İÇ MEKÂNLARDA SES YUTUM MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN DOKUMA KUMAŞLARIN KENEVİR LİFİ İLE AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Aycan YAYLA

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ MEKÂNLARDA SES YUTUM MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN DOKUMA KUMAŞLARIN KENEVİR LİFİ İLE AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Aycan YAYLA
502217003

Doç.Dr.Fatih SÜVARİ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
TEKSTİL MÜHANDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

İÇ MEKÂNLARDA SES YUTUM MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN DOKUMA KUMAŞLARIN KENEVİR LİFİ İLE AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Aycan YAYLA

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.Fatih SÜVARİ

Kenevir, sahip olduğu özellikler ile petrol ve petrokimyanın kullanıldığı sektörlerde alternatif sürdürülebilir bir ürün olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, kenevir bitkisinin çevresel avantajları göz önüne alınarak, iç mekânlarda ses yutumu amacıyla kullanılmak üzere, bezayağı dokuma kumaşlar üretilmiştir. Atkı ipliklerinde ağartılmış kenevir şönil iplikler kullanılan kumaşlar ve bunlara muadil %100 polyester kumaşlar farklı atkı sıklıklarında dokunmuştur. Böylece sonuçlar karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiş ve kenevir lifi kullanımının getireceği potansiyel iyileşme tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, atkı ipliğinde ağartılmış şönil kenevir ipliği kullanılan, 11,33 atkı/cm atkı sıklığınadaki bezayağı dokuma kumaşın 1000Hz – 6000Hz frekans aralığında en yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmüştür. En düşük ses yutum katsayısı ise 7,33 atkı/cm atkı sıklığındaki %100 polyester bezayağı dokuma kumaşta gözlemlenmiştir. Ardından % 7,5 konsantrasyonda 0,5 ml PVA çözeltisi kullanılarak 5 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlıklardaki poliüretan süngerlere lamine edilen aynı kumaşların ses yutum katsayıları karşılaştırılmıştır. 1000 Hz – 6000 Hz frekans aralığında en yüksek ses yutum katsayısına 10 mm kalınlığında poliüretan sünger ile lamine edilmiş 11,33 atkı/cm atkı ipliği sıklığındaki kenevir içerikli bezayağı dokuma kumaşın sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu lamine yapının ses yutum katsayısı 4800 Hz'de en yüksek değeri olan 0,98'e kadar ulaşmıştır. Aynı frekans aralığında en düşük ses yutum katsayısına, 5 mm kalınlığında poliüretan sünger ile lamine edilmiş 7,33 atkı/cm cm atkı sıklığındaki %100 polyester bezayağı dokuma kumaşın sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar, iç mekânlarda kullanılmak üzere ses yutum amacıyla üretilen bezayağı kenevir dokuma kumaşların, aynı iplik numarasına sahip %100 polyester kumaşlara eşdeğer alternatifler olabileceği hipotezini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kenevir, ses yutumu, akustik, sürdürülebilirlik
2024, xi + 119 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

IMPROVING THE ACOUSTIC PROPERTIES OF WOVEN FABRICS USED AS SOUND-ABSORBING MATERIAL IN INTERIORS WITH HEMP FIBER

Aycan YAYLA

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih SÜVARİ

Hemp is considered as an alternative and sustainable product in sectors utilizing petroleum and petrochemicals, due to its unique characteristics. In this study, woven plain weave fabrics were produced, taking into account the environmental advantages of the hemp plant, for the purpose of sound absorption in indoor spaces. Fabrics with bleached hemp chenille yarns in the weft, along with their equivalent 100% polyester fabrics, were woven at different weft densities to compare and evaluate the potential improvements brought by the use of hemp fibers. As a result of the measurements, it was seen that the plain woven fabric using bleached chenille hemp yarn in the weft yarn, with a weft density of 11,33 picks/cm, had the highest sound absorption coefficient for frequencies ranging from 1000 Hz to 6000 Hz. The lowest sound absorption coefficient was observed in the 100% polyester plain weave fabric with a weft density of 7,33 picks/cm. Then, the sound absorption coefficients of the same fabrics laminated with 5 mm, 8 mm, and 10 mm thick polyurethane foam using a 0.5 ml PVA solution with a concentration of 7.5% were compared. It was concluded that the plain weave fabric with a weft density of 11,33 picks/cm and laminated with 10 mm thick polyurethane foam exhibited the highest sound absorption coefficient in the frequency range of 1000 Hz to 6000 Hz, reaching a value of 0.98 at 4800 Hz. It was concluded that the %100 polyester plain weave fabric with a weft density of 7.33 picks/cm and laminated with 5 mm thick polyurethane foam had the lowest sound absorption coefficient in the same frequency range. These results support the hypothesis that plain hemp woven fabrics produced for sound absorption purposes for use in interior spaces can be equivalent alternatives to 100% polyester fabrics with the same thread count.

Key words: Hemp, sound absorption, acoustic, sustainability
2024, xi + 119 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında üzerinde çalışılan dokuma kumaşların üretimi için destek veren Ustaoğlu Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasına, tez danışmanım Doç. Dr. Fatih SÜVARİ başta olmak üzere, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümündeki tüm öğretim elemanlarına ve kıymetli anneme teşekkürlerimi sunarım.

Aycan YAYLA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 2
2.1. Ses ve Akustik ile İlgili Kavramlar ve Büyüklükler 2
2.1.1. Ses ve akustik 2
2.1.2. Dalga hareketi ve dalga boyu 2
2.1.3. Frekans ve periyot 2
2.1.4. Yer değiştirme genliği ve sesin yayılma hızı 3
2.1.5. Ses şiddeti 4
2.1.6. Ses yüksekliği seviyesi ve ses basıncı 4
2.1.7. Akustik empedans ve rezonans 4
2.2. Sesin Kapalı Mekânlarda Yayılması 5
2.2.1. Sesin yansıması 5
2.2.2. Sesin saçılması 6
2.2.3. Sesin kırılması 6
2.2.4. Ses yutumu 6
2.3. Ses Yutum Katsayısı ve Ölçüm Yöntemleri 7
2.3.1. Çınlama odası yöntemi 7
2.3.2. Empedans tüpü yöntemi 7
2.4. Ses Yalıtımının ve Ses Yutumunun Karşılaştırılması 8
2.5. Viskoz ve Termal Karakteristik Uzunluk 9
2.6. Ses Yutum Malzemeleri ve Sınıflandırılması 10
2.6.1. Poliüretan süngerler 10
2.6.2. Lifli malzemeler 11
2.7. Kumaşların Ses Yutumunu Etkileyen Parametreler 11
2.7.1. Gözeneklilik 12
2.7.2. Lif çapı ve lif yoğunluğu 13
2.7.3. İplik bükümü 14
2.7.4. Malzeme kalınlığı 14
2.7.5. Kıvrımlılık 15
2.7.6. Yüzey empedansı 15
2.7.7. Malzeme arkasında bırakılan hava boşluğu 15
2.7.8. Malzeme bileşimi ve yüzey işlemleri 16
2.7.9. Yapıştırma yöntemleri, katkı maddelerinin varlığı ve üretim süreci 16
2.8. Atkı İpliği Sıklığı, Katı Hacim Oranı, Örtme Faktörü, Hava Geçirgenlik ve Hava Akış Direnci 16
2.8.1. Atkı ipliği sıklığı 17
2.8.2. Katı hacim oranı 17
2.8.3. Örtme faktörü 18
2.8.4. Hava geçirgenlik ve hava akış direnci 18
2.9. Kenevirin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri 20

2.10. Ses Yutumu Üzerine Yapılan Araştırmalar 28
2.11. Kenevir Lifine Uygulanan Alkali İşlemi ve Ses Yutumuna Etkisi 55
2.12. Selüloz İçerikli Liflere Uygulanan Enzimatik İşlemler 57
2.13. Silikonla Yumuşatma İşleminin Kumaş Yapısına Etkisi 59
2.14. Şönil İplik ve Ses Yutumuna Etkisi 61
2.15. Polyester Lifleri ve Ses Yutumuna Etkisi 62
3. MATERYAL ve YÖNTEM 66
3.1. Materyal 66
3.1.1. Polyester 66
3.1.2. Kenevir 67
3.2. Üretim Yöntemleri 68
3.2.1. Bezayağı kumaş ve üretim yöntemi 68
3.2.2. Hava püskürtme sistemiyle laminasyon 71
3.3. Test Yöntemleri 75
3.3.1. Kumaş birim ağırlığının ölçümü 76
3.3.2. Kumaş kalınlığının ölçümü 76
3.3.3. Kumaş hava geçirgenliğinin ölçümü 77
3.3.4. Laminasyon mukavemetinin ölçümü 78
3.3.5. Ses yutum katsayısının ölçümü 79
3.3.6. Yüzey görüntülerinin alınması (SEM) 80
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 81
4.1. Kumaşların Birim Alan Ağırlıkları, Kalınlıkları, Hava Geçirgenlikleri ve Hava Akış Dirençleri 83
4.2. Kumaşların Katı Hacim Oranı (SVF) ve Gözeneklilik Değerleri 88
4.3. Kumaşların Ses Yutumu 90
4.4. Lamine Yapıların Yapışma Mukavemeti, Hava Geçirgenliği ve Ses Yutumu 95
4.5. Kumaşların ve Lamine Yapıların Hava Geçirgenlik Değerleri 102
4.6. Lamine Yapıların Ses Yutumu 104
5. SONUÇ 107
KAYNAKLAR 109
ÖZGEÇMİŞ 119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
λ	Dalga boyu
c	Dalga hızı
f	Frekans
T	Periyot
I	Ses şiddeti
W	Ses gücü
d	Bir dalganın ses kaynağına uzaklığı
T_{60}	Çınlama süresi
R_o	Hava akış direnci
A_p	Hava geçirgenliği
α	Ses yutum katsayısı
%	Yüzde
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
dB	Desibel
N	Newton
Pa	Pascal
iplik/cm	1 cm'deki atkı veya çözgü ipliği sayısı
denye	İplik kalınlığını belirten numaralandırma sistemi
Ne	Number of English / İngiliz iplik numaralandırma sistemi
tex	1000 metre ipliğin ağırlığı
cN/tex	Lif veya ipliğin gerilmeye karşı direnci
mm	Milimetre
nm	Nanometre
µm	Mikrometre
g/m^2	Metrekare başına düşen alan ağırlığı

Kısaltmalar	**Açıklama**
ASTM	American society for testing and materials
BR	Braid-reinforced / Örgü takviyeli
CAR	Carding / Taraklama
CFF	Crossing over firmness factor / Kesişen sıkılık faktörü
CNC	Cellulose nanocrystal / Selüloz nanokristal
CNF	Cellulose nanofibril / Selüloz nanofibriller
DTY	Draw textured yarn / Çekme tekstüre iplik
ENF	Enset nano fiber
FFF	Fabric firmness factor / Kumaş sıkılık faktörü
FTC	Fine tooth combing / İnce diş tarama
FYF	Floating yarn factor / Yüzer iplik faktörü
GGBS	Ground granulated blast furnace slag / Granüle yüksek fırın cürufu
ISO	International organization for standardization
NFRC	Natural fiber reinforced composite / Doğal lif takviyeli kompozitler
NRC	Noise reduction coefficient / Gürültü azaltma katsayısı

PET	Polietilen tereftalat
PVDF	Poliviniliden florür
NaOH	Sodyum hidroksit
SAA	Sound absorption average / Ses yutum ortalaması
SAC	Sound absorption coefficient / Ses yutum katsayısı
SS	Standart sapma
SVF	Solid Volume Fraction / Katı hacim oranı
WTC	Wide tooth combing / Geniş diş tarama

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Ses dalgasının hareketi, dalga boyu, frekans ve genlik…….	3
Şekil 2.2.	Frekans gösterimi. A) Düşük frekans B) Yüksek Frekans……	3
Şekil 2.3.	Kenevir bitkisinin gövdesinin enine kesiti…….....	22
Şekil 2.4.	Cannabis sativa sınıfı kenevir bitkisinin boyuna gövde kesiti A) Odunsu kısım B) Liflerin bulunduğu kısım……	23
Şekil 2.5.	İşlenmemiş kenevir lifinin SEM görüntüsü. A) Uzunlamasına yüzey görüntüsü B) Lif kesit görüntüsü……	24
Şekil 2.6.	Kenevir lifinin kimyasal içeriği. A) Selüloz B) Hemiselüloz C) Pektin D) Lignin E) Mumlar ve yağlar……	24
Şekil 2.7.	Örgü takviyeli (BR) poliviniliden florür (PVDF) içi boş fiber membranın SEM görüntüleri. A) Örgünün kesiti B) Örgünün yüzey yapısı C) BR PVDF içi boş fiber membranın kesiti D) PVDF iç katmanının kesiti E) PVDF dış katmanının dış yüzeyi F) PVDF iç katmanının iç yüzeyi……	52
Şekil 2.8.	Farklı kesit şekillerinde üretilmiş PET lifleri. A) 7-H B) 7-4H C) 15-H D) 15-HC E) 15-HT……..	63
Şekil 2.9.	Kauçuk katmanları. A) R B) RH8 C) RH16…….	63
Şekil 3.1.	PET lifi kimyasal yapısı A) Moleküler gösterim B) Ester bağı….	66
Şekil 3.2.	Şönil iplik yapısı. A) Temel iplikler B) Hav iplikleri……	68
Şekil 3.3.	Bezayağı dokuma kumaş yapısı. A) Üç boyutlu örnek bir model B) Plan görünüşü……..	69
Şekil 3.4.	Bir poliol ile bir diizosiyanatın reaksiyonu……...	71
Şekil 3.5.	Hücresel yapıya sahip poliüretan köpüklerin SEM görüntüleri. A) Açık hücresel yapı B) Kapalı hücresel yapı…….	72
Şekil 3.6.	PVA'nın kimyasal reaksiyonu…….	72
Şekil 3.7.	Hava püskürtme sistemi. A) Düze B) Püskürtülen yapıştırma çözeltisi C) Hava ile çarpışma yoluyla püskürtülen çözeltisinin atomizasyonu……...	74
Şekil 3.8.	Hava püskürtme sistemi. A) Döner silindir yüzey B) Termal plaka cihazı……..	75
Şekil 3.9.	Kumaş kalınlık ölçüm cihazı……	77
Şekil 3.10.	Hava geçirgenlik test cihazı…….	78
Şekil 3.11.	Shimadzu AG-X plus çekme test makinesi……..	78
Şekil 3.12.	Empedans tüpünün yan kesiti……...	79
Şekil 4.1.	Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama gramajlarının karşılaştırılması……...	85
Şekil 4.2.	Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama kalınlıklarının karşılaştırılması…….	86
Şekil 4.3.	Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama hava geçirgenliklerinin karşılaştırılması……...	86
Şekil 4.4.	Polyester ve kenevir içerikli kumaşların atkı sıklığına göre ortalama hava akış direncinin karşılaştırılması……	87
Şekil 4.5.	Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen kenevir içerikli bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik…….	91

Şekil 4.6.	Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen %100 polyester bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik…….	91
Şekil 4.7.	Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen tüm bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik……...	92
Şekil 4.8.	Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x290 yüzey SEM görüntüsü 1……..	94
Şekil 4.9.	Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x290 yüzey SEM görüntüsü 2……..	94
Şekil 4.10.	Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x370 yüzey SEM görüntüsü…….	95
Şekil 4.11.	Sünger yüzeyinde kalan liflerin görüntüsü……...	97
Şekil 4.12.	0,3 ml PVA çözeltisiyle %100 polyester kumaş için yapışma mukavemeti değerleri……..	98
Şekil 4.13.	0,3 ml PVA çözeltisiyle kenevir içerikli kumaş için yapışma mukavemeti değerleri……..	98
Şekil 4.14.	0,5 ml PVA çözeltisiyle %100 polyester kumaş için yapışma mukavemeti değerleri……..	98
Şekil 4.15.	0,5 ml PVA çözeltisiyle kenevir içerikli kumaş için yapışma mukavemeti değerleri……..	98
Şekil 4.16.	Lamine yapıların ortalama yapışma mukavemeti değerleri. A) Kenevir içerikli kumaşla üretilen lamine yapı B) Polyester kumaşla üretilen lamine yapı……	99
Şekil 4.17.	K10 ve P10 kodlu kumaşların 0,3ml ve 0,5 ml PVA çözeltisi uygulanarak poliüretan süngere laminasyonu yapıldıktan sonra ölçülen ortalama hava geçirgenliği grafiği……...	100
Şekil 4.18.	Poliüretan sünger ile lamine edilmiş polyester kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması……	100
Şekil 4.19.	Poliüretan sünger ile lamine edilmiş kenevir içerikli kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması……	101
Şekil 4.20.	Poliüretan sünger ile lamine edilmiş kenevir içerikli ve polyester kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması…….	101
Şekil 4.21.	0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların ortalama hava geçirgenlik grafiği……...	103
Şekil 4.22.	Yalnızca kumaşların ortalama hava geçirgenliği ile 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların ortalama hava geçirgenliğinin karşılaştırma grafiği……...	103
Şekil 4.23.	5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen %100 polyester kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik……..	104

Şekil 4.24. 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen kenevir içerikli kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik……..... 105
Şekil 4.25. 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen tüm kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik……... 106

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa
Çizelge	3.1.	Ses yutum katsayısı ölçülen numunelerin materyal çizelgesi…….	71
Çizelge	3.2.	Sprey püskürtme parametreleri……...	75
Çizelge	3.3.	Test yöntemleri……...	76
Çizelge	4.1.	Kumaşların ortalama birim ağırlık ve standart sapma değerleri….	83
Çizelge	4.2.	Kumaşların ortalama kalınlık ve standart sapma değerleri…….	84
Çizelge	4.3.	Kumaşların ortalama hava geçirgenlik ve standart sapma değerleri……..	84
Çizelge	4.4.	Kumaşların ortalama hava akış direnci ve standart sapma değerleri……..	85
Çizelge	4.5.	Kumaşların gözeneklilik ve katı hacim oranı değerleri……..	90
Çizelge	4.6.	0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların hava geçirgenlik değerleri..	102

1. GİRİŞ

Bu tez kapsamında öncelikle ses ve ses yutumu ile ilgili kavramlar hakkında bilgi verilmiştir. Ardından ses yutum malzemelerinin özelliklerine ve kumaş parametrelerinin ses yutum üzerindeki etkilerine değinilmiştir. Sonrasında kenevir bitkisinin yetiştirilmesi ve kenevir lifi eldesi üzerine yapılan araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca kenevir liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde durularak, dokuma kumaşlarda kullanılması ile ses yutum performansına nasıl etkilediği tartışılmıştır. Ses yutumu ile ilgili daha önce yapılan araştırmalardaki sonuçlardan faydalanarak, ses yutumunu etkileyen faktörler vurgulanmıştır. Yapılan kaynak araştırmasının ardından, kenevir bitkisinin avantajları göz önüne alınarak, iç mekânlarda ses yutumu amacıyla kullanılmak üzere, kenevir lifi içerikli şönil iplikler ile farklı atkı sıklıklarına sahip ağartılmış bezayağı kumaşlar dokunmuştur. Ayrıca kenevir lifi kullanımının getireceği potansiyel iyileşmenin tespiti ve karşılaştırma yaparak sonuçların değerlendirilebilmesi için, kenevir içerikli kumaşlara muadil polyester kumaşlar da üretilmiştir. Yapılan ölçümler ve hesaplamar sonucunda, atkı ipliği sıklığı değişiminin tüm kumaş tiplerinde, gramaja, kalınlığa, hava geçirgenliğine, hava akış direncine, gözenekliliğe, katı hacim oranına (SVF) ve ses yutumuna nasıl etki ettiği tartışılmıştır. Ardından tüm kumaşlar, PVA çözeltisi kullanılarak, poliüretan süngerlere hava püskürtme tekniği ile lamine edilmiştir. İdeal yapıştırma parametrelerini belirlemek için, yapıştırma işleminden önce hava püskürtme sistemi kullanılarak denemeler yapılmıştır. % 7,5 konsatrasyonda hazırlanan sulu PVA çözeltisinden 0,5 ml kullanılarak, 5 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlıklardaki poliüretan süngerlere lamine edilen bezayağı dokuma kumaşların ses yutum katsayıları empedans tüpü yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Bezayağı dokuma kumaş ve poliüretan süngerden oluşan lamine yapılar, ağartılmış kenevir lifi içerikli ve %100 polyester olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu iki grup hem kendi içinde hem de birbirleriyle karşılaştırılarak ses yutum performansları arasındaki farklar ortaya konmuştur. Çıkan sonuçlar doğrultusunda, iç mekânlarda kullanılmak üzere üretilen kenevir lifi içerikli bezayağı dokuma kumaşların ses yutum özelliklerine getirdiği iyileşme ve bu iyileşmenin sebepleri üzerinde durulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ses ve Akustik ile İlgili Kavramlar ve Büyüklükler

2.1.1. Ses ve akustik

Ses; titreşen cisimlerin yaydığı duyulabilir frekanstaki ses dalgalarının, elastik bir ortamda oluşturduğu basınç değişimlerinin, kulak tarafından algılanmasıdır. Örneğin, bir müzik aletinin telleri titreştiğinde basınç değişimi olur ve kulağımız bunu ses olarak algılar. Sesin var olabilmesi ve duyulması için ses kaynağı, sesin iletilebileceği katı, sıvı veya gaz gibi bir ortam ve bir alıcı gerekir (Demirkale, 2007).

Sözlük anlamı olarak akustik; "yalnızca duyulmak istenen seslerin duyulabilmesi için sesin kontrol edilmesiyle tasarlanmış olan" ve "bir binanın veya odanın mimari yapısıyla müzik veya konuşma sesinin niteliklerini etkileme şekli" olarak tanımlanmaktadır (Cambridge Dictionary, 2024). Bu tanımlamalardan yola çıkarak akustiğin, sesin yansıması, kırılması ve yutumu gibi fiziksel durumlarının incelendiği tüm bilimsel çalışmaları kapsadığı sonucu çıkarılabilir.

2.1.2. Dalga hareketi ve dalga boyu

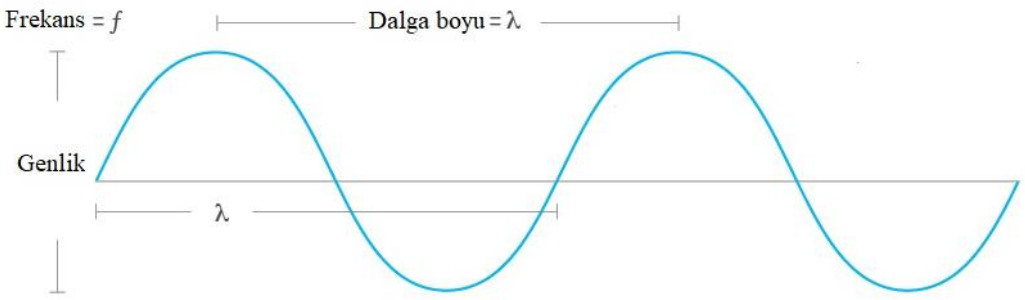
Ses dalga hareketi yapmaktadır. Titreşen bir cisimden ortama yayılan ses dalgalarının sıkışma ve gevşeme bölgeleri oluşturarak hareket etmesiyle, ortamdaki parçacıklar da titreşir. λ sembolü ile temsil edilen dalga boyu, herhangi bir zamandaki iki komşu dalga arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Kalın sesler düşük frekanslıdır ve dalga boyları uzundur. İnce sesler ise yüksek frekanslıdır ve dalga boyları ise kısadır (Şekil 2.2) (Demirkale, 2007).

2.1.3. Frekans ve periyot

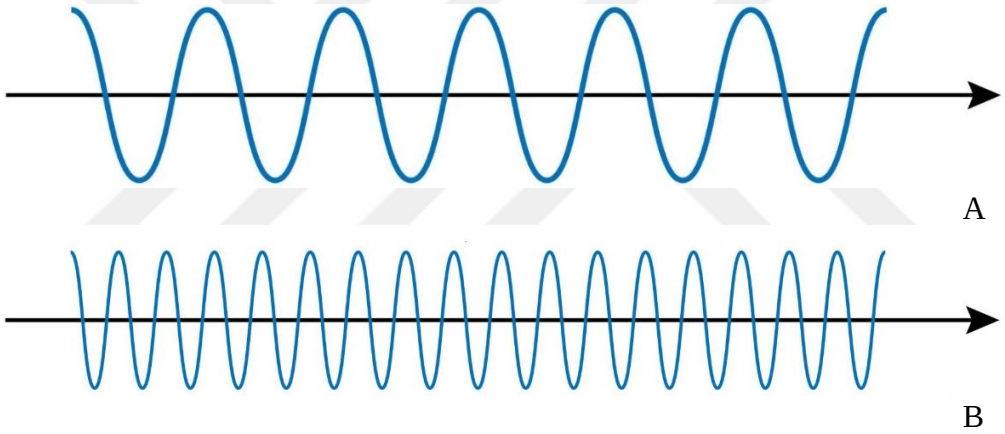
Ses dalgalarının her biri bir önceki dalgayı takip eder. Bir parçacığın bir saniyedeki yer değiştirme, salınım ya da titreşim sayısına, frekans veya devir denir. Frekans (f), birim zamanda üretilen dalga miktarıdır (Şekil 2.2). Birimi Hertz (Hz) dir. İnsan kulağı yaklaşık olarak 20-20.000 Hz aralığındaki sesleri duyabilmektedir. 20 Hz altı frekanslara infrasonik, 20kHz üzerindeki frekanslara ultrasonik frekanslar denir. İki sıkışma (maksimum basınç) veya iki gevşeme (minimum basınç) bölgesi arasındaki geçen

zamana ya da titreşim için geçen süreye periyot (T) denir. Birimi saniyedir. Periyot frekansın tersidir. Periyot ve frekans arasındaki denklem şu şekildedir (Demirkale, 2007):

$$T=1/f \tag{2.1}$$



Şekil 2.1. Ses dalgasının hareketi, dalga boyu, frekans ve genlik.



Şekil 2.2. Frekans gösterimi. **A)** Düşük frekans **B)** Yüksek Frekans

2.1.4. Yer değiştirme genliği ve sesin yayılma hızı

Bir parçacığın merkez çizgisinden maksimum uzaklığına yer değiştirme genliği (amplitude) denilir. Genliğin azlığı veya çokluğu, ses şiddetinin azlığını veya çokluğunu ifade eder. Frekansı değişmeyen bir titreşimde, genliğin artması ile ses şiddeti artar. Örneğin piyano çalarken tuşlara sertçe ve hızla vurulması, o tuşa bağlı telleri daha fazla titreşeceğinden, genliği artırır ve ses daha kuvvetli duyulur. Sesin katılar içinde yayılma hızı, havadaki hızına göre çok daha yüksektir. Çünkü katı cisimleri oluşturan parçacıklar birbirine daha yakındır ve bu nedenle ses dalgalarının etkisiyle parçacıklar birbirleriyle daha kolay ve hızlı temas edebilirler. Dalga hızı c ile gösterilecek olursa, frekans ve dalga boyu arasındaki denklem şu şekildedir (Demirkale, 2007):

$$c = f * \lambda \quad (2.2)$$

2.1.5. Ses şiddeti

Bir noktasal kaynaktan çıkan ses dalgası, başka bir ses kaynağı ya da yansıtıcı yüzeyler olmayan serbest bir alanda, giderek büyüyen küresel bir geometriyle yayılır. Belirli bir doğrultuda, birim küresel alandan geçen ses gücünün ortalama miktarına ses şiddeti denir. Birimi Watt/ cm^2 dir. I ile gösterilir. Ses gücü ve küresel alan arasındaki denklem şu şekildedir (Demirkale, 2007):

Ses şiddeti = Ses Gücü (Watt) / Toplam Küresel Alan (cm^2)
d: Bir dalganın ses kaynağına uzaklığı

$$I = W / 4*\pi*d^2 \quad (2.3)$$

Ses şiddeti, hem enerji hem de yön bilgisini kapsayan, akustik dalga alanlarını tanımlayan vektörel bir niceliktir (Zuo vd., 2019).

2.1.6. Ses yüksekliği seviyesi ve ses basıncı

Ses yüksekliği, bir sesin ne kadar yüksek algılandığını yansıtan, genellikle desibel cinsinden ifade edilen öznel bir ölçümdür. İnsan kulağının ses yüksekliğine tepkisi logaritmiğe yakındır. Bu durum ölçülen ses yüksekliği seviyesi ile ses kaynağına olan mesafe arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı anlamına gelir (Salomons ve Janssen, 2011). Ses basıncı ise, sesin ilerlediği doğrultuda titreştirdiği hava moleküllerinin atmosferik basınçta meydana getirdiği değişimdir ve Pascal (Pa) cinsinden ölçülmektedir. Birim alana düşen ses kuvveti (N/m^2) olarak tanımlanmaktadır (Demirkale, 2007).

2.1.7. Akustik empedans ve rezonans

Akustik empedans, akustik basıncın neden olduğu akustik akışa karşı koymayı temsil eden bir parametredir (Hiremath vd., 2021). Bir kumaşın akustik empedansı, kumaşın hava akış direnci, yoğunluğu ve gözenekliliği gibi faktörlerden etkilenmektedir (Samuel vd., 2023).

Sesin iletildiği hava ortamında sistemlerden biri, bir aktivatör tarafından uyarılarak titreştirilip, diğer bir sistemin de titreşmesini sağlıyorsa, bu duruma rezonans denir. Rezonans sesi aksettirme demektir ve fiziksel bir olaydır (Yılmaz, 2001). Örneğin bir yapıdaki duvar katmanları arasında hava tabakası kalırsa, bu hava tabakası katmanların birleştiricisi gibi davranmaktadır. Eğer bu hava tabakasının kalınlığı sesin dalga boyundan daha küçük ise, tabakalar arasında kütle-hava-kütle rezonansı meydana gelmektedir. Bu nedenle yapı konstrüksiyon tabakalarının birbirinden ayrılması önemlidir. Eğer hava tabakası sesin dalga boyundan daha büyükse, hava tabakası ayrı bir oda gibi davranmaktadır. Bu da ses azaltıcı bir etkiye neden olmaktadır. (Demirkale, 2007).

2.2. Sesin Kapalı Mekânlarda Yayılması

Demirkale'ye (2007) göre sesler yayılma yollarına göre hava doğuşlu yayılan, katı doğuşlu yayılan ve açıklıklardan iletilen sesler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Hava doğuşlu sesler; açık pencereler ve asansör boşlukları gibi yerlerden bir bölücüye gelir ve o bölücüyü hareket ettirerek, sesin diğer mekâna geçmesine neden olur. Adım atma, zemine bir nesnenin düşmesi ve makinelerin titreşmesi vb. sesler katı doğuşlu yayılan sesler kategorisinde değerlendirilmektedir. Kapı ve pencerelerin etrafındaki ufak çatlaklardan ve deliklerden mekâna giren sesler, açıklıklardan iletilen sesler olarak sınıflandırılmıştır.

Sesin yayılmasını etkileyen faktörler arasında ses kaynağının özellikleri, çevrenin geometrisi ve meteorolojik koşullar yer alır (Schreiber ve Beckenbauer, 2013). Sesin yayılması, sesin engellerle, sınırlarla ve diğer ses dalgalarıyla karşılaştığında ortaya çıkan yansıma, saçılma, kırılma, yutum ve iletim gibi dalga olaylarını içerir (Medwin ve Clay, 1998).

2.2.1. Sesin yansıması

İnsan kulağı, bir mekân içinde ilk önce ses kaynağından doğrudan gelen sesi duyar. Sonrasında doğrudan gelen ses ve yansımanın olduğu ses yolları arasındaki uzunluk farkına dayanan bir süreden sonra yansıyan sesleri duyar. Eğer zaman gecikmesi 50 ms'nin üstündeyse, başka bir deyişle yol farkı 17 m den fazlaysa, yansımalar yankıları

artırır. Yansımanın olabilmesi için, sesin ulaştığı yüzeyin boyutunun dalga boyundan büyük olması gerekmektedir (Demirkale, 2007). Ses kaynağının etrafındaki yansıtıcı yüzeyler, insan kulağına gelen ses seviyesinde de bir artışa sebep olur. Bu artış yansıyan ses ışını sayısı, dolayısıyla yansıtıcı yüzey sayısı ile doğru orantılıdır (Demirkale, 2007). Fakat bir mekânda, yansımanın çok fazla ses yutumu ile tamamen kaybolması istenen bir durum değildir. Çünkü bu durum sesin zayıflamasına ve duyulabilirliğinin azalmasına sebep olur (Tekstil Teknik Dergisi, 2013).

2.2.2. Sesin saçılması

Sesin dalga boyu çarptığı yüzeyin boyutuna eşit olduğu zaman, ses dalgaları yüzeyden rastgele etrafa dağılır**.** Buna sesin saçılması denir. Özellikle konser salonlarında ve müzik kayıt stüdyolarında, sesin yeterli şekilde saçılıması ile istenmeyen akustik etkilerden kaçınılır. Sesin bir hacimde homojen bir şekilde saçılması; yüzeylerde girinti ve çıkıntı ya da malzeme farlılıkları gibi düzensizlikler yaratılarak, ses yansıtıcı yüzeylerin ve ses yutum malzemelerinin ardışık dizilmesi ile ve ses yutum malzemelerinin rastgele yerleştirilmesi ile sağlanabilmektedir (Demirkale, 2007).

2.2.3. Sesin kırılması

Ses dalgalarının bir nesne etrafında veya bir açıklık boyunca eğilmesi olayı sesin kırılması olarak tanımlanmaktadır. Kırılma, ses dalgasının boyu çarptığı nesnenin boyutundan büyükse gerçekleşir. Küçük, üniform ve pürüzsüz yüzeye sahip yansıtıcı yüzeyler, istenmeyen ses kırılmalarına neden olabilir. Örneğin, 120 cm x 25 cm boyutlarından daha büyük tavana asılı paneller kullanılarak, düzgün sıralı olmayan yumuşak oturma köşeleri tasarlayarak iç mekânlarda oluşabilecek istenmeyen ses kırılmalarının önüne geçilebilir (Demirkale, 2007).

2.2.4. Ses yutumu

Ses dalgası, bir engele ya da bir hacimdeki yüzeylerden birine çarptığında, enerjisinin bir kısmı yutulur. Demirkale (2007), ses dalgalarının bir malzeme içinden geçmesiyle ya da bir yüzeye çarpmasıyla, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesini ses yutumu olarak tanımlamaktadır. Ayrıca ses yutumu, ses dalgalarının ulaştığı bir engelin içeriğindeki malzemeler ve malzemedeki boşluklar vasıtasıyla absorbe edilmesi şeklinde

tanımlanmaktadır. Ses yutum katsayısı, sesin iletildiği alanda soğurulan enerjinin ve o alana gönderilen toplam enerjinin birbirine oranlanması sonucu elde edilir. (Günal, 2020).

I yutum: Yutulan Ses Şiddeti
I gelen: Gelen Ses Şiddeti

$$\alpha = I\ yutum / I\ gelen \tag{2.4}$$

Bir malzemenin ses yutum özelliği sabinle de ifade edilebilir. Sabin ses yutum katsayısıyla ses dalgalarına maruz kalan bölümünün alanının çarpımı ile hesaplanır (Günal, 2020).

2.3. Ses Yutum Katsayısı ve Ölçüm Yöntemleri

Akustik bir malzemenin ses yutum katsayısını ölçmek için yaygın olarak kullanılan iki standart ölçüm yöntemi vardır. Bunlar çınlama odası yöntemi ve empedans tüpü yöntemidir (Küçükali vd., 2020).

2.3.1. Çınlama odası yöntemi

Bu yöntemde, çınlama odası olarak adlandırılan odaya ses yutum malzemesi yerleştirilmeden odada çıkarılan ses ile çınlama süresi ölçülür. Daha sonra odaya ses yutum malzemesi yerleştirilir ve çınlama süresi tekrar ölçülerek meydana gelen değişim hesaplanır. Bu yöntemle malzemenin yutum katsayısı belirlenir. T_{60}; ses seviyesinin 60 dB düşmesi için gereken zamana çınlama süresi denir (Küçükali Öztürk vd., 2020).

2.3.2. Empedans tüpü yöntemi

Bu yöntemde, test edilecek üründen bir numune alınarak, uzun, doğrusal bir tüpün ucuna yerleştirilir. Daha sonra bir ses kaynağı tarafından oluşturulan ses dalgasının en yüksek ve en düşük basınç değişimleri elde edilerek malzemenin ses yutum katsayısı hesaplanır. Ses basıncı numuneye yakın iki noktadan ölçülür. Frekans aralığı, sesin verildiği iki mikrofon arasındaki mesafeye ve empedans tüpünün çapına göre ayarlanır. Bu yöntemde ölçüm işleminde kullanılan standart cihazlar; empedans tüpü aparatı, bilgisayar, sinyal üreteci, sinyal ölçer ve frekans ölçerdir (Küçükali Öztürk vd., 2020). Test sırasında numunenin köşelerinde boşluk kalmayacak şekilde empedans tüpüne yerleştirilmesi çok

önemlidir. Çünkü boşluk ses yutum katsayısının beklenenden daha fazla hesaplanmasına neden olacaktır. Ses yutum katsayısı ölçülürken, iki farklı ölçüm tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, iki mikrofonlu ölçüm tekniğidir. Bu yöntemde, empedans tüpü içerisinde farklı yönlere doğru yerleştirilen sabit mikrofonlar ile ses yutum katsayı belirlenir. İkincisi durağan dalga yöntemidir. Bu yöntemde, empedans tüpü içerisinde konumunu değiştirebildiğimiz bir mikrofon ile en yüksek ve en düşük ses basınç değerleri arasındaki fark hesaplanarak ses yutum katsayısı belirlenmektedir. Ayrıca empedans tüpü ile yapılan ölçümlerdeki frekans aralığı, tüpün boyutlarına ve mikrofonun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Büyük boyutlu empedans tüplerinde 50 Hz – 1,6 kHz frekans aralığında ölçüm yapılabilirken, küçük boyutlu empedans tüplerinde 500 Hz - 6,4 kHz frekans aralığında ölçüm yapılabilmektedir (Günal, 2020). Bu sınır frekans değerleri cihazdan cihaza küçük farklılıklar gösterebilmektedir.

2.4. Ses Yalıtımının ve Ses Yutumunun Karşılaştırılması

Çeşitli disiplinlerde tanımlandığı şekliyle gürültü; bireylere ve çevreye zararlı etkileri olabilecek istenmeyen yüksek sesleri ifade eder (Sotoodeh, 2023). Gürültüden iki yolla korunulur. Bunlar ses yutumu (ses emilimi, ses absorbsiyonu) ve ses yalıtımıdır.

Ses yutum malzemeleri ve yapıları, ses enerjisini yutarak bir ortamdaki ses yansımalarını azaltmaktadır. Ses yutumu; gözenekli ses yutum katmanları, rezonans ses yutum birimleri ve ayarlanabilir ses yutum boşlukları aracılığıyla elde edilebilmektedir. Ses dalgalarının etkisi ile ilerleyen hava parçacıkları, ses yutum malzemesi içinde sürtünmeye maruz kalır. Sürtünme sebebiyle ses enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Böylece sesin enerjisi azalır. Ses yutumu, ses kaynağından çıkan sesin ne kadarının, kaynağın bulunduğu ortamın içinde yutulduğunu belirtir. (Demirkale, 2007). Ses yutumu, gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses yutum ortalaması (SAA) parametreleri ile ifade edilebilmektedir. Gürültü azaltma katsayısı, bir malzemenin 1/3 oktav bandında 250 Hz - 2000Hz frekans aralığındaki ses yutum katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanırken, ses yutum ortalaması 1/3 oktav bandında 250 Hz - 2500Hz aralığındaki 12 farklı frekansta ses yutum katsayısı değerlerinin ortalamasının alınmasıyla hesaplanmaktadır (Keskin, 2021). Tek tek frekanslarda akustik analizler yapmak zordur. Frekans adedi 20000'e kadar çıkmaktadır. Bu nedenle akustik analizler için frekanslar belli aralıklara

bölünmüştür. Bu aralıklara oktav bandı denilmektedir. Bir oktav bandının üst limit frekansı alt limit frekansının iki katıdır (Demirkale, 2007).

Mimaride, yapı elemanları yolu ile iletilen seslerin düzeylerini düşürmek için yapılan tüm uygulamalar ses yalıtım önlemleri olarak adlandırılmaktadır (Demirkale, 2007). Örneğin bina dış kabuğunu oluşturan yalıtım malzemelerinin özelliklerine ve tasarımına bağlı olarak dışarıdan gelen gürültünün içeriye iletimini önlemek bunlardan biridir (Kaya ve Dalgar, 2017). Ses iletim kaybı, ses enerjisinin duvar gibi bölücü bir bariyerden geçerken azalması anlamına gelir. Desibel (dB) cinsinden ölçülür ve bariyerin ses iletimini engellemedeki etkinliğini gösterir. Ses iletim kaybı ses yalıtımı ile ilgili bir kavramdır (Demirkale, 2007).

Temel olarak ses yutumu, bir mekân içindeki ses yansımalarını azaltmakla ilgilenirken, ses yalıtımı, sesin mekânlar arasında iletimini engellemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda ses iletim kaybı ve ses yutum katsayısının ayrı hesaplandığını ve bir malzemenin veya yapının bir yöndeki performansının mutlaka diğer yöndeki performansını göstermediğini unutmamak gerekir.

2.5. Viskoz ve Termal Karakteristik Uzunluk

Viskoz karakteristik uzunluk; yüksek frekanslarda sıvıyla doymuş gözenekli ortamın akustik davranışını tanımlamak için kullanılan bir parametredir. Bu parametre, yüksek frekans sınırındaki ses dalgalarının zayıflamasının ölçülmesiyle belirlenir (Leclaire vd., 1996). Termal karakteristik uzunluk; orta ve yüksek akustik frekanslardaki termal etkileri tanımlamak için kullanılan bir parametredir (Jaouen, t.y.). Viskoz ve termal karakteristik uzunluklar, sırasıyla viskoz ve termal kayıplarla ilgili gözeneklerin ortalama makroskopik boyutlarıdır. İlki daha küçük gözeneklerin ortalama yarıçapı, ikincisi ise daha büyük gözeneklerin ortalama yarıçapı olarak tanımlanır (Mecanum, 2023). Viskoz kayıp, malzemelerin içindeki viskoz hava akışı ile ses enerjisinin zayıflaması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda viskoz karakteristik uzunluk, gözenekli yapı içerisinde hava parçacıkları ve ses dalgaları arasındaki sürtünmeden kaynaklanan viskoz kayıpların ağırlıklı olarak meydana geldiği ölçeği ifade eder. Hava moleküllerinin gözenek duvarlarıyla sürtünmesinden kaynaklanan termal kayıplar ise, gelen ses dalgasının akustik malzemede daha hızlı dağılmasına yol açar. Bu bağlamda termak karakteristik

uzunluk, hava ortamındaki ses dalgalarının karşılaştığı direncin neden olduğu termal kayıpların (öncelikle ses dalgalarının akustik malzeme içindeki dağılımını) etkilediği ölçeği yansıtır (Cao vd., 2018). Bu karakteristik uzunlukları anlamak, farklı frekans aralıklarında ses yutum performansını artırmak amacıyla gözenekli malzemelerin tasarımını geliştirmek için önemlidir.

2.6. Ses Yutum Malzemeleri ve Sınıflandırılması

Özellikle yumuşak gözenekli malzemeler, çevrelerini saran ve kendilerine çarpan ses dalgalarının önemli bir kısmını yutarlar. Yoğun sert malzemeler ise genellikle yansıtıcı özellik göstermektedir. Yumuşak gözenekli malzemeler olarak açık gözenekli akustik poliüretan köpük ile farklı yüzey sekillerinde ve kalınlıklarda poliüretan sünger malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler ile birlikte, duvarda, tavanda ve döşemede yapılan yüzey uygulamalarının; perdeler, kumaş kaplı koltuklar ve halı gibi mekânı tamamlayan lifli malzemelerin; panel ya da zar benzeri malzemelerin ses yutumuna katkısı vardır. Genellikle lifli malzemeler olarak, doğal liflerden üretilen dokuma ve örme kumaşlar, mikroliflerden elde edilen kumaşlar, geri dönüştürülmüş dokusuz yüzeylerden elde edilmiş kumaşlar ve cam yünü kullanılmaktadır. Ayrıca havanın da ses yutumuna katkısı vardır. 0,20 den daha büyük ses yutum katsayısına sahip malzemeler ses yutum malzemesi, 0,20 den düşük ses yutum katsayısına sahip olanlar ise ses yansıtıcı malzeme olarak sınıflandırılmaktadırlar (Demirkale, 2007; Öz ve Köse, 2020).

2.6.1. Poliüretan süngerler

Düşük yoğunluklu hafif süngerler ve gözenekli malzemeler, zayıf ses yalıtım malzemeleridir. Bu malzemeler bir mekân içinde yayılan gürültünün azaltılmasında yani ses yutumunda etkilidir ama dışarıdan gelen gürültülerin önlenmesi için yapılan ses yalıtımı uygulamlarında etkisizdir. Çünkü hava molekülleri sünger gibi gözenekli malzemelerin kolayca içine girip ses yutumuna katkı sağlayabilir fakat sesin iletimini engelleyemez (Demirkale, 2007; Kaya ve Dalgar, 2017; Öz ve Köse, 2020;).

Sabbagh ve Elkhateeb (2019) tarafından yapılan çalışmada, poliüretan süngerlerin monte edildiği yüzey ile arasındaki hava boşluğunun artırılmasıyla, özellikle düşük frekanslarda ses yutum performanslarının artırılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca araştırma sonuçlarında,

süngerin kalınlığının ses yutum üzerinde, süngerin yoğunluğundan daha güçlü bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. En iyi ses yutum performansına, malzeme monte edildiği yüzeyden en az 5 cm uzaktayken ulaşıldığı görülmüştür.

Mitrevska vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada poliüretan sünger atıklarının yeniden birleştirilmesiyle üretilen malzemenin akustik özelliklerinin; kalınlığın ayarlanmasıyla, hava boşlukları eklenip veya çıkartılmasıyla ve gözenek yapısının değiştirilmesiyle geliştirilebileceği belirtilmiştir. Üretilen malzemenin kalınlığının arttırılmasıyla ve monte edildikleri duvar ile arasına hava boşluğu eklenmesiyle, ses yutum değerinin düşük frekanslara doğru artığı gözlemlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda düşük ile orta frekans aralığında ses yutumunun iyileştirilebileceği vurgulanmıştır.

Atiénzar-Navarro vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların geri dönüştürülmüş delikli poliüretan süngerlerle birleştirilmesiyle, özellikle orta frekanslarda ses yutumunun artırılabileceği gösterilmiştir.

2.6.2. Lifli malzemeler

Bir malzeme ne kadar lifli olursa, ses yutum kapasitesi o kadar iyi olur. Ancak düşük frekanslı seslerin dalga boyları daha uzun olduğundan, liflerle etkileşime girmeleri ve yutulmaları zordur. Bu nedenle lifli akustik bir yüzeyin arkasına hava boşluğu eklemek, bir tampon görevi görerek, düşük frekanslardaki ses yutum kapasitesini artırabilir (Belakova vd., 2018). Küçükali Öztürk vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada doğal liflerin ses yutum özelliği üç fiziksel duruma bağlanmıştır. İlk fiziksel durum, ses enerjisinin bir kısmının, lifler ve hava boşlukları arasında yarattığı viskoz etkiyle azalarak ısıya dönüşmesi olarak tanımlanmıştır. İkinci fiziksel durum, liflerin birbirlerine sürtünmesi ile lifler arasındaki sıcaklık farklarından dolayı ısı transferinin gerçekleşmesiyle açıklanmıştır ve bu izotermal sürecin sonucunda ses enerjisinin dağıldığı belirtilmiştir. Son olarak, liflerin içerisindeki havanın titreşiminin liflerin titreşimine neden olması ile ses enerjisinin yayılmasının sağlanabildiğine değinilmiştir.

2.7. Kumaşların Ses Yutumunu Etkileyen Parametreler

Yapılan çalışmalarda, ses enerjisinin dağılması ve ses yutumunu artırmak için kumaş parametrelerinin uygun aralıklarda seçilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Lif çapı,

gözeneklilik oranı, kıvrımlılık, malzeme kalınlığı ve hava boşluğu gibi parametrelerin toplu olarak ele alınmasıyla kumaşların ses yutum kapasitesinin belirlenebileceğini öne sürülmüştür (He vd., 2022; Patil vd., 2022). Kumaşın dokuma tipi, gözenek yüzeyinin pürüzlülüğü de ses yutumunu etkileyen faktörler arasında sayılmaktadır. Farklı frekans aralıklarında farklı ses yutum kapasiteleri gösteren farklı dokuma yapıları, dokuma kumaşların gürültü azaltma verimliliğini önemli ölçüde farklılaştırılabilmektedir (He vd., 2022). Saffari vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, kumaşların ses yutum katsayısının; yoğunluk, lif kesit şekli, iplik düzeni ve hava akış direnci gibi parametrelerden etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca kalınlığın artırılmasıyla ve hava geçirgenliğin azaltılmasıyla ses yutumunun artırılabileceği bilgisi verilmiştir. Diaz Mena ve Aygün, (2023) tarafından yapılan çalışmada boya türü, boyalı alan dağılımı ve kumaş türünün akustik özellikleri etkilediği ve bu parametrelerin etkili bir şekile kombine edilmesinin, ses yutumunun artmasına yardımcı olabileceği belirtilmiştir.

Bu bölümde, gözeneklilik, lif çapı, lif yoğunluğu, iplik bükümü, malzemenin bileşimi ve kalınlığı, kıvrımlılık, yüzey empedansı, malzeme arkasında bırakılan hava boşluğu, yüzey işlemleri, yapıştırma yöntemleri, katkı maddelerinin varlığı, hava akış direnci, gibi parametrelerin ses yutumunu etkileme mekanızması detaylandırılmıştır.

2.7.1. Gözeneklilik

Gözeneklilik lifli malzeme içindeki boş alanları veya boşlukların miktarını ifade etmektedir. Hacimli, lifli ve gözenekli malzemeler, birbirine bağlı hava dolu gözenekli yapısı ile ses dalgalarının girip hapsolmasına ve iletilmesine izin vererek ses enerjisinin hava hareketi yoluyla malzeme içinde sürtünerek yayılmasını kolaylaştırır. Birbirine bağlı gözenekler arasında kalan hava parçacıklarının hareketi hava akışını ifade eder. Ses dalgaları gözeneklerden geçerken, malzeme ile arasındaki etkileşim nedeniyle sürtünme kayıpları yaşar ve bunun sonucunda ses enerjisi ısıya dönüşür. Gözeneklerin içinde sıkışan hava aynı zamanda ses enerjisinin viskoz kayıplar yoluyla ısıya dönüştürülmesi için bir ortam görevi görür. Ayrıca gözenekli malzemelerin karmaşık içyapısı, ses dalgalarının malzeme içinde çoklu yansımasına neden olur, sesin ilerlediği yolun uzunluğunu artırır ve böylece ses dalgalarının zayıflamasına yol açar. Ek olarak, gözenekli malzemelerdeki havayla dolu gözenekler, rezonans etkiler yoluyla ses

dalgalarının belirli frekanslarını yutarak rezonatör görevi görebilirler. Gözenekli malzemeler genellikle geniş bir yüzey alanına sahiptir. Geniş yüzey alanı daha fazla ses dalgası-malzeme etkileşimine izin vererek ses yutumunu artırır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar gözeneklerin sayısı, boyutu, dağılımı ve şeklinin de kumaşların ses yutum performansını etkilediğini göstermektedir. Uygun bir aralıkta gözenekliliğin artırılması, enerji dağılımını artırabilmektedir ve bu durum ses yutum performansını iyileştirebilmektedir (Demirkale, 2007; Dunne vd., 2017; He vd., 2022; Hui ve Fan 2009; Samuel vd., 2023; Süvari vd., 2013; Tang ve Yan; 2017; Wang ve Tang, 2022).

2.7.2. Lif çapı ve lif yoğunluğu

Lif inceliği, bir malzemedeki tek tek liflerin çapını veya kalınlığını ifade eder. Yapılan çalışmalarda lif çapının, kumaşların akustik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Gözenekli yapılar üretilirken, ince lifler kullanılarak daha fazla sayıda daha küçük gözenekler oluşturabilir. Böylece ses dalgası etkileşimi için birim hacim başına düşen lif miktarı ve mevcut yüzey alanı artırılabilir. Bunun sonucu olarak, lifler ses dalgalarıyla daha çok etkileşime girer ve hava akışı direnci artar. Artan yüzey alanı, ses dalgaları malzemenin içinden geçerken sürtünme kayıplarını artırır ve bu da ses yutum özelliklerinin iyileştirilmesine yol açar. Ayrıca ince lifler, basınç dalgalanmalarına maruz kaldıklarında kalın liflere göre daha kolay hareket edebilirler. Tüm bu sebeplerden dolayı genellikle ince liflerin kullanılmasıyla ses yutumunda artış gözlemlenir (Süvari vd., 2018; Tang ve Yan, 2017).

Lif yoğunluğu; lifli malzemenin birim hacminin lif ağırlığını tanımlar. Birim hacim ağırlığındaki artış, artan yüzey sürtünmesi nedeniyle ses dalgalarının daha fazla enerjiyi dağıtmasına ve böylece ses yutum performansının artmasına neden olabilir. Birbirinden çok uzakta bulunan liflere sahip çok düşük yoğunluklu malzemelerin akustik enerjiyi düşürme yetenekleri daha azdır. Bununla birlikte, çok yüksek yoğunluklu malzemeler yüksek yüzey yansımasından kaynaklı düşük akustik nüfuziyetten dolayı ses yutumunda yetersiz kalabilirler (Dunne vd., 2017; Hui ve Fan, 2009; Tang ve Yan, 2017). Bu nedenle lif yoğunluğunun hedeflenen frekans aralıklarına göre ayarlanması önemlidir.

2.7.3. İplik bükümü

İplik bükümü, bir iplikteki liflerin spiral veya sarmal düzenini ifade eder. İplikteki büküm seviyesi lifli yapının gözenekliliğini ve yoğunluğunu etkileyebilir. İplik bükümü malzemenin yapısal bütünlüğünü ve sertliğini etkileyebilir. Bu durum da ses dalgalarının yapı boyunca yayılma şeklini etkileyerek akustik davranışını değiştirebilir. Çok yüksek iplik büküm seviyeleri, ipliğin kompaktlığının artmasıyla beraber ipliklerin içindeki boşluk miktarını azalmasına neden olur. Bu durum kumaşın gürültü azaltma katsayısında düşüşe (NRC) neden olarak ses yutum performansını azaltıcı etki yapabilir (Soltani ve Zarrebini, 2013; Tang ve Yan, 2017).

2.7.4. Malzeme kalınlığı

Ses dalgaları daha kalın bir malzemeden geçerken daha fazla yüzeyle karşılaşır, bu da birden fazla yansımaya ve saçılmaya yol açarak daha fazla ses yutumuna neden olur. Artan kalınlık, ses dalgalarının seyahat etmesi için daha uzun bir yol sağlayarak, daha uzun süren viskoz ve termal kayıplara neden olur. Bu durum ses enerjisinin sürtünme yoluyla ısıya dönüştürülmesine katkıda bulunur. Daha kalın malzemeler aynı zamanda daha geniş bir yüzey alanına sahiptir, bu da ses dalgaları ile malzeme arasındaki temas alanını artırarak ses yutumunu artırabilir. Ayrıca daha kalın malzemelerin ilave kütlesi, ses titreşimlerinin sönümlenmesi yoluyla zayıflatılmasına yardımcı olduğundan, ses yutumunun iyileştirilmesine de katkıda bulunabilir. Etkin kalınlık, gelen ses dalgasının dalga boyuyla ilişkilidir. Örneğin daha kalın malzemeler daha düşük frekanslarda iyi bir ses yutum özelliği sergilenmesini sağlar. Gözenekli bir malzemede etkili ses yutumu, malzemenin kalınlığı gelen ses dalgasının dalga boyunun uzunluğunun yaklaşık onda biri olduğunda elde edilir. Özetle, daha kalın malzemeler; artan ses dalgası etkileşimi, daha uzun ses yolları, artan yüzey alanı ve ek kütle nedeniyle daha geniş bir frekans aralığında daha fazla ses yutum kapasitesi sunar (Dunne vd., 2017; Tang ve Yan 2017).

Malzemenin kalınlığının artırılması, daha çok uzun dalga boyuna sahip düşük frekanslı seslerin yutumunu belirgin bir şekilde artırmaktadır. Malzeme kalınlığı belirli bir değere ulaştığında orta ve düşük frekanslı ses dalgalarının yutumunu artırılabilir ancak yüksek frekanslı ses dalgalarının yutumu önemli ölçüde etkilenmeyebilir (Wang ve Tang, 2022).

2.7.5. Kıvrımlılık

Bir malzeme içindeki ses yolunun düzensizliğini ve karmaşıklığını ifade eden kıvrımlılık, lifli malzeme içindeki hava yollarının sarılma veya bükülme derecesini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Lifli malzemelerde daha yüksek kıvrımlılık, ses dalgalarının daha karmaşık bir yol boyunca ilerlemesi gerektiği anlamına gelir ve bu da ses enerjisinin daha fazla yutulmasına yol açar (Dunne vd., 2017; Hui ve Fan, 2009; Tang ve Yan, 2017).

2.7.6. Yüzey empedansı

Malzemelerin yüzey empedansı, malzemelerin ses dalgalarına karşı direncini temsil eder ve onların gelen ses enerjisiyle etkileşimini etkiler. Etkili ses yutumu için, ses yutum malzemesinin yüzey empedansının havanın dalga empedansına mümkün olduğunca yakın olması istenir. Bir malzemenin yüzey empedansını arttırmak, onu daha sert ve daha yoğun hale getirerek, yüzeyden daha fazla enerjinin yansımasına yol açar. Bu da ses yutumunu olumsuz etkiler. Gözenekli ses yutum malzemelerinin ses yutum özelliklerini geliştirmek için yüzey empedansında doğru dengenin sağlanması önemlidir (Dunne vd., 2017).

2.7.7. Malzeme arkasında bırakılan hava boşluğu

Malzemelerin arkasındaki hava boşluğu, akustik özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Hava boşluğu, ses dalgalarının yüzeye ulaşmadan önce boşluk içinde yansımasına ve dağılmasına izin vererek ek bir ses yutum katmanı gibi davranır. Hava boşluğunun artırılması, özellikle hava boşluğunun bir rezonatör görevi gördüğü belirli frekanslarda, malzemenin ses yutum performansını artırabilir. Ancak belirli bir noktadan sonra hava boşluğunun daha da artırılması ile ses yutumundaki artış yavaşlayabilir (Dunne vd., 2017; Hui ve Fan, 2009). Demirkale'nin (2007) kitabında tekstil gibi gözenekli ses yutum malzemelerinin yüksek frekanslarda daha verimli sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Fakat yapılan deneyler sonucunda, 30 cm kalınlığında gözenekli bir ses yutum malzemesinin duvarla arasında 5 cm hava boşluğu kalacak şekilde monte edilmesiyle, düşük frekanslarda da ses yutum performansının artırılabileceği belirtilmiştir.

2.7.8. Malzeme bileşimi ve yüzey işlemleri

Bir malzemenin bileşimi, malzemenin yoğunluğunu etkilediği için farklı frekanslardaki ses dalgalarını yutum yeteneğini de belirler. Yüksek yoğunluklu malzemeler, düşük yoğunluklu malzemelerle karşılaştırıldığında farklı ses yutum özellikleri sergileyebilmektedir (Dunne vd., 2017).

Yüzey işlemleriyle, yüzey özellikleri değiştirilerek ve gözeneklilik artırılarak ses dalgalarının malzemelere daha iyi nüfuz etmesi ve yutulması sağlanabilir. Yüzey işlemleri yoluyla malzemenin yüzeyinde delikler, oluklar veya dokulu yüzeyler oluşturabilir ve ses yutumu için mevcut yüzey alanını artırabilir. Yüzey işlemleri, belirli frekans aralıklarına veya ses yutum gereksinimlerine göre uyarlanabilir, bu da bir malzemenin veya yapının akustik performansının özelleştirilmesine ve geliştirilmesine olanak tanır. Uygun yüzey işlemi, ses yansımalarını ve yankılanmaları azaltmaya yardımcı olarak bir alanın genel akustik kalitesini iyileştirebilir ve gürültü seviyelerini azaltabilir (Tang ve Yan, 2017).

2.7.9. Yapıştırma yöntemleri, katkı maddelerinin varlığı ve üretim süreci

Yapıştırma yöntemleri, katkı maddelerinin varlığı ve üretim süreci, malzemenin akustik özelliklerini etkileyebilir (Dunne vd., 2017; Tang ve Yan, 2017). Örneğin binder ile karıştırılan malzemelerin gözeneklilik oranı azalabilir ve bu nedenle belirli frekanslarda daha düşük ses yutum katsayıları gözlemlenebilir. Bu nedenle kullanılan binderin içeriği, konsantrasyonu ve miktarı önemlidir (Asdrubali vd., 2012).

2.8. Atkı İpliği Sıklığı, Katı Hacim Oranı, Örtme Faktörü, Hava Geçirgenlik ve Hava Akış Direnci

Atkı ipliği sıklığında, katı hacim oranında (SVF), örtme faktöründe yapılacak değişiklikler ile dokuma kumaşların ses yutum performansını etkileyen parametrelerin hedeflenen frekanslara göre ayarlanması mümkünüdr. Bu bölümde atkı ipliği sıklığı, örtme faktörü, SVF, hava geçirgenlik ve hava akış direnci kavramları ile bunların birbiriyle bağlantısı ve ses yutum özelliklerine etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

2.8.1. Atkı ipliği sıklığı

Atkı ipliği sıklığı, kumaşın 1 cm uzunluğu başına düşen atkı ipliği sayısıdır. Atkı ipliği sıklığındaki artışla beraber birim hacim başına da daha fazla lif düşer. Bu durum dokuma kumaşın birim ağırlığında da artışa neden olmaktadır. Ayrıca atkı ipliği sıklığındaki artış nedeniyle dokuma kumaşların gözenek boyutları küçülmektedir. Buna bağlı olarak da kumaşın hava akış direnci artmaktadır. Bununla birlikte, atkı ipliği sıklığında yapılacak değişiklikler, kumaşın katı hacim oranını (SVF) etkileyebilmektedir (Dülek, 2022).

2.8.2. Katı hacim oranı

Katı hacim oranı (SVF), katı parçacıkların kapladığı toplam hacmin oranını ifade eder. Belirli bir hacimdeki katı parçacıkların yoğunluğunun bir ölçüsüdür (Nagawkar vd., 2022). Tekstilde SVF, kumaşların sıkışıklık ve katılığı ile ilgili bir değer olarak tanımlanmaktadır (Dülek, 2022). Süvari vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada SVF; katı malzeme hacminin kumaşın toplam hacmine oranı olarak tanımlanmıştır.

SVF'deki değişimler kumaşların hacimsel gözenekliliğini etkilemektedir. Çok katlı lifli malzemeler sıkıştırıldıkça, birim hacmine düşen lif sayısı artış göstermektedir ve bu nedenle malzemenin gözenekleri küçülmektedir. Böylece SVF ve hava akışına karşı direnç de artmaktadır. Bu nedenle malzemenin küçülmüş gözeneklerinin içinde uzun dalga boylarındaki sesler ilerleyememektedir. Bu koşullarda düşük frekanslı ses dalgaları malzemeyi titreştirmektedir ve rezonans tipi ses yutumu gerçekleşmektedir (Dülek, 2022). Özetle, dokuma bir kumaşın gözenekliliği ve kalınlığı değiştirilerek katı hacim oranında ayarlamalar yapılabilir. Böylece ses yutum özelliklerini geliştirebilir.

Zhang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, aynı yığın yoğunluğunda daha düşük katı hacim oranına sahip atık kenevir lifinin, yüksek frekanslı ses yutumunun düşük frekanstaki ses yutumuna kıyasla çok daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Zhu vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, lif çapındaki artışın SVF'de artışa neden olabileceği belirtilmiştir. Lifli ortamın uzunluğunun ve yüksekliğinin SVF üzerinde az bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

2.8.3. Örtme faktörü

Örtme faktörü, kumaşın bir yönünde dizilmiş ipliklerin birbirine olan yakınlığı ile ilgili bir parametredir. Dokuma kumaşlarda örtme faktörü, ipliklerin kumaş üzerindeki yüzey kaplama miktarını ifade eder. Dokuma kumaşların çözgü ve atkı ipliklerinden oluşan iki örtme faktörü mevcuttur. Kumaşın atkı ve/veya çözgü sıklıkları artıkça ipliklerin birbirine yakınlığı arttığı için, kumaş yüzeyini daha fazla iplik kaplar ve örtme faktörü de buna bağlı olarak artış gösterir. Bu durum kumaşın yoğunluğunu artırırken gözenekliliğin azalmasına neden olur. Örtme faktörü bu nedenle çözgü ve atkı iplik sıklıklarıyla doğru orantılıdır fakat çözgü ve atkı iplik numaralarıyla ters orantılıdır (Akaç, 2022).

Dülek (2022) tarfından yapılan çalışmada, dokuma kumaşlarda atkı ipliği sıklığı artışıyla beraber, atkı ipliklerinin çözgü iplikleri ile yaptığı kesişim artığı vurgulanmıştır. Ayrıca atkı ipliği sıklığı arttıkça çalışmada kullanılan şönil ipliklerinin birbirine yakınlaştığı ve kumaşa hacim veren hav ipliklerinin bu yakınlaşmayla sıkıştığı belirtilmiştir. Tek ve iki katlı bezayağı dokuma kumaşlarda yapılan ölçümler sonucunda, atkı ipliği sıklığı artıkça kumaş kalınlığında düşüş gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada bu durumun havların sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan testler sonucunda, üç katlı bezayağı kumaşlarda atkı ipliği sıklığı arttıkça düşük frekanslarda daha iyi ses yutum özellikleri görülmüştür. Bunun tersine, yüksek frekanslarda ise ses yutum katsayısında düşüş olmuştur. Çünkü atkı ipliği sıklığı arttıkça daha yüksek katı hacim oranına (SVF) sahip olan kumaşların hava akış direnci de artmıştır. Ayrıca birim hacim başına daha fazla lif düşmesiyle kumaşlar daha az gözenekli hale gelmiştir. Böylece daha sıkı bir yapıya sahip olan kumaşın titreşerek rezonans tip ses yutum özelliği sergilediği düşünülmektedir. Rezonans tip ses yutum malzemeleri özellikle düşük frekans aralıklarında etkili olan malzemelerdir. Yapılan testlerin sonucunda, genel olarak katı hacim oranının (SVF) atkı ipliği sıklığı artıkça yükseldiği görülmüştür.

2.8.4. Hava geçirgenlik ve hava akış direnci

SVF, gözeneklilik, lif çapı, iplik numarası, çözgü ve atkı ipliği sıklığı ve çözgü ve atkı kıvrılması, dokuma tipi gibi parametreler kumaşın hava geçirgenliğin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Tüm bu faktörler birbiriyle bağlantılı ve aralarındaki ilişki karmaşıktır. Daha yüksek SVF, gözenekliliğin azalması ve lif yoğunluğunun artması

nedeniyle hava geçirgenliğinin azalmasına neden olabilir. Daha büyük gözenekler genellikle daha yüksek hava geçirgenliğine yol açarken, artan kalınlıkla beraber kumaşlar daha düşük hava geçirgenliği gösterebilir. Çözgü ve atkı ipliklerinin birbirleri arasından geçmesinden kaynaklı oluşan kıvrımlı yapının artması da hava geçirgenliğinin azalmasına neden olabilir. İplik numarası ve çözgü ile atkı ipliği sıklığı, kumaş gözenekliliğinin ve yapısının belirlenmesinde rol oynayarak hava geçirgenliğini etkileyebilir (Jordeva vd., 2016; Payen vd., 2012).

Ayrıca kesişen sıkılık faktörü (CFF), yüzer iplik faktörü (FYF) ve kumaş sıkılık faktörü (FFF) gibi dokuma parametreleri kumaşın hava akış direncinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bezayağı dokuma kumaşta kesişen sıkılık faktörü (CFF), kesişen ipliklerin ve kesişim noktalarının sayısına göre hesaplanır. Örneğin, sekiz adet kesişen ipliği ve dört adet kesişim noktası olan bezyağı bir dokuma kumaşın CFF değeri ikidir. Farklı kesişen sıkılık faktörüne sahip kumaşlar gözeneklilik, yoğunluk ve sonuçta hava akış direncinde farklılıklar gösterebilir. Daha yüksek kesişen sıkılık faktörü, artan kesişim noktaları nedeniyle daha karmaşık dokuma desenleri gösterebilir ve bu da potansiyel olarak kumaş özelliklerinde ve performansında farklılıklara yol açabilir. Daha düşük bir CFF ile karakterize edilen uzun yüzme yapan kumaşlar daha düşük hava akış direnci sergileme eğilimindedir. Yüzer iplik faktörü (FYF) kumaş yapısındaki yüzen parçaların uzunluğunu değerlendirir. Kumaş yapısındaki daha uzun yüzmeler daha fazla açık alan yaratarak havanın daha kolay geçmesine olanak tanır, bu da hava akış direncinin azalmasına neden olur. Bunun tersine, daha kısa yüzmeler, kumaşta daha az açık alana neden olur. Bu da havanın geçerken daha fazla engelle karşılaşmasına neden olur, dolayısıyla hava akışına karşı direnç artar. Kumaş sıkılık faktörü (FFF) bir kumaşın sıkılığını veya kompaktlığını değerlendirmek için kullanılan bir parametredir. Kumaş sıkılık faktörü, bir kumaşta ipliklerin ne kadar sıkı veya gevşek bir şekilde birbirine dokunduğunun anlaşılmasına yardımcı olur ve bu da hava akış direncini etkileyebilir (Thanikai Vimal, 2016; Thanikai Vimal vd., 2016).

Tüm parametrelerde yapılacak en uygun değişikliklerle malzemelerin ses yutum performansını artırmak mümkündür. Demirkale'nin (2007) kitabında, daha küçük ve daha fazla birbirine bağlı gözeneklerin genellikle ses yutumunu artırıcı etki yaptığı belirtilmiştir. Tang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların arkasına

hava boşluğu eklendiğinde, 250Hz - 1000Hz aralığındaki düşük ve orta frekanslarda, 0,71 ses yutum katsayısı ile daha iyi akustik özellikler sergilediği vurgulanmıştır. Patil vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, ses yutum performansının yalnızca dokuma kumaşların gözenekliliği ile ilgili olmadığı, ayrıca gözenek şekli ve boyutu ile de ilgili olduğu bilgisi verilmiştir.

2.9. Kenevirin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kenevir bitkisi yabani otları yok ederek daha sonra ekilecek ürünler için geriye zengin bir toprak bırakmaktadır. Aynı ekim alanına farklı türlere ait kültür bitkilerinin arka arkaya ekilmesi olarak tanımlanan ürün rotasyonu ile birim alandan elde edilen verim yükseltilmektedir (Torun ve Özkil, 2021). Bu bağlamda ürün rotasyonuna uygun özellikler sergileyen kenevir, yetiştirilmesi sırasında gübreye, tarım ilacına ve çok fazla suya ihtiyaç duymamaktadır. Bu durum toprağın verimliliği korunurken, su kullanımını azaltarak sürdürülebilir arazi uygulamalarını desteklemektedir ve kimyasal kirlilikle beraber enerji tüketiminin azalmasına yardımcı olmaktadır. Endüstriyel alanda hafif, biyolojik olarak kolay parçalanabilen, çevre dostu sürdürülebilir üretime uygun, geri dönüştürülebilen malzemelere gittikçe artan bir talep vardır. Kenevir lifleri biyolojik olarak parçalanabilir olduğundan çevre dostu bir liftir. Kenevir lifi gibi bitkisel hammaddelerin kullanımı, yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azaltır. Böylece kaynak çıkarma ve tükenmesiyle ilişkili çevresel etki de azaltılmış olur. Bu doğrultuda, kenevir sahip olduğu yapısal özelliklerle, tekstil, otomotiv, kâğıt, biyo-yakıt, kozmetik ve ilaç gibi petrol ve petrokimyanın yaygın olarak kullanıldığı sektörlere alternatif bir malzeme olarak değerlendirilmektedir (Crini vd., 2020; Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020; Sezgin vd., 2022). Ayrıca kenevir bitkisinin hektar başına verimi pamuk, keten, jüt gibi diğer doğal liflere göre daha yüksektir (Bozan, 2020).

Crini ve Lichtfouse'un (2020) kenevirin sürdürülebilirliğe katkısına örnek olarak verilebilecek çalışmasında, kenevir liflerinin su kirliliğinin iyileştirilmesi için emici madde olarak kullanımına ilişkin yapılan mevcut araştırmaların analizine yer verilmiştir. Kenevir liflerinin, ağır metal iyonları ve organik kirleticiler de dahil olmak üzere, sulu çözeltilerden kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında etkili olduğu belirtilmiştir. Atık suların kalitesini artırmak için kenevir liflerinin kullanılması tavsiye edililmiştir.

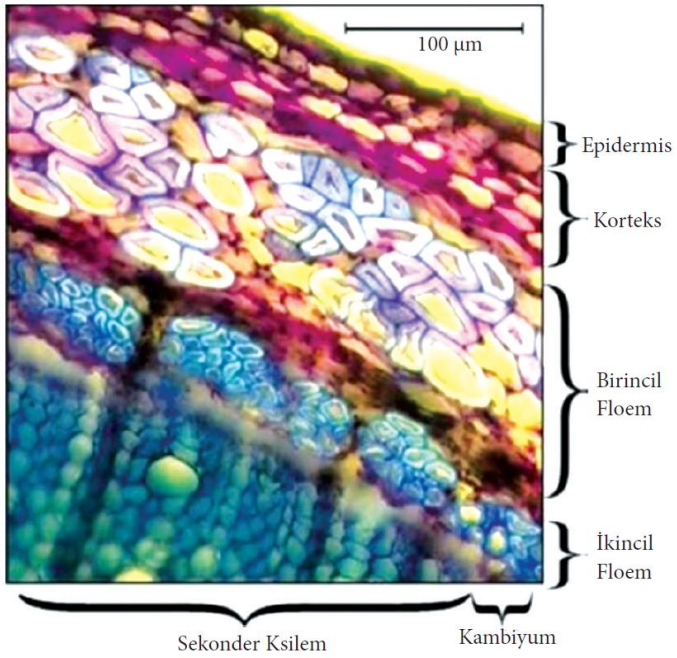
Taşlıgil ve Şahin (2019) tarafından yapılan çalışmada, Cannabis Sativa L. olarak da bilinen kenevirin, Türkiye'de uzun bir tarım geçmişine sahip olduğu ancak uluslararası ilişkiler nedeniyle 1949'da yasaklandığını belirtilmiştir. Ancak ekonomik hayattaki olumlu yönleri zamanla daha iyi anlaşılmasıyla kenevir bitkisinin 2016 yılından itibaren Türkiye'de bazı illerde kontrollü ekimine tekrar izin verilidiği vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, Türk tarımında kenevir ekiminin tarihsel önemi, mevcut durumu ve kenevirin gelecekteki kullanımı için öngörülen gelişmeler üzerinde durularak, bu çok yönlü bitkinin sürdürülebilir kullanımına olan ihtiyacı hakkında bilgi verilmiştir.

Kaya ve Öner (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir lifinin mevcut araştırmalar üzerinden öne çıkan özellikleri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, Türkiye'de kenevir ekimi için uygun iklim koşullarının olduğu belirtilmiştir ve kenevir üretimine yapılan yatırımların ülkede hızlı bir şekilde geri dönüş alabileceği öne sürülmüştür. Bununla beraber, kenevir liflerinin çıkarılmasında (dekortifikasyon) kullanılan tekniklerin zorluklarına ve sınırlamalarına dair genel bir bakış sunulmuştur. Kenevir lifinin endüstriyel uygulamalarına yönelik ekonomik açıdan uygun teknikler geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunun altı çizilmiştir.

Kenevir, cannabaceae familyasındandır. Odunsu ve tek yıllık bir bitkidir. Cannabis sativa ve cannabis indica olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Lif üretiminde ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılan türü cannabis sativadır. Kenevir psikoaktif Delta-9-Tetrahidrokannabinol (Δ^9-THC) ve psikoaktif olmayan CBD (Cannabidiol) gibi maddeler içermektedir. Çiçeklenmede % 0,3'ten daha az oranda THC bulunduranlara, lif keneviri denilmektedir (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

Kenevir boğumlu, uzun bir saka sahiptir ve lif hücreleri kabuk kısmında demetler halinde bulunur. Boğumlar arasındaki mesafe lif uzunluklarını belirlemektedir. Kenevir gövdesinin çapı; floem liflerinin boyutuna, kimyasal yapısına, genetiğine, büyüme sırasındaki çevresel koşullara ve tarladaki ekim sıklığına göre değişmektedir. Bu nedenle kenevir lifinin özellikleri ürüne göre değişkenlik göstermektedir (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

Olgunlaşmış kenevir gövdesi eş merkezli doku silindirlerinden meydana gelir. Tek hücreli epidermis, çok hücreli korteksin üstünde bulunur. Kenevir gövdesi, primer floem, sekonder floem ve ksilem olmak üzere üç çeşit lif hücresine sahiptir. Bitki gövdesinin ucundaki apikal meristemde gelişmeye başlayan primer floem lifleri, boğumlar arası uzama tamamlandıktan sonra, içine yerleşen kambiyum dokusu ile gövdenin dışına doğru ikincil floem liflerini, gövdenin merkezine doğru odunsu ksilemi oluşturur (Şekil 2.3). Lifler parlak sarı-kahverengidir ve lifin enine kesit şekli poligonaldir (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).



Şekil 2.3. Kenevir bitkisinin gövdesinin enine kesiti (Onay vd., 2020).

Primer lifler, bitkinin kök ve gövdelerinin ucunda bulunan hücrelerin sürekli bölünmesi sayesinde gelişmektedir. Her bir lif demetinde 30 ile 50 adet arasında lif hücresi mevcuttur ve lif hücrelerinin her biri 20 ile 35 mikron arası kalınlıktadır. Bitki gövdesinin alt kısmındaki lif kalınlığı üst kısımdaki kalınlıktan fazladır. Bu nedenle liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri bitki gövdesinde aşağıdan yukarıya doğru farklılaşır (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

İkincil floem lifleri, birincil floem liflerinden daha az kaliteli olup, gövdenin altında kalan 1/3'lük bölümde daha yoğun bulunur. Bu nedenle gövdenin üstünde kalan 2/3'lük bölümünde alt bölümüne kıyasla daha kaliteli lif üretilir. Endüstriyel standartlara uygun

kenevir lifi üretebilmek için, sekonder lifinin yalnızca % 40'ı kabul edilebilir sayılmaktadır. İkincil lif birincil liften daha kısadır, kalındır ve kırılgandır. Ayrıca eğirme için uygun değildir (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

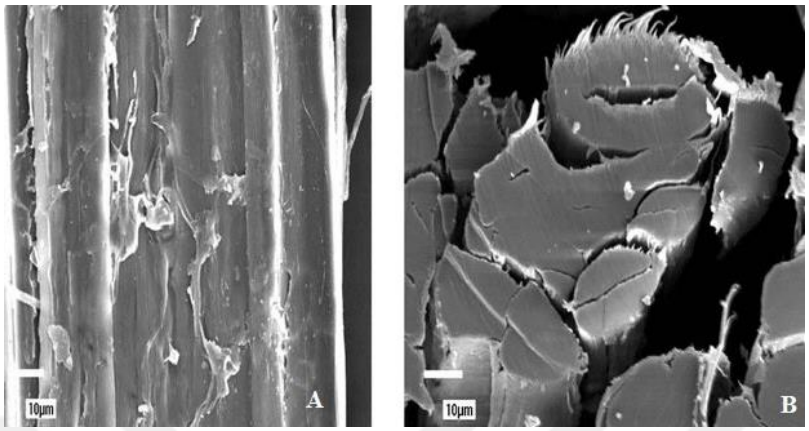
Kambiyumun merkeze doğru ürettiği odunsu ksilem nedeniyle hücreler iç kısma doğru bozulurlar ve bu da gövdenin merkezinde boşluk oluşmasına sebep olur. Odunsu lifler odunsu doku ve diğer ksilem kalıntıları ile oluşur.



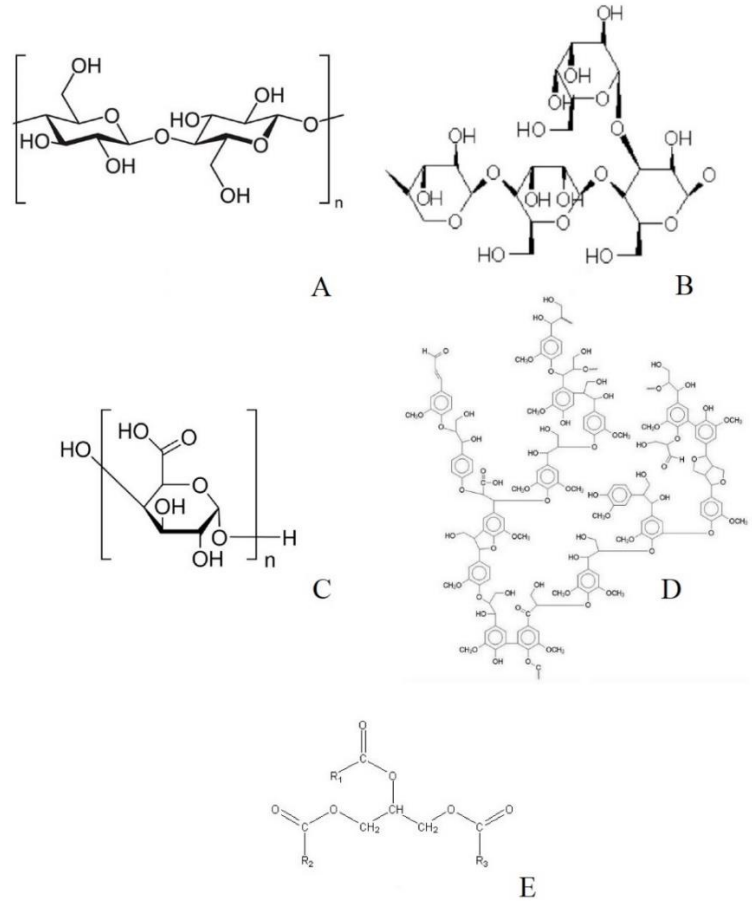
Şekil 2.4. Cannabis sativa sınıfı kenevir bitkisinin boyuna gövde kesiti **A)** Odunsu kısım **B)** Liflerin bulunduğu kısım (Wikipedia, 2009)

Kenevir liflerinin kimyasal bileşiminde %70-92 selüloz, %24 civarında hemiselüloz, %2-6 lignin, %1-4 civarında pektin ve ikincil hücre duvarında balmumu ile yağlar bulunmaktadır. Kenevir liflerine mukavemet, sertlik ve stabilite sağlayan ana madde selülozdur (Onay vd., 2020). Kenevir lifinin yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz ve pektin hidrofilik özelliklere sahip iken; lignin, mumlar ve yağlar hidrofobik bileşenlerdir. Selüloz, hidrofilik doğasına katkıda bulunan önemli sayıda serbest hidroksil grubuna sahip doğrusal olarak birbirine bağlı segmentlerden oluşan bir polimerdir. Hemiselüloz, life higroskopik özellikler sağlayan hidroksil gruplarını içerir. Pektin, hemiselüloz gibi, lifin su emme kapasitesinde artışa neden olan ve lifin hidrofilik yapısını güçlendiren bir polisakkarittir. Ligninler hidrofobiktir ve enzimatik aktiviteye karşı dirençlidir. Öte

yandan mumlar ve yağlar suda çözünmez ve hidrofobik özelliklere sahiptir. Şekil 2.6'da kenevir lifinin kimyasal bileşenleri gösterilmiştir (Romanowska vd., 2024).



Şekil 2.5. İşlenmemiş kenevir lifinin SEM görüntüsü. **A)** Uzunlamasına yüzey görüntüsü **B)** Lif kesit görüntürü (Mwaikambo ve Ansell, 2006)



Şekil 2.6. Kenevir lifinin kimyasal içeriği. **A)** Selüloz **B)** Hemiselüloz **C)** Pektin **D)** Lignin **E)** Mumlar ve yağlar (Romanowska vd., 2024)

Kenevir lifleri, pektin zamk ile bir araya gelirler. Pektik asidin kalsiyum, magnezyum ve demir tuzları olarak bulunan pektik maddeler polisakkarit türevleridir. Kenevir liflerinin esnekliği pektin tarafından sağlanır. Ayrıca pektin kolay parçalanabildiği için, oranının artması lif dayanıklılığının azalmasına neden olur. Dolayısıyla düşük pektin içerikli lifler daha iyi kalitededir (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

Kenevir liflerinde bulunan lignin, yüksek molekül ağırlıklı, içinde aromatik ve alifatik gruplar bulunan, enzim ve kimyasallara karşı dirençli, ayrıştırılması zor bir moleküldür. Bitki yaşlandıkça lif hücre demetlerini güçlendirmek için hücre dışı polisakkarit matrisinde lignin biriktirir. Ligninin karbon yüzdesinin ve hidrojen miktarının fazla oluşu lif sertliğinde artışa neden olur. Ayrıca bitkinin toprak üzerinde ayakta kalması da bu sertlik ile ilgilidir. Lignin ile sert ve kırılgan hale gelen lifin ayrılabilirliği ve bükülebilirliği zorlaşır. Bu da lif kalitesinin azalmasına neden olur (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

Kenevir liflerinde bulunan hemiselüloz, selüloz ile karşılaştırıldığında daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir. Biyolojik ve termal bozulmaya karşı hassas olmakla beraber, mekanik açıdan hemiselüloz kenevir liflerine sertlik ve sağlamlık gibi özellikler katmamaktadır. Kenevir lifi içinde bulunan mumlar bir bariyer gibi davranarak, bitkilerin kurumasını ve hastalık bulaşmasını önlerler. Sert mikrofibrilli selülozlar ve lignin; hemiselüloz, pektin ve pigmentlerden oluşan yumuşak matrise monte olurlar ve bu yapıya doğal selülozik lif denir. Fibriler yapının sertliği, onu sulu çözücülerde çözünmez hale getirmektedir. Aynı zamanda yüksek selüloz oranı, lifin endüstriyel uygulamalardaki önemini artırmaktadır (Onay vd., 2020).

Ayrıca kenevir lifleri, kalın selülozik sekonder duvarları ve 0-10 derece olan düşük mikrofibril açıları nedeniyle yüksek elastikiyete ve yüksek çekme mukavemetine sahiptir (Thygesen vd., 2006). Mikrofibril açısı, sekonder hücre duvarındaki selüloz mikrofibril sargıları ile hücrenin boyuna ekseni arasındaki açıyı ifade eder (Onay vd., 2020).

Sfiligoj Smole, Hribernik, Stana Kleinschek ve Kreze (2013) tarafından yapılan çalışmada, kenevir liflerinin hücre çaplarının genellikle 16 – 50 μm arasında, temel liflerin uzunluğunun 2 ile 90 mm arasında değiştiği ve ortalama uzunluğun 15 mm olduğu

belirtilmiştir. Kenevir liflerinin kesitleri köşeleri yuvarlak olan çokgen şeklindedir ve liflerin düz geniş lümenleri bulunmaktadır. Liflerin boyuna görüntülerinde dışarıya doğru çıkıntı oluşturan yüzey düzgünsüzlükleri mevcuttur ve liflerin uçları hafif konik ve küttür. Kenevir lifleri 53-62 cN/tex aralığına kadar ulaşan yüksek çekme mukavemete sahiptir.

Kenevir lifleri, 70 Gpa civarında Young modülü ve 8 MPa civarında çekme mukavemeti değerlerinde mekanik özelliklere sahiptir (Taiwo, Yahya ve Haron, 2019). Bu değerler kenevir liflerinin, diğer selüloz liflerinden daha yüksek dayanıklılığa sahip olduğunu göstermektedir. Bu da onları, çimento içerikli yapı malzemelerinin ve iyi mekanik özellik gösteren kompozitlerin takviyesine uygun doğal bir malzeme haline getirir (Onay vd., 2020; Sfiligoj Smole vd., 2013).

Kenevir liflerinde boncuklanma sorunu olmaz. Kenevirin nem alma kapasitesi pamuk ve ketenden daha yüksektir. Kenevir liflerinin yüzey direnci diğer doğal liflerle veya daha kısa kenevir lifleri ile karıştırılarak artırılabilmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda, kenevir liflerinin pamuk ve benzeri hammaddelerle karıştırılması ile daha dayanıklı ipliklerin üretilebildiği ve birim alandaki verimin böylece artırıldığı görülmüştür (Kaya ve Öner, 2020; Onay vd., 2020).

Uzun floem liflerindeki lignin ve sapın iç kısmındaki sert doku oranı, kısa ikincil liflerdekine göre daha azdır. Bu da kenevirin uzun birincil floem lifinin, doğal bir malzeme olarak kıyafet, ayakkabı, çanta, halat, ağ ve jeotekstil gibi tekstil ürünlerinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Onay vd., 2020).

Onay vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir liflerinin kimyasal bileşiminin ve işleme tekniklerinin, liflerin kalite ve performanslarında çok önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Bu nedenle kenevir liflerinin hasat zamanının ve dekortifikasyon işleminin önemine değinilmiştir. Çiçeklenme döneminde toplanan liflerin daha yüksek çekme mukavemeti ve gerilme direnci gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmada, kenevir liflerini odunsu dokudan ayırmak için sapların kırılmasını ve ardından uzun lifleri, kısa lifleri ve odunsu dokuyu kırma ve kesme gibi işlemlerle birbirinden ayırmayı içeren geleneksel dekortifikasyon süreci tartışılmıştır. Ayrıca keneviri yumuşatmak ve liflerin birbirinden ayrılmasını kolaylaştırmak için yüksek sıcaklık ve basınçta doymuş buharın

kullanılmasını içeren yöntemden de bahsedilmiştir. Bu yöntem ile kenevir liflerinin enzimatik ve çözücü aktivitelerinin iyileştiği gösterilmiştir. Bahsedilen diğer yöntemler arasında, kenevir liflerindeki pektin ve hemiselülozun parçalanması için enzimlerin kullanılmasını içeren enzimatik havuzlama da vardır. Enzimatik havuzlama sürecini geliştirmek için yüksek sıcaklık ve basınç altında suyun kullanıldığı hidrotermal yöntemler yer almaktadır. Çalışmada, kenevir liflerinin kalitesini ve özelliklerini koruyup geliştirmek için bu yöntemlerde sıcaklık, basınç ve zaman gibi değişkenleri kontrol etmenin önemini vurgulanmıştır. Tekstil uygulamalarında dekortifikasyon işlemi uzun liflerin üretilmesi için yeterliyken, biyokompozitler veya jeotekstil gibi teknik uygulamalarda liflerin kırıldıktan sonra öğütülüp dövülerek daha ince malzeme haline getirilmesi gerektiğine de ayrıca değinilmiştir. Ek olarak çalışmada, mikrofibrillenmiş selüloz gibi doğal liflerin sentetik liflerden farklı özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Kenevirde birbirine komşu selüloz molekülleri kristalleşerek genişliği 10-25 nm ve kalınlığı 2-10 nm olan bir mikrofibril oluştururlar. Çok sayıda mikrofibril, hücrenin etrafını sararak hücre zarını kaplar ve demetler halinde sarmal oluşturur. Mikrofibriller içindeki hidroksil grupları, yanındaki moleküllerin oksijeniyle hidrojen bağları kurarlar. Çok sayıdaki hidrojen bağının oluşmasıyla nanometre aralığında uzun iplik benzeri katı kümeler kristalleşirler ve böylece mikrofibrillerin yapısal bütünlüğüne katkıda bulunulur. Bu çalışmada mikrofibrilli selüloz, çapları 10 ile 100 nm arasında değişen ve uzunlukları mikron aralığında olan bir selüloz malzemesi olarak tanımlanmıştır. Mikrofibril selülozun, doğal selüloz kaynaklarından elde edildiği, yüksek yüzey alanı ve yüksek mukavemet gibi özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Mikrofibril selüloz, güçlendirme yeteneği olan nanokompozit üretimi gibi uygulamalarda kullanılabilirliği olan, sürdürülebilir bir malzeme olarak nitelendirilmiştir.

Vandepitte vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir lifi üretimini mevcut endüstriyel standartları karşılayacak şekilde en uygun hale getirmek amacıyla, endüstriyel keten işleme ekipmanı kullanılarak tarlada havuzlama işlemi yapılmış kenevir saplarından çıkarılan liflerin miktarını ve kalitesini değerlendirmek amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda, uzun kenevirin lifinin çekme mukavemetinin 37,6 ile 45,3 cN/tex arasında değiştiği ve ketenle karşılaştırılabilir düzeydeyde yüksek olduğu

görülmüştür. Kenevirin mevcut keten ekipmanı kullanılarak işlenmesinin, tekstil üretimi için uygun bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır.

Liu vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, kompozitlerde kullanılmak üzere kenevir liflerinin toplanması için en uygun büyüme aşaması belirlenmek ve tarlada bekleme süresinin lif performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Kenevir liflerinin morfolojisinin ve kimyasal bileşiminin bitkinin olgunluğuna göre değiştiği belirtilmiştir. Kenevir liflerinin mekanik performansının büyük ölçüde lif çapına bağlı olduğu ve lif çapı arttıkça çekme mukavemetinin azaldığı vurgulanmıştır. Liflerin çiçeklenme başlangıcında hasat edilmesi ile yüksek çekme mukavemeti gösterdiği görülmüştür. Bunun yanında, 70 gün gibi uzun süreli tarlada havuzlama yapılmasıyla, selüloz bozunmasının hızlanması nedeniyle, lif özelliklerinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Onun yerine kısa süreli tarlada havuzlamayla kombine edilmiş enzimatik yöntelmer, liflerin çıkarılması (dekortifikasyon) için daha verimli ve doğru bir yöntem olarak önerilmiştir.

2.10. Ses Yutumu Üzerine Yapılan Araştırmalar

Bu bölümde kenevir lifleri de dahil olmak üzere farklı hammaddelerin kullanıldığı dokuma kumaşların, dokusuz yüzeylerin ve kompozitlerin ses yutum özellikleri üzerine yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Liao vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir lifli malzemelerin ses yutum özellikleri tartışılmıştır ve daha önce yapılmış araştırmalardan da faydalanılarak konu ile ilgili temel bulgular sıralanmıştır. Ayrıca, gürültü kontrolü uygulamalarında hem kenevirden yapılmış dokusuz yüzey kumaşlar hem de kenevir içerikli kompozitler için istenen performansı elde etmek amacıyla üretim süreçlerinin, malzeme bileşeninin, birim hacim ağırlığının, morfolojilerin ve yapısal parametrelerin en uygun hale getirilmesi yoluyla kenevirin ses yutum özelliklerinin iyileştirilmesi hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Üretim sürecinde basınç seviyesini, işlem süresini ve sıcaklığı ayarlayarak, ses yutum özelliklerini geliştirebileceği vurgulanmıştır. Ek olarak, kalınlık, alansal ağırlık, lif fraksiyonu (bölünme-parçalanma) ve etkili lif yarıçapı gibi parametrelerin değiştirilmesinin, ses yutum özelliklerini etkileyebileceğine değinilmiştir.

Çalışmalar, kenevirden yapılmış dokusuz yüzey keçeler kullanıldığında lifli gözenekli yapısı nedeniyle orta ve yüksek frekanslarda ölçülen yutum katsayılarının, gürültü azaltma uygulamalarını karşılamak için yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak düşük frekanslarda katsayıların değerleri ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur. Azaltılmış su emme kapasitesine sahip kenevir liflerinin, kenevir kompozitlerinin akustik özellikleri üzerinde sınırlı bir etki gösterdiği bilgisi verilmiştir. Su, parçacıkların ve bağlayıcıların içerisindenki gözenekler yoluyla yerleşirken, akustik dağılım esas olarak parçacıklar arası büyük boyutlu gözeneklerle ilgilidir. Kenevir dokusuz yüzey keçelerin ses yutumunun, su emme kapasitesinden ziyade temel olarak hava akış direnci, yoğunluk ve kalınlık gibi faktörlerden etkilendiği vurgulanmıştır. Daha kalın malzemeler daha fazla gözenekliliğe sahip olma eğilimindedir ve bu da daha yüksek ses yutum katsayısına yol açabilir. Bu nedenle kenevir lifi içerikli kompozitler yüksek yoğunluğa ihtiyaç duymadan, gözeneklilikleri ve kalınlıkları artırılarak yüksek ses yutum verimliliği sergileyebilirler (Liao vd., 2020).

Çalışmada, malzemelerdeki hava geçirgenliğinin artmasıyla, hava ile lif duvarı arasındaki sürtünme etkisinin de artığı belirtilmiştir. Böylece ses dalgaları hava moleküllerini harekete geçirdiğinden ve liflerin titreşmesine sebep olduğundan bahsedilmiştir. Hava geçirgenliği ile akustik sönümleme arasındaki bu ilişkiden dolayı ses yutum katsayısının düşük frekanslarda böylece artırılabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca kenevir içerikli malzemelerdeki daha yüksek lif oranının, genel akustik performansı iyileştirerek ses yutum özelliklerini geliştirebileceği belirtilmiştir. Çünkü lif oranının artmasıyla malzemelerin alansal ağırlığında artış gözlemlenir. Bu da malzemenin birim hacim ağırlığının artmasına ve böylece ses yutum katsayısında artışa neden olabilir. Bununla birlikte, lif demetlerinin birbirinden ayrılmasıyla, daha küçük çapla karakterize edilen fibriller serbest kalacağı için ses dalgalarının daha fazla lif yüzey alanıyla temas edebileceği ve bunun da ses yutum katsayısını artırıcı etki yapabileceği belirtilmiştir. Ek olarak, ses yutum malzemelerine yönelik geniş bir seçenek yelpazesi sunmak için çok katmanlı yapılardan yararlanılabileceğine değinilmiştir. Farklı katmanlardan oluşan yapılar, gerekli ses yutum verimliliğinin elde edilmesinde etkili bir yaklaşımdır. Ayrıca kenevir lifi içeriğinin ve anizotropinin (eşyönsüzlük) dokusuz yüzey kumaşa yaptığı etkiden bahsedilmiştir. Anizotropi, maddelerin fiziksel ya da mekanik özelliklerinin, yöne

bağlı olarak değişmesi olarak tanımlanmaktadır. Kenevir gibi doğal lifler bağlamında anizotropi, dokusuz yüzey kumaşların ve kompozitlerin mekanik özelliklerini ve genel performansını etkileyebileceği için anizotropinin en uygun hale getirilmesi, ses yutumunu ve mekanik mukavemeti geliştirmek açısından önemlidir (Liao vd., 2020).

Muchlisinalahuddin vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada selüloz içerikli liflerin ses yutumu için ideal özelliklere sahip doğal malzemeler olduğu belirtilmiştir. Selüloz içerikli ses yutum malzemelerinin etkinliği; life uygulanan işlemler, üretim süreci ve lif boyutu gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin ağartma ve ligninin uzaklaştırılması için yapılan kimyasal işlemler, α-selülozu kenevir liflerinden izole etmek için uygulanabilir. α-selüloz yüksek derecede saflaştırılmış bir selüloz formudur ve ses yutum uygulamaları için çok yönlü malzemeler olan selüloz nanokristaller (CNC) ve selüloz nanofibriller (CNF) gibi türevlere dönüştürülebilir.

CNC'ler genellikle ham selülozun güçlü inorganik asitler veya enzimler ile hidrolizi yoluyla elde edilir. CNC, ham selüloza kıyasla daha yüksek derecede kristalliğe sahiptir, bu da onu yapısal olarak sağlam hale getirir. Daha yüksek kristallik, daha güçlü moleküller arası bağlara neden olur. Bu da malzemenin mekanik mukavemetini artırır. Ayrıca kristal yapılar malzemeye daha geniş bir yüzey alanı sağlayarak ses enerjisinin daha iyi yutulmasına ve zayıflatılmasına katkıda bulunabilirler. Çalışmada CNC aerojel malzemelerin, düşük yoğunluğa ve yüksek gözenekliliğe sahip olduğu için, ses yutumu için ideal olabileceği belirtilmiştir (Muchlisinalahuddin vd., 2023).

CNF'ler, ses dalgası etkileşimi için yüksek bir yüzey alanı sunan nanofibrillerden oluşur. CNF'ler, ses yutum özelliklerini geliştirmek için diğer matrislerle kompozit malzemeler oluşturacak şekilde kullanılabilir. CNF'ler boyutlarına bağlı olarak farklı yutum özellikleri gösterir. Nanofiber selülozun çapı genellikle 20-100 nm arasında değişen değerlere sahipken, mikrofiber selüloz nanofiber selülozlardan daha kalındır. Nanofiber yapılardaki daha küçük çaplı liflerin varlığı yüzey alanını ve en boy oranını artırmaktadır. Bu nedenle nanofiber selüloz, ses yutumu açısından daha yüksek frekanslarda daha iyi ses yutum performansı gösterirken mikrofiber selüloz daha düşük frekanslarda etkilidir. Genel olarak, CNC'lerin ve CNF'lerin özellikleri, onları ses yutum uygulamaları için çok

yönlü malzemeler haline getirerek, gelişmiş akustik performanslarda kullanılmak üzere çeşitli endüstriyel kullanımlar için uygun kılmaktadır (Muchlisinalahuddin vd., 2023).

Sezgin vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kenevir ve pamuk lif takviyeli termoplastik kompozitlerin akustik performansı tartışılmıştır. Çalışmada özellikle matris malzemesi olarak polipropilen lifi kullanan kenevir lifi takviyeli kompozitlerin ses yalıtım ve ses yutum özellikleri incelenmiştir. Kenevir lifinin performansı pamuk lifi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kompozitler sıcak pres yöntemi kullanılarak üretilmiş olup, kalınlığın, yoğunluğun ve lif konfigürasyonunun ses yutumu ve ses iletim kaybı değerlerine etkisi incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda şu sonuçlara varılmıştır: Kenevir lifi pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Kenevir liflerinde dev fibrillerin uzunlamasına bölünmesinden kaynaklanan çatlak ve oyuklar bulunur. Kenevir lifleri pamuk liflerine göre daha karmaşık ve düzensiz bir yapıya, daha yüksek gözenekliliğe sahiptir. Bu özellikler kenevir lifinin ses enerjisini yakalama ve dağıtma yeteneklerini iyileştirerek, ses yutum özelliklerini artırmaktadır. Co/He/PP-50-6 (takviye olarak %25 pamuk ve %25 kenevirden ve matris olarak %50 polipropilenden yapılmıştır) kompozitinin yoğunluğu 0,0450 g/cm3 iken Co/PP-50-6 (takviye olarak %50 pamuk ve matris olarak %50 polipropilenden yapılmıştır) kompozitinin yoğunluğu 0,0350 g/cm3'tür. Bu, kenevir lifi ile güçlendirilmiş kompozitin, pamuk lifli kompozitine kıyasla daha yüksek bir yoğunluğa sahip olduğunu göstermektedir.

Ek olarak, kompozit malzemenin içeriği değiştirilmeden kalınlığının artırılmasıyla, yoğunluğun eş zamanlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. O nedenle ses yutum özelliklerinde önemli bir değişim olmadığının altı çizilmiştir. Kenevir ve pamuk lif takviyeli kompozit numunelerin ses yutum katsayısı değerleri düşük frekans seviyelerinde birbirine çok yakın iken, kenevir takviyeli kompozitler yüksek frekanslarda daha yüksek ses yutum katsayı değerlerine ulaşmıştır. Kenevir takviyeli numunenin ses yutum değerlerinin 4000 Hz'de istatistiksel olarak anlamlı bulunması, yüksek frekans kullanımına uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca lifler üzerindeki yüzey değişikliklerinin malzemelerin akustik özellikleri üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Bu değişikliklerin yüzey pürüzlülüğü, gözeneklilik ve yoğunluk gibi parametreleri etkileyebileceği ve liflerin ses dalgalarıyla etkileşimini değiştirebileceği belirtilmiştir. Örneğin, yüzey modifikasyonları lif yüzeyinin pürüzlülüğünü artırabilir ve lifler ile ses

dalgaları arasındaki sürtünmenin artmasına neden olabilir. Artan sürtünme, daha iyi ses yutumu özellikleriyle sonuçlanabilir (Sezgin vd., 2022).

Küçükali Öztürk vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir, hindistan cevizi lifi, jüt, kenaf, bambu, mısır, buğday, sisal ve ağaç lifleri gibi çeşitli doğal lifli malzemelerin akustik özellikleri ve ses yutum performansı hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur. Farklı doğal liflerin farklı kalınlıktaki, yoğunluktaki ve frekans aralıklarındaki ses yutum performansı üzerine yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada belirtilen literatür araştırmalarında, doğal liflerden oluşan panellerin kalınlığının artırılmasının, ses yutum yeteneklerini geliştirebileceği belirtilmiştir. Malzeme yoğunluğu değiştirilmeden kalınlığının artması ile ses dalgalarının etkileşime girdiği malzeme miktarı artacağı için ses yutumunun da buna bağlı olarak artabileceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, kalınlıktaki çok fazla artışın ses yutumunu önemli ölçüde iyileştirmediği bir geri dönüş noktası da olabileceği eklenmiştir. İstenilen ses yutum performansının elde edilebilmesi için doğal lifli panellerde en uygun kalınlığın bulunmasının önemi üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışmadaki literatür araştırmalarında, doğal liflerden oluşan panellerin yoğunluğunun artırılması ile, daha iyi ses yutum eğiliminde olabilecekleri belirtilmiştir. Artan yoğunluk, birim alan başına daha fazla malzeme ağırlığı demektir. Böylece ses enerjisinin daha fazla malzemeyle temas ederek daha iyi dağıtılabileceği ve yutulabileceği vurgulanmıştır. Fakat bununla birlikte, doğal liflerden oluşan paneller için belirlenmesi gereken yoğunluk aralığı olabileceği ve bunun ötesinde yoğunluk artışının, ses yutumunu önemli ölçüde iyileştiremeyebileceği de eklenmiştir. İstenilen ses yutum performansını elde etmek için yoğunluk ile kalınlık ve malzeme bileşimi gibi diğer faktörler arasında doğru dengenin bulunmasının önemli olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca doğal liflerin geniş bir frekans bandı aralığında ses yutum performansı gösterdiği belirtilmiştir. Kenevir liflerinin daha iyi ses yutum performansı gösterdiği spesifik frekans aralığının, liflerin özelliklerine ve akustik malzemenin yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebileceği bilgisi verilmiştir.

Zhang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kenevir lifi atıklarının yüksek verimli geri dönüştürülme potansiyeline odaklanılmıştır. Atık kenevir liflerinin makromoleküler, supramoleküler ve morfolojik yapısı araştırılmıştır ve ses yutum mekanizmaları analiz edilmiştir. Çalışmada atık kenevir lifleri üzerine elde edilen bulgular şu şekildedir: Atık

kenevir liflerinin uzunluğu 20 mm ile 75 mm arasında değişmektedir ve çoğunluğunun uzunluğu 20 mm ve 40 mm aralığındadır. Liflerin çapı 19-38 µm aralığında değişmektedir ve ortalama çapı 27,29 µm'dir. Atık kenevir lifi pamuk lifinden daha kalınken, yün ve polyester liflerinden daha incedir. Liflerin kristalliği ise %48,84 olarak bulunmuştur; bu, pamuk, yün ve keten gibi diğer doğal liflerle karşılaştırıldığında daha düşük bir kristalliğe işaret etmektedir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, atık kenevir liflerinin düzensiz şekiller, pürüzlü yüzeyler ve parçacıklı yapıları gösteren enine ve boyuna morfolojik yapılarını ortaya çıkarmıştır. Atık kenevir liflerinin makromoleküler yapısının, özellikle rijit oksijen altı-halkalı yapıların varlığının, ses yutumunda rol oynadığı belirtilmiştir. Rijit oksijen altı-halkalı yapının içinde birbirine bağlı boşluklar ve makromoleküler zincir bölümleri arasında boşluklar mevcuttur. Ses enerjisinin bu dolambaçlı yayılma yolu, sesin lif içinde dağılmasına neden olur. Ayrıca rijit oksijen altı-halkalı yapıların varlığı atomların hareketini engelleyerek ses enerjisinin ısı olarak dağılmasını sağlar. Ek olarak, atık kenevir liflerinin makromoleküler zincir bölümleri, yapının stabilitesine ve ses enerjisinin yutumuna katkıda bulunan hidrojen bağlarının ve van der Waals etkileşimlerinin oluşumuna izin veren çok sayıda hidroksil grubuna sahiptir. Ses dalgası yayılımı sırasında hidrojen bağlarının kırılması ve yeniden oluşması, lif içindeki ses enerjisinin zayıflamasına katkıda bulunur.

Çalışmada ayrıca, atık kenevir liflerinin morfolojik yapısının da ses yutum özelliklerine katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Lif yapısının içinde birbirine bağlı gözeneklerin ve yüzey düzensizliklerinin varlığı, çok sayıda iç kanal ve boşluk oluşturarak ses dalgalarının malzemeye nüfuz etmesine olanak tanır. Bu nüfuz etme, malzeme içindeki yutum ile gerçekleşen enerji kaybı nedeniyle oluşan viskoz etki ve ısı transferi ile birlikte, ses yutum özelliklerini geliştirir. Atık kenevir liflerinin kıvrımlı ve bükülmüş yapısı, liflerin spesifik yüzey alanını artırarak ses dalgalarıyla daha iyi temasa ve gelişmiş ses yutumuna yol açar. Araştırmada, atık kenevir liflerinin içinde sesin yayılmasına izin veren düzensiz boşlukların olduğu ortaya konulmuştur. Ses dalgaları liflere etki ettiğinde boşlukların içindeki hava ile lif duvarı arasında sürtünme meydana gelmektedir ve ses enerjisi ısı ve mekanik enerjiye dönüşmektedir. Bu enerji dağıtımı, özellikle yüksek frekans aralığında atık kenevir liflerinin ses yutum özelliklerine katkıda bulunur. Ek olarak, lif kesit şeklinin de ses yutumunu etkilediği vurgulanmıştır. Atık kenevir liflerinin

karmaşık kesit şekilleri lifin spesifik yüzey alanını genişleterek akustik dalgaların liflerle temas alanını artırır. Böylece ses enerjisinin yutumuna ve ses dalgalarının dağıtılmasına katkıda bulunulur. Atık kenevir lifi, atık kenevir/PLA lif kompoziti gibi kompozit malzemelerde kullanıldığında, sıcak presleme sırasında PLA lifi yumuşayıp eriyerek kenevir lifi ile iyi bir yapışma özelliği gösterir. Bu stabilizasyon ile düşük ve orta frekanslı ses dalgalarının liflere temas etme oranı yükseltilmiş olur. Ses dalgaları ile lifler ve hava arasındaki sürtünmenin artmasıyla birlikte kompozit malzemenin ses yutum performansı da artırılır. Kompozit malzemenin en yüksek ses yutum katsayısı 0,93'e ulaşmıştır; bu da kompozit malzeme özelliklerinin ses yutumu üzerindeki önemli etkisini göstermektedir. Atık kenevir lifleri, maksimum 0,95 ses yutum katsayısıyla yüksek frekanslarda mükemmel ses yutum göstermiştir. Kenevir liflerinin düşük frekans aralığındaki sınırlı ses yutumunun, akustik enerjiyi daha ince lifler kadar hızlı bir şekilde termal enerjiye dönüştüremeyen kaba ve kalın liflerin varlığından kaynaklı olabileceği belirtilmiştir (Zhang vd., 2022).

Strazdas ve Januševičius (2023) tarafından yapılan çalışmada, yeni nesil gürültü bariyerlerinin geliştirilmesi ve bunların üretiminde atık veya bitki bazlı malzemelerin kullanılmasıyla ilgili bilimsel araştırmalara ilişkin literatür taraması sunulmuştur. Kentleşme ve ulaşım altyapısının genişlemesi nedeniyle gürültü bariyerlerinin hayati öneme sahip olduğu belirtilen araştırmalarda, atık ve bitki bazlı malzemelerin sürdürülebilir bir şekilde gürültü bariyer üretimine entegre edilmesine odaklanılmaktadır. Araştırmacılar kenevir lifinin akustik özelliklerini ve potansiyelini incelemişlerdir. Çalışmalar, kenevir lifinin gürültü bariyerlerinin yapımı gibi gürültü azaltma uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Beton ve kenevir lifi kompozitinden yapılmış bir bariyer gürültü azaltma odasında test edilmiştir ve ses seviyelerinde 46 dB'e kadar bir azalma olduğu ortaya çıkmıştır.

Boominathan vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, muz, kenevir ve bunların karışımları gibi doğal liflerden yapılan iğne delikli dokusuz yüzey kumaşların ses yutum özellikleri araştırılmıştır. Karıştırılmış ve karıştırılmamış lif kombinasyonları kullanılarak on iki adet farklı iğneyle delinmiş dokusuz yüzey kumaş üretilmiştir. Araştırma empedans tüpü yöntemiyle 0 Hz ile 4000 Hz arasında değişen ses dalgası frekanslarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, karıştrılmış lif içerikli dokusuz

yüzeylerin, homojen olmayan gözenek boyutu ve kompakt bir yapı oluşturması nedeniyle, tek tip liften üretilen dokusuz yüzeye göre daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmada, kenevir lifi oranının ve dokusuz yüzeyin kalınlığının artırılmasıyla maksimum ses yutum katsayısına ulaşıldığı belirtilmiştir. Ayrıca dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliğinin, gözenekliliğinin ve termal iletkenliğinin ses yutum özelliklerini etkilediği belirtimiştir. Termal iletkenlikteki ve hava geçirgenlikteki artışın dokusuz yüzeyin ses yutumunda azaltıcı etki yaptığı; gözeneklilik artışının ise ses yutumunu artırıcı etki yaptığı vurgulanmıştır.

Su vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, atık kenevir saplarının ses yutum özelliklerinin mikro yapılarıyla yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Kenevir saplarının pürüzlü bir yüzeye ve düzensiz gözeneklere sahip içi boş boru şeklinde bir mikro yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Ses dalgaları ses yutucu kompozit malzemelere girdiğinde, ses dalgalarının bu malzemelerin iç kısmındaki deliklerde sürtünmeye maruz kalacağı ve böylece ses enerjisinin bir kısmının ısı enerjisine dönüştürülerek ses yutumunun sağlanabildiği vurgulanmıştır. Ayrıca titreşen kompozit malzemelerin de ses dalgalarının bir kısmını yutabileceği belirtilmiştir. Ses dalgaları bir kenevir sapına geldiğinde, kenevir sapındaki zincir parçaları arasındaki kuvvet, kenevir sapının benzersiz içi boş yapısı ve geniş spesifik yüzey alanı sayesinde ses enerjisinin ısı ve mekanik enerjiye dönüştürülerek etkili bir ses yutumunun sağlanabileceği bilgisi verilmiştir. Çalışmada atık kenevir sapı ve polikaprolaktondan kompozit ses yutum malzemeleri oluşturulmuştur. Kenevir sapı uzunluğu ve kütle oranı ile kompozit malzemenin yoğunluğu ve kalınlığının ses yutum üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kenevir sapı uzunluğunun ve kütle oranının artmasıyla birlikte ses yutum performansında önce artış, sonra azalma gözlemlenmiştir. Malzemelerin kalınlığının ses yutum özellikleri üzerinde büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Kalınlığın artmasıyla birlikte ses yutumunda önce artış sonra azalma görülmüştür. Kompozit ses yutum malzemelerinin nihai optimum işlem parametreleri şu şekilde verilmiştir: Kenevir sapı uzunluğu 6 mm, kenevir sapı kütle oranı %50, malzeme yoğunluğu 0,30 g/cm³ ve malzeme kalınlığı 1,5 cm. Sonuçlar, optimize edilmiş atık kenevir sapı/polikaprolakton kompozit ses yutum malzemesinin 100-6300 Hz frekans aralığında ortalama ses yutum katsayısının 0,44, gürültü azaltma katsayısının 0,42 ve maksimum ses yutum katsayısının 1,00 olduğunu

göstermiştir. Çalışmada hazırlanan kompozit malzemenin düşük frekanslarda ses yutumunun etkili olmadığı da belirtilmiştir.

Pivsa-Art vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, ses yutum panelleri üretmek için kullanılan biyolojik olarak parçalanabilen PLA polimerine ve kenevir dokusuz yüzey kumaş kullanımına odaklanılmıştır. Dokusuz yüzey kumaşların yüksek gözenekli yapısı içinde ilerleyen ses dalgalarının temas ettiği lif yüzey alanının artırılmasıyla ses yutumunun da artırılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca içyapısı da gözenekli olan liften üretilmiş kumaşların, özellikle yüksek frekans aralığında ses yutum malzemesi olarak etkili bir şekilde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Çalışmada test edilen PLA dokusuz yüzey kumaş, eriyikten jet eğirme işlemi kullanılarak hazırlanmıştır. İşlem sıcaklığının, hava basıncının ve kalıp-kollektör mesafesinin, dokusuz yüzey kalınlığı, birim alan ağırlığı ve kumaş yoğunluğu üzerindeki etkilerini görebilmek için her bir parametreden iki değer belirlenip işlem gerçekleştirilmiştir ve karşılaştırma yapılmıştır. Belirlenen değerler şu şekildedir: Kalıp-kollektör mesafesi 30 cm ve 60 cm, sıcaklık 250°C ve 260°C, hava basıncı 0,3 ve 0,5 MPa, hız10 devir/dakika. Hava geçirgenliğinin azaltılması yoluyla ses yutumunun artırılabilmesi için lif inceliği kadar yüksek kumaş kalınlığı da önemlidir. Kumaş kalınlığının artırılabilmesi için birim alan ağırlığının artırılabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, daha kalın ses yutum panel üretimi için uygun koşullar 260°C işlem sıcaklığı, 0,5 MPa hava basıncı ve 60 cm kalıp-kollektör mesafesi olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca PLA ve kenevir dokusuz yüzey katmanlarının düzenlenmesinin ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan üç katmanlı PLA/PLA/PLA dokusuz yüzey katman sırası, lif boyutu ve düzenlemesi nedeniyle, kenevir/kenevir/kenevir dokusuz yüzey katman sırasından daha yüksek ses yutum katsayısı göstermiştir. Fakat kenvir katmanının ses kaynağına daha yakın olduğu PLA/PLA/Kenevir katman sırası, PLA/PLA/PLA ile karşılaştırılabilecek düzeyde yüksek ses yutum katsayısı göstermiştir.

Belakova vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, kenevir ve poliaktid dokusuz yüzeylerin ses yutumu ve ses iletimi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Dokusuz yüzeylerin katman sayısının artırılması ile malzemenin ses yutum katsayısının iyileştirebileceği vurgulanmıştır. Çalışmada, ağırlıkça %40 kenevir ve ağırlıkça %60 poliaktid'den oluşan dokusuz yüzeyin yoğunluğunun, kalınlığının ve lif ağı katmanlarının sayısının 50 Hz ve

5000 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Dokusuz yüzeylerin iki katman halinde yerleştirilmesiyle, C, D ve E ses yutum sınıflarına karşılık geldiği frekanslara bağlı olarak, ses yutumunun artırılabileceği belirtilmiştir. A, B, D, harfleriyle kodlanan test numuneleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. B numunesinin yüzey yoğunluğun, A numunesinin 1,22 kat ve D numunesini ise 1,15 kat aştığı kaydedilmiştir. Diğer numunelerle kıyaslandığında, 250 Hz - 2000 Hz frekans aralığında, en iyi ses yutum özelliğini yüzey yoğunluğu en düşük olan A numunesi göstermiştir. A numunesinin düşük frekanslarda yüksek ses yutumu göstermesi malzemenin düşük yüzey yoğunluğundan dolayı, gözenekliliğin fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca malzemenin kalınlığını arttırmadan düşük frekanslardaki ses yutumunu geliştirmek için, malzemenin bir tarafının film tabakası ile kaplanabileceği belirtilmiştir. Sesin geldiği yönde malzemeye bir film katmanı yerleştirildiğinde, filmin düşük frekanslarda rezonatör görevi göreceği vurgulanmıştır. Ayrıca ses iletim kaybı 50-5000 Hz frekans aralığında 0,76 (Numune D: 63 Hz) ile 3,90 (Numune B: 5000 Hz) arasında değişmiştir.

Kinnane vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, kenevir-kireç betonu, standart duvar inşaat malzemelerine sürdürülebilir bir alternatif olarak sunulmuştur. Bu çalışmada binder kullanımının kenevir-kireç betonunun akustik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için altı adet binder kullanılmıştır ve duvar kompozisyonu iki gruba ayrılmıştır. İlk grup hidrolik binderler içeren kenevir betonu duvarlarıdır. Bu grup içinde karşılaştırma yapmak amacıyla Portland çimentosu içeren bir binder ve özellikle kenevirle kullanılmak üzere geliştirilmiş, önemli miktarda hidrolik içeriğe sahip tescilli bir ticari karışım olan ikinci bir binder kullanılmıştır. İkici grup hidratlı kireç ve puzolanlardan yapılmış kenevir betonu duvarlarıdır. Metakaolin (M) ve GGBS (G / Granüle Yüksek Fırın Cürufu) hızlı hazırlanabilmeleri ve yüksek reaktiviteleri nedeniyle kenevir-kireç betonunda kullanım potansiyeline sahip iki adet puzolan binder olarak belirlenmiştir. Bu binderler kullanılarak iki adet duvar imalatı yapılmıştır. Metakaolin (M) ve GGBS (G) içeren binderlerin suyu tutması ve kenevir tarafından emilen suyun azaltılması için, bu binderlere metil selüloz eklenerek iki adet daha kenevir betonu duvarı imal edilmiştir. İkinci gruptaki duvarlar; metakaolin (M) , GGBS (G), su tutucu eklenmiş metakaolin, su tutucu eklenmiş GGBS olarak dörde ayrılmıştır. Yapılan ölçümler

sonucunda hidratlı kireç ve puzolan binderlere sahip ikinci duvar grubundaki kenevir betonlarının, hidrolik binderler içeren kenevir betonuna kıyasla daha iyi akustik özellikler gösterdiği bulunmuştur. Çıkan sonuçlar, binderlerin kimyasal bileşiminin ses yutumu üzerinde malzeme yoğunluğu veya gözenekliliğinden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca kenevir-kireç ürünlerine uygulanan çok ölçekli gözenekli akustik modeller sunulmuştur. Çok ölçekli gözenekliliğe sahip malzemelerin mevcut akustik modelleri, özellikle düşük frekanslarda gevşek kenevir için deneysel sonuçlarla iyi derecede korelasyon sağlamıştır. Kenevir-kireç betonunun yüksek frekanslı akustik davranışınının doğru bir tahmin modelini geliştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Ek olarak, kenevir-kireç betonunun, gözenekli yapısından dolayı mükemmel higrotermal özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Kenevir-kireç kompozit duvara kireç-sıva uygulandığında, higrotermal niteliklerinden önemli ölçüde ödün vermeden dayanıklı bir duvar kaplaması oluşturulmuştur. Fakat sıva uygulamasının ardından yüzey gözenekliliğinin azalmasından dolayı ses yutumunda düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca kenevir-kireç betonuna imalat sırasında fazla suyun eklenmesinin, ses yutumunu azaltan pürüzsüz ve kapalı bir yüzeyin oluşmasına neden olabileceği belirtilmiştir. Sıva yapılmamış kenevir- kireç duvarında yüksek ses yutucu yüzeylerin açığa çıkmasıyla birlikte odalarda düşük yankılanma sürelerine olanak sağlamıştır. Bu durumun ilave akustik uygulama ihtiyacının azalmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir.

Tang ve Yan (2017) tarafından yapılan çalışmada, lifli malzemelerin gözenekli yapıları nedeniyle gürültünün azaltılmasında yaygın olarak kullanıldığına değinilmiştir. Ayrıca çalışmada ses yutum katsayısının tahmin yöntemlerine ilişkin mevcut araştırmalar derlenmiştir. Ampirik yöntemler, makroskopik geometriye dayalı tahmin yöntemleriyken, mikroyapısal modeller mikroskobik özelliklere bağlıdır. Ampirik modelin, hava akışı direncine dayalı ses yutum katsayısını tahmin edebildiği; mikroyapısal modelin ise tahminler için lifli malzemelerin gözeneklilik, kıvrımlılık, viskoz karakteristik uzunluk ve termal karakteristik uzunluk gibi ayrıntılı yapısal parametrelere ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir. Mikroyapısal model, ses yutum katsayısını ampirik modele göre daha doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir ancak karmaşık denklemler nedeniyle sınırlı bir kullanımı vardır. Bu çalışmada belirtilen modeller

kapsamında, hava akış direncinin lifli malzemelerin akustik özelliklerinde büyük bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle ses yutum malzemeleri tasarlanırken hava akış direnci parametresine dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, çeşitli lifli malzemelerin ses yutum özellikleri üzerine yapılan mevcut araştırmalara odaklanılmıştır. Cam yünü, karbon lifi ve bazalt lifi gibi inorganik liflerin gürültü azaltma uygulamalarında kullanıldığından bahsedilmiştir. Alev geciktirici, yüksek sıcaklık dayanımı ve nem direnci gibi avantajları nedeniyle tercih edilen metalik liflerin ses yutum uygulamalarında tercih edildiği belirtilmiştir. Daire, içi boş ve üçgen gibi özel ve düzensiz kesitlere sahip olabilen sentetik liflerin, gelişmiş ses yutum özellikleri gösterebildiğine değinilmiştir. Kapok, kenevir, hindistan cevizi, kenaf, lif kabağı ve yün gibi doğal lifli malzemelerin, biyolojik olarak parçalanabilir, yenilenebilir ve çevre dostu malzemeler olarak talep gördüğü vurgulanmıştır. Doğal/sentetik hibrit lif düzenekleri, tek bileşenli lifli malzemelere göre kapsamlı avantaja sahip ses yutum malzemelerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Yüksek spesifik yüzey alanına sahip nano lifli malzemeler hafiftir ve geleneksel lifli malzemelere göre düşük frekanslı gürültüyü daha iyi azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, nanoliflerin üretim maliyetinin fazla olması ve üretim verimliliğinin nispeten düşük olması gelecek vaat eden teknolojileri sınırlamaktadır.

Dunne vd. (2017) tarafından yapılan bu çalışmada, otomotiv ve inşaat endüstrisi gibi endüstrilerde, lifli malzemelerin ses yutum katsayısını etkili ve verimli bir şekilde tahmin edebilen, kullanımı kolay ampirik modellere ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, yığın yoğunluğu, kompozit kalınlığı, gözeneklilik, lif çapı, hava akışı direnci, kıvrımlılık ve yüzey empedansı gibi ses yutumunu etkileyen faktörlerin bir incelemesi sunulmuştur. Ayrıca gözenekli lifli malzemelerin ses yutum katsayısının ve bunların çalışma aralığının tahmini için mevcut ampirik modellerden bahsedilmiştir. Bu modeller, doğruluklarından emin olmak amacıyla, hindistan cevizi lifi, kenaf, kenevir ve koyun yünü gibi doğal liflere ait deneysel veriler kullanılarak test edilmiştir. Çalışma, mevcut ampirik modellerin doğal liflerin ses yutum katsayısını tahmin etmek için yeterli olmadığını ortaya çıkararak, yeni modellerin geliştirilmesine olan ihtiyacın altını çizmiştir. Fakat çalışma aynı zamanda, mevcut modellerin kompozit kalınlığı ve birim hacim ağırlığındaki değişikliklere karşı hassasiyetini vurgularken, tasarımcılar için bir

başlangıç noktası olarak kullanışlılığını da kabul etmiştir. Bu çalışmada sunulan modellerin neredeyse tamamı taş yünü ve cam yünü ile ilgilidir. Doğal lif içerikli ses yutum malzemelerinin karakteristik empedansının ve yayılım sabitinin tahmini ve karakterizasyonu için önerilen çok az model vardır ve bunlar genellikle doğruluktan yoksundur. Ayrıca mevcut ampirik modellerin kullanımı belirli bir lif çapı aralığı için uygunudur. Doğal liflerin çapı ise genellikle sentetik liflerden büyüktür ve bu lifler daha düzensiz bir yapıya sahiptirler. Teorik ses yutum tahmin modelleri, doğal liflere uygulandığında, doğal liflerin düzensiz şekilleri ve değişken çapları nedeniyle, doğru sonuçlar vermemektedir. Ancak bir malzemenin ses yutum katsayısını tahmin etmek için birden fazla modelin kullanılabileceğini de unutmamak gerekir. Bazı modeller düşük frekans aralığında daha iyi davranırken, bazıları daha yüksek frekans aralıklarında doğru şekilde ses yutum tahminleri yapabilmektedir. Bu nedenle, tüm frekanslarda ses yutum katsayısını tahmin edilebilmesi için birden fazla modelin kullanıldığı hibrit bir yaklaşım düşünülebilir. Bununla birlikte, Delany-Bazley modelinin, belirli bir aralıkta kullanıldığında, makul düzeyde ses yutum sonuçları verdiği gösterilmiştir.

Ramam vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, doğal lif takviyeli kompozitlerin (NFRC) otomotiv, uçak ve bina inşaatı uygulamaları gibi çeşitli endüstrilerde ses yutumu uygulamaları için büyük talep gördüğünden bahsedilmiştir. Çalışmada, matris malzemesi olarak epoksi içeren, keten, kenevir ve kenaf liflerinden yapılmış çeşitli doğal lif takviyeli kompozitlerin (NFRC) hazırlanmasıyla ilgili bilgiler sunulmuştur. Farklı kalınlıkta hazırlanan kompozit numunelerinin ses yutum katsayılarının ölçümü yaklaşık 200 Hz - 1600 Hz aralığındaki frekanslarda empedans tüp yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çeşitli doğal lif kompozitlerin birleşik etkileri ayrıntılı deneyler yapılarak incelenmiştir. Numune kalınlığı 20 mm ile 40 mm arasında değişen keten lif kompozitinin yaklaşık 0,778 ile 0,892 arasında değişen SAC değerleri ile diğer kompozitlere göre daha iyi ses yutum özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Sonuçlara göre 40 mm kalınlığa sahip keten lif takviyeli kompozitin, kenevir ve kenaf kompozitlere kıyasla daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca kompozit malzeme içeriği ve kompozit kalınlığı gibi faktörlerin SAC üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. 40 mm kalınlığında keten ve kenevir içeren iki liften oluşan kompozitin ve 40 mm kalınlığında keten, kenevir ve kenaf içeren üç liften oluşan kompozitin en yüksek ses

yutum katsayılarına sahip olduğu belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak NFRC'lerde farklı doğal liflerin birbiriyle karıştırılmasıyla ve kalınlığının artırılmasıyla, kompozitlerin ses yutum performanslarının iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada test edilmek üzere hazırlanan kenevir içerikli NFRC'lerin SAC değerlerinin numune kalınlığına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. 20 mm'lik bir numune için 1096,875 Hz frekansında SAC 0,605 iken, yaklaşık 40 mm'lik bir numune için 1037,5 Hz frekansında SAC 0,81 yaklaşık olarak verilmiştir. 528,125 Hz frekansında, 20 mm kalınlığındaki bir keten lif kompozitinin SAC değeri yaklaşık 0,778 iken, 1340,625 Hz frekansında 40 mm kalınlığındaki bir keten lif kompozitinin SAC değeri yaklaşık 0,892'dir. Ayrıca lif boyutunun da ses yutumunda etkili bir parametre olduğu belirtilen çalışmada, lif kalınlığının azalmasıyla yüzey alanının artırılabileceği ve böylece hava akış direncininin artarak düşük frekanslarda malzemenin ses yutum özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlayabileceği bilgisi verilmiştir.

Süvari (2020) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların örtme faktörü ve gözeneklilik parametreleri ile ses yutum davranışları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, farklı atkı sıklıklarının ve iplik numaralarının kumaşın ağırlığını, kalınlığını, hava geçirgenliğini, gözenekliliğini ve ses yutum katsayılarını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmadaki dokuma kumaşların üretiminde kullanılan atkı ipliğinin hammaddesi pamuktur. Numunelerin atkı iplik numaraları: 9,8 tex, 14,8 tex, 19,7 tex, 73,8 tex. 'tir. Numunelerin atkı sıklıkları:17 atkı/cm, 25 atkı/cm, 28atkı/cm ve 38 atkı/cm olarak belirlenmiştir. Dokuma kumaşların ses yutum katsayıları 1000 Hz - 6100 Hz frekans aralığında ölçülmüştür. Her kumaş türünden beş farklı numuneye test yapılmıştır ve bu beş değerin ortalaması alınarak hava geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca kumaş gözeneklerinin analizi için ışık mikroskobu kullanılarak kumaş altından ışık verilmiştir ve kumaş üst yüzeyinin görüntüleri alınıp kaydedilmiştir. Çalışmada ayrıca atkı ipliği sıklığı ve iplik numarası parametrelerinin tek bir değişkene indirilmesinde faydalı olabilecek örtme faktörü değerleri de hesaplanmıştır. Dokuma kumaşlarda daha kalın iplikler ve daha yüksek atkı ipliği sıklığı kullanılarak örtme faktörünün artırılması, kumaşın gözenek oranının ve hava geçirgenlik değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu da kumaşın ses yutum katsayısı değerlerinin artmasına neden olur. Bu çalışmadaki sonuçlar, örtme faktörünün hesaplanmasıyla, gözenek boyutu, hava geçirgenliği veya ses

yutum katsayıları gibi diğer parametrelerin doğrudan ölçümüne gerek kalmadan, dokuma kumaşlarda ses yutum davranışının tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Altıntaş Akay (2022) tarafından yapılan çalışmada, polyester dokuma kumaşların akustik özellikleri ile gözeneklilik ve geçirgenlik arasındaki ilişki araştırılmıştır. Farklı lif kesitlerinin, farklı kumaş dokuma tiplerinin ve farklı atkı sıklıklarının, kumaşların hava geçirgenlik, gramaj, kalınlık, gözeneklilik ve ses yutum gibi özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada kumaş örnekleri üzerinde, ağırlık, kalınlık, çekme mukavemeti, hava geçirgenliği, farklı frekanslarda ses yutum katsayısı gibi değerlerini ölçmek için, testler yapılmıştır. Farklı lif kesitlerine sahip üç farklı filament polyester iplik kullanılarak, üç farklı dokuma tipinde ve iki farklı atkı sıklığına sahip onsekiz adet kumaş örneği değerlendirilmiştir. Çalışmada daha yumuşak, lifli ve gözenekli malzemelerin daha yüksek ses yutum kapasitesine sahip olduğu, daha sert malzemelerin ise daha düşük ses yutum kapasitesine sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bir kumaşta birim uzunluk başına atkı ipliği sayısı olarak tanımlanan atkı ipliği sıklığının, ses yutum özelliklerini etkileyebileceği belirtilmiştir. Dokuma kumaşlardaki yüksek atkı sıklığının potansiyel olarak ses yutum özelliklerini artırabileceği belirtilmiştir. Atkı sıklığının ses yutumu üzerindeki etkisinin lif kesiti, iplik ve dokuma tipi, kumaş kalınlığı gibi diğer faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebileceğinden bahsedilmiştir.

Farklı dokuma tipleri, kumaş içindeki hava ceplerinin sayısında ve boyutunda farklılıklara yol açarak kumaşın sesi yutum yeteneğini etkileyebilir. Bu çalışmada, bezayağı dokuma kumaşın saten dokuma kumaşa göre daha sıkı bir yapıya sahip olması sebebiyle, ses yutum katsayısının daha iyi olabildiği bilgisi verilmiştir. Farklı lif kesitleri, kumaş içindeki hava ceplerinin sayısında ve boyutunda farklılıklara neden olabilir ve bu da ses yutumunu etkileyebilir. Ayrıca, düzensiz dairesel olmayan kesitlere sahip liflerden yapılan kumaşlar artırılmış yüzey alanına sahip olabilir. Bu durum da ses dalgalarının liflerle nüfuz etme potansiyelini artırarak kumaşın ses yutum performansını yükseltebilir. Bu çalışmanın sonucunda kumaş numunelerinin hava geçirgenliğinin artması ile 500 Hz, 2000 Hz ve 6300 Hz frekans değerlerinde ses yutum katsayısında azalma kaydedilmiştir. Ayrıca dokuma kumaşlarda frekans artışıyla beraber ses yutum katsayısı değerlerinin artığı gözlemlenmiştir (Altıntaş Akay, 2022).

Soltani ve Zerrebini (2012) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların akustik özellikleri ve ses yutum katsayıları analiz edilmiştir. Ses yutum katsayıları empedans tüpü kullanılarak ölçülmüştür. Dokuma tipi, atkı ipliği sıklığı, kumaşların katmanlanmasıyla oluşturulan malzeme kalınlığı, iplik eğirme sistemi gibi parametrelerin farklılaştırılmasıyla üretilen dokuma kumaşlar, numunelerin arkasında bırakılan hava boşluğu kalınlığı da göz önüne alınarak test edilmiştir. Sonuçlar, çoğu numunenin en yüksek ses yutum katsayısı değerine 1000 Hz frekansında ulaştığı göstermiştir. En düşük ses yutum değeri ise 250 ve 2000 Hz frekanslarında kaydedilmiştir. Ayrıca sonuçlar, dokuma kumaşların ses yutum katsayısının kumaşın hem yoğunluğundan hem de gözenekliliğinden etkilendiğini göstermiştir. Bezayağı kumaşın ses dalgalarını diğer dokuma tiplerine göre daha fazla yuttuğu tespit edilmiştir. Kumaşlar ses yutum katsayısına göre yüksekten düşüğe doğru şu şekilde sıralanmıştır: Bezayağı, 2/1 dimi, 3/1 dimi, 2/2 dimi, ribana, saten kumaşlar. Bezayağı kumaş, daha yüksek iplik kesişimine sahiptir ve daha kısa serbest iplik yüzmeleri yapmaktadır. Bu da bünyesinde daha fazla havanın hapsedebilmesine olanak sağlar. Bu sayede ses dalgalarını diğer dokuma türlerine göre daha etkili bir şekilde yutar. Sonuçlar ayrıca, 24,5 tex atkı ipliği ile dokunan kumaşların, aynı atkı sıklığında atkı ipliğinde farklı numarada iplik kullanılan diğer kumaşlara göre daha yüksek ses yutumuna sahip olduğunu göstermiştir. Daha ince atkı ipliğinin ve daha yüksek kumaş kalınlığının, kumaşın gürültü azaltma katsayısının (NRC) artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, rotor iplikleri kullanılarak dokunan numuneler, ring iplikleri veya kompakt iplikler kullanılarak dokunan numunelerle karşılaştırıldığında çok daha yüksek ses yutumu sergilemişlerdir. Rotor ipliklerdeki eğirme şeklinden dolayı iplik çaplarında meydana gelen değişimler ve iplik yüzeyindeki sargı liflerinin neden olduğu hacim nedeniyle, ses enerjisinin havanın viskozitesi yoluyla ısıya dönüştürüldüğü belirtilmiştir. Kumaş kalınlığını artırmaya yönelik katmanlama teknikleri, ses yutum özelliklerini etkilemiştir. 14,8 tex atkı ipliği ile dokunan altı katlı numunenin, 59 tex atkı ipliği ile dokunan benzer kumaşlara göre daha yüksek NRC'ye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ipliklerin incelmesiyle düşük frekanslarda daha yüksek ses yutum katsayılarına ulaşıldığı belirtilmiştir. Ek olarak, hava boşluğunun ses yutum katsayısı üzerindeki etkisini gözlemlemek için 3/1 dimi kumaştan test numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin arkasındaki hava boşlukları sırasıyla 4 cm, 8 cm ve 12 cm'ye ayarlanmıştır. Hava boşluğu olmadığında tüm frekanslarda ses yutum katsayısı çok düşük

değerlerde çıkmıştır. Hava boşluğundaki artışın, numunelerin ses yutum katsayısını mutlaka maksimuma çıkarmadığı görülmüştür. Ancak hava boşluğunun kalınlığının artmasıyla, NRC'nin maksimum değerinin daha düşük bir frekansa doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, kumaşın kullanım amacına uygun olarak gerekli hava boşluğu kalınlığının belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Soltani ve Zarrebini (2013) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların ses yutum katsayılarının doukusuz yüzeylere göre oldukça düşük olmasına rağmen hem teknik hem de ekonomik olması ve bazı uygulamalarda dokusuz yüzey kullanılamaması nedeniyle dokuma kumaşların tercih edildiği belirtilmiştir. Çalışmada dokuma kumaşların akustik performansı; atkı ipliği sıklığı, kumaş kalınlığı, atkı ipliği bükümü ve hava geçirgenliği ile ilişkili olarak analiz edilmiştir. Araştırmada 15, 20, 25, 30, 35, 41 atkı/cm atkı ipliği sıklıklarında ve farklı iplik bükümlerine sahip dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayıları empedans tüp yöntemiyle ölçülmüştür. Katmanlama tekniği ile artırılan kumaş kalınlığının etkisi, üç ve altı katmanlı numuneler kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, dokuma kumaşların ses yutum katsayısının yukarıda belirtilen değişkenlere bağlı olduğunu ve tüm numuneler için minimum ses yutum değerlerinin 250 ve 2000 Hz frekans bantlarında olduğunu, maksimum ses yutumunun ise 1000 Hz frekansında meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca 30 atkı/cm atkı ipliği sıklığında dokunan kumaşların, diğer atkı ipliği sıklığında dokunan kumaşlara göre daha yüksek ses yutumu sergilendiği görülmüştür. Altı katmalı kumaşların NRC değerleri her atkı sıklığında tek ve üç katmanlı versyonlarından yüksek çıkmıştır. 25 atkı/cm atkı yoğunluğunda dokunan altı katmanlı numunenin, daha yüksek atkı ipliği sıklığındaki dokuma kumaşlara göre daha fazla NRC'ye sahip olduğu bulunmuştur. İplik bükümündeki artış iplik kompaktlığında artışa neden olduğu için, ipliklerdeki boşluk miktarını azalttığı ve dolayısıyla kumaş NRC'sinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Düşük bükümlü atkı ipliği dokunan kumaşlarda NRC oranının daha yüksek olmasının, bu kumaşların hava geçirgenliğinin düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Böylece dokuma kumaşların ses yutum davranışının kıstası olarak kumaş hava geçirgenliğinin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada, ses yutum sisteminin arkasında uygun kalınlıkta bir hava boşluğu bırakıldığında, dokuma kumaşların ses yutum performansının artırılabildiğinden bahsedilmiştir.

Samuel vd. (2023) tarafından, düşük ve orta frekanslarda ses yutumunun çok katmanlı kumaşlarla ve hava boşluklarıyla artırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Farklı dokuma tiplerinde üretilen çok katmanlı dokuma kumaşların ve dokusuz yüzey kumaşların empedans tüpünde akustik ölçümleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlar, dokuma kumaşların farklı dokuma tiplerinden kaynaklı farklılaşan geometrik yapıları ve çok katmanlı yapıların yerleşim tasarımları nedeniyle 160 Hz -3150 Hz frekans aralığında ses yutma performansında önemli değişimler gözlemlenmiştir. Çok katmanlı yapılara hava boşluğu eklenmesinin düşük ve orta frekanslı ses yutumunu artırdığı görülmüştür. Ayrıca, X-ışını tomografisi kullanılarak kumaşların gözeneklilik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda tek kat bezayağı dokuma kumaş yüzeyinin, tek kat saten, ribana ve dimi dokuma kumaşların yüzeyinden daha gözenekli olduğu görülmüştür.

Dokusuz yüzey kumaşların dokuma kumaşlarla birlikte katmanlaştırılması ses yutum sonucunu önemli ölçüde etkilemiştir. 3TS + N + 2TP (Üç kat saten dokuma + Dokusuz yüzey + İki kat bezayağı dokuma) ve 3TT + N + 2TP (Üç kat dimi dokuma + Dokusuz yüzey + İki kat bezayağı dokuma) gibi özel konfigürasyonlara sahip dokuma kumaş düzenleri, önde dokuma kumaşlar ve arkada dokusuz yüzey kumaş ve hava boşluğu içeren katman düzenine göre (3TS + 2TP + N + A, 3TT + 2TP + N + A), 400 Hz - 3150 Hz aralığında daha yüksek ses yutumu göstermişlerdir. Diğer yerleşim analizi ise üç kat bezayağı (3TP) kumaşlar kullanılarak yapılmıştır. Bezayağı kumaşın (TP) açık yapısı nedeniyle numunelerin ses yutum performansı, kumaşın dizilişine ve katman sayısına bağlı olarak değişmektedir. Düşük ve yüksek frekans aralığında ses yutum performansı, üç kat saten kumaş (3TS), dokusuz yüzey kumaş, üç kat bezayağı (3TP) kumaş ve hava boşluğu düzeniyle (3TS + N + 3TP + A) artırılmıştır. Ancak 3TP bezayağı kumaşlar öne yerleştirildiğinde (3TP + N + 3TS + A) düşük frekanslarda ses yutumu yüksek olurken, orta ve yüksek frekanslarda kalıcı bir sounç alınamamıştır. Genel olarak, çok katmanlı malzeme düzeninin ses yutum sonuçları, 500 Hz frekansın altında bir iyileşme göstermektedir. Ayrıca 160 Hz'den 3150 Hz'e kadar tutarlı ve artan ses yutum sonuçları elde edilmiştir. Katmanlı malzemeler düşük frekanslarda ses yutumunu iyileştirirken aynı zamanda düşük frekanstan yüksek frekansa doğru (400 Hz - 5000 Hz) yüksek ve tutarlı bir ses yutum aralığı ile 0,76 değerinde NRC sonucu elde edilmiştir. Çok katmanlı kumaşlarda hava geçirgenliği azaldıkça ses yutum katsayısı sonuçlarında artış

gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada çok katmanlı malzemelere hava boşluğunun eklenmesiyle ilave malzeme kullanmadan düşük ve orta frekanslarda ses yutum performansının artırabileceği belirtilmiştir (Samuel vd., 2023).

Samuel vd. (2021a) tarafından yapılan çalışmada, iplik özelliklerinin, dokuma tipinin ve farklı akustik sinyal açılarının kumaşların ses yutum sonuçları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İpliğin kumaş üzerindeki etkisini anlamak için numuneler; tekstüre, bükümlü ve kesikli polyester ipliklerden hazırlanmıştır. Bezayağı, ribana, saten ve dimi gibi temel dokuma tipleri kullanılmıştır. Toplamda 16 adet dokuma kumaş hazırlanmıştır. Ölçümler düşük ila orta akustik frekans aralığında yankısız bir odada gerçekleştirilmiştir. Gözlemlenen sonuçlar, akustik sinyallerin farklı geliş açılarının kumaşın ses yutum özelliklerini etkilediğini göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir: Yapılan bu çalışmada genel olarak kesikli iplikten oluşturulan malzemeler yüksek hava geçirgenliği ve düşük ses basıncı azaltma sonuçları göstermişlerdir. Kesikli ince PES ipliklere metre başına verilen yüksek sayıda büküm, ses dalgalarının iplik demetine girmesini engelleyebilmektedir veya ses enerjisi iplikler arasından herhangi bir enerji dönüşümü gerçekleştirmeden doğrudan geçebilmektedir. Hacimli tekstüre polyester ipliklerden üretilen kumaşlar, ses dalgası etkileşimi için daha geniş bir yüzey alanı sağlayabilmektedir. Böylece ses dalgalarının filamentler arasında sürtünmeye maruz kalmasıyla ses yutumu artırılabilmektedir. Bu çalışmada tekstüre polyester iplikten oluşturulan kumaşların ses yutum özellikleri diğer iplik türlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Kumaş tiplerinin karşılaştırılması sonucunda, dimi kumaş yapısı hariç, bükümlü iplikten oluşturulan tüm kumaşlarda düşük hava geçirgenliği sonuçları kaydedilmiştir. Yankısız odada yapılan ölçümlerin sonuçları, tüm düşük ve orta frekans aralıklarında, 0° geliş açısında, 45° geliş açısına kıyasla, daha yüksek seviyede ses basıncı düşüşü gözlemlenmiştir. Çalışmada, malzemelerin maksimum ses yutum potansiyelinin elde edilmesinde, ses kaynağının konumunun ve sesin geliş açısının belirleyici bir role sahip olduğu belirtilmiştir.

Segura-Alcaraz vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kumaşların dokusuz yüzey kumaşlara eklenmesiyle ses yutum verimliliğinin önemli ölçüde artırılabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmada 15, 30 ve 45 çözgü /cm çözgü sıklığı ile 7,5, 10, 15, 20 ve 22,5 atkı /cm atkı sıklığı olan dokuma kumaşlar kullanılmıştır. Bezayağı dokuma kumaş

polyester lifinden yapılmış dokusuz yüzeyin üzerine eklendikten sonra ses yutum katsayıları empedans tüpünde ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar, bu kumaşların dokusuz yüzeylerin ses yutumunu değiştirmek için verimli bir şekilde kullanılabileceği hipotezini desteklemiştir. Bu çalışmada, dokusuz yüzeylerin, uygun çözgü ve atkı sıklığına sahip dokuma kumaşlar ile bir araya getirilmesiyle, ses yutum katsayılarının farklı frekanslarda 1 değerlerine yaklaşabileceği gösterilmiştir. Çalışmada ses yutma katsayıları 400 Hz ile 4000 Hz arasında ölçülmüştür. Kumaş yapısının etkisini belirlemek amacıyla, farklı çözgü ve atkı sıklıklarına sahip bezayağı kumaşlar, farklı kalınlıktaki (15 mm, 30 mm ve 45 mm) dokusuz yüzeyler üzerine yerleştirilmişlerdir.

Gözenekli bir malzeme delikli bir panelin arkasına yerleştirildiğinde, delikli panel büyük açık alan yüzdesine sahip çok açık bir yapıya sahip değilse, deliklerin kütle etkisi, ses yutumunun düşük frekansta arttığı, ancak yüksek frekansta azaldığı anlamına gelmektedir (Cox ve D'Antonio, 2005). Bu çalışmada da bu prensip geçerlidir ve gözeneklerin kütle etkisi, dokusuz yüzeye bir dokuma kumaş katmanı eklenmesiyle düşük frekanslarda ses yutumunu artırmıştır. Dokusuz yüzeylerin termal etkileri ile bezayağı kumaşın rezonans etkilerinin bir araya getirilmesi, ses yutumu için avantajlı bir kombinasyonun oluşturulmasını sağlamıştır. Bezayağı dokuma kumaşlarla birlikte kullanılan dokusuz yüzeyin kalınlığı 15 mm'den 45 mm'ye artırıldığında, maksimum rezonansın görüldüğü frekansta da azalma olmuştur. 45 mm kalınlığındaki dokusuz yüzeyler, çok düşük iplik sıklığına sahip olanlar dışındaki tüm bezayağı dokuma kumaşlar ile birlikte kullanıldığında, düşük frekanslarda iyi bir ses yutum performansı sergilemişlemişlerdir. Düşük iplik sıklığı ve dolayısıyla daha büyük gözeneklere sahip bezayağı dokuma kumaşlar, dokusuz yüzeylerin ses yutum davranışını çok fazla değiştirmemiştir. Buna karşılık 15 mm kalınlığındaki daha ince dokusuz yüzey ile birlikte kullanılan çözgü ipliği sıklığı 45 çözgü /cm olan kumaşların ses yutumunda 900 Hz'den yüksek frekanslarda gözle görülür bir artış gözlemlenmiştir. Örneğin çözgü ipliği sıklığı 45 çözgü /cm ve atkı ipliği sıklığı 22,5 atkı/cm olan dokuma kumaş 15 mm kalınlığındaki dokusuz yüzey ile birlikte kullanıldığında, ses yutum katsayısı 1060 Hz ve üzerinde 0,5 olup, 2980 Hz'de maksimum 0,97'ye ulaşmıştır. Özetle, daha kalın dokusuz yüzeyin yüksek iplik sıklığındaki bezayağı kumaşlarla birleştirilmesi sonucunda düşük frekanslarda daha iyi ses yutumu sağlanmaktayken; daha ince dokusuz yüzeyin yüksek iplik sıklığındaki

bezayağı kumaşlarla birleştirilmesi sonucunda yüksek frekanslara doğru daha iyi ses yutumu gözlemlenmiştir (Segura-Alcaraz vd., 2018).

Wang ve Tang (2022) tarafından yapılan çalışmada, ses yutumu uygulamaları için test edilmek üzere dokuma ve dokusuz yüzey kumaşların laminasyonuyla çok katmanlı kompozitler üretilmiştir. Farklı iplik sıklığındaki dokuma kumaşlar ve farklı kalınlıklarda dokusuz yüzeyler, yapıştırıcı kullanarak, dikişle birbirine bağlanarak ve birbirinin üzerine koyulup doğrudan katmanlaştırılarak birleştirilmiştir. Bu çalımada farklı kalınlıktaki polypropylene dokusuz yüzeyler (A, B, and C), farklı çözgü ve atkı sıklıklarına sahip pamuklu dokuma kumaşlar (W1, W2, W3, and W4), polyvinyl alcohol (PVA) binder, epoxy reçine binder kullanılmıştır. Lamine edilmiş yapıların, mekanik ve ses yutum özellikleri araştırılmıştır. Çok katmanlı kompozitin özelliklerinin iyileştirilmesinde yapı formunun önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Çok katmanlı kompozitin ses yutum verimliliği, dokuma ve dokusuz yüzey kumaşların kombinasyonu en uygun hale geliştirilmiştir. Dokuma kumaşların iplik sıklığı ile dokusuz yüzey kumaşların kalınlığının lamine kompozitlerin ses yutum katsayılarını etkileyen iki önemli faktör olarak tespit edilmiştir. Dikişle birleştirme yöntemlerinin ses yutum performansının iyileştirilmesi üzerindeki etkisi ihmal edilebilir seviyede bulunmuştur. 3150 ile 6300 Hz frekans aralığında, epoksi reçine kullanılarak oluşturulmuş lamine yapıların ses yutumu, PVA binderle yapılmış laminasyona kıyasla daha iyi sonuç vermiştir. Epoksi reçinenin viskozitesi nedeniyle bu lamine yapıların ses yutum performanslarının daha yüksek çıkmış olabileceği bilgisi verilmiştir. Malzemeler arasındaki dikiş ve binder kullanmadan yapılan doğrudan birleştirmenin, özellikle düşük frekanslarda, verimli ses yutumunun sağlanmasında etkili olduğu belirtilmiştir. Dokusuz yüzey kumaşlar ve dokuma kumaşlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde, dokusuz yüzeylerin daha iyi ses yutumu sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum dokusuz yüzey kumaştaki rastgele lif dağılımına ve dokusuz yüzeyin daha kalın olmasına bağlanmıştır. Çözgü ve atkı ipliği sıklığının artmasıyla ses yutumunun doğrusal olarak artmadığı da ayrıca belirtilmiştir.

Witthayolankowit vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, ses yutumu ve ısı yalıtımı amacıyla kuraklığa dayanıklı bitkilerden (ananas, kenevir, sisal ve agav) elde edilen doğal liflerin ve geri dönüştürülmüş polietilentereftalat (r-PET) lifinin farklı kombinasyonlarda sıcakta karıştırma ve presleme yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit

malzemelerin geliştirilmesi tartışılmıştır. Hazırlanan karışık lifli kompozitlerin alan yoğunlukları ve kalınlıkları kontrol edilmiştir ve gözeneklilikleri hesaplanmıştır. Daha yüksek gözenekliliğe sahip karışık lifli kompozitler, ses yutumunda ve ısı yalıtımında daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca hazırlanan tüm ortak lifli malzemeler, yüksek verimli ses yutum standardı olan 0,56'dan daha yüksek bir gürültü azaltma katsayısı (NRC) göstermiştir. Bu durum da onları ticari olarak temin edilebilen ürünlerle karşılaştırılabilir kılmaktadır. Ananas ve kenevir lifi kullanılarak hazırlanan karışık lifli kompozitlerin 2000 Hz -5000 Hz gibi yüksek bir frekans aralığında sırasıyla 0,96 ve 0,97 ses yutum katsayılarına ulaştığı belirtilmiştir. Ananas ve kenevir lifi kullanılarak hazırlanan karışık lifli kompozitlerin gürültü azaltma katsayısı (NRC) sırasıyla 0,61 ve 0,58 olarak verilmiştir. Böylece geri dönüştürülmüş PET lifi ve doğal lifler (ananas ve kenevir) kullanılarak hazırlanmış karışık lifli kompozitlerin, ses yutumu için gerekli yüksek verimlilik standardını karşıladığı gösterilmiştir. Ananas, kenevir, agav ve sisal ile geri dönüştürülmüş PET'in karıştırılmasıyla oluşturuluan kompozitlerin ses yutum performansı, ticari bir PET lifli ses yutum malzemesinden biraz daha düşük çıkmıştır. Bununla birlikte hazırlanan karışık lifli kompozitler, 2000 Hz –5000 Hz frekans aralığında 0,94 'ün üzerinde ses yutum katsayısıyla mükemmel ses yutum performansı sergilemişlerdir. Sonuç olarak, ananas ve kenevir karışık lifli kompozitlerin, petrol içerikli ürünlere alternatif, çevre dostu ticari ses yutum malzemeleri olarak değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Yang vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, karşılaştırılabilir performansları ve çevresel avantajları nedeniyle, geleneksel sentetik ses yutum malzemelerine alternatif olarak görülen doğal liflerin potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma, doğal liflerin ses yutum mekanizması, tahmin modelleri ve karakterizasyon yöntemlerine genel bir bakış sunmuştur. Bu çalışmada doğal lifler; hammadde, lif topluluğu ve kompozitler olarak üç gruba ayrılmıştır ve ses yutum performansları, malzeme kalınlıkları göz önünde bulundurularak, cam lifiyle karşılaştırılmıştır. Pek çok doğal lifin benzer ses yutum performansına sahip olduğu ve kenevir lifi gibi bazı liflerin özellikle 500 Hz –2048 Hz frekans aralığında cam lifine ideal bir alternatif olabileceği belirtilmiştir. Doğal liflerin çapı sentetik liflere göre daha büyük olmasından dolayı ticari alanda sınırlı kullanıma sahip olsa da ön işlemler yoluyla bazı çözümler geliştirilebileceğinden bahsedilmiştir.

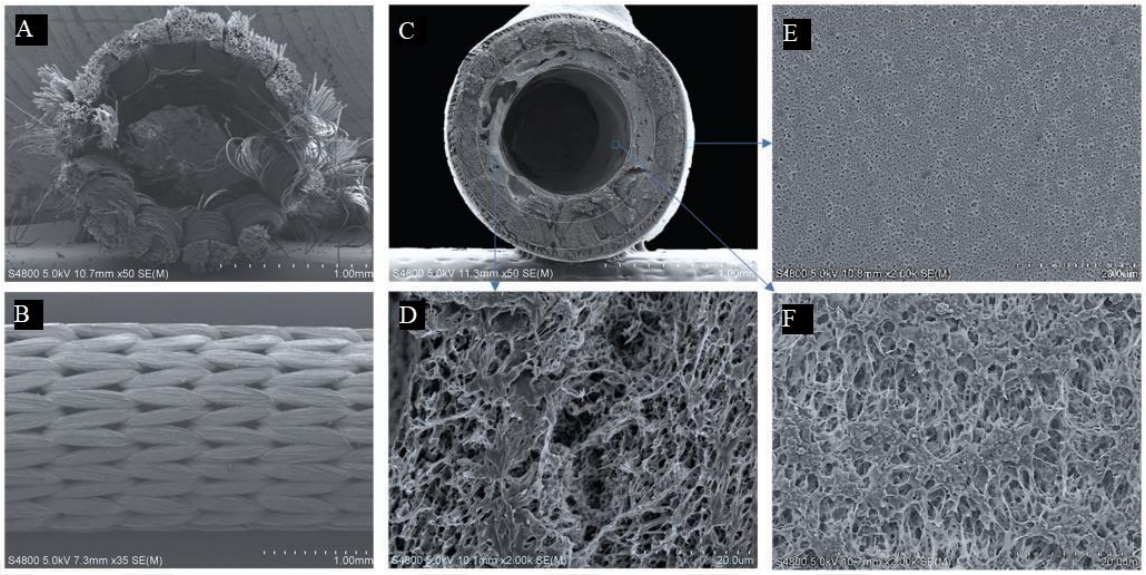
Çalışmada, birçok farklı ham doğal lifin ve gevşek doğal lif topluluğunun dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmişti. Diğer malzemelerle birleştirilmiş şekilde oluşturulan doğal lif içerikli kompozitlerin de ses yutum malzemesi olarak etkili çözümler sunacabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca doğal liflerin ses yutum performansını tahmin etmek için güvenilir, sağlam ve doğru bir modelin geliştirilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte ham kenevirin, parçacık şekli ve boyutundaki dağılım nedeniyle özellikle düşük frekanslarda tek boyutlu küresel parçacıklara kıyasla daha iyi ses yutumu gösterdiği belirtilmiştir. Kenevir parçacıklarının paralel yüzlü şekli, malzeme gözenekliliğini ve gözenek boyutu dağılımını etkileyerek, ses yutumunun artmasını sağladığı bilgisi verilmiştir. Ek olarak çalışmada, dikey yeşillendirme sisteminin gürültü azaltma amacıyla kullanılabildiğinden bahsedilmiştir.

Singh ve Kapoor (2023) tarafından yapılan çalışmada, jüt, hindistan cevizi lifi ve jüt-hindistan cevizi karışımlı dokusuz yüzey kumaş numunelerinin test parametrelerinin, ses yutum katsayısının ölçülmesi yoluyla, gürültü azaltma katsayısı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Ses yutum katsayısı, ASTM E-1050 standardına göre empedans tüpü yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Dokusuz yüzey kumaş numunelerinin akustik performansı 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2500 Hz frekanslarında gözlemlenmiştir. Gürültü azaltma katsayısının hesaplanmasında bu frekanslardaki ses yutum katsayısının ortalama değeri kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, dokusuz yüzey jüt kumaş numunesi kalınlığının 15 mm'den 45 mm'ye çıkarılarak, %50 jüt ve %50 hindistan cevizini karıştırarak ve hava boşluğu kalınlığını 15 mm'den 30 mm'ye getirerek daha yüksek ses yutum katsayısına ve geliştirilmiş gürültü azaltma katsayısına ulaşıldığı görülmüştür. Ancak hava boşluğunun artırılması ile akustik performansta meydana gelen iyileşmenin çok az olduğu belirtilmiştir. %100 jüt ve %50 jüt-%50 hindistan cevizi dokusuz yüzeylerin tatmin edici akustik performans gösterdiği kaydedilmiştir. Ayrıca %100 jüt kullanılarak üretilen daha kalın dokusuz yüzey kumaş numunelerinin, %50 jüt - %50 hindistan cevizi lifli ve %100 hindistan cevizi lifli numunelere kıyasla nispeten artan ses yutum katsayısı ve gelişmiş gürültü azaltma katsayısı değerleri gözlemlenmiştir. Empedans tüpü içinde 30 mm hava boşluğu bırakılarak test edilen 45 mm kalınlığındaki %100 jüt numunelerin en iyi akustik performansı sergilediği görülmüştür. Numune kalınlığı 15 mm' den 30 mm' ye çıkarıldığında ses yutum katsayısı ve gürültü azaltma

katsayısının değeri önemli ölçüde artığı ancak numune kalınlık 30 mm' den 45 mm' ye çıkarıldığında çok az bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Jüt ve hindistan cevizi lifi inceliğinin, gözeneklerin şekli ile boyutunun ve gözenek dağılımının kumaş gözenekliliğini değiştirerek dokusuz yüzeylerin ses yutum özelliklerini de etkileyebileceği belirtilmiştir.

Zhao vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, yeni ve yüksek performanslı akustik malzemeler geliştirmek amacıyla, örgü takviyeli (BR) poliviniliden florür (PVDF) içi boş fiber membranlar, kuru-ıslak eğirme işlemiyle hazırlanmıştır ve farklı temel dokulara sahip dokuma kumaşların hazırlanmasında kullanılmıştır. Pompa akısının BR PVDF içi boş fiber membranların yapısı ve performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, pompa akısının çap, iç kaplama tabakası kalınlığı ve gözeneklilik dahil olmak üzere yapısal parametreler üzerinde etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, gözenekli-rezonans kompozitlerin ses yutum yapısına sahip BR PVDF içi boş fiberlerin iyi bir arayüz bağlama performansına sahip olduğunu göstermiştir. BR PVDF içi boş fiber membranların, PVDF dış kaplama katmanı, PET boru şeklinde örgü katmanı, PVDF iç kaplama katmanı ve boşluk olmak üzere dört katmanlı bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. BR PVDF içi boş fiber kullanılarak üç çeşit dokuma kumaş üretilmiştir. Dokuma kumaşların ses yutumu 100-6300 Hz frekans aralığında empedans tüp yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Bezayağı kumaş, 2,17 mm gibi küçük bir kalınlığa rağmen 0,71 değerinde ses yutum katsayısıyla diğer dokuma yapılara kıyasla daha iyi akustik özellikler sergilemiştir. Saten kumaşın ise düşük frekansta daha büyük bir ses yutum katsayısına sahip olduğu bulumuştur.

Bu çalışmada, kumaşlardaki ses enerjisinin tüketimi temel olarak sırayla üç prensibe bağlanmıştır. İlk aşamada, gözenekli PVDF dış kaplama katmanındaki, boru şeklindeki PET örgüdeki ve PVDF iç kaplama katmanındaki hava molekülleri titreşir ve gözenek duvarları ve liflerle sürtünür. Böylece bu da ses enerjisinin ısıya dönüşmesine yol açar. İkinci aşamada, ses dalgaları boşluğa girdiğinde, ses enerjisi burada depolanır ve rezonanslı ses yutum yapısı nedeniyle enerji tüketimi için rezonans meydana gelir. Son olarak sesin gözenekli PVDF iç kaplama katmanında, boru şeklindeki PET örgüde ve PVDF dış kaplama katmanında tekrar sürtünmeye maruz kalmasıyla ses enerjisi tekrar ısı enerjisine dönüştürülmektedir (Zhao vd., 2022).



Şekil 2.7. Örgü takviyeli (BR) poliviniliden florür (PVDF) içi boş fiber membranın SEM görüntüleri. **A)** Örgünün kesiti **B)** Örgünün yüzey yapısı **C)** BR PVDF içi boş fiber membranın kesiti **D)** PVDF iç katmanının kesiti **E)** PVDF dış katmanının dış yüzeyi **F)** PVDF iç katmanının iç yüzeyi (Zhao vd., 2022)

Hui ve Fan (2009) tarafından yapılan çalışmada, gürültü kontrol uygulamaları için gözenekli lifli dokusuz yüzeyler en etkili ses azaltıcı malzemeler olarak vurgulanmıştır. Bu malzemelerin en büyük avantajları düşük üretim maliyetlerinin olmasına ve küçük özgül ağırlıklarına bağlanmıştır. Ses dalgalarının gözenekli yapı boyunca yayıldığında viskoz sürtünme ve ısı alışverişi nedeniyle ses enerjisinin dağıtılabildiği belirtilmiştir. Çalışmada hava akış direnci, kıvrımlılık, viskoz karakteristik uzunluk ve termal karakteristik uzunluk gibi parametrelerin, lifli malzemelerin etkin yığın yoğunluğunu ve kesitsel gözenek şekil faktörlerini belirlediğine değinilmiştir. Lif kesit şeklinin, lif inceliğinin, iplik bükümünün ve iplik düzgünlüğünün yapı içindeki hava ceplerinin boyutunu ve sayısını etkilediğinden dolayı akustik davranışı değiştirebilen parametreler olarak ele alındığı belirtilmiştir. Malzemenin yüzey özelliğinin, malzeme kalınlığının, malzeme arkasındaki hava boşluğunun ve malzemenin hava geçirgenliğinin ses azaltma kapasitesi üzerinde etkileri olduğuna vurgu yapılmıştır.

Bu çalışmada kenevir lifinin akustik özellikleri diğer liflerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. 125-2000 Hz aralığında odunsu lifleri ayrılmış kenevir lif topluluğunun kalınlığının, yığın yoğunluğunun ve arkasındaki hava boşluğunun artmasıyla ses yutum katsayısının da artığı bulunmuştur. Yığın yoğunluğunun artmasıyla beraber lif

topluluğunun gözenekliliği azalmıştır ve bu durum düşük frekanstaki akustik empedansta bir artışa yol açarak ses yutum özelliklerini etkilemiştir. Bu durum iki sebebe bağlanmıştır. İlki hava akış direncinin artmasıdır. Diğeri, artan yığın yoğunluğunun ses enerjisinin liflerdeki eğilme titreşimi tarafından yutulmasını etkilemesidir. Böylece düşük frekanslarda ses yutum özellikleri iyileştirilmiştir (Hui ve Fan, 2009). Liflerdeki eğilme titreşimi, liflerin dış kuvvetlere maruz kaldığında yaşadığı bükülme salınımlarını ifade etmektedir (Jalili vd., 2014). Ayrıca Hui ve Fan (2009) tarafından yapılan çalışmada, odunsu lifleri ayrılmış kenevir liflerinin akustik özellikleri yün, pamuk ve akrilik liflerle karşılaştırılmıştır. Ses yutumu en düşük olan numune odunsu lifleri ayrılmış kenevir lifi topluluğu çıkmıştır. Bunun temel nedeni olarak, kenevir lifinin çapının diğer liflerle karşılaştırıldığında daha büyük olması gösterilmiştir. Bu nedenle lif çapının ses yutum katsayısı üzerinde büyük etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak bu çalışma kapsamında, kenevir liflerine uygulanan zamk giderme işleminin ses yutum özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Zamkı giderilmiş kenevir liflerinin uzunluğu ve çapı genellikle sırasıyla 12-18 mm ve 0,22-0,38 tex aralığındadır. Birçok küçük yarık ve delik liflerin ekseni boyunca dağılmış olup, lifin merkezinde bir lümen bulunmaktadır. Kenevir liflerinin kesitleri genellikle düzensizdir ve çoğu elipsoidal veya çokgen şekillere sahiptir.

Taiwo vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, öncelikle ses yutum malzemeleri oluşturmak için kullanılan doğal liflerin potansiyeline ve zorluklarına odaklanılmıştır. Ses yutumu açısından doğal lifli malzemelerin çoğu gözenekli yutum malzemeleri gibi davranma eğilimindedir. Çalışmada, bu malzemelerin ses yutum özelliklerini belirleyen faktörler arasında gözenekliliğin, lif yoğunluğunun ve kalınlığının olduğu belirtilmiştir. Ses yutum malzemelerinin üretiminde doğal liflerin kullanılmasıyla ilgili sorunlardan birinin, lifleri birbirine bağlayan mevcut binderlerin sürdürülebilir malzemeler olmaması olarak bildirilmiştir. Ayrıca, doğal liflerin yüksek frekans aralığında, sentetik liflerle karşılaştırılabilecek kadar iyi ses yutum performansına sahip olduğu ve ananas, kenevir, sisal, jüt gibi doğal liflerin iyi mekanik özellikleri olduğu belirtilmiştir.

Bozan (2020) tarafından yapılan çalışmada, pamuk, viskon, tencel ve polyester ile harmanlanan kenevir liflerinden, kesikli lif eğirme teknolojisini kullanarak üretilen ipliklerin mukavemeti ve düzgünsüzlüğü incelenmiştir. Kenevir liflerinin sertliğinden dolayı eğrilmesindeki zorluklar ele alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, %25 kenevir

lifi içeren ipliklerin düzgünsüzlüğünün, %50 kenevir içerikli ipliklere göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak, iplikteki kenevir lifi oranı azaldıkça düzgünsüzlüğün azaldığı vurgulanmıştır. %50 tencel ve %50 kenevir lifi ile %50 viskon %50 kenevir lifinin kullanıldığı tüm iplik inceliklerindeki karışımlarda, kenevir içeren karışımların düzgünsüzlük değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bunun nedeni olarak rejenere selülozik lif olan tencel ve viskonun lif uzunluğunun ve inceliğinin aynı olması gösterilmiştir. Pamuk lifi ve kenevir lifi karışımından üretilen ipliğin düzgünsüzlüğünün, tencel-kenevir ve viskon-kenevir karışımlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, pamuk lifinin tencel ve viskona göre daha kısa olmasıyla açıklanmıştır.

Asdrubali vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, doğal, geri dönüştürülmüş, harmanlanmış ve kompozit malzemeler, yeşil çatılar ve yeşil duvarlar gibi sistemler dahil olmak üzere sürdürülebilir malzemelerin akustik özellikleri hakkında bir araştırma sunulmuştur. Çalışma ayrıca bu malzemelerin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için daha fazla karakterizasyona ve standartlaştırılmış bir prosedüre duyulan ihtiyacı da vurgulamıştır.

Pil vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, keten ve kenevir liflerinin polimer kompozitlerde takviye olarak giderek daha fazla kullanılmaya başlanıldığından bahsedilmiştir. Çalışmada ilk olarak, tasarımcıları bu lifleri kullanmaya ikna eden teknik özelliklere genel bir bakış sunulmuştur. Kenevir ve keten kompozitlerinin çekmeye ve bükmeye karşı cam fiber kompozitlerden daha yüksek dayanım gösterdiği, karbon fiber kompozitlerden biraz daha düşük dayanım gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca keten ve kenevir liflerinin çok daha yüksek bir titreşim sönümleme kapasitesine sahip olduğu için spor malzemelerindeki veya müzik aletlerindeki uygulamalar için uygun olduğu vurgulanmıştır. Bu liflerin, müzik aletlerinin değişen nem ve sıcaklık altındaki stabilitesini artırarak, geleneksel ahşap içerikli müzik aletlerine alternatif olabilecek ürünlerin tasarlanmasına olanak sağlayabildiği belirtilmiştir.

Kalaycı (2016) tarafından yapılan çalışmada, iç tasarımın oda akustiği üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Tavanın geometrisi ve tavan panellerinin konumu gibi farklı tasarım öğelerinin oda içindeki ses dağılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Genel olarak, geometrisi, yüzey malzemeleri, mobilyaları ve akustik düzenlemeleri de dahil olmak

üzere bir mekanın tasarım öğelerinin tümünün, bir odanın akustiğini şekillendirmede rol oynadığı belirtilmiştir. Duvarlarda, tavanda ve döşemede yapılan yüzey uygulamalarının, perdeler, kumaş kaplı koltuklar ve halı gibi bileşenlerin ve hacim içerisindeki havanın ses yutumunda etkili olduğundan bahsedilmiştir. Konferans ve konser salonlarındaki balkon korkulukları ve balkonların sahneye bakan yüzeylerinin yutucu olarak tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Salon arka duvarının, geciken yansımaların meydana gelmesini önlemek için, ses yutum malzemeleri ile kaplanması gerektiği belirtilmiştir. Sesin doğrudan seyirciye ulaşabilmesi için sahne yüzeylerinin, derinliğe bağlı olarak, yansıtıcı ve yutucu yüzeylere ihtiyaç duyduğu bilgisi verilmiştir.

2.11. Kenevir Lifine Uygulanan Alkali İşlemi ve Ses Yutumuna Etkisi

Kenevir lifleri, diğer doğal bitkisel liflerle karşılaştırıldığında çevre dostu olması ve iyi mekanik özellikler sergilemesi gibi avantajlara sahiptir. Alkali işlemiyle kenevir liflerinin lif demetlerinden ayrılması, istenmeyen yüzey bileşenlerinin uzaklaştırılması, çekme mukavemeti ve dayanıklılığın artması, daha iyi termal stabilite ve gelişmiş arayüzey yapışmaları sağlanmaktadır (Sunny ve Pickering, 2022).

Alao vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, kenevir liflerinin selüloz ile hemiselüloz, pektin ve lignin gibi amorf hücre duvarı biyopolimerlerinden oluştuğu bilgisi verilmiştir. Ayrıca kenevir lifinin hidrofilik doğasından sorumlu olan ve neme karşı yüksek bir afinite sağlayan hidroksil grupları açısından oldukça zengin olduğu belirtilmiştir. Hemiselülozun ve ligninin varlığı, mekanik özelliklerden ve yapısal stabiliteden sorumlu olan selülozun bir polimer matrisine etkili bir şekilde yapışma yeteneğini azaltmaktadır. Bu nedenle lif ile matris arasında zayıf arayüzey bağları oluşmaktadır ve malzemeden istenen verim alınamamaktadır. Kenevir liflerine uygulanan alkali işlemi ile hemiselülozun ve ligninin kademeli olarak uzaklaştırılarak, liflerin düzenlenmesi ve ayrışan fibriler yapı içinde yeni kılcal boşlukların oluşması sağlanabilmektedir. Bu da kenevir lifi yüzeyinin pürüzlülüğünü artırarak lifin polimer matris ile ıslanmasını kolaylaştırmaktadır.

Kabir vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, kenevir liflerinin alkali kimyasallarla (NaOH) işlem gördükten sonra bir polyester matrisle birleştirildiğinde ortaya çıkan kompozitlerde, güçlü arayüzey bağı nedeniyle gelişmiş darbe direnci gözlemlendiği bilgisi verilmiştir.

Wang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada değinilen bir araştırmada, kenevir saplarının takviye edilmesiyle güçlendirilecek polipropilen kompozitlerde, kenevir saplarına uygulanan zayıf bir alkali işlemi ile lignin içeriğini ayarlayarak, takviyenin geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Hui ve Fan (2009) tarafından yapılan çalışmada, odunsu lifleri ayrılmış kenevire uygulanan alkali sulu çözeltiyle zamk giderme işleminin ses yutumuna etkisi incelenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) analizi, zamk giderme işleminden önce ve sonra kenevir liflerinin kristalliğinde ve görünür kristal boyutunda değişiklikler olduğunu göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, kenevir liflerinin zamk giderme öncesi ve sonrası yüzey özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Zamk giderme işlemi sonucunda lif demetlerinin birbirinden ayrıldığı gözlemlenmiş ve lif çapında azalma olduğu için bu durumun kenevir liflerinin ses yutumuna olumlu etki yaptığı belirtilmiştir. Ayrıca bu uygulamayla liflerin üzerlerinde bulunan safsızlıklar da uzaklaştırılmıştır. Böylece lifler daha düzgün yüzeyli hale gelmiştir. Zamkı giderilmiş kenevir lifinin, yüksek frekanslı ses enerjisinin pürüzsüz yüzeylerden yansıtması nedeniyle, özellikle orta frekanslarda gelişmiş akustik özellikler sergilediği sonucuna varılmıştır.

Yılmaz vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, malzeme parametrelerinin ve alkalileştirme işleminin polipropilen ile kenevirden yapılmış üç katmanlı dokusuz yüzey kompozitlerin hava akış direnci ve ses yutum performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesine odaklanılmıştır. Malzeme parametreleri olarak lif boyutu ve gözeneklilik göz önüne alınmıştır. Alkali işleminde sürenin, konsantrasyonun ve sıcaklığın etkisi değerlendirilmiştir. Alkalileştirilmiş kompozit, Polipropilen/Kenevir/Polipropilen katmanlarından oluşan üç katmanlı dokusuz yüzey bir yapı olarak üretilmiştir. Alkalizasyon işleminin ağırlık kaybına ve hava akışı direncinde azalmaya neden olduğu bulunmuştur. Yalnızca sıcaklık değişiminin hava akış direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir faktör olduğu bulunmuştur. Daha yüksek sıcaklıktaki alkalileştirme, daha düşük sıcaklıktaki işleme kıyasla daha yüksek hava akışı direncine yol açmıştır. Daha yüksek sıcaklıkta ve konsantrasyonda alkalileştirme ses yutum performansında daha iyi sonuçlar vermiştir. Alkalizasyon işlemi, liflerden lignin, pektin ve hemiselülozları kısmen uzaklaştırır, daha ince lifleri açığa çıkarır ve life böylece daha pürüzlü bir yüzey

kazandırır. Ayrıca çalışmada daha düşük lif çapı ve daha yüksek lif yüzey alanının, lifli malzemelerin ses yutum performansını artırdığı bilgisi verilmiştir. Bu çalışmada, alkalizasyon sırasında kenevir liflerinin lif demetlerinden ayrılması ile ortalama gözenek boyutunda küçülme, kıvrımlılıkta artış ve bunlara bağlı olarak, malzeme kaybının telafi edilmesiyle birlikte, dokusuz yüzeylerin ses yutumunda artış görülmüştür. Ancak alkalizasyon işleminin ses yutum katsayısını her zaman artırmadığına dikkat edilmelidir. Bazı durumlarda alkalileştirme işlemiyle ses yutum katsayısı düşebilir. Bunun nedeni, daha ince ve daha kıvrımlı lif yapısının olumlu etkilerinden daha ağır basabilen malzeme kaybı ve temel ağırlıktaki azalmadır.

Santoni vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kenevir liflerinin gelişmiş ses yutum performansına sahip sürdürülebilir ısı yalıtım malzemeleri olarak kullanılma potansiyelini tartışılmaktadır. Ayrıca, doğal liflerin fiziksel özelliklerinin büyük bir değişkenlik gösterdiği, bunun da sayısal modellemede belirsizliğe ve tasarım sürecinde akustik iyileştirmeyi zorlaştırdığı belirtilmiştir. Bu çalışma, kenevir lifli malzemelerin akustik performansını üretim süreci boyunca artırmayı ve farklı işlemlerin malzemenin fiziksel özellikleri ve ses yutum katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Çalışmada, taraklama işlemi, alkali işlem, geniş dişli tarama ve ince dişli tarama dahil olmak üzere üretim sürecinin farklı aşamalarından elde edilen kenevir lifli malzeme örneklerini kullanılmıştır. Taraklama işleminden (CAR) sonra gerçekleştirilen alkalisazyon işlemi (NaOH), selülozik olmayan bileşenleri ortadan kaldırarak lif kalitesini artırmıştır ancak akustik özellikleri doğrudan etkilememiştir. Fakat bu işlemden sonra sırasıyla yapılan geniş dişli tarama ve ince dişli tarama işlemleri akustik özellikleri doğrudan etkilemiştir. Geniş dişli tarama (WTC) ve ince dişli tarama (FTC) işlemleri ile lif demetleri açılarak daha küçük çaplı fibriller serbest bırakılmıştır. Böylece ses dalgalarının daha geniş yüzey alanıyla teması sağlanarak hava akış direnci artırılmış ve ses yutum performansı geliştirilmiştir.

2.12. Selüloz İçerikli Liflere Uygulanan Enzimatik İşlemler

Temesgen vd. (2021) tarafından, enset dokuma kumaş yapılarında enzimatik işlemler ve mekanik çekiçleme yoluyla selülozik nanoliflerin sentezlenmesi hakkında bir çalışma yapılmıştır. Enset, muz liflerine benzeyen selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan, etkin

bir şekilde kullanılmayan tarımsal atık lifidir. Bu çalışmada, nano lif üretimi için enset atık malzemelerinin kullanımına odaklanmıştır. Enset nano lif (ENF), enset dokuma kumaşların yüzeyindeki ham liflerin α-amilaz enzimi işlemiyle ve ardından mekanik çekiçleme yoluyla mikro ve nano ölçekli liflere defibrilasyonu ile üretilmiştir ve böylece dokuma kumaşların yüzeyinde nano lif yüzeyler oluşturulmuştur. Test sonuçları, nano lif üretiminin, kullanılan enzim konsantrasyonundan ve uygulanan mekanik güçten önemli ölçüde etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. FTIR sonuçları, enset dokuma kumaşlardan hemiselüloz ve ligninin etkili bir şekilde uzaklaştırıldığını ve ince liflerin defibrile edildiğini ortaya çıkarmıştır.

Buschle-Diller vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada, selülaz, hemiselülaz/selülaz ve ek ß-glukosidaz ilave edilmiş selülaz enzimlerinin kenevir kumaşı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hemiselülaz ve ß-glukosidaz ilavesinin etkisi, hidroliz oranı ve ürün özellikleri açısından değerlendirilmiştir. İşlem sırasında mekanik etki de dikkate alınmıştır. İşlem görmüş numuneler, gerilme mukavemeti, kristallik, gözenek yapısı ve inkübasyon süresi başına ağırlık kaybı ile karakterize edilmiştir. Hemiselülaz ve ß-glukosidaz ilavesi hidroliz oranı üzerinde mekanik etki olmaksızın yalnızca küçük etkiler yaratmıştır. Benzer şekilde mekanik etki olmadan, selobiaz ilavesi de hidroliz oranını önemli ölçüde etkilememiştir. Fakat işlem sırasında uygulanan mekanik etki ağırlık kaybına neden olmuştur. Kristal yapı hidroliz ile çok az bir değişime uğramıştır fakat gözenek yapısı enzim sisteminin seçiminden etkilenmiştir. En büyük toplam gözeneklilik ve en fazla sayıda küçük gözenek, yalnızca selülaz kullanıldığında ortaya çıkmıştır. Hemiselülaz katılmasıyla oluşan karışım başlangıçta daha küçük boyutlu gözeneklerin oluşmasına yardımcı olmuştur, ancak daha uzun işlem süreleri için daha büyük gözeneklerin oluşumunu sağlamıştır. Bununla birlikte, sellobiaz hidroliz reaksiyonunun başlangıcından itibaren daha büyük gözenekler oluşmasına yol açmıştır.

Sahi vd. (2022) tarafından enzimatik işlemin endüstriyel kenevir lifinin özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, bakteri bazlı enzim kullanılarak selülozik olmayan kısımların ortadan kaldırmasıyla, kenevir lifinin kalınlığını azaltmak ve yumuşaklığının artırılması amaçlanmıştır. Enzim konsantrasyonunun, enzimatik işlem sıcaklığının ve işlem süresinin farklılaşmasıyla lifte meydana gelecek fiziksel ve kimyasal değişimler analiz edilmiştir. Sonuçlar pektin, lignin, hemiselüloz ve diğer safsızlıkların

enzim ve alkali işlemleri altında giderildiğini göstermiştir. Enzim konsantrasyonunun, işlem süresinin ve işlem sıcaklığının ağırlık kaybı, lif çapı, kristallik, selüloz, hemiselüloz içeriği ve mukavemet üzerine önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur. Enzimatik işlemden sonra liflerin kristalliği artmıştır ve işlem sıcaklığındaki ve işlem süresindeki artış daha yüksek kristalliğe yol açmıştır. Ayrıca enzimatik işlemlerin lif çapını azaltması nedeniyle kenevir lifinin yumuşaklığı artmıştır.

Lee ve Song (2013) tarafından yapılan çalışmada, dokuma kenevir kumaşlarla güçlendirilmiş poli(laktik asit) kompozitlerde, enzim ve amonyak ile ön işleme tabi tutulmasıyla morfolojik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler analiz edilmiştir. Poli(laktik asit)/kenevir kompozitlerinin hazırlanma işlemi sırasında, kenevir lifleri ile poli(laktik asit) reçinesi arasındaki ara yüzey yapışmasını geliştirmek amacıyla kenevir dokuma kumaşların yüzeyine enzim ve amonyak işlemleri uygulanmıştır. Ancak beklenenin aksine enzimle işlem görmüş numunelerin mekanik özelliklerde önemli bir iyileşme görülmemiştir. Özellikle enzimatik işlem kenevir/PLA kompozitlerinin termo-fiziksel davranışlarını olumlu yönde etkilemiştir.

Yapılan araştırmalarda da görüldüğü gibi enzimler malzemelerin birçok özelliğini aynı anda etkileyebilmektedir. Enzimlerin konsantrasyonunun, enizmatik işlem süresinin ve sıcaklığının farklılaşmasıyla malzemelerin yapısında meydana gelen değişimler de farklılaşabilmektedir. Ayrıca bu tezde değinilen araştırmalar kapsamında, enzimatik işlemlerin malzeme üzerindeki etkisinin mekanik ve alkali işlemlerle birleştirildiğinde belirginleştiği söylenebilir. Bu nedenle, bu çalışmalardaki verilerden yola çıkarak, tek başına enzimatik işlemlerin malzemelerin kimyasal ve fiziksel yapısına etki ederek ses yutumunu artırıcı veya azaltıcı yönde etki edebileceği sonucuna varılamaz.

2.13. Silikonla Yumuşatma İşleminin Kumaş Yapısına Etkisi

Anam vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, silikon yumuşatıcının kumaşın dokuma konforuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada polyester ve pamuk kullanılarak, ring, rotor ve MVS (Murata vortex eğirme) olmak üzere üç farklı iplik üretilmiştir. Daha sonra bu üç tip iplikten dokuma kumaşlar hazırlanmıştır. Bu kumaşlar boyama işlemi tamamlandıktan sonra üç farklı konsantrasyonda silikon yumuşatıcı ile kaplanmıştır. Daha sonra kumaşların tutum özellikleri açısından karşılaştırması yapılmıştır. Kumaşlara uygulanan

yumuşatıcı konsantrasyonunun artıkça, kumaşın kalınlığı, hacimliliği ve bükülme sertliği artış göstermiştir. Fakat yumuşatıcı konsantrasyonundaki artış sürtünme katsayısında ve pürüzlülükte azalmya neden olmuştur. MVS iplikten yapılan kumaşlar, en yüksek yüzey pürüzlülüğünü gösterirken, ring iplikten yapılan kumaşlar en düşük yüzey pürüzlülüğünü göstermiştir. Ring iplikten yapılan kumaş, tüm yumuşatıcı konsantrasyonlarında en yüksek kalınlık değerini göstermiştir ve bu da onların daha yüksek hacimli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla ring ipliklerden üretilen kumaşların MVS veya rotor ipliklerden üretilen kumaşlara göre daha yumuşak olduğu sonucuna varılmıştır. MVS ipliğinden yapılan kumaşlara üç kat daha yüksek konsantrasyonda yumuşatıcı uygulanarak, bu ipliklerin ring iplikle karşılaştırılabilecek yumuşaklığa ulaşabileceği belirtilmiştir.

Belihy (2021) tarafından yapılan çalışmada, farklı yumuşatıcıların su ve hava geçirgenliği üzerine etkisi araştırılmıştır. Üç farklı konsantrasyonda silikon yumuşatıcı sentezlenmiştir ve konsantrasyonun hava geçirgenliği ve su geçirgenliği üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuçlar, yumuşatıcı miktarının artması durumunda dokuma kumaşın su ve hava geçirgenliğinin azaldığını göstermiştir.

Hassabo ve Mohamed (2019) tarafından yapılan çalışmada, silikon uygulamasıyla kumaşlara yumuşaklık, kayganlık ve su iticilik kazandırılabildiğinden bahsedilmiştir.

Silikon yumuşatıcılar malzemelerin birçok özelliğini aynı anda etkileyebilmektedir. Silikon yumuşatıcıların konsantrasyonunun farklılaşmasıyla malzemelerin yapısında meydana gelen değişimler de farklılaşabilmektedir. Silikon aplikasyonu sonucu meydana gelen kumaştaki kalınlık artışıyla beraber daha hacimli bir yapının oluşmasının ve hava geçirgenliğin azalamasının ses yutumu üzerinde olumlu bir etkisi olabileceği düşünülmektedir. Fakat silikon aplikasyonunun kumaşların ses yutumunu performansına etkisinin anlaşılabilmesi için gözenek yapısı üzerindeki etkisinin kapsamlı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmalardaki verilerden yola çıkarak, tek başına silikon aplikasyonunun malzemelerin kimyasal ve fiziksel yapısına etki ederek ses yutumunu artırıcı veya azaltıcı yönde etki edebileceği sonucuna varılamaz.

2.14. Şönil İplik ve Ses Yutumuna Etkisi

Şönil/şenil (chenille) kelimesi “tüylü tırtıl” anlamına gelen Fransızca kökenli bir kelimedir. Şönil iplikler, yumuşak ve tüylü bir doku oluşturmak için farklı türdeki ipliklerin iç içe geçmesiyle oluşturulurlar. Şönil ipliklerin üretiminde iki tip iplik kullanılmaktadır. Birincisi hav (efekt) ipliğidir, ikincisi kilit (temel, öz, çekirdek) ipliğidir (Çeven ve Özdemir, 2006). Şönil iplik üretilirken, öncelikle iki adet yüksek bükümlü, yüksek mukavemete sahip ve ince temel iplik bir araya getirilir. Sonrasında kesikli liflerden eğrilmiş veya düşük bükümlü yumuşak filament bir ipliğin kesilmesi ile üretilen havlar, temel iplikler boyunca ve eksenlerine dik olacak şekilde yerleştirilir. Ardından hav iplikleri, iki temel iplik arasına sıkıştırılıp sarılır ve sabitlenir. Temel iplik, bu sayede hav ipliklerini üzerinde tutar. Böylece hav iplikleri kumaşın yüzeyinde kalır ve kumaş yüzeyine hacimli bir görünüm kazandırılır. Şönil iplik üretiminde doğal veya sentetik her çeşit hammaddeden temel iplikler kullanılmaktadır. Uygun terbiye işlemlerinin, malzemelerin ve makine parametrelerinin seçimi şönil ipliklerin performansının artırılması açısından önemlidir (Çeven ve Özdemir, 2006; Özgen Keleş, 2021).

Dülek (2022) tarafından yapılan çalışmada, çok katmanlı dokuma kumaşların iç mekân tekstillerindeki ses yutum davranışı üzerindeki etkisi, ses yutumunu iyileştirmeye yönelik yeni yöntemler ve malzemeler kullanılarak araştırılmıştır. İki katlı dokuma kumaşlar üretilmiştir ve mekanik yolla tüylendirilerek bitim işlemleri yapılmıştır. Çalışmada kumaşların ses yutum davranışının iyileştirilmesi için iki pasaj sayısı en uygun seviye olarak belirlenmiştir. "İki pasaj" terimi, üretilen kumaşların lifli ve gözenekli yapısını geliştirmek için farklı aşamalarda tüylendirme bitim işleminin uygulanması sürecini ifade eder. Tüylendirme işlemiyle birlikte etkili ses yutum aralığı düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru değişmiştir. Ayrıca daha hacimli gözenekli bir yapı oluşturmak için farklı hav uzunluklarına, lif kesitlerine ve çaplarına sahip şönil iplikler kullanılmıştır. Şönil hav uzunluğu arttıkça ve lif çapı azaldıkça kumaşların ses yutum özelliğinin artığı tespit edilmiştir. En iyi ses yutumu, 72 filament 16 dilimli pasta kesitli bikomponent liflerden oluşan bir kumaşla elde edilmiştir. İkinci olarak en iyi ses yutum performansını 600 filamentli dairesel kesitli liflerden oluşan kumaş göstermiştir. Ek olarak, bezayağı kumaşların düşük frekanslarda daha yüksek ses yutumu gösterirken, panama örgüsü kumaşlar yüksek frekanslarda daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Kumaş

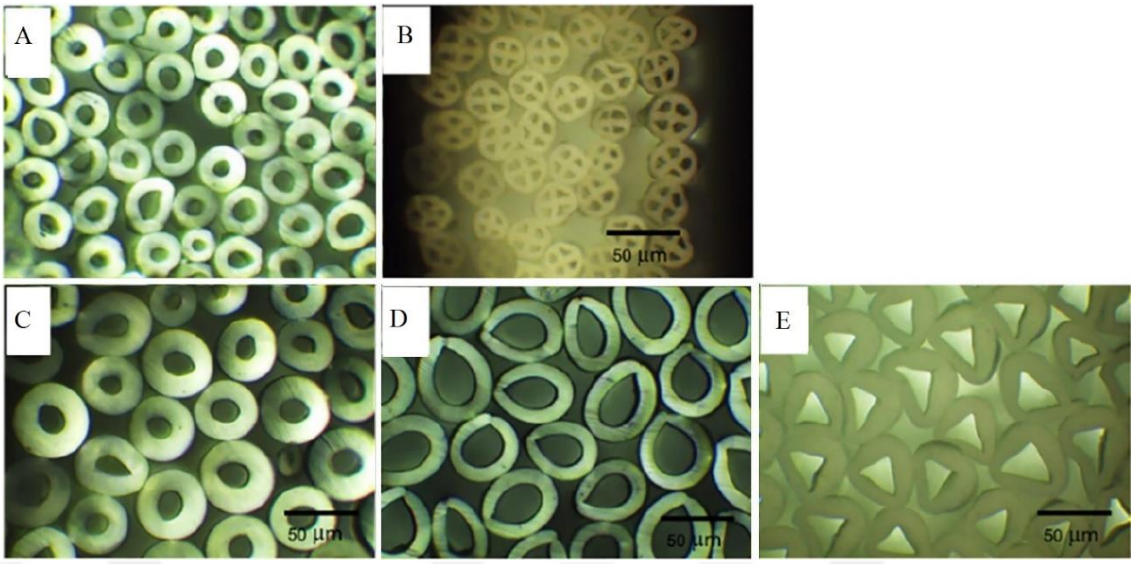
katmanlarının sayısının artırılması, rezonans davranışı nedeniyle düşük frekanslarda etkili ses yutum aralığını genişletmiştir.

2.15. Polyester Lifleri ve Ses Yutumuna Etkisi

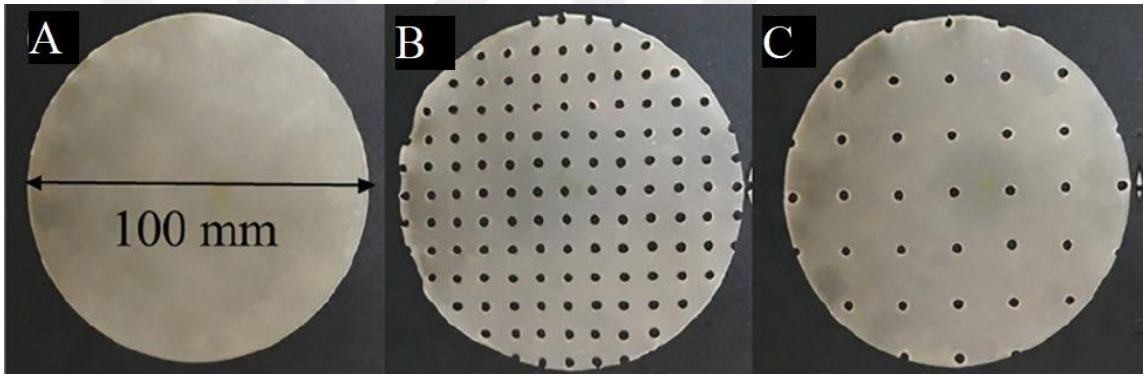
Bu bölümde, geri dönüştürülmüş polyester liflerin, polyester dokusuz yüzeylerin ve polyester içerikli kompozitlerin ses yutum özelliklerine nasıl katkıda bulunduğu ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Sakthivel vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada geri dönüştürülmüş polyester ile pamuk liflerinin karışımından oluşan dokusuz yüzey kompozitlerin çeşitli frekanslarda ses yutum katsayısı ve gürültü azaltma katsayısı (NRC) değerleri ölçülmüştür ve malzemelerde üstün ses yutum davranışı gözlemlendiği belirtilmiştir. Geri dönüştürülmüş kompozit üretiminde pamuk ve polyester lifleri % 25 - %75, %40 - %60 ve %50 - %50 olmak üzere üç farklı karışım oranında kullanılmıştır. Dokusuz yüzey kompozitlerin 250 Hz – 2000 Hz frekans aralığında ses yutum özellikleri; malzeme kalınlığı, alan yoğunluğu, yığın yoğunluğu, gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Sıkıştırma işleminden önce, daha büyük yığın yoğunluğuna ve daha düşük gözenekliliğe sahip %25 - % 75 karışım oranlarındaki geri dönüştürülmüş pamuk/polyester dokusuz yüzey kompozitin, arkasında hava boşluğu bırakılmasıyla mükemmel akustik performans sergilediği görülmüştür.

Prahsarn vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, iğneyle delinmiş dokusuz yüzeylerin ve bunların delikli kauçukla oluşturulan kompozitlerinin ses yutum performansı araştırılmıştır. Çalışmada 7 denye ve 15 denye (7D, 15D) ve 64 mm uzunluğunda polyester kesikli lifler kullanılmıştır. 7 denye için 1 delikli ve 4 delikli numuneler, 7-H ve 7-4H olarak kodlanmıştır. 15 denye için numuneler; 1 delikli, içi boş konjuge ve içi boş trilobal lifler olarak sırasıyla 15-H, 15-HC ve 15-HT olarak kodlanmıştır. Kullanılan kauçuk katmanı R olarak kodlanmıştır. Bu katmana 3 mm çapında delikler açılmıştır ve delikler arasında 8 mm ve 16 mm mesafe bırakılmıştır. Kauçuk numuneler sırasıyla RH8 ve RH16 olarak kodlanmıştır.



Şekil 2.8. Farklı kesit şekillerinde üretilmiş PET lifleri. **A)** 7-H **B)** 7-4H **C)** 15-H **D)** 15-HC **E)** 15-HT (Prahsarn vd., 2020)



Şekil 2.9. Kauçuk katmanları. **A)** R **B)**RH8 **C)** RH16 (Prahsarn vd., 2020)

Daha ince 7 denye polyester liflere sahip dokusuz yüzey kumaşların, daha geniş yüzey alanları ve ses dalgaları için daha uzun dolambaçlı yollar sağlaması nedeniyle, daha kalın 15 denye liflerden daha yüksek ses yutum katsayıları gösterdiği belirtilmiştir. 4 delikli 7 denye polyester lifli dokusuz yüzey kumaşlar (7 - 4H) daha hacimli bir yapıya sahip olmuşlardır ve böylece sesin daha geniş bir yüzey alanıyla teması sağlanmıştır. Bu nedenle tek delikli (7 – H) dokusuz yüzeylere kıyasla daha iyi ses yutum performansı sergilemişlerdir. 1 delikli, içi boş konjuge ve içi boş trilobal gibi farklı konfigürasyonlara sahip 15 denyelik liflerden oluşan dokusuz yüzey kumaşların ses yutum katsayıları değişkenlik göstermiştir. Daha büyük boş alana sahip içi boş konjuge konfigürasyondaki 15 denyelik lifler (15-HC) ve açısal konfigürasyonu olan içi boş trilobal lifler (15-HT), 1 delikli liflere (15 – H) kıyasla daha yüksek ses yutum katsayıları göstermiştir. Dokusuz

yüzeylerin 2 ve 3 katmanlı kullanılmasıyla beraber kalılığın ve katmanlar arasındaki hava boşluklarının artması nedeniyle ses yutum katsayısında artış görülmüştür. Dokusuz yüzeylerin arasına delikli kauçuk katmanın yerleştirildiği kauçuk/dokusuz kompozitler, düşük frekans aralığında daha yüksek ses yutum katsayısı sergilemiştir. Bu çalışmada, delikli elastik kauçuk ile birlikte düzensiz şekillere ve geniş delik alanına sahip ince liflerden oluşan dokusuz yüzeylerin kullanılmasıyla ses yutum performansının geniş bir frekans aralığında artırılabileceği görülmüştür (Prahsarn vd., 2020).

Kang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, iç dekorasyonda kullanılmak üzere kalın ştapel ve ince çekme tekstüre ipliklerle (DTY / Draw textured yarn) dokunmuş polyester kumaşların ses yutum özellikleri analiz edilmiştir. Atkı ve çözgülerde kalın ştapel iplik ile ince çekme tekstüre filament ipliğinin (DTY) iki farklı kalınlığı kullanılmıştır. Çalışmada farklı ipliklerin bir arada kullanılmasıyla kumaşların ses yutum özelliklerinin kontrol edilmesi mümkün olmuştur. Hazırlanan yedi adet kumaş, yoğunluklarına, hava geçirgenliklerine ve gözenekliliklerine göre sınıflandırılmıştır. Ses yutum katsayıları empedans tüpü ve çınlama odası yöntemi kullanılark ölçülmüştür. Empedans tüpü kullanılarak yapılan ölçümlerde, yüksek frekans bölgesinde gözenekli kumaşların ses yutum katsayısının yoğun kumaşlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Çınlama odası yöntemiyle yapılan ölçümlerde tüm kumaşlar için ses yutmum katsayıları, düşük frekans bölgesinde en yüksek değerinde görülmüştür. Ses yutum katsayıları 800 Hz'e yakın düşük bir frekansta maksimum değerine ulaşmıştır. Kumaş katmanlamanın artmasıyla düşük frekanslarda ses yutum katsayılarında da artış gözlenmiştir. Çınlama odası yönteminde, havanın gözeneklerden daha kolay geçmesi nedeniyle gözenekli kumaşlarda yankılanma süresi yoğun kumaşlara göre daha kısa sürmüştür. Düşük frekanslarda yankılanma süresindeki artış ise muhtemelen ses rezonansı olgusundan kaynaklanmıştır. Çünkü düşük frekanslı seslerin uzun dalga boylarından dolayı absorbe edilmesi zordur.

Samuel vd. (2021b) tarafından yapılan çalışmada, dört farklı dokuma yapısına (düz, ribana, saten ve dimi) sahip ve üç farklı polyester iplikten oluşturulan 12 adet dokuma kumaşın ses yutum özellikleri empedans tüpü kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma 80 Hz – 5000 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle sadece dokuma kumaşlar (1. varyant) değerlendirilmiştir. Daha sonra dokuma kumaşın dokusuz yüzey

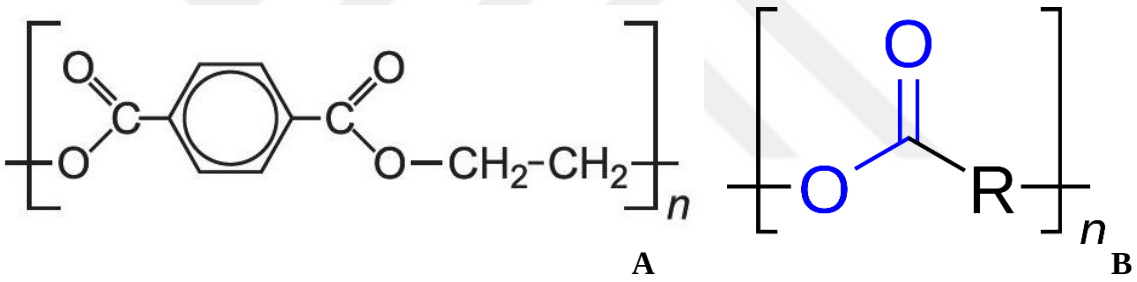
kumaşla birlikte kullanılmasıyla (2. varyant) ve dokuma kumaşlara hava boşluğu eklenmesiyle (3. varyant) ölçümler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma, kumaştaki polyester içeriğinin ve gözenekliliğinin dokuma kumaşların gürültü azaltma etkinliği üzerindeki etkisinin analizlerini de içermektedir. Yapılan ölçümler sonucunda bezayağı kumaşın ses yutum kapasitesi düşük frekanslarda diğer dokuma kumaşlara göre daha yüksek çıkmıştır. Diğer dokuma tiplerinde gürültü azaltma verimliliği, frekans aralığı arttıkça yükselmiştir. Bezayağı kumaşları içermeyen 2. varyanttaki tüm kumaşların ses yutum katsayısı daha yüksek frekanslarda (1600 ila 2500 Hz) 0,9 ile 1 arasında ölçülmüştür. Bezayağı kumaşın ses yutum verimliliği kumaşın katmanlanmasıyla azalmıştır. Ancak bu kumaşlar düşük frekanslarda (200 Hz -1000 Hz) diğer numunelere göre daha iyi bir ses yutum performansı göstermişlerdir. Gürültü, dokuma kumaş dokusuz yüzey kumaşla birlikte kullanıldığında (2. varyant) , hava boşluğu eklenmiş varyantına (3. varyant) kıyasla, daha etkili bir şekilde azaltılmıştır. Daha yüksek PES lif içeriği ve gözeneklilik, bezayağı kumaşların ribana, saten ve dimi gibi diğer dokumalara göre daha yüksek gürültü azaltma katsayısı sonuçlarına sahip olmasını sağlamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Polyester

Polyester, ana zincirlerinde ester fonksiyonel grubunu içeren bir polimerdir. Polyesterin PET, polikarbonat ve polibutirat gibi çeşitli formları mevcuttur. Polietilen tereftalat (PET), polyesterin en yaygın formlarından biridir. Polyesterler, moleküler yapılarındaki, dayanıklılık ve esneklik gibi davranışlarına katkıda bulunan, ester bağlarının varlığıyla karakterize edilmektedir (Şekil 3.1 a, b). Ayrıca polyester termoplastik yapısı nedeniyle lif, tabaka ve üç boyutlu nesneler gibi farklı şekillerde işlenebilmektedir; bu da onu tekstil ve ambalajlama gibi endüstrilerdeki çok çeşitli uygulamalar için ideal kılmaktadır. Bununla birlikte polyester iyi bir termal stabilite sergilemektedir ve bu da onu ısı direnci gerektiren uygulamalar için uygun kılmaktadır. (Yamashita ve Nakano, 2008)



Şekil 3.1. PET lifi kimyasal yapısı **A)** Moleküler gösterim (Essential Chemical Industry, 2016) **B)** Ester bağı (Wikipedia, 2006)

Polyester liflerinin oluşumu, monomerlerin su gibi küçük molekülleri ortadan kaldırması yoluyla, polimer zincirleri oluşturmak üzere reaksiyona girdiği polikondensasyonunu içerir. Polyester lifleri, polimer zincirindeki ester bağlarının su molekülleri tarafından parçalandığı ve zamanla lifin özelliklerini etkileyen kimyasal bir reaksiyon olan hidrolize karşı hassastırlar. Ayrıca polyester lifleri, bir malzemenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum gerilimin bir ölçüsü olan iyi bir çekme mukavemeti sergiler; bu da onlara esnemeye, büzülmeye ve kırışmaya karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Polyesterin çekme mukavemeti, polyesterin spesifik türü, üretim süreci ve life uygulanan ek işlemler gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ayrıca polyester liflerinin çekme mukavemeti, liflerin çapraz bağlanması gibi kimyasal bağlanma tekniklerinin

kullanılması yoluyla arttırılabilir. Genel olarak polyester lifleri, tekrarlanan kullanımlardan sonra bile güçlerini koruyabilme yetenekleriyle bilinir; bu da onları güç ve esneklik gerektiren uygulamalar için uygun kılar. Polyester liflerinin emiciliği düşüktür, nemi iterek hızlı kurumaya izin vermektedir. İyi bir renk haslığına sahiptir. Birçok yıkamadan sonra bile canlı renklerini korur. Güçlü alkaliler polyester liflerine zarar verebilir; ancak zayıf alkalilere karşı iyi bir dirence sahiptirler. Polyesterin asitlere karşı direnci genel olarak iyidir ancak liflere gelebilecek potansiyel hasarı önlemek için sülfürik asit (H_2SO_4) gibi güçlü asidik çözeltilerden kaçınılmalıdır. Özellikle PET, malzeme özelliklerini korumak ve atığı azaltmak için mekanik geri dönüşüm sistemleriyle pet şişe gibi geri dönüştürülebilir ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yamashita ve Nakano, 2008). Polyesterin ses yutumu uygulamalarındaki kullanımyla ilgili bilgiler, "Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması" bölümünde, "Polyester ve Ses Yutum Özellikleri" başlığı altında ayrıca verilmiştir.

Bu tez kapsamında tüm kumaşlarda çözgü ipliklerinde 8 çözgü/cm sıklığında 900 denye 288 filament polyester ipliği kullanılmıştır. %100 polyester kumaş grubunda, atkı ipliğinde 6 Nm iplik numarasında ve 1,2 mm hav uzunluğunda polyester şönil polyester ipliği kullanılmıştır.

3.1.2. Kenevir

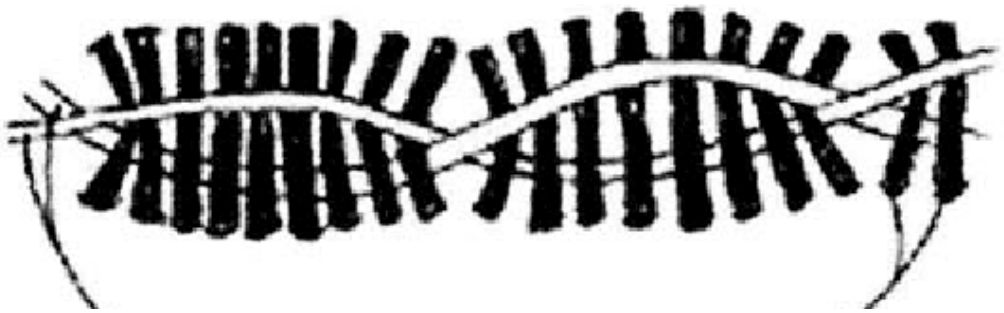
Kenevir lifi, çevre dostu yetiştirme süreci ve çeşitli endüstrilerdeki çok yönlü uygulamalarıyla bilinen kenevir bitkisi cannabis sativa'dan elde edilen doğal bir sak lifidir. Kenevir lifi selüloz, pektin, hemiselüloz ve lignin maddelerini içerir. Dayanıklı bir liftir ve bu özellikleri onu tekstil, kompozit, ambalaj ve gıda uygulamalarında kullanım için uygun kılar. Lifin sürdürülebilir üretim potansiyeli ve biyolojik olarak parçalanabilirliği, bu lifin sentetik liflerin yerine kompozit malzeme üretiminde kullanılabilmesiyle, çevre dostu tekstil süreçlerine katkıda bulunur (Onay vd., 2020; Kaya ve Öner, 2020).

Kenevir lifleri, onları çeşitli uygulamalar için ideal kılan mekanik özelliklere sahiptir. Ribeiro vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada kenevir liflerinin yüksek bir elastikiyet modülüne (92,44 ± 7,44 GPa) ve gerilme mukavemetine (564,98 ± 167,03 MPa) sahip olduğu belirtilmiştir. Kenevir ile ilgili daha detaylı bilgiler "Kuramsal Temeller ve

Kaynak Araştırması" bölümünde, "Kenevir bitkisinin ve liflerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri" başlığı altında ayrıca verilmiştir.

Bu tez kapsamında, atkı ipliğinde 6 Nm iplik numarasında ve 1,2 mm hav uzunluğunda ağartılmış şönil kenevir ipliği kullanılarak, 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm, 11,33 atkı/cm olmak üzere dört farklı atkı sıklığında kenevir içerikli bezayağı kumaşlar üretilmiştir. Ayrıca kilit iplik olarak kesikli liflerden üretilmiş 20 Ne iplik numarasında PES iplik kullanılmıştır.

Şönil iplik üretilirken, öncelikle iki adet yüksek bükümlü, yüksek mukavemete sahip ve ince temel iplik bir araya getirilir. Sonrasında kesikli liflerden eğrilmiş veya düşük bükümlü yumuşak filament bir ipliğin kesilmesi ile üretilen havlar, temel iplikler boyunca ve eksenlerine dik olacak şekilde yerleştirilir. Ardından hav iplikleri, iki temel iplik arasına sıkıştırılıp sarılır ve sabitlenir (Şekil 3.2 a, b). Temel iplik, bu sayede hav ipliklerini üzerinde tutar. Böylece hav iplikleri kumaşın yüzeyinde kalır ve kumaş yüzeyine hacimli bir görünüm kazandırılır. (Çeven ve Özdemir, 2006; Özgen Keleş, 2021). Şönil ipliklele ilgili daha detaylı bilgiler "Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması" bölümünde, "Şönil iplik ve ses yutumuna etkisi" başlığı altında ayrıca verilmiştir.



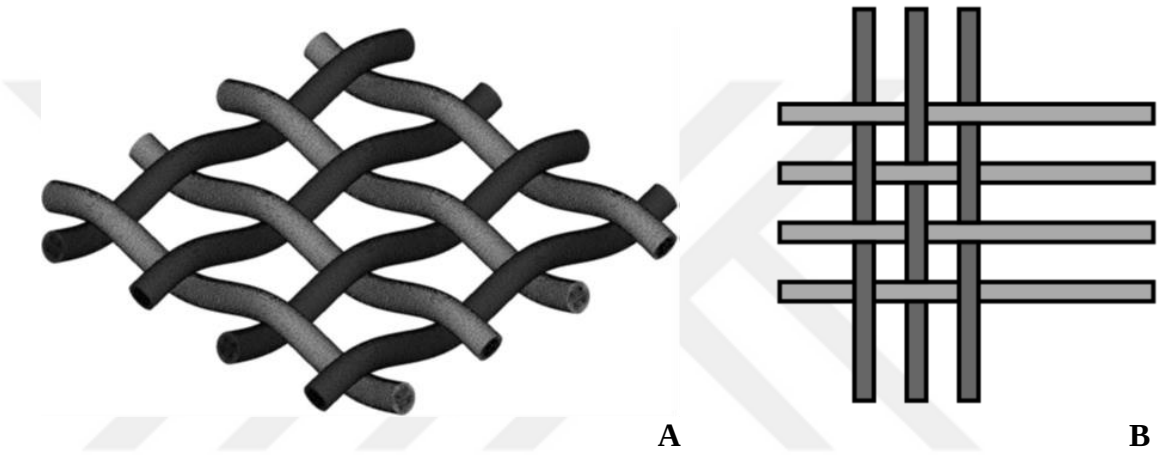
Şekil 3.2. Şönil iplik yapısı. **A)** Temel iplikler **B)** Hav iplikleri (Çeven vd., 2006)

3.2. Üretim Yöntemleri

3.2.1. Bezayağı kumaş ve üretim yöntemi

Dokuma, iplik tipine ve kumaş genişliği gereksinimlerine bağlı olarak farklı tipteki tezgâhlarda yapılabilen, bir kumaş yapısı oluşturmak için iki takım ipliğin dik açılarda

birbirine geçirilmesi işlemidir (Achaw ve Danso-Boateng, 2021). Dokuma işlemi, çözgü ipliklerinin uzunlamasına gerildiği ve atkı ipliklerinin yatay olarak dokunduğu bir dokuma tezgâhında gerçekleşir. Bezayağı, çözgü ve atkı ipliklerinin birbiriyle dik açılarda kesiştiği ve ipliklerin kumaşta paralel ilerlediği temel bir dokuma türüdür. Bu dokuma türünde, her atkı ipliği dönüşümlü olarak bir çözgü ipliğinin üzerinden ve bir sonrakinin altından geçerek bir desen oluşturulur (Şekil 3.3 a, b). Bezayağı dokuma kumaşlar, ipliklerin hem çözgü hem de atkı yönünde eşit dağılımı nedeniyle muvakemetidirler ve dayanıklıdırlar (Gandhi ve Sondhelm, 2016).



Şekil 3.3. Bezayağı dokuma kumaş yapısı. **A)** Üç boyutlu örnek bir model (Miyaki vd., 2023). **B)** Plan görünüşü (Wikipedia, 2024)

Dokuma işlemi öncesinde dokuma hazırlık işlemleri olarak bilinen çeşitli hazırlık aşamalarının gerçekleştirilmesi gerekir. Bu işlemler bobinleme işlemi, çözgü hazırlama, haşıllama ve taharlama olarak sınıflandırılmaktadır. Çözgü ipliği sayısına, çözgü renk raporuna ve çözgü uzunluğuna göre dokunacak kumaşta, ipliklerin birbirine paralel olacak şekilde ve aynı gerginlikte çözgü levendi üzerinde sarılması işlemine çözgü hazırlama denilmektedir. Dokuma işlemi ise ağızlık açma, atkı atma, tefeleme, kumaş çekme (sarma), çözgü salma aşamalarından oluşmaktadır. Ağızlık açma, atkı ipliğinin geçmesi için açık bir ağızlık oluşturmak amacıyla çözgü ipliklerini yükseltildiği ve indirildiği bir işlemdir. Tefeleme işlemi, atkı ipliğini ağızlığın içinden geçirirken, her atkı ipliğini çözgü ipliklerinin arasından kumaş çizgisine doğru itilmesi işlemidir. Kumaş çekme (sarma), dokuma işlemi esnasında üretilen kumaşın sabit bir hızla çekilerek kumaş silindiri üzerine sarılmasıdır. Çözgü salma, çözgü levendi üzerindeki ipliklerin dokuma

yapılırken sabit bir oranda ve gerilimde leventten tezgâha doğru gönderilmesi işlemidir. Kumaş yapısının geometrisi, dokuma kumaşın mukavemeti, dökümlülüğü ve dokusu gibi özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Özgen Keleş ve Yılmaz, 2022).

Bu tez kapsamında dokunan tek katlı bezayağı dokuma kumaşlarda kullanılan tarak eni 320 cm, kumaş eni ise 300 cm'dir. Test edilmek üzere toplam 7 adet farklı bezayağı kumaş üretilmiştir. Üretilen bezayağı kumaşlar, kenevir içerikli kumaşlar ve %100 polyester kumaşlar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Numune adları atkı sıklığı değerlerine göre kodlanmıştır. Kumaşlarda kullanılan atkı sıklıkları 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm, 11,33 atkı/cm'dir. Kenevir kumaşlar K harfiyle, polyester kumaşlar P harfiyle k. Numune isimleri şu şekildedir: K7.33, K8.67, K.10, K11.33, P7.33, P8.67, P10. Tüm kumaşlarda çözgü ipliklerinde 8 çözgü/cm sıklığında 900 denye 288 filament polyester ipliği kullanılmıştır. Kenevir içerikli kumaşlar grubunda, atkı ipliğinde 6 Nm iplik numarasında ve 1,2 mm hav uzunluğunda ağartılmış şönil kenevir ipliği kullanılarak üretilmiş, 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm, 11,33 atkı/cm olmak üzere dört farklı atkı sıklığında bezayağı kumaşlar yer almaktadır. K7.33 olarak kodlanmış numunenin ağırlıkça polyester oranı %50,3 ve ağırlıkça kenevir oranı %49,7'dir. K8.67 kodlu kumaşın ağırlıkça polyester oranı %47 ve ağırlıkça kenevir oranı %53'tür. K10 kodlu kumaşın ağırlıkça polyester oranı %44,4 ve ağırlıkça kenevir oranı %55,6'dır. K11.33 kodlu kumaşın ağırlıkça polyester oranı %42,2 ve ağırlıkça kenevir oranı %57,8'dir. Atkı sıklığı artıkça kumaştaki kenevir yüzdesinin buna bağlı olarak sergilediği artış ayrıca Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. %100 polyester kumaşlar grubunda, atkı ipliğinde 6 Nm iplik numarasında ve 1,2 mm hav uzunluğunda şönil polyester ipliği kullanılarak üretilmiş, 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm sıklıklarında bezayağı kumaşlar yer almaktadır. Çizelge 3.1'de kumaş tipleri, numune adları, çözgü ipliği sıklıkları, atkı ipliği sıklıkları, çözgü ile atkıda kullanılan ipliklerin malzemeleri, iplik numaraları, örgü tipi ve kumaştaki iplik oranları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

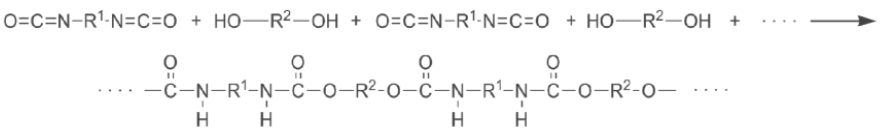
Çizelge 3.1. Ses yutum katsayısı ölçülen numunelerin materyal çizelgesi

KUMAŞ TİPLERİ	NUMUNE ADI	ÇÖZGÜ İPLİĞİ	ÇÖZGÜ SIKLIĞI çözgü/cm	ATKI İPLİĞİ	ATKI SIKLIĞI atkı/cm	ÖRGÜ	KOMPOZİSYON
KENEVİR İÇERİKLİ KUMAŞLAR	K7.33	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	AĞARTMA YAPILMIŞ 6 NM KENEVİR ŞÖNİL İPLİK	7,33	BEZAYAĞI	%50,3 PES %49,7 KENEVİR
	K8.67	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	AĞARTMA YAPILMIŞ 6 NM KENEVİR ŞÖNİL İPLİK	8,67	BEZAYAĞI	%47 PES %53 KENEVİR
	K10	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	AĞARTMA YAPILMIŞ 6 NM KENEVİR ŞÖNİL İPLİK	10	BEZAYAĞI	%44,4 PES %55,6 KENEVİR
	K11.33	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	AĞARTMA YAPILMIŞ 6 NM KENEVİR ŞÖNİL İPLİK	11,33	BEZAYAĞI	%42,2 PES %57,8 KENEVİR
%100 PES KUMAŞLAR	P7.33	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	6 NM ŞÖNİL POLYESTER İPLİK	7,33	BEZAYAĞI	%100 PES
	P8.67	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	6 NM ŞÖNİL POLYESTER İPLİK	8,67	BEZAYAĞI	%100 PES
	P10	900 DENYE 288 FİLAMENT PES	8	6 NM ŞÖNİL POLYESTER İPLİK	10	BEZAYAĞI	%100 PES

3.2.2. Hava püskürtme sistemiyle laminasyon

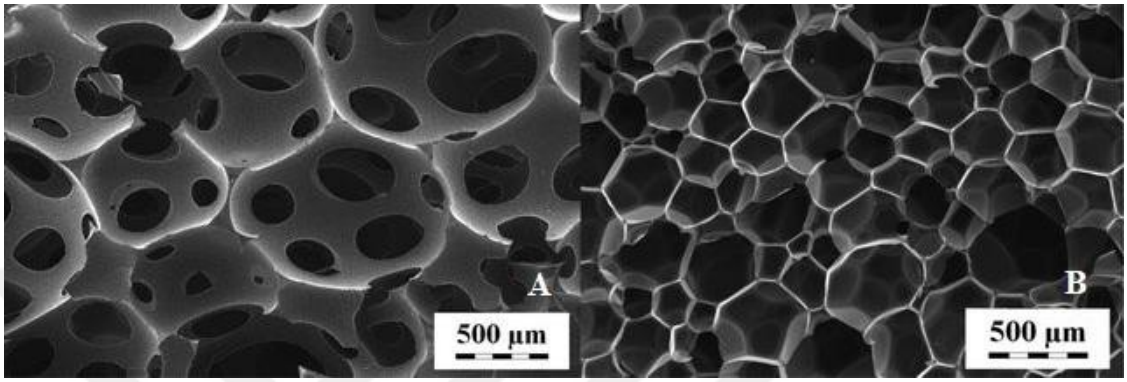
Bu tez kapsamında 14 kg/m³ yoğunluğunda, 5 mm, 8 mm, 10 mm kalınlıklardaki poliüretan süngerlerin bezayağı dokuma kumaşlarla hava püskürtme sistemi kullanılarak laminasyonu için, konsantrasyonu %7,5 olan PVA çözeltisi saf su ile hazırlanmıştır.

Poliüretan sünger, poliüretan poliol ve izosiyanatın birleştirilmesiyle köpük formunda elde edilmektedirler. Üretiminde katkı malzemesi olarak köpürtücü maddenin yanı sıra, silikon ve katalizör kullanılmaktadır. Poliol (HO-R-OH) ve izosiyanat (OCN-R-NCO) bir araya geldiğinde (Şekil 3.4), poliolün hidrojen atomunun izosiyonat ile birleşmesi sonucunda üretan oluşmaktadır. Birden çok üretanın bir araya gelmesiyle de yüksek moleküllü poliüretan oluşmaktadır.



Şekil 3.4. Bir poliol ile bir diizosiyanatın reaksiyonu.

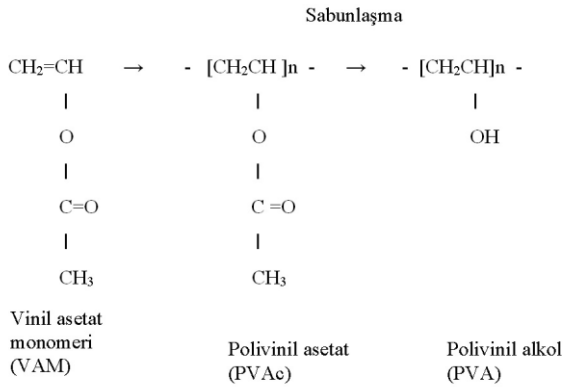
Poliole köpürtücü madde ilave edilmezse, ortaya hücresel olmayan gözeneksiz bir ürün çıkarmaktadır. Bu nedenle gözenekli poliüretan sünger yapısı elde etmek için köpürtücü eleman kullanılmalıdır (Şekil 3.5 a, b). Köpürtücü madde poliüretanın hafif olmasını sağlayarak ayrıca ona yalıtım özeliği katmaktadır (Çobanoğlu, 2008).



Şekil 3.5. Hücresel yapıya sahip poliüretan köpüklerin SEM görüntüleri. **A)** Açık hücresel yapı **B)** Kapalı hücresel yapı (Skleničková vd., 2020).

Bu tez kapsamında 5 mm, 8 mm, 10 mm kalınlıklarda poliüretan süngerler bezayağı dokuma kumaşlarla lamine edilmek üzere kullanılmıştır.

Polivinil Alkol (PVA), polivinil asetatın belirli reaksiyon koşulları altında hidrolizi yoluyla sentezlenir ve PVA polimer zincirlerinin oluşumuna yol açar. Sentez işlemi, poli(vinil asetat) içindeki asetat gruplarının alkol gruplarına dönüştürülmesini (Şekil 3.6.) ve bunun sonucunda PVA polimerinin oluşmasını içerir (Demir, 2012).



Şekil 3.6. PVA'nın kimyasal reaksiyonu (Demir, 2012).

Reaksiyon sıcaklığı, katalizör tipi ve reaksiyon süresi gibi çeşitli parametreler PVA'nın sentezini ve özelliklerini etkileyebilir. Polivinil alkol (PVA), zinciri boyunca OH hidroksil fonksiyonel gruplarının varlığı nedeniyle suyu emebilen ve onu çeşitli çevresel uygulamalara uygun hale getiren çapraz bağlı, üç boyutlu, hidrofilik bir malzemedir. Ayrıca polivinil alkol (PVA), çeşitli substratlarla hidrojen bağları oluşturma yeteneğinden dolayı iyi yapışma özellikleri sergiler. Bu nedenle kaplamalar ve yapıştırıcılar gibi ince bir filmin gerekli olduğu uygulamalar için kullanışlıdır. PVA, biyolojik olarak parçalanabilirliğine ve çevresel uyumluluğuna katkıda bulunan karbon ve hidrojen atomlarından oluşur. PVA diğer bileşiklerle çapraz bağlanma reaksiyonlarına girerek şişme kapasitesi olan ve ısıya duyarlılık gibi özelliklere sahip hidrojellerin oluşumuna yol açabilir. PVA, doğal mikroorganizmaları destekleme özelliği ile atık su arıtma işlemleri de dahil olmak üzere çeşitli çevresel uygulamalarda kullanılmaya uygundur (Demir, 2012).

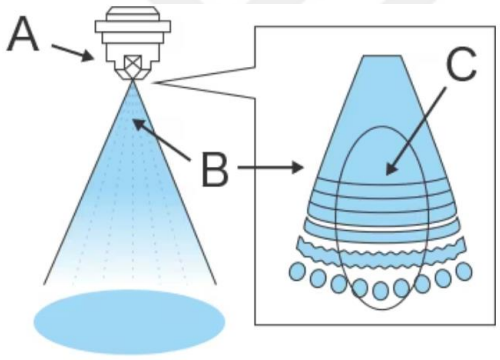
Lamine edilmiş (birleştirilmiş) bir yapı, bir yapıştırıcı kullanarak ya da bir veya daha fazla bileşen katmanının yapışkan özelliklerinden faydalanarak, bir kumaş katmanının başka bir katmana veya katmanlara bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Kaplama ise, bir kumaşın bir veya her iki yüzeyine doğrudan polimerik bir tabakanın uygulanması işlemidir. Kaplamada, bir polimer kaplamanın kumaşa yapışması gerekir ve bir bıçak viskoz polimerin kalınlığını kontrol eder (Singha, 2012).

Kaplama ve laminasyon işlemleri farklı amaçlar için yapılıyor olsalar da, püskürtme tekniği her iki işlemde de aynı parametreleri etkilemektedir. Her iki işlemde de püskürtmenin yapıldığı yüzey, çözelti/yapıştırıcı seçimi, sıcaklık ve titreşim gibi parametreler, üretilen malzemelerin kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Huang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, püskürtme sistemiyle kaplama yapılması işlemi sırasında çoklu damlacıkların bir yüzeye çarpması gözlemlenmiştir. Daha düzgün ve hatasız bir sonuç elde etmek için püskürtülen çözeltinin akış hızı, damlacık boyutu, geçiş sayısı ve püskürtmenin yapıldığı yüzeyin özellikleri gibi çeşitli faktörlerin en uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Damlacıklar, püskürtme yapılan yüzeyin üzerine çarpma davranışından etkilenmektedir. Damlacık yayılması, kuruma dinamikleri ve damlacığın püskürtüldüğü yüzey ile etkileşimi gibi faktörler, çıkan son ürünün özelliklerinin

belirlenmesinde önemli bir rol oynar. İstenen sonuçları elde etmek için damlacık etkisinin dinamiklerini ve genel süreci anlayarak kontrol edilebilirliği geliştirmek esastır.

Hava püskürtme sistemleri, yapıştırma çözeltisini ince bir sis haline dönüştürmek ve daha sonra hedeflenen yüzeye püskürtmek için basınçlı havayı kullanmaktadır (Şekil 3.7 a, b, c). Bu sistemler, akış hızını ve basıncı ayarlayarak püskürtülen çözeltinin miktarı üzerinde hassas kontrol avantajı sunarlar. Bu kontrol, yapıştırma çözeltisinin eşit şekilde uygulanmasına olanak tanır. Hava püskürtme sistemleri, işlem sırasında minimum malzeme kaybına neden olur. Püskürtülen çözeltinin çok az sıçramasını sağlayarak veya gereksiz yere dağılmasına engel olarak verimli malzeme kullanımına yol açarlar. Hava püskürtme sistemlerindeki düzeler, farklı amaçlar için esneklik sağlayan çeşitli uzunluk, boyut ve şekillerde mevcuttur. Bu çok yönlülük, yapılan uygulamaların özelleştirmesine olanak tanır (Keyence, t.y.).



Şekil 3.7. Hava püskürtme sistemi. **A)** Düze **B)** Püskürtülen yapıştırma çözeltisi **C)** Hava ile çarpışma yoluyla püskürtülen çözeltisinin atomizasyonu (Keyence, t.y.)

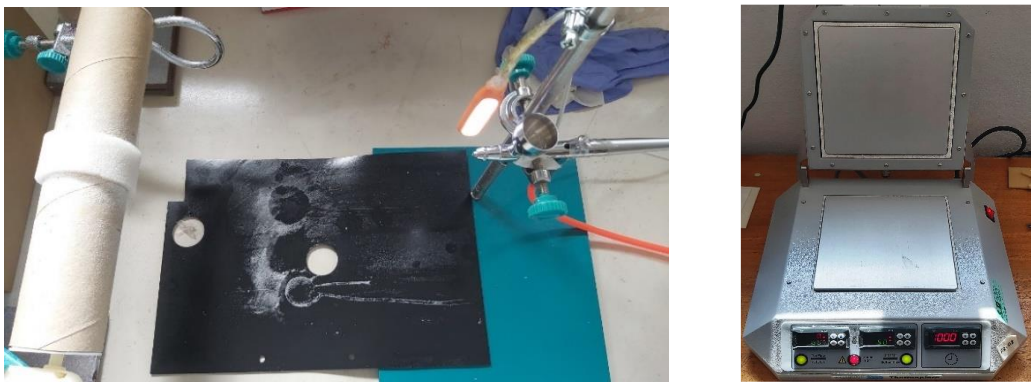
Bu tez kapsamında, hava püskürtme tekniği kullanılarak bezayağı dokuma kumaş ve poliüretan sünger laminasyonu yapılmıştır. Poliüretan sünger numuneler dönen bir silindir üzerine yerleştirilmiştir ve konsantrasyonu %7,5 olan PVA çözeltisi püskürtme cihazı kullanılarak sünger numuneler üzerine uygulanmıştır (Şekil 3.8 a). Çözelti akış hızı 6 ml/saat' tir. Bu da sünger yüzeyine bir dakikada 0,1 ml çözelti püskürtüldüğü anlamına gelmektedir. Çözelti miktarı püskürtme sürelerinin belirlenmesiyle ayarlanmıştır. Püskürtülen çözelti miktarının yapışma mukavemetine ve ses yutumuna etkisinin karşılaştırılarak analiz edilebilmesi için, konsantrasyonu %7,5 olan PVA çözeltisi, üç dakika ve beş dakika olmak üzere iki farklı sürede poliüretan sünger yüzeylere

uygulanmıştır. Böylece üç dakika içinde 0,3 ml ve beş dakika içinde 0,5 ml PVA çözeltisi püskürtülmüştür. Püskürtme cihazının uyguladığı basınç 3 bar, çözelti akış hızı 6 ml/saat, cihazın düze çapı 0,5 mm, düze ve silindir arasındaki mesafe 205 mm ve silindirin dakika başına devir sayısı 2 dev/dak dır. Püskürtme cihazı ayarlarının ayrıntıları ayrıca Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Sprey püskürtme parametreleri

Sprey basıncı	3 bar
Çözelti akış hızı	6 ml/saat
Cihazın düze çapı	0,5 mm
Düze ve silindir yüzey arasındaki mesafe	205 mm
Silindirin dakika başına devir sayısı	2 dev/dak

PVA çözeltisinin uygulanmasının ardından poliüretan süngerleri bezayağı kumaşlarla birleştirmek için termal plaka cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8 b). Poliüretan sünger, PVA ve kumaştan oluşan numunler cihazın alt plakası üzerine yerleştirilmiştir. Daha sonra üst plaka numunelerin üzerlerine kapatılmıştır. Kumaş ve süngerin birbirine yapışması için her iki plaka 60°C'a ayarlanmıştır ve numuneler on dakika termal plaka cihazında bırakılmıştır.



Şekil 3.8. Hava püskürtme sistemi. **A)** Döner silindir yüzey **B)** Termal plaka cihazı

3.3. Test Yöntemleri

Test öncesi tüm numuneler en az 24 saat süreyle %65±2 bağıl nem ve 21±1 °C'de bekletilip kondisyonlanmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan tüm test yöntemleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Test yöntemleri

Ölçüm Adı	**Test Metodu**	**Cihaz Adı**
Birim Alan Ağırlığı	TS 251 ISO 3801	Numune kesici ve hassas terazi
Kalınlık	TS 7128 EN ISO 5084	Testex TF121 C Model Kalınlık ölçüm cihazı
Hava Geçirgenliği	ASTM D 737-18	SDL Atlas M021A Model Hava geçirgenliği
Ses Yutum Katsayısı	ASTM E 1050-12	BSWA SW 260 Model Empedans tüp cihazı
Laminasyon Mukavemeti	AATCC 136-2009	Shimadzu AG-X plus Çekme test makinesi
Yüzey Görüntülerinin Alınması (SEM)	x290 ve x370 Büyütme	Tescan VEGA3 Model elektron mikroskobu

3.3.1. Kumaş birim ağırlığının ölçümü

Kumaşların birim alan ağırlıkları "TS 251 ISO 3801 dokuma kumaşların birim uzunluk ve birim alan ağırlığının belirlenmesi" standardı kapsamında 100 cm²'lik dairesel bezayağı dokuma kumaşların numune kesici ile kesilmesi ve ardından hassas terazi ile tartılması ile ölçülmüştür. Ayrıca bu tez kapsamında, birim alan başına ağırlık değerlerinin analizi için, 0,05 anlamlılık düzeyi (α) ile bağımsız gruplar için varyans analizi (ANOVA) F testi uygulanmıştır. Daha sonra bireysel gruplar arasında doğrudan karşılaştırmalar yapan LSD (en az anlamlı fark) testi yapılmıştır (α=0,05).

3.3.2. Kumaş kalınlığının ölçümü

Dokuma kumaşların kalınlıkları Testex TF121 C Model ölçüm cihazıyla (Şekil 3.9) havlı kumaşlar için kullanılan "TS 7128 EN ISO 5084 Tekstil mamullerinin kalınlığının belirlenmesi" standardına göre ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Kumaş kalınlık ölçüm cihazı (Testex Textile, 2023).

3.3.3. Kumaş hava geçirgenliğinin ölçümü

Dokuma kumaşların hava geçirgenlikleri SDL Atlas M021A Model hava geçirgenliği test cihazı (Şekil 3.10) kullanılarak ASTM D 737-18 standardına göre yapılmıştır. Hava geçirgenliği ölçümü için standartta gösterildiği gibi, ölçümü yapılacak kumaşın özelliği dikkate alınarak makineye bir başlık takılmıştır. Bu başlıkta yer alan bir pompadan kumaşa doğru hava iletilmiştir. Ölçümü yapılacak kumaş numunesi bu başlık altına yerleştirilmiştir ve başlık aşağı doğru itilmiştir. Başlığın itilmesi ile pompa, belirlenen hava basıncında, çalışarak kumaşı sıkıştırmıştır. Dokuma kumaşın hava geçirgenliği sonuçları dijital ekrana yansımıştır. Bu tez kapsamında basınç düşüşü (ΔP) 125 Pa, test alanı 5 cm² olarak belirlenmiştir. Her kumaş tipinden beşer numunenin hava geçirgenlik değerleri (Ap) (cfm) ölçülmüştür. Daha sonra her numune için çıkan değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.10. Hava geçirgenlik test cihazı (SDL Atlas, t.y.).

3.3.4. Laminasyon mukavemetinin ölçümü

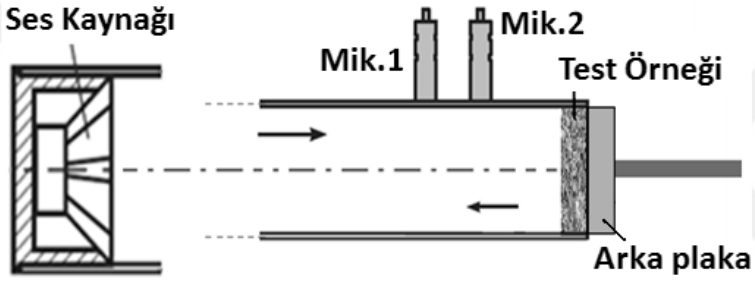
Poliüretan sünger ve bezayağı dokuma kumaş arasındaki laminasyonun mukavemeti, AATCC 136-2009 test yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bileşen katmanlarını ayırmak için gereken çekme kuvveti kaydedilmiştir. Testler Shimadzu AG-X plus çekme test makinesi (Şekil 3.11) kullanılarak yapılmıştır. Test hızı standarda göre 305 mm/dak ve çeneler arası mesafe 25 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Ortalama yapışma mukavemeti sonuçları için 0,05 anlamlılık düzeyi (α) ile Student t-testi uygulanmıştır.



Şekil 3.11. Shimadzu AG-X plus çekme test makinesi.

3.3.5. Ses yutum katsayısının ölçümü

Akustik panel örneklerinin ve bezayağı dokuma kumaşların ses yutum katsayılarını belirlemek için SW 260 model BSWA empedans tüpü kullanılmıştır. ASTM E 1050-12 test metoduna uygun olarak küçük tüp kurulumu yapılarak ölçüm yapılmıştır. Lamine yapılardan 30 mm çapında beşer dairesel numune kesilmiştir. İki adet sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinde büyük ve küçük iki farklı sistem bulunmaktadır. Küçük tüp sistemi ile 1000 Hz - 6100 Hz aralığında ses yutum katsayısı ölçülebilmektedir (Dülek, 2022). Bu tez kapsamında üretilen dokuma kumaşların özelliklerine uygun olduğu için küçük tüp sistemi ile ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.12. Empedans tüpünün yan kesiti. (Dülek, 2022)

Küçük tüp, üzerinde mikrofonlar bulunan diğer tüpün ucuna yerleştirilmiştir. Ses kaynağı ile test numunesi ise birbirine karşılık gelecek şekilde iki ayrı uca konumlandırılmıştır (Şekil 3.12). Ses kaynağı küçük tüpün özelliğine uygun geniş bantta ses dalgaları üretmektedir. Ses dalgaları empedans tüp içinde düzlem dalga olarak ilerleyerek numuneye çarpar ve geri yansır. Malzemenin ses yutum katsayısı, iki ayrı konumda sabit iki mikrofonun ses basınçlarının, frekansın fonksiyonu olarak ölçmesiyle belirlenmiştir. (Dülek, 2022). Empedans tüpü yöntemi ile ilgili daha detaylı bilgiler "Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması" bölümünde, "Empedans tüpü yöntemi" başlığı altında ayrıca verilmiştir.

Bu tez kapsamında, bezayağı dokuma kumaşlardan 30 mm çapında dairesel numuneler kesilmiştir. Ardından arkasında 7 mm kalınlığında boşluk bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilmiştir. Ayrıca 5 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen bezayağı kumaşlardan da 30 mm çapında dairesel numuneler hazırlanmıştır. Bu lamine edilmiş numuneler de empedans tüpüne yerleştirilmiştir.

3.3.6. Yüzey görüntülerinin alınması (SEM)

Bezayağı dokuma kumaşlarda kullanılan şönil kenevir ipliklerinin yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Bunun için "Tescan VEGA3 SBU" taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM görüntüleri alınmadan önce numuneler "Cressington Sputter Coater" cihazı kullanılarak 3,0±0,5 nm kalınlıkta altın (Au) ile kaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Akustik paneller; toplantı odaları, sınıflar ve konser salonları gibi kapalı mekânlardaki ses yansımalarını ve gürültü seviyelerini azaltarak akustik niteliklerini iyileştirmek için tasarlanmış özel yapılardır. Tipik olarak duvarlara ve tavanlara monte edilirler ve her iki tarafında da ses yutucu malzemeler bulunan, genellikle estetik açıdan hoş kumaş yüzeylere sahip çok katmanlı yapılardan oluşurlar. Bu panellerin ses yutum kapasitesi, lifler veya hücre duvarları ile gözenekler içinde sıkışan hava arasındaki sürtünme direncine dayanır. Gözenek sayısı artıkça ve gözenek boyutu küçüldükçe ses dalgalarının etkisiyle hareket eden hava molekülleri böylece daha fazla sürtünmeye maruz kalır. Bu nedenle bu tez kapsamında, üzerinde çalışılan kenevir içerikli ve polyester bezayağı dokuma kumaşların daha küçük gözeneklere sahip olması amacıyla, iplik numaraları ve çözgü sıklığı değiştirilmeden, kumaşların atkı sıklıkları artırılmıştır. Ayrıca kumaşların yüzey alanının atkı ipliklerinde kullanılan şönil iplikler sayesinde artırılarak, kumaşların ses yutum performanslarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Daha sonra kumaşların gözenekli yapısı incelenerek, gözeneklilik, katı hacim oranı (SVF), hava geçirgenliği ve hava akış direnci ile ses yutumu arasındaki bağlantılar tartışılmıştır.

İlk olarak tüm kumaşların (K7.33, K8.67, K10, K11.33, P7.33, P8.67, P10) birim alan ağırlıkları, kalınlıkları, hava geçirgenlikleri ölçülmüştür ve hava akış dirençleri hesaplanmıştır. Daha sonra kumaşların katı hacim oranları ve gözenekliliği hesaplanmıştır. Sonuçlar hem kenevir içerikli ve polyester kumaş grupları içinde, hem de gruplar arasında istatistiki olarak karşılaştırılmıştır. Ardından kumaş numunelerinin ses yutum katsayıları, empedans tüpünde arkalarında 7 mm kalınlığında boşluk bırakılarak ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar doğrultusunda, kumaşların atkı sıklıkları, birim alan ağırlıkları, kalınlıkları, hava geçirgenlikleri, hava akış dirençleri, gözeneklilikleri ve katı hacim oranları ile ses yutumu arasındaki ilişki tartışılmıştır.

Ardından üretilen bezayağı dokuma kumaşlar poliüretan sünger ile PVA çözeltisi kullanılarak lamine edilmiştir. Akustik panellerin uzun ömürlü olmasını sağlamak için lamine edilen bileşenlerinin etkili bir şekilde birbirine bağlanması önemlidir. Ancak aşırı yapıştırıcı ve uygun olmayan laminasyon yöntemlerinin kullanılmasından kaçınmak da çok önemlidir. Çünkü bu durum kumaşın ve süngerin gözeneklerinin kapanmasına ve

panellerin ses yutum yeteneklerinin azalmasına neden olabilir. Bu nedenle, panellerin gözeneklerinin tıkanma riskini azaltacak şekilde ve daha geniş bir alan üzerinde etkili bir şekilde bağlanmaya olanak sağladığı için hava püskürtme sistemi ile yapıştırma yapılmıştır. Bu sistem kullanılarak poliüretan sünger üzerine kenevir içerikli ve polyester bezayağı dokuma kumaşlar yapıştırılmıştır ve çok katmanlı akustik paneller üretilmiştir. Bunun için konsantrasyonu %7,5 olan PVA çözeltisi hazırlanmıştır. Çözelti miktarının laminasyon işlemine olan etkisinin incelenmesi için 5 mm kalınlığındaki ve 14 kg/m³ yoğunluğundaki poliüretan süngerlere üç dakika ve beş dakika süreyle püskürtme yapılmıştır. Farklı sürelerde uygulanan püskürtme işleminin ardından, K10 ve P10 kumaş numunelerinden alınan beşer örnek poliüretan süngerlere lamine edilmiştir. Lamine yapıların yapışma mukavemeti değerleri, hava geçirgenlikleri ve ses yutum katsayıları ölçülmüştür. Her bir lamine yapı için çıkan yapışma mukavemeti, hava geçirgenlik ve ses yutum katsayısı sonuçlarının ortalaması hesaplanmıştır. Böylece PVA çözelti miktarının yapışma mukavemetine, hava geçirgenliğine, ses yutumuna etkisi karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm ölçümler sonucunda çıkan değerler göz önüne alınarak, tüm kumaşlardan lamine yapılar oluşturmak için püskürtme işleminin beş dakika boyunca yapılıp 0,5 ml PVA çözeltisi kullanılmasına karar verilmiştir.

Ardından, 5 mm kalınlığında poliüretan sünger ve 0,5 ml PVA çözeltisi püskürtülerek hazırlanan tüm lamine yapıların (K7.33, K8.67, K10, K11.33, P7.33, P8.67, P10) hava geçirgenlik değerlerini ölçmek için, beşer numune kesilmiştir. Sonrasında her bir lamine yapı için elde edilen beşer adet hava geçirgenlik değerinin ortalaması ve hava akış direnci hesaplanmştır. Farklı atkı ipliği sıklığındaki tüm kumaşların ve bunların poliüretan sünger ile lamine edilmiş hallerinin hava geçirgenlik değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Bunlara ek olarak, 0,5 ml PVA çözeltisi püskürtülerek, 5mm, 8 mm ve 10 mm kalınlıklardaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş K7.33, K8.67, K10, K11.33, P7.33, P8.67, P10 kodlu kumaşlardan beşer adet numune kesilerek ses yutum katsayıları ölçülmüştür. Daha sonra beşer sonucun, her lamine yapı için ayrı ayrı, ortalaması hesaplanmıştır. Çıkan değerler birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Tüm çıkan sonuçlar, ses yutumunu etkileyen parametreler göz önüne alınarak tartışılmıştır.

4.1. Kumaşların Birim Alan Ağırlıkları, Kalınlıkları, Hava Geçirgenlikleri ve Hava Akış Dirençleri

Bu bölümde, her kumaştan beşer örnek alınarak, kumaşların birim alan ağırlıkları, kumaş kalınlıkları, hava geçirgenlikleri ölçülmüştür ve hava akış dirençleri hesaplanmıştır. Ardından çıkan sonuçların ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır.

Bu tez kapsamında hava geçirgenlik ölçümlerindeki basınç düşüşü (ΔP) 125 Pa, test alanı 5 cm² olarak belirlenmiştir. Her kumaş türünden beşer numune için elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hava geçirgenlik değerleri (A_p) (cfm) ve denklem 4.1 kullanılarak hava akış direnci (R_o) (Pa.s/m2) hesaplanmıştır (Süvari vd., 2018). R_o hava akış direnci (Pa.s/m2), A_p hava geçirgenliği (cfm), "l" dokuma kumaşın metre cinsinden kalınlığıdır.

$$R_o = \frac{\Delta P}{Ap*0{,}00508*l} \tag{4.1}$$

Kumaşların; birim alan ağırlık, kumaş kalınlık, hava geçirgenlik ölçümlerinden ve hava akış direnci hesaplamalarından elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kumaşların ortalama birim ağırlık ve standart sapma değerleri

Kumaş birim alan ağırlığı (gr/m²)			
Kumaş Kodu	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Ortalama	Standart Sapma
K7.33	7,33	251,726	2,504761466
K8.67	8,67	258,326	2,82060809
K10	10	279,766	3,885335249
K11.33	11,33	294,166	3,743772162
P7.33	7,33	238,406	3,576706586
P8.67	8,67	256,660	2,412156711
P10	10	272,252	2,927263227

Kumaş birim alan ağırlık değerleri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla şu şekildedir: K11.33, K10, P10, K8.67, P8.67, K7.33, P7.33

Çizelge 4.2. Kumaşların ortalama kalınlık ve standart sapma değerleri

Kumaş kalınlığı (mm)			
Kumaş Kodu	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Ortalama	Standart Sapma
K7.33	7,33	1,254	0,039115214
K8.67	8,67	1,328	0,036331804
K10	10	1,470	0,040620192
K11.33	11,33	1,630	0,041833001
P7.33	7,33	1,746	0,019493589
P8.67	8,67	1,808	0,0083666
P10	10	1,824	0,015165751

Kumaş kalınlık değerleri yüksekten düşüğe doğru şu şekildedir: P10, P8.67, P7.33, K11.33, K10, K8.67, K7.33

Çizelge 4.3. Kumaşların ortalama hava geçirgenlik ve standart sapma değerleri

Hava geçirgenlik (A_p) (cfm)			
Kumaş Kodu	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Ortalama	Standart Sapma
K7.33	7,33	204,500	10,44509454
K8.67	8,67	165,667	6,345602152
K10	10	155,667	6,377042157
K11.33	11,33	146,500	7,816648898
P7.33	7,33	272,333	8,164965809
P8.67	8,67	212,167	5,636192568
P10	10	173,333	3,444802849

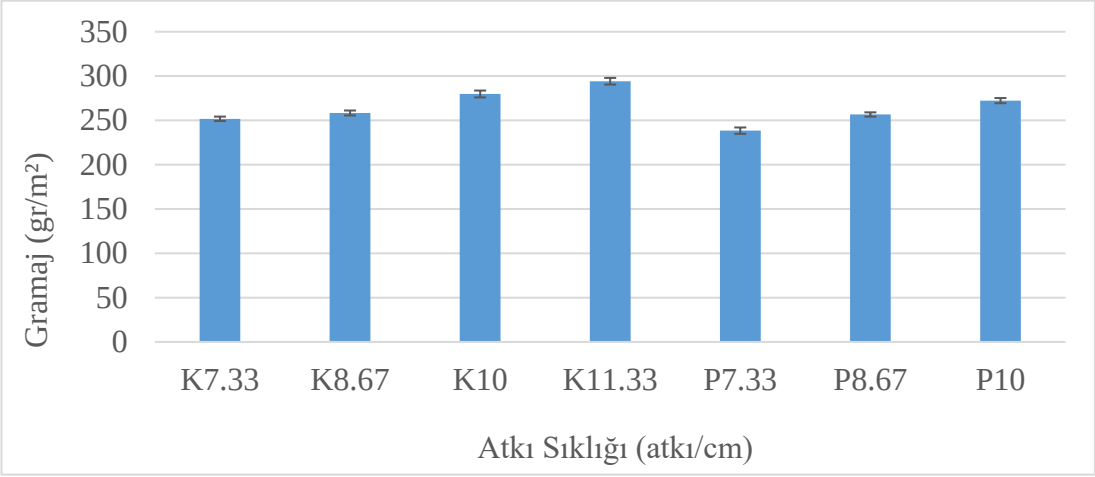
Kumaş hava geçirgenlik değerleri yüksekten düşüğe doğru şu şekildedir: P7.33, P8.67, K7.33, P10, K8.67, K10, K11.33

Çizelge 4.4. Kumaşların ortalama hava akış direnci ve standart sapma değerleri

Hava akış direnci (R_o) (kPa.s/m²)			
Kumaş Kodu	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Ortalama	Standart Sapma
K7.33	7,33	96159,157	4865,798511
K8.67	8,67	111977,406	4179,592395
K10	10	107683,834	4485,17127
K11.33	11,33	103289,115	5526,685127
P7.33	7,33	51788,488	1584,736012
P8.67	8,67	64185,418	1773,145009
P10	10	77854,348	1553,294204

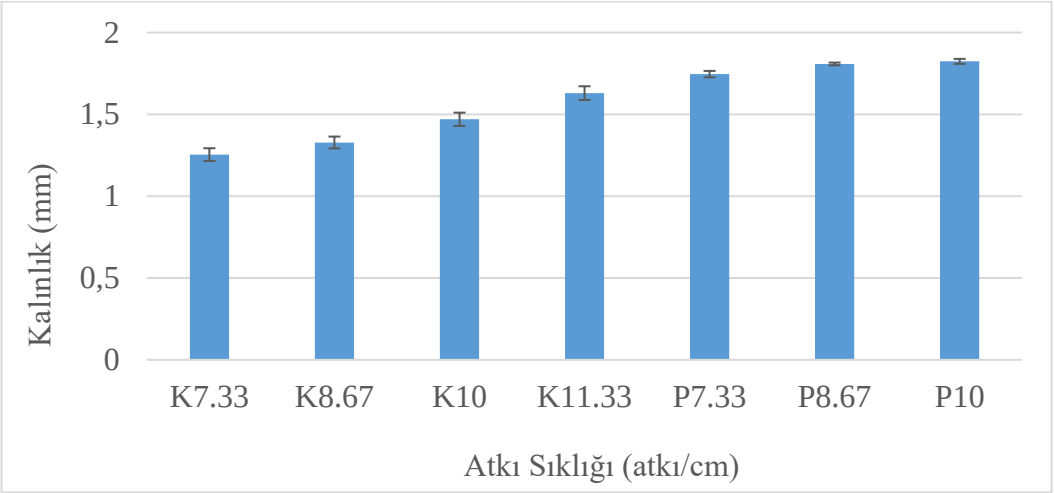
Kumaş hava akış direnci değerleri yüksekten düşüğe sırasıyla şu şekildedir: K8.67, K10, K11.33, K7.33, P10, P8.67, P7.33

Kumaşların; birim alan ağırlık, kumaş kalınlık, hava geçirgenlik ölçümlerinden ve hava akış direnci hesaplamalarından elde edilen sonuçların ortalamalarının karşılaştırılmasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.1, Şekik 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



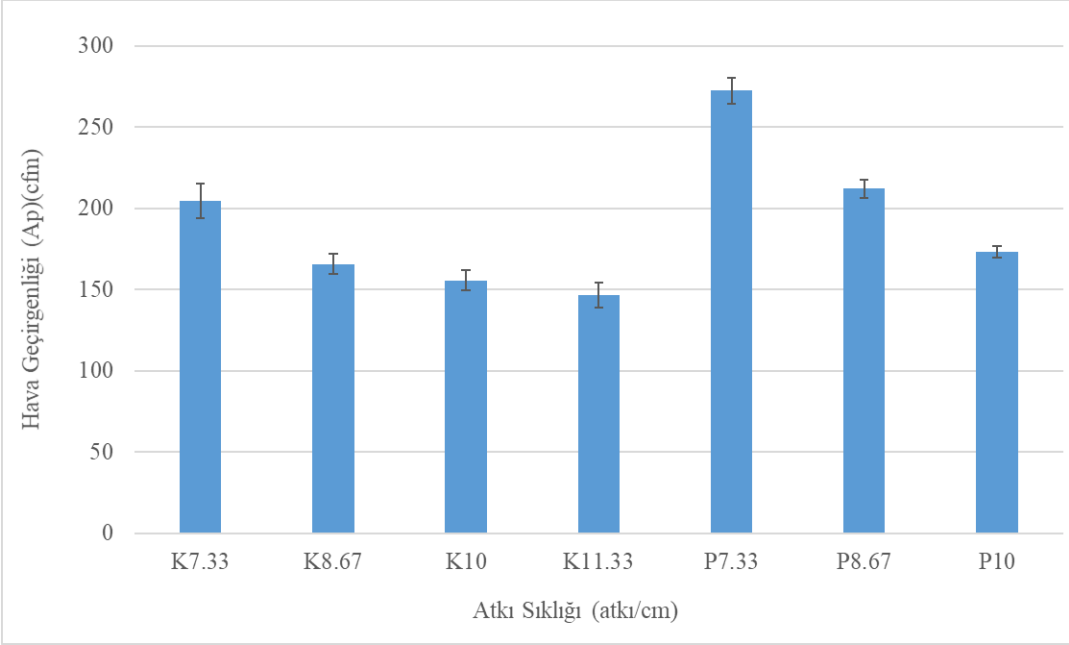
Şekil 4.1. Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama gramajlarının karşılaştırılması.

Kumaş birim alan ağırlık değerleri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla şu şekildedir: K11.33, K10, P10, K8.67, P8.67, K7.33, P7.33. Kumaş grupları kendi içinde değerlendirildiğinde, artan atkı sıklığı ile beraber tüm kumaş gruplarının gramajlarında artış görülmüştür (Şekil 4.1).



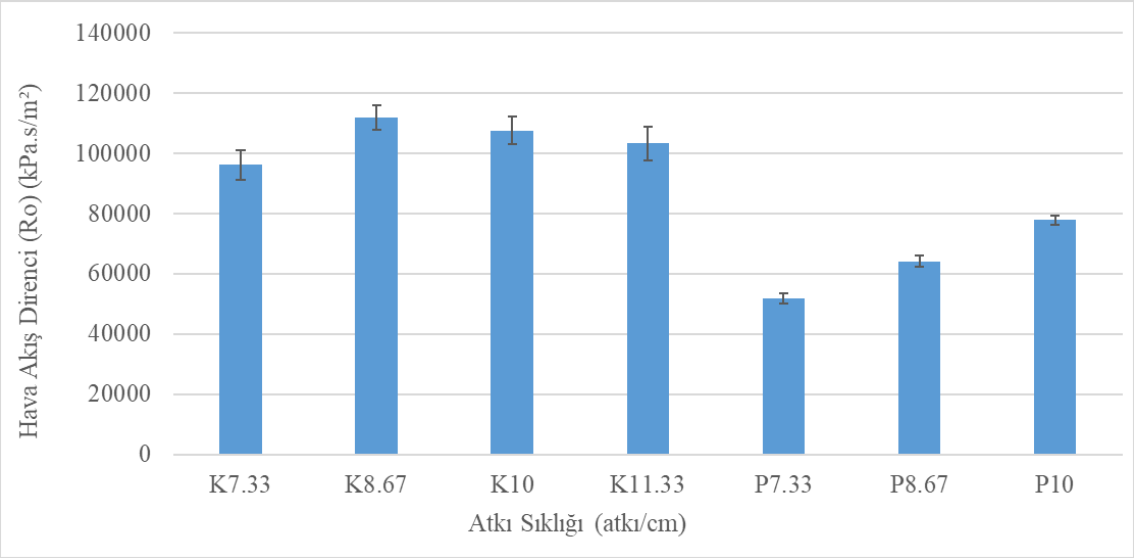
Şekil 4.2. Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama kalınlıklarının karşılaştırılması.

Kumaş grupları kendi içinde değerlendirildiğinde, artan atkı sıklığı ile beraber tüm kumaş gruplarının kalınlığında artış görülmüştür. %100 polyester kumaşların kalınlıkları kenevir içerikli kumaşlardan fazla çıkmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.3. Kenevir içerikli ve polyester kumaşların atkı sıklığına göre ortalama hava geçirgenliklerinin karşılaştırılması.

Artan atkı sıklığı artışı ile beraber tüm kumaş gruplarının hava geçirgenliğinde beklenildiği gibi azalma görülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.4. Polyester ve kenevir içerikli kumaşların atkı sıklığına göre ortalama hava akış direncinin karşılaştırılması.

Çıkan sonuçlar doğrultusunda öncelikle iki ayrı gruba ayrılmış kumaşlar kendi içinde değerlendrilmiştir. Ardından atkı sıklıkları eşit olan ama farklı gruplarda olan kumaşlar birbiriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Atkı sıklığındaki artış, birim uzunlukta daha fazla iplik bulunduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle kenevir içerikli ve %100 polyester kumaşların birim alan ağırlığında, atkı sıklığı artışı ile yükseliş görülmüştür. Atkı ipliğinde şönil kenevir ipliği bulunan kumaşların ortalama birim alan ağırlıkları, %100 polyester kumaşlardan, her atkı sıklığında, daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.1). Birim alan başına ağırlık değerlerinin analizi için, 0,05 anlamlılık düzeyi (α) ile bağımsız gruplar için varyans analizi (ANOVA) F testi uygulanmıştır. Daha sonra bireysel gruplar arasında doğrudan karşılaştırmalar yapan LSD (en az anlamlı fark) testi yapılmıştır (α=0,05). P8,67 ve K8,67 numunelerinin gramajları istatistiki olarak aynıdır. Aynı sıklıktaki diğer kenevir içerikli ve polyester kumaşlar istatistiki olarak farklı çıktımıştır ama değerler birbirine çok yakındır.

Kumaş kalınlık değerleri yüksekten düşüğe doğru şu şekildedir: P10, P8.67, P7.33, K11.33, K10, K8.67, K7.33. Atkı sıklığı artıkça kalınlıkta artış görülmüştür (Şekil 4.2). Artan sıklıkla daha fazla kıvrım almaya zorlanan özellikle çözgü ipliklerinin kalınlığı artırmış olabileceği düşünülmektedir. Polyester kumaşlar aynı sıklıktaki kenevir

kumaşlar ile karşılaştırıldığında daha kalın çıkmıştır. Bunun sebebi olarak, şönil polyester ipliklerle dokunan kumaşların havlarının kenevire oranla daha rijit olabileceği ve bu durumun kumaşı kalınlaştırdığı düşünülmüştür. Aynı sıklıktaki iki farklı kumaş grubundaki kalınlık artışları kıyaslandığında, P8.67 ve P10 numuneleri hariç, değerler istatistiki olarak anlamlı çıkmıştır.

Kumaş hava geçirgenlik değerleri yüksekten düşüğe doğru şu şekildedir: P7.33, P8.67, K7.33, P10, K8.67, K10, K11.33. Yapılan hesaplamalar sonucunda da istatistiki olarak bu düşüş anlamlı çıkmıştır. En fazla hava geçirgenliği %100 polyester kumaş grubunda görülmüştür (Şekil 4.3). Hava geçirgenliği ile ters orantılı olarak değişen hava akış direnci değerleri yüksekten düşüğe sırasıyla şu şekildedir: K8.67, K10, K11.33, K7.33, P10, P8.67, P7.33 En düşük hava akış direnci %100 polyester kumaş grubunda görülmüştür (bkz. Şekil 4.4).

Hava akış direnci yalnızca hava geçirgenliği ile ilgili değil aynı zamanda malzemelerin kalınlığı ile ilgili bir parametredir. K8.67'nin hava geçirgenliği değeri K11.33'ten %11,56 civarında daha fazlayken, kalınlık değeri %22.74 civarında daha azdır. Bu nedenle, hava akış direnci formülünde değerleri yerine koyduğumuzda, hava geçirgenlik değeri en düşük K11.33 kodlu numunede ölçülmesine rağmen, hava akış direnci değeri en yüksek K8.67 kodlu kumaşta hesaplanmıştır.

4.2. Kumaşların Katı Hacim Oranı (SVF) ve Gözeneklilik Değerleri

Bu bölümde kumaş numunelerinin katı hacim oranı (SVF) ve gözeneklilik değerleri hesaplanarak ses yutum üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Katı hacim oranını hesaplamak için ilk önce kumaşların yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$ƒ(kumaş)\ (gr/cm^3) = \frac{Birim\ alanın\ kumaş\ ağırlığı\ (gr/cm^2)}{Kumaş\ kalınlığı\ (cm)} \quad (4.2)$$

(4.2) formülünü kullanarak hesaplanan kumaş yoğunlukları aşağıdaki şekildedir:

K7.33: 0,0251726 / 0,1254 = 0,200738437 gr/cm³

K8.67: 0,0258326 / 0,1328 = 0,19452259 gr/cm³

K10: 0,0279766 / 0,147 = 0,190317007 gr/cm³

K11.33: 0,0294166 / 0,163 = 0,180469939 gr/cm³

P7.33: 0,0238406 / 0,1746 = 0,136544101 gr/cm³

P8.67: 0,025666 / 0,1808 = 0,141957965 gr/cm³

P10: 0,0272252 / 0,1824 = 0,149260965 gr/cm³

Malzemelerin ağırlıklı ortalama lif yoğunlukları aşağıdaki şekildedir:

ℑ (lif) PET:1,38 gr/cm3 (Pinlova ve Nowack, 2023)

ℑ (lif) Kenevir:1,47 gr/cm3 (Mohanty vd., 2005)

Kumaşların ağırlıklı ortalama lif yoğunlukları, kumaşlardaki lif yüzdeleri göz önünde bulundurularak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

K7.33: %50,3 PES %49,7 Kenevir: 1,423327882 gr/cm³

K8.67: %47 PES %53 Kenevir: 1,42624502 gr/cm³

K10: %44,4 PES %55,6 Kenevir: 1,428626883 gr/cm³

K11.33: %42,2 PES %57,8 Kenevir: 1,430622057 gr/cm³

P7.33, P8.67, P10: %100 PES: 1,38 gr/cm³

Katı Hacim Oranı: SVF= ℑ(kumaş) / ℑ (lif) (4.3)

Gözeneklilik= 1- [ℑ(kumaş) / ℑ (lif)] (4.4)

Çizelge 4.5. Kumaşların gözeneklilik ve katı hacim oranı değerleri

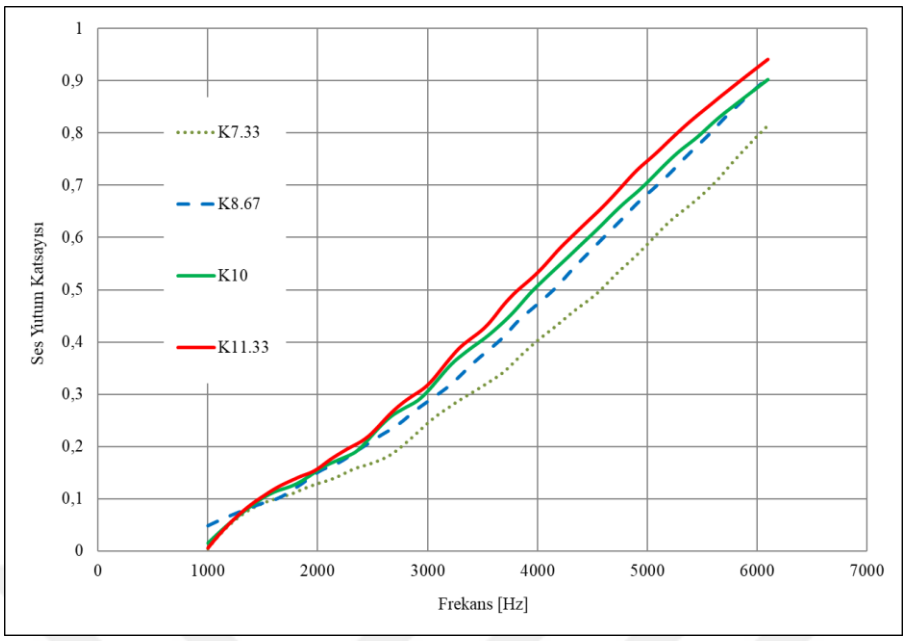
NUMUNE ADI	KUMAŞ AĞIRLIĞI (gr/cm2)	KUMAŞ KALINLIĞI (cm)	AĞIRLIKLI ORTALAMA LİF YOĞUNLUĞU ƒ (lif) (gr/cm3)	KUMAŞ YOĞUNLUĞU ƒ(kumaş) (gr/cm3)	GÖZENEKLİLİK ORANI (0-1)	KATI HACİM ORANI (SVF) (0-1)
K7.33	0,0251726	0,1254	1,423327882	0,200738437	0,858965429	0,141034571
K8.67	0,0258326	0,1328	1,42624502	0,19452259	0,863612081	0,136387919
K10	0,0279766	0,147	1,428626883	0,190317007	0,866783266	0,133216734
K11.33	0,0294166	0,163	1,430622057	0,180469939	0,873852121	0,126147879
P7.33	0,0238406	0,1746	1,38	0,136544101	0,901054999	0,098945001
P8.67	0,025666	0,1808	1,38	0,141957965	0,89713191	0,10286809
P10	0,0272252	0,1824	1,38	0,149260965	0,89183988	0,10816012

P7,33 kodlu kumaşın gözenekliliği diğer kumaşlara göre daha yüksek, SVF oranı ise daha düşük çıkmıştır. SVF sonuçlarına bakıldığında, P7,33 kodlu kumaşının birim hacminde daha az lif içerdiği görülmektedir. Bu kumaşta diğer kumaşlara göre lif hacminin daha az olması sebebiyle kumaş içinden havanın daha kolay geçtiği, ayrıca hava geçirgenliği sonuçlarıyla doğrulanmıştır. K7,33 kodlu kumaşın gözenekliliği diğer kumaşlara göre daha düşük, SVF oranı ise daha yüksek çıkmıştır.

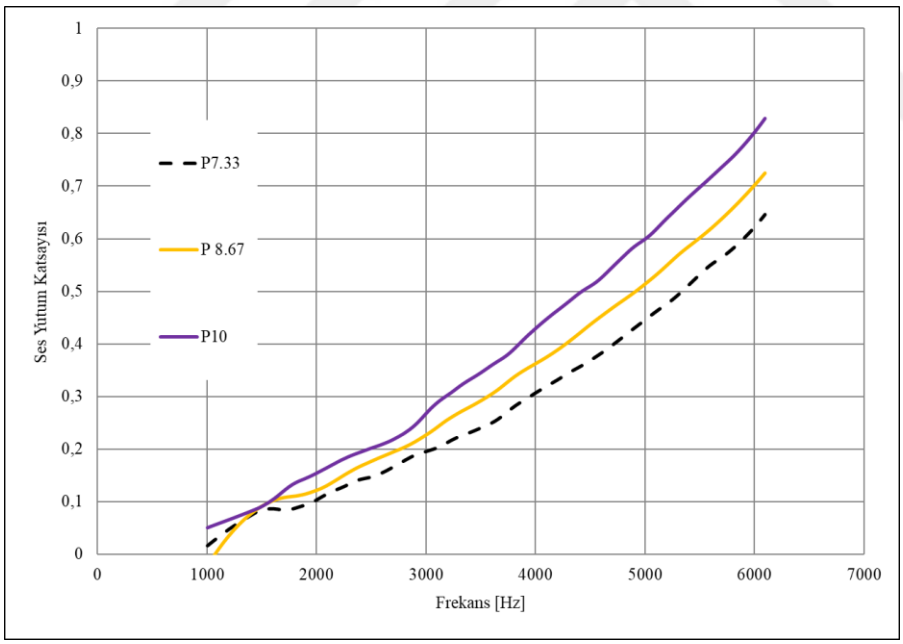
4.3. Kumaşların Ses Yutumu

Bu bölümde, ağartılmış kenevir şönil iplik içerkli bezayağı dokuma kumaş numuneleri ile %100 polyester bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayıları; kumaşların birim alan ağırlık, kalınlık, hava geçirgenlik, hava akış direnci değerleri, gözeneklilikleri ve katı hacim oranı göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.

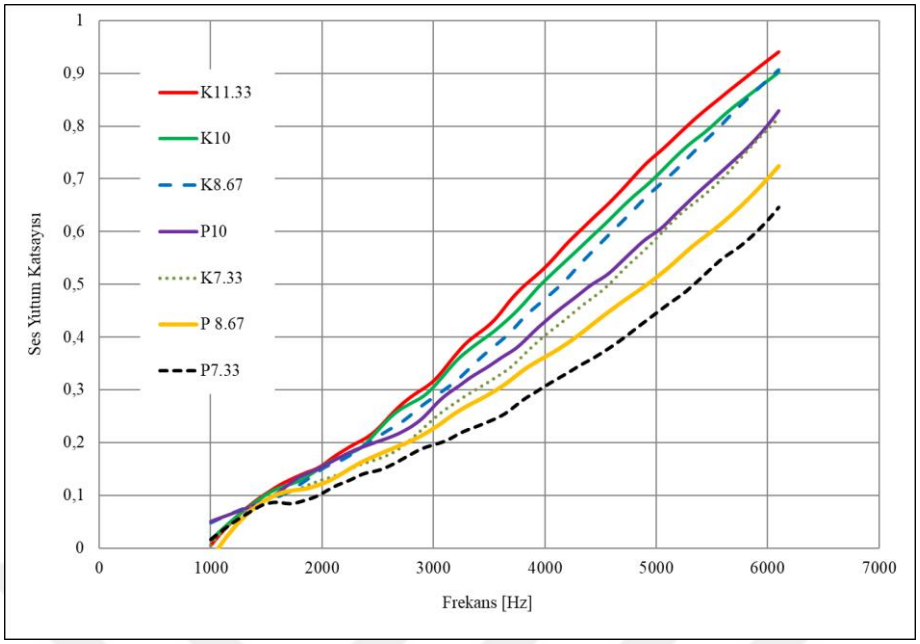
Arkalarında 7 mm boşluk bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen kenevir içerikli ve %100 polyester kumaş numunelerinin (K7.33, K8.67, K10, K11.33, P7.33, P8.67, P10) 1000 Hz – 6000 Hz frekans aralığındaki ses yutum katsayılarına ait grafikleri Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7’ de verilmiştir. Yapılan ölçümlerde, artan atkı sıklığı ile beraber tüm frekanslarda tüm kumaş gruplarının ses yutumunda artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen kenevir içerikli bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik.



Şekil 4.6. Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen %100 polyester bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik.

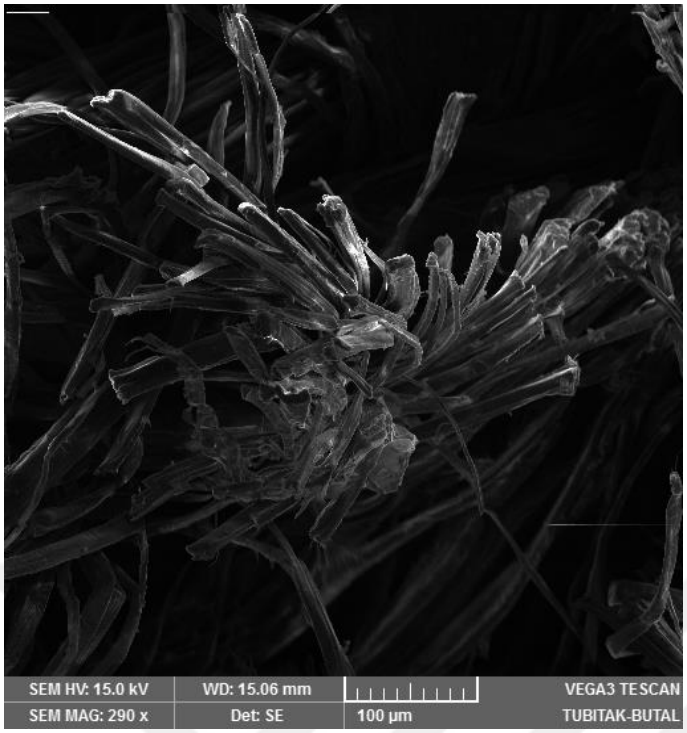


Şekil 4.7. Arkalarında 7 mm hava boşluğu bırakılarak empedans tüpüne yerleştirilen tüm bezayağı dokuma kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik.

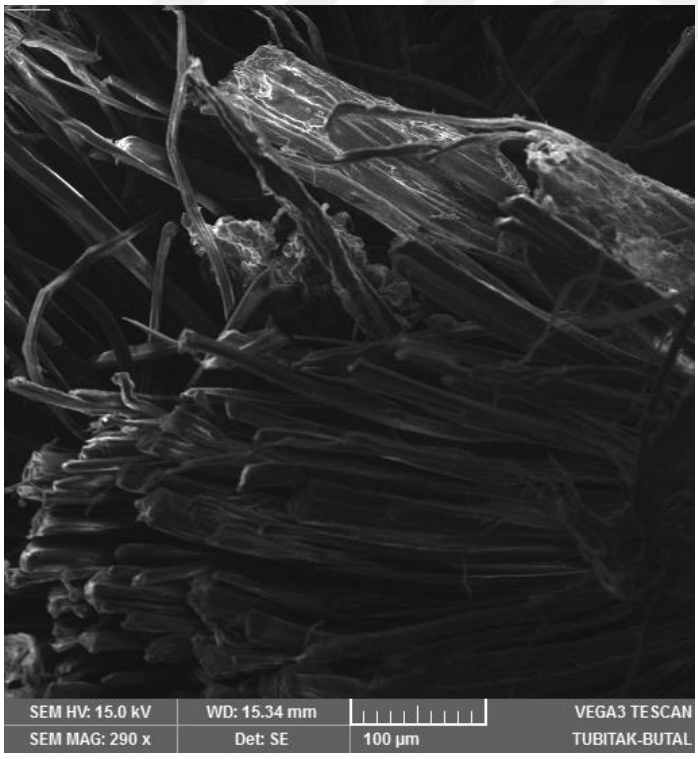
Ölçümler sonucunda tüm kumaşların ses yutum katsayıları yüksekten düşüğe doğru şu şekilde sıralanmıştır: K11.33, K10, K8.67, P10, K7.33, P8.67, P7.33. En yüksek ses yutum katsayısı hava geçirgenliği en az ve atkı sıklığı 11,33 atkı/cm olan K11.33 kodlu kumaşta çıkmıştır. Bununla birlikte en düşük ses yutum katsayısı ise hava akış direncinin en düşük olduğu 7,33 atkı/cm atkı sıklığında P7.33 kodlu %100 polyester kumaşta görülmüştür. Ses yutum katsayıları P10 ve K7.33 kumaşlarda birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ses yutum katsayısı sonuçlarına bakıldığında K7.33 kodlu kumaşın aynı atkı ipliği sıklığına sahip P7.33 kodlu kumaştan daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi katı hacim oranı (SVF) ile açıklanabilmektedir. Katı hacim oranı en düşük olan P7.33 kodlu kumaşta diğer kumaşlara göre lif hacminin daha az olması sebebiyle kumaş içinden havanın daha kolay geçtiği, hava geçirgenliği sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Ses enerjisine karşı direnç gösterecek liflerin sayısının birim hacimdeki azlığı nedeniyle de, diğer kumaşlara göre daha düşük ses yutum sonuçlarına ulaşılmıştır. K7.33 kodlu kumaşın gözenekliliği ise diğer kumaşlara göre daha düşük, SVF oranı ise daha yüksek çıkmıştır. K7.33 kodlu kumaşın atkı sıklığı P8.67 kodlu kumaştan daha az olmasına rağmen katı hacim oranının P8.67'den daha fazla olması sebebiyle, ses yutum katsayısının daha yüksek çıktığı düşünülmektedir.

Ağartılmış kenevir şönil ipliklerin olduğu kumaşların kalınlığının, %100 polyester kumaşlardan daha az olmasına rağmen, ses yutum katsayıları polyester kumaşlardan çok daha yüksek çıkmıştır. Yapılan literatür araştırmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda, kenevir liflerin çapının bir çok diğer doğal liften daha kalın olduğu bilinmektedir. Aynı iplik numarasına sahip farklı hammaddelerden üretilmiş ipliklerden, daha ince liflerden oluşanının daha fazla yüzey alanı olmasından dolayı, ses yutum katsayısı genellikle daha yüksek çıkmaktadır. Fakat kenevir lifleri kalın olmakla beraber, doğal yapısından kaynaklı düzensiz ve pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Yüzeyinde girinti ve çıkıntılar bulunmaktadır. Ses yutumunda dezavantaj olarak sayılabilecek kalın lif yapısı, bu özellikleri ile avantajlı hale gelmektedir. Bu nedenle ses yutumunu etkileyen parametrelerin tek başına değerlendirilmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Tüm parametrelerde yapılacak ayarlamalar ile dezavantajı olan yapısal özelliklerin etkisi azaltılabilmektedir.

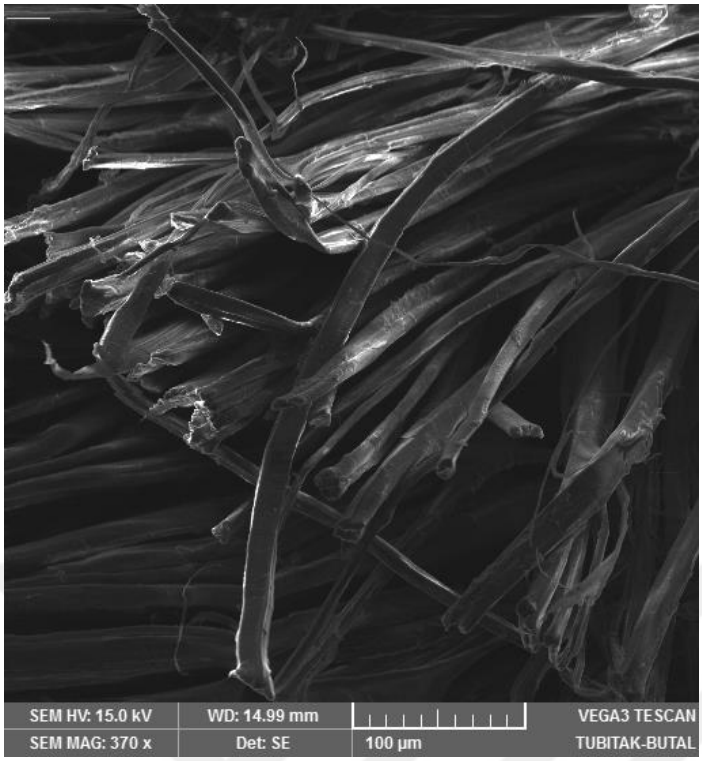
Bu araştırmada kullanılan kenevir liflerinin çapı 25 mikrona kadar ulaşmaktadır. Kullanılan polyester liflerinin çapı da 20-25 mikron arasındadır. Birbirine yakın lif kalınlıklarında iki farklı hammaddeden üretilen kumaşların ses yutum katsayıları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Atkı ipliğinde ağartılmış kenevir şönil kullanılan bezayağı dokuma kumaşların, atkı ipliğinde polyester şönil kullanılan %100 polyester bezayağı dokuma kumaşlara göre daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olması, kenevir lif yüzeyinin pürüzlü yapısına bağlanabilir. Bunu doğrulamak için alınan kumaş yüzeyi SEM görüntülerinde (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10) şönil hav ipliklerinin uçlara doğru fibrilleşerek inceldiği ve kalınlığının 2 mikrona kadar indiği görülmektedir. Kenevir içerikli kumaşlarda daha ince liflerin olması, daha yüksek toplam lif yüzey alanına sahip olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle kenevir esaslı kumaşların ses yutum katsayı değerlerinin polyester kumaşlardan daha yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.8. Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x290 yüzey SEM görüntüsü 1.



Şekil 4.9. Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x290 yüzey SEM görüntüsü 2.



Şekil 4.10. Şönil kenevir ipliği içerikli dokuma kumaşın x370 yüzey SEM görüntüsü.

Elimizdeki bu veriler doğrultusunda ses yutum katsayısını etkileyen öncelikli faktörün toplam lif yüzey alanındaki değişimler olduğu sonucuna varılabilir. Atkı sıklığının artmasıyla beraber, birim alana düşen gözenek sayısı artarken gözenek boyutu küçülmektedir. Böylece ses dalgaları ile hareket eden küçük hava hacimlerinin, atkı sıklığı artışından dolayı, birim hacimde daha fazla lif yüzeyi ile temas etmesi ile daha fazla sürtünme meydana gelmektedir. Sürtünmedeki artış daha fazla ses enerjisinin ısıya dönüşmesine neden olmaktadır. Ayrıca kumaşların birim hacimdeki lif sayısındaki artışa bağlı olarak artış gösteren hava akış direnci daha yüksek ses yutum katsayıları elde edilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte kullanılan malzemelerin lif yapısı ve lif inceliği de önemlidir. Lif çapı azaldıkça ses dalgalarının temas edeceği yüzey alanı artmakta ve bu da ses yutum katsayılarında artışa neden olmaktadır.

4.4. Lamine Yapıların Yapışma Mukavemeti, Hava Geçirgenliği ve Ses Yutumu

Bu çalışmada yalnızca kumaşların atkı sıklığı artırılarak değil, kalınlık artışı sağlanarak da ses yutum performansını yükseltmek amaçlanmıştır. Dokuma işlemi ile kumaşlara verilebilen kalınlık artışı sınırlıdır. Bu nedenle bezayağı dokuma kumaşların kalınlığı

farklı kalınlıklardaki poliüretan süngerlerle lamine edilerek artırılmıştır. Böylece malzeme kalınlığı ile ses yutum arasındaki ilişki analiz edilmiştir.

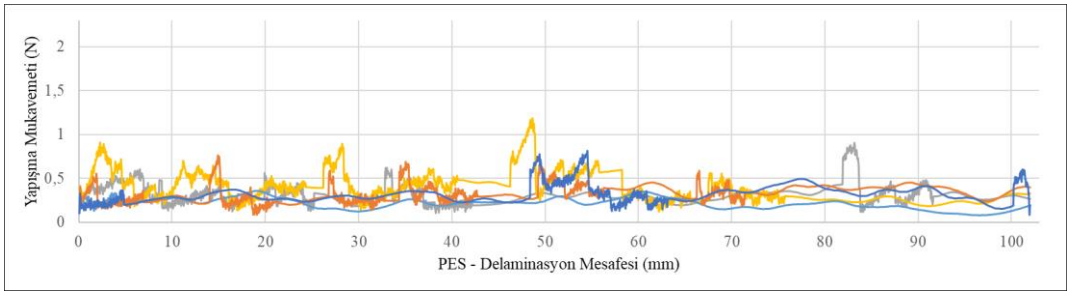
Öncelikle yapıştırıcı miktarının akustik panelin yapışma mukavemetine etkisini analiz etmek amacıyla K10 ve P10 kodlu kumaşlar kullanılarak akustik paneller hazırlanmıştır. P10 numunesinin ön tarafı %100 polyester bezayağı dokuma kumaştır. Kullanılan atkı ipliklerinin numarası 6 Nm'dir. Atkı ipliklerinin hav uzunluğu 1,2 mm olan polyester şönil ipliklerdir. K10 akustik panel numunesinin ön tarafı ağırlıkça % 44,4 oranında polyester ipliğine ve %55,6 oranında kenevir ipliğine sahip bezayağı dokuma kumaştır. Kullanılan atkı iplikleri 6 Nm ve hav uzunluğu 1,2 mm olan ağartılmış şönil kenevir ipliklerdir. Her iki numunenin de çözgü iplikleri 900 denye 288 filament polyester ipliktir.

K10 ve P10 numuneleri ile akustik panelleri hazırlamak amacıyla, 5 mm kalınlığındaki poliüretan süngerlerin üzerlerine, %7,5 konsantrasyondaki PVA çözeltisi üç dakika ve beş dakika süreyle homojen olarak püskürtülmüştür. Ön testlerde, püskürtme işlemi üç dakikadan daha kısa sürdüğünde (0,3 ml'den daha az yapıştırıcı püskürtüldüğünde) yetersiz düzeyde yapışma mukavemeti tespit edilmiştir. Püskürtme işlemi beş dakika sürdüğünde (0,5 ml yapıştırıcı püskürtüldüğünde) kumaş ile sünger arasındaki iyi yapışma nedeniyle yapışma mukavemeti testi sırasında dokuma kumaşın bazı ipliklerinin ve/veya liflerinin sünger yüzeyinde kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.11). Bu nedenle deneylerde püskürtme işlemi beş dakikadan fazla yapılmamıştır.

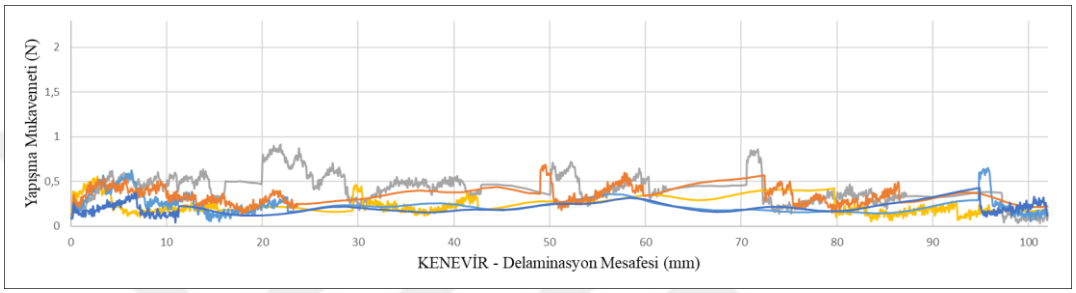


Şekil 4.11. Sünger yüzeyinde kalan liflerin görüntüsü.

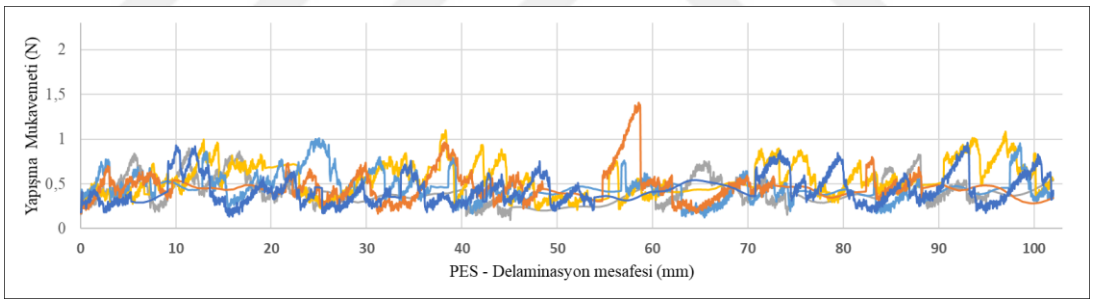
0,3 ml ve 0,5 ml PVA çözeltisi ile poliüretan süngere yapıştırılarak hazırlanan beş numunenin yapışma mukavemeti verileri sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere yapışma mukavemeti verilerinde birçok maksimum ve minimum nokta gözlemlenmiştir. %100 polyester kumaşlarda 0,5 ml yapıştırıcı kullanılan yapılarda daha fazla tepe noktası 1 Newton yapışma mukavemeti seviyesine yaklaşmıştır. Kenevir içerikli kumaşlarda ise 0,5 ml yapıştırıcı kullanılan yapılarda daha fazla tepe noktası 2 Newton yapışma mukavemeti seviyesine yaklaşmıştır.



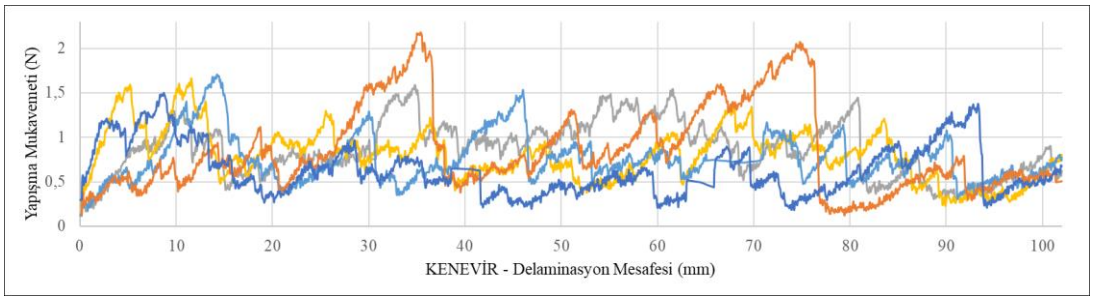
Şekil 4.12. 0,3 ml PVA çözeltisiyle %100 polyester kumaş için yapışma mukavemeti değerleri.



Şekil 4.13. 0,3 ml PVA çözeltisiyle kenevir içerikli kumaş için yapışma mukavemeti değerleri.

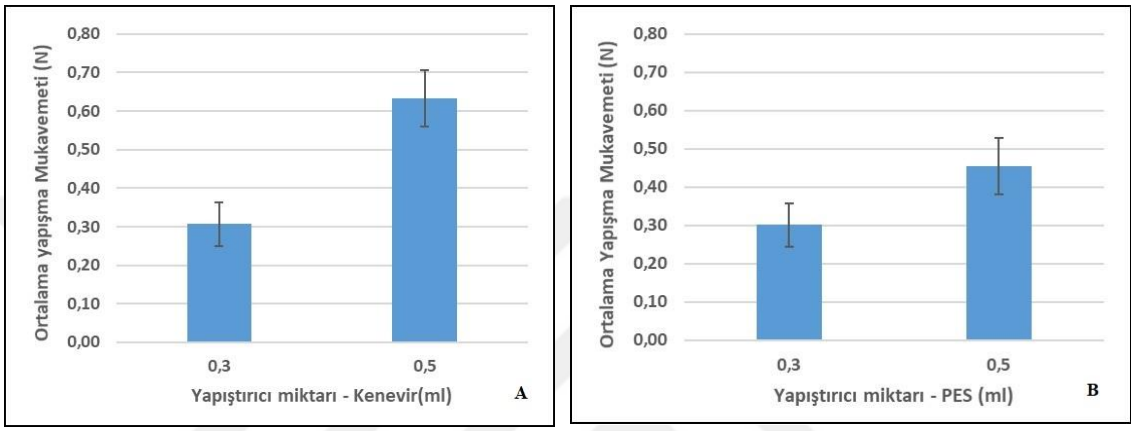


Şekil 4.14. 0,5 ml PVA çözeltisiyle %100 polyester kumaş için yapışma mukavemeti değerleri.



Şekil 4.15. 0,5 ml PVA çözeltisiyle kenevir içerikli kumaş için yapışma mukavemeti değerleri.

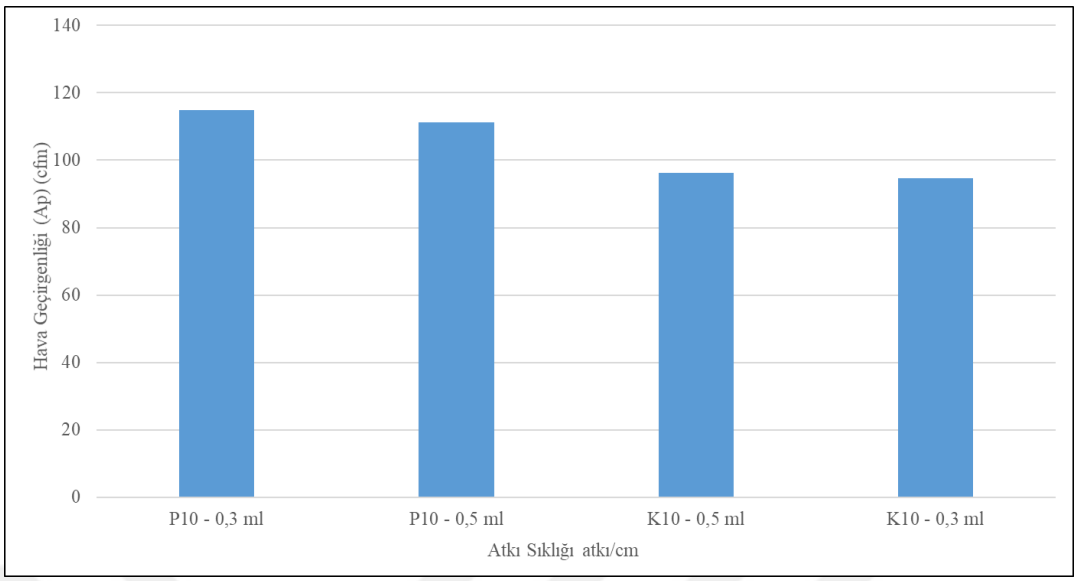
Daha net bir değerlendirme için Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15'te verilen yapışma mukavemeti verilerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ortalama sonuçlar Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Ortalama yapışma mukavemeti sonuçları için 0,05 anlamlılık düzeyi (α) ile Student t-testi uygulanmıştır. Test sonuçları, 0,5 ml yapıştırıcı ile lamine edilen kumaş-sünger yapısının yapışma mukavemetinin istatistiksel olarak, hem kenevir içerikli hem polyester kumaşlarda, daha güçlü olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.16. Lamine yapıların ortalama yapışma mukavemeti değerleri. **A)** Kenevir içerikli kumaşla üretilen lamine yapı **B)** Polyester kumaşla üretilen lamine yapı

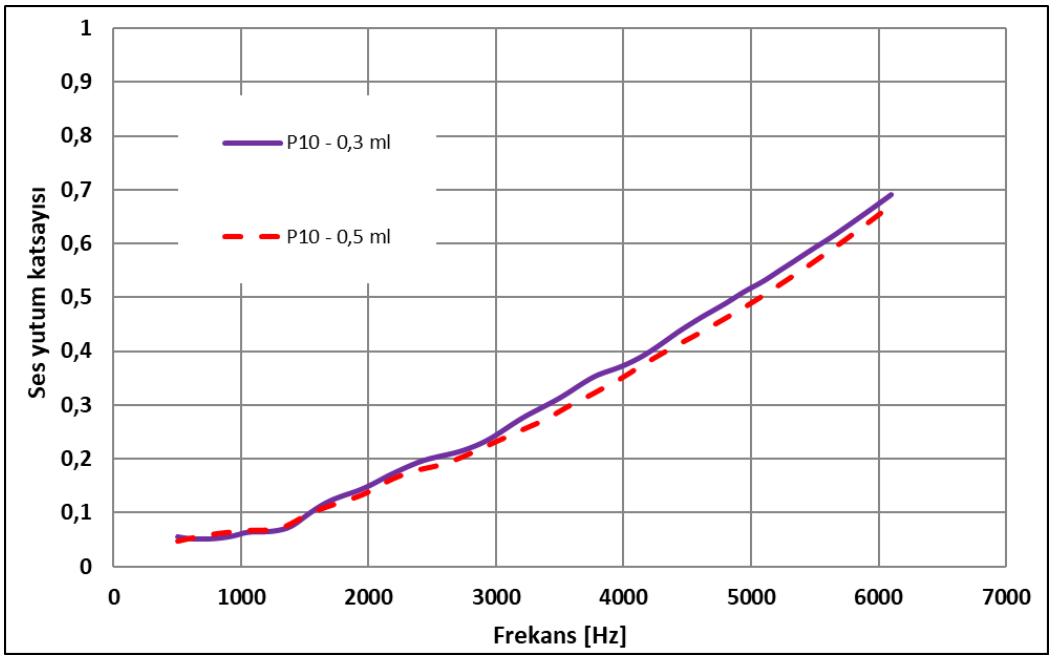
0,3 ml yapıştırıcı ile lamine edilmiş kenevir içerikli ve polyester kumaşların ortalama yapışma mukavemeti sırasıyla 0,31 Newton ve 0,30 Newton değerleri ile birbirine çok yakın çıkmıştır. Fakat yapıştırıcı miktarı 0,5 ml seviyesine yükseltildiğinde, kenevir içerikli kumaşın ortalama yapışma mukavemeti değeri 0,63 Newton' a yükselirken, polyester kumaşların ortalama yapışma mukavemeti seviyesi 0,46 Newton'a kadar çıkabilmiştir.

Yapışma mukavemeti ölçümlerinin ardından, K10 ve P10 kodlu kumaşlarla oluşturulan poliüretan süngerli lamine yapıların hava geçirgenliği ölçülmüştür. K10 ve P10 kodlu kumaşların poliüretan süngerlere yapışması için püskürtülen PVA çözelti miktarının 0,5 ml'ye çıkarılmasıyla, ANOVA ve LSD test sonuçlarına göre, lamine yapıların her ikisinde de kendi içinde hava geçirgenliğinde belirgin bir fark gözlemlenmemiştir (Şekil 4.17).

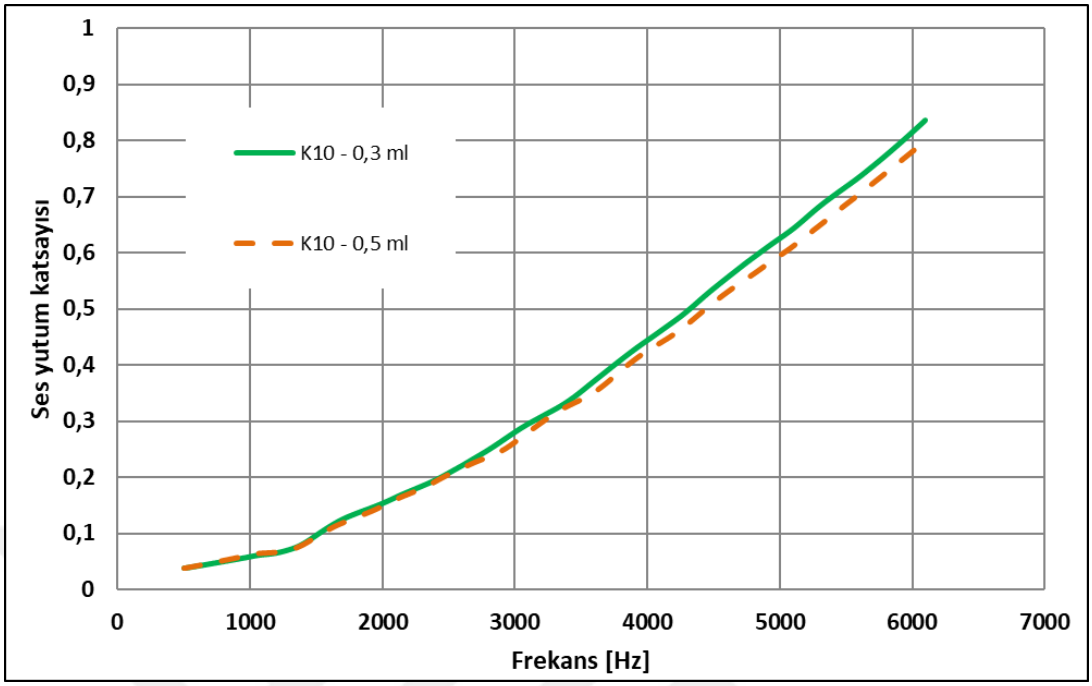


Şekil 4.17. K10 ve P10 kodlu kumaşların 0,3ml ve 0,5 ml PVA çözeltisi uygulanarak poliüretan süngere laminasyonu yapıldıktan sonra ölçülen ortalama hava geçirgenliği grafiği.

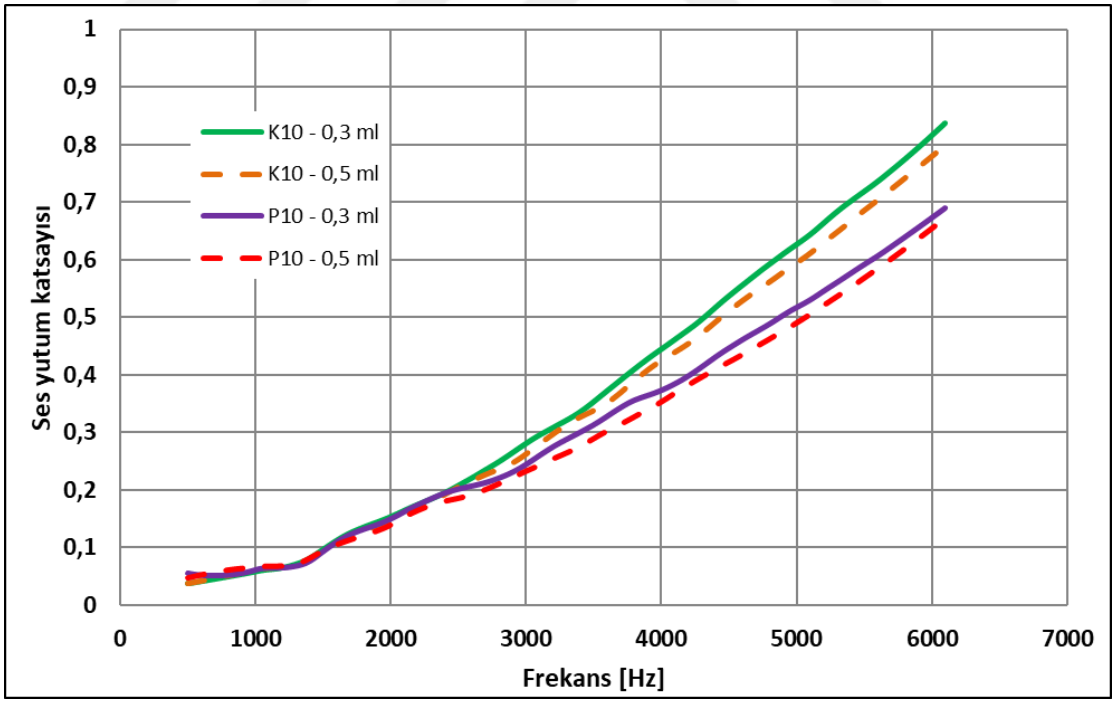
Daha sonra K10 VE P10 kodlu kumaşlarla oluşturulan lamine yapıların ses yutum katsayıları ölçülmüştür. Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de 5 mm kalınlığında poliüretan sünger ile lamine edilmiş K10 ve P10 kodlu kumaşların, PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırıldığı grafikler verilmiştir.



Şekil 4.18. Poliüretan sünger ile lamine edilmiş polyester kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.19. Poliüretan sünger ile lamine edilmiş kenevir içerikli kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.20. Poliüretan sünger ile lamine edilmiş kenevir içerikli ve polyester kumaşların PVA çözeltisi miktarına göre ses yutum katsayılarının karşılaştırılması.

Şekil 4.20'de görüldüğü üzere, yapılan ölçümler sonucunda, poliüretan süngerle lamine edilmiş kenevir içerikli kumaşların, hem 0,3 ml ve hem de 0,5 ml PVA çözeltisi miktarı için, ses yutum katsayıları polyester kumaşlı lamine yapılardan yüksek çıkmıştır.

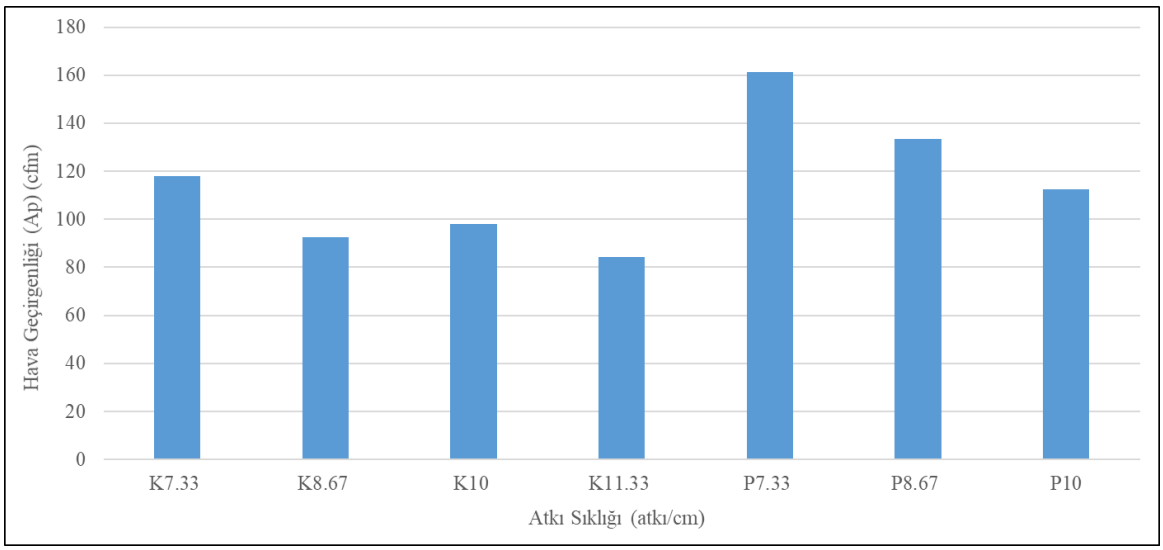
Aşırı miktarda yapıştırıcı püskürtmek kumaşın ve sünger gözeneklerinin kapanması riskini oluşturmaktadır. Gözeneklerin kapanması akustik panelin ses yutumunu olumsuz etkileyebilmektedir. 0,5 ml PVA çözeltisi kullanarak poliüretan sünger ile lamine edilmiş kenevir içerikli ve polyester kumaşların ses yutum katsayılarında bir miktar azalma olduğu görülmüştür. Ancak kenevir içerikli kumaşlarda 0,5 ml yapıştırıcı kullanıldığında yapışma mukavemetindeki %48'lik artış gözlemlenmiştir. Bu nedenle yapışma mukavemetindeki bu artışın, ses yutumundaki düşük kabul edilebilecek azalmayı potansiyel olarak dengeleyerek tolere edebileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak yapılan tüm ölçümler ve hesaplamalar sonucunda çıkan değerler göz önüne alınarak diğer kumaşlardan lamine yapılar oluşturmak için 0,5 ml PVA çözeltisi kullanılmasına karar verilmiştir.

4.5. Kumaşların ve Lamine Yapıların Hava Geçirgenlik Değerleri

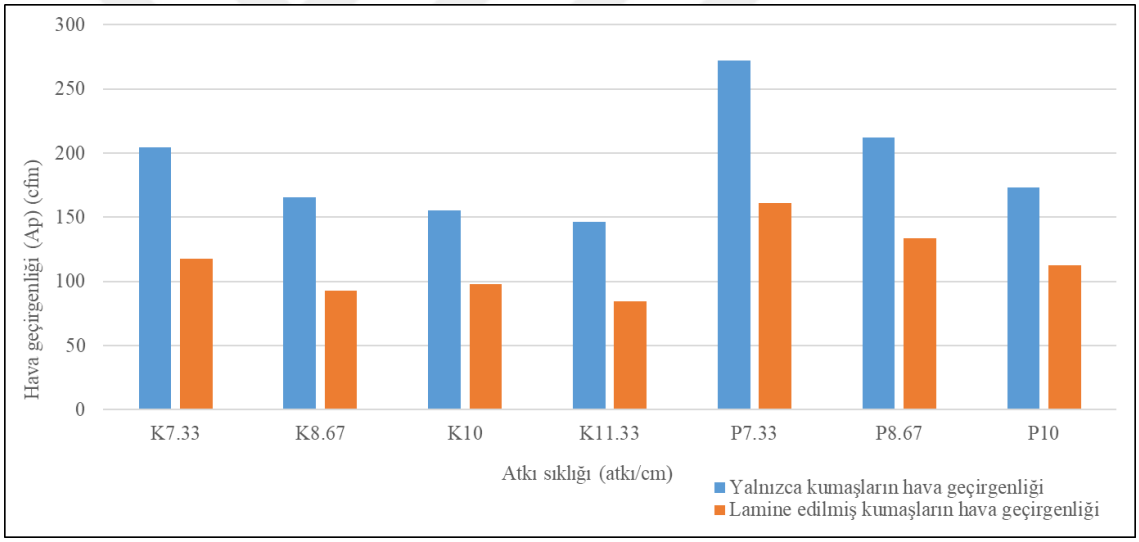
0,5 ml PVA çözeltisiyle 5 mm poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların hava geçirgenlik değerleri yüksekten düşüğe doğru P7.33, P8.67, K7.33, P10, K10, K8.67, K11.33 şeklindedir. Ortalama değerler ve standart sapmalar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların hava geçirgenlik değerleri

Hava geçirgenlik (Ap) (cfm) 0, 5 ml PVA çözeltisiyle 5 mm poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşlar			
Kumaş Kodu	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Ortalama	Standart Sapma
K7.33	7,33	118,000	13,45362405
K8.67	8,67	92,520	8,275687283
K10	10	97,880	8,611445872
K11.33	11,33	84,300	2,794637722
P7.33	7,33	161,200	9,364827815
P8.67	8,67	133,600	2,701851217
P10	10	112,400	2,302172887



Şekil 4.21. 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların ortalama hava geçirgenlik grafiği.

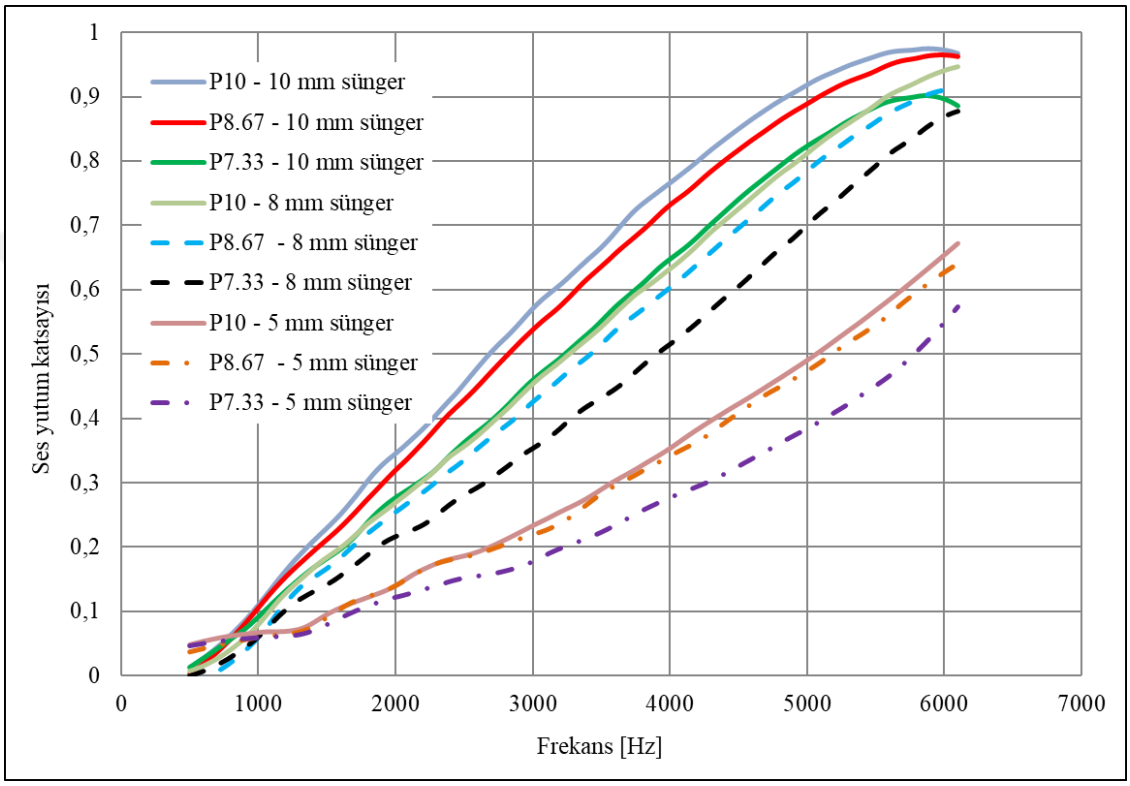


Şekil 4.22. Yalnızca kumaşların ortalama hava geçirgenliği ile 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşların ortalama hava geçirgenliğinin karşılaştırma grafiği.

Lamine edilmemiş kumaşlar (bkz. Şekil 4.3) ve 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5mm kalınlığındaki poliüretan süngerlere lamine edilmiş kumaşlar (Şekil 4.21) karşılaştırıldığında, lamine edilmiş kumaşların hava geçirgenlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.22'de).

4.6. Lamine Yapıların Ses Yutumu

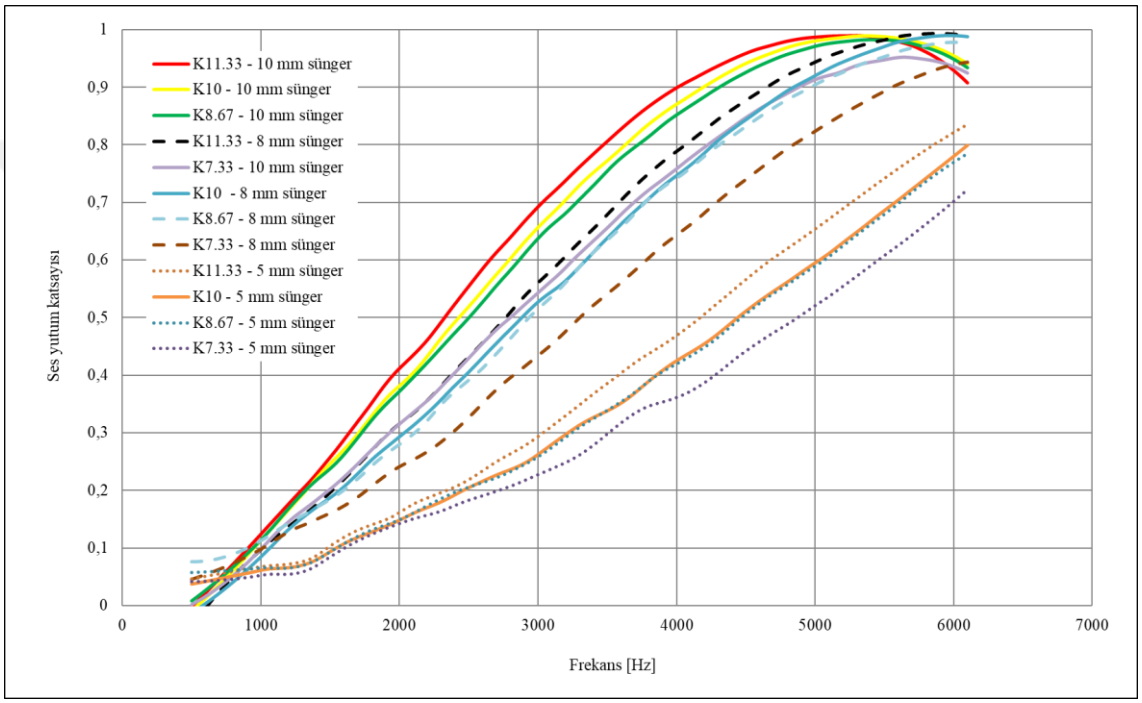
0,5 ml PVA çözeltisiyle 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edildikten sonra, empedans tüpüne yerleştirilen kenevir içerikli ve %100 polyester bezayağı dokuma kumaş numunelerinin (P7.33, P8.67, P10, K7.33, K8.67, K10, K11.33) ses yutum katsayılarına ait grafikler Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.23. 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen %100 polyester kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik.

Şekil 4.23'te görüldüğü üzere, 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm ve 10 atkı/cm atkı ipliği sıklıklarındaki %100 polyester bezayağı dokuma kumaşlar, farklı kalınlıktaki poliüretan süngerlerle lamine edildiğinde, ses yutum katsayıları sünger kalınlığı artırıldıkça yükselmektedir. 1000 – 6000 Hz frekans aralığında en yüksek ses yutum katsayısına 10 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş P10 kodlu kumaşta görülürken, en düşük ses yutum katsayısına 5 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş P7.33 kodlu kumaş sahiptir. Bu verilerden yola çıkarak kalınlığın ve atkı sıklığının artırılmasının kumaşların ses yutum performansını artırıcı etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca P7,33 kodlu kumaşın gözenekliliği diğer kumaşlara göre daha yüksek, SVF oranı ise daha düşük

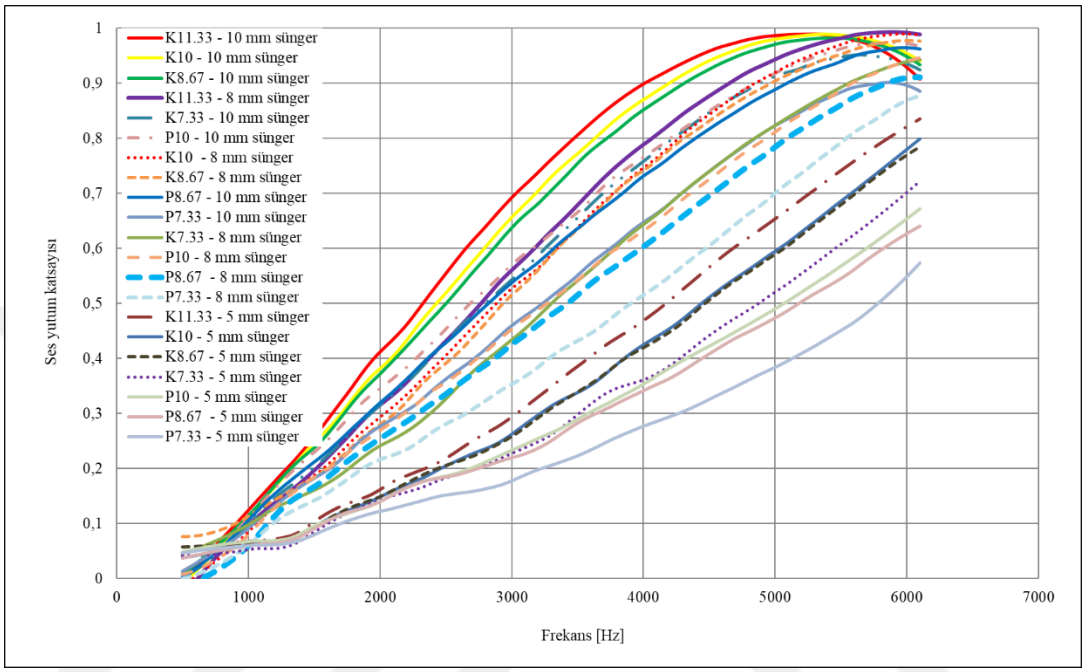
çıkmıştır. Katı hacim oranı en düşük olan P7.33 kodlu kumaşta diğer kumaşlara göre lif hacminin daha az olması sebebiyle kumaş içinden havanın daha kolay geçtiği, hava geçirgenliği sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Ses enerjisine karşı direnç gösterecek liflerin sayısının birim hacimdeki azlığı nedeniyle de, daha düşük ses yutum sonuçlarına ulaşılmıştır. Ses yutum katsayısı 1000 - 6000 Hz aralığında her numunede yaklaşık doğrusal bir artış göstermiştir. 10 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş P8.67 kodlu kumaşın ses yutum katsayısı 6000 Hz'de 0,96 değerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 4.24. 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen kenevir içerikli kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik

Şekil 4.24'te görüldüğü üzere, 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm ve 11,33 atkı/cm atkı ipliği sıklıklarındaki kenevir içerikli bezayağı dokuma kumaşlar (K7.33, K8.67, K10, K11.33) farklı kalınlıktaki poliüretan süngerler lamine edildiğinde, ses yutum katsayılarında sünger kalınlığı artırıldıkça artığı gözlemlenmiştir. 1000 Hz'den sonraki frekanslarda en yüksek ses yutum katsayısına 10 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş K11.33 kodlu kumaş sahipken, en düşük ses yutum katsayısına 5 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş K7.33 kodlu kumaş sahiptir. 10 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş K11.33 kodlu kumaş 4800 Hz'de en yüksek değeri olan 0,98 ses yutma katsayısına ulaşmıştır. 8 mm kalınlığındaki süngerle lamine edilmiş K11.33 kodlu kumaş

numunesinin ses yutum katsayısı, 10 mm kalınlıındaki süngerle lamine edilmiş K7.33 kodlu kumaş numunesinden daha yüksek çıkmıştır. Bu verilerden yola çıkarak atkı ipliği sıklığının malzeme kalınlığından daha etkili bir parametre olduğu durumlarla karşılaşılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.25. 5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilen tüm kumaş numunelerinin ses yutum katsayılarına ait grafik

5 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığında poliüretan süngerlerle lamine edilmiş 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm atkı ipliği sıklıklarındaki %100 polyester bezayağı dokuma kumaşların ve 7,33 atkı/cm, 8,67 atkı/cm, 10 atkı/cm, 11,33 atkı/cm atkı ipliği sıklıklarındaki kenevir içerikli bezayağı dokuma kumaşların ses yutum katsayıları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.25). 10 mm kalınlığındaki poliüretan süngerle lamine edilmiş K11.33 kodlu kumaşta en yüksek ses yutum katsayısı görülürken, 5 mm kalınlıktaki poliüretan süngerle lamine edilmiş P7.33 kodlu kumaşta en düşük ses yutum katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı kalınlıkta poliüretan süngerle lamine edilmiş aynı atkı sıklıklarındaki kenevir içerikli kumaşlar ile %100 polyester kumaşlar karşılaştırıldığında, kenevir içerikli kumaşların daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olması, kenevirin fibriler yapısına ve pürüzlü yüzeyine bağlanmıştır.

5. SONUÇ

Toprağın verimini artıran kenevir lifi; yüksek nem emme kapasitesine, iyi termal, elektrostatik, küf önleyici, antibakteriyel özelliklere ve UV dayanımına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, sentetik kimyasalların kullanıldığı tüm sektörlerde alternatif sürdürülebilir doğal bir ürün olarak değerlendirilmektedir (Bozan, 2020; Chang vd., 2021). Bu çalışmada, kenevir bitkisinin çevresel avantajları göz önüne alınarak, iç mekânlarda ses yutumu amacıyla kullanılmak üzere, şönil kenevir ipliği içerikli bezayağı dokuma kumaşlar üretilmiştir. Bu kumaşlar, ses yutum performanslarının ve ses yutumunu etkileyen parametrelerin analizi için, farklı atkı sıklıklarında dokunmuştur. Kumaşların atkı ipliğinde şönil kenevir ipliği, çözgü ipliğinde polyester iplik kullanılmıştır. Ayrıca kenevir lifi kullanımının getireceği potansiyel iyileşmenin tespiti ve karşılaştırma yaparak sonuçların değerlendirilmesi için, kenevir lifi içerikli kumaşlara muadil %100 polyester kumaşlar da üretilmiştir. Yapılan ölçümler ve hesaplamar sonucunda, atkı ipliği sıklığı değişiminin tüm kumaş tiplerinde; gramajı, kalınlığı, hava geçirgenliğini, hava akış direncini, gözenekliliği ve katı hacim oranını (SVF) etkilediği gözlemlenmiştir ve tüm bu parametrelerin ses yutumu ile ilişkisi ortaya konmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda, atkı ipliğinde şönil kenevir kullanılan bezayağı dokuma kumaşların, atkı ipliğinde şönil polyester kullanılan %100 polyester bezayağı dokuma kumaşlara göre daha yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmüştür. En yüksek ses yutum katsayısı 11.33 atkı/cm atkı sıklığındaki kenevir içerikli kumaşlarda, en düşük ses yutum katsayısı 7,33 atkı/cm atkı sıklığındaki %100 polyester kumaşta görülmüştür. Alınan SEM görüntülerinde, şönil kenevir hav ipliklerinin uçlara doğru fibrilleşerek inceldiği ve kenevir lif yüzeyinin pürüzlü bir yapıya sahip olduğu saptanmıştır. Kenevir içerikli kumaşlardaki ince liflerin ve girintili çıkıntılı düzensiz yüzeylerin toplam lif yüzey alanını artırmasından dolayı, ses yutum katsayılarının polyester kumaşlardan daha yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca atkı ipliği sıklığının artmasıyla beraber, birim alana düşen gözenek sayısı artarken gözenek boyutu küçülmektedir. Böylece ses dalgaları ile hareket eden küçük hava hacimlerinin birim hacimde daha fazla lif yüzeyi ile temas etmesinden dolayı daha fazla sürtünme meydana gelmektedir ve böylece daha fazla ses enerjisi ısıya dönüşmektedir. Elimizdeki bu veriler doğrultusunda bezayağı dokuma kumaşların ses yutum katsayısını etkileyen öncelikli faktörün toplam lif yüzey alanındaki değişimler olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada yalnızca kumaşların atkı sıklığı artırılarak değil, kalınlık artışı sağlanarak da ses yutumunun yükseltilmesi amaçlanmıştır. Dokuma işlemi ile kumaşlara verilebilen kalınlık artışı sınırlıdır. Bu nedenle bezayağı dokuma kumaşlar farklı kalınlıklardaki poliüretan süngerlerle hava püskürtme tekniği kullanılarak lamine edilmiştir ve kumaşların bu yöntemle kalınlığı artırılmıştır. Böylece malzeme kalınlığı ile ses yutum arasındaki ilişki karşılaştırma yapılarak analiz edilmiştir. Fakat aşırı miktarda yapıştırıcı püskürterek yapılan kumaş ve sünger laminasyonu, gözeneklerin kapanması riskini oluşturmaktadır. Gözeneklerin kapanması lamine yapıların ses yutumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle öncelikle yapılan testler sonucunda en uygun çözelti miktarı ve püskürtme parametreleri belirlenmiştir. Ardından belirlenen 0,5 ml PVA çözeltisiyle 5 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlıklara sahip poliüretan süngerlere lamine edilen bezayağı dokuma kumaşların ses yutum katsayıları empedans tüpü yöntemi kullanılarak 500 Hz ve 6000 Hz aralığında ölçülmüştür. Frekans artışıyla beraber tüm kumaşların ses yutumunda yaklaşık doğrusal bir artış görülmüştür. En yüksek ses yutum katsayısı 10 mm kalınlığındaki poliüretan süngerle lamine edilmiş 11.33 atkı/cm atkı sıklığındaki kenevir içerikli kumaşlarda, en düşük ses yutum katsayısı 5 mm kalınlıktaki poliüretan süngerle lamine edilmiş 7,33 atkı/cm atkı sıklığındaki %100 polyester kumaşta görülmüştür. 10 mm poliüretan süngerle lamine edilmiş 11.33 atkı/cm atkı sıklığındaki kenevir içerikli kumaşların ses yutum katsayısı 4800 Hz'de en yüksek değeri olan 0,98'e ulaşmıştır. Böylece yalnzıca atkı sıklığı artışı ile değil, malzemedeki kalınlık artışıyla da ses yutum performansının geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar, iç mekânlarda kullanılmak üzere ses yutum amacıyla üretilen bezayağı kenevir dokuma kumaşların, aynı iplik numarasına sahip %100 polyester kumaşlara eşdeğer alternatifler olabileceği hipotezini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

Achaw, O. W. ve Danso-Boateng, E. (2021). Textile and fabric manufacture. *Chemical and process industries* (s. 67–105). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1_3

Akaç, N. K. (2022). *Dokuma kumaşlarda gözenekliliğin görüntü işleme yöntemiyle analizi* (Tez No. 772774) [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Alao, P. F., Marrot, L., Kallakas, H., Just, A., Poltimäe, T. ve Kers, J. (2021). Effect of hemp fiber surface treatment on the moisture/water resistance and reaction to fire of reinforced pla composites. *Materials, 14*(15), 4332. https://doi.org/10.3390/ma14154332

Altıntaş Akay, D. (2022). *Polyester dokuma kumaşların akustik özellikleri ile gözeneklilik ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkinin araştırılması.* (Tez No. 759776) [Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Anam, W., Akhtar, K. S., Ahmad, F., Rasheed, A., Rasheed, A., Mohsin, M., Azam, F., Ullah, T., ve Ahmad, S. (2021). Effect of silicone based softener on fabric handle properties made by ring, rotor and MVS yarns. *Pigment & Resin Technology, 51*(4), 413–419. https://doi.org/10.1108/prt-03-2021-0036

Asdrubali, F., Schiavoni, S., ve Horoshenkov, K. V. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building Acoustics, 19*(4), 283–311. https://doi.org/10.1260/1351-010x.19.4.283

Atiénzar-Navarro, R., Del Rey, R., Alba, J., Sánchez-Morcillo, V. J. ve Picó, R. (2020). Sound absorption properties of perforated recycled polyurethane foams reinforced with woven fabric. *Polymers, 12*(2), 401. https://doi.org/10.3390/polym12020401

Belakova, D., Seile, A., Kukle, S. ve Plamus,T. (2018). Non-wovens as sound reducers. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 55*(2), 64-76. https://doi.org/10.2478/lpts-2018-0014

Belihy, S. A. (2021). Effect of using softener washing treatment on jeans fabrics. *International Design Journal, 11*(6), 323–330. https://doi.org/10.21608/idj.2021.205127

Boominathan, S., Bhuvaneshwari, M., Sangeetha, K., Pachiyappan, K.M. ve Devaki, E. (2022). Influence of fiber blending on thermal and acoustic properties nonwoven material. *Journal of Natural Fibers, 19*(15), 11193-11203. https://doi.org/10.1080/15440478.2021.2021123

Bozan, N. (2020). *Sürdürülebilir çevre dostu kenevir lifi ile uv ve aşınma dayanımına sahip antibakteriyel çarşaf ve döşeme kumaş ipliklerinin geliştirilmesi* (Tez No. 623358) [Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Buschle-Diller, G., Fanter, C. ve Loth, F. (1999). Structural changes in hemp fibers as a result of enzymatic hydrolysis with mixed enzyme systems. *Textile Research Journal, 69*(4), 244-251. https://doi.org/10.1177/004051759906900403

Cambridge Dictionary (2024, 22 Mayıs). *Acoustic* https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/acoustic

Cao, L., Fu, Q., Si, Y., Ding, B. ve Yu, J. (2018). Porous materials for sound absorption. *Composites Communications, 10,* 25–35. https://doi.org/10.1016/j.coco.2018.05.001

Chang, L., Duan, W., Huang, S., Chen, A., Li, J., Tang, H., Pan, G., Deng, Y., Zhao, L., ve Li, D. (2021). Improved antibacterial activity of hemp fibre by covalent grafting of quaternary ammonium groups. *Royal Society Open Science, 8*(3). https://doi.org/10.1098/rsos.201904

Cox, T. J. ve D'Antonio, P. (2005). Acoustic absorbers and diffusers, theory, design and application. *The Journal of the Acoustical Society of America 117*(6), 3343. https://doi.org/10.1121/1.1928891

Crini, G. ve Lichtfouse, E. (Ed.). (2020). *Sustainable agriculture reviews 42: Hemp production and applications*. Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41384-2

Crini, G., Lichtfouse, E., Chanet, G. ve Morin Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environmental Chemistry Letters 18*(5), 1451–1476. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01029-2

Çeven, E. K. ve Özdemir, Ö. (2006). Şenil ipliklerde aşınma probleminin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12*(1), 127-134. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20519/218494

Çeven, E. K., Özdemir, O. ve Dağkurs, L. (2006). Predicting abrasion behaviour of chenille fabric by fuzzy logic. *Indian Journal of Fibre & Textile Research 31*(4), 501-506. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/290741173_Predicting_abrasion_behaviour_of_chenille_fabric_by_fuzzy_logic

Çobanoğlu, E. (2008). *Otomotiv endüstrisinde yer alan poliüretan parçaların üretiminde kullanılan kalıpların yüzey özelliklerinin geliştirilmesi* (Tez No. 21606) [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/81140

Demir, Ş. (2012). *Sıcaklığa duyarlı poli(vinil alkol) esaslı polimerlerin sentezi ve karakterizasyonu* (Tez No. 337156) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Demirkale, S. (2007). *Çevre ve yapı akustiği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Diaz Mena, A.M. ve Aygün, H. (2023). Acoustic and aesthetics: The effect of paint on fabric backed by a sound absorber. *Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings, Glasgow, Scotland,* (8), 1955–1962. https://doi.org/10.3397/in_2022_0277

Dunne, R., Desai, D. ve Sadiku, R. (2017). A review of the factors that influence sound absorption and the available empirical models for fibrous materials. *Acoustics Australia, 45* (2), 453-469. https://doi.org/10.1007/s40857-017-0097-4

Dülek, Y. (2022). *İç mekân tekstillerine yönelik çok katlı dokuma yapılı kumaşların ses yutum özelliklerinin geliştirilmesi* (Tez No. 762144) [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Essential Chemical Industry (2016, 25 Ağustos). *Polyesters.* https://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyesters

Gandhi, K., ve Sondhelm, W. (2016). Technical fabric structures – 1. Woven fabrics. A. R. Horrocks, S. C. Anand (Ed.), *Handbook of technical textiles, volume 1: Technical textile processes* (2nd ed.) (s. 63–106). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-458-1.00004-2

Günal, U. (2020). *Ses iletim kaybı özelliği artırılmış dokuma kumaş tasarımı* (Tez No. 625943) [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Hassabo, A. ve Mohamed, A. (2019). Review of silicon-based materials for cellulosic fabrics with functional applications. *Journal of Textiles Coloration and Polymer Science, 16*(2), 139-157. https://doi.org/10.21608/jtcps.2019.18580.1030

He, W., Peng, X., Xin, F. ve Lu, T. J. (2022). A microstructure-based model of transport parameters and sound absorption for woven fabrics. *Composites Science and Technology, 227*, 109607. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109607

Hiremath, N., Kumar, V., Motahari, N. ve Shukla, D. (2021). An overview of acoustic impedance measurement techniques and future prospects. *Metrology, 1*(1), 17-38. https://doi.org/10.3390/metrology1010002

Huang, J., Yuan, Z., Gao, S., Liao, J. ve Eslamian, M. (2018). Understanding spray coating process: Visual observation of ımpingement of multiple droplets on a substrate. *Journal of Shanghai Jiaotong University, 23*(1), 97–105. https://doi.org/10.1007/s12204-018-1914-0

Hui, Z. ve Fan, X. (2009). Sound absorption properties of hemp fibrous assembly absorbers. *Sen'i Gakkaishi, 65* (7), 191–196. https://doi.org/10.2115/fiber.65.191

Jalili, M.M., Mousavi, S.Y. ve Pirayeshfar, A.S. (2014). Flexural free vibration as a non-destructive test for evaluation of viscoelastic properties of polymeric composites in bending direction. *Iranian Polymer Journal, 23*(5), 327–333. https://doi.org/10.1007/s13726-014-0227-x

Jaouen, L. (t.y.). *Thermal characteristic length*. APMR. https://apmr.matelys.com/Parameters/ThermalCharacteristicLength.html

Jordeva, S., Tomovska, E. ve Zafirova, K. (2016). The influence of structural variations on wool fabrics air permeability. *Advanced Technologies, 5*(2), 79–83. https://doi.org/10.5937/SAVTEH1602079J

Kabir, M. M., Alhaik, M. Y., Aldajah, S. H., Lau, K. T. ve Wang, H. (2020). Impact properties of the chemically treated hemp fibre reinforced polyester composites. *Fibers and Polymers, 21*(9), 2098–2110. https://doi.org/10.1007/S12221-020-9630-4

Kalaycı, T. (2016). *İç mekan tasarımının hacim akustiğine etkisi* (Tez No. 435174) [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Kang, Y., Lee, E., Lee, K., Choi, S. ve Shin, E. (2018). Acoustic properties of sound-absorbing polyester fabrics woven with thick staple and thin draw textured yarn for use in interior decoration. *The Journal of the Textile Institute, 110*(2), 202–210. https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1508798

Kaya, A. H., ve Dalgar, T. (2017). Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8* (Özel (Special)

1), 25-37. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/makufebed/issue/29469/315818#article_cite

Kaya, S. ve Öner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11*(1), 108–123. https://doi.org/10.29048/makufebed.693406

Keskin, O. (2021). *Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performanslarının belirlenmesinde laboratuvar çalışması ve yapay zeka yaklaşımı: Su kabağı lifleri-epoksi kompoziti örneği* (Tez No. 674793) [Doktota tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Keyence (t.y.). *Shaping the future of automation coating & dispensing technology.* https://www.keyence.com/ss/products/measure/sealing/coater-type/spray.jsp

Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S. ve Walker, R. (2016). Acoustic absorption of hemp-lime construction. *Construction & Building Materials, 122,* 674–682. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106

Küçükali Öztürk, M., Nergis, F. B. ve Candan, C. (2020). Akustik uygulamalar için sürdürülebilir tekstil malzemeleri. A. Günday (Ed.), *Mühendislik alanında akademik çalışmalar-II* (s.101-138). Gece Kitaplığı. Erişim adresi: https://www.gecekitapligi.com/Webkontrol/uploads/Fck/muhendislikyayin_7_1.pdf

Leclaire, P., Kelders, L., Lauriks, W., Glorieux, C. ve Thoen, J. (1996). Determination of the viscous characteristic length in air-filled porous materials by ultrasonic attenuation measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America, 99*(4), 1944–1948. https://doi.org/10.1121/1.415378

Lee, S. H. ve Song, Y. S. (2013). Effect of enzyme and ammonia treatments in green composite systems. *Journal of Composite Materials, 47*(26), 3249–3255. https://doi.org/10.1177/0021998312463458

Liao, J., Zhang, S. ve Tang, X. (2020). Sound absorption of hemp fibers (Cannabis Sativa L.) based nonwoven fabrics and composites: A review. *Journal of Natural Fibers, 19*(4), 1297–1309. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1764453

Liu, M., Fernando, D., Daniel, G., Madsen, B., Meyer, A. S., Ale, M. T. ve Thygesen, A. (2015). Effect of harvest time and field retting duration on the chemical composition, morphology and mechanical properties of hemp fibers. *Industrial Crops and Products, 69,* 29–39. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.010

Mecanum (2023, 19 Ocak). *Thermal and viscous lengths.* https://mecanum.com/learning-center/acoustic-properties/thermal-and-viscous-lengths

Medwin, H. ve Clay, C. S. (1998). Sound propagation. *Fundamentals of acoustical oceanography* (s. 17–69). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012487570-8/50004-0

Mitrevska, M. J., Mickovski, V., Samardzioska, T. ve Iannace, G. (2022). Experimental and numerical investigation of sound absorption characteristics of rebonded polyurethane foam. *Applied Sciences, 12*(24), 12936. https://doi.org/10.3390/app122412936

Miyaki, H., Zhang, J. ve Sakuma, A. (2023). Curvature evaluation of metal wires in plain weave structure via the elasto-plastic finite element analysis. *The Journal of The Textile Institute, 115*(5), 791–802. https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2201986

Mohanty, A.K., Misra, M. ve Drzal, L.T. (Ed.). (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites* (1st Ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203508206

Muchlisinalahuddin, Dahlan, H., Mahardika, M. ve Rusli, M. (2023). Cellulose-based material for sound absorption and its application – A short review. *BIO Web of Conferences, Indonesia, 77,* 01003. https://doi.org/10.1051/bioconf/20237701003

Mwaikambo, L. Y. ve Ansell, M. P. (2006). Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. hemp fibres. *Journal of Materials Science, 41,* 2483–2496. https://doi.org/10.1007/s10853-006-5098-x

Nagawkar, B. R., Kotrike, V. P., Passalacqua, A. ve Subramaniam, S. (2022). An index to characterize gas-solid and solid-solid mixing from average volume fraction fields. *AIChE Journal, 68*(6), 1-18. https://doi.org/10.1002/aic.17639

Onay, A., Bozhan, N. ve Kılınç, F. M. (2020). Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil sanayisinde kullanımı. A. Onay, H. Yıldırım ve R. Ekinci (Ed.), *Kenevir (Cannabis sativa L.)* (s.301-319). Palme Yayınevi. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/354067058_KENEVIR_LIFININ_OZELLIKLERI_VE_TEKSTIL_SANAYISINDE_KULLANIMI_BOLUM_17_GIRIS

Öz, H. M. ve Köse, E. (2020). Gürültü önleyici akustik malzemelerin performans düzeylerinin incelenmesi. *European Journal of Science and Technology, 18,* 1–10. https://doi.org/10.31590/ejosat.679628

Özgen Keleş, B. (2021). *Fantezi iplikler ve üretim yöntemleri*. İksad Yayınevi. Erişim adresi: https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/12/FANTEZI-IPLIKLER-VE-URETIM-YONTEMLERI.pdf

Özgen Keleş, B. ve Yılmaz, E. (2022). *Dokuma teknolojileri ve uygulamaları.* İksad Yayınevi. Erişim adresi: https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/12/DOKUMA-TEKNOLOJILERI-VE-UYGULAMALARI.pdf

Patil, H., Bhangale, R., Pandey, K., Raje, G. K. ve Kale, Y. D. (2022). Acoustic absorption research on woven structure fabrics. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 2*(7), 63–70. https://doi.org/10.48175/ijarsct-5112

Payen, J., Vroman, P., Lewandowski, M., Perwuelz, A., Callé-Chazelet, S. ve Thomas, D. (2012). Influence of fiber diameter, fiber combinations and solid volume fraction on air filtration properties in nonwovens. *Textile Research Journal, 82*(19), 1948–1959. https://doi.org/10.1177/0040517512449066

Pil, L., Bensadoun, F., Pariset, J. ve Verpoest, I. (2016). Why are designers fascinated by flax and hemp fibre composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83,* 193–205. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.004

Pinlova, B. ve Nowack, B. (2023). Characterization of fiber fragments released from polyester textiles during UV weathering. *Environmental Pollution, 322,* 121012. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121012

Pivsa-Art, S., Roungpaisan, N., Malimat, M. ve Pivsa-Art, W. (2022). Sound absorbing panels from poly(lactic acid) non-woven fabric and natural fibers. *Suan Sunandha Science and Technology Journal, 9*(2), 79–86. https://doi.org/10.53848/ssstj.v9i2.237

Prahsarn, C., Klinsukhon, W., Suwannamek, N., Wannid, P. ve Padee, S. (2020). Sound absorption performance of needle-punched nonwovens and their composites with

perforated rubber. *SN Applied Sciences, 2*, 559. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2401-4

Ramam, R. S., Pujari, S., Chigilipalli, B. K., Naik, B. D., Kottala, R. K. ve Kantumuchu, V. C. (2023). Fabrication and optimization of acoustic properties of natural fiber reinforced composites. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. https://doi.org/10.1007/s12008-023-01496-1

Ribeiro, J., Bueno, G., Martín, M. R. ve Rocha, J. (2023). Experimental study on mechanical properties of hemp fibers influenced by various parameters. *Sustainability, 15*(12), 9610. https://doi.org/10.3390/su15129610

Romanowska, B., Różańska, W. ve Zimniewska, M. (2024). The influence of the chemical composition of flax and hemp fibers on the value of surface free energy. *Materials, 17*(5), 1104. https://doi.org/10.3390/ma17051104

Sabbagh, M. ve Elkhateeb, A. (2019). Sound absorption characteristics of polyurethane and polystyrene foams as inexpensive acoustic treatments. *Acoustics Australia, 47*, 285-304. https://doi.org/10.1007/s40857-019-00168-z

Saffari, M. R., Kamali Dolatabadi, M., Rashidi, A. ve Yazdanshenas, M. E. (2021). Sound absorption of weft knitted fabrics: Influence of fibers cross-section shape, stitch density and mechanical modification of surface. *International Journal of Clothing Science and Technology, 33*(4), 606–618. https://doi.org/10.1108/ijcst-01-2020-0006

Sahi, A.K., Singh, M.K. ve Das, A. (2022). Effect of enzymatic process on characteristics of cottonized industrial hemp fibre. *Indian Journal of Fibre & Textile Research, 47*(3), 281-289. https://doi.org/10.56042/ijftr.v47i3.54131

Sakthivel, S., Senthil Kumar, S., Mekala, N. ve Dhanapriya, G. (2021). Development of sound absorbing recycled nonwoven composite materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1059*, 012023. https://doi.org/10.1088/1757-899x/1059/1/012023

Salomons, E. M. ve Janssen, S. A. (2011). Practical ranges of loudness levels of various types of environmental noise, ıncluding traffic noise, aircraft noise, and industrial noise. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 8*(6), 1847-1864. https://doi.org/10.3390/ijerph8061847

Samuel, B. T., Barburski, M., Blaszczak, J. R., Witczak, E. ve Abramczyk, K. (2021a). The influence of yarn and weave structures on acoustic materials and the effect of different acoustic signal incidence angles on woven fabric absorption possibilities. *Materials, 14*(11), 2814. https://doi.org/10.3390/ma14112814

Samuel, B. T., Barburski, M., Witczak, E. ve Jasińska, I. (2021b). The influence of physical properties and increasing woven fabric layers on the noise absorption capacity. *Materials, 14*(20), 6220. https://doi.org/10.3390/ma14206220

Samuel, B. T., Barburski, M., Witczak, E. ve Puszkarz, A. K. (2023). Enhancement of low and medium frequency sound absorption using fabrics and air gaps. *Textile Research Journal*, *93* (21–22), 5112–5123. https://doi.org/10.1177/00405175231186176

Santoni, A., Bonfiglio, P., Fausti, P., Marescotti, C., Mazzanti, V., Mollica, F. ve Pompoli, F. (2019). Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Applied Acoustics, 150*, 279–289. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.022

Schreiber, L. ve Beckenbauer, T. (2013). Sound propagation outdoors. G. Müller ve M. Möser (Ed.), *Handbook of engineering acoustics* (s.125–135). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69460-1_6

SDL Atlas (t.y.). *AirPerm Air Permeability Tester,* https://sdlatlas.com/products/air-perm-air-permeability-tester#product-details

Segura-Alcaraz, P., Segura-Alcaraz, J., Montava, I. ve Bonet-Aracil, M. (2018). The use of fabrics to improve the acoustic absorption: Influence of the woven fabric thread density over a nonwoven. *Autex Research Journal, 18*(3), 269–280. https://doi.org/10.1515/aut-2018-0006

Sezgin, H., Duru, S. C. ve Candan, C. (2022). Evaluatıon of acoustıc performance of hemp and cotton fiber reinforced thermoplastic composites. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 27*(1), 151–162. https://doi.org/10.17482/uumfd.925486

Sfiligoj Smole, M., Hribernik, S., Stana Kleinschek, K. ve Kreze, T. (2013). Plant fibres for textile and technical applications. S. Grundas (Ed.), *Advances in agrophysical research* (s.369-398). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/52372

Singh, S. ve Kapoor, R. R. (2023). Acoustic characteristics of jute and coir non-woven fabric. *Textile & Leather Review, 6,* 306–319. https://doi.org/10.31881/tlr.2023.060

Singha, K. (2012). A review on coating & lamination in textiles: Processes and applications. *American Journal of Polymer Science, 2*(3), 39–49. https://doi.org/10.5923/j.ajps.20120203.04

Skleničková, K., Abbrent, S., Halecký, M., Kočí, V. ve Beneš, H. (2020). Biodegradability and ecotoxicity of polyurethane foams: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52*(2), 157–202. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1818496

Soltani, P. ve Zarrebini, M. (2013). Acoustic performance of woven fabrics in relation to structural parameters and air permeability. *Journal of the Textile Institute, 104*(9), 1011-1016. https://doi.org/10.1080/00405000.2013.771427

Soltani, P. ve Zerrebini, M. (2012). The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics. *Textile Research Journal, 82*(9), 875–882. https://doi.org/10.1177/0040517511402121

Sotoodeh, K. (2023). Noise. *Industrial valves: Calculations for design, manufacturing, operation, and safety decisions* (s.185-232). John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9781394185047.ch6

Strazdas, E. ve Januševičius, T. (2023). A review of the acoustic properties of noise barriers made from waste and plant-based materials. *The 12th International Conference Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania*. https://doi.org/10.3846/enviro.2023.869

Su, S., Gao, Y., Zhou, X., Xiong, X., Wang, Y. ve Lyu, L. (2022). Structure of waste hemp stalks and their sound absorbing properties. *Polymers*, *14* (22), 4844. https://doi.org/10.3390/polym14224844

Sunny, T. ve L. Pickering, K. (2022). An overview of alkali treatments of hemp fibres and their effects on the performance of polymer matrix composites. R. Marzouki (Ed.), *Alkaline chemistry and applications.* IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.100321

Süvari, F. (2020). Örtme faktörü ve gözeneklilik parametrelerinin dokuma kumaşların ses yutuculuk davranışına etkilerinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25*(2), 665-678. https://doi.org/10.17482/uumfd.716590

Süvari, F., Ulcay, Y. ve Pourdeyhimi, B. (2015). Sound absorption analysis of thermally bonded high-loft nonwovens. *Textile Research Journal, 86(8),* 837–847. https://doi.org/10.1177/0040517515590412

Süvari, F., Ulcay, Y. ve Pourdeyhimi, B. (2018). Influence of sea polymer removal on sound absorption behavior of islands-in-the-sea spunbonded nonwovens. *Textile Research Journal, 89*(12), 2444-2455. https://doi.org/10.1177/0040517518797332

Süvari, F., Ulcay, Y., Maze, B. ve Pourdeyhimi, B. (2013). Acoustical absorptive properties of spunbonded nonwovens made from islands-in-the-sea bicomponent filaments. *Journal of the Textile Institute, 104*(4), 438-445. https://doi.org/10.1080/00405000.2012.740330

Taiwo, E. M., Yahya, K. ve Haron, Z. (2019). Potential of using natural fiber for building acoustic absorber: A review. *Journal of Physics: Conference Series, 1262,* 012017. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1262/1/012017

Tang, X. ve Yan, X. (2017). Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 101,* 360–380. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.07.002

Tang, X., Kong, D. ve Yan, X. (2018). Multiple regression analysis of a woven fabric sound absorber. *Textile Research Journal, 89*(5), 855-866. https://doi.org/10.1177/0040517518758001

Taşlıgil, N. ve Şahin, G. (2019). Türk tarım hayatında kenevir / kendir (Cannabis Sativa L.) yetiştiriciliğinin yeniden başlaması ve yaşanan gelişmeler. B. Gönençgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* (s. 456-478). Istanbul University Press. https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.045

Tekstil Teknik Dergisi (2013, 30 Haziran). *Bina ve inşaat teknik tekstilleri.* https://www.tekstilteknik.com.tr/bina-ve-insaat-teknik-tekstilleri-2/

Temesgen, A. G., Eren, R. ve Aykut, Y. (2021). Green synthesis of cellulosic nanofiber in enset woven fabric structures via enzyme treatment and mechanical hammering. *Tekstil ve Konfeksiyon, 31*(1), 63-72. https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.764976

Testex Textile (2023, 14 Ekim). *Digital Thickness Gauge TF121C,* https://www.testextextile.com/product/digital-thickness-gauge-tf121/

Thanikai Vimal, J. (2016). Regression model for predicting the air resistance of fabric made from doubled yarns and with different weave structures. *The Journal of the Textile Institute, 107*(10), 1268-1275. https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1100819

Thanikai Vimal, J., Murugan, R. ve Subramaniam, V. (2016). Effect of weave parameters on the air resistance of woven fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe, 24*(1), 67-72. https://doi.org/10.5604/12303666.1172089

Thygesen, A., Daniel, G., Lilholt, H. ve Thomsen, A. B. (2006). Hemp fiber microstructure and use of fungal defibration to obtain fibers for composite materials. *Journal of Natural Fibers, 2*(4), 19–37. https://doi.org/10.1300/j395v02n04_02

Torun, H. ve Özkil, M. (2021). Ekim nöbetinin (Ürün rotasyonu, münavebe) agroekolojiye ve yabancı otlara etkisi. H. Mennan ve F. Pala (Ed.), *Yabancı ot biliminde güncel konular* (s. 491-521). İksad Yayınevi. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/358262773_EKIM_NOBETININ_URUN_ROTASYONU_MUNAVEBE_AGROEKOLOJIYE_VE_YABANCI_OTLARA_ETKISI#fullTextFileContent

Vandepitte, K., Vasile, S., Vermeire, S., Vanderhoeven, M., Van Der Borght, W., Latré, J., De Raeve, A., ve Troch, V. (2020). Hemp (Cannabis sativa L.) for high-value textile applications: The effective long fiber yield and quality of different hemp varieties, processed using industrial flax equipment. *Industrial Crops and Products, 158,* 112969. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112969

Wang, H., Zhao, H., Lian, Z., Tan, B., Zheng, Y. ve Erdun E. (2022). Numerical simulation for porous hemp plastic composites sound absorption properties. *Journal of Materials Research and Technology, 19,* 2458–2469. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.172

Wang, J. ve Tang, X. (2022). Investigation on the sound absorption of multilayered woven and nonwoven fabrics with different bonding conditions. *Polymer Composites, 44*(1), 392-400. https://doi.org/10.1002/pc.27104

Wikipedia (2006, 5 Mayıs). *Polyester.* https://tr.wikipedia.org/wiki/Polyester#/media/Dosya:Definition_polyester_ester_group.svg

Wikipedia (2009, 26 Eylül). *Cannabis Sativa Querschnitt,* https://en.wikipedia.org/wiki/File:Cannabis_Sativa_Querschnitt.JPG

Wikipedia (2024, 3 Mayıs). *Plain weave.* https://en.wikipedia.org/wiki/Plain_weave#/media/File:Plainweave.svg

Witthayolankowit, K., Boonyarit, J., Srichola, P., Rungruangkitkrai, N., Apipatpapha, T. ve Chollakup, R. (2023). Drought tolerant plants' fiber and recycled pet co-fibrous composite as acoustic absorbers and thermal ınsulators. *Journal of Natural Fibers, 20*(2). https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2277842

Yamashita, H. ve Nakano, Y. (2008). *Polyester: Properties, preparation and applications.* Nova Science Publishers. Erişim Adresi: https://www.scribd.com/document/452354558/Polyester-Properties-Preparation-and-Applications-by-Hina-Yamashita-Yui-Nakano-z-lib-org-pdf

Yang, T., Hu, L., Xiong, X., Petrů, M., Noman, M. T., Mishra, R. ve Militký, J. (2020). Sound absorption properties of natural fibers: A review. *Sustainability, 12*(20), 8477. https://doi.org/10.3390/su12208477

Yılmaz, A. (2001). *Bireysel ses eğitimi çalışmalarında karşılaşılan rezonans problemleri ve çözüm önerileri* (Tez No. 105219) [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Yılmaz, N. D., Powell, N. B., Banks-Lee, P. ve Michielsen, S. (2012). Hemp-fiber based nonwoven composites: Effects of alkalization on sound absorption performance. *Fibers and Polymers, 13,* 915-922. https://doi.org/10.1007/s12221-012-0915-0

Zhang, D., Zhou, X., Gao, Y. ve Lyu, L. (2022). Structural characteristics and sound absorption properties of waste hemp fiber. *Coatings, 12*(12), 1907. https://doi.org/10.3390/coatings12121907

Zhao, B., Yang, Q., Wang, Z., Hu, C., Feng, Q. ve Wei, A. (2022). Sound absorption of woven fabrics produced from braid-reinforced polyvinylidene fluoride hollow fiber membranes. *Textile Research Journal, 92*(23-24), 4860-4869. https://doi.org/10.1177/00405175221107838

Zhu, X., Qian, F., Lu, J. ve Zhang, H. (2013). Numerical study of the solid volume fraction and pressure drop of fibrous media by response surface methodology. *Chemical Engineering & Technology, 36*(5), 788–794. https://doi.org/10.1002/ceat.201200512

Zuo, H., Samarasinghe, P. N., Abhayapala, T. D. ve Dickins, G. (2019). Spatial sound intensity vectors in spherical harmonic domain. *The Journal of the Acoustical Society of America, 145* (2), 149-155. https://doi.org/10.1121/1.5090197