



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**EKLEMELİ ÜRETİM YÖNTEMİYLE
ÜRETİLEN PARÇALARIN FARKLI
YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN
AKUSTİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Osman Oğuzhan KOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Osman Oğuzhan KOÇ tarafından hazırlanan “Eklemeli Üretim Yöntemiyle Üretilen Parçaların Farklı Yazdırma Parametrelerinin Akustik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 27/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Ahmet CAN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet MERAM

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ümit ÖNEN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Osman Oğuzhan KOÇ

Tarih: 27.01.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKLEMELİ ÜRETİM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN FARKLI YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman Oğuzhan KOÇ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet MERAM

2021, 94 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet MERAM

Dr. Öğr. Üyesi Ümit ÖNEN

Doç. Dr. Ahmet CAN

Tez çalışmasında FDM metoduyla ABS ve PLA materyallerden farklı yazdırma koşulları ile üretilmiş numunelerin ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı sonuçları araştırılmıştır. Silindirik şeklindeki numunelerin iç yapısı farklı doluluk oranlarında kare ve altıgen şekilden oluşmaktadır. İç yapısı kare olan silindirik şeklindeki numuneler % 10, 30 ve 50 doluluk oranlarında üretilmiştir. İç yapısı altıgen olan silindirik şeklindeki numuneler % 10, 20 ve 30 doluluk oranlarında üretilmiştir. Numunelerin boyu 30 mm ve çapı 29 mm'dir. Numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında iki mikrofonlu empedans tüpünde transfer fonksiyonu metoduyla ölçülmüştür. En yüksek ses yutma katsayısı sonuçları iç yapısı kare olan silindirik şeklindeki numunelerde % 50 doluluk oranında saptanmıştır. İç yapısı kare numunelerin en yüksek ses yutma katsayısı değerlerinin 2500-3500 Hz frekans aralığında olduğu tespit edilmiştir. Empedans tüpünde en yüksek ses yutma katsayısı değeri % 50 doluluk oranındaki iç yapısı kare olan ABS malzemeden üretilen numunede 2912 Hz frekansında 0,539 ölçülmüştür. Numunelerin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bandı değerlerinde dört mikrofonlu empedans tüpüyle ölçülmüştür. Numunelerin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bandı değerlerinde yaklaşık 13-58 dB arasında değişmektedir. En yüksek ses iletim kaybı değerleri % 30 doluluk oranındaki iç yapısı kare olan PLA malzemeden üretilen numunede tespit edilmiştir. Maksimum ses iletim kaybı değeri % 30 doluluk oranındaki iç yapısı kare olan PLA malzemeden üretilen numunede 2500 Hz frekansında yaklaşık 58 dB ölçülmüştür. 3D yazdırma teknolojisiyle üretilen parçaların geometrik şekillerinin, malzemelerinin ve doluluk oranlarının farklı olmasının akustik performansı etkilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: akustik performans, 3D yazdırma teknolojisi, empedans tüp, ses iletim kaybı, ses yutma katsayısı

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT PRINTING PARAMETERS ON ACOUSTIC PROPERTIES OF PRODUCTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

Osman Oğuzhan KOÇ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet MERAM

2021, 94 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ahmet MERAM

Asst. Prof. Dr. Ümit ÖNEN

Assoc. Prof. Dr. Ahmet CAN

In the thesis, the sound absorption coefficient and sound transmission loss values of specimens produced by FDM method with different printing conditions from PLA and ABS materials have been investigated. Internal structure of the cylindrical samples consists of square and hexagonal shapes with different infill ratios. Cylindrical samples with square internal structure have produced with 10, 30 and 50 % infill ratios. Cylindrical samples with hexagonal internal structure have produced with 10, 20 and 30 % infill ratios. The dimensions of specimens are 29 mm diameter and 30 mm length. The sound absorption coefficient results of the samples were measured with the transfer function method with two microphone impedance tube in the range of 500-6400 Hz. The highest sound absorption coefficient results were determined at cylindrical samples with square internal structure with 50 % infill ratio. It has been determined that the highest sound absorption coefficient values of the samples with square internal structure are in the frequency range of 2500-3500 Hz. The highest sound absorption coefficient value in the impedance tube was measured at 0,539 at 2912 Hz frequency in sample with square internal structure, which is made of ABS material with 50 % infill ratio. The sound transmission loss values of the samples were measured with four microphone impedance tube at 1/3 octave band values in the range of 500-6300 Hz. The sound transmission loss values of the samples vary between approximately 13-58 dB at 1/3 octave band values in the range of 500-6300 Hz. The highest sound transmission loss values were determined in the sample produced of PLA material with square inner structure at 30 % infill ratio. The maximum sound transmission loss value was measured approximately 58 dB at a frequency of 2500 Hz in the sample produced from PLA material, which has a square inner structure at 30 % infill ratio. It was concluded that different geometric shapes, materials and infill ratios affect the acoustic performance of parts produced by 3D printing technology.

Keywords: acoustic performance, 3D printing technology, impedance tube, sound absorption coefficient, sound transmission loss

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın tamamlanmasında desteklerinden dolayı danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Meram' a, aileme ve empedans tüpünde akustik analizlerin yapılmasında yardımcı olduğu için Dr. Sinem Öztürk' e teşekkür ederim.

Osman Oğuzhan KOÇ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Eklemeli Üretim.....	1
1.1.1. Eklemeli üretimin başlıca aşamaları	1
1.1.1.1. Bilgisayar destekli tasarım.....	1
1.1.1.2. Stl formatı	1
1.1.1.3. Stl dosyasının düzenlenmesi	2
1.1.1.4. Makine ayarları	2
1.1.1.5. Katmanlı üretim aşaması	2
1.1.1.6. Üretilen parçaların çıkartılması	2
1.1.1.7. Üretim sonrası işlemler	2
1.1.1.8. Uygulama.....	3
1.1.2. Eklemeli üretimin avantajları ve dezavantajları	3
1.1.2.1. Eklemeli üretimin avantajları.....	3
1.1.2.2. Eklemeli üretimin dezavantajları	4
1.1.3. Eklemeli üretimin kullanım alanları	4
1.2. Akustikle İlgili Temel Bilgiler.....	6
1.2.1. Ses dalga boyu, frekans, periyot, sesin yayılma hızı	6
1.2.2. Desibel, ses gücü düzeyi, ses basıncı düzeyi, ses şiddeti düzeyi.....	7
1.2.3. Oktav bantları	10
1.3. Başlıca Akustik Özellikler	11
1.3.1. Ses yutma katsayısı	11
1.3.2. Ses iletim kaybı.....	13
1.4. Akustiği Etkileyen Malzeme Özellikleri	13
1.4.1. Akış direnci.....	13
1.4.2. Gözeneklilik.....	14
1.4.3. Kalınlık	14
1.4.4. Yoğunluk	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Fdm Metodu.....	20
3.1.1. Önemli yazdırma kriterleri.....	21
3.2. Fdm Metoduyla Üretilen Parçalar.....	23

3.3. Tek Periyodik Durum İçin Birim Kesit Analizi.....	24
3.4. Empedans Tüpü Ölçüm Metodu	26
3.4.1. Kararlı dalga metodu	26
3.4.2. Transfer fonksiyon metodu.....	27
3.4.2.1. Iso standardına göre iki mikrofon transfer fonksiyon metodu.....	27
3.4.3. Dört mikrofon tekniği	31
3.4.4. Ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı ölçümlerinin yapılışı.....	33
3.4.4.1. Ses yutma katsayısı ölçümlerinin yapılışı.....	33
3.4.4.2. Ses iletim kaybı ölçümlerinin yapılışı	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	36
4.1. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	36
4.2. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	38
4.3. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları.....	40
4.4. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	42
4.5. Altıgen Desenli % 10 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	44
4.6. Altıgen Desenli % 20 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	45
4.7. Altıgen Desenli % 30 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	46
4.8. Kare Desenli % 10 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları ..	46
4.9. Kare Desenli % 30 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları ..	47
4.10. Kare Desenli % 50 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	48
4.11. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	49
4.12. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	50
4.13. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları.....	51
4.14. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları	52
4.15. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları	52
4.16. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları	55
4.17. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları	57
4.18. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları	59
4.19. Tartışma	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5.1 Sonuçlar	66
5.2 Öneriler	69
KAYNAKLAR	70
EKLER	74
ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- T : Periyot (s)
f : Frekans (Hz)
 λ : Dalga boyu (m)
c : Sesin yayılma hızı (m/s)
 W_0 : Referans ses gücü seviyesi (W)
W : Ses gücü seviyesi (W)
 L_W : Ses gücü düzeyi (dB)
 p_{rms} , p : Ses basıncının karesel ortalamasının karekökü (Pa)
p(t) : Zamana bağlı değişen ses basıncı (Pa)
 L_p : Ses basınç düzeyi (dB)
 p_{ref} : Referans ses basıncı değeri (μ Pa)
A : Ses şiddetinin hesaplanması için gerekli küresel alan (m^2)
I : Ses şiddeti (W/m^2)
 ρ : Ortam yoğunluğu (kg/m^3)
 L_I : Ses şiddeti düzeyi (dB)
 I_0 : Referans ses şiddeti değeri (W/m^2)
 f_1 : Alt frekans değeri (Hz)
 f_2 : Üst frekans değeri (Hz)
 f_0 : Merkez frekansı (Hz)
 α : Ses yutma katsayısı
 E_a : Malzeme tarafından absorbe edilen ses enerjisi (J)
 E_i : Malzemeye gelen ses dalgalarının toplam enerjisi (J)
u : Akustik parçacık hızı (m/s)
 Z_s : Spesifik akustik empedans (Pa.s/m)
 E_t : Malzemedan iletilen ses enerjisi (J)
 σ_a : Spesifik hava akış direnci (MKS rayl)
 S_y : Numunenin bir yüzeyinin yüzey alanı (m^2)
 ΔP : Statik basınç değeri (Pa)
V : Numuneden geçen havanın hacmi (m^3)
 σ : Akış direnci (MKS rayl/m)
 D_t : Birim kalınlık değeri (m)
S : Birim hücrenin içinin kesit alanı (m^2)
 S_0 : Duvar kalınlığının yarısı dahil olan birim hücrenin kesit alanı (m^2)
 $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}$: Transfer matrisinin elemanları
 Z_1 : Düzlem 1' deki spesifik akustik empedans (Pa.s/m)
 u_1 : Düzlem 1' deki akustik parçacık hızı (m/s)
 p_1 : Düzlem 1' deki ses basıncı (Pa)
 p_2 : Düzlem 2' deki ses basıncı (Pa)
 u_2 : Düzlem 2' deki ses hızı (m/s)
 p_s : Spesifik akustik empedansı belirleyen basınç değeri (Pa)
 u_s : Spesifik akustik empedansı belirleyen hız değeri (m/s)
 P_{max} : Maksimum basınç değeri (Pa)
 P_{min} : Minimum basınç değeri (Pa)
 P_i, p_I : Malzemeye gelen ses dalgalarının basıncı (Pa)
 P_r, p_R : Malzemedan yansıyan ses dalgalarının basıncı (Pa)

R : Ses yansıtma katsayısı
 c_a : Havadaki ses hızı (m/s)
 f_u : Üst frekans limiti (Hz)
 f_L : Alt frekans limiti (Hz)
 c_0 : Ses hızı (m/s)
 d_e : Empedans tüpünün iç çapı (m)
 s : Mikrofonlar arasındaki mesafe (m)
 \hat{p}_I : Test numunesine gelen ses basıncının büyüklüğü (Pa)
 k_0 : Ses dalga sayısı
 \hat{p}_R : Test numunesinden yansıyan ses basıncının büyüklüğü (Pa)
 p_1, p_2 : Mikrofonların ölçtüğü ses basıncı değerleri (Pa)
 x_1, x_2 : Mikrofonların konum değerleri (m)
 H_I : Malzemeye gelen ses dalgalarının transfer fonksiyonu
 H_R : Malzemedenden yansıyan ses dalgalarının transfer fonksiyonu
 H_{12}^A : Normal konumunda olan mikrofonlardan ölçülen transfer fonksiyonu
 H_{12}^B : Mikrofonlar yer değiştirdiğinde ölçülen transfer fonksiyonu
 \widehat{H}_{12} : Doğrulanmamış transfer fonksiyonu
 $\hat{\phi}$: Doğrulanmamış faz açısı
 ϕ_c : Kalibrasyon faktörünün hesaplanmasında kullanılan faz açısı
 \widehat{H}_R : Doğrulanmamış \widehat{H}_{12} transfer fonksiyonun reel kısmı
 \widehat{H}_I : Doğrulanmamış \widehat{H}_{12} transfer fonksiyonun sanal kısmı
 H_c : Kalibrasyon faktörü
 H_{12} : Doğrulanmış transfer fonksiyonu
 A : Test numunesine gelen ses dalgalarının genliği
 B : Test numunesinden yansıyan ses dalgalarının genliği
 C : Test numunesinden iletdikten sonra empedans tüpünün sonuna doğru ilerleyen ses dalgalarının genliği
 D : Mikrofon 3 ve 4' ün bulunduğu bölümdeki yansıyan ses dalgalarının genliği
 $H_{1,ref}, H_{2,ref}, H_{3,ref}, H_{4,ref}$: İki yük durumuna göre mikrofonlardan ölçülen transfer fonksiyonları
 s_1, s_2, l_1, l_2 : Mikrofonların test numunesinin ön yüzeyine olan uzaklığını ve birbirlerine olan uzaklığını gösteren terimler (m)
 p_0 : Empedans tüpündeki test numunesinin ön yüzeyindeki basınç değeri (Pa)
 u_0 : Empedans tüpündeki test numunesinin ön yüzeyindeki akustik parçacık hızı (m/s)
 p_d : Empedans tüpündeki test numunesinin arka yüzeyindeki basınç değeri (Pa)
 u_d : Empedans tüpündeki test numunesinin arka yüzeyindeki akustik parçacık hızı (m/s)
 d : Test numunesinin kalınlığı (m)

Kısaltmalar

FDM : Fused Deposition Modeling
STL : Standard Tessellation Language
vb. : ve benzeri
3D : Three Dimensional
CNC : Computer Numerical Control
ABS : Acrylonitrile Butadiene Styrene
PLA : PolyLactic Acid
PC : Polycarbonate
SLS : Selective Laser Sintering

dB : Desibel (Decibel)
RMS : Root Mean Square
TL : Transmission Loss
FPF : Flexible Polyurethane Foam
RPF : Rigid Polyurethane Foam
GW : Glass Wool
SLA : Stereolithography Apparatus
TPU : Thermoplastic Polyurethane
PPM : Porous Polycarbonate Material
MTS : Mixed Triarylsulfonium Salts
MPPA : Micro-perforated Panel Absorber
HIPS : High Impact PolyStyrene
PA : Polyamide
et al. : ve diğeri
ark. : arkadaşı, arkadaşları
A. R. : Açıklık Oranı
swr : standing wave ratio
ISO: International Organization for Standardization
ANSI: American National Standards Institute
FFT: Fast Fourier Transform
I.P. : Infill Percentage
I.F.P. : Internal Fill Pattern
P.L.H. : Primary Layer Height
B.S.L. : Bottom Solid Layers
O./P.S. : Outline/Perimeter Shells

1. GİRİŞ

Eklemeli üretim yöntemi malzemelerin çeşitli yöntemlerle birbiriyle birleşmesini sağlayan ve talaşlı imalat yöntemlerine göre malzemedan talaş kaldırmak yerine malzemelerin sıfırdan sürekli katman üretilerek oluşturulmasıyla elde edilen bir üretim yöntemidir. Eklemeli üretim yöntemi ile ilgili çalışmalar yapılarak bu yöntemin hangi alanlarda uygulanabileceği araştırılmaktadır. Sanayi kuruluşlarında insan sağlığını koruyabilmek için ses yalıtımı sağlayabilen ve sesi istenilen düzeylere kadar sönmüleyebilen malzemeler ile ilgili çalışmalar, araçlarda yolcu koltuklarında ve araçların iç kısımlarında gürültüyü azaltabilen akustik malzemeler ile ilgili çalışmalar, uçaklarda kabin gürültüsünü azaltabilmek için yapılan çalışmalar vb. akustikle ilgili yapılan çalışmalara örnek gösterilebilir. Bu tez çalışmasında FDM tekniğiyle üretilen numunelerin ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri araştırılmıştır.

1.1. Eklemeli Üretim

Eklemeli üretim, bilgisayar destekli tasarım programlarından elde edilen verilerle ve dilimleme yazılımları aracılığıyla katman katman sıfırdan cisimlerin üretilmesi olarak tanımlanabilir. Başka üretim süreçlerinde ayrıntılı analiz edilecek ve hassas işlenecek kısımlar için kullanılan yöntemler kullanılmadan ve ekstra cihaza gereksinim duymadan basitçe eklemeli üretimle üç boyutlu nesnelere üretilir.

1.1.1. Eklemeli üretimin başlıca aşamaları

Eklemeli üretimde üretilecek olan cisimlere üretim aşamasından önce, üretim aşaması sırasında ve üretim aşamasından sonra sırasıyla uygulanması gereken aşamalar vardır.

1.1.1.1. Bilgisayar destekli tasarım

Üretimi yapılması gereken nesnelere geometrik şeklinin ve boyutlarının bilinmesi gerekir ve nesnelere üretilmesinde uygun yöntemlerin belirlenmesi gerekir. Bilgisayar destekli tasarım programları sayesinde üç boyutlu nesnelere tasarlanmaktadır. Katmanlı üretimin birinci aşaması nesnelere bilgisayar ortamında hazırlanmasıdır.

1.1.1.2. Stl formatı

Stl formatında bilgisayar destekli tasarım programlarında oluşturulan nesnelere üretim aşamasındaki konumlarının belirlenmesi için uygun ölçülerde üçgenel şekiller oluşturulur ve üçgenel şekiller nesnenin dış yüzeyini gösterir. Daha iyi çözünürlükle hassas yazdırmanın sağlanması için tercih edilen bir formattır (Özsoy, ve ark., 2017).

1.1.1.3. Stl dosyasının düzenlenmesi

Stl formatıyla kaydedilen üç boyutlu cisimlerin yazdırılmadan önce eklemeli üretimin gerçekleştirileceği cihazın kullandığı yazılımda tekrar düzenlenmesi, istenmeyen geometrilerin düzeltilmesi, koordinat sisteminin ayarlanması ve birden fazla cismin üretiminin gerçekleştirilebileceği tabla üzerinde yeniden modellenmesi gerekebilir. Düzenleme yapılmadan üretimin gerçekleşmesi hatalara neden olabilir. Eklemeli üretimin yapılacağı cihazda çeşitli parametrelerin (yazdırma hızı, yazdırma sıcaklığı, eksenlerin hızı vb.) ayarlamaları yapılmadan önce stl dosyası mutlaka kontrol edilmeli ve hatalar varsa düzeltilmelidir.

1.1.1.4. Makine ayarları

3D cismin tasarımına son hali verildikten sonra cismin fonksiyonuna, kullanım amacına uygun olarak belirli yazdırma parametrelerinin eklemeli üretim cihazının kullandığı programda ayarlanması gereklidir. Örneğin, yazdırma hızı, yazdırma sıcaklığı, eksenlerin hızı, tabla sıcaklığı, katman kalınlığı, nozul çapı, yazdırma deseni vb. parametreler belirlenerek eklemeli üretimin hazırlık aşaması tamamlanır ve üretilecek nesnenin üretimine başlanabilir.

1.1.1.5. Katmanlı üretim aşaması

Cihaza üretilecek parçanın tüm yapım aşamaları tanımlandıktan sonra sıfırdan katmanlar halinde üretim gerçekleştirilir. Hata çıkmadığı sürece katmanlı üretim aleti otomatik olarak aynı işlemleri yapmaya devam eder.

1.1.1.6. Üretilen parçaların çıkartılması

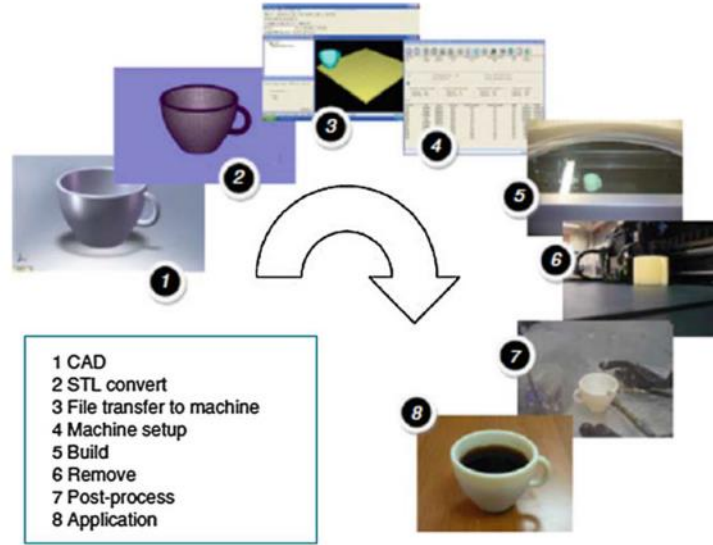
FDM metodunda üretimi tamamlanan parçaların genellikle üretimin yapıldığı yerin üzerinden ayrılması manuel olarak yapılır. Çıkartma işlemi yapılırken dikkatli olunması ve parçaya fonksiyonunu engelleyecek ya da şeklini bozacak zararlar verilmemesi gerekir.

1.1.1.7. Üretim sonrası işlemler

Talaşlı imalat yöntemlerinde uygun yüzey kalitesinin, hassasiyetin sağlanması için taşlama, raybalama, kumlama gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerin amacı istenen yüzey pürüzlülüğü hassasiyetinin sağlanarak üretimi gerçekleştirilen parçanın işlevini yerine getirmesini sağlamaktır. Eklemeli üretimde de üretilen parçalar her zaman istenen hassaslıkta elde edilemeyebilir bu nedenle üretim sonrası zımparalama, taşlama gibi bazı teknikler uygulanabilir.

1.1.1.8. Uygulama

Üretim sonrasında yapılması gereken işlemleri tamamlanan ürünlerin uygulaması yapılır. İstenen özellikleri, fonksiyonları karşılamayan ürünlerin hatalara sebep olabilecek durumları incelenerek tekrar üretim aşamalarında düzenlenmesi gereken yerleri yapıldıktan sonra uygulama aşamasına geçilir. Bu şekilde nihai ürün elde edilebilir. Şekil 1.1. de eklemeli üretimin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Eklemeli üretimin aşamaları (Gibson, ve ark., 2014)

1.1.2. Eklemeli üretimin avantajları ve dezavantajları

1.1.2.1. Eklemeli üretimin avantajları

Atık miktarının azlığı: Geleneksel imalat yöntemlerinde belirli boyutlardaki ham maddeden malzeme azaltılarak ya da talaş kaldırılarak nihai ürün elde edildiği için eklemeli imalata göre daha fazla atık malzeme ortaya çıkar. Eklemeli imalatta istenen ürün başlangıçtan başlayarak istenen ölçülerde katmanlar halinde, katmanların birbirlerine eklenerek elde edilmesiyle oluştuğu için neredeyse hiç atık olmadan ya da çok az atık malzemeyle üretim gerçekleştirilir.

Üretim kolaylığı ve az maliyet: Karmaşık geometrik yapıya sahip modellerin üretiminde birden fazla üretim prosesine (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) ihtiyaç duyulur ancak eklemeli üretimde cihazın koordinat sisteminde tanımlanan işleme yörüngesinde başka prosese gerek kalmadan modeller üretilebilir. Ayrıca CNC tezgahlarında bulunan ekipmanlar (taretler, aynalar, takımlar, hidrolik ve pnömatik

kontrol mekanizmaları vb.) oldukça maliyetli olduğundan dolayı eklemeli üretim diğer üretim yöntemlerine göre daha az maliyetli olabilme avantajına sahiptir.

Ekstra cihaza gereksinimin olmaması: Talaşlı imalatta üretimin gerçekleştirilebilmesi için genellikle birçok kesici takım kullanılır. Kesme, delme, hassas işleme, kaba işleme vb. gibi aşamalar için ayrı ayrı kesici aletlerin kullanılması gerekiyken eklemeli imalatta harici bir cihaza ihtiyaç duyulmadan üretim gerçekleştirilebilir.

Geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı: Eklemeli üretimde ABS, PLA gibi çevre kirliliğini önleyebilecek geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılır (Berman, ve ark., 2012).

1.1.2.2. Eklemeli üretimin dezavantajları

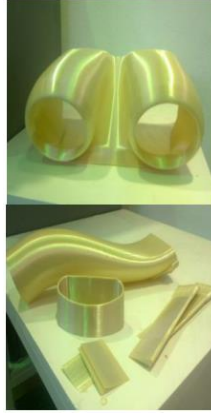
Boyutlarda Kısıtlama: Üretilecek parçanın uzunluk, genişlik ve derinliği eklemeli imalatta geleneksel imalata göre daha sınırlıdır. Eklemeli imalatta boyut kısıtlamasından dolayı daha küçük boyutlardaki nesnelere üretim tercih edilmektedir.

Yüzey Hatalarının Oluşması: Eklemeli üretimde eriyik filamentlerin, toz partiküllerin kullanımı gibi farklı teknikler görüldüğü için farklı yüzey pürüzlülükleri oluşmaktadır. Oluşturulan katmanların birbirine tutunmasında ya da yapışmasında boşluklar, kaymalar gibi hassaslığı etkileyebilecek hatalar oluşabilmektedir. Bazı durumlarda eklemeli üretimde elde edilen ürün doğrudan kullanılacak kadar iyi yüzey kalitesinde olmadığı gibi ilave yüzey kalitesini artıracak işlemlere (taşlama, zımparalama vb.) tabi tutulur. Hatalı yüzeyler eklemeli üretimin olumsuz sonuçlarından biridir.

Malzeme çeşitliliğinin azlığı: Katmanlı imalatın dezavantajlarından birisi kullanılabilir malzemelerin sınırlı olmasıdır. Eklemeli üretimde tercih edilen bazı malzemeler: ABS, PLA, PC gibi polimerler; bazı alüminyum ve titanyum alaşımları; silika, porselen gibi bazı seramik malzemelerdir.

1.1.3. Eklemeli üretimin kullanım alanları

Havacılık uygulamaları: Uçaklarda, insansız hava araçlarında kullanılan bileşenlerin eklemeli üretimle üretilebilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Eklemeli üretimle daha hafif, mukavemetli yapıların yapılabilmesi araştırma konusudur. ABS, PC gibi malzemeler kullanılarak insansız hava araçlarında kullanılan bir takım bileşenler Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.' de üretilmektedir. Bu bileşenlerden bazıları şekil 1.2. de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. İnsansız hava araçları için fdm tekniğiyle üretilmiş bileşenler (Aktimur, ve ark., 2015)

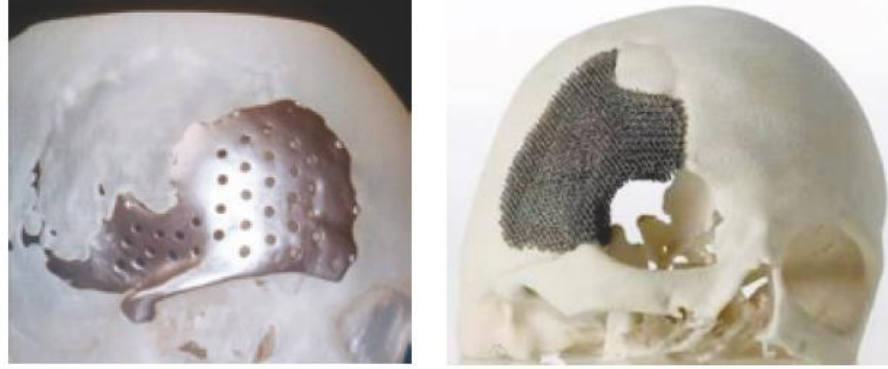
GE Aviation şirketi uçak motorunun yakıt nozulunu eklemeli üretim yöntemlerinden biri olan lazer eritme işlemiyle üretmiştir ve yapılan testlerde onaylanan motor sivil havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca eklemeli üretim ile daha az parça kullanılarak maliyet azaltılmış ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Hindustan Aeronautics şirketi bir uçak motoru prototipini naylon malzemeden SLS metoduyla üretmiştir. Ayrıca rotor kanatları, kabin destekleri, jet motoru parçaları vb. havacılıkla ilgili parçaların katmanlı üretimle imal edilmesi durumu incelenmektedir. Şekil 1.3. te yakıt nozulu temsili gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Eklemeli üretimle üretilmiş yakıt nozulu (Wimpenny, ve ark., 2017)

Taşıt uygulamaları: Araçlarda maliyeti, ağırlığı azaltabilmek ve dayanıklılığı artırabilmek gibi amaçlarla eklemeli üretimle ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Fren sistemleri, dişli kutusu, içten yanmalı motorun yanma odası bileşenleri vb. ile ilgili geniş araştırmalar yapılmakta ve sonuçlar analiz edilmektedir (Prakash, ve ark., 2018).

Sağlık uygulamaları: Sağlık sektöründe eklemeli üretimin uygulanabilirliği araştırılmaktadır ve eklemeli üretimle yapılmış çalışmalar mevcuttur. Katmanlı imalatla yapılmış implantlar vardır. Şekil 1.4. te kafatası implantlarına örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Eklemeli üretimle üretilmiş kafatası implantı örnekleri (Gebhardt, 2011)

1.2. Akustikle İlgili Temel Bilgiler

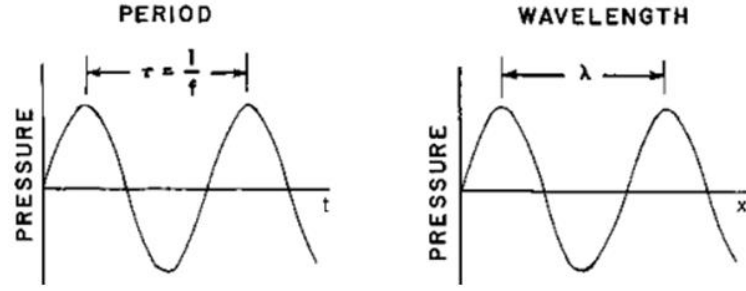
Ortamdaki moleküllerin titreşimi sayesinde meydana gelen dalgaların yayılması sonucunda basınç değişimleri meydana gelir ve bu basınç değişimleri sesi oluşturur. Akustik biliminin anlaşılabilmesi için sesle alakalı temel bilgilerin öğrenilmesi gereklidir.

1.2.1. Ses dalga boyu, frekans, periyot, sesin yayılma hızı

Ses dalgasının basıncının bulunduğu ortamdaki atmosfer basıncından farkının maksimum olduğu değer genlik olarak tanımlanır. Birbirini takip eden iki genliğin oluşabilmesi için geçen süreye periyot denir. Ayrıca periyot bir basınç farklılığının çevriminin tekrarlanması için geçen zaman sürecidir. Frekans, birbirini izleyen iki basınç değerinin belirli bir zaman diliminde tekrarlanma sayısıdır. Başka ifadeyle basınç farklılığı çevriminin belirli zaman sürecindeki sayısı frekansı açıklar. Periyot genellikle T ile gösterilirken frekans f ile gösterilir. Periyodun birimi saniye (s) ve frekansın birimi Hertz (Hz)' dir. Frekans ile periyot arasındaki bağıntı denklem 1.1 de gösterilmiştir.

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.1)$$

Ayrıca ses dalgalarının oluşturduğu basıncın mesafeyle değişimi dalga boyu ile ilgilidir. Birbirini takip eden iki benzer noktanın arasındaki mesafe dalga boyu ile açıklanır. Şekil 1.5. te örnek dalga boyu ve periyot gösterilmiştir. Bu şekilde t zamanı, x ise mesafeyi temsil etmektedir.



Şekil 1.5. Örnek dalga boyu ve periyot (Barron, 2002)

Sesin belli bir sürede katettiği mesafeye sesin yayılma hızı denir ve c ile gösterilir. Denklem ifadesiyle de sesin yayılma hızı, dalga boyunun periyoda oranıdır. Denklem 1.2 de sesin yayılma hızının denklemi gösterilmiştir. Denklem 1.2 de λ dalga boyunu, T periyodu göstermektedir.

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (1.2)$$

1.2.2. Desibel, ses gücü düzeyi, ses basıncı düzeyi, ses şiddeti düzeyi

Ses kaynaklarından dalgalar halinde yayılan seslerin belirli hızları, güçleri, basınçları ve şiddetleri vardır. Desibel, ses kaynağından çıkan sesin gücünün seviyesinin, referans bir ses gücü seviyesine bölümünün logaritmik değerinin 10 katıyla ifade edilen bir terimdir. Denklem 1.3 te desibel (dB) formülle gösterilmiştir. Bu denklemde W ölçülmek ya da hesaplanmak istenen ses gücü seviyesini, W_0 referans bir ses gücü seviyesini gösterir.

$$\text{dB} = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (1.3)$$

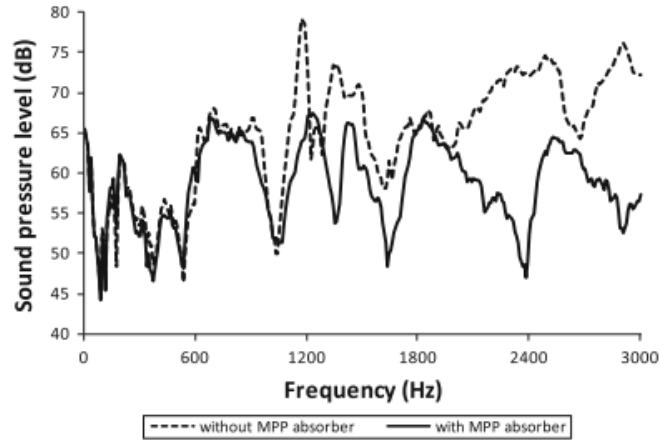
Bir ses üreten cihazın ürettiği sesin birim zamanda oluşturduğu enerji o cihazın oluşturduğu sesin gücüdür. Bu gücün seviyesi ya da düzeyi ses gücü düzeyi ile ifade edilir. W_0 değeri genellikle 10^{-12} W olarak alınmaktadır. Ses gücü düzeyi L_W denklem 1.4 te gösterilmiştir.

$$L_W = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \quad (1.4)$$

Harmonik özelliğe sahip olan seslerin hangi sürelerde kaç defa salınım yaptıkları ve en yüksek basınç değerleri (frekansları ve genlikleri) bilindiği için bu sesleri tanımlamak kolaydır. Bu tip sesler tek basınç değeriyle ve frekansla açıklanabilir ancak günlük hayatımızda karşımıza çıkan çoğu ses karmaşık sestir. Değişken genliklere ve periyotlara sahip olan sesler kompleks ya da karmaşık ses olarak tanımlanabilir.

Karmaşık sesleri tanımlamak için rms kavramı kullanılır ve rms, ses basınç değerlerinin karelerinin ortalama değerinin karekökünün hesaplanmasıyla bulunur ve p_{rms} ifadesi denklem 1.5 te açıklanmıştır. Denklem 1.5 te p_{rms} ses basıncının rms değerini, $p(t)$ zamana bağlı farklılık gösteren ses basıncını, T süreyi temsil etmektedir. Harmonik sesler için ise T periyodu temsil eder.

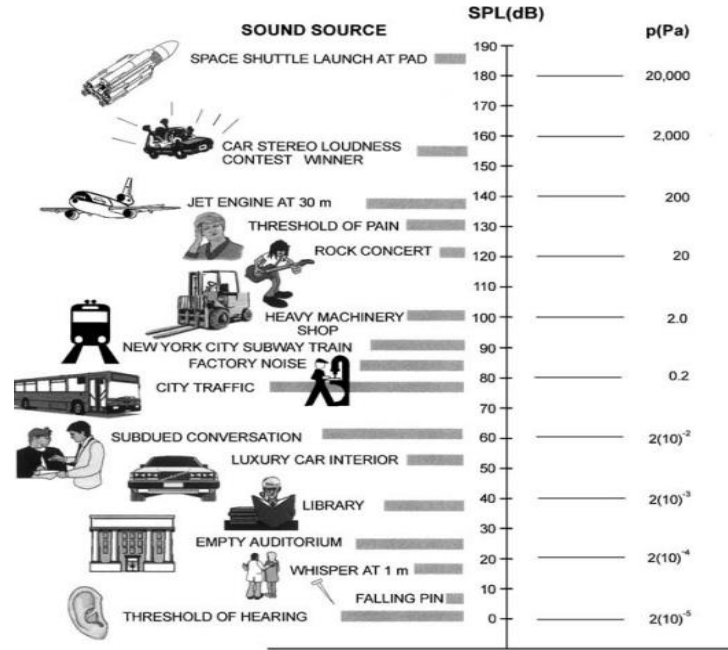
$$p_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.5)$$



Şekil 1.6. Karmaşık ses örneği (Li, ve ark., 2010)

Şekil 1.6. da delikli panellerle yapılmış bir çalışmanın sonuçlarına ait bir grafik verilmiştir ve bu grafikten elde edilen sonuçlara bakıldığında ses basınç seviyelerinin frekansa bağlı değiştiği görülmektedir. Farklı frekans değerlerinde farklı ses basınçları oluşmuş sonuçta bu tür sesler harmonik veya periyodik değildir, karmaşık sestir. Ses basıncı değerlerinin ses gücü değerlerinde olduğu gibi akustikle ilgili analizleri daha iyi yapabilmek için belli bir standartta ifade edilmesine ihtiyaç duyulmuştur ve ölçülmek istenen ses basıncı değerinin karesinin, bir referans ses basıncı değerinin karesine oranının logaritmik değerinin 10 katı ses basınç düzeyi ya da ses basınç seviyesi kabul edilmiştir. Denklem 1.6 da gösterilen terimlerde L_p ses basınç düzeyini veya seviyesini, p ses basıncının rms değerini, p_{ref} referans basınç değerini temsil etmektedir. Bir bireyin 1000 Hz frekansında duyabileceği sesin basıncının minimum olması gereken değer $20 \mu Pa$ olduğu için p_{ref} değeri $20 \mu Pa$ alınmıştır. Şekil 1.7. de bazı ses kaynaklarının ses basınç seviyeleri ve değerleri verilmiştir.

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} \quad (1.6)$$



Şekil 1.7. Bazı ses kaynaklarının ses basınç seviyeleri ve ses basınç değerleri (Raichel, 2006)

Sesin yayıldığı ortamın geometrik ve akustik özelliklerine, uzaklığa bağlı değişen belirli bir kaynaktan oluşan ses enerjisinin birim alandaki değeri ses şiddeti kavramıyla tanımlanabilir. Belli bir noktadaki ses şiddeti denklem 1.7 de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$I = \frac{W}{A} \quad (1.7)$$

Denklem 1.7 de ses kaynağından yayılan sesin gücü W ile gösterilirken, ses kaynağının bulunduğu yer merkez noktası olarak kabul edilince bu noktadan itibaren sesin şiddetinin hesaplanacağı yerin küresel alanı A ile gösterilmiştir. Ayrıca I ses şiddetini göstermektedir. Eğer ses analizi yapılan yerin ses basıncının rms değeri, sesin yayıldığı yerin yoğunluk değeri ve sesin yayılma hızı biliniyorsa ölçülmek istenen yerin kaynaktan yeteri kadar uzakta olması koşuluyla denklem 1.8 de verilen bağıntı ile de ses şiddeti hesaplanabilmektedir.

$$I = \frac{p_{rms}^2}{\rho c} \quad (1.8)$$

Denklem 1.8 de p_{rms} ses basıncının rms değerini, ρ ortam yoğunluğunu ve c sesin yayıldığı ortamdaki hızını temsil etmektedir. Ayrıca ses Şiddeti d¼zeyinin denklemi de denklem 1.9 da g¼sterilmiŐtir.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1.9)$$

Denklem 1.9 da L_I ses Şiddeti d¼zeyini, I_0 referans bir ses Şiddeti değerini temsil etmektedir. I_0 değeri 10^{-12} W/m² olarak hesaplamalarda kullanılmaktadır (Özg¼ven, 2008).

1.2.3. Oktav bantları

Doğada harmonik, periyodik ve karmaşık pek çok ses vardır. Sesin iletilmesi ya da sesin azaltılması için yapılan çalıŐmalarda insanların yaŐam koŐullarını iyileştirme temelli çalışmalar yapıldığından insanların hangi frekans aralıklarında sesleri iŐitebileceęinin bilinmesi gereklidir. Bazı kaynaklara g¼re insanların iŐitme aralığı 16-16000 Hz aralığı, bazı kaynaklara g¼re 20-20000 Hz aralığıdır ve bu aralıkların dıŐında kalan sesler insanlar tarafından algılanamamaktadır. G¼r¼ld¼ę¼ gibi insanın algılayabileceği frekans aralığı dar bir frekans aralığı değildir, oldukça geniş bir aralıktır. Frekans analizi yapılacak sistemlerde bu kadar geniş bir aralığın analizi her zaman m¼mk¼n olamayabilir. Bu geniş frekans aralığının analizi yapılırsa bile çok fazla zaman alacaktır ve her durum için gerekli değildir. Örneğin, 2000-3000 Hz aralığının incelenmesi gereken yerde 2000 Hz' in altı ile 3000 Hz' in ¼st¼ frekansların detaylı bir Şekilde incelenmesine gereksinim yoktur. Ayrıca ses ölç¼m sistemlerinde ses ölç¼m¼ yapılan cisme uygulanan mesafe, t¼p genişliği gibi fakt¼rlere g¼re ölç¼m¼ yapılabilecek frekans b¼lgeleri değişebilmektedir. Oktav bantları, analiz s¼resini azaltmak ve duyulabilir birbirine yakın seslerin incelenmesini kolaylaŐtırmak amaçlarıyla belirlenmiştir. Bazı özel frekans değerleri kabul edilerek bu frekans değerlerine oktav bandı denmiŐtir. Her oktav bandı alt, ¼st ve merkez frekans değerlerinden oluşmaktadır. Alt frekans değeri ¼st frekans değerinin yarısı kadardır. Merkez frekansı alt ve ¼st frekans değerlerinin geometrik ortalamasıyla ifade edilen bir kavramdır.

$$f_2 = 2f_1 \quad (1.10)$$

$$f_0 = \sqrt{2}f_1 = \frac{f_2}{\sqrt{2}} \quad (1.11)$$

Denklem 1.10 da g¼sterilen f_1 alt frekans değerini, f_2 ¼st frekans değerini temsil etmektedir. Denklem 1.11 de g¼sterilen f_0 merkez frekansını açıklamaktadır ve ANSI S1.6 standardının kabul¼ne g¼re oktav bantları merkez frekansları sırasıyla Őunlardır:

16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz değerleridir. Frekans değerlerinin yaklaşık iki katı belirlenmesinin sebebi, frekansların oranının tamsayılarla ifade edilmesiyle aynı notayla gösterilebilecek birbirine yakın seslerin işitilebilmesidir (Özgüven, 2008). Oktav bantlarında frekans değerleri arttıkça frekans değerleri arasındaki fark da artmaktadır. Bu nedenle yeterli ölçüm noktası alınmadığı için elde edilecek sonuçlar hassasiyet göstermez. Bundan dolayı merkez frekans değerlerinin eşit parçalara bölünmesiyle elde edilen 1/3, 1/10, 1/12 oktav bantlarının tercih edilmesi daha doğru olmaktadır.

Octave band center frequency	One-third octave band, center frequency	Band limits	
		Lower	Upper
31.5	25	22	28
	31.5	28	35
	40	35	44
63	50	44	57
	63	57	71
	80	71	88
125	100	88	113
	125	113	141
	160	141	176
250	200	176	225
	250	225	283
	315	283	353
500	400	353	440
	500	440	565
	630	565	707
1000	800	707	880
	1000	880	1130
	1250	1130	1414
2000	1600	1414	1760
	2000	1760	2250
	2500	2250	2825
4000	3150	2825	3530
	4000	3530	4400
	5000	4400	5650
8000	6300	5650	7070
	8000	7070	8800
	10000	8800	11300
16000	12500	11300	14140
	16000	14140	17600
	20000	17600	22500

Şekil 1.8. Oktav bantlarının merkez frekansları, 1/3 oktav bandı değerleri, bant limitleri (Kim, 2010)

Şekil 1.8. de oktav bantlarının merkez frekanslarının değerleri, 1/3 oktav bandı değerleri ve bu değerlere ait bant limitleri verilmiştir.

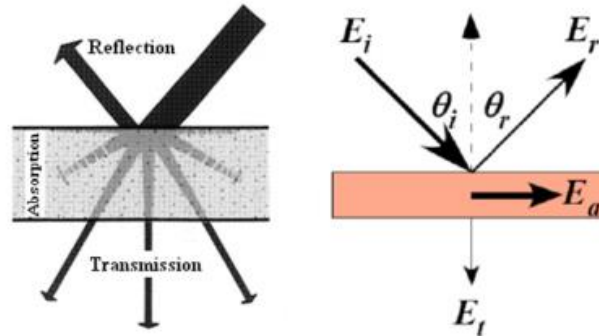
1.3. Başlıca Akustik Özellikler

Malzemelerin ses yutumu, ses iletimi gibi akustik performanslarını belirleyen, değişen frekans değerlerinde akustiğe olan etkilerin belirlenmesini sağlayan özellikler akustik özelliklerdir. İki temel akustik özellik ses yutma (absorbe etme, emme) katsayısı ve ses iletim kaybıdır ve bu iki değerlerin bilinmesiyle incelenen malzemelerin akustik analizi hakkında bilgiler elde edilir.

1.3.1. Ses yutma katsayısı

Doğada olan hammaddelerin ya da insan eliyle üretilmiş malzemelerin kendine özgü sesi absorbe edebilme özelliği vardır ve her ürün için sesi yutma kabiliyeti

değişmektedir. Malzeme tarafından emilen ya da yutulan ses enerjisinin, dalgalar halinde bulunduğu ortamda yayılan sesin sahip olduğu enerji değerinin hepsine oranıyla ses yutma katsayısı belirlenir ve α ile gösterilir. Ses yutma katsayısı değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Sesi hiç yutamayan malzemenin ses yutma katsayısı değeri 0' dır ve sesin tamamını yutabilen malzemenin ses yutma katsayısı değeri 1' dir. Ayrıca toplam ses enerjisinden yansıyan ses enerjisinin farkının toplam ses enerjisine oranı da ses yutma katsayısı değerini vermektedir. Malzeme yapısının gözeneklilik durumu, malzeme kalınlığı ve farklı frekans değerleri ses yutma katsayısı değerlerini etkilemektedir (Özgül, 2008). Malzemeye doğru gelen ses dalgalarının hareketi farklı davranışlar gösterir. Bu davranışlar şu şekildedir: malzemeye gelen ses enerjisi, malzemenin yüzeylerine çarpan ve yansıyan ses enerjisi, absorbe edilen ses enerjisi ve malzemeden geçen (iletilen) ses enerjisidir. Denklem 1.12 de ses yutma katsayısının denklemi gösterilmiştir. Şekil 1.9. da ses enerjisinin malzeme üzerindeki, içindeki ve dışındaki davranışları gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Ses enerjisinin davranışları (Bujoreanu, ve ark., 2017)

Ayrıca malzemenin içerisinden geçen ses dalgalarının ne kadarının iletildiğinin belirlenmesi gerekir. Frekans analizi yapılan nesnenin akustik performansı hakkında yeterli bilgiler sadece ses yutma katsayısı değerleri ile elde edilemeyeceğinden dolayı ses iletim kaybı değerlerinin de ölçülmesi gereklidir. Böylece analizi yapılan nesnelerin sesi daha iyi yutan mı yoksa sesi daha iyi ileten mi olabileceği ile ilgili yorumlar daha doğru bir şekilde yapılabilir.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (1.12)$$

Denklem 1.12 de α ses yutma katsayısı değerini, E_a absorbe edilen ses enerjisini, E_i gelen ses dalgalarının toplam enerjisini temsil etmektedir. Ayrıca spesifik akustik empedans kavramını da açıklamak gerekir. Spesifik akustik empedans, ses analizlerinde ses basıncı değerlerinin parçacık hızlarına oranlanmasıyla elde edilen bir terimdir. Akustik parçacık hızı ses dalgalarının ses analizi gerçekleştirilen malzemeden geçerken akışkan hareketliliğinden kaynaklanan hızına verilen isimdir. Denklem 1.13 te p ve u sırasıyla ses basıncı ve akustik parçacık hızı değerlerini gösterir. Z_s spesifik akustik empedansı temsil etmektedir, birimi Pa.s.m^{-1} (MKS rayı) ile ifade edilir (Barron, R. F., 2002).

$$Z_s = \frac{p}{u} \quad (1.13)$$

1.3.2. Ses iletim kaybı

Malzemeye gelen toplam ses enerjisinin, malzemeden iletilen ses enerjisine oranının logaritmik değerinin 10 katı o malzemenin ses iletim kaybı değerini vermektedir. Denklem 1.14 te ses iletim kaybı formülü gösterilmiştir.

$$TL = 10 \log \frac{E_i}{E_t} \quad (1.14)$$

Denklem 1.14 te gösterilmiş olan formülde E_i malzemeye gelen toplam ses enerjisini, E_t malzemeden iletilen ses enerjisini temsil etmektedir. TL ses iletim kaybını temsil etmektedir. Ses iletim kaybı değeri, frekans değerlerine ve malzemenin birim alanının kütleğine (yüzey yoğunluk değerine) göre farklılık göstermektedir (Özgüven, 2008). Ses iletim kaybı fazla olan malzemelerin tercih edilmesi ses yalıtımının belirlenebilmesi için önemlidir.

1.4. Akustiği Etkileyen Malzeme Özellikleri

1.4.1. Akış direnci

Akış direnci, bir malzemeye gelen ses dalgalarının malzemeden geçerken karşılaştığı tepkidir. Gelen ses dalgalarının geçişi sırasında malzeme havanın geçişine yönelik direnç uygular böylece hava akışı güçleşir, sesin yayılması zorlaşır. Statik basınç, malzeme kalınlığı ve akış hacmi gibi kavramlarla ilgilidir. Spesifik hava akış direnci denklem 1.15 te gösterilmiştir.

$$\sigma_a = \frac{TS_y \Delta P}{V} \quad (1.15)$$

Denklem 1.15 te σ_a spesifik hava akış direncini, T periyodu, S_y numunenin bir yüzeyinin yüzey alanını, ΔP statik basınç değerini, V numuneden geçecek olan havanın

hacim değerini temsil eder. Spesifik hava akış direncinin birimi Pa.s.m^{-1} veya MKS rayl' dir. Spesifik hava akış direncinin birim kalınlık değerine oranı akış direncini verir.

$$\sigma = \frac{\sigma_a}{D_t} \quad (1.16)$$

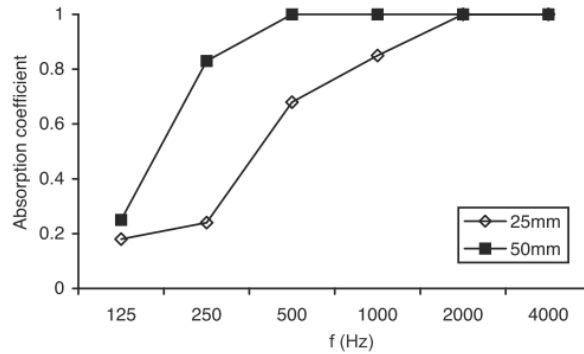
Denklem 1.16 da gösterilen σ değeri akış direncini, D_t birim kalınlık değerini ifade etmektedir (Vidinlimen, 2010).

1.4.2. Gözeneklilik

Gözeneklilik, akustik numunelerin tasarımı ve akustik malzeme seçiminde dikkate alınması gereken önemli malzeme özelliklerinden birisidir. Materyalin açık veya kapalı gözenekli olması durumu, gözeneklerin boyutu, miktarı akustik performansı etkiler. Malzeme içindeki boşlukların hacminin, toplam malzeme hacmine oranıyla gözeneklilik hesaplanmaktadır.

1.4.3. Kalınlık

Ses yalıtımı, ses yutumu vb. konularda, akustikle ilgili yapılan çalışmalarda deneysel ve teorik araştırması yapılan malzemenin, numunelerin kalınlık değerinin göz ardı edilmemesi gerekir çünkü araştırmalar sonucunda ses yutununun duşuk frekans değerlerinde kalınlığa bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Kalınlık artışı ses yutumu değerlerinin duşuk frekans değerlerinde artmasını sağlamıştır (Seddeq, 2009). şekil 1.10. da farklı kalınlık değerlerindeki taş yununun ses yutma katsayısı değerlerinin ölçümüyle ilgili sonuçlar gösterilmiştir.

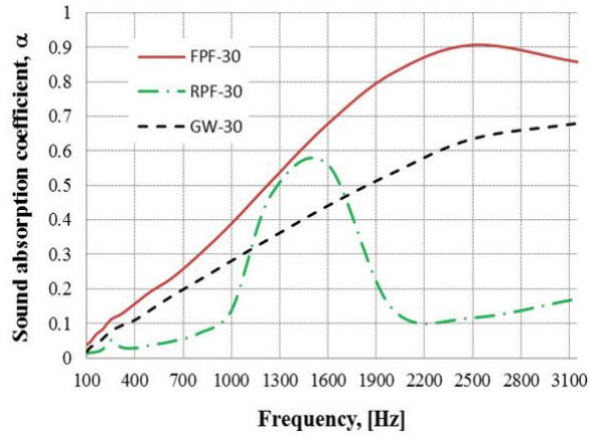


şekil 1.10. Taş yununun farklı kalınlıktaki ses yutma katsayısı performansına yönelik bir örnek (Cox, ve ark., 2009)

1.4.4. Yoğunluk

Birim hacmin kütlesinin sesin absorbe edilebilme miktarında etkisi olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Gelen ses dalgalarının enerjisi malzemeye temas

ettiğinde sürtünmeye maruz kalır ve enerjisinin bir kısmı bu şekilde malzeme tarafından yutulmuş olur. Daha yoğun malzemelerde sesin daha iyi yutulabilmesinin sürtünmeye bağlı etkisi vardır. Düşük frekans değerleri haricinde fiber materyallerde yoğunluk artışına göre ses yutma katsayısı değerlerinde artış olduğu saptanmıştır (Koizumi, ve ark., 2002). Şekil 1.11. de esnek poliüretan köpüğün, rijit poliüretan köpüğün ve cam yününün farklı yoğunluk değerlerindeki ses yutma katsayıları karşılaştırılmıştır. FPF-30 malzemesinin yoğunluğu 40 kg/m^3 , GW-30 malzemesinin yoğunluğu 15 kg/m^3 , RPF-30 malzemesinin yoğunluğu 60 kg/m^3 değerindedir. 30 sayısı ise malzemelerin kalınlık değerini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde yoğunluk farklılığının ses yutma katsayısı sonuçlarını etkilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 1.11. Farklı malzemelerin farklı yoğunluklardaki ses yutma katsayısı değerlerine örnek bir grafik (Tiuc, ve ark., 2014)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kumar ve arkadaşları 2020 yılında aynı anda hava sirkülasyonunu sağlamak ve gürültüyü azaltmak amacıyla akustik meta malzemeler üzerine bir çalışma yapmıştır. PLA malzemeden FDM tekniğiyle üretilen numuneler bir kenarı 60 mm olan kare şeklindeki alt ve üst olmak üzere iki özdeş parçadan üretilmiş ve farklı boyutlarda kare şeklinde havalandırma kanalları açılmıştır. 0,96 gibi oldukça yüksek bir ses yutma katsayısı değeri elde edilebilmiştir. Bu yüksek akustik performansın nedeninin malzemedeki havalandırma bölgesi sayesinde olduğu anlaşılmıştır ancak sonuçlara bakıldığında eklemeli üretim yöntemiyle üretilen bu malzemelerin dar bant frekanslarda etkili olduğu anlaşılmıştır (Kumar, ve ark., 2020).

Opiela ve arkadaşı 2020 yılında FDM tekniğiyle ABS malzemeden üretilmiş üç çeşit numunenin ses yutma katsayısı değerlerini araştırmıştır. Bu numuneler, küp şeklinde üretilmiş boşluklu numune, boşlukların içine çelik bilyeler yerleştirilmiş küp şeklinde üretilmiş numune ve silindir şeklindeki boşluklu üretilmiş numunedir. Ayrıca FDM tekniğiyle ABS malzemeden yazdırılmış genişleme tüpü ve piston ile empedans tüpünün orijinal genişleme tüpüyle ayrı ayrı ölçümler yapılarak şu durum karşılaştırılmıştır: Dikey yönde yerleştirilen silindir ve küp şeklindeki boşluklu numunelerin ses yutma katsayısı değerleri, yatay ve dikey yönde yerleştirilen çelik bilyeli numunelerin ABS malzemeden yazdırılmış genişleme tüpündeki ses yutma katsayısı değerleri 500-4500 Hz aralığında ölçülmüştür. Dikey yönde konumlandırılmış silindir ve küp şekilli boşluklu numunelerin ses yutma katsayısı sonuçlarının birbirine benzer olduğu anlaşılmış ancak yatay ve dikey yönde konumlandırılmış çelik bilyeli numunelerde ses yutma katsayısı performansının değiştiği, farklı frekans aralıklarında farklı sonuçların olduğu anlaşılmıştır (Opiela, ve ark., 2020).

Wen ve arkadaşları 2019 yılında SLA tekniğiyle üretilen sandviç panellerin ses iletim kaybı değerlerini incelemiştir. Farklı boylardaki 100 mm çapındaki sandviç paneller farklı eğim açılarında üretilerek bu farklıların ses iletim kaybına olan etkisi araştırılmıştır. 200-1600 Hz aralığında empedans tüpünde yapılan ölçümlerde eğim açısının değişimiyle birlikte ses iletim kaybı değerlerinde de farklı sonuçlar gözlenmiştir (Wen, ve ark., 2019).

Lee ve arkadaşları 2019 yılında üç boyutlu yazıcıyla PLA malzemeden çapı 100 mm ve kalınlığı 20 mm olan silindir şeklindeki numuneyi üretmiştir ve 20 mm kalınlığındaki 60 mm kenar uzunluğundaki kare şeklindeki numuneyi üretmiştir. Bu

numuneler üç parçadan oluşturulmuştur: ön yüzeyi 2 mm kalınlığında bir tabakadan, ortası üçgen şekilli 20 mm kalınlığında sandviç panelden, arka yüzeyi 1 mm kalınlığında bir tabakadan oluşturulmuştur. 64-1600 Hz aralığında empedans tüpünde bu numunelerin ses iletim kaybı değerleri ölçülmüştür ve bu numunelerin birbirine yakın ses iletim kaybı değerlerinde olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır (Lee, ve ark., 2019).

Fotsing ve arkadaşları 2019 yılında katmanlı üretimle üretilen üç farklı konfigürasyondaki silindir numunelerin akustik performanslarını araştırmıştır. Filamentlerin farklı konfigürasyonlardaki diziliminin ve filamentler arasındaki açı değişiminin ses yutma katsayısı sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. 500-6000 Hz aralığında empedans tüpünde yapılan ölçümlerde yatay ve dikey yönde filamentlerin dizildiği konfigürasyonda latis parametresinin en az olduğu değerde en yüksek düzeyde ses emiliminin gerçekleştiği görülmüştür (Fotsing, ve ark., 2019).

Akiwate ve arkadaşları 2018 yılında katmanlı üretimle ABS malzemenin üretilen altıgen birim hücreli tek periyotlu silindir numunelerin ve sekizgen, kare şeklindeki hücreleri içeren çok periyotlu silindir numunelerin ses yutma katsayısı değerlerini araştırmıştır. Altıgen şekilli birim hücreli numuneler sırasıyla % 9, 11 ve 14 doluluk oranında 17, 50 ve 80 mm uzunluğunda 30 mm çapında üretilmiştir. Sekizgen ve kare şekilli çok periyotlu silindir numuneler sırasıyla % 16,7, 20 ve 25 doluluk oranında 17, 50 ve 80 mm uzunluğunda 30 mm çapında üretilmiştir. Empedans tüpünde yapılan ölçümlerde ses yutma katsayısı değerleri 80 mm uzunluğundaki silindir numunelerde birbirine benzerdir ve 5000 Hz civarında 0,7' den büyük ses yutma katsayısı değeri ölçülmüştür. 17 mm uzunluğundaki silindir numunelerde ses emilimi değerleri düşüktür. Yapılan ölçümlerde doluluk oranı artışının ses yutma katsayısı sonuçlarının artmasını sağladığı tespit edilmiştir (Akiwate, ve ark., 2018).

Gao ve arkadaşı 2018 yılında PLA malzemenin üç boyutlu yazdırılmış mikro helis meta malzemelerin farklı vida adımı değerlerindeki ve farklı helis çapı değerlerindeki ses yutma katsayısı değerlerini iki mikrofonlu empedans tüpünde transfer fonksiyonu metoduyla ölçmüştür. Vida adımının azalmasının 500 Hz' in altındaki frekanslarda ses yutma kabiliyetinin artışına yönelik etkisi olduğu sonucuna varmışlardır (Gao, ve ark., 2018).

Guild ve arkadaşları 2018 yılında FDM tekniğiyle TPU malzemenin üretilmiş 29 mm çap değerindeki üç farklı kesitteki numunenin ses yutma katsayısı değerlerini incelemiştir. En üstteki kesit 2 mm uzunluğunda % 20 doluluk oranında, ortadaki kesit

20 mm uzunluğunda % 40 doluluk oranında ve en alttaki kesit 2 mm uzunluğunda % 100 doluluk oranındadır. Sadece % 100 doluluk oranında olan kesitin kullanıldığı numunede ses yutma katsayısı değerleri empedans tüpünde düşük seviyelerde ölçülürken, % 20 ve % 40 doluluk oranındaki kesitlerin birleştirilmesiyle elde edilen numunede empedans tüpünde ölçülen ses yutma katsayısı değerlerinin önemli ölçüde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm kesitlerin birleştirilmesiyle oluşturulan numunede ses yutma katsayısı değeri 0,95 seviyesine kadar çıkabilmiştir (Guild, ve ark., 2018).

Liu ve arkadaşları 2017 yılında VisiJet-SL (Clear) malzemesinden eklemeli üretimle üretilen MPPA numunelerin, hava boşluğunun ve gözenekli malzemenin birlikte kullanılmasının ses emilimine olan etkilerini araştırmıştır. Gözenekli malzeme geri dönüştürülebilir pamuk fiberlerden yapılmıştır. 29 mm çap değerinde, 1 mm kalınlığında üretilen MPPA malzemelerde delikler arası mesafeler farklılık göstermiştir. 2 mm hava boşluğu bırakılan durumda MPPA ve gözenekli malzemenin birlikte kullanılması daha geniş frekans bantlarında daha iyi sesi absorbe edebilme potansiyelini ortaya çıkarmıştır. MPPA numunelerin arkasında 5 mm hava boşluğu bırakılan durum ile 5 mm kalınlığında gözenekli malzemenin kullanıldığı durum kıyaslanırsa ses yutma katsayısı sonuçları birbirine benzerdir ama sadece gözenekli malzemenin kullanıldığı durumda daha geniş tepe noktaları görülürken sadece hava boşluğunun kullanıldığı durumda daha dar tepe noktaları görülmüştür. Empedans tüpünde yapılan ölçümlerde hava boşluğu mesafelerinin değişmesiyle ses yutma katsayısı değerlerinin yüksek olduğu frekans aralıklarının değiştiği anlaşılmıştır (Liu, ve ark., 2017).

Meng ve arkadaşları 2017 yılında dört farklı konfigürasyondaki sandviç panellerin ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerini araştırmıştır. Konfigürasyonların birinde hiç delik yok, konfigürasyonların birinde sadece üst tabakada delikler var, diğer konfigürasyonda sadece eğimli tabakada delikler var ve sonuncu konfigürasyonda hem üst hem de eğimli tabakada delikler var. Sandviç paneller, farklı kalınlıktaki alt ve üst tabakalardan, alt ve üst tabakanın arasındaki eğimli tabakadan oluşmaktadır. Bu sandviç paneller 958 kg/m^3 yoğunluğundaki, Young modülü 1 GPa ve Poisson oranı 0,35 olan bir malzemedan FDM tekniğiyle üretilmiştir. Farklı konfigürasyonların delik oranlarının, delik çaplarının ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı performansına etkileri araştırılmıştır (Meng, ve ark., 2017).

Liu ve arkadaşları 2017 yılında SLA teknolojisiyle üretilmiş mikro delikli panellerin arkasına gözenekli bir malzeme yerleştirmiş ve empedans tüpünde mikro delikli panellerin ses yutma katsayısı değerlerini ölçmüştür. VisiJet-SL (Clear)

malzemesinden üretilen mikro delikli panellerin kalınlığı 1 mm, çapı 29 mm ve açılan deliklerin çapı 0,8 mm' dir. Farklı mesafelerde açılan delikler ile dört farklı panel üretilmiş ve bu panellerin gözenekli malzeme ile birlikte empedans tüpünde ses yutma katsayısı performansı araştırılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarında delikler arasındaki mesafeye bağlı olarak ses yutma katsayısının yüksek olduğu frekans aralıklarında farklılıklar gözlenmiştir (Liu, ve ark., 2017).

Liu ve arkadaşları 2016 yılında VisiJet-SL (Clear) malzemedan eklemeli üretimle üretilen PPM numunelerin farklı delik açılarındaki ve farklı hava boşluğu değerlerindeki sesi absorbe etme performanslarını araştırmıştır. 10 mm kalınlığında, 29 mm çapındaki numuneler sırasıyla dikey eksenle 0°, 15°, 30° ve 45° açı yapacak şekilde delikler açılarak üretilmiştir. Empedans tüpünde yapılan hava boşluksuz ölçümlerde maksimum ses yutma katsayısı değeri dikey eksenle 0° yapan numunede ölçülmüştür. Hava boşluğu ile yapılan ölçümlerde ses yutma katsayısı değerlerinin yüksek olduğu kısımların orta ve düşük frekans değerlerine doğru olduğu saptanmıştır (Liu, ve ark., 2016).

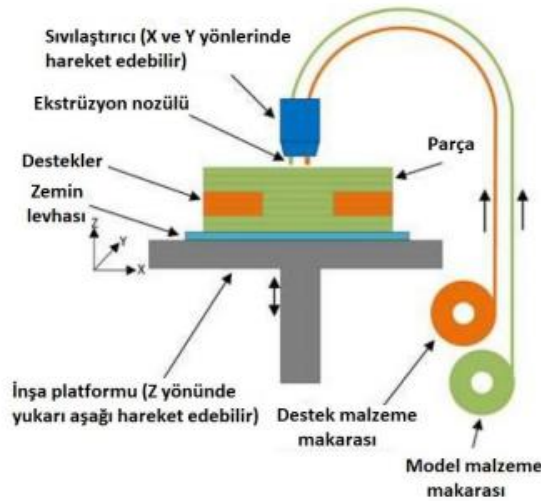
Setaki ve arkadaşları 2014 yılında SLS tekniğiyle üretilmiş akustik sönümleyicilerin ses yutma katsayısı performanslarını araştırmıştır. Bu çalışmada ses yutma katsayısı sonuçları üç aşamada alınmıştır. Birinci aşamada 28 mm çapında ve 30 mm yüksekliğindeki zp131 malzemesinden üretilmiş 7 akustik sönümleyiciye farklı çap ve uzunlukta hava kanalları açılmıştır. 800-5000 Hz aralığında empedans tüpünde yapılan ölçümlerde 0,94 değerine kadar yüksek ses yutma katsayısı değeri elde edilebilmiştir. İkinci aşamada 28 mm çapında ve değişen yüksekliklerde pa12 malzemesinden üretilen 7 akustik ses yutucuya farklı çap ve uzunluk ölçülerinde hava kanalları açılmıştır. Üçüncü aşamada 98 mm çapında farklı yükseklik değerlerinde pa12 malzemesinden üretilen 14 akustik sönümleyicinin farklı çap ve uzunlukta açılmış olan hava kanallarının 100-1600 Hz frekans aralığında ses yutma katsayısına etkisi araştırılmıştır ve 0,81 gibi yüksek ses yutma katsayısı değerine ulaşılabilmiştir (Setaki, ve ark., 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında eklemeli üretim yöntemlerinden biri olan FDM metoduyla toplam 36 adet PLA ve ABS malzemeden yazdırılmış numunelerin ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri empedans tüpünde ölçülmüştür ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.1. Fdm Metodu

FDM tekniğinde, katı haldeki malzemeler baskı silindirleri tarafından hareket ettirilerek ısıtıcıya iletilir ve burada verilen ısı enerjisiyle ergiyik hale gelen malzemeler nozula ulaşır ve katmanlar halinde istenen geometrideki nesne üretilir. Filamentler erime sıcaklığına yakın bir sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Nozuldaki filamentin çok sıvı ya da çok katı olmaması gerekir, uygun bir viskozitede olması elverişli bir üretim yapılabilmesi için gereklidir. Filamentler yazdırma mekanizmasında bulunan makara, dişli ve kasnak takımları vasıtasıyla sıkıştırılarak ve itilerek nozula ulaştırılır. Nozullar ihtiyaç halinde sökülebilir ve nozul çap değerleri 0,3-0,6 mm arasında değişebilmektedir. Yazdırıcı başlık ile üretim tablası arasındaki mesafe yazdırma işleminin her aşamasında istenen özelliklerin sağlanabilmesi için uygun seviyede olmalıdır. Çok uzak ve çok yakın mesafelerde yazdırma geometrisinde, katman yüksekliklerinde vb. durumlarda bozulmalar meydana gelebilir (Calignano, ve ark., 2017). Filamentler yazıcı mekanizması sayesinde nozula doğru hareket ettirilirken sabit basınç uygulanarak ve sabit hızda hareketin sağlanması gerekmektedir. Çünkü sabit akış debisinde yarı katı haldeki nozuldaki malzemeler homojen bir şekilde uygun yapıyı oluşturabilir, değişken akış debisi olursa bozuk geometriler ortaya çıkabilir (Wimpenny, ve ark., 2017). Yeterli ısı enerjisi verilen malzemeler ekstrüzyonla bir veya birden fazla nozuldaki geçirilerek üretimin yapıldığı platformun üzerine bırakılır. Burada sahip olduğu ısı enerjisi sayesinde bir alt katmanla birleşen eriyik malzeme sertleşir. İlgili katmandaki prosesler tamamlandıktan sonra üretim platformu belirli ölçülerde aşağı yönde hareket eder ve yeni üretilecek katmanın proseslerine devam edilir. Aynı işlemler istenilen boyutlara ulaşana kadar devam eder. Yazıcı mekanizması üç eksenle hareket edebilecek şekilde tasarlanır ve imal edilir. Yazdırıcı başlığın çapı ne kadar küçük olursa o derece hassas parçalar elde edilebilir. Yazdırıcı başlığın kesit alanı arttıkça ayrıntılı işlenmesi gereken geometrik yapıların işlenmesi zorlaşabilir. Şekil 3.1. de FDM tekniği şematik gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Fdm tekniğinin şematik gösterimi (Gökhan, 2020)

Üç boyutlu parçanın üretildiği tabla ya da platform soğuk olmamalıdır. Tablanın belirli bir sıcaklıkta tutulması gerekir çünkü alt katmanların hızla soğuyup katılaşması üretim hatalarına neden olabilir. Katmanların uygun bir şekilde birleşebilmesi için katmanlar arasında yeterli ısıl iletim olmalıdır. FDM cihazı, talaşlı imalatta kullanılan CNC makineleri gibi bir kontrol ünitesiyle yönetilen bir cihazdır. Yazdırma sıcaklığı, tabla sıcaklığı, eksenlerin hızları, konumları vb. pek çok parametre kontrol ünitesi sayesinde kontrol edilir, gereksinim halinde tekrar düzenlenebilir. G ve m kodlarıyla üretilecek parçanın üretimiyle ilgili kodlar ve koordinatlar tanımlanır ve üretim gerçekleştirilir. Ucuz FDM aletleri açık kaynak yazılımlarıyla çalışabilir ve filamentlerin yerleştirilmesi ve değişimi operatör aracılığıyla yapılabilir. Sanayide kullanılan kapsamlı ve hassas ürünlerin elde edileceği FDM cihazlarında açık yazılım yerine üretici firmanın belirlediği kapalı bir yazılım sistemi kullanılabilir, filamentlerin değiştirilmesi vb. işlemler otomatik süreçlerle yapılabilir. Bu tip yazıcılarda birden fazla yazdırıcı başlık bulunabilir. Nozulun biri yazdırma malzemesini içerir, diğeri destek malzemesini içerir. Destek malzemesi baskısı yapılan cismin yapısındaki boşlukların baskı esnasında eğilmelere, geometrik yapıların bozulmasına engel olabilmesi için kullanılır. Genellikle kullanılan polimerler: PLA, ABS, HIPS, PC, PA polimerleridir (Calignano, ve ark., 2017).

3.1.1. Önemli yazdırma kriterleri

Katman yüksekliği: Yazdırılan nesnenin yüzey kalitesini belirleyen en önemli yazdırma parametrelerinden biri katman yüksekliğidir. Yazdırma bütçesini, pürüzlülük değerini, yazdırma sonrası üretimle ilgili yüzey kalitesini sağlayabilmek için gerekli

olan üretim süreçlerini katman belirler. Ne kadar küçük değerde katman yüksekliği elde edilebilirse o derecede yüzey pürüzlülüğü iyi, hassas ürünler yazdırılır. İhtiyaca ve istenen niteliklere göre üretim öncesi düşünülmesi gereken tasarım parametresidir katman yüksekliği.

Yazdırma mekanizmasının geri çekilme hızı ve mesafesi: Genelde tek nozulla çalışan ve kompleks olmayan FDM cihazlarında yazdırma mekanizmasından akan filamentin istenilen zamanda akmasını engelleyecek bir kontrol sistemi yoktur. Yazdırma mekanizmasında yazdırma esnasında uygun geri çekilme hızı ve mesafe belirlenmezse istenmeyen şekiller oluşabilir ve istenilen üç boyutlu nesnenin yazdırılması güçleşebilir. Bu nedenle her malzeme için uygun geri çekilme hızı ve mesafesi üretim sürecinden önce belirlenmelidir.

Yazdırma mekanizmasının eksenlerdeki hareket hızı, yazdırma hızı: Üç eksenli koordinat sisteminde yazıcının yazdırma esnasında ve boşta hareket ederken belirli hızı vardır. Bu hızlar yazdırma ayarlarının yapıldığı program aracılığıyla ayarlanır ve yazdırma işlemine başlanır. Ayrıca baskı anında belirlenmiş bir hız değeri vardır. Uygun yazdırma hızı, malzemenin özelliklerine göre değişebilir, çok hızlı yazdırılan nesnelere yüzey pürüzlülüğü kötü değerlerde oluşabilir. Eksen hızlarının ve baskı (yazdırma) hızlarının birbiriyle koordine şekilde belirlenmesi uygun yüzey kalitesi için önemlidir.

Yazdırma sıcaklığı ve tabla sıcaklığı: Kullanılan filamentin çeşidine göre yazdırma sıcaklığı ve tabla sıcaklığı değişiklik gösterir. Uygun viskozite değerinde baskı yapılabilmesi ve baskısı yapılan malzemelerin birleşiminin sağlanabilmesi için sıcaklık değerlerinin uygun aralıklarda seçilmesi gerekir.

Materials	Extrusion temperature [°C]	Bed temperature [°C]
PLA	175 ÷ 220	60 ÷ 90
ABS	230 ÷ 260	80 ÷ 100
HIPS	220 ÷ 250	80 ÷ 110
PC	290 ÷ 315	110 ÷ 130
PA	240 ÷ 280	100 ÷ 120
TPU	195 ÷ 230	60 ÷ 90
PVDF	210 ÷ 215	120 ÷ 125
PEEK	360 ÷ 400	110 ÷ 120
PEI	330 ÷ 360	110 ÷ 160

Şekil 3.2. Farklı malzemelerin yazdırma ve tabla sıcaklığı aralık değerleri (Fuchs, 2013)

Şekil 3.2. de farklı malzemelerin uygun yazdırma sıcaklığı ve tabla sıcaklığı aralıkları verilmiştir. Doluluk oranı, ekstrüzyon genişliği, iç ve dış geometrik şeklin türü ve açısı, ilk katmanlardaki sıcaklık değerleri vb. parametreler yazdırma parametrelerinin ayarlandığı programda belirlenir. Bu tez çalışmasında yazdırılan numunelerin yazdırma ayarları Simplify3d programında yapılmıştır.

3.2. Fdm Metoduyla Üretilen Parçalar

Tez çalışması kapsamında iki farklı malzemenin FDM metoduyla üretimi yapılmıştır. 18 adet PLA ve 18 adet ABS malzemedan farklı yazdırma desenlerinde ve farklı doluluk oranlarında yazdırılmış numunelerin akustik özellikleri araştırılmıştır. Ölçümlerin doğruluğu, hassasiyeti açısından her numunedan üçer adet imal edilmiştir. Aynı niteliklerde üretilmiş üçer adet numunedan elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Numunelerin yazdırma parametreleri ek-1 de gösterilmiştir.

PLA numunelerin yazdırma koşulları: filament çapı: 1,75 mm, nozul çapı: 0,4 mm, ekstrüzyon genişliği: 0,5 mm, ortalama yazdırma hızı: dakikada 3500 mm, ortalama tabla sıcaklığı: 70 °C, ortalama yazdırma sıcaklığı: 190 °C.

ABS numunelerin yazdırma koşulları: filament çapı: 1,75 mm, nozul çapı: 0,4 mm, ekstrüzyon genişliği: 0,5 mm, ortalama yazdırma hızı: dakikada 2000 mm, ortalama tabla sıcaklığı: 100 °C, ortalama yazdırma sıcaklığı: 260 °C.

ABS malzemedan üretilen toplam 6 farklı numune ve PLA malzemedan üretilen toplam 6 farklı numune vardır. Bu numuneler iki farklı geometrik desende (kare ve altıgen), farklı doluluk oranlarında (altıgen numuneler % 10, 20, 30; kare numuneler % 10, 30, 50) üretilmiştir. Tüm numunelerin yüksekliği yaklaşık 30 mm ve çap değerleri yaklaşık 29 mm' dir. Numunelerin üst yüzeyleri açıktır ancak alt yüzeyleri % 100 doluluk oranında malzemeye tamamen kapatılmıştır. Yazdırma parametrelerinde 0,2 mm katman yüksekliği ayarlandığı için 5 katman oluşturulan alt yüzeyler yaklaşık 1 mm yüksekliğinde malzemeye kapatılmıştır. Eklemeli üretimle imal edilmiş olan numunelerin tamamının fotoğrafı ek-2 de gösterilmiştir. Numunelere ait geometrik yapılar (dolgu desenleri) ek-3 ve ek-4 te gösterilmiştir. Ek-3 te fast honeycomb dolgu deseni, ek-4 te grid dolgu deseni temsili olarak gösterilmiştir. Ek-3 teki fast honeycomb dolgu deseninde gösterilmiş olan a ve c harfleri hücre duvarlarının kalınlığını, b harfi hücre boyutunu göstermektedir ve c ile gösterilen hücre duvarı kalınlığı, a ile gösterilen hücre duvarı kalınlığının ölçüsünün yaklaşık 2 katıdır (c yaklaşık 1 mm kalınlığında, a yaklaşık 0,5 mm kalınlığındadır). Ek-4 te gösterilen grid dolgu deseninde d harfi hücre duvarı kalınlığını, e harfi hücre boyutunu göstermektedir. Eklemeli üretimle üretilen

numunelerin desenleri altıgen (hexagonal) olanlar H ile kodlanırken, desenleri kare (square) olanlar S ile kodlanmıştır. Örneğin, hexagonal yapıda % 20 doluluk oranında ABS malzemeden üretilmiş numune 'H_abs_20' ile temsil edilirken, square (kare) yapıda % 50 doluluk oranında PLA malzemeden üretilmiş numune 'S_pla_50' ile temsil edilmiştir. Hücre yapıları ve hücreler ile ilgili bilgiler çizelge 3.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Numunelerin hücre yapısı bilgileri

Numune	Hücre Yapısı	Hücre Boyutu (mm)	Hücre Duvarı Kalınlığı (mm)	Açıklık Oranı (Aperture Ratio)
H_abs_10	Altıgen	8,9	0,667	0,8653
H_pla_10	Altıgen	9,4	0,667	0,8719
H_abs_20	Altıgen	4,62	0,667	0,7636
H_abs_30	Altıgen	2,5	0,667	0,6228
H_pla_20	Altıgen	4	0,667	0,7335
H_pla_30	Altıgen	2,5	0,667	0,6228
S_abs_30	Kare	2,7	0,5	0,7119
S_abs_50	Kare	1,292	0,5	0,5198
S_pla_30	Kare	2,7	0,5	0,7119
S_pla_50	Kare	1,292	0,5	0,5198

Çizelge 3.1. de gösterilen hücre boyutu, hücre duvarı kalınlığı kavramları ek-3 ve ek-4 te gösterilmiştir. Altıgen şekilli numunelerde altıgenin bütün kenarlarının hücre duvarı kalınlığı özdeş olmadığı için (fast honeycomb yapısı) altıgen numunelerin bir hücre boyutundaki altıgenin tüm kenarlarının hücre duvarı kalınlığının toplamının aritmetik ortalaması hücre duvarı kalınlığı olarak belirlenmiştir. Açıklık oranı tek periyodik durum için birim kesit analizi bölümünde gösterilen S alanının S_0 alanına oranlanmasıyla bulunur. Açıklık oranı denklem 3.1 de gösterilmiştir.

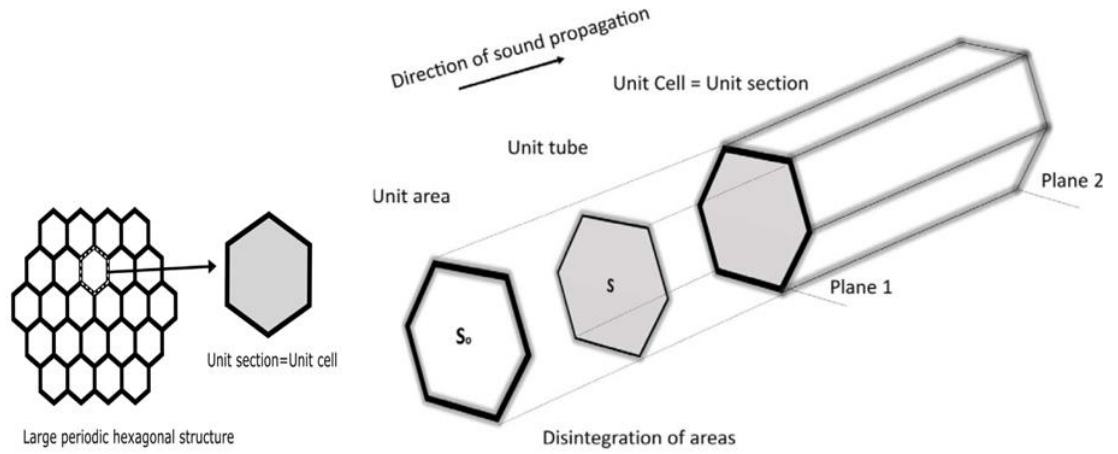
$$\text{Açıklık Oranı (A. R.)} = \frac{S}{S_0} \quad (3.1)$$

S_pla_10 ve S_abs_10 numunelerinde üçer adet üretilen numuneler özdeş üretilmediği için ve bu numunelerin desenlerinde aynı hücre boyutundan en az iki adet bulunmadığı için bu numunelerde birim kesit analizi yapılmamıştır.

3.3. Tek Periyodik Durum İçin Birim Kesit Analizi

Tez çalışmasında kare ve altıgen dolgu desenine sahip tek periyodik durumdaki numunelerin akustik analizi yapılmıştır. Üretim esnasında aynı dolgu deseni tekrar edildiği için (tek periyodik durum) numunenin bir birim hücresinin akustik analizinin yapılmasıyla bütün yapının akustik performansı tahmin edilebilir. Birim kesitin ve birim

hücrenin aynı olduğu altıgen dolgu desenli numuneler için örnek bir şekil, şekil 3.3. te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tek periyodik durum için altıgen desenin birim kesitinin şematik gösterimi (Akiwate, ve ark., 2018)

Şekil 3.3. te birim hücre, birim kesit, ses dalgalarının ilerleme yönü, S ve S₀ alanları gösterilmiştir. S ses dalgalarının ilerlediği bir birim hücrenin içinin kesit alanını, S₀ yarım duvar kalınlığı eklenmiş bir birim hücrenin kesit alanını vermektedir. Bu kesit alanı bilgileri akustik analizinin yapılması istenen malzemelerin açıklık oranının hesaplanmasında dolayısıyla spesifik akustik empedansın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Birim hücrenin iç yüzeylerinin oluşturduğu kesit alanının (S), birim hücrenin iç yüzeyleri ile birlikte yarım duvar kalınlığının toplamının oluşturduğu kesit alanına (S₀) oranı açıklık oranını vermektedir. Şekil 3.3. te gösterilen düzlem 1' e gelen ses dalgalarının basıncı p₁, parçacık hızı u₁ olsun. Düzlem 2' ye gelen ses dalgalarının basıncı p₂, parçacık hızı u₂ olsun. Ses yutma katsayısı ölçümleri yapılan numunelerin arka yüzeyi rijit bir plakaya yerleştirildiği için düzlem 2' ye ulaşan ses dalgalarının hızı (u₂ = 0) sıfırdır. Bu durumda numunenin ön yüzeyinden arka yüzeyine etkiyen ses basıncını ve parçacık hızını gösteren transfer matrisi denklem 3.2 de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ u_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_2 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}p_2 \\ T_{21}p_2 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Denklem 3.3 te düzlem 1' deki spesifik akustik empedansın transfer matrisinden hesaplanan bağıntısı gösterilmiştir. Bu denklemde Z₁ düzlem 1' deki spesifik akustik empedansı, p₁ aynı düzlemdeki ses basıncını, u₁ aynı düzlemdeki parçacık hızını temsil etmektedir.

$$Z_1 = \frac{p_1}{u_1} = \frac{T_{11}}{T_{21}} \quad (3.3)$$

Ses dalgalarının empedans tüpündeki yayılma yönüne göre şekil 3.3. te ses dalgaları malzemenin ilk olarak altıgen yapısının ön yüzeyine ulaşır ve altıgen yapının ön yüzeyinin olduğu kısım düzlem 1 ile gösterilmiştir. Malzemenin spesifik akustik empedansını belirleyen p_s ve u_s değerlerinin düzlem 1' in bitişiğinde olduğu düşünülürse $p_s = p_1$ ve $S_0 u_s = S u_1$ kabulü gerçekleştirilebilir. Böylece tek periyotlu altıgen desenli numunenin tamamının spesifik akustik empedansı denklem 3.4 te verilen bağıntılarla hesaplanabilmektedir (Akiwate, ve ark., 2018).

$$Z_s = \frac{p_s}{u_s} = \frac{p_s S_0}{u_s S_0} = \frac{p_1 S_0}{u_1 S} \quad (3.4)$$

3.4. Empedans Tüpü Ölçüm Metodu

Empedans tüpleri, malzemelerin ses yutma katsayısı, ses iletim kaybı gibi akustik özelliklerinin belirlenmesini sağlayan farklı frekans aralıklarında farklı boyutlarda üretilmiş numunelerle ölçümlerin yapılabildiği cihazlardır. Bu tez çalışmasında empedans tüpündeki ölçüm metotlarından kararlı dalga metodu ve transfer fonksiyon metodu anlatılmıştır.

3.4.1. Kararlı dalga metodu

Kararlı dalga metodunda empedans tüpünün bir ucunda hoparlör, diğer ucunda testi yapılan numune bulunur. Ses kaynağından üretilen ses dalgaları empedans tüpünün içinde yayılır ve tüpün en sonunda bulunan test numunesine ulaşan ses dalgalarının bir kısmı geri yansırken diğer kısmı test numunesi tarafından absorbe edilir. Test numunesine gelen ve test numunesinden yansıyan dalgaların en yüksek ve en düşük ses basıncı değerleri empedans tüpü içinde hareket edebilen bir mikrofon vasıtasıyla ölçülür. Bu basınç değerleri ile swr hesaplanmaktadır.

$$swr = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5 te P_{max} mikrofon tarafından ölçülen maksimum ses basıncı değerini, P_{min} mikrofon tarafından ölçülen minimum ses basıncı değerini, P_i test numunesine gelen ses dalgalarının basıncını, P_r test numunesinden yansıyan ses dalgalarının basıncını temsil etmektedir. Ses yansıtma katsayısının hesaplanması denklem 3.6 da gösterilmiştir.

$$R = \frac{swr - 1}{swr + 1} \quad (3.6)$$

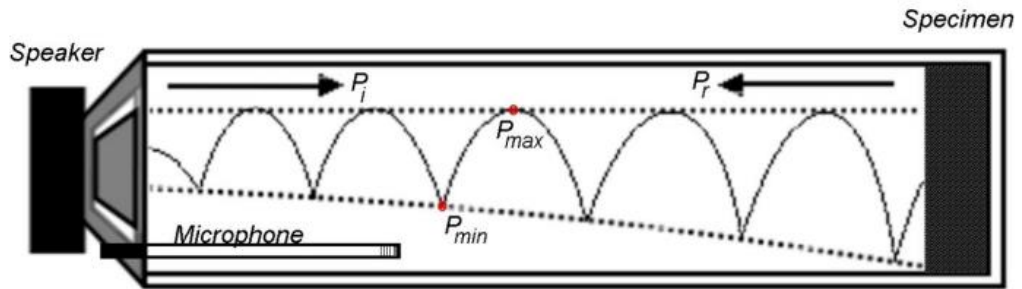
Denklem 3.6 da R ses yansıtma katsayısını temsil etmektedir. Ses yutma katsayısının hesaplanması denklem 3.7 de gösterilmiştir.

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (3.7)$$

Denklem 3.7 de α ses yutma katsayısını göstermektedir. Spesifik akustik empedans değerinin hesaplanması denklem 3.8 de gösterilmiştir.

$$Z_s = \frac{(1 + R)}{(1 - R)} \rho c_a \quad (3.8)$$

Denklem 3.8 de ρ havanın yoğunluğunu, c_a havadaki ses hızını göstermektedir. Kararlı dalga metodunda bir frekans değerinde ölçümler yapılabildiğinden geniş frekans aralıkları için akustik özelliklerin belirlenmesine yönelik ölçümler uzun zaman alabilmektedir. Kararlı dalga metoduyla ilgili temsili bir şekil, şekil 3.4. te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kararlı dalga metodu (Bickford, 2015)

3.4.2. Transfer fonksiyon metodu

Transfer fonksiyon metodu, kararlı dalga metoduna göre geniş frekans spektrumlarında daha hızlı ses analizlerinin yapılabildiği, hareketli mikrofon yerine sabit konumlarda yerleştirilen mikrofonların kullanıldığı bir ses ölçümü metodudur. Hoparlörde üretilen ses dalgaları empedans tüpünde ilerleyerek mikrofonlara ve test numunesine ulaşır. Mikrofonlar arasında hesaplanan basınç oranları değerlerinden transfer fonksiyonu belirlenir. Mikrofonlar aracılığıyla ölçülen ses basıncı değerlerinden farklı frekans değerlerindeki akustik özellikler belirlenir.

3.4.2.1. Iso standardına göre iki mikrofon transfer fonksiyon metodu

Bu bölümde ISO 10534-2 standardının transfer fonksiyon metoduyla ilgili bilgileri verilecektir. ISO 10534-2 standardı iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar: kararlı dalga metodu ve transfer fonksiyon metodudur. Bu standart, empedans tüpündeki empedans, ses yutma katsayısı gibi akustik özelliklerin belirlenmesi için hazırlanan

bilgilerden oluşan bir standarttır. Tez çalışmasında ölçümlerin yapıldığı empedans tüpü ISO 10534-2 standardının transfer fonksiyon tekniğine uygun olarak hazırlanmıştır.

Empedans tüpünün yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır ve empedans tüpü üretiminde dış faktörlerin (ortam gürültüsü, titreşimler vb.) etkisini minimize etmek için ağır malzemeler seçilmelidir ve empedans tüpünün yüzeylerinin yeterli kalınlıkta olması gerekir. Ayrıca ölçümlerde kullanılan mikrofonların çap değerinin, mikrofonlar arasındaki mesafenin beşte birinden daha küçük bir değerde olması tavsiye edilmektedir ve birinci mikrofon ile ses kaynağı arasında bulunması gereken mesafenin ölçümde kullanılan empedans tüpünün çap değerinin üç katı olması uygun görülmüştür (Bickford, 2015).

Düzlemsel dalgaların oluşmasını sağlayabilmek için empedans tüpünün uzunluğu da önemlidir ve testi yapılan cisimlerin düzlemsel dalga alanında olmasının sağlanması ölçümler için gereklidir. Ölçümde kullanılan mikrofonların çap değerinin, ses hızının uygulanabilir maksimum frekans değerine oranından küçük bir değerde olması tavsiye edilmektedir. Mikrofon konumlarının ($\pm 0,2$ mm) tolerans aralığında bilinmesi lazımdır. Ölçümleri yapılan nesnelerin yerleştirildiği tutacakların sert bir yapıda olması ve yapıldığı metal tabakanın en az 0,02 m kalınlık değerinde olması önerilmektedir. Ses kaynağını ölçümlerin yapıldığı ortam gürültüsünden, titreşimlerden vb. koruyabilmek için empedans tüpü içinde yalıtılmış bir kutuya yerleştirilmesi uygun görülmektedir. Ayrıca ölçüm esnasında empedans tüpündeki sıcaklık değişmemeli ve (± 1 Kelvin) toleransında olmalıdır (ISO 10534-2, 1998).

Bu standarda göre ölçümlerde uygulanması gereken alt ve üst frekans limitleri vardır.

$$f_u < 0,58 \frac{c_0}{d_e} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9 da c_0 ses hızını, d_e tüpün iç çap değerini, f_u üst frekans limiti değerini temsil etmektedir. Ayrıca üst frekans limiti değeri mikrofonlar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir.

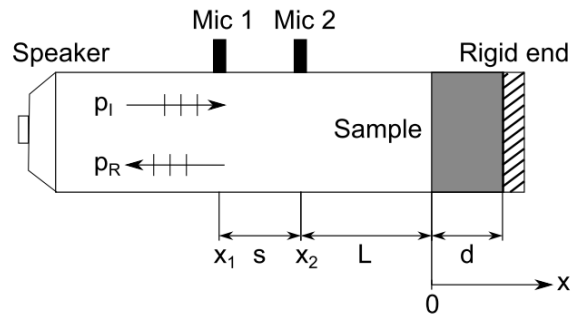
$$f_u < 0,45 \frac{c_0}{s} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10 da c_0 ses hızını temsil ederken s mikrofonların konumları arasındaki uzaklığı temsil etmekte ve f_u üst frekans limiti değerini temsil etmektedir. Üst frekans limiti değeri olduğu gibi empedans tüpünde ölçüm yapılabilmesi için

tavsiye edilen alt frekans limiti değeri de vardır. Denklem 3.11 de alt frekans limiti değerinin bağıntısı verilmiştir.

$$f_L > 0,05 \frac{c_0}{s} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 de f_L alt frekans limitini, c_0 ses hızını, s mikrofonların konumları arasındaki mesafeyi göstermektedir. Her frekans değerinin farklı dalga boyu olacağı için çok geniş frekans bantlarında ölçüm yapmak ölçümü yapılan tüpün geometrisi, boyutu gibi etkenlerden dolayı hatalı ve uygun olmayan sonuçlar oluşturabilir. Belirli standartlara göre uygun ölçüm cihazlarında istenen ölçümler yapılmalıdır. Şekil 3.5. te iki mikrofonlu örnek bir empedans tüpü figürü verilmiştir. Bu figürde mikrofonların konumları, test numunesinin konumu, test numunesine gelen ve yansıyan ses basıncı temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İki mikrofonlu empedans tüpü (Wolkesson, 2013)

Transfer fonksiyonunun hesaplanması şu formüllerle gerçekleştirilir:

$$p_I = \hat{p}_I e^{jk_0 x} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 de gösterilen \hat{p}_I , $x=0$ referans düzleminde gösterilen test numunesine gelen ses basıncının büyüklüğünü göstermektedir.

$$p_R = \hat{p}_R e^{-jk_0 x} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13 te gösterilen \hat{p}_R , $x=0$ referans düzleminde gösterilen test numunesinden yansıyan ses basıncının büyüklüğünü göstermektedir. Denklem 3.12 ve denklem 3.13 te k_0 ifadesi ses dalga sayısını vermektedir. İlk mikrofonla gelen ses basıncının hesaplanması denklem 3.14 te gösterilmiştir.

$$p_1 = \hat{p}_I e^{jk_0 x_1} + \hat{p}_R e^{-jk_0 x_1} \quad (3.14)$$

İkinci mikrofonla gelen ses basıncının hesaplanması denklem 3.15 te gösterilmiştir.

$$p_2 = \widehat{p}_I e^{jk_0 x_2} + \widehat{p}_R e^{-jk_0 x_2} \quad (3.15)$$

Test numunesine gelen ses dalgasının transfer fonksiyonu ikinci mikrofondaki ses basıncının ilk mikrofondaki ses basıncına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Denklem 3.16 da test numunesine gelen ses dalgasının transfer fonksiyonu gösterilmiştir.

$$H_I = \frac{\widehat{p}_I e^{jk_0 x_2}}{\widehat{p}_I e^{jk_0 x_1}} = e^{-jk_0(x_1 - x_2)} = e^{-jk_0 s} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16 da gösterilen s ifadesi mikrofonlar arasındaki mesafeyi göstermektedir. Denklem 3.17 de test numunesinden yansıyan ses dalgasının transfer fonksiyonu gösterilmiştir.

$$H_R = \frac{\widehat{p}_R e^{-jk_0 x_2}}{\widehat{p}_R e^{-jk_0 x_1}} = e^{jk_0(x_1 - x_2)} = e^{jk_0 s} \quad (3.17)$$

Mikrofonlar arasındaki gelen ve yansıyan ses dalgalarından elde edilen verilerle transfer fonksiyonu hesaplanır.

$$H_{12} = \sqrt{(H_{12}^A \cdot H_{12}^B)} = |H_{12}| e^{j\phi} \quad (3.18)$$

Denklem 3.18 de H_{12}^A ifadesi mikrofonların normal konumlarında ölçülen transfer fonksiyonu değeridir ve H_{12}^B ifadesi mikrofonlar yer değiştirdiğinde elde edilen transfer fonksiyonunu göstermektedir. Ölçümler sırasında faz kayıplarını, faz uyumsuzluklarını gidermek için mikrofonların kalibre edilmesi gerekir. Denklem 3.19 da gösterilen H_c kalibrasyon faktörüdür. ϕ_c kalibrasyon faktörünün hesaplanmasında kullanılan faz açısıdır.

$$H_c = \sqrt{\left(\frac{H_{12}^A}{H_{12}^B}\right)} = |H_c| e^{j\phi_c} \quad (3.19)$$

Transfer fonksiyonu denklem 3.20 de gösterildiği gibi de ifade edilebilir.

$$\widehat{H}_{12} = |\widehat{H}_{12}| e^{j\widehat{\phi}} = \widehat{H}_R + j\widehat{H}_I \quad (3.20)$$

Denklem 3.20 de gösterilen \widehat{H}_{12} doğrulanmamış transfer fonksiyonunu, $\widehat{\phi}$ doğrulanmamış faz açısını, \widehat{H}_R doğrulanmamış \widehat{H}_{12} transfer fonksiyonunun reel kısmını, \widehat{H}_I doğrulanmamış \widehat{H}_{12} transfer fonksiyonunun sanal kısmını gösterir. Mikrofonların kalibrasyonunun sağlanması ile mikrofonlardan alınabilecek uyumsuz sonuçlar giderilir ve mikrofonlar arasındaki doğrulanmış transfer fonksiyonu elde edilir.

$$H_{12} = |H_{12}| e^{j\phi} = \frac{\widehat{H}_{12}}{H_c} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21 de doğrulanmış transfer fonksiyonunun bağıntısı gösterilmiştir. H_{12} birinci ve ikinci mikrofonlar arasında hesaplanan transfer fonksiyonu değerini göstermektedir. Birinci ve ikinci mikrofonlardaki ses basıncı hesaplamaları incelendiğinde ve bu denklemlerdeki \widehat{p}_R ifadesinin $\widehat{p}_R = R\widehat{p}_I$ olduğu kabul edildiğinde, transfer fonksiyonu denklem 3.22 de gösterilen ifadelerle de gösterilebilir.

$$H_{12} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{\widehat{p}_I e^{jk_0 x_2} + \widehat{p}_R e^{-jk_0 x_2}}{\widehat{p}_I e^{jk_0 x_1} + \widehat{p}_R e^{-jk_0 x_1}} = \frac{\widehat{p}_I (e^{jk_0 x_2} + \frac{\widehat{p}_R}{\widehat{p}_I} e^{-jk_0 x_2})}{\widehat{p}_I (e^{jk_0 x_1} + \frac{\widehat{p}_R}{\widehat{p}_I} e^{-jk_0 x_1})} = \frac{e^{jk_0 x_2} + R e^{-jk_0 x_2}}{e^{jk_0 x_1} + R e^{-jk_0 x_1}} \quad (3.22)$$

Denklem 3.22 de verilen H_{12} transfer fonksiyonu denkleminde bulunan R değeri ses yansıtma katsayısını göstermektedir. Bu denklemde R ifadesi yalnız bırakılırsa denklem 3.23 teki ifade elde edilir.

$$R = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0 x_1} \quad (3.23)$$

Ses yutma katsayısı α denklem 3.24 te verilen formülle hesaplanmaktadır.

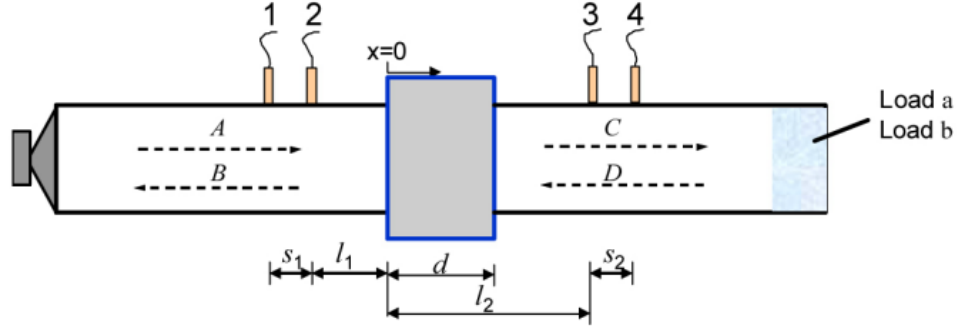
$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (3.24)$$

Test edilen numunenin spesifik akustik empedansının değeri denklem 3.8 de gösterilen bağıntıyla aynı şekilde hesaplanmaktadır (Wolkesson, 2013).

3.4.3. Dört mikrofon tekniği

Empedans tüpünde ses iletim kaybı değerlerinin ölçülmesi için test numunesinin empedans tüpünün ortasına yerleştirildiği, ses kaynağının empedans tüpünün bir ucunda bulunduğu, iki mikrofonun numune ile ses kaynağı arasında bulunduğu, diğer iki mikrofonun numune ile empedans tüpünün diğer ucu arasında bulunduğu bir ölçüm sistemi kullanılmaktadır ve bu ölçüm sistemi dört mikrofon tekniği ya da dört mikrofon metodu ile ifade edilmektedir. Ses kaynağı tarafından üretilen ses dalgaları empedans tüpünde ilerleyerek numuneye ulaşır, ulaşan ses dalgalarının bazıları numune tarafından emilir, bazıları numuneden geri yansır ve bazı ses dalgaları numunenin içinden geçerek karşı tarafa ulaşır. Bu ölçüm yönteminde ses kaynağı ile numune arasındaki ses dalgalarının basınç değerlerinin, hızlarının vb. değerlerin ölçülmesi ve numune ile empedans tüpünün diğer ucu arasındaki ses dalgalarına ait olan basınç, hız değerleri gibi transfer fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılacak değerlerin ölçülmesinin gerçekleştirilmesi için dört mikrofon gereksinim vardır. Mikrofonlar sayesinde ölçülen ses basıncı değerleri ile dört kanallı FFT dijital frekans analiz sisteminde ilgili hesaplamalar yapılarak transfer fonksiyonu elde edilir. Transfer fonksiyonunun hesaplanmasından sonra ses iletim kaybı değerleri hesaplanabilir. Dört mikrofon

teknğinde empedans tüpünde iki yük metodu kullanılabilir. İki yük metodunda iki yük durumu için ses iletim kaybı değerlerinin hesaplanması yapılır. Frekans analiz sisteminde ilgili hesaplamalar yapılarak ses iletim kaybı değerleri hesaplanır. Şekil 3.6. da iki yük metodunun uygulandığı temsili bir şekil gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Dört mikrofonlu empedans tüpü (two load method) (Hua, ve ark., 2013)

Dalga genlikleri A, B, C, D harfleri ile gösterilmiştir. A, B, C ve D sırasıyla test numunesine gelen ses dalgalarını, numuneden yansıyan ses dalgalarını, test numunesinden iletdikten sonra empedans tüpünün sonuna doğru ilerleyen ses dalgalarını ve mikrofon 3 ve 4' ün bulunduğu bölümdaki yansıyan ses dalgalarının genliklerini temsil etmektedir.

$$A = j \frac{H_{1,ref} e^{-jk_0 l_1} - H_{2,ref} e^{-jk_0 (l_1 + s_1)}}{2 \sin k_0 s_1} \quad (3.25)$$

$$B = j \frac{H_{2,ref} e^{jk_0 (l_1 + s_1)} - H_{1,ref} e^{jk_0 l_1}}{2 \sin k_0 s_1} \quad (3.26)$$

$$C = j \frac{H_{3,ref} e^{jk_0 (l_2 + s_2)} - H_{4,ref} e^{jk_0 l_2}}{2 \sin k_0 s_2} \quad (3.27)$$

$$D = j \frac{H_{4,ref} e^{-jk_0 l_2} - H_{3,ref} e^{-jk_0 (l_2 + s_2)}}{2 \sin k_0 s_2} \quad (3.28)$$

Denklem 3.25, 3.26, 3.27 ve denklem 3.28 de gösterilen $H_{1,ref}$, $H_{2,ref}$, $H_{3,ref}$ ve $H_{4,ref}$ iki yük durumuna göre ölçülen transfer fonksiyonlarını, s_1 birinci mikrofonla ikinci mikrofon arasındaki mesafeyi, l_1 ikinci mikrofonun test numunesinin ön yüzeyine olan mesafesini, l_2 test numunesinin ön yüzeyi ile üçüncü mikrofonun arasındaki mesafeyi, s_2 üçüncü mikrofonla dördüncü mikrofon arasındaki mesafeyi, k_0 ses dalgası sayısını göstermektedir. Test numunesine etkiyen basınç ve parçacık hızlarının denklemleri denklem 3.29, 3.30, 3.31 ve 3.32 de gösterilmiştir.

$$p_0 = A + B \quad (3.29)$$

$$u_0 = \frac{A - B}{\rho c_a} \quad (3.30)$$

$$p_d = Ce^{-jk_0 d} + De^{jk_0 d} \quad (3.31)$$

$$u_d = \left(\frac{Ce^{-jk_0 d} - De^{jk_0 d}}{\rho c_a} \right) \quad (3.32)$$

Denklem 3.33 te ses iletim kaybı değerlerinin hesaplanmasını sağlayan transfer fonksiyonunu oluşturan transfer matrisi gösterilmiştir. Denklem 3.31 ve denklem 3.32 de gösterilen d ifadesi test numunesinin kalınlığıdır. Denklem 3.30 ve denklem 3.32 de gösterilen ρ havanın yoğunluğunu, c_a havadaki ses hızını göstermektedir.

$$T = \begin{bmatrix} \frac{p_{0a}p_{db} - p_{0b}u_{da}}{p_{da}u_{db} - p_{db}u_{da}} & \frac{p_{0b}p_{da} - p_{0a}p_{db}}{p_{da}u_{db} - p_{db}u_{da}} \\ \frac{u_{0a}u_{db} - u_{0b}u_{da}}{p_{da}u_{db} - p_{db}u_{da}} & \frac{p_{da}u_{0b} - p_{db}u_{0a}}{p_{da}u_{db} - p_{db}u_{da}} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Denklem 3.33 te gösterilen a ve b ifadeleri iki farklı yük durumunu temsil ederken p ve u ifadeleri sırasıyla basınç ve parçacık hızlarını temsil etmektedir.

Ses iletim kaybı ifadesi denklem 3.34 te gösterilen denklemle hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki TL ifadesi ses iletim kaybını gösterir. Denklem 3.34 te T_{11} , T_{12} , T_{21} ve T_{22} transfer matrisinin elemanlarını göstermektedir.

$$TL = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{2} \left(T_{11} + \frac{T_{12}}{\rho c_a} + \rho c_a T_{21} + T_{22} \right) \right| \quad (3.34)$$

3.4.4. Ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı ölçümlerinin yapılışı

Ses yutma katsayısı değerlerinin ölçümleri 500-6400 Hz aralığında Brüel & Kjaer şirketinin 4206 modelindeki empedans tüpünde yapılmıştır. Ses iletim kaybı ölçümleri Brüel & Kjaer şirketinin 4206-T modelindeki empedans tüpünde 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantları değerlerinde yapılmıştır.

3.4.4.1. Ses yutma katsayısı ölçümlerinin yapılışı

PLA ve ABS malzemeden üretilmiş 36 adet test numunesinin çap değerleri yaklaşık 29 mm' dir. Bu nedenle ses yutma katsayısı ölçümleri 29 mm iç çap değerindeki küçük empedans tüpünde gerçekleştirilmiştir. Test numunesi empedans tüpünün içindeki piston mekanizmasıyla hareketin sağlandığı sert plakaya uygun bir şekilde yerleştirilir. Test numunesinin çok sıkı ya da çok gevşek yerleştirilmesi uygun değildir. Çok gevşek yerleştirilen test numuneleri ile empedans tüpünün iç yüzeyleri arasında boşluk oluşacağından dolayı ve çok sıkı yerleştirilen test numunelerinde yüzey gerilmeleri oluşacağından dolayı sonuçlar etkilenebilir. Ses yutma katsayısı değerlerinin

ölçümünden önce yapılması gereken bir takım işlemler vardır. Ölçüm ayarlamalarının yapıldığı programda empedans tüpünün türünün (küçük, büyük vb.) seçilmesi, frekans limitleri uygulanacaksa limitlerin uygulanması, sinyal jeneratöründen dalga şeklinin seçilmesi, çevre koşullarının (sıcaklık, nem vb.) deneyden önce ölçülmesi gerekir. Ölçümler 23°C ortam sıcaklığında ve nem oranı % 50 olan bir ortamda yapılmıştır. Ölçümler öncesi yapılması gereken düzenlemeler yapıldıktan sonra kablo bağlantıları kontrol edilir. Mikrofonlar arasındaki faz uyumsuzluklarını önlemek için kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Kalibrasyondan sonra ses yutma katsayısı ölçümleri yapılır ve sonuçlar kaydedilir. Ses kaynağı güç yükselticiye bağlıdır ve ses kaynağında üretilen ses dalgalarının ses basıncı değerleri iki mikrofonla ölçülür ve iki kanallı frekans analiz sisteminde analiz edilen akustik özellikler belirlenir ve bilgisayara kaydedilir. Ses yutma katsayısı ölçümlerinin yapıldığı ölçüm sistemi şekil 3.7. de gösterilmiştir.



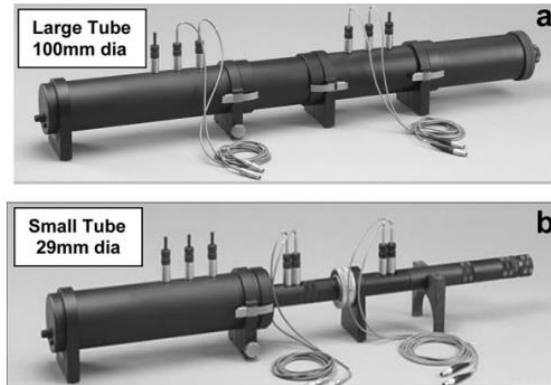
Şekil 3.7. Ses yutma katsayısı ölçüm sistemleri (Brüel & Kjaer)

Tez çalışması kapsamında sadece 29 mm çapındaki numunelerle ölçümler yapıldığı için küçük empedans tüpü kullanılmıştır, büyük empedans tüpüyle ölçümler yapılmamıştır. Ses yutma katsayısının yapıldığı ölçüm sisteminin kurulumu ek-5 te, ses iletim kaybının yapıldığı ölçüm sisteminin kurulumu ek-6 da gösterilmiştir.

3.4.4.2. Ses iletim kaybı ölçümlerinin yapılışı

Ses iletim kaybı değerlerinin ölçümleri yapılacak olan test numunesi ses yutma katsayısı değerlerinin ölçümünde yapıldığı gibi empedans tüpünün sonundaki sert plakaya yerleştirilmez, empedans tüpünün ortasına yerleştirilir. Çünkü test numunesinden empedans tüpünün diğer ucuna (ses kaynağının olmadığı uç) iletilen ve bu bölgede yansıyan ses dalgalarının da analiz edilmesi gereklidir. Ölçümlere geçmeden önce uygun tüp çeşidinin ölçüm ayarlamalarının yapıldığı programda seçilmesi, ortam

koşullarının ölçülmesi (sıcaklık, nem gibi), kablo bağlantılarının kontrol edilmesi gereklidir. Ses iletim kaybı değerlerinin ölçümleri nem oranı % 50 olan ve sıcaklık değeri 23 °C olan bir ortamda yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı ortamdaki gürültü ölçülür. Ses iletim kaybı değerlerinin hesaplanmasını sağlayacak transfer fonksiyonlarının doğru olarak çözümlenebilmesi için test numunesinin kalınlık bilgisi frekans analizinin yapıldığı programda ilgili yere yazılarak kaydedilir. Ayrıca sinyal jeneratöründen istenen dalga şeklinin seçilmesi ve frekans limiti istenirse bu bilgilerin de programa girilmesi gerekir. Bu işlemlerin tamamı yapıldıktan sonra ses iletim kaybı değerlerinin ölçümüne geçilebilir. Ses iletim kaybı değerlerinin ölçümleri yapılır ve sonuçlar kaydedilir. Ses kaynağında üretilen ses dalgalarının ses basıncı değerleri dört mikrofonla ölçülür ve dört kanallı frekans analiz sisteminde analiz edilen akustik özellikler belirlenir ve bilgisayara kaydedilir. Ses iletim kaybı ölçüm sistemleri şekil 3.8. de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ses iletim kaybı ölçüm sistemleri (Allan, ve ark., 2012)

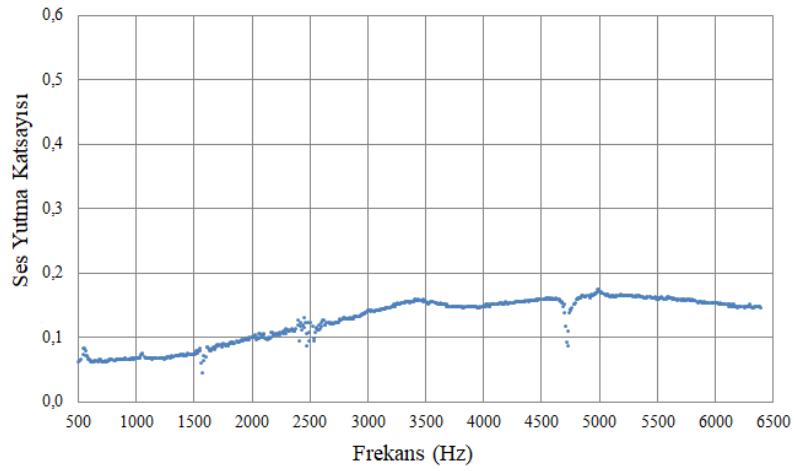
Ses iletim kaybı ölçümleri sadece 29 mm çap değerindeki PLA ve ABS malzemeden eklemeli üretimle üretilmiş test numuneleri ile yapılmıştır. Şekil 3.8. de gösterilen küçük empedans tüpünde ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında iki farklı malzemeden farklı doluluk oranlarında ve farklı yazdırma desenlerinde elde edilen ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerinin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

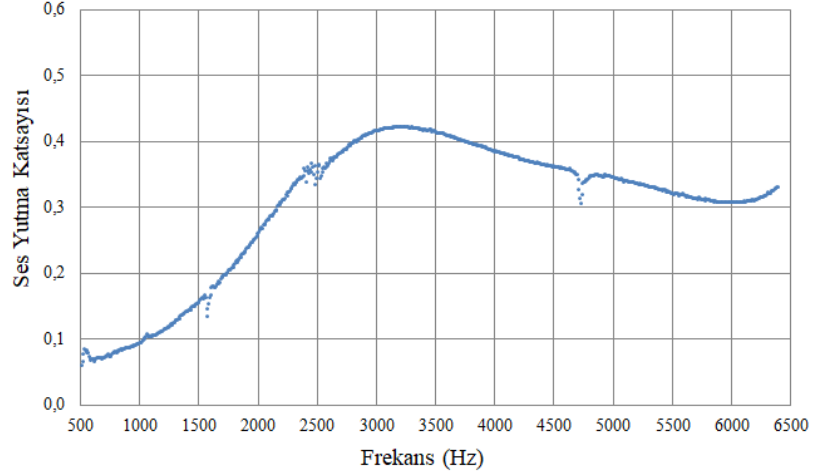
4.1. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde sırasıyla H_pla_10, H_pla_20 ve H_pla_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmektedir.



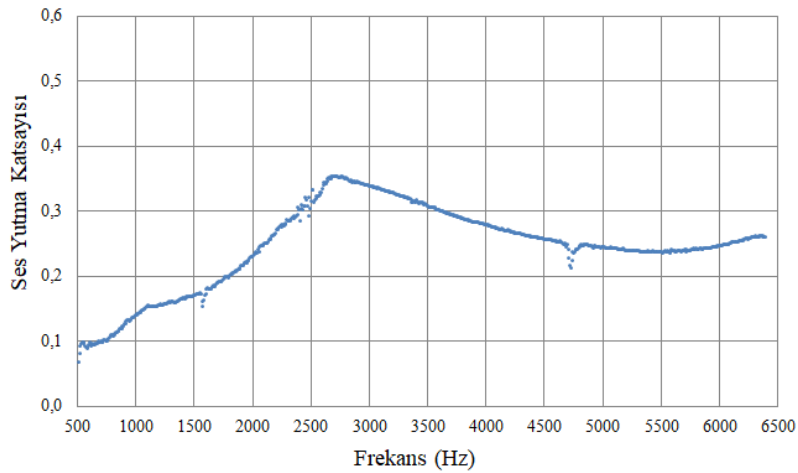
Şekil 4.1. H_pla_10 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.1. de hexagonal (altıgen yapı) desenli % 10 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. Grafik incelenirse 500-3500 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 3500-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. 5100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri azalış eğilimindedir. H_pla_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5008 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,172 ölçülmüştür.



Şekil 4.2. H_pla_20 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.2. de hexagonal (altıgen yapı) desenli % 20 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-3200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 3200-6200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmıştır. 6200-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir. H_pla_20 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3200 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,421 ölçülmüştür.



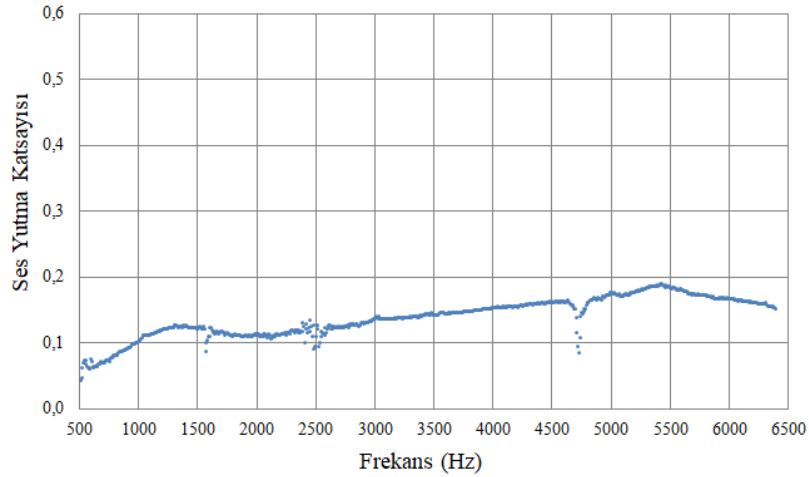
Şekil 4.3. H_pla_30 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.3. te hexagonal (altıgen yapı) desenli % 30 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz

aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-2712 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 2712-5200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 5200-5800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. 5800-6300 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir. 6300-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik yoktur. H_pla_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2712 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,352 ölçülmüştür.

4.2. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

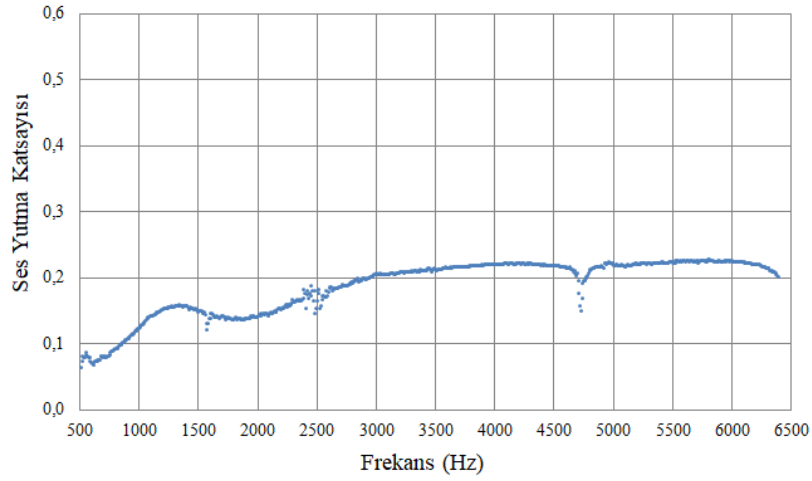
Bu bölümde sırasıyla H_abs_10, H_abs_20 ve H_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmektedir.



Şekil 4.4. H_abs_10 ses yutma katsayısı sonuçları

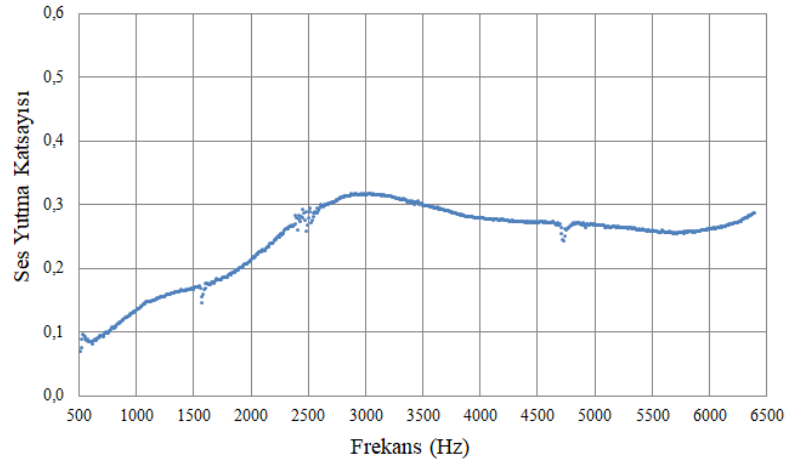
Şekil 4.4. te hexagonal (altıgen yapı) desenli % 10 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. Grafik incelenirse, 500-1300 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 1300-2144 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 2144-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 5100-5440 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. Yaklaşık 5440 Hz' den sonra ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin olarak azalış görülmektedir. Maksimum ses yutma katsayısı değeri grafikten de görüldüğü gibi 0,2 değerini

geçememiştir. H_abs_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5440 Hz’ de yaklaşık 0,1872 ölçülmüştür.



Şekil 4.5. H_abs_20 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.5. te hexagonal (altıgen yapı) desenli % 20 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunesinin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. Grafik incelenirse, 500-1350 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 1350-1900 Hz aralığında genellikle ses yutma katsayısı değerleri azalmaktadır. 1900-4200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 4200-4660 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri belirgin bir değişim göstermemiştir. Ayrıca 4900-6100 Hz aralığında da ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. 6100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri azalış eğilimindedir. Maksimum ses yutma katsayısı H_abs_20 numunesinin 5808 Hz değerinde yaklaşık 0,225 belirlenmiştir.

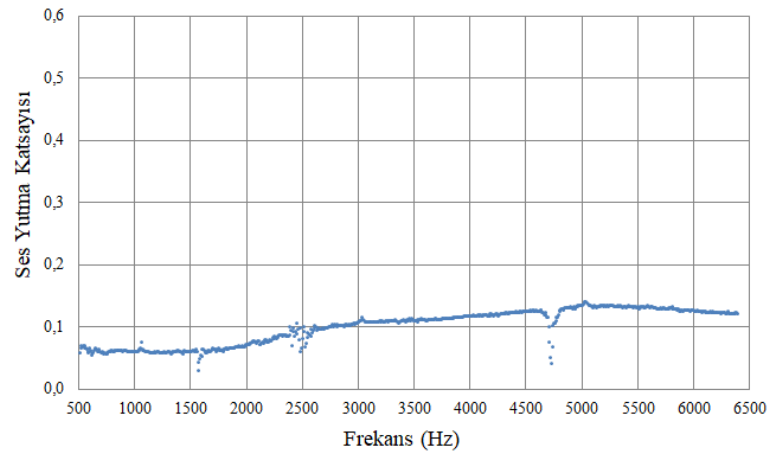


Şekil 4.6. H_abs_30 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.6. da hexagonal (altıgen yapı) desenli % 30 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. Grafik incelenirse, 500-2912 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 2912-5450 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 5450-5900 Hz aralığında ses yutma katsayısı sonuçları yaklaşık aynıdır. 5900-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir. H_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,316 ölçülmüştür.

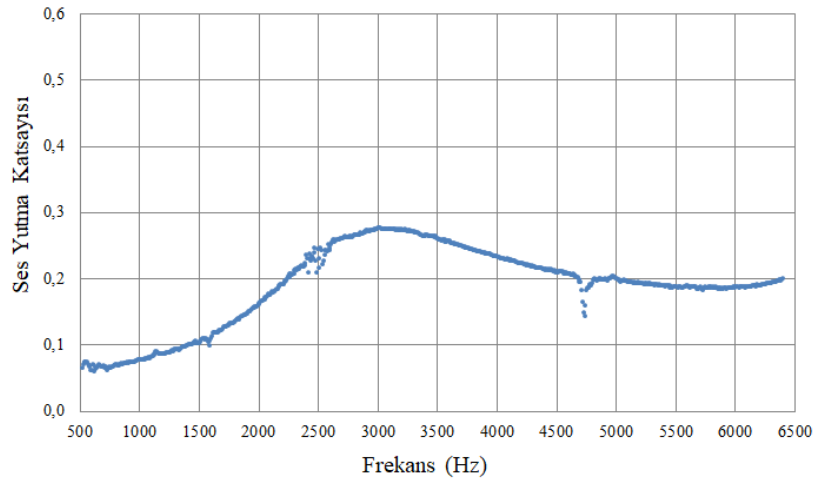
4.3. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde S_pla_10, S_pla_30 ve S_pla_50 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir.



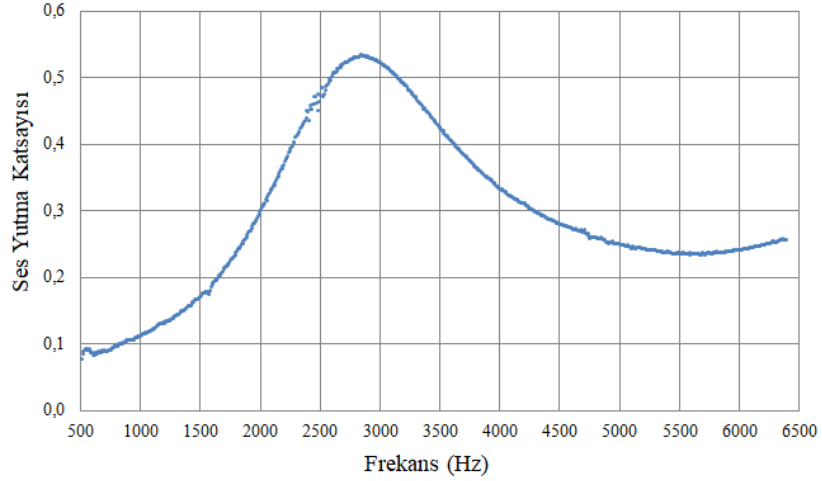
Şekil 4.7. S_pla_10 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.7. de square (kare yapılı) desenli % 10 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-1800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim yoktur. 1800-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir. 5100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri azalış eğilimindedir. S_pla_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri yaklaşık 0,139, 5048 Hz frekans değerinde ölçülmüştür.



Şekil 4.8. S_pla_30 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.8. de square (kare yapılı) desenli % 30 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-3000 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 3000-5600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmıştır. 5600-6000 Hz aralığında ses yutma katsayısı sonuçlarında bariz bir farklılık yoktur. 6000-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artışa meyillidir. S_pla_30 numunesinin en yüksek ses yutma katsayısı değeri yaklaşık 0,276 frekansın 3000 Hz olduğu durumda belirlenmiştir.

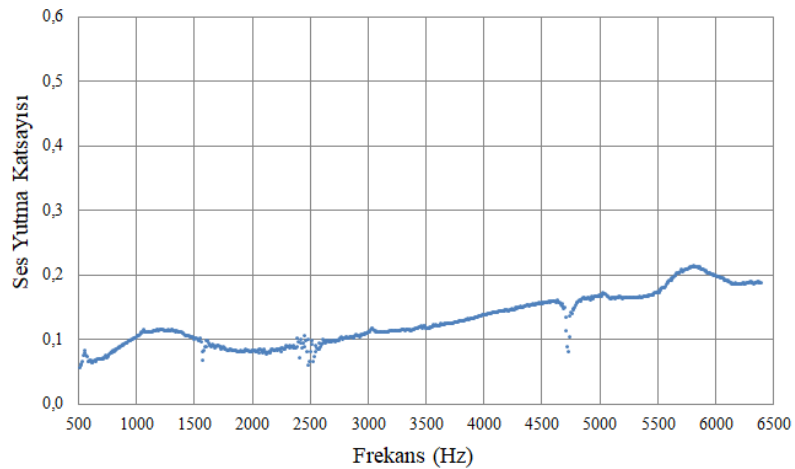


Şekil 4.9. S_pla_50 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.9. da square (kare yapılı) desenli % 50 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan PLA numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-2848 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 2848-5500 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 5500 Hz' den sonraki frekanslarda ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir. S_pla_50 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2848 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,532 ölçülmüştür.

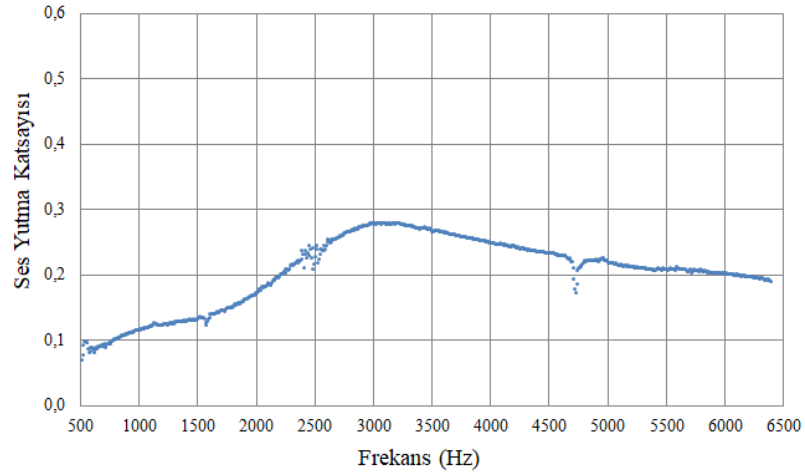
4.4. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu kısımda S_abs_10, S_abs_30 ve S_abs_50 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir.



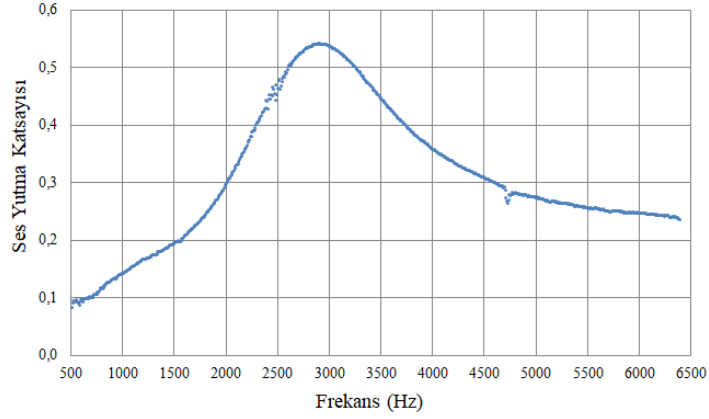
Şekil 4.10. S_abs_10 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.10. da square (kare yapılı) desenli % 10 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-1300 Hz frekans aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 1300-2000 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 2000-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 4900-5500 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik yoktur. 5500-5800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde artış görülmektedir. 5800-6100 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde azalış görülmektedir. 6100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık sabittir. S_abs_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri yaklaşık 0,213 frekansın 5816 Hz olduğu durumda ölçülmüştür.



Şekil 4.11. S_abs_30 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.11. de square (kare yapılı) desenli % 30 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-3000 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. 3000-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmıştır. S_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3000 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,278 ölçülmüştür.



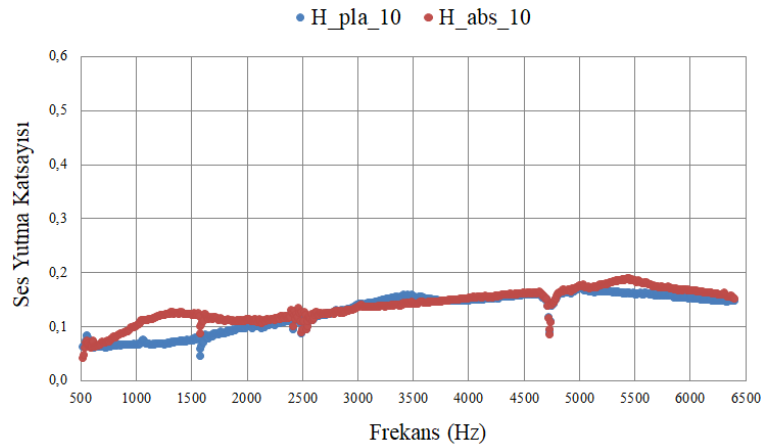
Şekil 4.12. S_abs_50 ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.12. de square (kare yapılı) desenli % 50 doluluk oranında eklemeli üretim yöntemlerinden FDM metoduyla üretilmiş olan ABS numunenin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı verileri empedans tüpüyle ölçülerek belirlenmiştir. 500-2912 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 2912-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. S_abs_50 numunesinin en yüksek ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,539 ölçülmüştür.

Üretilmiş olan tüm numuneler isimleriyle birlikte ek-7 de gösterilmiştir. Ayrıca ek-7 de örnek iki adet numunenin arka yüzeyleri gösterilmiştir. Bütün numunelerin arka yüzeyleri kapalıdır.

4.5. Altıgen Desenli % 10 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde hexagonal (altıgen) desenli % 10 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

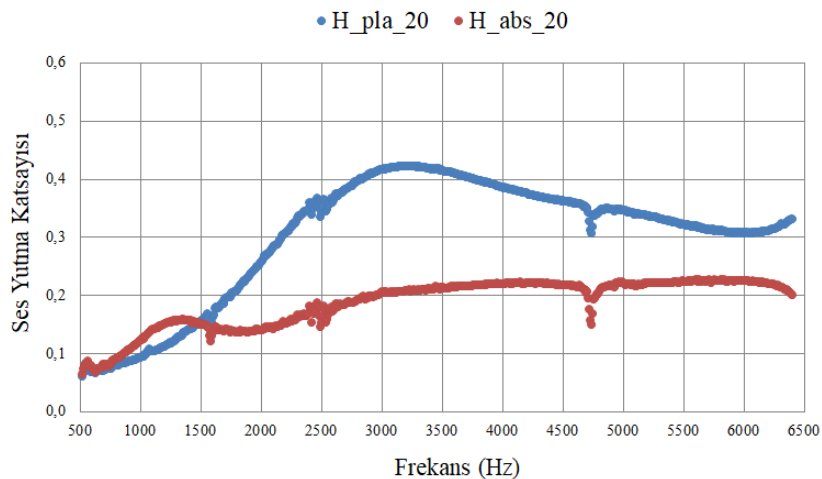


Şekil 4.13. Altıgen desenli % 10 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.13. te H_pla_10 ve H_abs_10 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz frekans aralığında gösterilmiştir. H_abs_10 numunesinde 500-1300 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 1300-2144 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. H_pla_10 numunesinde ise 500-2144 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 2144-6400 Hz aralığında H_pla_10 ve H_abs_10 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçları birbirine yakındır ve bu numunelerin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçları düşük seviyelerdedir.

4.6. Altıgen Desenli % 20 Dolulukta Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde H_pla_20 ve H_abs_20 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında verilmiştir ve bu sonuçlara göre H_pla_20 ve H_abs_20 numunelerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



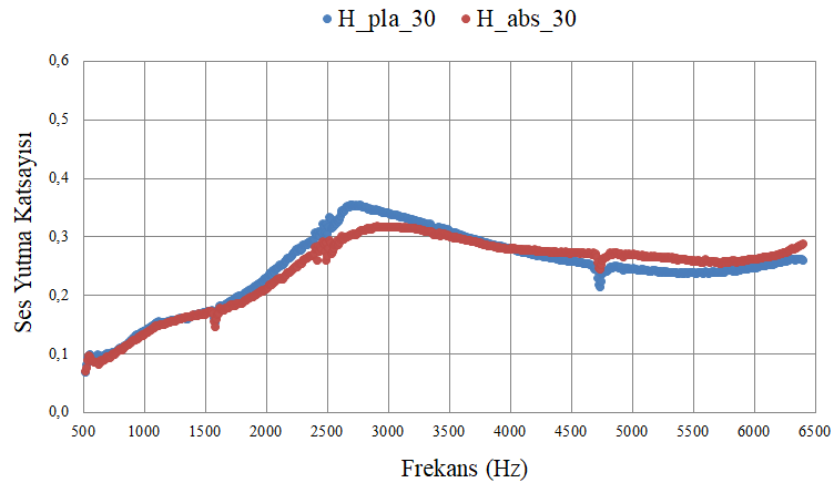
Şekil 4.14. Altıgen desenli % 20 dolulukta numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.14. te H_pla_20 ve H_abs_20 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. H_pla_20 numunesinde 500-3200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 3200-6200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmıştır ve 6200-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artışa meyillidir. H_abs_20 numunesinde 500-1350 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 1350-1900 Hz aralığında genellikle ses yutma katsayısı değerleri azalmaktadır. 1900-4200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken 4200-4660 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri belirgin bir değişim göstermemiştir. Ayrıca H_abs_20 numunesinde 4900-6100 Hz

aralığında da ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir ve 6100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri azalışa meyillidir. H_pla_20 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3200 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,421 ölçülürken H_abs_20 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5808 Hz değerinde yaklaşık 0,225 ölçülmüştür.

4.7. Altıgen Desenli % 30 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde H_pla_30 ve H_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir ve bu sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

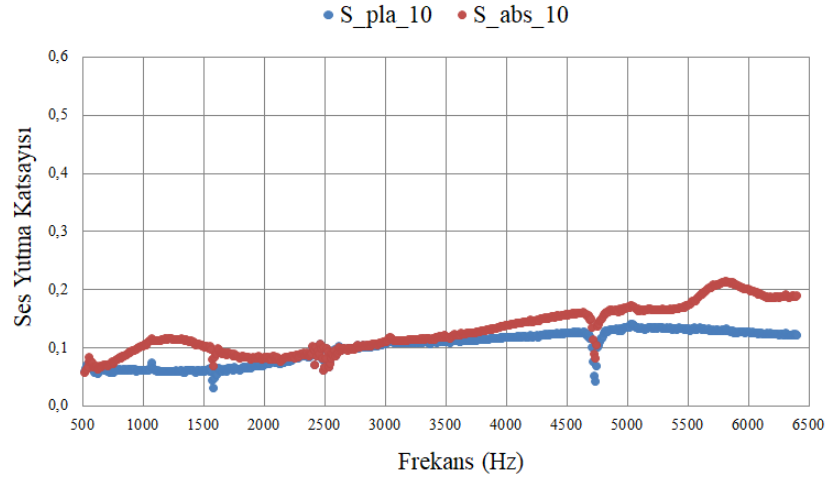


Şekil 4.15. Altıgen desenli % 30 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.15. te H_pla_30 ve H_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. Bu numunelerin 500-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı sonuçları benzerlik göstermektedir. H_pla_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2712 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,352 ölçülürken H_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,316 ölçülmüştür.

4.8. Kare Desenli % 10 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde S_pla_10 ve S_abs_10 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında verilmiştir ve bu sonuçlara göre S_pla_10 ve S_abs_10 numunelerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

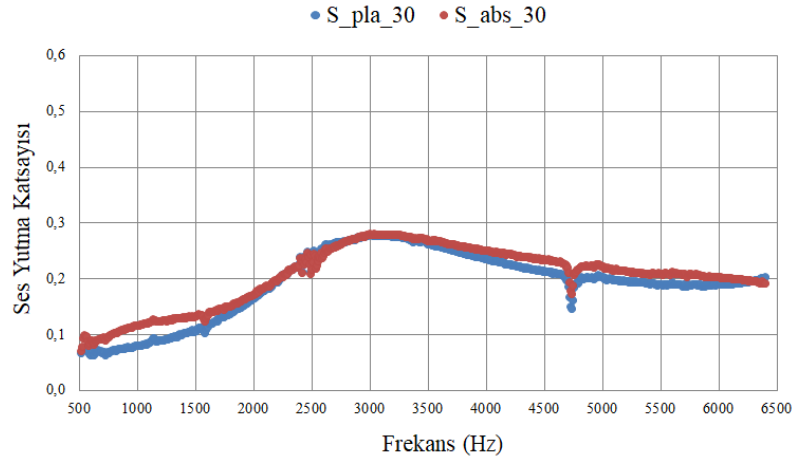


Şekil 4.16. Kare desenli % 10 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.16. da S_pla_10 ve S_abs_10 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları gösterilmiştir. S_pla_10 numunesinde 500-1800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim yoktur. 1800-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artış eğilimindedir ve 5100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri azalışa meyillidir. S_abs_10 numunesinde 500-1300 Hz frekans aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 1300-2000 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 2000-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmaktadır. 4900-5500 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik yoktur. 5500-5800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde artış görülmektedir. 5800-6100 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde azalış görülmektedir ve 6100-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık aynıdır. S_pla_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5048 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,139 ölçülürken S_abs_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5816 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,213 ölçülmüştür.

4.9. Kare Desenli % 30 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde S_pla_30 ve S_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. S_pla_30 ve S_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

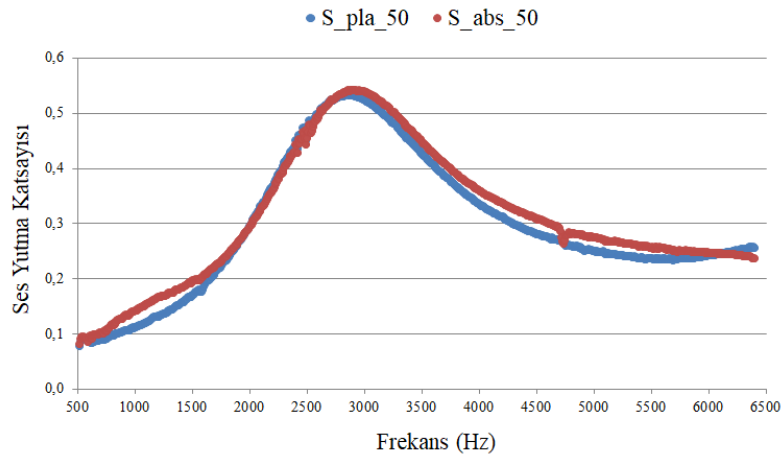


Şekil 4.17. Kare desenli % 30 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.17. de S_pla_30 ve S_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı 500-6400 Hz aralığında verilmiştir. Bu numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları benzerlik göstermektedir. 500-1700 Hz aralığında S_abs_30 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçları, S_pla_30 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçlarına göre genellikle daha yüksek seviyelerdedir. S_pla_30 numunesinin en yüksek ses yutma katsayısı değeri 3000 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,276 ölçülürken S_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3000 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,278 ölçülmüştür.

4.10. Kare Desenli % 50 Doluluktaki Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde S_pla_50 ve S_abs_50 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir ve bu numunelerin ses yutma katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır.

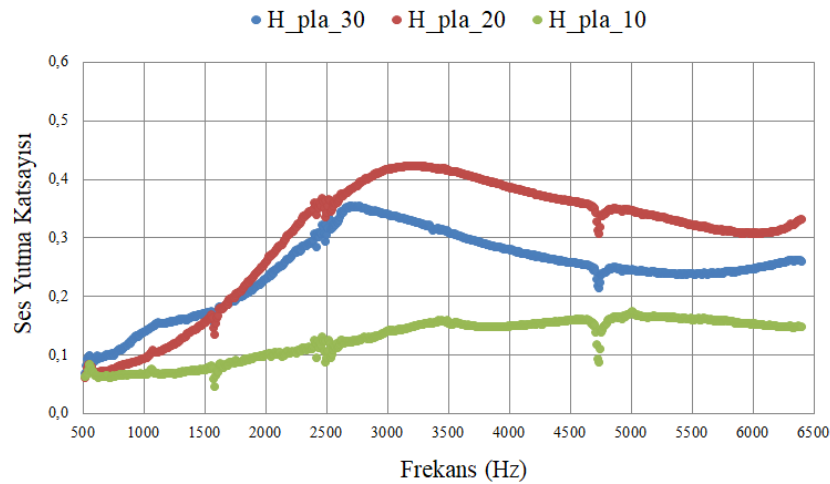


Şekil 4.18. Kare desenli % 50 doluluktaki numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.18. de S_pla_50 ve S_abs_50 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. 500-1600 Hz aralığında genellikle S_abs_50 numunesinin ses yutma katsayısı değerleri, S_pla_50 numunesinin ses yutma katsayısı değerlerinden daha yüksek seviyelerdedir. 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçları incelendiğinde S_pla_50 ve S_abs_50 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçlarının benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. S_pla_50 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2848 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,532 ölçülürken S_abs_50 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,539 ölçülmüştür.

4.11. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde altıgen desenli PLA malzemededen üretilen numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir ve bu numunelerin ses yutma katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır.



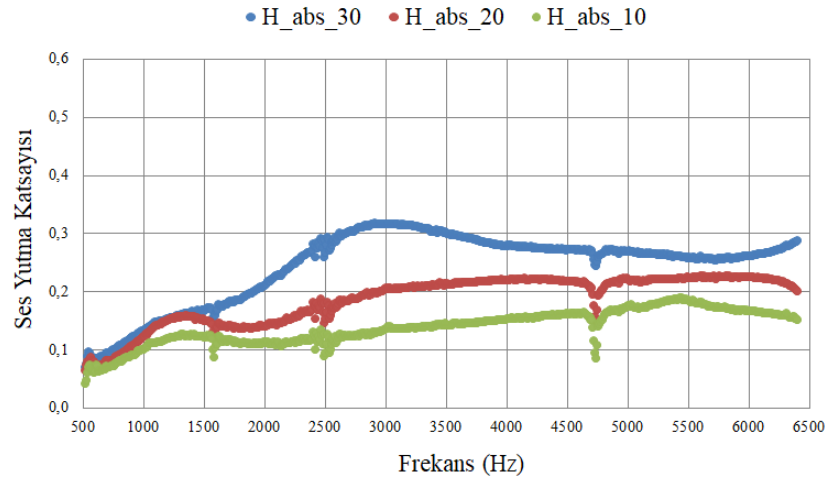
Şekil 4.19. Altıgen desenli pla numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.19. da H_pla_10, H_pla_20 ve H_pla_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları gösterilmiştir. En yüksek ses yutma katsayısı sonuçları genellikle H_pla_20 numunesinde görülmüştür. H_pla_10 numunesinde grafik incelenirse 500-3500 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artarken H_pla_20 numunesinde 500-3200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır ve H_pla_30 numunesinde 500-2712 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle artmıştır. H_pla_10 numunesinde 3500-4600 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir ve 5100-6400 Hz aralığında

ses yutma katsayısı değerleri azalışa meyillidir. H_pla_20 numunesinde 3200-6200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmıştır ve 6200-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artışa meyillidir. H_pla_30 numunesinde 2712-5200 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle azalmaktadır. 5200-5800 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir ve 5800-6300 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri artışa meyillidir. H_pla_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5008 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,172 ölçülürken H_pla_20 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3200 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,421 ölçülmüştür. H_pla_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2712 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,352 ölçülmüştür.

4.12. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde altıgen desenli ABS numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında verilmiştir ve bu numunelerin ses yutma katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır.



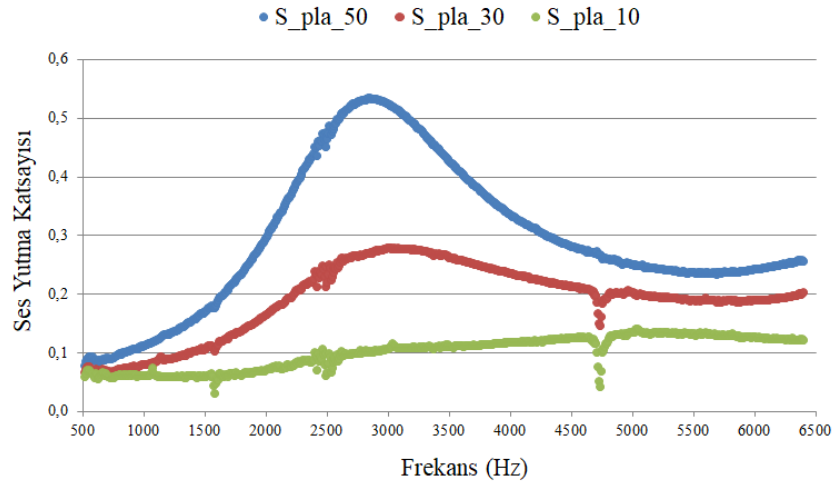
Şekil 4.20. Altıgen desenli abs numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.20. de H_abs_10, H_abs_20 ve H_abs_30 numunelerinin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. H_abs_10 ve H_abs_20 numunelerinin ses yutma katsayısı değerleri genellikle benzer eğilim göstermiştir ve H_abs_20 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçları genellikle H_abs_10 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçlarından daha yüksek seviyelerdedir. Altıgen desenli ABS numuneler arasında H_abs_30 numunesinin ses yutma katsayısı sonuçları genellikle diğer numunelere göre daha yüksek seviyelerdedir. H_abs_10 numunesinin maksimum

ses yutma katsayısı değeri 5440 Hz' de yaklaşık 0,1872 ölçülürken H_abs_20 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5808 Hz değerinde yaklaşık 0,225 ölçülmüştür. H_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,316 ölçülmüştür.

4.13. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde kare desenli PLA numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir ve bu numunelerin ses yutma katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır.

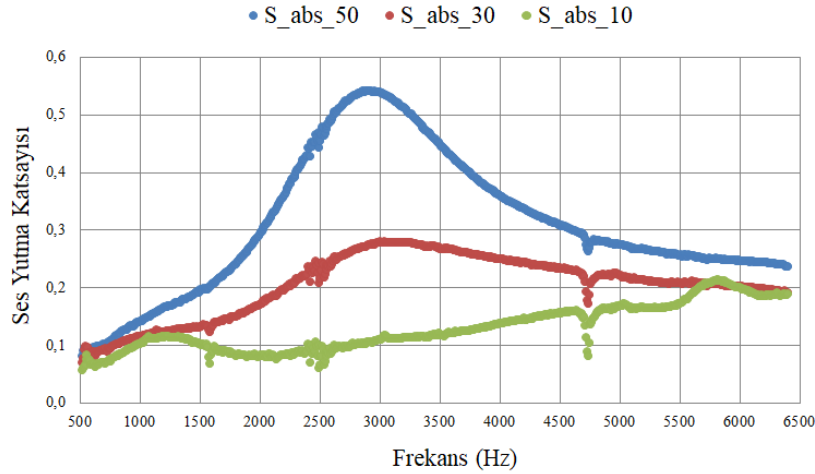


Şekil 4.21. Kare desenli pla numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.21. de kare desenli PLA numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları incelendiğinde doluluk oranı artışına bağlı olarak ses yutma katsayısı değerlerinin 500-6400 Hz aralığında genellikle arttığı söylenebilir. Kare desenli PLA numuneler arasında en yüksek ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında genellikle S_pla_50 numunesindedir. Kare desenli PLA numuneler arasında en düşük ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında genellikle S_pla_10 numunesindedir. S_pla_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5048 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,139 ölçülürken S_pla_30 numunesinin en yüksek ses yutma katsayısı değeri 3000 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,276 ölçülmüştür. S_pla_50 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2848 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,532 ölçülmüştür.

4.14. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses Yutma Katsayısı Sonuçları

Bu bölümde kare desenli ABS numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir ve bu numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları karşılaştırılmıştır.

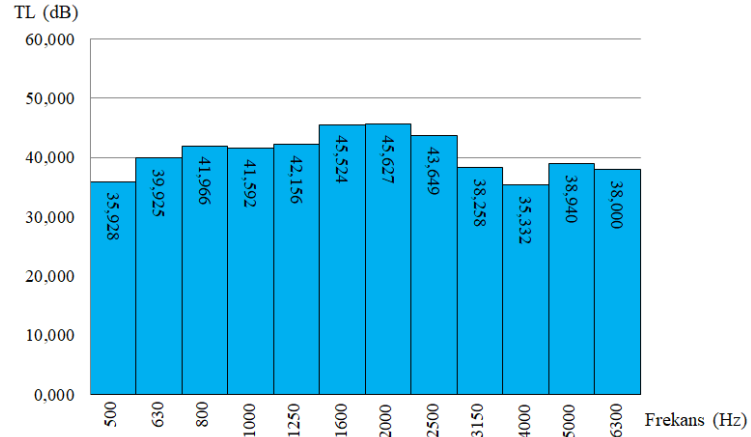


Şekil 4.22. Kare desenli abs numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları

Şekil 4.22. de kare desenli ABS numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 500-6400 Hz aralığında gösterilmiştir. Kare desenli ABS numunelerin 500-6400 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçlarının genellikle doluluk oranı artışına bağlı olarak arttığı söylenebilir. 500-6400 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri genellikle en düşüğe doğru sırasıyla S_abs_10, S_abs_30 ve S_abs_50' dir. S_abs_10 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 5816 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,213 ölçülürken S_abs_30 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 3000 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,278 ölçülmüştür. S_abs_50 numunesinin maksimum ses yutma katsayısı değeri 2912 Hz frekans değerinde yaklaşık 0,539 ölçülmüştür.

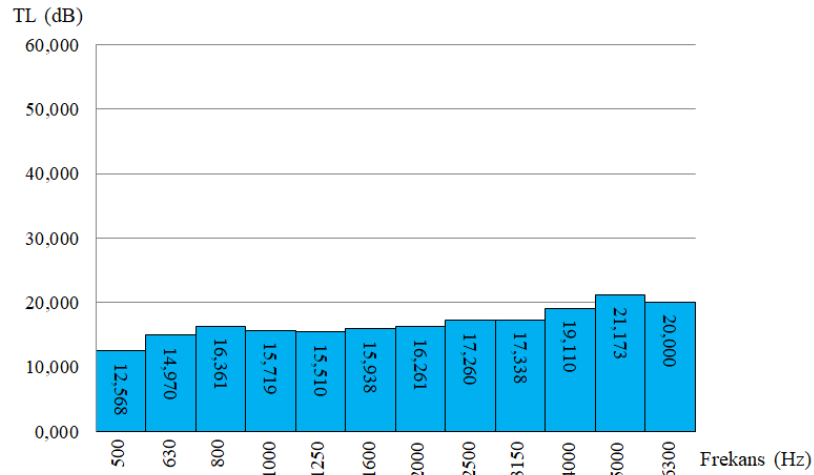
4.15. Altıgen Desenli Pla Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

Bu bölümde H_pla_10, H_pla_20 ve H_pla_30 numunelerinin ses iletim kaybı sonuçları 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bandı aralıklarındaki merkez frekanslarında gösterilmiştir.



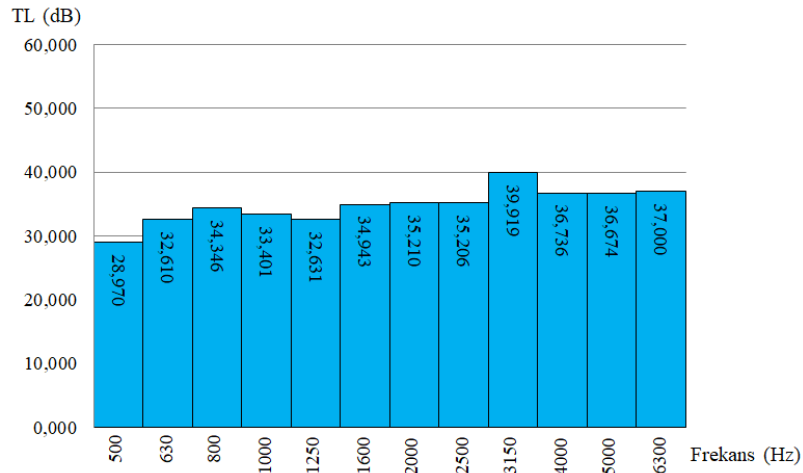
Şekil 4.23. H_pla_10 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.23. te H_pla_10 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki H_pla_10 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 35 dB ile yaklaşık 46 dB arasında değişmektedir. 500 Hz' de yaklaşık 36 dB olan ses iletim kaybı değeri 800 Hz' de yaklaşık 42 dB' e kadar artmıştır. 800, 1000 ve 1250 Hz değerlerinde ses iletim kaybı değerleri birbirine yakındır, bariz bir farklılık yoktur. 1600 ve 2000 Hz değerlerinde ses iletim kaybı değerleri en yüksek seviyelerdedir. H_pla_10 numunesi 2000 Hz frekansında 45,627 dB ile maksimum ses iletim kaybı değerine ulaşmıştır. Ses iletim kaybı değerleri 2000 Hz' den sonra 2500 ve 3150 Hz' de azalmıştır ve 4000 Hz' de 35,332 dB değeriyle minimum değerindedir. 5000 ve 6300 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri birbirine yakındır.



Şekil 4.24. H_pla_20 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.24. te H_pla_20 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarındaki H_pla_20 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 13 dB ile yaklaşık 21 dB arasında değişmektedir. 500 Hz frekansında yaklaşık 13 dB olan ses iletim kaybı değeri 630 ve 800 Hz frekansında artarak 16,361 dB değerine kadar yükselmiştir. 1000, 1250 ve 1600 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri yaklaşık aynıdır. 2000, 2500, 3150 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri az miktarlarda artmıştır. 4000 Hz frekansta ses iletim kaybı yaklaşık 19 dB' dir. H_pla_20 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 5000 Hz frekansta 21,173 dB olarak belirlenmiştir. H_pla_20 numunesinin ses iletim kaybı sonucu 500 Hz frekansında 12,568 dB ile minimum değerindedir. 6300 Hz frekansında ses iletim kaybı değeri 20 dB' dir.

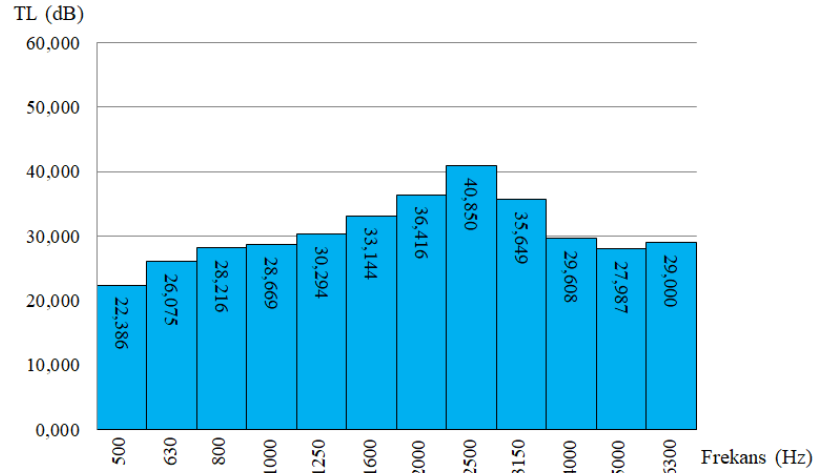


Şekil 4.25. H_pla_30 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.25. te H_pla_30 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları 1/3 oktav bantlarında verilmiştir. Bu sonuçlara göre ses iletim kaybı değerleri 500 ile 6300 Hz frekans aralığındaki 1/3 oktav bantlarında yaklaşık 29 dB ile yaklaşık 40 dB arasında değişmektedir. Ses iletim kaybı değerleri 500, 630 ve 800 Hz frekanslarında artarken 1000 ve 1250 Hz frekans değerlerinde azalmıştır. 1600, 2000 ve 2500 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri yaklaşık aynıdır. 3150 Hz frekansında H_pla_30 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 39,919 dB ile maksimum değerindedir. H_pla_30 numunesinin minimum ses iletim kaybı sonucu 500 Hz frekansında 28,970 dB ölçülmüştür. 4000, 5000 ve 6300 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri birbirine yakındır.

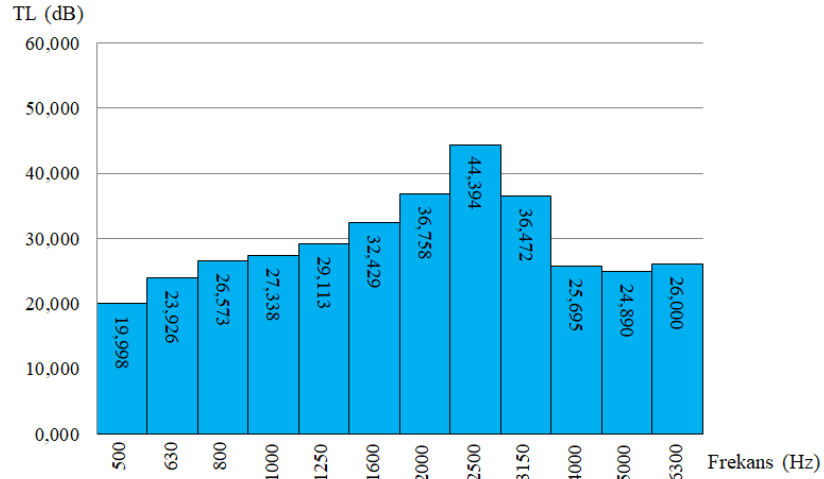
4.16. Altıgen Desenli Abs Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

Bu bölümde H_abs_10, H_abs_20 ve H_abs_30 numunelerinin ses iletim kaybı sonuçları 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantı aralıklarındaki merkez frekanslarında verilmiştir.



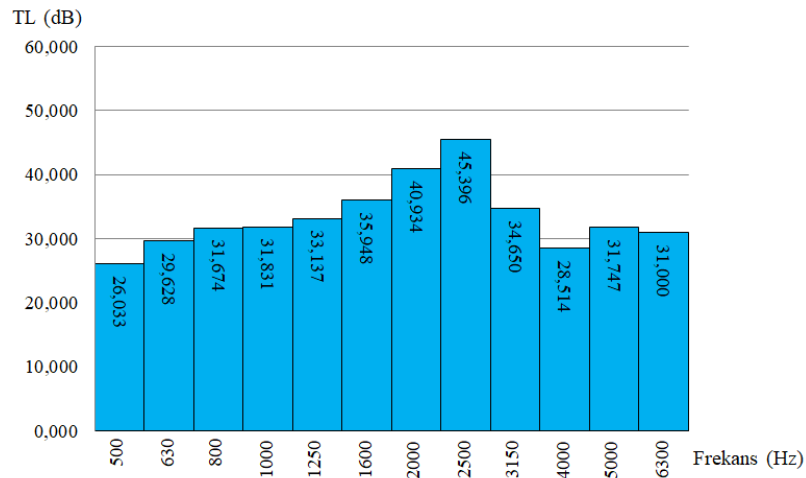
Şekil 4.26. H_abs_10 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.26. da H_abs_10 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında ölçülen sonuçlara göre H_abs_10 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 22 dB ile yaklaşık 41 dB arasında değişmektedir. 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmaktadır. 2500 Hz frekansında 40,850 dB ile ses iletim kaybı sonuçları H_abs_10 numunesi için maksimum değerine yükselmiştir. Minimum ses iletim kaybı değeri H_abs_10 numunesi için 500 Hz frekans değerinde 22,386 dB olarak belirlenmiştir. 3150, 4000 ve 5000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalırken 6300 Hz frekans değerinde ses iletim kaybı değeri artmıştır.



Şekil 4.27. H_abs_20 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.27. de H_abs_20 numunesinin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz frekans aralığındaki 1/3 oktav bantlarında verilmiştir. 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bantlarında ölçülen sonuçlara göre H_abs_20 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 20 dB ile yaklaşık 44 dB arasında değişmektedir. Minimum ses iletim kaybı değeri H_abs_20 numunesi için 500 Hz frekansında yaklaşık 20 dB ölçülmüştür. 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 ve 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artarken 3150, 4000 ve 5000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 6300 Hz frekansında ses iletim kaybı değeri 5000 Hz frekansındaki ses iletim kaybı değerine göre artmıştır. Maksimum ses iletim kaybı değeri H_abs_20 numunesi için 2500 Hz frekansında 44,394 dB belirlenmiştir.

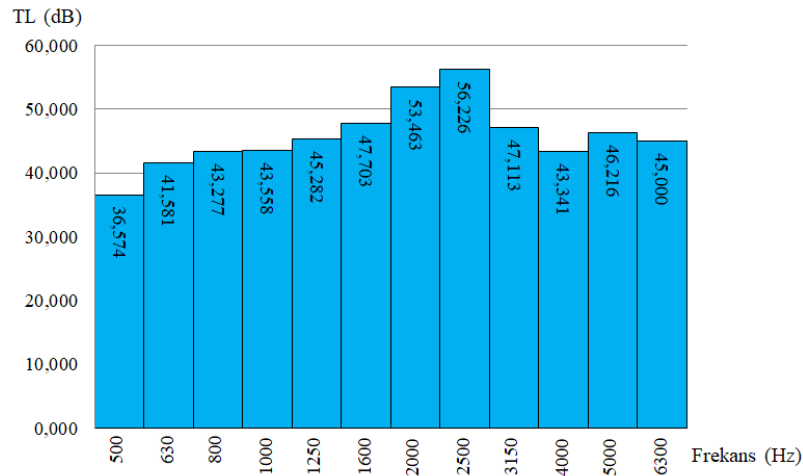


Şekil 4.28. H_abs_30 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.28. de H_abs_30 numunesinin 500-6300 Hz aralığındaki ses iletim kaybı değerleri 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında H_abs_30 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 26 dB ile yaklaşık 45 dB arasında değişmektedir. H_abs_30 numunesinin minimum ses iletim kaybı değeri 26,033 dB ile 500 Hz frekansında ölçülmüştür. 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 ve 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artarken 3150, 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 5000 Hz frekansında 4000 Hz frekansındaki ses iletim kaybı değerine nazaran artma görülmektedir. 5000 ve 6300 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri birbirine yakındır. H_abs_30 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekansında 45,396 dB ölçülmüştür.

4.17. Kare Desenli Pla Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

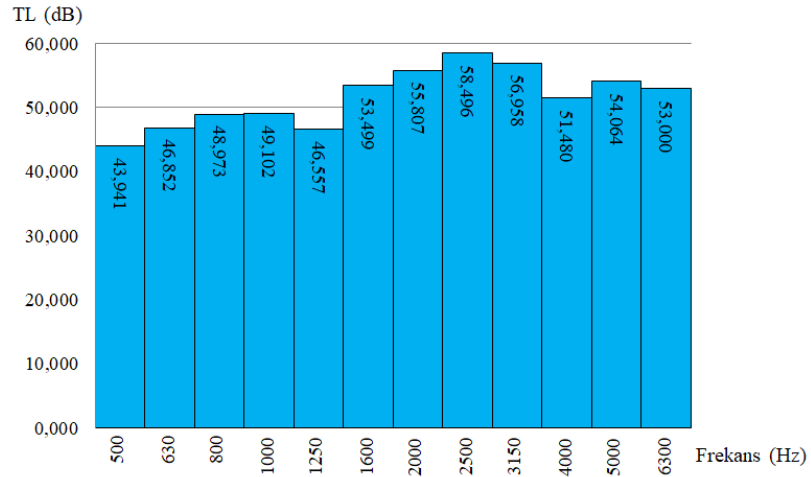
Bu bölümde S_pla_10, S_pla_30 ve S_pla_50 numunelerinin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bandı aralıklarındaki merkez frekanslarında gösterilmiştir.



Şekil 4.29. S_pla_10 ses iletim kaybı sonuçları

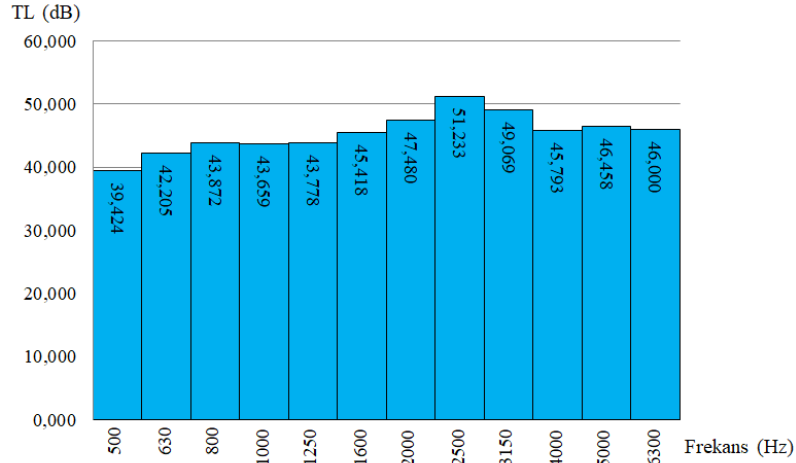
Şekil 4.29. da S_pla_10 numunesinin 500-6300 Hz aralığındaki ses iletim kaybı değerleri 1/3 oktav bantlarında verilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında S_pla_10 numunesinin ölçülen ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 37 dB ile yaklaşık 56 dB arasında değişmektedir. S_pla_10 numunesinin minimum ses iletim kaybı değeri 500 Hz frekansında 36,574 dB belirlenmiştir. Ses iletim kaybı değerleri 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 ve 2500 Hz frekansında artmaktadır. 3150, 4000 Hz

frekansında ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 5000 Hz frekansında 4000 Hz frekansındaki ses iletim kaybı değerine göre ses iletim kaybı değeri artmıştır. 6300 Hz frekansında 5000 Hz frekansına göre ses iletim kaybı değerleri azalmıştır. S_pla_10 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekansında 56,226 dB ölçülmüştür.



Şekil 4.30. S_pla_30 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.30. da S_pla_30 numunesinin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarında verilmiştir. 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarındaki sonuçlara göre S_pla_30 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 44 dB ile yaklaşık 58 dB arasında değişmektedir. S_pla_30 numunesinin minimum ses iletim kaybı değeri 500 Hz frekansında 43,941 dB ölçülmüştür. 630, 800 ve 1000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artarken 1250 Hz değerinde ses iletim kaybı değeri azalmaktadır. 1600, 2000, 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artarken 3150 ve 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 5000 Hz frekans değerinde ses iletim kaybı değeri artmakta ve 6300 Hz frekans değerinde ses iletim kaybı değeri azalmaktadır. S_pla_30 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekans değerinde 58,496 dB ölçülmüştür.

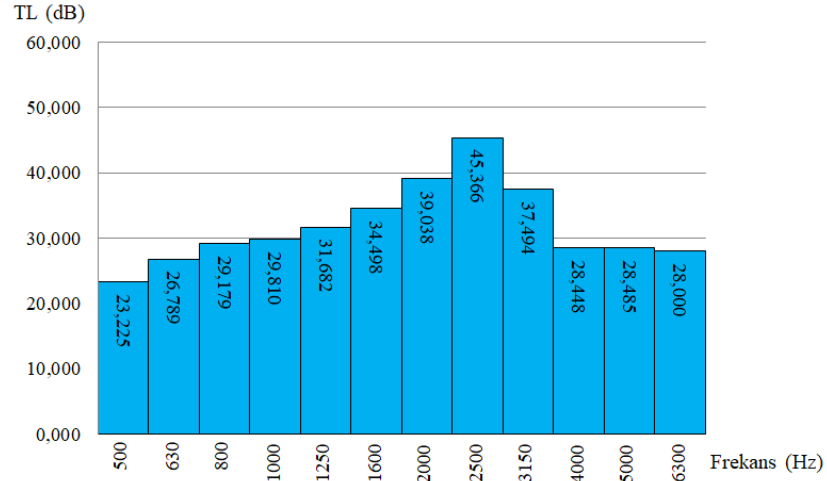


Şekil 4.31. S_pla_50 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.31. de S_pla_50 numunesinin ses iletim kaybı değerleri 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki S_pla_50 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 39 dB ile yaklaşık 51 dB arasında değişmektedir. S_pla_50 numunesinin ses iletim kaybı değeri 500 Hz frekansında 39,424 dB ile minimum seviyededir. 630 ve 800 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmıştır. 800, 1000 ve 1250 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri yaklaşık aynıdır. 1600, 2000 ve 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmakta ve 3150, 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 4000, 5000 ve 6300 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri yaklaşık aynıdır. S_pla_50 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekansında 51,233 dB ölçülmüştür.

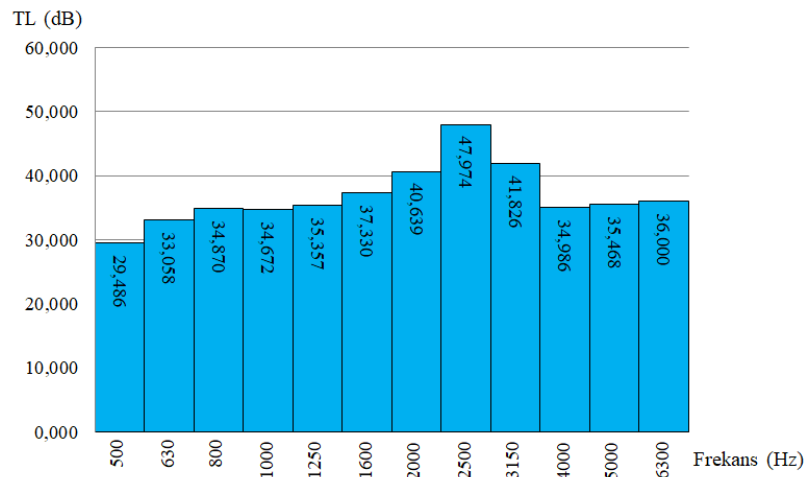
4.18. Kare Desenli Abs Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

Bu bölümde S_abs_10, S_abs_30 ve S_abs_50 numunelerinin ses iletim kaybı sonuçları 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bandı aralıklarındaki merkez frekanslarında gösterilmiştir.



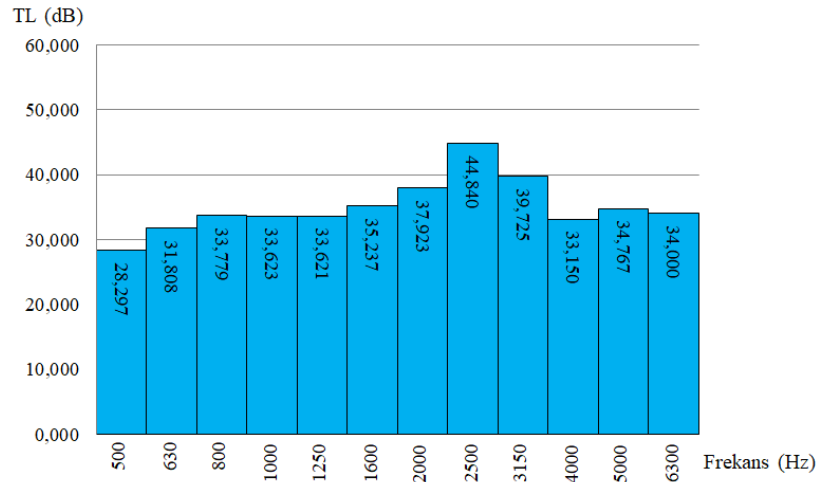
Şekil 4.32. S_abs_10 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.32. de S_abs_10 numunesinin ses iletim kaybı sonuçları 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 23 dB ile yaklaşık 45 dB arasında değişmektedir. S_abs_10 numunesinin minimum ses iletim kaybı değeri 500 Hz frekansında 23,225 dB belirlenmiştir. 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 ve 2500 Hz frekanslarında ses iletim kaybı değerleri artarken 3150, 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 4000, 5000 ve 6300 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri yaklaşık aynıdır. S_abs_10 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekansında 45,366 dB ölçülmüştür.



Şekil 4.33. S_abs_30 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.33. te S_abs_30 numunesinin 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında ses iletim kaybı değerleri gösterilmiştir. 500-6300 Hz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 29 dB ile yaklaşık 48 dB arasında değişmektedir. S_abs_30 numunesinin ses iletim kaybı sonucu 500 Hz frekansında 29,486 dB ile minimum seviyededir. 630, 800 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmıştır. 800 ve 1000 Hz değerinde ses iletim kaybı değeri yaklaşık aynıdır. 1250, 1600, 2000 ve 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artarken 3150, 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 4000, 5000 ve 6300 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri birbirine yakındır. S_abs_30 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekansında 47,974 dB ölçülmüştür.



Şekil 4.34. S_abs_50 ses iletim kaybı sonuçları

Şekil 4.34. te S_abs_50 numunesinin 500-6300 Hz frekans aralığındaki 1/3 oktav bantlarında ses iletim kaybı sonuçları gösterilmiştir. 500-6300 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarında ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 28 dB ile 45 dB arasında değişmektedir. S_abs_50 numunesinin minimum ses iletim kaybı değeri 500 Hz frekansında 28,297 dB ölçülmüştür. 630, 800 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmıştır. 800, 1000 ve 1250 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık aynıdır. 1600, 2000 ve 2500 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri artmaktadır. 3150 ve 4000 Hz frekans değerlerinde ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. 5000 Hz frekansında 4000 Hz frekansındaki ses iletim kaybı değerine nazaran ses iletim kaybı değerinde artış görülmüştür. 5000 ve 6300 Hz frekans

değerlerinde ses iletim kaybı değerleri yaklaşık birbirine yakındır. S_abs_50 numunesinin maksimum ses iletim kaybı değeri 2500 Hz frekans değerinde 44,840 dB ölçülmüştür.

Kare numunelerin ses iletim kaybı sonuçları ek-8 de, altıgen numunelerin ses iletim kaybı sonuçları ek-9 da verilmiştir.

4.19. Tartışma

Kumar ve arkadaşları 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada PLA malzemeden kare şeklinde üretilmiş iki özdeş parçanın birleştirilmesiyle oluşturulmuş numunelerin farklı ölçülerdeki farklı havalandırma alanları sayesinde 500-1000 Hz aralığında 0,8' den daha yüksek ses yutma katsayısı sonuçlarını elde etmiştir. Bu tez çalışmasında 500-1000 Hz frekans aralığında yüksek ses yutma katsayısı sonuçları elde edilememiştir bu yönüyle Kumar ve arkadaşlarının bulmuş olduğu sonuçlar bu tez çalışmasındaki sonuçlara göre farklılıklar göstermektedir.

Meng ve arkadaşlarının 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada alt ve üst tabakaları farklı kalınlıkta olan sandviç panellerin ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı sonuçları 100-1600 Hz aralığında araştırılmıştır. Sadece üst tabakaya delikler açılmış sandviç panelde ses yutma katsayısı sonuçları 1000-1200 Hz aralığında 0,7' den daha yüksek değerlerdedir. Üst ve eğimli tabakaya delikler açılmış sandviç panelde ses yutma katsayısı sonuçları 700-800 Hz aralığında 0,7' den daha yüksek değerlerdedir. Bu tez çalışmasında ise 700-1200 Hz aralığında hiçbir numunede 0,7 gibi yüksek ses yutma katsayısı değerlerine ulaşamamıştır bu yönüyle Meng ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın sonuçları bu tez çalışmasındaki sonuçlara göre farklı değişimler göstermiştir. Ayrıca sadece üst tabakaya delikler açılan sandviç panelin, üst ve eğimli tabakaya delikler açılmış sandviç panelin 800-1600 Hz aralığındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 40-52 dB aralığında değişmektedir. Bu tez çalışmasında H_pla_10 numunesinin 800-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 42-46 dB arasında değişmektedir. S_pla_10 numunesinin 800-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 43-48 dB arasında değişmektedir. S_pla_30 numunesinin 800-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 47-53 dB arasında değişmektedir. S_pla_50 numunesinin 800-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları yaklaşık 44-45 dB arasında değişmektedir. Sonuç olarak Meng ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın 800-1600 Hz aralığındaki ses iletim kaybı sonuçları, bu tez çalışmasındaki H_pla_10, S_pla_10, S_pla_30 ve S_pla_50

numunelerinin 800-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki ses iletim kaybı sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Opiela ve arkadaşının 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada silindir şeklinde ABS malzemedен boşluklu üretilmiş numunenin dikey yönde konumlandırılarak empedans tüpünde yapılmış olan ses yutma katsayısı ölçümlerinde 900-1000 Hz aralığında ve 2800-3000 Hz aralığında 0,7' den yüksek ses yutma katsayısı değerleri ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında hiçbir numunede hiçbir frekans değerinde 0,539' dan daha yüksek ses yutma katsayısı değeri ölçülememiştir. Bu yönüyle Opiela ve arkadaşının yapmış oldukları çalışmada, bu tez çalışmasına göre farklı sonuçlar vardır. Silindir şeklindeki ABS malzemedен boşluklu üretilmiş numunenin 2000 Hz civarında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık 0,29 değerindedir ve 4000 Hz civarında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık 0,39 değerindedir. Bu tez çalışmasındaki S_abs_50 numunesinin 2000 Hz değerinde ses yutma katsayısı değeri yaklaşık 0,29 ve 4000 Hz değerinde ses yutma katsayısı yaklaşık 0,36 değerindedir. S_pla_50 numunesinin 2000 ve 4000 Hz değerinde ses yutma katsayısı yaklaşık 0,3 değerindedir. Bu yönüyle Opiela ve arkadaşının yapmış oldukları çalışmada, bu tez çalışmasına göre benzer sonuçlar vardır.

Guild ve arkadaşları 2018 yılında TPU malzemedен 29 mm çapında ve farklı doluluk oranlarında eklemeli üretimle üretilmiş kesitlerde farklı doluluk oranlarının ses yutma katsayısı sonuçlarına etkisini araştırmıştır. % 20, 40 ve 100 doluluk oranlarındaki kesitler sırasıyla 2, 20 ve 2 mm kalınlığında üretilmiştir. % 20 ve % 40 doluluk oranlarındaki kesitlerin birleştirilmesiyle oluşturulan numunenin 4000-5000 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçları 0,6' dan yüksek değerlerdedir. Bütün kesitlerin birleştirilmesiyle oluşturulan numunenin 3000-3500 Hz aralığında ses yutma katsayısı sonuçları 0,8' den daha yüksek değerlerdedir. Guild ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada belirtilen frekans aralıklarında ses yutma katsayısı sonuçları 0,6' nın üzerinde olduğu için bu tez çalışmasındaki ses yutma katsayısı sonuçlarına göre farklı sonuçlar vardır. Ayrıca 2200-2300 Hz aralığında % 20 ve % 40 doluluk oranlarındaki kesitlerin birleştirilmesiyle oluşturulan numunenin ses yutma katsayısı sonuçları 0,4' yakındır. Bu tez çalışmasında S_abs_50 ve S_pla_50 numunelerinin 2200-2300 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık 0,4 değerindedir. Bu yönüyle Guild ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın ses yutma katsayısı sonuçları, bu tez çalışmasının S_abs_50 ve S_pla_50 numunelerinin belirtilen frekans aralığı değerlerindeki ses yutma katsayısı sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Lee ve arkadaşları 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada eklemeli üretimle PLA malzemeden farklı boyutlarda ürettikleri kare ve silindir şeklindeki numunelerin ses iletim kaybı değerlerini 64-1600 Hz aralığında araştırmıştır. Kare ve silindir şeklindeki numunelerin 64-1600 Hz aralığında ses iletim kaybı değerleri yaklaşık 35-75 dB arasında değişmektedir. Bu tez çalışmasındaki numunelerin ses iletim kaybı değerleri 500-1600 Hz aralığındaki 1/3 oktav bandı değerlerinde 13-53 dB arasında değişmektedir. Bu yönüyle bu tez çalışmasındaki sonuçlar Lee ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın sonuçlarından farklılık göstermektedir.

Setaki ve arkadaşları 2014 yılında SLS tekniğiyle 28 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde zp131 malzemeden üretilen farklı çap ve uzunluk değerlerinde hava kanalları açılmış akustik sönümleyicilerin 800-5000 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı değerlerini araştırmıştır. 10 mm çapında ve 102,8 mm uzunluğunda hava kanalı açılmış akustik sönümleyicide ses yutma katsayısı 1600 Hz frekansında 0,94 ölçülmüştür. 7,5 mm çapında ve 102,8 mm uzunluğunda hava kanalı açılmış akustik sönümleyicide ses yutma katsayısı 1250 Hz frekansında 0,94 ölçülmüştür. Bu tez çalışmasından elde edilen ses yutma katsayısı sonuçlarına göre Setaki ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmadaki ses yutma katsayısı sonuçları farklılık göstermektedir.

Liu ve arkadaşları 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada VisiJet-SL (Clear) malzemesinden eklemeli üretimle üretilen MPPA numunelerin, hava boşluğunun ve gözenekli malzemenin birlikte kullanılmasının ses yutma katsayısı sonuçlarını araştırmıştır. Delikler arasındaki mesafe 5 mm olan ve MPPA numunenin arkasında 2 mm hava boşluğu bırakıldığı durumdaki ölçülen ses yutma katsayısı değerleri 3500-4000 Hz aralığında 0,6' dan yüksek değerlerdedir. Delikler arasındaki mesafe 5 mm olan MPPA numunenin arkasında gözenekli malzeme ve 2 mm hava boşluğu bırakıldığı durumdaki ses yutma katsayısı değerleri 2500 Hz civarında 0,8' den daha yüksek değerlerdedir. Ayrıca MPPA numunelere farklı mesafelerde delikler açılmış ve bu numunelerin arkasında farklı mesafelerde hava boşluğu bırakılmıştır. Farklı mesafelerde delikler açılmış ve farklı mesafelerde hava boşluğu bırakılan numunelerin ses yutma katsayısı ölçümlerinde de bazı frekans aralıklarında 0,6' dan daha yüksek ses yutma katsayısı sonuçları elde edilmiştir. Liu ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada bulunan ses yutma katsayısı sonuçları, bu tez çalışmasındaki numunelerden elde edilen ses yutma katsayısı sonuçlarına göre farklılık göstermektedir.

Akiwate ve arkadaşları 2018 yılında ABS malzemeden farklı doluluk oranlarında ve farklı uzunlukta silindir şeklinde eklemeli üretimle üretilen altıgen

desenli numunelerin ses yutma katsayısı değerlerini araştırmıştır. % 14 doluluk oranında altıgen desenli üretilmiş 80 mm uzunluğundaki numunenin yaklaşık 4700-5000 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçları 0,6' dan daha yüksek seviyelerdedir. Bu yönüyle Akiwate ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın ses yutma katsayısı sonuçları bu tez çalışmasındaki ses yutma katsayısı sonuçlarından farklılık göstermektedir. % 14 doluluk oranında altıgen desenli üretilmiş 80 mm uzunluğundaki numunenin 800-2700 Hz aralığındaki ses yutma katsayısı sonuçları yaklaşık 0,31-0,45 değerleri arasında değişmektedir. Bu tez çalışmasındaki S_pla_50 numunesinin 2000-2700 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık 0,3-0,5 arasında değişmektedir. S_abs_50 numunesinin 2000-2700 Hz aralığında ses yutma katsayısı değerleri yaklaşık 0,29-0,52 arasında değişmektedir. Ayrıca altıgen desenli % 9, 11 ve 14 doluluk oranlarında 80 mm uzunluğunda üretilen numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları 800-6300 Hz aralığında incelendiğinde doluluk oranı artışının ses yutma katsayısı değerlerinin genellikle artmasını sağladığı tespit edilmiştir. Bu yönleriyle Akiwate ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın ses yutma katsayısı sonuçları, bu tez çalışmasındaki ses yutma katsayısı sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

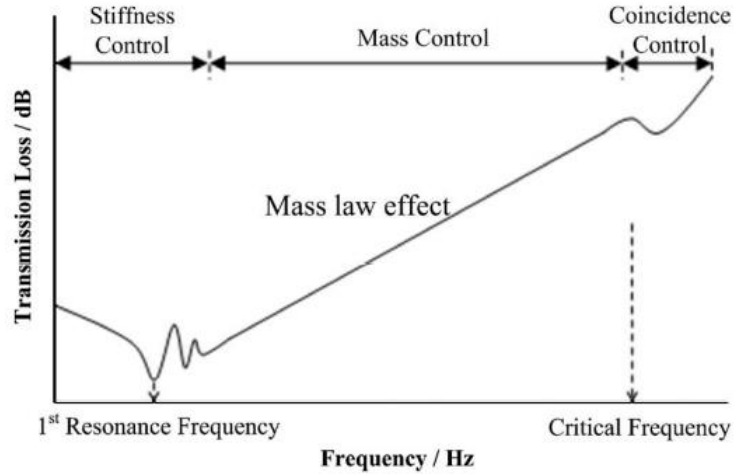
5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında ses yutma katsayısının ve ses iletim kaybının farklı geometrik yapılardaki farklı malzemelerin farklı doluluk oranlarındaki sonuçları araştırılmıştır.

Doluluk oranı değişimine bağlı olarak ses yutma katsayısı değerleri de değişmiştir. Numunelerin doluluk oranının artması genellikle ses yutma katsayısı değerlerinin artmasını sağlamıştır. Bu durumun nedeni açıklık oranının azalmasıdır. Denklem 3.4 te gösterilen spesifik akustik empedans kavramında açıklık oranının azalması spesifik akustik empedansın artmasını sağladığı için ses yutma katsayısı değerleri doluluk oranı artışına bağlı olarak artmıştır.

Kare ve altıgen şekillerin farkı % 30 doluluk oranlarındaki numunelerde değerlendirilirse, S_abs_30 ve H_abs_30 numuneleri arasında ve S_pla_30 ve H_pla_30 numuneleri arasında ses yutma katsayısı sonuçlarının farklı olması bu numuneler arasındaki spesifik akustik empedans farklılığından kaynaklanmış olabilir. Çünkü açıklık oranının farklı olması spesifik akustik empedansın farklı olmasını sağlar ve spesifik akustik empedansın farklı olması da ses yutma katsayısı değerlerinin farklı olmasını sağlar. Ayrıca altıgen desenli numunelerin ortalama hücre duvarı kalınlığı kare desenli numunelerin ortalama hücre duvarı kalınlığından daha büyük olduğu için % 30 doluluk oranındaki numunelerde altıgen desenli numunelerin ses yutma katsayısı sonuçları genellikle daha yüksek değerlerdedir.

Ses iletim kaybı sonuçlarını değerlendirebilmek için katı malzemelerdeki ses iletim kaybını etkileyen faktörleri bilmek gerekir. Şekil 5.1. de katı malzemelerde ses iletim kaybını etkileyen faktörler gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Katı malzemelerde ses iletim kaybını etkileyen faktörler (Lee, ve ark., 2009)

Katı malzemelerde ses iletim kaybı değerlerinde rijitlik kontrollü, kütle kontrollü ve çakışım kontrollü bölgelerde frekansa göre farklı sonuçlar oluşmaktadır. Rijitlik kontrollü bölgede malzemenin genelde birinci rezonans frekansına kadar ses iletim kaybı değerleri azalmaktadır. Birim hacimdeki malzeme kütlesi, Young modülü, malzemenin ölçüleri rijitlik kontrollü bölgedeki sonuçları etkilemektedir. Kütle kontrollü bölgede ses iletim kaybı değerleri denklem 5.1 de verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$TL = 20\log(f) + 20\log(w) - 47 \text{ dB} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1 de (f) frekans değerini, (w) malzemenin birim alanının kütlesini temsil etmektedir. Bu denklemde frekans değerlerinin birimi Hz, birim alanının kütlesinin birimi kg/m^2 'dir. Katı malzemenin eğilme titreşimlerinin dalga boyunun malzeme içerisine gelen sesin dalga boyu ile aynı olması durumu olursa kritik frekans değerine ulaşılmış olur. Birim hacmin kütlesi, elastisite modülü, kalınlık değeri ve hangi açıyla sesin malzemeye ulaştığı gibi durumlar çakışımı etkilemektedir (Özgüven, 2008).

Altıgen desenli ABS numunelerin ses iletim kaybı değişimleri değerlendirilirse 500-2500 Hz aralığında 1/3 oktav bantlarında ses iletim kaybı değerleri genellikle artarken 2500 Hz' den sonra ses iletim kaybı değerleri genellikle azalmıştır. 2500 Hz frekans değerine kadar altıgen desenli ABS numuneler kütle kontrollü bölgede olduğu için ses iletim kaybı değerleri genellikle artmış, 2500 Hz' den sonra çakışım kontrollü bölgede olduğu için ses iletim kaybı değerleri genellikle azalmış olabilir.

Altıgen desenli PLA numunelerde ses iletim kaybı sonuçlarında farklılıklar vardır. H_pla_10 numunesinin kritik frekans değeri 2000 Hz frekansı olabilir ve bu

frekans değerinden sonra ses iletim kaybı değerleri genellikle 5000 Hz frekans değerine kadar azalmıştır. H_pla_20 numunesinin diğer numunelere göre daha düşük ses iletim kaybı değerlerinde olmasının nedeni olması gereken sıcaklık değerinden daha yüksek sıcaklık değerlerinde yazdırılması olabilir. H_pla_30 numunesinin kritik frekans değeri 3150 Hz frekans değeri olabilir. Bu frekans değerinden sonra ses iletim kaybı değerleri genellikle azalmıştır.

Kare desenli ABS numunelerde 500-6300 Hz aralığında 1/3 oktav bantlarında ses iletim kaybı sonuçları incelendiğinde, kare desenli ABS numunelerin tamamında 2500 Hz frekans değerine kadar ses iletim kaybı değerleri genellikle artarken 2500 Hz' den sonra ses iletim kaybı değerleri genellikle azalmıştır. Bu durum 500-2500 Hz aralığında kütle kontrollü bölgede olunmasından dolayı ve 2500 Hz' den sonra çakışım kontrollü bölgede olunmasıyla açıklanabilir.

Kare desenli PLA numunelerde 500-6300 Hz frekans aralığındaki 1/3 oktav bantlarındaki sonuçlar incelendiğinde, kare desenli PLA numunelerin 500-2500 Hz aralığında kütle kontrollü bölgede olmasından dolayı ses iletim kaybı değerleri genellikle bu frekans aralığında artmış olabilir ve 2500 Hz' den sonra çakışım kontrollü bölgede olmasından dolayı bu frekans değerinden sonra genellikle ses iletim kaybı değerleri azalmış olabilir. Wen ve arkadaşları SLA tekniğiyle üretilen sandviç panellerin ses iletim kaybı sonuçlarında farklı Young modülü değerlerinde farklı ses iletim kaybı değerlerinin olduğunu saptamıştır ve Young modülünün 1,21 GPa değerinden 2,42 GPa değerine artmasıyla sandviç panellerdeki ses iletim kaybı değerlerinin arttığını tespit etmiştir (Wen, ve ark., 2019). ABS filamentinin ortalama Young modülü 1,81 GPa değerinde, PLA filamentinin ortalama Young modülü 3,38 GPa değerindedir (Casavola, ve ark., 2016). Kare desenli PLA numunelerin ses iletim kaybı değerlerinin kare desenli ABS numunelerin ses iletim kaybı değerlerinden genellikle daha yüksek olması Young modülü farkından kaynaklanmış olabilir. PLA malzemenin elastisite modülü daha yüksek olduğu için ses dalgalarını ABS malzemeye göre daha fazla yansıtarak ses iletim kaybı değerlerini artırmış olabilir. Çizgi ve bal peteği şeklinde ABS ve PLA malzemedan üretilmiş çekme testi numunelerinin Young modülü karşılaştırıldığında, ABS ve PLA malzemedan üretilen bal peteği numunelerinin çizgi şeklinde numunelere göre daha küçük değerlerde Young modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir (Ebel, ve ark., 2014). Geometrik desenin farklılığının etkisi incelenirse % 30 doluluk oranındaki kare ve altıgen desenli numunelerde bazı frekans değerlerinde kare desenli numunelerin ses iletim kaybı değerlerinin altıgen

desenli numunelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni de elastisite modülü farkı olabilir.

5.2 Öneriler

Eklemeli üretimle üretilmiş numunelerden elde edilen sonuçlara göre bazı önerilerde bulunulabilir. Üretilen numunelerin orta frekans değerlerinde diğer frekans değerlerine göre daha iyi ses yutma katsayısı değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. % 30 ve % 50 doluluk oranındaki numunelerde orta frekans değerlerinde (2500-3500 Hz frekansları arası) ses yutma katsayısı değerleri daha yüksektir. Tez çalışmasındaki numunelerin ses yutma katsayısı ölçümlerinin sonuçlarına göre daha iyi ses yutma performansı yüksek doluluk oranlarında dar bantlarda görülmüştür. PC, HIPS, PA gibi farklı eklemeli üretim malzemeleri ile üretim yapılarak bu malzemelerdeki ses yutma katsayısı performansları frekansa bağlı araştırılabilir. Araştırmalar sonucunda ses yutma katsayısı sonuçları geniş bantlarda daha yüksek değerlerde olabilen malzemeler tespit edilebilir. Bu tez çalışmasında maksimum % 50 doluluk oranı ile üretilmiş numunelerin akustik analizi yapılmıştır ancak ses yutma katsayısı sonuçları yüksek seviyelerde değildir. Doluluk oranı % 50' den fazla olan numunelerin katmanlı üretimi gerçekleştirilerek 1' e yakın ses yutma katsayısı değerleri elde edilebilir. Ayrıca PLA ve ABS malzemelerden farklı geometrik yapılarda (beşgen, dikdörtgen, üçgen, sekizgen vb.) işlenen numunelerden bu tez çalışmasındaki ses iletim kaybı ve ses yutma katsayısı sonuçlarından daha yüksek seviyelerde sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akiwate, D. C., Date, M. D., Venkatesham, B. and Suryakumar, S., 2018, Acoustic properties of additive manufactured narrow tube periodic structures, *Applied Acoustics*, 136, 123-131.
- Aktimur, B. ve Gökpinar, S. E., 2015, Katmanlı üretimin havacılıktaki uygulamaları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3 (2), 463-469.
- Allan, P., Ahmadnia, A., Withnall, R. and Silver, J., 2012, Sound transmission testing of polymer compounds, *Polymer testing*, 31 (2), 312-321.
- Barron, R. F., 2002, Industrial noise control and acoustics, *CRC Press Taylor & Francis Group*, Boca Raton-London-New York, 15-43.
- Berman, B., 2012, 3-D printing: The new industrial revolution, *Business horizons*, 55 (2), 155-162.
- Bickford, E., 2015, Design of acoustic impedance analyzer, Master Thesis, *Rutgers, The State University of New Jersey*, New Brunswick, 10-29.
- Brüel & Kjaer, *Product Data* [online], <https://www.bksv.com/media/doc/BP1039.pdf> [Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2020].
- Bujoreanu, C., Nedeff, F., Benchea, M., and Agop, M., 2017, Experimental and theoretical considerations on sound absorption performance of waste materials including the effect of backing plates, *Applied Acoustics*, 119, 88-93.
- Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E., et al., 2017, Overview on additive manufacturing technologies, *Proceedings of the IEEE*, 105 (4), 593-612.
- Casavola, C., Cazzato, A., Moramarco, V. and Pappalettere, C., 2016, Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory, *Materials and design*, 90, 453-458.
- Cox, T. J. and D'antonio, P., 2009, Acoustic absorbers and diffusers theory, design and application second edition, *Taylor & Francis Group*, London-New York, 157.
- Ebel, E. and Sinnemann, T., 2014, Fabrication of FDM 3D objects with ABS and PLA and determination of their mechanical properties, *RTEjournal*, 2014 (1).
- Fotsing, E. R., Dubourg, A., Ross, A. and Mardjono, J., 2019, Acoustic properties of periodic micro-structures obtained by additive manufacturing, *Applied Acoustics*, 148, 322-331.

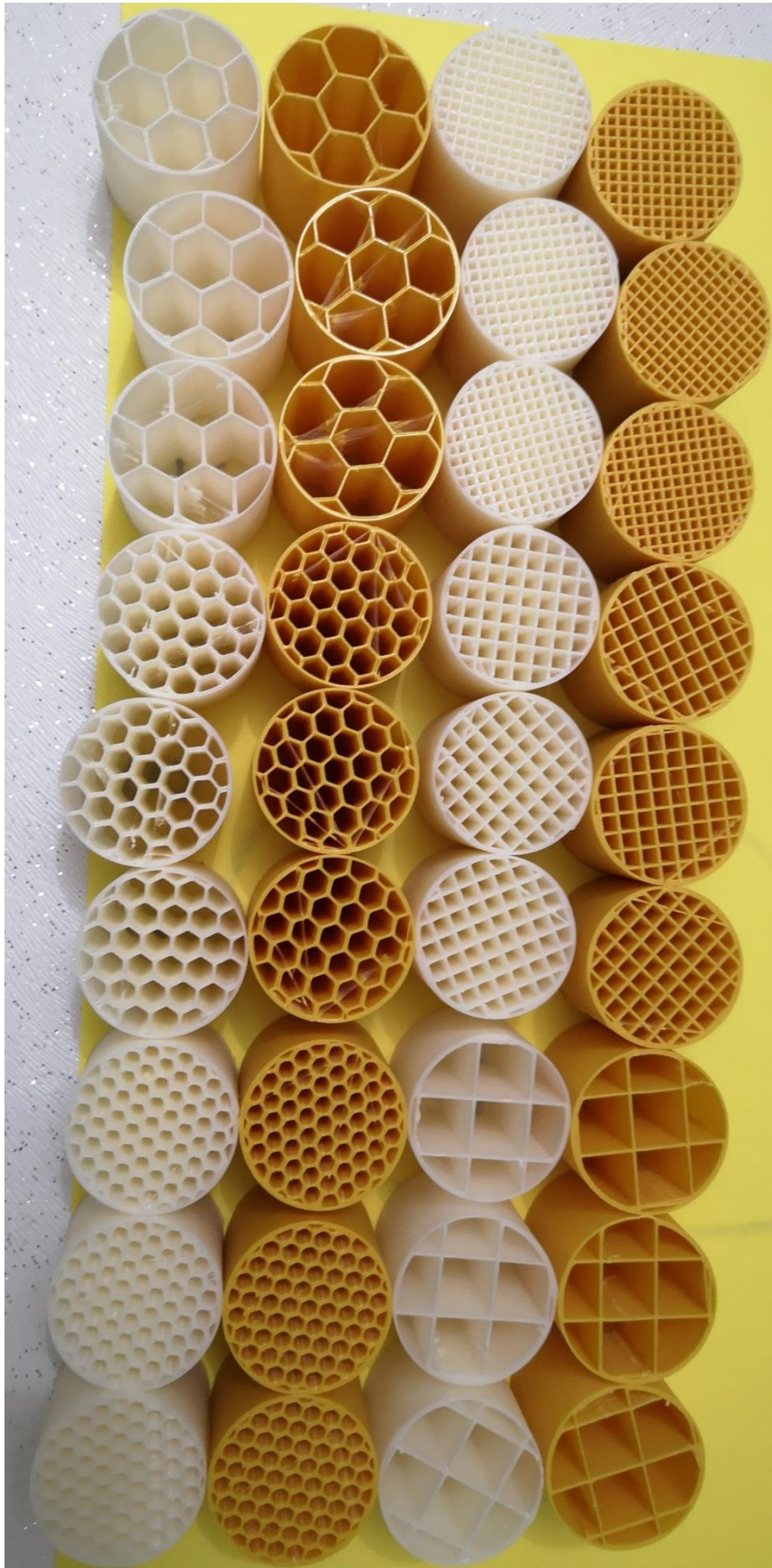
- Fuchs, H., 2013, Applied acoustics: concepts, absorbers, and silencers for acoustical comfort and noise control: alternative solutions-innovative tools-practical examples, *Springer-Verlag*, Berlin-Heidelberg.
- Gao, N. and Hou, H., 2018, Sound absorption characteristic of micro-helix metamaterial by 3D printing, *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 8 (2), 63-67.
- Gebhardt, A., 2011, Understanding additive manufacturing rapid prototyping · rapid Tooling · rapid manufacturing, *Carl Hanser Verlag*, Munich, 91-93.
- Gibson, I., Rosen, D. and Stucker, B., 2014, Additive manufacturing technologies, Springer Science+Business Media, New York, 44-49.
- Gökhan, Ö., 2020, Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 606-621.
- Guild, M. D., Rohde, C., Rothko, M. C. and Sieck, C. F., 2018, 3D printed acoustic metamaterial sound absorbers using functionally-graded sonic crystals, *European Acoustics Association*, paper presented at the proceedings of eurnoise.
- Hua, X. and Herrin, D., 2013, Practical considerations when using the two-load method to determine the transmission loss of mufflers and silencers, *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 6 (2), 1094-1101.
- ISO 10534-2, 1998, Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-part 2: transfer-function method, Switzerland, 3-7.
- Kim, Y. H., 2010, Sound propagation: an impedance based approach: *John Wiley & Sons*, Singapore, 90.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N. and Adachi, A., 2002, The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers, *WIT Transactions on the Built Environment*, 59.
- Kumar, S., Xiang, T. B. and Lee, H. P., 2020, Ventilated acoustic metamaterial window panels for simultaneous noise shielding and air circulation, *Applied Acoustics*, 159, 107088.
- Lee, C.-M. and Xu, Y., 2009, A modified transfer matrix method for prediction of transmission loss of multilayer acoustic materials. *Journal of Sound and Vibration*, 326 (1-2), 290-301.
- Lee, H. P., Kumar, S., Yong, T. H., Kureemun, U. and Song, X., 2019, Design of lightweight skeletal structures for noise mitigation, *3rd International Congress on Acoustics-ICA 2019*, Aachen-Germany.

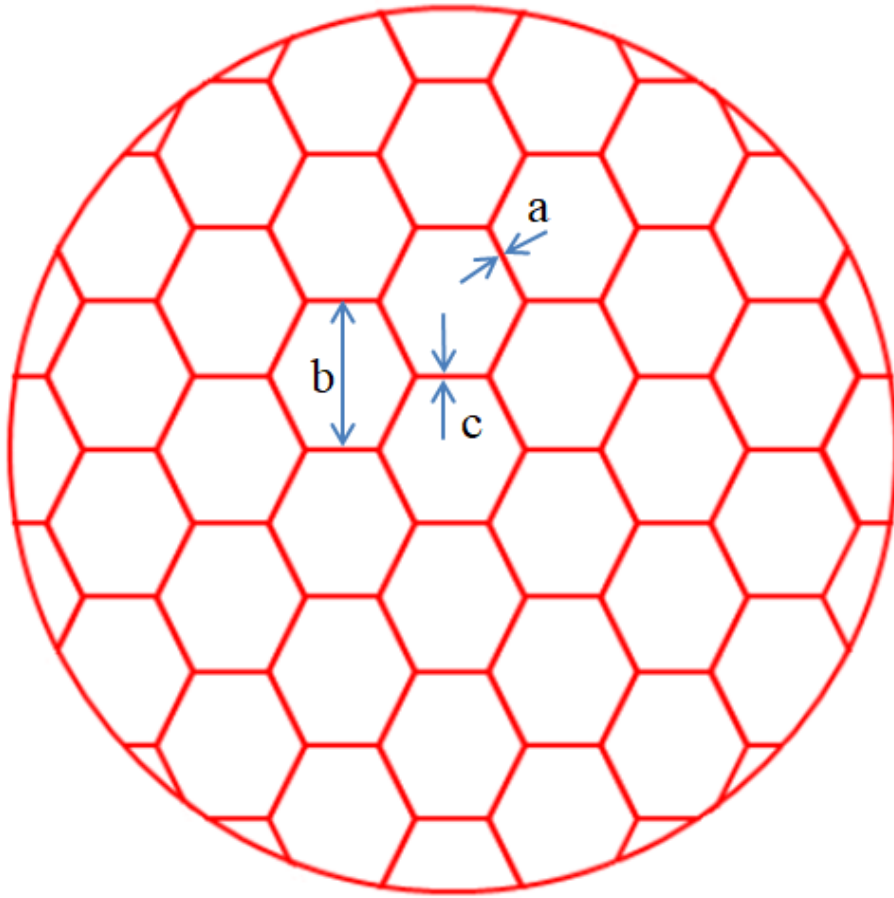
- Li, G. and Mechefske, C. K., 2010, A comprehensive experimental study of micro-perforated panel acoustic absorbers in MRI scanners, *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, 23 (3), 177-185.
- Liu, Z., Zhan, J., Fard, M. and Davy, J. L., 2017, Acoustic measurement of a 3D printed micro-perforated panel combined with a porous material, *Measurement*, 104, 233-236.
- Liu, Z., Zhan, J., Fard, M. and Davy, J. L., 2016, Acoustic properties of a porous polycarbonate material produced by additive manufacturing, *Materials Letters*, 181, 296-299.
- Liu, Z., Zhan, J., Fard, M. and Davy, J. L., 2017, Acoustic properties of multilayer sound absorbers with a 3D printed micro-perforated panel, *Applied Acoustics*, 121, 25-32.
- Meng, H., Galland, M.A., Ichchou, M., Bareille, O., Xin, F., and Lu, T., 2017, Small perforations in corrugated sandwich panel significantly enhance low frequency sound absorption and transmission loss, *Composite Structures*, 182, 1-11.
- Opiela, K. C. and Zieliński, T. G., 2020, Microstructural design, manufacturing and dual-scale modelling of an adaptable porous composite sound absorber. *Composites Part B: Engineering*, 187, 107833.
- Özgüven, H. N., 2008, Gürültü kontrolü endüstriyel ve çevresel gürültü, *Türk Akustik Derneği Teknik Yayınları*, Ankara, 1-160.
- Özsoy, K. ve Duman, B., 2017, Eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin eğitimde kullanılabilirliği, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1 (1), 36-48.
- Öztürk, S., Erol, H., 2011, *Malzemelerin ses iletim kaybı ve ses yutum özelliklerinin belirlenmesi panetti ses raporu* [online], İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, https://www.panetti.com.tr/ingilizce/uluslararasi-raporlar/panetti_ses_raporu.pdf [Ziyaret Tarihi: 5 Ekim 2020].
- Prakash, K. S., Nancharaih, T. and Rao, V. S., 2018, Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 3873-3882.
- Raichel, D. R., 2006, The science and applications of acoustics: *Springer Science & Business Media*, New York, 49.
- Seddeq, H. S., 2009, Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials, *Australian journal of basic and applied sciences*, 3 (4), 4610-4617.
- Setaki, F., Tenpierik, M., Turrin, M. and van Timmeren, A., 2014, Acoustic absorbers by additive manufacturing, *Building and Environment*, 72, 188-200.

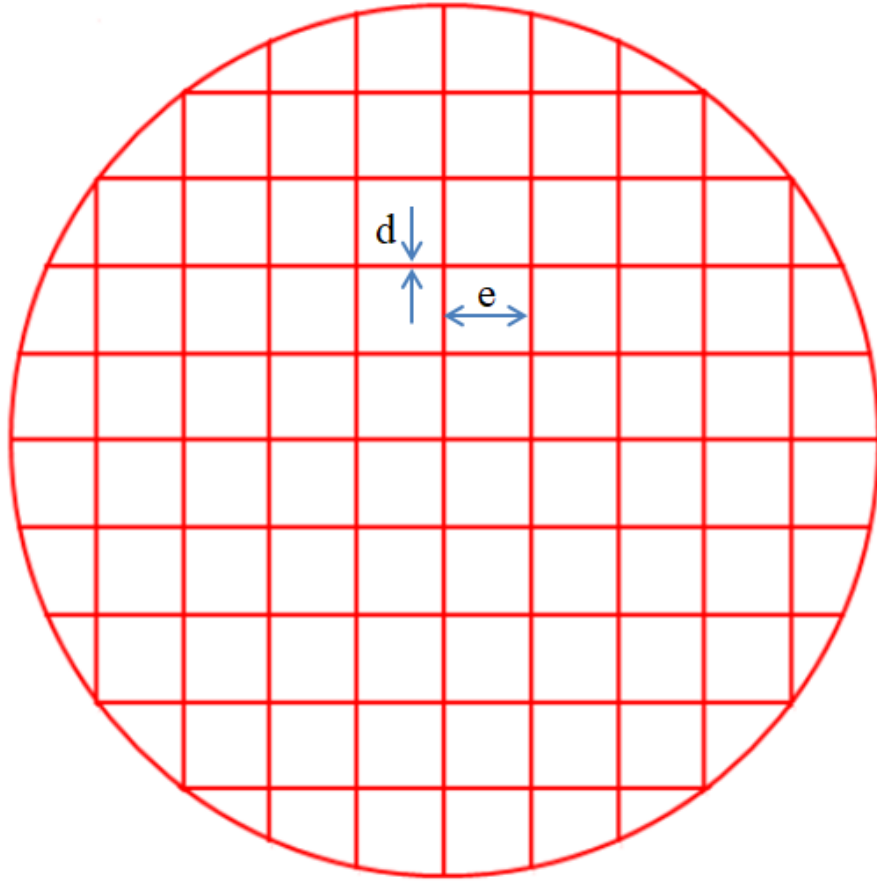
- Tiuc, A. E., Vasile, O., Usca, A.-D., Gabor, T. and Vermesan, H., 2014, The analysis of factors that influence the sound absorption coefficient of porous materials, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 11 (2), 105.
- Vidinlimen, G. T., 2010, Otomotiv endüstrisinde kullanılan gözenekli malzemelerin akustik özellikleri ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 60-61.
- Wen, Z.-H., Wang, D.-W. and Ma, L., 2019, Sound transmission loss of sandwich panel with closed octahedral core, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 0 (0), 1-20.
- Wimpenny, D. I., Pandey, P. M. and Kumar, L. J., 2017, Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies, *Springer Science+Business Media*, Singapore, 39-41.
- Wolkesson, M., 2013, Evaluation of impedance tube methods-A two microphone in-situ method for road surfaces and the three microphone transfer function method for porous materials, Master's Thesis, *Department of Civil and Environmental Engineering Division of Applied Acoustics Vibroacoustics Group Chalmers University of Technology*, Göteborg, 3-6.

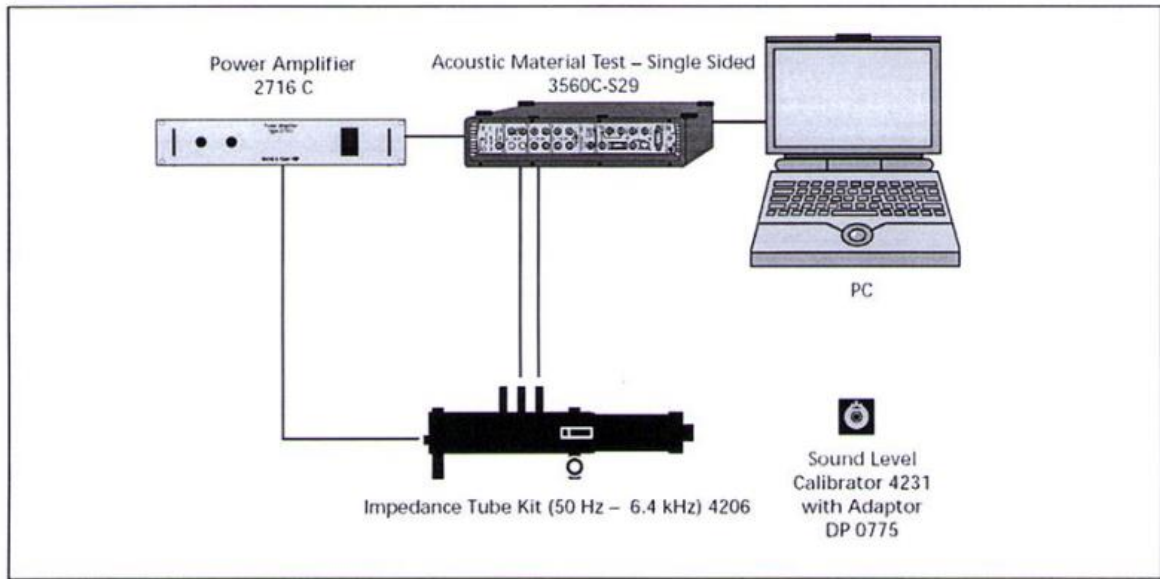
EKLER**EK-1** Yazdırma Parametreleri

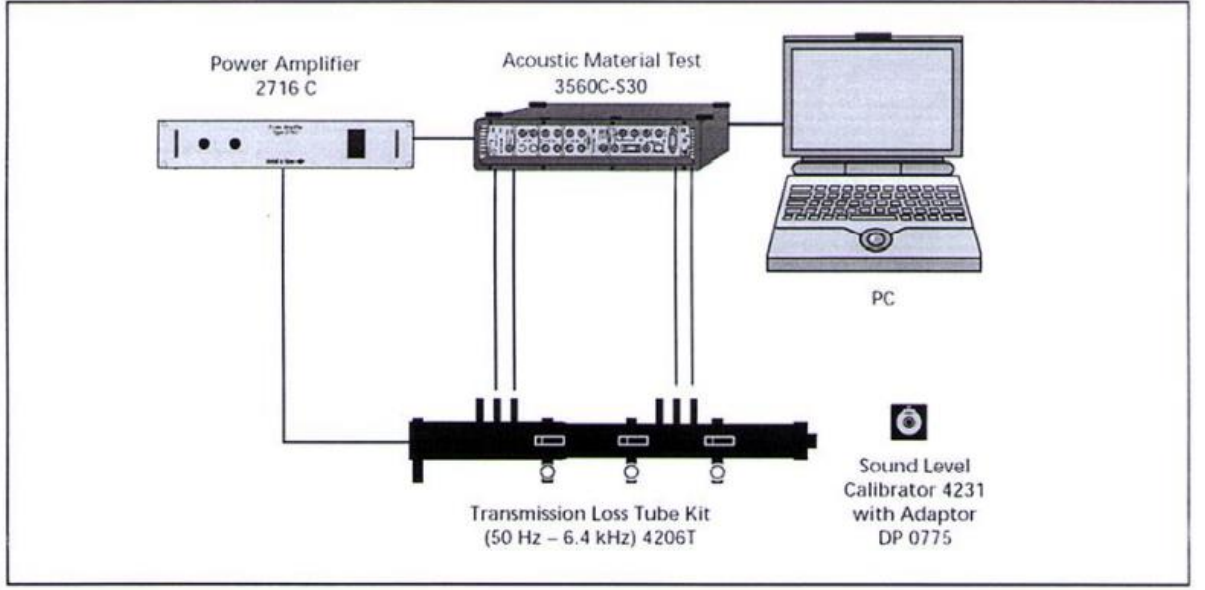
Malzeme	Doluluk Oranı (I.P.) (%)	Dolgu Şekli (I.F.P.)	Katman Yüksekliği (P.L.H.)	Alt Katman Sayısı (B.S.L.)	Yükseklik	Duvar Kalınlığı (O./P. S.)	Çap	Adet
ABS	10	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
ABS	30	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
ABS	50	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
ABS	10	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
ABS	20	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
ABS	30	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	10	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	30	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	50	GRID	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	10	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	20	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3
PLA	30	FAST HONEYCOMB	0,2 mm	5	30 mm	0,5 mm	29 mm	3

EK-2 Numuneler

EK-3 Fast Honeycomb Dolgu Deseni

EK-4 Grid Dolgu Deseni

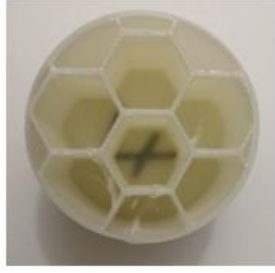
EK-5 Ses Yutma Katsayısı Ölçüm Sistemi (Öztürk, ve ark., 2011)

EK-6 Ses İletim Kaybı Ölçüm Sistemi (Öztürk, ve ark., 2011)

EK-7 Numunelerin İsimleriyle Birlikte Gösterimi



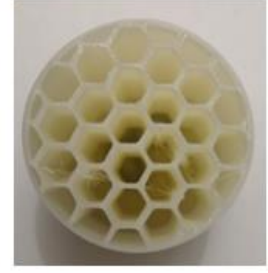
H_pla_10



H_abs_10



H_pla_20



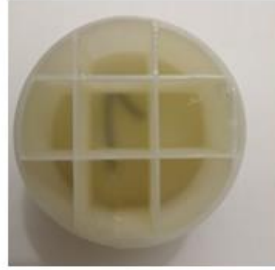
H_abs_20



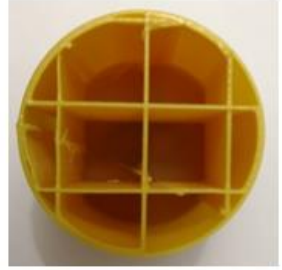
H_abs_30



H_pla_30



S_abs_10



S_pla_10



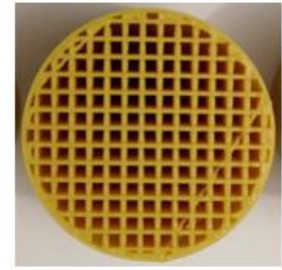
S_abs_30



S_pla_30



S_abs_50



S_pla_50



Örnek ABS Numunenin
Arka Yüzeyi



Örnek PLA Numunenin
Arka Yüzeyi

EK-8 Kare Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

S_pla_50

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	39,424
630	42,205
800	43,872
1000	43,659
1250	43,778
1600	45,418
2000	47,480
2500	51,233
3150	49,069
4000	45,793
5000	46,458
6300	46,000

S_pla_30

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	43,941
630	46,852
800	48,973
1000	49,102
1250	46,557
1600	53,499
2000	55,807
2500	58,496
3150	56,958
4000	51,480
5000	54,064
6300	53,000

S_pla_10

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	36,574
630	41,581
800	43,277
1000	43,558
1250	45,282
1600	47,703
2000	53,463
2500	56,226
3150	47,113
4000	43,341
5000	46,216
6300	45,000

S_abs_50

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	28,297
630	31,808
800	33,779
1000	33,623
1250	33,621
1600	35,237
2000	37,923
2500	44,840
3150	39,725
4000	33,150
5000	34,767
6300	34,000

S_abs_30

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	29,486
630	33,058
800	34,870
1000	34,672
1250	35,357
1600	37,330
2000	40,639
2500	47,974
3150	41,826
4000	34,986
5000	35,468
6300	36,000

S_abs_10

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	23,225
630	26,789
800	29,179
1000	29,810
1250	31,682
1600	34,498
2000	39,038
2500	45,366
3150	37,494
4000	28,448
5000	28,485
6300	28,000

EK-9 Altıgen Numunelerin Ses İletim Kaybı Sonuçları

H_pla_30

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	28,970
630	32,610
800	34,346
1000	33,401
1250	32,631
1600	34,943
2000	35,210
2500	35,206
3150	39,919
4000	36,736
5000	36,674
6300	37,000

H_pla_20

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	12,568
630	14,970
800	16,361
1000	15,719
1250	15,510
1600	15,938
2000	16,261
2500	17,260
3150	17,338
4000	19,110
5000	21,173
6300	20,000

H_pla_10

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	35,928
630	39,925
800	41,966
1000	41,592
1250	42,156
1600	45,524
2000	45,627
2500	43,649
3150	38,258
4000	35,332
5000	38,940
6300	38,000

H_abs_30

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	26,033
630	29,628
800	31,674
1000	31,831
1250	33,137
1600	35,948
2000	40,934
2500	45,396
3150	34,650
4000	28,514
5000	31,747
6300	31,000

H_abs_20

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	19,998
630	23,926
800	26,573
1000	27,338
1250	29,113
1600	32,429
2000	36,758
2500	44,394
3150	36,472
4000	25,695
5000	24,890
6300	26,000

H_abs_10

Frekans (Hz)	TL (dB)
500	22,386
630	26,075
800	28,216
1000	28,669
1250	30,294
1600	33,144
2000	36,416
2500	40,850
3150	35,649
4000	29,608
5000	27,987
6300	29,000

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Osman Oğuzhan Koç
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Akseki ve 03.01.1993
Telefon : (+90) 5422584293
Faks :
e-mail : osmanoguzhankoc@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Lisesi (Anadolu), Meram, Konya	2011
Üniversite	: KTO Karatay Üniversitesi, Karatay, Konya	2017

YABANCI DİLLER İNGİLİZCE