



**SES İLETİM KAYBI ÖZELLİĞİ ARTIRILMIŞ DOKUMA  
KUMAŞ TASARIMI**

**Uğur GÜNAL**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SES İLETİM KAYBI ÖZELLİĞİ ARTIRILMIŞ DOKUMA KUMAŞ TASARIMI**

**Uğur GÜNAL**  
ORCID ID: 0000-0002-2631-4580

Doç. Dr. Figen ERTAŞ  
ORCID ID: 0000-0003-4868-8425  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANSTEZİ  
TELEKOMÜNİKASYON ANABİLİM DALI

BURSA– 2020  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Uğur GÜNAL tarafından hazırlanan "SES İLETİM KAYBI ÖZELLİĞİ ARTIRILMIŞ DOKUMA KUMAŞ TASARIMI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Telekomünikasyon Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Figen ERTAŞ

**Başkan:** Doç. Dr. Figen ERTAŞ  
ORCID ID: 0000-0003-4868-8425  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Telekomünikasyon Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Dr. Öğr. Üyesi Fatih SÜVARİ  
ORCID ID: 0000-0001-5708-7993  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK  
ORCID ID: 0000-0002-5136-0829  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve  
Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

25/10/2020

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**25/02/2020**

**İmza**

**Uğur GÜNAL**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SES İLETİM KAYBI ÖZELLİĞİ ARTIRILMIŞ DOKUMA KUMAŞ TASARIMI

**Uğur GÜNAL**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Telekomünikasyon Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Figen ERTAŞ

Dünya üzerindeki hızlı nüfus artışıyla birlikte giderek artan ve yeni ortaya çıkan birçok problem vardır. Günlük yaşantımızda insanların yaşam kalitelerinin yükselmesi ile birlikte tekstil endüstrisinde akustik konfor önemli bir özellik haline gelmiştir. İnsanların konfor alanlarındaki beklentilerini karşılayabilmek için tekstil üreticilerinin müşteri ürün kalite beklentilerinden taviz vermeden pazardaki zorlu rekabet şartlarında ayakta kalabilmek için ürünlere işlevsellik kazandırması bir gereklilik olmuştur. Bu işlevsellikleri tekstil ürünlerine kazandıracak malzemelerin, süreçlerin araştırılması ve geliştirilmesi kaçınılmazdır. Tekstil sektörünün üzerinde çalıştığı problemlerden biri; sokakta, evde, iş yerinde kısacası günlük yaşantımızın pek çok yerinde karşımıza çıkan gürültü sorunudur. Gürültü, hem zihinsel hem de fiziksel açıdan birçok sağlık sorununu beraberinde getirmektedir. Bunun yanında gürültü kontrolünde kullanılan malzemeler gürültü düzeyinin etkisini azaltmak için yeterli olmamaktadır. Tekstil sektöründe akustik çalışmalarda kullanılan kumaşlar, ağırlıkları ve yüksek maliyetlerine göre yeterli performansı gösterememektedir. Bundan dolayı akustik tekstil ürünleri günlük yaşamda kullanılamamaktadır. Bu tez çalışmasında, literatürdeki gürültü kontrol ve yapı akustiği çalışmalarında kullanılan öz nitelikler analiz edilmiş ve tekstil malzemelerinin sahip olduğu akustik performansı iyileştirecek ürün tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Akustik malzemenin performansına etki edebilecek farklı malzeme örnekleri kullanılarak optimum değerler yakalanmıştır. Gürültü kontrolüne etki eden farklı akustik parametreleri vardır. Parametrelerin ve tasarlanan üç boyutlu yapının farklı değerlerde göstermiş olduğu akustik performansların doğrulanabilmesi amacıyla akustik ölçüm yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma özelinde yapılan ölçümlerde hem ilgili standartlara göre empedans tüpü hem de çalışmada farklı gürültü türleri için malzemenin akustik performansının belirlenmesinde tasarlanan düzenek kullanılmıştır. Düzenekte ölçülen değerlerin doğrulanması empedans tüpü ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen tüm numunelerin ölçümünden elde edilen sonuçlar ses dalgalarındaki enerji kayıpları hesaplanarak akustik parametreler iyileştirilmiştir. Çalışmada yapılan frekans ve ses gücü analizlerinde MATLAB sayısal hesaplama programlama dili ve kütüphaneleri kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akustik, ses, yutum, viyol, kumaş, soğurma, 2020, xii +95 sayfa.

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DESİGN OF WOVEN FABRIC WITH INCREASED SOUND TRANSMISSION LOSS PROPERTY**

**Uğur GÜNAL**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Telecommunication

**Supervisor:** Doç. Dr. Figen ERTAŞ

There are many ever-increasing and newly emerging problems with rapid population growth in the world. With the increase of people's quality of life in our daily life, acoustic comfort has become an important feature in the textile industry. In order to meet all these expectations in people's comfort areas and survive in challenging competitive conditions in the market without compromising the customer product quality expectations of textile manufacturers, it has become a necessity to bring functionality to the products. It is inevitable to research and develop materials and processes that will bring these functionalities to textile products. The noise we encounter almost everywhere in our daily life, in the street, at home and work, is one of the problems on which textile industry is working on. It brings with it many health problems both mentally and physically. Therefore, noise control studies become more of an issue. Besides, materials used in noise control are not sufficient to reduce the effect of the noise level. The fabrics used in acoustic studies in the textile industry do not show sufficient performance according to their weight and high cost. Thus, acoustic textile products can not be used in daily life. In the thesis study, the attributions used in the noise control and building acoustics studies in the literature were analyzed and the product with the highest damping value that a textile material will have was designed, manufactured and tested. Optimum values were obtained by using different material samples that may affect the performance of the acoustic material. Acoustic measurement methods should be applied to verify the acoustic performances shown by the parameters and the designed three-dimensional structure at different values. In the measurements made in the study, the device designed for determining the acoustic performance of the material for both the impedance tube according to the relevant standards and the different noise types in the study was used. In addition, sound records of noise types encountered in daily life are taken and applied to the acoustic absorbent fabric with the aid of the device, and the results are examined. MATLAB numerical computing programming language and libraries were used in the frequency and sound power analyses made in the study.

**Key words:** Acoustic, sound, absorber, Egg crate, fabric, absorption  
**2020, xii +95 pages.**

## TEŐEKKÖR

Tez alıőmamın her aőamasında değerli katkı ve eleőtirileriyle yol gösteren, sonsuz sabrıyla beni her zaman çalıőmaya teővik eden, tezin tamamlanmasında bŸyŸk emeği geçen danıőmanım Sayın Doç. Dr. Fiğen ERTAŞ'a teőekkŸrlerimi sunarım.

Çalışma sŸresince, Harput Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ő Ar&Ge Merkezi tarafından temin edilen ekipman, program ve hizmet alımlarının yanında bilgi ve birikimini çalıőmaya aktarıp yardımcı olan Hale GŸrler, Akın Muratoğlu, Halil İbrahim Turgut, HŸner Koptagel ve Sevim Kaya'ya teőekkŸrlerimi sunarım.

Hayatımda aldığım her kararda yanımda olup, bana her koőulda karőılık beklemeden gŸ ve destek veren, sevgilerini benden esirgemeyen aileme teőekkŸrlerimi sunarım.

Uğur GŸNAL  
25/02/2020

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Teknik Tekstil Üretim Teknolojileri .....	3
2.1.1 Lamine Kumaşlar .....	3
2.1.2 Kaplama .....	4
2.2. Ses Sönümlenme .....	4
2.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Akustik Malzemeler .....	5
2.3.1 Freudenberg Nonwovens .....	7
2.3.2 SilentColor .....	7
2.3.3 Curt Bauer GmbH Technics .....	8
2.3.4 Sceno-Spot-Sound .....	9
2.3.5 Johns Manville .....	10
2.3.6 Setex .....	11
2.3.7 Vario .....	12
2.4. Sesin Fiziksel Özellikleri .....	13
2.4.1 Dalga Boyu .....	15
2.4.2 Sesin Hızı .....	16
2.4.3 Sesin Genliği ve Ses Titreşim Hızı .....	16
2.4.4 Desibel .....	17
2.4.5 Ses Basıncı .....	17
2.4.6 Ses Gücü ve Ses Gücü Düzeyi .....	19
2.4.7 Ses Yoğunluğu ve Ses Yoğunluk Seviyesi .....	20
2.4.8 Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi .....	20
2.4.9 Sesin Yansıması .....	21
2.4.10 Sesin Kırılması .....	23
2.4.11 Sesin Yutulması .....	24
2.4.12 Ses Yutma Katsayısı .....	24
2.4.13 Ses İletim Kaybı .....	25
2.4.14 Oktav Bantları .....	26
2.5. Dalga Denklemleri .....	27
2.5.1 Dalga Denklemlerinin Çözümü .....	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	40
3.1. Akustik Parametre Ölçüm Yöntemleri .....	40
3.1.1 Empedans Tüpü .....	40
3.1.2 Çınlanım Odaları .....	41
3.1.3 Alfa Kabin .....	42
3.2. Ses İletim Kaybı Ölçümü için Test Düzenegi Çalışması .....	43
3.2.1 Matlab .....	47
3.2.2 Fonksiyon Dosyaları .....	47
3.3. Tek Katlı Akustik Kumaş Tasarımı .....	48



3.4. Çift Katlı Lamine Akustik Kumaş Tasarımı.....	56
4. BULGULAR.....	66
4.1. Tek Katlı Kumaşların Ses İletim Kaybı ve Ses Yutum Katsayısı Ölçümleri .....	66
4.2. Çift Katlı Kumaşların Ses İletim Kaybı Ölçümleri .....	69
4.3. Akustik Kumaşların Fiziksel ve Kalite Parametrelerinin Ölçüm Sonuçları.....	85
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	88
KAYNAKLAR .....	91
ÖZGEÇMİŞ .....	95



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$a$	İvme, $m/s^2$
$a_r$	Ses dalgasının sahip olduğu gücün yansıma katsayısı
$a_t$	Ses dalgasının sahip olduğu gücün geçiş katsayısı
$A_S$	Ses dalgalarının maruz kaldığı malzemenin yüzey alanı, $m^2$
$A$	Karmaşık sabiti
$A$	Ses dalgalarının genliği
$A_n$	Karmaşık ifade katsayısı
$B$	Viskozite kaynaklı katsayı
$bw$	Frekans bant genişliği, Hz
$c$	Ses dalgalarının sahip olduğu hız, $m/s$
$c_p$	Havanın sahip olduğu özgül ısı kapasitesi, $J/kg.K$
$d$	Gözenekli yapıya sahip malzemelerin kalınlığı, $m$
$d$	Empedans tüp çapı, $m$
$d_i$	$i$ katmanının sahip olduğu kalınlık, $m$
$f$	Lif yapılı malzemelerin frekansı, Hz
$f_0$	Başlangıç merkez frekansı, Hz
$f_1$	Alt sınır frekans değeri, Hz
$f_2$	Üst sınır frekans değeri, Hz
$f_u$	En yüksek frekans değeri, Hz
$E_a$	Malzemede yutulan ses dalgalarının sahip olduğu enerjisi, J
$E_i$	Malzemeye gelen toplam ses dalgalarının enerjisi, J
$g$	Yerçekimi ivmesi, $m/s^2$
$I_0$	Ses şiddetinin referans sabiti $10^{12} W/m^2$
$I$	Ses dalgalarının sahip olduğu şiddet, $W/m^2$
$k$	Ses dalgalarının sayısı $m^{-1}$
$k_i$	$i$ katmanında bulunan dalga sayısı
$k_{xi}$	$i$ katmanda $x$ yönündeki hareket eden karmaşık dalga sayısı
$K_e$	Dinamik elastisite modülü
$L_I$	Ses şiddetinin düzeyi, dB
$L_P$	Ses basıncının düzeyi, dB
$L_W$	Ses gücünün düzeyi, dB
$M$	Hacimsel kütlenin yoğunluğu, $kg/m^3$
$N$	Dalga boyu sayısı
$P$	Anlık akustik basınç
$P_0$	Referans basınç

$p(x,t)$	Anlık ses dalgalarının sahip olduğu akustik basınç ifadesi, Pa
$p_i(x,z)$	Gelen ses dalgalarının sahip olduğu ses basıncı ifadesi, Pa
$p_s(x,t)$	Yansıyan ses dalgalarının sahip olduğu ses basıncı ifadesi, Pa
$R$	Yansımanın çarpan değeri
$Q$	Küresel yayma kabiliyeti
$q^2$	Malzeme iç yapı dağınıklığı
$S$	Ses dalgalarına maruz kalan yüzeyin yüzey alanı, $m^2$
$S$	Odanın sahip olduğu yüze yalanı, $m^2$
$S$	Malzemenin yutum değeri, sabin
$S_p$	Malzeme içerisindeki gözeneklerin yüzey alanı, $m^2$
$t$	Zaman değeri, s
$T$	Periyot değeri, s
$T$	Ses iletim katsayısı
$T_0$	Ortamda akustik malzeme yokken çınlanım süresi, s
$T_1$	Ortamda akustik malzeme yerleştirildikten sonra çınlanım süresi, s
$TL$	Ses iletim kaybı, dB
$U$	Akışkan malzemenin yer değiştirme vektörü
$V$	Akustik malzeme içindeki hava hacmi, $m^3$
$V$	Odanın sahip olduğu toplam hacmi, $m^3$
$V_0$	Akışkanın sahip olduğu başlangıç hacmi, $m^3$
$V_a$	Akustik malzemenin hacmi, $m^3$
$V_p$	Gözeneklerin hacmi, $m^3$
$w$	Dalga boyu
$W$	Periyot genişliği, m
$W$	Ses gücü, W
$W_0$	Referans Olarak belirlenen ses gücü
$W_1$	Akustik malzeme üzerine gelen toplam ses enerjisi, J
$W_2$	Gelen ses dalgalarının iletilen ses enerjisi, J
$W_{in}$	Gelen ses dalgalarının toplam akustik enerjisi, J
$W_r$	Gelen ses dalgalarından yansıyan akustik enerji, J
$W_{tr}$	Gelen ses dalgalarından iletilen akustik enerji, J
$X_m$	Ses dalgalarının hareketinde sahip olduğu en yüksek genlik
$Z_c$	Karakteristik empedans, $N.s/m^3$ yada MKS rayl
$Z_f$	Akış empedansı, $N.s/m^3$ yada MKS rayl
$Z_n$	Normalize edilmiş empedans
$Z_s$	Yüzeyin sahip olduğu empedans, $N.s/m^3$ yada MKS rayl
$Z_0$	Karakteristik empedans, $N.s/m^3$ yada MKS rayl
$\alpha$	Ses yutum katsayısı
$\xi$	Anlık parçacık yer değiştirmesi
$\lambda$	Dalga boyu, m
$p_0$	Durgun haldeki akışkan malzemenin yoğunluğu, $kg/m^3$

$\phi$	Faz açısı
$\omega$	Açısal frekans, 1/s
$\psi$	Malzeme yüzeyine gelen ses dalgasının açısı

### **Kısaltmalar Açıklama**

ASTM	American Society for Testing and Materials
FFT	Fast Fourier Transform
ISO	International Organization for Standardization
LVDS	Laminated Vibration Damped Steel
PET	Polietilen Tereflat
PVB	Polivinil Bütral
RMS	Root Mean Square
3D	Three Dimensional
NFPA	National Fire Protection Associaton
EVA	Etilen Vinil Asetat
POY	Kısmen Çekilmiş Filament İplik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Freudenberg nonwovens akustik kumaş .....	7
Şekil 2.2. Recytex firması tarafından tasarlanan Silent Color isimli akustik malzemenin sahip olduğu ses yutum katsayısı .....	8
Şekil 2.3. Recytex firması tarafından tasarlanan Silent Color isimli akustik malzeme ...	8
Şekil 2.4. Curt Bauer GmbH Technics termal ve akustik kumaşı .....	9
Şekil 2.5. Sceno-Spot-Sound akustik kumaşı .....	10
Şekil 2.6. Sceno-Spot-Sound akustik kumaşının sahip olduğu akustik performans değerleri .....	10
Şekil 2.7. Johns Manville firması tarafından geliştirilen akustik malzeme .....	11
Şekil 2.8. Setex firması tarafından geliştirilen akustik perde .....	11
Şekil 2.9. Création Baumann firması tarafından geliştirilen Vario akustik perdenin ses yutum katsayısı değerleri .....	12
Şekil 2.10. Création Baumann firması tarafından geliştirilen Vario akustik perde .....	13
Şekil 2.11. Ses dalgalarının hava ortamında yayılırken dalgaların sahip olduğu frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.12. Değişik ses dalgalarının frekans spektrumunda dağılımı .....	14
Şekil 2.13. Titreşimin sahip olduğu Dalga boyunun gösterimi .....	15
Şekil 2.14. Kaynak ve alıcı odasının modeli.....	26
Şekil 2.15. Sıvı tabakasının başlangıç ve ses dalgası geçerken ki konumları .....	28
Şekil 2.16. Titreşim hareketi sonrası düzlem tarafından üretilen ses dalgası .....	33
Şekil 3.1. Geliştirilen test düzeneğinin görüntüsü .....	44
Şekil 3.2. Geliştirilen test düzeneğinin iç yapısı .....	44
Şekil 3.3. Geliştirilen test düzeneğinin blok şeması .....	45
Şekil 3.4. Serbest alan (Free-field) mikrofonları .....	46
Şekil 3.5. Viyol kumaşa uygulanan sert reçine işlemi .....	48
Şekil 3.6. Viyol kumaş örgü raporu .....	49
Şekil 3.7. 1 numaralı viyol kumaş numunesi .....	51
Şekil 3.8. 2 numaralı viyol kumaş numunesi .....	51
Şekil 3.9. 3 numaralı viyol kumaş numunesi .....	52
Şekil 3.10. 4 numaralı viyol kumaş numunesi .....	52
Şekil 3.11. 5 numaralı viyol kumaş numunesi .....	53
Şekil 3.12. 6 numaralı viyol kumaş numunesi .....	53
Şekil 3.13. 7 numaralı viyol kumaş numunesi .....	54
Şekil 3.14. 8 numaralı viyol kumaş numunesi .....	54
Şekil 3.15. 9 numaralı viyol kumaş numunesi .....	55
Şekil 3.16. 10 numaralı viyol kumaş numunesi .....	55
Şekil 3.17. Sentetik kumaş keçe numunesi .....	56
Şekil 3.18. Çift katlı viyol kumaşların yapısı.....	56
Şekil 3.19. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş.....	58
Şekil 3.20. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş.....	58
Şekil 3.21. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş.....	59
Şekil 3.22. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş.....	59
Şekil 3.23. 3 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız ters kumaş .....	60
Şekil 3.24. 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş.....	60
Şekil 3.25. 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş.....	61

Şekil 3.26. 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş.....	61
Şekil 3.27. 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş.....	61
Şekil 3.28. 5 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş .....	62
Şekil 3.29. 5 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız ters kumaş .....	62
Şekil 3.30. 6 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş.....	63
Şekil 3.31. 6 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş.....	63
Şekil 3.32. 6 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş .....	63
Şekil 3.33. 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş.....	64
Şekil 3.34. 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş.....	64
Şekil 3.35. 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş.....	65
Şekil 3.36. 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş.....	65
Şekil 3.37. 9 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş .....	65
Şekil 4.1. Kaplamasız viyol kumaşların ses iletim kaybı ölçüm sonuçları.....	67
Şekil 4.2. Kaplamalı viyol kumaşların ses iletim kaybı ölçüm sonuçları.....	67
Şekil 4.3. Kaplamasız viyol kumaşların ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları.....	68
Şekil 4.4. Kaplamalı viyol kumaşların ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları.....	68
Şekil 4.5. Sentetik kumaş keçe ses iletim kaybı ölçüm sonuçları.....	69
Şekil 4.6. Numune 3 kaplamalı - kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu	70
Şekil 4.7. Numune 3 kaplamalı - kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu	71
Şekil 4.8. Numune 3 kaplamalı - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	71
Şekil 4.9. Numune 3 kaplamasız - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	72
Şekil 4.10. Numune 3 kaplamasız - kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu.....	73
Şekil 4.11. Numune 5 kaplamalı - kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	74
Şekil 4.12. Numune 5 kaplamalı - kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	74
Şekil 4.13. Numune 5 kaplamalı - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	75
Şekil 4.14. Numune 5 kaplamalı – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	76
Şekil 4.15. Numune 5 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu.....	76
Şekil 4.16. Numune 5 kaplamasız – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu.....	77
Şekil 4.17. Numune 6 kaplamalı – kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	78
Şekil 4.18. Numune 6 kaplamalı – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	78
Şekil 4.19. Numune 6 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu.....	79

Şekil 4.20. Numune 9 kaplamalı – kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	80
Şekil 4.21. Numune 9 kaplamalı – kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	80
Şekil 4.22. Numune 9 kaplamalı – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	81
Şekil 4.23. Numune 9 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	82
Şekil 4.24. Numune 9 kaplamasız – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	82
Şekil 4.25. 19 akustik kumaş numunesinin ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	83
Şekil 5.1. Kaplamalı 1 numaralı numunenin empedans tüpü ve test düzeneği ölçüm sonuçları .....	88
Şekil 5.2. En iyi akustik performans gösteren akustik kumaş ile sentetik keçenin ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	90



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Frekans ve Ses İlişkisi .....	15
Çizelge 2.2. Değişik ortamlarda sesin hızı .....	16
Çizelge 2.3. Karakteristik ses basınç ve ses basınç seviyeleri .....	18
Çizelge 2.4. Belirli ses gücü çıktıları ve ses gücü seviyeleri .....	19
Çizelge 3.1. Tek katlı kaplamasız kumaşların dokuma ve fiziksel özellikleri.....	49
Çizelge 3.2. Tek katlı kaplamalı kumaşların dokuma ve fiziksel özellikleri.....	50
Çizelge 3.3. Çift katlı kumaş numunelerinin fiziksel özellikleri .....	57
Çizelge 4.1. 20 akustik kumaş numunesinin ses iletim kaybı ölçüm sonucu .....	84
Çizelge 4.2. Düz boyalı kumaşların yıkama haslık değerleri.....	85
Çizelge 4.3. Düz boyalı kumaşların sürtme haslık değerleri .....	86
Çizelge 4.4. Yıkanmamış akustik kumaşların güç tutuşurluk değerleri.....	86
Çizelge 4.5. Yıkanmış akustik kumaşların güç tutuşurluk değerleri .....	87



## 1. GİRİŞ

İnsanların gelişen teknolojiyle birlikte buna bağlı olarak artan yaşam standartlarının getirdiği (günlük hayatın birçok farklı alanında ses titreşim, gürültü denetimi, işitsel konfor vb.) birçok yeniliğe karşı beklentileri artmaktadır. Buna bağlı olarak birçok sektör beklentileri karşılamak amacıyla yenilikçi yönlerini geliştirmeye ve yeni ürünler ortaya koyma çalışmalarına başlamıştır. Bu sektörlerin başında gelen tekstil sektöründe tüketicilerini memnun edebilmek amacıyla yüksek maliyetler ve insan gücü harcanmış ve harcanmaktadır.

Günlük yaşamın her alanında maruz kalınan ses ve gürültü, insan sağlığı ve konforu açısından hem zihinsel hem de fiziksel birçok probleme sebep olmaktadır. Tüm bu olumsuz durumların önüne geçebilmek adına, dalga fiziğinin bir bölümü olan akustiğin hayatın her alanında kullanımı hızla artmaktadır.

Kökü yunanca akoustikos (duyma) kelimesinden gelen akustik, ses bilimi ve işitsel etkilere ait bir terimdir (Blauert ve Yiang 2008). Aynı zamanda akustik terimi gürültü kontrolünü de kapsar. Gürültü kontrolü ile de hastane, ev, toplantı, sinema ve tiyatro salonları ve daha da önemlisi okul gibi kritik öneme sahip ortamlarda ve günlük hayatta birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar tüm bu alanlarda ve hayatın daha birçok alanında gürültüye maruz kalmaktadır. Gürültü seviyesini azaltmak veya gürültüye maruz kalma süresini azaltmak adına yasal düzenlemeler uygulanmaktadır. Gürültü düzeyini azaltmak adına tekstil sektöründe geliştirilen akustik kumaşlar büyük rağbet görmektedir. Tekstil sektöründeki yüksek gözenekli yapı ses absorblamada etkili bir yöntemdir. Akustik kumaşların; yalıtım ürünlerinin kaplanması, döşemelik ürünler, perde, otomotiv sektöründe kullanılan yalıtım malzemeleri gibi kullanımları mevcuttur (Rao ve ark. 2003). En uygun konuşma ve dinleme ortamını oluşturmak için gürültü absorblaması iyi değerlere sahip malzemelerin kullanılması gerekir. Tekstil sektörünün bir alt dalı olan halı ve yer kaplamaları, standart bir ortamda ses akustiğini sağlama konusunda iyi sonuçlar ortaya koymaktadır (Adanur 1995).

Bu çalışmada, farklı tasarımlarda dokunan kumaşların i mekânlardaki akustik performansa etkileri incelenmiştir. Bu hususta farklı atkı ve çözgü iplikleri kullanılarak örgü yapılarındaki değişiklik yardımıyla dokuma kumaş tasarlanmıştır.

Dokuma kumaş tasarımları farklı etkilerin sonuçlarının gözlenebilmesi için düz boya, kaplama ve laminasyon işlemlerinden geçirilmiştir. Akustik yalıtım amacıyla tasarlanan bu kumaşların iç mekânda kullanılacak kumaşlardan beklenen fiziki ve fonksiyonel özellikleri de sağlamaları gerektiğinden, yırtılma, kopma dayanımları, yıkama haslığı, sürtünme haslığı ve güç tutuşurluk gibi değerleri de incelenmiştir.



## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Bu bölümde tezin konusu ile ilişkili kuramlar ve mevcut çalışmalar neticesinde ortaya konan sonuçlar özetlenmiştir.

### **2.1. Teknik Tekstil Üretim Teknolojileri**

Özel olarak tasarlanan, herhangi bir üründe veya proses dahilinde belirli bir özelliği yerine getirmek amacıyla kullanılan malzemelere teknik tekstiller denilmektedir (Anonim 2017). Teknik tekstil ürünlerinin üretim amacı estetik ve dekoratif özelliklerinden ziyade, teknik performansları ve fonksiyonel özellikleridir.

#### **2.1.1 Lamine Kumaşlar**

Tekstil alanında hızlı ilerleme kat eden laminasyon teknolojisi, spor, günlük yaşam ve moda gibi birçok faktörden etkilenmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte tekstil tüketicilerinin beklentileri artmış olup tek bir üründe birden fazla özelliğin kombine edilmesini talep etmektedirler. Gelen bu talep yoğunluğunun karşılanabilmesi amacıyla çalışmalar yapılmakta ve farklı teknolojiler elde edilmektedir (Özkoç ve ark. 2008).

Laminasyon teknolojisi, yüksek derecede ısı ve basınç kullanarak iki veya daha fazla yüzeyin birleştirilmesi ve bu işlem sonucunda tek bir ürün elde edilme sürecidir (Anonim 2014). Laminasyon yöntemi ile birçok özelliği geliştirilen tekstil yüzeyleri dayanım, temizlik, su geçirmezlik vb. yönünden gelişmiştir. Laminasyon teknolojisi otomotiv, tekstil, ayakkabı, eğlence gibi birçok sektörde kullanılmaktadır.

Kumaş numunelerine laminasyon tekniği uygulanırken verimli sonuçlar elde edebilmek için bazı önemli kriterler bulunmaktadır. Tekstil sektörü için önemli olan esneklik sorunu bu kriterlerin başında gelmektedir. Bu sorunu çözebilmek için kumaş numunelerini birbirine yapıştıracak olan malzeme ve metot büyük önem taşımaktadır (Fung 2002). Laminasyon yöntemi ile birleştirilen kumaşlar için yıkama şartlarına karşı gösterdiği dayanıklılık ve kumaşların yapışma oranı çok önemlidir (Armağan 2007).

Laminasyon iki adet aynı veya farklı numunenin yardımcı kimyasallar kullanılarak ısı ve basınç yoluyla birleştirilme işlemidir. Birleşme sonucu ortaya çıkan tek adet

numunenin tipik özelliklerinde birbirine yapıştırılan numunelerin özellikleri görülür. Numunelerin yapıştırılmasında farklı birleştirme yöntemleri ve farklı birleştirici filmler kullanılır. Birleştirmede büyük önem taşıyan yapıştırıcı maddesi birleştirilecek numunelerin yapısına uygun seçilmelidir (Fung 2002).

Birleşme işleminin yeteri kadar sağlam olması ve yapıştırma işleminde az miktarda yapıştırıcı madde kullanmak en önemli parametrelerden biridir. Numunelerin yapıştırma işlemini gerçekleştiren yapıştırıcı maddeler sıcakta sıvı formda bulunan maddelerdir (Fung 2002).

### **2.1.2 Kaplama**

Kaplama kumaş, numune kumaşın ön ve arka tarafları veya sadece bir tarafı kimyevi bir madde ile kaplanması sonucunda ortaya çıkan ürüne denir. Kaplama teknolojisi, numune kumaşa kimyasalın sürülmesi, nozul ile püskürtülmesi ve aktarılması vb. yöntemlerle uygulanır. Numune kumaşa kimyevi malzeme uygulandıktan sonra kaplama kimyasalının kumaş üzerine fikselenmesi gerekmektedir. Bu sabitleme işlemi yüksek sıcaklık vasıtasıyla yapılmaktadır. Yapılan bu işlemler sonucunda ortaya çıkan kumaşa kaplama kumaş adı verilir ve numune kumaştan farklı teknik özelliklere sahiptir (Anonim 2011). Kaplama teknolojisinde su itici ve su geçirmez kaplamalar, nefes alan su geçirmez kaplamalar, çeşitli tuşe kaplamaları, boyalı kaplamalar ile eskitilmiş efektler, tual ve ink-jet kumaş kaplamaları, alev geciktirici köpük ve pat kaplamalar gibi uygulama alanları mevcuttur (Öner 2006).

### **2.2. Ses Sönümlenme**

Günlük hayatta kullanılan tüm malzemeler yeterli ses emilimi seviyesinde olmasa da ses sönümlendirme özelliklerine sahiptir. Malzemeler üzerine gelen ses enerjisinin bir kısmını yansıtır, bir kısmını iletir ve bir kısmını da dağıtmaktadır. Bir yüzeye çarpan olay sesi, yansıyan ses, emilen ses ve iletilen sesi içeren ses enerjisi verir. Ses dalgalarını en verimli şekilde yansıtan malzemeler, ses dalgalarının karşısında bir bariyer gibi davranarak ses iletimini önlemektedirler. Bunun yanında en iyi sönümleyici malzemeler ses dalgalarını diğer ortama iletenlerdir. Ses dalgalarını yansıtıcı

malzemeler geçirimsiz ve ağır olma eğilimindeyken, ses dalgalarını sönümleyen malzemeler ise genellikle gözenekli ve hafiftir. Akustik malzemelerin incelenmesi gereken temel iki özelliği; ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybıdır.

Bir dizi özellik emilim performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Bu özellikler aynı zamanda içsel malzeme özelliklerinin bir parçası olarak kategorize edilebilir veya sistemin işlendiği koşulların bir parçası veya sonucu olarak tanımlanabilir (Bilova ve ark. 2011). Bunun yanında malzemenin sahip olduğu teknik özelliklerin etkisi de olacaktır. Akustik malzemelerin yoğunluğu, gözenek yapısı ve içyapının düzensizliği gibi teknik özellikler malzemenin ses sönümleme performansını etkileyecektir.

Bu özelliklerin sesi sönümlemek için gösterdiği performansın etkisi, malzemenin toplam kalınlık ve yüzey alanı, kaplamaya sahip olması ve birden fazla katman halinde bulunması gibi fiziksel etkiler yardımıyla artırılabilir.

Akustik malzemelerin ses sönümleme davranışını ölçmek için farklı teknikler mevcuttur, bu noktada önemli olan ölçmek istediğimiz materyalin hangi amaçla kullanılacağıdır. Yapılan çalışmalarda sünger, kumaş gibi akustik malzeme çeşitlerinin performansının belirlenmesinde empedans tüpü yöntemi kullanılırken, bir cihazın yaydığı gürültünün ne kadarının sönümlendiğini ölçmek içinse çınlama odası kullanılır. Akustik malzeme performansının belirlenmesinde empedans tüpü kullanılmasının sebebi deneysel olarak kurulumu ve çalıştırılması nispeten daha kolay ve uygulanabilir olmasıdır.

### **2.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Akustik Malzemeler**

Ses yutum katsayısı yüksek malzemeler günümüzde daha çok yansıtılan ses dalgasını yüksek oranlarda sönümleyerek kapalı hacimlerde yapı akustiğini sağlamak için kullanılmaktadırlar (Dias ve ark. 2007).

Gözenekli yapıdaki yutucu malzemeler, bilinen en iyi ses yutan malzemelerdir. Bunlar genellikle havlı, lifli veya yumuşak kauçuk malzemelerdir. Sesi yutan malzemeler, koruma amacıyla, akustik olarak geçirgen malzemelerle (örneğin dokuma kumaşlar veya ince filmler) kaplanabilmektedir.

Akustik malzemelerin sahip olduğu kalınlığa göre akustik performansları incelendiğinde, kalınlık artışına doğru orantılı olarak akustik yalıtımın iyileştiği görölmektedir. Bunun yanı sıra gözenekli yapı da akustik performansın önemli parametrelerindendir (Asdrubalı 2006).

Hammaddesi çelik olan tek katlı bir malzeme ile aynı ağırlıkta iki çelik tabaka katmanı arasına yerleştirilmiş olan gözenekli malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulan yapı kıyaslandığında, sanılanın aksine sonradan tasarlanan gözenekli iç yapılı malzemenin daha iyi bir akustik performans gösterdiği anlaşılmıştır. Akustik konusunda yapılan çalışmalar sonucunda, gözenekli üç katmanlı yapı, iki katmanlı yapıya göre daha üstün akustik performans göstermiştir. Üç katmanlı yapıda, aralarında hava boşluğu bırakılarak oluşturulmuş olan yapıların, tüm frekans aralığında en iyi akustik performans sağladığı sonucuna varılmıştır (Abid ve ark. 2014).

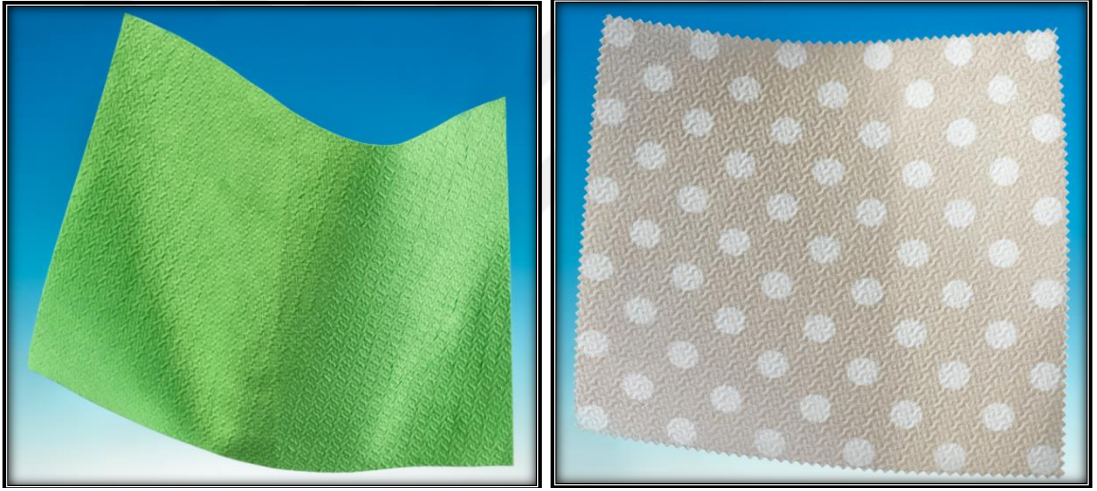
Ses yalıtımı çalışmalarında kullanılan malzeme tipleri, cam lifler ve mineral yünler, mikro fiberler, çok katmanlı ve gözenekli yapıya sahip ürünlerdir. Çalışmalarda yaygın olarak pamuk ve polietilen tereflat türevli tekstil ürünleri ve halılar kullanılmaktadır (Brouard ve ark. 1995).

Malzemenin sahip olduğu nicelikler malzemenin kalınlığı, yoğunluğu, gözenek oranı ve akustik empedansıdır. Akustik malzemelerin tamamında ses dalgalarının absorblanması, gelen ses dalgasının malzeme yüzeyine hareketi ile malzeme içerisindeki hava boşluklarında gerçekleşmektedir. Burada, gelen ses dalgalarının maruz kaldığı sürtünme enerjisi sebebiyle ses enerjisi ısı enerjisine dönüştüğünden, gelen ses dalgalarının enerjileri azalmaktadır (Francesco 2007).

Tekstil sektöründe sıklıkla kullanılan akustik malzeme tipleri; elyaf ve türevleri, mikrofiber yapılar ve çok katmanlı kompozitlerdir. Sıklıkla kullanılan bu malzemeler arasında, tiftik halindeki pamuk ya da plastik elyaf görülebilir. Polyester, polietilen tereflat (PET) ve polipropilen, yutum elemanı olarak kullanılan malzemelerdendir (Zent ve ark. 2007).

### 2.3.1 Freudenberg Nonwovens

Alman menşeli firma olan Freudenberg Nonwovens teknik kumaşlar, nonwoven üreticilerinden biridir. Tekstil ve kumaş çözümleri endüstriyel tesislerde olduğu gibi çok farklı kullanım alanlarına hitap eden teknik pazarlarda da kullanılmaktadır. Freudenberg Nonwovens akustik alanda yaptığı çalışmalar neticesinde mikrofilamentlerden oluşan “Evolon” olarak isimlendirdikleri düzgün ve kolaylıkla bükülebilen kumaşlarını geliştirerek “3D Evolon” isimli nispeten daha girintili çıkıntılı bir kumaş tasarlamışlardır (Şekil 2.1). Ürettikleri yeni akustik kumaş Evolon versiyonunun göstermiş olduğu akustik performans değerlerinin üzerine kumaşın yüzey alanı ve hacmini arttırarak daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Müşteri tercihlerine göre tasarım ve kişiselleştirme olanakları mevcuttur (Anonim 2015).

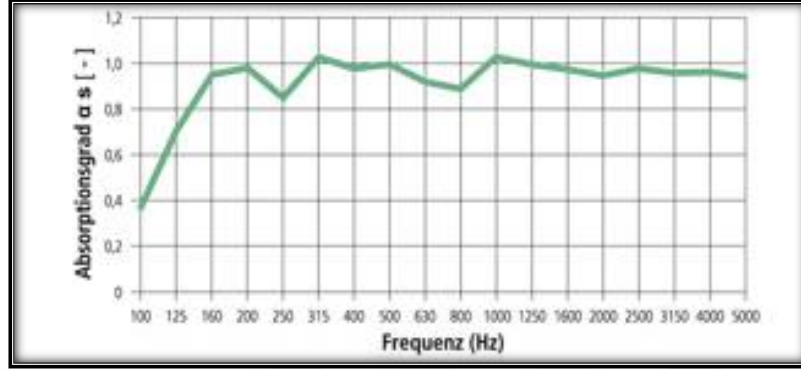


Şekil 2.1. Freudenberg nonwovens akustik kumaş (Anonim 2015)

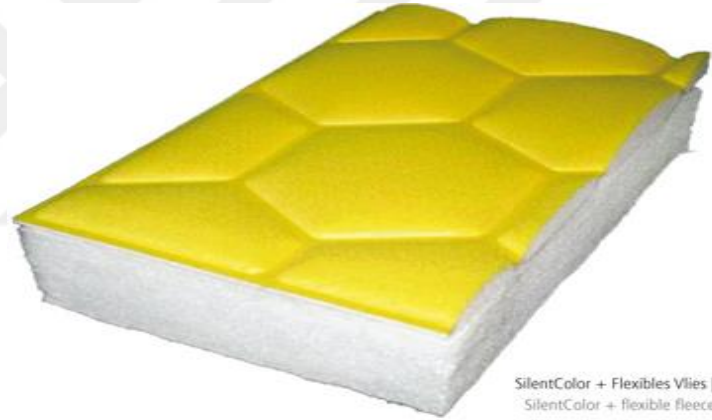
### 2.3.2 SilentColor

Alman Recytex firması akustik özelliğe sahip malzemeleri farklı ürünleri bir araya getirerek elde etmektedir. Müşteri gereksinimlerine bağlı olarak, istenilen ses emilimine sahip ve uygulanması kolay olan butik kombinasyonlar sunmaktadır. Müşterilerin ihtiyacına göre, ses dalgalarının sönümlenme özelliklerini projeye özel uyarlayabilmek için farklı yutum değerine sahip katmanlar bir arada kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Firmanın ürettiği bu kombine ürünün adı olan SilentColor sayesinde esnek akustik yapıya sahip bir sönümleyici üretilmektedir (Şekil 2.3). Bu yapılar genellikle tavan

bölümleri ve ayırma paneli olarak kullanılmaktadır. Ürünün özelleştirilmesinde baskı ile desen basılabilmekte ve LED lambalar yardımıyla fonksiyonel olarak kullanılabilir (Anonim 2019a).



**Şekil 2.2.** Recytex firması tarafından tasarlanan Silent Color isimli akustik malzemenin sahip olduğu ses yutum katsayısı (Anonim 2019a)



**Şekil 2.3.** Recytex firması tarafından tasarlanan Silent Color isimli akustik malzeme (Anonim 2019a)

### 2.3.3 Curt Bauer GmbH Technics

Curt Bauer GmbH (Almanya) firması ise tamamı tekstil malzemesinden elde ettiği malzemeleri kullanmaktadır. Firmanın üretmiş olduğu dokuma kumaşlar, ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahiptir (Şekil 2.4.). Dokuma kumaşları, yapısı gereği esnek ve düzgün bir formdadır. Bu firmanın tasarladıkları kumaş yapısı aynı tipte iki kumaş arasında dokusuz yüzey ürünlerin koyulmasıyla katmanlı bir yapı elde edilmesi esasına dayanır. Kumaş üzerinde elde ettikleri üç boyutlu form yeterli olmasa da akustik açıdan geliştirilebilir (Anonim 2019b).



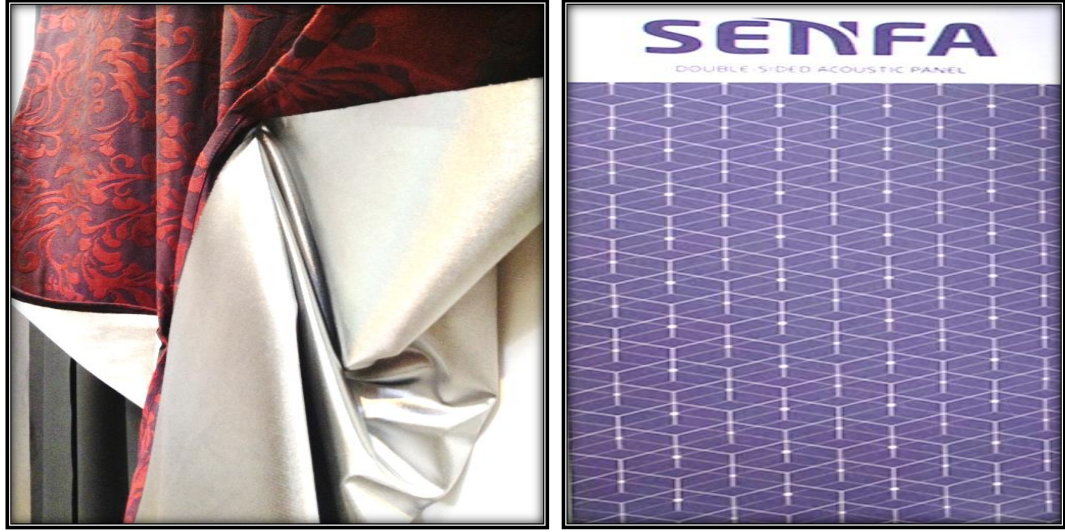


**Şekil 2.4.** Curt Bauer GmbH Technics termal ve akustik kumaşı (Anonim 2019b)

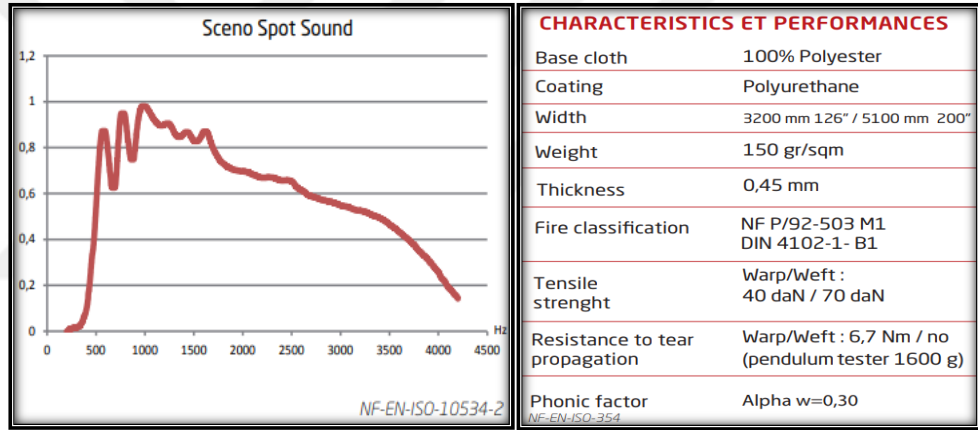
#### **2.3.4 Sceno-Spot-Sound**

Akustik bilimde çalışma yapan tekstil firmalarından bir tanesi de Fransa'da üretim yapan DHJ International firmasıdır. Firma üretmiş olduğu ürünlerde fonksiyonelliğin yanında görselliğe de önem vermektedir. Ses sönümlendirme özelliği, dokuma tekniği ile üretilen kumaşa yapılan kimyasal kaplama ile kazandırılmaya çalışılmıştır. Sceno-Spot-Sound adını verdikleri ürün ile, günlük yaşamda sıklıkla kullanılan ofisler, restoranlar, bekleme odası, sınıf vb. ortamlarda yaşanan ses yansımalarının yok edilmesi üzerine etkilidir (Şekil 2.5).

Sceno-Spot-Sound ürünü duvar ile kumaş arasında 20 mm'lik boşluk bırakılarak, duvar kaplama malzemesi olarak kullanılması hedeflenerek tasarlanmıştır. Müşteri taleplerine göre renk ve desen seçenekleri mevcuttur, dijital baskı teknikleri uygulanabilmektedir. Şekil 2.6'da kumaşın sahip olduğu ses yutum performansı ve fiziksel özellikleri belirtilmiştir (Anonim 2019c).



Şekil 2.5. Sceno-Spot-Sound akustik kumaşı (Anonim 2019c)



Şekil 2.6. Sceno-Spot-Sound akustik kumaşının sahip olduğu akustik performans değerleri (Anonim 2019c)

### 2.3.5 Johns Manville

Johns Manville firması teknik merkezi, akustik test ve ürün geliştirme konusunda uzun yıllardır çalışmalar yapmaktadır. Firma üretimini gerçekleştirdiği duvar kaplama (duvar kağıdı) ürünlerinde de hammaddesi cam liflerinden olan dokusuz yüzey formundaki yapıları kullanmaktadır (Şekil 2.7). Bu sayede akustik özelliğin yanı sıra güç tutuşurluk ve dayanıklılık da elde edilmiş olur. Bunun yanı sıra Johns Manville sektöre özel geliştirdiği ses izolasyonu sağlayan ürünleri, buzdolapları, dondurucular, mikrodalga fırınlar ve bulaşık makineleri tarafından gürültüyü kontrol etmek için tasarlanmıştır. Bu

fiberglas ürünlerde, ürün yoğunluğunu, kalınlığını ve fiber çapını değiştirerek uygulamaya özel gürültü problemleri tasarlanabilir (Anonim 2016).



**Şekil 2.7.** Johns Manville firması tarafından geliştirilen akustik malzeme (Anonim 2016)

### 2.3.6 Setex

Alman Setex firması Olimpiyat Oyunları, Dünya Kupası, Formula 1 ve Londra'daki Kraliyet Operası gibi yüksek prestijli uluslararası etkinlikler için, akustik tekstiller üreten üst düzey bir firmadır. Gürültü kontrolü gerektiren ortamlarda kullanılmak üzere polyester hammaddesinden üretilen dokusuz yüzey tekstil ürünlerine sahiptir (Şekil 2.8). Üretmiş olduğu kumaşlar kalın yapısı ve yüksek maliyeti sebebiyle günlük kullanım için uygun değildir (Anonim 2019d).



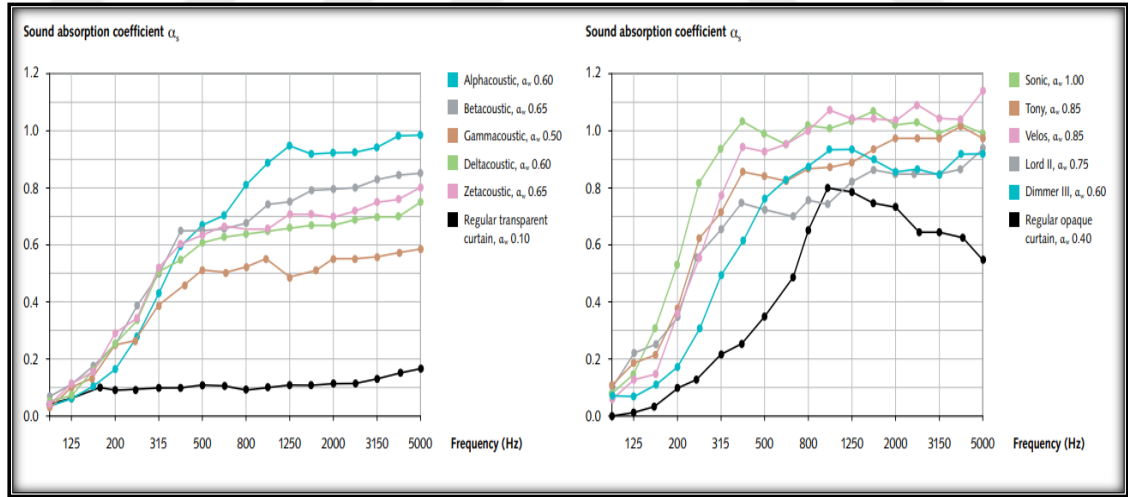
**Şekil 2.8.** Setex firması tarafından geliştirilen akustik perde (Anonim 2019d)



### 2.3.7 Vario

İsviçreli tekstil üreticisi Création Baumann firması ortam akustiğinde diğer çalışmalara nazaran opak, şeffaf veya basılı akustik kumaşları üretmektedir. Akustik bölücü ürünü olan Vario, ön ve arka tarafında akustik bir kumaşa sahiptir. Ürünlerini her frekans bölgesi için özel tasarımlar vasıtasıyla gerçekleştirmektedir. Dokuma kumaşların ağırlık, gözeneklilik ve dokuma tekniğine bağlı olarak yankılanma süresini azaltma çalışmalarını yürütmektedirler. Üretimini gerçekleştirdiği şeffaf akustik kumaşlar ambiyans ve gün ışığı aydınlatma ihtiyacı olan ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 2.10). Opak akustik kumaşlar ortam bölücü olarak kullanılabilirdiği gibi, opak akustik kumaşların nitelikleri uzun yankılara sebep olan geniş odalardır (Anonim 2019e).

Vario, iki akustik kumaş arasında bir veya iki kat gürültü emici özelliğine sahip dokusuz yüzey malzeme yerleştirilerek üretilmektedir. Şekil 2.9'da görüleceği üzere bu katmanlı yapı ses dalgalarının sönümlenmesinde etkili bir sonuç ortaya koymaktadır (Anonim 2019e).



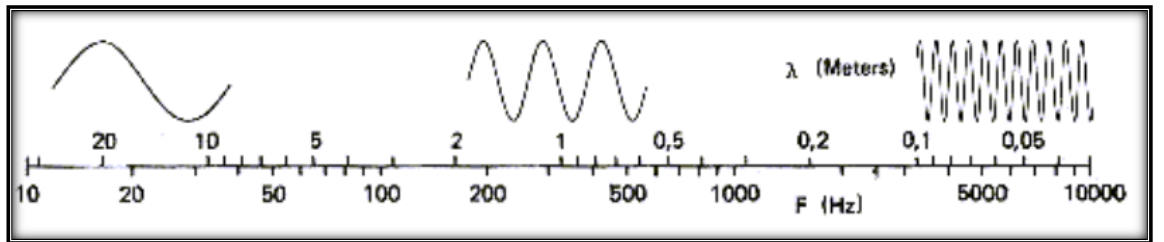
Şekil 2.9. Création Baumann firması tarafından geliştirilen Vario akustik perdenin ses yutumu katsayıları değerleri (Anonim 2019e)



**Şekil 2.10.** Création Baumann firması tarafından geliştirilen Vario akustik perde (Anonim 2019e)

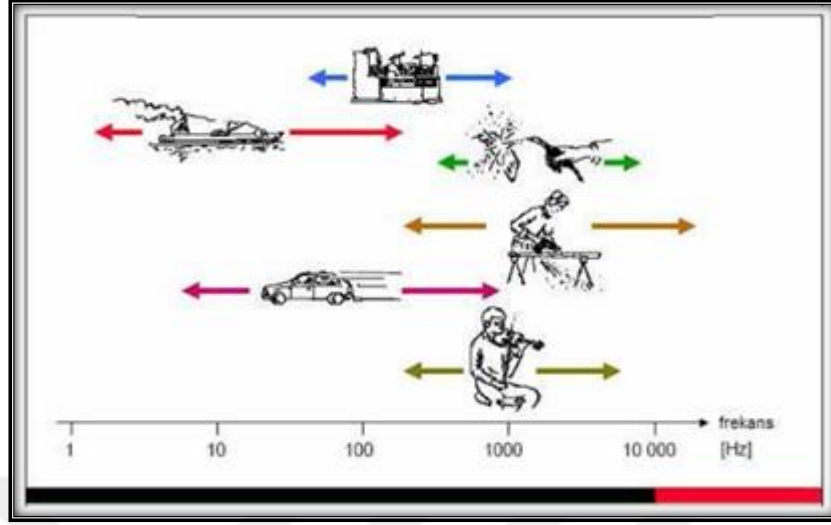
#### 2.4. Sesin Fiziksel Özellikleri

Frekans sesi meydana getiren titreşimlerin, birim zamandaki (bir saniyedeki) sayısı olarak tanımlanmaktadır ve frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. Şekil 2.11'de ses dalgalarının boyu ile frekansı arasındaki ilişkisi verilmiştir.



**Şekil 2.11.** Ses dalgalarının hava ortamında yayılırken dalgaların sahip olduğu frekans ile dalga boyu arasındaki ilişki (Ersoy 2007).

Şekil 2.12’de ses dalgalarının frekans spektrumunda dağılımı verilmiştir.



**Şekil 2.12.** Değişik ses dalgalarının frekans spektrumunda dağılımı (Altınmakas ve ark. 2007)

Günlük yaşantımızda algılayabildiğimiz seslerin kaynakları farklı frekans aralıklarına sahiptir. Genç ve sağlıklı bir insan 20 ile 20000 Hz frekans değerleri arasındaki sesleri işitebilmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucu, işitme bölgesinin üst sınırı, genellikle 16000 Hz olarak kabul edilmekle birlikte, çeşitli sebeplerden ötürü önemli sapmalar göstermektedir.

Makinelerde gürültünün yok edilmesi çalışmaları genellikle 50 ile 10000 Hz frekans değerleri arasında yapılmaktadır. Mimari çalışmalarda hacim akustiği ile ilgili değerlendirmeler 60 ile 8000 Hz frekans değerleri arasında ele alınmaktadır. Yapı elemanlarının ses yalıtımı çalışmalarında ise 100 Hz ile 4000 Hz’in sınırlandırıldığı frekans alanı önem kazanmaktadır. Çizelge 2.1’de verildiği üzere ses dalgalarında frekans değişimi, işitmede sesin incilmesi ve kalınlaşması şeklinde algılanmaktadır. Bu sebeple duyulan seslerin ayırt edilmesinin en önemli özelliklerinden biri frekanstır (Özer 1979).

**Çizelge 2.1.** Frekans ve Ses İlişkisi (Özer 1979)

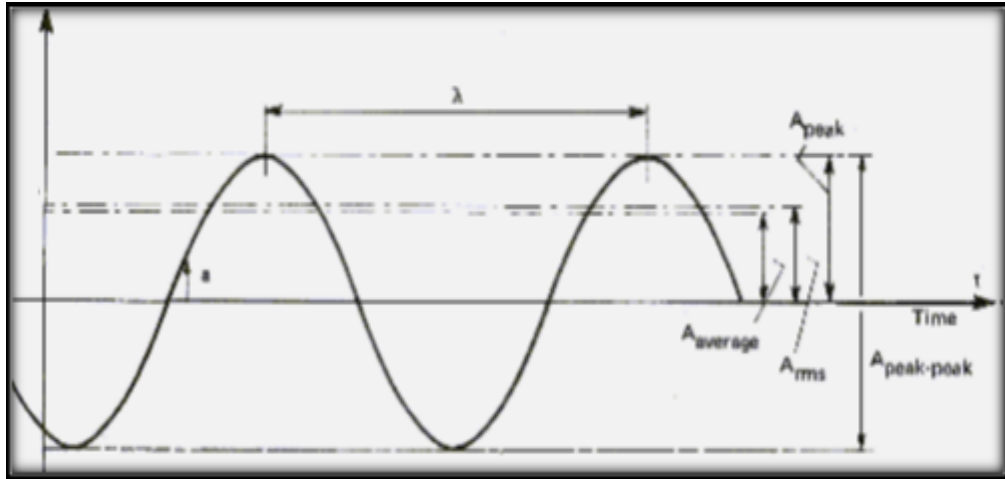
Frekans (Hz)	Ses
16-100	Çok kalın
100-400	Kalın
400-1600	Orta kalın
1600-3150	İnce
3150-16000	Çok ince

#### 2.4.1 Dalga Boyu

Titreşen bir nesnenin veya sistemin örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki süreye periyot denir. Dalga boyu, yayılan bir titreşim etkisinin, bir devir süresi içinde geçtiği yolun boyudur. Dalga boyu ( $\lambda$ ), dalganın yayılma hızı ( $c$ ) ve dalganın frekansına ( $f$ ) bağlantılı olarak (Ersoy 2007);

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13.** Titreşimin sahip olduğu Dalga boyunun gösterimi (Ersoy 2007)

## 2.4.2 Sesin Hızı

Sesin yayılma hızı ortamın yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Çizelge2.2). Yapı elemanları akustiğinde sesin yayılmasıyla ilgili en çok kullanılan ortam çeşidi havadır. Yapılan çalışmalarda havanın kullanılmasının sebebi insan kulağının sesi hava aracılığı ile almasıdır. Ses dalgasının hızı frekanstan etkilenmez, tüm frekanslarda ses aynı hızda yayılır (Özer 1979).

**Çizelge 2.2.** Değişik ortamlarda sesin hızı (Owen 2009)

Ortam	Sesin Hızı	
	ft/s	m/s
Çelik	16500	5029
Alüminyum	16000	4877
Tuğla	13700	4176
Tahta	13000	3962
Cam	13000	3962
Prinç	11400	3475
Beton	10600	3231
Su	4700	1433
Hava	1129	344
Plastik	130 - 490	40 - 149

## 2.4.3 Sesin Genliği ve Ses Titreşim Hızı

Bir ses titreşim hareketinde dalga tepesi ile dalga çukurunun arasındaki mesafenin yarısına ses dalgasının genliği denir. Ses dalgalarının genliği arttıkça sesin enerjisi ve şiddeti artar. Bir ses titreşiminde genlik arttıkça buna paralel olarak sesin enerjisi ve şiddeti de artar.

Sabit bir frekansta ses dalgasının genliği arttırıldığında aynı zamanda elementler düşük genlik seviyesine göre daha fazla mesafe alacaklarından ses dalgasını sahip olduğu kinetik enerji artacaktır, bu durum da ses şiddetinin artmasına sebep olacaktır.



Bir piyanistin tuşa sert basmasıyla tuşa bağlanan tel daha fazla titreşecektir, yüksek titreşim ses dalgasının genliğini artırır ve ses daha kuvvetli çıkmaktadır (Özer 1979).

#### 2.4.4 Desibel

Desibel (dB), ses düzeyinin veya gürültü düzeyinin logaritmik bir birimidir. Desibel, aynı tür iki veriyi logaritmik olarak ölçeklendirerek karşılaştıran bir gösterim birimidir. Örneğin bir kuvvetlendiricinin kazancı 1W'tan 2W'a yükseltirse güç parametresindeki desibel türünden artış miktarı;

$$N = 10 \log\left(\frac{2}{1}\right) = 3 \text{ dB} \quad (2.2)$$

olarak elde edilmektedir (Altınmakas ve ark. 2007).

#### 2.4.5 Ses Basıncı

Ses basınç seviyesi, sesin kaynağından yayılması sırasında atmosferik basıncın denge basıncı ile farkıdır, niceliği desibeldir ve uygun cihazlar yardımıyla rahatça ölçülebilmektedir (Anonim 2010). Bir ses kaynağının yorumlanmasında ses gücü değerine nazaran, yarattığı ses basıncı değeri daha önemlidir (Özgüven 1986).

Ses basınç seviyesi kaynağa yaklaşıp uzaklaştıkça değişmektedir. Bunun yanı sıra ortamda bulunan engeller, havanın yutuculuğu ve diğer etkenler sonucunda farklılık göstermektedir (Owen 2009).

Ses basınç düzeyi,

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ (dB)} \quad (2.3)$$

olarak tanımlanır.

Formülde p ses basıncının ortalama değerinin karekökü (rms değeri), p<sub>0</sub> ise uluslararası referans basıncı olan 20 mikropaskal'dır. 20 mikropaskal sabitinin kullanılma nedeni; ortalama genç sağlıklı yetişkin bir insanın, 1000Hz frekans değerine sahip bir ses dalgasını işitebilmesi için asgari olarak 20x10<sup>-6</sup> Pa büyüklüğünde bir basınç oluşmalıdır.

Bundan dolayıdır ki 1000 Hz frekans değeri duyma eşiği için referans alınmıştır. Ses basıncı düzeyinin tanımlanmasında, basınçların karelerinin oranının kullanılma nedeni, Desibel'in güç parametresinin oranlanmasında kullanılması ve gücün, basınç değerinin karesiyle orantılı olarak değişmesidir (Özgüven 1986). Çizelge 2.3'de, farklı ses kaynaklarından belirli bir mesafede ölçülen ses basınç değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Karakteristik ses basınç ve ses basınç seviyeleri (Owen 2009)

Kaynak	Ses Basıncı (Pa)	Ses Basınç Seviyesi (dB) ref 20 µPa	Subjektif Tepki
Havalanan askeri jet (100ft)	200	140	Aşırı tehlikeli
Topçu ateşi (10ft)	63.2	130	Aşırı tehlikeli
Havalanan yolcu jeti (50ft)	20	120	Acı eşiği
Sesli rock grubu	6.3	110	Rahatsızlık eşiği
Otomobil kornası (10ft)	2	100	Çok gürültülü
Susturucusu çıkarılmış büyük dizel motor (130ft)	0.6	90	Çok gürültülü
Hızlanan dizel kamyon (50ft)	0.2	80	Çok gürültülü
Nakliye treni (100ft)	0.06	70	Gürültülü
Konuşma (3ft)	0.02	60	Gürültülü
Klima (3ft)	0.006	50	Orta seviyede
Sessiz yerleşim alanı	0.002	40	Sessiz
Fısıltılı konuşma (6ft)	0.0006	30	Sessiz
Vızıldayan böcek (3ft)	0.0002	20	Algılanabilir
İyi duyma eşiği	0.00006	10	Zayıf
Mükemmel duyma eşiği	0.00002	0	Duyma eşiği

## 2.4.6 Ses Gücü ve Ses Gücü Düzeyi

Bir kaynağın ses gücü, kaynağın meydana getirdiği akustik enerjinin yayılma oranıdır, bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi  $L_w$  adı verilir.

Yukarıdaki tanıma göre, ses gücü  $W$  olan bir kaynağın ses gücü düzeyi,

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (2.4)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Denklemdaki,  $W_0 = 10^{-12}$  (W) ses gücünün uluslararası kabul gücüdür. Ses gücü düzeyi bilinen bir kaynağın ses gücü,  $W = 10^{-12} \times 10^{\frac{L}{10}}$  (Watt) bağıntısından bulunabilir (Özgüven 1986). Ses gücü ölçüm parametrelerine bağlı olup kaynağın uzaklığına ve ortama bağlı değildir. Çizelge 2.4'te farklı ses kaynakları için ses güçleri ve ses gücü seviyeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 2.4.** Belirli ses gücü çıktıları ve ses gücü seviyeleri (Owen 2009)

Kaynak	Ses gücü (W)	Ses gücü seviyesi (dB)
Fırlatılan uzay mekiği	$10^8$	200
Havalanan jet uçakları	$10^4$	160
Küçük uçak motoru	1	120
Otoban hızında yük kamyonu	0,01	100
Bağırın ses	0,001	90
Çöp yok etme birimi	$10^{-4}$	80
Havalandırma fanı	$10^{-6}$	60
Ofis hava difüzörü	$10^{-7}$	50
Küçük elektrik saati	$10^{-8}$	40
Fısıltı sesi	$10^{-9}$	30
Yaprak hışırtısı	$10^{-10}$	20
İnsan nefesi	$10^{-11}$	10

Ses gücü kaynak aracılığıyla üretilir ancak kaynağın tükettiği güç direkt ses gücüne dönüşmeyip sadece gücün küçük bir kısmı ses gücüne dönüştürülmektedir. Örneğin 100 W nominal güce sahip bir hoparlörde üretilen ses gücü 1 W ile 5 W arasında olmaktadır.

Tüketilen kaynak güçlerine nazaran daha küçük seviyelerdeki ses güçlerinin insan sağlığı açısından tehlikeli görülmesinin sebebi insan işitme organının aşırı hassas yapısından kaynaklanmaktadır.  $10^{-4}$  W'lık bir ses gücünün kulak zarına ulaşması rahatsızlık yaşanması için yeterlidir (Özer 1979).

#### 2.4.7 Ses Yoğunluğu ve Ses Yoğunluk Seviyesi

Ses yoğunluğu, yayılım yönüne dik duran birim alan ( $1 m^2$ ) boyunca ses enerjisinin akış oranıdır, yoğunluğun birimi  $W/m^2$ 'dir.

Ses yoğunluğu seviyesi  $L_1$ , desibel birimiyle ölçeklenmektedir ve hava için referans sabiti  $10^{-12} W/m^2$ 'dir. Bu sebeple ses yoğunluğu seviyesini  $L_1$ ;

$$L_1 = 10 \log \left( \frac{L}{10^{-12}} \right) \quad (2.5)$$

formülü ile belirlenmektedir.

Bir anlık ses yoğunluğu ( $I$ ), üretilen ses basıncı ve hava hareketinin hızı türünden;

$$I = p v \quad (2.6)$$

formülü ile ifade edilmektedir.

#### 2.4.8 Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi

Bir sesin, kaynağın yer aldığı çevrenin akustik ve geometrik nitelikleriyle, kaynağa olan mesafeye bağlı olarak değişen bir diğer özelliği sesin şiddetidir ve ses şiddeti olarak tanımlanabilir.

Bir sesin gücü, birim zamanda iletilen enerjinin bir ölçüsü idi. Ses şiddeti ise, birim alandan geçen enerjinin ölçüsüdür. Enerji akışı belirli yönlere doğru

gerçekleşeceğinden, ses şiddetinin ölçümünden enerjinin akış yönünün bilgisi de elde edilebilecektir. Bu sebeple ses şiddeti, ses şiddeti bilgisinin yanında enerjinin akış yönü bilgisini de veren vektörel bir büyüklüktür (Taşer 2003).

Bir kaynağın ses şiddetini ölçmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu sebeple ses şiddetinin hesaplanmasında kaynaktan uzakta olmak şartıyla tüm dalga türlerinde uygulanabilen

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.7)$$

bağıntısı yardımıyla ses şiddeti hesaplanabilmektedir. Bu bağıntının ışığında, kaynaktan uzakta bir ortamda ses şiddetinin ses basıncının karesiyle doğru orantılı değişmektedir.

Ses şiddeti düzeyi ise,

$$L_1 = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2.8)$$

olarak ölçeklendirilir. Hava için uluslararası kabul edilen referans değeri  $I_0 = 10^{-12} (W/m^2)$  olmaktadır (Özgüven 1986).

#### 2.4.9 Sesin Yansıması

Uygun bir ortamda yayılan ses dalgalarının güzergâhında bir engel bulunması halinde ses dalgaları bu engeli çarpar, çarpan ses dalgasının enerjisinin bir bölümü engeli aşarak yoluna devam ederken, bir bölümü engelin iç yapısında yutulmakta ve düşük frekanslı kalın ses dalgasının enerjisi de geldiği ortama geri dönmektedir. Ses enerjisinin engeli geçme, engel tarafından yutulma ve yansıma oranları; maddenin cinsi, sertliği ve geometrik şekline göre farklılıklar göstermektedir (Ballou 1998).

İnsan işitme sisteminde ses yansımaları ortam şartlarına bağlı olarak yankı ve ses uzaması olarak görülmektedir. İnsan kulağının morfolojik yapısı gereği ses dalgalarının aktardığı enerji kulak zarında belirli bir süre daha salınma devam etmektedir.

Örneğin 1/100 saniye uzunluğundaki bir ses dalgası insan kulağında 1/15 saniye uzunluğundaki bir ses dalgası gibi işitilmektedir. Ses dalgalarının havadaki yayılma hızı yaklaşık 340 m/sn kabul edildiğinden ses dalgaları 1/15 saniyede 22 metre yol alacaklardır. Bu sebeptendir ki ses dalgası uzunluğu çok kısa süreli olan seslerin net işitilebilmesi ancak ses kaynağı ile dinleyici arasında en az 22 metre mesafe olmasıyla sağlanacaktır. Bunun yanında insan işitme organına 1/15 saniye içerisinde art arda gelen birden fazla çok kısa süreli ses dalgaları, gelen ses dalgasının uzaması şeklinde yorumlanacaktır. Yapılan çalışmalar neticesinde çok kısa süreli ses dalgalarının dışında en kısa ses dalgasının uzunluğunun 1/10 saniye olduğu görülmektedir. Bu hususta insan işitme organına gelen aynı ses dalgalarının duyulabilmesi için kaynak ile dinleyici arasındaki mesafe en az 34 metre olmalıdır. Bir ses kaynağının meydana getirdiği ses dalgaları doğrudan dinleyiciye ulaştığı gibi, aynı ses dalgaları ortamdaki yansıtıcı yüzeylerden yansiyarak dinleyiciye bir gecikme yaşayarak ulaşacaktır. Bu gecikmenin yaşandığı mesafe ile doğrudan dinleyiciye ulaşan ses dalgalarının izlediği yolun mesafesi arasındaki fark 22 metreden daha kısa olursa dinleyici sesi, ses uzaması şeklinde yorumlanacaktır. İlgili uzaklık farkı 34 metreden daha uzun olursa bu sefer dinleyici sesi yankı şeklinde yorumlayacaktır. Eğer ki iki mesafe arasındaki fark 22 ile 34 metre aralığında bir değerde olursa işitilen ses, sesin türüne ve dinleyiciye bağlı olarak yankı veya ses uzaması şeklinde yorumlanacaktır. Fizik biliminde ses dalgalarının yansıma karşısında göstermiş olduğu tepkiler çoğunlukla ışığın yansıma davranışıyla benzerlikler gösterdiği kabul edilir. Kuramsal çalışmalarda ses ve ışığın yansıma davranışları benzetilse de uygulamalarda farklı davranışlar gözlemlenmektedir.

Ses dalgalarının yansımaları, düzgün veya dağınık olabilmektedir. Ses dalgasının karşılaştığı yansıtıcı engelin yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar, yüzeye gelen ses dalgasının dalga boyundan küçük olduğu durumlarda, yansıma düzgün bir şekilde olmaktadır.

Ses dalgalarının düzgün yansımalarında tıpkı ışığın davrandığı gibi gelen ses dalgası karşılaştığı engelin yüzeyinde oluşan normal ile arasında eşit açı olacak şekilde gerçekleşmektedir.

Ses dalgasının karşılaştığı engelin yansıtıcı yüzeyinin girinti ve çıkıntılarının boyutu, yüzeye gelen ses dalgasının dalga boyundan büyük olması halinde yansıma dağınık bir şekilde gerçekleşir. Ses dalgalarının dağınık yansıma davranışlarında engelin yüzeyine gelen ses dalgasının doğrultusu ve düzlemiyle yansıyan dalganın doğrultusu ve düzlemi arasında herhangi bir ilişki olma koşunu bulunmamaktadır.

Günlük yaşantımızda insan kulağı tarafından duyulabilen seslerin dalga boyları 2 santimetre ile 20 metre arasında değişkenlik gösterdiğinden yapı akustiğinin ses dalgası yansımaları bu iki parametreye bağlı olarak düzgün ve dağınık olmak üzere bir arada gerçekleşir (Özer 1979).

#### **2.4.10 Sesin Kırılması**

Ses dalgalarının kırılması, ses dalgasının karşılaştığı engelin etkisiyle yolunu değiştirmesi olayıdır. Ses dalgalarının kırılmasının koşulu da tıpkı ışığın kırılmasında olduğu gibi, bir açıklıktan geçme veya ses dalgasının karşılaştığı açıklık, kenar, köşe veya çeşitli geometrik engellerin boyutlarının, gelen ses dalgasının dalga boyundan daha küçük olmasıdır. Akustik biliminde yapılan çalışmalarda, ses kırılmasına kullanılan kaynakların sahip olduğu ses dalga boylarının engellere nazaran daha büyük olmasından dolayı sıklıkla gözlemlenmektedir.

Ses dalgasının karşılaştığı engelden sonra nasıl bir kırılım göstereceği karşılaştığı engelin boyutları ile ses dalgasının dalga boyu ile ilişkilidir. Örneğin dışarıdan gelen 3-5 cm dalga boyuna sahip ses dalgaları açık bir pencereden kırılmaya uğramadan ve güzergâhlarında herhangi bir değişiklik yaşamadan ilerleyecektirler.

Bu durumda 5-10 metre dalga boyuna sahip olan ses dalgaları kırılacaktır ve mevcut güzergâhlarından saparak enerjilerinin yettiği mesafeye kadar gideceklerdir. Bu sebeptendir ki dalga boyu büyük olan alçak frekanslı kalın tonlu ses dalgaları evin penceresi açık odasına gelen ses dalgalarından en çok işitilenler olacaktır (Özer 1979).

#### 2.4.11 Sesin Yutulması

Ses dalgası yutumu, engele ulaşan ses dalgalarının malzeme içerisinde yer alan ses dalgasını ileten malzemeler ve boşluklar yardımıyla soğurulması veya yayılması şeklinde tanımlanır. Ses dalgası yutumu, engel üzerine gelen ses dalgasının enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüyle gerçekleşmektedir. Ses dalgaları, engel içerisindeki gözenekli yapıya ulaştığında; hava molekülleri ses basıncının etkisiyle engel içerisindeki boşlukta ses kaynağının saniyedeki titreşim sayısı olan frekansla salınım yapar. Bu salınım sürtünmeye sebebiyet verir (Jayaraman 2005).

Başka bir ifade ile ses yutumu malzeme üzerine gelen ses enerjisinin malzeme içerisinde yutulan ve yayılan kısmı şeklinde tanımlanabilir. Yutulan enerjinin büyük kısmı ısı enerjisine dönüştürülür, kalanı ise iletilir. Yumuşak ve gözenekli malzemeler, genellikle iyi akustik yutum özelliği gösterirken, sert ve yoğun malzemeler daha çok yansıtıcı özellik göstermektedir.

Yüzeye gelen ses yoğunluğunun yutulması olayında ses yutum katsayısı kullanılır (Owen 2009). Ses yutum katsayısı aşağıdaki formül kullanılarak ifade edilebilmektedir;

$$a = \frac{I_{abs}}{I_{inc}} \quad (2.9)$$

$I_{abs}$ : Yutulan Ses Yoğunluğu

$I_{inc}$ : Gelen Ses Yoğunluğu

#### 2.4.12 Ses Yutma Katsayısı

Ses yutma katsayısı, malzeme tarafından soğurulan ve iletilen ses dalgalarının toplam enerjisinin, ses kaynağında üretilen dalgalarının enerjisine oranı şeklinde tanımlanmaktadır.



$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (2.10)$$

ile tanımlanan ses yutma katsayısı, sıfır ile bir arasında değerler alabilir. Bir malzemenin sahip olduğu ses yutma katsayısı, malzemenin temel özelliklerine, kalınlığına ve ses dalgalarının frekansına bağlı olarak değişir. Bir malzemenin ses yutumu, malzemenin ses dalgalarına maruz kalan bölümünün alanı ile malzemenin sahip olduğu ses yutma katsayısının çarpımıyla hesaplanmaktadır ve birimi Sabin'dir (Özgüven 1986).

#### 2.4.13 Ses İletim Kaybı

Ses iletim kaybı, yutuculuk özelliğine sahip malzemelerin ses dalgalarını yalıtım seviyesin desibel türünden gösterimidir.

Ses iletim kaybı,

$$TL = 10 \log \left( \frac{W_s}{W_R} \right) = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad (2.11)$$

$$\tau = \frac{W_R}{W_S} \quad (2.12)$$

$$TL = L_S - L_R + 10 \log \left( \frac{A_m}{A_R} \right) \quad (2.13)$$

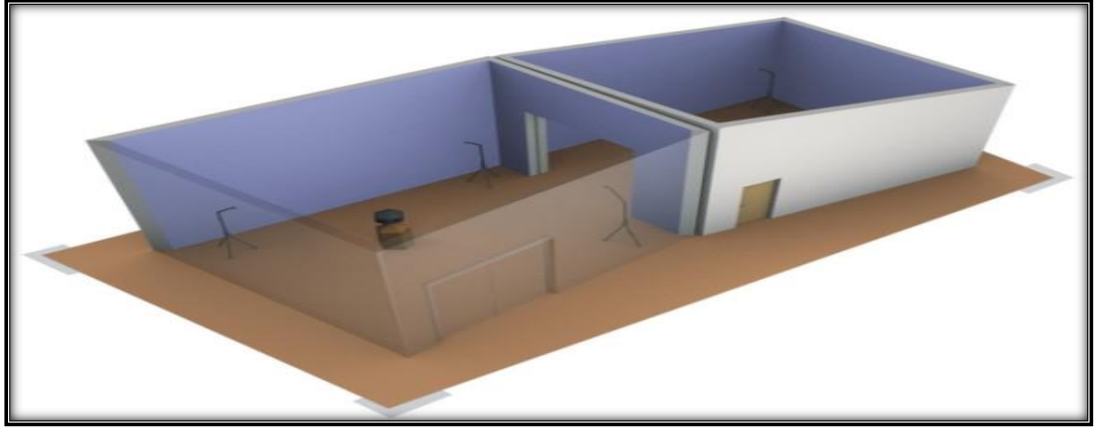
şeklinde ifade edilir (Şekil 2.14). Burada,

$L_S$  : kaynak odasındaki ortalama ses basıncı düzeyi, (dB)

$L_R$  : alıcı odasındaki ortalama ses basıncı düzeyi, (dB)

$A_m$  : incelenen malzemenin yüzey alanı, m<sup>2</sup>

$A_R$  : Alıcı odanın eşdeğer yutum alanıdır, m<sup>2</sup>.



**Şekil 2.14.** Kaynak ve alıcı odasının modeli (Özgüven 1986)

Ses iletim katsayısı aşağıdaki gibi  $W_1$  ve  $W_2$  ses enerjilerinin oranlanmasıyla elde edilmektedir. Denklem (2.14) 'de  $W_1$  ses yutum özelliği gösteren malzemenin üzerine gelen ses dalgalarının toplam enerjisi,  $W_2$ 'de ses yutucu malzeme tarafından soğurulamayan ve yansıtılmayan ses dalgalarının enerjisidir. (Özgüven 1986).

$$TL= 10\log\left(\frac{W_1}{W_2}\right)(\text{dB}) \quad T = \frac{W_2}{W_1} \quad (2.14)$$

Bir malzemenin ses iletim kaybı, iletim katsayısı türünden,

$$TL= 10\log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bir malzemenin sahip olduğu ses yalıtımı performansı değerlendirildiğinde, ses iletim katsayısının olabildiğince düşük olması istenmektedir. Bunun bir doğal sonucu olarak da ses iletim kaybı yüksek seviyelerde olacaktır. Bir malzemenin sahip olduğu ses iletim kaybı değeri, ses dalgalarının frekansı, malzemenin teknik özellikleri ve malzemenin yüzey geometrisine göre farklılıklar göstermektedir (Özgüven 1986).

#### **2.4.14 Oktav Bantları**

İnsan kulağı belirli aralıktaki ve basınçtaki sesleri algılayabilir. İnsan kulağının algılayabildiği frekans aralığı 20 Hz - 20 kHz aralığıdır. Bu geniş frekans aralığını sınıflandırmak amacıyla oktav bantları kullanılır.

Oktav bantları frekans aralığı filtreleme işleminde kullanılır. Bu filtreleme ile aşırı uzun süren işlemlerden, dolayısıyla zamandan tasarruf edilmiş olunur. Oktav bantları alt, üst ve merkez olmak üzere üç adet frekanstan oluşur. Merkez frekans diğer iki frekansın geometrik ortalaması sonucu ortaya çıkar. Bir oktav bandı:

$$f_2 = 2 f_1 \quad (2.16)$$

$$f_0 = \sqrt{2}f_1 = f_2 / \sqrt{2} \quad (2.17)$$

$$b_w = f_2 - f_1(\text{bant genişliği}) \quad (2.18)$$

denklemleri ile ifade edilir (Sarıgül 2016).

## 2.5. Dalga Denklemleri

Gürültü kontrol süreçlerini düzenleyen prensipleri tam olarak algılayabilmek için, ses dalgalarının iletimi için geçerli olan kartezyen koordinatlarda yazılabilecek dalga denkleminin bilinmesi gerekmektedir.

Denklem (2.19)'da p anlık akustik basıncı, c sesin havada yayılma hızını ve t zaman koordinatını ifade etmektedir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.19)$$

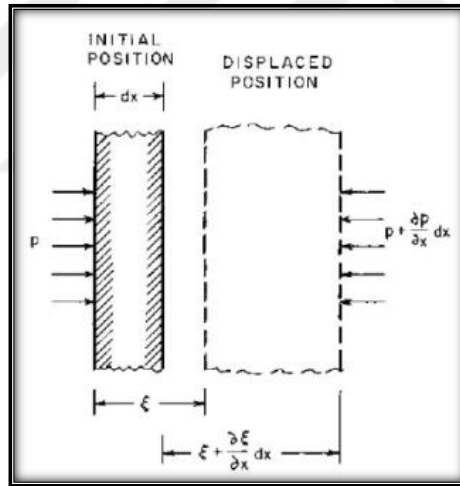
Dalga denklemi iki kritik kısıta sahiptir: bunlardan ilki enerjinin yayılım etkileri ihmal edilmektedir, diğeri ise dalganın sahip olduğu basıncın genliği, ortamın atmosferik basıncına kıyasla daha küçük olmalıdır. Yapılacak çalışmalarda dalga denkleminin ayrıntılı çözüm teknikleri kullanılabilir, ancak bu iki kısıt, analiz edilen fiziksel durumda karşılanmazsa, analizin sonuçları geçersiz olacaktır. Ses dalgalarının enerji yayılımı etkileri yüksek frekanslı ve uzun mesafeli ses dalgalarının iletiminde daha baskındır.

Örneğin 500Hz veya daha düşük bir frekansa sahip ses dalgası hava vasıtasıyla 25 metreden daha kısa bir mesafeden iletiliyorken, ses dalgasının sahip olduğu akustik enerjideki zayıflama miktarı 0,1 dB'den daha küçük olmaktadır. Bu tür süreçlerde

zayıflama etkisi genellikle ihmal edilmektedir. Bunun yanı sıra 8kHz frekansa sahip ses dalgası hava vasıtasıyla 125 metreden daha uzun bir mesafeden iletiliyorken ses dalgasının sahip olduğu akustik enerjideki zayıflama miktarı 40 dB'den daha büyük olmaktadır.

Uygulanmakta olan gürültü kontrol çalışmalarının çoğunluğunda ses dalgası genliği küçüktür. Düşük seviyeli ses patlamaları konusunda çalışılmadığı sürece, endüstriyel çalışmalarda veya çevre koşullarında karşılaşılan ses dalgalarının basınç seviyeleri genellikle 150 dB'den daha küçüktür ve bu durumda ses dalga denklemlerinin basınç genliği kısıtı karşılanmaktadır.

X yönünde ilerleyen düzlemsel ses dalgaları için bir boyutlu dalga denklemi oluşturulduğunda: ilk durumdaki kalınlığı  $dx$  ve ilk durumdaki yüzey alanı  $S$  olan bir sıvı tabakası, Şekil 2.15'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.15.** Sıvı tabakasının başlangıç ve ses dalgası geçerken ki konumları (Barron 2003)

Zamanda küçük bir artıştan ( $dt$ ) sonra, bir taraf  $x$  konumundan yeni bir konuma ( $x + \xi$ ) geçer,  $\xi$  anlık parçacık yer değiştirmesidir. Diğer tarafta ( $x + dx$ )'den yeni bir konuma ( $x + dx + \xi + \frac{\partial \xi}{\partial x} dx$ ) geçiş gözlemlenmektedir.

Akışkan sıvı tabakasına uygulanan kuvvetlerin bir sonucu olarak, sıvı bir konumdan diğerine hareket etmektedir. Dalga denklemlerinin ilk kısıtı olan enerjinin yayılım

etkileri ihmal edilmektedir yargısından yola çıkarak, sistemdeki sürtünme kuvvetleri ihmal edilebilmektedir. Bu sayede akışkan sıvı tabakasına etki edecek tek kuvvetler basınç kuvvetleri olacaktır. Akışkan sıvı tabakasına etki edecek net kuvvet:

$$F_{\text{net}} = pS - (p + \frac{\partial p}{\partial x} dx)S = - \frac{\partial p}{\partial x} dx S \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilir. Akışkan sıvı tabakasının parçacık hızı  $u$ , birim zamanda yer değişimidir.

$$u = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (2.21)$$

Akışkan sıvı tabakasının ivmesi, birim zamanda hız değişimidir:

$$a = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

Tabakanın kütlesi, birim hacim başına kütlenin (veya yoğunluk), tabakanın hacmi ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Bu değişimleri Newton'un ikinci hareket yasasında ( $F = m \cdot a$ ) yerine koyduğumuzda aşağıdakileri denklemlere ulaşılmış olmaktadır:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.23)$$

Dalga denkleminin elde ettiğimiz halini farklı değişkenler türünden ifade etmek mümkündür. Bu hususta dalga denklemlerini akustik basınç türünden ifade edebiliriz. Sabit entropideki herhangi bir akışkan sıvıdaki ses hızı aşağıda oluşturulan gösterimlerden çıkarılabilir:

$$c^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{\partial p / \partial t}{\partial \rho / \partial t} \text{ ya da } \frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.24)$$

Akışkan sıvı yoğunluğundaki değişim oranı  $c$  ve ilk durumdaki akışkan sıvının yoğunluğu  $\rho_0$  olarak tanımlanırsa aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\varphi = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 \quad (2.25)$$

Akışkan sıvı tabakanın sabit bir kütlesi için,  $V_0$  akışkan sıvı tabakanın ilk hacmi olmak üzere, parçacık yer değiştirmesi türünden yoğunlaşmayı aşağıdaki biçimde yazabiliriz:

$$\varphi = \frac{V_0 - V}{V} = \frac{Sdx - S\left(dx + \frac{\partial \xi}{\partial x} dx\right)}{\left(dx + \frac{\partial \xi}{\partial x} dx\right) S} = - \frac{\frac{\partial \xi}{\partial x}}{1 + \frac{\partial \xi}{\partial x}} \quad (2.26)$$

Dalga denklemlerinin ikinci kısıtı olan, dalganın sahip olduğu basıncın genliği ortamın atmosferik basıncına kıyasla daha küçük olmalıdır, ifadesinden akışkan partikül yer değiştirmesinin oldukça küçük olduğu görülecektir.

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} \ll 1 \quad (2.27)$$

Bu durumda yoğunlaşma aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\varphi = - \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2.28)$$

Denklem (2.25) kullanılarak akışkan sıvı tabakanın yoğunluğu yoğunlaşma türünden yazılabilmektedir.

$$\rho = \rho_0 (1 + \varphi) \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho_0 \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (2.30)$$

Eğer bu sonuç denklem (2.24)'te yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilecektir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = c^2 \frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho_0 c^2 \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (2.31)$$

Eşitliğin her iki tarafının da ikinci dereceden türevi alındığında:

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = \rho_0 c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (2.32)$$

yazılabilir.

Aynı şekilde, (2.23) denkleminin ikinci dereceden kısmi türevi alınır ve yer değiştirmenin oldukça küçük olduğu, öyle ki yoğunluk bir sabit gibi kabul edilir. Benzer şekilde, denklem (2.23) in ikinci derece kısmi türevini alındığında yer değiştirmenin olabildiğince küçük olduğu ve bununla birlikte yoğunluğun bir sabit olarak kabul edebileceği görülecektir.

$$\rho = \rho_0(1 + \varphi) \approx \rho_0 = \text{sabit} \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = -\rho_0 \frac{\partial^3 \xi}{\partial t^2 \partial x} = -\rho_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \quad (2.34)$$

Denklem (2.28)'deki yoğunlaşma yerine yazıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilecektir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = +\rho_0 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (2.35)$$

Denklem (2.32) ve (2.35) birbirine eşitlediğinde dalga denklemini anlık akustik basınç değeri olan p türünden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.36)$$

Elde ettiğimiz dalga denklemini, başlangıç ve sınır koşullarını gözeterek türettiğimizde, farklı durumlardaki tüm akustik ifadeler elde edilebilir. Bu durumdan yola çıkarak dalga denklemini anlık parçacık yer değiştirmesi türünden de yazılabilmektedir.

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.37)$$

Sınır koşulları bilinen çalışmalarda dalga denklemini yer değiştirme türünden yazılması daha uygun olacaktır. Dalga denklemleri akustik basınç veya parçacık yer değiştirmesi türünden ifade edildikten sonra, farklı akustik parametreler türünden de gerekli değişimler yapılarak ifade edilebilir. Örnek vermek gerekirse, dalga denkleminin anlık akustik basınç türünden ifade edildiği denklem (2.31)'in her iki tarafının integrali alındığında yoğunlaşma denklemini elde edilir.

$$p = \rho_0 c^2 \varphi \quad (2.38)$$

Denklem (2.28) ve (2.38) kullanılarak oluşturulan eşitliğin integrali alındığında, anlık partikül yer değiştirmesi ifadesi elde edilecektir.

$$\xi = - \int \varphi dx = - \frac{1}{\rho_0 c^2} \int p(x, t) dx \quad (2.39)$$

Bu durumda eğer kuvvet dengesinin zamana bağlı olarak integralini alır, denklem (2.23) ve hız-yer değiştirme ilişkisini kullanırsak, anlık parçacık hızını değerlendirebiliriz.

$$u(x, t) = - \frac{1}{\rho_0} \int \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} dx \quad (2.40)$$

Bununla beraber, anlık parçacık yer değiştirmesi türünden yazılan ifadeyi kullanarak diğer akustik parametrelerin denklemleri yazılabilir (Barron 2003).

$$u(x, t) = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (2.41)$$

$$\varphi(x, t) = - \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2.42)$$

$$P(x, t) = \rho_0 c^2 \varphi = - \rho_0 c^2 \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2.43)$$

### 2.5.1 Dalga Denklemlerinin özümü

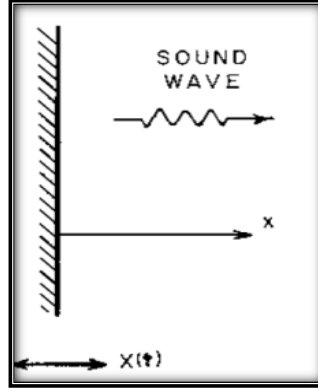
şekil 2.16'da gösterildiği üzere düzgün bir düzlemin titreşim hareketi sebebiyle üretilen ses dalgalarını ifade eden dalga denkleminin çözümü elde edilmek istensin.

Düzlemin  $x = 0$ 'daki hareketi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$X(t) = X_m \cos \omega t \quad (2.44)$$

Eşitlikte  $X_m$  hareketin en yüksek genliği olan tepe noktasını,  $\omega = 2\pi f$ 'te hareket için açısal frekansı temsil etmektedir. Karmaşık gösterim ile ifade edilerek, yalnızca gerçek kısmıyla çalışma yapılmaktadır.





**Şekil 2.16.** Titreşim hareketi sonrası düzlem tarafından üretilen ses dalgası (Barron 2003)

Denklem (2.44) aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$X(t) = X_m e^{j\omega t} \quad (2.45)$$

Düzlemin basit harmonik hareketi tarafından üretilen ses dalgası da basit bir harmonik formda olmalıdır. Yer değiştirme açısından aşağıdaki çözüm formunu ele aldığımızda:

$$\xi(x, t) = \psi(x) e^{j\omega t} \quad (2.46)$$

Denklemden  $\psi(x)$  bir boyutlu dalgaların yalnızca X koordinatı ile ilişkili genlik fonksiyonudur. Denklem (2.46)'dan uzaysal ve zaman değişkenine bağlı türevleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = j^2 \omega^2 \psi(x) e^{j\omega t} = -\omega^2 \psi(x) e^{j\omega t} \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{d^2 \psi}{dx^2} e^{j\omega t} \quad (2.48)$$

Eğer bu eşitlikler (2.36) nolu dalga denkleminde yerine yazılırsa, aşağıdaki adi diferansiyel denklem oluşacaktır:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} \psi(x) \quad (2.49)$$

Denklemden  $k = \omega/c = 2\pi f/c = 2\pi/\lambda$  eşitliklerinden faydalanarak  $k$  dalga sayısını yerine yazdığımızda dalga denkleminin son formunu oluşturmuş oluruz.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + k^2 \psi = 0 \quad (2.50)$$

Denklemin (2.44)'ün genel çözümü aşağıdaki şekildedir:

$$\psi(x) = A e^{-jkx} + B e^{jkx} \quad (2.51)$$

Bu denklemden  $A$  ve  $B$  gösterimleri, sınır koşullarından üretilecek olan integral sabitleridir. Düzlem formundaki dalgalar için genel çözüm, (2.51) denklemini (2.46) denkleminde yerine yazılarak elde edilir.

$$\xi(x, t) = A e^{j(\omega t - kx)} + B e^{j(\omega t + kx)} \quad (2.52)$$

Elde edilen genel çözüm iki ifade içermektedir:

- a) Genel çözümde yer alan ifadelerden ilki olan  $\omega t - kx$ ,  $+x$  yönünde (pozitif  $x$  yönünde) hareket eden bir ses dalgasını göstermektedir.
- b) İfadelerden diğeri olan  $\omega t + kx$  ise  $-x$  yönünde (negatif  $x$  yönünde) hareket eden bir ses dalgasını göstermektedir.

Bu davranış, tepe noktalarının ses dalgalarındaki hareketini göz önüne alırsak kolayca fark edilebilir.

$\cos(\omega t - kx)$  ses dalgasının tepe noktalarından bir tanesinin  $x_0$  konumunda herhangi bir zaman olan  $t_0$  'da oluştuğu varsayılırsa:

$$\omega t_0 - kx_0 = 0 \quad (2.53)$$

İlk durum olan  $t_0$  'dan kısa zaman sonra  $t = t_0 + \Delta t$  de ve tepe noktasının yeni konumu olan  $x_1$  noktası şu şekilde açıklanmaktadır:

$$\omega(t_0 + \Delta t) - kx_1 = 0 \quad (2.54)$$

Elde edilen 2 eşitlik kullanılarak, ses dalgasının tepe noktasının bu kısa zaman içerisinde hareket ettiği yeri buluruz:

$$x_1 = x_0 + (\omega/k) \Delta t = x_0 + c\Delta t \quad (2.55)$$

Eğer  $x_1$ 'in  $x_0$ 'dan büyük olduğu biliniyorsa, ses dalgasının tepe noktası pozitif yönde hareket etmektedir. Bu bilginin ışığında, parçacığın yer değişiminin  $(\omega t + kx)$  ifadesinden negatif yönde hareket eden bir ses dalgası olduğu görülecektir. Buna bir örnek vermek gerekirse, bir düzlemin titreşimiyle üretilen ses dalgasının çok büyük (sonsuz) bir alana yayıldığını varsayalım, bu yayılım neticesinde plakaya geri yansıyan bir ses olmayacaktır. Bu durumda, negatif yönde tekrar düzleme ulaşan bir ses dalgası olmayacaktır. Bu koşulun matematiksel ifadede de karşılığı olabilmesi için B değeri sifıra eşit olmalıdır.

Titreşim halindeki plakanın yüzeyinde, akışkan sıvı plakanın hareketini takip etmelidir:

$$\xi(0, t) = X(t) = X_m e^{j\omega t} = A e^{j(\omega t - kx)} \Big|_{x=0} = A e^{j\omega t} \quad (2.56)$$

Böylece, bir diğer integral sabiti  $A=X_m$ 'dir. Titreşim halindeki plakanın neden olduğu anlık parçacık yer değiştirmesi için elde edilen son ifade:

$$\xi(x, t) = X_m e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.57)$$

şeklinde olmaktadır. Karmaşık gösterimin dalga denklemlerindeki kısıtı uyarınca karmaşık gösterimin sadece gerçek tarafı parçacık yer değiştirmesini temsil eder:

$$\xi(x, t) = X_m \cos(\omega t - kx) = X_m \cos[2\pi f t - 2\pi(x/\lambda)] \quad (2.58)$$

Parçacık yer değişiminin tepe genliği  $|\xi| = X_m$ , parçacık yer değişiminin rms değeri

$$\xi = X_m / \sqrt{2} \quad (2.59)$$

$$j = e^{j\pi/2} \quad (2.60)$$

şeklinde yazılmaktadır.

Diğer nicelikler düzlemsel ses dalgası için türetilirse, anlık parçacık hızı, hız-yer değiştirme bağıntısından bulunabilir. Bir düzlemsel ses dalgası için diğer parametreler değerlendirildiğinde, parçacık hızının anlık hız-yer değiştirme ilişkisi olan denklem (2.41)'den türetilir:

$$u(x,t) = \frac{\partial \xi}{\partial t} = j\omega X_m e^{j(\omega t - kx)} = \omega X_m e^{j(\omega t - kx + \frac{\pi}{2})} \quad (2.61)$$

Denklem (2.61)'in gerçek tarafını işleme alacak olursak, parçacık hızında anlık gerçek değişimini elde ederiz:

$$u(x,t) = \omega X_m \cos(\omega t - kx + \pi/2) \quad (2.62)$$

Parçacık hızı genliği ve parçacık yer değişimi genliği ile ilişkilidir:

$$|u| = \omega X_m = \omega |\xi| = 2\pi f |\xi| \quad (2.63)$$

(2.58) ve (2.62) nolu denklemlerde parçacık hızı ile parçacık yer değişimi incelendiğinde  $\phi = \frac{1}{2}\pi \text{rad} = 90^\circ$ 'lik bir faz farkı bulunduğu görülmektedir.

Ardından, denklem (2.43) uygulanarak aşağıdaki anlık akustik basınç gösterimi elde edilir.

$$p(x,t) = -\rho_0 c^2 \frac{\partial \xi}{\partial x} = +jk\rho_0 c^2 X_m e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.64)$$

Önceki işlemlerde tanımladığımız  $j = e^{j\pi/2}$   $\omega = kc$  ifadelerini kullanarak denklem sadeleştirilir.

$$p(x,t) = \rho_0 c \omega X_m e^{j(\omega t - kx + \frac{\pi}{2})} \quad (2.65)$$

Yukarıda elde ettiğimiz denklemin gerçek tarafı yazılırsa,

$$p(x,t) = \rho_0 c \omega X_m \cos(\omega t - kx + \pi/2) \quad (2.66)$$

(2.62) ve (2.66) nolu denklemlerde, anlık akustik basınç ve parçacık hızının ilişkili olduğunu gözlemleriz:

$$p(x,t) = \rho_0 c u(x,t) \quad (2.67)$$

Karakteristik akustik empedans temelde aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$Z_0 = \rho_0 c \quad (2.68)$$

Bir düzlemin ürettiği ses dalgası için akustik basınç ve parçacık hızının genlikleri:

$$|p| = Z_0 |u| \quad (2.69)$$

şeklindedir. Ayrıca, bir düzlemin ürettiği ses dalgası için akustik basınç ve parçacık hızı arasındaki faz açısı  $\phi = 0$  'dir (Barron 2003).

Örneğin 70 dB'lik bir ses basıncı seviyesine sahip düzlem formundaki ses dalgası, yağ ve su ortamları arasındaki ara katmana normal ile  $45^\circ$  açıyla geldiğini düşünelim. Yağ ve su ile dolu ortamların teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

$$\text{oil (material 1)} \quad \rho_1 = 850 \text{ kg/m}^3 ; \quad c_1 = 1350 \text{ m/s};$$

$$Z_1 = 1.148 \times 10^6 \text{ rayl}$$

$$\text{Water (material 2)} \quad \rho_2 = 998 \text{ kg/m}^3; \quad c_2 = 1481 \text{ m/s};$$

$$Z_2 = 1.478 \times 10^6 \text{ rayl}$$

Snell Yasasından elde edilen denklem (2.119) kullanılarak su ortamında iletilen ses dalgası sebebiyle oluşan ses basıncı seviyesini aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\sin\theta_t = \left(\frac{c_2}{c_1}\right) \sin\theta_i = \left(\frac{1.481}{1.350}\right) \sin(45^\circ) = 0.7757$$

$$\theta_t = 50.87^\circ$$

Eğik gelen dalgaların sahip olduğu kritik açısının kontrolü aşağıdaki gibi yapılır.

$$\sin\theta_{cr} = \left(\frac{c_1}{c_2}\right) = \frac{1.35}{1.481} = 0.9115$$

$$\theta_{cr} = 65.72^\circ$$

Eğer eğik gelen dalganın yaptığı açı kritik açı olan 65.72°'den büyük olsaydı, ses dalgasının ikinci ortama akustik enerji iletimi gerçekleşmeyecekti. Kritik açı koşulu sağlandığına göre ses güç iletim katsayısını denklem (3.130)'dan bulabiliriz.

$$a_t = \frac{(4)(1.478)(10^6)(1.148)(10^6)\cos(45^\circ)\cos(50.87^\circ)}{[(1.478)(10^6)\cos(45^\circ) + (1.148)(10^6)\cos(50.87^\circ)]^2}$$

$$a_t = 0.9649$$

Hesapladığımız ses güç iletim katsayısı neticesinde iletim kaybı oldukça küçüktür:

$$TL = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{0.9649} \right) = 0.2 \text{ dB}$$

Gelen ses dalgasının basınç büyüklüğü ses basınç seviyesinden bulunabilir:

$$p_{in} = (20)(10^{-6})10^{\frac{70}{20}} = 0.0632 \text{ Pa} = 63.2 \text{ mPa}$$

Gelen ses dalgasının yoğunluğu:

$$I_{in} = \frac{p_{in}^2}{Z_1} = \frac{(0.0632)^2}{(1.148)(10^6)} = 3.484 * 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 3.484 \frac{\text{nW}}{\text{m}^2}$$

İletilen dalganın yoğunluğu ise denklem (3.126) kullanılarak bulunabilir:

$$I_{tr} = \frac{\cos\theta_{in}}{\cos\theta_t} a_t I_{in} = \frac{\cos(45^\circ)}{\cos(50.87^\circ)} (0.9649)(3.484) = 3.767 \frac{\text{nW}}{\text{m}^2}$$

Elde edilen sonuçlar neticesinde iletilen dalganın yoğunluğu, gelen ses dalgasının yoğunluğundan biraz daha fazla olsa da, bu hususta herhangi bir fiziksel ilkenin ihlali gerçekleşmemiştir. İletilen dalganın enerjisi, gelen ses dalgasından daha küçük bir alana sıkıştırılır, bu sebeple iletilen dalganın yoğunluğu artar. Bu davranış, bir boru içerisinde hareket eden suyun daha küçük çapa sahip bir boruya girdiğinde, hızda (birim alandaki su hacmi) belirli bir miktar artışa sebep olacağı gerçeğine benzerdir.

İletilen ses dalgalarının sahip olduğu ses basıncı, dalganın yoğunluğundan bulunabilir:

$$p_{tr} = (Z_2 I_{tr})^{1/2} = [(1.478)(10^6)(3.767)(10^{-9})]^{1/2}$$
$$p_{tr} = 0.0746 \text{ Pa} = 74.6 \text{ mPa}$$

Son olarak iletilen ses dalgalarının sahip olduğu ses basıncı seviyesi de aşağıdaki gibi hesaplanır (Barron 2003).

$$L_{p,tr} = 20 \log_{10} \left( \frac{0.0746}{20} * 10^{-6} \right) = 71.4 \text{ dB}$$



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu bölümde çalışmada kullanılan akustik performansın belirlenmesinde kullanılan test düzeneği ve akustik kumaşların üretim yöntemleri verilmiştir.

#### **3.1. Akustik Parametre Ölçüm Yöntemleri**

Ses yutum katsayısı, sesin iletiildiği alanda soğurulan enerjinin o alana gönderilen toplam enerjinin birbirine oranlanması sonucu elde edilir. Ses yutum katsayısı, numune ürünlerin yutma değerlerinin tayin edilmesi için kullanılır. Numune ürüne gelen enerjinin bir kısmının, akustik kumaşlar yardımıyla soğurulmasıyla, ses enerjisinin yutulma değerleri belirlenebilir. Akustik kumaşa dik ve farklı açılarla gönderilen ses dalgaları ses yutum katsayısını saptamak amacıyla kullanılmaktadır (Yılmaz 2009). Akustik kumaş numunelerinin ses yutum katsayıları ve ses iletim kayıplarını test etmek amacıyla bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar: Empedans tüpü, çınlanım odaları, alfa kabinleridir (Jayaraman 2005).

##### **3.1.1 Empedans Tüpü**

Akustik kumaş ölçüm metodu olarak bilinen empedans tüpünde (Kundt) teste tabi tutulan kumaşların boyutlarının üretilebilir olması, maliyetinin az olması ve kısa sürede testin gerçekleştirilebilir olması, bu yöntemin daha çok tercih edilme sebebidir. Empedans tüpü ölçüm tekniğinde küçük, yuvarlak kumaş numuneleri kullanılır (Anonim 2006). Empedans tüpünde kullanılacak olan bu numunelerin tüpün çapına uygun olarak belirlenmesi ve tüpün içine yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Empedans tüpünde test edilecek numunenin köşeleri boyunca boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Boşluk kalması durumunda ses yutum katsayısı fazla olacaktır (Sarıgül 2016). Testlerde kullanılacak olan numunenin tüpün içine yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da numunenin tüp içerisinde formu bozulmamalıdır. Numune boyutu empedans tüpünden büyük olursa titreşime neden olur, numune boyutu empedans tüpünden küçük olursa numune köşeleri boyunca boşluk kalacağı için ses kayıpları oluşur bu formlar test sırasında istenmeyen durumlara sebep olur (Demirkale 2007).



Empedans tüpü kullanılarak yapılan testlerde kumaşa sesin doğrudan ve yansımalar ile gönderilmesi sayesinde ses yutum katsayısı ölçülebilir. Bu lm sonucunda kumaşın ses yutum katsayısı hakkında yorum yapılabilir. Ses yutum katsayısı ölçülürken, iki farklı ölçüm tekniği kullanılır ki bunlar: iki adet mikrofon varken yapılan ölçüm yöntemi ve durağan dalga yöntemidir. Empedans tüpü içerisinde konumunu değiştirebildiğimiz bir mikrofon vasıtasıyla en büyük ve en küçük ses basınç değerleri arasındaki farktan ses yutma katsayısının belirlendiği yöntem durağan dalga metodudur. Empedans tüpü içerisinde farklı doğrultulara yerleştirilen sabit mikrofonlar vasıtasıyla ses yutma katsayısının belirlenme yöntemi ise iki mikrofonlu metoddur (Gelen 2016).

Empedans tüpü ile yapılan ölçümlerdeki frekans bant aralığı tüpün boyutları ve mikrofonun özelliklerine bağlıdır. Büyük boyutlu empedans tüplerinde 50 Hz-1.6 kHz frekans bant aralığında, daha küçük boyutlu empedans tüplerinde 500 Hz- 6.4 kHz frekans bant aralığında ölçüm yapılmaktadır. Empedans tüpü yönteminde kullanılan ASTM E1050 isimli uluslararası standart mevcuttur (Anonim 2009).

### **3.1.2 ınlanım Odaları**

ınlanım odaları ses iletim kaybı, gürültü ölçümü ve ses yutum katsayısı ölçümlerini gerçekleştiren akustik kumaş ölçüm yöntemlerindedir. ınlanım odalarındaki ölçümler belirli uluslararası standartlar (ISO) dikkate alınarak kaydedilen ölçümlerdir. Bu sebepten dolayı bu odalardaki test sonuçları daha doğru veriler içermektedir (Anonim 2015). ınlanım odalarında test yapabilmek için büyük boyutlara gerek vardır. Bu boyutları belirleyen başlıca faktörler: hassas sonuçlar, test numunesi alanı, minimum ve maksimum frekans aralığıdır.

Dış ortamdaki gelebilecek titreşim ve gürültüleri en aza indirmek amacıyla oda etrafındaki binalardan bağımsızdır. Test ncesi çınlanım odaları ilgililer tarafından ölçümlenerek kontrol edilmelidir. Aksi takdirde test sonuçlarında sapmalar görülebilir.

Akustik lm testlerinde numune üzerine sesin geliş şekli değerlik gösterebilir. Doğru bir ölçüm elde etmek için sesin numune kumaş üzerine homojen olarak dağılması gerekmektedir. Bu homojen dağılmayı sağlamak amacıyla ses dalgalarının

neredeysse tamamına yakını yansıtabilen malzemeler ile oluşturulmuş odalar kullanılır. Çınlanım odalarında yapılan testlerde büyük boyutlu numuneler kullanılır. Ses yutum katsayısının tayini tam dağınık ses ortamı kabulüne göre hesaplanır. Bu kabul dağınık alan yöntemi (diffuse field method) ve rastgele geliş (random incidence) yutum katsayısı ölçüm yöntemi olarak ifade edilir.

Tam dağınık ses ortamından kasıt, yansıyan ses dalgalarının enerjisinin minimum varyasyon değerinde olduğu ve ses dalgalarının enerjisinin tüm yönlere eşit olarak yayıldığı ses ortamı olarak ifade edilir.

Tam dağınık ses ortamını oluşturabilmek için ortamın duvarlarına yüksek yansıtma değerine sahip malzemeler ilave edilerek kendi içlerinde paralellik oluşturmayacak şekilde tasarlanırlar.

Tasarlanan ortamda alınan önlemlere rağmen tam dağınık ses ortamı tamamıyla oluşturulamaz ve bunun sonucu olarak konuma göre ortamdaki çınlama süresi farklılık gösterecektir. Bu farkı kapatabilmek amacıyla ortamda birden fazla ses dalgası üretici ve ses kaydedici tasarlanır. Ses dalgası üreticileri ölçüm ortamında köşelere koyularak ses dalgalarında maksimum verimlilik elde edilir. Bu sayede üreticilerden gelen ses dalgalarının ortamda doğrudan yayılması engellenir. Ses kaydedici düzenekler ise yansıtıcı duvarlar ile en az 1 metre mesafe bırakılarak konumlandırılır. Ancak tasarımda alınan tüm bu tedbirlere rağmen, ortamda bulunan havanın sebep olduğu etkiden alçak frekans bölgelerindeki ses dalgalarında ölçülen ses yutum katsayısı; yüksek frekans bölgelerine göre daha tutarlıdır. Bu ölçüm yönteminin bir başka dezavantajı ise ölçüm yapılacak numunelerin ISO 354'e göre 10-12 m<sup>2</sup>, ASTM C423'e göre ise 5,57-6,69 m<sup>2</sup> gibi büyük yüzey alanına sahip olması gerekmektedir (Gelen 2016).

### **3.1.3 Alfa Kabin**

Alfa kabinleri, numuneleri test etmek amacıyla birçok sektörde kullanılır. Bu sektörlerin başında da otomotiv sektörü gelmektedir. Çınlanım odalarına benzer mantıkla tasarlanır ve test ortamı gerçekleştirilir. Numunelerin ses yutum katsayıları, ses şiddeti ölçümleri, ses iletim kaybı ölçümleri yapılır. Alfa kabinleri boyut olarak 6.44 m<sup>3</sup> olarak

tasarlanmıştır. Test edilecek kumaş boyutları 1.2 m<sup>2</sup> dir. Alfa kabinlerinde ölçüm yapılacak frekans bant aralığı 400 Hz-10 kHz olarak belirlenmiştir. Alfa kabinlerinin, otomotiv sektörü testlerinde kullanılmasının en büyük sebepleri numune boyutları, belirli boyutlarda numune testi yapılabilmesi ve frekans bant aralığıdır. Çalışma mantığı çınlanım odalarındakine yakındır. Alfa kabinlerde ölçüm başlamadan önce kabin içindeki ses seviyesi ve dış ortamdan gelen ses seviyeleri karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda seviyenin 45 dB olması istenir. Alfa Kabininde, test sırasında numuneye üç adet ses kaynağından ses dalgası gönderilir.

Çınlama odasından olduğu gibi ses yutum katsayısı ölçümleri farklı noktalara sabitlenmiş birden fazla ses kaydediciler veya hareketli ses kaydediciler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Alfa kabinleri ile yapılan ölçümler için bir standart mevcut değildir. Standartlar çınlanım odaları için vardır.

Alfa kabinleri ile yapılan ses ölçümlerinde test süreleri oldukça kısadır. Ancak test öncesi hazırlanma süreci, empedans tüpüne oranla daha uzundur. Alfa kabini kullanılarak yapılan testlerde ısı, sıcaklık ve nemin etkisi görülmektedir. Bu parametreler genellikle yüksek frekanslarda etkisini göstermektedir. Sıcaklık, ısı ve nem değerlerinin belirli standartlarda olması gerekmektedir (Gelen 2016).

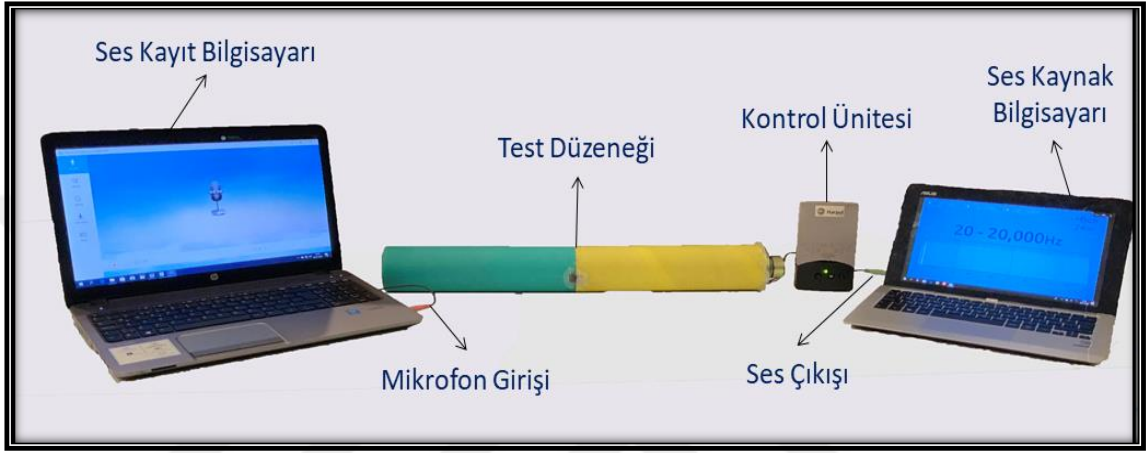
### **3.2. Ses İletim Kaybı Ölçümü için Test Düzeneği Çalışması**

Bu tez çalışması kapsamında, üretilen kumaşların akustik performans parametresi olan ses iletim kaybı değerlendirilmesinin yapılabilmesi için herhangi bir laboratuvara ihtiyaç duymadan kumaşın maruz kalacağı durumlar göz önüne alınarak modüler bir test düzeneği tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Test düzeneği tasarımında kumaşın karşısından gelen ve yansıyan ses dalgalarının ses yutucu malzeme tarafından ne kadarının yutulabildiği ön planda tutulmuştur. Bu bağlamda 0'dan 5 kHz'e kadar ses dalgaları kabin içerisinde herhangi bir numune bulunmadan mikروفon tarafından kaydedilerek frekans alanında analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı ses dalgaları bu defa mikروفonun önünde ses yutucu malzeme varken uygulanmıştır. Elde edilen kayıtların ilk durum ile farkları alınarak frekans değerine göre kaç desibel yutum sağladığı hesaplanmıştır.

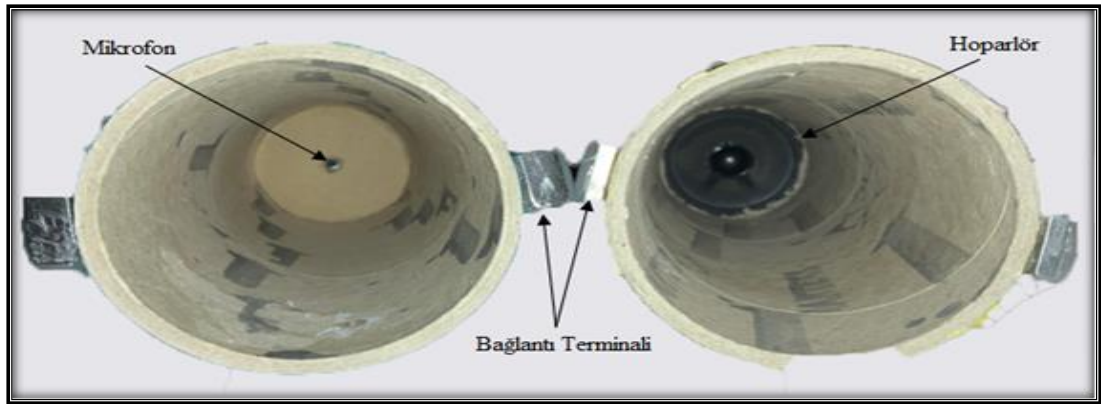
Tasarımı gerçekleştirilen düzenek için kullanılan donanımlar aşağıdadır (Şekil 3.1.).

- 2 hoparlör,
- Dağınık Alan (Diffuse-field) Mikrofonu
- Nem ve sıcaklık ölçüm cihazı,
- Kontrol ünitesi
- 0 Hz – 5 kHz aralığı için ses dalgaları üretici bilgisayar



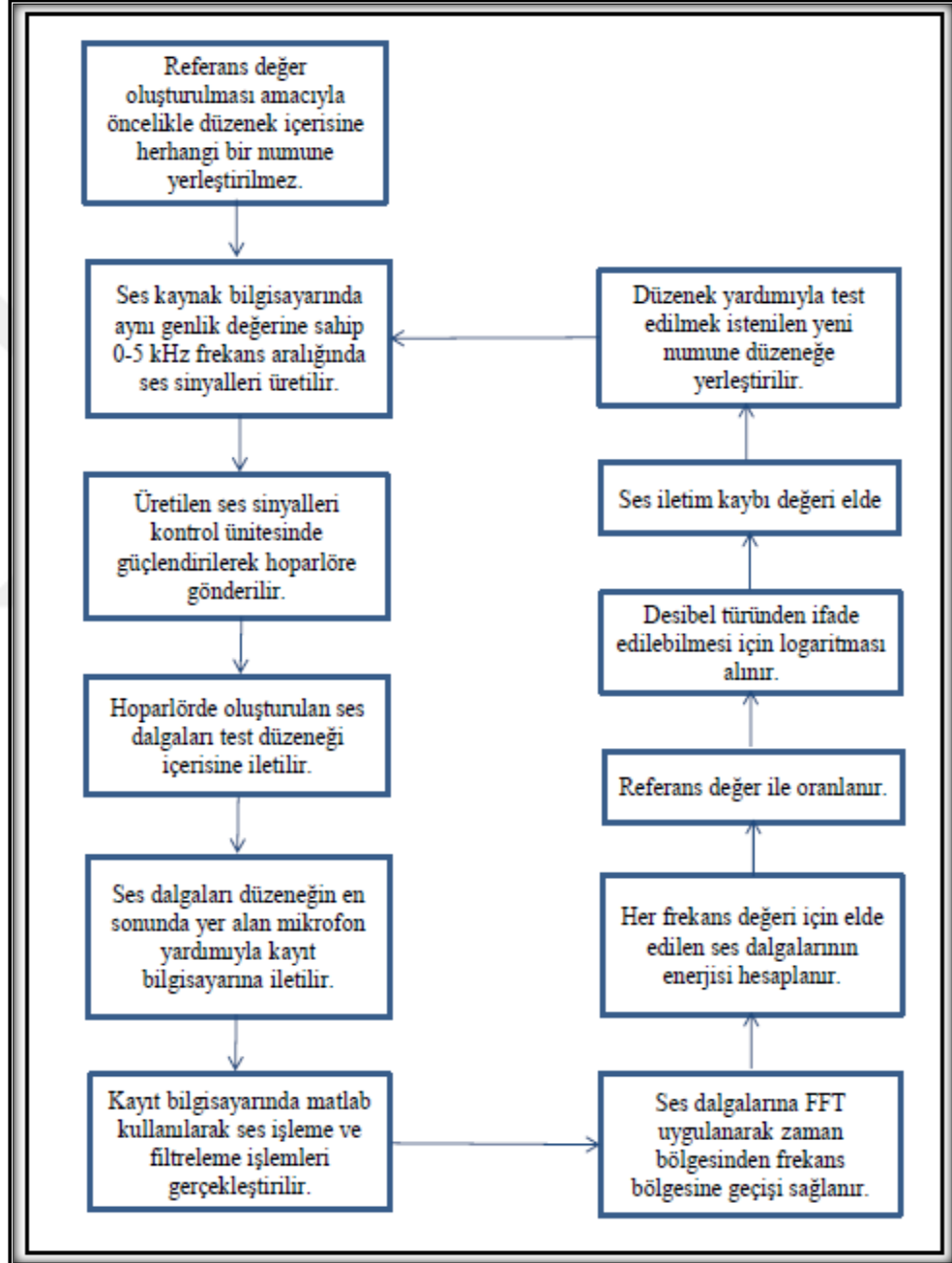
**Şekil 3.1.** Geliştirilen test düzeneğinin görüntüsü

Ses iletim kaybı ölçümü anında ses dalgalarının düzenek çeperlerinde sebep olduğu etkileri azaltmak amacıyla Şekil 3.2’de görüleceği üzere çeperlerin iç yüzeyi pürüzsüz olarak seçilmiştir. Ölçümün doğruluğunu arttırılabilmesi dağınık alanın sağlanmasındaki kural olan paralel herhangi iki yansıtıcı yüzeyin olmamasının gerekmesi sebebiyle silindirik bir tüp tercih edilmiştir.



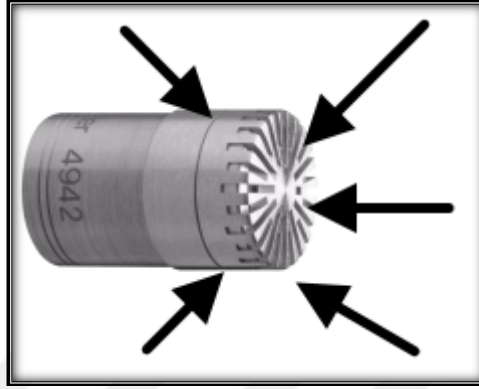
**Şekil 3.2.** Geliştirilen test düzeneğinin iç yapısı

Ölçüm anında iç ortamın dış ortam gürültüsünden etkilenmemesi için dış ortamdan izole bir odada ölçümler gerçekleştirilmiştir. İki hoparlör ile ölçümler tekrarlanarak düzeneğin tekrarlanabilir olduğu ortaya konulmuştur. Laboratuvar ölçümüne gönderilen 10 numune test düzeneğinde de ölçülerek düzeneğin doğrulaması yapılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen düzeneğin blok şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Geliştirilen test düzeneğinin blok şeması

Şekil 3.4'te görüleceği gibi Dağınık alan (diffuse-field) mikrofonu ölçümü yapılan ortamın frekans tepkisini, sesin her yönden rastgele geldiği durumlar için optimize edilmiş mikrofonlardır. Çalışmada yansıtıcı yüzeylerin çok olması ve fazla sayıda gürültü maruziyeti bulunması sebebiyle hassas bir gürültü ölçümü gerçekleştirilebilmesi amacıyla tercih edilmiştir (Anonim 2019f).



**Şekil 3.4.** Serbest alan (Free-field) mikrofonları (Anonim 2019f)

İdeal bir ses kaynağı, bütün frekanslarda ve bütün yönlerde aynı verimlilikte ses yayabilen tek nokta ses kaynağıdır fakat mevcut teknoloji ile böyle bir hoparlör sürücüsü mümkün olmadığından tahrik frekans aralığı bölünerek iki ya da üç ses kaynağı kullanılır. Akustik çalışmalarda kullanılan hoparlörlerde genel olarak aranan temel iki özellik düz frekans cevabına sahip olması ve küresel ses yayma kabiliyetinin olmasıdır. Frekans cevabının düz olması, hoparlörün bütün frekanslar da aynı ses basınç seviyesini vermesi demektir. Küresel yayma kabiliyeti ( $Q$ ) ise her yönde eşit yoğunlukta ses enerjisi yayabilmesi demektir. Çalışmada tercih edilen hoparlör farklı frekanslarda ses basınç değerleri kontrol edilip aynı ses basınç seviyesi görüldükten sonra kullanılmıştır (Anonim 2009).

Geliştirilen test düzeneğinin sahip olması gereken özellikler için literatür kaynakları baz alınmıştır. Geliştirilen düzeneğinin ses iletim kaybı sonuçları ile laboratuvar test sonuçları karşılaştırıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen düzenek ve laboratuvar test sonuçları arasındaki küçük farkların sebebi ses kayıt mikrofonunun hassasiyetidir. Bunun yanında özgün bir yazılım kullanılması sebebiyle doğan farklılıklar oluşmaktadır.

Malzemelerin ses iletim kaybı performansının karşılaştırılmasında etkin bir şekilde kullanılabilceği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak tek katlı kumaşların laboratuvar da yapılan ses iletim kaybı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ile test düzeneğinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yakın değerler elde edilmiştir.

### **3.2.1 Matlab**

MATLAB, paradigmalı ve programcıya olan ihtiyacın en aza indirilmesi prensibi temel alınarak oluşturulmuş bir dildir (Anonim 2019h). MATrix LABoratoty kelimelerinin kısaltılması sonucu ortaya çıkan Matlab, Math Works şirketi bünyesinde oluşturulan yazılım dilidir. Matlab programının ortaya çıkış amacı; algoritma oluşturma, hesaplamalar, sayısal çözümleme, grafiksel gösterim ve simülasyon uygulamalarını gerçekleştirmektir. Matlab programlama dilinin ses işleme, simülasyon, görüntü işleme, makine öğrenmesi ve hesaplama gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Anonim 2019h, Anonim 2019ı). Matlab birçok mühendislik bölümünde grafik ara yüz oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Matlab programlama diline sonradan eklenen modüller ile özelleştirilmiş fonksiyonların kullanılmasının önü açılmıştır. Matlab de yapılan işlemlerin hızı diğer programlama dillerine oranla daha yüksektir ve daha kısa kod parçalarıyla istenilen işlemler yapılmaktadır (Düzgün 2019).

### **3.2.2 Fonksiyon Dosyaları**

Function komutu fonksiyon dosyalarında kullanılır. Bu dosyalar M file uzantılı dosya türleridir. Fonksiyon dosyalarında, function komutu bulunan ilk satırda giriş verilerine uygun olan çıkış verileri üretilir. Matlab de fonksiyon dosyalarının en büyük özelliklerinden biride matlab dili ile sayesinde var olan dosyaların alanının artmasıdır (Yüksel 2004).

Fonksiyon dosyalarında, function komutu bulunan ilk satırda giriş, çıkış verileri ve fonksiyon ismi yer alır. İlk satırda yer alan fonksiyon ismi ile fonksiyon dosyasının ismi aynı olmalıdır. Function komutu bulunan ilk satırda yer alan giriş ve çıkış verilerinde birden fazla değişken olabilir. Matlab editör penceresinin bir diğer kullanım alanı da fonksiyon dosyalarıdır (Sönmez 2016).

### 3.3. Tek Katlı Akustik Kumaş Tasarımı

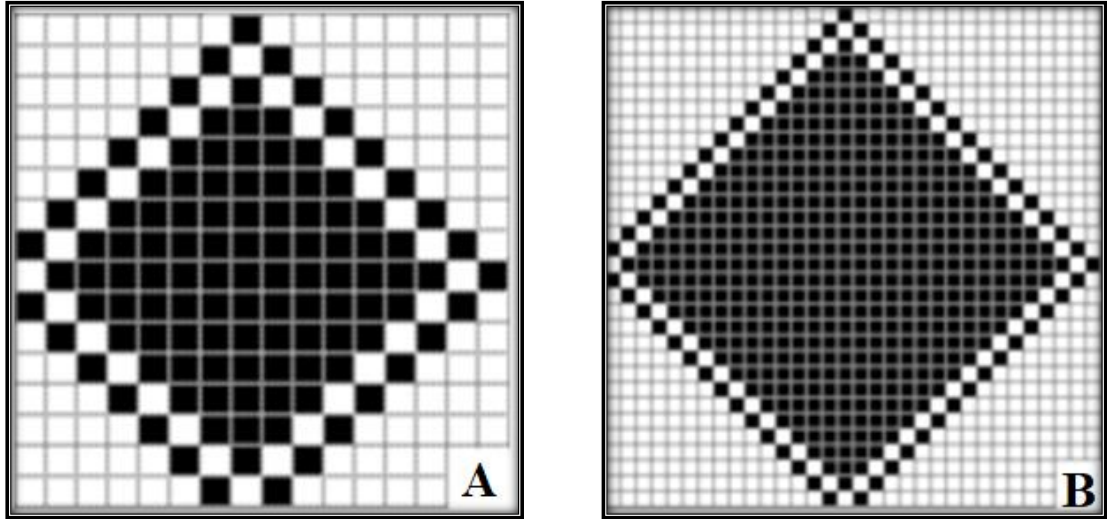
Farklı denyedeki ipliklerin farklı sıklık değerlerine göre farklı boyutlarda viyol yapılara sahip on kumaş numunesi üretilmiştir. Üretilen viyol yapıdaki kumaşlara düz boya bölümünde renklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kumaş numunelerine Şekil 3.4’de görüleceği üzere 400 gram akrilik Orgal Na 305, 10 gram Dng Coat Prt köpük kesici ve 590 gram su kullanılarak oluşturulan sert reçine fularda emdirme yöntemi ile uygulanmış, kumaş üzerindeki fazla reçine sıkıştırma silindirleri vasıtasıyla alınmıştır. Reçine uygulamasına tabi tutulan kumaş 3 bar basınçta, 150°C sıcaklıkta 2,5 m/dk hızında kurutulmuştur (Şekil 3.5). Elde edilen kaplamalı ve kaplamasız kumaş numunelerinden 100 mm çaplarında test örnekleri kesilerek alçak ve yüksek frekans bölgelerinde (0 - 5kHz) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde literatürdeki tüm ölçüm metotları uygulanmış olup çalışma için en uygun metodun ses iletim kaybı olduğuna karar verilmiştir. Üretilen kumaşların sonuçlarının karşılaştırılabilmesi ve referans değerinin oluşturulabilmesi amacıyla endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan akustik malzeme olan sentetik kumaş keçenin de tüm metotlarda ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.5.** Viyol kumaşa uygulanan sert reçine işlemi

A) Reçinenin emdirme yöntemiyle kumaşa uygulanması B) Kurutma işlemi





**Şekil 3.6.** Viyol kumaş örgü raporu

A) A tipi viyol kumaş örgü raporu B) B tipi viyol kumaş örgü raporu

Tek katlı kaplamasız ve kaplamalı kumaş numunelerinin dokuma ve fiziksel özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Tek katlı kaplamasız kumaşların dokuma ve fiziksel özellikleri

Numune No	Atkı Sıklığı	Çözümlü Sıklığı	Örgü Yapısı	Atkı Denye	Çözümlü Denye	Kumaş Gramajı (g/m <sup>2</sup> )	Kumaş Kalınlığı (mm)
Numune 1	30	30	A	450	300	352,6	1,94
Numune 2	30	30	A	380	300	343,4	1,54
Numune 3	32	60	B	380	150	359,6	2,438
Numune 4	26	60	B	450	150	409,6	2,558
Numune 5	32	30	B	380	300	287	1,54
Numune 6	28	30	A	450	300	368,9	1,76
Numune 7	38	60	B	150	150	212,9	1,22
Numune 8	32	60	A	150	150	273,9	1,37
Numune 9	29	60	A	380	150	353,7	1,87
Numune 10	26	60	A	450	150	376,2	0,92

**Çizelge 3.2.** Tek katlı kaplamalı kumaşların dokuma ve fiziksel özellikleri

Numune No	Atkı Sıklığı	Çözüğü Sıklığı	Örgü Yapısı	Atkı Denye	Çözüğü Denye	Kumaş Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	Kumaş Kalınlığı (mm)
Numune 1	30	30	A	450	300	394,7	2,61
Numune 2	30	30	A	380	300	384,6	1,98
Numune 3	32	60	B	380	150	416,2	4,33
Numune 4	26	60	B	450	150	432,8	4,37
Numune 5	32	30	B	380	300	331,9	2,36
Numune 6	28	30	A	450	300	403,1	2,16
Numune 7	38	60	B	150	150	245,1	2,77
Numune 8	32	60	A	150	150	373,7	2,26
Numune 9	29	60	A	380	150	402,7	2,57
Numune 10	26	60	A	450	150	427,1	1,35

Bir numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş geç tutuşma özelliğine sahip iplikler 450 denye 30 sıklık atkı ve 300 denye çözgü yönünde 30 sıklık değeri ile Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7.** 1 numaralı viyol kumaş numunesi

İki numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 30 sıklık atkı ve 300 denye çözgü yönünde 30 sıklık değeri ile Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** 2 numaralı viyol kumaş numunesi

Üç numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 32 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 b'deki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9.** 3 numaralı viyol kumaş numunesi

Dört numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 450 denye 26 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 b'deki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** 4 numaralı viyol kumaş numunesi

Beş numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 32 sıklık atkı ve 300 denye 30 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 b'deki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** 5 numaralı viyol kumaş numunesi

Altı numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 450 denye 28 sıklık atkı ve 300 denye 30 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12.** 6 numaralı viyol kumaş numunesi

Yedi numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 150 denye 38 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 b'deki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.13).





**Şekil 3.13.** 7 numaralı viyol kumaş numunesi

Sekiz numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 150 denye 32 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.14).



**Şekil 3.14.** 8 numaralı viyol kumaş numunesi

Dokuz numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 29 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.15).



**Şekil 3.15.** 9 numaralı viyol kumaş numunesi

On numaralı numune, yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturulmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 450 denye 26 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde Şekil 3.6 a'daki örgü yapısında dokunarak üretilmiştir (Şekil 3.16).



**Şekil 3.16.** 10 numaralı viyol kumaş numunesi

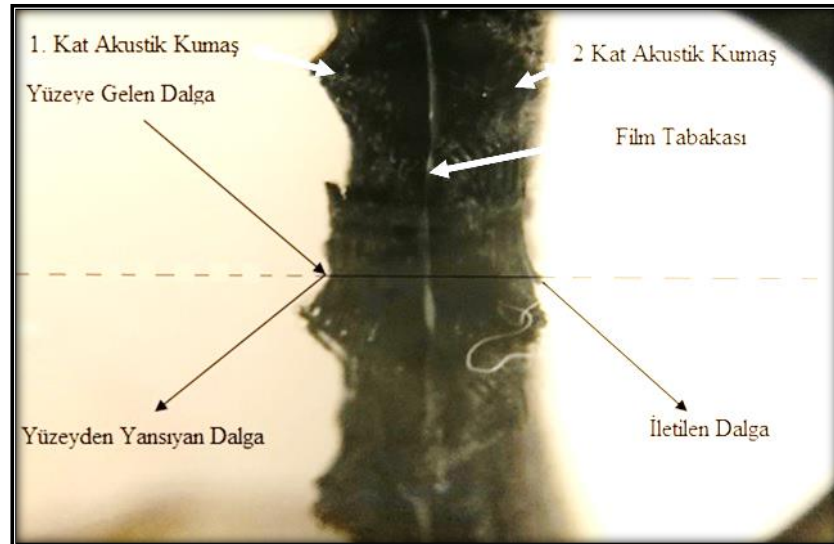
Sentetik kumaş keçe, elyafların sıkıştırılmasıyla elde edilir. Çalışmanın akustik performansını değerlendirebilmek ve referans değeri oluşturabilmek için kullanılmıştır (Şekil 3.17).



**Şekil 3.17.** Sentetik kumaş keçe numunesi

### 3.4. Çift Katlı Lamine Akustik Kumaş Tasarımı

Çalışmanın bu kısmında üç boyutlu tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen kumaşların lamine edilmesiyle elde edilen çift katlı kumaşların akustik performansları incelenmiştir. Oluşturulan kompozit kumaşlar iki kumaş katmanı ve etilen vinil asetat (EVA) film tabakası olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır (Şekil 3.18). İki kumaş arasına yerleştirilen etilen vinil asetat film 135 °C sıcaklık ve 10 N/cm<sup>2</sup> basınç yardımıyla birleştirilmiştir.



**Şekil 3.18.** Çift katlı viyol kumaşların yapısı



Çift katlı kumaş numunelerinin dokuma ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Çift katlı kumaş numunelerinin fiziksel özellikleri

<b>Kumaş Numuneleri</b>	<b>Kumaş Gramaj (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kumaş Kalınlığı (mm)</b>
Numune 3 kaplamalı - kaplamalı düz	938	5,33
Numune 3 kaplamalı - kaplamalı ters	924	5,36
Numune 3 kaplamalı - kaplamasız düz	792	4,08
Numune 3 kaplamasız - kaplamasız düz	756	3,08
Numune 3 kaplamasız - kaplamasız ters	764	3,07
Numune 5 kaplamalı - kaplamalı düz	672	3,94
Numune 5 kaplamalı - kaplamalı ters	675	4,05
Numune 5 kaplamalı - kaplamasız düz	646	3,43
Numune 5 kaplamalı - kaplamasız ters	632	3,23
Numune 5 kaplamasız - kaplamasız düz	610	2,51
Numune 5 kaplamasız - kaplamasız ters	610	2,49
Numune 6 kaplamalı - kaplamalı düz	740	2,93
Numune 6 kaplamalı - kaplamasız düz	672	2,76
Numune 6 kaplamasız - kaplamasız düz	620	2,46
Numune 9 kaplamalı - kaplamalı düz	496	2,12
Numune 9 kaplamalı - kaplamalı ters	498	2,18
Numune 9 kaplamalı - kaplamasız düz	482	1,85
Numune 9 kaplamasız - kaplamasız düz	456	1,52
Numune 9 kaplamasız - kaplamasız ters	452	1,53
Sentetik Kumaş Keçe	267	1,85

Akustik performanslar çalışmada tasarımı gerçekleştirilen test düzeneği yardımıyla matlab programı kullanılarak desibel türünden analizi gerçekleştirilmiş ve farklı durumlardaki akustik performansları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Çift katlı kumaşlar lamine edilirken farklı frekans bölgelerinde en iyi performansı elde edebilmek amacıyla kaplamalı ve kaplamasız, gözenekli yapılar geometrik olarak üst üste gelecek şekilde ve ters olarak oluşturularak test edilmiştir. Üretilen kumaşlardan en iyi akustik performans gösteren 3, 5, 6 ve 9 nolu numuneler çift katlı kumaş üretiminde tercih edilmiştir.

Yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 32 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde dokunarak viyol yapıda üretilen 3 numaralı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20).



**Şekil 3.19.** 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş



**Şekil 3.20.** 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş

Üretimi gerçekleştirilen 3 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.21 ve Şekil 3.22).



Şekil 3.21. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş



Şekil 3.22. 3 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş

İlk durumda üretilen sertlik apresi uygulanmayan 3 numaralı kumaş numunesi ve sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.23).

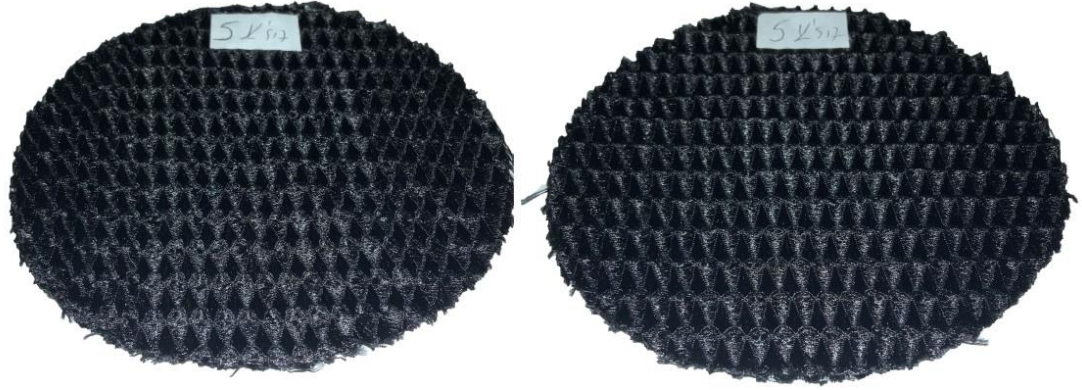


**Şekil 3.23.** 3 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız ters kumaş Yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 32 sıklık atkı ve 300 denye 30 sıklık değeri ile çözgü yönünde dokunarak viyol yapıda üretilen 5 numaralı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25).



**Şekil 3.24.** 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş





**Şekil 3.25.** 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş

Üretimi gerçekleştirilen 5 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27).



**Şekil 3.26.** 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş



**Şekil 3.27.** 5 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş

İlk durumda üretilen sertlik apresi uygulanmayan 5 numaralı kumaş numunesi ve sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29).



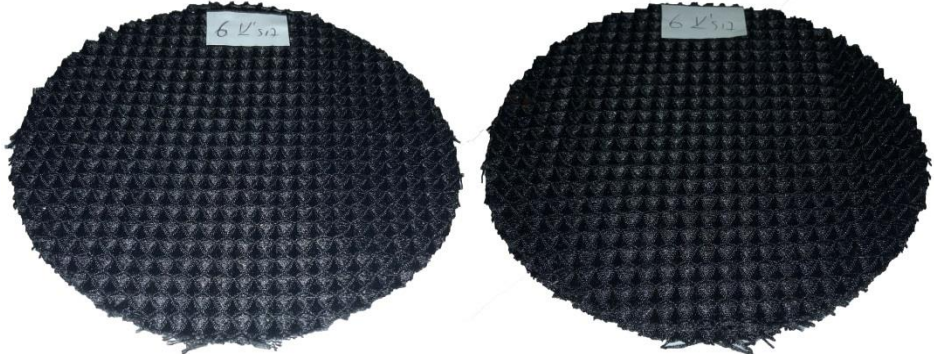
**Şekil 3.28.** 5 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş



**Şekil 3.29.** 5 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız ters kumaş

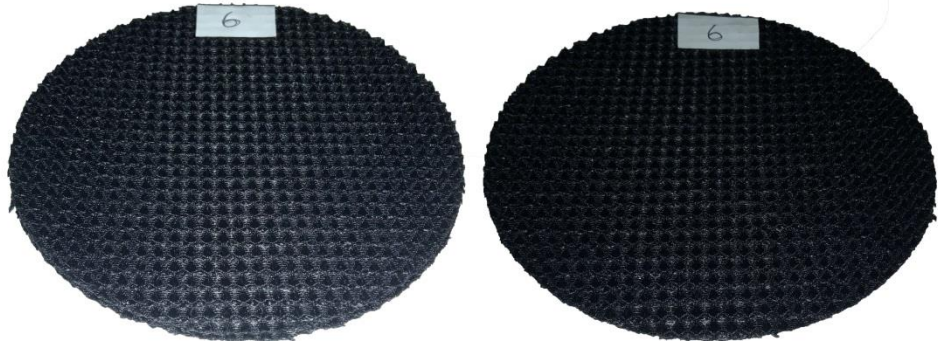
Yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 450 denye 28 sıklık atkı ve 300 denye 30 sıklık değeri ile çözgü yönünde dokunarak viyol yapıda üretilen 6 numaralı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.30).





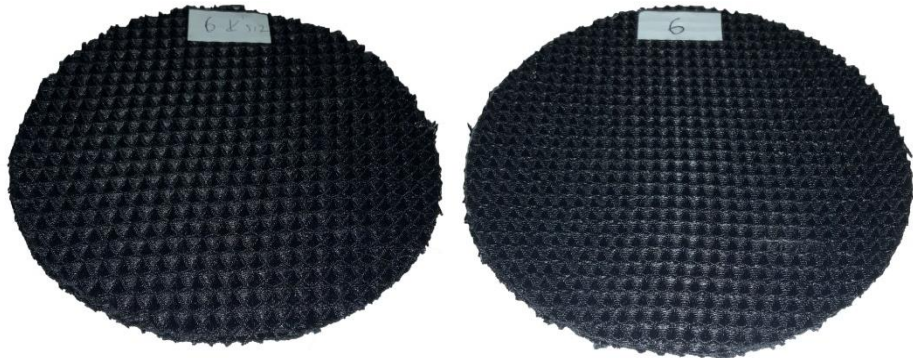
**Şekil 3.30.** 6 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş

Üretimi gerçekleştirilen 6 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.31).



**Şekil 3.31.** 6 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş

İlk durumda üretilen sertlik apresi uygulanmayan 6 numaralı kumaş numunesi ve sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.32).



**Şekil 3.32.** 6 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş

Yarı çekimli iplik olan, kıvrımsız ve bükümsüz bir yapıdaki filament ipliğin (POY) tekstüre işlemi ile tam çekimli ve kıvrımlı bir hale getirilmesi şeklinde oluşturmuş güç tutuşma özelliğine sahip iplikler 380 denye 29 sıklık atkı ve 150 denye 60 sıklık değeri ile çözgü yönünde dokunarak viyol yapıda üretilen 9 numaralı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.33 ve Şekil 3.34).



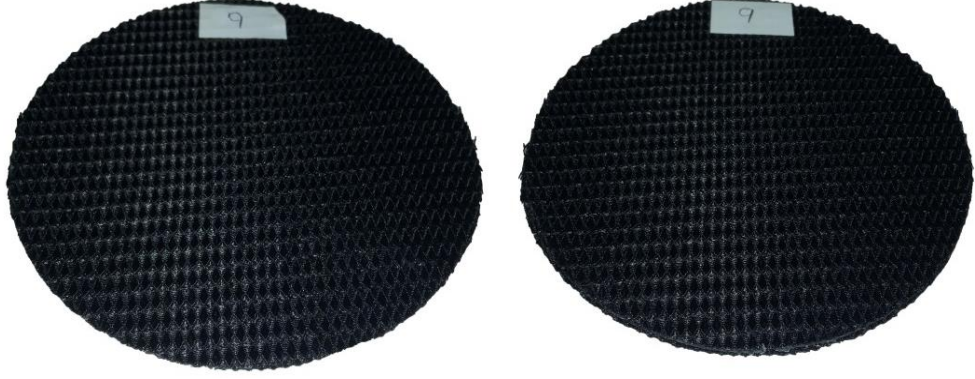
**Şekil 3.33.** 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız düz kumaş



**Şekil 3.34.** 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamasız ters kumaş

Üretimi gerçekleştirilen 9 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz ve ters olacak şekilde lamine edilmiştir (Şekil 3.35 ve Şekil 3.36).





**Şekil 3.35.** 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı düz kumaş



**Şekil 3.36.** 9 numaralı numuneden iki yüzü de kaplamalı ters kumaş

İlk durumda üretilen sertlik apresi uygulanmayan 9 numaralı kumaş numunesi ve sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş numunesi geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilmiştir(Şekil 3.37).



**Şekil 3.37.** 9 numaralı numuneden bir yüzü kaplamalı diğer yüzü kaplamasız düz kumaş

## 4. BULGULAR

Deneysel uygulamalarda, Bias Mühendislik tarafından empedans tüpüyle tek katlı kumaş numunelerin ses yutum katsayılarının ve ses iletim kaybı değerlerinin; çalışma kapsamında donanımı ve yazılımı gerçekleştirilen deney düzeneğiyle çift katlı malzemelerin ses iletim kaybı değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler neticesinde elde edilen veriler ışığında farklı boyut, kalınlık ve katman tiplerindeki kumaşlara ait akustik performans yorumlanarak optimum kumaş tasarımı gerçekleştirilmiştir. Akustik performansın belirlenmesinde ses iletim kaybı, ses yutum katsayısı değerleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

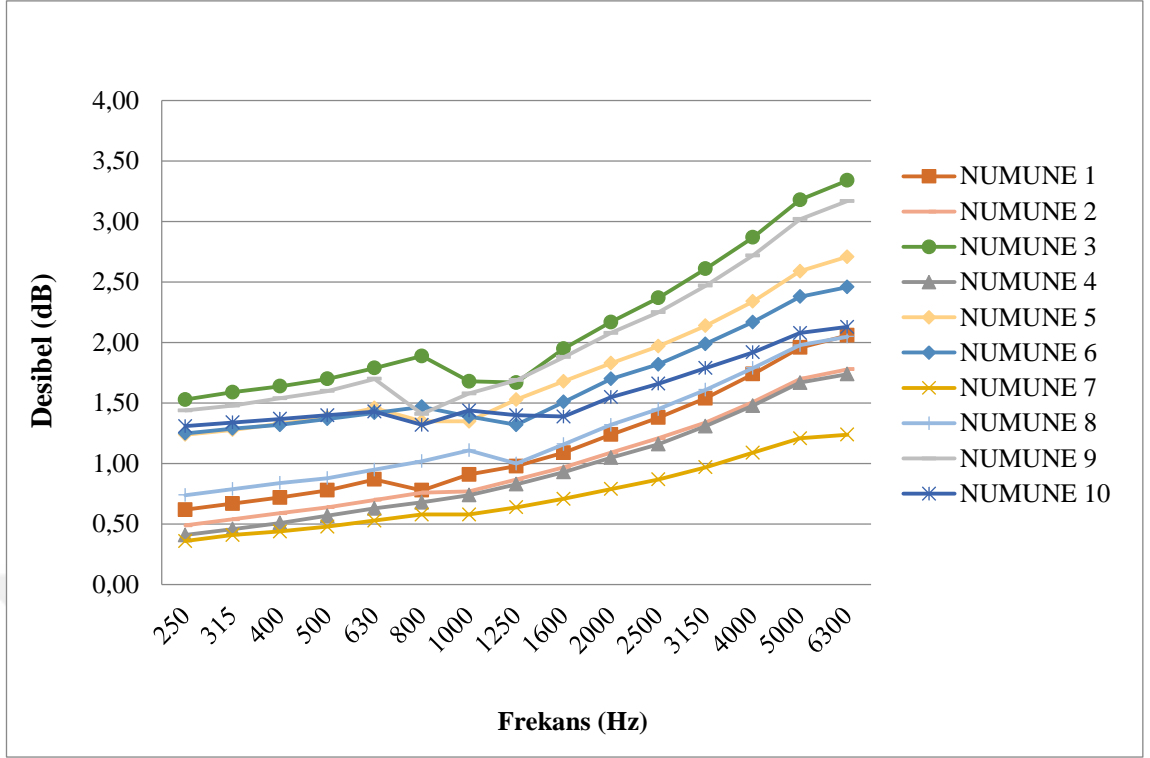
### 4.1. Tek Katlı Kumaşların Ses iletim Kaybı ve Ses Yutum Katsayısı Ölçümleri

Tek katlı kumaş numunelerinin ses iletim kaybı ve ses yutum katsayısı ölçümler Bias Mühendislik'ten mühendisler tarafından yapılmıştır. Kumaş numuneleri tüpün iç çapı boyutu olan 30 mm hazırlanarak tüpe yerleştirilmiştir.

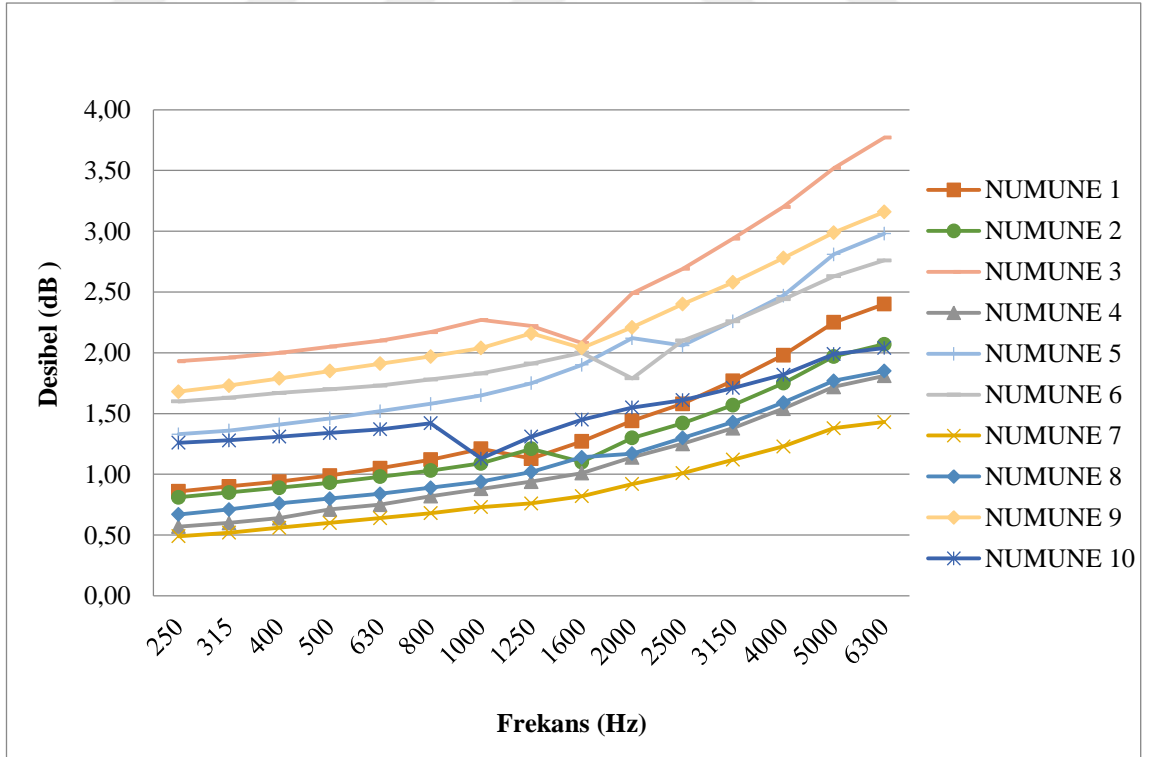
Kumaş yüzeyi mevcut kumaşlardan farklı olarak piramit şekilde yükseltilerek yeniden düzenlenmiş ve bu sayede aktif yüzey alanı ve yansıma yüzeyi arttırılmıştır. Bunun yanında en büyük değişik kumaş iplik ve kaplama yapısında gerçekleştirilmiştir. Bu değişiklikler mevcut kumaşlara göre akustik performansı arttırmıştır.

0 – 400 Hz frekans bölgesindeki ses dalgaları için, kaplanmış (sert) düşük ağırlıktaki kumaşların diğer kumaş numunelerinden daha iyi bir akustik performans gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.1 ve Şekil 4.3). 400-4000 Hz frekans bölgesindeki ses dalgalarının absorblanmasında, büyük örgü yapısındaki, kalın ve ağır kumaşların kullanılmasının daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.4). Bu hususta şekil 4.5'deki grafik ile sonuçlar karşılaştırıldığında tüm frekans bölgelerinde üst seviye akustik performans sağlanabilmesi için kumaş yapılarının bir arada kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

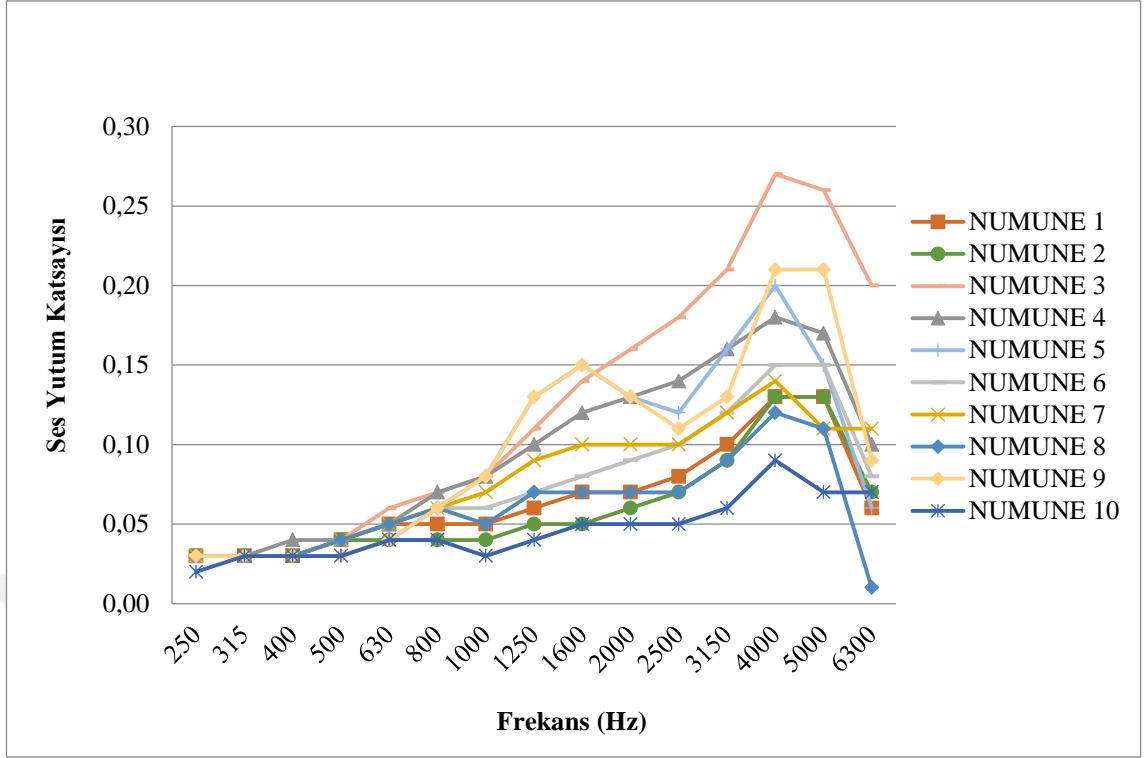
Çalışmanın devamında en iyi akustik performansı gösteren farklı kumaşlar bir araya getirilerek iki katlı kumaşlar oluşturulmuştur. Bu kumaşların akustik performansı geliştirilen test düzeneğinde belirlenmiştir.



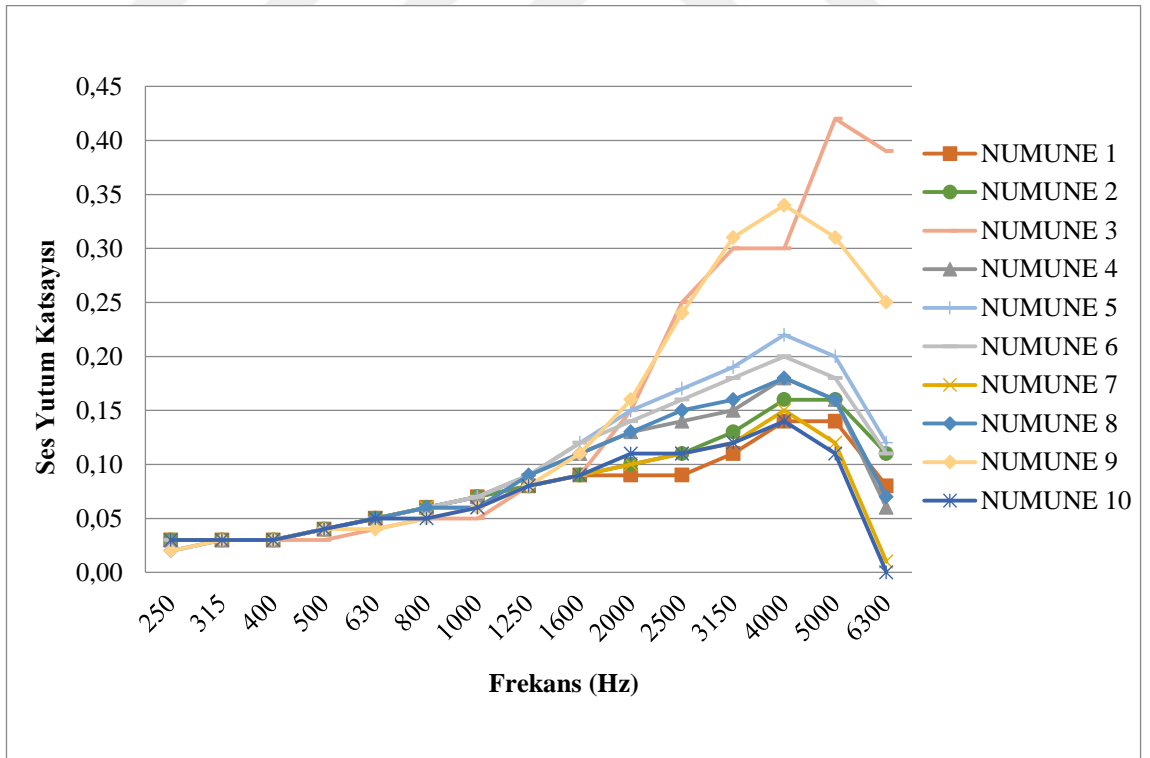
Şekil 4.1. Kaplamasız viyol kumaşların ses iletim kaybı ölçüm sonuçları



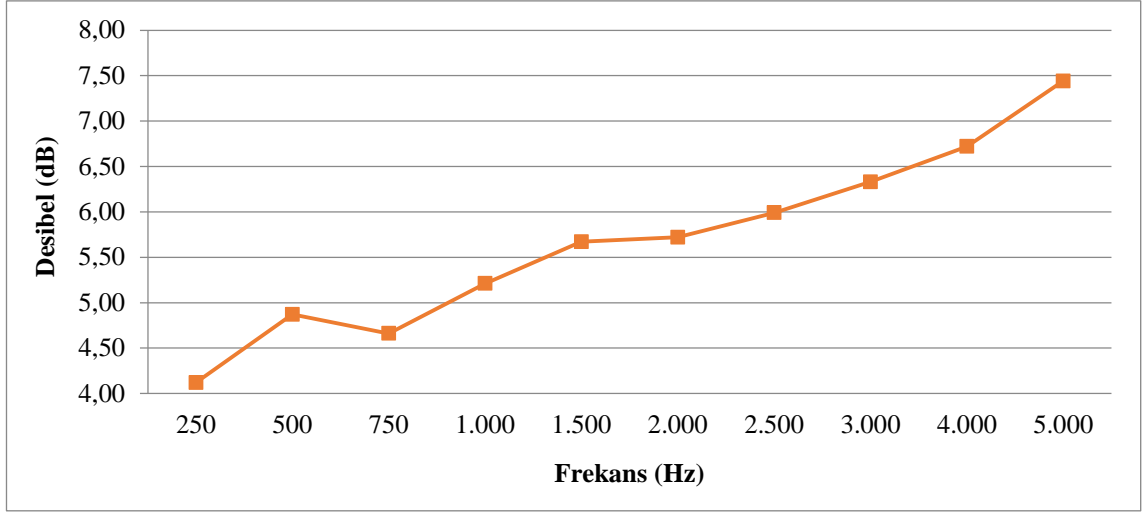
Şekil 4.2. Kaplamalı viyol kumaşların ses iletim kaybı ölçüm sonuçları



Şekil 4.3. Kaplamasız viyol kumaşların ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları



Şekil 4.4. Kaplamalı viyol kumaşların ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları

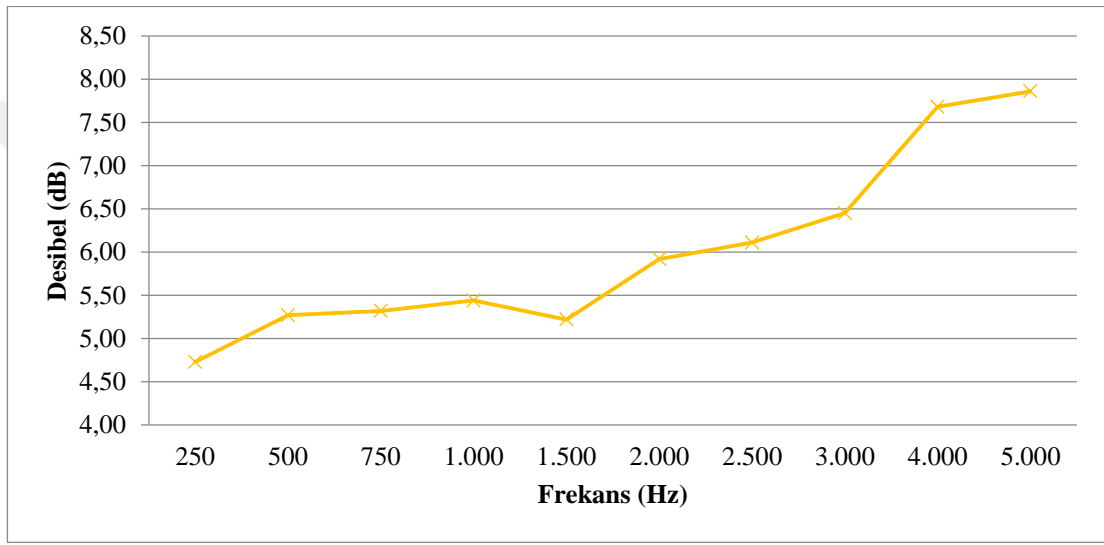


**Şekil 4.5.** Sentetik kumaş keçe ses iletim kaybı ölçüm sonuçları

#### **4.2. Çift Katlı Kumaşların Ses İletim Kaybı Ölçümleri**

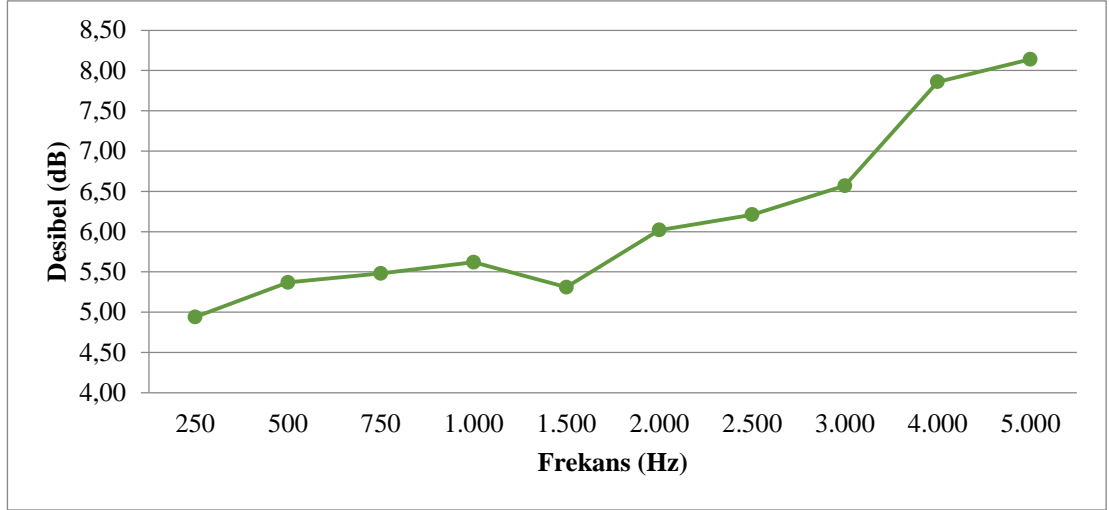
Üretimi gerçekleştirilen kumaşlardan en iyi akustik performans gösteren 3, 5, 6 ve 9 nolu numuneler çift katlı kumaş üretiminde tercih edilmiştir. Tercih edilen numuneler incelendiğinde düşük denye iplikler ile atkı ve çözgü yönünde yüksek sıklık değerleriyle dokunmuş olan ağır gramajlı kumaşların ses yutum performansının daha iyi olduğu görülmektedir. Oluşturulan çift katlı kumaşlar özel tasarlanan viyol yapıdaki iki kumaş katmanı ve etilen vinil asetat (EVA) film tabakası olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Test düzeneğinin içerisinde herhangi bir numune bulunmadan tüm 0 - 5 kHz arasındaki tüm frekans bölgelerinde eşit ses basıncına sahip ses dalgaları gönderilmiş ve düzeneğin diğer tarafındaki mikrofon yardımıyla kaydedilmiştir. Referans değer oluşturmak amacıyla yapılan bu kayıt işlemi matlab'te oluşturulan yazılım yardımıyla tüm frekanslardaki ses şiddeti hesaplanarak, tanıtılmıştır. Devamında lamine edilen çift katlı kumaşlar aynı ortamda düzeneğin içine yerleştirilerek aynı ses dalgalarına maruz bırakılarak düzeneğin diğer tarafından mikrofon yardımıyla kayıtlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kayıtların ses şiddeti matlab üzerinde hesaplanarak, ilk durumdaki referans kaydın sahip olduğu ses şiddetinin ne kadarını engellediği bulunmuştur. Bu hususta 3, 5, 6 ve 9 nolu numunelerden elde edilen 19 farklı numune için ses iletim kaybı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tek katlı 3 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,86 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 6 desibel'dir (Şekil 4.6).



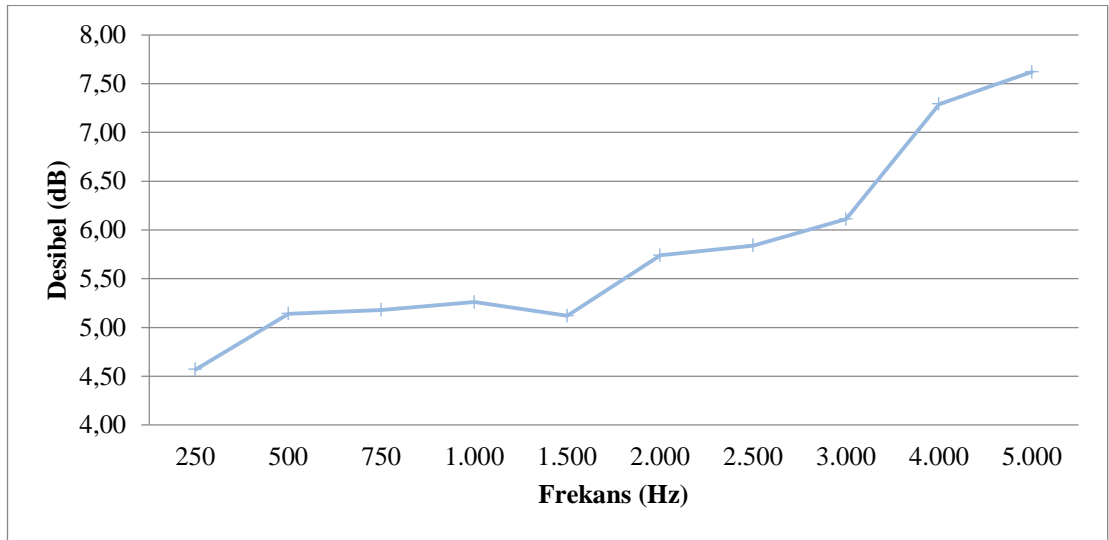
**Şekil 4.6.** Numune 3 kaplamalı - kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 3 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 8,14 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 6,15 desibel'dir (Şekil 4.7).



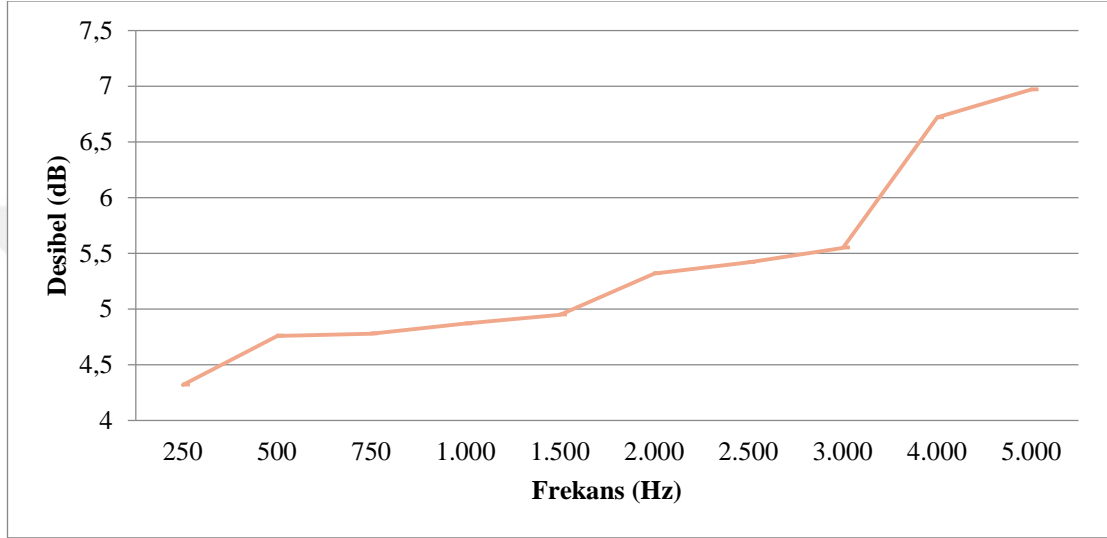
**Şekil 4.7.** Numune 3 kaplamalı - kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 3 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş bir yüzüne ve reçine uygulanmadan önceki hali olan viyol kumaş diğer yüzüne olmak üzere geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,62 desibel değerine 5 kHz’de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,79 desibel’dir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Numune 3 kaplamalı - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

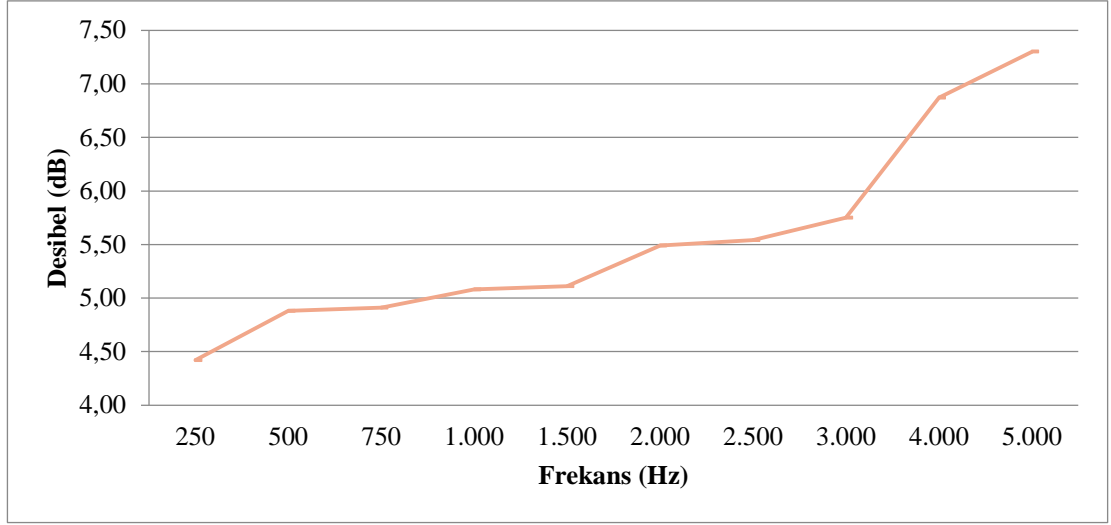
Her iki yüzüne de tek katlı 3 numaralı kumaşı geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 3000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 3000 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 6,97 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,37 desibel'dir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9.** Numune 3 kaplamasız - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Her iki yüzüne de tek katlı 3 numaralı kumaşı geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 3000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 3000 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,3 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,54 desibel'dir (Şekil 4.10).

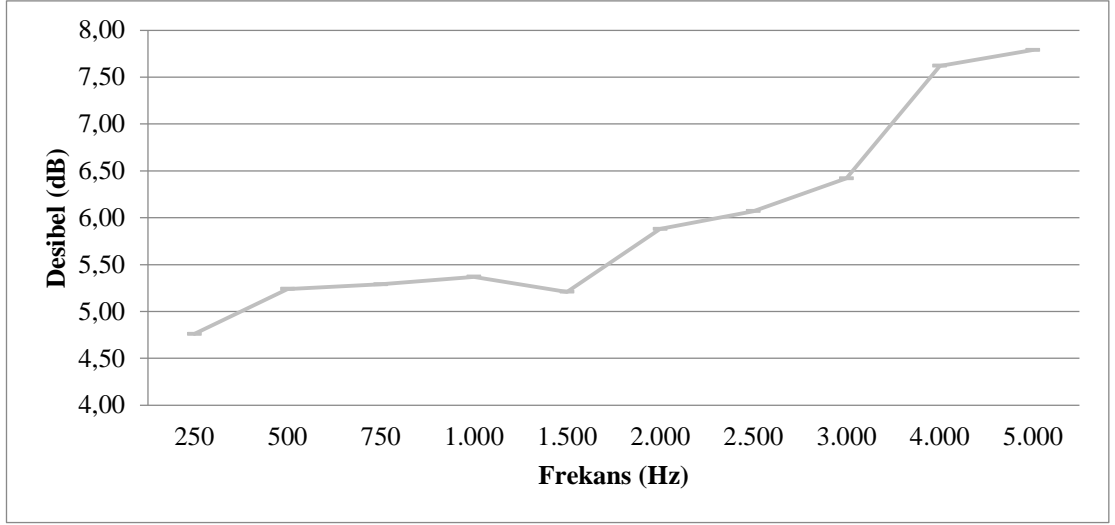




**Şekil 4.10.** Numune 3 kaplamasız - kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

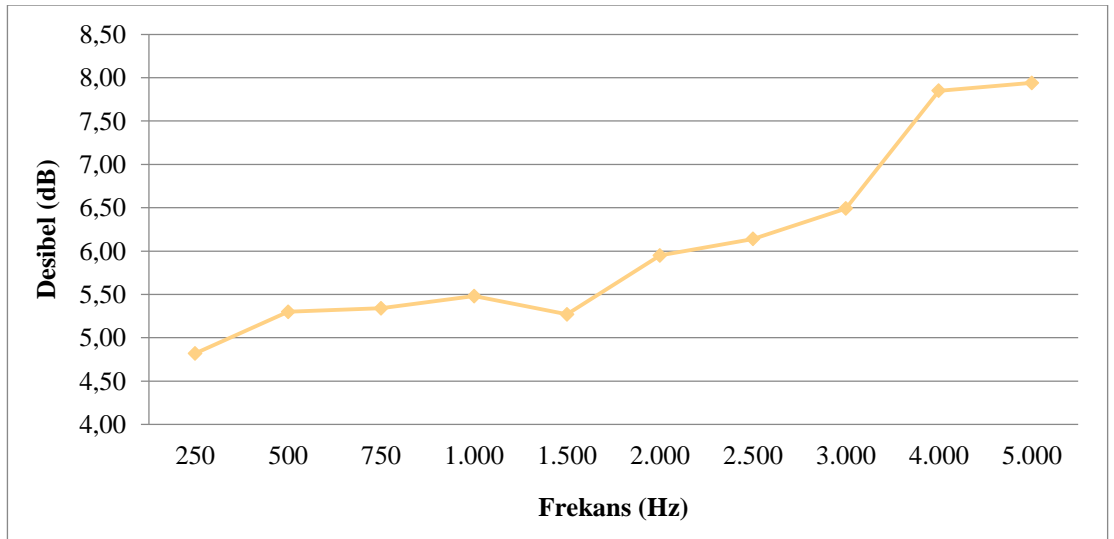
3 numaralı kumaş numunesinin kaplamalı ve kaplamasız durumlarının farklı varyasyonlar ile lamine edilerek oluşturulan çift katlı numunelerden en iyi akustik performansı iyi yüzeyi de kaplamalı ve geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde birleştirilen numunede elde edilmiştir.

Bir diğer tek katlı kumaş olan 5 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,79 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,97 desibel'dir (Şekil 4.11).



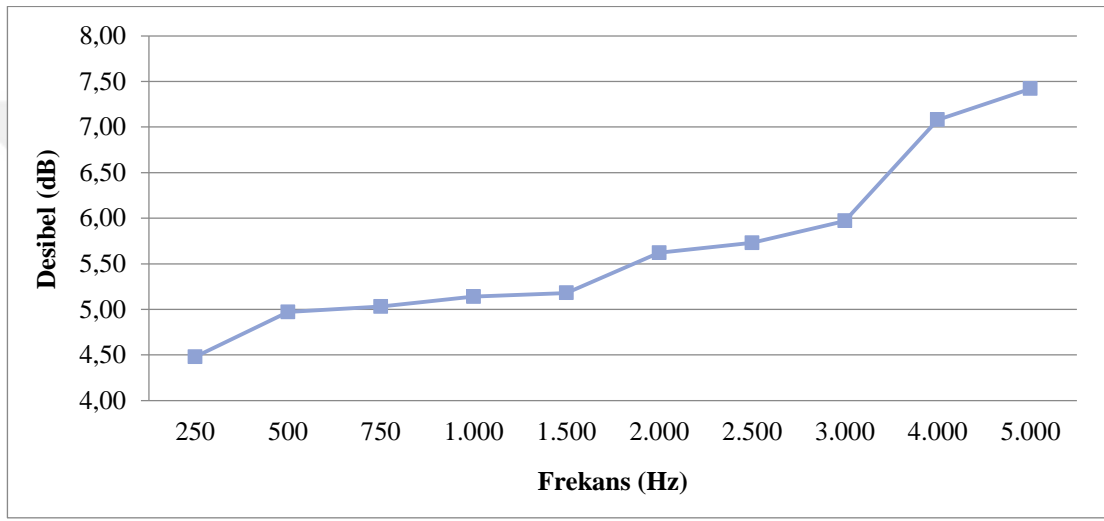
**Şekil 4.11.** Numune 5 kaplamalı - kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 5 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,97 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 6,06 desibel'dir (Şekil 4.12).



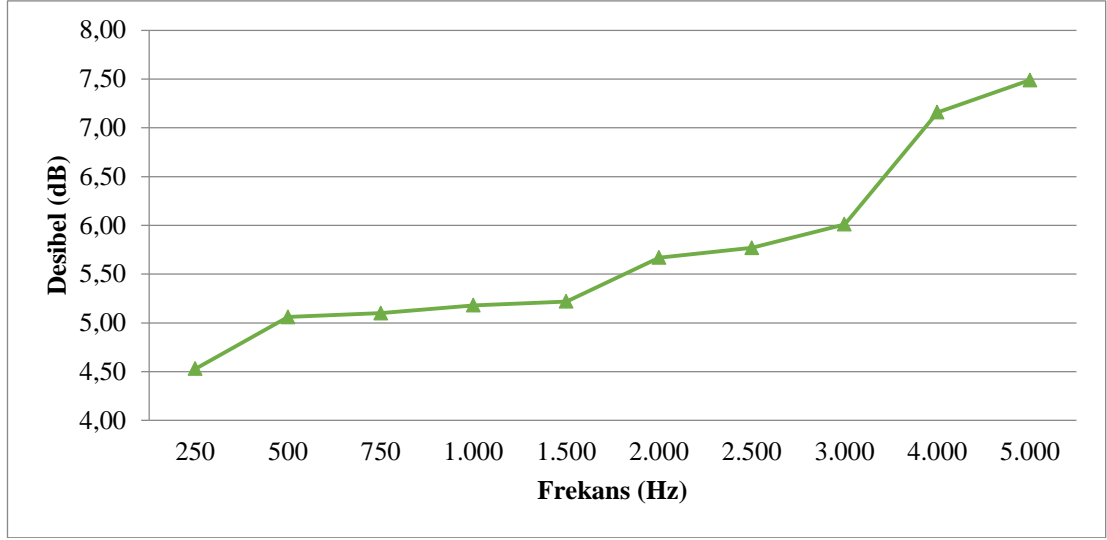
**Şekil 4.12.** Numune 5 kaplamalı - kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 5 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş bir yüzüne ve reçine uygulanmadan önceki hali olan viyol kumaş diğer yüzüne olmak üzere geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,42 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,66 desibel'dir (Şekil 4.13).



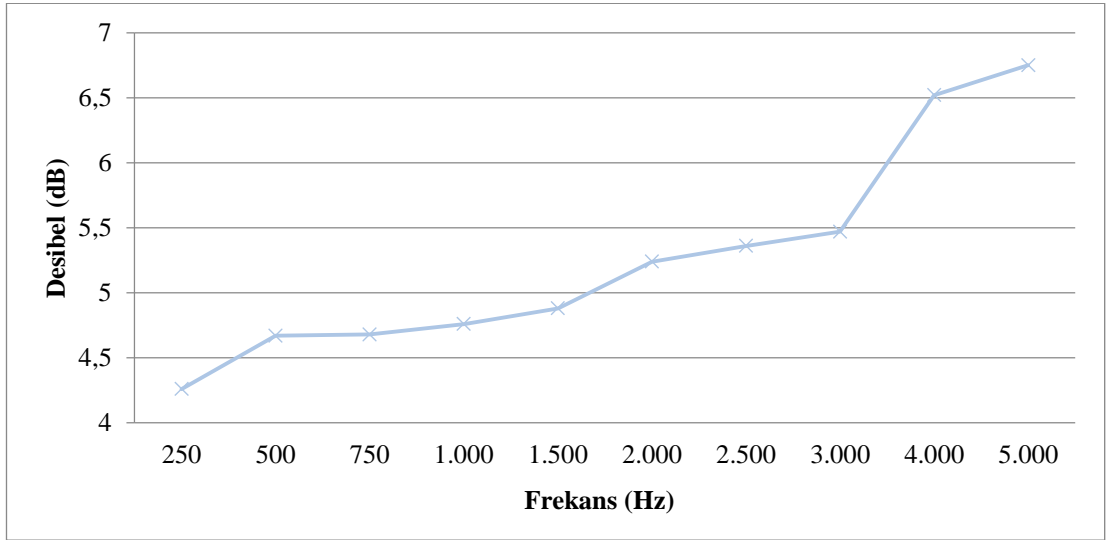
**Şekil 4.13.** Numune 5 kaplamalı - kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 5 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş bir yüzüne ve reçine uygulanmadan önceki hali olan viyol kumaş diğer yüzüne olmak üzere geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,49 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,72 desibel'dir (Şekil 4.14).



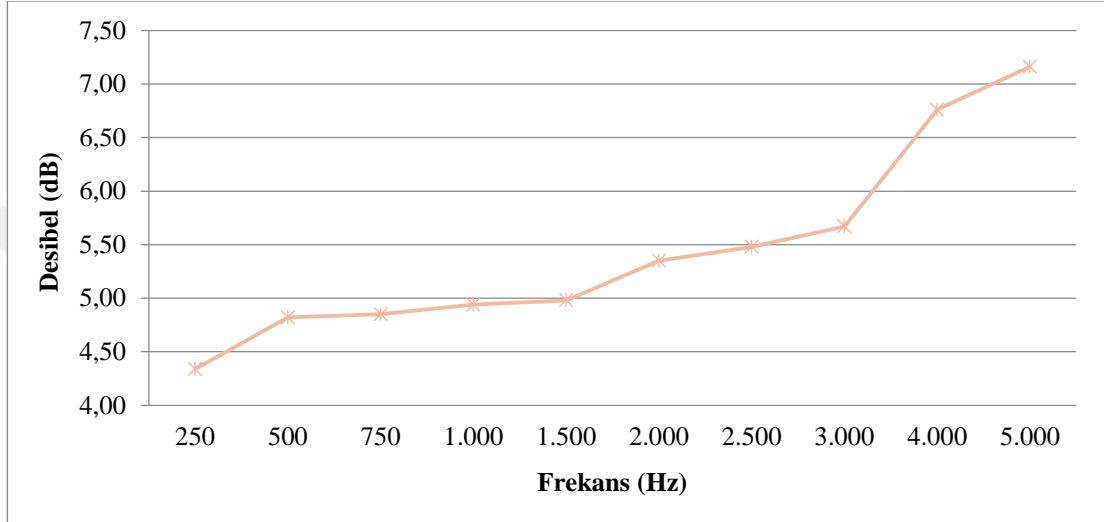
**Şekil 4.14.** Numune 5 kaplamalı – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Her iki yüzüne de tek katlı 5 numaralı kumaşı geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazançla sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 6,75 desibel değerine 5 kHz’de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,26 desibel’dir (Şekil 4.15).



**Şekil 4.15.** Numune 5 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

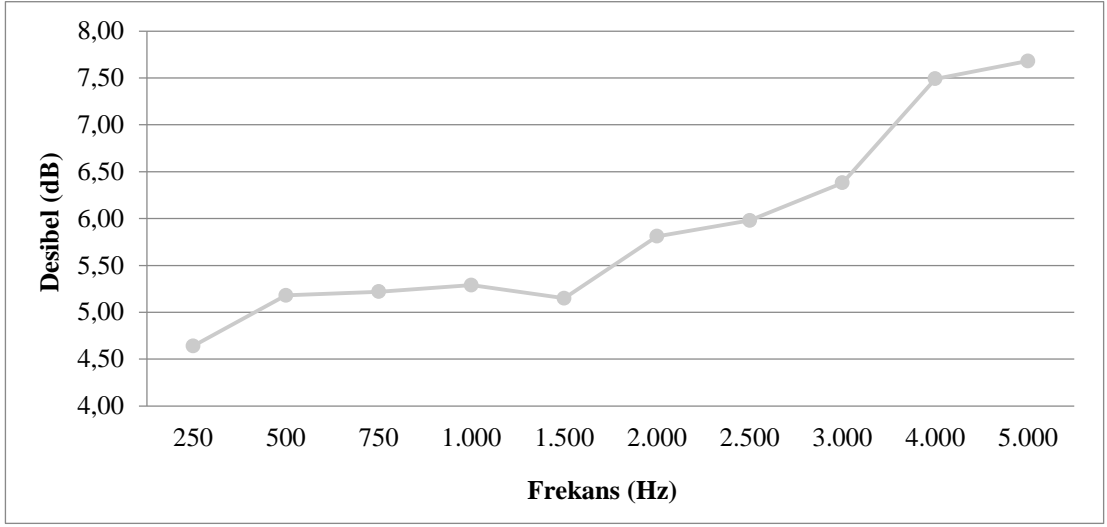
Her iki yüzüne de tek katlı 5 numaralı kumaş geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,16 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,44 desibel'dir (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16.** Numune 5 kaplamasız – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

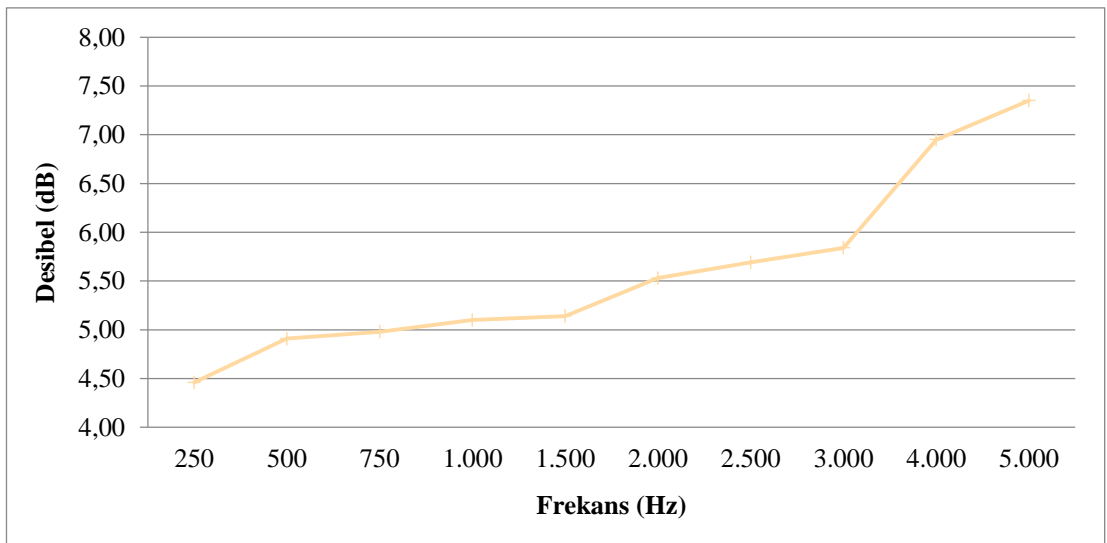
5 numaralı kumaş numunesinin kaplamalı ve kaplamasız durumlarının farklı varyasyonlar ile lamine edilerek oluşturulan çift katlı numunelerden en iyi akustik performansı iyi yüzeyi de kaplamalı ve geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde birleştirilen numunede elde edilmiştir.

En iyi ses iletim kaybı performansı gösteren dört numuneden biri olan 6 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,68 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,88 desibel'dir (Şekil 4.17).



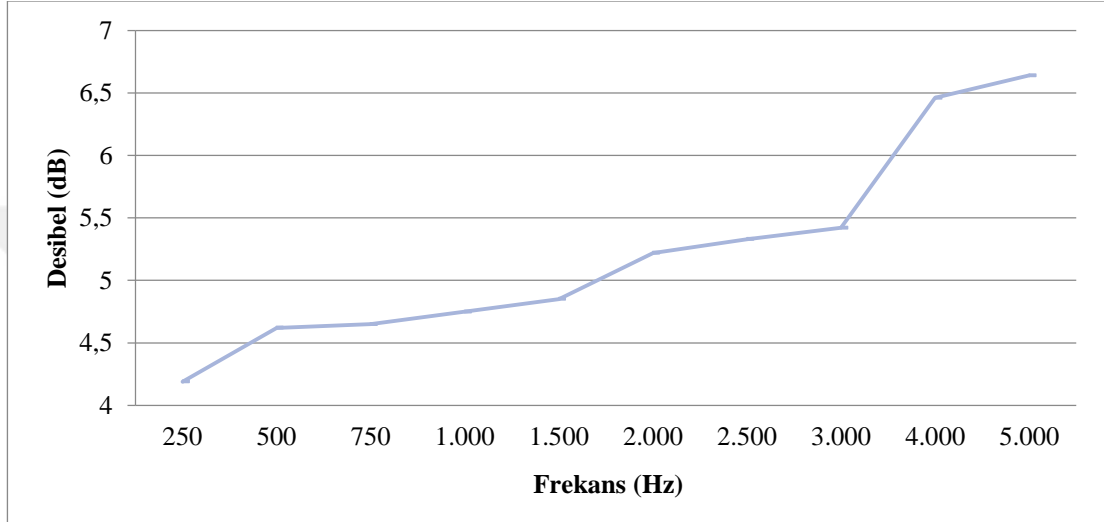
**Şekil 4.17.** Numune 6 kaplamalı – kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Tek katlı 6 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş bir yüzüne ve reçine uygulanmadan önceki hali olan viyol kumaş diğer yüzüne olmak üzere geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,35 desibel değerine 5 kHz’de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,6 desibel’dir (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18.** Numune 6 kaplamalı – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

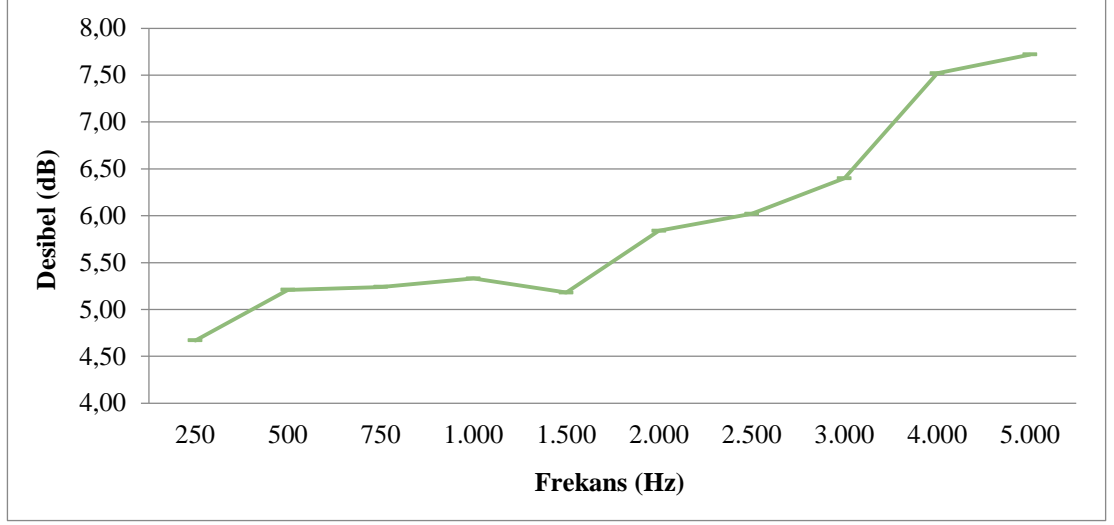
Her iki yüzüne de tek katlı 6 numaralı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 6,64 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,21 desibel'dir (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19.** Numune 6 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

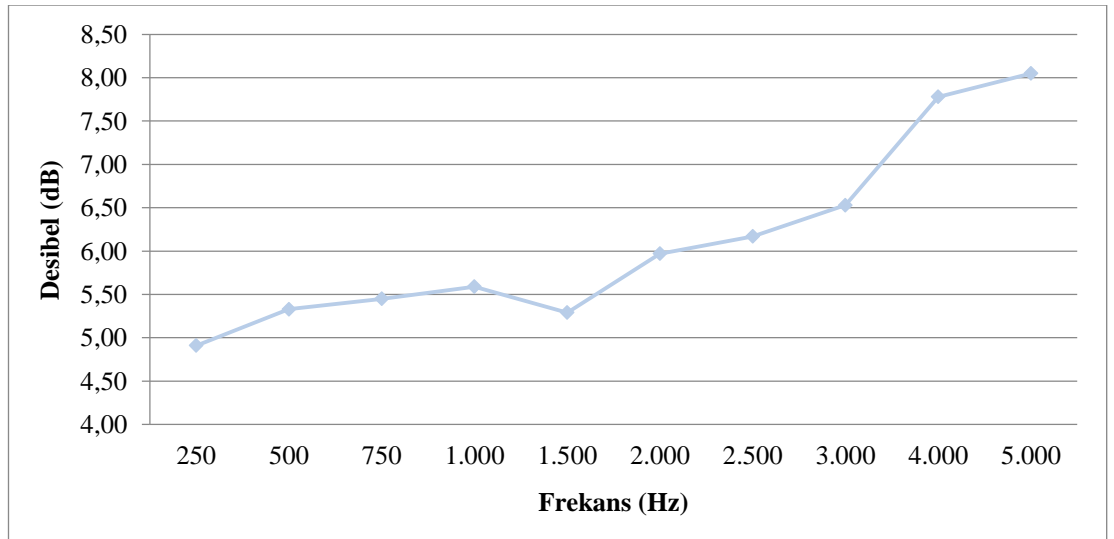
6 numaralı kumaş numunesinin kaplamalı ve kaplamasız durumlarının farklı varyasyonlar ile lamine edilerek oluşturulan çift katlı numunelerden en iyi akustik performansı iyi yüzeyi de kaplamalı ve geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde birleştirilen numunede elde edilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen tek katlı 9 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,72 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,91 desibel'dir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20.** Numune 9 kaplamalı – kaplamalı düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

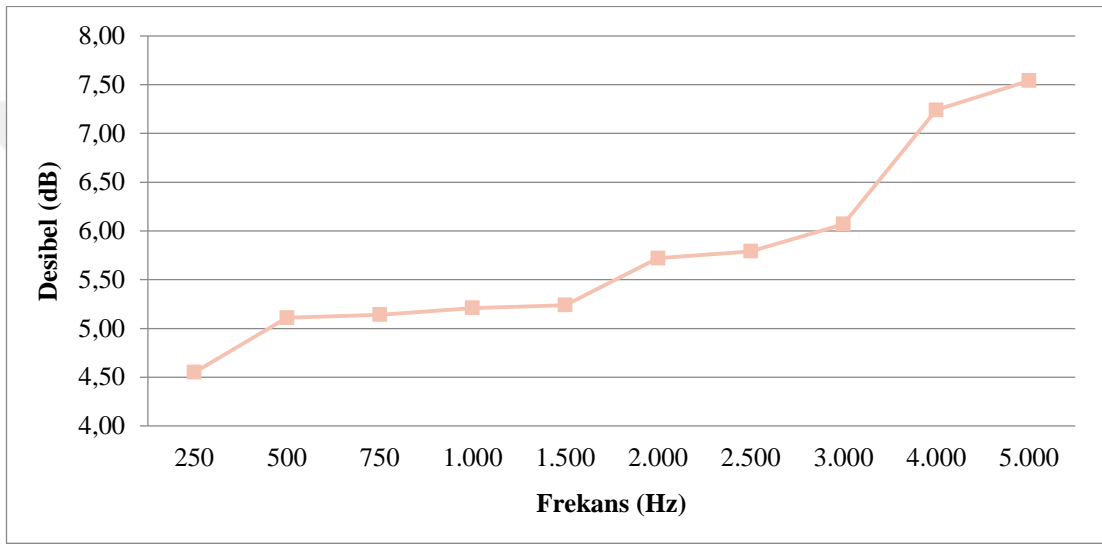
Tek katlı 9 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı kumaş geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamalı çift katlı kumaş 250 Hz ile 1000 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1000 Hz ile 1500 Hz arasındaki geçiş bölgesinde bir düşüş yaşamakta ve 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 8,05 desibel değerine 5 kHz’de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 6,11 desibel’dir (Şekil 4.21).



**Şekil 4.21.** Numune 9 kaplamalı – kaplamalı ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

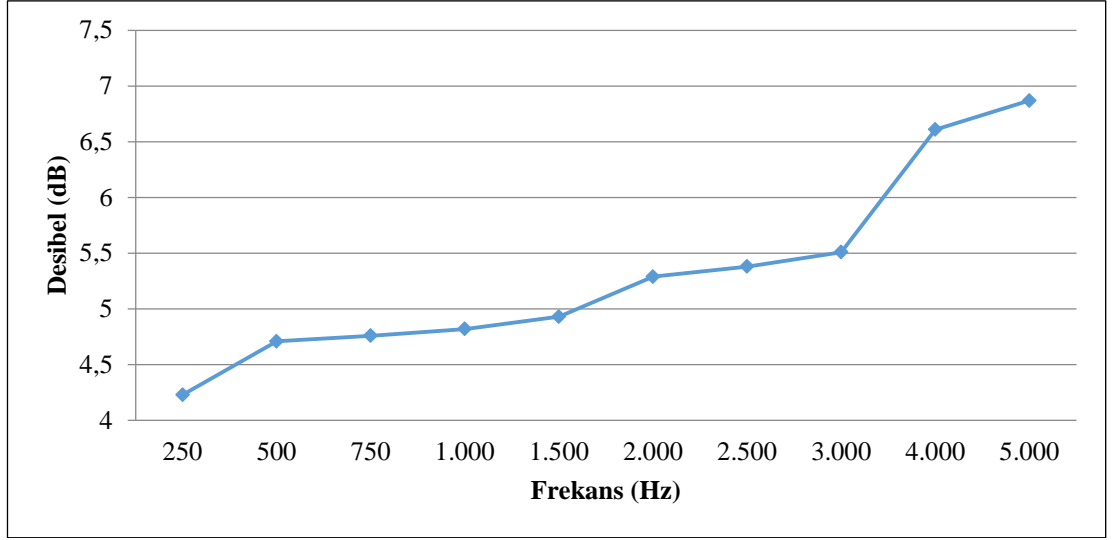


Tek katlı 9 numaralı kumaş numunesine sertlik özelliği kazandırabilmek için reçine uygulanarak elde edilen kaplamalı viyol kumaş bir yüzüne ve reçine uygulanmadan önceki hali olan viyol kumaş diğer yüzüne olmak üzere geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,54 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,76 desibel'dir (Şekil 4.22).



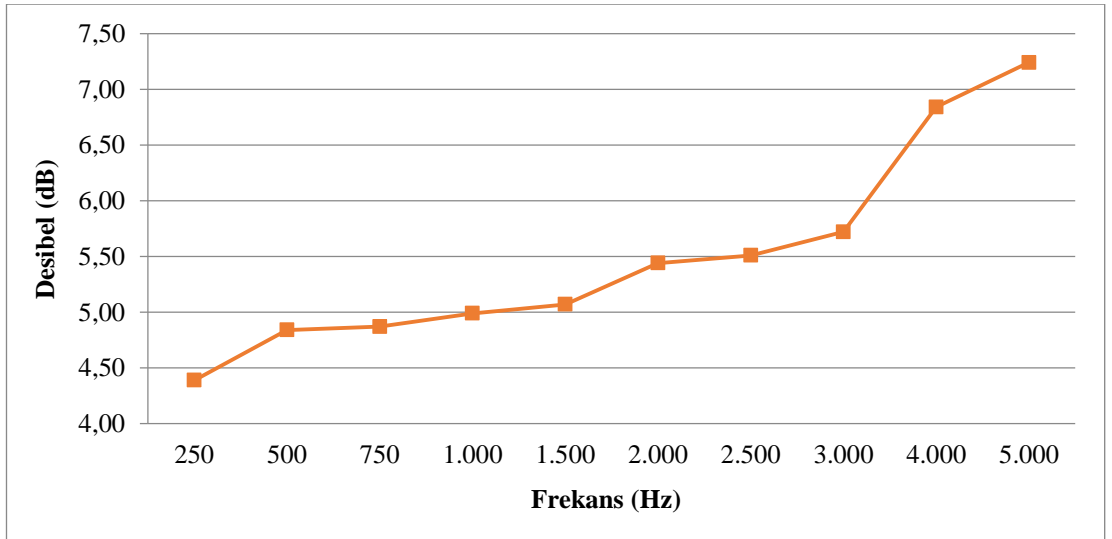
**Şekil 4.22.** Numune 9 kaplamalı – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Her iki yüzüne de tek katlı 9 numaralı kumaşı geometrik olarak birbirine düz olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazanca sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 6,87 desibel değerine 5 kHz'de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,31 desibel'dir (Şekil 4.23).



**Şekil 4.23.** Numune 9 kaplamasız – kaplamasız düz kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

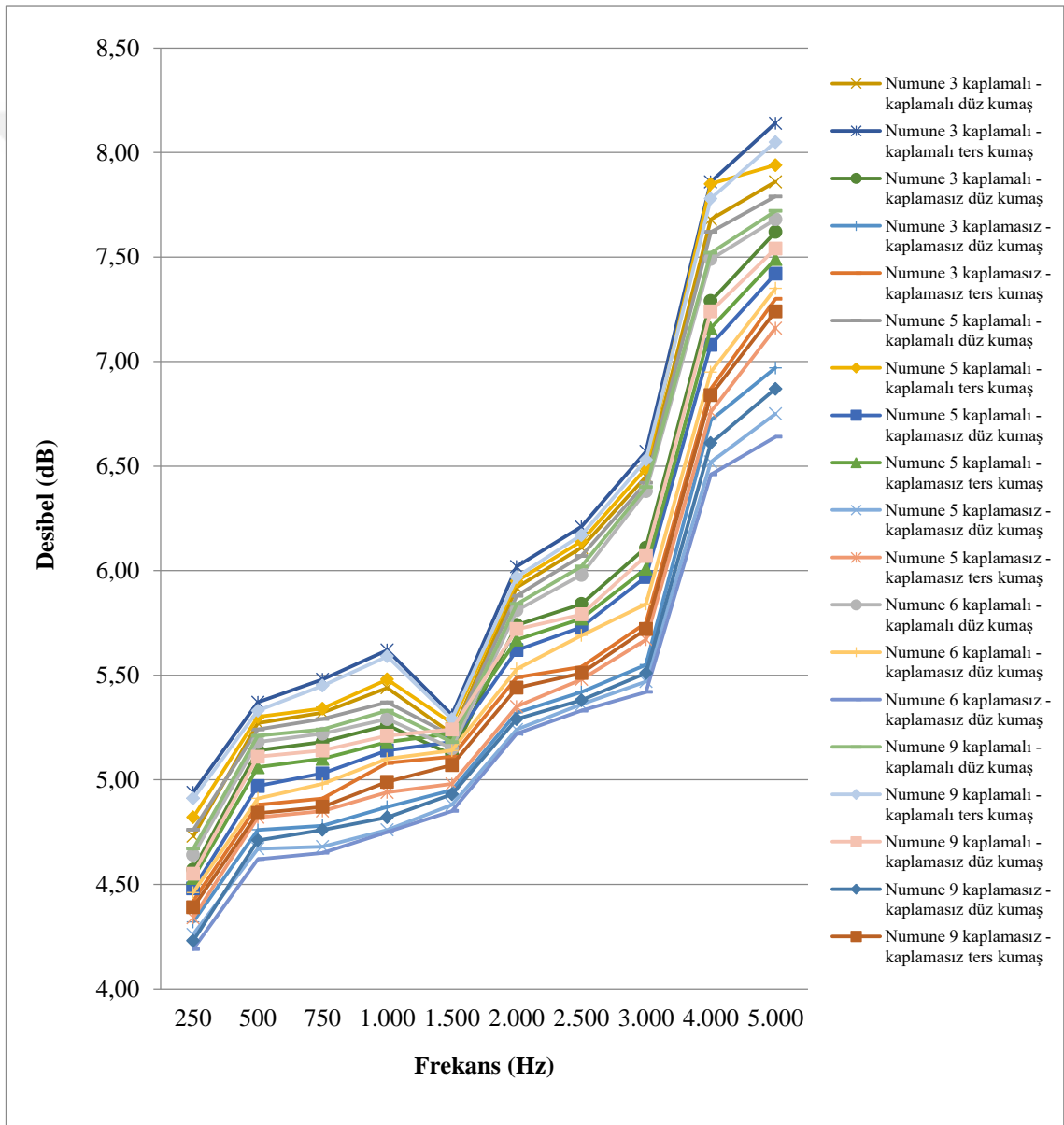
Her iki yüzüne de tek katlı 9 numaralı kumaşı geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde lamine edilerek üretilen iki yüzü de kaplamasız çift katlı kumaş 250 Hz ile 1500 Hz arasında azalarak artan bir kazançla sahipken 1500 Hz ile 5000 Hz frekans değerleri arasında sürekli bir artış göstererek en büyük değeri olan 7,24 desibel değerine 5 kHz’de ulaşmıştır. Tüm frekanslarda sahip olduğu ses iletim kaybı ortalaması ise 5,49 desibel’dir (Şekil 4.24).



**Şekil 4.24.** Numune 9 kaplamasız – kaplamasız ters kumaş ses iletim kaybı ölçüm sonucu

9 numaralı kumaş numunesinin kaplamalı ve kaplamasız durumlarının farklı varyasyonlar ile lamine edilerek oluşturulan çift katlı numunelerden en iyi akustik performansı iyi yüzeyi de kaplamalı ve geometrik olarak birbirine ters olacak şekilde birleştirilen numunede elde edilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen on dokuz farklı çift katmanlı akustik kumaşların akustik performanslarının belirlenmesi için gerçekleştirilen ses iletim kaybı ölçüm sonuçları Şekil 4.25 ve Çizelge 4.1’de tamamı bir arada verilmektedir.



Şekil 4.25. 19 akustik kumaş numunesinin ses iletim kaybı ölçüm sonucu

**Çizelge 4.1.** 20 akustik kumaş numunesinin ses iletim kaybı ölçüm sonucu

<b>Numune</b>	<b>1. Yüzey</b>	<b>2. Yüzey</b>	<b>Geometrik Durumu</b>	<b>En Yüksek Ses İletim Kaybı Değeri (dB)</b>	<b>Ses İletim Kaybı Ortalama Değeri (dB)</b>
Numune 3	Kaplamalı	Kaplamalı	Düz	7,86	6,00
Numune 3	Kaplamalı	Kaplamalı	Ters	8,14	6,15
Numune 3	Kaplamalı	Kaplamasız	Düz	7,62	5,79
Numune 3	Kaplamasız	Kaplamasız	Düz	6,97	5,37
Numune 3	Kaplamasız	Kaplamasız	Ters	7,30	5,54
Numune 5	Kaplamalı	Kaplamalı	Düz	7,79	5,97
Numune 5	Kaplamalı	Kaplamalı	Ters	7,94	6,06
Numune 5	Kaplamalı	Kaplamasız	Düz	7,42	5,66
Numune 5	Kaplamalı	Kaplamasız	Ters	7,49	5,72
Numune 5	Kaplamasız	Kaplamasız	Düz	6,75	5,26
Numune 5	Kaplamasız	Kaplamasız	Ters	7,16	5,44
Numune 6	Kaplamalı	Kaplamalı	Düz	7,68	5,88
Numune 6	Kaplamalı	Kaplamasız	Düz	7,35	5,60
Numune 6	Kaplamasız	Kaplamasız	Düz	6,64	5,21
Numune 9	Kaplamalı	Kaplamalı	Düz	7,72	5,91
Numune 9	Kaplamalı	Kaplamalı	Ters	8,05	6,11
Numune 9	Kaplamalı	Kaplamasız	Düz	7,54	5,76
Numune 9	Kaplamasız	Kaplamasız	Düz	6,87	5,31
Numune 9	Kaplamasız	Kaplamasız	Ters	7,24	5,49
Sentetik Kumaş Keçe				7,44	5,67

### 4.3. Akustik Kumaşların Fiziksel ve Kalite Parametrelerinin Ölçüm Sonuçları

Üretimi gerçekleştirilen akustik performansları yüksek kumaşların günlük hayatta kullanılabilmesi için belirli fiziksel ve kalite parametrelerinin yeterli seviyede olması gerekmektedir. Bunun yanında akustik malzemelerin daha çok kongre, sergi, tiyatro, sinema ve toplantı salonu gibi belirli bir topluluğun bir arada bulunduğu ortamlarda kullanılması sebebiyle güç tutuşur özelliğinin de bulunması istenmektedir. Bunun yanı sıra standartlarca belirlenmiş bir kumaşın sahip olması gereken özelliğini kaybetmeden yıkanabilme (yıkama haslığı), sürtünmeye maruz kaldığında dahi formunu koruyabilme (sürtme haslığı) testleri de gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan çift katmanlı akustik kumaşlara ait yıkama ve sürtme haslığı değerleri ISO105-A04 (Renk Haslığı Testleri) standardına göre incelenmiştir. Yıkama ve sürtme haslık değerleri gri skala baz alınarak 5 üzerinden değerlendirilmiştir (Anonim 2019i). Akustik kumaşların iç mekânlarda kaplama ve stor perde olarak kullanılması söz konusu olduğunda orta seviyede belirlenen haslık değerleri kullanım alanları için yeterlidir.

Kumaşlara uygulanan yıkama ve sürtme haslığı ölçüm sonuçları sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Düz boyalı kumaşların yıkama haslık değerleri

Yıkama Haslığı	Yün	Akrilik	Polyester	Poliamid	Pamuk	Asetat
1. Numune	3-4	4	3	2-3	4	2-3
2. Numune	3-4	4	3	2-3	4	3
3. Numune	3-4	4	3	2-3	3	2-3
4. Numune	3-4	3	3	2	3	2
5. Numune	3-4	4	3	2	4	2-3
6. Numune	3-4	4	2-3	2-3	4	2-3
7. Numune	3-4	4	3	2-3	4	3
8. Numune	3-4	4	3	2	3-4	2-3
9. Numune	3-4	4	3	2-3	3-4	2-3
10. Numune	3-4	4	3	2-3	4	2-3

**Çizelge 4.3.** Düz boyalı kumaşların sürtme haslık değerleri

Sürtme Haslığı	Yaş Sürtme	Kuru Sürtme
1. Numune	3	3
2. Numune	3-4	3-4
3. Numune	3	3
4. Numune	4	3-4
5. Numune	4	2-3
6. Numune	4	3-4
7. Numune	3-4	3-4
8. Numune	4	3-4
9. Numune	4	3
10. Numune	4	3

Yıkanmamış ve yıkanmış dispers boyalı kumaşların NF P92-503 standardına göre güç tutuşurluk test sonuçları sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Yıkanmamış akustik kumaşların güç tutuşurluk değerleri

Güç Tutuşurluk NF P92-503 Parametreleri	Çözüğü	Atkı	Gereklilik
Erime Nedeniyle delik oluşumu	Evet	Evet	Evet / Hayır
Yanmayan damlacık / döküntü	Evet	Evet	Evet / Hayır
Yanan damlacık / döküntü	Hayır	Hayır	Hayır
Alev çekildikten sonra yanma süresi	20 s	15 s	< 5 s
Hasarlı alan (boy)	170 mm	180 mm	< 350 mm
Hasarlı alan (en)	65 mm	95 mm	< 90 mm
Sınıflandırma	M2	M3	M1

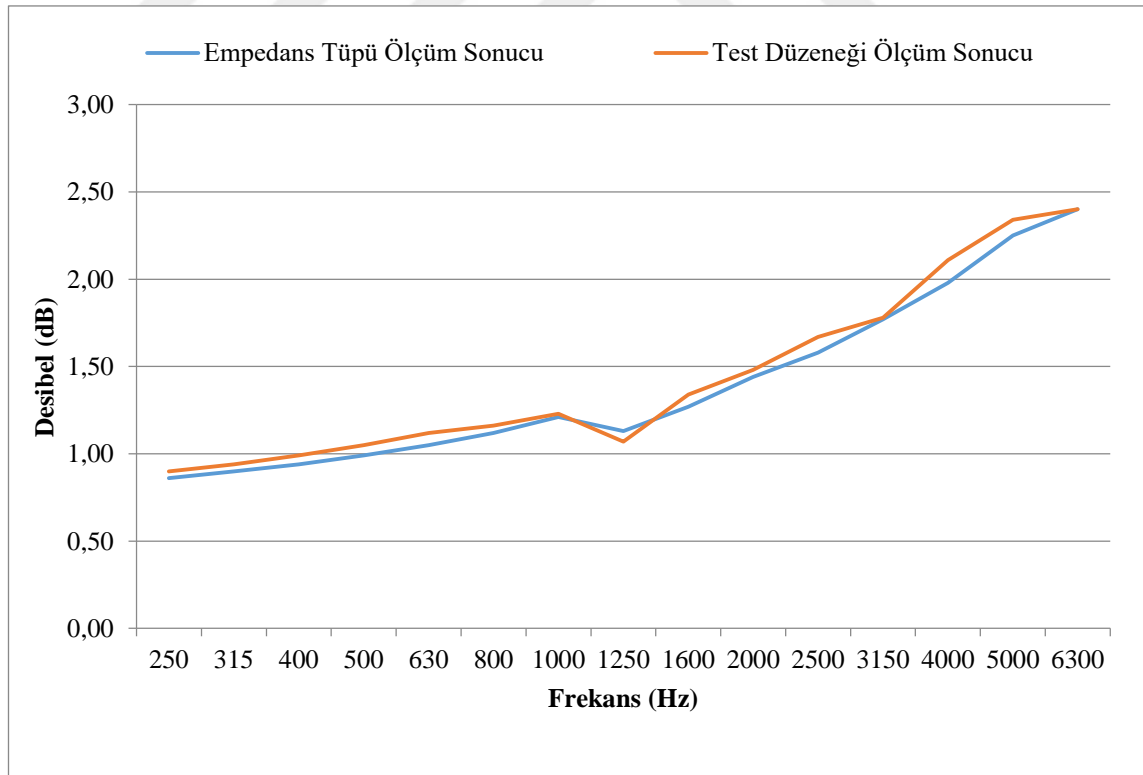
**Çizelge 4.5.** Yıkanmış akustik kumaşların güç tutuşurluk değerleri

Güç Tutuşurluk NF P92-503 Parametreleri	Çözü	Atkı	Gereklilik
Erime Nedeniyle delik oluşumu	Hayır	Hayır	Evet / Hayır
Yanmayan damlacık / döküntü	Hayır	Hayır	Evet / Hayır
Yanan damlacık / döküntü	Hayır	Hayır	Hayır
Alev çekildikten sonra yanma süresi	0 s	15 s	< 5 s
Hasarlı alan (boy)	140 mm	150 mm	< 350 mm
Hasarlı alan (en)	40 mm	65 mm	< 90 mm
Sınıflandırma	M1	M2	M1

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen üç boyutlu viyol yapıdaki dokuma kumaşların sahip olduğu fiziksel parametreler, tercih edilen gözenekli lif ve örgü dokuma yapısı, kimyasal reçine ile sertleştirilmesi ve film ile lamine edilmesiyle ortaya çıkan kompozit akustik malzemenin ses yutum performansları ve ses iletim kaybı performansları analiz edilmiş ve geliştirilmiştir.

Yapılan doğrulama çalışmalarından tek katmanlı kaplamalı 1 numaralı numunenin empedans tüpü ve geliştirilen test düzeneğinde ölçüm sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir. Geliştirilen düzeneğin ses iletim kaybı sonuçları ile laboratuvar test sonuçları karşılaştırıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen düzeneğin ve laboratuvar test sonuçları arasındaki küçük farkların sebebi ses kayıt mikrofonunun hassasiyetidir. Bunun yanında özgün bir yazılım kullanılması sebebiyle doğan farklılıklar oluşmaktadır. Test düzeneğinin malzemelerin ses iletim kaybı performansının karşılaştırılmasında etkin bir şekilde kullanılabilceği anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.1.** Kaplamalı 1 numaralı numunenin empedans tüpü ve test düzeneği ölçüm sonuçları



Tez çalışması kapsamında geliştirilen ses iletim kaybı test düzeneği üretilen ürünlerin sonuçlarını hemen görme imkanı sağlamış ve bu sayede geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır.

Gerçekleştirilen ses iletim kaybı ve ses yutum katsayısı ölçüm sonuçlarının ışığında; ilk olarak tek katmanlı viyol yapılar karşılaştırılarak en iyi akustik performansı gösteren numuneler, çift katmanlı olarak üretilerek test edilmiştir. Çift katlı viyol kumaş yapısının sahip olduğu katman sayısına bağlı olarak ses iletim kaybı performansındaki değişimler incelenmiş ve akustik performansını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akustik kumaş tasarımı geliştirilirken, mevcut akustik malzemelerin yapıları incelenmiş ve kumaş tasarımı üç boyutlu olacak şekilde yeniden ele alınmıştır. Kumaş yüzey alanı piramit şekilde yükseltilerek yeniden düzenlenmiş, aktif yüzey alanı ve yansıma yüzeyi artırılmıştır. Bunun yanında en büyük değişiklik kumaş, iplik ve kaplama yapısında gerçekleştirilmiştir. Akustik açıdan verimli olan gözenekli yapı için çok gözenekli iplikler ve sertlik içinse kaplama malzemeleri kullanılmıştır. Gözenekli yapıya sahip iplikler ve kaplama uygulaması test sonuçlarında olumlu yönde etki yaratmıştır.

Tek katlı kumaş yapılarında 400 Hz'nin altındaki seslerin absorblanmasında, kaplanmış (sert) ve düşük ağırlıktaki kumaşların, diğer kumaş numunelerinden daha etkili olduğu görülmüştür. 400-5000 Hz frekans aralığındaki sesler içinse; büyük örgü yapısındaki, yüksek kalınlık ve ağırlıkta dokunmuş kumaşlar kullanılarak akustik performans arttırmıştır.

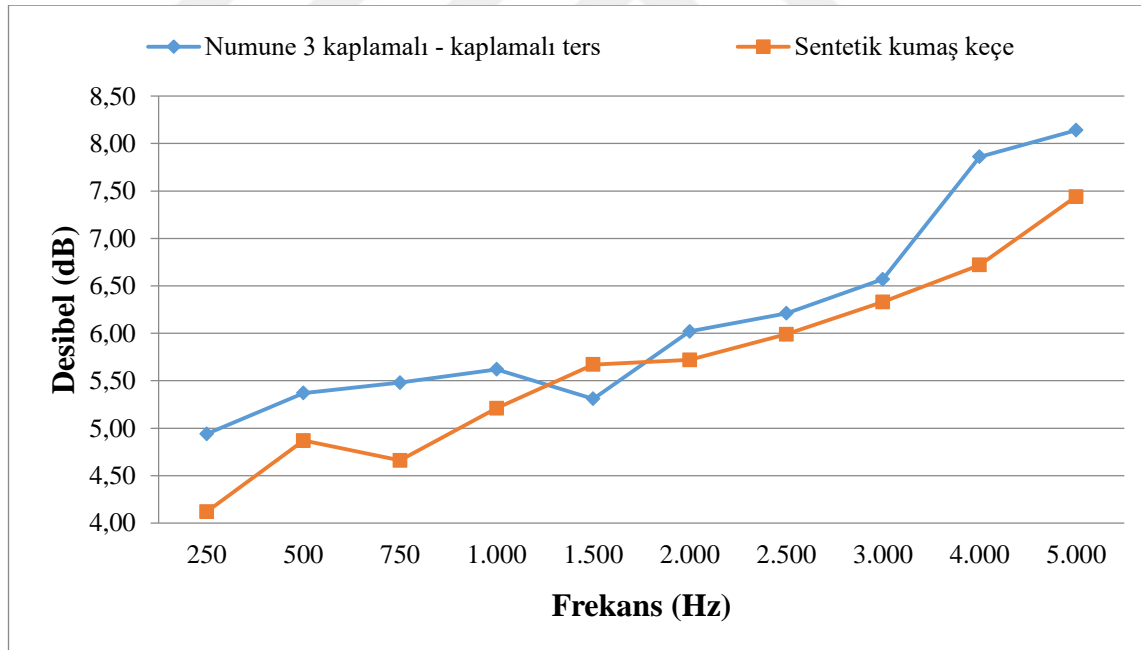
Mikro elyaf kumaşlar diğer kumaşlara göre daha hafif yapıda olmalarına rağmen sahip oldukları geniş yüzey alanı nedeniyle daha iyi akustik performans gösterebilmektedirler. Bu sebeple akustik çalışmalarda kumaşın kalınlığı, sahip olduğu ağırlıktan daha önemli hale gelmektedir (Na ve ark. 2007). Bu tez çalışmasının sonucu elde edilen akustik kumaşlar, ses yutum verilerini aynı etkilerle desteklemiştir.

Akustik kumaşların kalınlıkları, ses iletim kaybı performansı hakkında tek başına bir fikir veremeyeceği, akustik performansın belirlenmesinde farklı parametrelere (sertlik, gözenekli yapı, geometrik yapı, katmanlar) ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu hususta

akustik kumaşların ölçüm sonuçları neticesinde elde ettiğimiz akustik performansın literatür verilerini desteklediği anlaşılmıştır.

Çalışma sonucunda iç mekanda akustik gereksinimleri karşılaması açısından etkin parametreler optimize edilmiştir. Yapının çift katlı olması ile birlikte tüm numunelerin ses iletim kaybı performansında iyileşme tespit edilmiştir. Ortalama 3 mm kalınlığa sahip, çift katlı kumaş numuneleri düşük ve yüksek frekans bölgelerinde yüksek ses iletim kaybı değerlerine sahiptir. Geliştirilen viyol yapıdaki kumaş gürültü ile mücadelede 1500 Hz frekansından sonra aktif olarak rol almaktadır.

Sonuçlar neticesinde en iyi ses yutum özelliği gösteren viyol yapıdaki iki yüzeyi de kaplamalı ve geometrik olarak ters lamine edilmiş olan çift katlı 3 numaralı numune kumaşın ses iletim kaybı performansı, mevcutta ticari olarak satılmakta olan akustik malzemeler ile Şekil 5.2’de kıyaslandığında, elde edilen çift katlı yapının özellikle düşük ve yüksek frekans bölgelerinde üstünlük sağladığı görülmektedir.



**Şekil 5.2.** En iyi akustik performans gösteren akustik kumaş ile sentetik keçenin ses iletim kaybı ölçüm sonucu

Bu tez çalışmasında geliştirilen düzenek ve elde edilen sonuçların benzer çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

**Abid, M., Abbes, M. S., Chazot, J. D., Hammemi, L., Hamdi, M. A., Haddar, M. 2014.** Acoustic Response of a Multilayer Panel with Viscoelastic Material, International Journal of Acoustics and Vibration

**Adanur, S. 1995.** Handbook Of Industrial Textiles, Technomic.

**Altınmakas, S., Şahan, K. 2007.** Akustik Empedans Tüpü Deneyinin Otomasyonu ve Simulasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Bitirme Projesi*, İzmir.

**Anonim, 2006.** Akustik Empedans Tüpü ile Ses Geçiş Kaybı ve Ses Yutum Katsayısı (Kundt's Tube) <http://marmatek.com/akustik-empedans-tupu-kundts-tube/> (Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2009.** The Sound And Vibration Specialist [www.bksv.com](http://www.bksv.com) (Erişim Tarihi: 24.11.2019).

**Anonim, 2010.** Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 4 Haziran 2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

**Anonim, 2011.** Kaplama Teknolojileri <http://www.kintekstekstil.com/plating-technology.html> (Erişim Tarihi: 21.11.2019).

**Anonim, 2014.** Laminasyon nedir ? <https://www.netpakambalaj.com/tr/laminasyon-nedir-h-46> (Erişim Tarihi: 14.11.2019).

**Anonim, 2015.** Innovation: Freudenberg Performance Materials launches a 3D version of the Evolon microfilament fabric [https://www.freudenberg-pm.com/Press/2015\\_05\\_28\\_Evolon\\_3D](https://www.freudenberg-pm.com/Press/2015_05_28_Evolon_3D) (Erişim Tarihi: 21.11.2019).

**Anonim, 2016.** Johns Manville - The Basics of Sound Control, 2016 USA.

**Anonim, 2017.** Teknik Tekstiller Raporu <http://www.uib.org.tr/tr/kbfile/teknik-tekstil-raporu> (Erişim Tarihi: 20.11.2019).

**Anonim, 2019a.** Combinations of Fleeces <http://recytex.de/Page/index.php?foo=kombinationen> (Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2019b.** Thermal system <http://www.curt-bauer.de/en/bauer-technics/thermal-system/> (Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2019c.** Acoustic Coating Fabric <http://www.senfa.fr/en/produits/acoustic-coating-fabric/> (Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2019d.** EventTex <https://www.setex.de/en/products/eventtex/> (Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2019e.** Acoustic Divider Vario  
<https://www.creationbaumann.com/en/Acoustic-Divider-Vario-8661.html>(Erişim Tarihi: 22.11.2019).

**Anonim, 2019f.** Serbest Alan (Free-field) Mikrofonları  
<http://www.proplan.com.tr/Urunler/titresim-ve-akustik/akustik-sensorler/klasik-mikrofonlar> (Erişim Tarihi: 24.11.2019).

**Anonim, 2019g.** The Origins of MATLAB.  
<https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-origins-of-matlab.html>, (Erişim Tarihi: 24.11.2019).

**Anonim, 2019h.** <https://tr.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (Erişim Tarihi: 24.11.2019).

**Anonim, 2019i.** Rediscover MATLAB.  
<https://www.mathworks.com/products/matlab/whatsnew.html>,(Erişim Tarihi:24.11.201).

**Anonim, 2019i.** Gray Scale for Color Change and Gray Scale for Staining  
<https://knowledgebase.datacolor.com> (Erişim Tarihi: 24.11.2019).

**Armağan, O. G. 2007.** Farklı Lif Tipleriyle Üretilen Lamine Kumaşların Performansının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul: 108.

**Asdrubalı, F. 2006.** Survey On The Acoustical Properties Of New Sustainable Materials For Noise Control, Euronoise, Finland.

**Ballou, G. 1998.** Handbook for sound engineers : the new audio encyclopedia, Focal Press, Boston USA.

**Barron, R. F. 2003.** Industrial Noise Control and Acoustics. Marcel Dekker, New York, USA.

**Bilova, M., Lumnitzer, E. 2011.** Advance Techniques Used for Acoustical Parameters Determination of Sound Absorbers, Annals of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering Tome IX, Fascicule 1: 1584-2665.

**Blauert, J., Yiang, N. 2008.** Acoustics For Engineers, *Springer*: 264.

**Brouard, B.,Lafarge, D., Allard, J. F. 1995.** A General Method of Modelling Sound Propagation in Layered Media, Journal of Sound and Vibration, cilt. 183

**Demirkale S. Y. 2007.** Çevre ve Yapı Akustiği - Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı Birsen Yayınevi, İstanbul

**Dias, T., Monaragala, R., Lay, E. 2007.** Analysis Of Thick Spacer Fabrics To Reduce Automobile Interior Noise, *Measurement Science And Technology*, 18(2007): 1979-1991.

**Düzgün A. 2019.** Yaygın Sınıflandırıcıların Scikit-Learn, Weka Ve Matlab Araçları İle Twitterspam Tespitinde Karşılaştırılması *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Ersoy, S. 2007.** Endüstriyel Çay-Yaprak-Fiber Atıklarının Ses Yutum Özelliklerinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.

**Francesco, A. 2007.** Green And Sustainable Materials For Noise Control In Buildings, 19th International Congress On Acoustics, Madrid.

**Fung, W. 2002.** Coated and Laminated Textiles, The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited, England.

**Gelen M. 2016.** Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Akustik Malzemeler Ve Malzeme Özelliklerinin Akustik Parametrelere Etkisinin İncelenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Jayaraman, K. 2005.** Acoustical Absorptive Properties Nonwovens, North Carolina State University, Textile Management And Technology, *Yüksek Lisans Tezi*, U.S.A.

**Na, Y., Lancaster J., Casali J., Cho G. 2007.** Sound Absorption Coefficients of Micro-fiber Fabrics by Reverberation Room Method, *Textile Research Journal*, 77, 5: 330-335.

**Owen S. M. 2009.** Ashrae Handbook Fundamentals, Ashrae, Atlanta.

**Öner, E. 2006.** Tekstilde Kaplama, Tekstil Terbiye Teknolojisi Ders Notları, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul.

**Özer, M. 1979.** Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, Arpaz Matbacılık, İstanbul.

**Özgüven, N. 1986.** Endüstriyel Gürültü Kontrolü. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.

**Özkoç, Ü., Topalbekiroğlu, M. 2008.** Laminasyonun Tekstile Kazandırdığı Yeni Ürünler, *Tekstil-Maraton Dergisi*: 22-31.

**Rao, M. D., 2003.** Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 262, no. 3: 457-474.

**Sarıgül S. 2016.** Ses ve Gürültü Kontrolü Ses Ve Gürültü İle İlgili Temel Kavramlar

**Sönmez E. 2016.** Denetim Sistemleri Dersi İçin Matlab Builder Ne ve Asp.Net Tabanlı Web Laboratuvarı Tasarımı

**Taşel R. G. 2003.** Pompalarda Gürültü, Kocaeli

**Yılmaz, D. N. 2009.** Acoustic Properties Of Biodegradable Nonwovens, North Carolina State University, Textile Management And Technology, *Doktora Tezi*, U.S.A.

**Yüksel, İ. 2004.** MATLAB İle Mühendislik Sistemlerinin Analizi Ve Çözümü, 3.Baskı. Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul

**Zent A. and John, T. L., 2007.** Automotive sound absorbing material survey results. Society of Automotive Engineering Noise and Vibration Conference and Exhibition, Illinois, USA, May 14-17



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur GÜNAL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi/19.03.1992  
Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Lisesi (2006-2010)  
Lisans : İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik Elektronik Mühendisliği (2010-2015)  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Telekomünikasyon Ana Bilim Dalı (2017-2020)

İletişim (e-posta) : ugurgunaliu@gmail.com

