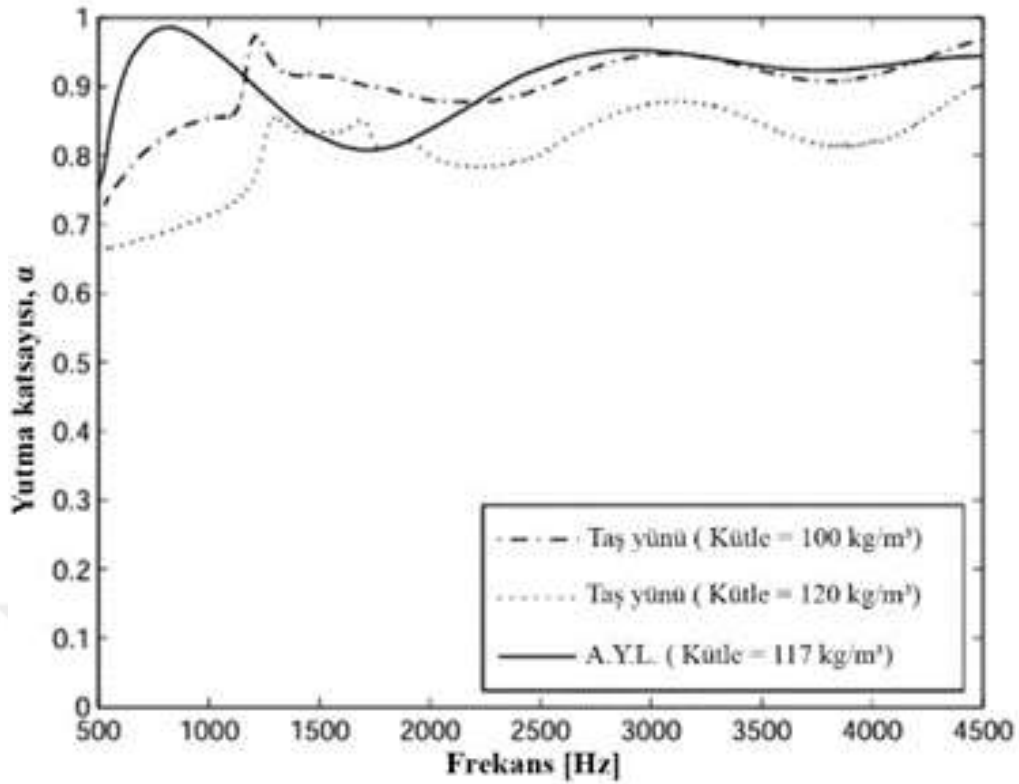


(f) $m = 6$ gram $t = 60$ mm

Şekil 4.71 Farklı hava boşluğuna ve kütleye sahip iki numunenin ses yutma özelliği [136]

Şekil 4.69, şekil 4.70 ve şekil 4.71’de grafikleri incelediğimizde ses yutma katsayısını artırmak için numunenin arkasına bir hava boşluğu tabakasının yerleştirilmesi, daha fazla malzeme gerektirmeden ekonomik bağlamda da fayda sağlayarak ses yutma katsayısında iyileştirme gereken durumlarda alternatif bir teknik olabilir.

Ananas yaprağı lifi doğal akustik malzeme olarak piyasa da ısı yalıtım ve ses yalıtımı tasarımında kullanılan 50 mm kalınlığındaki taş yünü ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma da, sürdürülebilir doğal akustik malzeme piyasada kullanılan 50 mm taş yünü malzemeye göre 500 - 1000 Hz ve 2000 - 4500 Hz arasında daha iyi performans göstermiştir (Şekil 4.72).



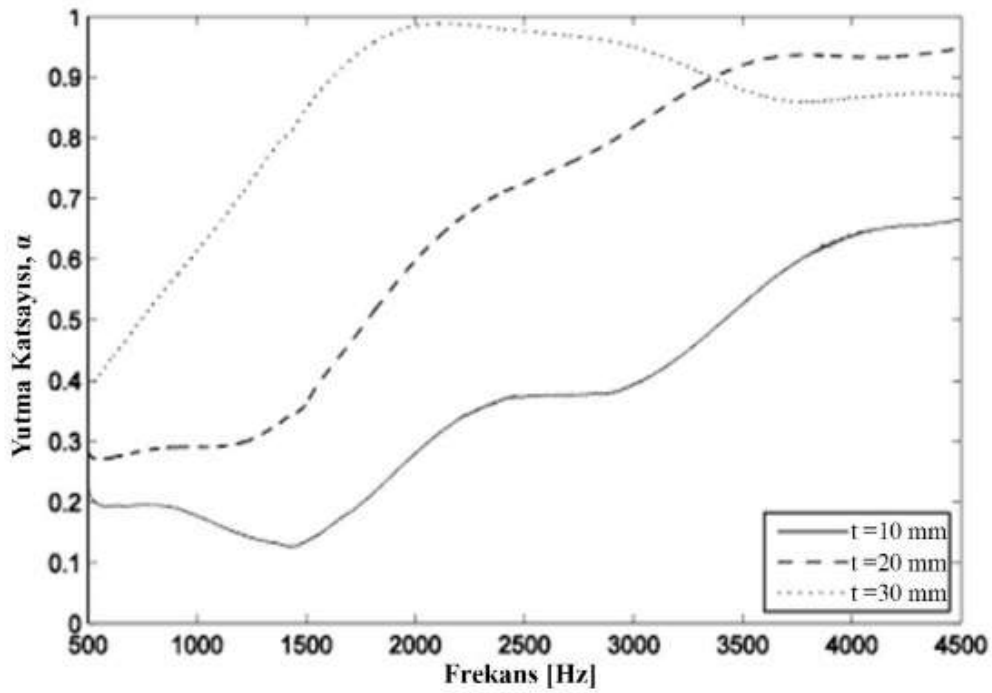
Şekil 4.72 Ananas yaprağı lifinin ses yutma katsayısının farklı yoğunluklarda ve aynı kalınlıktaki taş yünleri ile karşılaştırılması [136]

Sonuç olarak ananas yaprağı liflerinin ses yutma özelliği incelenmiştir. Yapılan ölçmeler sonucunda, ananas yaprağı lifinin ses yutma katsayısının 20 mm kalınlık için 2000 Hz üzerinde 0,9 ve aynı lif yoğunluğu için 30 mm kalınlık için 1000 Hz üzerinde 0,8 olduğunu göstermiştir. Araştırma sonuçları aynı zamanda hava boşluğu ilavesinin, özellikle 10 mm ve 20 mm kalınlıktaki ince numuneler için yutuculuğun frekans bant genişliğini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini ortaya koymuştur. Ananas yaprağı lifinin aynı zamanda mineral taş yünleri ile karşılaştırılabilir bir ses emilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, ananas yaprağı lifinin geleneksel sentetik ses yutucuların yerini alacak bir sonraki olası doğal ve sürdürülebilir ses yutucu olabileceğini göstermektedir.

- **Gövde Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**
- **Kenaf**

Z. Y. Lim ve arkadaşları [137]. Bu çalışmada kenaf lifinin ses yutma özellikleri incelemiştir. Kenaf bitkisi diğer adıyla Hibiscus cannabinus, Güney Asya'da bol miktarda yetişen bir çeşit bitki türüdür [138]. Kenafın oldukça hafif ve gözenekli

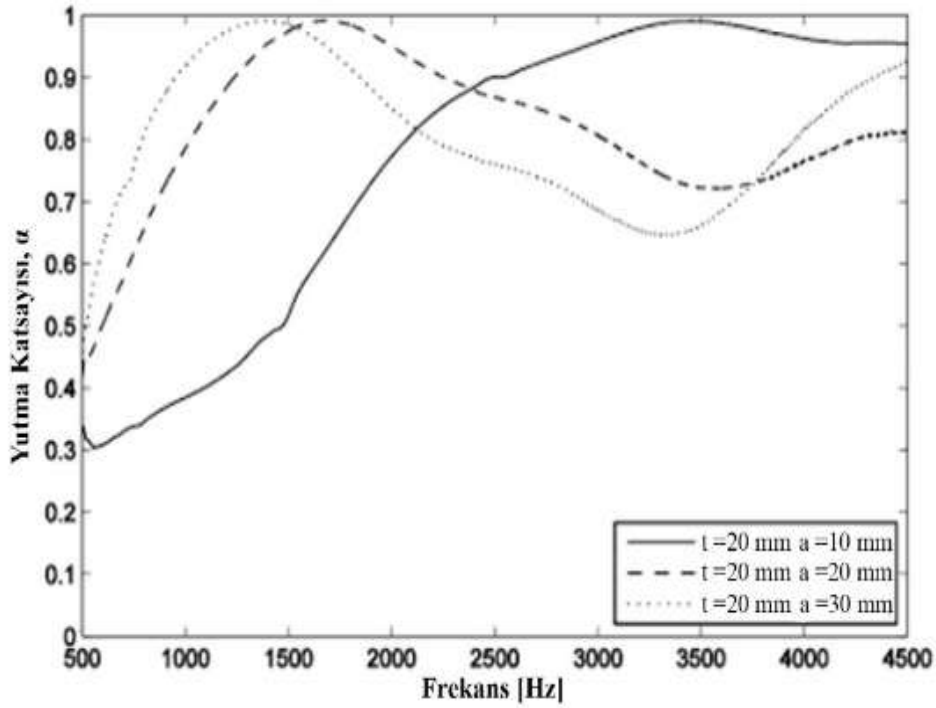
bir yapıya sahip olduğu ve kütle yoğunluğunun 0,10 ila 0,20 g/cm³ değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında, kenaf lifinin çevreye ya da insan sağlığına hiçbir zarar vermeyen ve doğada çözünebilir bir lif olduğu kanıtlanmıştır [139]. Kenaf lifinin, akustik panel üretiminde kullanılabilir bir malzeme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Kenaf lifi numunelerinin ses yutma katsayısını belirlemek amacıyla empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Şekil, kenaf lifinin sırasıyla 10 mm, 20 mm ve 30 mm kalınlıktaki ses yutma katsayısının sonucunu göstermektedir. 10 mm kalınlığındaki numune için, 3500 Hz'den fazla olduğunda ses yutma katsayısı 0,5' ten büyüktür. Kalınlığı 30 mm olan numuneye gelince, 1000 Hz'den fazla olduğunda, elde edilen ses yutma katsayısı 0,5'ten büyüktür ve yaklaşık 2000 Hz'lik bir frekansta, ses yutma katsayısı neredeyse birliğe eşittir. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında, kenaf lifi numunesinin kalınlığı arttıkça, düşük frekanslarda ses yutma katsayısı da artmaktadır.



Şekil 4.73 Kenaf lifinin 10 mm ,20 mm ve 30 mm kalınlığında ses yutma katsayısı [137]

Kenaf lifinin hava boşluğuna etkisine bakacak olursak, 20 mm kalınlıkta 10 mm, 20 mm ve 30 mm hava boşluğu payı bırakılarak yapılan ölçümler neticesinde, 10 mm hava boşluğuna sahip numune alçak ve yüksek frekanslarda iyileşme gösterirken, 1500 - 4500 Hz ses yutum katsayısı 0,5'ten büyük olarak tespit

edilmiştir. 20 mm ve 30 mm hava boşluğunda ise düşük frekanslarda iyileşme, yüksek frekanslarda ise ses yutma katsayısında bir azalma olmuştur.



Şekil 4.74 Kalınlığı 20 mm olan Kenaf lifi numunesinin 10 mm ,20 mm ve 30 mm hava boşlu bırakılarak ölçülen ses yutma katsayısı [137]

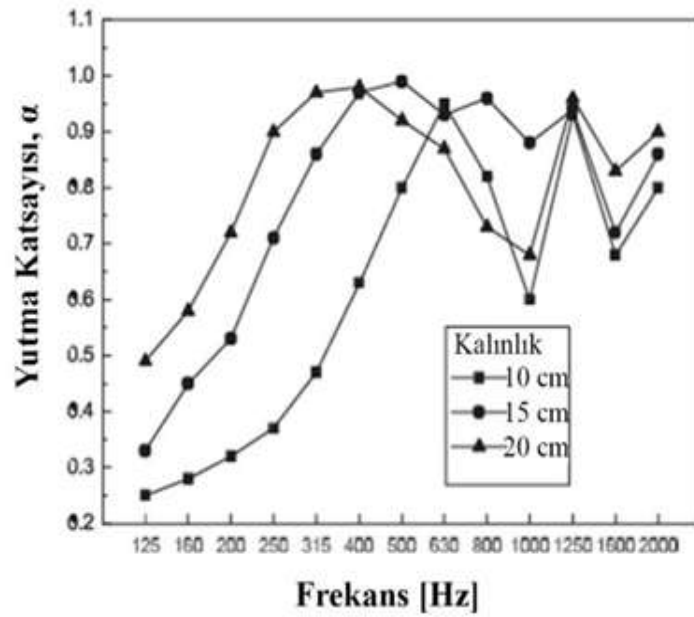
Sonuç olarak, Kenaf lifinin ses yutma değeri ile ilgili ölçümler, alternatif bir akustik malzeme olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğuna işaret etmektedir. 30 mm kalınlığında bir numune için bu ölçümler, ses yutma katsayısının 1500 Hz ile 4500 Hz arasında 1'e ulaşabildiğini göstermiştir. 20 mm ve altı numunelerde yapılan ölçümler, bir hava boşluğu eklenmesiyle ses yutma katsayısının 1'e yaklaştığını göstermiştir.

- **Kenevir**

Zhang Hui ve Xu Fan [140] kenevir lifinin ses yutma katsayısını hesaplamak için analitik teknikler kullanılmış ve sonuçlar bir empedans tüpünde yapılan ölçümlerle doğrulamışlardır. Araştırmada kullanılmış olan kenevir lifleri Yunnan YUNNMA Industrial CO., Ltd. şirketinden elde edilmiştir. Kenevir lifinin yoğunluğu 1,28 kg/m³ ve ortalama çapı 40,1 µm'dir. Kenevir lifinin ses yutma katsayısının ölçümü ISO 10534-1: 1996 (Akustik empedans tüplerinde ses yutma katsayısı ve empedansın belirlenmesi) standart test yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntem ile

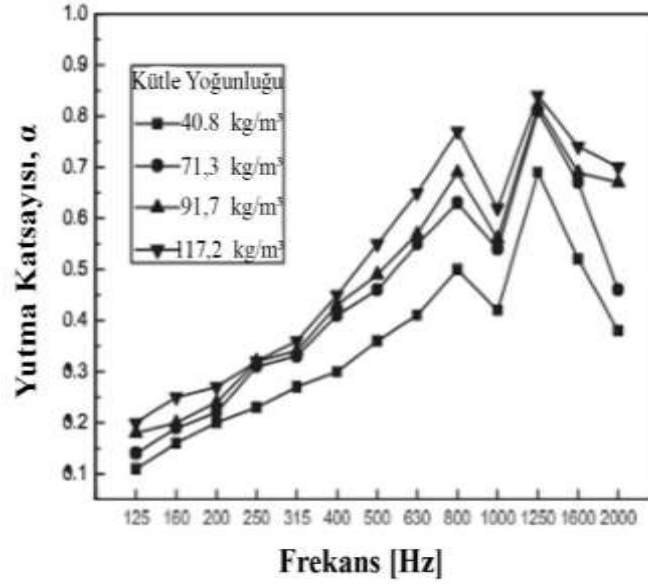
0-2000 Hz frekans aralığında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kenevir lifiyle yapılan araştırmada, lifin farklı kalınlıkta, farklı yoğunlukta ve farklı hava boşluğunda empedans tüpü yöntemi kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Kenevir lifinin kalınlığının ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi şekil 4.75’de gösterilmiştir. Yoğunluk $101,9 \text{ kg/m}^3$, numune kalınlıkları sırasıyla 10 cm, 15 cm ve 20 cm’dir. Ölçümler neticesinde ses yutma katsayısının kalınlık artışıyla birlikte düşük frekansa kaydığı görülmüştür. 10 cm kalınlıkta 800 Hz, 15 cm kalınlıkta 50 Hz ve 20 cm kalınlıkta 400 Hz maksimum tepe değerine ulaşmıştır.



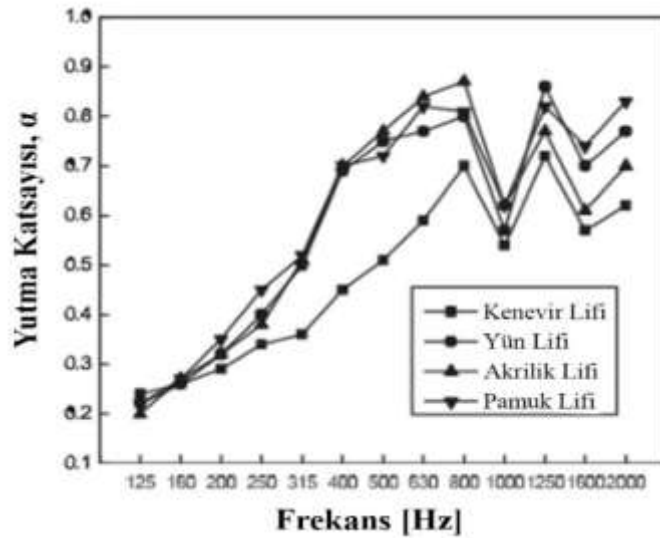
Şekil 4.75 Kalınlığının ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi [140]

Kenevir lifinin kütle yoğunluğunun ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi Şekil 4.56’da gösterilmektedir. Kalınlığı 5 cm olan 4 numunenin kütle yoğunluğu sırasıyla $40,8 \text{ kg/m}^3$, $71,3 \text{ kg/m}^3$, $91,7 \text{ kg/m}^3$, $117,2 \text{ kg/m}^3$ ’tür. Bu değerlere karşılık gelen gözeneklilik 0.97, 0.94, 0.93, 0.91’dir. Kütle yoğunluğu için NRC’ler 0.35’tir. 40.8 kg/m^3 , 71.3 kg/m^3 kütle yoğunluğu için 0.44, 91.7 kg/m^3 kütle yoğunluğu için 0.51, 117.2 kg/m^3 kütle yoğunluğu için 0.55’tir. Ses yutma katsayısının başlangıçta artan kütle yoğunluğu ile önemli ölçüde arttığı ve daha sonra kütle yoğunluğu $91,7 \text{ kg/m}^3$ ’ün üzerine çıktığında yavaşladığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kütle yoğunluğundaki artış ses yutma katsayısını hızla artırmış ve daha sonra ses yutma katsayısı yavaşlamıştır.



Şekil 4.76 Yoğunluğun ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi [140]

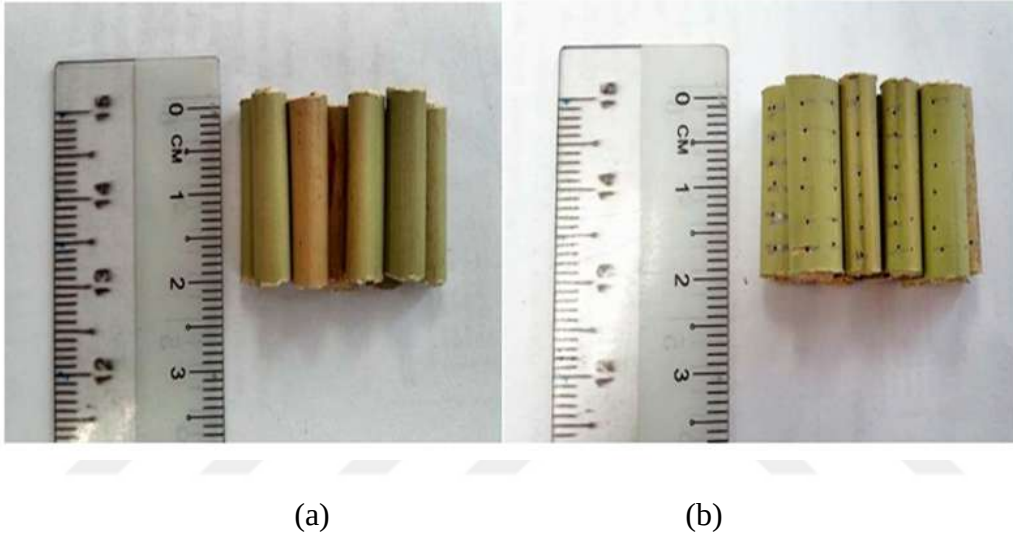
Şekil 4.77'de dört farklı lif türünün ses yutum katsayıları gösterilmektedir. Liflerin yoğunluğu 101.9 kg/m² ve kalınlığı 5 cm'dir. Dört farklı lif aynı kütle yoğunluğuna ve kalınlığa sahiptir. Kenevir, yün ve akrilik liflerin gözenekliliği sırasıyla 0.920, 0.923, 0.934 ve 0.913'tür. Karşılık gelen NRC'ler 0.50, 0.62, 0.66, 0.62'dir. Yapılan ölçümler sonucunda akustik yalıtım malzemesi lifi olarak ses yutma niteliği bakımından en kötüsü kenevir lifi örneğidir. Bunun sebebi kenevir lifinin diğer üç life kıyasla çapının daha büyük olmasıdır. Bu bağlamda, lif çapının akustik yalıtım malzemesinin ses yutma katsayısı üzerinde büyük bir etkisi vardır.



Şekil 4.77 Kenevir lifinin 3 farklı lif göre ses yutum katsayısı kıyaslaması [140]

- **Bambu**

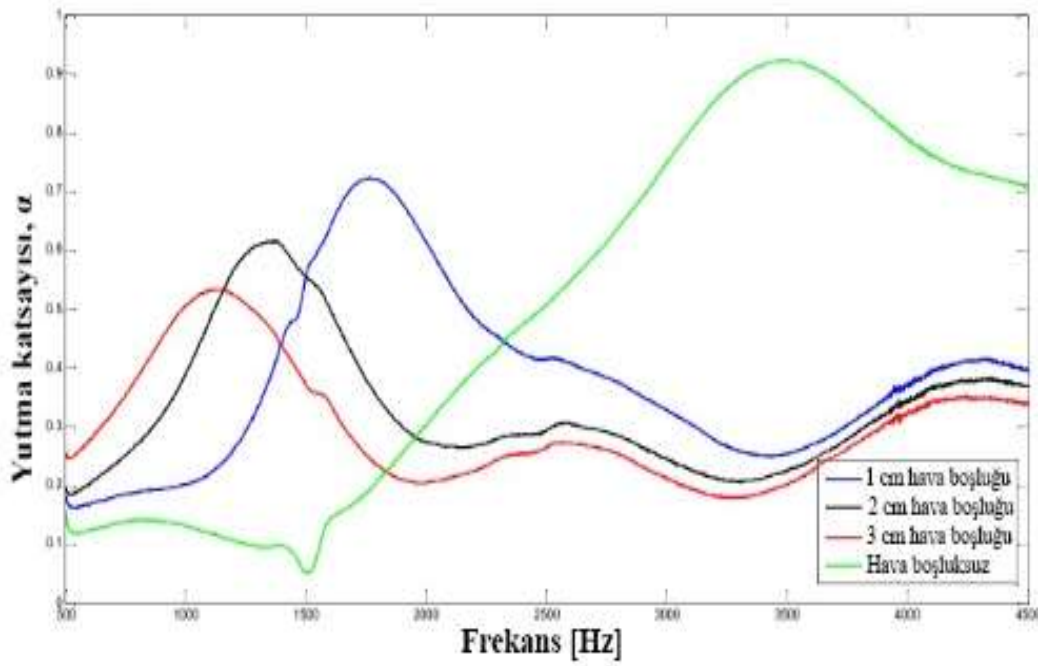
Fazlin A. Khair, Azma Putra ve arkadaşları [141]. Bambunun ses yutma katsayısını hesaplamak için ISO 10534-2:2001'e göre empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Bambu Çin'de, Malezya yarımadasında ve Java'ya kadar uzanan bölgelerde bulunur. Bambu yaklaşık 12 metreye kadar uzayabilmekte ve müzik aletleri, el sanatları, çita ve kağıt yapımında kullanılmaktadır. Bu araştırmada, Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi 2 cm uzunluğunda parçalara ayrılmıştır. Bambu numunelerine Şekil 2(b)'de gösterildiği gibi 0,4 mm çapında mikro delikler de eklenmiştir.



Şekil 4.78 2 cm uzunluğunda bambu (a) mikro delikli (b)

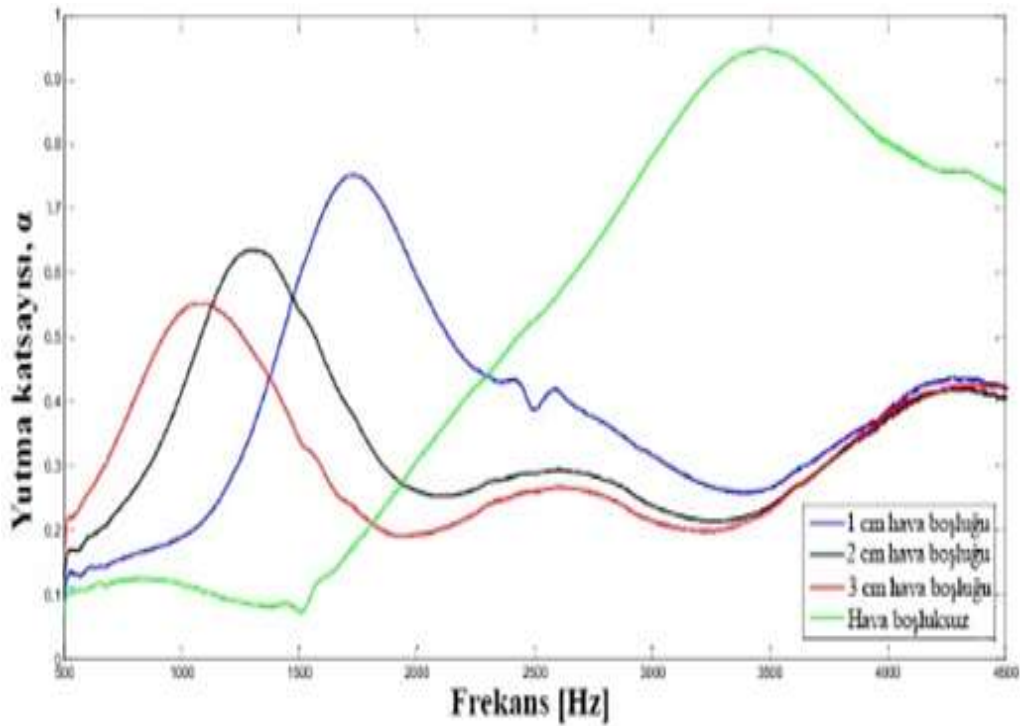
Bu araştırmada kullanılan numunenin yutma katsayısını ölçme yöntemi ISO 10534-2:2001'e göre empedans tüpü yöntemidir [142]. Ölçüm için frekans aralığı 500 Hz ile 4500 Hz arasındadır.

Şekil 4.79'da deliksiz doğal bambu malzeme numunesi kullanılmıştır. Deliksiz doğal bambu numunesinin yapılan ölçümler sonucunda 3000 Hz'in üzerindeki frekanslarda ses yutma katsayısının 0,8' in üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu frekansın altındaki düşük performans ise 500 Hz ile 1500 Hz arasında ses yutma katsayısının ortalama 0,1 olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, şekil 4.79'da gösterildiği gibi, numunenin arkasına bir hava boşluğu eklenerek düşük frekanslardaki performans iyileştirilebilir, ancak bu sonuç yüksek frekanslardaki performansı düşürür. Bir hava boşluğunun eklenmesinin ses yutma katsayısının maksimum değerini düşük frekanslara kaydıracağı söylenebilir.



Şekil 4.79 Mikro delikler olmadan 2 cm bambu için ses yutma katsayısı ve frekans grafiği

Mikro delikli doğal bambu numunesinin ses yutma katsayısı Şekil 4.80'de gösterilmektedir. Ölçümler sonucunda ses yutma katsayısında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Sesin mikro deliklerden girerek sürtünme ile birlikte bambular arasındaki boşluktan dolayı iyileşme olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4.80 Mikro delikli 2 cm bambunun ses yutum katsayısı

Sonuç olarak, deliksiz 2 cm uzunluğundaki bambu numunesi 3000 Hz'in üzerindeki yüksek frekanslarda iyi ses yutma performansı göstermektedir. Düşük frekansta ses yutma katsayısının artırılması, arkasındaki hava boşluğu eklenmesiyle elde edilebilir. Mikro deliklerin arkasına hava boşluğu konularak yapılan ölçümlerde elde edilen veriler neticesinde ses yutma katsayısında gözle görülür bir iyileşme sağlanmadığı görülmüştür.

- **Su Kamışları**

Amelia Trematerra, Mezzero Antonio ve Gino Iannace [143]. Bu çalışmada, akustik uygulamada kullanılacak yeşil malzemenin ses yutum katsayısının incelemişlerdir.

Su kamışları kesilmiş, kurutulmuş ve parçalanmıştır. Parçalanmış su kamışlarından çok gözenekli, gevşemiş granüler malzeme elde edilmiştir. Elde edilen malzeme hem ısı yalıtımında hem de akustik yalıtımda iyi bir performans sergilemektedir. Su kamışlarının akustik yutma katsayısını değerlendirmek için 40 mm ve 80 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Bu çalışmada hazırlanan numuneler 3 türü temsil etmektedir:

1. Ahşap parçalar (ortalama uzunluk 40 mm, genişlik 10 mm ve kalınlık 30 mm)
2. Ahşap parçalardan oluşan ve farklı boyutlarda karışık parçalar
3. Sadece kabuk parçaları

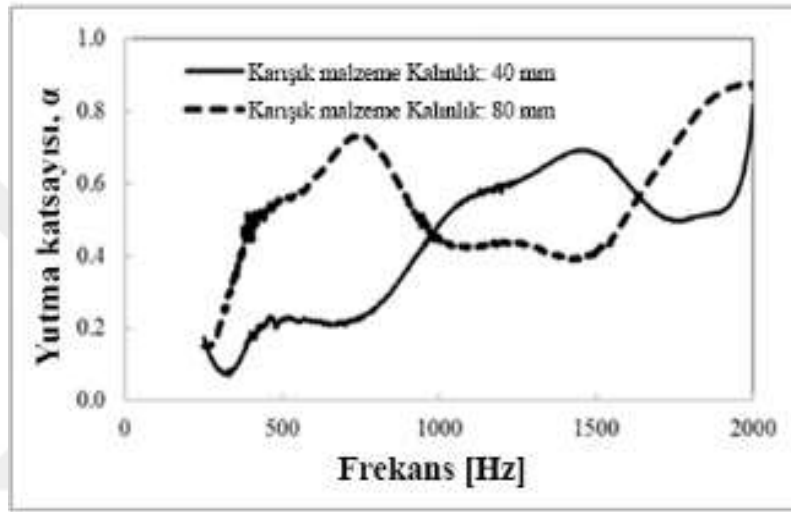


Şekil 4.81 Kırılan Su kamışı malzemesinin ortalama boyutu [143]

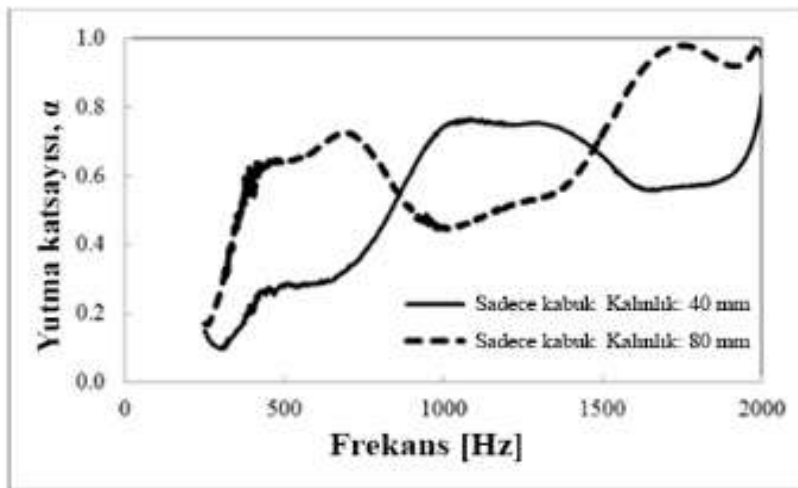
Malzemenin akustik özellikleri ölçülmüştür: normal gelişte yutma katsayısı, gözeneklilik ve hava akışına karşı direnç. Normal gelişte yutma katsayısının

ölçümü için bir empedans tüpü kullanılmıştır; ölçüm ASTM E150-98 'Bir tüp, iki mikrofon ve dijital analiz sistemi kullanılarak akustik malzemenin empedansı ve yutulması için standart test yöntemi' uyarınca gerçekleştirilmiştir.

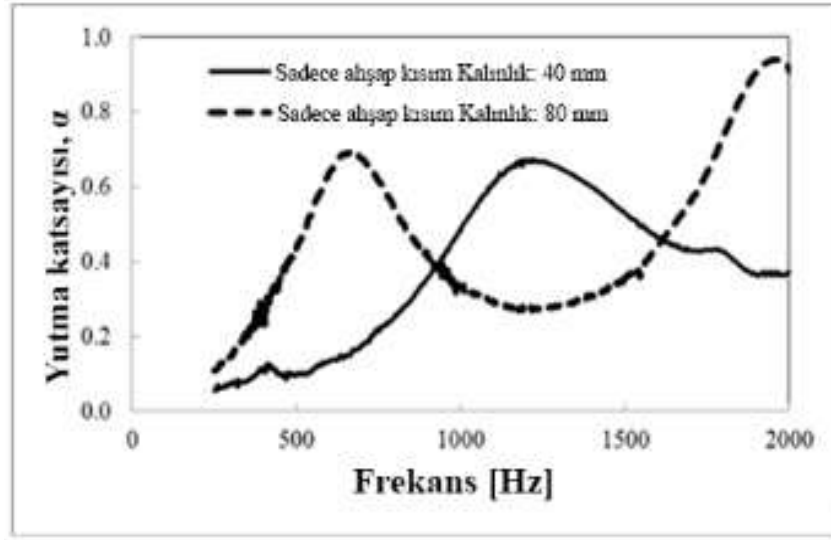
Şekil 4.82, şekil 4.83 ve şekil 4.84, 40 mm ve 80 mm kalınlıkta empedans tüpü ile ölçülen ortalama yutma katsayısı değerlerini göstermektedir. Şekil 4.83, karıştırılan malzeme için ses yutum katsayısını göstermektedir. Şekil 4.84 tek kabuk malzeme için ses yutum katsayısını göstermektedir. Şekil 4.84 tek ahşap malzeme için ses yutum katsayısını göstermektedir.



Şekil 4.82 Kalınlığı 40 mm ve 80 mm olan karışık malzemenin ses yutum katsayıları [143]



Şekil 4.83 Kalınlığı 40 mm ve 80 mm olan tek kabuk malzemenin ses yutum katsayıları [143]



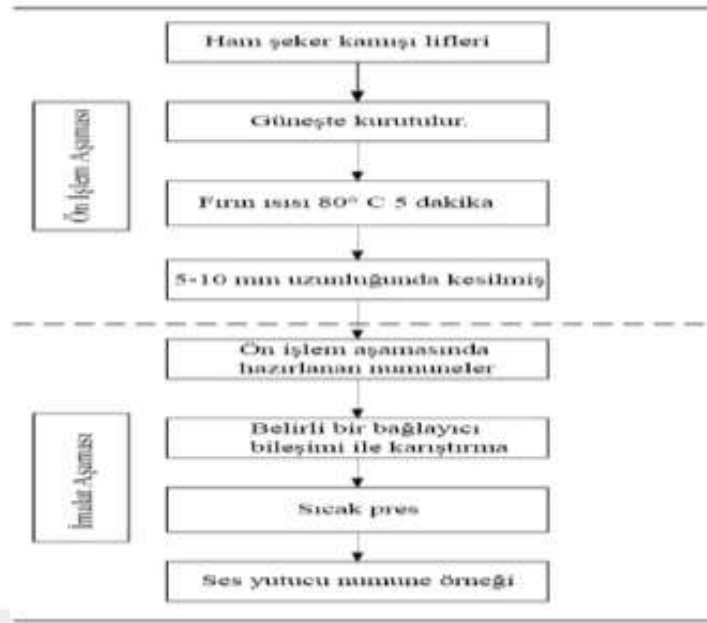
Şekil 4.84 Kalınlığı 40 mm ve 80 mm olan tek ahşap malzemenin ses yutum katsayıları [143]

Empedans tüpü ile yapılan akustik ölçümlerin sonuçları, akustik uygulamalar için doğru şekilde parçalanmış ve yeterli kalınlık ve tane boyutuna sahip su kamışlarının kullanılabileceğini göstermektedir. 40 mm ve 80 mm kalınlığındaki numuneler, orta ve yüksek frekanslarda ses yutma katsayısının oldukça iyi değerlerini sunmaktadır, ancak şekil 4.82 ve şekil 4.83'te 40 mm ve 80 mm numunelerin yutma katsayıları benzerdir, şekil 4.84'te ise tek bir ahşap malzemeye sahip numunenin etkisi, numunenin kalınlığı değiştikçe farklı frekans aralıklarında değişiklik göstermektedir.

- **Şeker Kamışı**

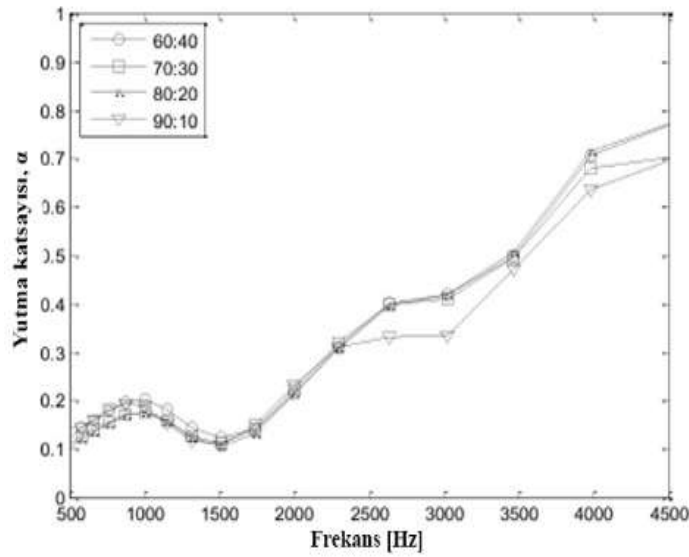
Azma Putra, Yasseer Abdullah, Hady Efendy ve arkadaşları [144]. Bu makale, şeker kamışından elde edilen doğal liflerin akustik bir malzeme olarak kullanılmasını tartışmaktadır. Şeker kamışı yaygın olarak Brezilya, Hindistan, Pakistan, Malezya ve Endonezya gibi ekvator ülkelerinde bulunur. Fiziksel görünüm olarak, şeker kamışı küçük ve yumuşaktır, bu da potansiyel olarak iyi bir ses yutucu, yumuşak malzeme olduğundan bağlayıcı malzemeyle birleştirme arzusu ortaya çıkmaktadır.

Şeker kamışı liflerinden hazırlanan numuneler iki farklı aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar ön aşama ve üretim aşamasıdır. Numunelerin hazırlanması şekil 4.85'te gösterilmiştir.

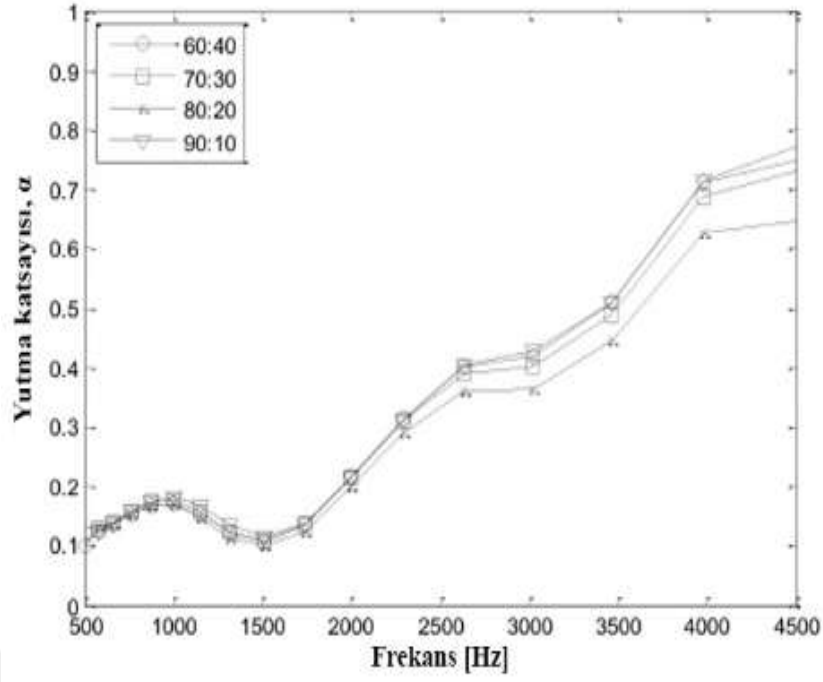


Şekil 4.85 Yutucu numunenin hazırlanış sürecinin akış şeması [144]

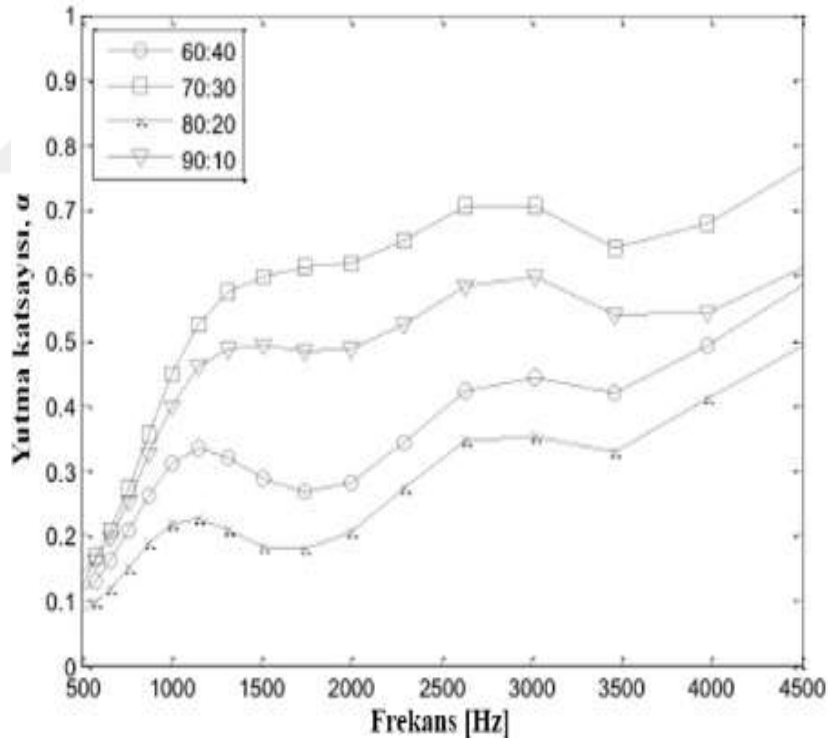
Numunelerin ses yutma katsayısını ölçmek için empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.86 ve Şekil 4.87’de sırasıyla poliüretan ve polyester kullanılarak 1 gram şeker kamışı lifinin akustik ses yutma katsayısını göstermektedir. Sonuçlar, bağlayıcı bileşiminin (%40'a kadar) 3500 Hz'in üzerindeki performansı önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Ses yutma katsayısı 4500 Hz'e ulaşana kadar 0.78'de artmaktadır. Bu durum her iki bağlayıcı türü için de geçerlidir.



Şekil 4.86 Poliüretan kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı [144]

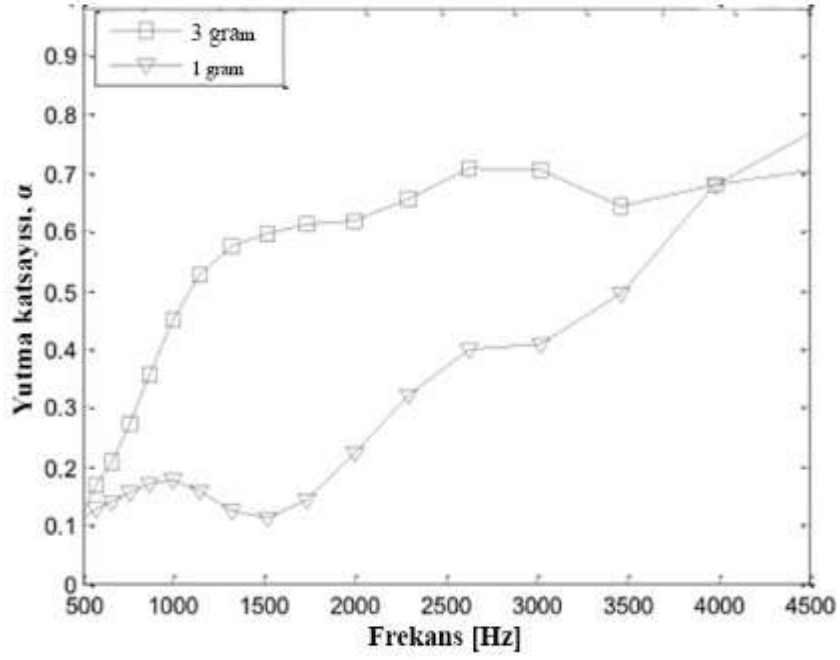


Şekil 4.87 Polyester kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı [144]

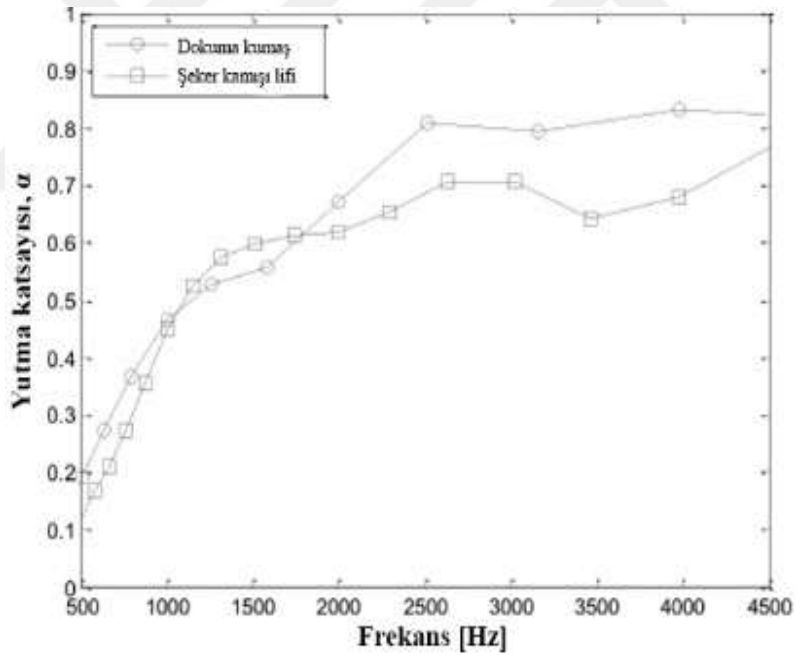


Şekil 4.88 Poliüretan kullanılarak ölçülen ses yutma katsayısı [144]

Şekilde 4.89’da 1 gram ve 3 gram ağırlığında elyaf içeren numuneler aynı bağlayıcı bileşimi ile karşılaştırılmıştır, yani 70:30 oranında karıştırılan numunelerin iyi bir ses emilimi sağladığı görülebilir. Bu durum, akustik panel ne kadar yoğun olursa akış direncinin de o kadar büyük olacağı şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.89 Yoğunluğun ses yutuculuğu üzerindeki etkisi [144]



Şekil 4.90 Şeker kamışı ve dokuma kumaş karşılaştırması [144]

- **Süpürge Lifi**

Gina Lannace ve Sergio Nardini [145]. Bu çalışmada süpürge bitkisinin akustik özelliklerini tartışmaktadır. Bu çalışmada, 50 - 200 mm yüksekliğe sahip, lifli ve silindirik gövdeli çeşitlerden oluşan doğal malzemeler detaylı şekilde değerlendirilmiştir. Şekil 4.91’te doğal akustik malzeme olarak değerlendirilmek

üzere Güney İtalya'nın dağlarından toplanmış süpürge lifi örneği, Şekil 4.92'de süpürge liflerinin doğal akustik malzeme olarak ses yutum katsayısını ölçmek için parçalara ayrılmış şeklini göstermektedir.



Şekil 4.91 Güney İtalya'nın tepelerinden toplanan süpürge lifi [145]



Şekil 4.92 Ortalama çapı 3,0 mm olan parçalanmış süpürge lifi [145]

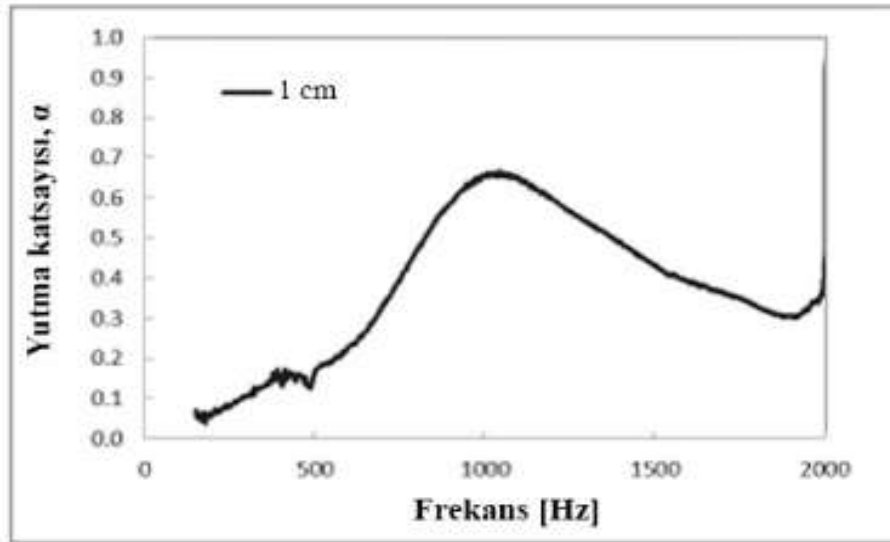
Normal ses yutma katsayısı ölçümleri ISO 10532 2:1998'de açıklanan standarda göre empedans tüpü ile gerçekleştirilmiştir [146], [147]. Kundt tüpü 56 cm uzunluğa ve 10 cm iç çapa sahiptir. Bu tüp 200 Hz - 2000 Hz frekans aralığında doğru bir ses yutma ölçümü sağlar.



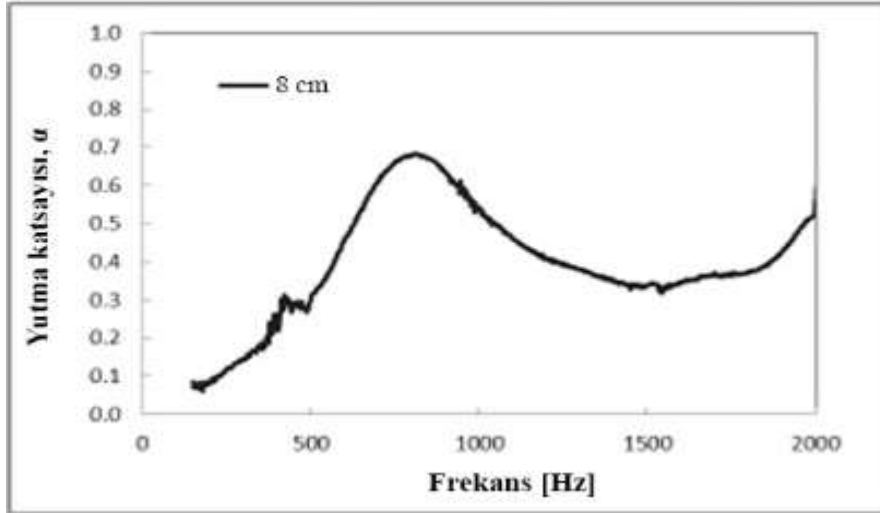
Şekil 4.93 Ses yutum katsayısı ölçümleri için Kundt Tüpü [146], [147]

Süpürge dalları parçalanıp ortalama 150 mm uzunluğunda parçalara ayrılarak elde edilir. Bu çalışmada, ortalama çapı 3,0 mm olan süpürge dalları dikkate alınmıştır. Çapı 3 mm olan süpürge dallarından 60 mm, 80 mm ve 120 mm kalınlığında numuneler test edilmiştir. Hava akış direnci uluslararası ISO 9053:1991 standardına göre ölçülmüştür [148].

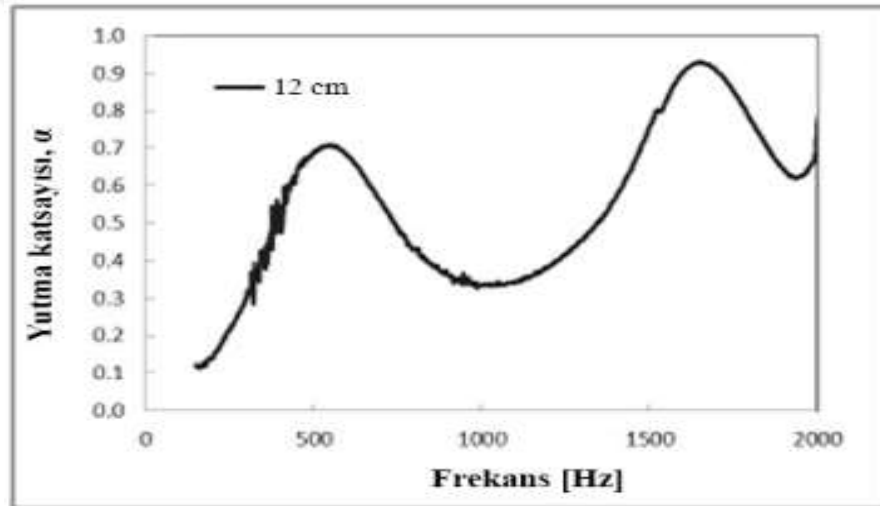
Şekil 4.94, şekil 4.95 ve şekil 4.96’da her süpürge numunesi için ölçülmüş normal ses yutma katsayısının ortalama değerlerini göstermektedir. Kalınlığı 6 cm, 8 cm ve 12 cm numuneler üzerinde gerçekleştirilen ses yutma katsayısı ölçüm sonuçları 800 Hz’den daha düşük frekanslarda kayda değer bir artış göstermiştir. Bu sonuçlar diğer gevşek taneli malzemelerin ses yutma sonuçları ile karşılaştırılabilir [149], [150]. 12 cm kalınlığındaki numune için, ses yutma katsayısı değeri düşük frekanslarda kabul edilebilir seviyede iken, 1400 Hz’in üzerindeki frekanslarda bir artış meydana gelmektedir.



Şekil 4.94 6 cm, kalınlığındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen ses yutum katsayısı ölçümlerinin ortalama değerinin sonuçları [145]



Şekil 4.95 8 cm kalınlığındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen ses yutum katsayısı ölçümlerinin ortalama değerinin sonuçları [145]



Şekil 4.96 12 cm kalınlığındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen ses yutum katsayısı ölçümlerinin ortalama değerinin sonuçları [145]

- **Arenga Pinnata Lifi**

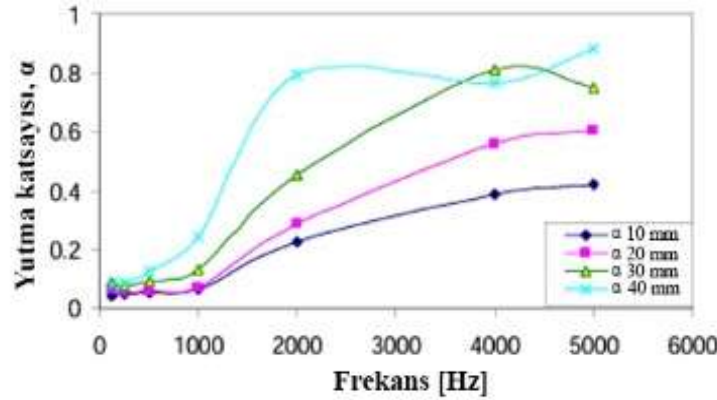
Lindawati Ismail, Mohd. Imran Ghazali ve arkadaşları [151]. Arange pinnata lifinin akustik özelliklerinin hammadde olarak kullanım potansiyelini incelemişlerdir. Arenge pinnata, şeker palmyesi ağacında bol miktarda bulunan doğal liflerden biridir. Son on yıldan bu yana kayıt stüdyolarında çatı örtüsü, su filtresi ve ses yalıtımı gibi birçok uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Arange pinnata lifinin akustik özelliklerini belirlemek için 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm kalınlığında dört farklı numune hazırlandı. Örneklerin akustik özelliklerini belirlemek için ASTM E1050-98'e uygun olarak empedans tüpü

yöntemi kullanıldı. Ölçümler 0 Hz ile 6000 Hz aralığında gerçekleştirilmiş ve yalnızca kalınlığın ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi vurgulanmıştır.

Şekil 4.97’de Saf Arenga pinnata lifinin, özellikle 40 mm kalınlığındaki liften elde edilen frekanslarda iyi bir yutucu olduğunu göstermektedir. Gözenekli (lifli) malzemelerin ortak bir özelliği; yüksek frekanslarda iyi, düşük frekanslarda ise zayıf yutucu olmalarıdır. Yüksek frekansta 40 mm kalınlığındaki Arenga pinnata'dan 0,88'lik optimum ses yutma katsayısı elde edilmiştir. Lif kalınlığının malzemenin ses yutma katsayısı üzerinde etkisi vardır. Genel olarak, daha kalın malzeme yüksek frekanslarda maksimum ses yutma katsayısı sergilemektedir.

Arenga pinnata'nın optimum ses yutma katsayısı 40 mm kalınlığında ölçülmüştür. Ses yutma katsayıları, orta ila yüksek frekans, diğer deyişle 2000 Hz ile 5000 Hz arasında 0.75 - 0.90 aralığında iyi sonuç vermiştir. Bu sonuçlar, Arenga pinnata lifinin düşük maliyetli, daha hafif ve biyolojik olarak parçalanabilen ses yutucu malzeme hammaddesi olarak kullanım için umut verici olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.97 Arenga pinnata lifinin ses yutuculuğu [151]

- **Lifi Yucca Gloriosa**

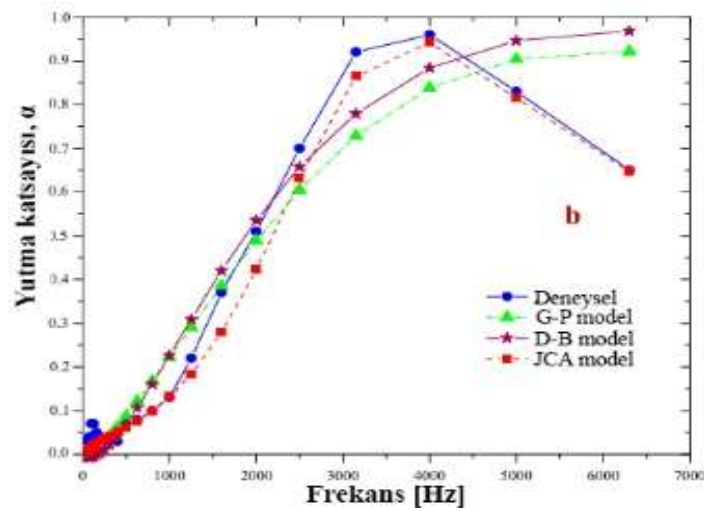
Parham Soltania, Ebrahim Tabanb, Mohammad Faridanc ve arkadaşlar [152]. Yucca Gloriosa (YG) lifinin deneysel ve hesaplamalı yaklaşımlar kullanarak akustik özelliklerini araştırmaktadır. Genel olarak İspanyol Hançeri olarak adlandırılan Yucca gloriosa (YG), Güneydoğu ABD, Meksika ve Hindistan'da yaygın olarak yetişen, köksaplı, orta boylu, uzun yapraklı, tek gövdeli, yaprak dökmeyen yeşil bir çalıdır [153]. Yucca Gloriosa (YG) bitkisinden elde edilen numuneler İran'ın Tahran şehrinden toplandı. YG bitkisi budanarak yaprakları

ayrıştırıldı. Ayrıştırılan yapraklar şekil.98’de gösterilen şemada belli aşamalardan geçirilerek 15 mm ve 30 mm kalınlığında numune haline getirildi

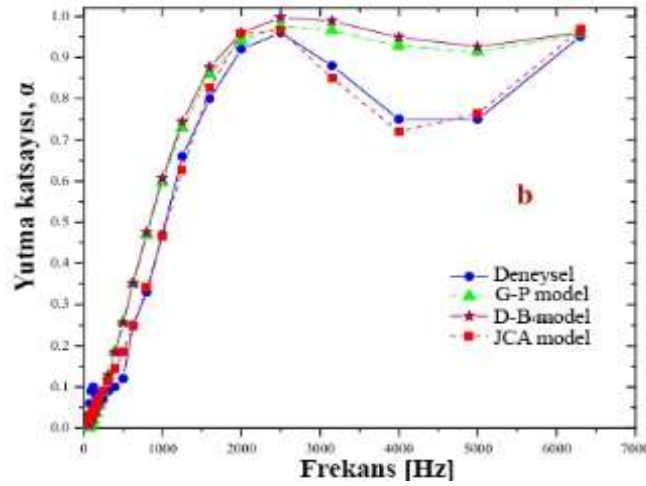


Şekil 4.98 Numune hazırlama adımları [152]

Yucca Gloriosa (YG) lifinin ses yutma katsayısı Delany ve Bazley (D-B), Garai ve Pompoli (G-P) ve Johnson-Champoux-Allard (JCA) hesaplama yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama yönteminden elde edilen sonuçlar, empedans tüpü yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Hesaplama ve deneysel karşılaştırma 63-6300 Hz frekans aralığında gerçekleştirildi. 15 mm 200 kg/m³ yoğunluğundaki numunelerin hesaplama ve deneysel olarak ses yutum kat sayısı şekil 4.99’daki gibidir:

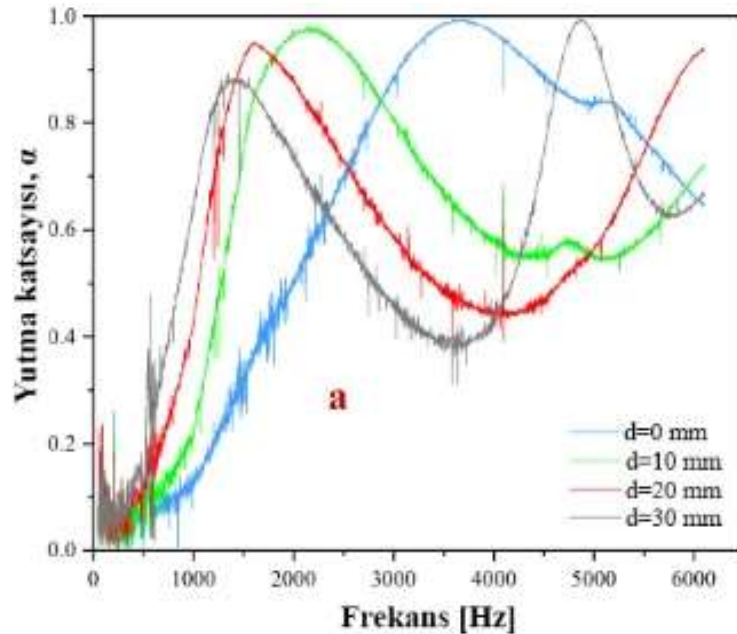


Şekil 4.99 15 mm kalınlığındaki numunenin ses yutum katsayısı [152]

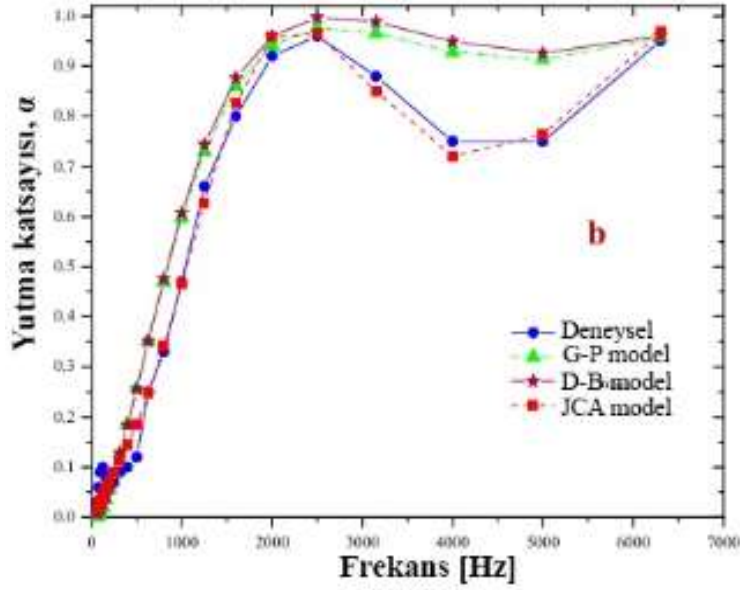


Şekil 4.100 30 mm kalınlığındaki numunenin ses yutum katsayısı [152]

Numunelerin arkasına bir hava boşluğu eklenmesi, numunenin maksimum değerinin daha düşük bir frekans aralığına kaymasına neden olmaktadır. Özellikle düşük frekanslarda akustik yutma değerlerindeki bu tür bir iyileştirmenin diğer araştırmacılar tarafından da rapor edildiği görülmektedir [154], [155]. Aynı şekilde sonuçlar, hava boşluğu derinliği arttıkça maksimum değerlerin daha düşük frekanslara doğru kaydığını da göstermektedir (Şekil 4.101 (a) ve şekil 4.102 (b)). Bu da daha fazla lif tüketimine neden olan yutucu kalınlığını artırmak yerine hava boşluğu ilavesinin kullanılabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.101 Hava boşluğunun yucca liflerinin ses emme katsayısı üzerindeki etkisi 15 mm [152]

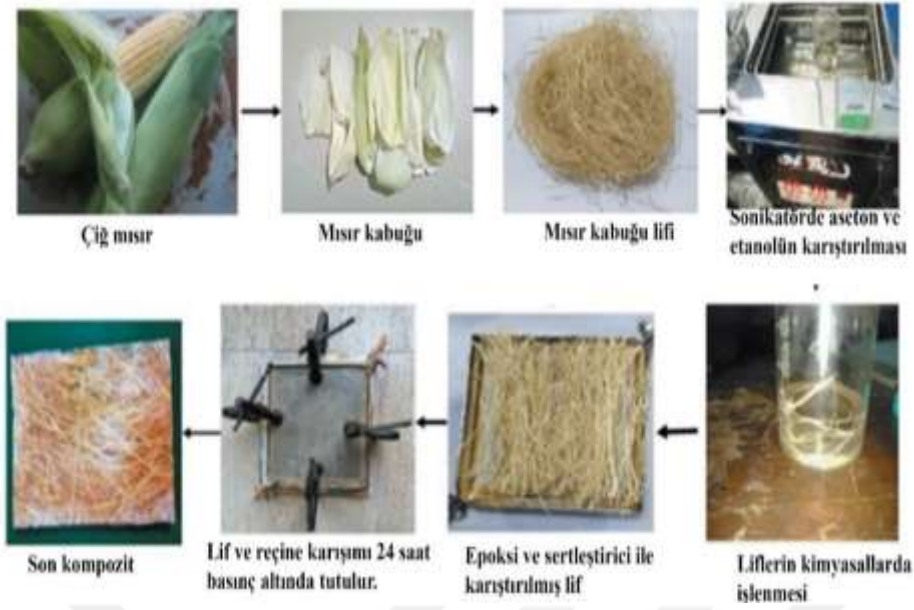


Şekil 4.102 Hava boşluğunun yucca liflerinin ses emme katsayısı üzerindeki etkisi (b) 30 mm [152]

Sonuç olarak Yucca Gloriosa Lifi: 200kg/m³ yoğunluğa ve 15 mm Kalınlığında bir numune için, ses yutma katsayısı 4000 Hz frekansa kadar artmakta ve 0.96'lık bir tepe seviyesine ulaşmaktadır, ardından ani bir düşüş göstermektedir. 200kg/m³ yoğunluğa ve 30 mm kalınlığa sahip numune için, ses yutma katsayısı 2500 Hz frekansa kadar artmakta, 0,96'lık bir tepe seviyesine ulaşmaktadır, ardından 4000 Hz'de 0,75'e yaklaşarak önemli bir düşüş göstermekte ve daha sonra tekrar artış göstermektedir. Numunelerin arkasına bir hava boşluğu eklenmesi, ses yutma katsayısının maksimum değerini daha alçak bir frekans aralığına kaydırılmasına neden olmaktadır. Hava boşluğunun kullanılmasının, alçak frekans bölgesine doğru yutma bant genişliğinin iyileşmesi de dahil olmak üzere yutma katsayısı düzeyini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Bu sonuçlar, Yucca Gloriosa lifinin düşük maliyetli, daha hafif ve biyolojik olarak parçalanabilen ses yutucu malzeme hammaddesi olarak kullanım için umut verici olduğunu göstermiştir.

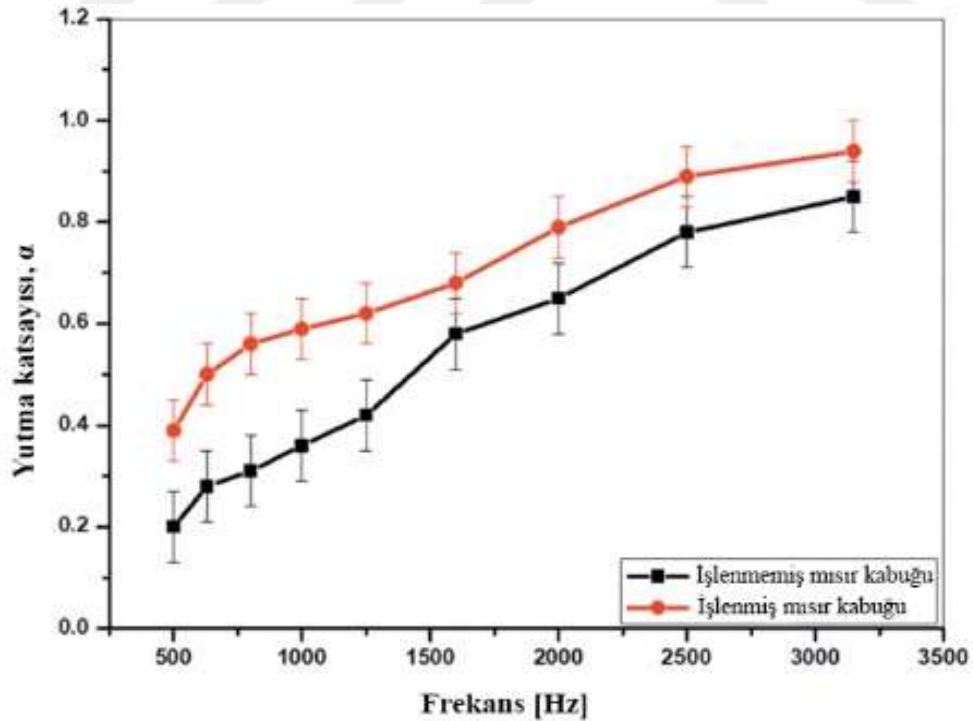
- **Kabuk Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**
- **Mısır Kabuğu**

Priyanka P. Singh ve G. Nath [156]. Bu çalışmada piyasada bulunan mısır kabuklarından elde edilen liflerin akustik özellikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Mısır kabuğundan üretilen liflerin ses yalıtım ve ısı yalıtım katsayısı ölçümleri için hazırlanan numuneler şekilde gösterildikleri gibidir.



Şekil 4.103 Mısır kabuğu numunesinin hazırlanma süreci [156]

İşlenmemiş lifle karşılaştırıldığında, işlenmiş numune 0,86'dan 0,94'e yükselen daha iyi bir ses yutma katsayısı ortaya koyar. Uluslararası SREN ISO 1165-2002 standardına göre, fabrikasyon mısır kabuğu kompoziti A Sınıfı bir ses yutucu olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.104 Mısır kabuğu numunesinin 500 – 3500 Hz aralığındaki ses yutum katsayıları [156]

- **Fıstık Kabuğu**

Ulhas Arun Malawade, Madhavrao Ganpatrao Jadhav [157]. Fıstık kabuğunun akustik özellikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Yer fıstığı ya da bilinen diğer adıyla fıstık, esas olarak yenilebilir tohumları için tropikal ya da subtropikal bölgelerde yetiştirilen bir baklagil ürünüdür.

Bunun yanında, yer fıstığı kabuğu düşük yoğunluğa, düşük ısı iletkenliğine ve gözenekliliğe sahiptir. Yer fıstığı kabuklarından numune almak için 100 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm ve 40 mm iç çapa sahip farklı kalınlıklarda çelik kalıplar hazırlanmıştır. Şekil 4.87, 100 mm çapında farklı kalınlıktaki kalıplara ait test numunesini göstermektedir.



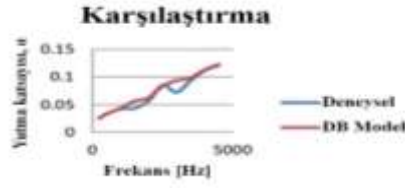
Şekil 4.105 Çeşitli kalınlık aralıklarında 100 mm çapında Test Numunesi Kalıpları [157]

Numuneler, hassas ölçme yapabilen bir elektronik ölçüm cihazı kullanılarak belirli bir oranda bağlayıcı karıştırılarak hazırlanmıştır. Ölçüm yöntemi olarak (ASTM E1050-98), empedans tüpü kullanmıştır. (Bkz. Tablo 4.15).

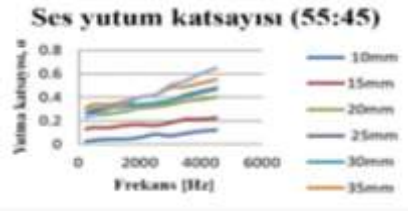
Tablo 4.15 Farklı Numunelerin test edilmesi için Kütle Yoğunluğu değerleri [157]

Ağırlık Oranları		C1 (55:45)	C2 (60:40)	C3 (65:35)	C4 (70:30)	C5 (75:25)
Kalınlık mm	Hacim mm ³	Yoğunluk kg/mm ³	Yoğunluk kg/mm ³	Yoğunluk kg/mm ³	Yoğunluk kg/mm ³	Yoğunluk kg/mm ³
10	78539.81	611.2	636.6	585.7	611.2	471.1
15	117809.7	645.1	611.2	628.1	628.1	619.6
20	157079.6	604.8	541.1	547.5	598.4	515.7
25	196349.5	646.8	621.3	519.5	728.3	601
30	235619.5	619.6	636.6	539	679.1	700.3
35	274889.4	669.4	844	516.6	753	734.8
40	314159.3	684.4	830.8	592.1	774.8	735.3

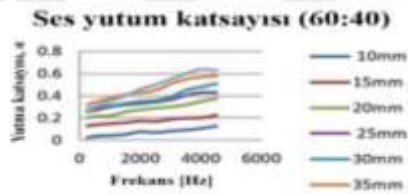
Deney ile elde edilen bulgular, aşağıdaki gibi farklı malzeme-bağlayıcı oranlarına sahip test numuneleri için grafikler şeklinde belirtilmiştir:



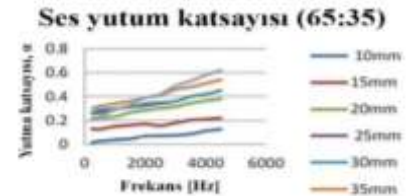
Şekil 4.106 Hesaplamalı ve deneysel sonuçların karşılaştırması [157]



Şekil 4.107 55:45 numunenin ses yutum katsayısı [157]



Şekil 4.108 60:40 numunenin ses yutum katsayısı [157]



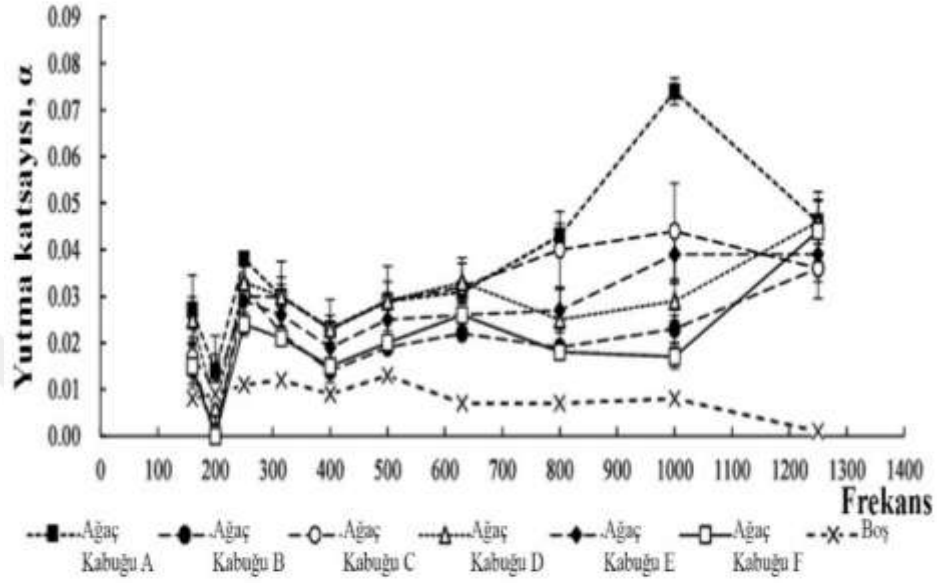
Şekil 4.109 65:35 numunenin ses yutum katsayısı [157]

- **Ağaç Kabuğu**

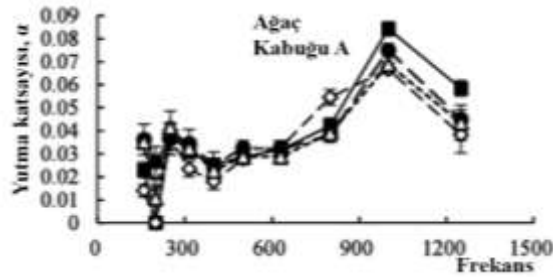
Mengmeng LI, Timothy Van Renterghem ve arkadaşları [158]. Ağaç kabuğunun akustik özellikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma kapsamında seçilen tür sayısı altıdır. Kabuk sınıflandırmasında, Bertrand'ın [159] araştırması, türleri tanımak için kullanılan görsel kabuk yapısı ölçütlerine göre kullanılan bir yöntemi ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, kabuk örneklerinin ses yutuculuğunu ölçmek için empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ses yutma katsayısının ölçülebileceği maksimum frekans 1.500 Hz'dir. Bu çalışmada kullanılan ağaç kabuklarının çok

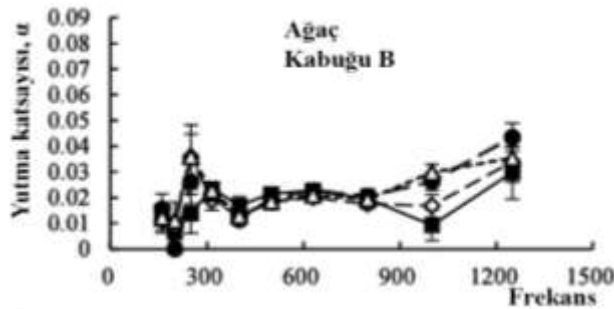
düşük bir yutuculuğa sahip oldukları ve ağaç türleri arasında çok küçük farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Şekil 4.100' de görüldüğü üzere, ağaç kabuklarının yutuculuğu 0.02-0.04 dolaylarındadır ve belirgin bir frekans ilişkisi bulunmamaktadır.



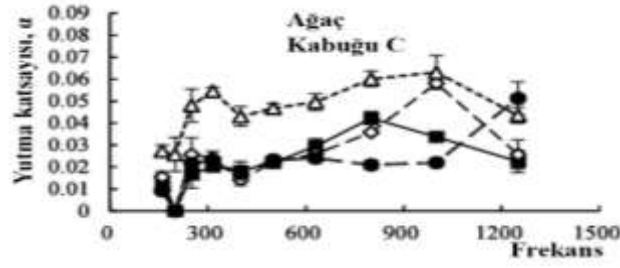
Şekil 4.100 Ağaç kabuğu numunesi için Ses Yutma Katsayısı [159]



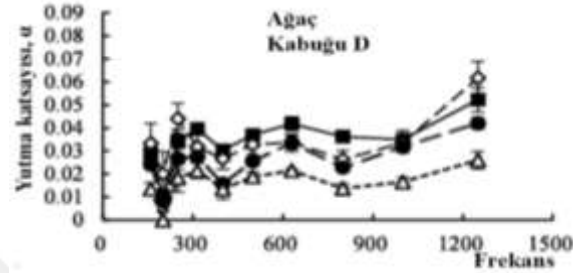
Şekil 4.111 Ağaç kabuğu A numunesinin ses yutma katsayısı [159]



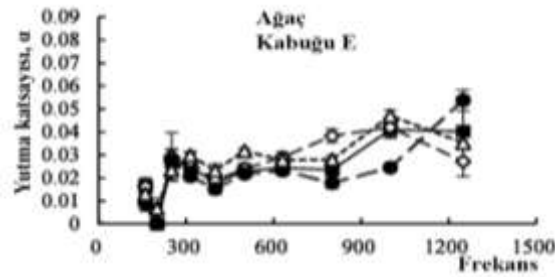
Şekil 4.112 Ağaç kabuğu B numunesinin ses yutma katsayısı [159]



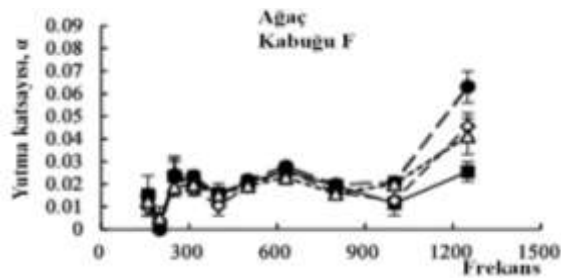
Şekil 4.113 Ağaç kabuğu C numunesinin ses yutma katsayısı [159]



Şekil 4.114 Ağaç kabuğu D numunesinin ses yutma katsayısı [159]



Şekil 4.115 Ağaç kabuğu E numunesinin ses yutma katsayısı [159]



Şekil 4.116 Ağaç kabuğu F numunesinin ses yutma katsayısı [159]

Her ne kadar bu altı farklı tür arasındaki yutma oranı 0,1'den az olsa da, bu türler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Kabuk kalınlığı ve ağaç yaşı yutma oranı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, ağaç kabuğu mevcut sentetik ses yutuculara iyi bir alternatif olabilmesi için ham maddesel olarak değil kompozit olarak kullanılabileceği görülmektedir.

- **Atık Durian Kabuğu**

AzmaPutra, Muhammad Nur Othman ve arkadaşlar [160]. Tarımsal atık kabul edilen doğal durian kabuğu liflerinden üretilen akustik yutucuların ses yutma katsayısını üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Durian (*Durio zibethinus* Murray) kabuğu sert olan ve güçlü kokusu, tatlı tadı ile tanınan bir meyvedir (Şekil 4.99 (a)). Tayland yıllık 700.000 ton ile durian üretimi açısından halen birinci sıradadır ve onu her biri yaklaşık 250.000 ton ile Malezya ve Endonezya izlemektedir [161]. Meyvenin yüzde 40'ı etli, yüzde 60'ı ise kabukludur. Maalesef, kabuk çoğunlukla atık olarak düzenli depolama sahalarına atılmaktadır (Şekil 4.117(b)).



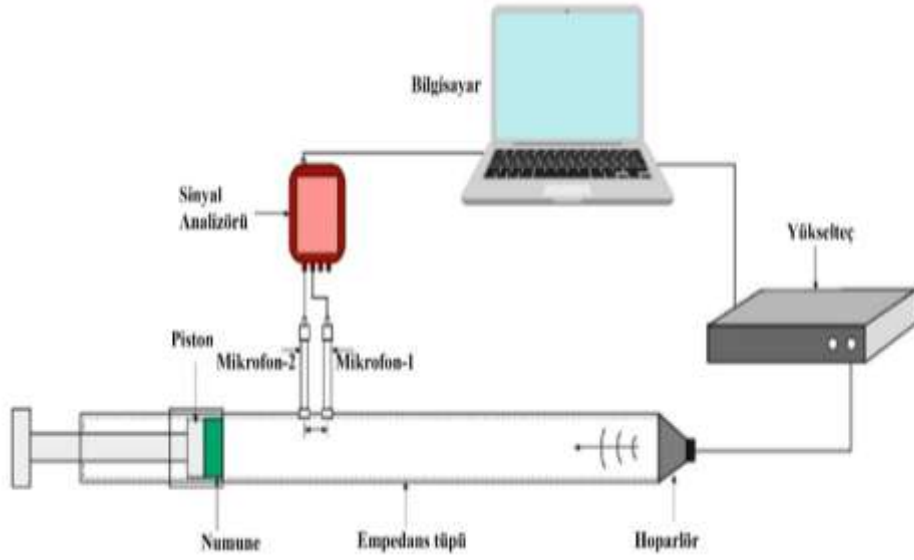
Şekil 4.117 (a) Durian meyvesi ve (b) Durian kabuğundan elde edilen atıklar [160]

Hammadde yerel çevreden temin edilen durian kabuklarıdır. Kabuk ilk olarak hindistan cevizi kırma makinasında parçalanmış ve yapışan parçacıkları ve alacakaranlığı uzaklaştırmak amacıyla 48 saat boyunca su ile iyice yıkanmıştır. Ardından 60°C'de yaklaşık 24 saat boyunca fırında kurutulmuştur. Kurutulan kabuklar daha sonra değirmen ile öğütülmüş ve kurutulmuş lifler elde edilmiştir. Kurutulmuş lifler 34,5 mm çapında yuvarlar olacak numuneler elde edilmiştir.

Tablo 4.16 Durian kabuğu liflerinin test numunelerinin parametreleri [160]

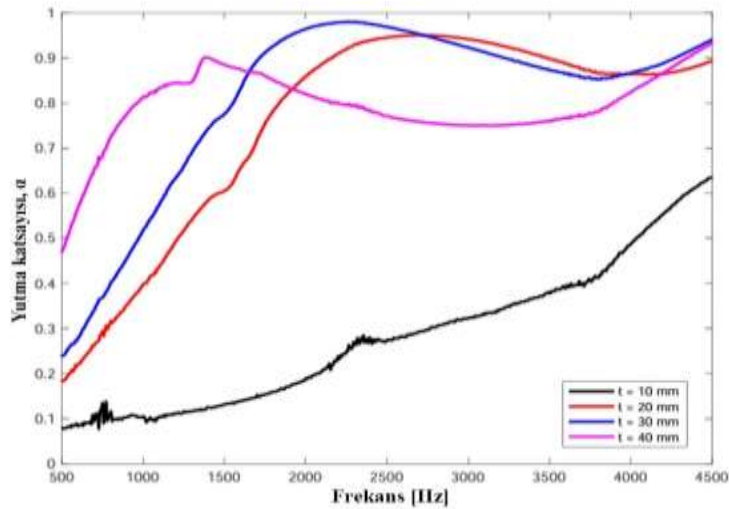
Liflerin Kütlesi, m (g)	Kalınlık, t (mm)	Kütle Yoğunluğu, (kg/m ³)
2	10	214
3	20	160
4	20	214
6	20	321
5	30	178
6	30	214
7	30	250
8	30	285
8	40	214

Ses yutma katsayısı ISO 10534-2'ye göre, iki mikrofona empedans tüpü yöntemi kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.118 Empedans tüpü yöntemi kullanılarak ses yutma ölçümünün ayarlanması [160]

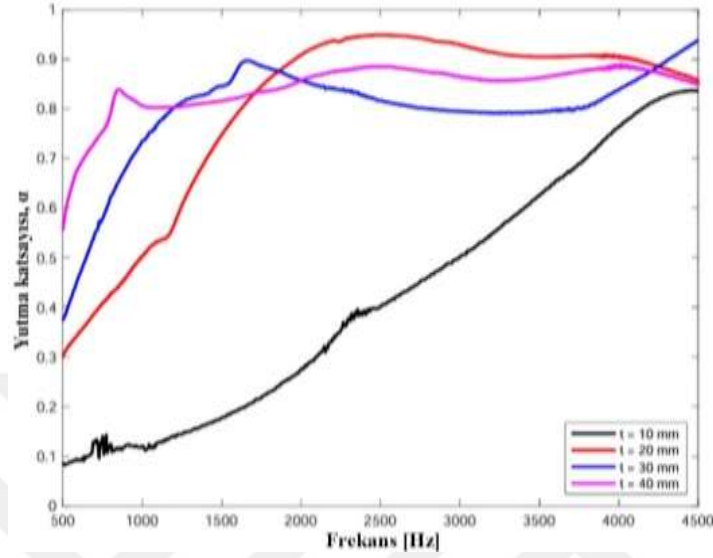
Şekil 4.119’da 214 kg/m^3 yoğunluğa sahip çeşitli kalınlıklar için ses yutma katsayısı sonuçlarını göstermektedir. 10 mm kalınlığa sahip numunenin 4000 Hz'e kadar iyi bir sonuç elde edemediğini gözlemlemek mümkündür. Kalınlığın iki katına çıkarılıp 20 mm'ye çıkarılmasıyla performans belirgin bir biçimde artmaktadır; burada 0,5 değeri artık 1250 Hz' de başlamaktadır. En yüksek frekans 2500 Hz ve rezonans frekansı kalınlık arttıkça daha alçak bir frekansa kaymaktadır.



Şekil 4.119 Farklı kalınlıklar için ölçülen ses yutma katsayısı ($p = 214 \text{ kg/m}^3$) [160]

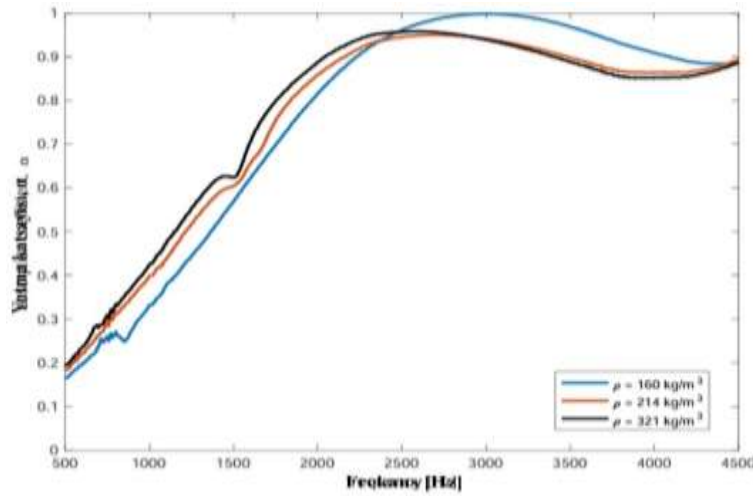
Şekil 4.120'de, yutma katsayısı aynı numune kalınlığı varyasyonu için gösterilmiştir, ancak lif yoğunluğu 285 kg/m^3 'e arttırılmıştır. Buradaki tepe

değerlerinin Şekil 'teki 214 kg/m³ yoğunluğa kıyasla daha alçak frekansa kaydığı görülmektedir. 10 mm kalınlığındaki numune için 0,5 artık yaklaşık 3000 Hz' de başlamaktadır. 40 mm kalınlık için, durian kabuğu lifi ortalama 0,8 yutma katsayısı ile 800 Hz'in üzerinde performans gösterebilir.

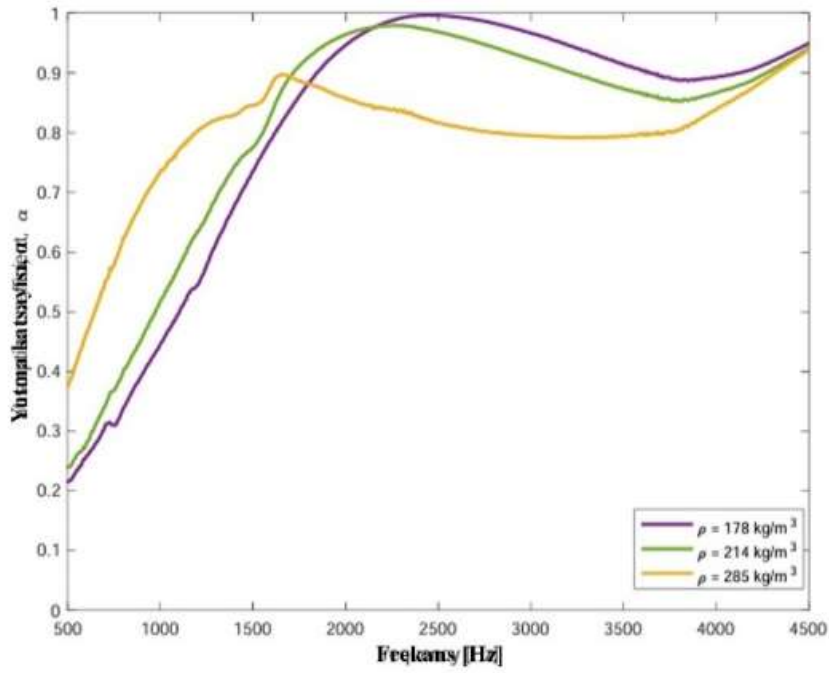


Şekil 4.120 Farklı kalınlıklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($p = 285 \text{ kg/m}^3$) [160]

Şekil 4.121' de farklı lif yoğunlukları ile 20 mm'lik sabit bir numune kalınlığı için ölçülen sonuçları göstermektedir. Başlangıçtaki 0,5 frekansı, 160 kg/m³ için 1300 Hz' den 321 kg/m³ için sadece 3000 Hz'e çıkmakta ve lif yoğunluğu iki katına çıkmaktadır. Alçak frekans bölgesinin iyileştirilmesi, panel arkasına yerleştirilen bir hava boşluğu ile etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.121 Farklı yoğunluklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($t = 20 \text{ mm}$) [160]



Şekil 4.122 Farklı yoğunluklar için ölçülen ses yutum katsayısı ($t = 30 \text{ mm}$) [160]

Durian kabuğu liflerinden üretilen ses yutucuların ses yutma katsayısı incelenmiştir. Ölçüm sonuçları, durian liflerinin 20 mm kalınlığındaki bir numune için 1300 Hz üzerinde $> 0,5$ ve 30 mm kalınlığındaki bir numune için 214 kg/m³ yoğunlukta $> 1000 \text{ Hz}$ üzerinde iyi yutma katsayısına sahip olabileceğini göstermektedir. Bu performans, 1000 Hz'in üzerinde, 45 mm daha kalın bir numune ile ticari taş yününün performansını aşmaktadır (120 kg/m³ daha düşük bir yoğunluğa sahip olmasına rağmen). Daha alçak frekansta iyileşme, 30 mm kalınlık için yoğunluğun 285 kg/m³'e yükseltilmesiyle elde edilebilir; bu durum atık durian kabuğunun sentetik malzemeye alternatif olabileceğini göstermektedir.

- **Tohum Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**
- **Küspe**

Ulhas Arun Malawade ve M.G. Jadhav [162] Bu araştırmada küспенin akustik ses yutum katsayısı incelenmiştir. Ham küspe malzemelerinin akustik analizi için seçilen bu numuneler şeker kamışı işlemlerinden elde edilmiştir. Ham küspe, suyu çıkarıldıktan sonra ezilmiş şeker kamışı saplarından elde edilebilmektedir. Ham küspe malzemesi, nem içeriğini uzaklaştırmak için 8 saat boyunca güneş altında kurutulmuştur.

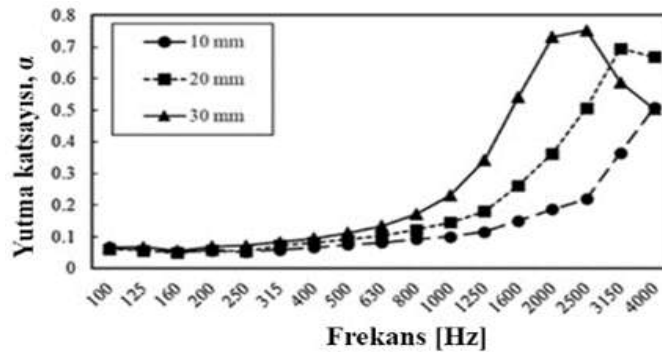


(a) (b) (c)

Şekil 4.123 Çalışma için kullanılan (a) 10 mm (b) 20 mm (c) 30 mm kalınlığında küspe numuneleri [162]

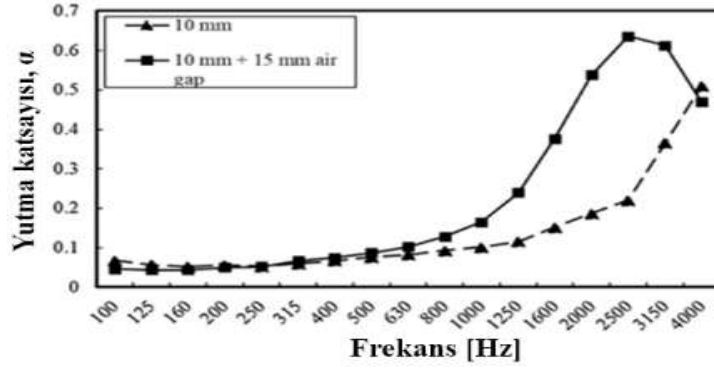
Ses yutma katsayısı, E1050-98 uygun olacak şekilde 100 Hz ve 4000 Hz frekans aralığında empedans tüpü test düzeneği kullanılarak hesaplandı.

Şekil 124'te ses yutma katsayısının daha kalın malzemede iyi olduğu görülmüştür. 30 mm kalınlığındaki numune için maksimum ses yutma katsayısı 0,75 olarak bulunmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında, 30 mm kalınlığındaki numunenin ses yutma katsayısı, 2500 Hz frekansında 10 mm Kalınlığındaki numunenin ses yutma katsayısının 2,4 katıdır. Bu nedenle, malzemenin kalınlığı akustik yutma sırasında önemli bir rol oynamıştır.

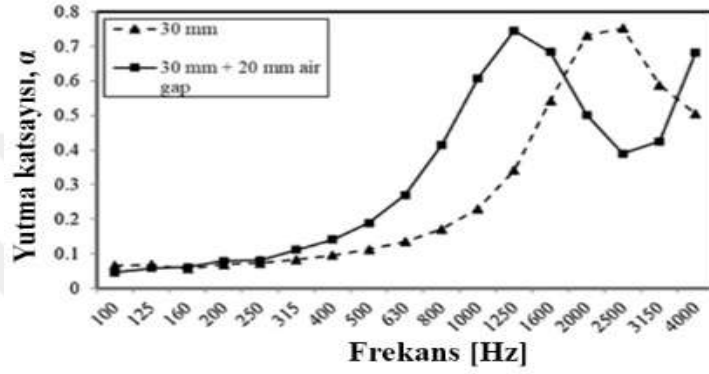


Şekil 4.124 Kalınlığın ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi [162]

Çalışmanın devamında 15 mm hava boşluğuna sahip 10 mm kalınlığında bir numune ve 20 mm hava boşluğuna sahip 30 mm kalınlığında bir numune değerlendirilmiştir. Şekil 4.125'de, ses yutum katsayısının artan hava boşluğu ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Hava boşluğu 15 mm olan numune için en yüksek katsayı 2500 Hz' de 0,64 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, kalınlık 10 mm'den 30 mm'ye yükseldiğinde, en yüksek ses yutma katsayısı Şekil 4.126'da görüldüğü gibi 1250 Hz yerine 2500 Hz frekans için daha yüksek bir değere ulaşmaktadır.



Şekil 4.125 Hava boşluğunun ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi [162]



Şekil 4.126 Hava boşluğunun ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi [162]

Doğal lif bazlı küspe malzemesinin akustik performansının belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Küspe malzemesinin kalınlıkları farklı olan üç numune hazırlanarak incelenmiştir. Önerilen malzeme, farklı frekanslar arasında ses yutma katsayısı (0,7 ile 0,8) yüksek olan ses yutma etkinliğini göstermiştir. Daha ileri çalışmalar, numune kalınlığının ve hava boşluğunun etkisini araştırmak için genişletilmiş ve iyi sonuçlar bulunmuştur. Bu araştırma, doğal küspe malzemesinin, ses yalıtımı için kullanılabilecek alternatif bir ses yutucu malzeme olduğunu göstermektedir.

- **Posidonia Lifi**

Francesco Pompili [163]. Bu çalışma, Akdeniz'de oldukça yaygın olan ve sahillerde, büyük miktarlarda bulunabilen bir deniz bitkisi (*Posidonia oceanica*) tarafından elde edilen *Posidonia* Topları'ndan (bilimsel adı: *Aegagropiles*) elde edilen liflerin akustik karakterizasyonunun sonuçlarını ortaya koymaktadır. *Posidonia* lifleri tüm Akdeniz'e özgü bir su bitkisidir ve *Posidoniaceae* (Tek çenekli kapalı tohumlu bitkiler) familyasına aittir. *Posidonia* lif bitkisi 2,5 ila 5 milyon hektar büyüklüğünde bir alan üzerine yayılmaktadır [164]. Akdeniz sahillerinde

belirli dönemlerde turistik açıdan oldukça yoğun plajlar bulunmaktadır. Dolayısıyla çok sayıda turiste ev sahipliği yapan plajlar, yaz sezonu öncesinde bu malzemelerin büyük miktarlarını dalgalar vasıtasıyla plajlara akıtmaktadır. Bu durumda yaz sezonu öncesinde atık olarak toplanmakta ve düzenli depolama tesislerine gönderilmektedir.



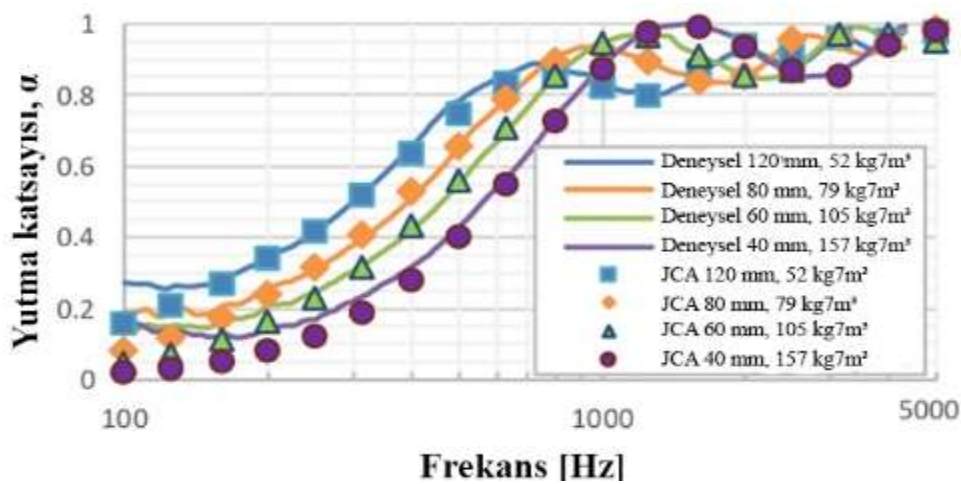
(a)

(b)

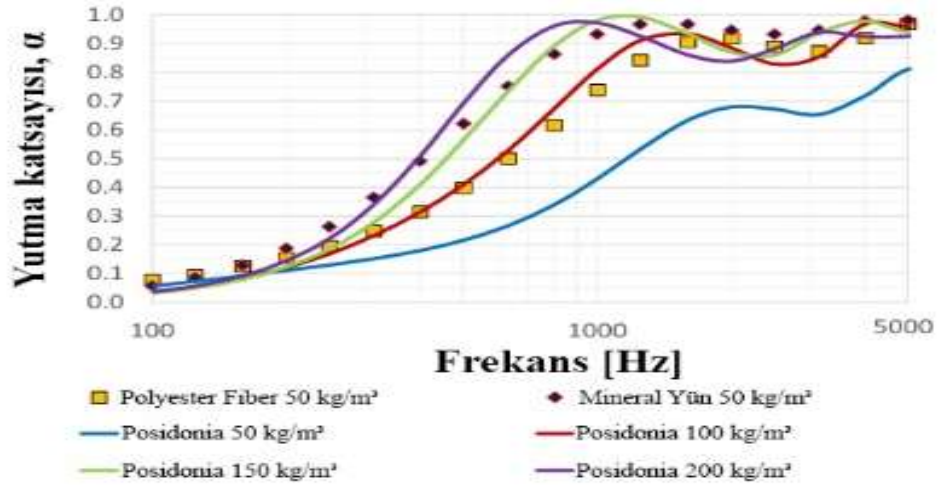
Şekil 4.127 Posidonia topları örnekleri (a,b) [163]

Ses yutma deneysel ölçümü, ISO Standardı 10534-2'ye göre 100 Hz ila 4300 Hz frekans aralığı içinde 45 mm çaplı bir duran dalga tüpünde gerçekleştirilmiştir.

Hesaplamalı ölçüm ise Johnson-Champoux-Allard (JCA) [165], [166] tarafından geliştirilen eşdeğer dağıtıcı akışkan modeli kullanılmıştır. Şekil, yoğunluk ve kalınlığın çeşitli varyasyonları için deneysel ve hesaplamalı eğrileri göstermektedir.



Şekil 4.128 Deneysel ölçümler ve analitik model (JCA) arasındaki karşılaştırma) [163]



Şekil 4.129 Yoğunluk değişikçe Posidonia liflerinin ve iki geleneksel ses yutucu malzemenin (polyester lifler ve mineral yün) yutuculuk katsayısı [163]

Bu araştırma, Posidonia liflerinin akustik kullanım potansiyeline sahip olduklarını ve mineral yün ve polyester lifler gibi bilinen malzemelerle karşılaştırılabilir yutma katsayılarına ulaşabildiklerini göstermiştir. Bu sürdürülebilir malzeme ile üretilmiş akustik paneller için tasarım aracı oluşturan analitik model, deneysel akustik ölçümlerle iyi bir benzerlik göstermektedir. Liflerin büyük boyutu, mineral yün veya polyester lifler gibi diğer bilinen malzemelerden çok daha yüksek olan 100 kg/m³ 'ten daha yüksek lif yoğunluğunun kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. . Bu malzemenin akustik verimliliği, yüksek sürdürülebilirliğinin yanında atık malzemenin tekrar kullanılması ve döngüsel bir ekonomi yaratılması ile telafi edilebilecektir.

4.2.1.2 . Hayvansal Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler

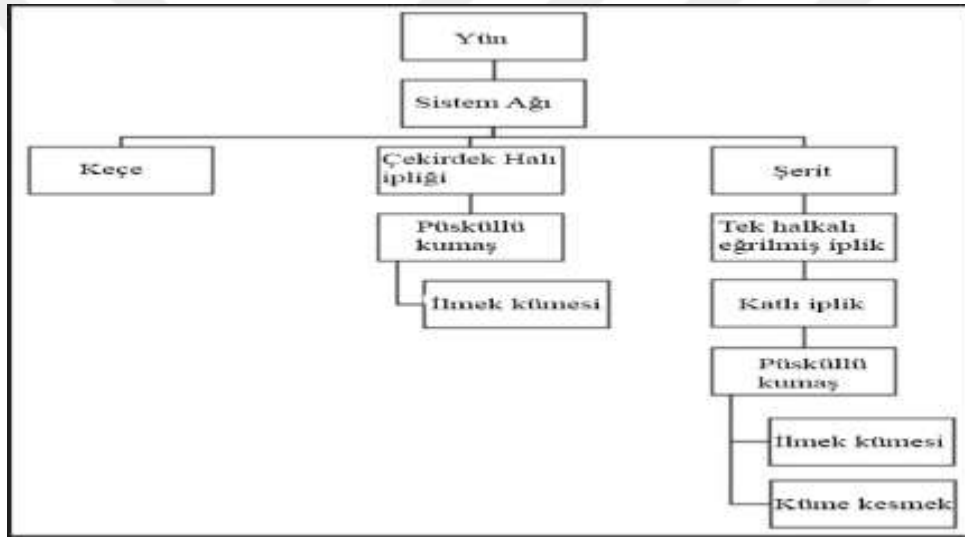
- **Koyun Yünü**

Katarzyna Kobiela-Mendrek, Marcin Baczek, Jan Broda ve arkadaşları [167]. Bu çalışmada koyun yününün akustik ses yutum katsayısı incelenmiştir. Ses yalıtım malzemelerinin üretiminde hammadde olarak Polonya Dağ Koyununun yünü kullanılmıştır. Bu ırk özellikle zorlu iklim koşullarına, sarp ve ulaşılmaz otlaklara ve uzun yürüyüşlere iyi adapte olmuştur. Yün çoğunlukla beyazdır, ara sıra kahverengi veya siyah çeşitleri de bulunur.



Şekil 4.130 Polonya dağ koyununu [167]

Şemaya göre farklı yapılarda ses yutucu malzemeler üretilmiştir (Şekil 4.131). Keçeler ve iplikler Selbu Spinneri (Klæbu, Norveç) iplik fabrikasında üretilmiştir. Tufte kumaşlar Sztuka Beskidzka'da (Czechowice-Dziedzice, Polonya) üretilmiştir.



Şekil 4.131 Numunelerin üretim şeması [168]

Numune üretim işlemleri sırasıyla uygulandıktan sonra (şekil 4.132) aşğıdaki gibi numuneler elde edilmiştir.



Şekil 4.132 Ring iplikten üretilen püsküllü kumaşlar; (a) ilmek yığını; (b) kesilmiş yığın [168]



Şekil 4.133 Çekirdek kilim ipliğinden üretilen püsküllü kumaşlar [168]

Keçe ve püsküllü kumaşın sahip olduğu yüzey yoğunluğu, kalınlığı ve hava geçirgenliği PN-EN ISO 9863-1:2007, PN-EN ISO 9864:2007 ve PN-EN ISO 9237:1998'e uygun olarak belirlenmiştir. Ölçümler bir kalınlık ölçer Tilmeter 73 (Lodz, Polonya) ve bir geçirgenlik ölçer FX 3300 Textest AG Instrument (Schwerzenbach, İsviçre) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Her parametre için 10 ölçümün ortalama değeri ve %95 güven aralığı belirlenmiştir. Malzemenin akustik performans değeri, ucuna bir hoparlör yerleştirilmiş bir Brüel & Kjaer duran dalga tüpü kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm sırasında tüpün içinde tek boyutlu bir akustik alan oluşturulmuştur. Düzlemsel bir ses dalgası tüpün içinde yayıldı ve ardından tüpün diğer ucuna yansıtıldı. Yansıyan dalga tüp içindeki gelen dalga ile girişimi sonucunda maksimum ve minimum ses basıncına sahip bir duran dalga oluşmuştur.

Yapılan ölçümler 100 mm çapındaki yuvarlak numuneler için 250-3150 Hz frekans bandında üç oktav aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında ses yutma katsayısı α belirlenmiş; ardından gürültü azaltma katsayısı (NRC) hesaplanmıştır. NRC, 250, 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarındaki ses yutma katsayılarının ortalama değeri olarak belirlenmiştir.

Dağ koyunu yününden yapılan ses yutucu malzemelerin temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Tablo 4.17).

Tablo 4.17 Dağ koyunu yününden yapılan malzemelerin özellikleri [168]

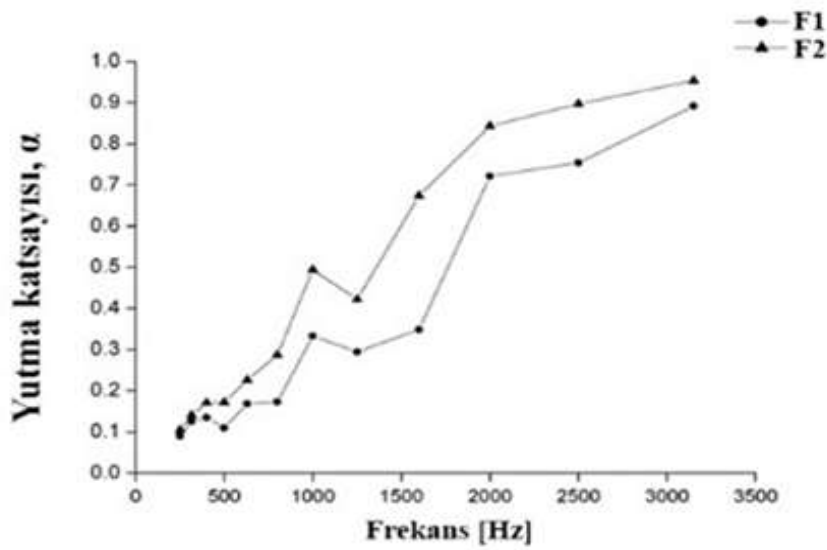
Malzeme	Sembol	Kalınlık mm	Yüzey Yoğunluğu g/m ²	Hava Geçirgenliği l/m ² /s
Keçe	F1	9.9	815	890
	F2	19.5	1550	512

Tablo 4.17 Dağ koyunu yününden yapılan malzemelerin özellikleri [168]

(devamı)

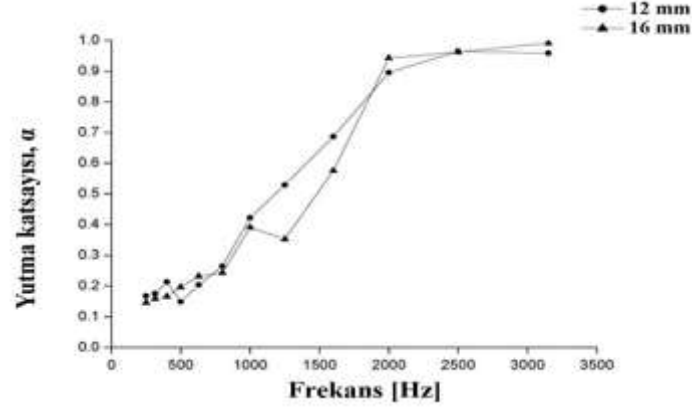
Ring kesilmiş yığınlar	iplikten	RC12	14.0	3700	98
		RC16	16.0	4100	60
Halka eğrilmiş iplik ilmek yığınları		RL12	14.9	3500	230
		RL16	15.8	4200	80
Çekirdek halı ipliği		CL12	14.2	4000	173
		CL16	18.1	4800	-

İki farklı kalınlıktaki keçe numunesi için gürültü yutma katsayısı Şekil 4.134 'te gösterilmiştir.

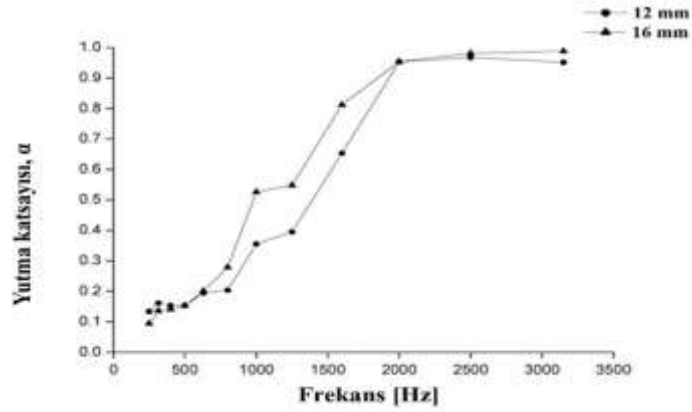
**Şekil 4.134** Yün keçeler için ses yutma katsayısı [168]

Her iki numune için de alçak ses frekansta α katsayısı 0,1'den 0,15'e kadar düşük seyretmiştir. 500 Hz'in üzerinde frekans arttıkça α katsayısı belirgin bir şekilde artmış ve 2000 Hz' de 12mm numune için 0,79 ve 16 mm numune için 0,84 değerine ulaşmıştır. Frekans 2000 Hz'in üzerine ulaştığında katsayıdaki artış kayda değer derecede azalmıştır. En yüksek frekans olan 3150 Hz' de α , 12 mm ve 16 mm kalınlığındaki keçe için sırasıyla 0,89 ve 0,95 ile en yüksek değere ulaşmıştır.

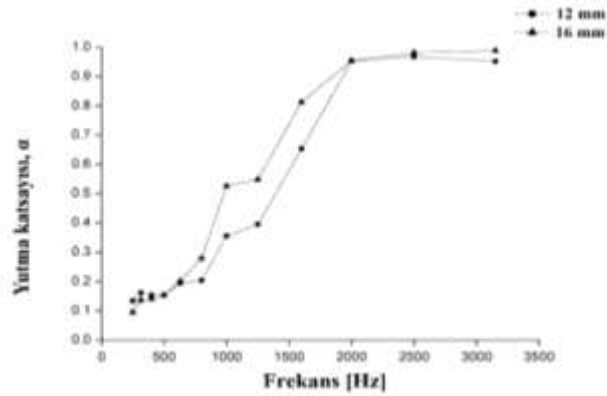
Keçeye benzeyen püsküllü kumaşlarda α katsayısının en düşük değeri düşük frekanslarda gözlenmiştir. Frekans arttıkça, α katsayısı frekans 2000 Hz'e ulaşana kadar önemli bir artış göstermiştir. Bu değerden sonra katsayıda daha fazla artış gözlenmemiştir (Şekil 4.135, Şekil 4.136 ve Şekil 4.137).



Şekil 4.135 Ring iplikten yapılmış püsküllü kumaş için ses yutma katsayısı (kesilmiş yığın) [168]



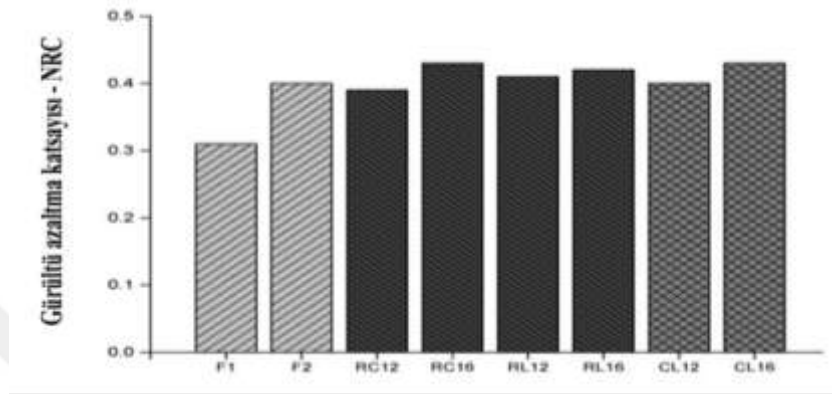
Şekil 4.136 Ring iplikten yapılmış püsküllü kumaş için ses yutma katsayısı (ilmeğe yığılması) [168]



Şekil 4.137 Çekirdek halı ipliğinden yapılmış püsküllü kumaş için normal olayda ses emme katsayısı [168]

Katsayıdaki artışlar, çekirdek iplikten üretilen tüm lifler için benzerdir. Katsayı 2000Hz'e kadar düzenli olarak artmıştır. Daha sonra daha yüksek frekanslarda, 12 mm numune için 0,96 ve 16 mm'lik numune içinde maksimum değere ulaşmıştır.

Aşağıda tüm incelenen numuneler için hesaplanan Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC) değerleri gösterilmektedir. Bu değerler daha kalın keçeler için çok daha yüksektir ve püsküllü kumaşlar için belirtilen seviyeye ulaşmıştır. Hem ring hem de çekirdek ipliklerden üretilen tüm püsküllü kumaşlar için NRC değeri 0,4 ile 0,43 arasındaydı. Her iki iplik türü için de elyaf kalınlığı ne kadar yüksekse NRC değeri de o kadar yüksektir.



Şekil 4.138 8 adet numunenin NRC değeri [168]

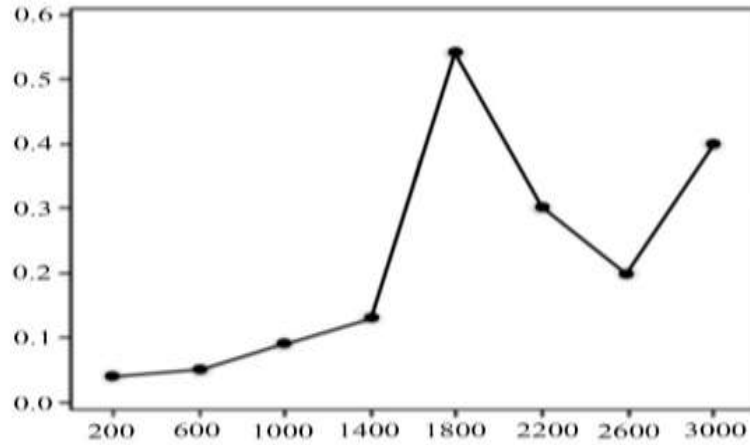
Dağ koyunlarından toplanan kaba yün, ses yutucu malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Bu malzemelerin ses yutma katsayıları, genellikle daha pahalı yün türlerinden üretilen ve piyasada bulunan ürünlere benzerdir. Hem keçe hem de püsküllü kumaşlar, odalarda yankılanma kontrolü ve gürültü konforunu iyileştirmek için güvenle kullanılabilir. Malzemeler hem dekoratif hem de yalıtım işlevlerine sahip olabilir. Ses yutucu malzemelerin hazırlanmasında yerel yünün kullanılması, dağ koyunlarından elde edilen yünün değerlendirilmesi için uygun bir çözüm olabilir. Bu sayede, birçok Avrupa ülkesinde atık olarak değerlendirilen yerel yün, kaliteli ürünler üretmek için kullanılabilir.

Sonuç itibarıyla, ses yutma özelliği ince yünden yapılan keçe de düşüktür ve bazı kullanım alanlarında yetersiz kalabilir. Keçenin kalınlığını arttırarak daha yüksek seviyelerde ses yutuculuğu elde edilebilir.

- **Tavuk Tüyü**

K. Saravanan, C. Prakash [169]. Bu araştırmada tavuk tüyü liflerinin akustik özelliklerini araştırmaktadır. Temizlenen ve arındırılan tüylerden cerrahi bir bıçak kullanılarak diken denilen kısımlar çıkarılır. Tavuk tüylerinin ortalama uzunluğu yaklaşık 30 mm'dir. Tavuk tüylerinin biçimsel özellikleri, liflerin bal peteği benzeri

bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir [170]. Bu yapı nedeniyle, bu lifler akustik kullanım için kullanışlı faktörlerden biri olan çok sayıda mikro boşluk içermektedir. Tavuk tüyleri 30 mm uzunluğunda kesilmiştir. Tavuk tüyü liflerinin ses azaltma üzerindeki etkisi, (ASTM E 1050) empedans tüpü yönteminde elde edilen sonuçlarla elde edilmiştir. Numunenin ölçülen ses yutma katsayısı, 100 Hz ile 3000 Hz frekansta sürekli bir eğridir.



Şekil 4.139 Tavuk tüyü ses yutma katsayısı [169]

Sonuç olarak, doğal tavuk tüyü malzemesinin ses yutma katsayısı 200 Hz' de düzenli olarak artmış ve 1400 Hz' e ulaştığında ani bir artışla 1800 Hz' de maksimum değeri görmüştür. 1800 Hz' den sonra 2600 Hz'e kadar ses yutma katsayısında bir düşüş gözlemlenmiş ve sonrasında ise aniden artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tavuk tüyü liflerinin ses yutma katsayısının çevre dostu sürdürülebilir doğal malzemeler üzerinde incelenmesi, hayvansal kökenli doğal akustik malzemelerin tanıtımına ve başka malzeme arayışlarına destek olacaktır.

- **Ördek Tüyü**

Lihua LV, Jihong BI, Xiang YU, Xiao WANG ve arkadaşları [171]. Atılan ördek tüylerinden yapılan kompozitlerin ses yutma katsayılarının araştırmıştır. Çin'deki tüy kaynakları oldukça yüksektir ve 2008 yılı itibarıyla yıllık ortalama üretim 800 bin tondur [172].

Şu anda, tüyler çoğunlukla yem katkı maddeleri, keratin membran malzemeleri, dolgu ve dekorasyon malzemeleri için kullanılmaktadır. Ancak, tüylerin %80'i sadece kaynak israfına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda çevreyi de kirleten

   ler olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, t  ylerin yeniden kullanımı için daha etkili ve verimli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.  rdek t  y , 0,8 g/cm³ yoğunluğa ve 0,024w/m²  C ısı iletim özelliğine sahip organik protein lifli bir malzemedir [173]. Deri kısmının yapısı daha yoğundur ve çekirdek bölgesinin yapısı oldukça gev ektir ve bu bölgede bazı boşluklar veya aralıklar bulunmaktadır [174], [175]. Benzersiz deri çekirdek özelliği nedeniyle, ördek t  yleri iyi ses yutma özelliğine sahiptir. Bu nedenle, ses yutucu kompozitler üretebilmek için atık ördek t  ylerini kullanmak iyi bir seçim olmaktadır.

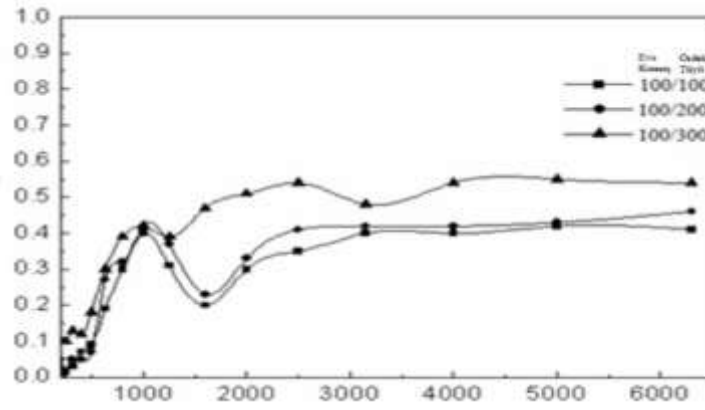
Bu araştırmada, ördek t  yleri Hangzhou Xinfeng feather product Co, Ltd, Çin tarafından kar ılanmı tır.  rdek t  yleri kabarık ve beyaz renkteydi. EVA nonwovenlar, Çin'deki Shanghai hot melt adhesive  irketi tarafından 80  C erime sıcaklığı ile birlikte tedarik edilmiştir.

Atık  rdek t  yleri takviye malzemesi olarak, EVA dokumasız kumaşlar ana malzeme olarak kullanılmıştır. Üretilen kompozitler yatırma ve sıcak işleme yöntemleriyle hazırlanmıştır.  rdek t  y  yoğunlukları, kompozit yoğunlukları, kompozit kalınlıkları ve hava boşluğu derinlikleri değiştirilerek ses yutum özellikleri araştırılmıştır.

Atık  rdek t  yelerinden yapılan kompozitlerin ses yutma katsayılarının analizi için teorik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin ölçülen sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Teorik modeller, ses yutucu kompozit malzemelerin geliştirilmesi için teorik destek sağlamıştır.

SW422/SW477 empedans t  p  ses yutma test cihazı, transfer fonksiyonu yöntemine (GB/T 18696. 2-2002) göre 22  C atmosferik koşul ve %68 bağıl nem altında kullanılmıştır. Her numune 3 kez test edilmiş ve ortalama değerler alınmıştır.

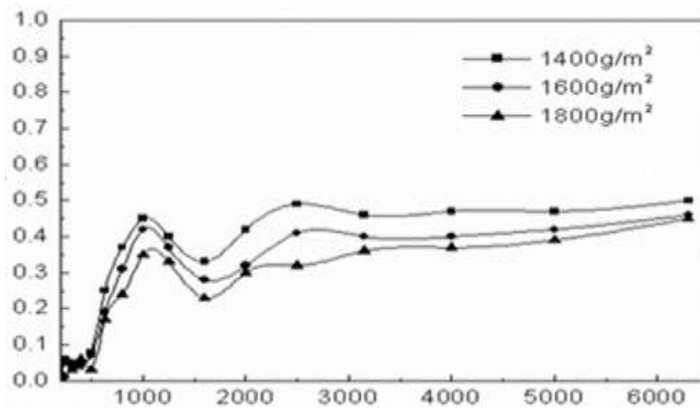
Atılan  rdek t  y  miktarının ses yutma özellikleri üzerindeki etkisi  ekil'de gösterilmiştir. Atılan  rdek t  yelerinin EVA nonwovenlara oranı (a/a) 100/100, 200/100, 300/100 arasında deği mi tir. Kompozitin kalınlığı 6 mm ve yoğunluğu 1600 g/m² idi. Şekil 'de görüldüğü gibi, atık ördek t  y  artmasıyla, ses yutma katsayısının zirvesi artmış ve düşük frekans aralığına kaymıştır.



Şekil 4.140 Atık ördek tüyü ses yutma özelliği [171]

Şekil 4.141'de kompozitlerin yoğunluğu 1400, 1600, 1800g/m², tüylerin EVA dokunmamış kumaşlara oranı (a/a) 200/100 olduğunda, 6 mm kalınlığa sahip kompozitlerin ses yutma katsayısı grafiğini göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, yutma katsayısı değerleri tüm frekans aralığında bazı dalgalanmalar göstermiştir.

Yoğunluğu 1400 g/m² olan kompozitin ses yutma performansı, 1600 ve 1800 g/m² yoğunluğa sahip kompozitlerden daha iyi sonuç vermiştir. Kompozitlerin ses yutma performansı artan frekansla birlikte daha iyi hale gelmiştir. Tüyler, artan yoğunluk ile kompozitlerde kompakt hale geldi, ancak tüylerin kalınlığı ve EVA nonwovenlara oranı değişmedi [176]. Kompozitin yüzeyinin kompakt olması nedeniyle, ses dalgalarının kompozit içinden geçişi engellenmiş ve gelen ses dalgalarının büyük bir kısmı yansıtılmıştır. Bu da ses yutuculuğunu azaltmıştır.

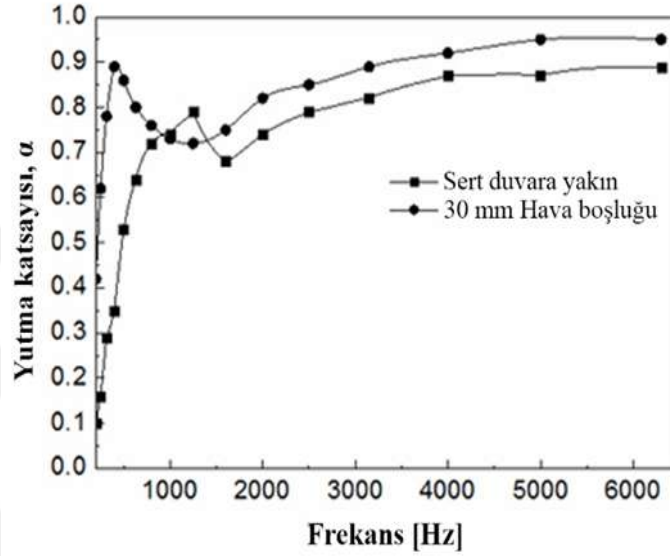


Şekil 4.141 Kompozit yoğunluğunun ses yutma özelliklerine etkisi [171]

Hava boşluğu derinliği, kompozit ile sert bir duvar arasındaki mesafedir. Şekil 4.142 'de kalınlık 20 mm, hava boşluğu derinliği 0 ve 30 mm olduğunda, 1400 g/m²

yoğunluğa, tüylerin EVA nonwovenlara oranı (a/a) 300/100 olan kompozitin ses yutma katsayısı grafiğini göstermektedir.

Şekil 4.141, kompozitin ses yutma katsayısı eğrilerinin az miktarda dalgalanmaya sahip olduğunu, kompozitin istikrarlı ve daha iyi bir ses yutma performansına sahip olduğunu ve 30 mm hava boşluğu derinliği eklendiğinde kompozitin ses yutma katsayısının arttığını göstermektedir.



Şekil 4.142 Hava boşluğu derinliğinin ses yutma özelliklerine etkisi [171]

Takviye malzemesi olarak atık ördek tüyleri ve matris malzemesi olarak EVA dokumasız kumaşlar kullanılmıştır. Yerleştirme ve sıcak işleme ile iyi ses yutuculuk özelliklerine sahip kompozitler üretilmiştir. Ördek tüyü yoğunluğu, kompozit yoğunluğu, kompozit kalınlığı ve hava boşluğu derinliğinin ses emme performansı üzerindeki etkileri tamamen araştırılmıştır. Sürdürülebilir malzemenin piyasada var olan akustik malzemelere alternatif olacağı görülmüştür.

4.3 Sürdürülebilir Akustik Malzemelerin Teknik Özellikleri

Sürdürülebilir Akustik Doğal Malzemelerin laboratuvar ortamlarında ölçülmüş ses yutma katsayı değerleri kaynaklardan derlenip teknik özellikleri bir arada toplanmıştır. Bu tip çalışmalar kitapların birer bölümünde ya da yayınlanmış teknik föy içerisinde bulmak mümkündür. Yeni bir teknik föy için var olan bütün formatlar incelenmiş ve bunlardan yola çıkara güncel verilerden oluşan özgün bir çalışma hedeflenmiştir. Sürdürülebilir akustik doğal malzemelerden oluşan teknik föy

rakamsal veriler üzerinedir. Çalışmada kullanılan doğal malzemeler çizimle ifade edilemeyeceğinden çalışmada kullanılan doğal malzemelerin görselleri kullanılmıştır.

Malzemeler arası geçiş kodlar yardımıyla yapılır. Teknik föyde bulunan her malzeme ona özel kod numarası ile tanımlanmıştır. Kodlar sınıflandırma sistemine uygun olarak tanımlanmıştır. Buna göre her doğal malzemeye ait kod bulunduğu sınıfı da tanımlar. Örneğin geri dönüşüm malzemesi G.D.1 ve G.D.2 ve bitkisel esaslılar B.1, B.2 vb. olacak şekilde tanımlar.

Teknik föyde kullanılan birimsel ifadeler mm ve kg/m^3 olup, sesin yutulmasıyla ilgili parametreler:

- Ses yutma katsayısı (α)
- Gürültü azaltım katsayısı (NRC)
- Ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w)

Şeklinde dir.

Ses yutma katsayısı (α): Sabine tarafından mimari akustiğin temellerinin atılmasından bu yana, yüzey yutuculuğu Analizi için birçok çalışma yürütülmüştür. Bu süre boyunca, kabul edilen ölçüm standartlara dayalı önemli bir yutma katsayıları kütüphanesini tablolaştırmak ve yutucuların nasıl tasarlanması ve uygulanması gerektiği konusunda makul bir anlayışa varılmıştır. Gürültünün kontrolünde en önemli rol ses enerjisini azaltmak, yani Gürültüyü en aza indirmek için yutucu yüzeylerin kullanılması gerekir. Ancak mimari akustikte hem yutucu hem de dağıtıcı yüzeyler iyi bir akustik oluşturmada rol oynar.

Yüzeyin ses yutma katsayısı, yüzey tarafından yutulan enerji oranı anlamına gelir. Genel olarak, ses yutma katsayısı yutucu olmayan (0) ve tamamen yutucu (1) yüzeyleri kapsar. Teorik olarak imkansız olsa da, 1'den büyük yüzeyler genellikle rastgele ölçümler bulunur [179].

Gürültü azaltım katsayısı (NRC): Gürültü kontrolünde ses yutucu malzemelerin etkinliğini belirlemek için kullanılan Bir başka parametre de gürültü azaltma katsayısıdır (NRC) [180]. Aslında NRC, malzemenin ses yutuculuğunun tek bir sayı olarak tanımlanmasıdır [181]. NRC parametresi Denklem 'da verildiği gibi

250-2000Hz aralığındaki malzemenin ses yutma katsayılarının ortalaması alınarak hesaplanır. [182], [183].

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4}$$

Denklemden;

α_{250} = malzemenin 250Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{500} = malzemenin 500Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{1000} = malzemenin 1000Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{2000} = malzemenin 2000Hz frekansındaki ses yutma katsayısıdır.

Elde edilen sonuç genel olarak 0.05'in en yakın katına yuvarlanır [184].

Bununla birlikte, NRC kullanımında sınırlamalar vardır, çünkü farklı iki malzeme için aynı NRC değeri aynı ses yutma performansına oldukları anlamına gelmez. Bu nedenle, özellikle 250 Hz'in altında veya 2000 Hz'in üzerindeki frekanslarda, ses yutma için tüm mevcut frekans tabanlı katsayıların kullanılması önerilir [184].

Ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w): Malzemenin değişik frekanslardaki ses yutma katsayılarının tek bir sayı ile ifade edilmesi. Kullanılan bir diğer parametre ise ağırlıklı ses yutma katsayısıdır (α_w). Malzeme olarak Ağırlıklı ses yutma katsayısının hesaplanmasında Türkiye'de kullanılan standart TS EN ISO 11654:2002 standardıdır. Denklem 'de belirtildiği gibi, malzeme daha önce ölçülen ses yutma katsayısı değerlerinin 1/3 oktav bant değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ve dönüştürülerek hesaplanır.

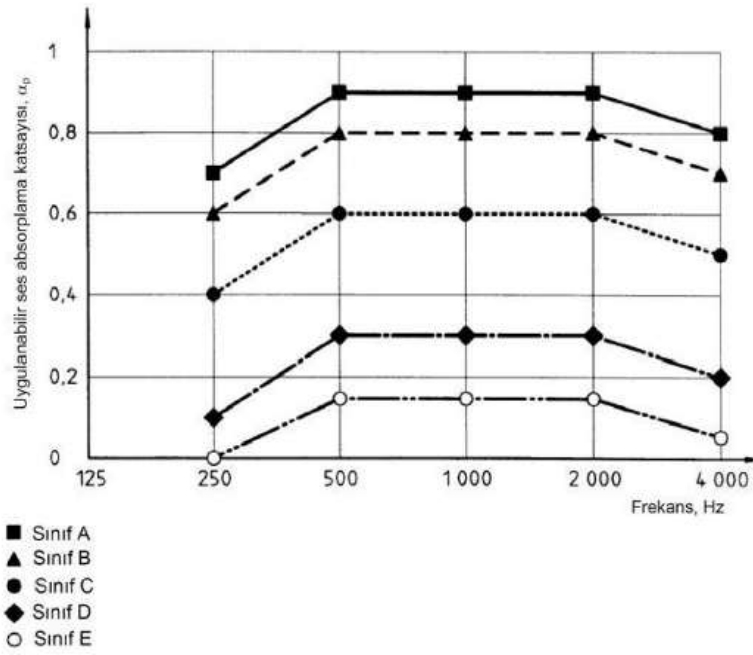
$$\alpha_{pi} = \frac{\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \alpha_{i3}}{3}$$

Denklemden;

α_{pi} = Her bir oktav bant için 1/3 oktav bant ses yutma katsayılarının (α_{i1} , α_{i2} , α_{i3}) aritmetik ortalamasıdır. Standartta verilmiş olan gösterilen referans eğrisinden ağırlıklı ses yutma katsayısı (α_w) değerinin hesaplanabilmesi için α_{pi} değerleri kullanılır. Ayrıca yine aynı standartta ses yutucular α_w katsayısı değerine göre sınıflandırılmıştır ve bu sınıflandırmalara dair bilgiler Şekil 4.143 ve Tablo 4.18 'de verilmiştir [178].

Tablo 4.18 Ses yutma sınıflarına ait ağırlıklı ses yutma katsayısı değerleri [185]

Ses yutma sınıf	α_w
A	1.00;0.95;0.90
B	0.85;0.80
C	0.75;0.70;0.65;0.60
D	0.55;0.50;0.45;0.40;0.35;0.30
E	0.25;0.20;0.15
Sınıflandırılmamış	0.10;0.05;0.00

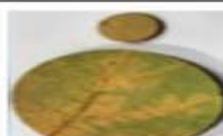


Şekil 4.143 Farklı ses yutma sınıflarına ait referans eğriler [185]

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri

Sürdürülebilir Malzemelerin Ses Yutma Çarpanları																															
Geri Dönüşüm (G.D), Bitkisel Kaynaklı (B) ve Hayvansal Kaynaklı (H) Akustik Yalıtım Malzemesi																															
Kod	Malzeme Hammaddesi		Malzeme Görseli	Kalınlık mm	Yoğunluk kg/m³	Hava Boşluğu mm	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4 kHz	5 kHz	6.3 kHz	8 kHz	NR C	(αw)	Ses yutma sınıfı	Ref	
G.D.1	Tekstil			30	-	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	1	-	-	-	0,66	0,71	C	55	
G.D.2	Ahşap	Yonga - Kayın Kontrol	-	-	-	-	-	-	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	-	-	-	0,10	0,11	E	64	
		Yonga - Kayın Tek kompenant	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	-	-	-	0,08	0,11		E
		Yonga - Kayın Çift kompenant	-	-	-	-	-	-	0	0,3	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	-	-	-	0,08	0,09		-
		Yonga - Meşe Kontrol	-	-	-	-	-	-	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	0,11	0,12	E		
		Yonga - Meşe Tek kompenant	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	-	-	-	0,06	0,11		E
		Yonga - Meşe Çift kompenant	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-	0,10	0,13		E
		Meşe Atığı		30	-	-	-	-	-	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	0,08	0,08	-	65
		Huş Atığı		30	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	0,05	0,06	-	
		Çam Atığı		30	-	-	-	-	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	0,07	0,07	-	
		Meşe Kömürü		30	-	-	-	-	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	0,54	0,55	D	
		Huş Kömürü		30	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	-	-	0,53	0,56	D	
		Çam Kömürü		30	-	-	-	-	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	-	-	0,51	0,51	D	

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri (devamı)

G.D.4	Selüloz	Geri Dönüştürülmüş Gazete		10	-	-	0,4	0,5	0,57	0,64	0,82	0,72	0,7	0,69	0,66	0,74	0,77	0,82	0,82	0,9	-	-	-	-	-	-	0,80	0,80	B	88,89,90	
G.D.5	İnşaat Yıkım	İnşaat Atıkları		40	-	-	0	0,01	0,03	0,1	0,12	0,13	0,14	0,24	0,47	0,77	0,57	0,34	0,29	0,31	0,38	0,36	0,41	0,43	-	-	0,31	0,33	D	95	
				80	-	-	0,1	0,41	0,55	0,6	0,68	0,72	0,75	0,77	0,66	0,57	0,5	0,45	0,36	0,4	0,43	0,43	0,45	0,46	-	-	0,59	0,56	C		
				120	-	-	0,03	0,26	0,37	0,63	0,74	0,8	0,73	0,68	0,65	0,6	0,53	0,44	0,37	0,43	0,44	0,48	0,47	0,53	-	-	0,60	0,57	C		
G.D.6	Plastik Esaslı Kaucuk			25	-	-	-	-	-	-	0,118	0,12	0,122	0,171	0,379	0,425	0,543	0,671	0,802	0,816	-	-	-	-	-	0,34	0,45	D	99		
B.1	Hurma Lifi			20	65	0	-	0,02	-	-	0,06	-	-	0,1	-	-	0,16	-	-	0,65	-	-	0,65	-	-	-	0,24	0,32	D	107	
				20	65	10	-	0,02	-	-	0,06	-	-	0,11	-	-	0,27	-	-	0,77	-	-	0,7	-	-	-	0,30	0,38	D		
				20	65	20	-	0,03	-	-	0,08	-	-	0,12	-	-	0,44	-	-	0,76	-	-	0,68	-	-	-	0,35	0,42	D		
				20	65	30	-	0,04	-	-	0,09	-	-	0,15	-	-	0,52	-	-	0,71	-	-	0,67	-	-	-	0,37	0,43	D		
B.2	Yağ Palmiyesi			20	234	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-	-	0,37	-	0,58	0,95	0,98	1	0,95	0,89	0,88	-	0,38	0,50	D	117		
				40	234	-	-	-	-	-	-	0,55	-	-	0,95	-	0,97	0,87	0,79	0,88	0,96	0,93	-	-	0,59	0,67	C				
				20	292,3	20	-	-	-	-	-	0,4	-	-	0,89	-	1	0,81	0,74	0,69	0,81	0,88	-	-	0,53	0,58	D				
				40	292,3	0	-	-	-	-	-	0,51	-	-	0,93	-	0,96	0,85	0,79	0,87	0,96	0,93	-	-	0,57	0,65	C				
B.3	Kapak Lifi			20	5	-	-	0,06	-	-	0,08	-	-	0,11	-	-	0,17	-	-	0,34	-	-	0,67	-	-	-	0,18	0,27	E	118	
				20	20	-	-	0,07	-	-	0,09	-	-	0,19	-	-	0,55	-	-	0,89	-	-	1	-	-	-	0,43	0,54	D		
				40	5	-	-	0,08	-	-	0,11	-	-	0,19	-	-	0,41	-	-	0,76	-	-	0,88	-	-	-	0,37	0,47	D		
				40	20	-	-	0,11	-	-	0,2	-	-	0,44	-	-	0,91	-	-	0,95	-	-	0,98	-	-	-	0,63	0,70	C		
B.4	Hindistan Cevizi			30	30	-	-	0,28	-	-	0,3	-	-	0,64	-	-	0,97	-	-	0,75	-	0,79	0,88	0,85	-	-	0,67	0,81	B	122	
				35	37	-	-	0,31	-	-	0,4	-	-	0,8	-	-	0,91	-	-	0,77	-	0,84	0,86	0,85	-	-	0,72	0,84	B		
				45	56	-	-	0,45	-	-	0,5	-	-	0,96	-	-	0,8	-	-	0,81	-	0,82	0,86	0,85	-	-	0,77	0,86	A		
				50	64	-	-	0,5	-	-	0,6	-	-	0,96	-	-	0,84	-	-	0,83	-	0,81	0,86	0,85	-	-	0,81	0,87	A		
B.5	Çay Yaprığı			10	25,358	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	0,08	-	0,1	0,13	0,16	0,19	0,26	0,26	0,26	-	0,07	0,13	E	123	
				20	25,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-	0,2	0,25	0,32	0,25	0,48	0,55	0,62	-	0,11	0,23		E
				30	27,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	0,12	-	0,3	0,38	0,48	0,53	0,58	0,64	0,65	-	0,16	0,30		D
B.6	Akçağaç Yaprakları	10 Katmanlı Yaprak		15,3	44,27	-	0,01	0,01	-	0,1	0,02	-	0,04	0,08	0,16	0,26	0,59	1	0,61	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,23	E	124	
		10 Katmanlı Yaprak		6,75	80,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,17	0,2	0,48	0,76	0,78	0,43	0,38	0,47	-	0,15	0,34	D		
		20 Katmanlı Yaprak		23,84	57,74	-	0,02	0,02	-	0,02	0,03	-	0,12	0,34	0,7	0,83	0,44	0,34	0,36	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,27	E		
		20 Katmanlı Yaprak		12,89	88,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,68	0,78	0,58	0,44	0,43	0,78	0,57	0,62	-	0,25	0,59		C

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri (devamı)

B.7	Yaprakları	30 Katmanlı Yaprak		31,78	62,38	-	0,02	0,04	-	0,05	0,1	-	0,52	0,71	0,64	0,43	0,36	0,4	0,63	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,39	D	127
		30 Katmanlı Yaprak		16,11	109,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,69	0,49	0,43	0,48	0,6	0,44	0,65	0,61	-	0,30	0,54	D	
		40 Katmanlı Yaprak		37,59	70,69	-	0,02	0,09	-	0,16	0,27	-	0,81	0,6	0,42	0,32	0,43	0,65	0,44	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,43	D	
		40 Katmanlı Yaprak		21,48	116,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,49	0,5	0,6	0,6	0,62	0,6	0,64	0,78		0,33	0,63	C	
	Ananas Yaprakları		20	117	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,24	0,25	0,26	0,28	0,39	0,55	0,68	0,8	0,9	-	-	-	0,27	0,49	D	129
					10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,59	0,68	0,77	0,91	1	0,98	0,9	0,85	0,75	-	-	-	0,54	0,73	C	
					20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,8	0,9	0,95	1	0,96	0,88	0,79	0,74	0,72	-	-	-	0,59	0,77	B	
			30	117	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,6	0,76	0,84	0,95	0,98	0,92	0,88	0,78	0,88	-	-	-	0,55	0,77	B	
					10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,91	0,97	0,98	0,95	0,88	0,81	0,8	0,81	0,9	-	-	-	0,61	0,84	B	
					20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74	0,99	0,99	0,98	0,9	0,81	0,77	0,8	0,8	0,81	-	-	-	0,62	0,83	B	
			40	233	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,8	0,96	0,99	0,96	0,89	0,83	0,84	0,88	0,95	-	-	-	0,59	0,83	B	
					10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,99	0,99	0,98	0,9	0,81	0,81	0,89	0,96	0,94	-	-	-	0,62	0,86	A	
					20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86	1	0,94	0,92	0,81	0,78	0,81	0,93	0,96	0,92	-	-	-	0,65	0,88	A	
B.8	Kenaf		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,21	0,2	0,19	0,14	0,16	0,28	0,38	0,4	0,63	-	-	-	0,17	0,33	D	130
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,28	0,28	0,29	0,3	0,42	0,59	0,72	0,83	0,87	-	-	-	0,29	0,51	D	
				-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,35	0,38	0,39	0,43	0,7	0,78	0,9	0,97	0,96	-	-	-	0,38	0,62	C	
				-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,66	0,72	0,79	0,9	0,9	0,94	0,87	0,79	0,76	-	-	-	0,54	0,73	C	
				-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,8	0,89	0,93	0,98	0,99	0,86	0,76	0,68	0,82	-	-	-	0,55	0,76	B	
			30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,52	0,57	0,61	0,74	0,9	0,99	0,98	0,95	0,92	-	-	-	0,50	0,73	C	
B.9	Kenevir		10	101,9	-	-	0,25	0,28	0,32	0,36	0,46	0,64	0,8	0,95	0,95	0,61	0,93	0,69	0,79	-	-	-	-	-	-	-	0,64	0,64	C	133
			15	101,9	-	-	0,33	0,45	0,53	0,71	0,86	0,97	0,99	0,87	0,82	0,89	0,95	0,73	0,85	-	-	-	-	-	-	-	0,86	0,86	A	
			20	101,9	-	-	0,49	0,59	0,72	0,9	0,96	0,96	0,93	0,94	0,72	0,68	0,96	0,84	0,9	-	-	-	-	-	-	-	0,85	0,85	B	
			5	40,8	-	-	0,12	0,15	0,2	0,24	0,26	0,3	0,36	0,41	0,49	0,41	0,68	0,51	0,39	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,35	D	
			5	71,3	-	-	0,15	0,19	0,23	0,3	0,34	0,4	0,46	0,55	0,63	0,55	0,81	0,61	0,46	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,44	D	
			5	91,7	-	-	0,17	0,2	0,24	0,31	0,35	0,43	0,5	0,58	0,68	0,56	0,82	0,69	0,66	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,51	D	
			5	117,2	-	-	0,2	0,25	0,27	0,32	0,36	0,5	0,55	0,65	0,78	0,63	0,85	0,74	0,7	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	D	
			5	101,9	25	-	0,11	0,18	0,22	0,27	0,35	0,41	0,46	0,52	0,52	0,48	0,62	0,5	0,52	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,43	D	
			5	101,9	50	-	0,12	0,22	0,25	0,29	0,39	0,43	0,5	0,56	0,57	0,51	0,78	0,58	0,59	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,47	D	
			5	101,9	100	-	0,18	0,24	0,28	0,32	0,4	0,45	0,53	0,61	0,61	0,6	0,82	0,59	0,74	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	D	
			5	101,9	150	-	0,22	0,25	0,29	0,37	0,44	0,5	0,56	0,63	0,65	0,62	0,91	0,66	0,78	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,58	D	
B.10	Bambu	Mikro delikler olmadan		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,15	0,14	0,13	0,1	0,14	0,3	0,51	0,8	0,79	-	-	-	0,15	0,35	D	134
				2	-	10	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19	0,2	0,3	0,3	0,63	0,61	0,41	0,3	0,38	-	-	-	0,27	0,37	D	
				2	-	20	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,26	0,32	0,8	0,8	0,51	0,28	0,29	0,23	0,35	-	-	-	0,32	0,41	D	
				2	-	30	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,38	0,46	0,51	0,51	0,35	0,2	0,27	0,2	0,33	-	-	-	0,24	0,32	D	

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri (devamı)

B.10		Mikro delikli		2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,14	0,13	0,12	0,08	0,13	0,31	0,54	0,86	0,8	-	-	-	0,13	0,33	D	135		
				2	-	10	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,16	0,18	0,2	0,32	0,71	0,59	0,4	0,3	0,41	-	-	-	0,22	0,33		D	
				2	-	20	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,26	0,33	0,45	0,64	0,47	0,27	0,29	0,23	0,38	-	-	-	0,21	0,30		D	
				2	-	30	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,4	0,5	0,55	0,5	0,36	0,3	0,27	0,2	0,39	-	-	-	0,25	0,35		D	
B.11	Su Kamışı	Karışık Malzeme		40	-	-	-	-	-	-	0,17	0,05	0,19	0,22	0,22	0,38	0,47	0,6	0,61	0,81				-	-	-	0,42	0,33	D	136	
				80	-	-	-	-	-	-	0,17	0,25	0,52	0,56	0,61	0,58	0,43	0,44	0,51	0,9				-	-	-	0,52	0,41	D		
		Sadece Kabuk		40	-	-	-	-	-	-	0,18	0,1	0,24	0,25	0,28	0,58	0,78	0,78	0,59	0,82				-	-	-	0,51	0,41	D		
				80	-	-	-	-	-	-	0,19	0,3	0,62	0,63	0,7	0,58	0,43	0,56	0,9	0,97				-	-	-	0,56	0,44	D		
		Sadece Ahşap		40	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,12	0,1	0,17	0,3	0,5	0,63	0,43	0,39				-	-	-	0,26	0,20	E		
				80	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	0,25	0,42	0,65	0,5	0,33	0,24	0,43	0,91				-	-	-	0,44	0,35	D		
B.12	Şeker Kamışı				-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,19	0,35	0,46	0,58	0,58	0,61	0,7	0,65	0,7	-	-	-	0,29	0,47	D	137	
B.13	Süpürge Lifi			6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,1	0,18	0,13	0,22	0,53	0,68	0,59	0,39	0,43	-	-	-	0,22	0,33	D	138	
				8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,18	0,3	0,31	0,51	0,68	0,53	0,4	0,35	0,52	-	-	-	0,24	0,37	D		
				12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,41	0,51	0,7	0,62	0,33	0,31	0,4	0,91	0,79	-	-	-	0,31	0,51	D		
B.14	Arenga Pinnata Lifi			10	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,1	0,19	0,22	0,24	0,36	0,39	0,41	-	-	-	0,08	0,14	-	144	
				20	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,13	0,21	0,25	0,38	0,48	0,59	0,6	-	-	0,09	0,19	E		
				30	-	-	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,1	0,11	0,15	0,22	0,38	0,43	0,58	0,7	0,8	0,78	-	-	0,19	0,31	D		
				40	-	-	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,17	0,18	0,24	0,43	0,65	0,8	0,82	0,8	0,78	0,89	-	-	0,32	0,41	D		
B.15	Yucca Gloriosa Lifi			15	200	-	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,08	0,1	0,14	0,22	0,23	0,36	0,51	0,7	0,91	0,96	0,84	-	-	-	0,21	0,36	D	145
				30	200	0	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,09	0,1	0,15	0,22	0,39	0,5	0,7	0,9	0,98	0,83	-	-	-	0,26	0,37	D		
					200	10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04	0,12	0,5	0,28	0,39	0,84	0,98	0,92	0,79	0,58	0,55	-	-	-	0,37	0,40	D		
					200	20	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06	0,1	0,06	0,2	0,24	0,4	0,75	0,97	0,88	0,7	0,58	0,44	0,55	-	-	-	0,43	0,45	D		
					200	30	0,18	0,12	0,11	0,06	0,06	0,12	0,16	0,3	0,42	0,68	0,84	0,83	0,72	0,59	0,43	0,44	0,98	-	-	-	0,45	0,55	D		
B.16	Mısır Kabuğu	İşlenmemiş Mısır Kabuğu		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,24	0,26	0,38	0,41	0,59	0,63	0,79	0,82		-	-	-	0,30	0,40	D	149	
		İşlenmiş Mısır Kabuğu		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,45	0,58	0,59	0,61	0,64	0,8	0,85	0,86		-	-	-	0,42	0,56	C		

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri (devamı)

B.17	Fıstık Kabuğu	C1		10	611,2	-	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,1	0,05	0,05	0,16	-	-	-	0,05	0,07	-	150		
				15	645,1	-	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,16	0,18	0,2	0,22	-	-	-	0,16		0,17	-
				20	604,8	-	0,24	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,27	0,27	0,32	0,31	0,34	0,35	0,4	-	-	-	0,27		0,29	E
				25	646,8	-	0,22	0,21	0,23	0,23	0,26	0,26	0,26	0,3	0,31	0,32	0,32	0,33	0,36	0,33	0,36	0,4	0,48	-	-	-	0,30		0,34	D
				30	619,6	-	0,27	0,3	0,31	0,31	0,31	0,3	0,3	0,31	0,32	0,32	0,36	0,4	0,41	0,44	0,51	0,64	-	-	-	0,34	0,40		D	
				35	669,4	-	0,3	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,33	0,32	0,35	0,36	0,4	0,41	0,44	0,46	0,58	-	-	-	0,36		0,41	D
		C5		10	471,1	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	-	-	-	0,04		0,06	-
				15	619,6	-	0,13	0,13	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,21	0,18	0,19	0,19	0,2	0,21	-	-	-	0,17		0,18	E
				20	515,7	-	0,2	0,2	0,2	0,22	0,22	0,24	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	-	-	-	0,25		0,28	E
				25	601	-	0,24	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,3	0,3	0,42	0,3	0,3	0,36	0,38	0,43	-	-	-	0,28		0,31	D
				30	700,3	-	0,22	0,22	0,22	0,22	0,3	0,3	0,31	0,31	0,34	0,32	0,32	0,36	0,36	0,37	0,42	0,47	0,57	-	-	-	0,33		0,37	D
				35	735,3	-	0,3	0,3	0,3	0,31	0,33	0,34	0,35	0,25	0,35	0,36	0,36	0,4	0,4	0,4	0,48	0,48	0,58	-	-	-	0,34		0,38	D
B.18	Ağaç Kabuğu	Ağaç Kabuğu A		1,53	-	-	-	-	-	-	0,02	0,032	0,022	0,02	0,03	0,039	0,07	0,041	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	-	151	
		Ağaç Kabuğu B		1,14	-	-	-	-	-	-	0,035	0,02	0,01	0,018	0,02	0,019	0,03	0,038	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03	-		
		Ağaç Kabuğu C		1,43	-	-	-	-	-	-	0,029	0,058	0,039	0,049	0,052	0,063	0,07	0,048	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,05	-		
		Ağaç Kabuğu D		1,41	-	-	-	-	-	-	0,02	0,021	0,012	0,02	0,02	0,015	0,019	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,02	-		
		Ağaç Kabuğu E		1,38	-	-	-	-	-	-	0,009	0,03	0,015	0,033	0,03	0,03	0,05	0,037	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03	-		
		Ağaç Kabuğu F		1,15	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,018	0,02	0,026	0,018	0,02	0,042	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	-		
B.19	Durian Kabuğu		10	214	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	0,15	0,19	0,28	0,33	0,63	-	-	-	0,10	0,25	E	153	
			20	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,25	0,35	0,4	0,53	0,68	0,87	0,94	0,91	0,94	-	-	-	0,36	0,60		C
			30	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,3	0,45	0,45	0,67	0,88	0,98	0,97	0,93	0,9	-	-	-	0,42	0,64		C
			40	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46	0,6	0,77	0,77	0,85	0,88	0,82	0,78	0,76	0,94	-	-	-	0,51	0,75		C
			20	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,25	0,25	0,33	0,44	0,64	0,82	0,97	1	0,91	-	-	-	0,33	0,56		C
			20	214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,26	0,32	0,4	0,52	0,68	0,87	0,96	0,93	0,87	-	-	-	0,37	0,58		C
			20	321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,29	0,37	0,43	0,56	0,75	0,89	0,95	0,93	0,86	-	-	-	0,38	0,60		C
			30	178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,29	0,36	0,45	0,59	0,8	0,95	1	0,96	0,9	-	-	-	0,38	0,61		C

Tablo 4.19 Sürdürülebilir malzemelerin ses yutma çarpanları ve teknik özellikleri (devamı)

				30	214	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,32	0,41	0,5	0,68	0,87	0,97	0,98	0,91	0,87	-	-	-	0,42	0,63	C		
				30	285	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,5	0,3	0,74	0,82	0,9	0,86	0,81	0,79	0,83	-	-	-	0,50	0,70	C		
B.20	Küspe		10	-	-	0,09	0,09	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,07	0,09	0,09	0,1	0,11	0,16	0,2	0,22	0,39	0,5	-	-	-	0,11	0,18	-	155	
			10	-	15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,17	0,25	0,39	0,54	0,65	0,6	0,45	-	-	-	0,21	0,26	E		
			20	-	-	0,09	0,09	0,05	0,08	0,05	0,06	0,08	0,08	0,1	0,13	0,14	0,19	0,29	0,39	0,52	0,71	0,68	-	-	-	0,17	0,27	E		
			30	-	-	0,09	0,09	0,05	0,09	0,1	0,09	0,1	0,11	0,13	0,18	0,22	0,33	0,56	0,74	0,78	0,6	0,5	-	-	-	0,29	0,33	D		
			30	-	20	0,05	0,05	0,06	0,08	0,1	0,15	0,2	0,28	0,31	0,41	0,61	0,75	0,69	0,5	0,4	0,43	0,7	-	-	-	0,37	0,44	D		
B.21	Posidonia Lifi		120	52	-	0,8	0,27	0,28	0,33	0,43	0,4	0,52	0,68	0,8	0,87	0,9	0,83	0,8	0,84	0,96	0,83	0,96	0,97	-	-	0,71	0,76	B	156-	
			80	79	-	0,2	0,21	0,2	0,28	0,34	0,3	0,4	0,51	0,69	0,78	0,52	0,96	0,89	0,84	0,84	0,98	0,96	0,97	-	-	0,55	0,63	C		
			60	105	-	0,2	0,19	0,19	0,21	0,28	0,27	0,32	0,4	0,58	0,68	0,87	0,98	0,99	0,91	0,84	0,83	0,96	0,94	-	-	0,62	0,68	C		
			40	157	-	0,19	0,18	0,17	0,17	0,2	0,2	0,25	0,3	0,43	0,59	0,78	0,91	0,99	1	0,96	0,83	0,85	0,96	-	-	0,57	0,63	C		
H.1	Koyun Yünü	Keçe		10	-	-	-	-	-	-	0,1	0,11	0,12	0,1	0,18	0,18	0,33	0,3	0,35	0,71	0,75	0,9	-	-	-	0,31	0,31	D	160	
				20	-	-	-	-	-	-	0,1	0,12	0,18	0,18	0,22	0,29	0,5	0,41	0,68	0,85	0,9	0,96	-	-	-	0,41	0,41	D		
		Ring iplikten yapılmış püsküllü kumaş		12	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19	0,21	0,15	0,2	0,28	0,38	0,41	0,54	0,69	0,9	0,96	-	-	-	0,35	0,35	D		
				16	-	-	-	-	-	-	0,15	0,17	0,17	0,2	0,23	0,25	0,31	0,39	0,35	0,58	0,94	0,96	-	-	-	0,31	0,31	D		
		Çekirdek halı ipliğinden yapılmış püsküllü kumaş		12	-	-	-	-	-	-	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,2	0,35	0,4	0,65	0,96	0,95	0,94	-	-	-	0,40	0,40	D		
				16	-	-	-	-	-	-	0,1	0,13	0,14	0,14	0,16	0,2	0,52	0,55	0,8	0,96	0,97	0,98	-	-	-	0,43	0,43	D		
H.2	Tavuk Tüyü			-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,33	0,41	0,24	0,4	-	-	-	0,15	0,15	E	162	
H.3	Ördek Tüyü			2	-	-	-	-	-	-	0,07	0,05	0,1	0,03	0,1	0,06	0,32	0,38	0,12	0,11	0,15	0,24	0,36	0,4	-	-	0,13	0,18	E	163
				6	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05	0,05	0,07	0,19	0,32	0,43	0,36	0,24	0,33	0,41	0,4	0,4	0,42	-	-	0,22	0,26	E	
				10	-	-	-	-	-	-	0,15	0,15	0,2	0,21	0,31	0,4	0,44	0,45	0,34	0,37	0,46	0,45	0,43	0,49	-	-	0,29	0,32	D	
				-	1,4	-	-	-	-	-	0,07	0,06	0,05	0,08	0,25	0,37	0,45	0,4	0,34	0,44	0,49	0,45	0,46	0,47	-	-	0,26	0,30	D	
				-	1,6	-	-	-	-	-	0,06	0,05	0,05	0,08	0,2	0,31	0,43	0,37	0,28	0,33	0,41	0,4	0,4	0,43	-	-	0,23	0,26	E	
				-	1,8	-	-	-	-	-	0,05	0,07	0,07	0,5	0,16	0,25	0,35	0,34	0,24	0,3	0,32	0,35	0,36	0,39	-	-	0,30	0,31	D	

Sürdürülebilir akustik doğal malzemeler, geri dönüştürülmüş malzemeler ve doğal akustik malzemeler olarak iki temel ana başlık altında incelenmiştir. Doğal akustik malzemeler bitkisel ve hayvansal olmak üzere iki farklı gruba ayrılmıştır. Geri dönüştürülmüş akustik malzemeler altı adet, doğal akustik malzemeler ise 21 adet bitkisel ve 3 adet hayvansal olmak üzere toplamda 24 adettir.

Araştırma bünyesinde incelenen toplam malzeme sayısı 30'dur. Sürdürülebilir akustik doğal malzemeler hem uluslararası hem de ulusal çalışmalar baz alınarak analiz edilmiştir. Sürdürülebilir malzemelerin üretim modelleri ve yapısal özellikleri birlikte incelenerek teknik föyde yer alan örneklerle uygun sürdürülebilir akustik doğal malzeme sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Bu sınıflandırma sistemine göre öncelikle geri dönüşüm özelliklerine göre gruplandırılmış, daha sonra meyve, yaprak, gövde, kabuk, tohum ve hayvansal kaynaklı doğal malzemeler olarak gruplandırılmıştır. Bu şekilde benzer davranış gösteren malzemeler aynı grup altında toplanmıştır.

Araştırma kapsamından değerlendirilen 30 farklı doğal malzemenin akustik performansı belirleyen faktörler bağlamında değerlendirilmesi neticesinde 156 adet numune kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu kombinasyonları ile incelenmiştir.

4.3.1 Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

4.3.1.1 Geri Dönüşümlü Atık Malzemelerin Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tablo 4.19'da geri dönüşümlü malzemeler kalınlık, yoğunluk, hava boşluğu, 100 Hz – 8 kHz frekans aralığı, gürültü azaltım katsayısı (NRC), ses yutum katsayısı (aw) ve ses yutma sınıfı bağlamında değerlendirilmiştir. Bu açıdan, literatür taraması ile günümüze kadar konuya ilişkin yapılmış çalışmalardan elde edilen ve malzemelerin ses yutma özelliklerini doğrudan etkileyen, kesit kalınlığı, yoğunluğu ve hava boşluğu özellikleri detaylı olarak ele alınmış ve aşağıda sunulmuştur. Bununla birlikte, bazı geri dönüştürülmüş malzemelerin bu değerleri eksik olduğu için, Tablo 4.19'da yer verilmemiştir.

- **Kalınlık (mm)**

Ahşap esaslı malzemeler: İlgili çalışmalarda, tüm bu malzemeler için kalınlık 30 mm olarak belirtilmiştir. [72]. Tablo 4.19'da kalınlığın, ses yutma performansını

önemli derecede etkileyen bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle Tablo 4.19’da ahşap esaslı malzemeler için düşük frekanslarda (100 Hz - 400 Hz) kalınlığı artırılan malzemeler daha iyi ses yutma özellikleri sunar. Bu duruma örnek olarak, Meşe Kömürü ve Huş Kömürü gibi malzemeler 30 mm kalınlıkta yüksek ses yutma performansı (0,4 - 0,8 aralığında) göstermektedir [72].

Metal Esaslı Malzemeler: Bu malzemelerin kalınlık değerlerine yer verilmemiştir. Kalınlık ile ilgili bilgi olmadığı için ses yutum performansını tam olarak değerlendirmek zordur [80]. Tablo 4.19’a bakıldığında geri dönüştürülmüş akustik malzemelerin kalınlığı istenilen oranda artırıldıkça düşük frekanslarda ses yutum performansı ve gürültü denetimi bağlamında olumlu etkilemektedir.

Selüloz (Geri Dönüştürülmüş Gazete), İnşaat Atıkları, Plastik Esaslı Kauçuk: Tüm bu malzemeler için kalınlık selüloz 10 mm, inşaat yıkıntı atıkları 40-80-120 mm ve plastik esaslı kauçuk 25 mm olarak belirlenmiştir. [95], [96], [97], [102], [110].

Tablo 4.19’a bakıldığında selüloz ve plastik esaslı kauçuk kalınlığının ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi gözlemlenmemektedir. 4.19’da G.D.5 kodlu bölümde İnşaat yıkıntı atıklarının 3 farklı kalınlıkla yapılan ölçümler sonucu bütün frekans aralığından iyileşme olduğu görülmüştür. Gözle görülür iyileşmenin orta frekans aralığında olduğu detaylı olarak görülmektedir.

- **Yoğunluk (kg/m^3)**

Ahşap Esaslı Malzemeler: Tablo 4.19’da görüldüğü gibi, malzemelerin hava boşluğu ifade eden sayısal değerleri belirtilmemiştir. Ahşap esaslı malzemeler içinde bulundurdıkları hava boşlukları sayesinde genellikle ses dalgalarını yutmaya yardımcı olurlar. Malzemenin içindeki ve malzeme ile belirle mesafe sonrası bırakılan hava boşluğu özellikle yutumu zor olan düşük frekanslarda ses yutma performansını iyileştirir. Tablo 4.19’da Meşe Kömürü ve Huş Kömürü gibi malzemeler incelendiğinde yüksek yutma katsayılarının (0,4 - 0,8) olmasının sebebi hava boşluk yapıları sayesinde olduğu söylenebilir.

Metal, Selüloz, İnşaat Atıkları, Plastik Esaslı Kauçuk: Tablo 4.19’da malzemelerin hava boşluğu ifade eden sayısal değerleri belirtilmemiştir. Hava boşlukları bu malzemelerin ses yutum değerlerini önemli ölçüde etkileyebilir. Yüksek ses yutum değerine sahip gözenekli metal malzemeler yapıları gereği hava boşlukları içerir [80] ve bu da yüksek ses yutum değerlerini (0,9 gibi) açıklayabilir.

Geri dönüştürülmüş malzemeler ikinci bölümde gürültü azaltma katsayı (NRC) tablo 4.19’da ses yutma katsayısı değerlerinden yola çıkarak hesaplanıp detaylı olarak değerlendirilmiştir.

- **Gürültü Azaltma Katsayı (NRC)**

Tekstil, tekstil atıklarının geri dönüşümüyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Bu malzeme özellikle yüksek frekanslarda (1.25 kHz - 8 kHz) çok yüksek ses yutma değerleri (0,83 - 0,95) göstermektedir. NRC değeri 0.66 ile orta düzeyde ses yutma performansına sahiptir. Bu da malzemenin orta ve yüksek frekans aralığında etkili olduğunu göstermektedir. Tekstil, ses dalgalarının malzeme içinde kolayca dağılmasını ve yutulmasını sağlayan hafif ve gözenekli bir yapıya sahiptir.

Geri Dönüştürülmüş Ahşap Malzemeler (Yonga - Kayın, Yonga - Meşe, Meşe Atığı, Huş Atığı, Çam Atığı), Kullanılan bu malzemeler ahşap atıkların geri dönüştürülmesiyle üretilmektedir. NRC değerleri 0,05 ila 0,13 aralığında olup düşük düzeyde bir ses yutma performansına işaret etmektedir. Geri Dönüştürülmüş Ahşap Kömür Malzemeler (Meşe Kömürü, Huş Kömürü, Çam Kömürü) Odun kömürünün geri dönüştürülmesiyle üretilen bu malzemeler. NRC değerleri 0,51 ila 0,56 aralığında olup, orta-yüksek düzeyde ses yutma performansına sahip olduklarını göstermektedir. Diğer ahşap esaslı numuneler değerlendirildiğinde ahşap kömür malzemeler iyi NRC değerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Geri Dönüştürülmüş Metal Malzemeler (Gözenekli Metal, Membran İçeren Metal), Gözenekli Metal: 0,85 NRC değeriyle çok yüksek ses yutma kabiliyetine sahiptir. Bu malzeme çok geniş frekans bandında (100 Hz - 8 kHz) etkilidir ve aynı zamanda yüksek frekanslarda (1.25 kHz - 8 kHz) 0,9 gibi oldukça yüksek bir değer ortaya koymaktadır.

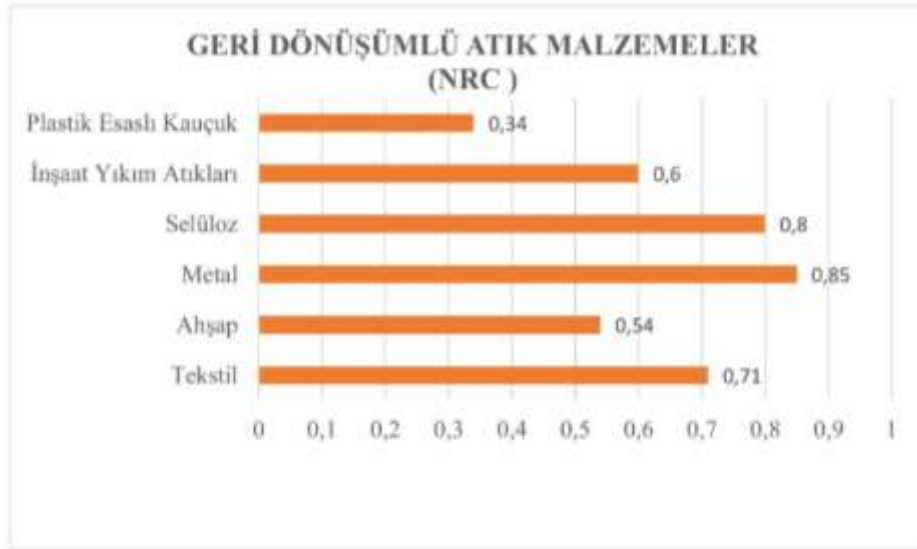
Membran İçeren Metal: NRC değerleri 0,10 ile 0,08 aralığında değişmektedir ve düşük bir ses yutma performansına sahiptir. Bu malzemenin performansı özellikle yüksek frekanslarda oldukça düşüktür.

Selüloz (Geri Dönüştürülmüş Gazete), Selüloz, gazetelerin tekrar değerlendirilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Bu malzeme özellikle yüksek frekanslarda (1.25 kHz - 8 kHz) oldukça yüksek ses yutma performansı sergilemektedir (0.7 - 0.9). NRC değeri 0.80 ile iyi bir ses yutma performansına sahiptir. Bu durum, söz konusu malzemenin tüm frekans aralığında etkili olduğunu

göstermektedir. Selüloz, ses dalgalarının malzeme içinde kolayca dağılıp yutulmasına imkan tanıyan hafif ve gözenekli yapıya sahiptir.

İnşaat Atıkları, Bu malzeme, yapı yıkım atığından elde edilen geri dönüştürülmüş bir seçenektir. NRC değeri 0,34 ile 0,45 arasında değişir. NRC' nin bu değerler arasında olması orta frekans aralığından iyi bir ses yutma performansına sahip olduğunu gösterir.

Plastik Esaslı Kauçuk, genel olarak geri dönüştürülmüş kauçuk malzemelerden üretilmektedir. NRC değeri 0,35, ses yutma değerleri 0,10 ile 0,8 arasında değişmektedir, fakat ses yutma değeri diğer geri dönüştürülmüş atık malzemelere kıyasla daha düşüktür.



Şekil 4.144 Geri dönüştürülmüş atık malzemelerin NRC değerleri

- **Ses Yutma Sınıfı**

Ses yutma katsayısı (α_w) malzemenin ses yalıtım performansını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Tablo 4.19'da yapılan hesaplama sonucu en yüksek α_w değerine sahip malzemeler: Gözenekli metal (0,85) dönüştürülmüş gazete atıklarından elde edilen selüloz (0,80) ve tekstil atıklarından elde edilen malzeme (0,71) , Orta Düzey α_w Değerine Sahip Malzemeler: Ahşap esaslı Meşe (0,55), Huş (0,56) ve Çam kömürü (0,51) ve inşaat yıkıntı atıkları (0,31-0,57), Düşük α_w Değerine Sahip Malzemeler: Ahşap esaslı kayın ve meşe yonga levhalar (0,09-0,13), ahşap esaslı meşe (0,08), huş (0,06) ve meşe atığı (0,07) ve mebran içeren metal (0,08) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.19’da çıkan sonucu göre metal ve selüloz malzemeler arasında en yüksek ses yutma katsayısına sahipken, ham ahşap atıkları ise gerekli yalıtım performans kriterlerini sağlayamadı için en düşük ses yutma katsayısına sahiptir.

Malzemenin ses yutum katsayısı, malzemenin ses yutma sınıfı belirleyen kriterdir. A, B, C, D, E olarak ifade edilen sınıflandırma da A sınıfı en yüksek ses yutma performansını, E sınıfı ise en düşük ses yutma performansını nitelemektedir.[185]. 6 farklı malzemeden 24 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.145’te gösterilmiştir.



Şekil 4.145 Geri dönüştürülmüş atık malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.20 Geri dönüştürülmüş atık malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Tekstik				1		
Ahşap				3	5	4
Metal		1		1		1
Selüloz		1				
İnşaat yıkım atıkları				2	1	
Plastik esaslı kauçuk					1	



Şekil 4.146 Geri dönüştürülmüş atık malzemeler ses yutum sınıf dağılımları

4.3.1.2 Doğal Akustik Malzemelerin Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

- **Meyve Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19, meyve kökenli doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- **Kalınlık**

Akustik malzemelerin ses yutma performansını belirleyen ana parametrelerden biri kalınlıktır [41]. Tablo 4.19' da birbirinden farklı malzemelerin kalınlıkları (örneğin 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm) ve bu kalınlıklara karşılık gelen ses yutma katsayıları verilmiştir. Tablo 4.19'a bakıldığında kalınlık arttıkça alçak frekanslı sesleri yutma konusunda malzemelerin kabiliyeti de artmaktadır. Hindistan cevizi kabuğu (B.4) örneğinde, kalınlığın 30 mm'den 50 mm'ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) alçak frekanslarda 0,3'den 0,5'ye yükselmiş, yüksek frekanslarda ses yutum katsayısında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum daha kalın malzemelerin ses dalgalarını daha etkili bir şekilde yuttuğunu göstermiştir.

- **Yoğunluk**

Yoğunluk, ses yutma katsayısını etkileyen parametrelerden biridir. Tablo 4.19’da birbirinden farklı meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin yoğunluk değerleri (5 kg/m^3 , 20 kg/m^3 , 234 kg/m^3 , $292,3 \text{ kg/m}^3$) ve bu değerlere karşılık gelen malzemeler akustik kapsamda karşılaştırılmıştır. Yüksek yoğunluklu malzemeler yüksek frekanslı seslerin yutulmasından önemli rol oynamaktadır [44]. Tablo 4.19’da B.2 kodlu doğal yağ palmyesi malzemesi, yoğunluk 234 kg/m^3 olduğunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,59, $292,3 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa çıktığında 0,57’ye düşmüştür. Bu durum, malzemelerdeki yoğunluk artışının her zaman yüksek yutma katsayısı değerine ulaşacağı anlamına gelmediğini göstermiştir. Yoğunluk artışının ses yutum katsayısına olumlu etkisi malzemenin gözenek ve yapısına bağlı değişebileceği sonucuna varılmıştır.

- **Hava Boşluğu**

Hava boşluğu, hacim akustiği ve gürültü denetiminde malzemelerin arkasına bırakılan boşluk olup ses dalgalarının azaltılması ve yansımaları etkiler [27], [35]. Tablo.19’da meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin hava boşluğu değerleri (0 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm) ve bu malzemelere karşılık gelen ses yutum katsayıları verilmiştir. Tablo 4.19’a bakıldığından hava boşluğu arttırıldıkça düşük frekanslarda ses yutum katsayısında artış görülmektedir. Tablo 4.19’da B.1 kodlu doğal hurma lifi, malzeme arkasındaki hava boşluğu 0 mm iken ses yutma katsayısı 0,24, 30 mm’ye arttırıldığında ses yutum katsayısı 0,37’ye yükselmiştir. Bu durum hava boşluğunun düşük frekanslı (tablo4.19) seslerin yutulmasında etkili olduğunu göstermektedir.

- **Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)**

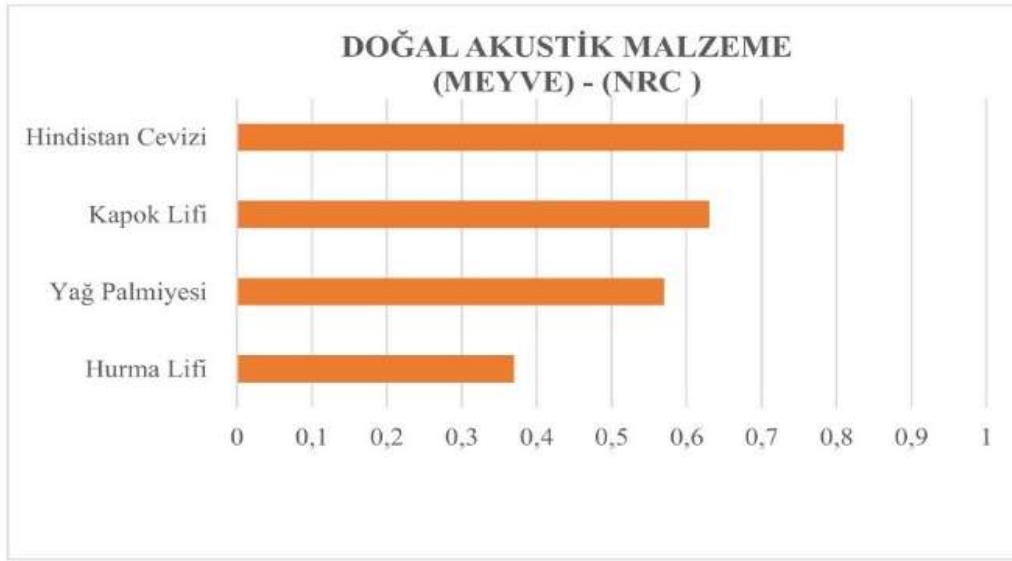
Hurma lifi (B.1): Malzemenin hesaplanan NRC’ si, yutma katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. Hurma lifinden üretilen malzemeye hava boşluğu eklenmesiyle NRC değeri 0,24’ten 0,37’ye yükselmiştir. Tablo4.19’a bakıldığından NRC değerinin yükselmesi düşük frekanslı seslerin yutulmasını etkilediğini göstermektedir.

Yağ palmyesi (B.2): Doğal akustik malzemenin NRC değeri kalınlık ve yoğunluğuna bağlı 0,53 ile 0,67 arasında farklılık göstermektedir. Yüksek kalınlık

(40 mm) ve yoğunluğun (292,3 kg/m³) NRC değeri 0,57 olarak hesaplanmıştır. Bu durum tablo 4.19'a kalınlık ve yoğunluğun NRC üzerinde etkisini göstermektedir.

Kapok elyafı (B.3): Doğal akustik malzemenin NRC değeri kalınlık ve yoğunluğuna bağlı 0,18 ile 0,55 arasında farklılık göstermektedir. Özellikle 40 mm kalınlık ve 20 kg/m³ yoğunluktaki numunenin NRC değeri 0,55 olarak hesaplanmıştır. Bu durum tablo 4.19'a bakıldığında kapok lifinin orta frekanslı seslerde etkili olduğunu göstermektedir.

Hindistan cevizi kabuğu (B.4): Doğal akustik malzemenin diğer 3 meyve kaynaklı doğal akustik malzemeyle karşılaştırıldığında en yüksek NRC değerine sahiptir. Kalınlığın 45 mm ve 50 mm olan numunelerin NRC değeri 0,77 ve 0,81 olarak hesaplanmıştır. Diğer meyve kaynaklı malzemelerle kıyasla yüksek NRC değerine sahip Hindistan cevizi malzemesinin uygun şartları sağlandığında ses yutuculuğunu sağladığını göstermektedir (tablo 4.19 bakınız).



Şekil 4.147 Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

- **Ses Yutma Sınıfı**

Tablo 4.19'da meyve kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum katsayısı kalınlık, yoğunluk, gözenek ve hava boşluğu gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Hurma lifi düşük ses yutum katsayısına **(0.24-0.37)** sahiptir. Bu durum tablo 4.19 incelendiğinde yapılan hava boşluğu artışıyla iyileşmektedir. Yağ paymiyesi orta frekanslarda ses yutma katsayısı (0,53-0,59) değerlerine sahiptir. Bu durum tablo 4.19 incelendiğinde malzeme yoğunluğun artırılmasıyla yalıtım

değerinde iyileşme göstermektedir. Kapok lifi orta frekanslarda ses yutma katsayısı (0,18-0,43) değerlerine sahiptir. Hindistan cevizi diğer 3 malzeme göre en yüksek ses yutum katsayısı değerlerine (0,67-0,81) sahiptir.

Malzemenin ses yutum katsayısı malzemenin ses yutma sınıfı belirleyen kriterdir. A, B, C, D, E olarak ifade edilen sınıflandırma da A sınıfı en yüksek ses yutma performansını, E sınıfı ise en düşük ses yutma performansını nitelemektedir [185]. 4 farklı malzemeden 16 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.148’de gösterilmiştir



Şekil 4.148 Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.21 Meyve kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıf sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Hurma lifi				4		
Yağ palmiyesi			2	2		
Kapok lifi			1	2	1	
Hindistan cevizi		2			2	



Şekil 4.149 Meyve kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı

- **Yaprak Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19’da, yaprak kökenli doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- **Kalınlık (mm)**

Kalınlık malzemelerin ses yutum katsayısını etkileyen olumlu parametrelerden biridir [41]. Tablo 4.19’da birbirinden farklı malzemelerin kalınlıkları (örneğin 10 mm, 15.3mm, 20 mm ve 40 mm) ve bu kalınlıklara karşılık gelen ses yutum katsayıları verilmiştir. Tablo 4.19’a bakıldığında kalınlık arttıkça orta frekans ve yüksek frekanslarda ses yutma katsayısı değerleri artmaktadır. Ananas Yaprakları (B.7) örneğinde, kalınlığı 20 mm’den 50 mm’ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) orta frekanslarda 0,3’den 0,9’a, yüksek frekanslarda ise 0,7’den 1’e yükselmiştir. Bu durum ses yutma katsayısı değerinde iyileşme sağladığını göstermiştir.

- **Yoğunluk**

Tablo 4.19’da çay yaprağı 25,35 kg/m³, 27,5 kg/m³, akçaağaç yaprağı 44,27 kg/m³ 116,3 kg/m³ ve ananas yaprağı 117 kg/m³, 233 kg/m³ arasında yoğunlukta malzemelerden oluşmaktadır. Bu kapsam;

- Ananas yaprağı, eldeki verilere bakarsak yüksek yoğunluğu nedeniyle en iyi ses yutum performansını sergiler.
- Akçaağaç yaprağı, orta yoğunluğu nedeniyle dengeli bir ses yutum performansı sergiler.
- Çay yaprağı, düşük yoğunluğu nedeniyle daha sınırlı bir ses yutum performansı sergiler.

Örneğin Tablo 4.19’da B.7 kodlu doğal ananas yaprağı malzemesi, yoğunluk 117 kg/m^3 olduğunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,77, yoğunluk 233 kg/m^3 çıktığında ses yutum katsayısı ortalaması 0,88’ye yükselmiştir. Bu durum, malzemelerdeki yoğunluk artışının yüksek yutma katsayısı değerine ulaşacağı anlamına geldiğini göstermiştir. Yoğunluk artışının ses yutum katsayısına olumlu etkisi malzemenin gözenek ve yapısına bağlı değişebileceği sonucuna varılmıştır.

• Hava Boşluğu

Çay yaprağı ve Akçaağaç yaprağının hava boşluğu değeri tablo 4.19’da açıkça belirtilmemiştir, ancak ananas yaprağının 0 mm, 10 mm ve 20 mm hava boşluğu değerleri tablo 4.19’da belirtilmiştir. Tablo 4.19 B.7 kodlu ananas yaprağı malzemesi aynı yoğunlukta (117 kg/m^3) hava boşluğu (20 mm) eklendiğinde ses yutum katsayısı 0,77’den, 0,83’e yükseldiği görülmüştür. Bur durum yeterli hava boşlu ve yoğunluğa sahip malzemelerin ses yutum katsayısında artışa sebep olduğu göstermiştir.

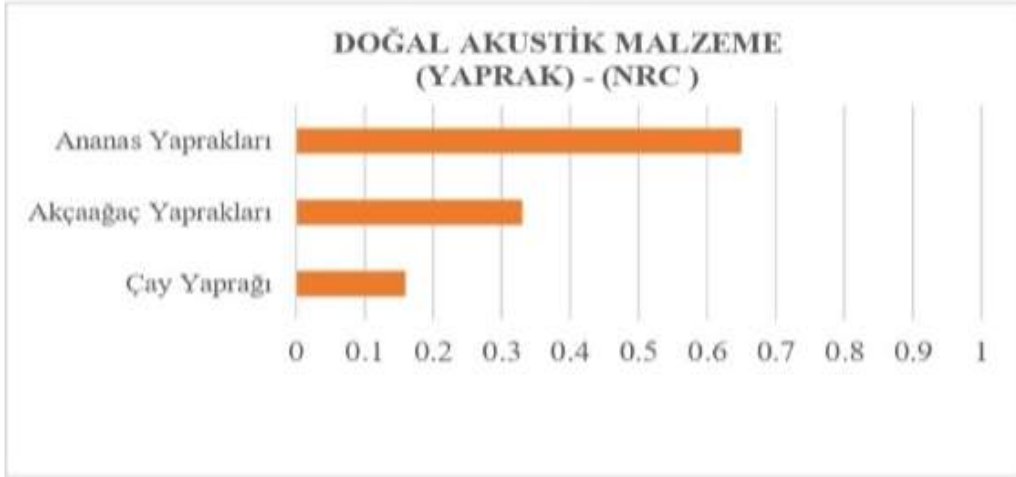
• Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)

Çay Yaprakları (B.5): Malzemenin hesaplanan NRC’si yutma katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. Malzemenin kalınlığı arttırılmasıyla NRC değeri 0.07’den 0.16’ya yükselmiştir. Tablo 4.19’a baktığımızda NRC değerinin yükselmesi yüksek frekanslı seslerin yutulmasını etkilediğini göstermektedir.

Akçaağaç Yaprakları (B.6): Doğal akustik malzemenin NRC değeri kalınlık ve yoğunluğa bağlı 0,23 ile 0,63 arasında farklılık göstermektedir. Kalınlık ve yoğunluk artışıyla beraber NRC değeri 0,43 ile 0,63 arasında hesaplanmıştır. Bu durum kalınlık ve yoğunluğun NRC üzerinde etkisini göstermektedir.

Ananas Yaprakları (B.7): Doğal akustik malzemenin NRC değeri kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğuna bağlı olarak NRC değeri 0,49 ile 0,88 arasında

farklılık göstermektedir. Özellikle 40 mm kalınlık, 233 kg/m³ yoğunluk ve 20 mm hava boşluğuna sahip numunenin NRC değeri 0,88 olarak hesaplanmıştır. Bu durum tablo 4.19'a bakıldığında Ananas Yapraklarının bütün frekanslardaki seslerde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.150 Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

- **Ses Yutma Sınıfı**

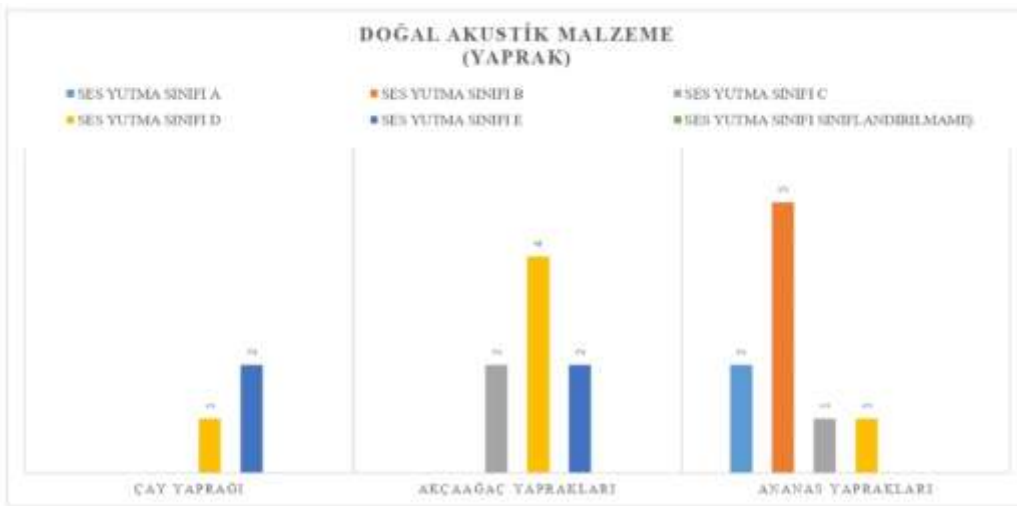
Tablo 4.19'da yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin farklı kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu değerlerine sahip numunelerin çeşitli frekans aralıklarının da (100 Hz'den 8 kHz'e kadar) ses yutma katsayıları verilmiştir. Ayrıca her malzeme için ayrı ayrı ses yutma sınıfı (A, B, C, D, E) belirlenmiştir. 3 farklı malzemedan 20 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.152'de gösterilmiştir.



Şekil 4.151 Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.22 Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Çay yaprağı				2	2	
Akçaağaç yaprakları			2	2	4	
Ananas yaprakları		2	5	1	1	



Şekil 4.152 Yaprak kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı

- Gövde Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19’da, gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- Kalınlık**

Kalınlık ses yutma performansını olumlu yönde etkileyen parametrelerden biridir [41]. Tablo 4.19’da birbirinden farklı malzemelerin kalınlıkları (Örneğin 10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm) ve bu kalınlıklara karşılık gelen ses yutma katsayıları

verilmiştir. Tablo 4.19'a bakıldığında kalınlık arttıkça alçak, orta ve yüksek frekanslarda ses yutum katsayısı değerleri artmaktadır. Arenga Pinnata Lifi (B.14) örneğinde kalınlığın 10 mm'den 40 mm'ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) alçak frekanslarda 0,02'den 0,08'e, orta frekanslarda 0,02'den 0,16'ye, yüksek frekanslarda 0,36'dan 0,91'e yükselmiştir. Bu kapsamda tablo 4.19'a bakıldığında gövde kaynaklı doğal malzemelerde kalınlığın ses yutum katsayısı üzerinde iyileşme sağladığını göstermiştir.

- **Yoğunluk**

Tablo 4.19'da doğal kenevir esaslı malzemenin 40,5 kg/m³ - 101,9 kg/m³ arasında yoğunluğa sahip numunelerden oluşmaktadır. Bu kapsamda;

- Kalınlığa bağlı olarak yoğunluğu düşük numunenin daha sınırlı ses yutum performansı sergilediği,
- Yoğunluğun 91,7 kg/m³ çıkarılmasıyla daha dengeli bir ses yutum performansı sergiler.
- Yoğunluğun 101,9 kg/m³ çıkarılmasıyla daha yüksek ses yutum performansını sergiler.

Örneğin B.9 kodlu doğal kenevir malzemesinin, yoğunluğu 40,5 kg/m³ olduğunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,35, 101,9 kg/m³ yoğunluğu çıktığında 0,58'ye yükselmiştir. Bu durumda tablo 4.19'a bakıldığında malzemenin sabit kalınlıkta yoğunluk artışının ses yutma katsayısına olumlu etki ettiğini göstermiştir.

- **Hava Boşluğu**

Kenav, kenevir, bambu ve yucca gloriose lifi tablo 4.19'da hava boşluğu değerleri açıkça belirtilmiştir, Bu kapsamda;

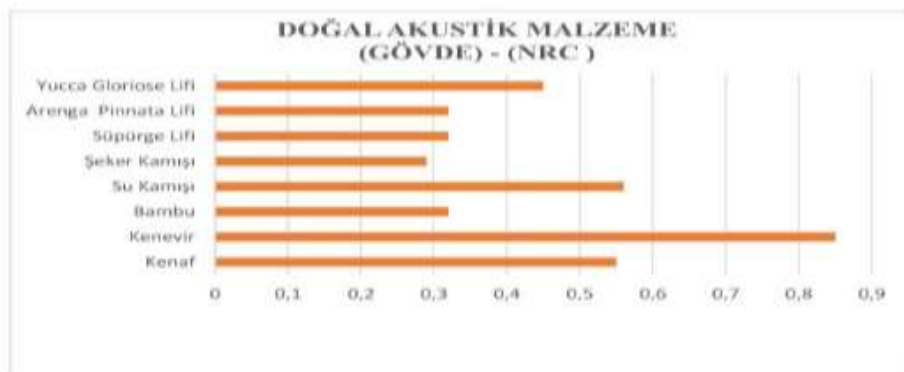
- Kenaf' 20 mm kalınlığında 10 mm, 20 mm ve 30 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının düşük ve orta frekanslarda pozitif performans gösterdiği görülmüştür.
- Kenevir, 5 mm kalınlık, 101,9 kg/m³ yoğunlukta 25 mm, 50 mm, 100 mm ve 150 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısı ortalaması 0,43'ten 0,58'e yükselmiştir. Bu durum, hava boşluğunun 500 Hz ile 4000 Khz arasından ses yutum katsayısında artışa sebep olduğu göstermiştir.

- Bambu, 2 mm kalınlıkta ve 10 mm, 20 mm ve 30 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının ortalama 0,22'den 0,25'e yükselmiştir. Bu durum, hava boşluğunun 500 Hz ile 4000 Khz arasından ses yutum katsayısında artışa sebep olduğu ancak bu yükselmenin akustik açıdan önemsizdir.
- Yucca gloriose lifi, 30 mm kalınlık, 200 kg/m³ ve 10 mm, 20 mm ve 30 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının ortalama 0,36'dan 0,55'e yükselmiştir. Bu durum 100 Hz ile 4000 kHz arasından ses yutum katsayısında artışa sebep olduğu ancak alçak ve orta frekanslarda olumlu, yüksek frekanslarda olumlu olarak etki etmemiştir.

Gövde kaynaklı malzemelerin hava boşluğu analizi sonucunda düşük ve orta frekanslarda ses yutum katsayısı performansı artmış ancak yüksek frekanslarda bu durum değişiklik göstermiştir.

- **Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)**

Tablo 4.19'da NRC değeri en yüksek malzeme kenevirdir. Kenevin yüksek NRC değerine sahip olması malzemenin ses yutum katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. 10 mm, 20 mm, 30 mm kalınlıkta ve 101,9 kg/m³ yoğunluğunda yapılan hesaplama doğrultusunda 0,64 ile 0,85 arasında hesaplanmıştır. 44 adet gövde kaynaklı doğal akustik numune arasında yapılan hesaplama sonucu en yüksek NRC değere sahip malzemenin kenavir olduğu sonucuna varılmıştır.

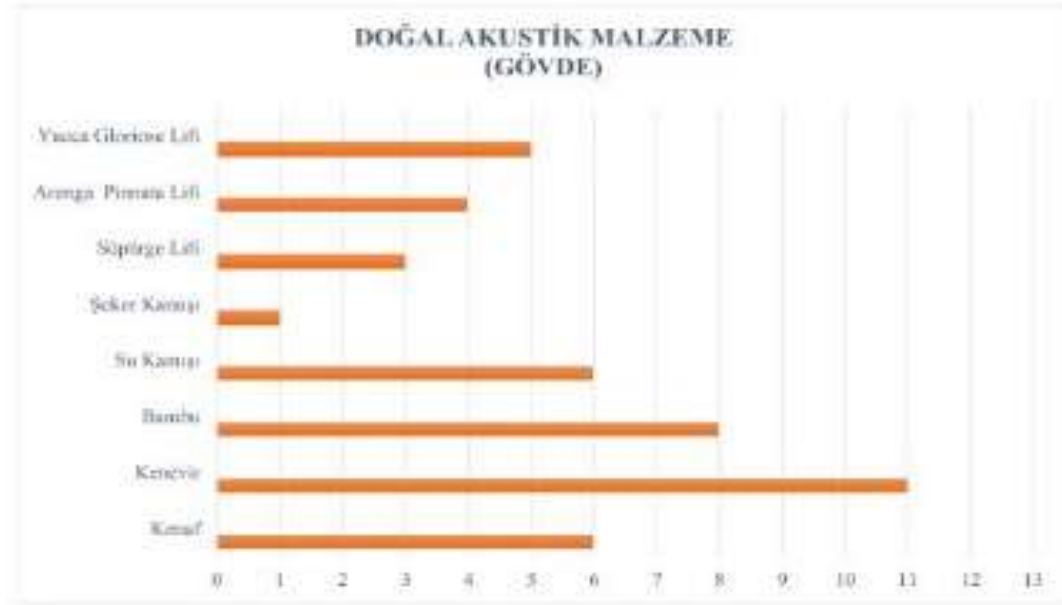


Şekil 4.153 Gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

- **Ses Yutma Sınıfı**

Tablo 4.19'da gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin farklı kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu değerlerine sahip numunelerin çeşitli frekans aralıklarının da (100

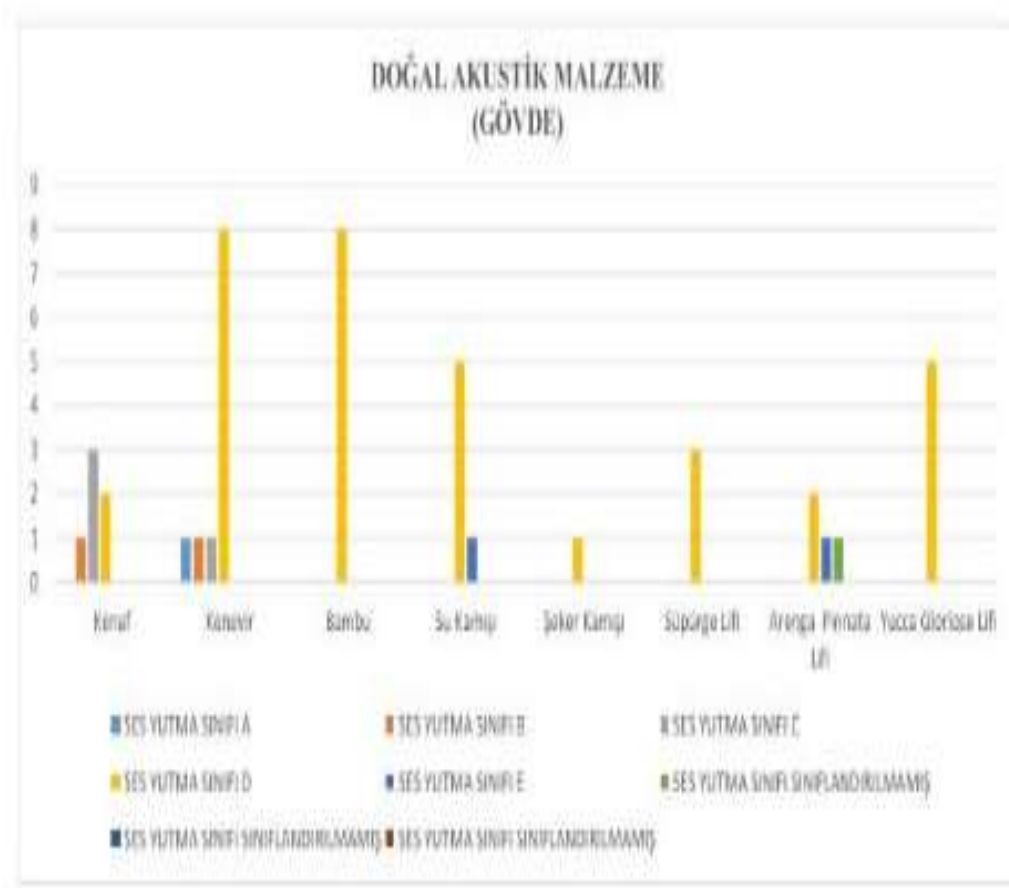
Hz' den 8 kHz'e kadar) ses yutma katsayıları verilmiştir. Ayrıca her malzeme için ayrı ayrı ses yutma sınıfı (A, B, C, D, E) belirlenmiştir [182]. 8 farklı malzemeden 44 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.154'te gösterilmiştir.



Şekil 4.154 Gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.23 Gövde kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Kenaf		1	3	2		
Kenevir		1	1	8	1	
Bambu				8		
Su kamışı				5	1	
Şeker kamışı				1		
Süpürge lifi				3		
Arenga pinnata lifi				2	1	1
Yucca gioriose lifi				5		



Şekil 4.155 Gövde kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı

- **Kabuk Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19’da, kabuk kökenli doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- **Kalınlık**

Kabuk kökenli doğal akustik malzemelerin tablo 4.19’da ses yutum katsayısının kalınlıkla olan ilişkisi incelendiğinde fıstık kabuğunun (B.17) 10 mm, 15mm, 20mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm ve Durian Kabuğunun (B.19) 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm kalınlıklara karşılık gelen ses yutum katsayıları verilmiştir. Kalınlık arttıkça alçak, orta ve yüksek frekanslarda ses yutum katsayısı değerleri artmaktadır.

Fıstık kabuğu (B.17) örneğinde kalınlığın 10 mm'den 35 mm'ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) alçak frekanslarda 0,01'den 0,3'e, orta frekanslarda 0,03'den 0,35'ye, yüksek frekanslarda 0,16'dan 0,58'e yükselmiştir. Durian Kabuğu (B.19) örneğinde kalınlığın 10 mm'den 40 mm artmasıyla ses yutma katsayısı (α) orta frekanslarda 0,09'dan 0,46'ya, yüksek frekanslarda 0,63'dan 0,94'e yükselmiştir. Bu kapsamda tablo 4.19'a bakıldığında kabuk kaynaklı doğal malzemelerin kalınlığın ses yutum katsayısı üzerinde iyileşme sağladığını göstermiştir ancak bu iyileşmenin fıstık kabuğu numunelerinde akustik açıdan önemsenmemektedir.

- **Yoğunluk**

Tablo 4.19'da doğal fıstık kabuğu esaslı malzemenin 611,2 kg/m³ - 669,4 kg/m³, durian kabuğu 160 kg/m³ - 321 kg/m³ yoğunluğa numunelerden oluşmaktadır. Bu kapsamda;

- Fıstık kabuğu, yoğunluğun artmasıyla daha dengeli bir ses yutum performansı sergiler.
- Yoğunluğun 611,2 kg/m³'den 669,4 kg/m³'e çıkarılmasıyla alçak frekanslarda ses yutum katsayısında yükselme olduğu, alçak frekanslarda dengeli ve yüksek frekanslarda 0,16'dan 0,58'e çıktığından daha yüksek ses yutum performansını sergiler.
- Durian kabuğu, 20 mm sabit kalınlıkta yoğunluğun 160 kg/m³'den 321 kg/m³'e çıkarılmasıyla 500 Hz ile 2000 kHz frekans arasında ses yutum katsayısında yükselme olduğu, 2500 kHz, 3150 kHz ve 4000 kHz frekanslarda ses yutum katsayısında düşüş gerçekleşmiştir.
- Alçak frekanslarda herhangi bir ölçüm ve değer saptanmamıştır.

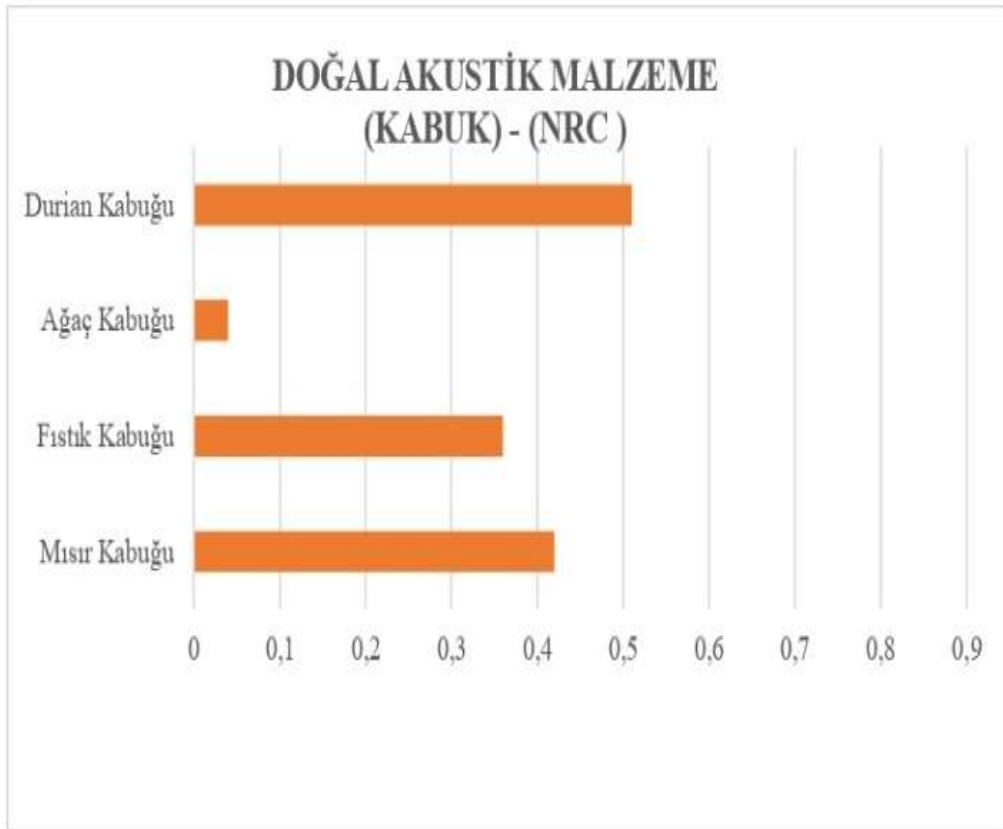
Örneğin B.17 kodlu doğal fıstık kabuğu malzemesinin yoğunluğu 611,2 kg/m³ olduğunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,07, 669,4 kg/m³ yoğunluğu çıktığında 0,41'ye yükselmiştir. B.19 kodlu durian kabuğu malzemesinin yoğunluğu 160 kg/m³ olduğunda 0,56, 321 kg/m³ yoğunluğa çıktığında ses yutum katsayısı ortalaması 0,60 kg/m³ yükselmiştir. Bu kapsamda tablo 4.19'a bakıldığında malzemenin yoğunluk artışının ses yutma katsayısına olumlu etki ettiğini göstermiştir.

- **Hava Boşluğu**

Tablo 4.19'da kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin hava boşluğu parametresi kapsamında bir çalışma bulunmadığından bu malzemelerin hava boşluğuna karşı ses yutum katsayısındaki değişimleri hakkında yorum yapılamamaktadır.

- **Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)**

Tablo 4.19'da NRC değeri en yüksek malzemenin durian kabuğudur. Durian kabuğu yüksek NRC değerine sahip olması malzemenin ses yutumun katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm kalınlıkta ve 214 kg/m³ yoğunluğunda yapılan hesaplama doğrultusunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,10 ile 0,51 arasında hesaplanmıştır. 30 adet kabuk kaynaklı doğal akustik numune arasında yapılan hesaplama sonucu en yüksek NRC değere sahip malzemenin durian kabuğu olduğu sonucuna varılmıştır.

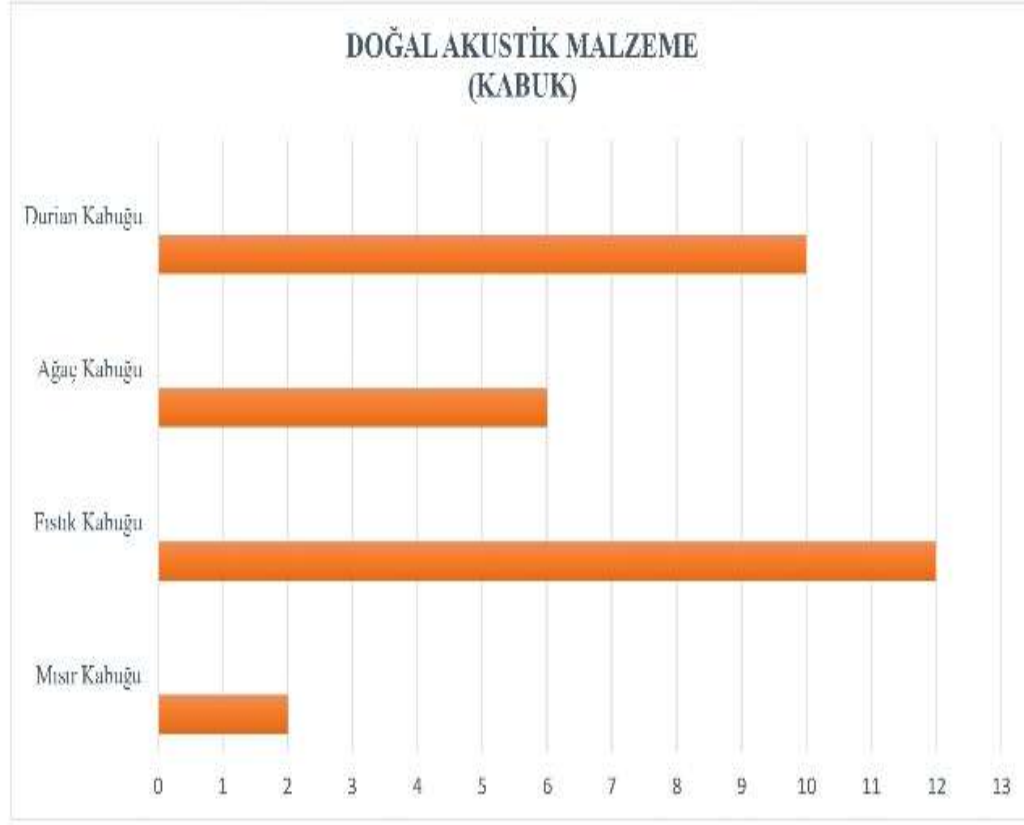


Şekil 4.156 Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

- **Ses Yutma Sınıfı**

Tablo 4.19'da kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin farklı kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu değerlerine sahip numunelerin çeşitli frekans aralıklarında (100

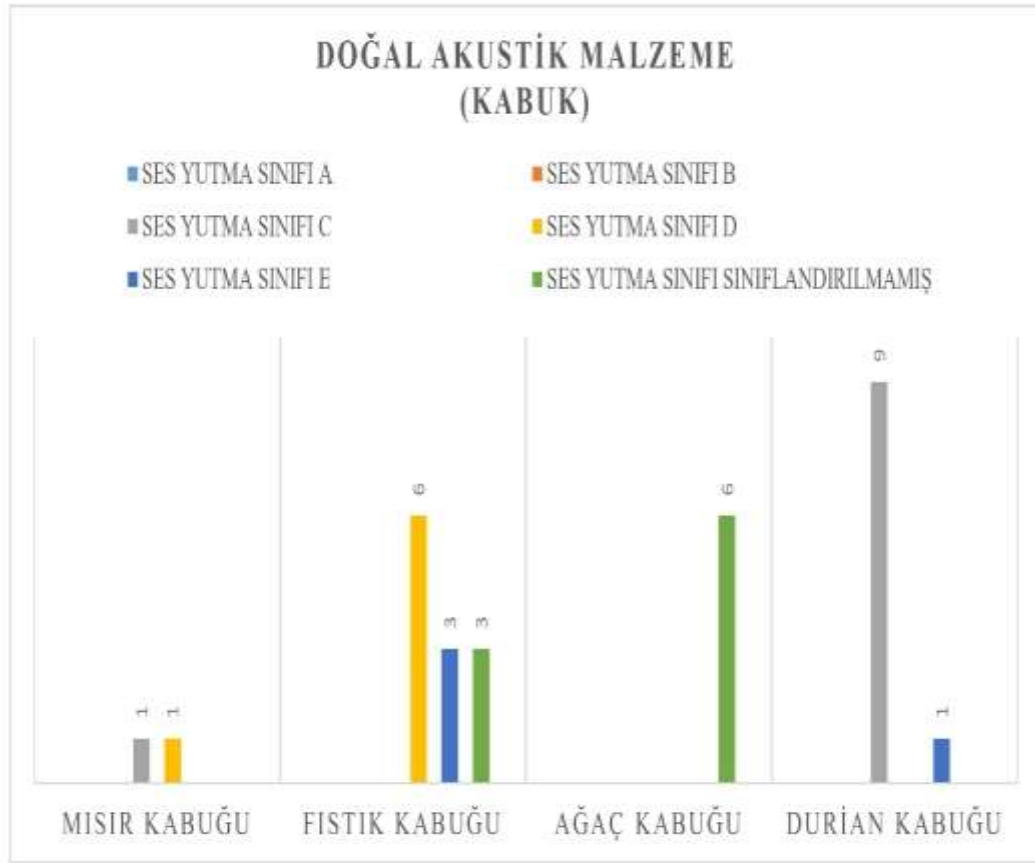
Hz'den 4 kHz'e kadar) ses yutma katsayıları verilmiştir. Ayrıca her malzeme için ayrı ayrı ses yutma sınıfı (A, B, C, D, E) belirlenmiştir [185]. 4 farklı malzemeden 30 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.158'de gösterilmiştir.



Şekil 4.157 Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.24 Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Mısır kabuğu			1	1		
Fıstık kabuğu				6	3	3
Ağaç kabuğu						6
Durian kabuğu			9			1



Şekil 4.158 Kabuk kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı

- **Tohum Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19’da, tohum kökenli doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- **Kalınlık**

Tablo 4.19’da tohum kökenli doğal akustik malzemelerin ses yutum katsayısının kalınlıkla olan ilişkisi incelendiğinde küspe (B.20) 10 mm, 20mm, 30 mm, ve posidonia lifi (B.21) 40 mm, 60 mm, 80 mm, 120 mm kalınlıklara karşılık gelen ses yutum katsayıları verilmiştir. Kalınlık arttıkça alçak, orta ve yüksek frekanslarda ses yutum katsayısı değerleri artmaktadır.

Küspe (B.17) örneğinde kalınlığın 10 mm’den 30 mm’ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) alçak frekanslarda 0,05’den 0,06’ya, orta frekanslarda 0,09’dan 0,31’e,

yüksek frekanslarda 0,2'dan 0,74'e yükselmiştir. Posidonia lifi (B.21) örneğinde kalınlığın 40 mm'den 120 mm artmasıyla ses yutma katsayısında (α) değişim olmamaktadır.

- **Yoğunluk**

Tablo 4.19'da kabuk kaynaklı doğal akustik malzemelerin B.21 kodlu posidonia lifi doğal malzemesinin yoğunluğu ve kalınlığı arasında ters orantılı olarak artış olduğundan ses yutum katsayısında artış veya azalış olmamaktadır.

- **Hava Boşluğu**

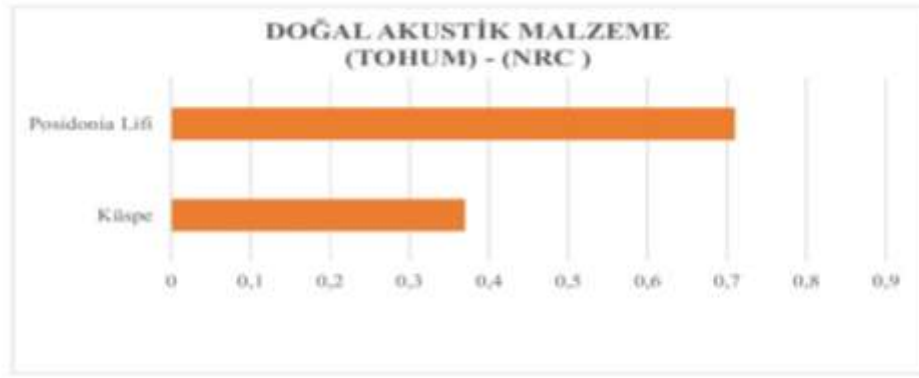
Küspenin tablo 4.19'da hava boşluğu değerleri açıkça belirtilmiştir. Bu kapsamda;

- Küspe 10 mm kalınlık ve 15 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının alçak ve orta frekanslarda sınırlı ses yutum performansı sergilediği,
- Küspe 10 mm kalınlık ve 0-15 mm hava boşluğu bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısının yüksek frekanslarda, 1.25kHz frekanslarda 0,11'den 0,25'e, 2.5 kHz frekans da 0,22'den 0,65'e yükseldiği,

Kalınlığın 30 mm ve 0-20 mm hava boşluğunun bırakılarak yapılan ölçümlerde ses yutum katsayısı yüksek frekanslar da, 1.25k Hz frekanslarda 0,33'den 0,75'e artış olup 2.5 kHz ile 3.15 kHz frekans da düştüğü görülmüş olup 4 kHz frekans da bu ses yutum katsayısı ortalaması 0,5'ten 0,7'ye yükselmiştir.

- **Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)**

Tablo 4.19'da NRC değeri en yüksek malzeme posidonia lifidir. Posidonia lifi yüksek NRC değerine sahip olması malzemenin ses yutumun katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. 40 mm, 60 mm, 80 mm, 120 mm kalınlıkta ve 52 kg/m³, 157 kg/m³ yoğunluğunda yapılan hesaplama doğrultusunda 0,55 ile 0,71 arasında hesaplanmıştır. 9 adet tohum kaynaklı doğal akustik numune arasında yapılan hesaplama sonucu en yüksek NRC değerine sahip malzemenin posidonia lifi olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.159 Tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

- Ses Yutma Sınıfı**

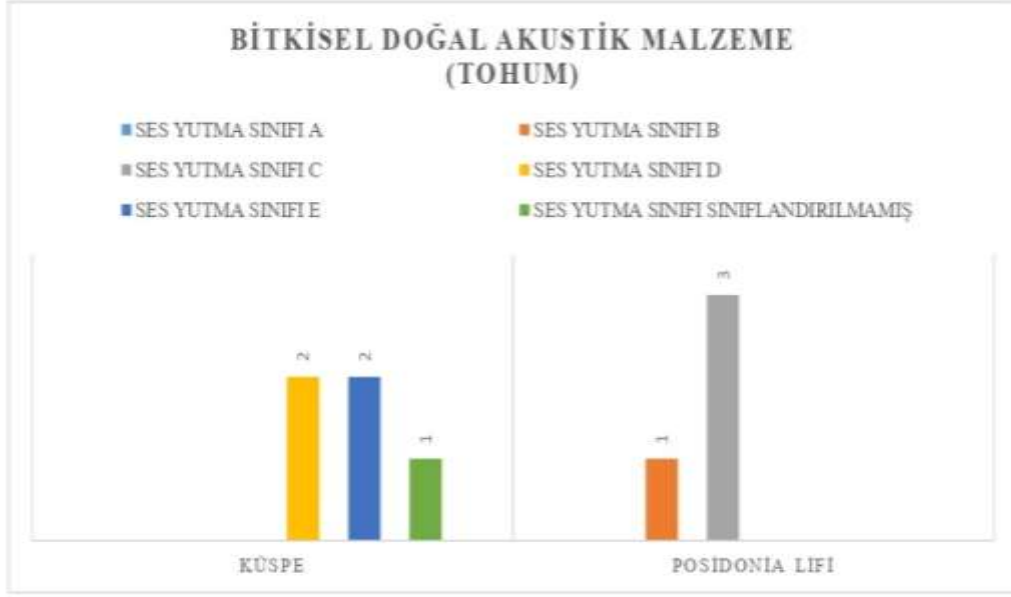
Tablo 4.19’da tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin farklı kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu değerlerine sahip numunelerin çeşitli frekans aralıklarında (100 Hz’den 5 kHz’e kadar) ses yutma katsayıları verilmiştir. Ayrıca her malzeme için ayrı ayrı ses yutma sınıfı (A, B, C, D, E) belirlenmiştir [185]. 2 farklı malzemedan 9 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.161’de gösterilmiştir.



Şekil 4.160 Tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı adetleri

Tablo 4.25 Tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Köspe				2	2	1
Posidonia lifi		1	3			



Şekil 4.161 Tohum kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıfı dağılımı

- **Hayvansal Kaynaklı Doğal Akustik Malzemeler**

Tablo 4.19’da, hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin akustik performanslarını birbirinden farklı numunelerin kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu parametrelerine göre karşılaştırılmalı olarak yansıtmaktadır. Söz konusu doğal malzemeler ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutma sınıfı gibi diğer teknik detaylar dikkate alınarak akustik özellikleri açısından değerlendirilmiştir.

- **Kalınlık**

Tablo 4.19’da hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum katsayısının kalınlıkla olan ilişkisi incelendiğinde ördek tüyü (H.3) 10 mm, 60 mm, 100 mm kalınlıklara karşılık gelen ses yutum katsayıları verilmiştir. Kalınlık arttıkça alçak, orta ve yüksek frekanslarda ses yutum katsayısı değerleri artmaktadır.

Ördek tüyü (H.3) örneğinde kalınlığın 10 mm’den 60 mm’ye artmasıyla ses yutma katsayısı (α) alçak frekanslarda 0,03’den 0,07’ye, orta frekanslarda 0,32’den 0,43’e, yüksek frekanslarda 0,36’dan 0,4’e yükselmiştir. Koyun yününde (H.1) ele edilen malzemelerin kalınlığı arttıkça ses yutum katsayısında artış olmadığı, ve tavuk tüyüyle (H.2) yapılan çalışmada kalınlık etkisi araştırma kapsamına alınmamıştır.

- **Yoğunluk**

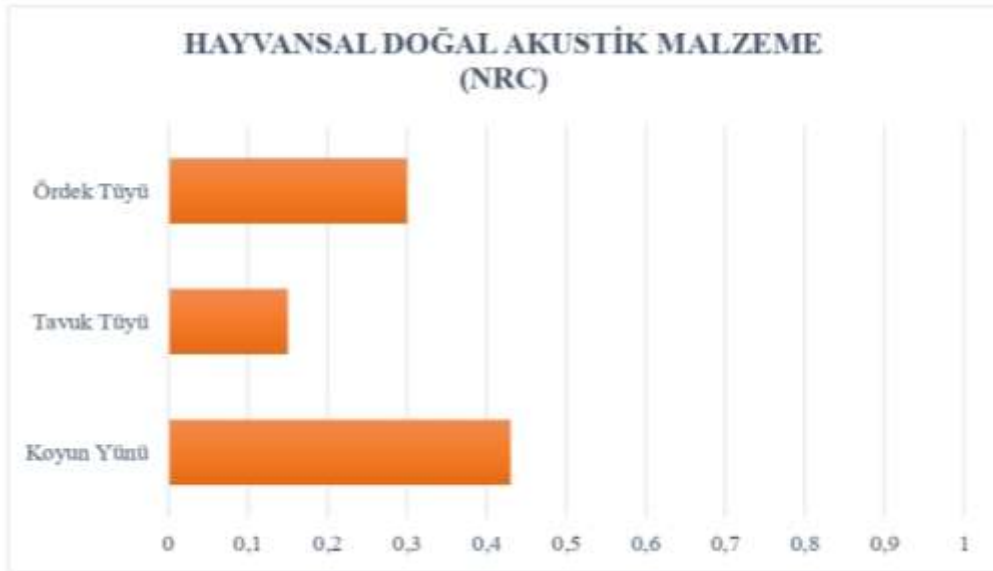
Tablo 4.19’da hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin Ördek tüyü (H.3) doğal malzemesinin yoğunluğu 1.4 gramdan 1.8 grama çıkarıldığından ses yutum katsayısında artış olmamaktadır.

- **Hava Boşluğu**

Hayvansal kaynaklı doğal malzemelerin hava boşluğu parametresi dikkate alınarak çalışma yapılmamıştır.

- **Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC)**

Tablo 4.19’da NRC değeri en yüksek malzeme koyun yününden elde edilen püsküllü kumaştır. Malzemenin en yüksek NRC değerine sahip olması malzemenin ses yutumun katsayısını etkileyen parametrelere bağlıdır. 12 mm ve 16 mm kalınlıkta yapılan hesaplama doğrultusunda ses yutum katsayısı ortalaması 0,40 ile 0,43 arasında hesaplanmıştır. 5 adet hayvansal kaynaklı doğal akustik numune arasında yapılan hesaplama sonucu en yüksek NRC değere sahip malzemenin koyun yününden elde edilen püsküllü kumaş olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.162 Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin NRC değerleri

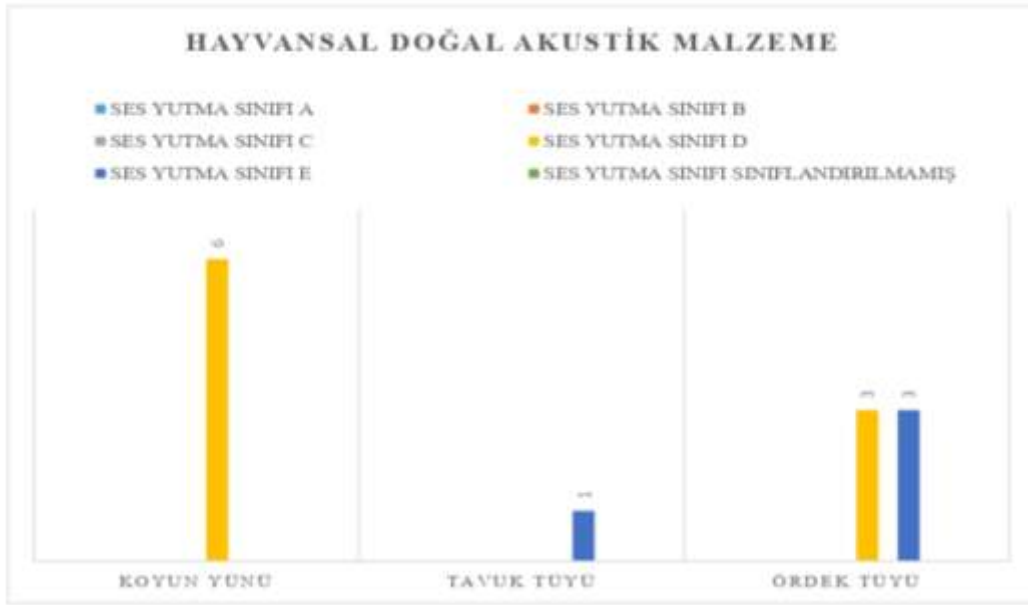
- **Ses Yutma Sınıfı**

Tablo 4.19’da tohum kaynaklı doğal akustik malzemelerin farklı kalınlık, yoğunluk ve hava boşluğu değerlerine sahip numunelerin çeşitli frekans aralıklarının da (250 Hz’den 5 kHz’e kadar) ses yutma katsayıları verilmiştir. Ayrıca her malzeme için

ayrı ayrı ses yutma sınıfı (A, B, C, D, E) belirlenmiştir [185]. 3 farklı malzemeden 13 adet numenin ses yutma sınıfı şekil 4.163'te gösterilmiştir.

Tablo 4.26 Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemelerin ses yutum sınıfı sayısı

	A	B	C	D	E	SINIFLANDIRILMAMIŞ
Koyun yünü				6		
Tavuk tüyü					1	
Ördek tüyü				3	3	



Şekil 4.163 Hayvansal kaynaklı doğal akustik malzemeler ses yutum sınıf dağılımı

4.3.2 Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Ses Yutma Katsayısının Frekanslara Göre Değerlendirilmesi

Tablo 27’de toplamda 156 sürdürülebilir doğal akustik malzeme numunesinin hangi frekanslar arasında etkili olduğunu göstermektedir. Malzeler 100 Hz – 8000 kHz frekans aralığında değerlendirilmiştir. Tablo 27, tablo 4.19’da var olan veriler doğrultusunda oluşturuldu. İncelenen akustik malzemelerden 3 adeti alçak frekans,

60 adet orta frekans, 70 adet yüksek frekans ve 14 adet ise tüm frekans aralığında etkili olmaktadır.

Tablo 4.27 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre durumu

SÜRDÜRÜLEBİLİR AKUSTİK YALITIM MALZEMELERİ							
Malzemeler			Sayı	Alçak Frekans (100 Hz - 400 Hz)	Orta Frekans (500 Hz - 1000 Hz)	Yüksek Frekans (1.25kHz - 6.3kHz)	Tüm Frekans Alanı (100 Hz - 8 kHz)
Geri Dönüştürümlü Atık Malzeme			21	3	4	12	2
Doğal Akustik Malzeme	Bitkisel Kaynaklı	Bitkisel Meyve Kaynaklı	16	-	7	9	-
		Bitkisel Yaprak Kaynaklı	20	-	13	7	-
		Bitkisel Gövde Kaynaklı	44	-	30	14	-
		Bitkisel Kabuk Kaynaklı	30	-	8	10	12
		Bitkisel Tohum Kaynaklı	12	-	6	6	-
	Hayvansal Kaynaklı		13	-	1	12	-
	Toplam		156	3	69	70	14

Tablo 27’de 156 adet sürdürülebilir akustik yalıtım malzemesinin hangi frekans aralığından etkili olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda;

- 100 Hz – 400 Hz aralığında etkili olan üç malzeme örneği geri dönüştürülebilir atık malzemelerdir.
- 500 Hz – 1000 Hz aralığında etkili olan malzeme türü bitkisel bazlı kabuk malzemedir. Orta frekans aralığında toplam 69 malzeme etkilidir. 69 malzemeden 30'u bitkisel bazlı kabuk malzemedir.
- 1,25 kHz – 6,3 kHz aralığında etkili olan malzeme türü bitkisel bazlı kabuk malzemedir. Orta frekans aralığında toplam 70 malzeme etkilidir. Bu 70 malzemeden 14'ü bitkisel bazlı kabuk malzemedir.
- 100 Hz – 8 kHz aralığında etkili toplam 14 malzeme bulunmaktadır. 2 si geri dönüştürümlü atık malzeme, 12 si bitkisel bazlı kabuk malzemeye aittir.

Tablo 28, 156 adet sürdürülebilir doğal akustik malzeme numunesinin detaylı olarak etkili olduğu frekans aralığını göstermektedir.

Tablo 4.28 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu

Sürdürülebilir Malzemelerin Frekanslara Göre Durumu							
Geri Dönüşüm (G.D), Bitkisel Meyve Kaynaklı (B.M), Bitkisel Yaprak Kaynaklı (B.Y) , Bitkisel Gövde Kaynaklı(B.G), Bitkisel Kabuk Kaynaklı(B.K), Bitkisel Tohum Kaynaklı(B.T)ve Hayvansal Kaynaklı (H) Akustik Yalıtım Malzemesi							
Kod	Malzeme Ham Maddesi	Malzeme Görseli	Alçak Frekans (100 Hz - 400 Hz)	Orta Frekans (500 Hz - 1000 Hz)	Yüksek Frekans (1.25kHz - 6.3kHz)	Tüm Frekans Alanı (100 Hz - 8000 kHz)	Ref
G.D.1	Tekstil				X		
G.D.2	Ahşap	Yonga - Kayın Kontrol	-		X		
		Yonga - Kayın Tek komponent	-		X		
		Yonga - Kayın Çift komponent	-		X		
		Yonga - Meşe Kontrol	-		X		
		Yonga - Meşe Tek komponent	-		X		
		Yonga - Meşe Çift komponent	-		X		
		Meşe Atığı			X		
		Hay Atığı		X			
		Çam Atığı		X			
		Meşe Kümürü			X		
		Hay Kümürü			X		
		Çam Kümürü			X		
G.D.3	Metal	Gliserelli Metal	-			X	
		Mühürün İçeren Metal	-	X			
		Rezonans Emici	-	X			
G.D.4	Selüloz	Geri Dönüştürülmüş Gazete				X	
G.D.5	İnşaat Yalıtım	İnşaat Atıkları			X		
					X		
				X			
G.D.6	Plastik Esnek Kaçak				X		
B.M.1	Barma Lifi				X		
					X		
					X		
					X		

Tablo 4.28 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu (devamı)

B.M.2	Yağ Palmiyesi				X	
					X	
				X		
B.M.3	Kapak Lifi				X	
					X	
				X	X	
B.M.4	Hindistan Cevizi			X	X	
				X	X	
				X	X	
B.Y.5	Çay Yaprağı				X	
					X	
					X	
B.Y.6	Akçağaç Yaprakları	10 Katmanlı Yaprak			X	
		10 Katmanlı Yaprak				X
		20 Katmanlı Yaprak			X	
		20 Katmanlı Yaprak				X
		30 Katmanlı Yaprak			X	
		30 Katmanlı Yaprak			X	
		40 Katmanlı Yaprak			X	
		40 Katmanlı Yaprak				X
B.Y.7	Ananas Yaprakları				X	
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
B.G.8	Kenaf				X	
					X	
					X	
				X		
				X		
B.G.9	Kenevir				X	
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		
				X		

Tablo 4.28 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu (devamı)

B.G.10	Bamboo	Mikro delikler olmadan			X				
				X					
				X					
				X					
		Mikro delikli			X				
				X					
B.G.11	Su Kütüğü	Karışık Malzeme			X				
					X				
		Sadece Kabuk			X				
					X				
		Sadece Ahşap			X				
				X					
B.G.12	Şeker Kütüğü				X				
B.G.13	Sığirciye Lifi			X					
				X					
					X				
B.G.14	Arenga Pinnata Lifi				X				
					X				
					X				
					X				
					X				
B.G.15	Yucca Gloriosa Lifi				X				
					X				
				X					
				X					
				X					
B.K.16	Mısır Kabuğu	İşlenmemiş Mısır Kabuğu				X			
		İşlenmiş Mısır Kabuğu				X			
B.K.17	Fistik Kabuğu	C1					X		
							X		
							X		
							X		
							X		
		C5					X		
							X		
							X		
							X		
							X		

Tablo 4.28 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu (devamı)

B.K.18	Ağaç Kabuğu	Ağaç Kabuğu A			X		
		Ağaç Kabuğu B			X		
		Ağaç Kabuğu C			X		
		Ağaç Kabuğu D			X		
		Ağaç Kabuğu E			X		
		Ağaç Kabuğu F			X		
B.K.19	Durian Kabuğu					X	
						X	
				X			
						X	
						X	
						X	
						X	
						X	
				X			
						X	
B.T.20	Käspe					X	
						X	
						X	
						X	
				X			
B.T.21	Posidonia Lif					X	
						X	
				X			
				X			
B.T.22	Tradescantia Zehria				X		
					X		
					X		

Tablo 4.28 Sürdürülebilir doğal akustik malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu (devamı)

H.1	Koyun Yünü	Keçe				X	
						X	
		Ring iptiden yapılan piskilli kumaş				X	
						X	
		Çekirdek hali iptiden yapılan piskilli kumaş				X	
						X	
H.2	Tavuk Tüyü				X		
H.3	Ördek Tüyü					X	
						X	
						X	
						X	
						X	
						X	

4.3.3. Sürdürülebilir Doğal Akustik Malzemelerin Geleneksel Malzemelerle Karşılaştırılması

- Geleneksel Malzemelerin Ses Yutma Çarpanları**

Tablo 4.29’da geleneksel malzemelerin ses yutma özellikleri olmak üzere, akustik performanslarını sunmak amacıyla hazırlanmıştır. S.O.M Malzemeleri tanımlayan kısa referans kodudur. Toplamda 9 adet geleneksel malzeme incelenmiş olup malzemeler sadece akustik özellikleri kapsamında ele alınmıştır. . Malzemeler bir birinden farklı kalınlığa sahip olmasının yanında hava boşluğunun ses yutum katsayısı üzerinde etkisine rastlanmamıştır. Taş yünü ve cam yünü hariç geleneksel malzemelerin yoğunluk verisi bulunmamaktadır. Bu malzemeler 125 Hz – 4000 kHz frekans aralığındaki yutma katsayısı verisi bulunmaktadır.

Tablo 4.29 Geleneksel malzemelerin frekanslara göre detaylı durumu

Geleneksel Malzemelerin Ses Yutma Çarpanları														
Kod	Malzemeler	Kalınlık mm	Yoğunluk kg/m ³	Hava Boşluğu mm	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC	(α_w)	Ses yutma sınıfı	Ref.
SOM1	Taş yünü	5	90	---	0,2	0,65	0,95	0,9	0,85	0,9	0,84	0,85	B	4
SOM2	Cam Yünü	5	32	---	0,2	0,65	0,95	0,9	0,8	0,85	0,83	0,85	B	4
SOM3	Ahşap Yünü	5	-	---	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,88	0,88	A	4
SOM4	Polietilen Köpük	4	---	---	0,08	0,12	0,28	0,6	0,84	0,78	0,46	0,52	D	4
SOM5	Melamin Köpüğü	4	---	---	0,05	0,18	0,33	0,78	0,92	0,92	0,55	0,63	C	4
SOM6	Singer Ürünler	4	---	---	0,1	0,2	0,6	0,95	0,84	0,91	0,64	0,70	C	4
SOM7	Asbertli Polietilen Sera	15	---	---	0,08	0,15	0,31	0,5	0,61	0,71	0,39	0,46	D	4
SOM8	Arachnag Soudabek Çamur	---	---	---	0,07	0,37	0,62	0,7	0,71	0,68	0,6	0,62	C	4
SOM9	Halk	5	---	---	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59	0,25	0,32	D	4

Tablo 4.29’da 9 adet geleneksel malzemelerinin ses yutma çarpanları verilmiştir. Bu kapsamda;

- Ses yutma çarpanına bağlı olarak ses yutma sınıfı en iyi malzeme Ahşap yünüdür.
- Ahşap yünü hariç diğer 8 adet malzemenin alçak frekanslarda ses yutma çarpanı önemsenmeyecek düzeyde düşüktür.
- Taş yünü 5 cm kalınlığında 90 kg/m³ yoğunluğa sahip, cam yünü 5 cm kalınlığında 32 90 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Kalınlığı aynı yoğunlukları farklı olan 2 malzemenin yoğunluk parametresi üzerinden yapılan ses yutma çarpanı değerlendirmesine bakıldığında, yoğunluğun taş yünü üzerinde yüksek frekanslarda olumlu sonuç verdiği sonucuna varılmıştır.

- Ses yutma çarpanı olarak en düşük değerlere sahip malzeme ise SOM.9 kodlu Halı malzemesidir.

4.3.4 Sürdürülebilir Malzemeler ile Geleneksel Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Tablo 4.30 Sürdürülebilir malzemeler ile geleneksel malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması

Sürdürülebilir Malzemeler ile Geleneksel Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması																	
Genel Durumlar (G.D), Bükülme Kuvveti (B), Bükülme Kuvveti (B) Geleneksel Malzemelerin Akustik Yalıtım Malzemesi (S.O.M)																	
No	Kod	Malzeme	Grafik	Kalınlık mm	Yapısal kg/m³	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NBC	(α)	Ses yutma katsayısı			
K	S.O.M.1	Tec. Halı		30	90	0.2	0.45	0.85	0.9	0.85	0.9	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	G.D.1	Sesli		30	-	0.1	0.35	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	B.7	Jasmin Yaprakları		40	200	-	-	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
K	S.O.M.2	Çev. Yalıt.		30	30	0.2	0.45	0.85	0.9	0.9	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	G.D.3	Çev. Yalıtım		30	-	-	0.45	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	B.3	Yaprak Halı		40	30	0.15	0.2	0.45	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
K	S.O.M.3	Akustik Yalıt.		30	-	0.2	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	G.D.3	Kalınlık Yalıt.		-	-	0.15	0.35	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	B.14	Jasmin Yaprakları		40	-	0.85	0.35	0.35	0.35	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
K	S.O.M.4	Polistiren Köpük		40	-	0.85	0.35	0.35	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	G.D.7	Kalınlık Köpük		130	-	0.35	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	B.15	Yaprak Köpük		30	300	0.85	0.35	0.85	0.35	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
K	S.O.M.5	Halı Köpük		40	-	0.85	0.35	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	B.17	Yaprak Köpük		30	800.5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

Tablo 4.30 Sürdürülebilir malzemeler ile geleneksel malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması (devamı)

S.O.M.8	Stünger Çirialar		40	-	0,1	0,2	0,8	0,81	0,84	0,81	0,84	0,78	C
	Stünger		30	-	0,09	0,1	0,11	0,21	0,74	0,1	0,38	0,34	D
S.O.M.7	Ahşaplı Plastikten Yün		13	-	0,08	0,13	0,11	0,1	0,81	0,71	0,38	0,40	D
	Plastikten Yün		40	1,17	0,18	0,2	0,3	0,78	1	0,81	0,77	0,81	C
S.O.M.5	Ahşaplı Plastikten Çirialar		-	-	0,07	0,17	0,81	0,7	0,71	0,88	0,8	0,81	C
	Plastikten Çirialar		30	-	-	0,09	0,11	0,21	-	-	0,41	0,41	D
S.O.M.9	Yün		30	-	0,04	0,04	0,15	0,38	0,71	0,58	0,31	0,31	D
	Yün		20	-	0,1	0,18	0,1	0,21	-	-	0,41	0,41	D

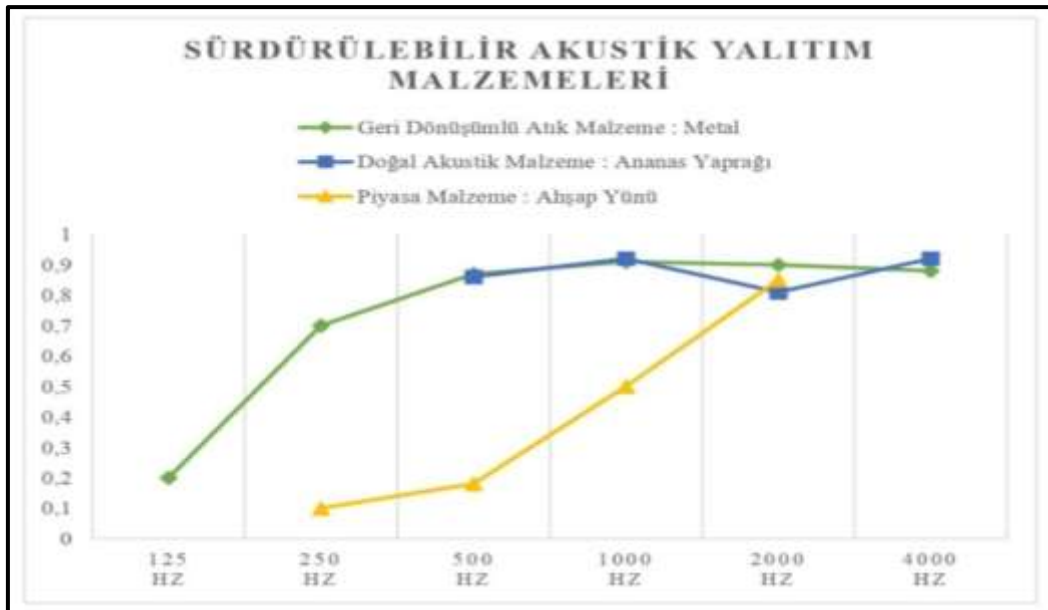
Bu araştırma, çeşitli frekans aralıkları (125 Hz - 4000 Hz) ve NRC (Gürültü Azaltma Katsayısı) değerleri üzerinden sürdürülebilir malzemeler (geri dönüştürülmüş, bitkisel ve hayvansal kaynaklı) ile geleneksel akustik yalıtım malzemelerinin (S.O.M.) performansını karşılaştırmayı ve değerlendirmeyi hedeflemektedir.

- o Geleneksel akustik yalıtım malzemeleri geniş bir frekans aralığında yüksek yutuculuk sağlama özelliğindedir. Örneğin, Tablo 4.30'da görüldüğü gibi, 50 mm kalınlığa ve 90 kg/m³ yoğunluğa sahip taş yünü (S.O.M.1) malzeme, özellikle 500 Hz ve üzeri frekanslarda 0,9 yutuculuk sağlamaktadır. Benzer şekilde, ahşap yünü (S.O.M.3) malzeme de tüm frekans aralığında 0,8-0,9

aralığındaki emilim değerleri ile üstün bir performans göstermiştir. Bu malzemelerin NRC değerleri de 0,84 ve 0,88 gibi yüksek değerlerdir.

- Sürdürülebilir doğal akustik malzemeler içinde bitkisel kaynaklı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Ananas Yaprakları (B.7), 40 mm kalınlığı ve 233 kg/m³ yoğunluğu ile 1000 Hz' de 0,99 gibi mükemmele yakın bir yutuculuk değeri sağlamıştır. Posidonia lifi (B.21) ise 2000 Hz'de tam yutuculuk (1.0) sağlamasıyla öne çıkmıştır. Ancak bu malzemelerin bazı frekans aralığında performansı düşük kalmıştır.
- Öte yandan, geri dönüştürülmüş malzemeler genellikle daha düşük performans göstermiştir. Örneğin, tekstil atığı (G.D.1) ve metal atığı (G.D.3) belirli frekanslarda iyi yutuculuk göstermiş ancak geniş bir aralıkta tutarlılık göstermemiştir. NRC değerleri de 0,37 ila 0,66 arasında değişen düşük ve orta seviyelerdeydi.

Bu karşılaştırma, geleneksel malzemelerin daha istikrarlı ve daha yüksek performans sergilediğini göstermektedir. Ancak, Ananas yaprakları ve Posidonia lifi gibi bitkisel bazlı sürdürülebilir malzemelerin belirli frekanslarda geleneksel malzemelerle yarışır olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş malzemeler özel uygulamalar için daha uygundur ve çok çeşitli akustik yalıtım ihtiyaçlarını karşılamak için yetersizdir.



Şekil 4.164 En iyi performans gösteren malzemelerin ses yutma çarpanları

Tablo 4.31 En iyi performans gösteren malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması

SÜRDÜRÜLEBİLİR AKUSTİK YALITIM MALZEMELERİ							
Malzeme Sınıfı	Malzemenin Türü	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Geri Dönüştürülmüş Atık Malzeme	Metal	0,2	0,7	0,87	0,91	0,9	0,88
Doğal Akustik Malzeme	Ananas Yaprığı			0,86	0,92	0,81	0,92
Piyasa Malzeme	Ahşap Yünü		0,1	0,18	0,5	0,85	

Tablo 4.31'da üç ana malzeme sınıfı incelenmiştir: Her bir malzemenin 125 Hz ile 4000 Hz arasındaki frekanslardaki yutuculuk değerleri, malzemelerin akustik özelliklerinin anlaşılması için kritik bilgiler sağlamaktadır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, geri dönüştürülmüş atık malzeme olarak “metal”, doğal akustik malzemelerin bir alt kategorisi olarak “ananas yaprağı”, ve geleneksel bir malzeme olarak “ahşap yünü” en iyi performans gösteren malzemeler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu malzemeler detaylı olarak şekil 4.164’te ve tablo 4.31’de gösterilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, sürdürülebilir malzeme kavramı çerçevesinde doğal ve geri dönüştürülmüş atık malzemelerin gürültü denetimi ve hacim akustiğinde ses yutucu olarak kullanılabilirliği detaylı şekilde incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda, sürdürülebilir akustik malzemelerin ses yutma katsayıları (α), gürültü azaltma katsayıları (NRC) ve frekans aralıklarına göre performansları detaylı bir şekilde değerlendirilmesiyle birlikte, geleneksel (piyasa) malzemelerle değerlendirmeler sonucunda elde edilen verilerden Elde edilen bulgular, sürdürülebilir malzemelerin mimari akustikte kullanım potansiyelini ortaya koyarken, aynı zamanda bu malzemelerin eksikliklerini ve gelecekteki araştırma alanlarını da belirlemiştir.

Çalışma kapsamında sürdürülebilir akustik malzemeler iki ana grupta incelenmiştir:

1. Doğal malzemeler (bitkisel ve hayvansal kökenli)
2. Geri dönüştürülmüş atık malzemeler

Bu malzemeler kendi içerisinde 21 adet bitkisel, 3 adet hayvansal ve 6 adet geri dönüştürülmüş atık malzeme olmak üzere toplam 30 adet doğal akustik malzeme değerlendirilmiştir. Malzemeler; meyve, yaprak, gövde, kabuk, tohum, lif ve hayvansal türevler olarak alt sınıflara ayrılarak sistematik biçimde sınıflandırılmış ve değerlendirilmiştir. Her malzeme grubu için çalışmalardan elde edilen verilerden yararlanılarak ses yutma katsayısı (α), gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ağırlıklı ses yutma katsayısı (α_w) hesaplanmış ve tablolar halinde sunulmuştur.

Araştırma sonucunda hazırlanan tablo 4.19 ve tablo 4.30'da yer alan ve önemli görülen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Bitkisel ve hayvansal kaynaklı doğal malzemeler ile geri dönüştürülmüş atık malzemeler geleneksel (piyasa) akustik malzemelere (cam yünü, taş yünü) alternatif olarak kullanılabilir
- Malzemelerin ses yutma kapasitesi; kalınlık, yoğunluk, hava boşluğu, lif yapısı ve bağlayıcı madde kullanımı gibi akustik parametrelerden önemli ölçüde etkilemektedir.
- **Gürültü denetimi açısından** yoğunluğu yüksek malzemeler (ahşap granül kömür, atık kauçuk) ses iletimini azaltmada daha etkilidir
- **Hacim akustiği açısından** yüksek frekansların kontrolü için bitkisel lifler (Ananas yaprağı, Hindistan cevizi, kenevir, durian kabuğu ve yucca gloriose lifi) ve hayvansal lifler (koyun yünü) tercih edilebilir.
- **Tasarım Esnekliği açısından** doğal malzemeler, estetik ve ekolojik avantajları nedeniyle özellikle okul, ofis ve konut gibi yapılarda kullanılabilir.
- Hava boşluğu parametresi açısından, yucca gloriose lifi örneğinde ses yutum katsayısının 100 Hz'de 10 cm boşlukta $\alpha=0,03$, 30 cm boşlukta $\alpha=0.18$ yükselmiştir. Bu nedenle hava boşluğunun ses yutum katsayısı üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yoğunluk parametresi açısından, hindistan cevizi, durian kabuğunda olum etki ederken, posidonia lifi örneğinde yoğunluğunun ses yutma çarpanı üzerinde olumlu etki göstermediği görülmüştür (*Bakınız, Tablo 4.19*).
- Geri dönüştürülmüş atıklar; tekstil, kağıt, kauçuk ve inşaat atıkları gibi materyallerin uygun biçimlendirme ve yoğunluk değerlerinde, konvansiyonel malzemelerle kıyaslanabilir ses yutum özellikleri sunduğu tespit edilmiştir.
- Geri dönüştürülmüş tekstil, ahşap, metal ve kauçuk atıklarından üretilen malzemeler, 100-5000 Hz frekans aralığında $\alpha=0.15-0.95$ aralığında değişen ses yutma katsayıları sergilemiştir.
- En yüksek performans, 1000 – 4000 Hz'de tekstil atıklarından üretilen malzeme ($\alpha_w = 0.71$) ve 200 – 5000 Hz'de atık metallerden üretilen malzemedeki ($\alpha_w = 0.85$) uygunluk göstermektedir.
- Geri dönüştürülmüş metal atıklar NRC=0.85 ile "B" sınıfına ($\alpha_w \geq 0.80$) karşılık gelmektedir.
- Selüloz bazlı malzemeler NRC=0.80 ile "B" sınıfında yer almaktadır.

- Düşük frekanslar (100-400 Hz): Isıl işlem görmüş ahşap atıklar ($\alpha=0.25-0.50$) sınırlı etkinlik göstermektedir. Orta frekanslar (500-2000 Hz): Selüloz bazlı malzemeler ($\alpha=0.66-0.77$) ve atık tekstillerden üretilen malzeme optimum performans sergilemektedir. Yüksek frekanslar (≥ 8000 Hz): Geri dönüştürülmüş metal atıklar ($\alpha=0.91$) en iyi sonucu vermektedir.
- Bitkisel kökenli malzemeler, özellikle yüksek frekanslarda güçlü yutuculuk özellikleri sergilemektedir. Ananas yaprağı lifi, kenevir, hindistan cevizi ve kenaf gibi malzemeler bu alanda öne çıkmaktadır.
- Bitkisel kökenli malzemeler (hurma lifi, kenevir, kapok, ananas yaprağı vb.) 100-8000 Hz frekans aralığında değişen yutuculuk değerleri ($\alpha=0.02-0.95$) sergilemektedir.
- Kenevir, kapok lifi ve hindistan cevizi lifi, ananas yaprağı gibi malzemeler, 2000-5000 Hz aralığında $\alpha = 0,80-0,99$ değerleriyle öne çıkmaktadır. Ancak, bu malzemelerin yoğunluklarının düşük olması, gürültü denetiminde kullanım alanını sınırlandırmaktadır.
- En yüksek performans, 2000-6300 Hz aralığında gözlemlenmiş olup, özellikle kapok lifi ($\alpha=0.98$) ve ananas yaprağı ($\alpha=0,99$) geleneksel malzemelerle rekabet edebilir düzeydedir.
- En yüksek ses yutma çarpanına sahip malzemenin ananas yaprağı ($\alpha=0,99$) bu alanda öne çıkmaktadır.
- Ağaç kabukları ($\alpha=0.35$), mısır kabuğu, küspe ve fıstık kabuğu, düşük frekanslarda (100-400 Hz) sınırlı performans göstermektedir. Lifli malzemeler (yucca gloriose lifi ve kenevir) $\alpha=0.65-0.80$ aralığında, orta frekanslarda (400-2000 Hz): optimum sonuçlar vermektedir. İnce lifli ve gözenekli yapıdaki malzemeler (Ananas yaprağı, posidonia lifi, kenaf, Hindistan cevizi ve hurma lifi, $\alpha=0.93$) yüksek frekanslarda (≥ 1250 Hz) İnce üstün performans sergilemektedir.
- Hindistan cevizi NRC=0.87 ile "A" sınıfında yer almaktadır.
- Koyun yünü ve tavuk tüyü lifleri, orta ve yüksek frekanslarda yüksek ses yutma kapasitesi göstermektedir. Koyun yününün NRC değeri 0,43 "D" sınıfında yer almıştır.

- Kalınlık artışı genel olarak , düşük frekanslarda (100-400 Hz) yutuculuğu iyileştirmiştir.
- Hava boşluğunun hurma lifi örneğinde 20-30 mm eklenmesi, 500-1000 Hz aralığında α değerlerini ortalama %25 artırmıştır.

Farklı sürdürülebilir malzemeler (örneğin kenaf + ördek tüyü) birlikte kullanılan kompozit malzemelerin akustik ses yutma katsayısı araştırılabilir. Böylece geniş bir frekans aralığında dengeli performans elde edilebilir. Laboratuvar ortamında başarılı bulunan malzemelerin endüstriyel üretime uyarlanması yönelik ön çalışmalar yürütülebilir. Geri dönüştürülmüş tekstil atıklarının büyük çaplı üretimi için otomasyon teknikleri geliştirilebilir. Sürdürülebilir malzemelerin çevre üzerindeki etkilerini kapsamlı olarak değerlendirmek için yaşam döngüsü analizi araştırmaları yapılmalıdır. Bu analizler, yapı malzemelerinin karbon ayak izini, enerji tüketimini ve geri dönüştürülebilirlik kapasitesini ortaya çıkaracaktır. Sürdürülebilir yapı malzemelerinin akustik ve ısı yalıtım özelliğini aynı anda sağlayan teknikler geliştirilebilir. Örneğin, selüloz liflerine uygun kimyasal katkı maddeleri eklenerek ısı yalıtım özelliği artırılabilir.

Analiz sonuçları, doğal ve geri dönüştürülmüş atık malzemelerin yapı akustiğinde yaygın olarak kullanıldığını göstermiştir. Tüm bu malzemeler ses yalıtım özelliklerinin yanı sıra düşük karbon ayak izi, geri dönüştürülebilirlik ve toksik olmayan özellikler gibi çevre dostu faydalar da sunmaktadır. Buna ek olarak, yerel malzemelerin kullanımıyla ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik bir arada sağlanabilmektedir.

Bu çalışma, deneysel verilere ve literatürde bulunan akademik kaynaklara dayalı bir değerlendirme sunmaktadır. Ancak, her malzeme için üretim süreçleri, işleme yöntemleri ve bağlayıcı malzemelerin kullanımları ses yalıtım performansını etkileyebileceğinden, bu alanda kapsamlı deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir malzemelerin yangın direnci, ısı yalıtımı ve su yalıtım performansı gibi diğer yapı fiziki özellikleri açısından değerlendirilmesi, yapısal uygulama ve mimari tasarım alanlarında bu malzemelerin daha fazla kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Geniş bir bakış açısıyla, sürdürülebilir akustik malzemelerin mimari tasarımda daha fazla kullanılması mümkündür ve teşvik edilmelidir. Bu çalışmanın sonuçları, sürdürülebilir malzemelerin sadece bir alternatif değil, birçok durumda tercih edilen bir seçenek olduğunu göstermektedir. Özellikle akustik performans, çevresel etki ve ekonomik maliyet arasında denge dikkate alındığında, bu yapı malzemelerinin akustik tasarım süreçlerine entegrasyonu, sürdürülebilir mimari hedeflerine katkıda bulunacaktır.



- [1] Ö. Aydın and D. B. Marangoz, "Mimaride sürdürülebilir malzeme 'Bambu'," *Bodrum Journal of Art and Design*, vol. 1, no. 1, pp. 77–94, 2022.
- [2] P. Lamba, D. P. Kaur, S. Raj, and J. Sorout, "Recycling/reuse of plastic waste as construction material for sustainable development: A review," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 57, pp. 86156–86179, 2022.
- [3] D. M. Roodman and N. Lenssen, *A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction*. Washington, DC: Worldwatch Institute, 1995.
- [4] Ş. Sirel, *Yapı Fiziği*, 1992. [Online]. Available: <https://sazisirel.com/booklets/insaat-yapifizigi.pdf>. Accessed: Mar. 28, 2023.
- [5] A. B. Gültekin and S. Yavaşbatmaz, "Sustainable design of tall buildings," *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers – Gradevinar*, vol. 65, no. 5, pp. 449–461.
- [6] E. Sakıncı, "Sürdürülebilirlik bağlamında yapı fiziği konularının tasarıma etkilerinin incelenmesi," in *Proc. Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, Istanbul, Turkey, 2010, pp. 1–12.
- [7] F. Berber, "Ekolojik malzemenin tasarımdaki yeri ve ekolojik malzemeyle konut tasarımı," M.S. thesis, Haliç Üniversitesi, Istanbul, Turkey, 2012.
- [8] B. Güvenç, *Sürdürülebilirlik bağlamında ekolojik tasarım prensiplerinin mimaride uygulanabilirliğinin irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [9] E. Özahmet, *Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Akdeniz İklim Tipi İçin Bir Bina Modeli Önerisi*, Doktora Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [10] C. Bilge, *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [11] A. Ev, *Sürdürülebilir Mimarlık*, İstanbul, Türkiye: YEM Yayın, 2009.
- [12] N. V. Gür, *Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2007.
- [13] K. J. J. Jim ve B. Rigdon, *Sustainable architecture module: Introduction to sustainable design*, National Pollution Prevention Center for Higher Education, Ann Arbor, 1998.
- [14] M. P. Sarioğlu, *Sürdürülebilir mimarlık*, [Çevrimiçi]. Available: <https://docplayer.biz.tr/106908010-Surdurulebilir-mimarlik.html>. [Erişim tarihi: 9 Mar. 2025].

- [15] L. A. Nicholson, "Integrating sustainable building design and construction principles into engineering technology and management curricula," *Age*, vol. 9, no. 1, 2004.
- [16] Z. Sayar, A. B. Gültekin, and Ç. B. Dikmen, "Sürdürülebilir mimarlık kapsamında ahşap ve PVC doğramaların değerlendirilmesi," in *5th International Advanced Technology Symposium (İATS'09)*, Karabük, 13-15 May 2009, pp. 2067-2072.
- [17] P. Kocaman, *Bims agregaların ve bimsbeton ürünlerinin mimarlık ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [18] K. M. Patil and M. S. Patil, "Sustainable construction materials and technology in context with sustainable development," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 112–117, 2017.
- [19] *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, 1990. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.breeam.org/>. [Erişim tarihi: Eki. 2, 2024].
- [20] U.S. Green Building Council (USGBC), *LEED 2009 for Schools New Construction and Major Renovations Rating System*, 2009.
- [21] *Avusturya Yeşil Bina Konseyi*, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.gbca.org.au/>. [Erişim tarihi: Eki. 12, 2024].
- [22] *Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi*, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dgnb.de/>. [Erişim tarihi: Eki. 12, 2024].
- [23] Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency for New Construction, *Technical Manual Edition*, İzmir, 13–16 Nisan 2011.
- [24] G. Castanheira and L. Bragança, "The evolution of the sustainability assessment tool SBToolPT: from buildings to the built environment," *Scientific World Journal*, vol. 2014, article no. 491791, Jan. 27, 2014, doi: 10.1155/2014/491791.
- [25] N. T. Bayazıt, B. Şan, and G. Ökten, "Yeşil bina sertifikasyonunda akustik performansın değerlendirilmesi," *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, vol. 5, pp. 1567–1577, Apr. 2011.
- [26] L. Doelle, *Environmental Acoustics*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1972.
- [27] C. M. Harris, *Noise Control in Buildings*. New York, NY, USA: R. R. Donnelley & Sons, 1994.
- [28] J. Brunskog, *Acoustic Excitation and Transmission of Lightweight Structures*, Ph.D. dissertation, Lund University, Lund, Sweden, 2002.
- [29] D. S. Templeton, *Acoustics in the Built Environment: Advice for the Design Team*, D. Templeton, Ed., Oxford, UK: Butterworth Architecture, 1993.
- [30] P. D. Close, *Sound Control and Thermal Insulation of Buildings*. New York, NY, USA: Reinhold, 1966.
- [31] D. Heerwagen, *Passive and Active Environmental Controls: Informing the Schematic Designing of Buildings*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2004.

- [32] M. D. Egan, *Architectural Acoustics*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1988.
- [33] Green Glue Company, "Wall Types," [Online]. Available: <http://www.green gluecompany.com/wallTypes.php>. [Accessed: Jan. 9, 2012].
- [34] S. Y. Demirkale, *Çevre ve Yapı Akustiği*. İstanbul, Turkey: Birsen Yayınevi, 2007.
- [35] M. Mehta, J. Johnson, and J. Rocafort, *Architectural Acoustics: Principles and Design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1999.
- [36] T. Nightingale, R. Halliwell, and J. Quirt, "Sound transmission through gypsum board walls: Effect of shear membranes and framing details," *Canadian Acoustics*, vol. 29, 2001.
- [37] F. A. Everest, *Master Handbook of Acoustics*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2001.
- [38] Z. Yüksel Can, *Yapı Fiziği 2 Ders Notları*, İstanbul, Turkey, 2010.
- [39] M. Barron, *Auditorium Acoustics & Architectural Design*. London, UK: E&F Spon, 1993.
- [40] M. Erol and H. Aydemir, "Bölüm 8 Kapalı mekanlarda gürültü yalıtımı için kullanılan tekstil esaslı malzemelerin performans analizi," *Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler*, Cilt I, pp. 169–186, Jul. 1, 2021, ISBN 978-625-7342-72-8.
- [41] M. Küçük and Y. Korkmaz, "The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites," *Textile Research Journal*, vol. 82, no. 20, pp. 2043–2053, 2012.
- [42] T. Koizumi, N. Tsujiuchi, and Adachi, "The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers," *High Performance Structures and Composites*, vol. 59, pp. 157–166, 2002.
- [43] A. E. Prabowo, K. Diharjo, Ubeydilah, and I. Prasetyo, "Şeker palmye gövdesi liflerinin ses emme performansı," *E3S Web of Conferences*, 2019.
- [44] H. S. Seddeq, "Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 3, no. 4, pp. 4610–4617, 2009.
- [45] M. Tascan and E. A. Vaughn, "Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of needlepunched nonwoven fabrics," *Textile Research Journal*, vol. 78, no. 4, pp. 289–296, 2008.
- [46] F. Shahani, P. Soltani, and M. Zarrebini, "Sound absorption characteristics of needled nonwoven fabrics," in *Proc. International Istanbul Textile Congress*, İstanbul, Turkey, May 30–Jun. 1, 2013, pp. 1–5.
- [47] C. H. Huang, J. H. Lin, C. W. Lou, and Y. T. Tsai, "The efficacy of coconut fibers" [*Yayın/Konferans Adı*], 2013.
- [48] H. Hasani, M. Zarrebini, and S. Hassanzadeh, "Evaluating the acoustic properties of estabragh (milkweed)/hollow-polyester nonwovens for automotive applications," *Textile Science & Engineering*, vol. 4, no. 3, p. 157, 2014, doi: 10.4172/2165-8064.1000157.

- [49] X. Liu, X. Yan, and H. Zhang, "Sound absorption model of kapok-based fiber nonwoven fabrics," *Textile Research Journal*, vol. 85, no. 9, pp. 969–979, 2015.
- [50] N. Paşayev and M. Erol, "Ses yalıtım amaçlı tekstil esaslı sandviç yapıların geliştirilmesi," in *Proc. 3rd International Fiber and Polymer Symposium*, Bursa, Turkey, 2018, pp. 101–103.
- [51] O. Demiryürek and H. Aydemir, "Sound absorbing properties of roller blind curtain fabrics," *Industrial Textiles*, vol. 47, no. 1, pp. 3–19, 2017. Ü
- [52] T. Koizumi, N. Tsujiuchi, and Adachi, "The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers," *High Performance Structures and Composites*, vol. 59, 2002.
- [53] A. Vishnoi, "Environment protection by textile recycling: A route to sustainability," [Online]. Available: <http://tmu.ac.in/gallery/viewpointsdcip2013/pdf/track1/T114.pdf>. [Accessed: Sep. 10, 2015].
- [54] S. Cuc and M. Vidovic, "Environmental sustainability through clothing recycling," *Operations and Supply Chain Management*, vol. 4, no. 2/3, pp. 108–115, 2011.
- [55] T. Vadicherla and D. Saravanan, "Textiles and apparel development using recycled and reclaimed fibers," in *Proc. International Conference on Sustainable Textiles*, Chennai, India, 2014.
- [56] Türkiye İstatistik Kurumu, [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=10&ust_id=3. [Accessed: Sep. 10, 2015].
- [57] C. Bilge, *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış*, M.S. thesis, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Turkey, 2007.
- [58] Y. Z. Shoshani and M. A. Wilding, "Effect of pile parameters on the noise absorption capacity of tufted carpet," *Textile Research Journal*, vol. 61, no. 12, pp. 736–742, 1991.
- [59] K. Zafirova and R. Uzunovich, "Some investigations of sound absorption properties of upholstery textile materials," *Tekstilna Industrija*, vol. 46, no. 1–2, pp. 19–22, 1998.
- [60] P. Soltani and M. Zerrebini, "The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics," *Textile Research Journal*, vol. 82, no. 9, pp. 875–882, 2012.
- [61] P. Altun, *Tekstil üretim ve kullanım atıklarının geri kazanımı, çevresel ve ekonomik etkileri*. Uşak, Turkey: Uşak Ticaret ve Sanayi Odası, 2016.
- [62] K. Siltumens, I. Grinfelde, G. Znots, R. Golubovs, and R. Brencis, "Use of shredded textile waste as material for sound absorption," *Proc. ERDev 2024*, Latvian North Vidzeme, Latvia, 2024, doi: 10.22616/ERDev.2024.23.TF190.
- [63] Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, "Impedance tube AcoustiTube," [Online]. Available: <https://www.akustikforschung.de/en/produkte/messgerate/impedanzrohr-acoustitube/>. [Accessed: Mar. 14, 2024].

- [64] Ö. Bozkurt, "Geleneksel Tekirdağ evlerinde kullanılmış meşe ahşabının mekanik özellikleri ve kimyasalla koruma uygulamalarının mekanik özellikler üzerine etkisi," *Politeknik Dergisi*, vol. 14, no. 2, pp. 115–119, 2011.
- [65] H. Hacıoğlu, E. Kaplan, R. Balı, and S. Cilan, "Yuvarlak odun üretim ve pazarlaması," in *Proc. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası*, Antalya, Turkey, Mar. 2005, vol. 3, pp. 804–840.
- [66] NSWWB, *New South Wales Waste Boards Wood Waste Project – Final Report*. Sydney, Australia: New South Wales Waste Boards, 2000.
- [67] CWC, "Best practices in wood recycling – Identifying generation streams of wood waste materials," Clean Washington Center, [Online]. Available: http://www.cwc.org/wd_bp/wd_bp_pdf/1-01-01.pdf. [Accessed: Aug. 2007].
- [68] CIWMB, "Urban Wood Waste Fact Sheet," California Integrated Waste Management Board, Los Angeles, CA, USA, [Online]. Available: <http://www.ciwmb.ca.gov/publications/condemo/44395057.doc>. [Accessed: Aug. 2007].
- [69] S. Çolak, C. Demirkır, and G. Çolakoğlu, "Odun kökenli atıkların hammadde ve enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi," in *Proc. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası*, Antalya, Turkey, Mar. 2005, vol. 3, pp. 1009–1017.
- [70] S. Ersoy, *Endüstriyel çay-yaprak-fiber atıklarının ses yutum özelliklerinin incelenmesi*, M.S. thesis, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Turkey, 2001.
- [71] M. S. Muslu, "İç mekânda kullanılan bazı ahşap esaslı kompozit levha türlerinde ses yutma katsayısının belirlenmesi," *Politeknik Dergisi*, vol. [sayı bilgisi yok], pp. [sayfa bilgisi yok], [yıl bilgisi yok].
- [72] O. Khrystoslavenko, T. Astrauskas, and R. Grubliauskas, "Odun atıklarından yapılan kömürün ses emme özellikleri," *Sürdürülebilirlik*, vol. 15, no. 8196, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su15108196>.
- [73] "Metal atık," [Online]. Available: <https://sifiratik.gov.tr/metal-atik>. [Accessed: Oct. 20, 2024].
- [74] W. Akkalatham and A. Taghipour, "Pro-environmental behavior model creating circular economy in steel recycling market, empirical study in Thailand," *Environ. Chall.*, vol. 4, p. 100112, 2021. [CrossRef].
- [75] K. Rybak-Niedziółka *et al.*, "Use of waste building materials in architecture and urban planning—a review of selected examples," *Sustainability*, vol. 15, no. 5047, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su15065047>.
- [76] "Metal atıklar," [Online]. Available: <https://www.onkageridonusum.com/metal-atiklar/>. [Accessed: Oct. 21, 2024].
- [77] "Metal geri dönüşüm," [Online]. Available: <https://turkchem.net/metal-geri-donusum.html>. [Accessed: Oct. 21, 2024].
- [78] "Metal geri dönüşümü," [Online]. Available: <http://www.turkchem.net/metal-geri-donusum.html>. [Accessed: Jun. 20, 2020].
- [79] "Metallerin geri dönüşümü," [Online]. Available: <https://www.saglammetal.com/tr/metallerin-geri-donusumu>. [Accessed: Oct. 24, 2024].

- [80] "Acoustics & metal," [Online]. Available: <https://dampa.com/acoustics-metal/>. [Accessed: Oct. 24, 2024].
- [81] A. İ. Kaya, "Atık kâğıtlardan geri kazanılmış liflerden kompozit malzeme üretim olanaklarının araştırılması," M.S. thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Turkey, 2019.
- [82] S. İmamoğlu, "Atık kağıt hamurlarının formamidin sülfonik asit ile ağartılması," Ph.D. dissertation, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Turkey, 2002.
- [83] "Kağıt dönüşümünün önemi," [Online]. Available: <https://www.sarfmarket.com.tr/kagit-donusumunun-onemi>. [Accessed: Nov. 2, 2024].
- [84] C. Atik and K. Ok, "Türkiye'de kağıt üretimi ve sürdürülebilir kalkınma," Unpublished Technical Report, pp. 1–28, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.32294.93761.
- [85] S. Sancar Tural and S. Şahinkaya, "Atık kağıtları kullanarak gürültü izolasyon malzemesi üretimi," M.S. thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Turkey, Sep. 2018.
- [86] H. Thomas, S. Rees, and R. Lloyd, "Measured heat losses through a real ground floor slab: The results show the full transient, seasonal and diurnal thermal response of a normal weight concrete floor slab and the underlying ground," *Building Research and Information*, vol. 24, no. 1, pp. 15–26, 1996.
- [87] "Kağıt üretimi ve geri dönüşüm," [Online]. Available: <https://donusumdernegi.org/kagit-uretimi-ve-geri-donusum-2/>. [Accessed: Nov. 3, 2024].
- [88] "URL-3," [Online]. Available: <http://www.icc-es.org>. [Accessed: May 23, 2009].
- [89] "URL-4," [Online]. Available: <http://www.icc-es.org>. [Accessed: May 23, 2009].
- [90] G. G. McAllister, *Thermal and Water Vapor Transmission Data*, Baltimore: ASHRAE Handbook, 1989.
- [91] S. Andres, *Cocoon Thermal and Sound Insulation Products*, ICC Evaluation Services, Inc., ICC Legacy Report ER-2833, Oct. 5, 2007.
- [92] T. V. Rasmussen, "Creep tests and techniques for predicting densities necessary to prevent settling of loose fill insulation in walls," *Insulation Materials: Testing and Applications*, vol. 4, p. 42, 2002.
- [93] T. Hirata and K. E. Werner, "Thermal analysis of cellulose treated with boric acid or ammonium phosphate in varied oxygen atmospheres," *J. Appl. Polymer Sci.*, vol. 33, no. 5, pp. 1533–1556, 1987.
- [94] F. Asdrubali, "Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control," presented at the *Proc. Euronoise*, 2006.
- [95] A. Trematerra and I. Lombardi, "Acoustic correction using green material in classrooms located in historical buildings," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 225, p. 012082, 2017.

- [96] G. Iannace, A. Trematerra, and P. Trematerra, "Acoustic correction using green material in classrooms located in historical buildings," *Acoustics Australia*, vol. 41, no. 3, pp. 213–218, 2013.
- [97] G. Iannace and A. Trematerra, "Acoustic measurements and correction of a council room," *Noise Vib. Worldwide*, vol. 45, no. 8, pp. 12–16, 2014, doi: 10.1260/0957-4565.45.8.12.
- [98] T.C. Resmi Gazete, *Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*, no. 25406, Mar. 18, 2004.
- [99] S. Çimen, "İnşaat sektöründe geri dönüştürülmüş agregaların tekrar kullanımı," *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 44–54, 2018.
- [100] A. Craighill, "Lifecycle assessment and evaluation of construction and demolition waste management," Ph.D. dissertation, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK, Aug. 2002.
- [101] *İnşaat Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşümü*, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [102] C. Arenas, L. F. Vilches, C. Leiva, B. Alonso-Fariñas, and M. Rodríguez-Galán, "Recycling ceramic industry wastes in sound absorbing materials," *Mater. Construcc.*, vol. 66, no. 324, p. e106, 2016, doi: 10.3989/mc.2016.10615.
- [103] "Kauçuk Nedir? Ne İşe Yarar?" Kimteks. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.kimteks.org/kaucuk-nedir-ne-ise-yarar/>. Accessed: Nov. 10, 2024.
- [104] "Advances and developments in NR," *Rubber & Plastics News*, vol. 33, no. 16, p. 12, Mar. 8, 2004. [Accessed: Aug. 3, 2025].
- [105] G. S. Whitby, *Synthetic Rubber*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Inc., 1965.
- [106] M. F. Bilge, "Atık Kauçuklardan Yapı Malzemesi Tasarımı," M.Sc. thesis, Dept. of Engineering, İstanbul Technical Univ., İstanbul, 2004.
- [107] J. Dick, *Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance*, Hanser, USA, 2001.
- [108] "CSJ-600 Model Tyre Recycling Equipment, Scrap Rubber Crusher Machine, High Speed," RubberMakingMachine.com. [Online]. Available: <https://turkish.rubbermakingmachine.com/sale-12639268-csj-600-model-tyre-recycling-equipment-scrap-rubber-crusher-machine-high-speed.html>. Accessed: Nov. 10, 2024.
- [109] Türk Standartları Enstitüsü, *Ses Yutma Katsayısının ve Empedansın Boru Metodu ile Tayini*. Ankara, Türkiye: TSE, 1989.
- [110] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, and S. Schiavoni, "Sound absorbing properties of materials made of rubber crumbs," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, no. 5, pp. 3037–3047, 2008.
- [111] M. Eriç and H. Y. Ersoy, "Yapı biyolojisi, ekolojik denge ve yapı malzemesi ilişkisi," *Yapı Dergisi*, no. 163, pp. 38–40, 1995.

- [112] O. Zaccanti, "Natural fibres in biobuilding for healthy housing," Jan. 29, 2006. [Online]. Available: <http://www.ienica.net/italyseminar/fibres/zaccanti.pdf>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [113] V. Olgyay and J. Herdt, "The application of ecosystems services criteria for green building assessment," *Solar Energy*, vol. 77, no. 4, pp. 389–398, 2004.
- [114] E. Taban *et al.*, "Experimental and mathematical survey of sound absorption performance of date palm fibers," *Heliyon*, Jun. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01977>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [115] C. Chen, Y. Zhang, G. Sun, J. Wang, and G. Wang, "Windmill palm fiber/polyvinyl alcohol-coated nonwoven mats with sound absorption characteristics," *BioResources*, vol. 11, no. 2, pp. 4212–4225, 2016.
- [116] ISO 10534-2, *Akustik - Empedans Tüplerinde Ses Yutma Katsayısı ve Empedansın Belirlenmesi - Bölüm 2: Transfer-Fonksiyon Yöntemi*. [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/katalog_de.H?csnumber=22851. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [117] Z. K. Xie, T. Ikeda, Y. Okuda, and H. Nakajima, "Characteristics of sound absorption in lotus-type porous magnesium," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 43, no. 10R, p. 7315, 2004.
- [118] F. Jahaan, L. Y. Phang, H. Wasoh, S. Abd-Aziz *et al.*, "Farklı alkali işlemlerin yağ palmyesi boş meyve salkımı liflerinden ferulik asit salınımı üzerindeki etkisi," *Yağ Palmyesi Araştırmaları Dergisi*, vol. 26, no. 4, pp. 321–331, 2014.
- [119] Malaysian Palm Oil Board, "Oil palm & the environment." [Online]. Available: http://www.mpob.gov.my/palm_info/environment/520-achievements. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [120] D. J. Murphy, "The future of oil palm as a major global crop: Opportunities and challenges," *Journal of Oil Palm Research*, vol. 26, p. 124, 2014.
- [121] Food and Agriculture Organization of The United Nations, "Production share by region: Oil, palm fruit." [Online]. Available: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [122] D. Narapakdeesakul, W. Sridach, and T. Wittaya, "Development of oil palm empty fruit bunches' lignin for production of linerboard coating: Effect of selected stabilizers on coating characteristics and coated linerboard properties," *Progress in Organic Coatings*, vol. 76, no. 2, pp. 482–487, 2013.
- [123] S. Shinoj, R. Visvanathan, S. Panigrahi, and M. Kochubabu, "Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review," *Industrial Crops and Products*, vol. 33, no. 1, pp. 7–22, 2011.
- [124] "Yağ Palmyesi Makalesi." [Online]. Available: <http://example.com/yag-palmyesi-makalesi>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [125] "Kapok Lifi Makalesi." [Online]. Available: <http://example.com/kapok-lifi-makalesi>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [126] M. Rettinger, *Acoustics, Room Design and Noise Control*, New York, NY, USA: Chemical Publishing Co. Inc., 1968, p. 72.

- [127] J. YoungJoo, J. Lancaster, J. Casali, and G. Cho, "Sound absorption properties of textile materials," *Textile Research Journal*, vol. 77, no. 5, pp. 330–338, 2007.
- [128] National Occupational Health and Safety Commission, *National Standard for Synthetic Mineral Fibres*, Canberra, Australia: Australian Government Publishing Service, 1990, p. 49.
- [129] R. Ramis, R. del Rey, J. Alba, L. Godinho, and L. Carbajo, "A model for acoustic absorbent materials derived from coconut fiber," *Mater. Construcc.*, vol. 64, no. 313, p. e008, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.00513>. Accessed: Aug. 3, 2025.
- [130] S. Ersoy and H. Kucuk, "Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties," *Appl. Acoust.*, vol. 70, pp. 215–220, 2009, doi: 10.1016/j.apacoust.2007.12.05.
- [131] T. Yang, L. Hu, X. Xiong, M. Venkataraman, M. Petru, J. Novák, and J. Militký, "Acoustical evaluation and comparative study of maple leaves and coir and polyester fibers," *J. Nat. Fibers*, 2021, doi: 10.1080/15440478.2021.2002770.
- [132] K. V. Horoshenkov, A. Khan, and H. Benkreira, "Acoustic properties of low growing plants," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 133, no. 5, pp. 2554–2565, 2013, doi: 10.1121/1.4798671.
- [133] N. H. Wong, A. Y. Kwang, T. P. Y. Tan, K. Chiang, and N. C. Wong, "Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls," *Building and Environment*, vol. 45, no. 2, pp. 411–420, 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.017.
- [134] Y. A. Kang, E. N. Lee, K. C. Lee, S. M. Choi, and E. J. Shin, "Acoustic properties of sound-absorbing polyester fabrics woven with thick staple and thin draw textured yarn for use in interior decoration," *Journal of the Textile Institute*, vol. 110, no. 2, pp. 202–210, 2019, doi: 10.1080/00405000.2018.1508798.
- [135] X. Shen, P. Bai, L. Chen, S. To, F. Yang, X. Zhang, and Q. Yin, "Development of thin sound absorber by parameter optimization of multilayer compressed porous metal with rear cavity," *Applied Acoustics*, vol. 159, p. 107071, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.107071.
- [136] A. Putra, K. H. Or, M. Selamat, J. M. Nor, M. Hassan, and I. Prasetyo, "Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres," *Appl. Acoust.*, vol. 136, pp. 9–15, 2018, doi: 10.1016/j.apacoust.2018.01.029.
- [137] Z. Lim *et al.*, "Preliminary study on sound absorption of natural kenaf fiber," in *Proc. Mechanical Engineering Research Day*, 2015, pp. 95–96.
- [138] C. L. Webber III and V. K. Bledsoe, "Kenaf yield components and plant composition," in *Trends in New Crops and New Uses*, J. Janick and A. Whipkey, Eds., Alexandria, VA, USA: ASHS Press, 2002, pp. 348–357.
- [139] H. Akil, M. Mazelan, A. Khalina, and M. N. Ahmad, "Kenaf fiber reinforced composites: A review," *Materials & Design*, vol. 32, no. 8, pp. 4107–4121, 2011.

- [140] O. Kinnane, A. Reilly, J. Grimes, S. Pavia, and R. Walker, "Acoustic absorption of hemp-lime construction," *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 674–682, 2016.
- [141] F. A. Khair, A. Putra, M. J. Mohd Nor, N. Atiqah, and M. Z. Selamat, "Ses emici olarak bambu üzerine ön çalışma," *Uygulamalı Mekanik ve Malzemeler*, vol. 554, pp. 76–80, 2014.
- [142] ISO 10534-2, *Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes—Part 2: Transfer Function Method*, 2001.
- [143] G. Iannace, A. Trematerra, and A. Mezzero, "Use of green material for acoustic correction inside rooms," *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.*, vol. 3, pp. 33–38, 2013, doi: 10.5755/j01.sace.3.4.4708.
- [144] A. Putra, Y. Abdullah, H. Efendy, W. M. Farid, M. R. Ayob, and M. S. Py, "Şeker kamışı atık liflerinin sürdürülebilir bir akustik emici olarak kullanılması," in *Procedia Engineering*, vol. 53, pp. 000–000, Malaysia Technical Universities Engineering and Technology Conference, 2012.
- [145] U. Berardi, G. Iannace, and M. Di Gabriele, "The acoustic characterization of broom fibers," *J. Nat. Fibers*, vol. 14, no. 6, pp. 789–800, 2017, doi: 10.1080/15440478.2017.1279995.
- [146] ISO 10534-1, *Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes—Part 1: Method Using Standing Wave Ratio*, 1996.
- [147] ISO 10534-2, *Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes—Part 2: Transfer-function Method*, 1998.
- [148] ISO 9053, *Acoustics—Materials for Acoustical Applications—Determination of Airflow Resistance*, 1991.
- [149] G. Iannace and U. Berardi, "Characterization of natural fibers for sound absorption," in *Proc. ICSV22*, Florence, Italy, 2015.
- [150] G. Iannace and P. Trematerra, "Le proprietà acustiche dell'arundo donax," *Rivista Italiana di Acustica*, vol. 37, no. 1, pp. 39–42, 2013.
- [151] L. Lindawati, M. I. Ghazali, S. Mahzan, and A. M. A. Zaidi, "Ijuk Medium Density fiberboard: Potential application as an acoustical panel," in *Proc. Icon BSE'09-67*, Malaysia, 2009.
- [152] P. Soltani, E. Taban, M. Faridan, S. E. Samaei, and S. Amininasab, "Experimental and computational investigation of sound absorption performance of sustainable porous material: Yucca Gloriosa fiber," *Applied Acoustics*, vol. 157, p. 106999, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.106999.
- [153] S. Balaji, "Physical, chemical and mechanical properties of fiber extracted from yucca gloriosa, L.," *Res. Rev. A J. Life Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 22–24, 2018.
- [154] A. Putra *et al.*, "Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres," *Applied Acoustics*, vol. 136, pp. 9–15, 2018.
- [155] K. H. Or, A. Putra, and M. Z. Selamat, "Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber," *Applied Acoustics*, vol. 119, pp. 9–16, Jan. 2017.

- [156] P. P. Singh and G. Nath, "Effect of Interfacial Roughness on Mechanical and Thermo-Acoustic Behavior of Corn Husk Fiber," *Journal of Natural Fibers*, vol. 20, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2022, doi: 10.1080/15440478.2022.2134259.
- [157] U. A. Malawade and M. G. Jadhav, "Investigation of Peanut Shell as Alternative Sound Absorbing Material," *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 53–60, 2019, doi: 10.11648/j.ajmme.20190303.12.
- [158] M. Li, T. Van Renterghem, J. Kang, K. Verheyen, and D. Botteldooren, "Sound absorption with tree bark as open coating panel," *Applied Acoustics*, vol. 165, p. 107328, Aug. 2020.
- [159] S. Bertrand, G. Cerutti, and L. Tougne, "Leaf-based classification improvement for bark recognition in didactic tree species identification," in *Proc. 12th Int. Conf. Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, Porto, Portugal, Feb. 2017, pp. 1–8.
- [160] A. Putra, "Waste duria husk fibers as natural soun absorber: Performance and acoustic characterization," *Buildings*, vol. 12, no. 8, p. 1112, Aug. 2022, doi: 10.3390/buildings12081112.
- [161] "Durian," *Wikipedia*, [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Durian&oldid=1007963645>. Accessed: Feb. 20, 2021.
- [162] U. A. Malaviade and M. G. Jadhav, "Investigation of the acoustic performance of bagasse," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 882–889, Jan.–Feb. 2020.
- [163] F. Pompoli, "Acoustical characterization and modeling of sustainable Posidonia fibers," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 7, p. 4562, Apr. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app13074562>.
- [164] V. Pasqualini, C. Pergent-Martini, P. Clabaut, and G. Pergent, "Mapping of Posidonia oceanica using aerial photographs and side scan sonar: Application off the island of Corsica (France)," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 47, no. 3, pp. 359–367, 1998.
- [165] D. L. Johnson, J. Koplik, and R. Dashen, "Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media," *J. Fluid Mech.*, vol. 176, pp. 379–402, Mar. 1987.
- [166] Y. Champoux and J. F. Allard, "Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media," *J. Appl. Phys.*, vol. 70, no. 4, pp. 1975–1979, Aug. 1991.
- [167] K. Kobiela-Mendrek, M. Błaczek, J. Broda, M. Rom, I. Espelien, and I. Klepp, "Acoustic performance of sound absorbing materials produced from wool of local mountain sheep," *Materials*, vol. 15, no. 9, p. 3139, Apr. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ma15093139>.
- [168] M. P. Segura Alcaraz, M. Bonet-Aracil, E. Julià Sanchís, J. G. Segura Alcaraz, and I. M. Seguí, "Mimari akustik iklimlendirme tekstiller: Bir inceleme," *J. Metin. Öğr.*, vol. 10, no. 2, pp. 45–58, 2022.

- [169] K. Saravanan and C. Prakash, "Tavuk Tüyü Lifi (CFF) ve Hibrit Kompozitlerinin Akustik Özelliklerinin İncelenmesi," *Doğal Lifler Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 25–33, 2019.
- [170] K. Saravanan and D. Bhaarithi, "Polipropilen kompozit levha ile güçlendirilmiş kısa jüt lifinin çekme özelliklerine ilişkin proses değişkenlerinin araştırılması ve optimize edilmesi," *Mühendislik Elyafı ve Kumaşları Dergisi*, vol. 7, no. 4, pp. 1–7, 2012.
- [171] C. Bilge, *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [172] L. Lihua, B. Jihong, Y. Xiang, W. Xiao, W. Chunyan, and C. Yongzhu, "Atılmış ördek tüylerinden yapılan kompozitlerin ses emme özellikleri," *Tekstil ve Malzeme Mühendisliği Dergisi*, vol. 27, no. 4, pp. 215–221, 2016.
- [173] X. J. Chen, G. Q. Yin, and Y. D. Cui, "Tüy keratininin geliştirilmesi ve kullanımındaki ilerleme," *Kimya Endüstrisi ve Mühendislik İlerlemesi*, vol. 27, no. 3, pp. 310–315, 2008.
- [174] C. W. Kan, "Düşük Sıcaklıkta Plazma İşlemi Görmüş Yün Kumaşların Yüzey Özellikleri," *Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi*, vol. 83, pp. 180–184, 1998.
- [175] Y. M. Zhao, C. L. Yang, and T. Cai, "Tüy Lifinin Yapısı, Özellikleri ve Uygulamaları," *Örgü Endüstrisi*, vol. 2, no. 1, pp. 20–23, 2007.
- [176] P. Soltatani and M. Zarrebini, "Dokuma Kumaşların Akustik Performansının Yapısal Parametreler ve Hava Geçirgenliğine İlişkin Değerlendirilmesi," *Tekstil Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 3, pp. 1011–1016, 2013.
- [177] F. Shahani, P. Soltani, and M. Zarrebini, "İğne Delinmiş Dokumasız Kumaşların Akustik Özellikleri ve Ses Emilim Katsayısının Analizi," *Mühendislik Elyafı ve Kumaşları Dergisi*, vol. 2, no. 2, pp. 84–92, 2014.
- [178] T. Cox and P. d'Antonio, *Akustik Absorberler ve Difüzörler: Teori, Tasarım ve Uygulama*, 2nd ed., CRC Press, 2016.
- [179] V. Moody and H. L. Needles, *Tüylü Halı: Tekstil Lifleri, Boyalar, Bitim İşlemleri ve İşlemler*, William Andrew Publishing, 2004.
- [180] R. Fanguero, *İnşaat Mühendisliği Uygulamaları için Lifli ve Kompozit Malzemeler*, Elsevier, 2011.
- [181] ASTM, *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method (ASTM C423–17)*, West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- [182] ASTM, *Standard Terminology for Building and Environmental Acoustics (ASTM C634–13e1)*, West Conshohocken, PA, USA, 2013.
- [183] C. Bilge, *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [184] TS EN ISO, *Akustik - Binalarda Kullanılan Ses Emiciler - Ses Absorbsiyonunun Derecelendirilmesi (TS EN ISO 11654)*, 2002.
- [185] C. Bilge, *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

- [186] C. Güler and V. Doğan, “MDF Üretiminde Zımpara Tozu Kullanım Olanaklarının Araştırılması,” *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2022.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. A. Çelimli and N. Akdağ, “Sürdürülebilir Malzemelerin Akustik Özellikleri ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi,” *14. Al Farabi Uluslararası Araştırma ve Yenilik Kongresi Bildiri Kitabı*, 2025.

