

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SES YUTMA PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİNDE LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE YAPAY ZEKA
YAKLAŞIMI: SU KABAĞI LİFLERİ-EPOKSİ KOMPOZİTİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Oya KESKİN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

MAYIS 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SES YUTMA PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİNDE LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE YAPAY ZEKA
YAKLAŞIMI: SU KABAĞI LİFLERİ-EPOKSİ KOMPOZİTİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Oya KESKİN
(502142405)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ

MAYIS 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502142405 numaralı Doktora Öğrencisi Oya KESKİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SES YUTMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNDE LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE YAPAY ZEKA YAKLAŞIMI: SU KABAĞI LİFLERİ-EPOKSİ KOMPOZİTİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sevtap YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. M. Nuri İLGÜREL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 23 Nisan 2021
Savunma Tarihi : 26 Mayıs 2021





Hayatımın Tüm Değerlerine,



ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, desteğini ve zamanını esirgemeyen, ‘Ben’ olmamda çok büyük katkıları olan değerli ve sevgili hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Sevtap YILMAZ’a minnetlerimi sunarım. Ayrıca, bu zorlu ve meşakatli doktora tezi sürecinde değerli katkılarıyla desteklerini esirgemeyen sayın tez izleme komite üyelerim Prof. Dr. Leyla TANAÇAN ve Doç.Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL’e çok teşekkür ederim.

Tez sürecinde farklı konularda danıştığım, fikir aldığım, manevi ve fiziksel destek veren, laboratuvar ve ölçüm çalışmalarına katkıda bulunan herkese çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman sonsuz güvenleriyle yanımda olan, bugün bu noktaya gelmemin gerçek mimarları sevgili aileme sonsuz kez teşekkür ederim.

Bu uzun ve meşakatli yolda iyi ve kötü her anıma şahit olan, beraber kahkahalar attığım, başlarının etini yediğimde beni sabırla dinleyen sevgili arkadaşlarıma binlerce kez teşekkür ederim.

Nisan 2021

Oya KESKİN
(Yüksek Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı	4
1.3 Yapılmış Çalışmalar	7
1.3.1 Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performansı ile ilgili çalışmalar.....	7
1.3.2 Su kabağı lifleri kullanılarak yapılmış diğer çalışmalar.....	19
1.3.3 Bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılmış çalışmalar.....	23
1.4 Yöntem ve Metodoloji	24
1.4.1 El ile yayma (hand lay-up) yöntemi	26
1.4.2 Ses yutma katsayısının belirlenmesi yöntemi	28
1.4.2.1 Empedans ve durağan dalga yöntemi	28
1.4.2.2 Çınlama odası yöntemi	30
1.4.3 Ses yutma katsayısı tahmin modeli yöntemi	31
1.4.3.1 Çoklu regresyon modeli yöntemi	32
1.4.3.2 Yapay zeka tahmin modeli yöntemi	32
1.4.4 Eğilme-basınç testleri	34
2. KOMPOZİTİ OLUŞTURAN MALZEMELER, SESİN YUTULMASI	
OLAYI VE SESİN YUTULMASINI ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	37
2.1 Kompoziti Oluşturan Malzemeler	37
2.1.1 Kompozit malzemeler	37
2.1.1.1 Bitki lifli kompozit malzemeler	39
2.1.1.2 Termoset bağlayıcılı kompozit malzemeler	41
2.1.2 Su kabağı (LC) liflerinin özellikleri	43
2.1.3 Epoksi bağlayıcının özellikleri.....	44
2.2 Lifli Malzemelerde Sesin Yutulması Olayı.....	46
2.3 Sesin Yutulması ile İlgili Parametreler	52
2.3.1 Ses yutma katsayısı (α).....	52
2.3.2 Gürültü azaltım katsayısı (NRC).....	54
2.3.3 Ses yutuculuğu ortalaması (SAA)	54
2.3.4 Ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w)	55

3. SU KABAĞI (LC)-EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMESİ ÖRNEKLERİNİN ÜRETİLMESİ VE NUMUNELERİN SES YUTMA KATSAYISI ÖLÇÜMLERİ	59
3.1 Yöntem	59
3.1.1 İncelenen parametreler	59
3.1.2 Ses yutma katsayısı ölçüm yöntemi	63
3.2 Kompozit Numunelerinin Hazırlanması.....	67
3.2.1 Malzemelerin temin edilmesi	67
3.2.2 Liflerin hazırlanması	68
3.2.3 Kalıp hazırlanması.....	72
3.2.4 Lif yoğunluğu tayini	75
3.2.5 Numunelerin kalıplanması ve üretimi	76
3.3 Ses Yutma Katsayısı Ölçümleri.....	80
4. SES YUTMA KATSAYISI ÖLÇÜM SONUÇLARININ İNCELENMESİ VE EĞİLME-BASINÇ TESTİ SONUÇLARI	87
4.1 Ölçüm Sonuçlarının Parametrelere Göre İncelenmesi	87
4.1.1 Kalınlık-ses yutma katsayısı ilişkisi	87
4.1.2 Lif oranı-ses yutma katsayısı ilişkisi	92
4.1.3 Gürültü azaltım katsayısı (NRC) sonuçları	95
4.2 Eğilme-Basınç Testi Sonuçları	99
4.3 Diğer Parametreler.....	104
5. TAHMİN MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI, MODELLERİN KONTROLÜ VE ÖRNEK ÇALIŞMA İLE ÇINLAMA SÜRESİ HESABI	111
5.1 Ses Yutma Katsayısı Tahmin Modellerinin Kurulması.....	111
5.1.1 Çoklu regresyon analizi.....	111
5.1.2 Bulanık mantık (Fuzzy Logic) modeli	113
5.1.3 Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) modeli	115
5.2 Tahmin Modellerinin Kontrolü	117
5.3 Çınlama Süresinin Belirlenmesi için Örnek Çalışma	123
5.3.1 Salon tasarım kabulleri	124
5.3.2 Çınlama süresinin hesaplanması.....	128
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
6.1 Sonuç	137
6.2 Değerlendirme ve Öneriler	143
KAYNAKLAR.....	149
ÖZGEÇMİŞ.....	159

KISALTMALAR

ANFIS	: Adaptive Neural Fuzzy Inference System
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CNC	: Computer Numerical Control
FDM	: Fused Deposition Modelling
FFF	: Fused Filament Fabrication
GRNN	: General Regression Neural Network
ISO	: International Organization of Standardization
LC	: Luffa Cylindrica
LCE	: Luffa Cylindrica-Epoksi
MATLAB	: Matrix Laboratory
NaOH	: Sodyumhidroksit
NRC	: Noise Reduction Coefficient
PALF	: Palm Leaf Fiber
PLA	: Polilaktikasit
RT	: Reverberation Time
SAA	: Sound Absorption Average
SEM	: Scanning Electron Microscope
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: World Health Organization



SEMBOLLER

A	: Alan, mm ²
a	: Lif çapı
b	: Prizma şekilli numunenin kare kesit uzunluğu, mm
b_n	: Numune eni, mm
c₀	: Sesin havadaki hızı, m/sn
D	: Numune yoğunluğu, kg/m ³
d	: Örnek kalınlığı
d_{pf}	: Her bir iplikteki dokuma sıklığı
F	: Kırılma kuvveti
f	: Frekans
f_c	: Basınç dayanımı, µPa
f_{cf}	: Eğilme dayanımı, µPa
F_{eğ}	: Uygulanan kuvvet, N
F_f	: Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N
h	: Numune yüksekliği, mm
L	: Numune boyu, mm
l	: Mesnet silindirleri arası mesafe, mm
L_m	: Mesnetler arası mesafe, mm
k	: Girdi sayısı
m	: Kütle
M_a	: Numunenin havadaki kütlesi, g
m_a	: Birim alan başına düşen hava kütlesi
M_w	: Numunenin su içindeki görünür kütlesi, g
m_w	: Ses dalgasının çarptığı engelin birim alan başına düşen kütlesi
P_a	: Yüzeyden yutulan ses dalgası
P_f	: Yapı kaynaklı iletilen ses dalgası
P_i	: Ses gücü
P_r	: Yüzeyden yansıyan ses dalgası
P_t	: Yüzeyden geçen ses dalgası

P_0	: Yoğunluk, kg/m^3
q_v	: Hacimsel akış oranı, m^3/sn
R	: Her bir m^3 'teki pascal saniye
R_f	: Eğilme dayanımı, μPa
R_s	: Spesifik akış direnci
r^2	: Üstel ilişki
U	: Hata terimi
V	: Numune hacmi
V_i	: Ses parçacık hızı
W	: Numune kütlesi, gr
X	: Bağımsız değişken
Y	: Bağımlı değişken
Z_0	: Dalga direnci
α	: Ses yutma katsayısı
α_c	: Empedans tüpünden elde edilen ses yutma katsayılarının çınlama odası formülü ile dönüştürülmüş karşılığı
α_e	: Yaygın olarak gelen ses dalgasına ait ses yutma katsayısı (random incidence)
α_{pi}	: Her bir oktav bant için 1/3 oktav bant ses yutma katsayısı aritmetik ortalaması
α_w	: TS EN ISO 11654:2002 standardında belirtilen ağırlıklı ses yutma katsayısı
α_0	: Direkt olarak gelen ses dalgasına ait ses yutma katsayısı (normal incidence)
β	: Regresyon katsayısı
ρ_w	: Suyun ölçülen sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm^3
Δp	: Hava basınç değişimi, pa
σ	: Akış direnci
η	: Havanın vizkozitesi
ε	: Gözeneklilik düzeyi
λ	: Dalga boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Çay yaprağı lifleri ile poliol ve izosiyanat kompoziti oranları.....	13
Çizelge 1.2 : Poliol ve izosiyanatın özellikleri.	13
Çizelge 1.3 : Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performansı ile ilgili yapılmış olan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçların özet tablosu.	17
Çizelge 1.4 : Su kabağı (LC) lifleri kullanılarak yapılmış olan çalışmaların özet tablosu.....	20
Çizelge 2.1 : Lif çapı-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.....	48
Çizelge 2.2 : Lifli kompozitlerde akış direncinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar	49
Çizelge 2.3 : Malzeme kalınlığı-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.	50
Çizelge 2.4 : Malzeme yoğunluğu-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.....	51
Çizelge 2.5 : Basınç-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.	51
Çizelge 2.6 : Ses yutma sınıflarına ait ağırlıklı ses yutma katsayısı değerleri	56
Çizelge 3.1 : Çalışma kapsamında incelenen ve incelenemeyen parametreler	63
Çizelge 3.2 : Kompozit numunelerinin fiziksel özellikleri.....	77
Çizelge 3.3 : Kompozit numunelerinin kodlandırılması.....	78
Çizelge 3.4 : Numunelerin ölçüm sonucu elde edilen farklı frekanslardaki ses yutma katsayısı (α) değerleri	86
Çizelge 4.1 : 3 noktadan yüklemeli eğilme dayanımı testi sonuçları	101
Çizelge 4.2 : Basınç dayanımı testi sonuçları.....	103
Çizelge 4.3 : 1cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değerleri toplu sonuçları	105
Çizelge 4.4 : 3cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değerleri toplu sonuçları	107
Çizelge 4.5 : 5cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değerleri toplu sonuçları	109
Çizelge 5.1 : Test numunelerinin kodlandırılması ve fiziksel özellikleri.....	118
Çizelge 5.2 : LCE2%90 test numunesinin ölçüm ve tahmin modeli sonucu ses yutma katsayıları.....	120
Çizelge 5.3 : LCE4%70 test numunesinin ölçüm ve tahmin modeli sonucu ses yutma katsayıları.....	120
Çizelge 6.1 : Bir çalışmada üretilmiş bambu lifli malzeme ile LCE kompozitlerinin ses yutma katsayılarının karşılaştırılması	146



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Süreç akış şeması.	6
Şekil 1.2 : Bambu lifleri ile üretilen farklı kalınlıktaki malzemelerin ses yutma katsayıları	8
Şekil 1.3 : Farklı yoğunluktaki bambu lifleriyle üretilen kompozit malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri.	8
Şekil 1.4 : Farklı çap aralıklarında gruplandırılmış lifler ile üretilen kompozit malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri.	8
Şekil 1.5 : Hindistan cevizi lifleri kullanılarak üretilen kompozit malzemenin ses yutma katsayısı değerleri.	10
Şekil 1.6 : Çay yaprağı liflerinin ses yutuculuğu.	10
Şekil 1.7 : Malezya palmyesi liflerinin ses yutuculuğu.	11
Şekil 1.8 : Kapok liflerinin farklı yoğunlukla kullanılmasıyla üretilen malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri	12
Şekil 1.9 : Çay yaprağı lifli kompozitlerin ses yutma katsayıları.	14
Şekil 1.10 : Rastgele ve düzenli olarak yerleştirilen lifler ile üretilen kompozit malzemenin ses yutuculuğunun kıyaslanması.	14
Şekil 1.11 : El ile yayma yöntemi işlemi süreç şeması	27
Şekil 1.12 : Üyelik derecesi fonksiyonları;klasik küme ve bulanık küme.	33
Şekil 1.13 : ANFIS kümeleme şeması.	34
Şekil 1.14 : 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi boyutları	34
Şekil 2.1 : Bir kompozitin şematik gösterimi	38
Şekil 2.2 : Farklı tip kompozitlerin sınıflandırılması	39
Şekil 2.3 : Doğal liflerin sınıflandırılması.	40
Şekil 2.4 : Yutucu bir yüzeye çarpan ses dalgasının yolu	53
Şekil 2.5 : Ağırlıklı ses yutma katsayısının hesaplanması için kullanılacak referans eğrisi	56
Şekil 2.6 : Farklı ses yutma sınıflarına ait referans eğriler	57
Şekil 3.1 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapısının SEM görüntüsü	60
Şekil 3.2 : Su kabağı (LC) liflerinin damarlı yapısının SEM görüntüsü	61
Şekil 3.3 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapısının farklı noktalarındaki lif çapı örnekleri	62
Şekil 3.4 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapısının farklı noktalarındaki lif çapı örnekleri (yakın plan)	62
Şekil 3.5 : TestSense Empedans Tüpü.	64
Şekil 3.6 : Empedans tüpü çalışma prensibi şematik gösterimi	65
Şekil 3.7 : Empedans tüpü kalibrasyon aşaması bilgisayar programı ekran görüntüsü	66
Şekil 3.8 : Mikrofonların empedans tüpü üzerine yerleştirilmesi.	66
Şekil 3.9: Empedans tüpü ses yutma katsayısı ölçümlerinin bilgisayar programına aktarılması	67

Şekil 3.10 : Kompozit üretimi için temin edilen ham su kabağı (LC) lifi	68
Şekil 3.11 : Kompozit üretimi için temin edilen bağlayıcı epoksi ve sertleştiricisi	68
Şekil 3.12 : Su kabağı (Luffa Cylindrica) liflerinin doğadan elde edildiği hali (üstte), çekirdeklerin çıkartılmış hali (solda) ve liflerin kompozit için parçalanmış hali (sağda)	69
Şekil 3.13 : Ağartma işlemi öncesinde su kabağı (Luffa Cylindrica) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü	70
Şekil 3.14 : Kaynar suda bekletilmiş su kabağı (Luffa Cylindirca) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü	71
Şekil 3.15 : 2 saat süresince %1'lik NaOH çözeltisinde bekletilerek ağartma işlemi uygulanmış su kabağı (Luffa Cylindrica) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü	71
Şekil 3.16 : CNC tezgahlarının donanımı	72
Şekil 3.17 : 3Ds yazıcı ile imalat akış süreci	73
Şekil 3.18 : FDM tipi 3Ds yazıcı teknolojisi	74
Şekil 3.19 : Kalıp model çizimi (a) ve CNC kalıp üretimi (b).....	74
Şekil 3.20 : Helyum piknometre ile su kabağı liflerinin yoğunluk tayini.....	75
Şekil 3.21 : Su kabağı liflerinin ağırlık ölçümü.....	76
Şekil 3.22 : El ile yayma yöntemi ile üretilen su kabağı (LC) lifi-epoksi kompozit numunelerine epoksi enjekte edilmesi	78
Şekil 3.23 : Üretilen kompozit numuneleri	79
Şekil 3.24 : 5cm kalınlıklı %50, 60, 70, 80 ve 90 lif oranlı numunelerin yüzey görseli	79
Şekil 3.25 : 1cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE1%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	80
Şekil 3.26 : 1cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE1%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	81
Şekil 3.27 : 1cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE1%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	81
Şekil 3.28 : 1cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE1%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	81
Şekil 3.29 : 1cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE1%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.....	82
Şekil 3.30 : 3cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE3%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	82
Şekil 3.31 : 3cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE3%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	82
Şekil 3.32 : 3cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE3%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	83
Şekil 3.33 : 3cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE3%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	83
Şekil 3.34 : 3cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE3%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.....	83
Şekil 3.35 : 5cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE5%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	84
Şekil 3.36 : 5cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE5%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.....	84
Şekil 3.37 : 5cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE5%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	84

Şekil 3.38 : 5cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE5%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	85
Şekil 3.39 : 5cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE5%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları	85
Şekil 4.1 : %50 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%50, LCE3%50 ve LCE5%50 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	88
Şekil 4.2 : %60 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%60, LCE3%60 ve LCE5%60 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	89
Şekil 4.3 : %70 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%70, LCE3%70 ve LCE5%70 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	90
Şekil 4.4 : %80 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%80, LCE3%80 ve LCE5%80 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	90
Şekil 4.5 : %90 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%90, LCE3%90 ve LCE5%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	91
Şekil 4.6 : 1cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE1%50, LCE1%60, LCE1%70, LCE1%80 ve LCE1%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	93
Şekil 4.7 : 3cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE3%50, LCE3%60, LCE3%70, LCE3%80 ve LCE3%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	93
Şekil 4.8 : 5cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE5%50, LCE5%60, LCE5%70, LCE5%80 ve LCE5%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması	94
Şekil 4.9 : %50 lif oranlı 1cm (LCE1%50), 3cm (LCE3%50) ve 5cm (LCE5%50) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması	95
Şekil 4.10 : %60 lif oranlı 1cm (LCE1%60), 3cm (LCE3%60) ve 5cm (LCE5%60) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması	96
Şekil 4.11 : %70 lif oranlı 1cm (LCE1%70), 3cm (LCE3%70) ve 5cm (LCE5%70) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması	96
Şekil 4.12 : %80 lif oranlı 1cm (LCE1%80), 3cm (LCE3%80) ve 5cm (LCE5%80) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması	96
Şekil 4.13 : %90 lif oranlı 1cm (LCE1%90), 3cm (LCE3%90) ve 5cm (LCE5%90) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması	97
Şekil 4.14 : 1cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE1%50, LCE1%60, LCE1%70, LCE1%80 ve LCE1%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması	97
Şekil 4.15 : 3cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE3%50, LCE3%60, LCE3%70, LCE3%80 ve LCE3%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması	98
Şekil 4.16 : 5cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE5%50, LCE5%60, LCE5%70, LCE5%80 ve LCE5%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması	98
Şekil 4.17 : Kompozit numunelerinin tüm kalınlık ve lif oranları için NRC değerleri	99
Şekil 4.18 : 3 noktalı bükme test makinesi ile eğilme dayanımı ölçümü	101
Şekil 4.19 : Eğilme dayanımı-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği	102
Şekil 4.20 : Numunelerin laboratuvar ortamında basınç testine tabi tutulması	103
Şekil 4.21 : Basınç dayanımı-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği	104
Şekil 4.22 : 1cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları	106

Şekil 4.23 : 3cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları	108
Şekil 4.24 : 5cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları	110
Şekil 5.1 : Çoklu regresyon model ve ölçüm sonuçları saçılım diyagramı	113
Şekil 5.2 : Üyelik fonksiyonları: (a) frekans, (b) kalınlık, (c) lif oranı	114
Şekil 5.3 : Ses yutma katsayısı ölçüm sonuçları ile bulanık mantık model sonuçlarının saçılım diyagramı	115
Şekil 5.4 : ANFIS uygulaması ekran görüntüsü	116
Şekil 5.5 : Ses yutma katsayısı ölçüm sonuçları ile ANFIS model sonuçlarının saçılım diyagramı	117
Şekil 5.6 : 2cm ve 4cm kalınlığında üretilen LCE2%90 ve LCE4%70 numuneleri	118
Şekil 5.7 : 2cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE2%90 numunesinin ses yutma katsayısı değerleri	119
Şekil 5.8 : 4cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE4%70 numunesinin ses yutma katsayısı değerleri	119
Şekil 5.9 : LCE2%90 test numunesi ses yutma katsayılarının karşılaştırma grafiği	121
Şekil 5.10 : LCE4%70 test numunesi ses yutma katsayıları karşılaştırma grafiği ..	121
Şekil 5.11 : LCE2%90 test numunesi ölçüm ve ANFIS modeli ses yutma katsayılarının karşılaştırma grafiği	122
Şekil 5.12 : LCE4%70 test numunesi ölçüm ve ANFIS modeli ses yutma katsayılarının karşılaştırma grafiği	122
Şekil 5.13 : Fan şekilli konferans salonu planı	124
Şekil 5.14 : Konferans salonu kesiti ve görüş kontrol referans çizgileri	125
Şekil 5.15 : Çok amaçlı salon planı duvar yansıması kontrolleri	126
Şekil 5.16 : Çok amaçlı salon planı tavan yansıması kontrolleri	127
Şekil 5.17 : Çınlama süresini belirlemede kullanılan grafik	128
Şekil 5.18 : Salon yüzeyleri bitirme malzemelerinin ses yutuculuk kararlarının plan üzerinde gösterimi	129
Şekil 5.19 : Salonun akustik iyileştirme yapılmadan mevcut durum çınlama süresinin hesaplanması	130
Şekil 5.20 : Salon mevcut durum çınlama süresi grafiği	131
Şekil 5.21 : Konferans salonu çınlama süresinin frekanslara bağlı olarak ayarlanması için getirilen öneriler	132
Şekil 5.22 : Salon akustik olarak iyileştirilmiş çınlama süresi grafiği	134
Şekil 5.23 : Çınlama süresi hesabında belirlenen metrekaarelere göre yan duvar tasarımı önerisi	135
Şekil 6.1 : Kompozit numunelerinin empedans tüpünde ölçülen ses yutma katsayıları	141

DOĞAL LİFLİ KOMPOZİTLERİN SES YUTMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNDE LABORATUVAR ÇALIŞMASI VE YAPAY ZEKA YAKLAŞIMI: SU KABAĞI LİFLERİ-EPOKSİ KOMPOZİTİ ÖRNEĞİ

ÖZET

İnsan sağlığını ve konforunu etkileyen çeşitli çevresel faktörler vardır. Kapalı ortamlarda sesin kontrolü de bu faktörlerden bir tanesidir. Kapalı bir mekanda sesin kontrol altına alınmasını etkileyen pek çok faktör vardır. Mekanın formu, hacmi, yüzeylerde kullanılan bitirme malzemeleri gibi faktörler, sesin mekan içerisinde yayılması ve alıcıya ulaşma süresi / biçimi noktasında oldukça önemlidir. Özellikle konser, tiyatro, opera, konferans salonu gibi akustik tasarımın son derece önemli olduğu kapalı mekan tasarımlarında, henüz yapı formu avan proje aşamasındayken salon formunun akustik unsurlara göre önceden belirlenen (U şekli, Fan şekli, At nalı şekli gibi) plan formunda tasarlanması sonrasındaki akustik düzenlemeler için uygun bir ortam sağlayacaktır. Mekan tasarımı tamamlandıktan sonra akustik proje aşamasında, kapalı mekan içerisindeki en önemli akustik parametre çınlama süresi olacaktır. Çınlama süresi (RT), bir mekan içerisinde ses kaynağının kapatıldığı andan itibaren ses gücü düzeyinin 60 dB azaltımı için geçen süredir. Çınlama süresi (RT) referans değerleri, kapalı mekanın kullanım amacına göre değişecek şekilde yönetmeliklerde belirlenmiştir. Bir mekanın çınlama süresinin hesaplanmasında, mekanın hacmi, yapı elemanı (duvar, döşeme, tavan) yüzey alanları ve yüzeylerde kullanılan bitirme malzemelerinin ses yutma katsayıları (α) değerleri kullanılmaktadır.

Mekarlarda sesin yutulması için pek çok farklı malzeme türü kullanılabilir. Genellikle gözenekli (lifli) malzemeler, köpükler, delikli paneller ve rezonatörler sesin yutulması için tercih edilen malzemelerdir. Her malzemenin etkin olduğu frekans aralıkları malzeme özelliğine göre değişmektedir.

Lifli malzemeler genellikle doğal ve yapay lifli malzemeler olarak ayrılırlar ve doğadan elde edildiği ham halinde dokuma formunda ya da bağlayıcı malzemeler ile kompozit haline getirilerek kullanılırlar. Piyasa şartlarında cam yünü, taş yünü gibi yapay lifler çoğunluklu olarak tercih edilse de, son yıllarda özellikle bu liflerle ilgili ortaya çıkan problemler sebebiyle doğal liflere olan yönelim de artmıştır. Pek çok çalışma, cam yünü gibi yapay liflerin özellikle uygulama sırasında uygulamayı yapan işçinin ciğerlerine kaçma ve uzun vadede ciğerlere zarar verme gibi sağlık problemleri yarattığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda, tükenen enerji kaynakları gibi çevresel problemler pek çok alanda olduğu gibi malzeme alanında da üreticileri geri dönüştürülebilir kaynaklara doğru yöneltmiştir.

Bu çalışmada, yapay lifli ses yutucu malzemelerin yerine kullanılabilecek doğal lifli kompozit bir malzeme üretilmesi ve malzemenin ses yutma katsayısının belirlenmesinde maliyet ve zamandan tasarruf ettirecek yeni bir yöntem önerilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, ilk olarak mekarlarda sesin kontrol edilmesi ve çınlama süresinin ayarlanmasında, yapay lifli malzemeler yerine kullanılabilecek ses yutucu doğal lifli bir malzemenin literatüre ve uygulamaya kazandırılması

hedeflenmiştir. Çalışmanın devamında, üretilen bu malzemeden elde edilen ses yutma katsayısı verileri kullanılarak, yıllardır kullanılan geleneksel çınlama odası ve empedans tüpü ölçüm yöntemleri yerine ses yutma katsayısının belirlenmesinde yapay zeka yönteminin kullanılabilirliğinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin pek çok yerinde ve dünyada kolaylıkla üretilen ve özellikle otomotiv sektöründe kullanımı tercih edilen su kabağı lifleri ile termoset bir bağlayıcı olan epoksi malzemesi kullanılarak yapay malzemelere alternatif doğal lifli kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitlerden elde edilen ses yutma katsayısı verileriyle de günümüzde farklı alanlarda kullanılan fakat henüz ses yutma katsayısının belirlenmesinde kullanımına rastlanmamış 'bulanık mantık' yöntemi ile ses yutma katsayısı tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın her aşamasında çeşitli yöntemler kullanılmıştır. İlk olarak, çalışma kapsamında kompozit malzemelerin üretilmesi için el ile yayma (hand lay-up) yöntemi kullanılarak laboratuvar ortamında numunelerin üretimi sağlanmıştır. Bu yöntemin seçilmesinde laboratuvar şartları ve malzemelerin işlenme özellikleri etkili olmuştur. Kompozit üretimi tamamlandıktan sonra numunelerin ses yutma katsayılarının ölçümünde empedans ve durağan dalga yöntemleri ile çınlama odası yöntemlerinden empedans ve durağan dalga yöntemi seçilmiştir. Empedans ve durağan dalga yöntemi için boyutsal olarak küçük numunelerin üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, akademik çalışmalarda bu yöntemle ses yutma katsayısının belirlenmesi tercih edilmektedir. Malzemenin endüstriyel üretimine geçileceği noktada bu defa çınlama odası yöntemi kullanılmaktadır. Çünkü ses yutma katsayısı tayininde en gerçekçi ölçüm çınlama odası yöntemi ile elde edilir. Çınlama odası yönteminde üretilen numune boyutları büyük olacağından, bu yöntem akademik çalışmalar için pahalı bir yöntemdir bu nedenle de öncelikli olarak tercih edilmez. Ancak, malzeme piyasaya sürülecek ise mutlaka çınlama odası yöntemi ile de ses yutma katsayılarının ölçülmesi gerekmektedir.

Ses yutma katsayıları belirlendikten sonra çalışmanın son aşamasında ses yutma katsayısı tahmin modellerinin kurulmasında uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) programı, bulanık mantık (Fuzzy Logic) programı ve çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, kompozit üretiminin yapılabilmesi için, kullanılacak doğal lif ve bağlayıcı belirlenmiştir ve akabinde su kabağı lifi ve epoksi malzemelerinin temini sağlanmıştır. Daha sonra ses yutma performansı üzerinde etkili olan parametreler incelenmiş ve bunlar içerisinde kalınlık ve lif oranı parametrelerinin ses yutma performansına etkisinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinde, liflerin yapısal ve fiziksel özellikleri ile laboratuvar olanakları etkili olmuştur. Bu bağlamda, üretilen farklı numunelerin fiziksel özellikleri (numunelerin kalınlıkları ve numune içerisinde kullanılacak lif oranları) belirlenmiştir ve bu özelliklere göre CNC kalıplar hazırlanmıştır. Kalıp boyutları belirlenirken, empedans tüpü boyutları da dikkate alınmıştır. Kalıp üretimi tamamlandıktan sonra, su kabağı lifleri, liflerin ayrışması, temizlenmesi, alkalize edilmesi gibi çeşitli işlemlerden geçirilerek kompozitte kullanılabilir hale getirilmiştir. Daha sonra, lifler ve epoksi önceden belirlenmiş oranlarda kalıplara yerleştirilmiş ve kürlenmeye bırakılmıştır.

Kompozit numunelerinin üretimi tamamlandıktan sonra empedans tüpü kullanılarak ses yutma katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Buna göre, hazırlanan numuneler empedans tüpü içerisine yerleştirilmiş ve farklı frekanslarda ses yutma katsayıları belirlenmiştir. İlk aşamanın sonunda çalışmadan beklenen çıktı malzeme kalınlığı ve lif oranı

parametrelerinin su kabağı-epoksi kompozitinin ses yutma performansı üzerindeki etkisinin ortaya koyulmasıdır. Bu bağlamda, çalışmanın bu aşamasının sonunda kalınlık ve lif oranının kompozitin ses yutma performansı üzerinde etkili bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Genel bir değerlendirme ile şu söylenebilir ki kalınlık artışı özellikle alçak frekanslarda etkili bir parametredir. Lif oranı arttıkça tüm frekanslarda yutuculuk artmıştır. Her iki parametre için de bazı numunelerde ve bazı frekanslarda genellemenin dışında sonuçlar elde edilse de bunlar da özel koşullara göre yorumlanmışlardır. Buna ek olarak, numunelerin gürültü azaltım katsayıları (NRC) belirlenmiş ve incelenmiştir.

Çalışmadaki ikinci aşama, kompozitlerin ses yutma katsayısının belirlenmesinde bulanık mantık modellerinin kullanılabilirliğinin ispatlanmasıdır. Bu aşamada, frekans, kalınlık ve lif oranı parametreleri ile ilk aşamanın çıktısı olan ses yutma katsayıları girdi olarak kullanılmıştır. Model için üç farklı program kullanılmış ve her bir programın ayrı ayrı ölçüm sonuçları ile arasındaki ilişki ortaya koyulmuştur. İlk olarak çoklu regresyon analizi için SPSS programı kullanılmıştır. Sırasıyla frekans, malzeme kalınlığı ve lif oranı parametreleri girdi olarak kullanılmış ve sonunda ses yutma katsayısının hesaplanabilmesi için bir matematik formülü elde edilmiştir. Formül kullanılarak hesaplanan ses yutma katsayısı sonuçları ile empedans tüpü ölçümü sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aralarında %77 oranında bir tutarlılık olduğu belirlenmiştir. Bu tür çalışmalarda %70 üzerinde korelasyon elde edilmesi üretilen modelin kullanılabilir olduğunu göstermesine rağmen, sonuç değeri %70'e çok yakın olduğu için çoklu regresyon analizinin ses yutma katsayısı tayininde kullanılabilirliği üzerine kesin bir yorum yapılamamıştır. Çoklu regresyon analizinden sonra bulanık mantık modeline geçilmiştir. Burada, MathLAB programını kullanan Fuzzy Logic'te model kurulumu için frekans, malzeme kalınlığı ve lif oranı verileri girdi olarak belirlenmiş ses yutma katsayıları da çıktı olarak programa tanıtılmıştır. Sonrasında 15 farklı numune için girdi ve çıktılar göz önünde bulundurularak 90 adet kural programa tanımlanmıştır. Bu kurallar doğrultusunda kurulan modele ses yutma katsayısı tahminleri yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlar beklenenin çok üzerinde çıkmıştır. Fuzzy Logic programı çıktıları ile ölçüm sonuçları arasında % 98 uyum çıkmıştır ki bu neredeyse birebir aynı katsayıların elde edildiği anlamına gelir. Bu umut verici gelişmeden sonra Fuzzy Logic programına benzer olan ANFIS programı kullanılmıştır. Bu iki program arasındaki tek fark Fuzzy Logic'te kurallar manuel olarak girilirken uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım programı olan ANFIS'in girdi ve çıktıları kullanarak kuralları kendisinin belirlemesidir. Tıpkı Fuzzy Logic programında olduğu gibi frekans, malzeme kalınlığı ve lif oranı girdi, ölçümden elde edilen ses yutma katsayıları çıktı olarak programa tanımlanmış ve model oluşturulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında, ölçüm sonuçları ile arasında %99 uyum elde edilmiştir.

Çalışma sonuçları, Su kabağı-epoksi kompozit malzemesinin piyasada bulunan yapay lifli ses yutucu malzemeler yerine alternatif bir yutucu malzeme olarak kullanılabilirliğini gözler önüne sermiştir. Bu çalışma aracılığıyla doğal lifli kompozit bir malzeme literatüre kazandırılmıştır.

Çalışma diğer bir yandan da, gelişen teknolojiye ayak uydurarak geleneksel yöntemler yerine daha çağdaş yöntemlerin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Ses yutma katsayısı tayininde yapay zeka kullanılmasının, numune üretim ve ölçüm sürecinde zaman ve ekonomik tasarruf sağlayacağı açıkça ortadadır.



**A LABORATORY STUDY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE
APPROACH IN DETERMINING SOUND ABSORPTION PERFORMANCE
OF NATURAL FIBER COMPOSITES: A CASE STUDY OF LUFFA
CYLINDRICA FIBERS-EPOXY COMPOSITE**

SUMMARY

There are various environmental factors affecting human health and comfort. Sound control in enclosed spaces is one of these factors. There are many factors that affect the sound control in an enclosed space. Factors such as the form and volume of the space, and the finishing materials used on the surfaces are very important in terms of the propagation of the sound within the space and the time or form of reaching the receiver. Especially for space designs such as concert, theater, opera, conference hall, where acoustic design is extremely important, when the building form is still at the preliminary project stage, the hall form should be designed in the proper plan form (U shape, Fan shape, Horseshoe shape) which is determined according to the acoustic elements. It will provide a suitable environment for acoustic arrangements. After the space design is completed, the most important acoustic parameter of space will be the reverberation time during the acoustic project phase. The reverberation time (RT) is the time it takes to reduce the sound power level by 60dB from the moment the sound source is turned off in a room. The reference values of the reverberation time (RT) are determined in the regulations, depending on the intended use of the indoor space. In the calculation of the reverberation time of a space, the volume of the space, the surface areas of the building element (wall, floor, ceiling) and the sound absorption coefficients (α) of the finishing materials used on the surfaces are used.

Many different types of materials can be used as a sound absorber as finishing material. Generally, porous (fibrous) materials, foams, perforated panels and resonators are sound absorption materials. The frequency ranges in which each material is effective varies according to the material properties.

Fibrous materials are generally divided into natural and synthetic fiber materials and are used in the form of weaving in the raw form obtained from nature or by composing with binding materials. Although synthetic fibers such as glass wool and rock wool are mostly preferred in market, the tendency towards natural fibers has increased in recent years due to the problems that have arisen especially with these fibers. Many studies have revealed that synthetic fibers such as glass wool create health problems such as deforming the lungs of the worker who performs the application and damaging the lungs in the long term. At the same time, environmental problems such as depleted energy resources have directed manufacturers towards natural resources in the field of materials as in many areas.

In this study, it is aimed to produce a natural fiber composite material that can be used instead of synthetic fiber sound absorbing materials and to propose a new method that will save cost and time in determining the sound absorption coefficient of the material. Within the scope of the study, it is aimed to introduce a natural fiber material that can

be used instead of synthetic fiber materials to the literature and practice in controlling the sound in the spaces and adjusting the reverberation time. In the continuation of the study, using the sound absorption coefficient data obtained from this material produced, it is aimed to reveal the use of artificial intelligence method in determining the sound absorption coefficient instead of the traditional reverberation room and impedance tube measurement methods used for years.

Within the scope of the thesis, a natural fiber composite material is produced using luffa cylindrica fibers and epoxy material, which is a thermoset binder. With the sound absorption coefficient data obtained from the produced composites, sound absorption coefficient estimation models were created with the "fuzzy logic" method, which is used in different fields today but has not yet found a wide area of use in the field of architecture and materials.

Various methods were used at every stage of the study. First of all, samples were produced in the laboratory using the hand lay-up method for the production of composite materials. Laboratory conditions and processing properties of the materials were effective in the selection of this method. After the composite production was completed, the impedance tube method have been used to measure the sound absorption coefficients of the samples. Dimensionally small samples must be produced for the impedance and standing wave method. For this reason, it is preferred to determine the sound absorption coefficient with this method in academic studies. At the point where the industrial production of the material will be switched to, the reverberation chamber method is used. Because the most realistic measurement in the determination of the sound absorption coefficient is obtained by the reverberation chamber method. Since the sample sizes to be produced in the reverberation chamber method will be large, this method is an expensive method for academic studies, so it is not preferred as a priority. However, if the material is to be released to the market, the sound absorption coefficients must be measured with the reverberation chamber method.

After determining the sound absorption coefficients, adaptive network based fuzzy inference (ANFIS) program, fuzzy logic program and multiple regression analysis method were used in the final stage of the study to establish sound absorption coefficient estimation models.

In the first stage of the study, the natural fiber and binder to be used were determined in order to make composite production, and then the gourd fiber and epoxy materials were supplied. Then, the parameters that affect the sound absorption performance were examined and these were given until the evaluation of the effect of thickness and fiber ratio parameters on sound absorption performance. The structural and physical properties of the fibers and laboratory facilities were effective in determining these parameters. In this context, the physical properties (thickness of the samples and fiber ratios to be used in the sample) of the different samples to be produced were determined and CNC molds were prepared according to these properties. Impedance tube dimensions were also taken into consideration while determining the mold sizes. After the mold production was completed, luffa cylindrica fibers were made usable in the composite by various processes. In the final stage of composite production, the fibers and epoxy are placed in molds at predetermined proportions and left to cure.

After the production of the composite samples was completed, the sound absorption coefficients were calculated using an impedance tube. At the end of the first stage, the expected output from the study is to demonstrate the effect of material thickness and

fiber ratio parameters on the sound absorption performance of the luffa cylindrica fibers-epoxy composite. In this context, at the end of this stage of the study, it was revealed that the thickness and fiber ratio is an effective parameter on the sound absorption performance of the composite. In addition, the noise reduction coefficients (NRC) of the samples were determined and examined.

The second stage in the study is to prove the usability of fuzzy logic models in determining the sound absorption coefficient of composites. In this stage, frequency, thickness and fiber ratio parameters and sound absorption coefficients, which are the output of the first stage, were used as inputs. Three different programs were used for the model and the relationship between each program and the measurement results separately was revealed. First, the SPSS program was used for multiple regression analysis. Frequency, material thickness and fiber ratio parameters were used as inputs, respectively, and finally a mathematical formula was obtained to calculate the sound absorption coefficient. When the sound absorption coefficient results calculated using the formula and the results obtained as a result of the impedance tube measurement were compared, it was determined that there was a 77% consistency between them. Although obtaining a correlation above 70% in such studies shows that the produced model is usable, a definite comment could not be made on the usability of multiple regression analysis in determining the sound absorption coefficient, since the result value is very close to 70%.

After multiple regression analysis, fuzzy logic model was used. In Fuzzy Logic, which uses the MathLAB program, the frequency, material thickness and fiber ratio data were determined as inputs for the model setup, and the sound absorption coefficients were introduced to the program as output. Afterwards, 90 rules were defined in the program by considering inputs and outputs for 15 different samples. Sound absorption coefficient estimates were made to the model established in accordance with these rules. The correlation in the results obtained was much higher than expected. There was 98% agreement between the Fuzzy Logic program outputs and the measurement results, which means that almost exactly the same coefficients were obtained.

After this promising development, the ANFIS program, similar to the Fuzzy Logic program, was used. The only difference between these two programs is that while rules are entered manually in Fuzzy Logic, ANFIS, which is an adaptive network-based fuzzy inference program, determines the rules by using the inputs and outputs. Just like in the Fuzzy Logic program, frequency, material thickness and fiber ratio are input and the sound absorption coefficients obtained from the measurement are defined to the program as output and the model is created. When the results were compared, 99% agreement was obtained between the measurement results.

The results of the study revealed that the luffa cylindrica fibers-epoxy composite material can be used as an alternative absorber material instead of synthetic fiber sound absorbing materials available in the market. Through this study, a natural fiber composite material has been brought to the literature.

On the other hand, the study has revealed the usability of more contemporary methods instead of traditional methods by keeping up with the developing technology. It is obvious that using artificial intelligence in the determination of the sound absorption coefficient will save time and economy in the sample production and measurement process.



1. GİRİŞ

İnsan hayatında seslerin doğru algılanması, insanların huzuru ve sağlığı için büyük önem taşımaktadır. İnsanlar tarafından en basit tabirle rahatsız edici sesler ‘gürültü’ olarak adlandırılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini, psikolojik, fizyolojik ve fiziksel olarak tanımlamıştır (Bozkurt ve Demirkale, 2018). Günlük yaşamda, insanlar açık (ana caddeler, meydanlar, havalimanları vb.) ve kapalı mekânlarda (ofis, restoran, okul, tiyatro salonu vb.) farklı ses düzeylerine maruz kalmaktadırlar. Farklı mekanlar için olması gereken ses düzeyleri her ülkenin kendine ait yönetmeliklerinde belirtilmiştir. Bir mekanın kullanım amacına göre sağlanması gereken ideal ses gücü düzeyleri, Türkiye için, ‘Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’ 30082 sayılı Resmi Gazete’de 2017 yılında yayınlanmış ve 2018 yılında revizyon getirilmiştir. Kapalı mekanlarda, belirlenen ses düzeylerinin üzerinde sese maruz kalınması, insanlar üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Kuttruff, H. (2014), bu durumu pek çok insanın maruz kaldıkları akustik ortamın farkında olmalarına rağmen, bunu ‘iyi veya zayıf akustik’ olarak tanımlayarak; sebeplerini anlayabilen çok az sayıda kişi olduğunu söylemiştir. Gürültünün kontrol altına alınabilmesinde pek çok farklı parametre vardır. Bunlar, kontrol altına alınması istenen sesin açık veya kapalı mekanda olmasına göre değişiklik gösterir.

Kapalı bir mekan içerisindeki ses düzeyini etkileyen pek çok farklı unsur vardır. Öncelikli olarak mekanın işlevi ve ses kaynağının türü, mekan içerisindeki ideal ses düzeyinin belirlenmesi için incelenmesi gereken ilk unsurlardır. Örneğin, bir tiyatro salonunda mekanın işlevi noktasında, alıcının konuşma ve müzik seslerini doğru şekilde alabilmesi gerekmektedir. Bu mekan içerisinde kaynak insan sesi ve müzik sesidir. ‘Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’(2017)’e göre A sınıfı akustik bir ortamda tiyatro salonlarında sağlanması gereken ideal gürültü düzeyi 31dB’dir. Diğer bir taraftan, açık planlı bir ofiste çalışanların akustik konforu için yönetmelikte belirtilen bu düzey 36 dB’dir. Örneklerden de görüldüğü gibi kapalı

mekanlarda gürültü kaynakları ve kullanım amaçları baz alınarak istenen ses gücü düzeyleri farklılık göstermektedir.

Bir ses kaynağı kapatıldıktan sonra hemen susmaz ve çınlama devam eder. Sesin tamamen sönümlenmesine kadar geçen süreye çınlama süresi denir. Kapalı mekan içerisindeki ideal akustik ortamın oluşturulmasında diğer bir önemli unsur da çınlama süresinin ayarlanmasıdır. Çınlama süresinin ayarlanmasında kapalı mekan içerisindeki yüzeylerde kullanılan bitirme malzemeleri, mekan içerisindeki mobilyalar ve kullanıcı sayısı etkin parametrelerdir. Tüm bu parametrelerin ses yutma katsayıları kullanılarak mekan içerisinde akustik konfor sağlanır. Çınlama süresinin istenen düzeyden uzun olması, akustik rahatsızlık yaratacağı için bu sürenin yönetmeliklerde belirlenen düzeylerde sağlanabilmesi için ses yutucu malzemeler kullanılmalıdır. Bir malzemenin ses yutma katsayısı değeri 0-1 aralığında değişmektedir. Bu değer, 1'e doğru yaklaştıkça, malzeme daha yutucu özellikte demektir. Ses yutma katsayısı değeri, malzemenin yoğunluğu, sertliği, gözenekliliği gibi fiziksel özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, kapalı mekanlarda çınlama süresinin kontrol edilebilmesi için mekan içerisinde kullanılacak bitirme malzemelerinin ses yutma katsayısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Çoğu ortamda duyulan ses, doğrudan sesin kaynağından veya kaynaklardan, yüzeylerden ve diğer nesnelerden gelen dolaylı yansımalarından oluşan bir kombinasyondur. Örneğin; oda akustiğinde, hem doğrudan ses hem de duvarlardan, tavandan ve zeminden gelen yansımalar, akustik kalitesini belirlemede önemli rol oynamaktadır (Cox ve d'Antonio, 2016).

Bir mekânın hacminin, akustik performans üzerinde temel etkisi bulunduğundan beri, çınlama süresi en önemli akustik parametre olarak kullanılmaktadır. Çınlama süresi genel olarak, alıcıya gelen direkt sestten sonra 50-100ms içerisinde yine alıcıya ulaşan yansıyan ses olarak tanımlanabilir (Fuchs, 2013). Müzik için 80ms, konuşma için 50ms içinde gelen sesler insan kulağı için önemli seslerdir. Bu süre içerisinde gelen sesler, direkt ses ile birleşirler ve insan kulağı tarafından tek bir ses gibi algılanırlar (Demirkale, 2007). Bu süreden sonra alıcıya ulaşan sesler ise ayırık seslerdir ve eko yaratmaya başlarlar. Tüm bu sesler bir arada çınlayan alanı oluşturur. Mekânların kullanım amaçlarına göre uygun akustik ortam için sağlanması gereken çınlama

süreleri de değişiklik göstermektedir. Mekân içerisinde gerekli çınlama süresinin ayarlanmasında, Sabine formülü bağlamında bitirme malzemelerinin ses yutma katsayıları kullanılmaktadır. Sesin yutulması için kullanılan malzemeler genellikle lifler, köpükler, delikli paneller, zarlar, rezonatörler ve farklı kompozit malzemeler olarak sıralanabilir. Nor ve diğ. (2004) ve Zulkifli ve diğ. (2008), özellikle inşaat sektöründe tercih edilen ses yutucu malzemelerin cam veya mineral yünlü malzemeler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Nor ve diğ. (2004) bu malzemelerin ticari pazardaki hâkimiyetleri sebebiyle alternatif malzemelerin üretiminin nispeten zayıf kaldığını da eklemiştir. Ancak son yıllarda duvar veya panel içerisinde kullanılan cam ve mineral yünlü malzemelerin özellikle uygulama sırasında akciğer problemleri, göz problemleri gibi işçi sağlığına olan olumsuz etkileri sebebiyle farklı malzemelere yönelim başlamıştır.

Yalnızca ses yutucu malzeme seçiminde değil aynı zamanda pek çok sektörde insanları geri dönüşümlü malzemeler kullanmaya yönelten diğer bir sebep, doğal kaynakların hızla yok olmasıdır. Bu noktada pek çok araştırmacı sürdürülebilir ve enerji tasarruflu malzemeler ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Genellikle çevre dostu ve geri dönüşümlü malzemeler olarak kabul edilen tarımsal atıklar ile üretilen malzemeler; daha ucuz olması, kolay elde edilmesi vb. avantajlara sahiptir.

Biswal (2016), araştırmacıların özellikle lifli kompozit malzemelerde daha iyi mekanik özellikler göstermesi, daha kolay elde edilebilmesi ve daha ucuz olmaları sebebiyle sentetik lifler yerine organik liflere yöneldiğini söylemiştir. Organik liflerin akustik malzeme olarak kullanım avantajı; maliyetinin daha düşük olması, kolaylıkla elde edilebilir olması, yenilenebilir ve aşınmaya dayanıklı olması, uygulama kolaylığı ve uygulama ve kullanım sırasında insan sağlığına zarar vermiyor oluşudur.

Bir malzemenin ses yutma katsayısının ölçülmesi için durağan dalga yöntemi, çınlama odası yöntemi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Tüm bu yöntemlerin uygulanması için, istenen özelliklerde farklı malzemeler laboratuvar ortamında üretilmeli ve ses yutma testlerine tabi tutulmalıdır. Bu süreç, hem zaman hem ekonomik açıdan verimsizdir.

Bu nedenle, tez çalışmasında 2 temel amaç hedeflenmiştir. Birincisi; insan sağlığını tehdit etmeyen ve kolay ulaşılabilen ses yutucu bitirme malzemesi üretmektir. İkinci olarak, zaman ve deneysel süreci minimuma indirmek için son zamanlarda pek çok

bilimsel çalışmada oldukça yaygın kullanıma sahip olan bulanık mantık modeli (Fuzzy Logic), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım modeli (ANFIS) ve çoklu regresyon modeli kullanılarak, bitirme malzemesinin ses yutma performansının tahmini amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Literatür araştırmaları göz önüne alınarak; her malzemenin farklı frekanslarda değişken bir ses yutma özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Malzemenin kalınlığı, gözenekliliği, içerisindeki hava boşluğu ve katmanları değiştikçe ses yutma katsayıları da değişmektedir. Bu nedenle, ses yutma katsayısı tayini için; her bir malzeme kendi içerisinde ve farklı frekanslarda ayrı ayrı testlere tabi tutulmalıdır.

Her bir numunenin üretilmesi ve test süreçleri oldukça maliyetlidir ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, malzemelerin farklı frekanslardaki ses yutma katsayılarının belirlenmesinde malzeme üretimi ve deney süreçlerini minimuma indirmeye yardımcı olacak yapay zekâ yaklaşımı ile ses yutma katsayısı tahmin modelleri kurulmuştur.

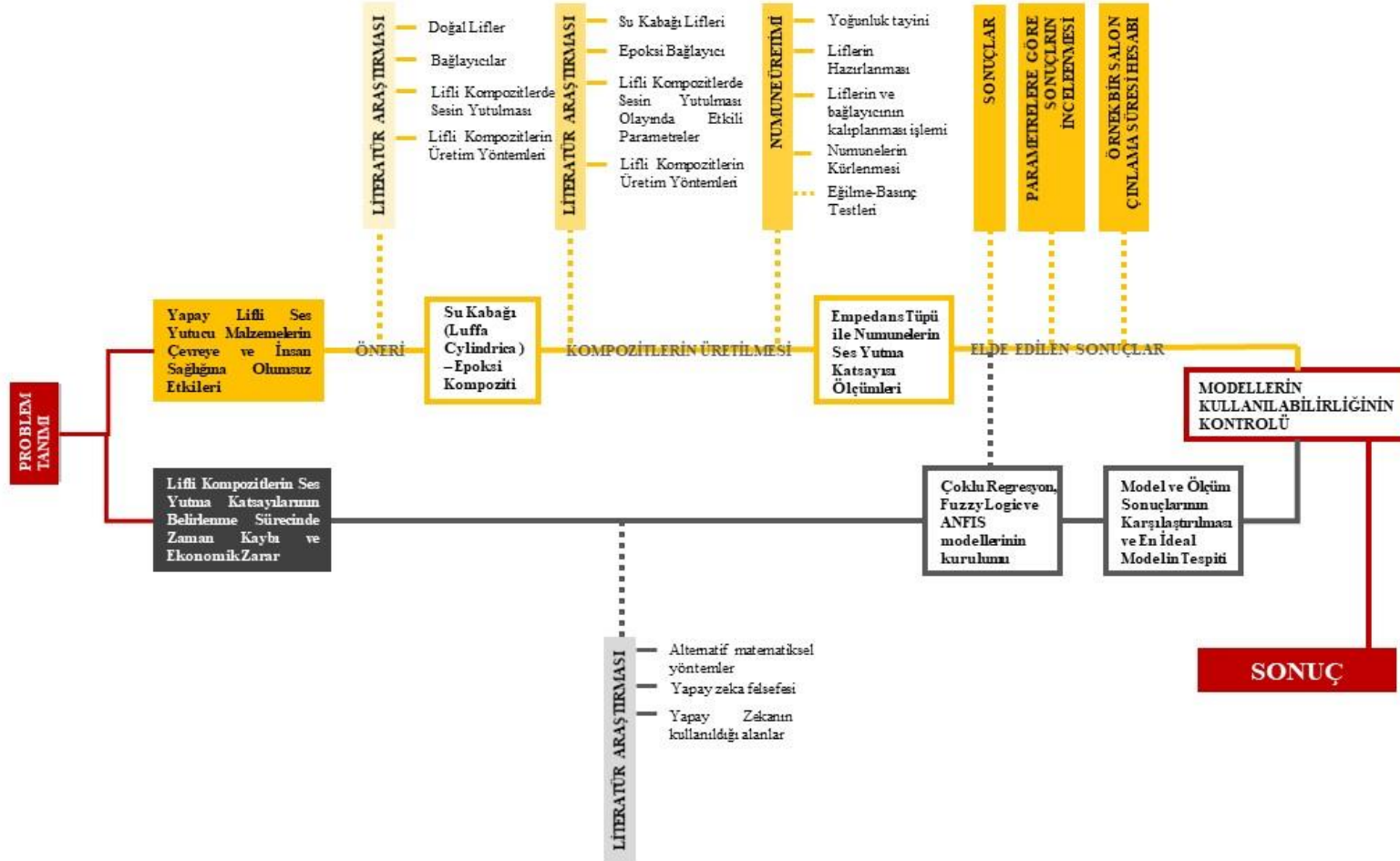
Üretilmiş olan doğal lifli kompozit malzemeler için doğal lif olarak su kabağı (Luffa Cylindrica) bitki lifleri seçilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucu kompozitte kullanılacak bağlayıcının termoset bir malzeme olan epoksi olmasına karar verilmiştir. Elde edilen malzemeler kompozit üretimi için ‘El ile Yayma Yöntemi (Hand lay-up)’ kullanılarak bir araya getirilmiştir.

Farklı fiziksel özelliklerde üretilen kompozit numuneleri, empedans tüpü kullanılarak durağan dalga metodu ile ses yutma katsayısı tayini testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlara göre, malzemenin değişen fiziksel özelliklerinin ses yutma katsayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Elde edilen ses yutma katsayısı test sonuçları, bulanık mantık modeli(Fuzzy Logic), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım modeli (ANFIS) ve çoklu regresyon model uygulamaları için veri olarak kullanılmış ve ses yutma katsayısı tahmin modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra, modellerin doğruluğunun kontrolü için farklı numunelerin ölçüm ve model sonuçları karşılaştırılmış, çalışmanın amacına uygun olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, malzemelerin ses yutma katsayısının belirlenmesinde yapay zekâ kullanımının uygunluğunu ortaya koymuştur. Şekil 1.1’de çalışmanın aşamalarını gösteren akış şeması sunulmuştur





Şekil 1.1 : Süreç akış şeması.

1.3 Yapılmış Çalışmalar

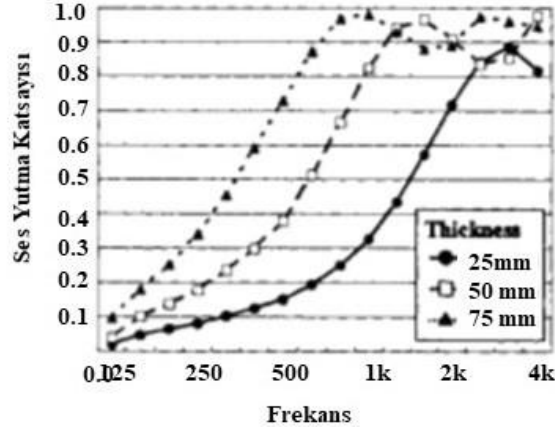
Çalışma kapsamında, ilk olarak çalışılması planlanan konu ile ilgili geçmişte yapılmış olan çalışmalar araştırılmıştır. Buna göre, bitki lifleri ile üretilmiş kompozit malzemelerin ses yutma performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmış, ancak ses yutma performansı ile yapay zekâ modelleri arasında ilişki kuran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.3.1 Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performansı ile ilgili çalışmalar

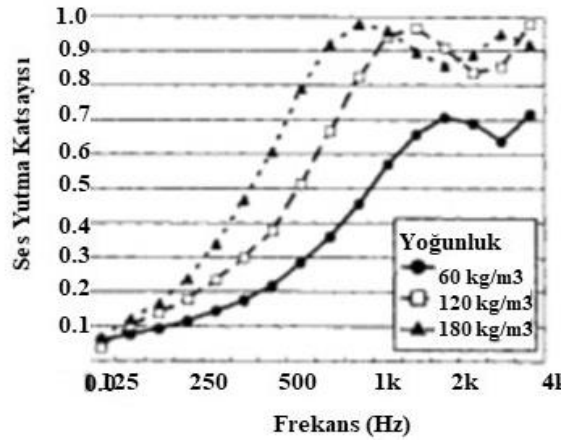
Doğal liflerin kompozit malzemelerde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, ses yutucu malzemelerde doğal lif kullanımıyla ilgili literatürde pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır.

Castagnede ve diğ. (2000) lifli malzemeye uygulanan basıncın ses yutuculuğuna etkisini incelemişlerdir. Bunun için simülasyon ve ölçme yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda malzemeye basınç uygulandığında ses yutma katsayısının düştüğünü gözlemlenmişlerdir ve bunun sebebinin kalınlığın azalması olduğunu söylemişlerdir.

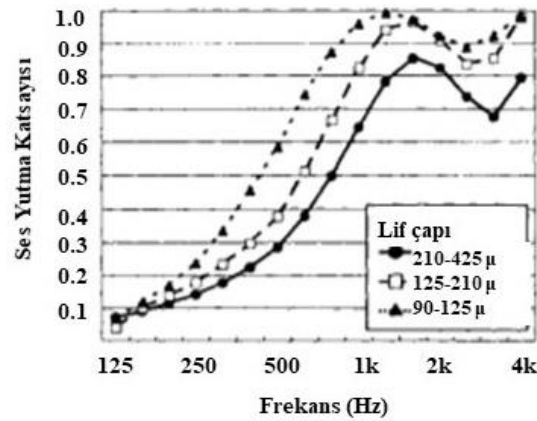
Koizumi ve diğ. (2002), bambu lifleri ve bağlayıcı kullanarak yaptıkları çalışmalarında ses yutma katsayısına malzemenin fiziksel özelliklerinin etkisini gözlemlemek için farklı kalınlık, boşluk, yoğunluk ve lif çapında örnekler üretmişlerdir. Buna göre malzeme kalınlığı arttıkça, 1000Hz'e kadar olan frekanslarda yutuculuk artmıştır. Daha sonrasında değişken özellik göstermiştir (Şekil 1.2). Malzeme içerisinde kullanılan lif yoğunluğunun ses yutma üzerindeki etkisine bakıldığında, elde edilen sonuçlarda (Şekil 1.3) lif yoğunluğu arttıkça 2000Hz'e kadar ses yutma performansında da artış gözlemlenebilmektedir. Lif çaplarının malzemenin ses yutuculuğuna etkisini de gözlemlemek isteyen Koizumi ve diğ.(2002), 3 farklı çap aralığı belirlemişler (90-125, 125-210 ve 210-425) ve Şekil 1.4'te gösterildiği gibi lif çapı arttıkça yutuculuğun azaldığını söylemişlerdir.



Şekil 1.2 : Bambu lifleri ile üretilen farklı kalınlıklardaki malzemelerin ses yutma katsayıları (Koizumi ve diğ., 2002).



Şekil 1.3 : Farklı yoğunluktaki bambu lifleriyle üretilen kompozit malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri (Koizumi ve diğ., 2002).



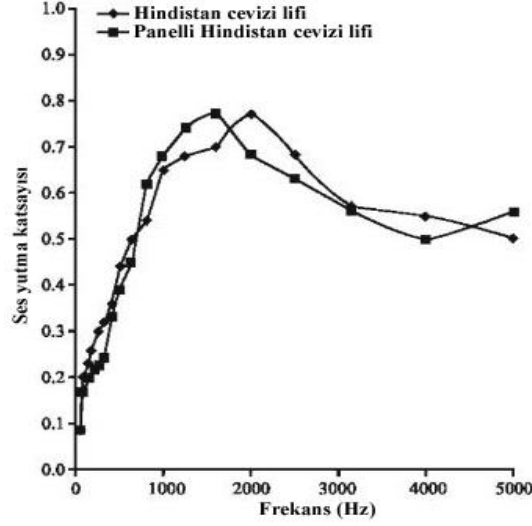
Şekil 1.4 : Farklı çap aralıklarında gruplandırılmış lifler ile üretilen kompozit malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri (Koizumi ve diğ., 2002).

Nor ve diğ. (2004) hindistan cevizi lifleri kullanarak paneller üretmiş ve bu panellerin uygulama yöntemine göre ses yutma katsayılarını ölçmüşlerdir. Direkt duvara monte ve hava boşluğu bırakılarak monte edilen panellerde hava boşluğunun özellikle alçak frekanslarda ses yutuculuğu arttırdığını söylemişlerdir.

Kenaf lifleri ve geri dönüşümlü polyester kullanarak örnek malzeme üreten ve bu malzemelerin ses yutma katsayılarını ölçen Allesandro ve Pispola (2005), yutuculukların ölçümü için çınlama odası yöntemini kullanmışlar ve malzemelerin mekân içerisinde konumlandıkları yere göre yarattıkları etkiyi incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, yüzeylere eğimli uygulanan malzemeler paralel uygulamaya göre daha yutucu sonuç vermiştir. Ayrıca, mekân içerisinde en yüksek yutuculuk malzeme köşelere uygulandığında elde edilmiştir.

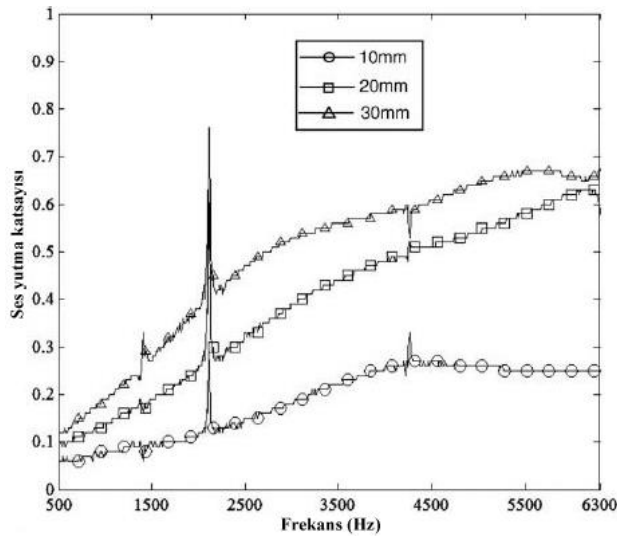
Garai ve Pompoli (2005)'nin yaptığı çalışmada farklı yoğunluk ve kalınlıkta 38 örnek üretilmiştir. Akış direnci için Ampirik Model kullanılmıştır. Mevcut modelde model sonuçları ile ölçüm arasında fark çok çıkmıştır. Bu nedenle modele yeni bir ekleme yapılarak yeni bir model üretilmiştir (NMR- New Resistivity Model). Bunun sonucunda, ölçüm ve deney sonuçları oldukça yakın elde edilmiştir. Üretilen malzemelerin ses geçiş kaybı ve yutuculukları çınlama odasında ölçülmüştür. Buna göre, polyester katman eklemek ses geçiş kaybı değerini arttırmıştır. Maksimum ses geçiş kaybı için polyester yoğunluğu 1000 g/m³ ve üstü olmalıdır ve akış direncini arttırmak için lif çapı küçültülmelidir denmiştir.

Zulkifli ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada doğal lif olarak Hindistan cevizi liflerini kullanmışlardır. Bağlayıcı malzeme olarak polietilen kullanılan çalışmada, yapışmayı hızlandırmak adına lateks de kullanılmıştır. Üretilen malzemedeki oranların belirtilmediği bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 1.5'te verilmiştir. Frekans olarak 500-4000 Hz aralığına bakıldığında malzemenin yutuculuk değerlerinin 2000Hz'e kadar arttığı sonrasında düşüş yaşadığı ancak yine de yutucu özellik gösterdiği söylenebilir. Ancak çalışma kapsamında malzeme üzerinde delikli panel kullanımının etkisi incelendiği için bağlayıcı malzemenin ses yutuculuğuna etkisi ile ilgili bilgi elde edilememiştir. Çalışma sonucuna göre, hindistan cevizi liflerinin hem ses yutuculuğu hem de ses geçiş kaybı açısından kullanışlı bir malzeme olduğu tespit edilmiştir. Çevre dostu olan bu malzemenin iç ve dış mekânlarda kullanılabileceği vurgulanmıştır.



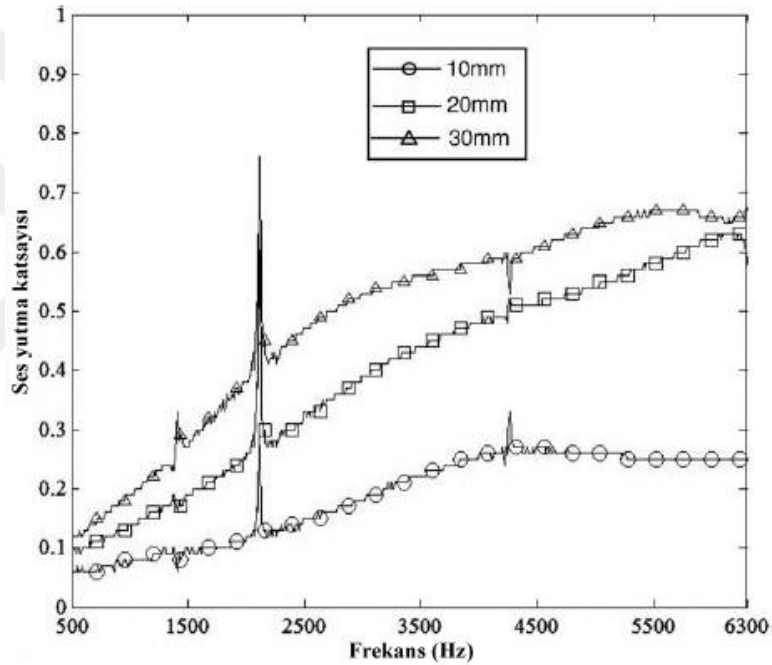
Şekil 1.5 : Hindistan cevizi lifleri kullanılarak üretilen kompozit malzemenin ses yutma katsayısı değerleri (Zulkifli ve diğ., 2008).

Doğal lifler kullanılarak yapılan başka bir çalışmada, çay yaprağı lifleri kullanılmış ve örnek malzeme kalınlıkları 10,20 ve 30mm olarak ele alınmıştır. 500 Hz'deki ses yutma katsayıları incelendiğinde 10mm kalınlıkta 0.8, 20mm kalınlıkta 0.1 ve 30mm kalınlıkta 0.11 verilerinin elde edildiği Şekil 1.6'da gözlemlenmektedir. Malzemeler arasındaki kalınlık farkı 10mm iken yutuculuk değerlerinde çok ciddi farklar olmadığı bu değerlere bakılarak söylenebilir. Buna göre katkılı çay yaprağı lifli dokumalarda ses yutuculuğunun gözle görülür biçimde arttığını ancak malzemelerde press yapılmadığı için bunun yutuculuğu etkileyebileceğini söylenmiştir (Ersoy ve Küçük, 2009).



Şekil 1.6 : Çay Yaprağı Liflerinin ses yutuculuğu (Ersoy ve Küçük, 2009).

Kalınlığın ses yutuculuğuna etkisi ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada, Malezya Palmiyesi lifleri kullanılmıştır. Burada yutuculuk farkı incelemesi için belirlenen malzeme kalınlıkları 10,20,30 ve 40mm olarak seçilmiştir. Şekil 1.7'ye göre 10mm kalınlıklı malzemenin 500Hz'deki ses yutma katsayısı ile 20mm kalınlıklı malzemenin aynı frekanstaki ses yutma katsayı değeri birbirine oldukça yakın ve 0.08 civarında çıkmıştır. Buna karşılık 30mm kalınlıkta 500 Hz'de yutma katsayısı 0.1; 40mm'de ise 0.18 olarak elde edilmiştir (Ismail ve diğ., 2010). Bu çalışmada da tıpkı bir önceki çalışmada olduğu gibi malzemeler arasındaki kalınlık farkı 10mm iken yutuculuk değerlerinde çok ciddi farklar olmadığı söylenebilir.



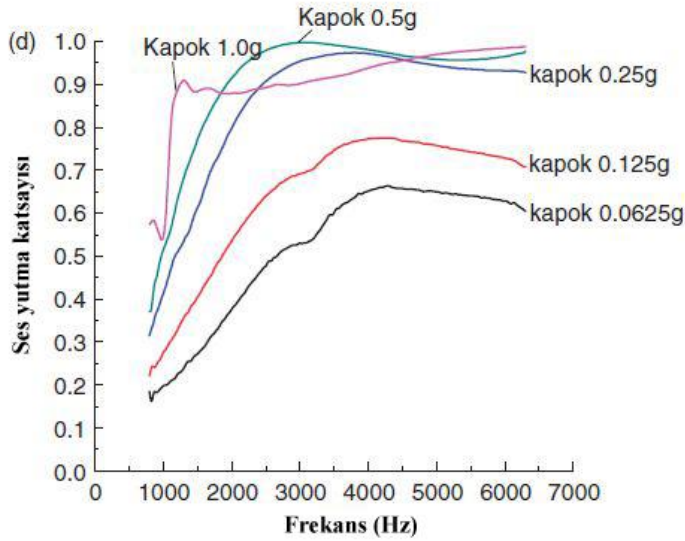
Şekil 1.7 : Malezya Palmiyesi Liflerinin Ses Yutuculuğu (Ismail ve diğ., 2010).

Chen ve diğ. (2010), Çin keneviri liflerini polibütülen bağlayıcı malzemesi ile kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzemenin üretiminde ağırlıkça %70 oranında bağlayıcı, %30 oranında doğal lif kullanmışlardır. Ayrıca yangın dayanımı için de bir katkı malzemesini, kompozite eklemişlerdir. Ses yutma katsayısı değerlerine bakıldığında malzemenin yutuculuk değerinin iyi olmadığı gözlemlenebilir. Doğal liflerin iyi ses yutma özelliği göz önüne alındığında bunun nedeninin kompozitte bağlayıcı oranının yüksek tutulup buna karşılık lif oranının düşük tutulmuş olduğu söylenebilir.

2010 yılında yapılan diğer bir çalışmada da Fouladi ve diğ.(2010), Hindistan cevizi lifleri kullanmış; liflerin uygulanmasında hava boşluğunun ses yutma performansına etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, delikli panellerin liflerin önünde kullanılması durumunda yüksek frekanslarda, arkasında kullanılması durumunda alçak frekanslarda yutuculuğa etki ettiğini söylemişlerdir. Ayrıca delikli panel kullanımı hava boşluğu katmanını inceltmeyi sağlamıştır.

Polimer bağlayıcı ve kenevir lifi kullanarak üretilen örneklerin ses yutma katsayısı, akış direnci, gözeneklilik ve kalınlık parametrelerini inceleyen Yılmaz ve diğ. (2011), akış direnci ile gözeneklilik ve lif çapının ters orantılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca malzemede güçlendirici lif kullanılması halinde ses yutuculuğun arttığını da belirtmişlerdir.

Yang ve diğ. (2011), çalışmalarında kapok liflerini kullanarak yoğunluğun yutuculuğa etkisini kıyaslamışlardır. Buna göre elde edilen sonuçlarda (Şekil 1.8) malzemenin lif yoğunluğu arttıkça ses yutuculuğunun da arttığını ifade etmişlerdir.



Şekil 1.8 : Kapok liflerinin farklı yoğunlukla kullanılmasıyla üretilen malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri (Yang ve diğ., 2011).

Fouladi ve diğ. (2011) Biot-Allard Modeli'ni kullanarak yaptıkları çalışma için hindistan cevizi lifleri ve elastik gözenekli bağlayıcı kullanmışlardır. Ayrıca kıyaslama için Delany-Bazley yöntemi de kullanılan çalışmada, Allard tekniği ile elde edilen sonuçların daha yutucu olduğunu ifade etmişlerdir. Fakat üretilen malzemenin düşük frekanslarda iyi sonuçlar vermediğini, bunun için hava boşluğu, delikli panel kaplama gibi ek çözümlere ihtiyaç duyulduğunu da belirtilmiştir.

Kenaf lifleri ve polyesterin ses yutma performanslarının incelendiği çalışma, Alba ve diğ. (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Pek çok yöntem içerisinde Voronina yönteminin kullanıldığı çalışmada, empedans tüpü ile yapılan ölçümler sonucu hesaplama ve ölçüm sonuçlarının yakın çıktığı söylenmiştir. Kalınlık arttıkça yutuculuğun da arttığı söylenmiştir. Bu çalışma frekans bazında yapılmamıştır.

Veerakumar ve Selvakumar (2012) Kapok lifleri ile polypropan'ı karıştırarak kompozit malzeme üretmişler ve malzemenin ses yutma katsayısı ve ses azaltım katsayısı (NRC)'nı ölçmüşlerdir. Farklı oranlar dikkate alınarak hazırlanan kompozit malzemeler üretilirken Stack Mixing Metod'unu kullanmışlardır. Minyatür kart makinesi ile ağ oluşturulmuş, oluşturulan ağ sıcak fırında ısıtılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. En iyi yutuculuk performansını, %30 Kapok %70 Polypropan oranında üretilen sıkıştırılmamış kompozit (yüksek yoğunluk/düşük gözeneklilik) vermiştir.

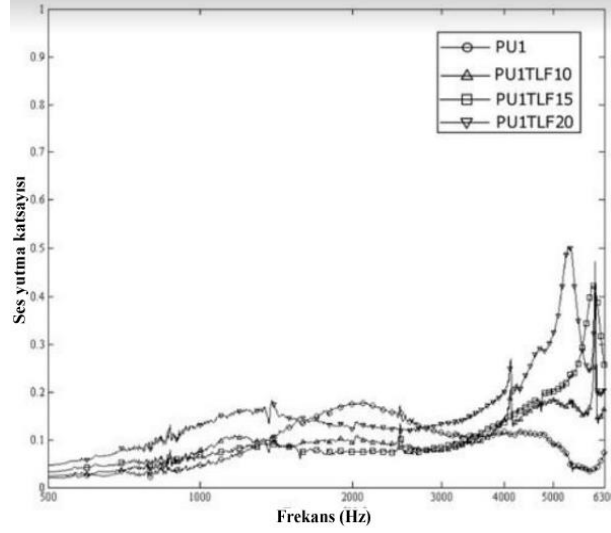
Çay yaprağı liflerinin izosiyanat ve poliol ile karışımıyla kompozit üreten Ekici ve diğ.(2012), ağırlık olarak farklı oranlar kullanmışlardır ve bu oranlar Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çizelge 1.2'de ise kullanılan bağlayıcı maddelerin özellikleri görüldüğü gibi yer almaktadır. Çalışma sonucu elde edilen ses yutma katsayıları Şekil 1.9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi ses yutuculuğunun; ağırlıkça %20 çay yaprağı lifi, %40 poliol ve %40 izosiyanat kullanılarak üretilen kompozitte sağlandığını söylemişlerdir.

Çizelge 1.1 : Çay yaprağı lifleri ile poliol ve izosiyanat kompoziti oranları (Toplam 150gr) (Ekici ve diğ., 2012).

Örnek Kodu	Çay yaprağı lifi		Poliol		İzosiyanat	
	%	gr	%	gr	%	gr
PU1TLF20	20	30	40	60	40	60
PU1TLF15	15	22.5	42.5	63.75	42.5	63.75
PU1TLF10	10	15	45	67.5	45	67.5
PU1	0	0	50	75	50	75

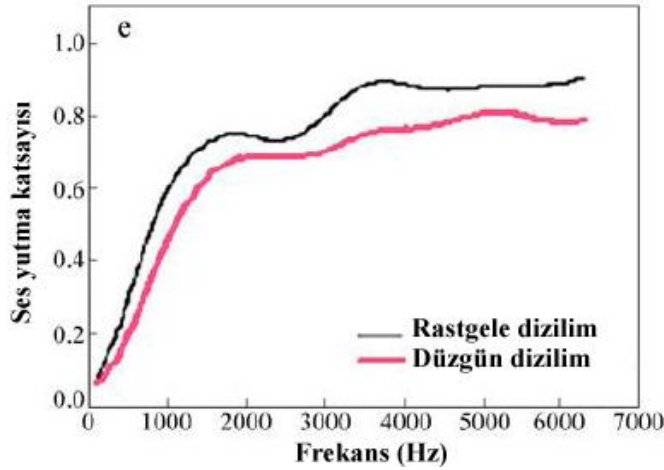
Çizelge 1.2 : Poliol ve izosiyanatın özellikleri (Ekici ve diğ., 2012).

Fiziksel özellikler	Birim	Poliol	İzosiyanat
Yoğunluk (20°C)	g/cm ³	1.1	1.230
Viskozite (20°C)	mPa.s	-	210
NCO katmanı	%	-	31.5
Raf ömrü	Ay	6	6



Şekil 1.9 : Çay yaprağı lifli kompozitlerin ses yutma katsayıları (Kalınlık 1cm) (Ekici ve diğ., 2012).

Kapok doğal lifleri kullanılarak yapılan bir başka çalışmada, kompozit malzeme üretirken liflerin diziliminin ses yutuculuğuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 75mm kalınlıklı 2.6kg/m³ yoğunluklu iki kompozit üretilmiştir. Bunlardan birinde lifler düzgün dizilmiş diğerinde rastgele konumlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre (Şekil 1.10) fark çok fazla olmamakla birlikte, rastgele diziliimli kompozitte yutuculuğun daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Xiang ve diğ., 2013).



Şekil 1.10 : Rastgele ve düzenli olarak yerleştirilen lifler ile üretilen kompozit malzemelerin ses yutuculuğunun kıyaslanması (yoğunluk:2.6 kg/m³; kalınlık:75mm) (Xiang ve diğ., 2013).

Kapok, pamuk otu ve ipek otu lifleri ile yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; lif oranı arttıkça malzeme kalınlığı da arttığı için ses yutuculuk da artmıştır. Ayrıca, lif

oranı ve kaynak/malzeme mesafesi ile ses yutma doğru orantılı olarak bulunmuştur (Ganesan ve Karthik, 2015).

Berardi ve Iannace (2016), pek çok farklı doğal lif kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Delany & Bazley yöntemi kullanılarak akış direnci ölçülen çalışmada ses yutma katsayısı tespiti için empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Her lifin ses yutmada etkin olduğu frekans aralığı farklı çıkmıştır. Daha sonra, elde edilen sonuçlarla optimizasyon yaparak hata katsayısı eklemiştir.

Thigalavathi ve diğ., 2017 yılında su kabağı (LC) lifleri ile yaptıkları çalışmalarında, liflerin içerisine kapok ve pamuk lifleri karıştırarak ses yutma performansındaki değişimleri incelemiştir. İlk olarak su kabağı (LC) ile üretilen numunelere, sonrasında kapok ve pamuk lifleri eklenmiştir. Katmanlaşma sırasında hava boşluğu da eklenen numunelerin ses yutuculukları ölçülmüş ve katmanlaşmanın artması ve hava boşluğunun eklenmesi ile ses yutma performansının da arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca su kabağı (LC) liflerine kapok ve pamuk liflerinin eklenmesi de yutuculuğun artmasını sağlamıştır.

Lim ve diğ. (2018), kenaf lifleri kullanarak kalınlık ve hava boşluğunun ses yutma performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Daha sonra da buldukları sonuçları sentetik lifli bir malzeme olan taş yünü ile karşılaştırmışlardır. 25, 40, 50, 60 ve 75mm kalınlıklı üretilen numunelerin ses yutma katsayısı ölçümlerini çınlama odası yöntemi ile yapmışlardır. Sonuçlar, kalınlığın etkisinin her frekansta farklı olduğunu ancak hava boşluğu eklemenin tüm frekanslarda daha yutucu sonuç verdiğini göstermiştir. Ayrıca taş yünü ile yapılan karşılaştırmalarda, 50mm kalınlıklı numunenin özellikle yüksek frekanslarda taş yününden daha yutucu sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Putraa ve diğ. (2018), ananas yaprağı liflerinin (PALF) yoğunluk, kalınlık, hava boşluğu-ses yutma performansı ilişkisini incelemişler ve elde ettikleri sonuçları taş yünü ve poliüretan köpüğün ses yutma katsayısı sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, PALF ses yutucu malzemelerin, aynı lif yoğunluğu için, 2000 Hz üzerinde kalınlık 20mm iken ses yutma katsayısının ortalama 0.9 olduğu görülmektedir. Hava boşluğu katmanı eklemek ise, özellikle 10mm ve 20mm kalınlıklı ince numunelerde ses yutma katsayısını etkin şekilde iyileştirmiştir. Sonuçları taş yünü ve poliüretan ile karşılaştırdıklarında PALF'in geleneksel ses yutucuların yerini alabilecek doğal ve sürdürülebilir bir malzeme olabileceğini söylemişlerdir.

Yuvaraj ve diğ., 2018 yılında yaptıkları çalışmada, daha iyi akustik ve mekanik özellik elde etmek için poliüretan köpük içerisine kenaf lifleri eklemişlerdir. Sonuçlar, lif eklemenin mekanik ses akustik özelliklerde olumlu bir etki yarattığını göstermiştir.

Taban ve diğ. (2019), hindistan cevizi lifleri ile polivinil alkol karıştırarak kompozit ürettikleri çalışmada, farklı kalınlıklı kompozitlerin ses yutma performansına etkisi ölçülmüş ve farklı hesaplama yöntemlerine göre sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kalınlık arttıkça ses yutuculuğunun da arttığı söylenmiştir.

Yuvaraj ve diğ. (2019), poliüretan köpük ve izosiyanat ve poliol ile ürettikleri kompozitlere su kabağı (LC) lifleri eklendiğinde ses yutma performansındaki değişiklikleri gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kompozite su kabağı (LC) lifleri eklemenin özellikle alçak frekanslarda ses yutuculuğunu arttırdığını göstermiştir (Yuvaraj ve diğ., 2019).

Taiwo ve diğ. (2019), doğal lifler ile sentetik liflerin ses yutma performansları ve mekanik özellikleri üzerine genel bir literatür taraması yapmışlardır. Çalışma sonucunda genel bir görüş olarak, doğal liflerin ses yutma performansının iyi olduğu ancak özellikle yangına karşı dayanımsızlıkları sebebiyle geliştirilmeleri gerektiği ortaya koyulmuştur.

Taban ve diğ. (2019), hindistancevizi lifleri ile hurma liflerinin ses yutma performanslarında kalınlık ve hava boşluğunun etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, farklı kalınlık ve farklı oranda hava boşluğu kullanmışlardır. Sonuçlara göre her frekansta farklı ses yutma performansı elde edildiği için kombine yöntemlerin kullanılmasının daha doğru olduğunu söylemişlerdir.

Mohammad ve diğ. (2019) farklı malzeme kalınlığı ve farklı oranda hurma ağacı lifleri ile hindistan cevizi liflerinin ses yutma performansı üzerine ölçümler yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Buna göre, farklı lif oranının gözle görülür bir değişiklik yaratmadığı ancak kalınlığın yutuculuk üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Koruk ve Genç (2019), su kabağı (LC) lifleri ve epoksi kullanarak kompozitler üretmişler ve bağlayıcının ses yutma performansına etkisini incelemişlerdir. Buna göre, epoksi eklemenin liflerin ses yutuculuğunu düşürdüğünü söylemişlerdir ki bu, bağlayıcı lifler arasındaki hava boşluğunu dolduracağı için hali hazırda öngörülebilir bir sonuçtur.

Tabana ve diğ. (2019), yoğunluk, kalınlık ve hava boşluğunun ses yutma performansı üzerindeki etkisini incelemek için hurma ağacı lifleri ve polivinil kullanarak farklı fiziksel özelliklere sahip kompozit malzemeler üretmişlerdir. Sonuçlara göre, 100 kg/m³ yoğunluklu, 20mm ve 30mm kalınlıklı numunelerin 1500Hz ve üzerinde ses yutma katsayıları 0.6-0.8 arasındadır. 40mm kalınlıklı numunelerde ise ses yutma katsayısı değerlerinin 0.9'a ulaştığı gözlemlenmiştir. Yoğunluk 200 kg/m³'e çıkartıldığında ses yutma katsayısı değerleri 1000Hz üzerinde 0.7-0.8 değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hurma ağacı liflerinin alternatif ses yutucu malzeme olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Doğal liflerli malzemelerin ses yutma performansı ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendikten sonra literatürde kullanılan doğal lif türleri ile bu malzemeler kullanılarak yapılan ses yutma performansı çalışmalarında incelenen parametreler, kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar özet şeklinde bir tablo haline getirilmiş ve Çizelge 1.3'te sunulmuştur.

Çizelge 1.3 : Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performansı ile ilgili yapılmış olan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçların özet tablosu.

Malzeme	Ekipman	İncelenen Parametreler	Ses Yutma Performansı Yorumu
Bambu	Empedans Tüpü	Malzeme kalınlığı: 25,50,75mm	Kalınlık $\wedge$ Yutuculuk $\wedge$ *en iyi yutuculuk 75mm'de
		Malzeme yoğunluğu: 60,120,180 kg/m ³	Yoğunluk $\wedge$ Yutuculuk $\wedge$ *en iyi yutuculuk 180kg/m³'te
		Lif çapı: 90-125, 125-210, 210-425 μ m	Lif Çapı $\wedge$ Yutuculuk $\vee$ *en iyi yutuculuk 90-125μm'de
		Cam yünü(32kg/m ³) / Bambu(120kg/m ³) 50mm Kalınlık	125-1000 Hz Bambu > Cam yünü >1000 Hz Cam yünü >Bambu
		Cam yünü(32kg/m ³) / Bambu(120kg/m ³)	Karakteristik empedans benzer
Çay Yaprığı	Empedans Tüpü	Malzeme (TLF) kalınlığı: 10,20,30 mm	Kalınlık $\wedge$ Yutuculuk $\wedge$ *en iyi yutuculuk 30mm'de
Çay Yaprığı	Empedans Tüpü	PU köpük, Luffa ve Kompozit kıyaslaması Kalınlık 2cm	Kompozit > Luffa > PU köpük

Çizelge 1.3 (devam): Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performansı ile ilgili yapılmış olan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçların özet tablosu.

Malzeme	Ekipman	İncelenen Parametreler	Ses Yutma Performansı Yorumu
Çin Keneviri Epoksi	Empedans Tüpü	Deney sonucu, Delany&Bazley Modeli ve Garai-Pompoli Modeli kıyaslaması Bağlayıcı kalınlığı: 3,6, 20mm NOT: Epoksinin yutuculuğu liften küçük	<500 Hz için Deney>Garai>Delany >500Hz için Deney>Delany>Garai <600 Hz 3=6=20 >600 Hz 3=6<20
Çin Keneviri Ateş kesici Polibütülen	Empedans Tüpü Thermogravimetric analizci SEM	Kompozit içeriği: Lif ve katkılı kompozit	Katkılı > Lif
Hindistan Cevizi Lifi Polyester Kauçuk sütü	Empedans Tüpü WinFLAG Sim.	Gözenekli Panel: Panelli ve çıplak lifler (Simülasyon sonuçları) Gözenekli Panel: Panelli ve çıplak lifler (Deney sonuçları)	<2800 Hz için panelli > çıplak >2800 Hz için çıplak > panelli <1500 Hz için panelli > çıplak >1500 Hz için çıplak > panelli
Hindistan Cevizi Lifi Delikli plaka Yapıştırıcı Hava boşl	Empedans Tüpü	A. 50mm hindistan cevizi lifi B. 50 mm hindistan cevizi lifi ve 35mm hava boşluğu	Yutuculuk her frekansta değişken
Kapok	Empedans Tüpü	Lif uzunluğu: 10-25 ve 0.5-5 mm (kalınlık:30mm yoğunluk:10kg/m3) Dizilim: rastgele ve düzenli (kalınlık:75mm yoğunluk:2.6kg/m3)	Yaklaşık olarak 2200Hz'e kadar eşit sonrasında uzun lifler daha yutucu Rastgele dizilim daha yutucudur
Kapok	Empedans Tüpü	Yoğunluk: 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5g	Yoğunluk $\wedge$ Yutuculuk $\wedge$
Malezya Palmiyesi	Empedans Tüpü	Malzeme kalınlığı: 10,20,30,40mm	Kalınlık $\wedge$ Yutuculuk $\wedge$ *en iyi yutuculuk 40mm'de

1.3.2 Su kabağı lifleri kullanılarak yapılmış diğer çalışmalar

Su kabağı (LC) lifleri, pek çok bilim ve uygulama alanında farklı amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bölümde, su kabağı (LC) lifleri kullanılarak yapılmış literatürdeki farklı çalışmalara değinilmiştir.

Su kabağı (LC) liflerine alkali müdahale yapılmasının kompozit içerisindeki özelliklerine etkisinin incelendiği bu çalışmada, alkali müdahaleye tabi tutulan liflerin mekanik özelliklerde dikkate alınacak bir etkisinin olmadığı söylenmiştir (Boynard ve diğ., 2003).

Su kabağı (LC) lifleri ile yapılmış diğer bir çalışmada, bitkisel hücre liflerinin sıvı emme potansiyeli mikroskopik morfolojilerine göre araştırılmıştır (Bal ve diğ., 2004).

Su kabağı (LC) liflerinin pek çok alanda kullanılmasına rağmen yine de ısı, mekanik ve kimyasal özellikleri ile ilgili bilimsel veri eksikliği olduğu düşünülmektedir. Özellikle su kabağı (LC) liflerinin biyokompozitler içerisinde kullanımının yeni olması ve potansiyel kullanımlarının artırılması gerektiği düşünülerek yapılan bir çalışmada, kimyasal alkali uygulamasına tabi tutulan liflerin yüzey özelliklerindeki değişimleri incelenmiştir (Tanobe ve diğ., 2005).

Farklı sıcaklıklarda ve boya konsantrasyonlarında sulu çözeltilerden metilen mavisi boyanın adsorban olarak uzaklaştırılması amacıyla yapılmış bu çalışmada doğal su kabağı (LC) lifleri kullanılmıştır (Demir ve diğ., 2008).

Su kabağı (LC) liflerinin morfolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin karakterize edildiği çalışmada, liflerin yüzey morfolojileri araştırılmış ve biyonanokompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılabilirlikleri incelenmiştir (Siqueira ve diğ., 2010).

Reçine bağlayıcılı kompozitlerde su kabağı (LC) liflerinin takviye malzemesi olarak kullanılmasına yönelik yapılmış bir başka çalışmada ham ve işlenmiş haldeki liflerin kompozit içerisindeki kullanımlarında kompozite etkileri incelenmiş ve mekanik testler, işlenmemiş haldeki liflerin dahi kompozit içerisindeki kullanımında yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Boynard ve D’Almeida, 2010).

Bir diğer çalışmada, lif takviyeli polimer kompozitlerin sönümlene özellikleri hakkında incelemeler yapılmış ve sönümlene özelliklerinin mekanizması ve analitik yöntemine odaklanılmıştır. İstenen sönümlene özelliklerine sahip lif takviyeli

kompozitlerin gelecekteki gelişimi için bazı yararlı öneriler sunulmuştur (Tang ve Yan, 2020).

Su kabağı (LC) liflerine amino silan işlemi uygulanması ile elde edilen kompozitte, epoksi ile birleşmesindeki etkisinin incelendiği çalışmada; amin ile fonksiyonelleştirilmiş lif takviyeli kompozitlerde lif ve bağlayıcı arasındaki gelişmiş etkileşimin bir sonucu olarak daha yüksek ısı, mekanik ve morfolojik özellikler elde edilmiştir (Dharmalingam ve diğ., 2020).

Su kabağı (LC) liflerindeki termomekanik ve termo-hidromekanik işlemlerin değerlendirildiği çalışmada, liflere kuru durumda ve doymuş durumda farklı işlemler uygulanmış ve elde edilen sonuçlara göre, su kabağı (LC) liflerinin, mühendislik uygulamaları için kompozitlerde kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Pires ve diğ., 2020).

Su kabağı (LC) ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendikten sonra, tüm çalışmaların amaç, süreç/yöntem ve sonuçları özetlenerek Çizelge 1.4'te sunulmuştur.

Çizelge 1.4 : Su kabağı (LC) lifleri kullanılarak yapılmış olan çalışmaların özet tablosu.

AMAÇ	SÜREÇ/YÖNTEM	SONUÇ
Luffa'nın kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanılması (Koçak ve diğ., 2015)	* Bozunma sıcaklığı * Kimyasal içerik * Yüzey deformasyonu * Basınç	* Luffa kullanımı kompozitte gerilme mukavemetini 2 kat artırmıştır (1.24MPa) (+) * Luffa oranı arttıkça su emiciliği azalmıştır (+) * Luffa'nın propilen ve silan ile yapışması olumsuz (-) * Eko-kompozitler için Luffa lifi ve hint yağı poliüretan kullanılmıştır * Luffa eklemek mekanik özellikleri artırmıştır (+) * Bozunma sıcaklığı 381°C * Çekme mukavemeti 385MPa, gerilme modülü 12.2GPa
Luffa lifleriyle farklı matris malzemeleri kullanılarak kompozit oluşturma (Albayrak ve diğ., 2009)	* Lifler sıcak suda yumuşatılıp göbek kısmı alınmıştır * %1'lik NaOH'da 1 saat bekletilerek sonrasında saf su ile yıkanmıştır * Oda sıcaklığında 2 gün kurutulmuştur * Polyester matris emdirilerek teflon kalıp içinde 1 gün basınç uygulanmıştır	* Çekme mukavemeti 24.4MPa, eğilme mukavemeti 51.8MPa'dır * Maksimum bozunma sıcaklığı 398°C

Çizelge 1.4 (devam) : Su kabağı (LC) lifleri kullanılarak yapılmış olan çalışmaların özet tablosu.

AMAÇ	SÜREÇ/YÖNTEM	SONUÇ
Optimum bileşiklerin mekanik davranışı (Papanicolaou ve diğ., 2015)	* Epoksi reçine ve Luffa lifleri kullanılmıştır * LİF: 150mm uzunluğunda, 120/140mm genişliğinde, 2/2.5mm kalınlığında - Lif Dizilimi: boyuna ve rastgele * BAĞLAYICI: Huntsman reçine ve bağlayıcı (2:1 oranında) * Kompozit üretimi ve lifte kimyasal iyileştirme	* Luffa eklemek mekanik iyileşme vermiştir (+) * Epoksinin lif içerisindeki dağılımı kontrol edilememiştir (-) * Basınç uygulamasında reçinenin dışarı akması statik özelliklerin zayıflamasına sebep olmuştur (-) * Basınç uygulaması rijitlik ve mukavemet artışını sağlamıştır
Luffa liflerinin farklı sıcaklıklarda ve renk konsantrasyonlarında sulu solüsyonlardan yüzey tutunma yöntemiyle metilen mavisini uzaklaştırması (Demir ve diğ., 2008)	* Liflerin temizlenmesi * Liflerin çözeltiye batırılması * Yüzey tutunma süreci	* Luffa'nın metilene tutunması ortam sıcaklığından etkilenmez * Yüzey tutunma geri döndürülemez bir reaksiyondur * Luffa lifleri homojen yüzey enerjisine sahiptir * Literatürdeki diğer doğal liflerden daha yüksek tutunma özelliği vardır
Luffa lifi yüzeyine uygulanan bazı kimyasal işlemlerin Polyester/Luffa lifi kompozitinin mekanik ve hidrotermal (nem ve ısıнын aynı anda etki ettiği koşullar) özelliklerine olan etkisini aygınlamak (Ghali ve diğ., 2009)	* Liflerin fiziksel analizinin yapılması * Liflerin temizlenmesi * Kompozit üretilmesi * Hidrotermal davranışın incelenmesi	* Alkali uygulaması lif yüzeyindeki mumlu ve yapışkan dokuyu temizler * Liflere yapılan kimyasal müdahaleler kompozitin mekanik ve hidrotermal davranışını etkilemiştir * Asetilasyon, liflerin poliestere yapışmasını iyileştirmiştir * Asetilasyon hidrotermal özellikleri düşürmüştür
Takviye malzemesi olarak Luffa lifleri kullanarak polyester kompozitin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi (Paglicawan ve diğ., 2005)	* Numune boyutları 150mm uzunluk, 300mm genişlik, 5mm kalınlık * Bağlayıcı olarak, ağırlıkça %1'i metil etil keton peroksit olan polyester reçine kullanılmıştır * 3 kat Luffa katmanı bağlayıcı ile ıslatılmıştır * Lif çapı 0.247-0.381mm ve 0.295-0.418mm'dir. * Yoğunluk 0.353g/cm³'tür	* Lifi ıslatmak için kullanılan reçine yetersiz kalmıştır * Luffa kompozit için takviye edici bir malzemedir * Lif yüzeyine işlem yapılması lifler ile bağlayıcı malzemenin daha iyi yapışmasını sağlamıştır * Kompozitin mekanik özellikleri lifin özelliklerine ve kompozitin üretim sürecine göre değişkenlik gösterir
Luffa'nın sertlik, kuvvet ve enerji yutuculuğu özelliklerinin incelenmesi ve sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanılması	* Luffa liflerinin temizlenmesi * 26 numune üzerine çalışma yapılması * Lif yoğunluğunun meyvedeki bölgelere göre oranı * Mekanik özelliklerinin ayrımı için yoğunluğa göre gruplanması * Basınç testi	* Gerilme-şekil değiştirme eğrileri, enerji yutma uygulaması için ideal olan uzun bir gerinim aralığına yakın sabit düzlük gerilimini göstermektedir

Çizelge 1.4 (devam) : Su kabağı (LC) lifleri kullanılarak yapılmış olan çalışmaların özet tablosu.

AMAÇ	SÜREÇ/YÖNTEM	SONUÇ
Polyester reçineli kompozit malzeme hazırlarken kullanılan Luffa liflerine uygulanan kimyasal işlemler (Tanobe ve diğ., 2014)	* Liflere uygulanan kimyasal müdahale * Kompozitlerin hazırlanması * Çekme testi * Darbe testi * Lif çapının belirlenmesi * Kompozitin su emişi	* Elde edilen lif çapları ortalaması 0.631 ± 0.217 mm * Lif yoğunluğu 920 kg/m^3
Luffa liflerinin morfolojik özelliklerinin analizi ve luffa-polyester kompozitinin mekanik özelliklerinin makroskopik arıza modlarının belirlenmesi (Boynard ve diğ., 2010)	* Liflerin temizlenmesi * Kompozitlerin üretilmesi * 3 noktalı eğilme testi * Gerilme-şekil değiştirme	* Reçine bağlayıcılı kompozitlerde doğal lif takviyesi kullanmanın dezavantajları: Lif özelliklerinin fiziksel çevre koşullarından etkilenmesi, lifli gözenekli yapının polyester veya epoksi reçine ile birleşimi zorlaştırması * Sıcaklık eğrisine karşı ağırlık kaybı ortalama sıcaklıktan 100°C'ye ilk düşüşü gösterir ve bu lifler tarafından tutulan suyun buharlaşmasına bağlı olabilir. 250°C'ye kadar liflerde bozunma olmaz * Mekanik deney sonuçlarına göre Luffa kullanılması polyester reçinenin mekanik davranışında iyileşme yaratmamıştır * Luffa kullanımının avantajı: Diğer doğal liflerde olduğu gibi bir hazırlık aşamasına gerek yoktur. Malzeme hali hazırda mat haldedir.
Luffa'nın malakit yeşilini (MG) sulu çözeltiden ayırmak için kullanılması ve kontakt zamanı, pH ve sıcaklığın malakit yeşilinin uzaklaştırılmasındaki etkisinin gözlemlenmesi (Altınışık ve diğ., 2010)	* Liflerin çekirdeğinin ayrılması * Liflerin temizlenmesi * Kimyasal analiz	* Deneysel veriler Langmiur denklemiyle en uyumlu sonucu vermişlerdir ve homojen bir yüzey üzerindeki tek katmanlı yutuculuğu göstermektedir * Luffa'nın malakit yeşili emilimi olumlu sonuç vermiştir * Kinetik çalışma emilim işleminin ikinci derece kinetik modeli izlediğini göstermektedir * Termodinamik çalışma emilimin spontan ve endotermik nitelikli olduğunu göstermiştir
Ön işleme tabi tutulmuş Luffa liflerinin yapısı üzerinde değişen kimyasal arıtma parametrelerinin etkisinin incelenmesi (Ghali ve diğ., 2009)	* Luffa liflerinin temizlenmesi * Işın kırınım analizi	* Alkali tarafından deformeye uğrayan Luffa yüzeyi odun özü ve yarı selülozun yok edilmesinin yarattığı çizikleri göstermiştir ve karışım metodu Luffa'nın kimyasal yapısını bozmuştur

1.3.3 Bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılmış çalışmalar

Bulanık mantık yöntemi, özellikle mühendislik alanlarında kullanılmaya başlanması ile birlikte zaman içerisinde diğer alanlarda da kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Ancak yapılan literatür araştırmalarında, doğal lifli kompozit malzemelerin ses yutma katsayısının belirlenmesinde bulanık mantık yönteminin kullanıldığına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bölümde, bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılmış akustik ile ilgili diğer çalışmalardan bahsedilmiştir.

Aktif gürültü kontrolündeki olası gelişmeleri araştırmak için yapılmış bu çalışmada, bulanık bir modele dayanan bir kontrol tekniği kullanılarak, kare ahşap bir kutudaki gürültü azaltma simülasyonu yapılmıştır. Önerilen bulanık mantık tabanlı modeli ile klasik lineer yaklaşımlardaki değişken sayındaki artışla karmaşıklaşan kontrol döngülerinin sadeleştirilmesinin sağlandığı söylenmiştir (Silva ve Sousa, 2000).

Aluclu ve diğ. (2008) işyerinde gürültü seviyesinin azaltılması için bulanık mantık tabanlı bir model önerilmiştir. Bu modelde esas olarak yalnızca bir parametrenin etkisi değil, aynı zamanda bu parametrenin diğer parametrelerle etkileşimi özellikle işyeri çevresindeki duvarlar üzerinde dikkate alınmıştır (Aluclu ve diğ., 2008).

Peng ve Mayorga (2008) gürültü etki düzeyi değerlendirmesi için hibrit stokastik-bulanık bir yaklaşım önerilmiştir. Yöntem, simülasyon sonuçları ve çevresel yönergeler ile ilgili belirsizlikleri yansıtabilir. Bu araştırma şunları göz önünde bulundurur: (1) belirsizlik altındaki trafik yolundaki gürültü emisyonunun kaderi, (2) gürültü emisyonu ile trafik akışı, trafik hızı ve araç bileşeni gibi ilgili faktörler arasındaki ilişki, (3) gürültü etkisi için bulanık nitel analiz bulanık gürültü azaltma kriterleri ve (4) gürültü etkisinin ölçülmesi için olasılık analizi. Sonuçlar makul çözümlerin üretildiğini göstermektedir. Gürültü etkilerini netleştirmek ve şehir planlaması için önemli bilgiler sağlamak için kullanışlı olduğu söylenmiştir (Peng ve Mayorga, 2008).

Altı merkezi frekansta ses yutma katsayılarını ve bir sandviç duvarda dokunmamış yutucunun ortalama ses yutma katsayısını tahmin etmek için; daha genel bir tahmin yönteminin önerildiği bir başka çalışmada, regresyon sinir ağı (GRNN) tahmin modeli kullanılmıştır. 20 test örneğinin tahmin sonuçları, bu çalışmada önerilen tahmin yönteminin güvenilir ve verimli olduğunu göstermiştir (Liu ve diğ., 2014).

Yang ve Mak (2017), çalışmalarında, sınıflardaki akustik ortamın düzenlenmesi için çok katmanlı bulanık değerlendirme modelini önermişlerdir. Eğitim ortamlarının akustik kalitelerinin iyileştirilmesi için üniversitelere uygun tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Açık deniz kıyısı yapılarında çeşitli bölümlerin gürültü seviyesini tahmin etmek için modifiye edilmiş çoklu genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN) modelinin önerildiği çalışmada; ölçüm verileriyle karşılaştırıldığında, FCM-PCA-GRNN gürültü modelinin, deneysel tabanlı akustik modellerden yaklaşık % 16 daha az hata ile daha iyi performans gösterilmiştir. Ek olarak, sonuçların, açık deniz kıyısı yapılarının tasarımının ilk aşamasında çözülmesi için daha fazla zaman ve kaynak gerektiren istatistiksel enerji analiziyle karşılaştırılabilir bir performans gösterdiği söylenmiştir (Chin ve diğ., 2019).

Peng ve diğ. (2020), çalışmalarında, geometri konfigürasyonuna odaklanan Takagi – Sugeon – Kang tipi bulanık mantık kontrol tabanlı ileri beslemeli aktif gürültü kontrol sistemini tanıtmışlardır. Tüm fiziksel yollar zaman gecikmesi transfer fonksiyonu ile modellenmiş ve akustik geri besleme bulanık mantık kontrolü için girişlerin bir parçası olarak eklenmiştir. Sonuçlar; mesafe oranlarının gürültünün engellenmesi üzerindeki etkisinin farklı olduğunu ve değişik gürültü türleri için en uygun mesafe oranının farklı olduğunu ortaya koymuştur.

1.4 Yöntem ve Metodoloji

Bu bölümde, kompozit üretimi, ses yutma testleri, ses yutma katsayısı tahmin modellemeleri ve eğilme-basınç testleri sürecinden bahsedilmiştir. Kompozitlerin üretim süreci İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nda, ses yutma katsayısı ölçümleri ise Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma Uygulama Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerinin üretiminde deney adımları ve ses yutma katsayısı tayini ile yapay zekâ modelleme süreci aşama aşama anlatılmıştır.

Kompozit numunelerinin laboratuvar ortamında üretiminde izlenen yöntem ve süreç adımları şu şekildedir:

- 1- İlk olarak, kompozit içerisinde kullanılacak su kabağı lifi ve epoksi malzemesinin temini için gerekli araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar

sonucunda, su kabağı lifleri Hatay'dan elde edilmiştir. Pek çok farklı türü olan epoksi için ise firmalarla görüşülmüş ve döküm için uygun olan epoksi türü ARC Marin Kimya ve Denizcilik Hırdavat Dış Tic. LTD ŞTİ. Firmasının ARC-150 kodlu epoksisi kullanılmıştır.

- 2- Kompozit içerisinde kullanılacak ürünler temin edildikten sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Literatür araştırmaları, doğal liflerin hem bağlayıcı ile kolay yapışması hem de üzerinde bulunan selülozik yapının ve toz gibi dış etkenlerin temizlenmesi için NaOH (sodyumhidroksit) çözeltisi ile alkalizasyon işlemi yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada üretilecek kompozitte kullanılacak epoksi bağlayıcı laboratuvar üretimi olduğu için lifler ile aderans sorunu yaşamayacak olsa da liflerin yüzeyinin temizlenmesi ve nem dayanımının artırılması için su kabağı liflerine alkalizasyon işlemi yapılmış ve işlem sonucunda lifler temizlenip kurutulmuştur.
- 3- Kompozit üretimi için ilk olarak su kabağı ve epoksinin ağırlıkça oranları dikkate alınarak üretim gerçekleştirilmek istenmiştir. Ancak bu noktada, istenen oranda lif kalıplara yerleştirilemediği için ağırlıkça oranlamanın lifli kompozit üretiminde doğru bir yöntem olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle süreç, çalışmayı 'hacimce lif oranı' ile kompozit üretimine yöneltmiştir. Kompozit içerisinde kullanılacak malzemelerin hacimce oranlarının alınabilmesi için yoğunluklarının kullanılması gerektiğinden dolayı su kabağı lifleri için su piknometresi kullanılarak yoğunluk tayini gerçekleştirilmiştir. Epoksinin yoğunluğu firmadan istenmiş ve bu iki veri ile kompozitler içerisinde kullanılacak hacimce lif ve epoksi oranları belirlenmiştir.
- 4- Hem empedans tüpüne daha kolay ulaşım sağlanması hem de numune boyutlarının üretilmesi için eldeki ortam imkânları sebebiyle kompozitlerin ses yutma katsayısı tayininde empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Empedans tüpü ölçümünde alçak ve yüksek frekanslardaki ses yutuculuğunun ölçülebilmesi için aynı fiziksel özellikli numunelerde 100mm ve 30mm çaplı üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, her bir numunenin ayrı ayrı üretilebilmesi için CNC kesimli kalıplar üretilmiştir. Daha sonra bu kalıplar içerisine, daha önceden belirlenmiş oranlarda lifler yerleştirilmiş ve liflerin

arasına epoksi enjeksiyonu yapılmıştır. Son olarak da kompozitler kurlenmeye bırakılmıştır.

Numunelerin üretimi tamamlandıktan sonra, ses yutma katsayısı tayini için empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Üretilen numuneler tüp içerisine yerleştirilmiş ve ölçümler tamamlanmıştır.

Kompozitlerin ses yutma katsayıları belirlendikten sonra yapay zeka modellemesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, numunelerin fiziksel özellikleri, frekanslar ve ölçüm sonucunda elde edilen ses yutma katsayısı değerleri kullanılarak 3 farklı model kurulmuş ve modellerin ölçüm sonuçları ile uyumu incelenmiştir.

Tüm bu çalışmalara ek olarak, çalışma kapsamında önerilen doğal lifli kompozit malzemenin endüstriyel üretimine geçilmesi halinde gerekli olacak eğilme-basınç dayanımı için TS EN 196-1 (2002) standardında belirtilen şekilde deneyler yapılmıştır.

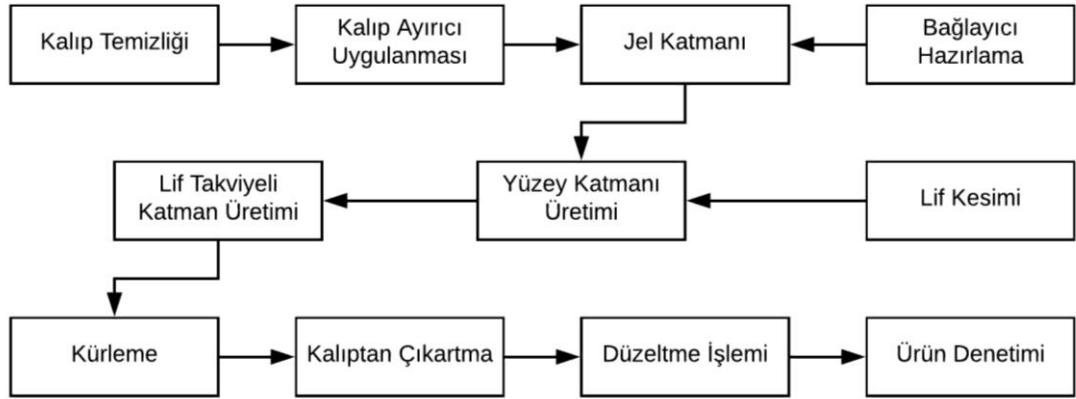
Bu bölümün alt başlıklarında, çalışma kapsamında farklı aşamalarda kullanılan yöntemlerle ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

1.4.1 El ile yayma (hand lay-up) yöntemi

Lifli kompozitlerin üretiminde pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Kullanılacak yöntem lif boyutuna ve bağlayıcı malzemenin termoset veya termoplastik olma özelliğine göre üretim yöntemi de değişmektedir. Örneğin, termoplastik malzemeler ısıyla şekillendirilebildikleri için ve sonrasında tekrar tekrar kullanılabilirliklerinden termoplastik bağlayıcı kompozitlerde ‘Termal şekillendirme’ yöntemi kullanılabilirken; termoset malzemeler ısıyla kurlendiği ve sonrasında tekrardan işlenemediği için bu yöntem termoset bağlayıcıların kullanıldığı koşullarda uygun değildir. SMC kalıplama, SRIM, enjeksiyon kalıplama, basınçlı kalıplama gibi çeşitli üretim yöntemleri vardır (Muzzy ve Kayz, 1984; Chang ve Lees, 1988; Vadia ve Chawla, 2008; Biron, 2013; Biron, 2018; Rajak ve diğ., 2019). Burada önemli olan, bağlayıcı türünü belirledikten sonra lif tipini ve kompozit numunelerinin üretileceği laboratuvar koşullarını tespit ederek en doğru üretim yönteminin seçilmesidir.

Çalışma kapsamında, kompozitlerin üretimi el ile yayma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. El ile yayma yöntemiyle üretilen lif takviyeli kompozitlerde termoset polimer matris kullanılması tipik bir işlemdir (Şekil 1.11). Liflerin ve reçinelerin birleştirilmesi ve reçinenin kurlenme işlemi kompozit malzemenin şekillendirme

sürecidir ve aynı zamanda kompozit malzeme oluşturma sürecidir. Kompozit malzemelerin metalik malzemelerden farklı olduğunu gösteren diğer bir özellik malzeme ve ürünlerin tanımlanmasının aynı işlemde yapılmasıdır. Kalıplama işlemlerinden biri olan el ile yayma yöntemi genellikle UP ve epoksi reçinesi için kullanılır. Laminasyon, sıkıştırma kalıplama ve filament sarım işlemlerinde genellikle epoksi reçine ve fenolik reçine kullanır. Enjeksiyon ve ekstrüzyon işlemlerinde ise genellikle termoplastik reçineler kullanılmaktadır (Wang ve diğ., 2011).



Şekil 1.11 : El ile yayma yöntemi işlem süreci şeması (Wang ve diğ., 2011).

El ile yayma yönteminin avantajları:

- 1- Karmaşık ekipmana ihtiyaç yoktur, sadece basit kalıplara ve aletlere, düşük yatırıma, hızlı etkiye ve işletmelere uygundur.
- 2- İlkelerin öğretilmesi basit, üretim teknolojisine hâkim olması kolaydır. Kısa süreli eğitimden hemen sonra üretim yapılabilir.
- 3- Ürünleri boyut ve şekilleri ile sınırlı değildir.
- 4- Metal, ahşap, köpük gibi diğer malzemelerle kompozit yapmak için kullanılabilir.
- 5- Büyük çatılar gibi taşıması zor boyuttaki malzemelerin yerinde üretilmesine olanak verir.

El ile yayma yönteminin dezavantajları:

- 1- Düşük verimlilik, yavaş ve uzun döngü, büyük miktarda ürün için uygun değildir.

2- Ürünün kalitesi, operatörün becerisinden ve üretim ortam koşullarından etkilenir.

3- Kötü üretim ortamı, koku ve tozdan korumaya ihtiyaç duyar

Çalışma kapsamında kompozit üretiminde el ile yayma yönteminin tercih edilme sebebi, hem kompozit içerisinde kullanılacak ve termoset grubundan olan epoksinin işlenmesi için uygun bir yöntem olması hem de deney sürecinde kullanılacak laboratuvar şartlarına en uygun yöntem olmasıdır.

1.4.2 Ses yutma katsayısının belirlenmesi yöntemi

Bir malzemenin ses yutma katsayısını belirlenmesinde empedans ve durağan dalga yöntemi ile çınlama odası yöntemleri kullanılır ve bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

1.4.2.1 Empedans ve durağan dalga yöntemi

Bir malzemenin ses yutma katsayısını belirlenmesinde durağan dalga tüpü, hem normal yutuculuk katsayısının hem de yüzey empedansının ölçülmesini sağlar. Yutuculuk katsayısı ve empedansının iyi tanımlanmış olması ve kontrollü koşullar altında ölçülmesini sağladığı için kullanışlı bir test yöntemidir. Sonuç olarak, gözenekli malzemeler için tahmin modellerinde sıklıkla kullanılır. Bu yöntem, sadece küçük numunelere (birkaç santimetre çapında) ihtiyaç duyma avantajına sahiptir ve alternatif, daha zor ve pahalı olan çınlama odası testleri için büyük numuneler oluşturmak zorunluluğu olduğundan, malzeme geliştiricileri tarafından daha çok tercih edilir. Diğer bir önemli avantajı ise, empedans tüpü yönteminin, normal bir odada nispeten basit bir aparatla gerçekleştirilebilmesi ve test odalarına ihtiyaç duymamasıdır. Yöntemle ilgili sorunlar, küçük numuneden emilim, bazı rezonant emicilerde olduğu gibi büyük bir numunenin davranışını temsil etmediğinde ortaya çıkar. Bu nedenle, yöntem en çok bölgesel reaksiyonlu gözenekli yutucular ile kullanılır (Cox ve d'Antonio, 2016).

Bu yöntemin çalışma prensibinde; bir hoparlör empedans tüpünde düzlem dalga yayılımı üretir ve düzlem dalga numuneden yansıtma yapmadan önce tüpte yayılır. Tüpün içinde sabit bir dalga kurulumu. Bu, akustikte yaygın bir tekniktir ve uluslararası standartlarda yer almaktadır (Cox ve d'Antonio, 2016).

Durağan dalga yönteminin avantajı; güvenilir ve kullanıcı dostu olmasıdır. Ancak, her frekans için ayrı ölçüm yapılması gerektiği için işlem süreci uzun sürmektedir. Düzlem

dalgalarının tüp içerisinde yayıldığı varsayılırsa, sesin sonsuz yutucudan yansıması kullanılabilir (Cox ve d'Antonio, 2016).

Türkiye’de durağan dalga yöntemi için TS EN ISO 10534-1 (2001) standardı kullanılmaktadır. Bu standartta, ses yutma katsayısı, yansıma faktörü, yüzey empedansının elde edilmesi ilgili bir yöntem verilmektedir. Bu yöntem, dik olarak gelen ses dalgaları için, ses yutucu malzemenin ses yutma katsayısının ölçülmesinde kullanılabilir. Aynı zamanda bu yöntemle, ses yutucu malzemelerin akustik yüzey empedansı da belirlenebilir.

Ses yutma katsayısının belirlenmesinde kullanılan diğer bir empedans tüpü yöntemi de aktarım fonksiyonu yöntemidir ve Türkiye’de bu yöntem için TS EN ISO 10534-2 (2003) standardı kullanılmaktadır. Bu standard, numune yüzeyine dik gelen ses dalgasının yutulma katsayısının ölçülmesi noktasında sayısal bir analiz ile iki mikrofon ve empedans borusu kullanılmasını kapsamaktadır. Bu yöntem, malzemenin hava akış direnci, gözeneklilik, esneklik ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleriyle ilgili olması sebebiyle bu yöntem özellikle ürün geliştirmede faydalıdır.

Her iki yöntemdeki deney süreci birbirine benzemektedir. Empedans borusunun bir ucuna ses kaynağı bağlanırken diğer ucuna numune monte edilir. Ancak iki yöntemin ölçme teknikleri farklıdır. Durağan dalga yönteminde, boru içerisinde bir gürültü kaynağı tarafından düzlem dalgalar üretilir. Numuneye gelen dalga ve numuneden yansıyan dalga üst üste geldiğinde boru içerisinde durağan dalga meydana gelir. En küçük ve en büyük basınçta, genliğin ölçülen niceliğinden türetme yapılır ve bu verilerle ses yutma katsayısı belirlenir (TS EN ISO 10534-1, 2001). Aktarım fonksiyonu metodunda ise, empedans borusu içerisindeki ses kaynağından düzlem dalgalar üretilir ve numuneye yakın iki yerde ses basınç düzeyleri ölçülür. İkili mikrofon sinyalinin karmaşık akustik aktarım fonksiyonu belirlendikten sonra, ses dalgalarının dik gelmesi durumunda kompleks yansıtma faktörü, yutma katsayısı ve empedans oranı hesaplanır. Kullanılabilir frekans aralığı, empedans borusunun uzunluğuna ve mikrofonlar arasındaki mesafeye bağlıdır (TS EN ISO 10534-2, 2003).

Castagnede vd. (2000), Koizumi vd. (2002), Garai ve Pompoli (2005), Zulkifli vd. (2008), Ersoy ve Küçük (2009), Ismail vd. (2010), Chen vd. (2010), Fouladi vd. (2010), Yılmaz vd. (2011), Yang vd. (2011), Fouladi vd. (2011), Alba vd. (2011), Veerakumar ve Selvakumar (2012), Ekici vd.(2012), (Xiang ve diğ., 2013), Ganesan

ve Karthik (2015), Berardi ve Iannace (2016), . Thigalavathi vd. (2017), Putraa vd. (2018), Yuvaraj vd. (2018), Taban vd. (2019), Yuvaraj vd. (2019) ve Mohammad vd. (2019) ürettikleri doğal lifli kompozitlerin ses yutma katsayılarının ölçümünde empedans tüpü yöntemini kullanmışlardır.

Bu çalışma kapsamında, üretilen numunelerin ses yutma katsayılarının tayininde akustik empedans tüpü, aktarım fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

1.4.2.2 Çınlama odası yöntemi

Bir mekân içerisinde akustik düzenlemelerin yapılması için malzemelerin ses yutma katsayılarının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem de çınlama odası yöntemidir. Türkiye’de çınlama odası yöntemi ile malzemelerin ses yutma katsayılarının belirlenmesinde EN ISO 354 (2003) standardı kullanılmaktadır. Özel olarak üretilen bu odanın hacminin standartta belirtildiği üzere yeni yapılarda 200m³’ten fazla olması gerekmektedir. Fakat hacmin 500 m³’ten yüksek olması durumunda havanın yutuculuğu da devreye gireceği için sonuçlarda sapma olabileceği de belirtilmiştir.

TS EN ISO 10534-1, 2001 standardında empedans tüpü yöntemi ile çınlama odası yöntemi arasındaki farklardan bahsedilmiştir. Empedans tüpü yönteminde ses malzeme yüzeyine dik olarak gelirken, çınlama odası yönteminde ses dalgaları malzeme yüzeyine farklı yönlerden gelmektedir. Doğru uygulama yapıldığı takdirde empedans tüpü yönteminde dalgalar direkt olarak yüzeye geldiği için sonuçlar güvenilirdir. Çınlama odası yönteminde ise ortam şartlarına bağlı olarak sonuçlar basitleştirilerek değerlendirilir ve bazen ses yutma katsayısının 1’in üzerinde olduğu sonuçlar da elde edilebilir. Empedans tüpü için gerekli numune boyutlarında boru çapı önemli bir parametre iken, çınlama odası yönteminde oldukça büyük boyutlarda numune üretilmesi gerekmektedir.

Narang (1995) ve Allesandro ve Pispola (2005) lifli kompozitler ile yaptıkları malzemelerin ses yutma performansına yönelik çalışmalarda ses yutma katsayısının belirlenmesinde çınlama odası yöntemini kullanmışlardır. Lim vd. (2018) ise ses yutma katsayısı ölçümleri için hem empedans tüpü hem de çınlama odası yöntemlerini kullanmışlardır.

Çalışma kapsamında numunelerin ses yutma katsayılarının belirlenmesinde çınlama odası yöntemi kullanılmamıştır. Literatür araştırmalarından da görüldüğü üzere

empedans tüpünde ses dalgaları kaynaktan alıcıya direkt olarak gelir. Ancak tabiatta ses dalgaları direkt olarak alıcıya ulaşmaz aksine y zeyeye her yönden ses dalgaları gelir (random noise). Bu nedenle çınlama odası yöntemi ile yapılan ölçümler gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Özellikle, alçak frekanslarda ses yutma katsayısı sonuçları empedans tüpü ölçümlerine göre çok daha yüksek çıkmaktadır. Aynı zamanda, numunler levhalar halinde  retiler e Çin yine özellikle alçak frekanslarda daha yutucu sonuçlar elde edilmektedir. Ancak, bu yöntemle ölçümlerin yapılabilmesi Çin her bir numune türü Çin yaklaşık 10m2'ye yakın malzemeler üretilmeli ve çınlama odası tabanına yerleştirilmelidir. Çalışma kapsamında, malzemelerin bu boyutlarda üretim imkânı olmadığından empedans tüpü ile ölçümler yapılmıştır. Endüstriyel uygulamaya geçilmesi halinde çınlama odası ölçümleri de yapılacaktır.

Bu tarz çalışmalarda, empedans tüpünden elde edilen ses yutma katsayılarının çınlama odası ölçüm sonuçlarına çevrilmesi Çin bir denklem (1.1) kullanılabilir. London, yapmış olduğu araştırmasında empedans tüpü sonucu elde edilen direk gelen ses dalgasının emilim katsayısı verilerini, çınlama odası ölçüm sonucu elde edilen yaygın gelen ses dalgasına çevirebilmek Çin aşağıda tanımlanan formülü önermiştir. Ayrıca bu formülü türetebilmek Çin pek çok deneysel çalışma ger ekle tirmi  ve en az hata payı içeren formül olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. ASTM C384 – 04 (2004) nolu standart tarafından da London'un yapmış olduğu araştırma referans olarak gösterilmiştir.

$$\alpha_e = 4 * \left| \frac{1 - (1 - \alpha_0)^{\frac{1}{2}}}{1 + (1 - \alpha_0)^{\frac{1}{2}}} \right| \left\{ \ln 2 - \frac{1}{2} - \ln \left[1 - (1 - \alpha_0)^{\frac{1}{2}} \right] - \frac{(1 - \alpha_0)^{\frac{1}{2}}}{2} \right\} \quad (1.1)$$

Bu denklemde;

α_e : yaygın olarak gelen ses dalgasına ait ses emilim katsayısı (random incidence)

α_0 : direk olarak gelen gelen ses dalgasına ait ses emilim katsayısı (normal incidence)

1.4.3 Ses yutma katsayısı tahmin modeli yöntemi

Veri Madenciliği, çok fazla veri içerisinden gizli kalmış örüntüleri ortaya çıkarma süreci olarak tanımlanır. Bu sürecin adımlarından biri de modellemedir. Bu adımda; veri üzerinde uygulanabilecek tüm yapay zekâ, makine öğrenmesi ve istatistiksel algoritmalar uygulanır. Daha sonraki değerlendirme aşamasında ise uygulanan tüm algoritmaların sonuçları değerlendirilir ve en iyi sonucu veren algoritma seçilerek

uygulamaya aktarılır. Eğer daha sonra yeni veriler eklenirse bu süreç yenilenmelidir. Yani ilk uygulama sürecinde A algoritması en iyi sonucu verirken, veri eklenmesinden sonraki uygulama sürecinde B algoritması en iyi sonucu verebilir. Bu noktadan hareketle; herhangi bir veri için herhangi bir algoritmanın en iyi sonucu vermesinin nedeni konusunda kesin bir şey söylemek mümkün değildir (Maharjan ve diğ., 2019; Mederios ve diğ., 2019; Hoang ve Nguyen, 2019; Jinich ve diğ., 2019; Winkler-Schwartz ve diğ., 2019; Brissaud ve diğ., 2019; Mahmoodzadeh ve diğ., 2020; Moody ve diğ., 2020; Wen ve diğ., 2020; Wang ve diğ., 2020).

Tahmin modeli olarak, çalışma kapsamında bulanık mantık modeli(Fuzzy Logic), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım modeli (ANFIS) ve çoklu regresyon modeli kullanılmıştır ve kurulan modeller arasında en iyi sonuç veren model analiz edilmiştir. Modellerin çalışma prensipleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

1.4.3.1 Çoklu regresyon modeli yöntemi

Birbiri ile neden-sonuç ilişkisi içinde bulunan iki ve daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ortaya koymak için kullanılan yöntem çoklu regresyon analizi denir. Çoklu regresyon analizi istatistiksel bir yöntemdir. Değişkenlerden biri bağımlı değişken, diğerleri bağımsız değişkenler olarak adlandırılır. Analiz sonunda bir regresyon denklemi oluşturulur. Eğer incelenen değişken sayısı iki ise bu basit regresyon analizi, değişken sayısı 2’den fazla ise çoklu regresyon analizi olarak adlandırılır. Denklem 1.2’de çoklu regresyon denklemi verilmiştir (Sun ve Trevor, 2017).

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + U \quad (1.2)$$

Y: bağımlı değişken

X: bağımsız değişken

β : regresyon katsayısı

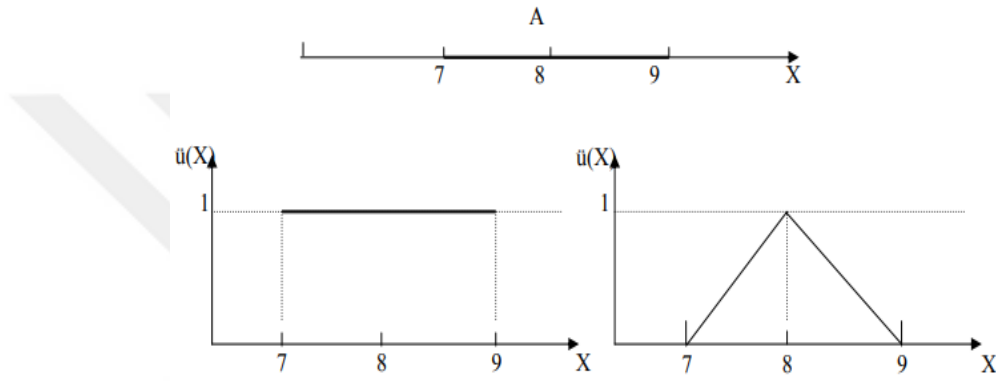
k: girdi sayısı

U: hata terimi

1.4.3.2 Yapay zeka tahmin modeli yöntemi

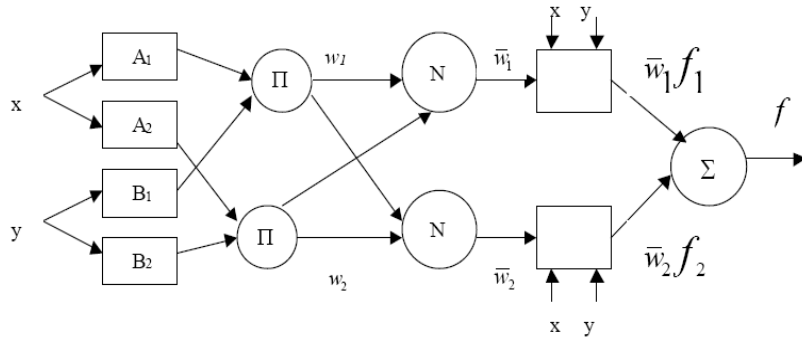
Çalışma kapsamında 2 farklı yapay zeka tahmin modeli kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, ‘Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)’ modelidir. Bulanık kümeler teorisi, ilk

olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya konan, belirsizlik ve muğlaklık içeren durumların matematiksel olarak tanımlanmasını sağlayan bir yöntemdir. İlk ortaya konduğu dönemden bugüne kadar pek çok alanda farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır ve önemi gün geçtikçe artmaya devam etmektedir (Dubrovin ve diğ., 2002; Şen, 2004). Şen (2004) 'Bulanıklık bir belirsizlik ifadesidir' demiştir. Bulanık küme teorisinin ana fikri sezgisel ve doğal olmasıdır. Bulanık kümeler oluşturulurken kesin sınırlar yoktur (Sakawa, 2013). Örneğin; Aristo mantığının tam tersi olarak 0 ve 1 değil 0 ve 1 'aralığı' kümeleri ifade etmek için kullanılır. Şekil 1.12'de klasik küme ve bulanık kümenin şematik gösterimi verilmiştir (Şen, 2004).



Şekil 1.12 : Üyelik derecesi fonksiyonları; klasik küme ve bulanık küme (Şen, 2004).

Çalışmada kullanılan diğer bir yapay zeka tahmin modeli de 'Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım (ANFIS)' modelidir. Bulanık kontrol ve sinir ağlarından (neural networks) gelen fikirlerin birleştirilmesine dayanan uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) modeli, hem sinir ağlarının hem de bulanık kontrol sistemlerinin avantajlarına sahiptir. ANFIS, yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyetini Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemi ile doğrusal olmayan fonksiyonları yaklaşık olarak entegre eder (Marzi ve diğ., 2017). Yapay sinir ağları sayısal çıktılara dayanırken, bulanık model sözel çıktılara sahip olduğu için ikisinin entegrasyonu ile oluşan ANFIS modeli, problemlerin çözümünde ve çözümün anlaşılabilirliğinde avantaj sağlamaktadır. Bulanık mantık modeli ile ANFIS modeli arasındaki tek fark; bulanık mantıkta çıktı elde etmek için alt küme elemanları sözel olarak kurallar halinde tanımlanırken, ANFIS modelinde ise kurallar yapay sinir ağları yardımıyla program tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Her iki model de, Fuzzy Logic arayüzünü kullanmaktadır. Şekil 1.13'te ANFIS kümeleme şeması verilmiştir (İm ve diğ., 2018).

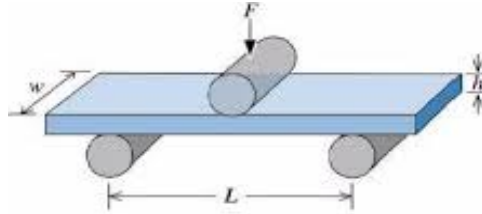


Şekil 1.13 : ANFIS Kümeleme şeması (Im ve diğ., 2018).

1.4.4 Eğilme-basınç testleri

Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri üretilen bir malzemenin yük altındaki davranışını tespit etmek için yapılan deneylerdir. Deneyler sonucunda malzemenin mukavemeti ortaya çıkar. Bu çalışmada, üretilen kompozit numunelerinin 3 noktalı eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Bitirme malzemesi olarak kullanılması planlanan bu kompozitlerin eğilme ve basınç testlerine tabi tutulmasının sebebi, plakalar halinde üretilip taşınmaları durumunda kesme ve eğilme yüküne maruz kalma ihtimalleridir.

Eğilme dayanımı testinde ilk olarak TS EN 196-1 (2002) standardında belirtildiği üzere 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi (Şekil 1.14) için test yapılacak numuneler için 40mm x 40mm x 160mm boyutlarında örnek prizmalar üretilmelidir.



Şekil 1.14 : 3 noktalı eğilme dayanım deneyi boyutları (TS EN 196-1).

$$V = (M_a - M_w) / \rho_w \quad (1.3)$$

V = Numunenin hacmi, kg/m³

M_a = Numunenin havadaki kütlesi (suya doymun, yüzeyi kuru durumda), g

M_w = Numunenin su içindeki görünür kütlesi, g

ρ_w = Suyun ölçülen sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm³

Testin devamında, eğilme dayanımı ölçülecek numunelerin yoğunlukları belirlenmeli ve numuneler 3 noktalı eğilme tayini için TS EN 196-1 standardında belirtilen hesaplama kullanılır. Bunun için aşağıda verilen Denklem 1.4 kullanılmalıdır.

$$R_f = \frac{1.5xF_fxl}{b^3} \quad (1.4)$$

R_f = eğilme dayanımı, Mpa

b = prizma şekilli numunenin kare kesit uzunluğu, mm

F_f = prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N

l = mesnet silindirleri arası mesafe, mm

Sonrasında laboratuvar ortamında üç noktalı bükme test makinesi kullanılarak numunelerin eğilme dayanımı ölçülür. Numunelere uygulanan yükleme hızı 50 N/s olmalıdır.

Numunenin eğilme testinin yanında bir de basınç dayanımı testi yapılması gerekir. TS EN 196-1 standardına göre basınç testi için numune boyutları 50x50x50mm olmalıdır. Numunelerin basınç dayanımını hesaplamak için Denklem 1.5'ten yararlanılmaktadır:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (1.5)$$

f_c : basınç dayanımı, MPa

F : kırılma kuvveti

A : alan, mm²



2. KOMPOZİTİ OLUŞTURAN MALZEMELER, SESİN YUTULMASI OLAYI VE SESİN YUTULMASINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Her malzemenin fiziksel özelliklerine göre değişen ses yutma katsayıları mevcuttur. Malzemede sesin yutulması pek çok farklı parametreden etkilenmektedir. Lifli malzemelerde de sesin yutulmasını etkileyen farklı etkenler mevcuttur. Malzemede sesin yutulması performansının değerlendirilebilmesi için öncelikli olarak malzemenin fiziksel özellikleri ile ilgili detaylı bilgi sahibi olunması gerekir. Kompozit malzemelerde ise kompoziti oluşturan her bir malzeme kendi özelliklerini bırakıp kompozit içerisinde yeni davranışlar sergilediği için, kompozitlerin de ayrıca incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu bölümün kapsamında, ilk olarak kompozit bir malzemeler ile ilgili genel bilgilere kısaca değinilip özellikle bitki lifli ve termoset bağlayıcılı kompozit malzemelerin oluşum süreci üzerinde durulmuştur. Burada amaç çalışma kapsamında üretilecek olan kompozit içerisinde kullanılacak malzemelerin belirlenmesidir.

Bir sonraki aşamada, bir malzemede sesin yutulması olayı anlatılmış ve malzeme sesin yutulması sırasında etkili olan parametreler incelenmiştir. Bunun amacı, çalışma kapsamında sesin yutulmasında incelenecek parametreleri ortaya koymaktır.

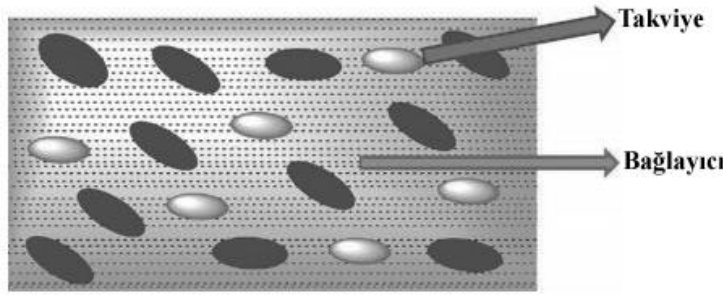
2.1 Kompoziti Oluşturan Malzemeler

Çalışmanın bu kısmında, kompozit malzemeleri oluşturan doğal lifler ve bu lifler ile kompozit içerisinde kullanılabilecek bağlayıcı türlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra yapılan bu araştırmaların sonucunda çalışma kapsamında kullanılmasına karar verilen su kabağı (LC) lifleri ve termoset bir bağlayıcı olan epoksinin fiziksel ve kimyasal özellikleri anlatılmıştır.

2.1.1 Kompozit malzemeler

Ersoy (2001), çok bileşenli malzemelerin, doğada bulunan malzemeye müdahale edilmeye başlanmasıyla ortaya çıktığını söylemiştir. İnsanoğlu ilk dönemlerinden itibaren kırılğan malzemelerin içerisine hayvansal ve bitkisel lifler ekleyerek bu

malzemelerin kırılma özelliğini azaltmaya çalışmışlardır. En yaygın kullanılan kompozit malzeme tanımı: ‘Kompozitler, herhangi bir ayırık malzemeden elde edilemeyen özellikleri sağlayan çok işlevli malzeme sistemleridir’. Mikroskobik ölçekte, herhangi bir bölümünün aynı fiziksel özelliklere sahip olması anlamında homojen malzeme olarak da düşünülebilir (Chandramohan ve Marimuthu, 2011). Thakur vd. (2013) "Kompozit" terimini, "bir araya getirmek" anlamına gelen kök sözcük componere'den kaynaklanan Latince kompozisyon kelimesinden geldiğini söylemiş ve şu şekilde devam etmişlerdir; farklı araştırmacılar kompozit malzemeleri farklı şekillerde tanımlamaktadır. Genel olarak, kompozitler, önemli ölçüde farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenden oluşturulan mühendislik malzemeleri olarak tanımlanır. Kompozitler, genellikle, tek tek malzemelere göre daha güçlüdür ve tek tek bileşenlere göre tamamen farklı özellikler gösterebilir. Şekil 2.1’de bir kompozitin genel şeması verilmiştir.



Şekil 2.1 : Bir kompozitin şematik gösterimi (Thakur ve diğ., 2013).

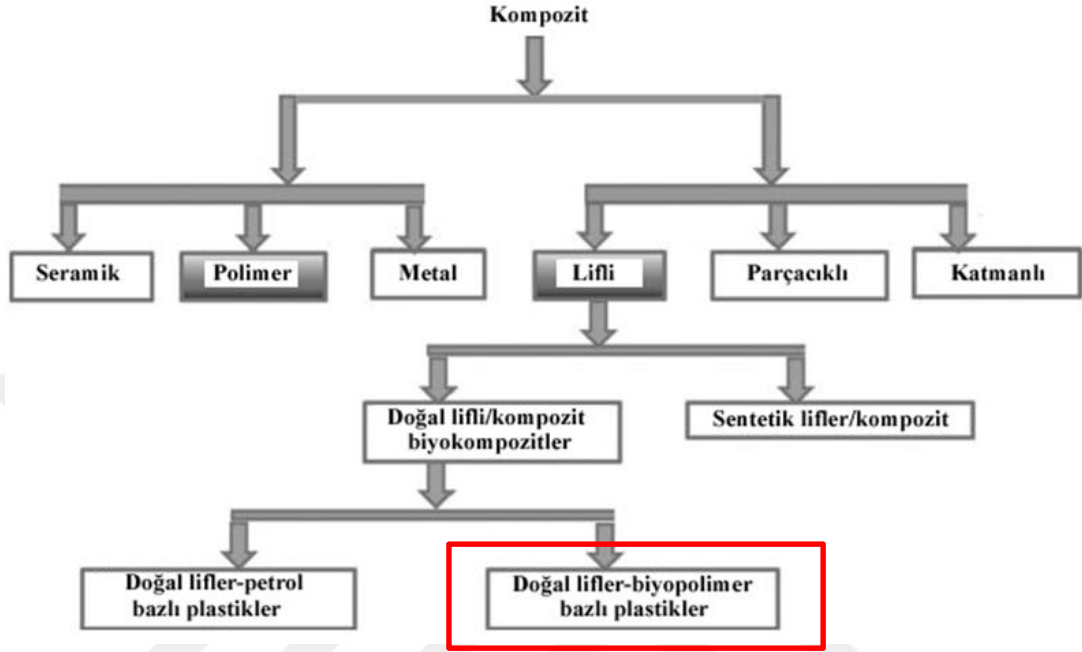
Kompozit malzemelerin avantajları, çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılabilir olmalarıdır. Birçok kompozit malzeme, yüksek yorulma mukavemeti, düşük ağırlık, korozyon direnci, gerilme, eğilme ve darbe mukavemetleri gibi daha yüksek spesifik özellikler bakımından avantajlı özellikler sunmaktadır (Oksman ve Sain, 2008).

Ersoy (2001) kompozit malzemeleri dört alt grupta sınıflandırmıştır:

- 1- Taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzemeler
- 2- Tanelerle donatılı kompozit malzemeler
- 3- Liflerle donatılı kompozit malzemeler
- 4- Tabakalı kompozit malzemeler

Thakur vd. (2013) kompozitleri genel olarak polimer, metal veya seramik gibi bağlayıcı türüne göre veya lifler, partikül, pul veya püskül gibi takviye türüne göre

sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.2, farklı kompozit türlerinin sınıflandırılmasını göstermektedir. Her tür kompozit malzeme, spesifik uygulamaların gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen su kabağı lifi (LC) - epoksi kompozitleri ‘Doğal lifler-biyopolimer bazlı plastikler’ sınıfına girmektedir.

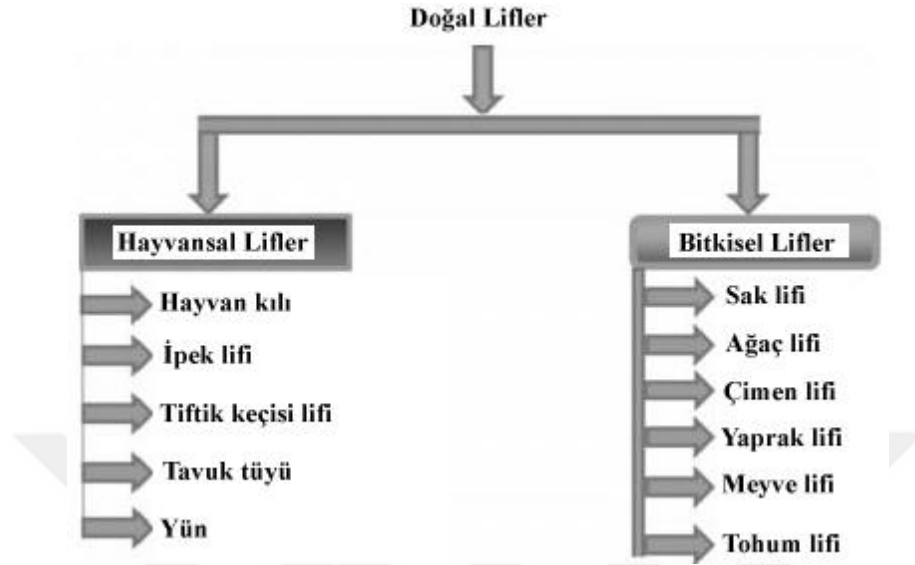


Şekil 2.2 : Farklı tip kompozitlerin sınıflandırılması (Thakur ve diğ., 2013).

2.1.1.1 Bitki lifli kompozit malzemeler

Sürdürülebilir kalkınma son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir ve petrol kaynaklarının öngörülebilir şekilde tüketilmesi, yenilenebilir kaynaklardan biyopolimer malzemelerin kullanılmasını gerektirmiştir (Bledzki ve Gassan, 1999). Sürdürülebilir kalkınma üç bileşenden oluşmaktadır: toplum, çevre ve ekonomi. Farklı doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimer malzemeler, sürdürülebilir ve yeşil kalkınmaya doğru geçişe yardımcı olma potansiyeline sahiptir (Zain ve diğ., 2011). Selülozik lifler, bitkisel yağlar, ahşap kabuğu, pamuk, yün ve ipek gibi doğal polimerik malzemeler, çeşitli endüstriyel uygulamalar için, geleneksel sentetik polimerik malzemeler yerine uygulanabilir alternatifler olarak ele alınmaktadır (Klyosov, 2007). Günümüzde, biyopolimerik malzemelerin etkin bir şekilde kullanılma talebi önemli ölçüde artmaktadır. Özellikle, biyo-polimer esaslı malzemeleri yeşil kompozit malzemelerin bileşenlerinden biri olarak kullanma fikri akademik alanda ve endüstride giderek daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır (Hamad, 2002). Doğal liflerin çeşitli uygulama alanlarındaki kullanım olasılıklarını tespit etmek üzere pek çok araştırma ve çalışma yapılmaktadır (Biswal, 2016).

Doğal lifler, kökenlerine dayalı olarak iki ayrı kategoriye ayrılmıştır: hayvan lifleri ve bitki lifleri. Şekil 2.3, doğal liflerin sınıflandırılmasını göstermektedir (Thakur ve diğ., 2013).



Şekil 2.3 : Doğal liflerin sınıflandırılması (Thakur ve diğ., 2013).

Bitki lifleri temel olarak katı selülozlu mikrofibriller esas olarak lignin ve hemiselülozlardan oluşan bir bağlayıcıya gömülü olan kendi başına bir biyolojik bileşiktir. Doğal liflerin mekanik özellikleri selüloz türüne bağlıdır. Her selülozun kendine ait kristal yapısı vardır ve bu da mekanik özellikleri belirleyebilir (Philip ve diğ., 2013). Bitki lifleri, yapısındaki çok sayıda hidroksil grubu sebebiyle hidrofiliktirler. Bu hidrofilik yapının bir sonucu olarak da lifler suya ve neme karşı dayanıksızdır. Bu nedenle herhangi bir kompozit içerisinde kullanılmadan önce alkali işleme tabi tutulmalıdırlar (Biswal, 2016).

Sürdürülebilir kompozitler, bileşenlerden en az birinin (bağlayıcı veya takviye gibi), doğal kaynaklardan elde edildiği belirli bir kompozit sınıfıdır. Şu anda araştırmalar yoğunlukla (doğal / biyolojik) liflerin uygun polimer bağlayıcılarla birleştirilmesiyle "yeşil" kompozitler geliştirmeye odaklanmaktadır. Polietilen, polipropilen, polistiren, polyester, epoksi, fenolik reçineler, nişasta ve polilaktik asit gibi yeşil kompozitler için çeşitli doğal ve sentetik polimer bağlayıcı reçineler mevcuttur. Donatı tipine ve polimer bağlayıcısına bağlı olarak, yeşil kompozitler üç ana gruba ayrılabilir (Thakur ve diğ., 2013):

- 1- Bağlayıcının ve takviyenin yenilenebilir kaynaklardan olduğu tamamen yenilenebilir kompozitler.

- 2- Bağlayıcının yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği ve sentetik bir malzeme ile takviye edildiği kısmen yenilenebilir kompozitler.
- 3- Sentetik bir bağlayıcının doğal biyopolimerler ile takviye edildiği kısmen yenilenebilir kompozitler.

Chandramohan ve Marimuthu (2011) kompozitlerde doğal lif kullanımının avantajlarını şu şekilde sıralamışlardır:

- 1- Özgül ağırlıkları düşüktür. Böylece cam yünü liflerinden daha yüksek özgül mukavemet ve sertlik elde edilir.
- 2- Yenilenebilir bir kaynaktır. Üretim sırasında az enerji ihtiyacı vardır.
- 3- Üretim maliyeti düşüktür.
- 4- Çalışanlar için daha sağlıklı bir ortam sunar.
- 5- Isı ve ses yalıtımları yüksektir. Ayrıca selülozik yapıları sebebiyle nem yutucudur.

Doğal liflerin dezavantajı olan şişme davranışı, genellikle morfolojilerinden ve fiziksel ve kimyasal yapılardan etkilenmektedir. Polimerlerin hücre duvarı, hidroksil ve hidrojen bağıyla nemi çeken diğer oksijen içeren gruplardan oluştuğundan, biyoyakıtlar değişen nem oranına göre boyutlarını değiştirirler. Hemiselülozlar çoğunlukla nem yutuculuğundan sorumludur ve doğal liflerden su girişi kılcal eylemle açıklanabilir. Yüzeyde bulunan mumlu malzemeler, su moleküllerinin lifte tutunmasına yardımcı olur. Doğal liflerin nem yutuculuğu, kimyasallarla yapılan yüzey değişiklikleri veya vinil monomerlerin aşılama ile azaltılabilir. Liflerin yüzey özelliklerini değiştirmek ve performanslarını arttırmak için cilalama (yağdan çıkarma), dehidrasyon, ağartma, asetillendirme ve kimyasal aşılama gibi kimyasal işlemler kullanılmaktadır (Oksman ve Sain, 2008).

2.1.1.2 Termoset bağlayıcılı kompozit malzemeler

Bağlayıcı sürekli bir fazdır ve lifleri birbirine bağlar. Bu nedenle lifler bir araya gelerek takviyeli malzemedir en iyi şekilde faydalanabilirler. Kompozit malzeme kuvvet; bağlayıcıdan life iletilir, yani bağlayıcı dengeleme yükü ve yük aktarımı rolü oynar. Lifler yalnızca bağlayıcı desteği ile sıkışabilir ve aynı zamanda bağlayıcı; liflerin bükülmesini önleyebilir. Ek olarak, kompozit malzemelerin üretimi ve

uygulamalarında bağlayıcı; lifin korunmasını sağlama ve lifin aşınmasını önleme rolünü üstlenir. Isı direnci, korozyon direnci, yanmayı geciktirme, anti-radyasyon, solvent direnci ve düşük nem emişi, kompozit malzeme teknolojisi ve parçaların şekillendirme yöntemleri gibi kompozit malzemelerin birçok özelliği, bağlayıcı tarafından belirlenir.

Wang vd. (2011) bağlayıcı malzeme seçilirken; kullanım performansı, işlem özellikleri ve ekonomik verimliliğine dikkat edilmesi gerektiğini söylemiştir.

Kullanım Performansı: Kullanım, düşünülmesi gereken ilk faktördür. Ürünlerin her biri için yapısal veya yapısal olmayan parçalar, yükün boyutu ve yönü, çevre koşullarının sert olup olmadığı, ısı direnci olup olmadığı, kimyasal korozyon, elektriksel performansın - optik özelliklerin özel gereklilikleri olup olmadığı ve toksik sınırlar olup olmadığı düşünülmelidir.

İşlem Özellikleri: Bağlayıcı reçinesinin işlem süreci için, örneğin, oda sıcaklığında kürlenmenin veya kürleme için ısıtmanın gerekliliği, basınç gerektirip gerektirmediği, reçinenin viskozitesi, çalışma ömrü ve toksisitesi vb. dikkate alınmalıdır.

Ekonomik verimlilik: Hammadde kaynağının zengin olup olmadığı, maliyetin yüksek ve pazara girme potansiyeline sahip olup olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Yukarıda bahsedilen üç unsurun önem sırası performans, teknoloji ve ekonomidir. Kullanım özelliği performans gerekliliklerini karşılayamazsa kolay şekillendirme avantajı ve düşük maliyet avantajını ortadan kaldırır. İlk ikisini tamamen karşılayan temelde, üçüncü ürünün büyük önemi olabilir. Çünkü fiyat ürünün tanıtımını yapma ve kullanma becerisine sahip olup olmadığını ve rekabetçi olup olmadığını belirler.

Liflerle donatılı kompozit malzemelerde en çok tercih edilen bağlayıcılar polimeriktirler. Genel olarak, polimerlerin mekanik özellikleri birçok yapısal yönden yetersizdir. Özellikle metaller ve seramikler ile karşılaştırıldığında kuvvetleri ve sertlikleri düşüktür. Polimerlerin diğer malzemeler ile takviye edilmesiyle bu sorunların üstesinden gelinmektedir. Polimer bağlayıcılı bileşiklerin işlenmesinde yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa gerek duyulmamaktadır. Ayrıca polimer bağlayıcılı kompozitlerin imalatı için gerekli olan ekipmanlar daha basittir. Bu nedenle polimer bağlayıcılı kompozitler hızla gelişmiş ve kısa sürede yapısal uygulamalar için popüler olmuştur (Chandramohan ve Marimuthu, 2011).

Kompozitlerde polimerleri kullanmanın en önemli avantajları, işleme kolaylığı, üretkenlik ve maliyet azaltma yöntemidir. Bu uygulamaların çoğunda, polimerlerin özellikleri, yüksek mukavemet / yüksek parça gereksinimlerine uyacak şekilde dolgu maddeleri ve lifler kullanılarak modifiye edilir. Lif takviyeli polimerler, spesifik özellikler karşılaştırıldığında diğer geleneksel malzemelere göre avantajlar sunar. Bu kompozitler aletlerden uzay araçlarına kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Saheb ve Jog, 1999).

Polimerler bağlayıcı fazlarına göre, termoset ve termoplastikler olarak gruplandırılabilirler. Bağlayıcı fazı, polimer kompozitlerinin performansında çok önemli bir rol oynamaktadır. Termoset ve termoplastiklerin her ikisi de kompozitler için bağlayıcı malzemeler olarak kullanımında avantajlıdır (Saheb ve Jog, 1999).

Termosetler, elle yayma ve püskürtme, sıkıştırma, aktarma, reçine transferi, enjeksiyon, sıkıştırma enjeksiyonu ve basınçlı kalıplama işlemleri gibi basit işleme teknikleri ile işlenmektedir. Kompozitlerde santrifüj döküm, soğuk pres kalıplama, sürekli laminasyon, kapsülleme, filament sarım, pultrüzyon, güçlendirilmiş reaksiyon enjeksiyon kalıplama, rotasyonel kalıplama ve vakum şekillendirme gibi birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin doğal lif kompozitler için kullanılması zor olmaktadır. Termoset polimerlerinde lifler tek yönlü bantlar veya matlar olarak kullanılır. Bunlar, termoset reçineler ile emprenye edilir ve daha sonra sertleşme gerçekleşmesi için yüksek sıcaklığa maruz bırakılır. Termoset kompozitlerinde lifler, kompozit malzeme oluşturmak için fenolik, epoksi ve polyester reçineleriyle birleştirilirler. Bu termoset polimerler ara yüzey gelişimine yardımcı olan reaktif gruplar içerirler (Saheb ve Jog, 1999).

2.1.2 Su kabağı (LC) liflerinin özellikleri

Su kabağı lifleri selüloz ve odun özü içermektedir. Kabaklardan Cucurbitaceae ailesinin bir üyesidir. Meyvesinin yapısı lifli damarlıdır (Altınışık ve diğ., 2010). Farklı yönlerdeki liflerden oluşan odunsu bir yapısı vardır. Bu lifler doğal bir reçineyle bir arada tutulmaktadır. %60 selüloz, %30 yarı selüloz, %10 odun özü (Ghali ve diğ., 2009). Daha detaylı incelendiğinde Luffa liflerinin kimyasal kompozisyonunun %82.4 holoselüloz, %63 selüloz, %19.4 yarı selüloz, %11.2 odun özü ve %3.2 çıkarıcı (extractive) olduğu tespit edilmiştir (Kocak ve diğ., 2015). Bilimsel adı 'Su kabağı

(*Luffa Cylindrica*)’ olan bu bitkinin bilinen diğ er isimleri; Kolombiya’da ’Cucumber’, Venezuela’da ’Quimgombo’, Brezilya’da ’Bushing Paulistas’, Entandos Unidos’ta ’steelwool’dur. D üş uk maliyeti ve geri d on üş um  ozelliği sebebiyle son zamanlarda farklı alanlarda tercih edilmektedir (Contreras-Andrade ve diğ., 2014).

Gelişmekte olan   lkelerde tropik alanlarda yetiştirilmektedir. Bu bitki ortam olarak seçici değildir ancak yetiştirilmesi için yumuşak ve gübreli toprak gerekmektedir. Türkiye sınırları içerisinde İç Anadolu ve Doğu Anadolu hariç her bölgede yetiştirilebilir. Bitkinin ekim d onemi Nisan ayı, hasat d onemi Eylül ayı sonudur. Hasat için bitki meyvelerinin dalında kuruması beklenir. Sarmaşık türü bir bitkidir ve boyu bazen 5 metreyi bulabilir. Askı tesisleri kurulduğu takdirde d on mde 1000-1200 adet yetiştirilebilir. Daha ziyade hobi ve evsel ihtiya ı karşılamak için 3-5 adet bitki yetiştirilir. Bitki başına meyve verimi 3-5 adettir.

Üretim maliyeti son derece d üş uk olan bu bitkinin üretimi için biraz gübre ve su yeterlidir. Bir de sarılabileceği bir ağaç,  it vb. ortam yaratmak gereklidir. Mali değeri yüksek değildir. Bazı turistik bölgelerde 3-5 TL arasında bir fiyata satılır. Daha ziyade kırsal yörelerdeki pazarlarda az miktarda satışı vardır. Büyük miktartlı üretiminde talebin azlığından kaynaklı pazar sorunu vardır. Evsel kullanımlarda ömrü 1 yıla kadar çıkar. Kuru iken çok sert olan lifler suya girince yumuşar. Yapı malzemesi olarak diğ er malzemelerle karışımında kullanım ömrü 20-30 sene olabilir.

2.1.3 Epoksi bağlayıcının  zellikleri

Epoksi reçinesinin sentezine 1930’lu yıllarda başlanmış ve 1940’lı yıllarda sanayi üretimine geçilmiştir. Epoksi reçine, yüksek mekanik mukavemet, iyi dielektrik özellikleri ve yüksek kimyasal korozyon direnci sayesinde kompozit içerisinde kullanımında liflerle güçlü bir bağ oluşturur. Son yıllarda epoksi reçine ve sertleştirci madde türleri büyük oranda gelişmiş, özellikle karbon ve bor lifli kompozit malzemelerin yerine geniş uygulama alanları bulmuştur (Wang ve diğ., 2011).

Yaygın olarak kullanılan üç döküm reçinesinin bükülme özellikleri sırasıyla; epoksi reçinenin 130MPa, doymamış polyesterin 60MPa ve fenolik reçinenin 78-120MPa’dır. Aynı reçinelerin cam lifi ile kompozitlerinde bükülme özellikleri, epoksi reçine esaslı kompozit malzemelerin 410MPa, doymamış polyester esaslı kompozitlerin 340MPa, fenolik reçine matris kompozitlerinin 377MPa’dır ve aradaki fark belirgindir.

Isıyla sertleşen reçine kürü hacim daralmasına neden olur. Genellikle kompozit ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyen, reçine ile güçlendirilmiş lifler arasında kötü bir yapışmaya neden olan hacim daralması ve reçine çatlamasıdır. Çeşitli reçinelerin hacimce büzülme oranı hızı aşağıdaki gibidir (Wang ve diğ., 2011):

Epoksi reçine-%1-%2

Polyester reçine-%4-%6

Fenolik reçine-%8-%10

Epoksilerin liflerle iyi yapışması daha güçlü bir ara yüz sağlar ve bu da kompozitin performansını belirler. Epoksiler, genellikle, sertleşme esnasında hacimce% 3 oranında (bu oran diğer bir termoset olan polyester için% 7'dir) büzülme oranına sahiptir ve daha düşük kalıntı verir. Epoksiler daha iyi bir ısı direnci ile tasarlanabilir ve yaklaşık 200°C'ye kadar epoksi novolaklar kullanılabilir. Epoksilerin bitmiş kompozitlere daha iyi bir yorulma direnci kazandırdığı iddia edilmektedir. Bazı daha hızlı kür sistemleri mevcut olmasına rağmen, ana dezavantajları, özellikle diğer bir termoset olan polyesterler ile karşılaştırıldığında yavaş işlem süreci ve yüksek maliyet olmaktadır (Owen ve diğ., 2000).

Özetle; epoksi reçine çok çeşitli sentetik reçinelerden biridir ve sürekli gelişime sahiptir. Yapıştırıcı, kaplama, döküm plastikleri ve fiber takviyeli kompozitlerin bağlayıcı reçinesi olarak kullanılabilir ve havacılık, otomotiv, inşaat ve diğer sanayi sektörlerinde mekanik, elektriksel, kimyasal olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Epoksi reçine, iki veya daha fazla epoksi grubu içeren moleküllere atıfta bulunan organik önpolimer türüdür. Epoksi grupları, moleküler zincirin sonunda, ortasında veya bir halka yapısında bulunabilir. Moleküler yapının aktif epoksi grubundan ötürü, birçok kürleme ajanı ile çapraz bağlanabilir ve çözünmeyen, erimeyen üç boyutlu ağ yapı polimerini oluşturabilirler (Wang ve diğ., 2011).

Epoksi reçinenin özelliklerini şu şekilde özetleyebiliriz:

Çeşit sayısının fazlalığı: Çok çeşitli reçineler, kürleme ajanı, modifiye edici ajan sistemi, çok düşük viskoziteli sıvıdan yüksek erime noktalı katıya kadar değişebilen talep doğrultusunda geniş bir uygulama yelpazesine adapte olabilir.

Kürlenme imkânı: Çeşitli sertleştirici ajanları seçerek, epoksi reçine sistemi neredeyse 0°C ila 180°C aralığında kürlenebilir.

Güçlü yapışma: Epoksi reçinesinin yapısal polaritesi hidroksil ve eter bağı, çeşitli maddelerle yüksek yapışma özelliğine sahiptir. Epoksi reçinesinin düşük sertleşme büzüşmesi, az miktarda iç gerilim ile sağlam bir yapışma bağı oluşturmaya yardımcı olacaktır. Kürlenme tepkimesinde uçucu yan ürünlerin salınımı olmadığından, epoksi reçine sisteminin bağlanma mukavemetini daha da arttıran uçucu yan ürünlerin uzaklaştırılması için, yüksek basınçta veya zamandaki kalıplamaya gerek yoktur.

Düşük büzülme: Epoksi diğer ısı ile sertleşen polimer reçinelerden farklıdır, kür işleminde yan ürünler üretmez ve sıvı içinde yüksek seviyede birleşme vardır. Kürlenme, doğrudan katılma reaksiyonu ile gerçekleştirilir, bu nedenle hacim kaybı düşüktür. Modifiye edilmemiş bir sistem için, çekme oranı %2'den az iken, genel fenolik reçine ve polyester reçinenin kürlenmesinde önemli ölçüde hacim kaybı vardır.

Mekanik özellikler: Sertleşen epoksi reçine sistemi üstün mekanik özelliklere sahiptir.

Elektriksel özellikler: Sertleşen epoksi reçine sistemi, yüksek dielektrik, yüzey sızıntısına dayanıklı ve iyi bir yalıtım malzemesi olan geniş bir frekans ve sıcaklık aralığında iyi elektriksel performansa sahiptir.

Kimyasal stabilite: Sertleşen epoksi reçinesi güçlü bir kimyasal kararlılığa sahiptir. Kürlenme epoksi sisteminde; benzen halkası ve yağ hidroksil temel olarak, zamanla aşınmaya karşı ve asite dayanıklıdır. Epoksi reçine ve fenolik reçine arasında zayıf asitli veya polyester reçinenin ester bağı bulunan NaOH için kararlılık karşılaştırması yapılabilir. Özellikle çözücü direnci bakımından yoğun yapı yığınının kapalı bloğundan dolayı, kür epoksi sisteminin kimyasal stabilitesi artırılmıştır.

Boyutsal kararlılık: Epoksi reçine sistemi üstün boyutsal kararlılığa ve dayanıklılığa sahiptir.

Mantar direnci: Sertleşen epoksi reçine sistemi, mantarlara karşı koyabilir ve sert tropik koşullar altında kullanılabilir.

2.2 Lifli Malzemelerde Sesin Yutulması Olayı

Bir kaynaktan çıkan ses dalgaları alıcıya direkt ulaşmasının yanında ayrıca bir takım yüzeylerden ya da objelerden yansıyarak da ulaşabilir. Kapalı mekanlarda, ortamın akustiğini belirlemede şüphesiz ki duvar, döşeme, tavan gibi yüzeylerden yansıyan ses dalgaları önemli rol oynamaktadır. Bir yüzeye ulaşan ses dalgaları yansıtılır, yutulur,

kırılır, saçılır ya da iletilir. Bu noktada ses dalgalarının ulaştığı yüzeyin fiziksel özellikleri etkili olmaktadır.

Sabin tarafından mimari akustiğin ortaya çıkartıldığı zamandan beri yüzeylerin yutuculuklarıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Zaman ilerledikçe yüzey yutuculuklarını belirlemek için farklı yöntemler ve formüller de geliştirilmiştir (Cox ve D'Antonio, 2016). Ses dalgası bir nesneye çarptığında, o nesnenin sonsuz katı olmadıkça titreşim yapar. Böylece titreşim enerjisi ses dalgasından çarptığı nesneye aktarılır. Bu enerjinin bir kısmı, nesnenin yapıldığı malzemedeki iç sürtünme kayıplarından dolayı yutulur. Bir başka enerji kaybı biçimi de ses dalgası bir miktar gözenekli yüzeye çarptığında ya da bu yüzeyden geçtiğinde ortaya çıkar. Eğer malzeme gözenekli ve lifli ise tüm lifler ve delikler nedeniyle malzemede çok geniş bir yüzey alanı var demektir. Daha büyük bir yüzey alanı daha yüksek bir kayba sahip olacağı için bez veya taş yünü gibi lifli gözenekli malzemeler güçlü bir şekilde ses dalgalarını yutar (Howard ve Angus, 2017). Ses dalgaları, gözenekli ve lifli malzemede bulunan ince gözeneklere ve boşluklara ulaştığında sürtünme yoluyla yutulma gerçekleşir. Bu şekilde kaybedilen enerji ısıya dönüştürülür. Amacı, sesi yutmak olan çoğu akustik malzeme bu ilkeye dayanmaktadır (Cavannaugh vd., 2010). Lifli malzemelerde sesin yutulması olayında malzemeye gelen ses enerjisiyle lifler hareket eder. Liflerin hareketi sonucu oluşan kinetik enerji sesi zayıflatır (Veen ve Mealman, 2002). Lifli malzemeler genellikle ya doğrudan bir dokuma haline getirilerek kullanılır ya da çeşitli bağlayıcılarla bir araya getirilerek kullanılmaktadır. Bu durum lifin tipine göre değişmektedir. Örneğin bitki lifleri dokuma şeklinde kullanılırken yapay lifler (cam yünü lifi gibi) çeşitli bağlayıcı malzemeler ile bir araya getirilerek panel halinde kullanılmaktadır (Templeton vd., 1993). Ancak çeşitli çevresel sorunlar yapay liflerin yerlerini doğal liflere bırakmaya yönelttiği için gelişen teknolojinin de etkisiyle birlikte doğal lifler de farklı bağlayıcılarla bir arada kullanılarak kompozit haline getirilmektedir.

Ses yutucu malzemeler genellikle aşağıdaki amaçlardan birini karşılamak için kullanılır (Kuttruff, 2014):

- 1- Mekan içerisinde istenen çınlama süresini elde etmek için; burada mekanın kullanım amacı önemlidir; örneğin konser salonu vb.

- 2- Uzak yüzeylerden gelen istenmeyen ses yansımalarını önlemek için; bu yansımalar alıcı tarafından eko olarak algılanabilir.
- 3- Gürültülü mekanlarda akustik enerji yoğunluğunu ve dolayısıyla ses basınç seviyesini azaltmak için; örneğin fabrikalar, büyük ofisler vb.

Lifli bir kompozit malzemede sesin yutulmasını etkileyen faktörler ise aşağıda sıralanmıştır:

Lif Boyutu: Lif çapı küçüldükçe malzemenin ses yutuculuğu artar çünkü ince lifler daha kolay hareket eder. İnce lifli içeriklerde akış direnci azaldığı için de yutuculuk artar. İnce dokunmuş liflerin (1.5-6 dpf) akustik performansı kabaca dokunmuş liflerden yüksektir. Bu durum mikro dokunmuş liflerde (<1 dpf) çok daha yüksektir. ‘dpf’ literatürde ‘her bir iplikteki dokuma sıklığı’ birimi olarak geçmektedir (Seddeq, 2009). Çizelge 2.1’de geçmişte yapılmış çalışmalarda lif kalınlığının ses yutuculuğuna olan etkisi ile ilgili elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Lif çapı-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.

Kaynak	Kullanılan malzeme	Sonuç
Voronina N. (1995)	Fiberglass	Lif çapı ses yutma katsayısını doğrudan etkiler
Koizum T. vd. (2002)	* Bambu lifleri * Bağlayıcı	Lif çapı AZALDIKÇA ses yutuculuğu ARTMIŞTIR

Akış Direnci: Malzemenin birim başına düşen kalınlığının akış direnci ses yutuculuğunu etkiler. Ses malzemeye girdiğinde, ses dalgası kıvrımlı kısımlardan geçerken sürtünür ve genlik azalır. Böylece akustik enerji ısıya dönüşür (Seddeq, 2009). TS EN 29053 standardında belirtildiği üzere, akış direnci (R) sayısal olarak denklem 2.1 ile hesaplanır:

$$R = \frac{\Delta p}{q_v} \quad (2.1)$$

Denklemde Δp örnek boyunca pascal cinsinden hava basıncı değişimini ifade ederken, q_v örnek boyunca saniyedeki metreküpde hacimsel akış oranıdır. Bunun yanında yine standarda göre spesifik akış direnci (R_s) denklem 2.2 ile hesaplanır:

$$R_s = R.A \quad (2.2)$$

Burada R; her bir metreküpteki pascal saniye, A; akış yönüne dik örnek yüzeyinin alanı, metrekare cinsindendir. Eğer malzeme homojen ise, akış direnci (r) (denklem 2.3):

$$r = \frac{R_s}{d} \quad (2.3)$$

ile belirlenir. Bu denklemde; R_s spesifik akış direnci, d ise örneğin akış yönündeki metre cinsinden kalınlığıdır.

Akış direnci ve malzemenin ses yutuculuğu ters orantılıdır. Akış direnci arttıkça yutuculuk azalır. Mechel lifli malzemelerde akış direnci (σ) hesabı için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$\sigma = \frac{6,8\eta(1-\varepsilon)^{1,296}}{a^2\varepsilon^3} \quad (2.4)$$

Buna göre η havanın viskozitesi yani akma direnci (bir akışkanın yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür) ($=1.84 \times 10^{-5}$ Pas), a lif yarıçapı ve ε lif ve kütle yoğunluğu ile hesaplanan gözeneklilik düzeyidir (Yang ve Li, 2012). Delany & Bazley ve Miki akış direnci modelleri Mechel ile aynı denklem yapısına sahiptir. Aradaki tek fark katsayı ve derece farklılıklarıdır (Mamtaz vd.). Çizelge 2.2’de geçmişte yapılmış çalışmalarda akış direncinin etkisi ile ilgili elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Lifli kompozitlerde akış direncinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.

Kaynak	Kullanılan malzeme	Sonuç
Voronina N. (1995)	Cam yünü	Akış direnci ses yutma katsayısını doğrudan etkiler
Narang P. (1995)	Polyester lifler	Akış direncini arttırmak için lif çapı küçültülmelidir
Yılmaz N. ve diğ. (2011)	Kenevir, cam yünü, polilaktik asit, polypropilen, hint keneviri	Akış direnci lif çapı ve gözeneklilik azaldıkça artar
Yang ve Li (2012)	-	Delany, Garai ve Mechel modellerine göre akış direnci hesaplanmıştır Ölçüm > Delany > Garai
Yuvaraj ve diğ. (2019)	Poliüretan köpük ve Luffa Cylindrica lifleri	Akış direnci Luffa lifleri eklenince iyileşmiştir

Kalınlık: Malzemenin kalınlığı ile ses yutuculuğu doğru orantılıdır. Kalınlık arttıkça yutuculuk artar (Seddeq, 2009). Malzeme kalınlığı özellikle alçak frekanslarda etkili bir parametredir. Literatürde yapılmış çalışmalarda lifli kompozitin ses yutuculuğunda kalınlık parametresinin incelendiği çalışmalar ve elde edilmiş olan sonuçlar Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Malzeme kalınlığı-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.

Kaynak	Kullanılan malzeme	Sonuç
Koizumi ve diğ. (2002)	Bambu lifleri Bağlayıcı	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Ersoy ve Küçük (2009)	Çay yaprağı lifleri	En iyi yutuculuk en kalın malzeme örneğinde elde edilmiştir
Ismail ve diğ. (2010)	Malezya palmyesi lifleri	En iyi yutuculuk en kalın malzeme örneğinde elde edilmiştir
Alba ve diğ. (2011)	Kenaf ve oolyester lifleri	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Xiang ve diğ. (2013)	Kapok Cam yünü Pamuk	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Thigalavathi ve diğ. (2017)	Luffa Cylindrica Kapok Pamuk	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Lim ve diğ. (2018)	Kenaf	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Putraa ve diğ. (2018)	Ananas yaprağı lifleri	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Taban ve diğ. (2019)	Hindistan cevizi lifleri Polivinil alkol	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Taban ve diğ. (2019)	Hindistan cevizi lifleri Hurma lifleri	Farklı frekanslarda farklı sonuçlar elde edildiği için katmanlı malzemeler kullanılmasının doğru olduğunu söylemişlerdir
Mohammad ve diğ. (2019)	Hindistan cevizi lifleri Hurma lifleri	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır
Tabana ve diğ. (2019)	Hurma lifleri Polivinil alkol	Kalınlık arttıkça ses yutuculuğu artmıştır

Yoğunluk: Yoğunluk malzemenin akış direnci ile doğru orantılıdır. Yoğunluk arttıkça akış direnci artar, bu da yutuculuğu azaltır. Yani malzemenin yoğunluğu arttırıldıkça ses yutma performansı düşer. Çizelge 2.4'te literatürde lifli kompozitlerin ses yutma

performansı ile yoğunluk ilişkisini inceleyen çalışmalar ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Malzeme yoğunluğu-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.

Kaynak	Kullanılan malzeme	Sonuç
Voronina N. (1995)	Cam yünü	Malzeme yoğunluğu ses yutma katsayısını doğrudan etkiler
Koizumi ve diğ. (2002)	Bambu lifleri Bağlayıcı	Malzeme yoğunluğu arttıkça orta ve yüksek frekanslarda ses yutuculuğu artmıştır
Xiang ve diğ. (2013)	Kapok Cam yünü Pamuk	Lif yoğunluğu arttıkça yutuculuk artmıştır
Ganesan ve Karthik (2015)	Kapok İpekotu lifi Pamuk lifi	Lif oranı arttıkça kalınlık artmış ve yoğunluk azalmıştır. Bu nedenle malzemenin ses yutuculuğu artmıştır
Putraa ve diğ. (2018)	Ananas yaprağı lifleri	Lif oranı arttıkça kalınlık artmış ve yoğunluk azalmıştır. Bu nedenle malzemenin ses yutuculuğu artmıştır
Tabana ve diğ. (2019)	Hurma lifleri Polivinil alkol	Malzeme yoğunluğu arttıkça aynı kalınlıklı numunelerde yutuculuk azalmıştır

Basınç: Lifli malzemelerde basınç uygulandığında sesin yutulması düşer. Sebebi basınç uygulanan malzemede kalınlığın azalmasıdır (Seddeq, 2009). Diğer bir sebep de, malzemeye basınç uygulandığında içerisindeki hava boşluğu katmanının azalmasıdır. Çizelge 2.5’te konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Basınç-ses yutma katsayısı ilişkisinin incelendiği çalışmalar ve sonuçlar.

Kaynak	Kullanılan malzeme	Sonuç
Castagnede ve diğ. (2005)	-	Basınç uygulanan malzemenin ses yutma performansında düşme gözlemlenmiştir

Frekans: Genel olarak frekans arttıkça malzemenin ses yutma katsayısı da artar. Ancak bazı özel durumlarda malzeme orta frekanslarda daha yutucu iken, yüksek frekanslarda yutuculuğu düşmeye başlar. Aynı zamanda malzemenin kullanım yerine ve uygulama şekline göre de farklı frekanslardaki yutuculuğu değişmektedir. Örneğin duvara direk olarak uygulanan bir malzemede duvarın malzemesinin beton, ahşap ya da alçı olması ses yutuculuğu açısından bir fark yaratmaz. Ancak farklı malzemelerin katmanlı kullanılması halinde frekans bazındaki yutuculuk değerleri değişiklik gösterir. Örneğin, katmanlar arasında hava boşluğu bırakılması yüksek frekanslarda etkili olmaya başlar. Gözeneklilik ise alçak ve orta frekanslarda daha etkili olur.

Kullanım Yeri: Sesin yutulmasında tercih edilen malzemenin kullanım yeri önemlidir. Özellikle küçük mekânlarda, durağan dalgalar sebebiyle malzemenin köşelerde kullanımı, içerideki sesin anlaşılabilirliğinde daha etkili rol oynar. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, malzemenin kullanım yerine göre ses yutma katsayısının değişmediğini unutmamaktır. Bu durum sadece anlaşılabilirliği etkiler.

2.3 Sesin Yutulması ile İlgili Parametreler

Bir mekân içerisinde sesin yutulması sırasında yutulma düzeyini belirleyen farklı etkenler vardır. Bu bölümde, lifli bir malzemede sesin yutulmasını etkileyen parametreler anlatılmıştır.

2.3.1 Ses yutma katsayısı (α)

Sabine tarafından mimari akustiğin kurulmasından bu yana, yüzey yutuculuğunu incelemek için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu süre zarfında, kabul edilen ölçüm standartlarına dayalı olarak önemli bir yutma katsayıları kütüphanesi tablo haline getirilmiş ve yutucuların nasıl tasarlanması ve uygulanması gerektiği konusunda makul bir anlayış elde edilmiştir. Gürültü kontrolünde en büyük rol ses enerjisini azaltmak adına yutucu yüzeylerdir. Ancak mimari akustikte, hem yutucular hem de difüzörler iyi bir akustik oluşturmada rol oynar.

Bir yüzeyin ses yutma katsayısı, yüzey tarafından yutulan enerjinin oranıdır. Genellikle ses yutma katsayısı yutucu olmayan (0) ve tamamen yutucu (1) yüzeyleri temsil eden 0 ve 1 arasında bulunur. Teorik olarak imkansız olsa da, 1'den büyük değerler genellikle rastgele ölçümlerde bulunur (Cox ve d'Antonio, 2016).

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, bir ses gücü P_i , bir ses parçacık hızı v_i ve bir frekans f içeren ses dalgası, dalga boyuna (λ) kıyasla büyük bir engelle çarparsa, bir kısmı yansıtılır (P_r), bir kısmı engelin içinden geçer (P_t), bir kısmı yapı kaynaklı ses olarak iletilir (P_f) ve bir kısmı da yutulur (P_a). Denklem 2.5'te ses dalgasının toplam basınç gücü verilmiştir (Fuchs, 2013).

$$P_i = P_r + P_t + P_f + P_a \quad (2.5)$$

Eğer ses dalgasının çarptığı engelin birim alan başına düşen kütlesi (m_w) birim alan başına düşen hava kütlesi (m_A)'nden büyük ise dalganın titreşim alanı denklem 2.6'da gösterildiği gibi hesaplanır:

$$m_w > m_A = \frac{1}{2\pi f} \frac{p_i}{v_i} = \frac{1}{2\pi f} Z_0 = \frac{\rho_0 \lambda}{2\pi} \quad (2.6)$$

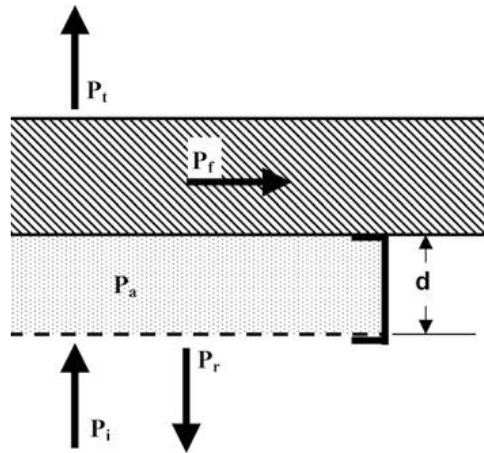
Dalga direncini (Z_0) hesaplamak için ise Denklem 2.7 kullanılır:

$$Z_0 = p_0 c_0 = 408 \text{ Pa s } m^{-1} \text{ (20°C sıcaklık ve } 10^5 \text{ Pa basınçta)} \quad (2.7)$$

Yoğunluk (p_0) 1.21 kg/m³ ve sesin havadaki hızı (c_0) 344 m/sn iken ses gücünün sadece küçük bir kısmı geçer veya iletilir. Duvarın üzerine veya içine yutucu bir malzeme veya eleman monte edilmediği sürece ses dalgasının büyük bir kısmı kaynağa veya odaya yansıtılır.

Böyle bir ses yutucu malzemenin kaynak tarafındaki etkinliğini ölçmek için Denklem 2.8'de verildiği gibi P_a 'ya P_t ve P_f eklenebilir (Fuchs, 2013):

$$\alpha = \frac{P_a + P_t + P_f}{P_i} = \frac{P_i - P_r}{P_i} = 1 - \rho \quad (2.8)$$



Şekil 2.4 : Yutucu bir yüzeye çarpan ses dalgasının yolu (Fuchs, 2013).

2.3.2 Gürültü azaltım katsayısı (NRC)

Gürültü kontrolünde, ses yutucu malzemelerin etkinliğini belirlemek için kullanılan diğer bir parametre de gürültü azaltım katsayısı (NRC)'dır (Moody ve Needles, 2004). Aslında, NRC malzemenin ses yutuculuğunun tek bir sayı olarak tanımlanmasıdır (Fangueiro, 2011). Denklem 2.9'da verildiği gibi NRC parametresi 250-2000Hz aralığında malzemenin ses yutma katsayılarının ortalaması alınarak hesaplanır (ASTMC423 – 17; ASTM C634 – 13):

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (2.9)$$

Denklemde;

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 (Fangueiro, 2011). Bununla birlikte, NRC kullanımının sınırlamaları vardır, çünkü iki farklı malzeme için aynı NRC değeri aynı şekilde ses yutma performansı gösterdikleri anlamına gelmez. Bu nedenle, özellikle 250 Hz altındaki veya 2000 Hz üzerindeki frekanslarda ses yutma için mevcut tüm frekans tabanlı katsayıların kullanılması tavsiye edilmektedir (Cavanaugh vd., 2010).

Bu çalışmada, üretilen 15 farklı numunenin NRC değerleri hesaplanmış ve sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

2.3.3 Ses yutuculuğu ortalaması (SAA)

Ses yutuculuğu ortalaması (SAA), tıpkı NRC parametresinde olduğu gibi malzemenin ses yutuculuğunun tek bir sayı ile ifade edilmesidir. Bölüm 2.3.2'de bahsedildiği gibi NRC değeri, bir malzemenin 1/3 oktav bandında 250-2000Hz'deki ses yutma katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. SAA değeri hesaplanırken NRC'den farklı olarak, 1/3 oktav bandında 250-2500Hz aralığındaki 12 farklı frekansta ses yutma katsayısı değerlerinin ortalaması alınır. SAA değerinin hesaplanmasında kullanılan denklem (2.10) ASTM C423-17 standardında da belirtildiği üzere:

$$SAA = \frac{\alpha_{200} + \alpha_{250} + \alpha_{315} + \alpha_{400} + \alpha_{500} + \alpha_{630} + \alpha_{800} + \alpha_{1000} + \alpha_{1250} + \alpha_{1600} + \alpha_{2000} + \alpha_{2500}}{4} \quad (2.10)$$

şeklindedir. Denklemde;

α_{200} = malzemenin 200Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

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

α_{315} = malzemenin 315Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{400} = malzemenin 400Hz frekansındaki ses yutma katsayısıdır.

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

α_{630} = malzemenin 630Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{800} = malzemenin 800Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{1000} = malzemenin 1000Hz frekansındaki ses yutma katsayısıdır.

α_{1250} = malzemenin 1250Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{1600} = malzemenin 1600Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{2000} = malzemenin 2000Hz frekansındaki ses yutma katsayısı,

α_{2500} = malzemenin 2500Hz frekansındaki ses yutma katsayısıdır.

SAA değerinin NRC değerinden diğer bir farkı da, NRC değeri en yakın 0.05'lik artışa yuvarlanırken, SAA değeri en yakın 0.01'lik artışa yuvarlanır. SAA ve NRC değerlerine bakıldığında, bu değerler ne kadar yüksek olursa malzemenin yutuculuğunun da o derece yüksek olduğuna dair bilgi elde edilebilir.

2.3.4 Ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w)

Bir malzemenin farklı frekanslardaki ses yutma katsayılarının tek bir sayı ile ifade edildiği diğer bir parametre de, ağırlıklı ses yutma katsayısı (α_w)'dır. Bir malzemenin ağırlıklı ses yutma katsayısının hesaplanmasında, Türkiye'de kullanılan standart TS EN ISO 11654:2002 standardıdır. Denklem 2.11'de verildiği gibi malzemenin daha öncesinde ölçülmüş ses yutma katsayısı değerlerinin 1/3 oktav bant değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak dönüştürülmesi ile hesaplanır.

$$\alpha_{pi} = \frac{\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \alpha_{i3}}{3} \quad (2.11)$$

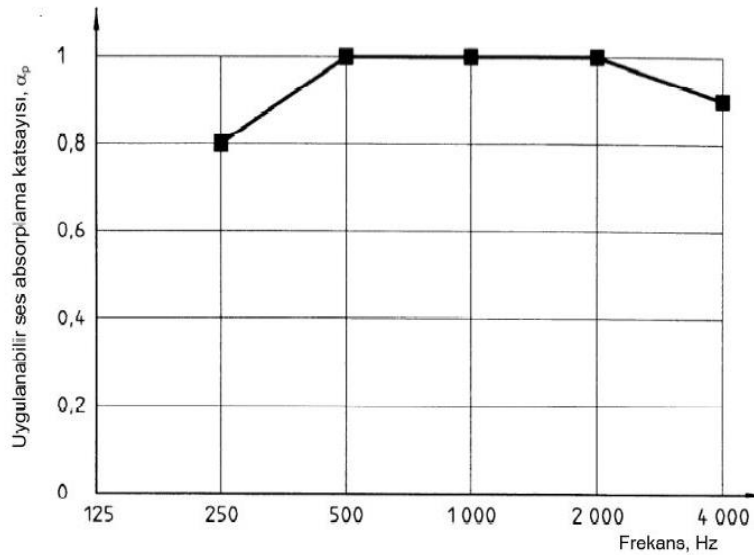
Denklemde;

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 ve Şekil 2.5'te 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 2.6 ve Çizelge 2.6'da verilmiştir.

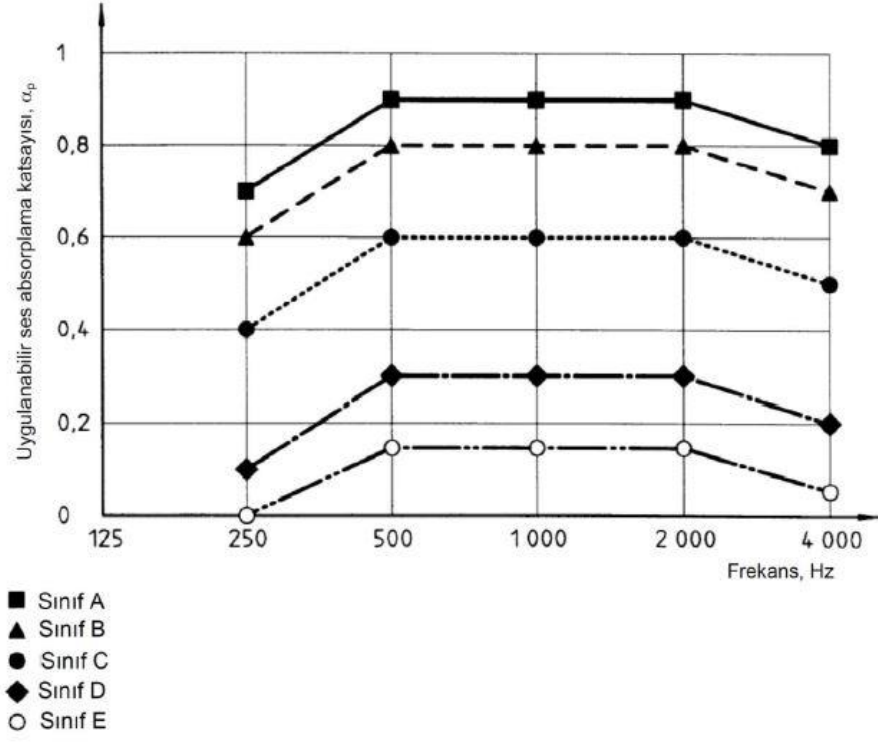
Çizelge 2.6 : Ses yutma sınıflarına ait ağırlıklı ses yutma katsayısı değerleri (TS EN ISO 11654:2002).

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



Frekans	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Değer	0,80	1,00	1,00	1,00	0,90

Şekil 2.5 : Ağırlıklı ses yutma katsayısının hesaplanması için kullanılacak referans eğrisi (TS EN ISO 11654:2002).



Şekil 2.6 : Farklı ses yutma sınıflarına ait referans eğriler (TS EN ISO 11654:2002).



3. SU KABAĞI (LC) – EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMESİ ÖRNEKLERİNİN ÜRETİLMESİ VE NUMUNELERİN SES YUTMA KATSAYISI ÖLÇÜMLERİ

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda üretilmesine karar verilen su kabağı (LC)-epoksi kompozit malzemesi için öncelikli olarak üretim yöntemi için araştırma yapılmıştır. Kompozit üretim yöntemi belirlendikten sonra çalışmanın bu bölümünde, 2. Bölüm’de anlatılmış olan ses yutma olayında etkili faktörler de göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında kompozitte sesin yutuculuğuyla ilişkisi incelenecek parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametreler aynı zamanda üretilecek kompozit numunelerinin fiziksel özelliklerini de ortaya koymuştur. Kompozit numuneleri parametreler ve ölçüm yöntemi gereklilikleri kapsamında hazırlanan kalıplar aracılığıyla üretilmiştir. Çalışmanın bu bölümünün son aşamasında daha önceden belirlenmiş olan ses yutma katsayısı tayin yöntemi kullanılarak üretilen kompozitlerin yutuculuk değerleri hesaplanmış ve grafikler halinde sunulmuştur.

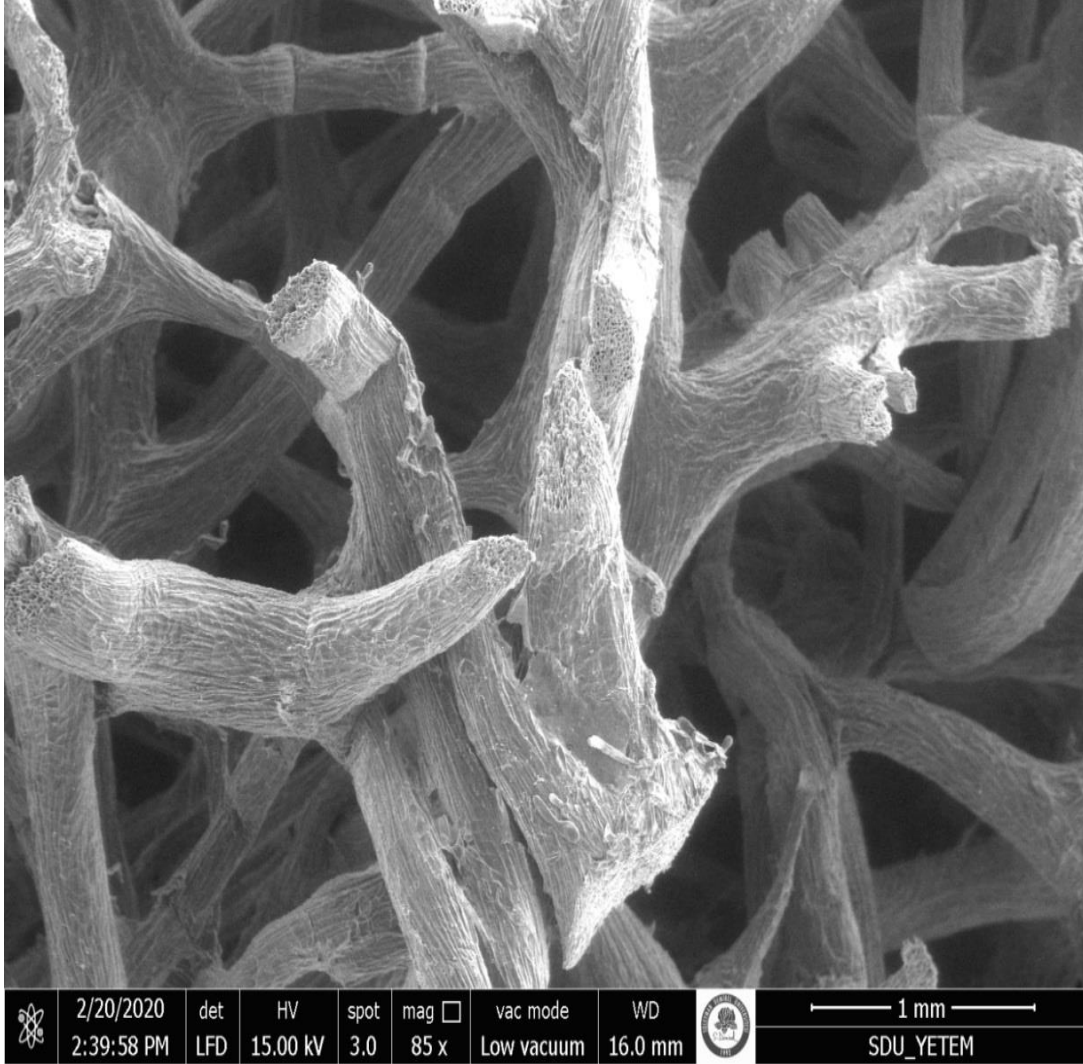
3.1 Yöntem

Çalışma kapsamında, üretilmiş olan doğal lifli kompozit malzemeler için doğal lif olarak su kabağı (Luffa Cylindrica) bitki lifleri seçilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucu kompozitte kullanılacak bağlayıcının termoset bir malzeme olan epoksi olmasına karar verilmiştir. Daha sonra, çalışma kapsamında incelenecek parametreler belirlenmiştir. Kompozit üretimi için ‘El ile Yayma Yöntemi (Hand lay-up)’ ve devamında ses yutma katsayısının belirlenmesi için empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır.

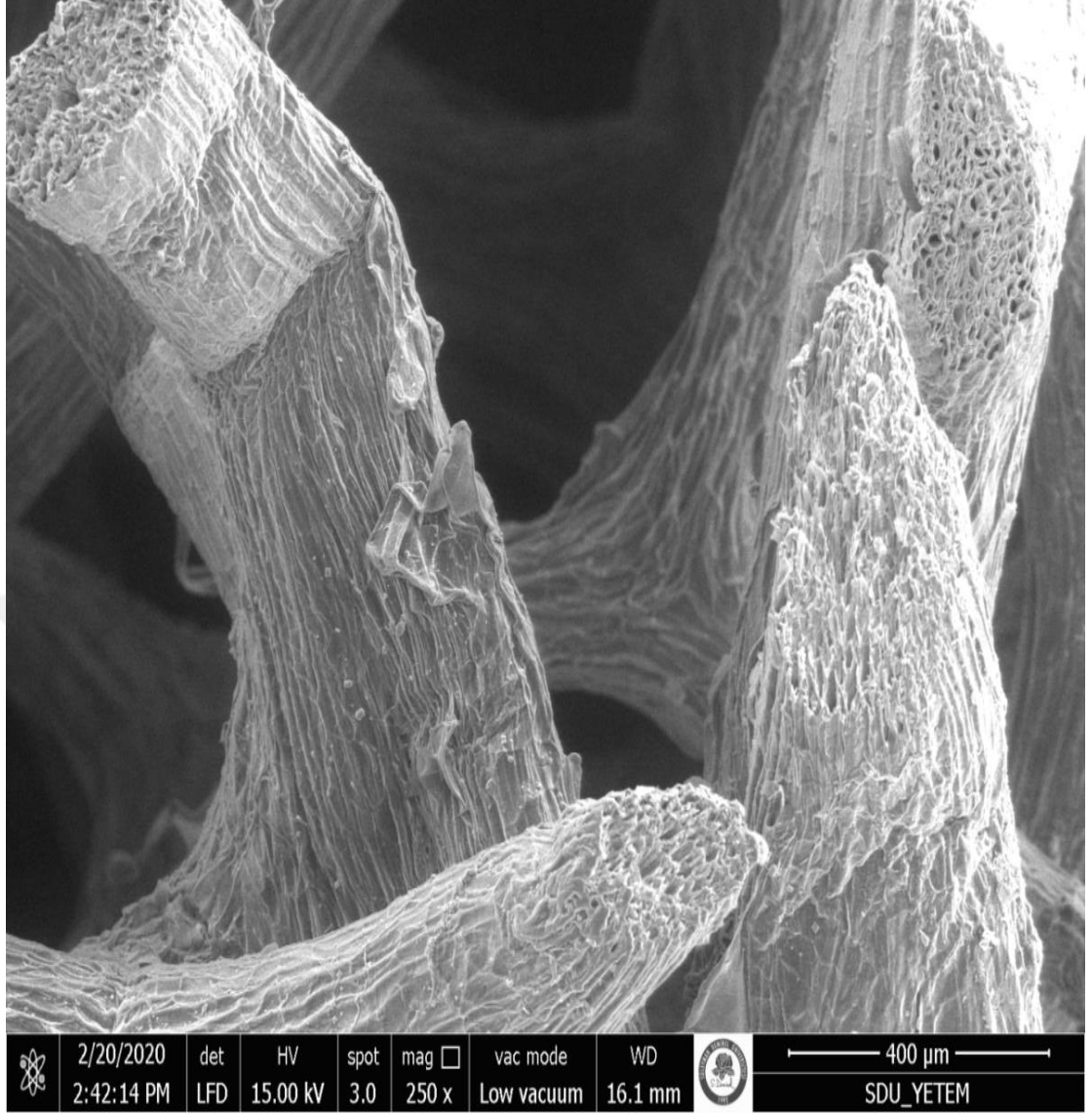
3.1.1 İncelenen parametreler

Doğal bir bitki lifi olan su kabağı (Luffa Cylindrica) lifleri kullanılarak üretilen kompozit malzemed, malzemenin ses yutma performansı üzerinde etkili olan parametreler literatür araştırmaları, su kabağı liflerinin özellikleri ve fiziksel olanaklar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

İlk olarak, literatürdeki çalışmalarda incelenmiş olan ‘lif çapı-ses yutma katsayısı’ ve ‘lif dizilimi-ses yutma katsayısı’ parametrelerinin incelenbilirliğini görmek için tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak liflerin çapları ölçülmüştür. Tarayıcı elektron mikroskop fotoğraflarında görülen liflerin ağsı damarlı yapısı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, liflerin ağsı yapıları sebebiyle tel olarak birbirinden ayrılmasının olanaksız olduğunu söylemek mümkündür. Bu nedenle ‘lif dizilimi’ parametresini incelemek su kabağı (LC) lifleri için uygun değildir. Ancak bu bir dezavantaj değildir. Çünkü literatürde lif diziliminin incelendiği çalışmalarda rastgele dizilimin ses yutma performansında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Su kabağı (LC) lifleri hali hazırda rastgele dizilmiş formları ile kompozitte kullanılmıştır.

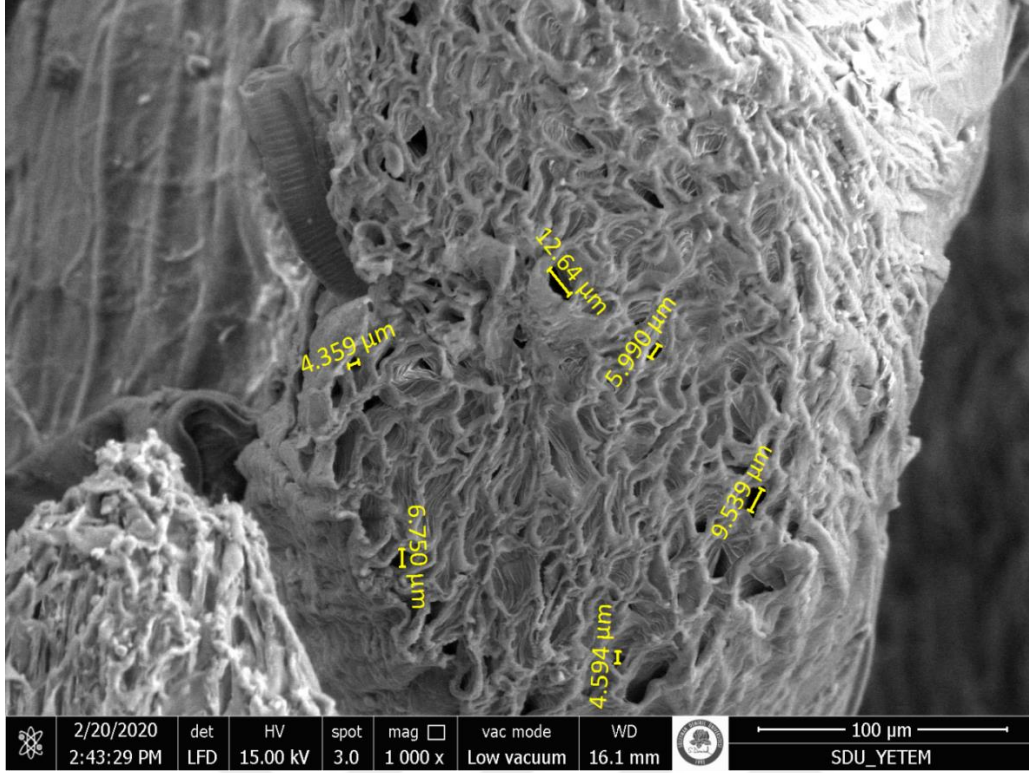


Şekil 3.1 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapısının SEM görüntüsü.

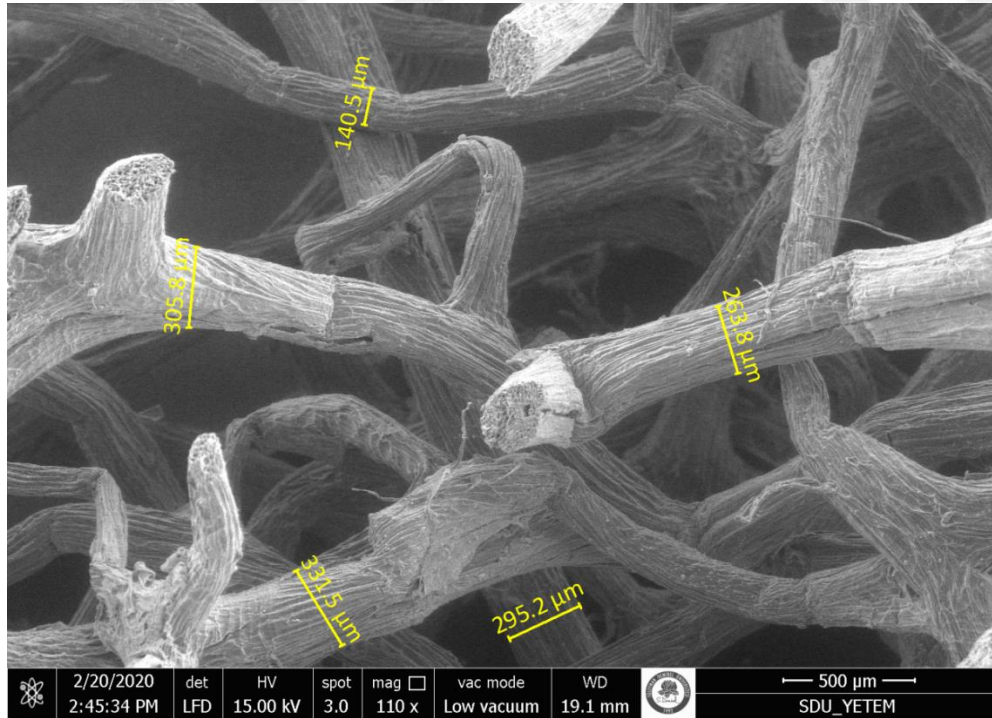


Şekil 3.2 : Su kabağı (LC) liflerinin damarlı yapısının SEM görüntüsü.

Elde edilen mikroskop görüntüleri üzerinden lif çapları da ölçülmüştür. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te görüldüğü üzere lif çapı $4\mu\text{m}$ - $305\mu\text{m}$ gibi geniş bir aralıkta her noktada farklı büyüklüktedir. Sonuçlar incelendiğinde, lif çapının her noktada farklı sonuçlar vermesi ve hatta tek bir tel üzerinde bile ciddi çap farkları gözlemlenmesi sebebiyle 'lif çapı' parametresinin de su kabağı (LC) lifleri için incelenebilecek uygun bir parametre olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.3 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapının farklı noktalarındaki lif çapı örnekleri.



Şekil 3.4 : Su kabağı (LC) liflerinin ağsı yapının farklı noktalarındaki lif çapı örnekleri (yakın plan).

Lifli kompozitlerde ses yutma performansını etkileyen diğer bir parametre malzeme kalınlığıdır. Çalışma kapsamında üretilecek numunelerde malzeme kalınlığının ses yutma performansına etkisinin incelenmesi için 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı numuneler üretilmesine karar verilmiştir. Numune kalınlıklarının her 2cm’de bir üretilme sebebi, 1cm kalınlık farkında sonuçlarda gözle görülür farklar ortaya çıkmayacağıdır. Bu da literatürdeki çalışmaların sonuçlarından gözlemlenerek edinilmiş bir çıkarımdır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında 2cm ve 4cm kalınlıklı numuneler kontrol grubu olarak üretilmiştir.

Literatürde incelenen diğer bir parametre de akış direnci parametresidir. Akış direnci ve ses yutmanın ters orantılı olduğu geçmişteki çalışma sonuçlarından gözlemlenmiştir. Ancak, akış direnci ölçümü için teknik yetersizlikler sebebiyle bu çalışmada akış direnci parametresi incelenmemiştir.

Lifli kompozitlerde lif yoğunluğu ve malzeme içerisindeki lif oranı ses yutma performansı için etkili bir parametredir. Bu bağlamda, liflerin yoğunlukları ölçülerek kompozit içerisinde kullanılacak lif oranları belirlenmiş ve numunelerin ses yutma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hacimce lif oranı %50, %60, %70, %80 ve %90 oranlı numuneler üretilmiştir. %50 lif oranı altındaki numunelerde epoksi oranı fazla olduğu için malzemeler yutucu değil yansıtıcı özellik gösterdikleri için çalışma kapsamına dâhil edilmemişlerdir.

Belirlenen parametrelere göre su kabağı (Luffa Cylindrica) ve epoksi kullanılarak kompozit malzeme örnekleri üretilmiştir. İncelenen ve incelenemeyen parametrelere ait özet tablosu Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : Çalışma kapsamında incelenen ve incelenemeyen parametreler.

Parametre	İncelenme Durumu (+/-)	Açıklama
Malzeme kalınlığı	+	1cm, 3cm, 5cm kalınlık
Lif çapı	-	Liflerin ağsı yapısı
Lif dizilimi	-	Liflerin ağsı yapısı
Lif oranı	+	%50, 60, 70, 80, 90
Akış direnci	-	Teknik ekipman yetersizliği

3.1.2 Ses yutma katsayısı ölçüm yöntemi

Malzemelerin ses yutma katsayılarının belirlenmesinde empedans tüpü ve çınlama odası yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada, üretilen numunelerin ses yutma

katsayılarının ölçülmesinde TS EN ISO 10534-2 Standardı kapsamında empedans borularında aktarım fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

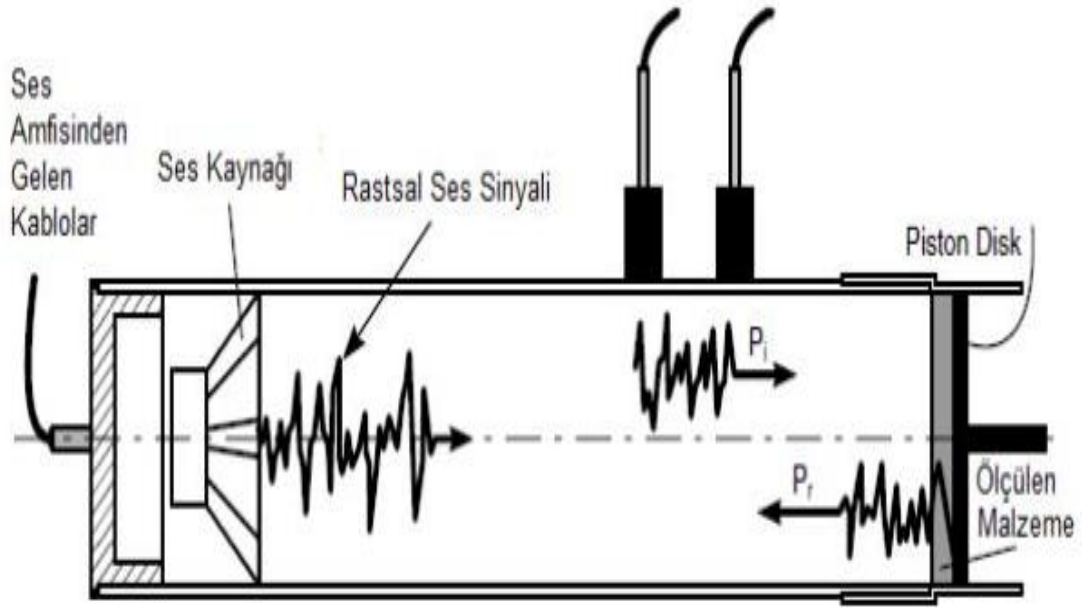
Ses yutma katsayısı ölçümleri için BİAS Mühendislik tarafından üretilen ve Şekil 3.5'te gösterilen TestSens empedans tüpü kullanılmıştır.



Şekil 3.5 : TestSense Empedans Tüpü.

Empedans tüpünü oluşturan bileşenler aşağıdaki gibidir ve çalışma prensibi Şekil 3.6'da verilmiştir:

- 1- Hoparlör ünitesinin bulunduğu ön bölüm
- 2- İki adet mikrofon tutucusu olan ve düşük frekans ölçümlerinde kullanılan büyük çaplı ölçüm tüpü
- 3- Tüp içerisine malzeme yerleştirilmesini sağlayan piston tutucu
- 4- İki adet mikrofon tutucusu olan ve yüksek frekans ölçümlerinde kullanılan küçük çaplı ölçüm tüpü

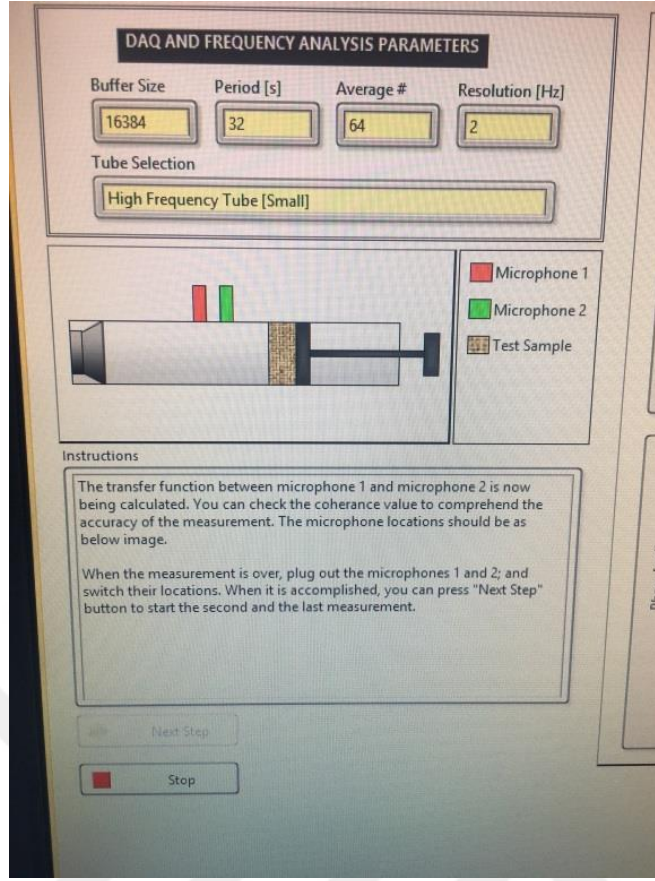


Şekil 3.6 : Empedans tüpü çalışma prensibi şematik gösterimi.

Çift mikrofonsuz empedans tüpünde yapılan ölçümler ISO 10534-2 standardında belirtilen şekilde gerçekleştirilmektedir. Ses yutma katsayısı sonuçları 50-1600 Hz ve 200-6400Hz aralıklarında elde edilmiştir. Çalışmada 125-4000Hz aralığında 1/3 oktav bandındaki ses yutma değerleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Numuneler ile ölçüme başlanmadan önce cihazın hassasiyet düzeyini arttırmak için faz kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon için tüm mikrofonsuz her kombinde tek tek yerleştirilmiş ve numunesiz ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.7). Daha sonra tüm mikrofonsuz cihaz üzerindeki numaralı yerlerine göre yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Cihaz ile yapılan ölçümler bilgisayar programına aktarılmış (Şekil 3.9) ve sonuçlar excel halinde elde edilmiştir.

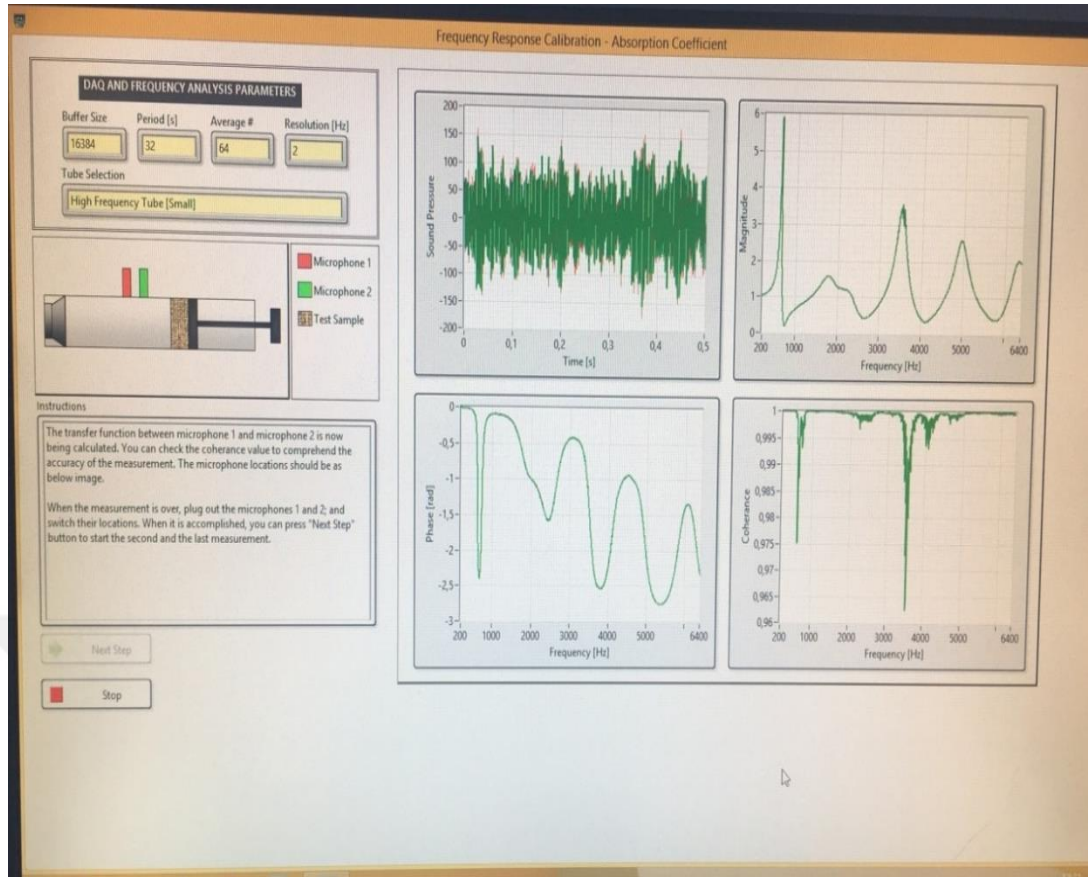
Ses yutma katsayısı ölçümleri için üretilen tüm kompozit numunelerinde öncelikle alçak frekanslardaki ses yutma katsayılarını elde edebilmek için 100mm çaplı numuneler cihaza yerleştirilmiştir. Sonrasında 30mm çaplı numuneler yüksek frekanslardaki ses yutma katsayılarını elde edebilmek için cihaz içerisinde teste tabi tutulmuştur. Her ölçüm için ayrı ayrı 5 kez tekrar yapılmış daha sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.7 : Empedans tüpü kalibrasyon aşaması bilgisayar programı ekran görüntüsü.



Şekil 3.8 : Mikrofonların empedans tüpü üzerine yerleştirilmesi.



Şekil 3.9 : Empedans tüpü ses yutma katsayısı ölçümlerinin bilgisayar programına aktarılması.

3.2 Kompozit Numunelerinin Hazırlanması

Çalışma kapsamında üretilecek kompozitin çevre dostu bir malzeme olması planlanmıştır. Bu sebeple, kompozit türlerinin sınıflandırmasına göre üretilen kompozit ‘Doğal lif-Biyopolimer’ tabanlı grubuna girmektedir. Numunelerin hazırlanması için ilk olarak su kabağı lifleri ve bağlayıcı epoksinin elde edilmesi gerekmiştir. Daha sonra elde edilen lifler işlemlerden geçirilerek kompozite hazır hale getirilmiş ve numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Malzemelerin temin edilmesi

Türkiye’de turistik amaçlı üretilen su kabağı liflerinin temini için gerekli araştırmalar yapılmıştır. Liflerin yetiştikleri bölgelere göre sertlik bakımından farklılık gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu sebeple işlem sırasında daha kolay işlenebilmesi için Hatay bölgesinde yetiştirilen su kabağı lifleri (Şekil 3.10), kompozit üretimi için temin edilmiştir.



Şekil 3.10 : Kompozit üretimi için temin edilen ham su kabağı (LC) lifi.

Kompozit içerisinde bağlayıcı olarak kullanılmasına karar verilen epoksi için piyasa araştırması yapılmıştır. Bu noktada, epoksinin farklı alanlarda kullanılan tipleri olduğu görülmüştür. Özellikle son dönemlerde, epoksinin gemilerin gövde malzemesi olarak kullanımı oldukça popüler hale gelmiştir. Bunun dışında uzun yıllardır döşeme kaplaması olarak da kullanılan epoksi malzemesi, ahşap ile uyumu sebebiyle dolgu ve kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, kompozit içerisinde kullanıma uygun olarak bir döküm epoksisi türü olan ARC MARIN ARC-150 epoksi (Şekil 3.11) kullanılmıştır. Döküm işlemi için uygun olan bu epoksi türü, aynı zamanda uv dayanımı, sararma yapmaması, yavaş kürlenme özelliği ile hava kabarcığı oluşma ihtimalini düşürmesi özellikleri sebebiyle de tercih edilmiştir (URL 1).



Şekil 3.11 : Kompozit üretimi için temin edilen bağlayıcı epoksi ve sertleştiricisi (URL-2).

3.2.2 Liflerin hazırlanması

Kompozit numunelerinin üretimine başlanmadan önce su kabağı (LC) lifleri bir takım hazırlık aşamalarından geçirilerek kompozit içerisinde kullanılabilir hale getirilmiştir.

İlk olarak, ham halde elde edilen liflerin sert yapılarını kolay işlenebilir hale getirmek için yumuşatılmaları gerekmiştir. Bunun için, boyuna parçalara ayrılan lifler kaynar suda ortalama yarım saat bekletilmek suretiyle yumuşamaya bırakılmıştır.

Liflerin orta kısmında bulunan çekirdek yapısı, mumsu bir tabakayla kaplı oldukça sert bir dokudur ve bu kısmın kompozit içerisinde kullanılması uygun değildir. Bu nedenle, kaynar suda yumuşayan lifler sudan çıkartıldıktan sonra orta kısımları açılmış ve bıçak yardımıyla çekirdek kısmı temizlenmiştir.

Bir sonraki aşamada, çekirdek kısmı temizlenen lifler kompozit içerisinde kullanılabilmesi için rastgele şekilde parçalanmıştır. Liflerin ağsı yapısı tel tel ayırma yapmaya elverişli değildir. Empedans tüpü ölçümünde kullanılacak kalıplar içerisine liflerin mat halde yerleştirilememesi parçalama işlemini zorunlu hale getirmiştir. Şekil 3.12’de liflerin ham hali (üstte), çekirdeklerinin temizlenmiş hali (solda) ve en son parçalama işlemi yapılmış hali (sağda) gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Su kabağı (*Luffa Cylindrica*) liflerinin doğadan elde edildiği hali (üstte), çekirdekleri çıkartılmış hali (solda) ve liflerin kompozit için parçalanmış hali (sağda).

Lifli kompozit malzemelerin üretilmesinde, liflerin bağlayıcı ile daha iyi yapışmasını sağlamak için ağartma yani alkalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada, bağlayıcı olarak epoksi kullanılması ve epoksinin laboratuvarıda üretilen bir malzeme olması sebebiyle bazı özelliklerinin gelişmiş olmasından dolayı aslında liflerle yapışmasında bir sorun olmamaktadır. Fakat ham haldeki liflerin toz, bakteri vb. zararlı atıklarından arındırılması ve liflerin su emiliminin azaltılması için kompozit üretimi öncesi liflere ağartma işlemi uygulanmıştır. Bunun için, parçalanmış olan lifler %1'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde 2 saat süreyle bekletilmiş, daha sonrasında saf su ile pH değeri normal düzeye gelene kadar yıkanmıştır. Daha sonra lifler oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Şekil 3.13, doğadan elde edildikleri anda liflerin dokusunu göstermektedir. Şekil 3.14'te kaynar suda bekletilen liflerin görüntüsü verilmiştir. Liflerdeki şişme gözle görülebilecek düzeydedir. Şekil 3.15'te ise %1'lik NaOH çözeltisinde 2 saat süreyle bekletilen liflerin dokusunda meydana gelen deformasyon ve pürüzlülük açıkça gözlemlenmektedir.



Şekil 3.13 : Ağartma işlemi öncesinde su kabağı (*Luffa cylindrica*) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü.



Şekil 3.14 : Kaynar suda bekletilmiş su kabağı (*Luffa Cylindrica*) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü.



Şekil 3.15 : 2 saat süresince %1'lik NaOH çözeltisinde bekletilerek ağartma işlemi uygulanmış su kabağı (*Luffa Cylindrica*) liflerinin dokusunun mikroskop görüntüsü.

3.2.3 Kalıp hazırlanması

Çalışma kapsamında, empedans tüpünde ses yutma katsayıları ölçülecek numunelerin kalıpları empedans tüpü özelliklerine uygun olarak 3cm ve 10cm çaplı 3Ds yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir.

Eklemeli imalat, hızlı prototipleşme, katmanlı imalat gibi isimler ile adlandırılan 3D yazıcı teknolojisi hemen hemen her mühendislik disiplininde aktif olarak kullanılmaktadır. 3D yazıcıların en önemli ve öne çıkan özelliği tasarlanan her şeyi üretebilme kabiliyetleridir. 3D yazıcı teknolojileri 1960'ların sonunda icat edilerek zaman içerisinde teknolojisi hızla değişerek günümüzde evlerde kullanabilecek masa üstü cihazlara dönüşmüşlerdir. Bu teknolojinin doğuşu bilgisayar sayımlı yönetim (Computer Numerical Control) yani CNC olarak tabir edilen imalat makinelerinden esinlenerek yapılmıştır. CNC tezgâhlar Şekil 3.16'da görüldüğü gibi üç eksenli Kartezyen hareket eden motor tahrikli bir sisteme sahiptirler. CNC tezgâhların tercih edilmesinde ve bu kadar yaygın kullanılmasındaki neden ise 1µm hassasiyette hareket edebilmeleridir (Özsoy ve Duman, 2017).



Şekil 3.16 : CNC tezgâhlarının donanımları (URL-2).

CNC tezgâhların çalışmasını uluslararası bir standart olan G ve M kodlama sağlamaktadır. G kodları hareket ile ilgili kodlar iken M kodları makine üzerindeki fonksiyonları kontrol etmektedir. CNC tezgâhların birim zamanda mikron hassasiyetindeki ilerlemesi Servo motor olarak adlandırılan motorlar ile

sağlanmaktadır. CNC kontrol ünitesi üç boyutlu yazıcılarda da kullanılmaktadır. Şekil 3.17’de üç boyutlu yazıcı teknolojinin iş akışı görülmektedir.

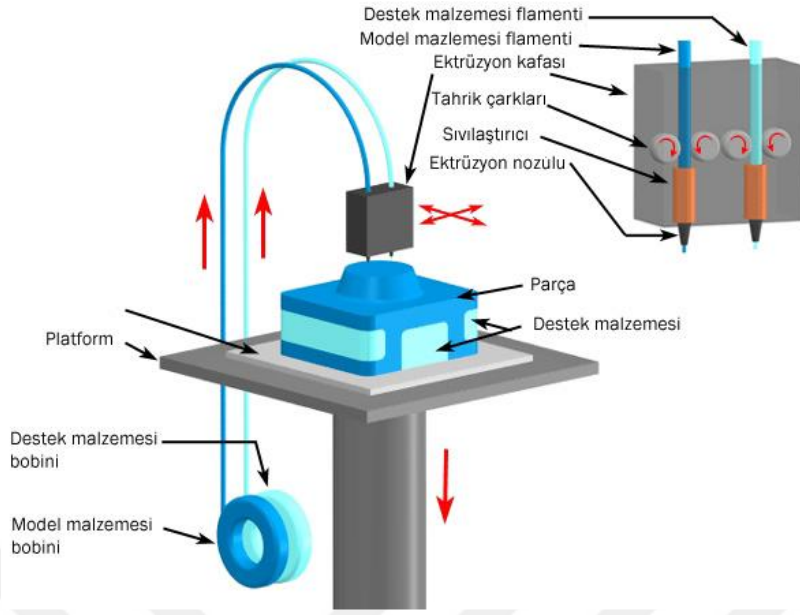


Şekil 3.17 : 3Ds yazıcı ile imalat akış süreci (Dvorak vd., 2018).

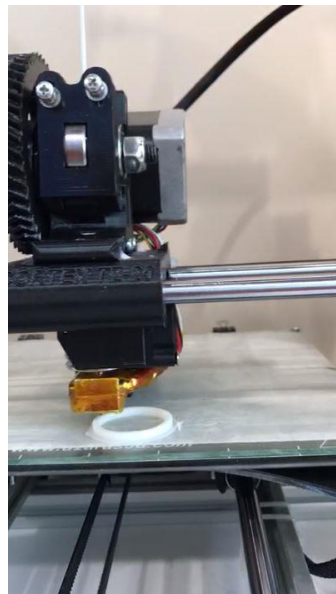
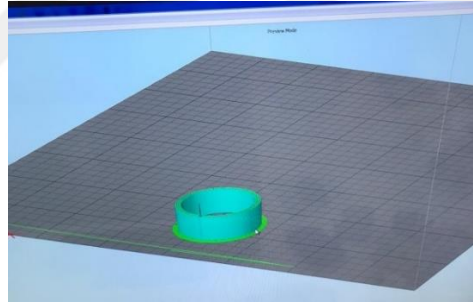
Şekil 3.17’de görünen akışlarda tezgahların çalışması için G ve M kodunun üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca Şekil 3.17’de tabaka dilimleme olarak bilinen ve her katmandaki oluşumu sağlayan bir yazılıma daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yazılımlara dilimleyiciler denilmektedir. Dilimleme yazılımı katı modeli istenen katman kalınlığında dilimlere bölerek her katmanda taraması (yapı oluşturmaları) gereken yerlerin geometrisini çıkartmaktadır. Katman kalınlıkları kendi içinde teknolojisi farklı olan 3B yazıcılarda değişmekle beraber 0,025mm ile 2mm arasında değişmektedir (Dvorak vd., 2018).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinde kullanılan malzemeler termo form plastikler başta olmak üzere metal, çimento, seramik gibi malzemeler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada kompozit kalıplarının üretilmesi için kullanılan üç boyutlu yazıcı teknolojisi Şekil 3.18’de gösterilen eritilerek yığılma modellemesi Fused Deposition Modeling (FDM) yada Fused Filament Fabrication (FFF) denilen teknoloji ile gerçekleşmiştir (Dvorak vd., 2018). Çalışmada Polilaktik asit (PLA) malzeme ile üretim gerçekleşmiştir. Bu teknolojiye üç eksen kartezyen harekete sahip bir gövde üzerinde monte edilmiş max 260°C ye ulaşabilen ısıtıcı kafası ile eritme yapılarak bir alt katmana erimiş plastiğin birleşmesi işlemidir.

İlk olarak kalıp boyutları belirlenmiş daha sonra bu doğrultuda 3 boyutlu modelleme programında kalıplar modellenmiştir. Yüksek frekansların ölçümünde çapı 3cm, alçak frekansların ölçümünde çapı 10cm olan; kalınlığı 1cm, 3cm ve 5cm’lik halkalar CNC makinesinde 3 boyutlu olarak üretilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.18 : FDM tipi 3Ds yazıcı teknolojisi (Dvorak vd., 2018).



Şekil 3.19 : Kalıp model çizimi (a) ve CNC kalıp üretimi (b).

3.2.4 Lif yoğunluğu tayini

Kompozit numunelerinin hazırlanmasında, incelenecek parametrelerden biri olan ‘kompozit içerisindeki lif oranı’nın ayarlanabilmesi için liflerin yoğunluğunun belirlenmesi gerekmiştir. Bu bağlamda, laboratuvar ortamında ilk olarak helyum piknometresi lif yoğunluğunun tayininde kullanılmıştır. Lif yoğunluğu ölçümünde ilk olarak helyum piknometre kullanılmıştır. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi parçalanmış lifler piknometrenin haznesine yerleştirilmiştir. Helyum piknometre içerisinde 2 adet oda vardır. İlk olarak 1.odaya gaz alınır. Basınç dengesi sağlandıktan sonra 2.odanın vanası açılır ve aynı hacimdeki gaz 1 ve 2 nolu odaların içerisinde bekletilip basınç dengesi sağlanır. Böylece kütlesi ve hacmi belli olan malzemenin gözeneksiz hali için yoğunluğu bulunur. Helyum piknometre ile yapılan ölçüm sonucunda su kabağı liflerinin yoğunluğu 1.58 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Ancak kontrol için su içerisine atılan liflerin su yüzeyinde yüzdüğü gözlemlenmiştir. Suyun yoğunluğunun 1 gr/cm^3 olduğu bilindiğinden, elde edilen sonuçla ilgili bir problem olduğu düşünülmüştür. Çünkü, normal şartlar altında yoğunluğu sudan daha yüksek olan liflerin, su içerisinde dibe çökmeleri gerekmektedir. Lifler arasındaki gözenekler sebebiyle su dibine çökme gerçekleşmemiştir. Çünkü, helyum piknometre, yoğunluk olarak liflerin gözeneksiz halinin yoğunluğunu vermiştir ancak liflerin sıvı ile karşılaşması durumunda değişiklik olmaktadır. Bunun üzerine, bu defa su kabağı liflerinin yoğunluğunu ölçmek için su piknometresi kullanılmıştır. Ölçümler TS-EN 1097-6 (2002) standardına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre, su kabağı liflerinin yoğunluğu **0.25 gr/cm^3** olarak tespit edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan epoksinin yoğunluğu da **1.1 gr/cm^3** ’tür ve çalışma kapsamında hacim hesabı yapılırken bu değerler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.20 : Helyum piknometre ile su kabağı liflerinin yoğunluk tayini.

3.2.5 Numunelerin kalıplanması ve üretimi

Malzeme kalınlığının ses yutma performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi için numune kalıpları farklı kalınlıklarda (1cm, 3cm ve 5cm) üretilmiştir. Ancak hacimce lif oranının ses yutma performansı üzerindeki etkisini ölçmek için farklı kalınlıklı numunelerde kullanılacak lif ağırlıklarının belirlenmesi gerekmiştir. Bu noktada, denklem 3.1'e göre farklı oranlar için kullanılacak lif ve epoksi ağırlıkları belirlenmiştir.

$$m=V.d \quad (3.1)$$

Denklemde,

m: kütle (gr),

V: hacim (cm³),

d: yoğunluk (gr/cm³)'tur.

İlk olarak her bir kalıbın hacmi hesaplanmıştır. Daha sonra hacim olarak belirlenen oranlar doğrultusunda gerekli lif ve epoksi hacimleri belirlenmiştir. Belirlenen lif hacimleri lif yoğunluğu (0.25 gr/cm³) ile çarpılarak kalıp içerisinde gerekli lif ağırlıkları belirlenmiştir. Şekil 3.21'de liflerin ağırlık ölçüm aşaması gösterilmiştir. Üretilen kompozit numunelerinde kullanılan lif ve epoksi ağırlıkları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelge 3.3'te her bir numune için kodlama yapılmıştır. Çalışmanın devamında numunelerden bu kodlar ile bahsedilecektir. Kodlama ilkesi; 'LCE (Luffa Cylindrica-Epoksi) + Numune kalınlığı + Lif oranı' şeklinde kurgulanmıştır.



Şekil 3.21 : Su kabağı liflerinin ağırlık ölçümü.

Çizelge 3.2 : Kompozit numunelerinin fiziksel özellikleri.

Kalıp boyutu	Hacimce lif oranı (%)	m_{lif} (gr)	m_{epoksi} (gr)
1cm kalınlık 3cm çap	90,00	1,10	0,54
	80,00	0,97	1,07
	70,00	0,85	1,61
	60,00	0,73	2,14
	50,00	0,61	2,68
3cm kalınlık 3cm çap	90,00	3,31	1,62
	80,00	2,94	3,24
	70,00	2,58	4,86
	60,00	2,21	6,48
	50,00	1,84	8,10
5cm kalınlık 3cm çap	90,00	5,48	2,68
	80,00	4,87	5,35
	70,00	4,26	8,03
	60,00	3,65	10,71
	50,00	3,04	13,38
1cm kalınlık 10cm çap	90,00	15,77	7,71
	80,00	14,02	15,42
	70,00	12,26	23,13
	60,00	10,52	30,85
	50,00	8,76	38,56
3cm kalınlık 10cm çap	90,00	47,82	23,38
	80,00	42,51	46,76
	70,00	37,19	70,14
	60,00	31,88	93,52
	50,00	26,57	116,90
3cm kalınlık 10cm çap	90,00	79,70	38,97
	80,00	70,85	77,93
	70,00	61,99	116,90
	60,00	53,13	155,86
	50,00	44,28	194,83

Çizelge 3.2’de görülen fiziksel özelliklerine göre; kompozit içerisinde kullanılacak malzemelerin ağırlıkları belirlendikten sonra el ile yayma yöntemi ile kompozit üretimine başlanmıştır. Buna göre, öncelikli olarak ağartma işlemi sonrası kurutulup hazır hale getirilen liflerin kalıp içerisinde homojen dağılımı sağlanmıştır. Kalıp boyutları empedans tüpüne göre ayarlandığı ve küçük olduğu için epoksi el ile değil şırınga ile Şekil 3.22’de gösterildiği gibi lifler arasına enjekte edilmiştir. Ön deneylerde, kürlenme sırasında liflerde şişme gözlemlendiği için, 48 saatlik kür süresince kalıpların üzerine basınç uygulanmıştır. Basınç uygulanırken epoksinin yapışmasını önlemek için silikon şilteler kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 : Kompozit numunelerinin kodlandırılması.

Numune kodu	Numune kalınlığı	Numune lif oranı
LCE1%50	1cm	%50
LCE1%60	1cm	%60
LCE1%70	1cm	%70
LCE1%80	1cm	%80
LCE1%90	1cm	%90
LCE3%50	3cm	%50
LCE3%60	3cm	%60
LCE3%70	3cm	%70
LCE3%80	3cm	%80
LCE3%90	3cm	%90
LCE5%50	5cm	%50
LCE5%60	5cm	%60
LCE5%70	5cm	%70
LCE5%80	5cm	%80
LCE5%90	5cm	%90



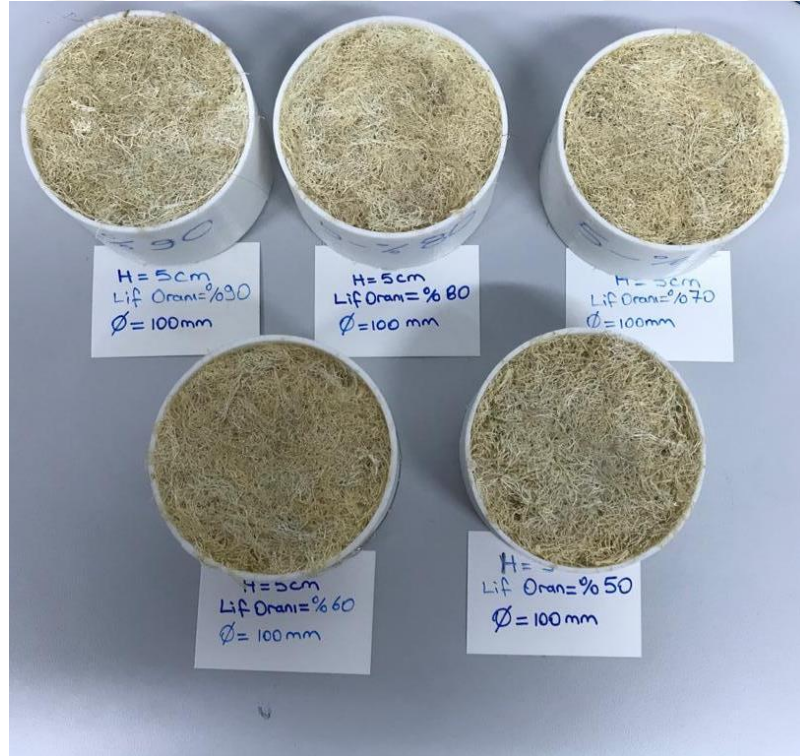
Şekil 3.22 : El ile yayma yöntemi ile üretilen su kabağı (LC) lifi-epoksi kompozit numunelerine epoksi enjekte edilmesi.

Şekil 3.23'te üretilen kompozit numuneleri bir arada gösterilmiştir. Her bir farklı lif oranı ve farklı kalınlıklı numune örnekleri için ayrı CNC silindirik kalıplara dökülmüş hali fotoğraftan görülmektedir. Empedans tüpünde alçak ve yüksek frekans ölçümleri

ayrı yapılacağı için aynı özellikli 30mm ve 100mm çaplı farklı numunelerin üretimi de yine fotoğraftan gözlemlenebilmektedir. Şekil 3.24'te ise 5cm kalınlıklı numunelerin yüzey pürüzlülüğü gösterilmiştir.



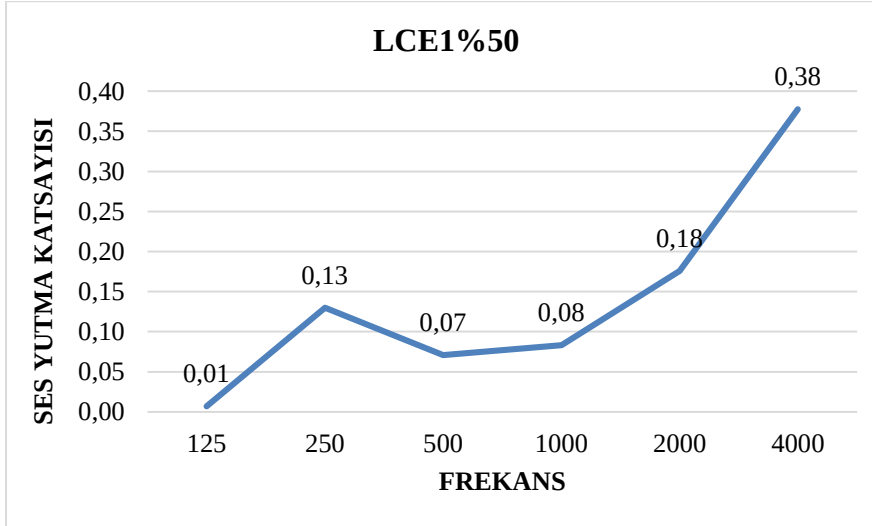
Şekil 3.23 : Üretilen kompozit numuneleri.



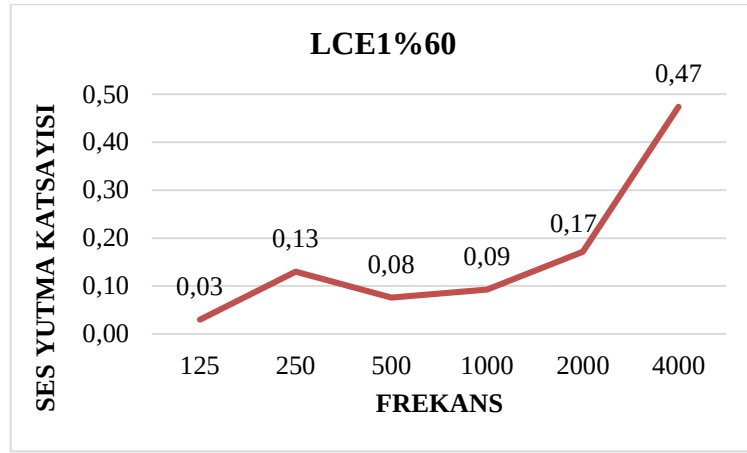
Şekil 3.24 : 5cm kalınlıklı %50, 60, 70, 80 ve 90 lif oranlı numunelerin yüzey görseli.

3.3 Ses Yutma Katsayısı Ölçümleri

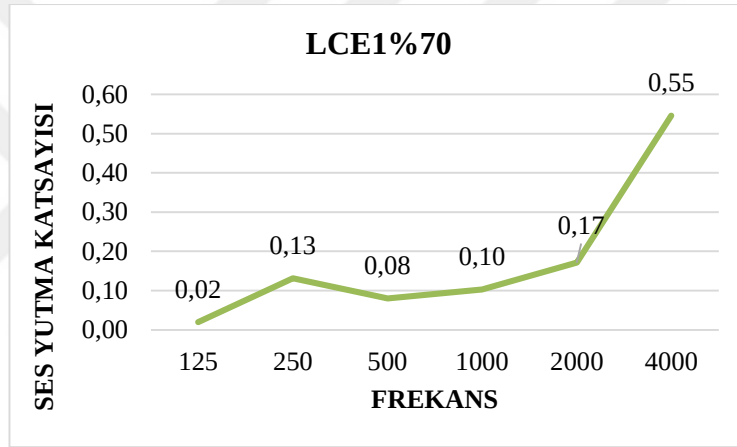
Kompozit numuneleri üretildikten sonra empedans tüpü yöntemi ile ses yutma katsayılarının ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler öncesi hassasiyeti arttırmak için empedans tüpüne kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyonun nasıl yapıldığı Bölüm 3.1.2’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Kalibrasyon aşaması tamamlandıktan sonra ölçüm aşamasına geçilmiştir. Empedans tüpü oldukça hassas bir alettir. Mekan içerisindeki herhangi bir titreşimden ya da hava değişiminden kolayca etkilenmektedir. Bu nedenle, alet olabilecek en izole noktaya yerleştirilmiştir. Ölçümlerde hata oranını düşürmek için her numune için yapılan ölçüm 5 defa tekrarlanmış ve daha sonra her bir numune için elde edilen 5 sonucun ortalamaları alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan, 1/3 oktav bandında 125Hz-4000Hz aralığındaki ses yutma katsayıları çalışma kapsamında kullanılmıştır. Empedans tüpü ile ölçümleri yapılan 15 adet su kabağı (LC) lifli-epoksi kompozit numunesinden elde edilen ses yutma sonuçlarına ait grafikler Şekil 3.25-Şekil 3.39’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, 5cm kalınlıklı numunelerde ses yutma katsayılarında diğer numunelere göre ciddi artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen tüm ses yutma katsayıları, Çizelge 3.4’te toplu halde görülmektedir.



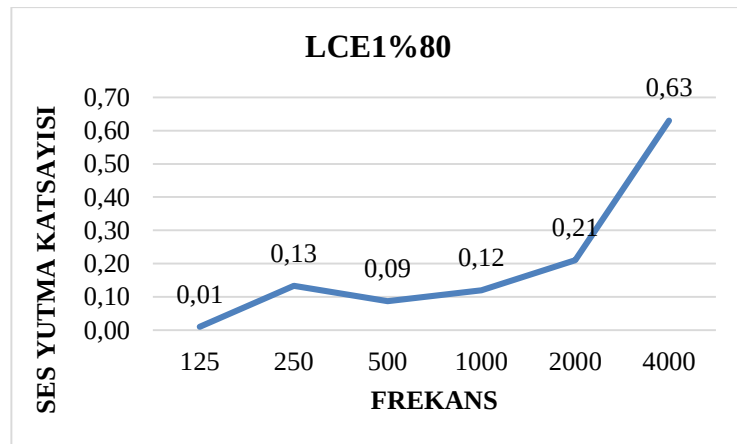
Şekil 3.25 : 1 cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE1%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



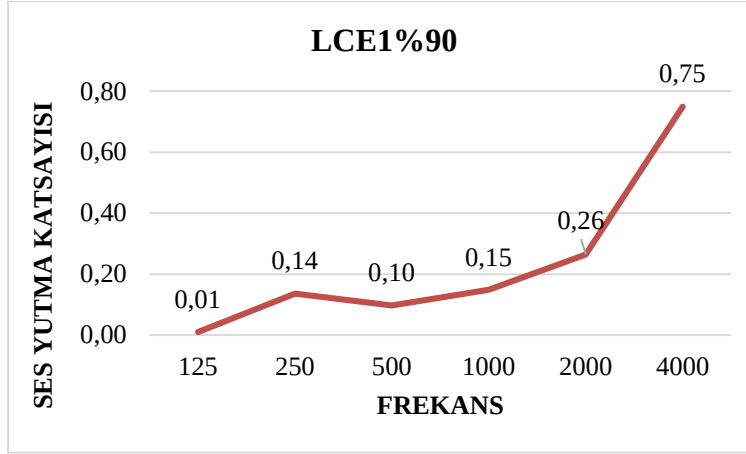
Şekil 3.26 : 1 cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE1%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



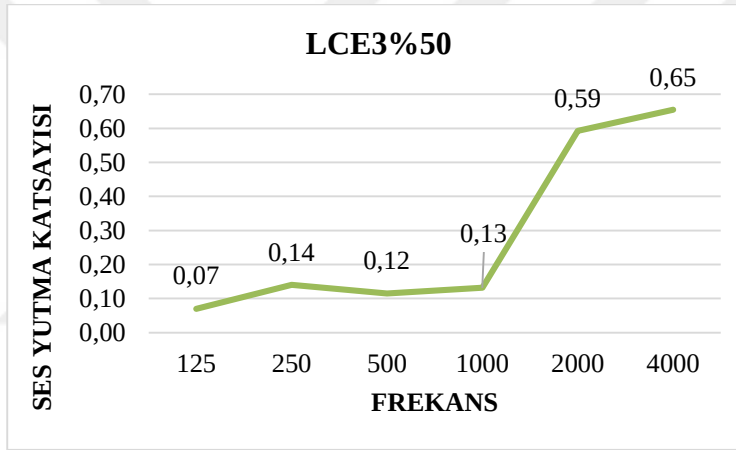
Şekil 3.27 : 1 cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE1%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



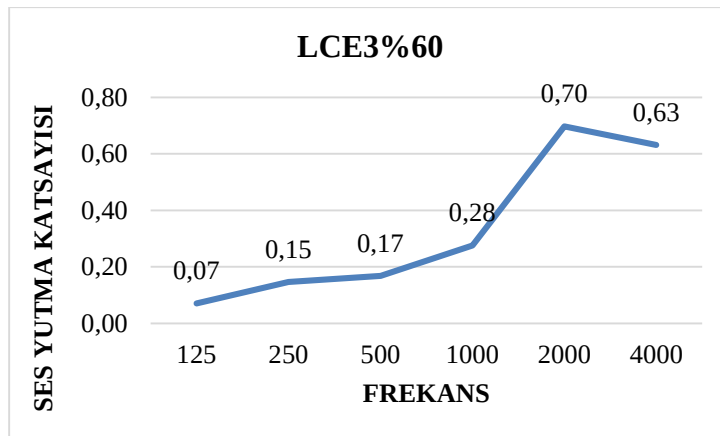
Şekil 3.28 : 1 cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE1%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



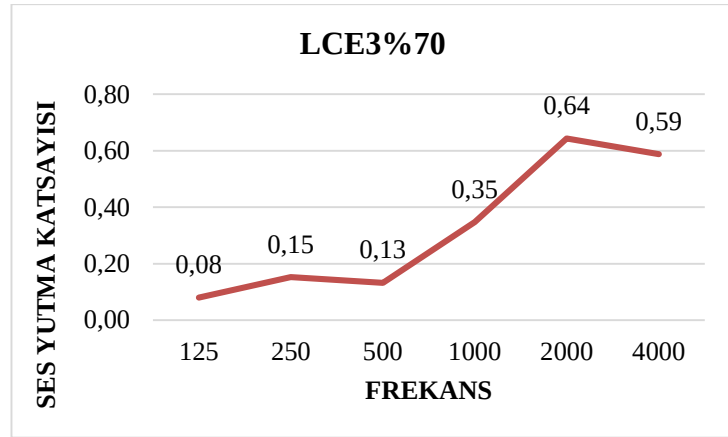
Şekil 3.29 : 1 cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE1%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



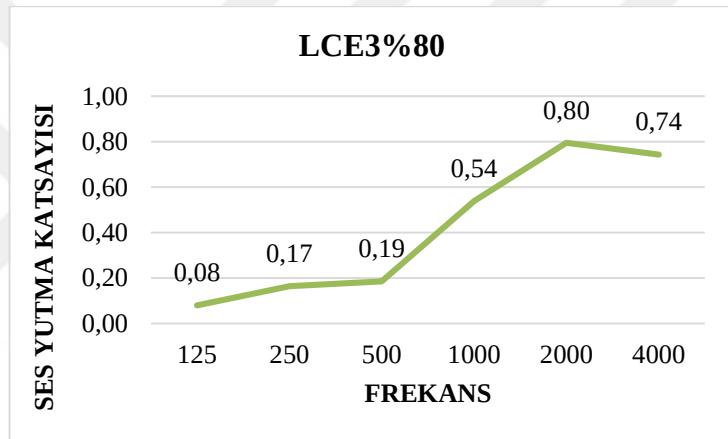
Şekil 3.30 : 3 cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE1%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



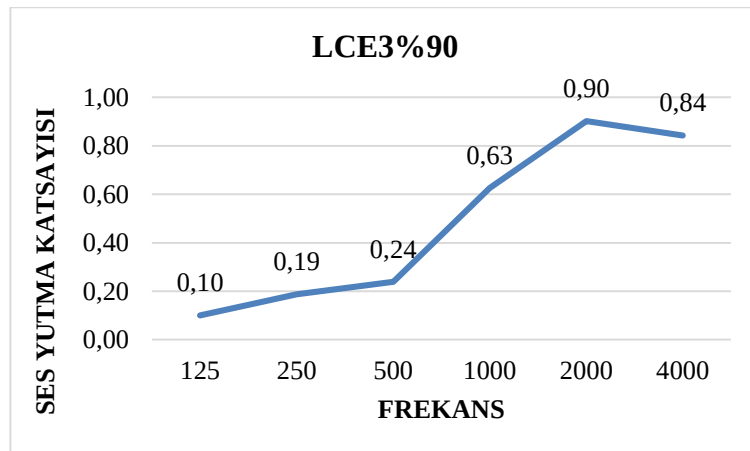
Şekil 3.31 : 3 cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE1%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



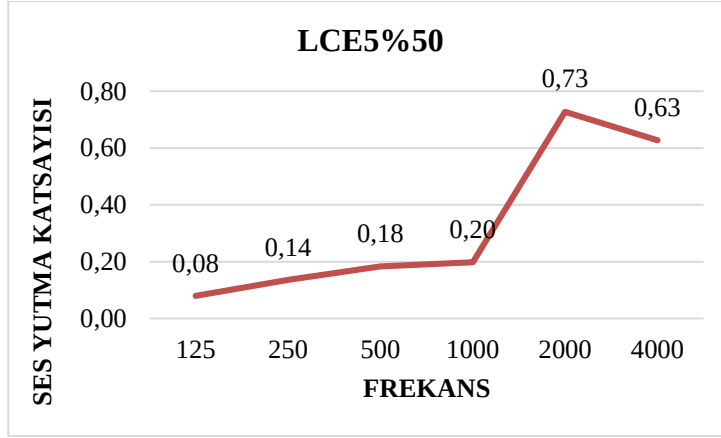
Şekil 3.32 : 3 cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE1%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



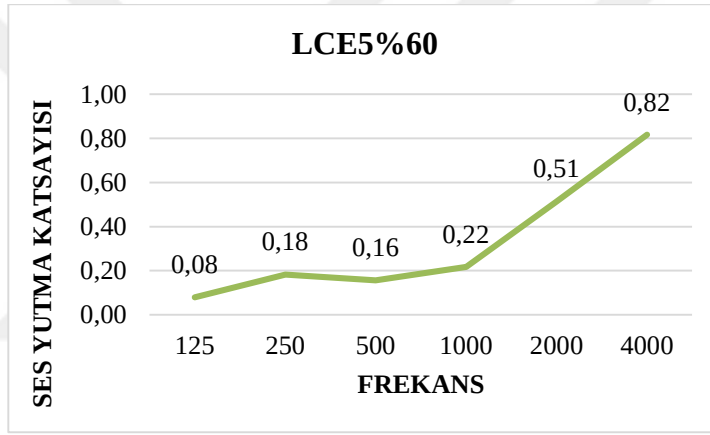
Şekil 3.33 : 3 cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE1%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



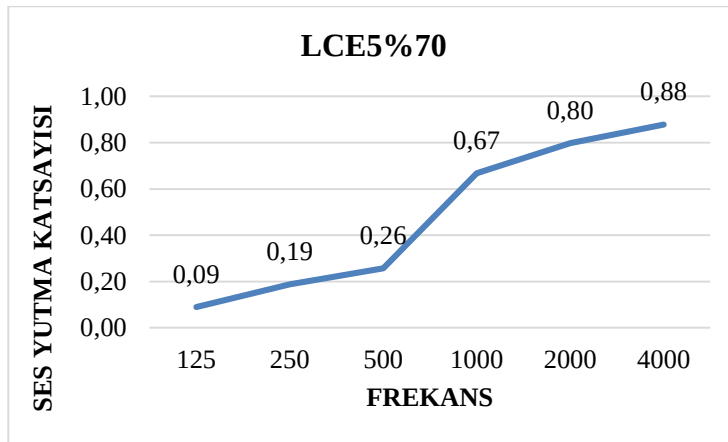
Şekil 3.34 : 3 cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE1%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



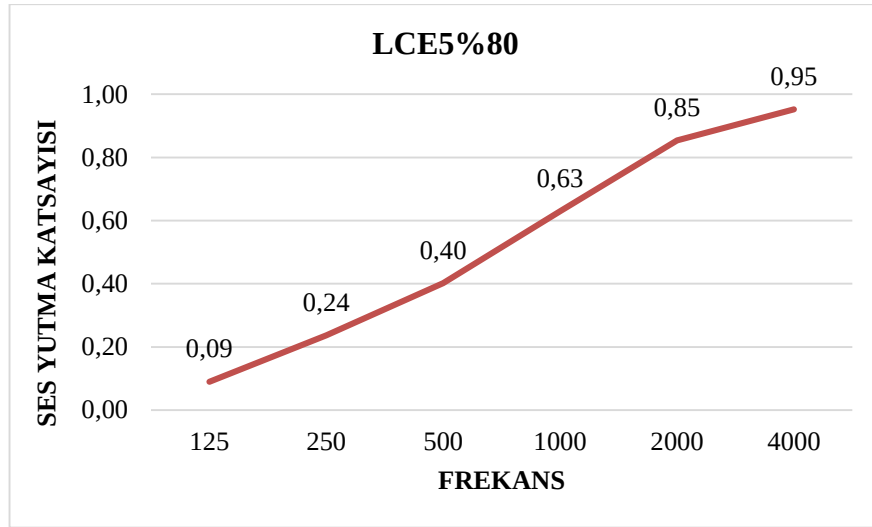
Şekil 3.35 : 5 cm kalınlıklı %50 lif oranlı LCE1%50 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



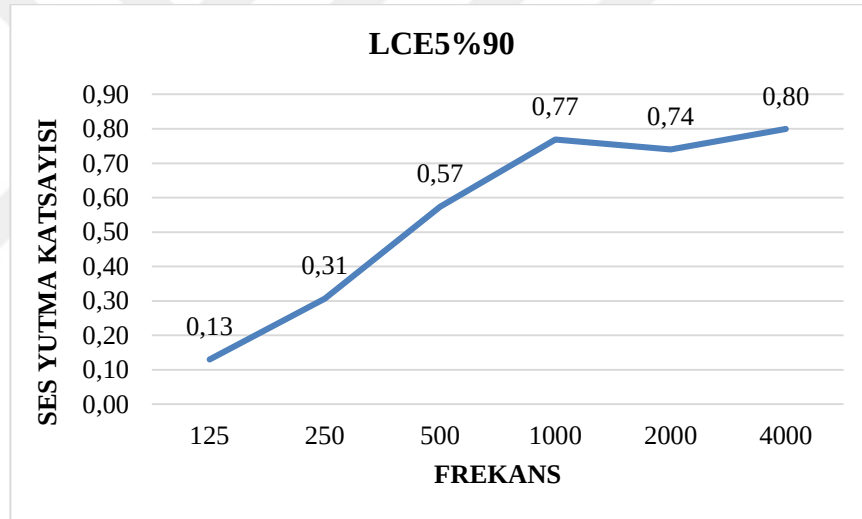
Şekil 3.36 : 5 cm kalınlıklı %60 lif oranlı LCE1%60 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



Şekil 3.37 : 5 cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE1%70 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



Şekil 3.38 : 5 cm kalınlıklı %80 lif oranlı LCE1%80 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.



Şekil 3.39 : 5 cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE1%90 kompozitinin ses yutma katsayısı sonuçları.

Çizelge 3.4 : Numunelerin ölçüm sonucu elde edilen farklı frekanslardaki ses yutma katsayısı (α) değerleri.

Numune Kodu	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
LCE1%50	0,01	0,13	0,07	0,08	0,18	0,38
LCE1%60	0,03	0,13	0,08	0,09	0,17	0,47
LCE1%70	0,02	0,13	0,08	0,10	0,17	0,55
LCE1%80	0,01	0,13	0,09	0,12	0,21	0,63
LCE1%90	0,01	0,14	0,10	0,15	0,26	0,75
LCE3%50	0,07	0,14	0,12	0,13	0,59	0,65
LCE3%60	0,07	0,15	0,17	0,28	0,70	0,63
LCE3%70	0,08	0,15	0,13	0,35	0,64	0,59
LCE3%80	0,08	0,17	0,19	0,54	0,80	0,74
LCE3%90	0,10	0,19	0,24	0,63	0,90	0,84
LCE5%50	0,08	0,14	0,18	0,20	0,73	0,63
LCE5%60	0,08	0,18	0,16	0,22	0,51	0,82
LCE5%70	0,09	0,19	0,26	0,67	0,80	0,88
LCE5%80	0,09	0,24	0,40	0,63	0,85	0,95
LCE5%90	0,13	0,31	0,57	0,77	0,74	0,80

Her bir grafik ayrı ayrı incelendiğinde, tüm numunelerin farklı frekanslarda farklı değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Ancak genel bir yorumlama olarak şu söylenebilir hemen hemen her numune için yüksek frekanslara doğru sesin yutuculuğu artmıştır. Bunun sebebi olarak lifli malzemelerin yüksek frekanslarda daha etkin ses yutucu malzemeler olması söylenebilir. Kalınlık artışı ile tüm numunelerde ses yutuculuğunun da arttığı söylenebilir ancak kalınlığın ses yutma performansı üzerine etkisi Bölüm 4.1.1’de karşılaştırmalı olarak detaylı incelenmiştir.

4. SES YUTMA KATSAYISI ÖLÇÜM SONUÇLARININ İNCELENMESİ VE EĞİLME-BASINÇ TESTİ SONUÇLARI

Empedans tüpü ölçümleri sonucunda üretilen numunelerin ses yutma katsayıları elde edilmiştir. Bu bölümde, elde edilen ses yutma katsayıları sonuçları, daha önceden belirlenen kalınlık ve lif oranı parametrelerine göre ilişkilendirilerek incelenmiş, numunelerin ses yutma performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve gürültü azaltım katsayısı (NRC) belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın bu bölümünde numunelerin bitirme malzemesi olarak kullanımında eğilme ve basınç dayanımları hakkında bilgi sahibi olmak için yapılan eğilme-basınç dayanım testlerinin sonuçları paylaşılmış ve yorumlanmıştır.

4.1 Ölçüm Sonuçlarının Parametrelere Göre İncelenmesi

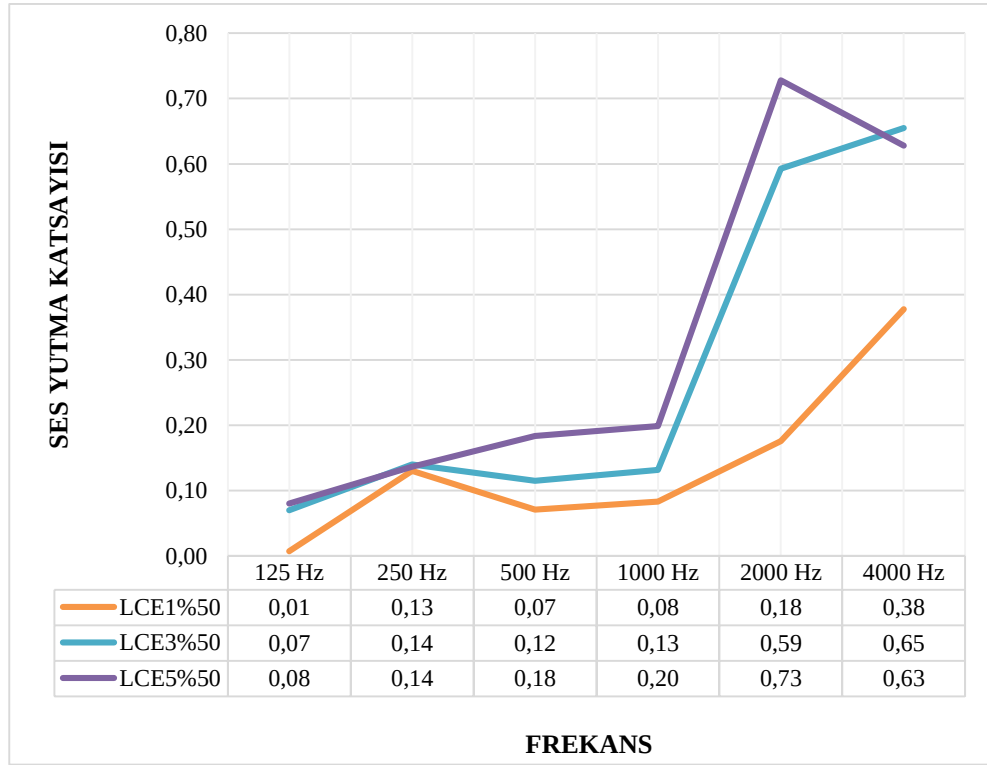
Yapılan ölçümler sonrası numunelerin ses yutma katsayıları elde edildikten sonra daha önceden belirlenmiş olan ‘kalınlık’ ve ‘lif oranı’ parametrelerinin ses yutma performansına olan etkisi incelenmiştir ve alt başlıklar halinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1.1 Kalınlık-ses yutma katsayısı ilişkisi

Yapılan literatür araştırmalarından da görüldüğü üzere bir malzemenin özellikle alçak frekanslarda ses yutma katsayısını etkileyen önemli faktörlerden biri malzemenin kalınlığıdır. Bu parametre için aynı lif oranı ile farklı kalınlıktaki malzemeler karşılaştırılmıştır.

Buna göre, ilk olarak %50 lif oranlı 1cm (LCE1%50), 3cm (LCE3%50) ve 5cm (LCE5%50) kalınlıklı 3 numune karşılaştırılmış ve sonuçlar sütun grafiği halinde Şekil 4.1’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi, 125Hz’de kalınlık etkili bir parametredir. 250 Hz’de kalınlığın etkisinin olmadığı söylenebilir. 500Hz ve 1000Hz’de kalınlık arttıkça oranlı bir artış gözlemlenmiştir. Beklenenin aksine, yüksek frekanslar olan 2000Hz ve 4000Hz’de ise kalınlık arttıkça malzemenin ses yutuculuğunun yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir. Gözenekli malzemelerin ses yutma performansı

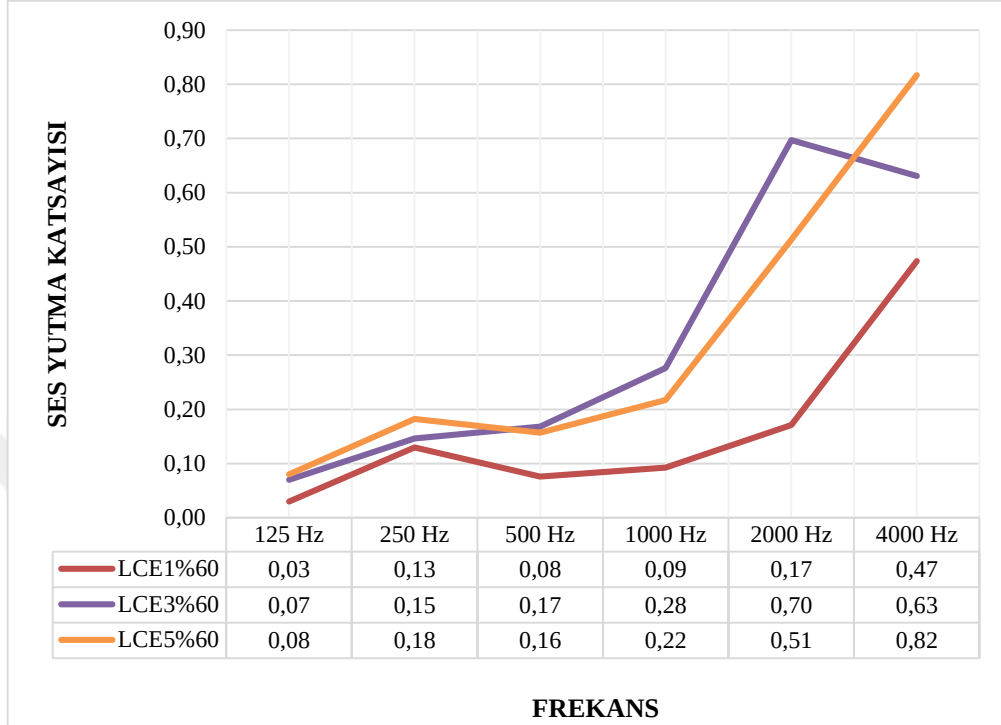
yüksek frekanslarda çok etkiliyken alçak frekanslarda daha az etkilidir. Bu tür malzemelerde alçakta iyileştirme yapmak için malzeme kalınlığı arttırılır. 125Hz’de 1cm’lik numuneyle diğer iki numune karşılaştırıldığında kalınlığın etkinliği görülürken 3cm ve 5cm arasında ve 250 Hz’de kalınlığın etkili olmayışının sebebi olarak, kompozit içerisindeki epoksi oranının fazla olması sebebiyle hali hazırda yutuculuğun çok düşük olması ve farkın gözle görülemeyecek düzeyde olması söylenebilir.



Şekil 4.1 : %50 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%50, LCE3%50 ve LCE5%50 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.

%60 lif oranlı 1cm (LCE1%60), 3cm (LCE3%60) ve 5cm (LCE5%60) kalınlıklı 3 numunenin ses yutma performansı sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, alçak ve orta frekanslarda kalınlığın yutuculuk üzerinde etkili olduğunu söylemek mümkündür. 2000Hz’de 3cm kalınlıklı malzemenin 5cm kalınlıklı malzemeden daha yüksek yutuculuk sağlamasının sebebi olarak kompozit içerisinde kullanılan liflerin çapı olduğu düşünülmektedir. Bu çıkarımın sebebi, 3cm kalınlık %60 lif oranlı malzemeye tekrar 5 farklı ölçüm daha yapılması ve yine aynı sonucun elde edilmesidir. Bu noktada, ölçüm hatası fikrinden uzaklaşmış, lif çapı

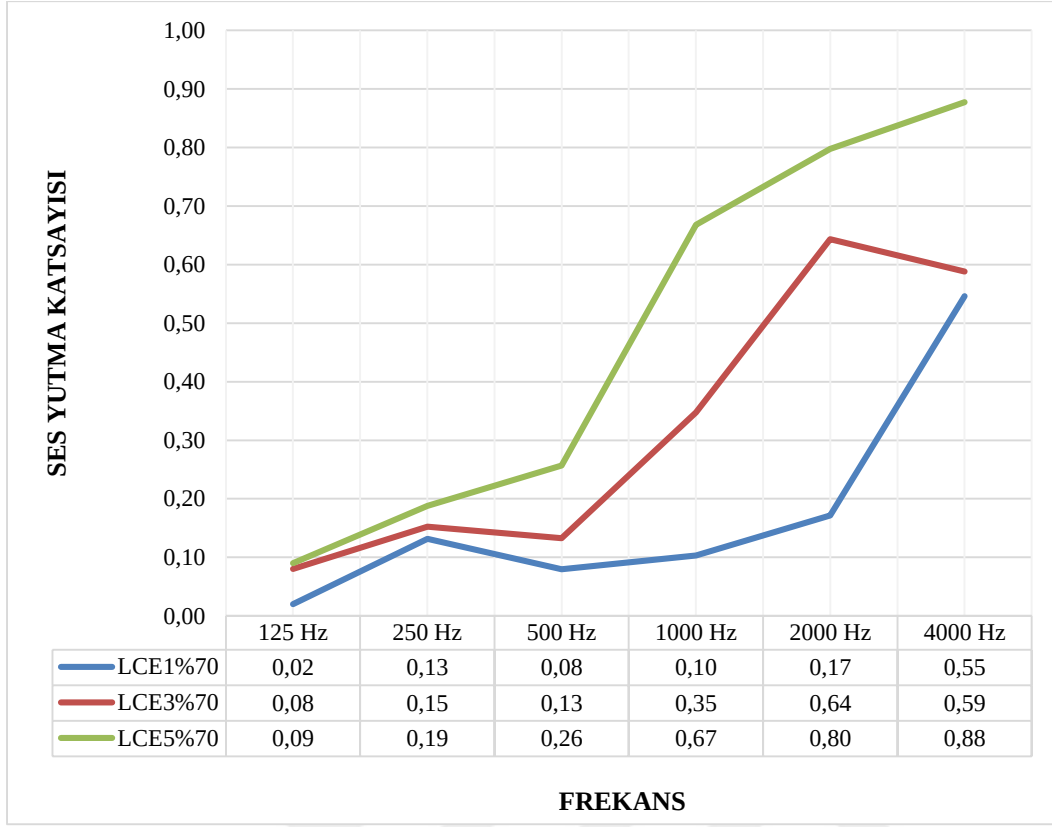
ölçülemeyen su kabağı-epoksi kompozitinde, bu kompozit içerisinde kullanılan lif çaplarının bu sonuç üzerinde etkili olduğu kanısına varılmıştır.



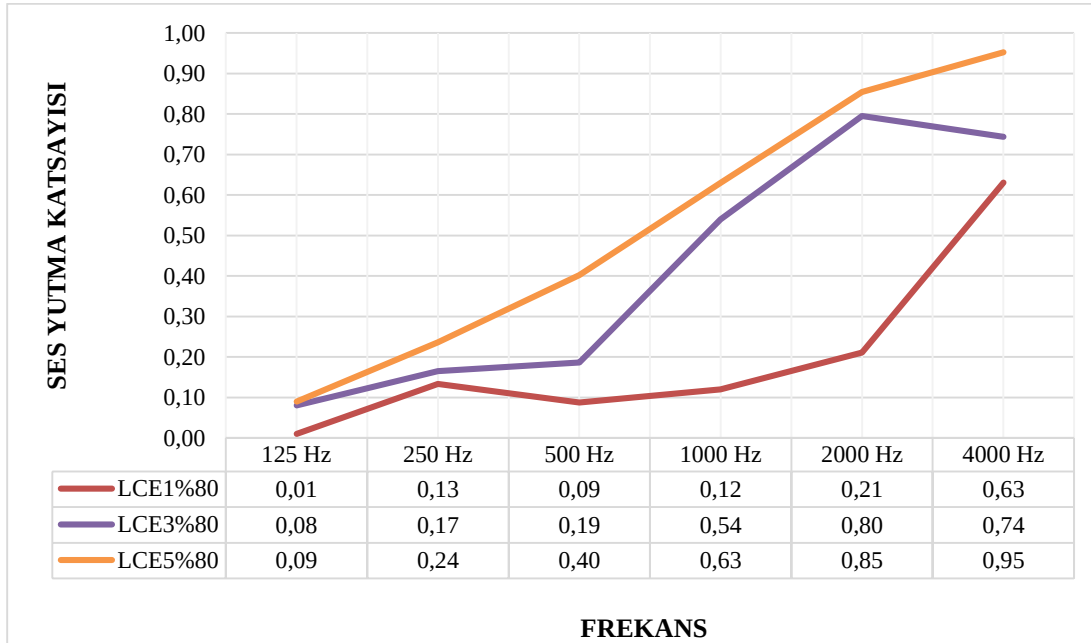
Şekil 4.2 : %60 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%60, LCE3%60 ve LCE5%60 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.

Diğer bir karşılaştırma 3 farklı kalınlıktaki numunelerde %70 lif oranı için yapılmıştır. Şekil 4.3'te verilen sonuçlara göre, alçak ve orta frekanslarda kalınlık sesin yutulmasında etkili bir rol oynamıştır çünkü kalınlık artışı ile birlikte yutuculuk da artmıştır. %70 lif oranlı numunelerde 2000Hz ve 4000Hz'de de kalınlığın artışıyla birlikte ses yutuculuğu artmıştır. Ancak, kalınlık yüksek frekanslarda çok fazla etkili bir parametre değildir. Bu nedenle, buradaki artışın kalınlık ile ilişkili değil kalınlığa bağlı kompozit içerisine giren lif miktarındaki artışla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Fakat yine de, %70 lif oranlı kompozitlerde, tüm frekanslarda kalınlık artışı ile birlikte ses yutuculuğunun da arttığı görülmektedir.

Şekil 4.4'te %80 lif oranlı malzemelerin farklı kalınlıktaki ses yutma performansı sonuçları verilmiştir. Tıpkı %70 lif oranlı numunelerde olduğu gibi burada alçak, orta ve yüksek frekanslarda kalınlıkla birlikte ses yutuculuğunun da arttığı gözlemlenmektedir.

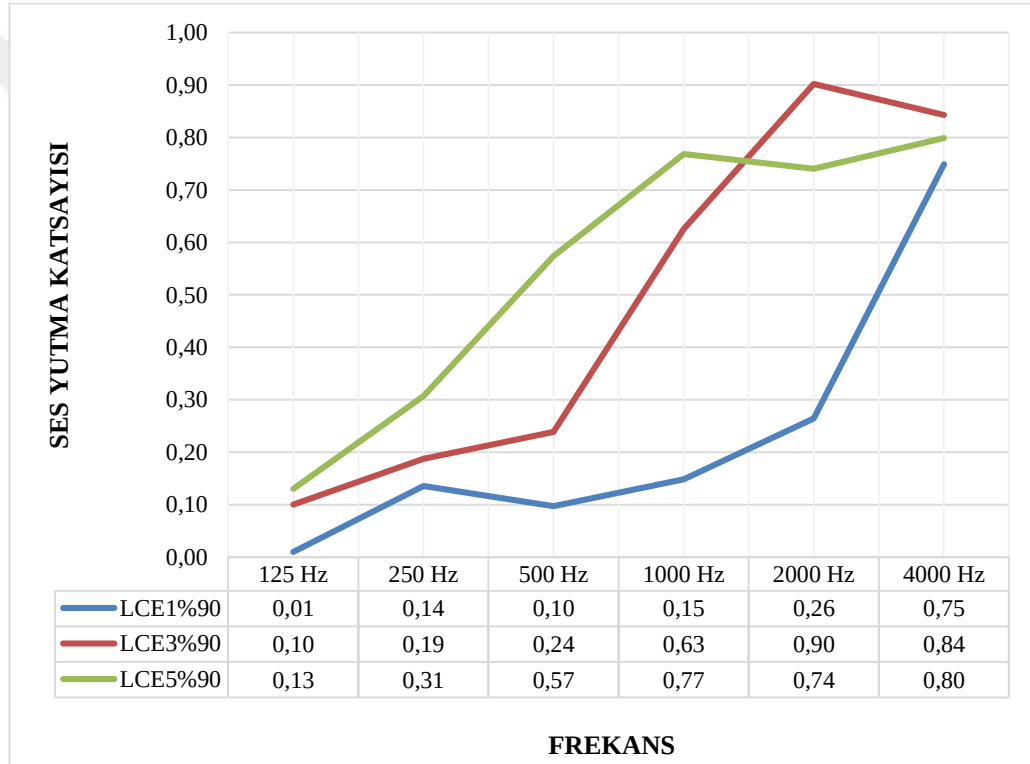


Şekil 4.3 : %70 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%70, LCE3%70 ve LCE5%70 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.



Şekil 4.4 : %80 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%80, LCE3%80 ve LCE5%80 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.

%90 lif oranının kullanıldığı LCE1%90, LCE3%90 ve LCE5%90 kodlu 3 numunenin ses yutma performansı karşılaştırılması Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi, 125Hz, 250Hz, 500Hz ve 1000Hz'de malzeme kalınlığının artmasıyla birlikte malzemelerin ses yutuculuğu da artış göstermiştir. Özellikle alçak frekanslardan olan 125Hz'de kalınlığın ses yutuculuğunun artışında çok ciddi etkili olduğunu söylemek mümkündür. 2000Hz ve 4000Hz'de, 3cm kalınlıklı malzeme 1cm kalınlıklı ve 5cm kalınlıklı numunelerden daha yutucu performans göstermiştir. Bu noktada, kalınlık etkili bir parametre olamamıştır. Burada lif çapı ve yüzeydeki lif oranları ile ilgili bir etki olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.5 : %90 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı LCE1%90, LCE3%90 ve LCE5%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, bir genelleme olarak kalınlığın özellikle alçak frekanslarda olmakla birlikte tüm frekanslarda etkili bir parametre olduğunu söylemek mümkündür. Kalınlık artışı çoğunlukla malzemelerin ses yutma katsayılarının da artmasını sağlamıştır. Ancak istisnai durumlar da söz konusudur. Bu noktada, elbette ki bir malzemenin ses yutma katsayısının belirlenmesinde tek bir parametreye bakılamayacağı, farklı özelliklerin ve koşulların da göz önünde bulundurulması gerekliliğini söylemek mümkündür. Fakat kesin olarak söylenebilecek çıkarım şudur

ki; tüm lif oranlarında alçak frekanslarda kalınlık artışı ile birlikte malzemenin ses yutuculuğu da artmıştır.

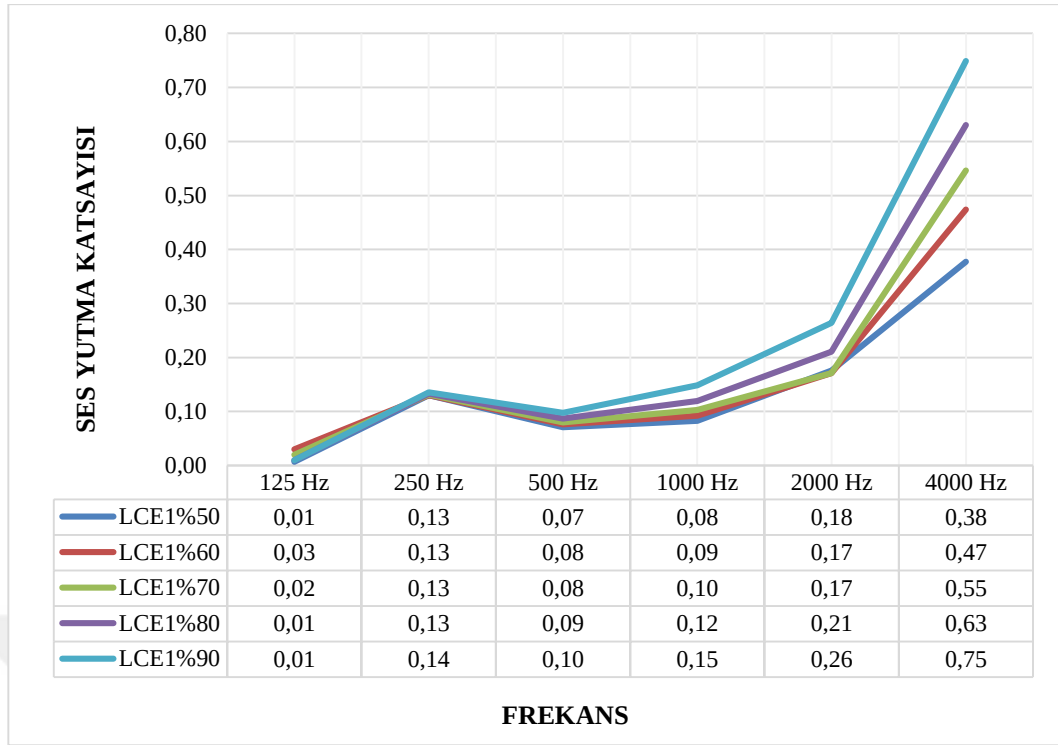
4.1.2 Lif oranı-ses yutma katsayısı ilişkisi

Bilindiği üzere, lifli kompozit malzemelerde, malzeme içerisinde kullanılan lif oranı özellikle orta ve yüksek frekanslarda ses yutuculuğu açısından etkili bir parametredir. Lifli malzemelerde, gelen ses dalgaları lifler arasında titreşime yol açar ve ses enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Birim alan başına düşen lif miktarının artması ile lifler arasındaki etkileşim de artacağından ses yutma performansında artış gözlemlenir. Bunu ölçmek için, üretilen numuneler arasında, aynı kalınlıklı numunelerde hacimce farklı lif oranlarının ses yutma sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

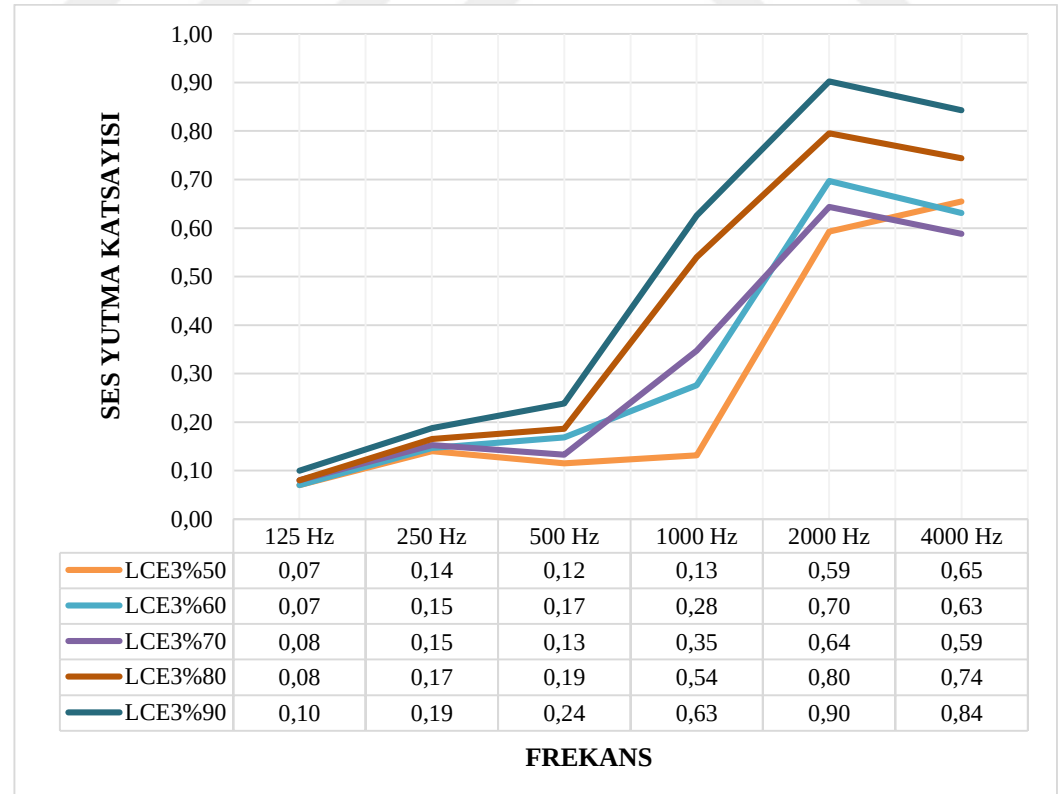
İlk olarak 1cm kalınlıklı numuneler 5 farklı lif oranına göre kıyaslanmıştır ve sonuçlar Şekil 4.6’da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 1cm kalınlıklı numunelerde lif oranı artışının alçak frekanslar üzerinde etkili olmadığı söylenebilmektedir. Ancak orta ve yüksek frekanslarda literatürden de beklendiği üzere lif oranı artışı ile birlikte ses yutma katsayısında da artış gözlemlenmektedir.

Şekil 4.7’de 3cm kalınlıklı numunelerde, lif oranı artışının ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Tıpkı 1cm’lik örneklerde olduğu gibi, lif oranı yine orta ve yüksek frekanslarda ses yutuculuğunu etkilemiştir.

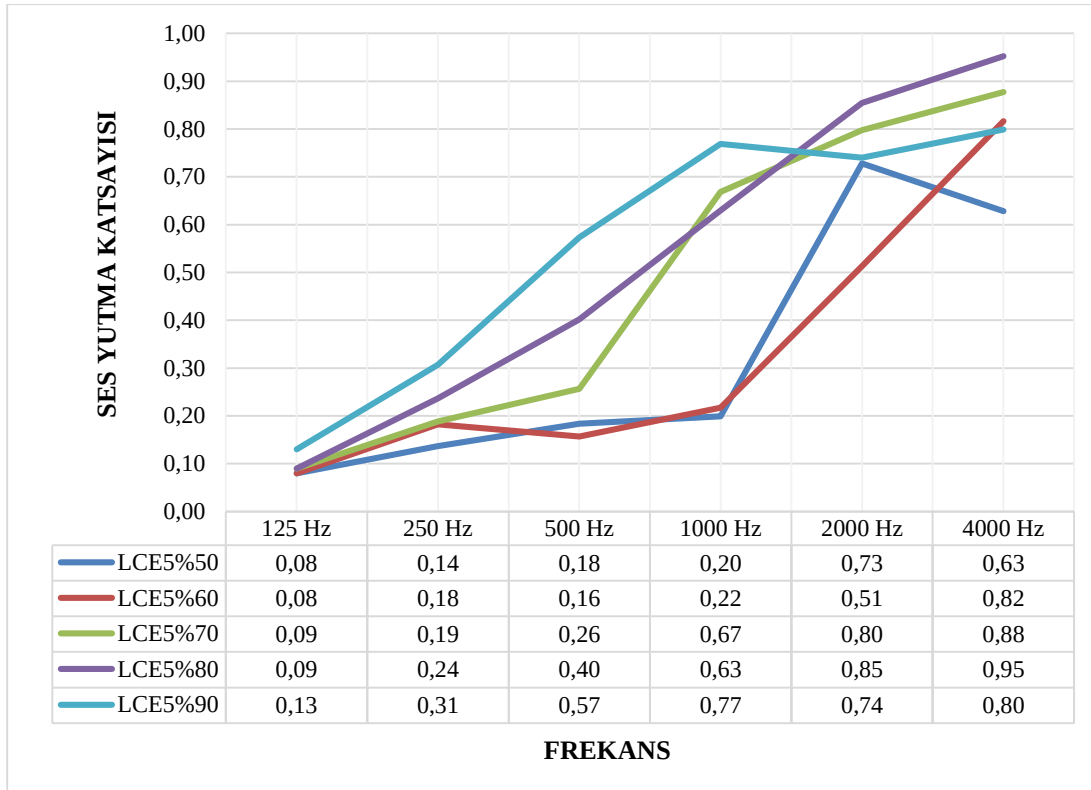
5cm kalınlıklı numunelerin farklı lif oranları ile ses yutma performansı karşılaştırmaları Şekil 4.8’de gösterilmiştir. 5cm kalınlıklı örneklerde, 1cm ve 3cm’lik numunelerden farklı olarak lif oranı tüm frekanslarda ses yutma performansını etkilemiştir. Burada, alçak frekanslarda malzeme kalınlığının etkisinin de devreye girdiği söylenebilir. Lifli malzemelerde sesin yutulması üzerinde kullanılan lif çapının da etkisi vardır. Özellikle ince kalınlıklı liflerde, titreşim artacağından dolayı ses yutuculuğu da artmaktadır. Su kabağı liflerinin ağsı yapısından dolayı lif çapı incelenememiştir. Aynı parçada yapılan lif çapı ölçümlerinde, 1cm lif boyunda çaplar 0.1mm-1.2mm arasında değişkenlik göstermektedir. Ancak, özellikle 2000Hz ve 4000Hz’de %90 lif oranlı örneklerin %70 ve %80 lif oranlı örneklere kıyasla biraz daha düşük ses yutma katsayısı sonucu vermesinde, bu numunede kullanılan lif çaplarının daha fazla olması etkisi düşünülmektedir.



Şekil 4.6 : 1cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE1%50, LCE1%60, LCE1%70, LCE1%80 ve LCE1%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.



Şekil 4.7 : 3cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE3%50, LCE3%60, LCE3%70, LCE3%80 ve LCE3%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.



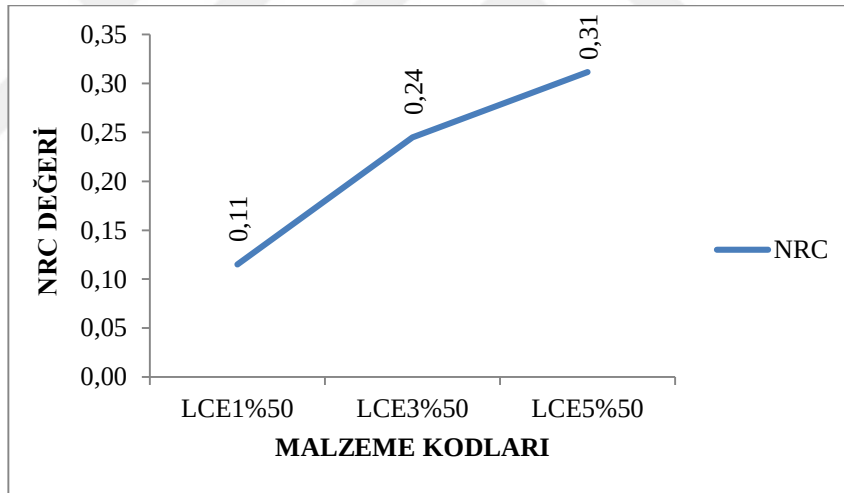
Şekil 4.8 : 5cm kalınlıklı farklı lif oranlı LCE5%50, LCE5%60, LCE5%70, LCE5%80 ve LCE5%90 numunelerinin ses yutma performansının karşılaştırması.

Tüm grafikler incelendiğinde, genel bir yorum olarak malzeme içerisinde kullanılan lif oranının artmasının özellikle orta ve yüksek frekanslarda etkili bir parametre olduğunu söylemek mümkündür. Bazı frekanslarda (örneğin 5cm kalınlıklı numunelerde %90 lif oranında 4000Hz'deki ses yutuculuk değeri gibi) beklenenden düşük sonuç çıkmasında liflerin kompozit içerisindeki düzensiz dağılımının da etkisinin olduğu düşünülmektedir. Ağsı yapısı sebebiyle lifler belirli bir kompozisyon içerisinde kompozit içine yerleştirilememiştir. Bu noktada, bağlayıcı epoksi, malzeme içerisindeki bazı noktalarda homojen yerleşememiş olabilir. Bu da belirli oranlarda sesin yutulmasını etkilemektedir. Diğer bir açıdan bakıldığında, düşük lif oranlı malzemelerde bağlayıcı oranı daha yüksektir. Bağlayıcı miktarının fazla olması, el ile yayma yöntemi kullanılarak üretilen kompozitlerde bağlayıcının kompozit içerisinde daha homojen dağılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, bağlayıcı oranının kompozit içerisinde yüksek olması lifler arasındaki hava boşluğu oranının azalmasına sebep olur. Tüm bu etkenler, bağlayıcı oranının yüksek olduğu numunelerde sesin yutulma performansının düşmesine sebep olmuştur.

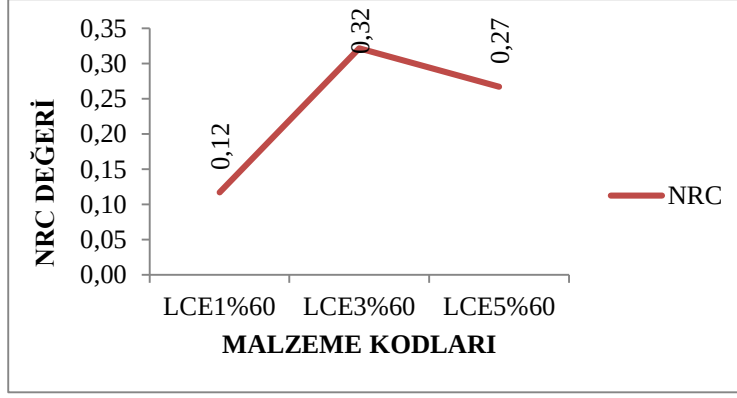
4.1.3 Gürültü azaltım katsayısı (NRC) sonuçları

Bölüm 2.3.2’de de belirtildiği gibi gürültü azaltım katsayısı (NRC) bir malzemenin ses yutma performansının tek bir sayı ile gösterilmesidir. Bir malzemenin, 250Hz-2000Hz arasındaki ses yutma katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Buna göre, üretilen 15 adet numunenin gürültü azaltım katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

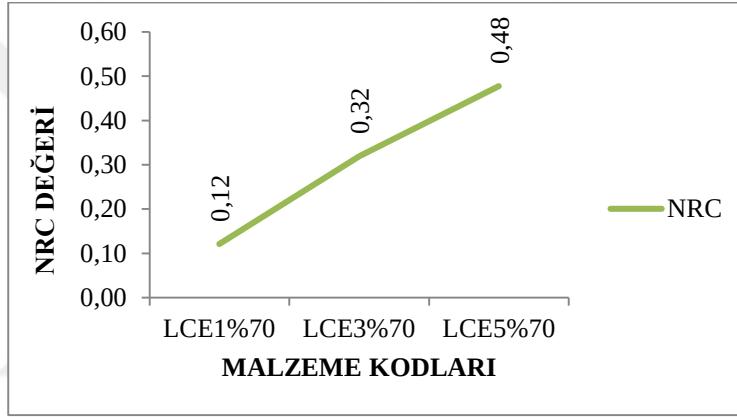
İlk olarak kalınlığın gürültü azaltım katsayısı (NRC) değeri üzerindeki etkisini incelemek için aynı lif oranlı farklı kalınlıklı malzemeler birbirleri ile karşılaştırmıştır ve sonuçlar Şekil 4.9-Şekil 4.13’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kalınlık arttıkça gürültü azaltım katsayısı (NRC) değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.49’dan da görüldüğü üzere yalnızca %60 lif oranlı numunelerde 3cm kalınlıklı LCE3%60 numunesinin gürültü azaltım katsayısının 5cm kalınlıklı LCE5%60 numunesinden daha yüksek gürültü azaltım katsayısı değerine sahip olduğu gözlemlenebilir. Ancak bu fark dikkate alınacak düzeyde değildir.



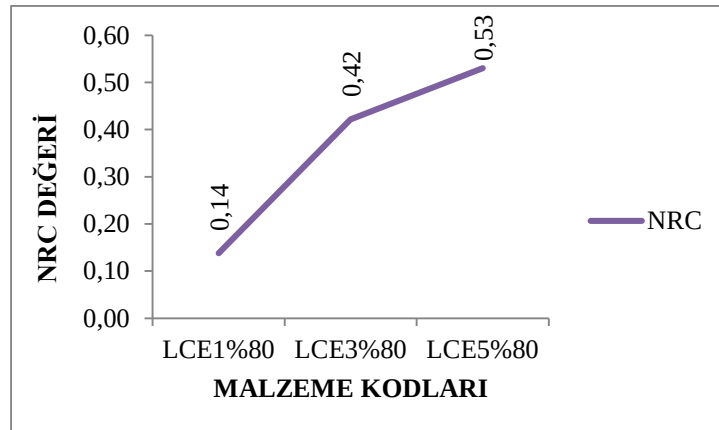
Şekil 4.9 : %50 lif oranlı 1cm (LCE1%50), 3cm (LCE3%50) ve 5cm (LCE5%50) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması.



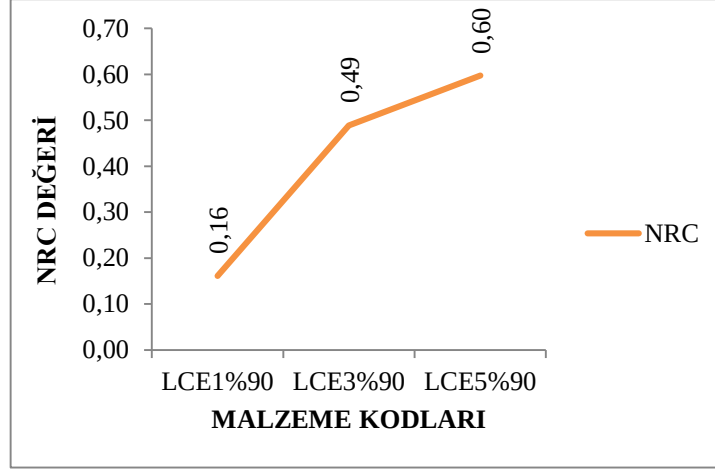
Şekil 4.10 : %60 lif oranlı 1cm (LCE1%60), 3cm (LCE3%60) ve 5cm (LCE5%60) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.11 : %70 lif oranlı 1cm (LCE1%70), 3cm (LCE3%70) ve 5cm (LCE5%70) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması.

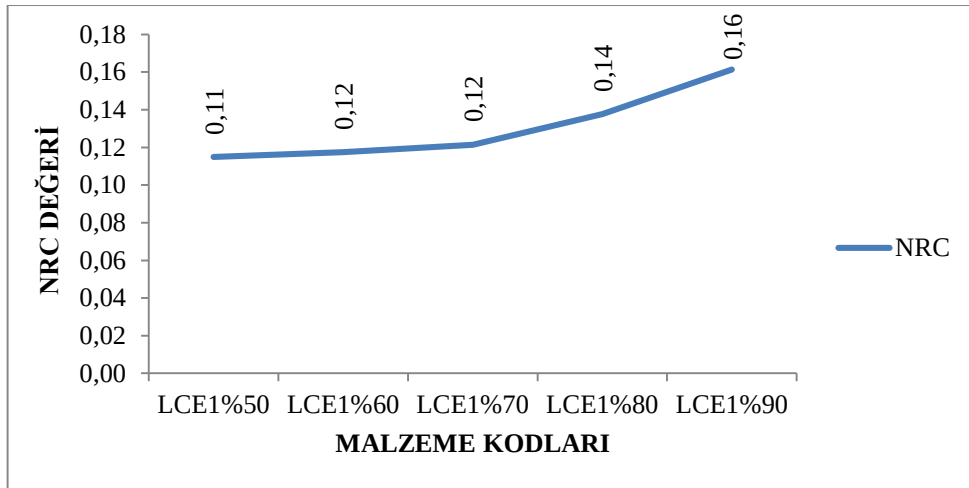


Şekil 4.12 : %80 lif oranlı 1cm (LCE1%80), 3cm (LCE3%80) ve 5cm (LCE5%80) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması.

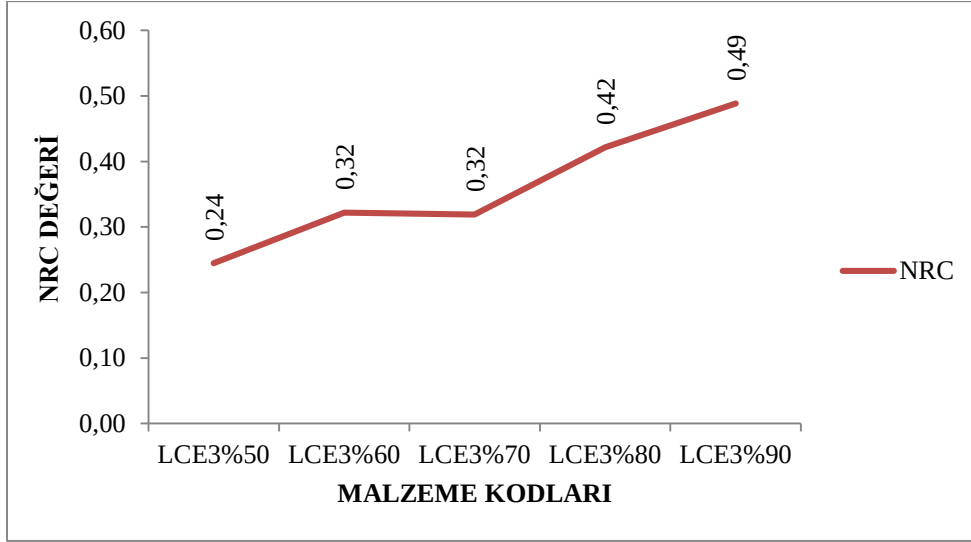


Şekil 4.13 : %90 lif oranlı 1cm (LCE1%90), 3cm (LCE3%90) ve 5cm (LCE5%90) kalınlıklı numunelerin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırılması.

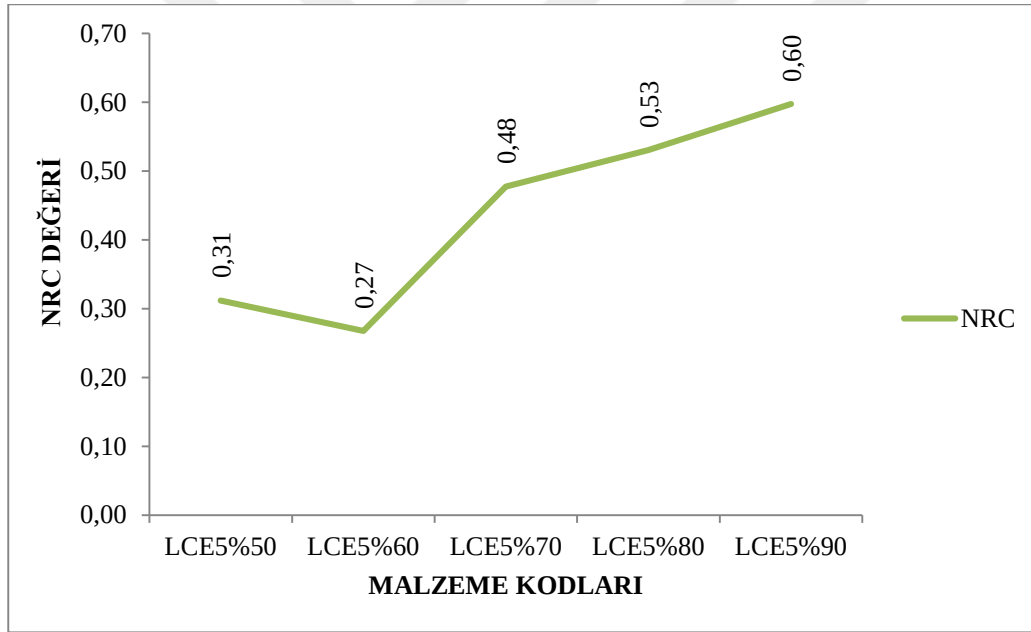
Şekil 4.14-Şekil 4.16’da aynı kalınlıklı farklı lif oranlı numunelerin gürültü azaltım katsayıları üzerinde lif oranının etkisi gösterilmiştir. Buna göre, grafikler incelendiğinde tıpkı kalınlıkta olduğu gibi lif oranında da artış oldukça gürültü azaltım katsayısı değerinin arttığı söylenebilir. Bir tek Şekil 4.16’da verilen 5cm kalınlıklı numunelerde %60 lif oranlı kompozit numunesinde bir düşme gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, numune içerisinde kullanılan lif çaplarının diğerlerine oranla daha ince olma olasılığı olabilir. Ancak bu düşme de göz ardı edilebilecek düzeydedir.



Şekil 4.14 : 1cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE1%50, LCE1%60, LCE1%70, LCE1%80 ve LCE1%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması.



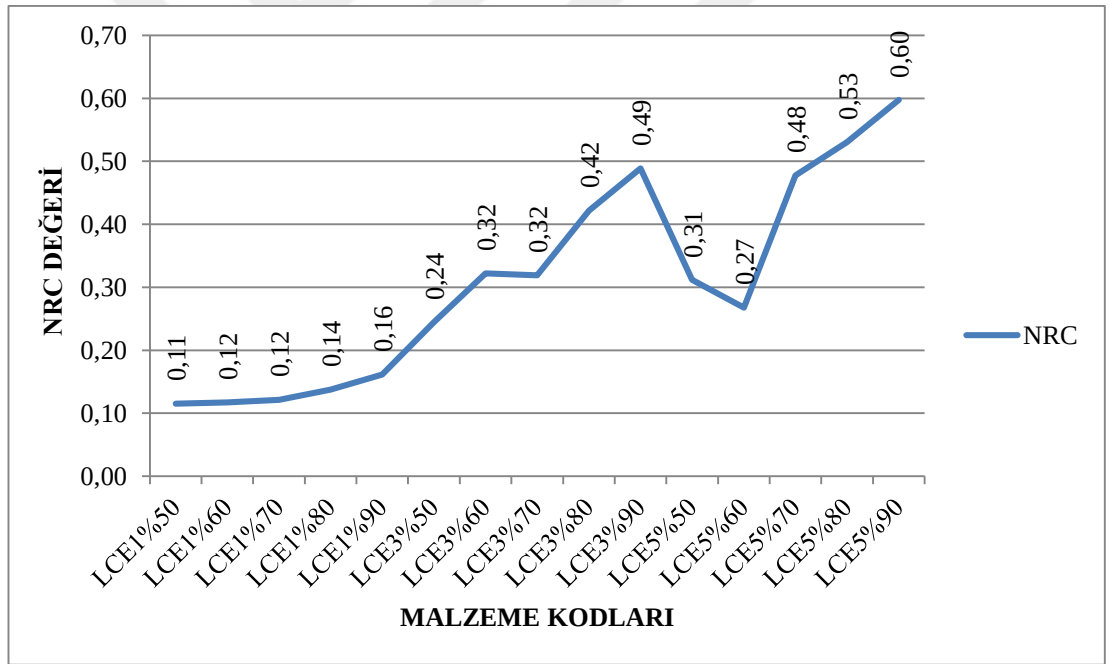
Şekil 4.15 : 3cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE3%50, LCE3%60, LCE3%70, LCE3%80 ve LCE3%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması.



Şekil 4.16 : 5cm kalınlıklı ve farklı lif oranlı LCE5%50, LCE5%60, LCE5%70, LCE5%80 ve LCE5%90 numunelerinin gürültü azaltım katsayılarının karşılaştırması.

Bir malzemenin NRC değeri, ancak akustik iyileştirme yapılan bir mekanın yakınında bulunan ve akustik projesi yapılmaya gerek görülmeyen hacimler için kullanılabilir. Örneğin, bir yapı içerisindeki konferans salonunun akustik iyileştirme projesi yapılırken salonun uzağında bulunan geçiş koridoru için NRC değeri kullanılabilir. Ya da bir restoranın akustik iyileştirmesi yapılırken restoran yapısı yakınında bulunan mutfakın akustik projesi yapılmaz. Bunun yerine mutfakın duvarında ve tavanında

kullanılan malzemelerin NRC değerleri dikkate alınır. Çalışmanın bu aşamasında, üretilen kompozitin kullanım yerine göre ihtiyaç duyulma olasılığı göz önünde bulundurularak NRC değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.17’de üretilen tüm kompozit numunelerinin NRC değerleri bir arada verilmiştir. Tüm NRC değerleri bir arada incelendiğinde en iyi gürültü azaltım katsayısı LCE5%90 kodlu 5cm kalınlıklı %90 lif oranlı numuneden elde edilmiştir. Genel bir değerlendirme olarak, gürültü azaltım katsayısının malzeme kalınlığı ve lif oranı arttıkça arttığı söylenebilir. Ancak, LCE5%50 ve LCE5%60 numunelerinin NRC değerlerindeki düşüşe bakarak lif oranının daha etkili olduğunu söyleyebiliriz. Çünkü bu iki numune değeri lif oranı daha yüksek olan LCE3%70, LCE3%80 ve LCE3%90 kompozitlerinden daha düşük çıkmıştır. Burada, ses yutma katsayısı sonuçlarında bahsedilen lif çapı durumunun da etkili olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.17 : Kompozit numunelerinin tüm kalınlık ve lif oranları için NRC değerleri

4.2 Eğilme-Basınç Testi Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen kompozit numunelerinin endüstriyel üretiminde yapıda bitirme malzemesi olarak kullanılması öngörülmüştür. Taşıyıcı özelliği olmayan su kabağı(LC)-epoksi kompozitlerinde eğilme-basınç kontrollü yapmak çalışma başında gerekli görülmemiştir. Ancak, malzemenin ileride plakalar halinde üretilip yapılarda

bitirme malzemesi olarak kullanılması halinde bazı problemler yaşanabileceği düşünülmüştür. Büyük plakalar halinde üretilmesi durumunda, malzemenin uygulanacağı alana götürülürken taşınması sırasındaki dayanımını incelemek için kompozit numunelerinin eğilme-basınç deneyleri yapılmıştır.

Bunun için öncelikli olarak standartta deneyler için verilen ölçülere göre silikon kalıp hazırlanmıştır. Silikon kalıp hazırlanmasının sebebi epoksinin silikona yapışmamasıdır. Böylelikle hazırlanan kompozitler kolaylıkla kalıp içerisinden çıkarılabilmektedir. Silikon kalıp için Terra Kimya M3215 kodlu silikon kullanılmıştır.

Eğilme-basınç deneylerinde malzeme boyutları standarttan tanımlandığı için test sonuçlarını etkileyecek parametre kompozitin lif oranı olmuştur. Bu nedenle %50, 60, 70, 80 ve 90 lif oranlı su kabağı lifi-epoksi kompozitinin eğilme testi için 40mm x 40mm x 160mm boyutlu numuneleri, basınç testi için 50mm x 50mm x 50mm boyutlu numuneleri hazırlanmıştır.

TS EN 196-1 (2002) standardında belirtildiği üzere 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi için üretilen prizmalar değişmez kütleye ulaşana kadar 70°C’de (kompozit içerisinde epoksi olduğu için daha yüksek sıcaklık kullanılmamıştır) etüvde kurutulmuştur. Sonrasında örnek prizmaların yoğunluk tayini için TS EN 12390-7 (2009) standardına uygun hesaplama (Denklem 1.3) ve TS EN 1097-6 (2002) standardına uygun Arşimed deneyi yapılmış, sonuçlar çok yakın çıktığı için hesaplama sonuçları kullanılmıştır. Numunelerin yoğunlukları belirlendikten sonra 3 noktalı eğilme dayanımlarının tayini için ilk olarak TS EN 196-1 standardında belirtilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bunun için 1.Bölüm’de verilmiş olan Denklem 1.4 kullanılmıştır. Daha sonra, laboratuvar ortamında üç noktalı bükme test makinesi kullanılarak numunelerin eğilme dayanımı ölçülmüştür (Şekil 4.18) .

Çizelge 4.1’de numunelere uygulanan 3 noktadan yüklemeli eğilme dayanımı sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.18 : 3 noktalı bükme test makinesi ile eğilme dayanımı ölçümü.

Çizelge 4.1 : 3 noktadan yüklemeli eğilme dayanımı testi sonuçları.

Numune lif oranı	W gr	b mm	h mm	L mm	D kg/m³	L_m mm	F_{eğ} N	F_{cf} MPa
%50	135,05	39,86	31,72	159,45	670	100	3395	12,70
%60	116,41	40,13	30,66	159,08	595	100	3100	12,33
%70	96,69	39,52	29,80	160,12	513	100	2285	9,77
%80	77,32	38,67	30,45	158,92	413	100	2085	8,72
%90	63,73	40,22	29,78	159,58	333	100	1775	7,46

W: Numune kütlesi, gr

b: Numune eni, mm

h: Numune yüksekliği, mm

L: Numune boyu, mm

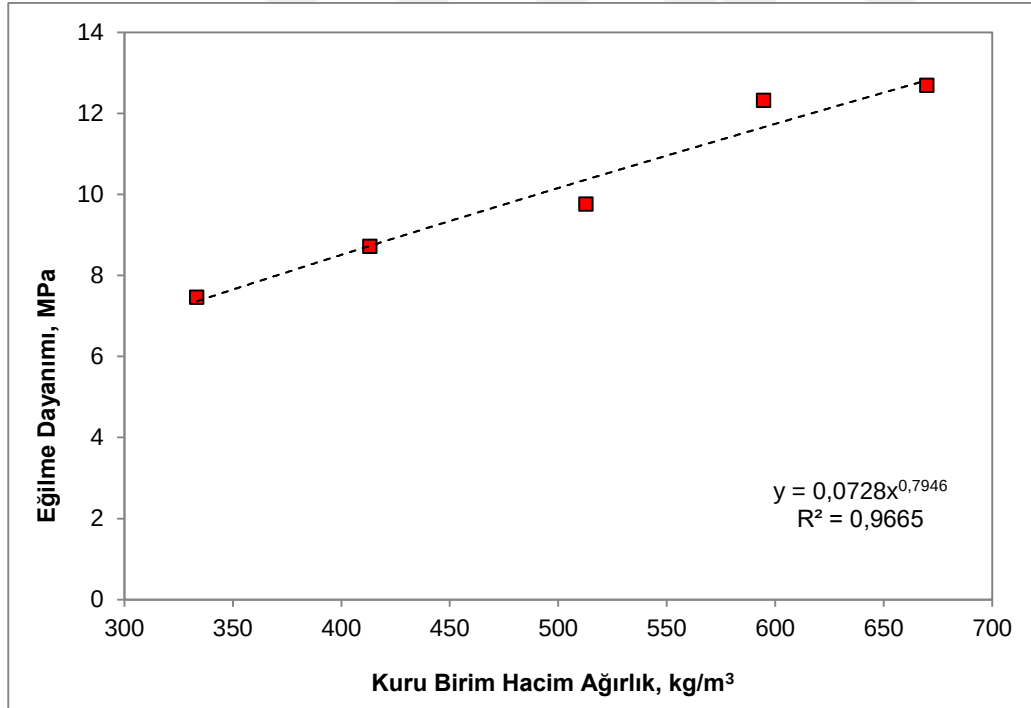
D: Numune yoğunluğu, kg/m^3

L_m : Mesnetler arası mesafe, mm

F_{eg} : Uygulanan kuvvet, N

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa

Çizelge 4.1’de görülen eğilme dayanımı değerleri dikkate alınarak, kullanılan numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerleri ile eğilme dayanımları arasında regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda r^2 ’nin 0.96 çıkması eğilme dayanımı ve kuru birim hacim ağırlığı (kg/m^3) arasındaki üstel ilişki oranının oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Şekil 4.19’da eğilme dayanımı – kuru birim hacim ağırlık ilişkisi verilmiştir. Malzeme yoğunluğu lif oranı arttıkça düşmüştür. Bu nedenle kompozit içerisinde epoksi oranı azaldığında, eğilme dayanımında da düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 4.19 : Eğilme dayanımı-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği.

TS EN 196-1 standardında verilen basınç testi numune boyutlarına göre, incelenen numunelerden prizmalar üretilmiştir. Bu prizma şeklindeki numuneler üzerinde basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 : Numunelerin laboratuvar ortamında basınç testine tabi tutulması.

Numunelerin basınç dayanımını hesaplamak için 1.Bölüm’de verilmiş olan Denklem 1.5’ten yararlanılmıştır. TS EN 196-1 standardı doğrultusunda yapılmış olan, numunelerin basınç deneyi sonuçları Çizelge 4.2’de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Basınç dayanımı testi sonuçları.

Numune lif oranı	W gr	b mm	D kg/m ³	A _c Mm ²	F _{b1} N	F _{b2} N	F _c MPa
%50	39,86	31,72	670	1264	46954	44838	36,30
%60	40,13	30,66	595	1230	34250	30110	26,15
%70	39,52	29,80	513	1178	22870	21530	18,85
%80	38,67	30,45	413	1178	21440	19960	17,58
%90	40,22	29,78	333	1198	7550	6770	5,98

W: Numune kütlesi, g

b: Numune eni, mm

D: Numune yoğunluğu, kg/m³

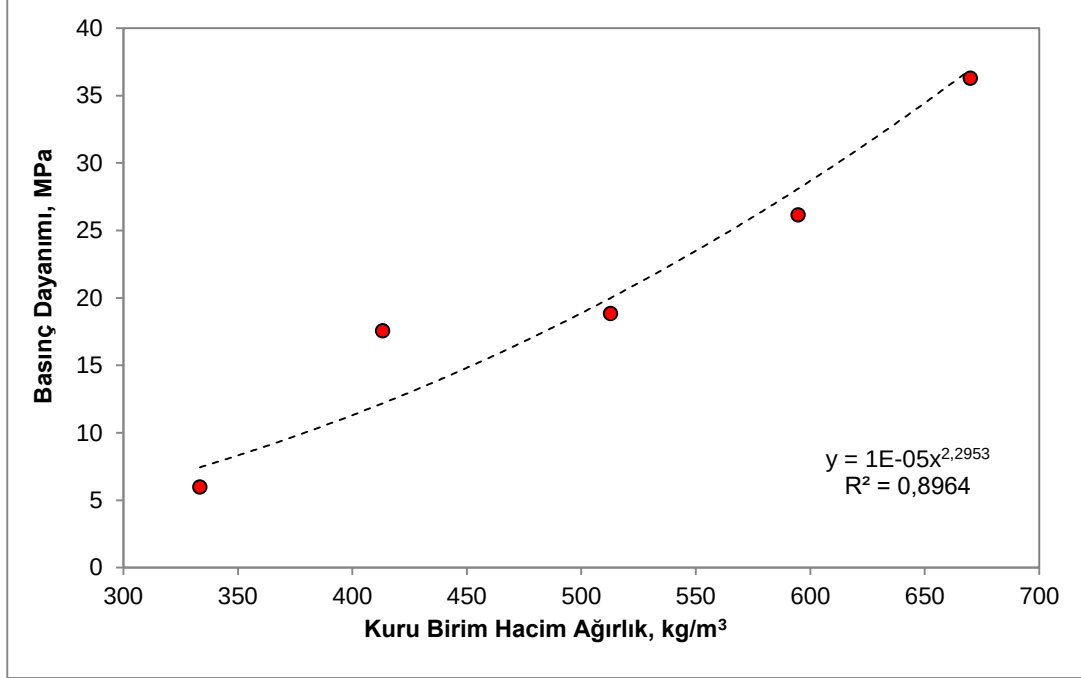
A_c: Alan, mm²

F_{b1}, F_{b2}: Kırılma kuvveti, N

f_c: Basınç dayanımı, MPa

Tıpkı eğilme dayanımı sonuçlarında olduğu gibi basınç testi sonuçlarında da üstel ilişki (r²) 1’e oldukça yakın çıkmıştır. Şekil 4.21, numunelerin basınç dayanımı-kuru

birim hacim ağırlık ilişkisini göstermektedir. Basınç dayanımı ile kuru birim hacim ağırlık arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki olduğu grafiğe bakarak söylenebilir.



Şekil 4.21 : Basınç dayanımı – kuru birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği.

Tüm bu sonuçlara bakıldığında, üretilen su kabağı (LC) lifi – epoksi kompozitlerinde malzemenin lif oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımının düştüğü söylenebilir. Farklı çalışmalara bakıldığında kompozitlere eklenen liflerin, malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileştirme sağladığı söylenebilir. Burada tam tersi bir durum olmasının sebebi olarak, epoksinin hali hazırda laboratuvarında özellikleri iyileştirilerek üretilmiş bir malzeme olması ve bu nedenle oranı düştükçe malzemenin basınç ve eğilme dayanımının da düşmesi sebep olarak gösterilebilir. Aynı zamanda, malzemenin üretim amacı ses yutuculuk olduğu için lif oranı oldukça yüksek tutulmuştur. Kompozitlerde eğilme-basınç dayanımı arttırmak için yapılan çalışmalarda düşük oranda lif donatı amaçlı kullanılırken, bu çalışmada düşük oranda bağlayıcı kullanılmıştır. Bu da eğilme-basınç dayanımını düşüren ana nedendir.

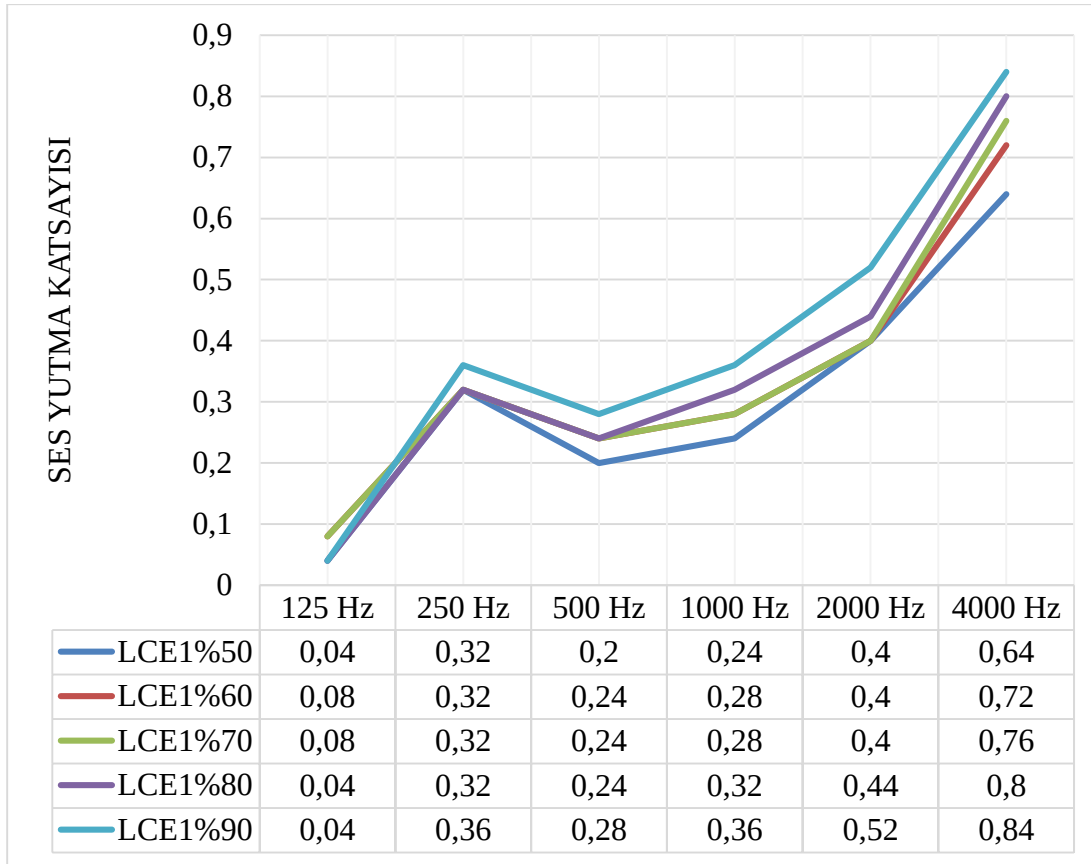
4.3 Diğer Parametre Değerleri

Çalışmanın ses yutma katsayısı belirlenmesi ile ilgili testler kısmında elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların yorumlamaları Bölüm 4.1 içerisinde verilmiştir. Bu

bölümde, ses yutma katsayısı (α), gürültü azaltım katsayısı (NRC) ses yutuculuğu ortalaması (SAA), ses yutuculuğunun derecelendirilmesi (α_w) ve çinlama odası formülü kullanılarak dönüştürülmüş ses yutma katsayısı (α_c) değerleri için elde edilen tüm sonuçlar özet tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Çizelge 4.3'te 1cm kalınlıklı numunelerin ses yutuculukla ilgili ölçülen ve hesaplanan değerleri verilmiştir. Şekil 4.22'de çinlama odası formülü ile hesaplanarak bulunan 1cm kalınlıklı numunelerin ses yutma katsayıları grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.3 : 1 cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değerleri toplu sonuçları.

Malzeme kodu	Ses Yutuculuk Parametresi	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
LCE1%50	α (empedans tüpü sonucu)	0,01	0,13	0,07	0,08	0,18	0,38
	α_c (çinlama odası formülü sonucu)	0,04	0,32	0,20	0,24	0,40	0,64
	α_w	0,10					
	NRC	0,11					
	SAA	0,11					
LCE1%60	α (empedans tüpü sonucu)	0,02	0,13	0,08	0,09	0,17	0,47
	α_c (çinlama odası formülü sonucu)	0,08	0,32	0,24	0,28	0,40	0,72
	α_w	0,10					
	NRC	0,12					
	SAA	0,11					
LCE1%70	α (empedans tüpü sonucu)	0,02	0,13	0,08	0,10	0,17	0,55
	α_c (çinlama odası formülü sonucu)	0,08	0,32	0,24	0,28	0,40	0,76
	α_w	0,10					
	NRC	0,12					
	SAA	0,10					
LCE1%80	α (empedans tüpü sonucu)	0,01	0,13	0,09	0,12	0,21	0,63
	α_c (çinlama odası formülü sonucu)	0,04	0,32	0,24	0,32	0,44	0,80
	α_w	0,15					
	NRC	0,14					
	SAA	0,13					
LCE1%90	α (empedans tüpü sonucu)	0,01	0,14	0,10	0,15	0,26	0,75
	α_c (çinlama odası formülü sonucu)	0,04	0,36	0,28	0,36	0,52	0,84
	α_w	0,15					
	NRC	0,16					
	SAA	0,16					



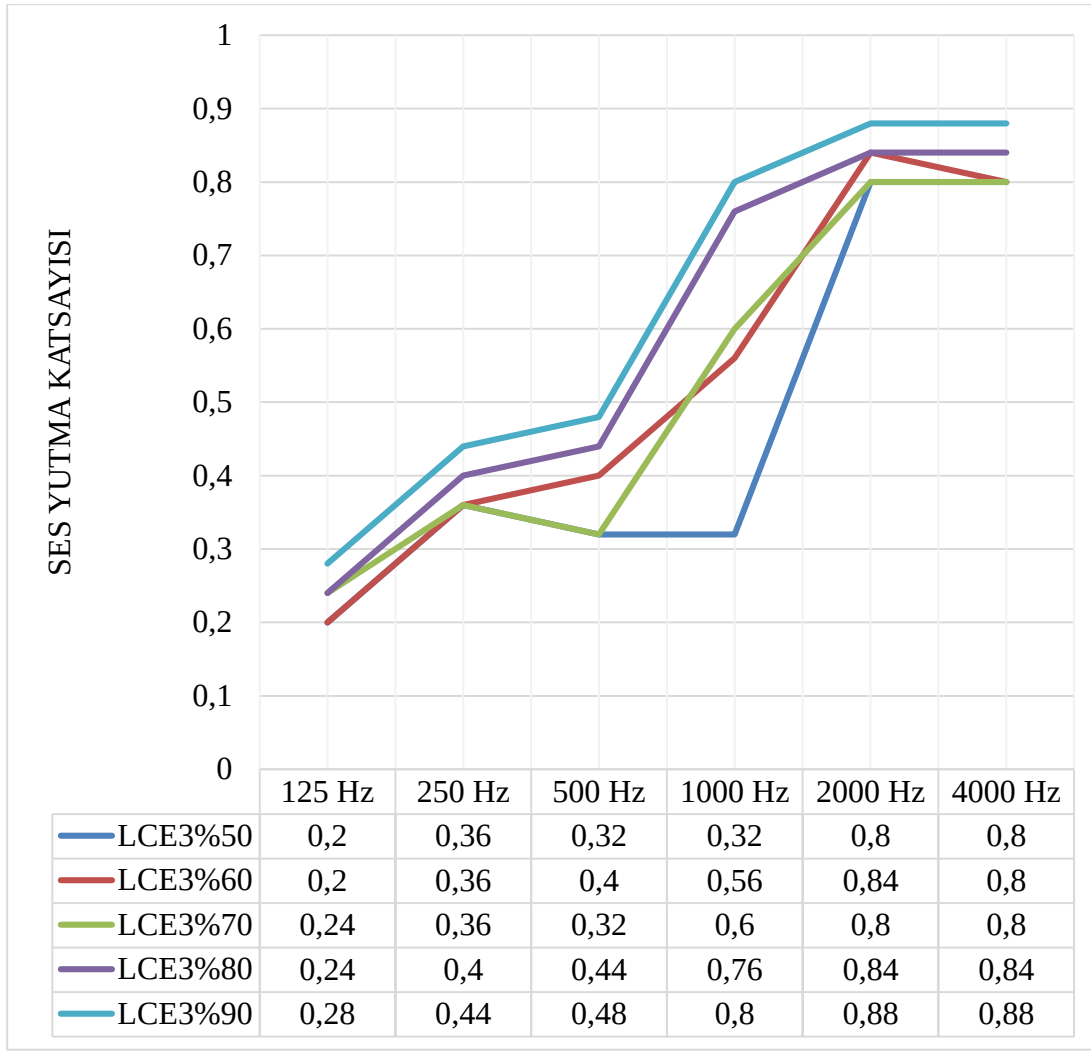
Şekil 4.22 : 1cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları.

Şekil 4.22’de verilen grafik incelendiğinde, 1 cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü kullanılarak elde edilen ses yutma katsayılarında tıpkı ölçüm sonuçlarında olduğu gibi orta frekanslarda alçak frekanslara göre ortalama 0.1 civarında düşme gözlemlendiğini söylemek mümkündür. Bunun sebebi, kalınlığı oldukça az olan bu numunelerde, lif-bağlayıcı dağılımının homojen olmayışı olabilir. Kalınlık az olduğu için bağlayıcı her noktaya eşit oranda yerleştirilememiş olabilir. Ancak, farklı lif oranları birbiri ile incelendiğinde kendi içinde bir oran olduğu söylenebilir bu da orta frekanslardaki düşme etkisinin kalınlıktan kaynaklandığını destekleyen bir olgudur. Bunun dışında, numuneler lif oranı açısından incelendiğinde, lif oranındaki artışla birlikte ses yutuculuk performansının arttığı tüm frekanslar için net bir şekilde söylenebilir.

3cm kalınlıklı numunelerin ses yutma performansına ait parametrelerin değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir. Numunelerin çınlama odası formülü kullanılarak hesaplanan ses yutma katsayısı değerleri ise Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : 3cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değeri toplu sonuçları.

Malzeme kodu	Ses Yutuculuk Parametresi	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
LCE3%50	α (empedans tüpü sonucu)	0,07	0,14	0,12	0,13	0,59	0,65
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,2	0,36	0,32	0,32	0,80	0,80
	α_w	0,15					
	NRC	0,24					
	SAA	0,23					
LCE3%60	α (empedans tüpü sonucu)	0,07	0,15	0,17	0,28	0,70	0,63
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,2	0,36	0,40	0,56	0,84	0,80
	α_w	0,25					
	NRC	0,32					
	SAA	0,28					
LCE3%70	α (empedans tüpü sonucu)	0,08	0,15	0,13	0,35	0,64	0,59
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,24	0,36	0,32	0,60	0,80	0,80
	α_w	0,20					
	NRC	0,32					
	SAA	0,31					
LCE3%80	α (empedans tüpü sonucu)	0,08	0,17	0,19	0,54	0,80	0,74
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,24	0,40	0,44	0,76	0,84	0,84
	α_w	0,25					
	NRC	0,42					
	SAA	0,42					
LCE3%90	α (empedans tüpü sonucu)	0,1	0,19	0,24	0,63	0,90	0,84
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,28	0,44	0,48	0,80	0,88	0,88
	α_w	0,30					
	NRC	0,49					
	SAA	0,48					



Şekil 4.23 : 3cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları.

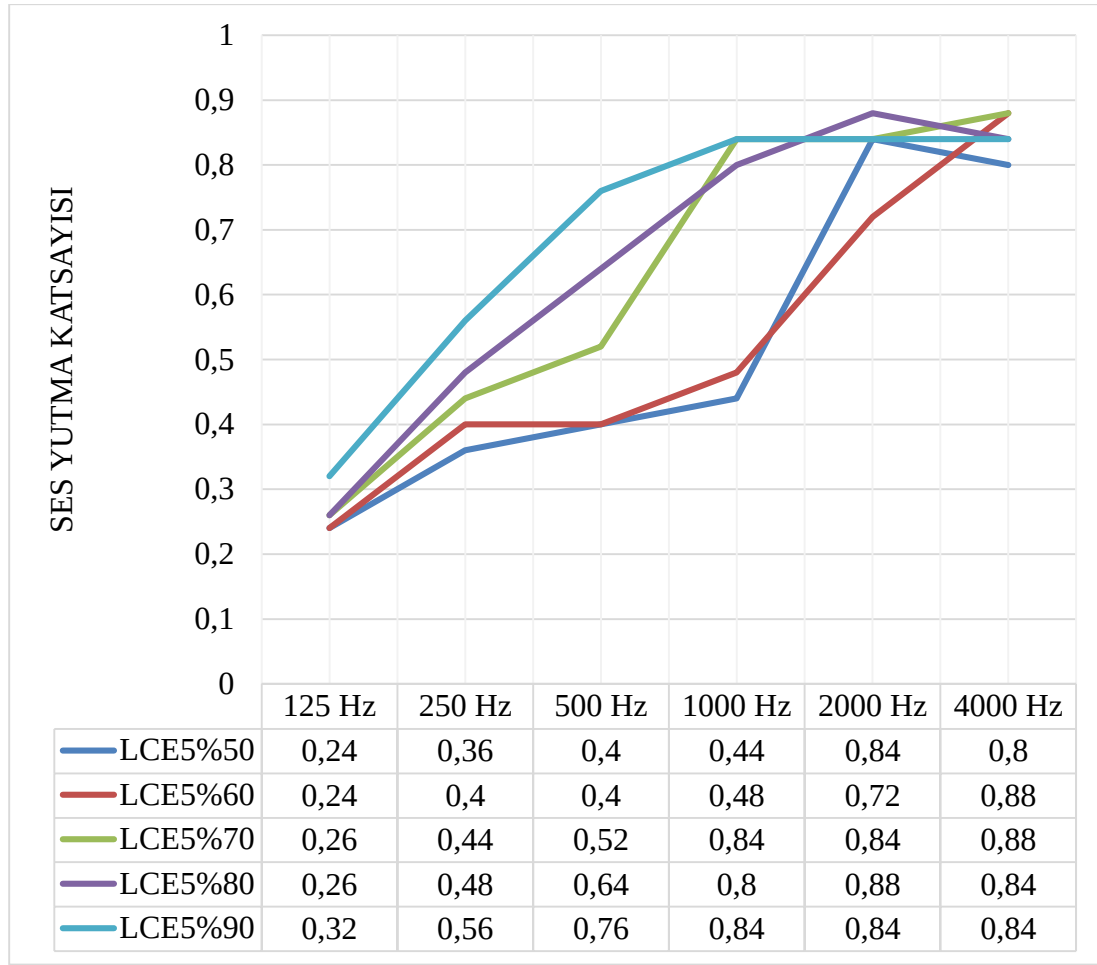
Tıpkı 1cm'lik numunelerde olduğu gibi 3cm'lik numunelerde de lif oranı artışı hesaplanan ses yutma katsayısı değerlerinde artışı sağlamıştır. Ancak, %70 lif oranlı numunede 500 Hz'de ani bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi büyük olasılıkla ölçülemeyen lif çapından kaynaklanmaktadır. Çınlama odası formülü sonuçlarına göre, 3cm kalınlıklı numuneler tüm lif oranları için yüksek frekanslarda çok yüksek ses yutuculuk göstermiştir.

5cm kalınlıklı numuneler için ölçülen ve hesaplanan ses yutma performansına ait değerler Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Çınlama odası formülü ile hesaplanan ses yutma katsayıları Şekil 4.24'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, hesaplanan ses yutma katsayılarının frekans artışı ile birlikte arttığını söylemek mümkündür. %90 lif oranlı numunede, yüksek frekanslarda malzemenin ses yutma katsayısı aynı çıkmıştır ki bunun sebebi formüldeki logaritmiş artıştır. Empedans tüpü yönteminde ses dalgası

yüzeye dik gelirken çınlama odası yönteminde malzeme yüzeyi boyunca tüm açılardan gelmektedir. Bu da formülde olduğu gibi doğrusal değil logaritmik değişim yaratmaktadır. Grafiğe dönecek olursak, kalınlık artışının 1cm ve 3cm kalınlıklı numunelere oranla özellikle alçak frekanslarda ciddi düzeyde ses yutuculuğunu arttırdığını söyleyebiliriz. Lif oranının da artmasıyla, özellikle 5cm kalınlıklı numuneler, günümüzdeki ses yutucu malzemelerin yerine rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.5 : 5cm kalınlıklı kompozit numunelerinin ses yutuculuk değerleri toplu sonuçları.

Malzeme kodu	Ses Yutuculuk Parametresi	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
LCE5%50	α (empedans tüpü sonucu)	0,08	0,14	0,18	0,20	0,73	0,63
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,24	0,36	0,40	0,44	0,84	0,80
	α_w	0,20					
	NRC	0,31					
	SAA	0,28					
LCE5%60	α (empedans tüpü sonucu)	0,08	0,18	0,16	0,22	0,51	0,82
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,24	0,40	0,40	0,48	0,72	0,88
	α_w	0,20					
	NRC	0,27					
	SAA	0,28					
LCE5%70	α (empedans tüpü sonucu)	0,09	0,19	0,26	0,67	0,80	0,88
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,26	0,44	0,52	0,84	0,84	0,88
	α_w	0,35					
	NRC	0,48					
	SAA	0,47					
LCE5%80	α (empedans tüpü sonucu)	0,09	0,24	0,40	0,63	0,85	0,95
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,26	0,48	0,64	0,80	0,88	0,84
	α_w	0,45					
	NRC	0,53					
	SAA	0,51					
LCE5%90	α (empedans tüpü sonucu)	0,13	0,31	0,57	0,77	0,74	0,80
	$\alpha_{\text{ç}}$ (çınlama odası formülü sonucu)	0,32	0,56	0,76	0,84	0,84	0,84
	α_w	0,55					
	NRC	0,60					
	SAA	0,59					



Şekil 4.24 : 5cm kalınlıklı numunelerin çınlama odası formülü ile hesaplanmış ses yutma katsayıları

5. TAHMİN MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI, MODELLERİN KONTROLÜ VE ÖRNEK ÇALIŞMA İLE ÇİNLAMA SÜRESİ HESABI

Çalışmanın bu bölümünde, malzemelerin ses yutma katsayılarının belirlenmesinde empedans tüpü ve çınlama odası yöntemlerine alternatif olarak, deneysel süreci en aza indirecek böylece zaman ve ekonomik olarak avantaj sağlayacak farklı bir yöntemin denenmesi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar anlatılmıştır. Alternatif yöntem olarak yapay zeka ile ses yutma katsayısı tahmin modelleri kurulması ve çalışırılığının kontrol edilmesi çalışmanın 2. Aşamasının temel amacıdır. 3 farklı tip tahmin modeli kurulmuştur. Daha sonra modellerin uyum analizleri yapılmış ve ölçüm yöntemi yerine kullanılabilirlikleri ortaya koyulmuştur. Bunun üzerine, bir de rastgele 2 farklı özellikli numune belirlenmiş ve bu numuneler üretilmiştir. Çalışmanın kontrol aşamasında üretilen bu 2 numunenin ses yutma katsayıları hem ölçüm yöntemiyle hem de kurulmuş olan modellerle belirlenmiş ve modellerin kullanılabilirlikleri gözler önüne serilmiştir. Son aşamada ise, kapalı bir mekanın akustik açıdan uygun çınlama süresinin hesaplanmasında çalışma kapsamında üretilmiş olan su kabağı lifi-epoksi kompoziti kullanılmıştır. Kullanılacak kompozitin fiziksel özellikleri yapay zeka modeline tahmin ettirilmiştir.

5.1 Ses Yutma Katsayısı Tahmin Modellerinin Kurulması

Çoklu regresyon analizi, bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve uyarlamalı ağ tabanlı çıkarım modeli (ANFIS) kullanılan bu çalışmada, her programın çalışma yöntemi doğrultusunda tahmin modelleri oluşturulmuş ve numunelerin ses yutma katsayıları tahmin ettirilmiş daha sonra da model ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.1.1 Çoklu regresyon analizi

Çalışmanın çoklu regresyon analizinde 1/3 oktav bant frekansları, numune kalınlıkları ve lif oranları girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. SPSS programı ile yapılan çoklu regresyon modelinde sırası ile 3 model oluşturulmuştur. Birinci modelde ‘frekans’ girdi olarak kullanılmıştır. Burada elde edilen düzeltilmiş (adjusted) r^2 değeri

0.512 olarak hesaplanmıştır. İkinci modelde, birinci modele ek olarak ‘kalınlık’ girdi parametresine eklenmiş ve düzeltilmiş r^2 0.695 olarak elde edilmiştir. Model 3 için yukarıdaki girdi parametrelerine ilaveten ‘lif oranı’ dikkate alınmış ve düzeltilmiş r^2 0.762 olarak tespit edilmiştir. Çoklu regresyon modellerinde sadece r^2 ye bakılması durumunda parametre sayısının artması ile sürekli bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Ancak düzeltilmiş r^2 değerleri, parametrenin uyumsuz olması durumunda düşer veya sabit bir değere ulaşır. Oluşturulan 3 aşamalı regresyon modelinde düzeltilmiş r^2 ’nin sürekli olarak artması girdi parametrelerinin uygunluğunu göstermektedir. Çoklu regresyon denklemi Denklem 5.1’de verilmiştir.

$$Y = 0.00015 * f + 0.074 * h + 0.05 * l - 3,5 \quad (5.1)$$

Denklemde;

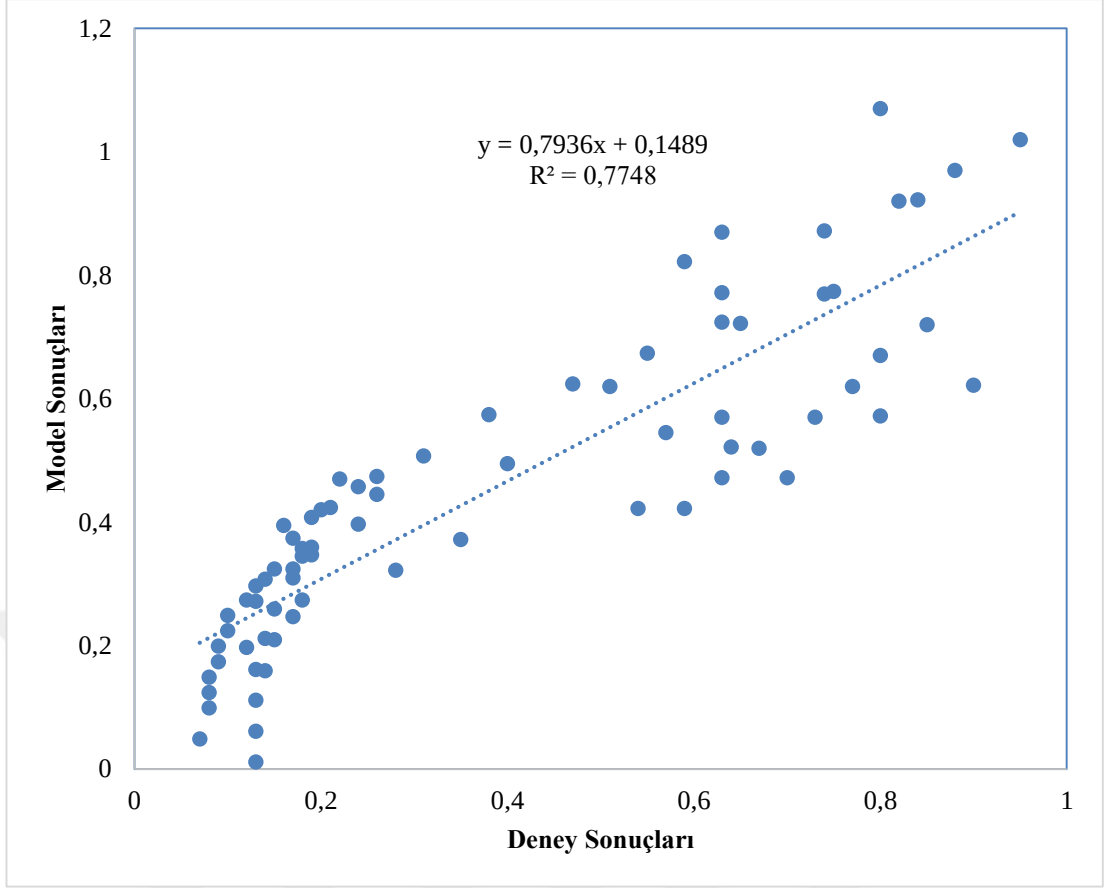
y: ses yutma katsayısı,

f: frekans,

h: numune kalınlığı

l: lif oranı’dır.

Su kabağı (LC) lifi-epoksi kompoziti numunelerinin, empedans tüpü ile ölçülen ve çoklu regresyon modelinden elde edilen ses yutma katsayılarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.1’de verilmiştir. Görüldüğü gibi, ses yutma katsayısı ölçüm ve model sonuçları arasındaki ilişkide; mutlak hata : % 54, regresyon katsayısı r^2 : 0.7748 olarak tespit edilmiştir. Regresyon katsayısı %70’in üzerinde olduğu için çoklu regresyon analizi, bu ve benzer çalışmalarda tercih edilebilir.

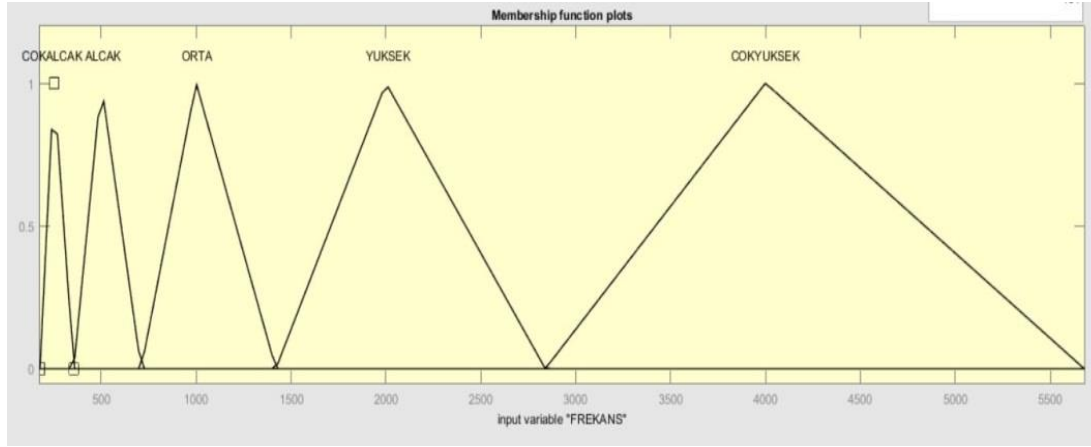


Şekil 5.1 : Çoklu Regrasyon Model ve Ölçüm sonuçları saçılım diyagramı.

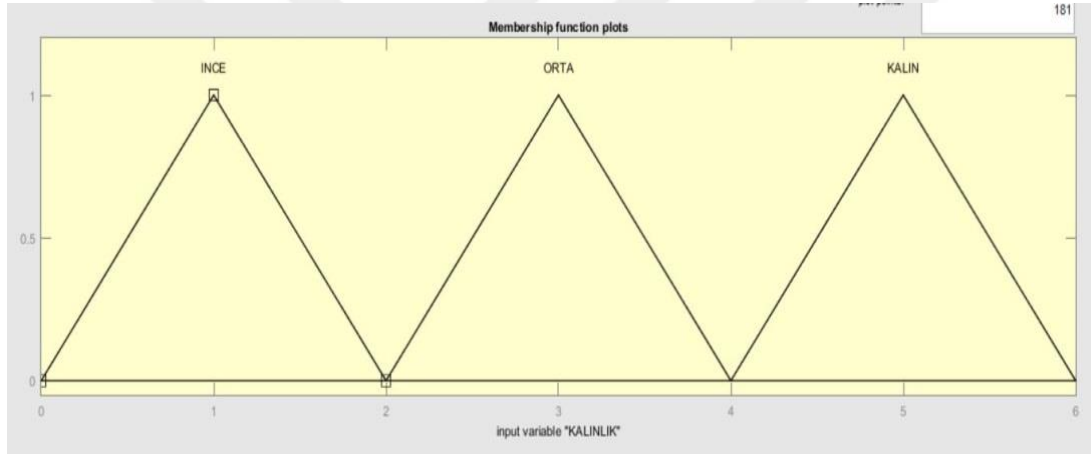
5.1.2 Bulanık mantık (Fuzzy Logic) modeli

Çalışma kapsamında bulanık mantık modeli için belirlenen uzay 'sesin yutulması' olmuştur. Buna göre, girdi olarak 1/3 oktav bant frekansları (125-4000Hz), malzemenin kalınlığı ve lif oranı belirlenmiştir. Belirlenen üyelik fonksiyonları Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2 (a) frekans aralıklarını, Şekil 5.2 (b) kalınlık değerlerini ve Şekil 5.2 (c) lif oranlarını göstermektedir. Daha sonra ölçümler sonucu elde edilen ses yutma sonuçları da programa çıktı parametresi olarak girilmiştir. MATLAB programında oluşturulan modelde, ilk olarak 'Frekans' kümesi oluşturulmuş ve belirlenen 6 adet frekans aralığı sisteme tanımlanmıştır. İkinci küme olarak 'Kalınlık' kümesi tanımlanmış ve küme içerisinde 1cm, 3cm ve 5cm için alt kümeler oluşturulmuştur. Son olarak da, 'Oran' kümesi altında %50, %60, %70, %80 ve %90 lif oranları için 5 adet alt küme tanımlanmıştır. Çıktı bulanık alt kümesi 'ses yutma katsayısı'dır ve bunun tanımlanması için 90 adet kural tabanı oluşturulmuştur. Değişkenler, sayısal değil sözel olarak ifade edilmiştir. İlişkiler 've/veya' kuralı

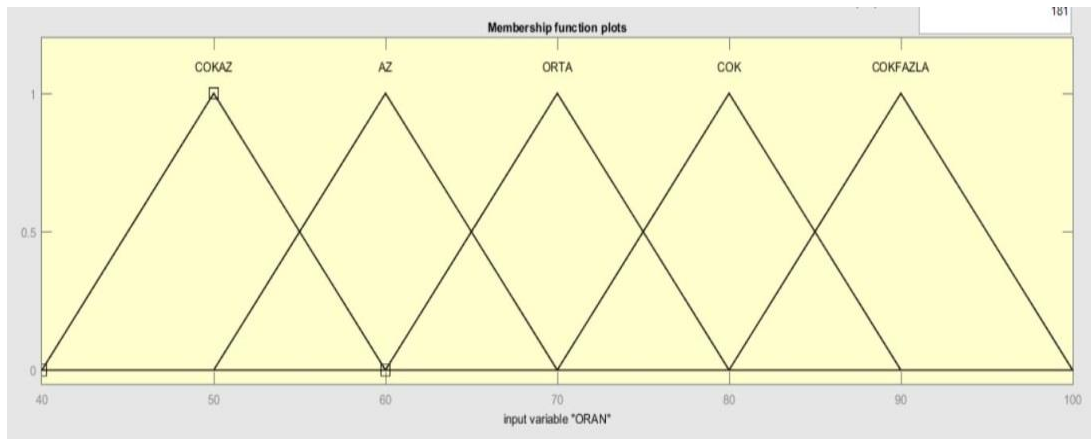
açısından tanımlanmış ve çıktı aynı zamanda bulanıklaştırma teknikleri kullanılarak sayısal hale getirilmiştir.



(a)



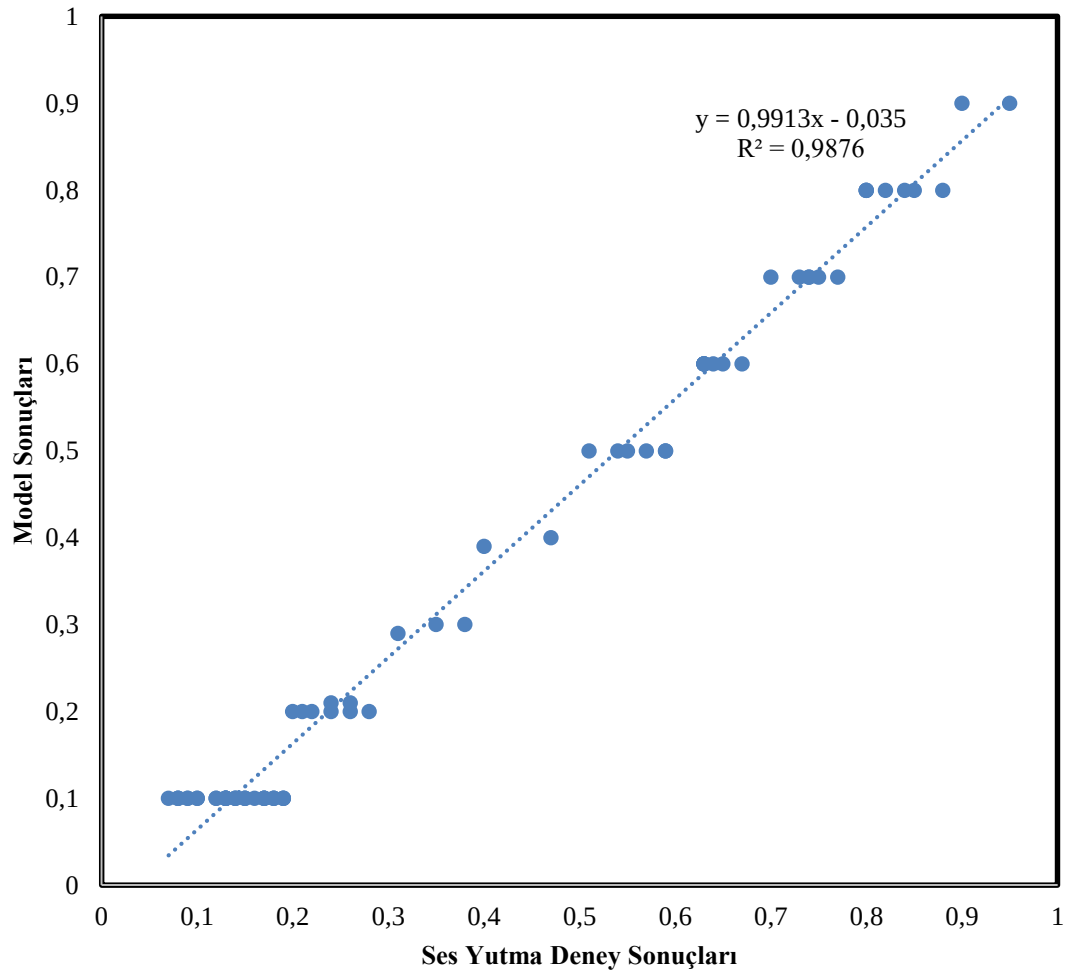
(b)



(c)

Şekil 5.2 : Üyelik fonksiyonları; (a) Frekans, (b) Kalınlık, (c) Lif Oranı.

6 adet frekans aralığı, 3 adet numune kalınlığı ve 5 adet lif oranı alt kümeleri dikkate alınarak modellenen bulanık mantık modelinin sonuçları ile deneyler sonucu elde edilen ses yutma katsayısı değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.3'te verilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan ses yutma katsayısı değerleri arasında mutlak hata: % 17 ve regresyon katsayısı $r^2 : 0.9876$ olarak elde edilmiştir. Mutlak hata ve regresyon katsayıları dikkate alınarak çoklu regresyon analizi modeli ve bulanık mantık modeli istatistiksel olarak karşılaştırıldığında, bulanık mantık modelinin sonuçlarının ölçülmüş ses yutma katsayısı değerlerine çok daha yakın olduğu görülmüştür.

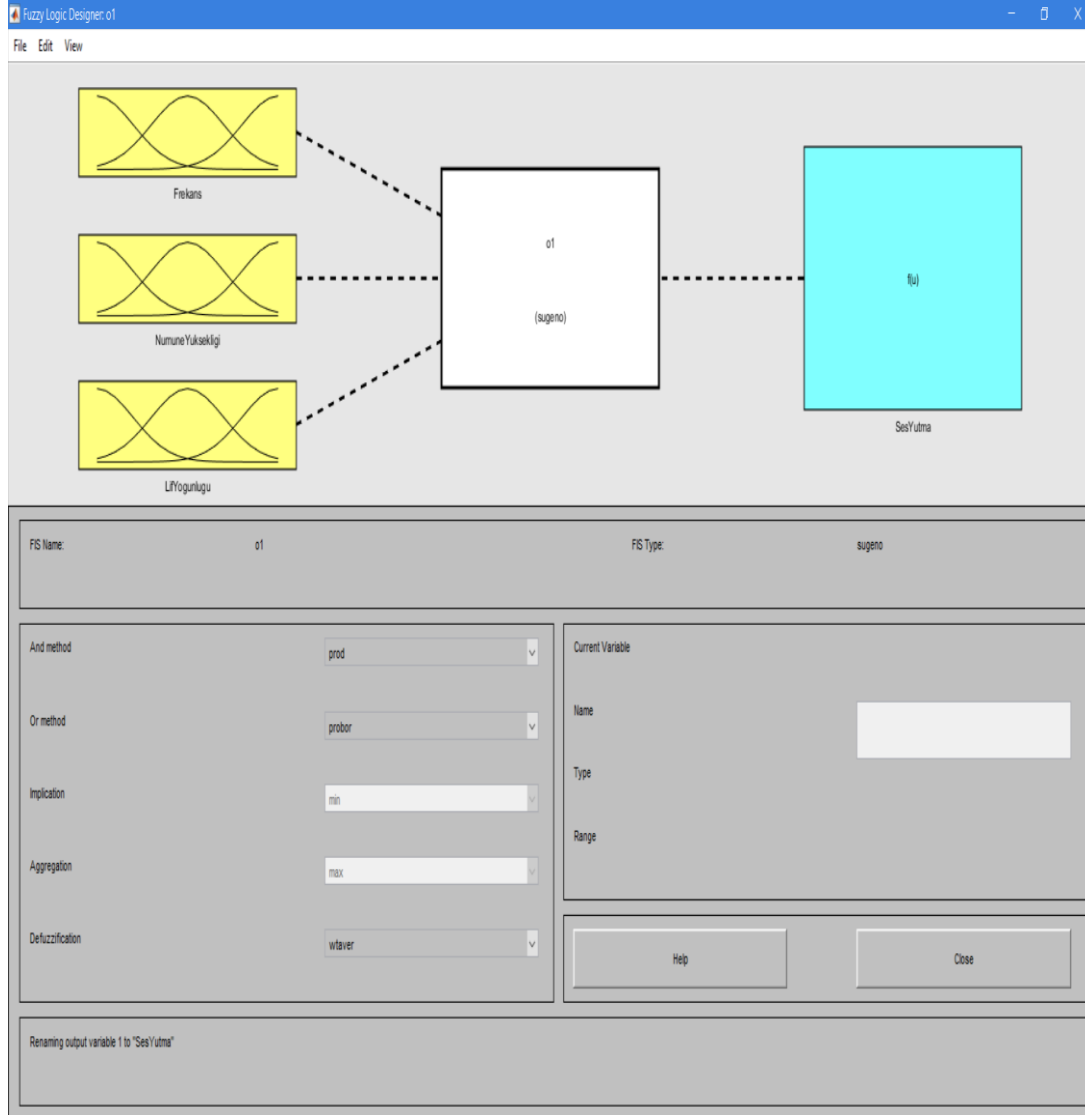


Şekil 5.3 : Ses yutma katsayısı ölçüm sonuçları ile Bulanık Mantık model sonuçlarının saçılım diyagramı.

5.1.3 Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) modeli

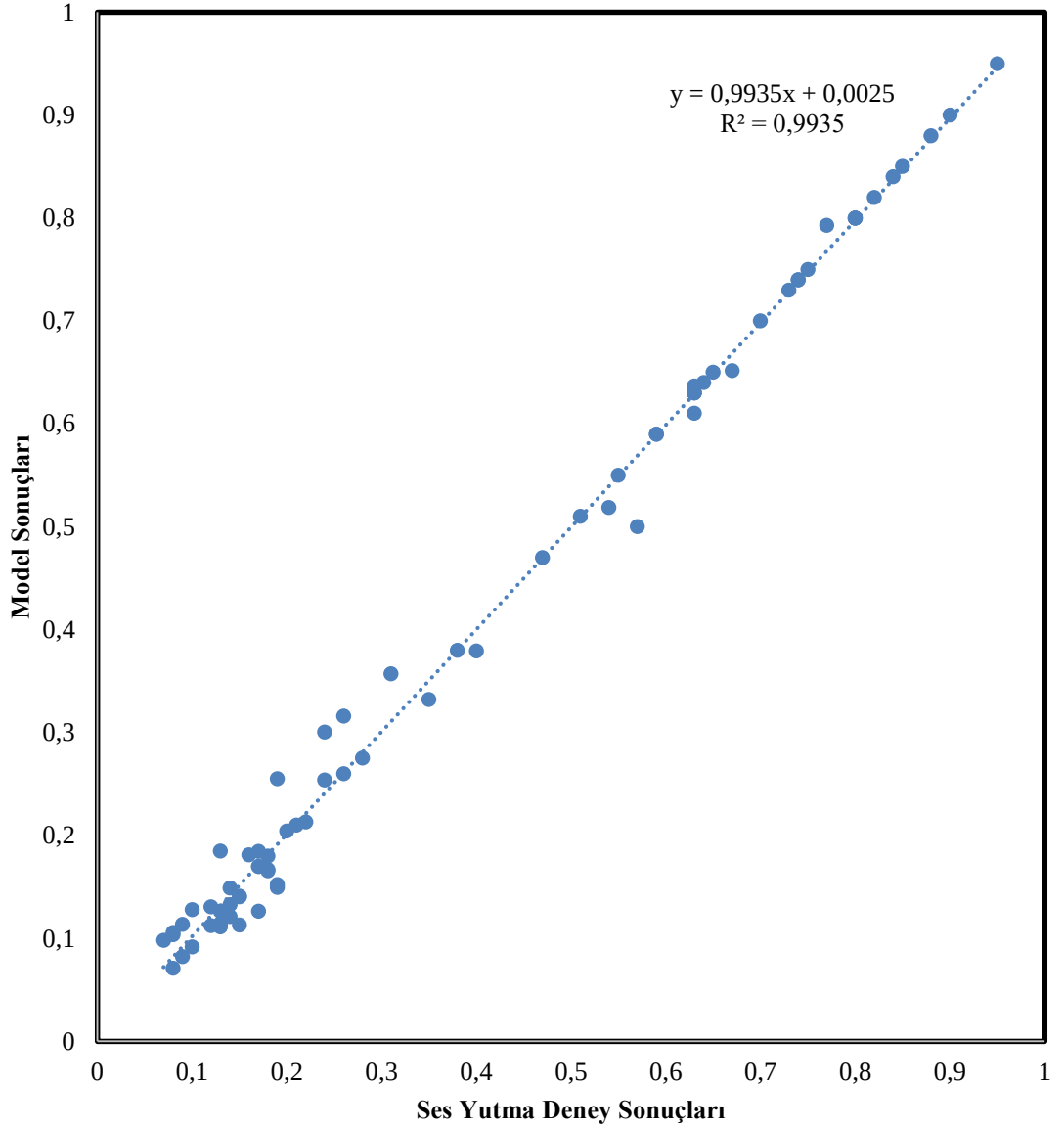
Çalışmanın uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) modeli uygulaması aşamasında, öncelikle girdi parametreleri olan frekans, kalınlık ve oran sisteme

tanıtılmıştır. Tanıtılan bu parametreler için küme sayıları belirlenmiştir. Bunlar; frekans için 6 küme, kalınlık için 3 küme, lif oranı için 5 kümedir. Bu verilere bağlı olarak, ses yutma katsayıları MATLAB program tabanını kullanan ANFIS modeli ile belirlenmiştir. Şekil 5.4'te ANFIS uygulaması ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.4 : ANFIS uygulaması ekran görüntüsü.

Bulanık mantık modelinden farklı olarak, ANFIS modelinde veriler girildikten sonra kural tabanı yapay sinir ağları yardımı ile otomatik olarak belirlenmiştir ve Fuzzy arayüzü kullanılarak ses yutma performansının modellenmesi yapılmıştır. Elde edilen model sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında mutlak hata: % 8 ve regresyon katsayısı r^2 : 0.9935 olarak elde edilmiştir (Şekil 5.5). ANFIS model sonuçlarının ölçüm sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5 : Ses yutma katsayısı ölçüm sonuçları ile Anfis model sonuçlarının saçılım diyagramı.

5.2 Tahmin Modellerinin Kontrolü

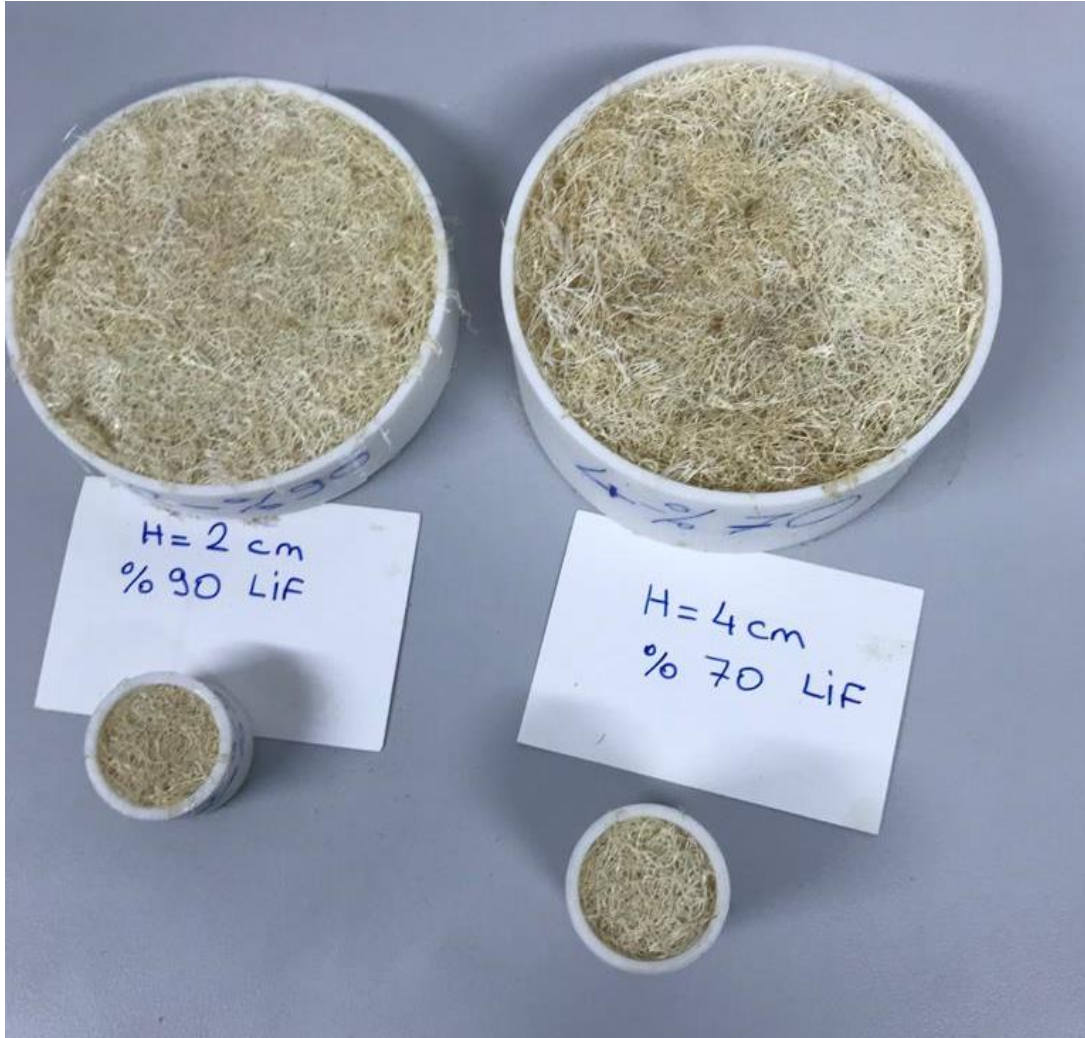
Bu bölümde farklı yöntemler ile oluşturulmuş ses yutma katsayısı tahmin modellerinin farklı kalınlık ve lif oranındaki numuneler üzerinde çalışırılığının kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda, ilk olarak üretilecek test numunelerinin özellikleri belirlenmiştir. Daha önce üretilmiş olan numunelerin fiziksel özelliklerine bakılmış ve ara değerlerde rastgele 2 farklı numune üretilmesine karar verilmiştir. Buna göre, seçilen ara değerdeki 2 numunenin fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Test numunelerinin kodlandırılması ve fiziksel özellikleri.

Numune kodu	Numune kalınlığı	Lif oranı
LCE2%90	2cm	%90
LCE4%70	4cm	%70

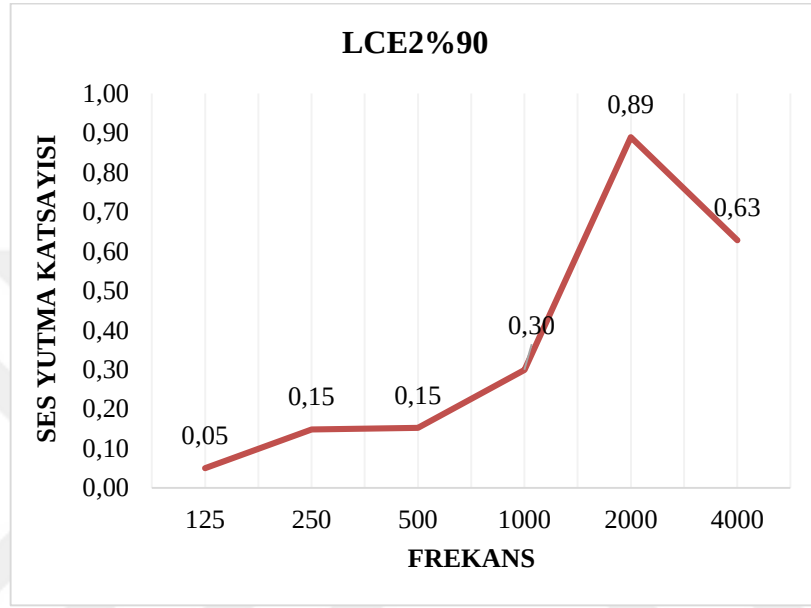
Test numuneleri de tıpkı deney numunelerinde olduğu gibi el ile yayma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. İlk olarak test numuneleri için CNC kalıplar hazırlanmış, daha sonra gerekli su kabağı lifi ve epoksi oranları belirlendikten sonra kalıplama işlemine geçilmiştir. Şekil 5.6’da kalıplanmış test numuneleri gösterilmiştir.



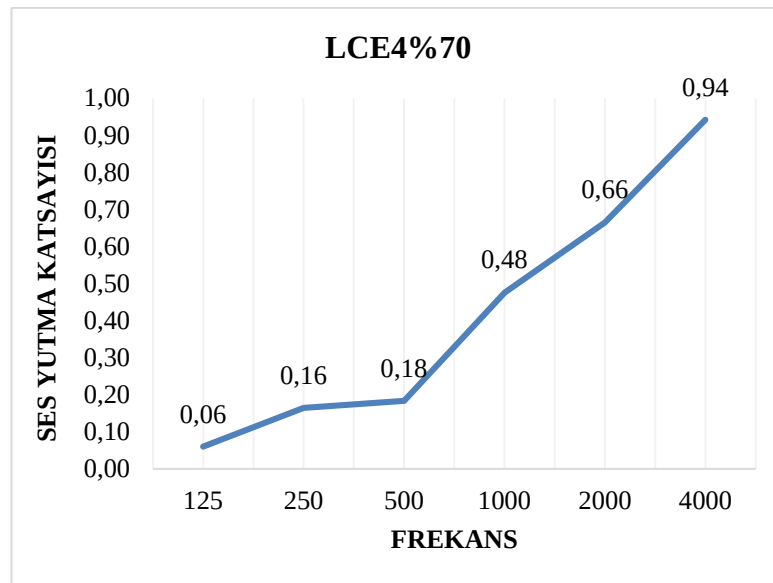
Şekil 5.6 : 2cm ve 4cm kalınlığında üretilen LCE2%90 ve LCE4%70 numuneleri.

Test numuneleri üretildikten sonra, tahmin modeli sonuçları ile karşılaştırma yapılabilmesi için empedans tüpü ile ses yutma katsayıları ölçülmüştür. Elde edilen

ses yutma katsayıları Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. 4cm kalınlıklı numunede frekans artışı ile birlikte ses yutma katsayılarında da artış gözlenirken, 2cm kalınlıklı numunede 4000 Hz’de 2000 Hz’e göre düşüş gözlemlenmektedir. Bunun sebebi kalınlığın çok yüksek olmaması sebebiyle tıpkı 1cm’lik numunelerde olduğu gibi homojen dağılım sağlanamamış olabileme ihtimalidir.



Şekil 5.7 : 2cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE2%90 numunesinin ses yutma katsayısı değerleri.



Şekil 5.8 : 4cm kalınlıklı %70 lif oranlı LCE4%70 numunesinin ses yutma katsayısı değerleri.

Ölçümler tamamlandıktan sonra, kurulan modellerde (Çoklu regresyon, Fuzzy Logic ve ANFIS) de test numunelerinin özellikleri girilerek ses yutma katsayıları belirlenmiştir. Ölçüm sonucunda ve kurulan tahmin modellerinden elde edilen değerler LCE2%90 için Çizelge 5.2’de ve LCE4%70 için Çizelge 5.3’te sunulmuştur.

Çizelge 5.2 : LCE2%90 test numunesinin ölçüm ve tahmin modeli sonucu ses yutma katsayıları.

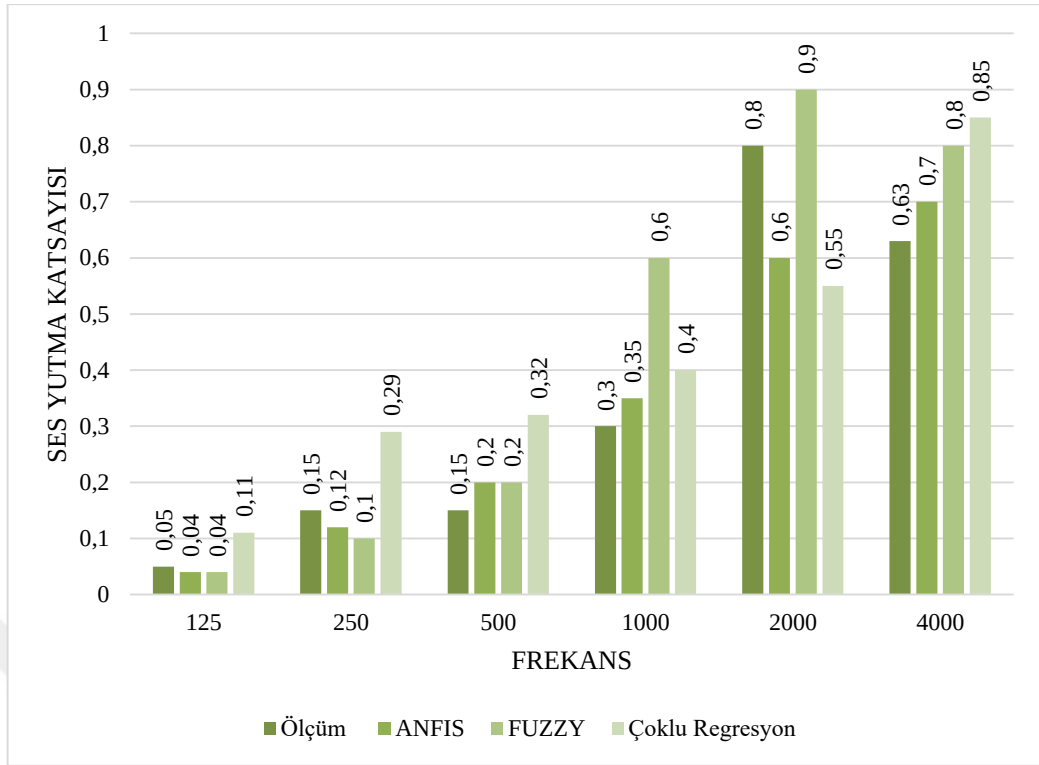
Frekans	Ölçüm	ANFIS	FUZZY	Çoklu Regresyon
125	0,05	0,04	0,04	0,11
250	0,15	0,12	0,10	0,29
500	0,15	0,20	0,20	0,32
1000	0,30	0,35	0,60	0,40
2000	0,80	0,60	0,90	0,55
4000	0,63	0,70	0,80	0,85

Çizelge 5.3 : LCE4%70 test numunesinin ölçüm ve tahmin modeli sonucu ses yutma katsayıları.

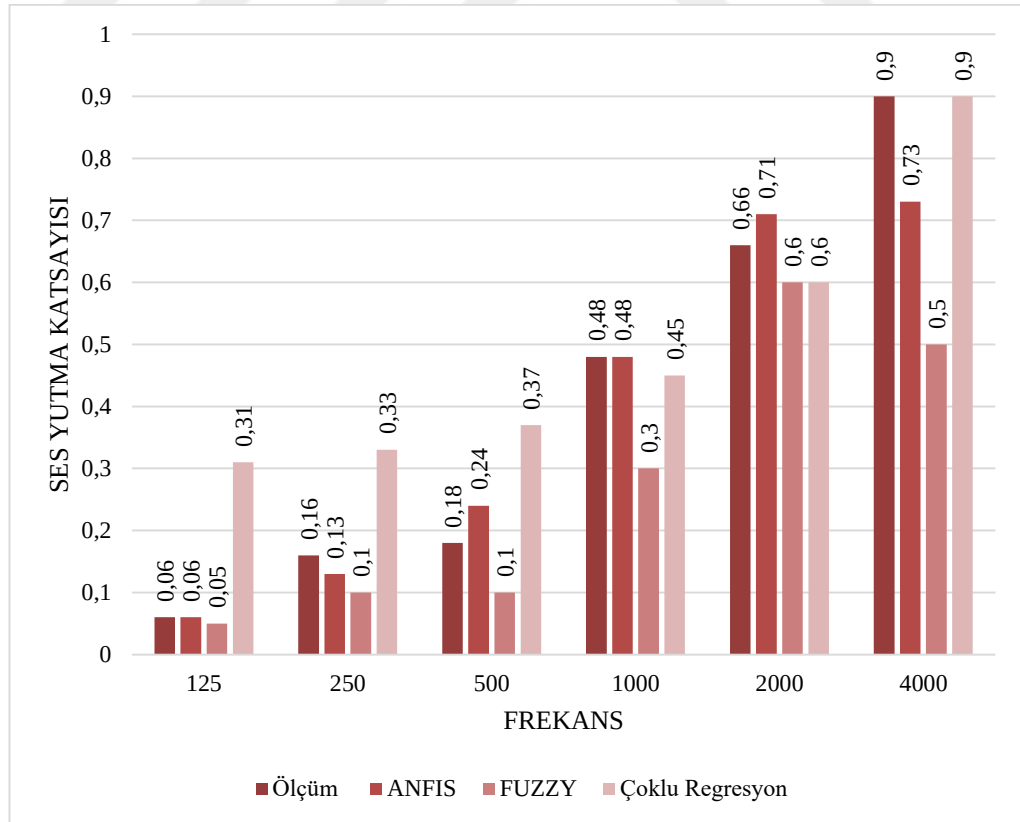
Frekans	Ölçüm	ANFIS	FUZZY	Çoklu Regresyon
125	0,06	0,06	0,05	0,31
250	0,16	0,13	0,10	0,33
500	0,18	0,24	0,10	0,37
1000	0,48	0,48	0,30	0,45
2000	0,66	0,71	0,60	0,60
4000	0,90	0,73	0,50	0,90

Çizelge 5.2 ve 5.3’te verilen ses yutma katsayıları arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için sonuçlar grafikler halinde de Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da sunulmuştur.

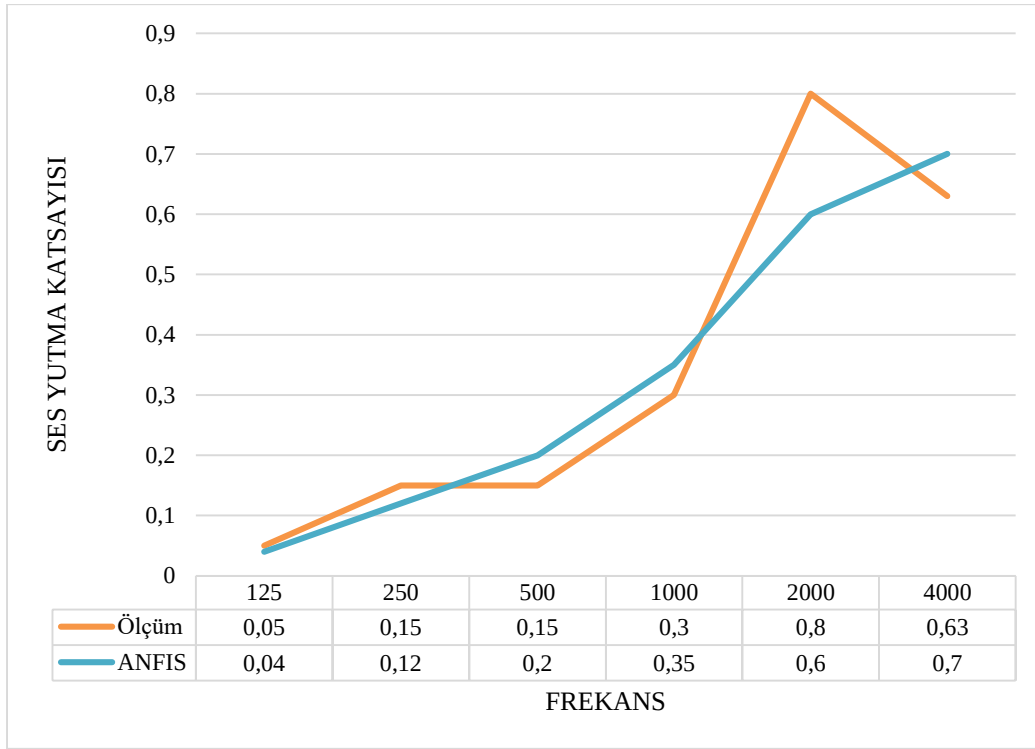
Sonuçlar ANFIS modelinin ölçüm sonuçlarına en yakın değerleri verdiğini göstermiştir ve Şekil 5.11’deki grafikte 2cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE2%90 ve Şekil 5.12’de 4cm kalınlıklı %70 lif oranlı örnek numunelerin ölçüm ve ANFIS sonuçlarının karşılaştırması çizgi grafik halinde sunulmuştur. ANFIS’ten elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçlarının birbirine çok yakın olmasının sebebi olarak ANFIS programının yapay sinir ağları ve bulanık mantığı bir arada kullanarak kendi kurallarını oluşturan bir yapay zekâ olası söylenebilir. Program, ara değerlerdeki tüm olasılıkları göz önünde bulundurarak çıkarım yapmaktadır. Bu nedenle de Fuzzy Logic ve Çoklu Regresyon modellerine göre ölçümlerle daha iyi uyum sağlamaktadır.



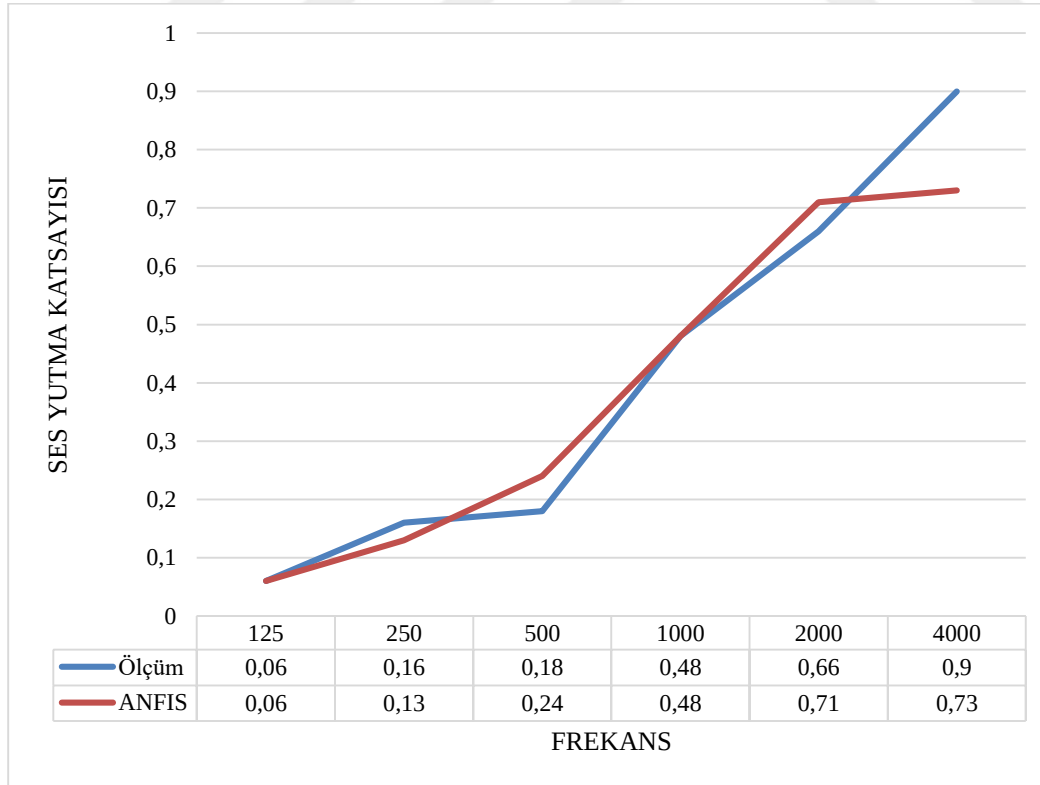
Şekil 5.9 : LCE2%90 test numunesi ses yutma katsayıları karşılaştırma grafiği.



Şekil 5.10 : LCE4%70 test numunesi ses yutma katsayıları karşılaştırma grafiği.



Şekil 5.11 : LCE2%90 test numunesi ölçüm ve ANFIS modeli ses yutma katsayıları karşılaştırma grafiği.



Şekil 5.12 : LCE4%70 test numunesi ölçüm ve ANFIS modeli ses yutma katsayıları karşılaştırma grafiği.

5.3 Kapalı Bir Mekânın Çınlama Süresi Hesabı

Bir malzemenin ses yutma katsayısı değerleri, malzemenin kullanıldığı mekân içerisindeki çınlama süresinin ayarlanması için gerekli bir değerdir. Barron, çınlama süresinin özellikle konuşma ve müzik üzerinde son derece etkili bir parametre olduğunu ve çınlama süresinin olması gerekenden uzun olması halinde, konuşma ve müziğin anlaşılabilirliğinin kaybolacağını söylemiştir (Barron, 2010). Konuşmanın net bir şekilde anlaşılabilmesi için ekonun maskelenmesi gerekir. Bu da çınlama süresinin kısa olması ile sağlanır. Bunun yanında müziğin anlaşılabilirliğinin artması ve kulağı tırmalamaması için konuşmaya göre daha uzun çınlama süresine ihtiyaç duyulur. Çınlama süresinin seçimi salonun hacmine ve kullanım amacına göre değişiklik gösterir (Raichel, 2000).

Akustik uzmanlarına göre çınlama olayı, kapalı bir mekânda sesin, ses kaynağının kapatılmasından sonra hemen kaybolmaması ve bir süre daha alıcıya ulaşmaya devam etmesidir ve bu olay ses gücü duyulmayacak seviyeye düşene kadar devam eder. Teknik anlamda çınlama süresi, ses gücünün kaynak durduktan sonra 60 dB düşmesi için geçen zamandır ve T60 olarak gösterilir (Beranek, 2004).

Çınlama süresi Sabine formülü ile hesaplanmaktadır (Smith vd., 1982). Denklem 5.2’de Sabine formülü verilmiştir (Demirkale, 2007). Büyük hacimli mekânlarda havanın yutuculuğunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Cox ve d’Antonio, 2016).

$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A + xV} \quad (5.2)$$

Denklemde;

V: odanın hacmi m³,

x: havanın yutuculuk katsayısı,

A: mekanın tüm yüzeylerinde malzemelerin toplam ses yutma katsayısı

0,161: Ampirik sabit (sn/m)

Mekanın tüm yüzeylerindeki malzemelerin toplam ses yutuculuğu (A), Denklem 5.3 kullanılarak hesaplanır.

$$A = \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i \quad (5.3)$$

Denkleimde;

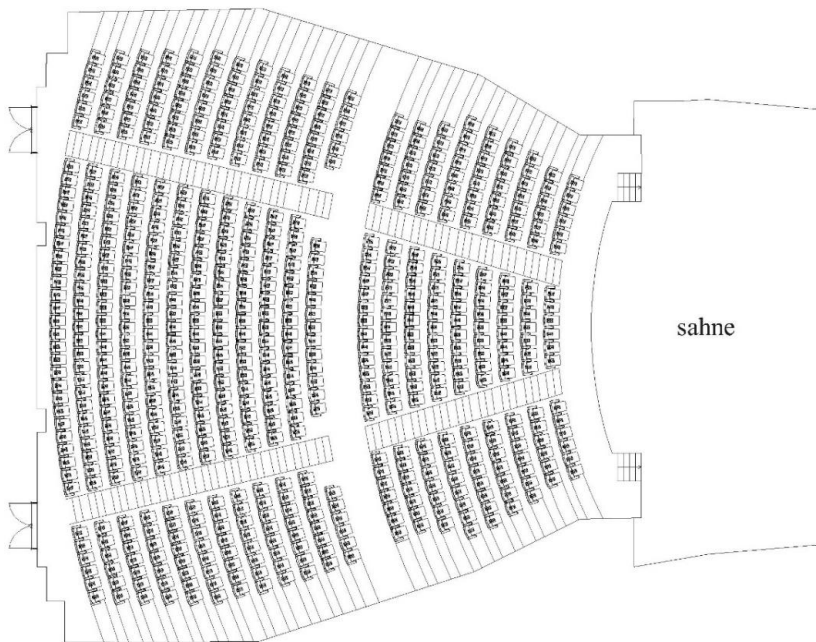
S_i : yüzey alanı m^2 ,

α_i : malzemenin ses yutma katsayısı

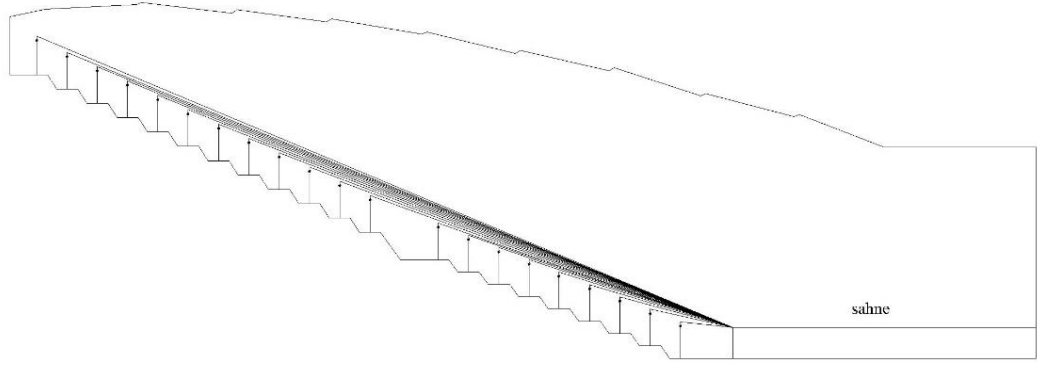
Bu çalışma kapsamında, su kabağı (LC) lifleri-epoksi kompoziti kullanılarak, örnek bir mekan içerisinde çınlama süresi (T_{60}) hesaplaması yapılmıştır.

5.3.1 Salon tasarım kabulleri

Çalışmanın simülasyon aşamasına geçilmeden önce, çınlama süresi hesaplanacak salonun plan ve kesiti çizilmiştir. Salon plan tipi ‘Fan Tipi’ olarak belirlenmiştir ve Şekil 5.13’te verilmiştir. Fan tipi salonların akustik performansı, bazı alıcılara sesin çok iyi gitmesine engel olması sebebiyle dikdörtgen formlu salonlara kıyasla daha zayıftır. Çalışma kapsamında, bu plan tipinin tercih edilme sebebi ise daha fazla seyirci kapasitesi alabilmesi sebebiyle piyasada daha sık tercih edilen bir salon olmasıdır. Salon eğiminin belirlenmesinde görüş çizgileri etkili olduğu için kesitte gerekli kontroller yapılmış ve salon eğimi belirlenmiştir. Şekil 5.14, salon kesiti ve görüş çizgilerini göstermektedir. Konuşma amaçlı salonlarda kişi başına düşen ideal hacim en az 2.3, en fazla 4.3 m^3 olmalıdır (Demirkale, 2007). Salon boyutları belirlenirken bu bilgi de dikkate alınmıştır.



Şekil 5.13 : Fan şekilli konferans salonu planı.



Şekil 5.14 : Konferans salonu kesiti ve görüş kontrol referans çizgileri.

Plan ve kesiti verilen salona ait genel bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Kişi Sayısı: 632 kişi

Salon Hacmi: 2401,6 m³

Salon Toplam Döşeme Alanı: 484,75 m²

Seyirci Koridor Döşeme Alanı: 200,69 m²

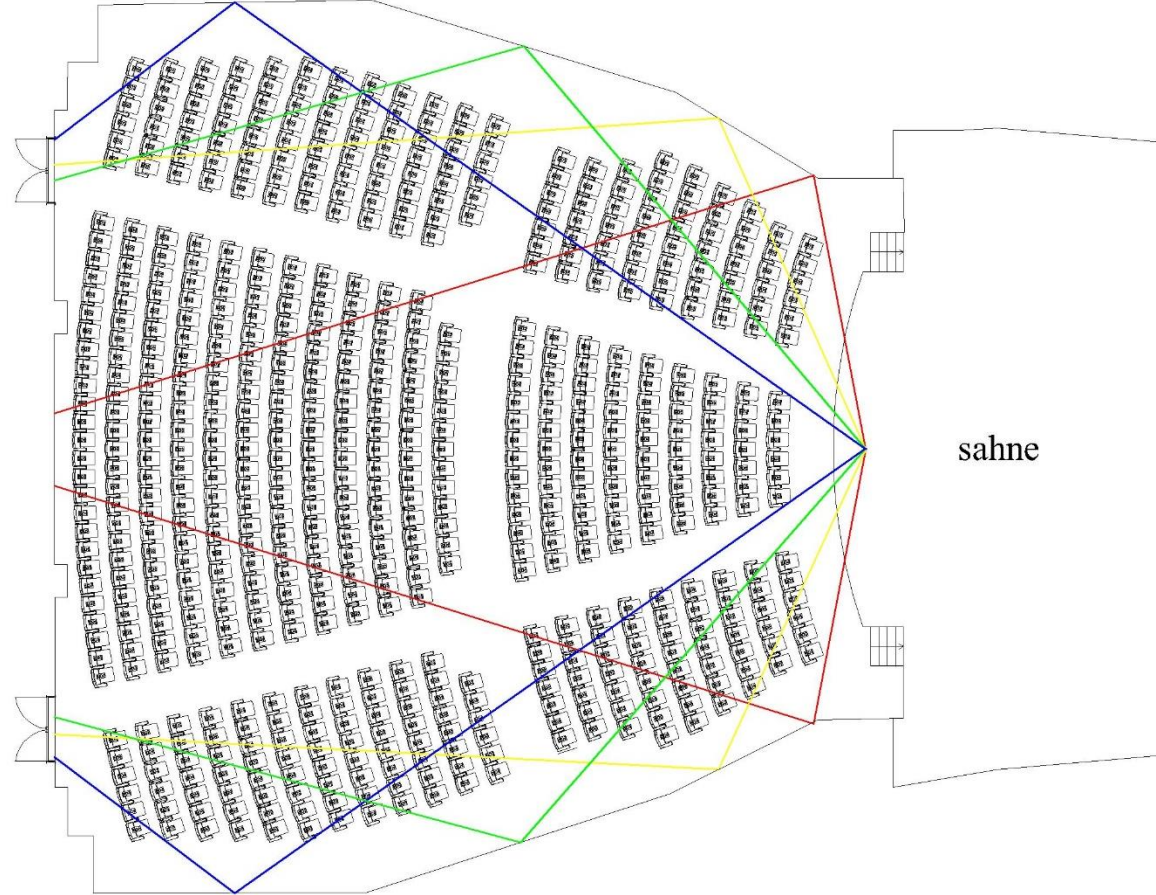
Sahne Döşeme Alanı: 175,08 m²

Kişi Başına Düşen Hacim: 3,8 m³

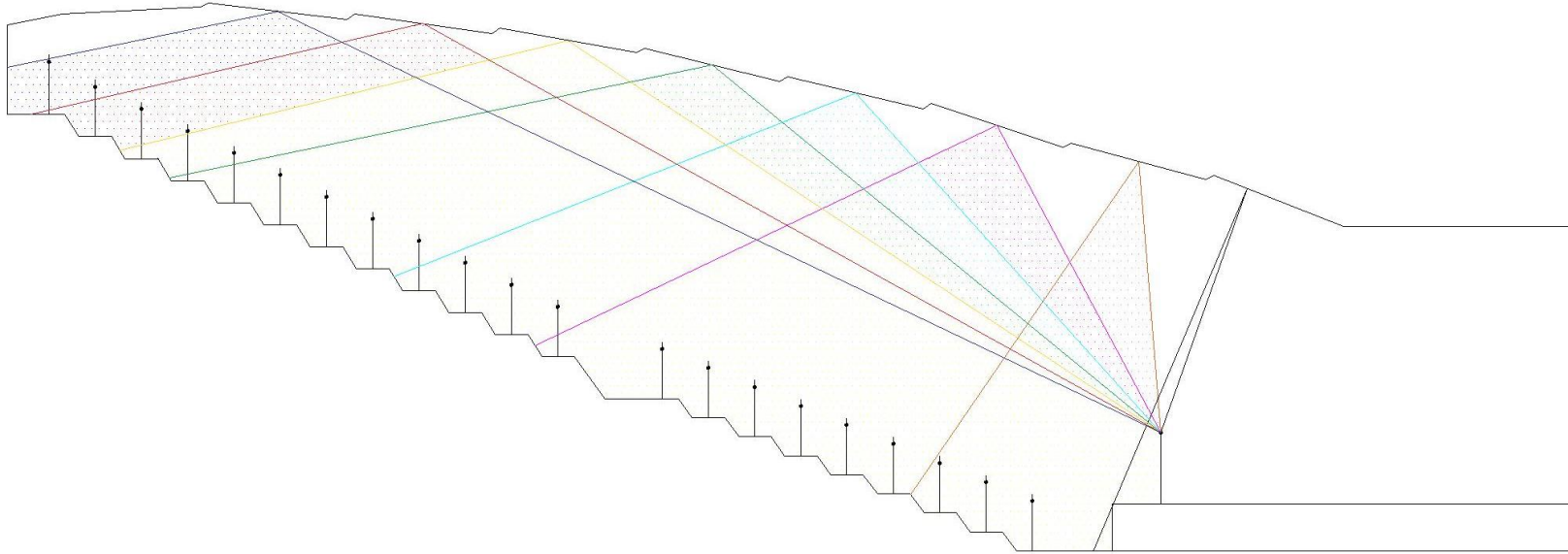
Kişi Başına Düşen Alan: 0,91 m²

Salon İşlevi: Konferans Salonu

Salon ile ilgili teknik bilgiler belirlendikten sonra, salon içerisinde yansıyan sesin tüm alıcılara ulaşabilmesi için ilk önce plan ve kesitte yansıma kontrolleri yapılmıştır ve Şekil 5.15 ve 5.16’da verilmiştir. Buna göre, salon yan duvarlarının yutucu ve yansıtıcı paneller bir arada kullanılarak saçıcı özellikte olması çınlama süresinin ayarlanması ve yansıyan seslerin alıcıya ulaşması için gerekli görülmüştür.



Şekil 5.15 : Çok amaçlı salon planı duvar yansımaları kontrolleri.

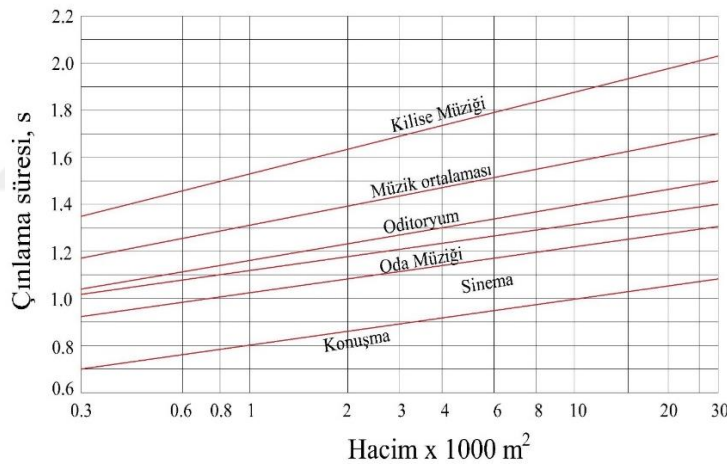


Şekil 5.16 : Çok amaçlı salon planı tavan yansıması kontrolleri.

5.3.2 Çınlama süresinin hesaplanması

Konferans salonu amaçlı kullanılacak salonun plan ve kesiti 2 boyutlu olarak çizildikten ve plan ve kesit üzerinde gerekli tetkikler yapıldıktan sonra çınlama süresinin hesaplanması aşamasına geçilmiştir. Salonun çınlama süresinin hesaplanması için Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

İlk olarak daha önceden hesaplanmış olan salon hacmi ve kullanım amacına göz önünde bulundurularak, sağlanması gereken optimum çınlama süresi, Şekil 5.17’de gösterilen grafik kullanılarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde bu salon için ‘Konuşma’ kullanımında sağlanması gereken çınlama süresinin **0,90sn** olduğu belirlenmiştir. Kapalı bir mekanın çınlama süresi için kabul edilir aralık, olması gereken çınlama süresinin %10 altı ve %10 üzeridir. Buna göre, çalışma kapsamında istenen çınlama süresi ($RT_{istenen}$) 0,90 sn olduğundan, kabul edilir değerler, $RT_{maksimum}$ için 0,99 ve $RT_{minimum}$ için 0,81sn aralığında olacaktır.

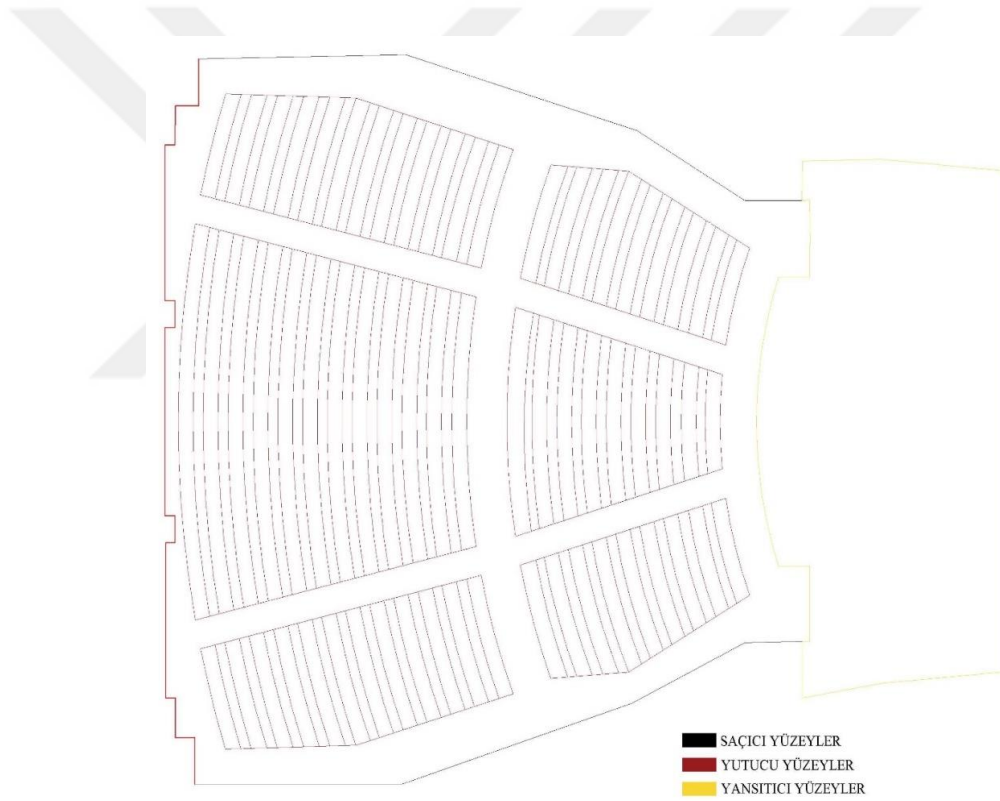


Şekil 5.17 : Çınlama süresini belirlemede kullanılan grafik (Demirkale, 2007).

Bir sonraki adımda yüzeylerde kullanılacak bitirme malzemelerinin kararları verilmiştir. İlk olarak yüzeylerde kullanılacak malzemelerin yutuculuk düzeyleri belirlenmiştir. Yüzeylerdeki yutuculuk açısından kullanması uygun malzemelerin özelliklerinin kararları Şekil 5.18’de verilen plan üzerinde gösterilmiştir. Buna göre, sahne çevresinin yansıtıcı, arka duvarın yutucu ve yan duvarların saçıcı özellikli olması uygun bulunmuştur.

Kapalı bir mekanın çınlama süresinin ayarlanmasında, Sabine formülüne göre etkili değerler salonun hacmi, yüzeylerde kullanılan malzemelerin alanları, kullanılan malzemelerin ses yutma katsayıları ve yüksek frekanslarda havanın yutuculuğudur.

Çalışmanın bu aşamasında, çalışma kapsamında üretilmiş olan kompozit malzemelerin çınlama süresinin ayarlanmasında kullanılabilirliğini test etmek için yan duvarların yutucu parçaları dışındaki tüm yüzeylere piyasada kullanılan malzemeler arasından seçilen malzemeler uygulanmış, yan duvarların yutucu kısmında üretilen kompozit malzemenin farklı özellikli tipleri kullanılarak denemeler yapılmış ve sonunda konferans salonunun 6 frekanstaki çınlama süreleri ayarlanmıştır. Salonun işlevi konuşma üzerine olduğu için çınlama süresi hesabında özellikle 125 ve 250 Hz değerleri oldukça önemlidir. Ayrıca, kapalı mekanların çınlama sürelerinin hesaplanmasında 4000 Hz değerini tutturmak zordur çünkü burada havanın yutuculuğu devreye girer.



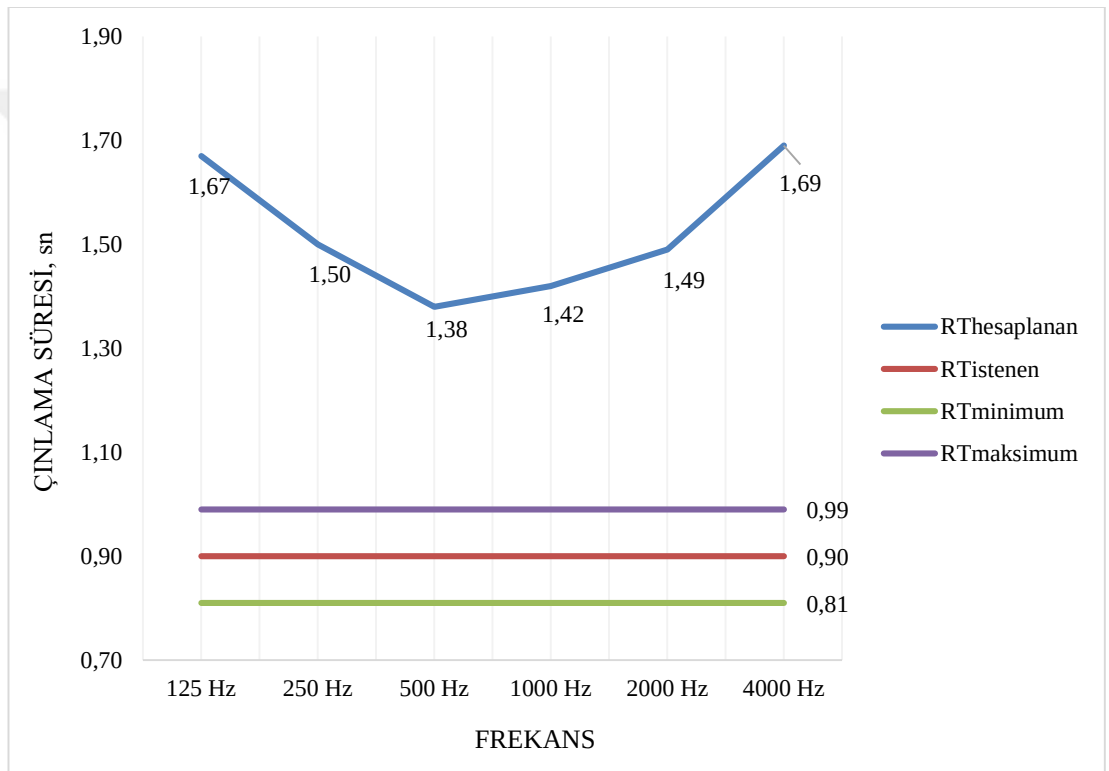
Şekil 5.18 : Salon yüzeyleri bitirme malzemelerinin ses yutuculuk kararlarının plan üzerinde gösterimi.

Şekil 5.19’da salonun hiçbir akustik iyileştirme önerisi yapılmadan, bitirme yüzeylerinin çıplak hali ele alınarak hesaplanmış çınlama süreleri verilmiştir. Şekilde, mavi ile boyanmış olan satır salonun hacmi ve kullanım amacına göre belirlenmiş olan ideal çınlama süresini, kırmızı ile gösterilmiş olan satır ise bu çınlama sürelerinin +/- %10 sınır değerleri dışında kalan çınlama sürelerini göstermektedir.

BİTİRME MALZEMESİ	ALAN (S) (m ²)	α (125 Hz)	S x α (125 Hz)	α (250 Hz)	S x α (250 Hz)	α (500 Hz)	S x α (500 Hz)	α (1000 H)	S x α (1000 H)	α (2000 Hz)	S x α (2000 Hz)	α (4000 Hz)	S x α (4000 Hz)
DÖŞEME MALZEMELERİ													
Cıralı ahşap kirişli döşeme (sahne)	175,08	0,15	26,26	0,11	19,26	0,10	17,51	0,07	12,26	0,06	10,50	0,07	12,26
Deri kaplı boş koltuk	376,74	0,40	150,70	0,50	188,37	0,58	218,51	0,61	229,81	0,58	218,51	0,50	188,37
Yükseltilmiş ahşap döşeme (koridor ve merdivenler)	200,69	0,16	32,11	0,14	28,10	0,11	22,08	0,08	16,06	0,08	16,06	0,07	14,05
YAN DUVAR MALZEMELERİ													
Boyanmış sıvalı	302,96	0,02	6,06	0,02	6,06	0,02	6,06	0,01	3,03	0,01	3,03	0,01	3,03
Boyanmış sıvalı	83,70	0,02	1,67	0,02	1,67	0,02	1,67	0,01	0,84	0,01	0,84	0,01	0,84
SAHNE YAN VE ARKA DUVAR MALZEMELERİ													
Boyanmış sıvalı	160,78	0,02	3,22	0,02	3,22	0,02	3,22	0,01	1,61	0,01	1,61	0,01	1,61
TAVAN MALZEMELERİ													
Boyanmış sıvalı	577,43	0,02	11,55	0,02	11,55	0,02	11,55	0,01	5,77	0,01	5,77	0,01	5,77
TOPLAM (Sxα)			231,57		258,22		280,59		269,37		256,32		225,92
HACİM (m³)	2.401,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	0,01	24,02	0,02	48,03
R _t _{hesaplanan}			1,67		1,50		1,38		1,42		1,49		1,69
R _t _{istenen}			0,90		0,90		0,90		0,90		0,90		0,90
R _t _{minimum}			0,81		0,81		0,81		0,81		0,81		0,81
R _t _{maksimum}			0,99		0,99		0,99		0,99		0,99		0,99
	İstenen çınlama süresi												
	İdeal aralığın dışında kalan çınlama süresi												

Şekil 5.19 : Salonun akustik iyileştirme yapılmadan mevcut durum çınlama süresinin hesaplanması.

Şekil 5.20’de verilen grafikte, bu hesaplamalar sonucu elde edilen çınlama süreleri ile ideal çınlama süresi çizgisi ve minimum ve maksimum çınlama süreleri kabul aralığı gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm frekanslarda çınlama sürelerinin maksimum değerlerin dahi çok üzerinde olduğu görülmektedir. Konferans salonu olarak tasarlanan bu mekanda, bu kadar yüksek çınlama süreleri içeride ciddi düzeyde eko problemi yaratacaktır. Bu nedenle, değerlerin istenen aralığa çekilebilmesi için mekanın bitirme yüzeylerine ses yutuculuk özellikleri yüksek olan malzemeler kullanılarak çınlama sürelerinin düşürülmesi gerekmektedir.



Şekil 5.20 : Salon mevcut durum çınlama süresi grafiği.

Şekil 5.21’de çınlama süresinin istenen düzeyde ayarlanabilmesi için kullanılan malzemeler ve elde edilen çınlama sürelerinin olduğu tablo sunulmuştur. Burada, sarı ile gösterilen satırlar tez çalışması kapsamında üretilen kompozitler arasından seçilen numuneleri göstermektedir. Bunun yanında, tıpkı Şekil 5.19’da olduğu gibi mavi kutular her bir frekans için ideal çınlama süresini, yeşil kutular ise referans aralıkta elde edilen çınlama sürelerini göstermektedir.

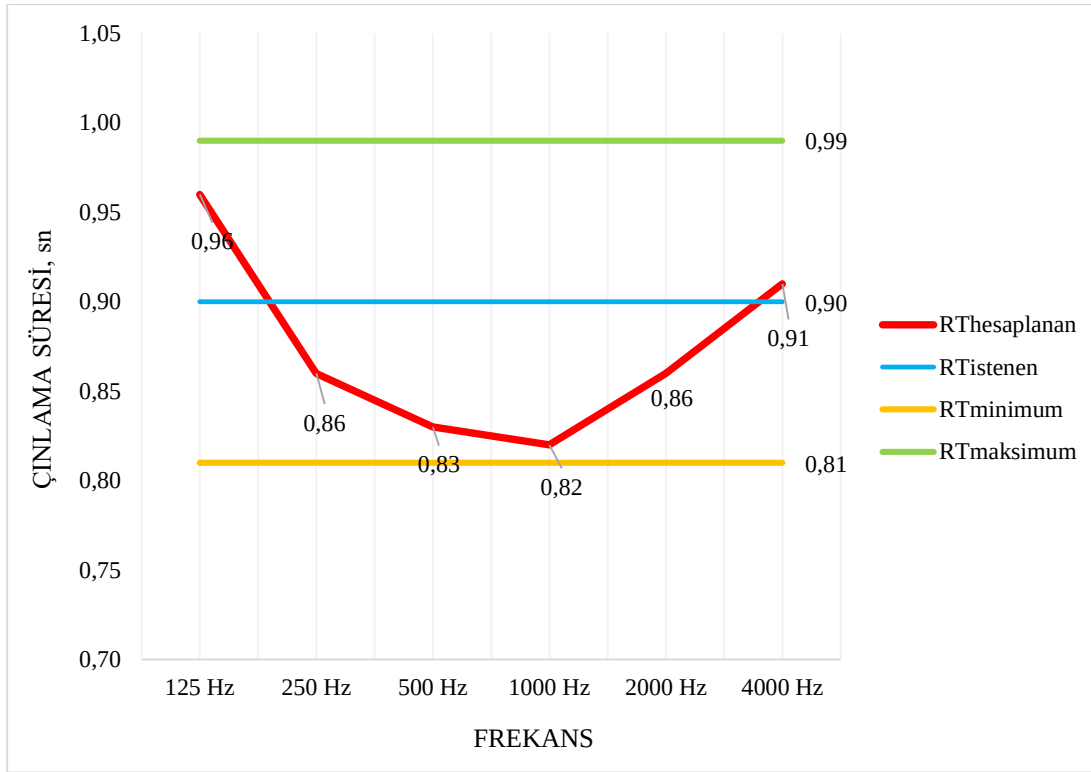
BİTİRME MALZEMESİ	ALAN (S) (m ²)	α (125 Hz)	S x α (125 Hz)	α (250 Hz)	S x α (250 Hz)	α (500 Hz)	S x α (500 Hz)	α (1000 H)	S x α (1000 H)	α (2000 Hz)	S x α (2000 Hz)	α (4000 Hz)	S x α (4000 Hz)
DÖŞEME MALZEMELERİ													
Cilalı ahşap kirişli döşeme (sahne)	175,08	0,15	26,26	0,11	19,26	0,10	17,51	0,07	12,26	0,06	10,50	0,07	12,26
Deri kaplı boş koltuk	376,74	0,40	150,70	0,50	188,37	0,58	218,51	0,61	229,81	0,58	218,51	0,50	188,37
Yükseltilmiş ahşap döşeme (koridor ve merdivenler)	200,69	0,16	32,11	0,14	28,10	0,11	22,08	0,08	16,06	0,08	16,06	0,07	14,05
YAN DUVAR MALZEMELERİ													
Ahşap yansıtıcı pano	200,00	0,20	40,00	0,13	26,00	0,10	20,00	0,05	10,00	0,06	12,00	0,06	12,00
LCE5%90	102,96	0,32	32,95	0,56	57,66	0,76	78,25	0,84	86,49	0,84	86,49	0,84	86,49
ARKA DUVAR MALZEMESİ													
LCE5%90	83,70	0,32	26,78	0,56	46,87	0,76	63,61	0,84	70,31	0,84	70,31	0,84	70,31
SAHNE YAN VE ARKA DUVAR MALZEMELERİ													
Ahşap yansıtıcı pano	160,78	0,20	32,16	0,13	20,90	0,10	16,08	0,05	8,04	0,06	9,65	0,06	9,65
TAVAN MALZEMELERİ													
Tavandan 30cm boşluk üzerine 1.27cm (1/2") kalınlıklı alçıpan panel	577,43	0,11	63,52	0,11	63,52	0,05	28,87	0,06	34,65	0,04	23,10	0,05	28,87
TOPLAM (Sxα)			404,47		450,67		464,90		467,60		446,61		421,99
HACİM (m³)	2.401,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	0,01	24,02	0,02	48,03
R_t_{hesaplanan}			0,96		0,86		0,83		0,82		0,86		0,91
R_t_{istenen}			0,90		0,90		0,90		0,90		0,90		0,90
R_t_{minimum}			0,81		0,81		0,81		0,81		0,81		0,81
R_t_{maksimum}			0,99		0,99		0,99		0,99		0,99		0,99
	Kompozit numunesi												
	İstenen çınlama süresi												
	İdeal aralıkta kalan çınlama süresi												

Şekil 5.21 : Konferans salonu çınlama süresinin frekanslara bağlı olarak ayarlanması için getirilen öneriler.

Konferans salonu olarak tasarlanan bu yapının çınlama süresinin istenen aralığa getirilmesi için ilk olarak seyirci arkasında bulunan duvar için üretilmiş olan kompozit malzemeler içerisinden tüm frekanslarda ses yutma katsayısı yüksek olan LCE5%90 kompozit numunesi seçilmiştir. Çünkü sahneden gelen sesin seyircinin arkasındaki duvardan yansıyarak tekrar seyirciye iletilmesi çınlama ve eko yaratarak konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle, bu tip mekanların tasarımında seyirci arkasında bulunan duvarın yutucu bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir.

İkinci bir olması gereken karar da sahne yan ve arka duvarlarının yansıtıcı özellikli malzemelerden oluşmasıdır. Çünkü ses kaynağı sahnede olduğundan, yansıtıcı yüzeyler kaynaktan çıkan sesin alıcıya iletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Buna göre, sahne yan ve arka duvarları için ahşap yansıtıcı pano kullanılmıştır.

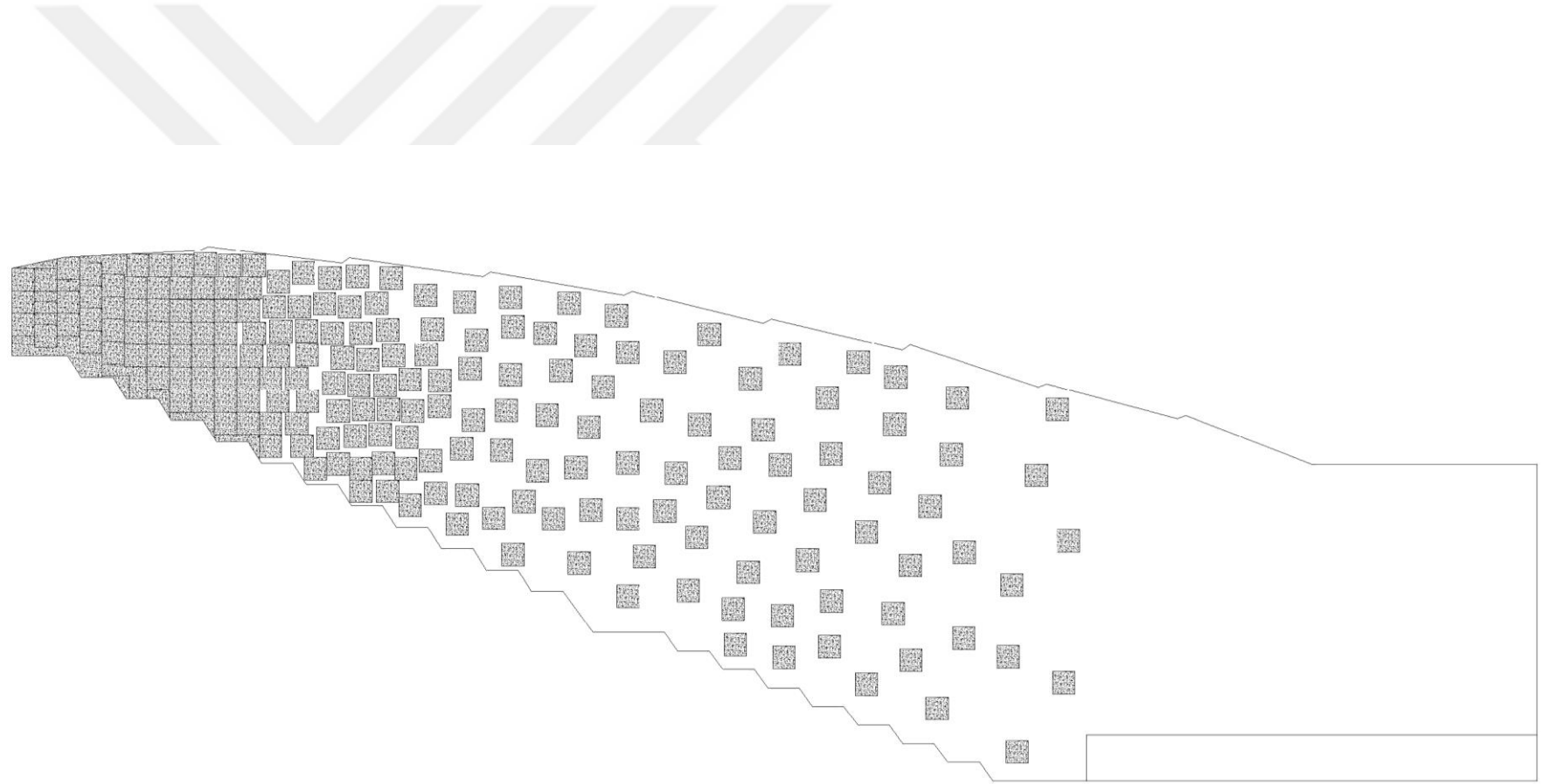
Yapılan yansıma kontrolleri sonucu, yan duvarların saçıcı özellikli olmasına karar kılındığından, duvarlarda yansıtıcı ve yutucu malzemeler bir arada kullanılacaktır. Bunun için duvarın yansıtıcı kısmında ahşap pano kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm bu malzemelerin seçimi tamamlandıktan sonra sıra konferans salonunun çınlama süresinin ayarlanmasında kullanılacak olan su kabağı-epoksi kompoziti örnekleri arasından seçim yapmaya gelmiştir. Bilindiğı zere, Sabin formülüne göre mekanın çınlama süresini ayarlarken değiştirilebilecek 2 şey malzeme yutuculuk katsayısı ve kullanılacak malzemenin alanıdır. Bu iki parametre göz önüne alınarak salonun çınlama süresinin ayarlanabilmesi için pek çok deneme yapılmış ve sonunda şekil 5.21’de de görüldüğü gibi arka duvarda da kullanılmış olan LCE5%90 su kabağı-epoksi kompoziti kullanılarak istenen aralıkta çınlama süreleri elde edilmiştir. Buna göre, yan duvarların toplamda 200m²’sinde piyasadan seçilmiş olan ahşap pano malzemesi kullanılmıştır. Kalan 102.96 m²’de ise 5cm kalınlıklı %90 lif oranlı LCE5%90 kompoziti kullanılmıştır. şekil 5.22’de her bir frekans için hesaplanmış olan çınlama sürelerinin grafiği sunulmuştur.



Şekil 5.22 : Salon akustik olarak iyileştirilmiş çınlama süresi grafiği.

Grafik incelendiğinde, her bir frekansta ayarlanan çınlama süresinin minimum ve maksimum sınır değerleri içerisinde kaldığı açıkça görülmektedir. Elde edilen çınlama süreleri, 125 Hz’de çınlama süresi istenenin biraz üzerinde ancak yine de maksimum sınır değerinin altında kalmıştır. Buna karşılık, 1000 Hz’de en kısa çınlama süresi elde edilmiş ancak bu frekansta da minimum sınır değerinin üzerinde kalmıştır. Grafikten de görüldüğü üzere, kapalı mekanların çınlama sürelerinin hesaplanmasında çalışma kapsamında üretilmiş olan kompozitlerin kullanılması oldukça uygundur. Bu da, üretilmiş olan kompozitlerin yapay lifli malzemeler yerine bir alternatif olarak kullanılabileceğini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Çınlama süresi hesaplanıp, bitirme yüzeylerinde kullanılacak malzemeler belirlendikten sonra, birden fazla malzemenin kullanılacağı yüzeylerde akustik kurallarına uymak şartıyla sınırsız sayıda farklı tasarım yapılabilmektedir. Bu noktada önemli olan çınlama süresi hesaplanırken yüzey alanlarının sabit tutulacağını unutmamaktır. Şekil 5.23’te yan duvarlar için belirlenen ahşap pano ve LCE5%90 kompozit malzemesi kullanılarak yapılan bir tasarım gösterilmiştir. Tasarımda, yutucu olan LCE5%90 malzemesi yoğunluklu olarak yan duvarların arka kısmında kullanılmıştır. Bu tasarımı çeşitlendirmek mümkündür. Burada sadece bir örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 5.23 : Çınlama süresi hesabında belirlenen metrekaarelere göre yan duvar tasarımı önerisi.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının son bölümünde, çalışma kapsamında yapılanlar ve elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Aynı zamanda çalışma ile ilgili değerlendirmeler yapılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara dair önerilerde bulunulmuştur.

6.1 Sonuç

Bu çalışmada, bir mekânın çınlama süresinin ayarlanmasında duvar yüzeylerine bitirme malzemesi olarak kullanılabilecek ve yapay lifli ses yutucu malzemelere alternatif olabilecek doğal lifli kompozit bir malzeme olan su kabağı lifli-epoksi kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin ses yutma katsayıları empedans tüpü kullanılarak belirlenmiş ve tüm numuneler için elde edilen sonuçlar toplu halde Şekil 6.1’de verilmiştir. Bu grafikte, yalnızca çalışmanın başında üretilmiş olan numunelerin sonuçları bulunmaktadır.

Üretilen kompozit numunelerine ait ses yutma katsayılarının gösterildiği grafik incelendiğinde aşağıdaki yorumları yapmak mümkündür:

- Malzeme kalınlığı, ses yutma performansı üzerinde etkili bir parametredir. Özellikle alçak ve orta frekanslarda kalınlık artışı ile birlikte ses yutma performansında da artışlar gözlemlenmiştir. Yüksek frekanslarda, bazı malzemelerde kalınlık artışı çok etkili olmamıştır.
- 1 cm kalınlıklı malzemelerde lif oranı artışı ile birlikte yüksek frekanslarda yutuculuk artmıştır. Alçak frekanslarda ise lif oranı artışının etkili olmadığı gözlemlenmiştir. 3 cm kalınlıklı malzemelerde, orta ve yüksek frekanslarda ses yutuculuk lif oranı arttıkça ciddi oranda artarken, alçak frekanslarda kısmi olarak artış göstermiştir. 5 cm kalınlıklı malzemelerde ise, lif oranı arttıkça yutuculuk artmıştır.
- Sesin yutuculuğu frekansa da bağlıdır. Yüksek frekanslarda dalga boyu kısa olduğundan ses dalgasının kompozit içerisindeki yayılım yolu daha uzun olur ki bu da kompozit içerisindeki ses enerjisinin daha fazla dağılmasını sağlar. Bu

durum, ölçüm sonuçlarının genel olarak yüksek frekanslarda daha iyi yutuculuk vermesini açıklayabilir.

Kalınlık ve lif oranı ses yutuculuğu üzerinde etkin parametrelerdir. Ancak bazı numunelerde bazı frekanslarda beklenmeyen sonuçlar elde edilmiştir. LCE5%90 numunesi en kalın ve en yüksek lif oranlı malzeme olmasına rağmen, yüksek frekanslarda 5cm ve 3cm kalınlıklı bazı numunelerden daha düşük yutuculuk vermiştir. LCE3%90 malzemesinin 2000 Hz'deki yutuculuğu 5cm kalınlıklı numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Ölçüm sonuçlarında görülen bazı beklenmedik durumların olası sebepleri aşağıda sıralanmıştır:

- Ses yutma katsayısı ölçüm aleti olan empedans tüpü oldukça hassas bir alettir. Alet, mekân içerisindeki hava akımından ve olası titreşimlerden olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle, ölçümler öncesi alete kalibrasyon yapılmış ve alet olabildiğinde hava akımının olmadığı bir yere yerleştirilmiştir. Ölçüm anında, titreşim yaratacak olası hareketlerden kaçınılmış ve tüm ölçümler 5 defa tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Ancak yine de, tüm bu önlemlere rağmen ölçüm anındaki olası çevresel etkiler bazı numunelerin belirli frekanslarında olumsuz etki yaratmış olabilir diye düşünülmüştür.
- Literatür araştırmalarının da gösterdiği gibi lif çapı, lifli malzemelerin ses yutma performansında etkili bir parametredir. Bunun 2 sebebi vardır. Bunlardan bir tanesi, ince liflerin kalın liflere oranlara malzemede daha fazla ses yutuculuk sağlamasıdır. Çünkü, lifler ince olduğunda liflere ulaşan ses dalgaları havada daha fazla titreşim yaratacaktır. Bu da daha çok ses dalgasının viskoz kayıplar sebebiyle daha çok azalmasını sağlamaktadır. Diğer bir sebep de, lif çapının ince olması malzeme içerisinde daha çok lifin girmesini gerektireceğinden, bu da ses dalgası için sürtünme yaratacak daha çok alan demektir. Bu iki durum göz önüne alındığında, kompozit ölçümlerindeki beklenmeyen bazı yutuculuk değerlerinin lif çapından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Su kabağı liflerinin ağsı yapısı, diğer çoğu doğal liften farklı olarak lif çapının ses yutuculukta bir parametre olarak değerlendirilmesine engel olmuştur.
- Empedans tüpünde ses yutma katsayısı tayini yapabilmek için 30mm ve 100mm çaplı numune örnekleri üretilmiştir. Özellikle 1cm ve 3cm kalınlıklı

örneklerde, kalıp ölçüleri çok küçük olduğu için epoksinin lifler arasına homojen dağılımında sıkıntı oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Buna engel olmak için epoksi şırınga ile ölçekli şekilde lifler arasına yayılsa da lifler arasındaki yayılma hareketi kontrol edilemediğinden bu durum malzemenin farklı noktalarındaki hava boşluğu oranında eşitsizlik yaratmış olabilir.

- Numune yüzeyindeki lifin yayılım alanı her numunede değişkenlik gösterdiği ve epoksinin de yüzeydeki alanının değişimi sonuçları etkileyebilir.

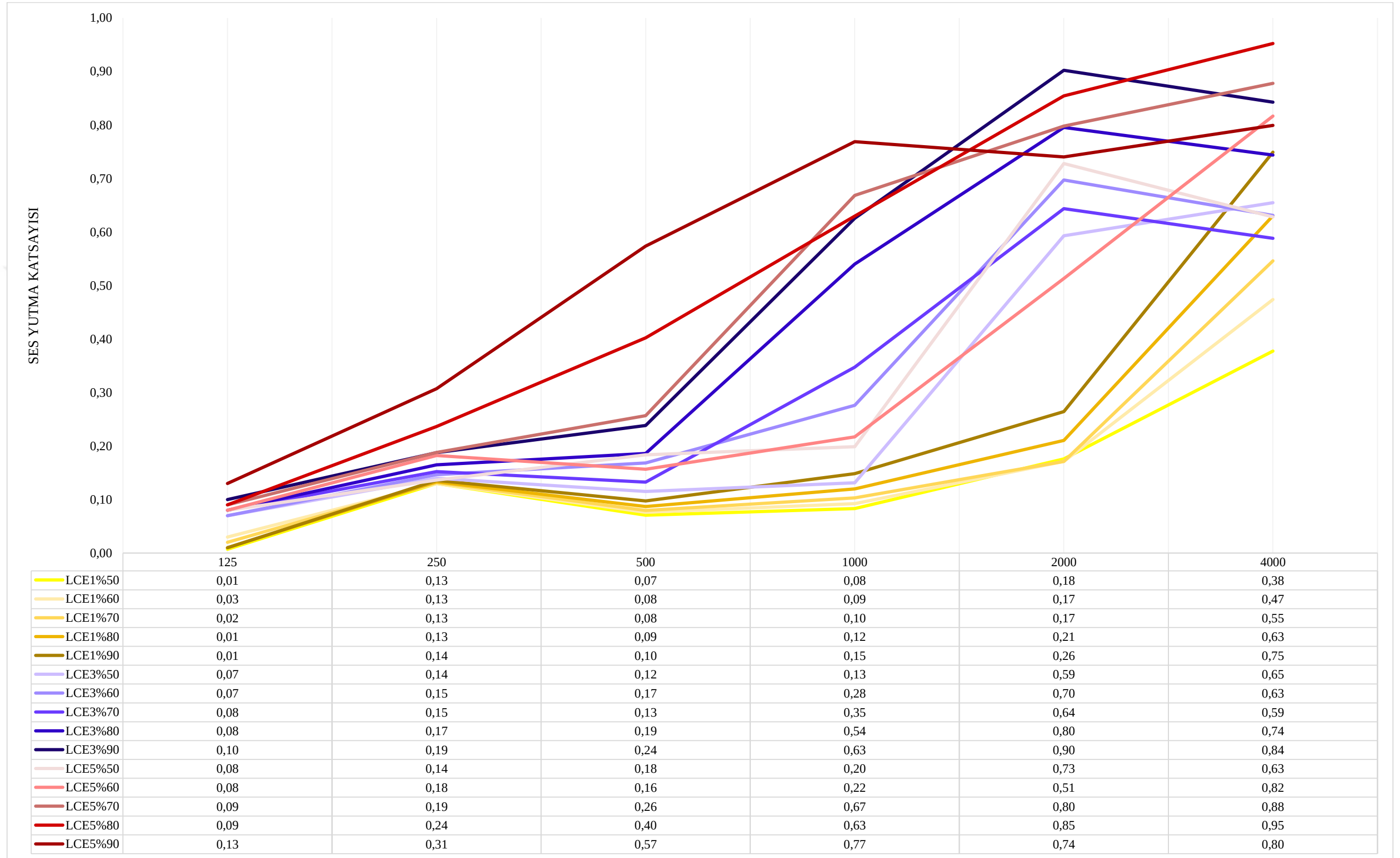
Bir malzemenin ses yutma katsayısının belirlenmesine yönelik çalışmalarda, empedans tüpü ve çınlama odası yöntemlerinin her ikisi için de laboratuvar ortamında örnek numuneler üretilmesi ve bu numunelerin ses yutma katsayısı ölçümlerinin fiziki şartlarda yapılması gerekmektedir. Bu süreç, hem ekonomik açıdan hem de zaman açısından negatif bir süreçtir. Çünkü, numunelerin üretilmesinde ciddi oranda malzeme harcanmaktadır. Ayrıca her bir malzemenin üretilmesi ve sonrasında ses yutma ölçümlerinin yapılması için ciddi zaman harcanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, ikincil bir hedef olarak malzemelerin ses yutma katsayısının belirlenmesinde bu zararları en aza indirecek bir yöntemin varlığı sorgulanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında herhangi bir alternatif yöntemle rastlanmış ve bu bağlamda olası yöntemler incelenmiştir. Buna göre, ‘Bulanık Mantık’ yönteminin uygun olabileceği öngörülmüş ve çalışma buna göre şekillendirilmiştir.

Bulanık mantık yönteminden önce, bir matematik modeli olan çoklu regresyon yöntemi denenmiştir. Bu yöntemin denenmesindeki amaç, kullanıcıların tek bir matematik formülü ile kolaylıkla sonuca ulaşabilmesini sağlamaktır. Ölçüm sonuçları ile %77 oranında uyum veren bu model %70 üzeri sonuç vermesi sebebiyle kullanılabilir de olsa uyum oranı yeterli görülmemiş ve alternatif yöntemlerin denenmiştir.

Ses yutma katsayısı belirlenmesinde alternatif yöntem araştırmalarında çoklu regresyon analizinden sonra ‘bulanık mantık’ yöntemi kullanılmıştır. MathLAB programının eklentisi olarak çalışan Fuzzy Logic ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım ANFIS kullanılarak 2 farklı model oluşturulmuştur. Fuzzy Logic modelinden edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları arasında %98 uyum görülmüştür. Daha sonrasında ANFIS modeli kurulmuştur. Bu modelin sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında %99 uyum gözlemlenmiştir. Bu kadar yüksek uyum oranı, her iki modelin de ölçüm yerine

kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Fakat hem kuralları kendisi belirleyerek hata payını sıfırladığı için, hem de daha yüksek uyum verdiği için dolayı ANFIS programı ses yutma katsayısı tayininde bu üç alternatif içerisinde ilk tercih edilecek yöntem olmalıdır.





Şekil 6.1 : Kompozit numunelerinin empedans tüpünde ölçülen ses yutma katsayıları.



6.2 Değerlendirme ve Öneriler

Bu bölümde, literatüre katkı sağlaması açısından, gelecekte yapılacak benzer çalışmalara referans olması için bitki lifli kompozit üretiminin aşamaları bir akış halinde özetlenmiştir ve öneriler sunulmuştur.

1.AŞAMA: MALZEME SEÇİMİ

Doğal Lif Seçimi: Doğal lifli kompozit malzeme üretiminin en önemli aşamalarından biri doğal lif seçimidir. Seçilen lifin çapı, formu, yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri üretilecek malzemede ses yutma katsayısını etkileyeceği için lifin fiziksel özellikleri ile ilgili detaylı araştırma yapılması önerilmektedir.

Bağlayıcı Seçimi: Kompozit üretiminde bağlayıcı seçimi de oldukça önemli bir aşamadır. Doğru bağlayıcı seçilmediği takdirde, lif ile yapışma problemi, kürlenme sorunu, hacim kaybı gibi çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle, bağlayıcı seçiminden önce kullanılması düşünülen bağlayıcının kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilgili araştırma yapılmalıdır. Seçilecek bağlayıcı termoset mi termoplastik grubundan mı, kürlenme süresi ne kadar, bağlayıcının farklı lif türleri ile yapışma ilişkisi nedir, bağlayıcının kürlenme sonrası hacim kaybı %kaçtır, bağlayıcının yoğunluğu gibi çeşitli özelliklerin araştırılması ve buna göre en ideal bağlayıcının seçilmesi gerekmektedir.

2.AŞAMA: YÖNTEM BELİRLENMESİ

Kompozit üretiminde, kompozitin üretileceği yöntemin belirlenmesi tüm süreç içerisindeki en önemli aşamalardan bir tanesidir. Çünkü sürecin devamında yapılacak her şey bu yönetime bağlı olarak ilerleyecektir. Burada ilk olarak önemli olan bağlayıcının termoset mi termoplastik mi olduğunu belirlemektir. Farklı bağlayıcı tipleri için farklı üretim yöntemleri mevcuttur. Bu noktada, bağlayıcı türü ve ortam/olanak koşullarına göre en uygun üretim yönteminin seçilmesi süreç adına olumlu olacaktır.

3.AŞAMA: LİF HAZIRLIĞI

Bu aşamada, doğadan ham halde elde edilen liflerin kompozit içerisinde kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Her lif türünün elde edildiği form farklıdır. Kimi doğal lifler tel tel ayrılırken kimisinde ağsı bir strüktür vardır ve lifleri ayırmak kolay

değildir. Aynı zamanda lif çapı, lif dizilimi, lif boyutu gibi parametreler kompozitin ses yutuculuğunda etkili olacağı için seçilen lifin bu parametreler için uygun olup olmadığı da belirlenmelidir. Bunun için liflerin mutlaka SEM’de detaylı incelenmesi önerilmektedir. Aynı zamanda, liflerin bağlayıcı ile yapışmasını kolaylaştırmak, liflerin nem dayanımını arttırmak ve yüzeylerinde doğadan gelen toz, bakteri gibi zararlı maddeleri temizlemek için işlemler uygulanması gerekmektedir. Bunun için alkalizasyon işleminin uygun olduğu düşünülmektedir.

4.AŞAMA: KALIP ÜRETİMİ

Kompozitlerin üretimi için doğru malzeme ile doğru kalıp üretimi çok önemlidir. Özellikle bağlayıcı malzemenin kalıp malzemesi ile reaksiyona girme riski olduğundan, kalıp üretiminden önce kalıp için kullanılacak malzeme de detaylı araştırılmalıdır. Bu noktada, malzemelerin kimyasal özellikleri reaksiyona girip girmeyecekleri konusunda bilgi verebilir. Aynı zamanda, artık pek çok teknolojik gelişmeyle çok farklı kalıp malzemeleri üretmek mümkündür. Kalıp malzemesi ile ilgili üretici firma ile de iletişime geçildiği takdirde gerekli bilgiler elde edilebilir. Pek çok firma bu konuda pozitif tavır sergilemektedir. Önemli olan, kalıp malzemesinin bağlayıcı ile reaksiyona girmemesi, kompozite istenen formun verilmesi için esneklik sunması ve malzemedan kolay ayrılabilir olmasıdır.

Ayrıca eğer ki malzeme akademik bir çalışma kapsamında üretilecekse, kalıp üretiminden önce çalışma içerisinde incelenecek parametreler önceden belirlenmeli (örneğin malzeme kalınlığı gibi) ve kalıplar bu parametrelere uygun olarak üretilmelidir.

5.AŞAMA: KOMPOZİT ÜRETİMİ

Son aşama, doğal lifli kompozitin üretilmesi aşamasıdır. Bu noktada, öncelikli olarak doğal liflerin ve bağlayıcının yoğunluğu hesaplanarak kullanılacak oranlara karar verilmelidir. Yoğunluk hesabı yapmadan ağırlıkça oran verildiğinde yoğunluk farkından dolayı hiç beklenmeyen ciddi sıkıntılar meydana gelebilir. Bu tür çalışmalarda ve malzeme üretiminde malzeme yoğunluğuna göre işlem yapmak daha doğru sonuçlar sağlamaktadır.

Kullanılacak doğal lif ve bağlayıcı miktarları belirlendikten sonra malzemeler, daha önceden belirlenmiş olan üretim yöntemine göre kalıba yerleştirilmeli ve bağlayıcının kürleme özelliğine göre (oda sıcaklığı, etüv vb.) kürlemeye bırakılmalıdır. Kürleme

süresi dolan doğal lifli kompozit malzeme, kalıptan çıkartıldıktan sonra kullanım/test için hazır hale gelmiş olur.

Çalışma kapsamında yapılan araştırmalar, deney süreçleri ve elde edilen tüm sonuçlar incelenmiş ve değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- 1- Çevre kirliliği, enerji kaynaklarının tükenmesi gibi küresel problemler sebebiyle pek çok alanda olduğu gibi malzeme alanında da doğal ve geri dönüştürülebilir ürünlerin kullanımına olan talep gün geçtikçe artmaktadır.
- 2- Malzemede sesin yutulmasında lif önemli bir parametredir ve günümüzde lifli malzemelerde doğal lif kullanımı, yapay lif kullanımının yerini almaktadır. Doğal lifler hayvanlardan ve bitkilerden elde edilmektedir. Yapılmış olan pek çok çalışma doğal lifli malzemelerin iyi birer ses yutucu malzeme olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Lifler yalın olarak kullanılabileceği gibi çeşitli kompozitler içerisinde de kullanılabilmektedir.
- 3- Su kabağı bitki lifleri kolay işlenebilen ve özellikle Türkiye’de olmak üzere pek çok ülkede yetiştirilebilen, maliyeti düşük, üretimi kolay bir bitki lifi türüdür. Su kabağı lifleri hali hazırda otomotiv sektörü, kimya sektörü gibi büyük alanlarda kullanılmaktadır.
- 4- Su kabağı liflerinin epoksi bağlayıcı ile birleşme performansı yüksektir. Su kabağı bitki lifleri ağısı yapısı sebebiyle, kompozit içerisinde kullanımında kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır.
- 5- Su kabağı-epoksi kompozitinin ses yutma katsayısı performansında kompozit içerisinde kullanılan lif oranı ve malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu etkili parametrelerdir. Su kabağı-epoksi kompoziti, lif oranının %50 üzeri olduğu türlerinde, mevcut ses yutucu malzemeler yerine alternatif olarak kullanılabilir. İleriki çalışmalarda, tamamen sürdürülebilir bir malzeme elde edebilmek adına, bağlayıcı olarak epoksi yerine doğal bir polimer ile doğada çözülebilen tam ekolojik bir ses yutucu kompozit üretilebilir.
- 6- Su kabağı-epoksi kompozit malzemesi, kapalı mekanlarda sesin kontrol edilmesinde bitirme malzemesi olarak kullanılabilir. Bu kompozitin lif oranı yüksek türlerinde epoksi oranı düşük olduğundan malzemenin taşıyıcı özelliği zayıftır. Bu nedenle, kompozitler ses yutuculuğu istenen duvarlarda ve tavanda paneller halinde kullanılabilir. Döşemede kullanılması önerilmemektedir.

- 7- Literatürde yapılan araştırmalarda, malzemenin ses yutma performansının belirlenmesinde yapay zeka yöntemine dair çalışmalara rastlanmamıştır. Fakat bu çalışmada görülmüştür ki özellikle uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım (ANFIS) programı ve bulanık mantık (FUZZY LOGIC) yapay zeka programları ölçüm sonuçları ile %95'in üzerinde uyum vermiştir. Bu da malzemelerin ses yutma performansının belirlenmesinde yapay zekanın kullanılabilirliğini gözler önüne sermiştir. Bazı frekanslarda ölçüm ve model sonuçları arasındaki büyük farkların önüne geçmek için, ileriki çalışmalarda frekans bazlı yeni modeller kurulabilir. Yapay zeka yöntemi, ölçüm sürecini tamamen ortadan kaldırmaz. Çünkü, programa verilerin öğretilmesi için ölçüm sonuçlarına ihtiyaç vardır. Ancak, yapay zekanın kullanılabilirliği, deney ve ölçüm sürecini önemli oranda azaltabilir ki bu da ekonomik ve zaman açısından kazanç demektir.
- 8- Malzemenin endüstriyel üretimine geçilmesi durumunda, ses yutma katsayısı için mutlaka çınlama odası yöntemi kullanılarak yeniden ölçümler yapılmalıdır.

Bu çalışma ile doğal özellikli bir malzeme literatüre kazandırılmıştır. Koizumi ve diğ. (2002)'nin 2002 yılında bambu liflerini kullanarak yaptıkları çalışmanın sonuçlarından 5cm kalınlıklı numunelerin çalışmadaki grafikleri (Şekil 1.2) incelendiğinde, su kabağı-epoksi kompozitlerinden 5cm kalınlık numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları arasında yakınlık olduğu söylenebilir. Her iki çalışmadaki numuneler farklı ortamlarda ve farklı koşullarda üretildiği için birebir bir kıyaslama yapma şansı olmasa da, özellikle %80 ve %90 lif oranlı 5cm kalınlıklı su kabağı-epoksi kompozitlerinin ses yutma katsayılarının, bahsi geçen çalışma sonuçları (Çizelge 6.1) ile özellikle alçak ve orta frekanslarda çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu da, su kabağı liflerinin hem piyasadaki yapay lifler yerine de hem de literatürdeki doğal liflere alternatif olarak kullanılabileceğini gösteren bir sonuçtur.

Çizelge 6.1 : Bir çalışmada üretilmiş bambu lifli malzeme ile LCE kompozitlerinin ses yutma katsayılarının karşılaştırılması

Frekans	Bambu lifleri	LCE5 %50	LCE5 %60	LCE5 %70	LCE5 %80	LCE5 %90
125	0,05	0,08	0,08	0,09	0,09	0,13
250	0,19	0,14	0,18	0,19	0,24	0,31
500	0,38	0,18	0,16	0,26	0,40	0,57
1000	0,95	0,20	0,22	0,67	0,63	0,77
2000	0,85	0,73	0,51	0,80	0,85	0,74
4000	0,98	0,63	0,82	0,88	0,95	0,80

Su kabağı-epoksi kompoziti levhalar halinde üretilip bitirme malzemesi olarak kullanılabileceği gibi, yutuculuğun arttırılmak istendiği durumlarda malzeme üzerine kumaş kaplanarak, ahşap paneller içerisinde levha olarak, arkasında hava boşluğu bırakılarak veya helmholtz rezonatörler içerisinde hava boşluğu ile birlikte kullanılabilecektir. Aynı zamanda, epoksi malzemesi renklendirilebilen bir malzeme olduğu için iç mekan tasarımına göre akustik tasarımcı bu kompoziti farklı renklerde de uygulayabilecektir.

Özellikle bir çok alanda teknolojinin sınırlarının aşıldığı günümüz dünyasında, malzemelerin ses yutma performansının belirlenmesinde geleneksel yöntemlere ait sürecin (tamamen yok sayılmasa bile) en azda tutularak teknolojik yöntemlere geçilmesi açısından bu çalışmanın literatür değerinin oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, farklı tipte doğal lifler ve bağlayıcılar da kullanılarak kompozitler arasındaki ilişkilerle daha genişletilmiş ve daha fazla malzeme türü için kullanılabilecek yapay zeka modelleri oluşturulabilecektir.



KAYNAKLAR

- Alba, J., del Rey, R., Ramis, J., & Arenas, J.** (2011). An Inverse Method To Obtain Porosity, Fibre Diameter And Density Of Fibrous Sound Absorbing Materials. *Archives of Acoustics*, 36 (3), 561-574.
- Albayrak N., Beydağ, S., & Oral B.** (2009). *Kabak lifi (Luffa Cylindrica)nın farklı kullanım alanlarının ortaya çıkartılması*. Özel Ege Lisesi.
- Alessandro, F., & Pispola, G.** (2005). Sound absorption properties of sustainable fibrous materials in an enhanced reverberation room. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Vol. 2005, No. 6, pp. 2209-2218. Institute of Noise Control Engineering.
- Altınışık, A., Gür, E., & Seki, Y.** (2010). A Natural Sorbent, Luffa Cylindrica For The Removal Of A Model Basic Dye. *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1), 658-664.
- Aluclu, I., Dalgic, A., & Toprak, Z. F.** (2008). A Fuzzy Logic-Based Model For Noise Control At Industrial Workplaces. *Applied Ergonomics*, 39 (3), 368-378.
- ASTM** (2004). *Standard Test Method For Impedance And Absorption Of Acoustical Materials By Impedance Tube Method (ASTM C384-04)* West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM** (2017). *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method (ASTM C423-17)* West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM** (2013). *Standard Terminology Relating to Building and Environmental Acoustics (ASTM C634 – 13e1)* West Conshohocken, PA, USA.
- Bal, K. E., Bal, Y., & Lallam, A.** (2004). Gross Morphology And Absorption Capacity Of Cell-Fibers From The Fibrous Vascular System Of Loofah (Luffa Cylindrica). *Textile Research Journal*, 74 (3), 241-247.
- Barron, M.** (2010). *Auditorium Acoustics and Architectural Design, Second Edition*. Spon Press, London and New York, USA.
- Beranek, L.** (2004). *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture, Second Edition*. Springer - Verlag, New York, Inc., New York, USA.
- Berardi, U., & Iannace, G.** (2016). Predicting The Sound Absorption Of Natural Materials: Best-Fit Inverse Laws For The Acoustic Impedance And The Propagation Constant. *Applied Acoustics*, 115, 131-138.
- Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik.** (2017). T.C. Resmi Gazete, 30082, 31 Mayıs 2017.

- Biron, M.** (2013). *Thermosets and composites: material selection, applications, manufacturing and cost analysis*. Elsevier.
- Biron, M.** (2018). *Thermoplastics and thermoplastic composites*. William Andrew.
- Biswal, M., Sahu, S. K., & Asha, A. V.** (2016). Vibration Of Composite Cylindrical Shallow Shells Subjected To Hygrothermal Loading-Experimental And Numerical Results. *Composites Part B: Engineering*, 98, 108-119.
- Bledzki, A. K., & Gassan, J.** (1999). Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres. *Progress in Polymer Science*, 24 (2), 221-274.
- Boynard, C. A., & d'Almeida, J. R. M.** (2010). Morphological Characterization And Mechanical Behavior Of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*)–Polyester Composite Materials. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 39 (3), 489-499.
- Boynard, C. A., Monteiro, S. N., & d'Almeida, J. R. M.** (2003). Aspects Of Alkali Treatment Of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Fibers On The Flexural Properties Of Polyester Matrix Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 87 (12), 1927-1932.
- Bozkurt, T. S., & Demirkale, S. Y.** (2018). The Laboratory Analyses For The Plasters Prepared With River Sand Aggregate And Hydraulic Lime Binder. *Construction and Building Materials*, 190, 691-709.
- Brissaud, Q., Tsai, V. C., & Bowden, D. C.** (2019). A Machine-Learning Model To Predict Surface-Wave Amplification In Sedimentary Basins. *AGUFM*, S31B-02.
- Castagnede, B., Aknine, A., Brouard, B., & Tarnow, V.** (2000). Effects Of Compression On The Sound Absorption Of Fibrous Materials. *Applied Acoustics*, 61 (2), 173-182.
- Cavanaugh, W. J., Tocci, G. C., & Wilkes, J. A. (Eds.).** (2010). *Architectural acoustics: Principles and practice*. John Wiley & Sons. Page:44-46
- Chandramohan, D., & Marimuthu, K.** (2011). A Review On Natural Fibers. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 8 (2), 194-206.
- Chang, I. Y., & Lees, J. K.** (1988). Recent Development in Thermoplastic Composites: A Review Of Matrix Systems And Processing Methods. *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 1 (3), 277-296.
- Chen, D., Li, J., & Ren, J.** (2010). Study On Sound Absorption Property Of Ramie Fiber Reinforced Poly (L-Lactic Acid) Composites: Morphology And Properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41 (8), 1012-1018.
- Chin, C. S., Ji, X., Woo, W. L., Kwee, T. J., & Yang, W.** (2019). Modified Multiple Generalized Regression Neural Network Models Using Fuzzy C-Means With Principal Component Analysis For Noise Prediction Of Offshore Platform. *Neural Computing And Applications*, 31 (4), 1127-1142.
- Contreras-Andrade, I., Rincón-Pardo, D., Guerrero-Fajardo, C. A., Parra-Santiago, J., & Guerrero-Romero, E.** (2014). Natural Composite

- Material From Steelwool Or Luffa Cylindrica Under Natural, Rigid And Flexible Resin. *J. Chem*, 8, 906-917.
- Cox, T., & d'Antonio, P.** (2016). *Acoustic Absorbers And Diffusers: Theory, Design And Application*. Crc Press
- Demir, H., Top, A., Balköse, D., & Ülkü, S.** (2008). Dye Adsorption Behavior Of Luffa Cylindrica Fibers. *Journal Of Hazardous Materials*, 153 (1), 389-394.
- Demirkale, S. Y.** (2007). *Çevre Ve Yapı Akustiği: Mimarlar Ve Mühendisler İçin El Kitabı*. Birsen Yayınevi.
- Dharmalingam, S., Meenakshisundaram, O., Elumalai, V., & Boopathy, R. S.** (2020). An Investigation on the Interfacial Adhesion between Amine Functionalized Luffa Fiber and Epoxy Resin and Its Effect on Thermal and Mechanical Properties of Their Composites. *Journal of Natural Fibers*, 1-16.
- Doğan, H., & Çataltepe, Ö. A.** (2018). Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Journal of Health and Sport Sciences*, 1 (1), 29-38.
- Dvořák, V., Votrúbec, R., Šafka, J., & Kracík, J.** (2018). Experimental Investigation Of Centrifugal Fans For Personal Protection Equipment—Effect Of Used 3D Printing Technologies. *EPJ Web Of Conferences*, Vol. 180, P. 02023.
- Dubrovin, T., Jolma, A., & Turunen, E.** (2002). Fuzzy Model For Real-Time Reservoir Operation. *Journal Of Water Resources Planning And Management*, 128 (1), 66-73.
- Ersay, H. Y.** (2001). *Kompozit Malzeme*. Literatür Yayınları.
- Ekici, B., Kentli, A., & Küçük, H.** (2012). Improving Sound Absorption Property Of Polyurethane Foams By Adding Tea-Leaf Fibers. *Archives Of Acoustics*, 37 (4), 515-520.
- EN ISO** (2003). *Acoustics—Measurement Of Sound Absorption In A Reverberation Room* (EN ISO 354).
- Ersay, S., & Küçük, H.** (2009). Investigation Of Industrial Tea-Leaf-Fibre Waste Material For Its Sound Absorption Properties. *Applied Acoustics*, 70 (1), 215-220.
- Fangueiro, R.** (2011). *Fibrous And Composite Materials For Civil Engineering Applications*. Elsevier.
- Fouladi, M. H., Nor, M. J. M., Ayub, M., & Leman, Z. A.** (2010). Utilization Of Coir Fiber in Multilayer Acoustic Absorption Panel. *Applied Acoustics*, 71 (3), 241-249.
- Fouladi, M. H., Ayub, M., & Nor, M. J. M.** (2011). Analysis Of Coir Fiber Acoustical Characteristics. *Applied Acoustics*, 72 (1), 35-42.
- Fuchs, H. V.** (2013). *Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, And Silencers For Acoustical Comfort And Noise Control: Alternative Solutions-Innovative Tools-Practical Examples*. Springer Science & Business Media.

- Ganesan, P., & Karthik, T.** (2016). Development Of Acoustic Nonwoven Materials From Kapok And Milkweed Fibres. *The Journal Of The Textile Institute*, 107(4), 477-482.
- Garai, M., & Pompoli, F.** (2005). A Simple Empirical Model Of Polyester Fibre Materials For Acoustical Applications. *Applied Acoustics*, 66(12), 1383-1398.
- Ghali, L., Msahli, S., Zidi, M., & Sakli, F.** (2009). Effect Of Pre-Treatment Of Luffa Fibres On The Structural Properties. *Materials Letters*, 63(1), 61-63.
- Hamad, W.** (2002). *Native Cellulosic Fibers: Structure and Composition*. In *Cellulosic Materials*. Springer, Boston, MA.
- Hoang, N. D., & Nguyen, Q. L.** (2019). A Novel Method For Asphalt Pavement Crack Classification Based On Image Processing And Machine Learning. *Engineering With Computers*, 35(2), 487-498.
- Howard, D. M., & Angus, J.** (2017). *Acoustics And Psychoacoustics*. Focal Press.
- Im, D., Choi, S. U., & Choi, B.** (2018). Physical Habitat Simulation For A Fish Community Using The ANFIS Method. *Ecological Informatics*, 43, 73-83.
- Ismail, L., Ghazali, M. I., Mahzan, S., & Zaidi, A. M. A.** (2010). Sound Absorption Of Arenga Pinnata Natural Fiber. *World Academy Of Science, Engineering And Technology*, 67, 804-806.
- Jinich, A., Sanchez-Lengeling, B., Ren, H., Harman, R., & Aspuru-Guzik, A.** (2019). A Mixed Quantum Chemistry/Machine Learning Approach for the Fast and Accurate Prediction of Biochemical Redox Potentials and Its Large-Scale Application to 315 000 Redox Reactions. *ACS Central Science*, 5(7), 1199-1210.
- Klyosov, A. A.** (2007). *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons.
- Kocak, D., Mistik, S.I., Akalin, M. & Merdan, N.** (2015). *The Use Of Luffa Cylindrica Fibres As Reinforcements in Composites*. Elsevier Ltd.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., & Adachi, A.** (2002). The Development Of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers. *WIT Transactions On The Built Environment*, 59.
- Koruk, H., & Genç, G.** (2019). *Acoustic and mechanical properties of luffa fiber-reinforced biocomposites*. In *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites* (pp. 325-341). Woodhead Publishing.
- Kuttruff, H.** (2014). *Room Acoustics*. Crc Press.
- Lim, Z. Y., Putra, A., Nor, M. J. M., & Yaakob, M. Y.** (2018). Sound Absorption Performance Of Natural Kenaf Fibres. *Applied Acoustics*, 130, 107-114.
- Liu, J., Bao, W., Shi, L., Zuo, B., & Gao, W.** (2014). General Regression Neural Network For Prediction Of Sound Absorption Coefficients Of Sandwich Structure Nonwoven Absorbers. *Applied Acoustics*, 76, 128-137.

- Maharjan, L., Ditsworth, M., Niraula, M., Narvaez, C. C., & Fahimi, B.** (2019). Machine Learning Based Energy Management System For Grid Disaster Mitigation. *IET Smart Grid*, 2 (2), 172-182.
- Mahmoodzadeh, A., Mohammadi, M., Daraei, A., Ali, H. F. H., Abdullah, A. I., & Al-Salihi, N. K.** (2020). Forecasting Tunnel Geology, Construction Time And Costs Using Machine Learning Methods. *Neural Computing & Applications*.
- Mamtaz, H., Fouladi, M. H., & Al-Atabi, M.** Modelling Of Acoustic Wave Propagation Through The Natural Fiber Composites. *Journal of Engineering Science and Technology*
- Marzi, H., Haj Darwish, A., & Helfawi, H.** (2017). Training ANFIS Using The Enhanced Bees Algorithm And Least Squares Estimation. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 23 (2), 227-234.
- Medeiros, M. C., Vasconcelos, G. F., Veiga, A., & Zilberman, E.** (2019). Forecasting Inflation in A Data-Rich Environment: The Benefits Of Machine Learning Methods. *Journal Of Business & Economic Statistics*, 1-22.
- Moody, A. T., Dharuman, G., Carpenter, T. S., Ingolfsson, H. I., Van Essen, B. C., Glosli, J. N., & Lightstone, F. C.** (2020). Using Machine Learning to Predict Membrane Protein States Based on their Lipid Environment. *Biophysical Journal*, 118 (3), 497a.
- Moody, V., & Needles, H. L.** (2004). *Tufted Carpet: Textile Fibers, Dyes, Finishes And Processes*. William Andrew.
- Mohammad, M., Syukri, N. N., & Nuawi, M. Z.** (2019). Sound Properties Investigation of Date Palm Fiber. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1150, No. 1, p. 012003.
- Muzzy, J. D., & Kays, A. O.** (1984). Thermoplastic Vs. Thermosetting Structural Composites. *Polymer Composites*, 5 (3), 169-172.
- Narang, P. P.** (1995). Material Parameter Selection in Polyester Fibre Insulation For Sound Transmission And Absorption. *Applied Acoustics*, 45 (4), 335-358.
- Nor, M. J. M., Jamaludin, N., & Tamiri, F. M.** (2004). A Preliminary Study Of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibers. *Electronic Journal Technical Acoustics*, 3, 1-8.
- Oksman, K. and Sain, M.** (2008). *Wood-Polymers Composites*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Owen, M. J., Middleton, V., & Jones, I. A.** (2000). *Integrated Design And Manufacture Using Fibre-Reinforced Polymeric Composites*. Elsevier.
- Özsoy, K., & Duman, B.** (2017). Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1 (1), 36-48.
- Paglicawan, M. A., Cabillon, M. S., Cerbito, R. P., & Santos, E. O.** (2005). Loofah Fiber As Reinforcement Material For Composite. *Philippine Journal Of Science*, 134 (2), 113.

- Papanicolaou, G. C., Psarra, E., & Anastasiou, D.** (2015). Manufacturing And Mechanical Response Optimization Of Epoxy Resin/Luffa Cylindrica Composite. *Journal Of Applied Polymer Science*, 132 (22).
- Peng, W., & Mayorga, R. V.** (2008). Assessing Traffic Noise Impact Based On Probabilistic And Fuzzy Approaches Under Uncertainty. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, 22 (4), 541-550.
- Peng, T., Zhu, Q., Tokhi, M. O., & Yao, Y.** (2020). Fuzzy Logic Feedforward Active Noise Control With Distance Ratio And Acoustic Feedback Using Takagi–Sugeon–Kang Inference. *Journal Of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 39 (1), 174-189.
- Philip, B. M., Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., & Thomas, S.** (2013). 5 Plant Fiber–Based Composites. *Green Composites from Natural Resources*, 95.
- Pires, C., Motta, L. A. D. C., Ferreira, R. A. D. R., Caixeta, C. D. O., & Savastano, H.** (2020). Thermomechanical and Thermo-hydro-mechanical Treatments of Luffa Cylindrical Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 1-13.
- Putra, A., Or, K. H., Selamat, M. Z., Nor, M. J. M., Hassan, M. H., & Prasetyo, I.** (2018). Sound Absorption Of Extracted Pineapple-Leaf Fibres. *Applied Acoustics*, 136, 9-15.
- Raichel, D. R.** (2000). *The Science and Applications of Acoustics*, SpringerVerlag New York Inc., USA.
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Linul, E.** (2019). Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, And Applications. *Polymers*, 11 (10), 1667.
- Saheb, D. N., & Jog, J. P.** (1999). Natural Fiber Polymer Composites: A Review. *Advances in Polymer Technology*, 18 (4), 351-363.
- Sakawa, M.** (2013). Fuzzy Sets And Interactive Multiobjective Optimization. *Springer Science & Business Media*.
- Seddeq, H. S.** (2009). Factors Influencing Acoustic Performance Of Sound Absorptive Materials. *Australian Journal Of Basic And Applied Sciences*, 3 (4), 4610-4617.
- Siqueira, G., Bras, J., & Dufresne, A.** (2010). Luffa Cylindrica As A Lignocellulosic Source Of Fiber, Microfibrillated Cellulose And Cellulose Nanocrystals. *Bioresources*, 5 (2), 727-740.
- Silva, C. A., Sousa, J. M., Botto, M., & Da Costa, J. S.** (2000). Acoustic Noise Identification Using Fuzzy Modeling Techniques. In *Proceedings Of ICSV7-7th International Congress On Sound And Vibration* (Pp. 3213-3220).
- Smith, B. J., Peters, R. J., Owen, S.** (1982). *Acoustics and Noise Control*, Longman Group Limited, New York, USA.
- Soleimanian, A.** (2019). Study On The Acoustic Characteristics Of Natural Date Palm Fibres: Experimental And Theoretical Approaches. *Building And Environment*, 161, 106274.

- Sun W., Trevor B.** (2017). Multiple Model Combination Methods for Annual Maximum Water Level Prediction during River Ice Breakup. *Hydrological Processes*, 32:421-435.
- Şen, Z.** (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri*. Su Vakfı.
- Taban, E., Khavanin, A., Faridan, M., Samaei, S. E., Samimi, K., & Rashidi, R.** (2020). Comparison Of Acoustic Absorption Characteristics Of Coir And Date Palm Fibers: Experimental And Analytical Study Of Green Composites. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, 17 (1), 39-48.
- Tang, X., & Yan, X.** (2020). A Review On The Damping Properties Of Fiber Reinforced Polymer Composites. *Journal Of Industrial Textiles*, 49 (6), 693-721.
- Tanobe, V. O., Flores-Sahagun, T. H., Amico, S. C., Muniz, G. I., & Satyanarayana, K. G.** (2014). Spong E Gourd (*Luffa Cylindrica*) Reinforced Polyester Composites: Preparation And Properties. *Defence Science Journal*, 64 (3), 273.
- Tanobe, V. O., Sydenstricker, T. H., Munaro, M., & Amico, S. C.** (2005). A Comprehensive Characterization Of Chemically Treated Brazilian Sponge-Gourds (*Luffa Cylindrica*). *Polymer Testing*, 24 (4), 474-482.
- Taban, E., Khavanin, A., Ohadi, A., Putra, A., Jafari, A. J., Faridan, M., & Soleimanian, A.** (2019). Study On The Acoustic Characteristics Of Natural Date Palm Fibres: Experimental And Theoretical Approaches. *Building And Environment*, 161, 106274.
- Taiwo, E. M., Yahya, K., & Haron, Z.** (2019). Potential Of Using Natural Fiber For Building Acoustic Absorber: A Review. In *Journal Of Physics: Conference Series* (Vol. 1262, No. 1, P. 012017). IOP Publishing.
- Templeton, D.** (1998). *Acoustics in The Built Environment: Advice For The Design Team*. Butterworth-Heinemann.
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., Gupta, R. K., Prasanth, R., & Kessler, M. R.** (2013). *Green Composites: An Introduction*. Green Composites From Natural Resources.
- Thilagavathi, G., Neela Krishnan, S., Muthukumar, N., & Krishnan, S.** (2018). Investigations On Sound Absorption Properties Of Luffa Fibrous Mats. *Journal Of Natural Fibers*, 15 (3), 445-451.
- TS EN** (2002). *Test For Mechanical And Physical Properties Of Aggregates-Part, 6* (TS EN 1097-6).
- TS EN** (2009). *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm, 7* (TS EN 12390-7).
- TS EN** (2002). *Methods Of Testing Cement-Part, 1* (TS EN 196-1)
- TS EN ISO** (2001). *Akustik- Empedans Borularında Ses Absorplama Katsayısı Ve Empedansın Tayini - Bölüm 1: Duran Dalga Oranını Kullanma Metodu* (TS EN ISO 10534-1) TSE, Ankara.

- TS EN ISO** (2003). *Akustik-Empedans Borularındaki Ses Absorpsiyon Katsayısının Ve Empedansın Tayini-Bölüm 2: Aktarım Fonksiyonu Metodu* (TS EN ISO 10534-2). TSE, Ankara.
- TS EN ISO** (2002). *Akustik- Binalarda Kullanılan Ses Absorplayıcıları-Ses Absorpsiyonunun Derecelendirilmesi* (TS EN ISO 11654).
- URL-1** < <http://www.arcmarin.com.tr/urunlerimiz/epoksi-sistemleri-64877/detay/225416/seffaf-epoksi-sistemleri--arc-150--n#!prettyPhoto> >, erişim tarihi: 30 Ocak 2021.
- URL-2** < https://www.researchgate.net/publication/344258592_cnc_lecture_notes >, erişim tarihi: 16 Eylül 2020.
- Vaidya, U. K., & Chawla, K. K.** (2008). Processing Of Fibre Reinforced Thermoplastic Composites. *International Materials Reviews*, 53 (4), 185-218.
- Veen, G.R., and Mealman, M.R.** (2002), *U.S. Patent No. US 6,345,688 B1*. Washington DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Veerakumar, A., & Selvakumar, N.** (2012). A Preliminary Investigation On Kapok/Polypropylene Nonwoven Composite For Sound Absorption. *Indian Journal Of Fibre & Textile Research*, 37, 385-388.
- Wang, R. M., Zheng, S. R., & Zheng, Y. G.** (2011). *Polymer Matrix Composites And Technology*. Elsevier.
- Wang, W., Deng, S., Zhao, D., Zhao, L., Lin, S., & Chen, M.** (2020). Application Of Machine Learning into Organic Rankine Cycle For Prediction And Optimization Of Thermal And Exergy Efficiency. *Energy Conversion And Management*, 210, 112700.
- Wen, S., Buyukada, M., Evrendilek, F., & Liu, J.** (2020). Uncertainty And Sensitivity Analyses Of Co-Combustion/Pyrolysis Of Textile Dyeing Sludge And Incense Sticks: Regression And Machine-Learning Models. *Renewable Energy*, 151, 463-474.
- Winkler-Schwartz, A., Bissonnette, V., Mirchi, N., Ponnudurai, N., Yilmaz, R., Ledwos, N., ... & Del Maestro, R. F.** (2019). Artificial Intelligence In Medical Education: Best Practices Using Machine Learning To Assess Surgical Expertise in Virtual Reality Simulation. *Journal Of Surgical Education*, 76 (6), 1681-1690.
- Xiang, H. F., Wang, D., & Liua, H. C.** (2013). Investigation On Sound Absorption Properties Of Kapok Fibers. *Chinese Journal Of Polymer Science*, 31 (3), 521-529.
- Yang, D., & Mak, C. M.** (2017). An Assessment Model Of Classroom Acoustical Environment Based On Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. *Applied Acoustics*, 127, 292-296.
- Yang, S., Yu, W., & Pan, N.** (2011). Investigation Of The Sound-Absorbing Behavior Of Fiber Assemblies. *Textile Research Journal*, 81 (7), 673-682.
- Yang, W., & Li, Y.** (2012). Sound Absorption Performance Of Natural Fibers And Their Composites. *Science China Technological Sciences*, 55 (8), 2278-2283.

- Yilmaz, N. D., Banks-Lee, P., Powell, N. B., & Michielsen, S.** (2011). Effects Of Porosity, Fiber Size, And Layering Sequence On Sound Absorption Performance Of Needle-Punched Nonwovens. *Journal Of Applied Polymer Science*, 121 (5), 3056-3069.
- Yuvaraj, L., Jeyanthi, S., & Mailan Chinnapandi, L. B.** (2019). Experimental And Finite Element Approach For Finding Sound Absorption Coefficient Of Bio-Based Foam. *Journal Of Vibroengineering*, 21 (6), 1761-1771.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy Sets. *Information And Control*, 8(3), 338-353.
- Zain, M. F. M., Islam, M. N., Mahmud, F., & Jamil, M.** (2011). Production Of Rice Husk Ash For Use in Concrete As A Supplementary Cementitious Material. *Construction And Building Materials*, 25 (2), 798-805.
- Zulkifh, R., Nor, M. M., Tahir, M. M., Ismail, A. R., & Nuawi, M. Z.** (2008). Acoustic Properties Of Multi-Layer Coir Fibres Sound Absorption Panel. *Journal Of Applied Sciences*, 8 (20), 3709-3714.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Oya Keskin

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı (Tez Başlığı: Havalimanı Gürültü Haritalarının Hazırlanması: İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Örneği)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012-2019 İstanbul Kültür Üniversitesi, Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi
- 2019-devam Antalya Bilim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü'nde öğretim görevlisi ve bölüm başkan yardımcısı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Keskin, O., & Demirkale, S. Y.** (2020). Su Kabağı Lifi (*Luffa Cylindrica*)-Epoksi Kompozitinde Sesin Yutulma Performansını Etkileyen Parametreler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 201-208.
- **Keskin, O., & Yılmaz, S.** (2019). Parameters affecting sound absorption in fiber composites: A case study for *Luffa Cylindrica*. *IDES'19 International Design and Engineering Symposium: Sustainability, Innovation, Production*. İzmir Demokrasi Üniversitesi, İzmir.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Keskin, O., & Yılmaz, S.** (2015). Airport noise mapping-a case study at İstanbul Sabiha Gökçen International Airport. *Internoise 2015*, San Francisco.

- **Keskin, O., & Yılmaz, S. (2015).** İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı 2012 Yılı Kalkış Gece Gürültüsü Haritalama Çalışması. *11. Ulaştırma Kongresi*, İstanbul.
- **Keskin, O., & Yılmaz, S. (2015).** Havalimanı Gürültüsünün Yayılması ve Gürültü Haritalama Çalışması. 11.Ulusal Akustik Kongresi, İstanbul.

