

**NANOLIF KOMPOZİT YAPILI DOKUSUZ
YÜZEYLERİN SES ABSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Fatih SÜVARİ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOLİF KOMPOZİT YAPILI DOKUSUZ YÜZEYLERİN SES
ABSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Fatih SÜVARİ

Prof. Dr. Yusuf ULÇAY
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Fatih SÜVARI tarafından hazırlanan “Nanolif Kompozit Yapılı Dokusuz Yüzeylerin Ses Absorblama Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yusuf ULCA Y

Başkan : Prof. Dr. Yusuf ULCA Y İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Recep EREN İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Mehmet KANIK İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Şule ALTUN İmza
B.T.Ü. Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Lif ve Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
...../...../.....

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM

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

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

beyan ederim.

29/11/2012

Fatih SÜVARI

ÖZET

Doktora Tezi

NANOLİF KOMPOZİT YAPILI DOKUSUZ YÜZEYLERİN SES ABSORBLAMA ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Fatih SÜVARİ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf ULCA Y

Bu çalışmada, yüksek ses yutuculuk kapasitesi olan kompozit bir malzemenin tasarım aşamaları sunulmuştur. Öncelikle bikomponent lif teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı (spunbonding) yöntemiyle deniz içinde ada enine kesitine sahip bikomponent lifler üretilmiştir. Ada liflerinin bikomponent yapıdan ayrılabilmesi, bunun yanında liflerin birbiri içine geçerek, sıkı, mukavemetli dokusuz yüzey yapıyı oluşturması için dokusuz yüzeyler su jetleri ile işleme (hydroentangling) tabi tutulmuştur. 67452 kJ/kg spesifik enerji, optimum enerji seviyesi olarak tespit edilmiştir. Lif çapları 1 mikrometreden daha ince olan 108 ada liflerine sahip dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları en yüksek ölçülmüştür. Ses yutuculuk katsayılarının özellikle daha düşük frekanslarda artması adına, çok katlı dokusuz yüzey yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Çok katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin özellikle kısıtlı hacmi bulunan bazı uygulamalarda, ses yutucu eleman olarak iyi bir alternatif olabileceği gösterilmiştir. Kompozit yapının diğer bileşeni olan hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Hacimli dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışı, ortam - malzeme etkileşimi analiz edilerek açıklanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda maksimum ses yutuculuğun frekansa ve katı hacim katsayısına bağlı olarak optimum kalınlıklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Son olarak kompozit yapıları dokusuz yüzeylerin oluşturma yöntemi verilmiş, ses yutuculuk özellikleri ortaya konmuş, nanolif kompozit yapıları dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk açısından getirdiği iyileştirme olası bir kullanım alanı üzerinden açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dokusuz yüzey, ses yutuculuk, akustik, deniz içinde ada

2012, x + 193 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

ENHANCEMENT OF SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF NANOFIBER COMPOSITE CONSTRUCTED NONWOVENS

Fatih SÜVARI

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

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf ULCA Y

In this study, design stages of a composite material that has high sound absorption capability were presented. Firstly, bicomponent fibers with islands-in-the-sea cross sections were produced using spunbond process that has bicomponent fiber technology. Nonwovens were subjected to hydroentangling so as to split island fibers from bicomponent structure and also cause consolidation and constitute a rigid nonwoven structure with high tenacity. Specific energy of 67452 kJ/kg was established as an optimum energy level. Highest sound absorption coefficients were measured from the nonwoven with 108 islands, which has the fibers under 1 micrometer diameter. Multi-layer nonwovens were prepared to increase sound absorption especially at lower frequencies and sound absorption properties of these structures were investigated. It was shown that, multi-layer nonwoven with 108 islands can be a good alternative as a sound absorber especially in some applications where there is limited space available. Sound absorption properties of the high-loft nonwovens, which are the other component of the composite structure, were investigated. Sound absorption behavior of the high-loft nonwovens were explained by analyzing the interaction of the medium and the material. It was found that, maximum sound absorption occurs at optimum thicknesses depending on the frequency and solid volume fraction. Finally, formation method of the composite constructed nonwovens was given and sound absorption properties were stated. The enhancement of the nanofibers composite constructed nonwovens in terms of sound absorption was explained with a potential application area.

Key words: Nonwoven, sound absorption, acoustic, islands-in-the-sea

2012, x + 193 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tekstilin yenilikçi uygulama alanlarından biri olan teknik tekstillere beni yönlendiren, tüm doktora çalışmam süresince ve bu tezin ortaya çıkmasında, desteğini her zaman yanımda hissettiğim doktora danışmanım sayın Prof. Dr. Yusuf Ulcay'a, tekstilde mühendislik yaklaşımını örnek aldığım ve değerli fikirlerine başvurduğum sayın Prof. Dr. Recep Eren'e, tez çalışmasıyla ilgili görüş ve önerileriyle katkı sağlayan sayın Doç. Dr. Akın Burak Etemoğlu'na teşekkür ederim.

Tezin deneysel kısmının tamamına yakını North Carolina Devlet Üniversitesi, The Nonwovens Institute kurumunda gerçekleştirmemi sağlayan, dokusuz yüzeyler konusunda farklı bakış açısı ile örnek olan sayın Prof. Dr. Behnam Pourdeyhimi'ye teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım süresince karşılaştığım zorlukların çözülmesinde yardımlarını gördüğüm Dr. Benoit Maze, Dr. Nagendra Anantharamaiah, Dr. Mehmet Daşdemir, Angelo Corino ve Amy Minton'a teşekkür ederim.

Tezimle ilgili konularda görüşlerine başvurduğum çalışma arkadaşlarım Araş. Gör. Serkan Tezel ve Araş. Gör. Barış Haşcelik'e ayrıca teşekkür ederim.

Yurtiçi doktora bursu ve yurtdışı araştırma bursu imkanlarından faydalandığım, maddi desteğiyle bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan TÜBİTAK-BİDEB'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak desteğiyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Fatih Süvari
29/11/2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Dokusuz Yüzey Malzemeler.....	5
2.1.1. Eriyikten üfleme (<i>meltblown</i>) ve elektroçekim (<i>electrospinning</i>) yöntemleriyle üretilen dokusuz yüzeyler	5
2.1.2. Bikomponent teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı (<i>spunbonding</i>) yöntemi ile üretilen dokusuz yüzeyler.....	9
2.2. Temel Akustik.....	15
2.2.1. Basit salınım	17
2.2.2. Sönümlü salınım	21
2.2.3. Zorlanmış salınım	24
2.2.4. Sesin dalga denklemleri	28
2.2.5. Ses dalgasının şiddet seviyesi	37
2.2.6. Duran dalgalar.....	41
2.3. Sesin Lifli-Gözenekli Malzemelerle Kontrolü.....	48
2.3.1. Lifli-gözenekli malzemelerde ses yutuculuğu	51
2.3.2. Ses yutucu malzemelerin kullanıldığı yerler	52
2.3.3. Ses yutuculuk katsayısının ölçümü.....	57
2.4. Lifli-Gözenekli Malzemelerin Akustik Özellikleri ile İlgili Yapılan Deneysel Ağırlıklı Araştırmalar.....	60
2.5. Lifli-Gözenekli Malzemelerin Akustik Özellikleri ile İlgili Yapılan Teorik ve Sayısal Ağırlıklı Araştırmalar	78
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	96
3.1. Materyal	96
3.2. Üretim Yöntemleri	97
3.2.1. Deniz içinde ada (<i>islands-in-the-sea</i>) lifleri içeren dokusuz yüzeylerin üretimi	97
3.2.2. Dokusuz yüzeylerin su jeti ile muamele (<i>hydroentangling</i>) edilmesi	100
3.2.3. Hacimli dokusuz yüzeylerin oluşturulması.....	103
3.3. Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri	104
3.3.1. Empedans tüp.....	104
3.3.2. Gramaj ve kalınlık	105

3.3.3.	Hava geçirgenliği	106
3.3.4.	Gözenek büyüklüğü testi	106
3.3.5.	Enine kesit görüntülerinin çekilmesi	106
3.3.6.	Porozite ve katı hacim katsayısı (<i>solid volume fraction</i>).....	107
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	109
4.1.	Deniz İçinde Ada Bikomponent Liflerinden Üretilen Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri.....	109
4.1.1.	En uygun su jeti ile muamele (<i>hydroentangling</i>) enerjisinin tespiti.....	109
4.1.2.	Ada lifi sayısının deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisi	116
4.1.3.	Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri ..	126
4.1.4.	Çok katlı 108 ada dokusuz yüzey ile hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliklerinin karşılaştırılması	131
4.2.	Hacimli Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri	133
4.2.1.	Kalınlığın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliğine etkisi.....	138
4.2.2.	Ağırlığın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliğine etkisi	157
4.2.3.	Hacimli dokusuz yüzeylerin farklı frekanslardaki ses yutuculuk davranışı	159
4.3.	Kompozit Yapılı Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri	163
4.3.1.	Nanolif kompozit yapılı dokusuz yüzeyin ses yutucu olarak araç içinde kullanımı.....	170
5.	SONUÇ	173
	KAYNAKLAR	179
	EKLER	185
	EK 1	186
	EK 2	187
	EK 3	189
	ÖZGEÇMİŞ	192

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Sabit kütlede üretilen lif sayısına göre toplam yüzey alanı değişimi	2
Şekil 2.1. Eriyikten üfleme (<i>meltblown</i>) dokusuz yüzey üretim yöntemi.....	6
Şekil 2.2. Elektroçekim prosesi.....	8
Şekil 2.3. Segment sayısına bağlı olarak lif çapı değişimi.....	10
Şekil 2.4. Tipik deniz içinde ada lifi kesiti (solda), modifiye edilmiş kesit (sağda).....	11
Şekil 2.5. Deniz içinde ada liflerinden üretilmiş dokusuz yüzeyin kesit görüntüsü	12
Şekil 2.6. NCSU pilot tesisleri, eriyikten üfleme (<i>melt blown</i>), eğirmeli bağlantı (<i>spunbonding</i>), hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) sistemleri	12
Şekil 2.7. Hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) işlemi	13
Şekil 2.8. NCSU pilot tesisleri, hydroentangling sistemi	14
Şekil 2.9. Basit yay kütle sisteminde m kütlelerinin hareketi.....	17
Şekil 2.10. m kütlelerinin 100 Hz'de zamana bağlı konum hız ve ivme değişimi	19
Şekil 2.11. Yay kütle sisteminin zamana bağlı enerji değişimi	20
Şekil 2.12. Frekans değişiminin zamana bağlı hız değişimine etkisi.....	20
Şekil 2.13. Yay ve mekanik direnç (sönümleyici) bağlı serbest salınan m kütlesi	22
Şekil 2.14. m kütlelerinin hareketinin zamana bağlı sönümlenmesi.....	23
Şekil 2.15. Dışarıdan tahrik edilen, yay ve mekanik direnç bağlı m kütlesi.....	24
Şekil 2.16. Zorlanmış salınım yapan bir sistemin (sönümlü) tahrik frekansı ile genlik değeri arasındaki ilişki	27
Şekil 2.17. Zorlanmış salınım yapan bir sistemin (sönümlü) farklı iki frekans değerinde zamana bağlı konum değişimi.....	28
Şekil 2.18. Ortamı oluşturan parçacıkların geçici sıkışma ve seyrekleşmesi	29
Şekil 2.19. Ses dalgasının yayıldığı ortam içerisinde bulunan hacim elemanı	30
Şekil 2.20. Ortam parçacıklarının farklı t anlarındaki konumları	33
Şekil 2.21. Havada ortamında ses yayılırken t_1 anında mesafeye bağlı basınç değerleri.....	34
Şekil 2.22. Ortamı oluşturan bazı parçacıkların temsili salınım hareketleri.....	35
Şekil 2.23. Ortamı oluşturan bazı parçacıkların zamana bağlı konum değişimleri	35
Şekil 2.24. Aynı ilk konumda, farklı frekanslarda salınım yapan parçacıkların zamana bağlı konum değişimleri.....	36
Şekil 2.25. Aynı ilk konumda, farklı frekanslarda salınım yapan parçacıkların zamana bağlı hız değişimleri.....	37
Şekil 2.26. Ses dalgasının ilerlediği ortam içerisinde bulunan hacim elemanı.....	38
Şekil 2.27. Ses yutuculuk katsayısı ile ses şiddet seviyesi arasındaki ilişki	40
Şekil 2.28. Boyuna düzlem dalganın başka bir ortamla karşılaşması sonucu davranışı	41
Şekil 2.29. Duran dalganın farklı t anlarında mesafeye bağlı konum değişimi	42
Şekil 2.30. Farklı x mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı konum değişimi.....	44
Şekil 2.31. Farklı x mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı hız değişimi	45

Şekil 2.32. Farklı frekans değerlerinde salınım yapan, $\lambda / 20$ mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı hız değişimi	45
Şekil 2.33. Farklı frekanslar değerlerinde salınım yapan parçacıkların mesafeye bağlı ulaştıkları maksimum hızlar	46
Şekil 2.34. Duran dalgaların zamana ve mesafeye bağlı basınç değişimi	48
Şekil 2.35. Etrafı ses yutucu ve bariyer malzeme ile çevrelenmiş bir makine.....	54
Şekil 2.36. Üretim hattında ses yutucu elemanların örnek kullanımı	55
Şekil 2.37. Yansıyan seslerin ses yutucu malzeme ile yutulması	55
Şekil 2.38. Makine dairesinde ses yutucu elemanların kullanımı	56
Şekil 2.39. Ses yutucu elemanın yapısı (solda) ve uygulama alanı (sağda).....	57
Şekil 2.40. İki sabit mikrofona empedans tüp tekniğinin iki ayrı konfigürasyonu.....	59
Şekil 2.41. Liflerin dik konumlandığı dokusuz yüzey (<i>vertically lapped nonwoven</i>)	62
Şekil 2.42. Geri dönüşüm lifleri kullanılmış dokusuz yüzey “shoddy” (solda), PET dokusuz yüzey (sağda)	67
Şekil 2.43. Sabit kütlede üretilen lif sayısına göre toplam yüzey alanı değişimi	68
Şekil 2.44. Lifli-gözenekli malzemenin arkasında hava boşluğu bırakılması	76
Şekil 2.45. Farklı c katsayılarının ses yutuculuğa etkisi	79
Şekil 2.46. Farklı b katsayılarının ses yutuculuğa etkisi	79
Şekil 2.47. Farklı a katsayılarının ses yutuculuğa etkisi.....	80
Şekil 2.48. Hava boşluğu miktarı ile maksimum ses yutuculuğun görüldüğü frekans ilişkisi.....	83
Şekil 2.49. Frekans ile efektif porozite arasındaki ilişki	90
Şekil 2.50. Lifli malzemenin ses yutuculuk karakteristiği	92
Şekil 3.1. Merkezde PA6, etrafında PE polimerinden oluşan bikomponent lifin enine kesit görüntüsü	96
Şekil 3.2. Ada lifi çapının değişimi.....	100
Şekil 3.3. Hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) işlemi	101
Şekil 3.4. NCSU pilot tesisleri, hydroentangling sistemi	102
Şekil 3.5. Hacimli dokusuz yüzey üretim prosesi	103
Şekil 3.6. 700 g/m^2 dokusuz yüzey oluşturulmasının şematik gösterimi.....	104
Şekil 3.7. Empedans tüp cihazının görüntüsü ve şematik gösterimi.....	105
Şekil 3.8. Hava geçirgenlik test cihazı	106
Şekil 4.1. Su jeti ile işlem öncesi 37 ve 108 adalı dokusuz yüzeylerin enine kesit görüntüleri	110
Şekil 4.2. Spesifik enerji değişimi ile hava geçirgenliğindeki değişim	112
Şekil 4.3. Deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin enine kesit SEM görüntüleri	114
Şekil 4.4. Su jeti ile işlem görmüş dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları.....	115
Şekil 4.5. 1 ada lifine sahip dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri.....	118
Şekil 4.6. 37 ada bikomponent lifin ve dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri	118
Şekil 4.7. 108 ada bikomponent lifin ve dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri.....	119
Şekil 4.8. Ortalama ada lifi çapı.....	120

Şekil 4.9. Farklı ada sayısına sahip dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlikleri	121
Şekil 4.10. Ada lifi sayısının dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayılarına etkisi...	122
Şekil 4.11. Hava parçacığı frekansı ile maksimum hızı arasındaki ilişki	125
Şekil 4.12. Çok katlı dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlik testi sonuçları.....	127
Şekil 4.13. İki katlı dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları	128
Şekil 4.14. Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ..	129
Şekil 4.15. Üç ve dört katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk değerleri.....	130
Şekil 4.16. Farklı yapılarıdaki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları	132
Şekil 4.17. Farklı gramajlarda dokusuz yüzey oluşturma yönteminin şematik gösterimi.....	134
Şekil 4.18. Dokusuz yüzeylere form vermek için tasarlanan kalıplar.....	135
Şekil 4.19. Dokusuz yüzeyin fırın içinde sabit sıcaklık aralığında bekletilmesi	136
Şekil 4.20. Farklı kalınlıklarda dokusuz yüzey oluşturma yönteminin şematik gösterimi.....	137
Şekil 4.21. 350 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	139
Şekil 4.22. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 500 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar	141
Şekil 4.23. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 1000, 2000 ve 3000 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar	143
Şekil 4.24. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 4000, 5000 ve 6000 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar	146
Şekil 4.25. 450 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	150
Şekil 4.26. 525 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	150
Şekil 4.27. 700 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	151
Şekil 4.28. 900 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	151
Şekil 4.29. 1050 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	152
Şekil 4.30. 1350 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	152
Şekil 4.31. 1575 g/m ² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi	153
Şekil 4.32. Farklı frekanslarda dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının ortalama maksimum hızları.....	155
Şekil 4.33. Farklı gramajdaki dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile katı hacim katsayısı değişimi	156

Şekil 4.34. Hacimli dokusuz yüzeylerde gramaj artışına bağlı olarak hava geçirgenliği değişimi	157
Şekil 4.35. Sabit kalınlık değerinde farklı frekanslarda, gramaj değişimi ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim.....	159
Şekil 4.36. 350 g/m ² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları	160
Şekil 4.37. Sabit kalınlık değerinde, frekans değişimi ile ortalama maksimum parçacık hızı değişimi	161
Şekil 4.38. 450 g/m ² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları	162
Şekil 4.39. 525 g/m ² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları	162
Şekil 4.40. Kompozit yapılı dokusuz yüzey oluşturma prensibi.....	164
Şekil 4.41. Kompozit yapılı dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları-1	165
Şekil 4.42. 1 adalı kompozit yapılı dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları	166
Şekil 4.43. Hava boşluğunun 108 adalı dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışına etkisi	167
Şekil 4.44. 108 adalı kompozit yapılı dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları	170
Şekil 4.45. Yolcu ve sürücü kabinine gürültü giren bölgeler.....	171
Şekil 4.46. Nanolif kompozit yapılı dokusuz yüzey ile ticari kompozit tavan döşemeliğinin ses yutuculuk katsayıları.....	172

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı kaynakların ses şiddet seviyeleri	39
Çizelge 2.2. Gürültüye maruz kalma süreleri.....	50
Çizelge 3.1. Kullanılan polimerlerin bazı özellikleri	96
Çizelge 3.2. Hacimli dokusuz yüzeylerde kullanılan liflerin bazı özellikleri.....	97
Çizelge 3.3. Deniz-içinde-ada dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri.....	98
Çizelge 3.4. Dokusuz yüzeylere yapılan testler	104
Çizelge 4.1. 108 adalı dokusuz yüzeylere verilen spesifik enerji miktarları	111
Çizelge 4.2. 108 adalı dokusuz yüzeylerin kalınlık, gramaj ve SVF değerleri.....	111
Çizelge 4.3. 108 adalı dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri.....	113
Çizelge 4.4. Su jeti ile işleme tabi tutulan dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri.....	117
Çizelge 4.5. Su jeti işlemi sonrası dokusuz yüzeylerin kalınlık, gramaj ve SVF değerleri.....	117
Çizelge 4.6. Farklı ada sayısına sahip dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri	120
Çizelge 4.7 Hava geçirgenliği ve gözenek büyüklüğü verileri arasındaki korelasyon .	122
Çizelge 4.8. Maksimum hava parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon	125
Çizelge 4.9. Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin kalınlık değerleri	126
Çizelge 4.10. Hacimli dokusuz yüzeyin özellikleri	131
Çizelge 4.11. Karşılaştırılan dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri.....	131
Çizelge 4.12. Hacimli dokusuz yüzeylerin özellikleri	133
Çizelge 4.13. Üretilen dokusuz yüzeylerin gramaj, kalınlık ve katı hacim katsayıları	138
Çizelge 4.14. Dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz için ortalama maksimum hızları	144
Çizelge 4.15. Dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının 4000, 5000 ve 6000 Hz için ortalama maksimum hızları.....	147
Çizelge 4.16. Ortalama maksimum parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon	148
Çizelge 4.17. Maksimum ses yutuculuk katsayısının ölçüldüğü kalınlık [mm] değerleri.....	156
Çizelge 4.18. Ortalama maksimum parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon.....	163
Çizelge 4.19. Oluşturulan kompozit yapıların bazı özellikleri	164
Çizelge 4.20. Arkasında hava boşluğu bırakılan örneklerin rezonans frekansları	169

1. GİRİŞ

Bir enerji çeşidi olan ses, doğada ve insanların faal bulunduğu her alanda mevcuttur. Günlük yaşamda seslerin varlığı, insanların haberleşmesi ve bunun yanında kendilerini iyi hissetmeleri için gereklidir. Konuşma, müzik, doğadaki sesler, yaşantımız için vazgeçilmezdir (Demirkale, 2007). Etrafımızda var olan ses, bazı ortamlarda istenmeyebilir. Bu istenmeyen sesi uzmanlar gürültü olarak tanımlamaktadırlar. Artan tüketme isteği ve bunun getirdiği endüstrileşme ve hızlı, güçlü makinelerin üretilmesi ile birlikte hava ve su kirliliği gibi gürültü kirliliği de giderek artan bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Lee ve Joo 2003, 2004, Teli ve ark. 2007). Günümüzde gürültü insan sağlığını ciddi biçimde psikolojik ve/veya fizyolojik olarak etkileyen büyük bir sorun haline gelmiştir (Demirkale, 2007).

Sesin istenmeyen ortamlarda azaltılması gerekebilir. Örneğin, modern hafif malzemelerin kullanıldığı yapılarda ciddi önlemlerin alınması gereklidir (Demirkale, 2007). Çalışırken ses üreten kaynakların, buldukları ortama gürültüyü yaymamaları istenir. Taşıma araçları için düşünce olursak gürültünün kullanıcıya ve yolculara ulaşması istenmez. Bunun yanında bazı ortamlarda akustik açıdan sesin kontrol edilmesi de önemli bir konudur. Örneğin konser salonları, konferans salonlarında, sesin iyi anlaşılabilmesi istenir. Bu amaçla gereken miktarda ses enerjisinin yutulması için tasarlanmış olan ve ses yutucu elemanlar olarak tanımlanan malzemelerin kullanılması, uygulanan bir yöntemdir (Demirkale, 2007).

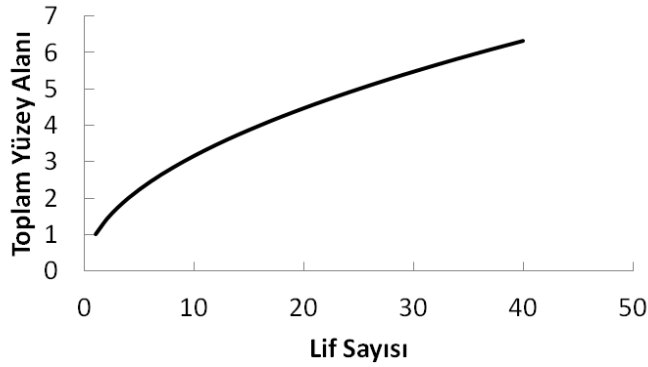
Artan gürültü kirliliği ile ilgili yönetmelikler bunun yanında kişilerin artan konfor istekleri doğrultusunda ve insan sağlığı açısından sesin kontrol edilmesi ihtiyacıyla akustik elemanların kullanımı ve daha iyi performans gösterebilecek yeni elemanların tasarımı önemli hale gelmiştir (Cox & D'Antonio, 2004). Bunların akustik açıdan tatmin edici özelliklere sahip olmalarının yanında, estetik kaygılar, sağlamlık gibi farklı nitelikler de göz önünde bulundurulmaktadır (Vujasinovic ve ark. 2008).

Cam ve kaya yünü malzemelerin yüksek akustik yutuculukları vardır. Bu malzemeler gürültü kontrol mühendisliğinde çokça kullanılmaktadır (Wang & Torng, 2001). Ancak, önceki çalışmalar, dokusuz yüzey yapıların hem yüksek hem de düşük frekanslarda ses yutuculuk değerlerinin konvansiyonel kaya yada cam yünü malzemelerle

kıyaslanabilecek (Lee & Joo, 2003), hatta daha yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir (Byun & Lee, 2001). Dokusuz yüzey üretiminde uygun seçilecek polimerle birlikte, örneğin polyester, çevresel ve geri dönüşüm kriterleri de göz önünde bulundurulduğunda dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliği açısından cam yününün yerine geçebileceği (Byun & Lee, 2001) ve geçmekte olduğu belirtilmelidir.

Lifli ve boşluklu yapısı, liflerin yapı içindeki düzensiz yerleşimi, ayarlanabilir yoğunluk, kalınlık parametreleri, ince liflerin yapı içinde direkt kullanılabilmesi, geri dönüşüm liflerinin kullanılabilme olanaklarıyla hem çevreci, hem de düşük maliyetli oluşu, dokusuz yüzey yapıların ses yutucu malzeme olarak kullanımını ön plana çıkarmaktadır.

Tekstil malzemesinin ince liflerden oluşması yapıya farklı özellikler kazandırır. Bu özellikler çoğunlukla ince lif kullanımıyla birlikte, yapının yüzey alanının artması, bunun yanında daha küçük ve fazla sayıda gözeneklere sahip olması ile ilişkilidir. Sabit kütlede polimer eriyiği kullanarak her defasında daha fazla sayıda dairesel lif üretildiğini düşünelim, bu durumda üretilen lif sayısına bağlı olarak (n) liflerin toplam yüzey alanı \sqrt{n} kat artar.



Şekil 1.1. Sabit kütlede üretilen lif sayısına göre toplam yüzey alanı değişimi

Şekil 1.1'de sabit kütlede polimer eriyiği kullanılarak, üretilen lif sayısına bağlı olarak değişen toplam yüzey alanı verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere lif inceliği artışına bağlı olarak, artan lif sayısı ile birlikte toplam lif yüzey alanı artış göstermektedir. Dolayısıyla kumaşın ince liflerden oluşturulabilmesi durumunda, direkt olarak daha geniş yüzey alanına sahip bir yapı elde edilmiş olmaktadır.

İnce liflerin yapı içinde direkt kullanılabilmesine olanak sağlayan, başka bir deyişle mikro- ve nanometre mertebesinde lif içeren dokusuz yüzey yapı üretebilme kapasitesi olan, üç farklı iyi bilinen dokusuz yüzey üretim prosesi vardır. Bunlar, elektroçekim (*electrospinning*) prosesi, eriyikten üfleme (*meltblown*) prosesi ve lif ayırıştırma prosesi ile birleştirilmiş, bikomponent filament teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı (*spunbonding*) prosesidir. İnce lifli yapısı, bu proseslerden üretilmiş dokusuz yüzeyleri filtrasyon, ses yutuculuğu gibi bazı uygulamalar için teoride uygun yapar. Çünkü, ince lifli yapı, geniş yüzey alanı ve küçük gözeneklilik sağlar. Birden fazla polimerin beraberce çekilmesiyle filamentlerden oluşan bir yüzeyin oluşmasını sağlayan bikomponent filament teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı prosesinin, elektroçekim ve eriyik üfleme yöntemlerinden üretilen yüzeylere nazaran düzgünlük, yüksek üretim miktarları, yüksek mukavemet, uzun ömür gibi önemli avantajları vardır. Bunlar yukarıda bahsedilen uygulamalar için de avantaj teşkil etmektedirler.

Dokusuz yüzeyler, sadece lifler ve gözeneklerden oluşmasına rağmen yapıları çok karmaşıktır. Dokusuz yüzeyleri karakterize eden birçok parametre (kalınlık, ağırlık, yoğunluk, hava geçirgenliği, vb.) olmasının yanında, lifli-ağsı yapının dokusuz yüzeyin özellikle fiziksel davranışlarını kontrol eden temel faktör olduğu bakış açısı ile konu ele alınmıştır. Ayrıca tasarımı yapılacak olan dokusuz yüzey malzemenin, bir enerji olan ses dalgasını yutma görevini gerçekleştirebilmesi için karşı karşıya kaldığı fiziksel ortamın iyi anlaşılması gerektiği burada vurgulanmalıdır. Ancak ortam-malzeme etkileşiminin kavranmasıyla yapının ses yutuculuk davranışını kontrol eden lifli-ağsı yapı üzerinde değişiklik yapılabilir ve doğru malzeme tasarlanabilir.

Bu araştırmada, ilk olarak nanolif ve/veya mikrolif içeren dokusuz yüzey üretebilme kapasitesine sahip olan üretim teknolojileri ile ilgili bilgi verilmiş ve dokusuz yüzey üretim yöntemi olarak bikomponent filament teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı prosesinin seçilme sebepleri açıklanmıştır. Ardından dokusuz yüzeyin bulunacağı fiziksel ortamın ve maruz kalacağı dış etkilerin açıklanabilmesi adına, temel akustik konusu bu hedef doğrultusunda incelenmiştir. Literatürde başta dokusuz yüzeyler olmak üzere, bazı dokuma kumaşlar, cam yünü, kaya yünü gibi lifli yapıların akustik özellikleri ile ilgili yapılan deneysel ağırlıklı ve teorik-sayısal ağırlıklı yapılan çalışmalar iki ayrı bölüm halinde özetlenmiştir. Kaynak araştırması bölümünde, “lifli-

gözenekli malzemeler” adı altında toplanan bu malzemeler (dokusuz yüzeyler, bazı dokuma kumaşlar, cam yünü, kaya yünü) üzerinde yapılan benzer çalışmaların ortak sonuçlarına vurgu yapılmıştır. Daha sonraki bölümlerde ses yutucu dokusuz yüzey malzemelerin tasarımında kullanılan üretim yöntemleri ve bu malzemelerin test metotları verilmiştir. Deniz-içinde-ada (*islands-in-the-sea*) bikomponent liflerinden üretilen dokusuz yüzeylerin ve hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışı deneysel sonuçlar verilerek tartışılmış, son olarak oluşturulan kompozit yapılı dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri ortaya konmuş, getirdiği iyileştirme olası bir kullanım alanı (araç içi kullanım) üzerinden açıklanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Dokusuz Yüzey Malzemeler

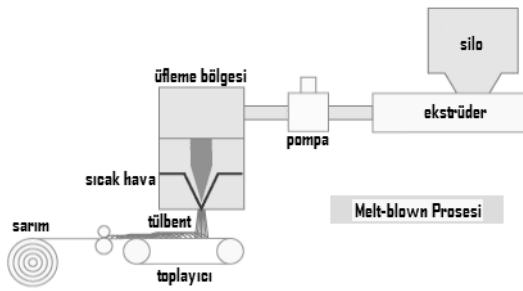
İngilizce “*Nonwoven Fabric*” teriminin Türkçe manası “*Dokunmamış Kumaş*” olmakla birlikte, Türkçe literatürde bu İngilizce terimin karşılığı “Dokusuz Yüzey Kumaş” olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İngilizce kullanılan “*Nonwoven Fabric*” terimi yerine de önceleri bir çok ifadeler kullanılmıştır (Pourdeyhimi 2011, Batra ve Pourdeyhimi 2011, 2012). Örneğin bu lifli ve ağsı yapılar “*bonded-fiber fabrics*” (lifleri bağlanmış kumaş) ve “*bonded fiber nonwoven fabrics*” (lifleri bağlanmış dokunmamış kumaş) olarak isimlendirilmiştir. Genel olarak “Nonwoven” (dokusuz yüzey) ifadesi, liflerin birbirine paralel, dik yada rasgele dağılmış bir şekilde, bağlayıcı malzeme, sıcaklık ve/veya basınç yardımı ile bir arada durduğu yapıları tarif etmektedir (Pourdeyhimi, 2011).

Aşağıdaki iki bölümde, nanolif ve/veya mikrolif içeren dokusuz yüzey üretebilme kapasitesine sahip olan üretim yöntemleri literatür araştırması yapılarak ve “The Nonwoven Institute, North Carolina State University, USA” (Dokusuz Yüzey Enstitüsü, Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi, ABD) kurumunda var olan çalışır sistemler üzerinde incelemeler yapılarak, bu sistemler hakkında bilgi verilmiştir. İncelenen sistemler, eriyikten üfleme (*meltblown*), elektroçekim (*electrospinning*) ve bikomponent filaman üretim teknolojisine sahip olan eğirmeli bağlantı (*spunbonding*) dokusuz yüzey üretim yöntemleridir. Kesikli lifler kullanılarak üretilen diğer dokusuz yüzey üretim teknikleri ve bu yapıların özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi ilgili kaynaklardan edinilebilir (Horrocks ve Ananad 2000, Albrecht ve ark. 2003, Rusell 2007, Batra ve Pourdeyhimi 2011).

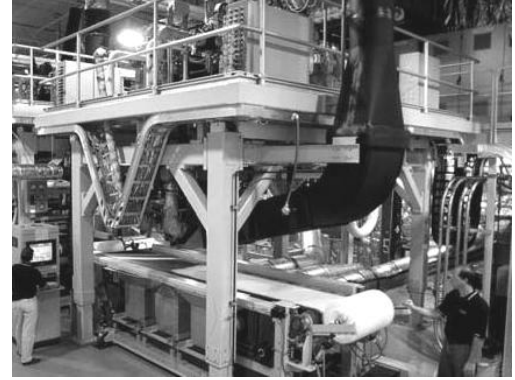
2.1.1. Eriyikten üfleme (*meltblown*) ve elektroçekim (*electrospinning*) yöntemleriyle üretilen dokusuz yüzeyler

Eriyikten üfleme yöntemi filamentlerin inceltmesinde yüksek hızda havanın kullanıldığı diğer dokusuz yüzey üretim yöntemlerine göre daha yeni geliştirilmiş, polimerlerden dokusuz yüzey üretim işlemidir (Şekil 2.1). Bu işlem sonucunda yapıda çoğunlukla mikrolifler bulunur. Dokusuz yüzey yapı içinde, çapları genellikle 0,5 ile 30

mikrometre arasında değişim gösterebilen lifler bulunmaktadır (Dahiya ve ark. 2004). Fakat son beş yıldır laboratuvar seviyesinde yapılan çalışmalarda yapısında çoğunlukla bir mikrometrenin altında incelikte lifler bulunduran dokusuz yüzeyler bu yöntemle üretilmiştir (Batt ve ark. 2011). Dokusuz yüzey yapı içinde bulunan liflerin çapları homojenlikten çok uzaktır. Aynı malzemede birkaç mikrometre çapında lifler bulunabileceği gibi, son yapılan çalışmalarda ortalama lif çapı 500 nanometre çap seviyelerine kadar indirilebilmiştir (Ellison ve ark. 2007). Diğer yöntemlere göre farkı, yumuşaklık derecesi, örtme gücü ve gözenekliliktir (Dahiya ve ark. 2004).



Eriyikten üfleme şematik gösterimi



NCSU Eriyikten üfleme sistemi
(www.thenonwovensinstitute.com 2010)

Şekil 2.1. Eriyikten üfleme (*meltblown*) dokusuz yüzey üretim yöntemi

Bu yöntemde ekstrüderden eriyik halde ilerletilen polimer ekstra bir pompa yardımıyla üfleme bölgesine gönderilir. Burada hızı çok yüksek hava akımı yardımıyla lifler toplayıcı bant üzerine yatırılır. Genellikle türbülans etkisi söz konusu olduğundan toplayıcı üzerinde bulunan lifler rasgele bir biçimde konumlanmıştır. Fakat yinede belli bir oranda, bandın ilerleme doğrultusunda hafif bir yönlenme vardır (Dahiya ve ark. 2004). Toplama bandının hızı, bunun yanında düze-toplayıcı bant arasındaki mesafe değiştirilerek farklı yapıda yüzey üretmek mümkündür (Bresee ve Qureshi 2004, 2006). Oluşan yapıya daha iyi mekanik özellikler kazandırılması adına ilave fiksaj işlemi uygulanabilir. Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, çapı nanometre mertebesine kadar inmiş filamentler ve bunlardan dokusuz yüzey üretilebilmesinin yanında, üretim hızının yüksek olmasıdır (Süvari ve Ulcay, 2011). Gelişigüzel lif yönlenmesi, çoğunlukla yüksek örtme faktörüne sahip yüzeyler elde edilmesi de diğer avantajları olarak sıralanabilir. Elde edilen tülbentlerin pek çoğu serili yada üst üste katlı yapıdadır, katların sayısı ile birlikte gramaj artar. Tülbent içerisindeki lif uzunluğu değişkendir. 0,1

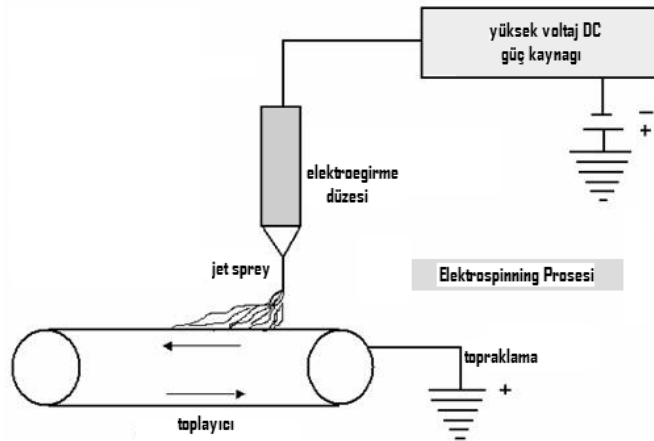
ile 100 cm arasında olabilir. Lif kesiti de daireselden düze kadar farklı kesitlerde olabilir (Dahiya ve ark. 2004). Eriyikten üfleme teknolojisi ile üretilmiş dokusuz yüzeylerin mukavemetinin ve diğer mekanik özelliklerinin düşük olması bazı uygulamalar için dezavantaj oluşturmaktadır.

Dokusuz Yüzey Enstitüsü, Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi, ABD (NCSU) pilot tesislerinde bulunan eriyikten üfleme sistemi incelenmiştir (Şekil 2.1). Var olan sistem çift ekstrüdere sahiptir. Her bir üniteden minimum 1.4 kg/saat üretim yapılmaktadır. Maksimum üretim miktarı ise her bir düze için 36 kg/saattir. Çalışma sıcaklığı 190 °C ve 315 °C aralığındadır. Bu sistemle bikomponent lif üretimi mümkün olmakla birlikte, daha tam olarak başarılı bir üretim gerçekleştirilememiştir. “*Sheath/core*” (Dış/merkez) ve “*side by side*” (yan yana) kesitlerine sahip lif üretimi yapılabilmektedir. Üretim bandının genişliği 56 cm’dir. Bu genişlikte dokusuz yüzey kumaş üretilmektedir. Düze bloğunda 535 delik ende, 1000 delik/metre ise boyda mevcuttur. Üretilen tülbentler, izleyen bant ile bir kalenderleme işlemine tabi tutularak liflerin birbirine bağlanması sağlanır. Düzede bulunan her bir delik 0,40 mm çapındadır. NCSU pilot tesislerinde bulunan eriyikten üfleme sistemi, 1 mikron ile 5 mikron arasında değişen lif inceliğinde dokusuz yüzey üretebilme kapasitesine sahiptir. Bunun yanına üretilebilecek dokusuz yüzey kumaş gramajı 5 g/m² ile 150g/m² arasında değişebilmektedir.

Tüm bunların yanında eriyikten üfleme sistemiyle uyumlu çalışabilecek lif sayısı azdır. Bu durum lif çeşitliliği açısından çalışma esnekliğini azaltmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda en çok dikkat çeken husus ise üretilen kumaşların mukavemetlerinin düşünülen çok daha düşük oluşudur. Fazladan bir malzemenin bu yöntemden üretilen yüzeye mukavemet açısından destek olması gerektiği kaynaklarda da belirtilmiştir (Durany ve ark. 2009). Bununla birlikte kumaşın rijitliğinin de çok düşük olması, elle tutulurken bile liflerin dağılabilmesi, bazı teknik tekstil uygulamalarında bertaraf edilmesi gereken sorunlardır (Süvari ve Ulcay, 2011). Örneğin bu yöntemden üretilmiş bir dokusuz yüzey, ses yutucu malzeme olarak düşünülmesi durumunda kumaşın montajı hususunda büyük bir problem teşkil edebileceği sonucuna varılmıştır.

Çok ince lifli dokusuz yüzey üretebilme kapasitesine sahip diğer bir yöntem ise elektroçekimdir. Bu yöntem ile üretilen liflerin çapları 10 nanometreye kadar inceltilmekte ve bu liflerden yüzey üretilmektedir (Hegde ve ark. 2005).

Elektroçekim ile üretilen liflerin çapları, eriyikten üfleme yöntemi ile üretilen en ince liflerinden 5-10 kat daha küçüktür. Böylece geniş toplam yüzey alanına sahip yüzeyler oluşturulabilmektedir. Ses yutuculuk açısından düşünülecek olursa, yüzey alanının fazla olması, teoride bir avantaj olarak görülebilir. Elektroçekim yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir. Burada yüksek voltaj kaynağı, doğru akım veren bir ünite bulunmaktadır. Bunun yanında polimerin içinden akması için tasarlanmış bir düze ve liflerin toplanacağı bir platform elektroçekim prosesinin en basit düzeneğidir. Basit olarak lif oluşma işleminin başlangıcı, düze ucundaki polimer çözeltisinin elektrostatik ve mekanik kuvvetler etkisinde kalmasıyla olur. Ardından elektrostatik kuvvetin, polimer çözeltisinin yüzey gerilimini yendiği noktada, sıvı düzeden çıkarak nanometre mertebesinde ince sürekli bir filamanın oluşmasını sağlar (Hegde ve ark. 2005). Nanolifler bir platformda toplanarak nanoyüzey oluşumu sağlanmış olur.



Şekil 2.2. Elektroçekim prosesi (Hegde ve ark. 2005’den değiştirilerek alınmıştır)

“The Nonwoven Institute, North Carolina State University, USA” (Dokusuz Yüzey Enstitüsü, Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi, ABD) da bulunan elektroçekim sistemi üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, bu yöntem ile üretilen nanolif yüzeylerin mukavemetlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Bir uygulamada kullanılabilmesi için mekanik olarak nanolif yapıya destek verecek farklı bir malzemeyle kullanılması gereklidir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Bunun yanında üretim miktarının diğer yöntemlerle karşılaştırılamayacak seviyede düşüklüğü göze çarpan diğer bir dezavantajdır (Süvari ve Ulcay, 2012). Elektroçekim sisteminin üretim hızının artırılması ile ilgili halihazırda bir çok çalışma yapılmakta, çekim bölgesinde çok

sayıda iğnenin (eğirme düzesi) kullanılması yada patentli silindir şeklinde iğnesiz düze sistemi gibi çözümler bu amaçla öne çıkmaktadır (Süvari ve Ulcay, 2012).

Günümüzde elektroçekim prensibini kullanarak, laboratuvar seviyesindeki üretimden daha hızlı, nanometre mertebesinde ince lifler içeren dokusuz yüzey malzeme üretimi yapabilen farklı cihazlar vardır. Bunlardan biri “Elmarco” firmasının geliştirdiği iğnesiz elektroçekim prensibini kullanan makinedir. Makine su dışında değişik çözücülerle çözünen polimerlerle çalışabilmektedir. Dört adet çekim elektrodu içeren makine, 0,3 ile 1 metre eninde nanolif dokusuz yüzey katman üretebilmektedir. Alt katman olarak nanolif dokusuz yüzey yapıya mekanik olarak destek verecek farklı bir malzeme (genellikle başka bir dokusuz yüzey) kullanılması gereklidir. Üretim hızı PA6 polimeri ve 1 metrelik ende 150 nanometre çapında lifler içeren yapı için 0,45 g/dak’dır (<http://www.elmarco.com/>, 2011). Elektroçekim prensibini kullanarak nanometre mertebesinde ince lifler içeren dokusuz yüzey malzeme üreten makine yapan bir diğer firma ise Güney Kore menşeli “Toptec” firmasıdır. Firma çoklu iğne sistemini kullanarak makinelerini tasarlamaktadır (<http://www.toptec.co.kr/>, 2011).

2.1.2. Bikomponent teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı (*spunbonding*) yöntemi ile üretilen dokusuz yüzeyler

Bir önceki bölümde değinilen yöntemlerin dışında, iki farklı polimerin beraberce çekilmesiyle filamentlerden oluşan bir yüzeyin oluşmasını sağlayan bikomponent filament teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı (*spunbonding*) prosesinin elektroçekim, eriyik üfleme yöntemlerinden üretilen yüzeylere nazaran düzgünlük, uzun ömür, yüksek üretim miktarları, yüksek mukavemet gibi önemli avantajları vardır (Durany ve ark. 2009).

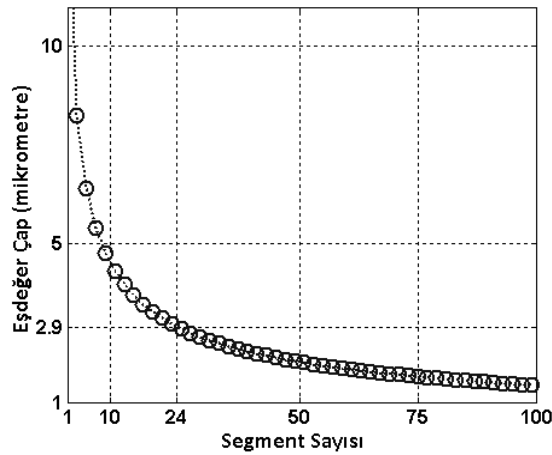
Klasik eğirmeli bağlantı yöntemi 10 µm ile 80 µm aralığında lif inceliğinde üretim yapılabilir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Bununla birlikte, bikomponent teknolojisini kullanan eğirmeli bağlantı dokusuz yüzey üretim yöntemi ile 1 yada 2 mikrometre çapında lif üretebilmek ve bundan uzun ömürlü dokusuz yüzey elde etmek mümkündür (Anantharamaiah ve ark. 2008). Diğer taraftan “*Islands in the sea*” (deniz içinde ada) kesitinde bikomponent lif üretilmesi durumunda, üretilen lif çapı 300 nanometreye kadar düşebilmektedir (Fedorova & Pourdeyhimi, 2007). Bikomponent teknolojisini

kullanan eğirmeli bağlantı yöntemi birden fazla polimer kullanarak üretim yapar. Farklı kesit şekillerinde bikomponent lif üretmek mümkündür. Bu kesitler, “*Sheath and core*” (dış kabuk ve çekirdek), “*Segmented-pie*” (dilimli kesit), “*Islands-in-the-sea*” (deniz içinde ada), “*Side-by-side*” (yan yana kesit) olarak Türkçe ve yabancı literatürde isimlendirilir (Lewin 1996, Hegde ve ark. 2004, Purane ve Panigrahi 2007, Mukhopadhyay ve Ramakrishnan 2008, Kaynak ve Babaarslan 2009, Gün ve ark. 2011). Bu kesit şekillerinden sadece deniz içinde ada (islands in the sea) tipi kesit seklini üretebilen teknoloji ile nanometre mertebesinde lif üretmek mümkündür (Durany ve ark. 2009).

Aşağıdaki denklem “*Segmented-pie*” kesit (dilimli kesit) sekline sahip lif üreten sistemin, dilim (segment) sayısına bağlı olarak ürettiği lif inceliğini hesaplamak için çıkarılmıştır. Üretilen lif (dilimler) dairesel değildir, bulunan çap değerleri, aynı ağırlıkta üretilebilecek eşdeğer dairesel lifin çapıdır.

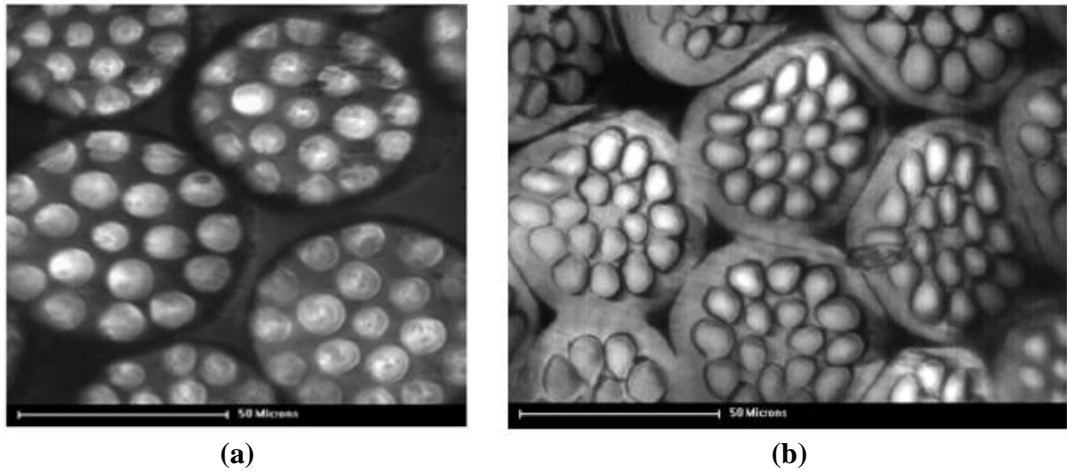
$$d = \sqrt{\frac{4 \times \text{denye}}{k \times \rho \times \pi \times 9 \times 10^5}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de, ρ lif yoğunluğudur. Hesaplamalarda PET lifi için $1,38 \text{ gr/cm}^3$ olarak alınmıştır. k dilim (segment) sayısıdır. denye ise hiç dilimlenmemiş (bölünmemiş) üretilebilecek lif numarasıdır. Şekil 2.3 dilim (segment) sayısına bağlı olarak, üretilen liflerin çap değişimini vermektedir (bulunan çap değerleri, aynı ağırlıkta üretilebilecek eşdeğer dairesel lifin çapıdır).



Şekil 2.3. Segment sayısına bağlı olarak lif çapı değişimi

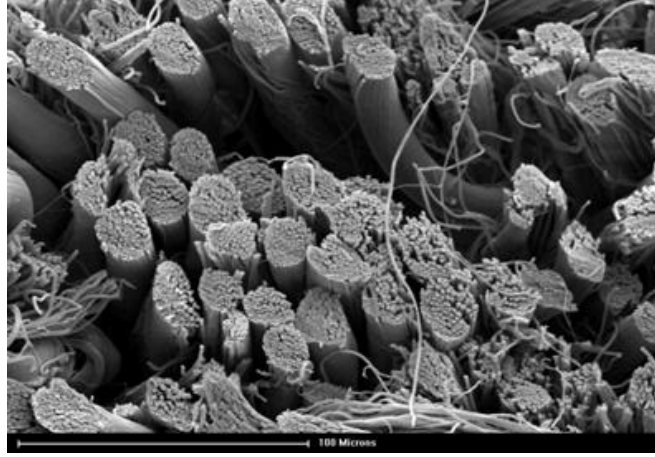
Şekil 2.3'e göre "Segmented-pie" kesit (dilimli kesit) şekline sahip üretim teknolojisiyle bir mikronun altında lif üretimi bugünkü teknolojik seviyede imkansızdır. Fakat deniz içinde ada (islands in the sea) tipi lif üretilmesi durumunda ise 37 adadan sonra liflerin çapının bir mikronun altına inebilmesi mümkündür. Öyle ki 108 ada üretilmesi durumunda lif çapı 500 nanometre ve daha aşağı çapta olabilmektedir. Bunun yanında 100 nanometre çapında bir lif üretebilmek için 1000'in üzerinde ada kullanılması gereklidir ki daha 1000 adanın üzerinde adaya sahip deniz içinde ada (islands in the sea) lifi üretilmemiştir (Durany ve ark. 2009).



Şekil 2.4. Tipik deniz içinde ada lifi kesiti (solda), modifiye edilmiş kesit (sağda) (Anantharamaiah ve ark. 2008)

Deniz içinde ada liflerinde deniz ve ada polimeri ortak bir ara yüzü paylaşmaktadırlar. Genel olarak, üretildikten sonra, uygun bir çözücü ile deniz, yıkama işlemi ile yapıdan uzaklaştırılmaktadır. Bu yıkama prosesi çevre dostu bir uygulama değildir. Bununla birlikte denizin ayrı bir işlemle yapıdan uzaklaştırılması, üretilecek nihai ürüne ek bir maliyeti de getirir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Tipik deniz içinde ada tipi liflerin görünümü Şekil 2.4a'da verilmiştir. NCSU pilot tesislerinde genel olarak Şekil 2.4b'de görülen modifiye edilmiş deniz içinde ada lifi üretilmektedir. Burada ayrı olarak, deniz polimeri dış kabuktan tüm ada liflerini sarmıştır. Bu modifiye halin daha kolay filament üretebilme imkanı verdiği ilgili kaynakta belirtilmiştir (Anantharamaiah ve ark. 2008).

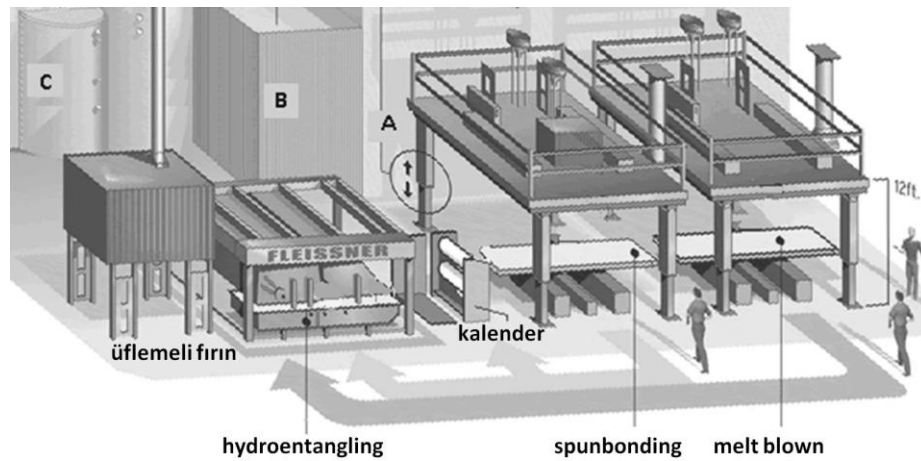
Şekil 2.5'de deniz içinde ada liflerinin dokusuz yüzey içindeki konumları verilmiştir. Sadece soğuk kalenderleme işlemi gören bu dokusuz yüzeyde, ada lifleri yapıdan yeterince ayrılamamıştır.



Şekil 2.5. Deniz içinde ada liflerinden üretilmiş dokusuz yüzeyin kesit görüntüsü (Anantharamaiah ve ark. 2008)

Eğirmeli bağlantı yöntemi diğer dokusuz yüzey üretim yöntemlerine kıyasla üretilen malzemenin mukavemeti ve sistemin üretim performansı açısından çok daha başarılıdır. Birden çok farklı polimerin ekstrüderlerden çekilerek aynı ara yüzde üretilen bu devamlı (kontinü) filamentlerden üretilen dokusuz yüzeylerin çok önemli üstünlükleri vardır. Bunlar, dokusuz yüzey uniformluluğu, yüksek üretilebilirlik, ve yüksek mukavemet değerleridir. Bu üstünlükler bazı teknik tekstil uygulamalarında da istenmekte ve eğirmeli bağlantı sistemine avantaj sağlamaktadır (Durany ve ark. 2009).

Şekil 2.6’da NCSU’nun pilot tesislerinde var olan eğirmeli bağlantı ve diğer sistemlerin şematik resmi verilmiştir.

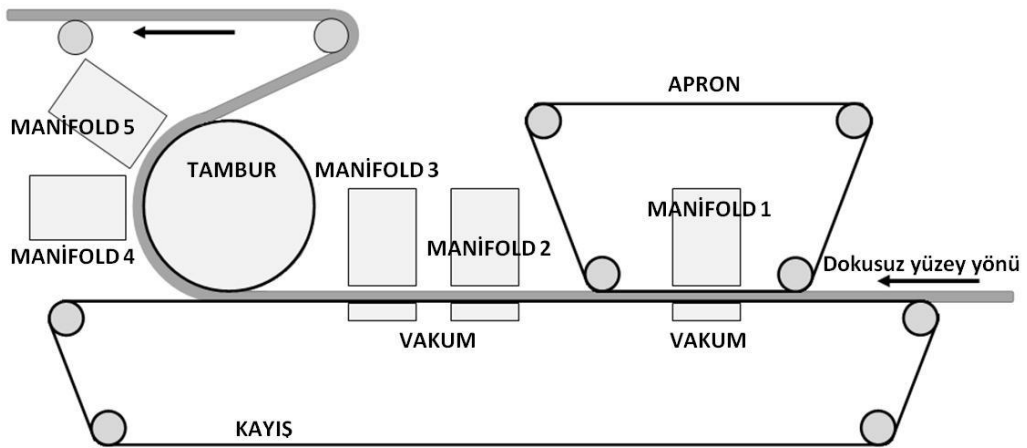


Şekil 2.6. NCSU pilot tesisleri, eriyikten üfleme (*melt blown*), eğirmeli bağlantı (*spunbonding*), hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) sistemleri (www.thenonwovensinstitute.com 2010’ dan değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 2.6’da A ile gösterilen bölgede eğirmeli bağlantı sisteminin ayakları aşağı ve yukarı değiştirilebilmektedir. Böylece üretilen lif inceliğinde ayarlama yapılabilmektedir. B bölgesinde yüksek basınçlı su jetleri, hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) ünitesindeki her bir düzeye (jete) basınçlı su yollayarak, mekanik olarak dokusuz yüzey içindeki liflerin karışmasını ve birbirine geçmesini sağlamaktadır. C bölgesinde ise su filtresi bulunmakta, hydroentangling ünitesi için suyu katkısız hale getirmektedir.

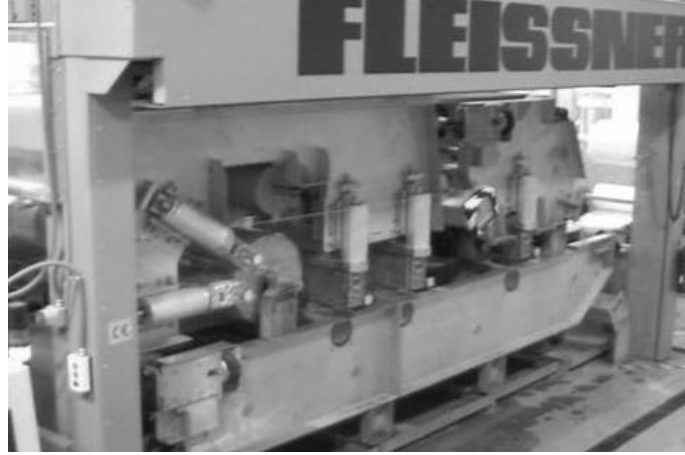
Hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) işlemi:

Hydroentangling yönteminde yüksek basınçlı su ile muamele yapılarak, ada lifleri denizden ayrılır ve birbiri içine geçerek ince lifli, mukavemetli dokusuz yüzey yapıyı oluşturur. Sistem, şematik olarak Şekil 2.7’de verilmiştir. Şekil 2.7’deki ünite, dokusuz yüzeyi hareket ettiren bir platforma ve beş farklı manifolda (enjektör) sahiptir. İlk manifold ön ıslatma ve ön karıştırma için bant üzerinde monte edilmiştir. Bant üzerindeki diğer iki manifold dokusuz yüzeyin ön yüzüne, delikli tambur üzerindeki diğer iki manifold ise dokusuz yüzeyin arka yüzüne işlem yapmaktadır. Bant hızı ve manifold basınçları ayarlanabilmektedir. Ayrıca kullanılacak manifold sayısı seçilebilmektedir. Genellikle bant 10 m/dak hızında çalışmaktadır. Manifold basınçları 220 bar basınç değerine kadar çıkarılabilmektedir. Farklı konstrüksiyonlarda bant kullanılarak, bazı kumaş özellikleri üzerinde değişiklikler yapılabilir.



Şekil 2.7. Hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) işlemi

Eğirmeli bağlantı teknolojisiyle üretilmiş olan dokusuz yüzey kumaşlar, bir kaç kere hydroentangling ünitesinden geçirilebilir. Böylece dokusuz yüzey içindeki lifler birbirinden ayrılmış ve yeterli mukavemet sağlayacak oranda birbirine tutunmuş (birbiri içine geçmiş) olurlar.



Şekil 2.8. NCSU pilot tesisleri, hydroentangling sistemi
(www.thenonwovensinstitute.com 2010)

NCSU pilot tesislerinde “*Fleissner*” hydroentangling ünitesi mevcuttur.

Hydroentangling ünitesindeki su jetleri ile, toplam kumaşa geçen enerji miktarı Bernolli denklemi kullanılarak hesaplanabilir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Bu denklem, tüm sistemdeki viskoz kayıpları ihmal etmektedir.

P eğer bir düzede basınç ise jet hızı aşağıdaki denkleme göre hesaplanabilir.

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho}}$$

ρ suyun yoğunluğudur ve oda sıcaklığında $998,2 \text{ kg/m}^3$ tür. P Pascal cinsinden basınçtır. V ise m/s olarak hızdır.

Su jeti tarafından dokusuz yüzey kumaşa transfer edilen enerji hızı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanabilir.

$$\dot{E} = \frac{\pi}{8} \rho d^2 C_d V^3$$

\dot{E} J/s cinsinden enerji hızı, d metre cinsinden düze çapı, C_d ise deşarj katsayısıdır. Spesifik enerji (SE), bir kilogram kumaşa aktarılan joule cinsinden enerjidir.

$$SE = \frac{\dot{E}}{\dot{M}} \quad (2.2)$$

\dot{M} bir saniyede kg biriminde, bant üzerinde geçen kumaş miktarıdır. Aşağıdaki denkleme göre bulunur.

$$\dot{M} = \text{örnek genişliği[m]} \times \text{kumaş gramajı} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] \times \text{bant hızı} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Hydroentangling işlemindeki en önemli nokta bikomponent liflerin adanın denizden, yada dilimlerin (segment) birbirinden ayrılmasının sağlaması ve bunların kendi içinde sağlam bir yapı oluşturmalarıdır. Bunların gerçekleştirilmesi istenirken yapıya, liflere zarar vermeme hususu kritik bir önem taşır. Deniz içinde ada tipi dokusuz yüzey kumaşların ada liflerinin ayrılması ve birbiri içine geçmesi için her zaman daha fazla enerji gereklidir. Çünkü denizin kırılıp adaları serbest bırakması için daha fazla enerji vermek gereklidir (Durany ve ark. 2009).

2.2. Temel Akustik

Sesin yutulması, ses kaynağında oluşan ve ardından yayılan ses enerjisini harcamaya, ortadan kaldırmaya yönelik bir etkileşim olduğundan, daha sonra verilecek sebep sonuç ilişkilerinin daha iyi açıklanabilmesi adına bu bölümde akustiğin temelleri ile ilgili bilgi verilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

Dalga hareketleri mekanik ve elektromanyetik olmak üzere iki ana guruba ayrılmaktadır. Ses dalgaları mekanik guruba girmekte ve mekanik bir etki sonucu oluşan titreşimlerin esnek maddesel bir ortam içerisinde yayılmaları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Mekanik dalgaların yayılmaları için maddesel bir ortama ihtiyaç vardır, boşlukta yayılması hareket iletimi olamayacağı için söz konusu değildir. Elektromanyetik dalgalar ise boşlukta yayılabilirler (Dinçer & Yalçın, 2002).

Dalga hareketi içerisinde ortamı oluşturan parçacıklar, dalganın yayıldığı doğrultu boyunca veya bu doğrultuya dik doğrultuda ileri geri hareket ederler (Dinçer & Yalçın,

2002). Burada parçacık olarak geçen ifade çok küçük sanal bir hacim olmakla birlikte kendi yerel bölgesinde ortamın hareketini aynen temsil eder(Haughton, 2002). Parçacıkların hareket doğrultusu ile dalganın yayılma doğrultusu aynı olduğunda boyuna dalga, hareket doğrultusu ile dalganın yayılma doğrultusu bir birine dik olduklarında enine dalga oluşur. Katı, sıvı ve gazlarda yayılan ses dalgaları boyuna dalgalardır (Dinçer & Yalçın, 2002).

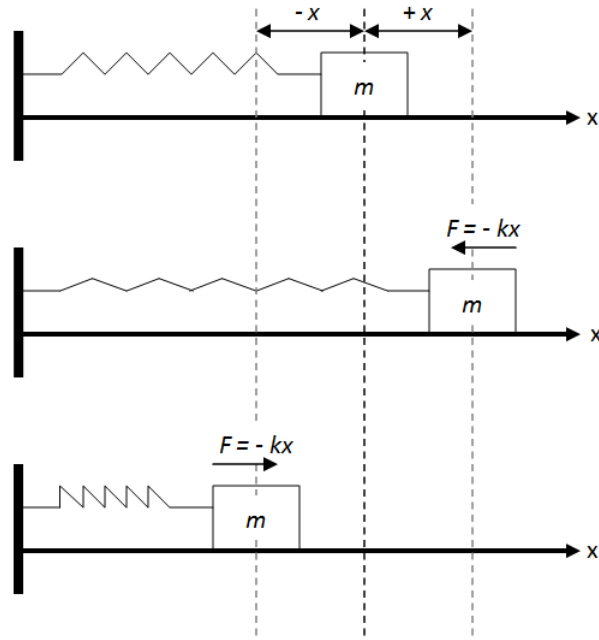
Homojen, izotropik, esnek bir ortamda ses kaynağı titreşen bir düzlem ise; bundan yayılan dalgaların yüzeyleri düzlemseldir. Dalga yüzeyi, dalga içerisinde aynı fazda olan parçacıkların oluşturduğu bir yüzeydir. Ses kaynağı küresel ise yayılan dalga yüzeyleri aynı merkezli küreler halindedir. Kaynaktan uzak mesafelerde bu küresel yüzeylerin bir bölümü de düzlemsel olarak kabul edilebilir (Dinçer & Yalçın, 2002).

Akustik, sesin oluşumundan algılanmasına kadar geçen süreçlerle ilgilenen ses bilimidir(Dinçer & Yalçın, 2002). Duyduğumuz bir ses, kaynağında oluşan mekanik bir titreşimin, kaynağı saran esnek ortam boyunca, ortamın özelliklerine bağlı olan bir hızla, boyuna dalga halinde yayılarak kulağımıza gelmesi ve beyinde algılanması ile ortaya çıkar. Normal bir insan kulağı, frekansı 20 Hz ile 20000 Hz arasındaki mekanik titreşimleri insan kulağının duyarlılık sınırları içinde olduğu için ses olarak algılayabilir (Serway ve Beichner 2000, Dinçer ve Yalçın 2002). Bu sesler, müzik aletleriyle, boğazdaki ses telleriyle ve hoparlör ile oluşturulabilir(Serway & Beichner, 2000). İşitilebilir mertebenin altındaki frekanslarda olan mekanik titreşimlere sesaltı (infrasonic) denir ve yer altı hareketleriyle oluşan dalgalar buna örnektir (Serway ve Beichner 2000, Dinçer ve Yalçın 2002). İşitilebilir üst sınırından daha yüksek frekanslarda olan mekanik titreşimlere de sesüstü (ultrasonik) denir(Dinçer & Yalçın, 2002).

Ses dalgasının ve dolayısıyla enerjinin yayılması, ortam parçacıklarının ileri geri hareketi, yani salınım yapması ile gerçekleşir. Bu sebeple, öncelikle salınım hareketi aşağıdaki bölümlerde verilmiş, ardından ses dalgasının hareketinin incelenmesine geçilmiştir.

2.2.1. Basit salınım

Basit salınımı Şekil 2.9'daki basit düzenek üzerinden açıklayarak ilerleyelim. Eğer bir kütleyi (m) kuvvet sabiti k olan esnek bir yay ile sabit bir duvara bağlayacak olursak, ardından da bu m kütlesini hareketsiz sabit bulunduğu konumdan $+x$ yada $-x$ kadar sürtünmesiz düzlemde yer değiştirip (şekildeki ok doğrultusunda) sonra serbest bırakırsak m kütlesi x eksenini doğrultusunda salınım hareketi yapacaktır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Basit yay kütle sisteminde m kütlesinin hareketi

Sürtünme söz konusu olmadığından m kütlesine, bulunduğu x pozisyonu ile doğru orantılı bir F kuvveti etki edecektir (Hooke kanunu). F kuvveti maksimum büyüklüğüne $+x$ ve $-x$ konumlarında esnek yayın kuvvet sabiti k ile doğru orantılı olacak şekilde ulaşır. Dolayısıyla F kuvveti:

$$F = -kx$$

denklemini ile ifade edilir. Newton'un II. hareket yasasına göre:

$$F = ma \Rightarrow ma = -kx$$

$$\Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

Yukarıdaki diferansiyel denklemin çözümü(Dinçer & Yalçın, 2002):

$$x = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

veya

$$x = A \cos(\omega t + \theta_0)$$

Yukarıdaki denklemlerde:

A : Hareketin genliği (kütlenin (m) sabit denge konumu ($x = 0$) ile ulaştığı tepe noktası arasındaki mesafe farkı)

ω : Açısal frekans

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

θ_0 : Başlangıç faz açısı

T : Zaman periyodu

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

f : Frekans (bir saniyedeki periyot sayısı)

$$f = \frac{1}{T}$$

ω : Açısal frekans:

$$\omega = 2\pi f$$

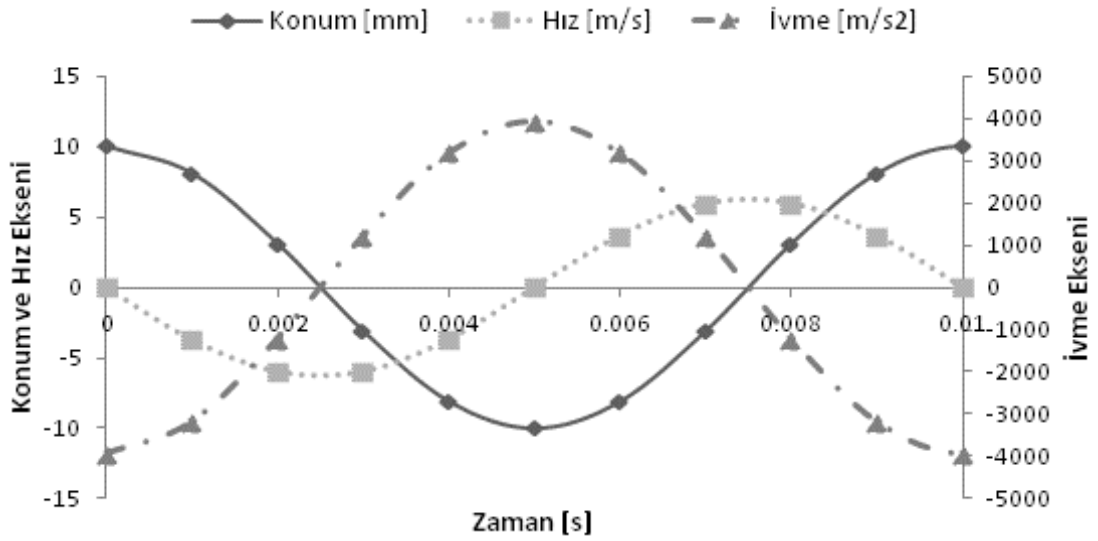
$\omega t + \theta_0$: Faz açısı

m kütlelerinin hızı (v) konum denkleminin zamana göre türevini, ivmesi () ise hız denkleminin zamana göre türevini alarak elde edilebilir:

$$v = \frac{dx}{dt} = Aw \cos(\omega t + \theta_0) \quad (2.3)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -Aw^2 \sin(\omega t + \theta_0) \Rightarrow a = -\omega^2 x$$

Şekil 2.9'a göre m kütlelerini sabit denge konumundan ($x = 0$) x eksenini doğrultusunda (+ x yönünde) 10 mm çektiğimizi ve bu kütlelerin 100 Hz frekans değerinde salınım yaptığını varsayalım. Yukarıda verilen denklemler kullanılarak m kütlelerinin zamana bağlı konum, hız ve ivme değerleri aşağıda verilen grafikteki gibi olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. m kütlelerinin 100 Hz'de zamana bağlı konum hız ve ivme değişimi

Şekil 2.10'dan anlaşılacağı üzere m kütleleri ileri ve geri bir salınım hareketi yapmaktadır.

Yay - kütle sisteminin potansiyel (U) ve kinetik enerjilerini (K) hesaplamak istersek aşağıdaki denklemler yazılabilir:

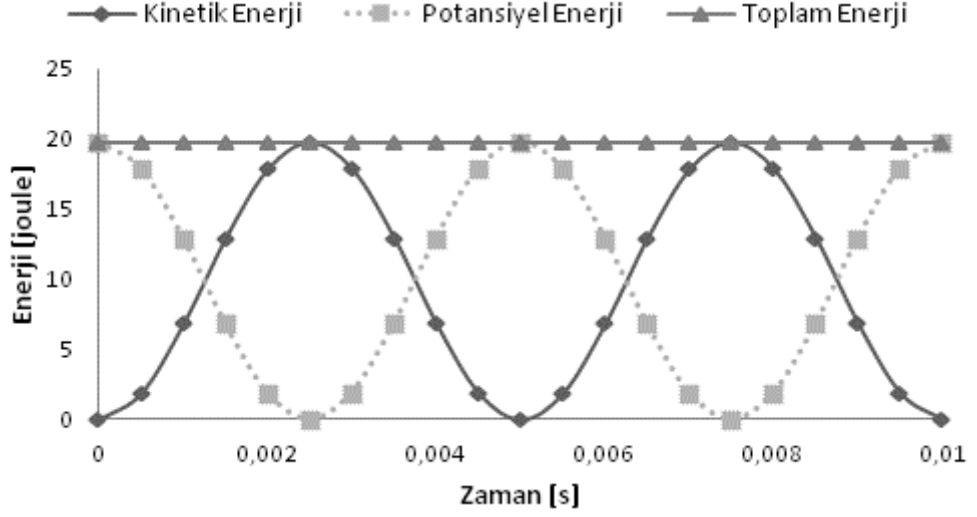
$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$U = \frac{1}{2}kx^2$$

Yay - kütle sisteminin toplam enerjisi (E) ise, kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamı olarak yazılabilir:

$$E = K + U \Rightarrow E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

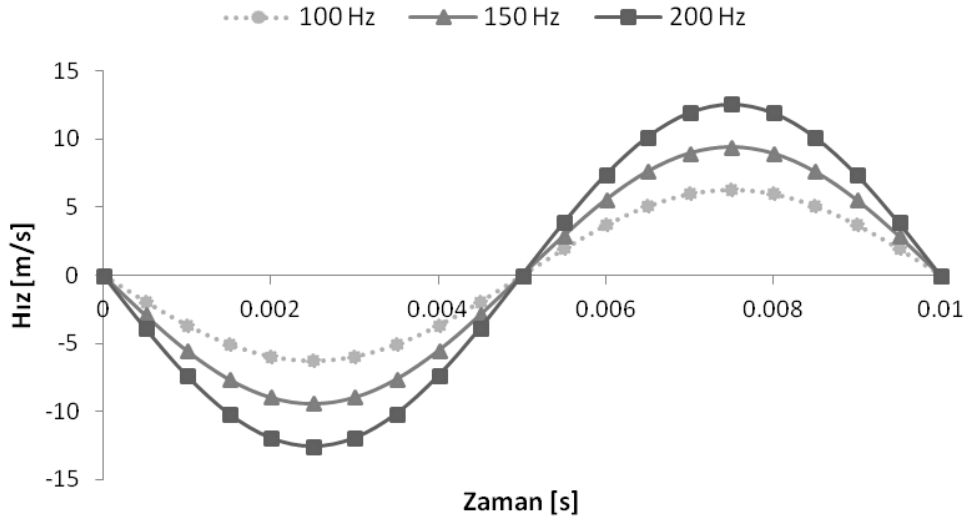
m kütesini 1 kg kabul edersek, sistemin zamana bağlı kinetik enerji, potansiyel enerji ve toplam enerji değişimi aşağıdaki grafikteki gibi olur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Yay kütle sisteminin zamana bağlı enerji değişimi

Sistemde sürtünme söz konusu olmadığı için bir enerji kaybı yaşanmamakta, Şekil 2.11'den görüleceği üzere zamana bağlı olarak potansiyel enerji kinetik enerjiye, kinetik enerji de potansiyel enerjiye dönüşmektedir. Toplam enerji ise zamana göre sabittir.

Frekansın, sistemin hızına etkisini incelemek için Şekil 2.12'i verilmiştir.



Şekil 2.12. Frekans değişiminin zamana bağlı hız değişimine etkisi

Şekil 2.12'den görüleceği üzere frekansın artışına bağlı olarak, salınım yapan m kütleinin hızı artış göstermektedir. Şekil 2.12 dikkatle incelenirse maksimum hıza ulaşılan anda hız farkı en yüksek değerine ulaşmaktadır. Daha önce verilen hız denklemi (2.3) incelenirse, kosinüs değerinin 1 olduğu anda maksimum hız değerine ulaşıldığı açıktır. Dolayısıyla frekansa bağlı olarak maksimum hız değeri:

$$v_{maks} = Aw \Rightarrow v_{maks} = 2A\pi f$$

Yukarıdaki denkleme göre frekansın önündeki tüm ifadeler birer sabit olduğundan frekans arttıkça m kütleinin ulaştığı maksimum hız değeri de doğrusal bir ilişkiyle artmaktadır.

2.2.2. Sönümlü salınım

Salınım yapan bir kütleinin mekanik enerjisi pratikte zamanla azalır(Wolfe, 2012). Sistemde özel farklı tiplerde bozucu kuvvetler, başka bir deyişle sürtünme veya direnme kuvvetleri ortaya çıkar (Kinsler ve ark. 2000, Dinçer ve Yalçın 2002). Bu kuvvetler sonuç itibarı ile salınım hareketini sönümleyici etki gösterirler (Kinsler ve ark. 2000). Bu sönümleme olayı, genliğin zamanla azalması şeklinde vuku bulur (Kinsler ve ark. 2000, Dinçer ve Yalçın 2002).

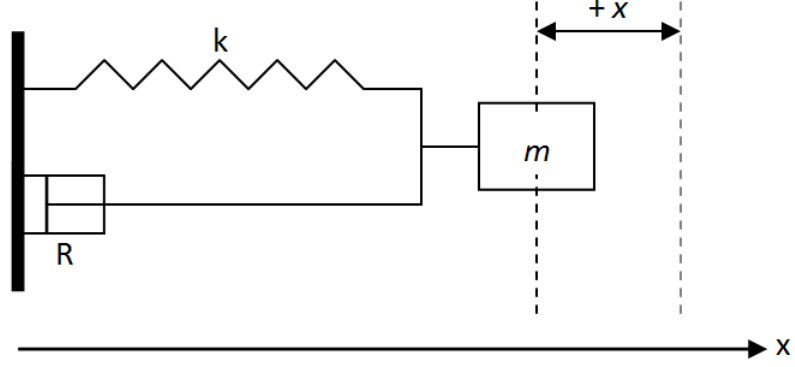
Denklem 2.4'te, enerji kaybına sebep olan zıt yöndeki kuvvetin (F_r), hız ile orantılı olduğu kabulü yapılmıştır. Çünkü bu deneysel araştırmalarla gözlenen gerçekçi bir kuvvettir; akışkan içinde göreceli olarak yavaş ilerleyen bir nesne genellikle hızı ile orantılı harekete ters yönde direnç kuvvetine (drag force) maruz kalır (Serway ve Beichner 2000, Morin 2008). Bu kuvvete bazı kaynaklarda viskoz sürtünme kuvveti de denir (Kinsler ve ark. 2000). Eğer cisim masaüstü gibi zeminde hareket etseydi direnç kuvveti kabaca sabit olurdu (Morin, 2008).

Bu durumda direnç kuvveti:

$$F_r = -R \frac{dx}{dt} \quad (2.4)$$

Bu denklemde R pozitif bir sabit ve sistemin mekanik direnci olarak adlandırılmaktadır (Kinsler ve ark. 2000). Birimi [N.s/m] yada [kg/s] dir. Böyle bir direnç kuvveti

meydana getiren sistemi Şekil 2.13'deki sönümleyici eleman ile temsil etmek mümkündür. Şekil 2.13'de m kütlesi, R mekanik direnç (sönümleyici eleman) ve k yay sabitli yayın ucuna monte edilmiştir.



Şekil 2.13. Yay ve mekanik direnç (sönümleyici) bağlı serbest salınan m kütlesi

Basit harmonik salınım yapan sisteme etkiyen direnç (sürtünme) kuvveti genellikle Şekil 2.13'deki gibi temsil edilir (Kinsler ve ark. 2000). Sistemin hareket denklemi için Newton'un II. hareket yasasına göre düzenleme yaparsak (Reddy ve ark. 1994):

$$\Sigma F = m \frac{d^2x}{dt^2} \Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - R \frac{dx}{dt}$$

w_0 : Sönümsüz haldeki doğal açısal frekans:

$$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{R}{m} \frac{dx}{dt} + w_0^2 x = 0 \quad (2.5)$$

Bu diferansiyel denklemin kompleks eksponansiyel metot ile çözümünü arayalım:

$$x = Ae^{j\gamma t}, \quad \frac{dx}{dt} = j\gamma Ae^{j\gamma t}, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = (j\gamma)^2 Ae^{j\gamma t}$$

$$\left[j^2 \gamma^2 + \frac{R}{m} j\gamma + w_0^2 \right] Ae^{j\gamma t} = 0$$

$$j = \sqrt{-1}, \quad 2\beta = \frac{R}{m} \Rightarrow -\gamma^2 + 2\beta j\gamma + w_0^2 = 0$$

$$\Delta = -4\beta^2 + 4w_0^2 \Rightarrow \gamma_{1,2} = \frac{-2\beta j \mp 2\sqrt{w_0^2 - \beta^2}}{-2}$$

$$\gamma_1 = \beta j + \sqrt{w_0^2 - \beta^2} \quad , \quad \gamma_2 = \beta j - \sqrt{w_0^2 - \beta^2}$$

w' : Açısal frekans:

$$w' = \sqrt{w_0^2 - \beta^2} \quad , \quad x_1 = Ae^{j(\beta j + w')t} \Rightarrow x_1 = Ae^{-\beta t} e^{jw't}$$

$$x_2 = Ae^{j(\beta j - w')t} \Rightarrow x_2 = Ae^{-\beta t} e^{-jw't}$$

Tam çözüm yukarıdaki iki çözümün toplamıdır:

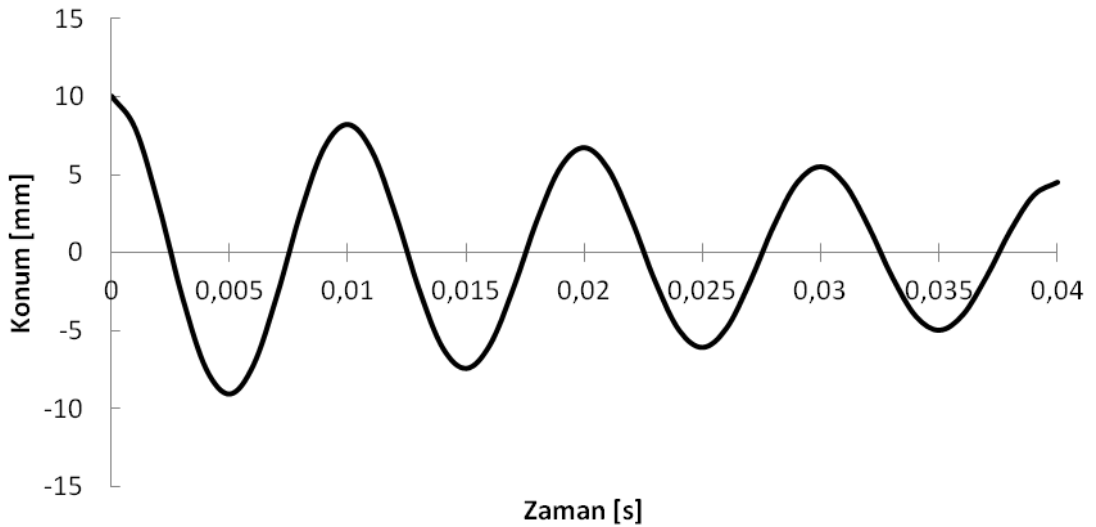
$$x = e^{-\beta t} (A_1 e^{jw't} + A_2 e^{-jw't})$$

Bu kompleks çözümün reel kısmı tam genel çözümdür. A ve θ gerçek sabitlerdir. Başlangıç koşulları ile belirlenir. Bir çözüm:

$$Re(x_1) = Ae^{-\beta t} \cos(w't + \theta)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow x_1 = Ae^{-\beta t} \sin w't$$

Şekil 2.13'e göre m kütlelerini sabit denge konumundan ($x = 0$) x eksenini doğrultusunda (+ x yönünde) 10 mm çektiğimizi ve bu kütlelerin 100 Hz frekans değerinde salınım yaptığını varsayalım. Yukarıda verilen denklemler kullanılarak m kütlelerinin zamana bağlı konum değişimi Şekil 2.14'deki gibi olur. Burada $R = 40$ Ns/m, $m = 1$ kg olarak seçilmiştir.



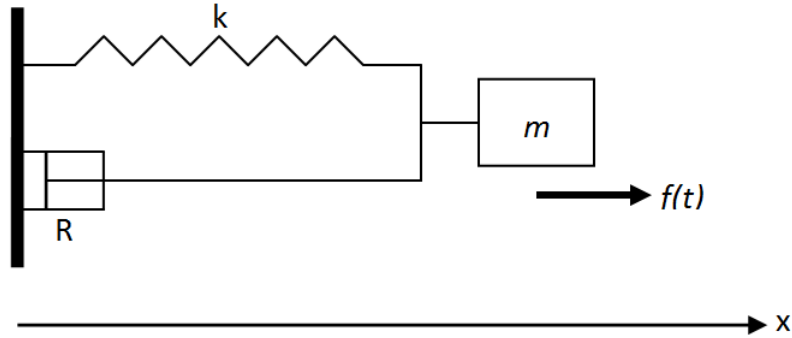
Şekil 2.14. m kütlelerinin hareketinin zamana bağlı sönümlenmesi

Şekil 2.14’de görüldüğü üzere 100 Hz frekans değerinde salınım yapan kütlein genliği zamanla azalmaktadır. Eğer daha uzun bir zaman kütlein hareketi incelenirse, belirli bir anda direnç kuvvetinin etkisiyle kütle hareketsiz kalacak yani duracaktır.

2.2.3. Zorlanmış salınım

Sistem üzerinde pozitif iş yapan bir dış kuvvet uygulayarak, sönümlü bir sistemdeki enerji kaybını karşılamak mümkündür. Herhangi bir anda, salınıcının hareketi yönünde etki edecek şekilde uygulanmış bir kuvvet tarafından sisteme enerji verilebilir. Bu tür bir harekete zorlanmış salınım denir (Serway & Beichner, 2000).

Basit salınım yapan sistemler genelde dışarıdan periyodik olarak değişen bir kuvvetle tahrik edilirler (Serway ve Beichner 2000, Kinsler ve ark. 2000). Şekil 1’de m kütlesi, R mekanik direnç (sönümleyici eleman) ve k yay sabitli yayın ucuna monte edilmiştir. Dış kuvvetin $f(t)$ ise kütleye çok uzun zaman boyunca etki ettiğini kabul ediyoruz.



Şekil 2.15. Dışarıdan tahrik edilen, yay ve mekanik direnç bağlı m kütlesi

Yeterince uzun bir zaman sonra, devir başına enerji girdisi, devir başına enerji kaybına eşit olduğunda, salınımın sabit genlikle sürdüğü bir kararlı hal durumuna varılır (Serway & Beichner, 2000). Şekil 2.15’deki sistemin, bir önceki bölümde sönümlü salınım için verilen diferansiyel denklem (2.5) yardımıyla hareket denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz: Denklemden w dış kuvvetin açısal frekansı, F ise bir sabittir.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + kx = F e^{j\omega t} \quad (2.6)$$

(2.6) numaralı diferansiyel denklemin çözümü iki bölümün toplamıdır. Birinci terim geçici yada kısa süreli terim (iki keyfi sabit içerir), ikincisi ise F ve w ye bağlı, keyfi

sabit içermeyen kararlı hal terimidir. Geçici terim F i sıfıra eşitlemekle bulunabilir. Bu durumda geriye kalan denklem bir önceki bölümde verilen sönümlü salınım denklemi (2.5) ile aynıdır ve çözümü verilmiştir. Yeterli bir zaman sonra sönümleme terimi $e^{-\beta t}$, çözümün bu bölümünü ihmal edilebilir yapmaktadır. Kalan kararlı hal terimidir ve açısal frekansı tahrik kuvvetinin açısal frekansı w dir. (2.6) numaralı diferansiyel denklemin çözümü kompleks yer değiştirme x i verecektir. Reel kısmı, gerçek yer değiştirmeye tekabül eder (Kinsler ve ark. 2000).

Fiziksel olarak kararlı durumda, salınıcının hareket sağlayan (tahrik eden) kuvvetle aynı frekansa sahip olması gerektiğini savunabiliriz (Serway & Beichner, 2000). Çözümün (yer değiştirme), uygulanan kuvvete benzer olacağı tahminiyle çözüm:

A: Kompleks sayı

$$x = Ae^{j\omega t}$$

$$(-\omega^2 mA + RAj\omega + Ak)e^{j\omega t} = Fe^{j\omega t}$$

Kompleks yer değiştirme (Kinsler ve ark. 2000):

$$x = \frac{1}{j\omega} \frac{Fe^{j\omega t}}{R + j(\omega m - k/\omega)} \quad (2.7)$$

Kompleks hızı bulmak için yukarıdaki denklemin zamana göre türevini alalım:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{Fe^{j\omega t}}{R + j(\omega m - k/\omega)} \quad (2.8)$$

Bu iki denklemi daha sade hale getirmek için kompleks mekanik giriş empedansı (Z_m) tanımlarsak:

$$Z_m = R + jX$$

Mekanik reaktans:

$$X = \omega m - k/\omega$$

Mekanik empedans ($Z_m = Ze^{j\theta}$) büyüklüğü:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right)^2}$$

Faz açısı:

$$\theta = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \left(\frac{\omega m - \frac{k}{\omega}}{R} \right)$$

Mekanik empedansın (Z_m) birimi, mekanik direnç (R) ile aynıdır ve birimi kuvvetin hıza bölümünü ifade eden N.s/m dir. (2.8) numaralı hız denkleminde:

$$v = \frac{f}{Z_m} \Rightarrow Z_m = \frac{f}{v} \quad (2.9)$$

(2.9) denklemini kompleks mekanik empedansa (Z_m) fiziksel bir anlam getirmektedir. Kompleks mekanik empedans (Z_m), kompleks tahrik kuvvetinin ($f = Fe^{j\omega t}$), ortaya çıkan kompleks hıza (v) oranı olmaktadır (Kinsler ve ark. 2000).

(2.7) numaralı denklemini aşağıdaki gibi de ifade edebiliriz:

$$v = j\omega x \Rightarrow x = \frac{f}{j\omega Z_m}$$

Dolayısıyla Z_m nin bilinmesi diferansiyel denklemini çözmektir.

(2.7) numaralı denklemin reel kısmı gerçek yer değiştirmeyi verir. Reel kısmı bulmak için Euler'in formülünü (Moskowitz, 2002) kullanacak olursak:

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta \Rightarrow Fe^{j\omega t} = F(\cos \omega t + j \sin \omega t)$$

$$x = \frac{1}{j\omega} \frac{Fe^{j\omega t}}{Z_m} \Rightarrow x = \frac{F \sin \omega t}{\omega Z_m} + j \frac{F \cos \omega t}{\omega Z_m}$$

θ başlangıç faz açısı olmak üzere:

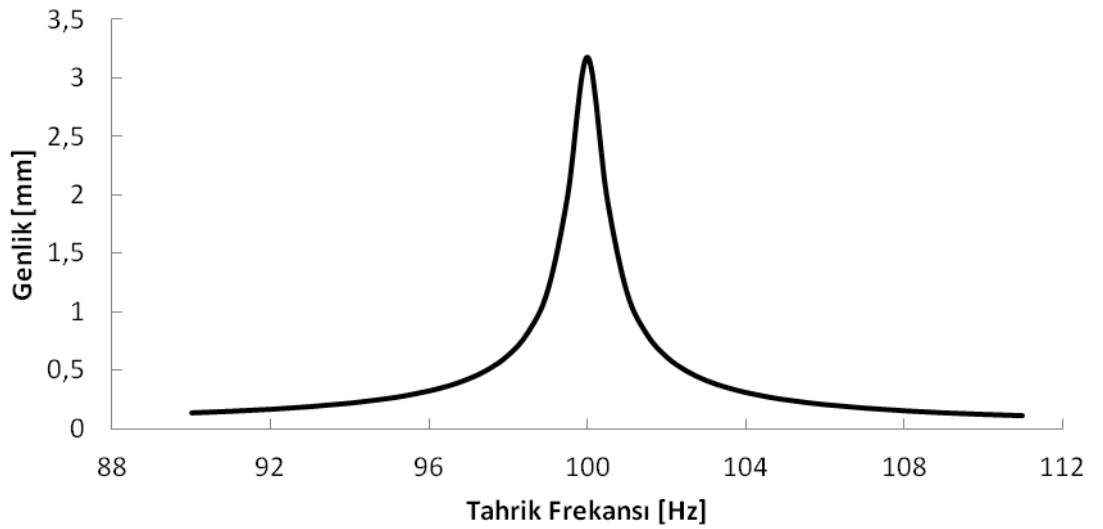
$$x = \left(\frac{F}{\omega Z} \right) \sin(\omega t - \theta) \quad (2.10)$$

(2.8) numaralı denklemden reel kısmı çekerek, yada (2.10) numaralı denklemin zamana göre türevini alırsak hız denklemini elde ederiz:

$$v = \frac{dx}{dt} = \left(\frac{F}{Z}\right) \cos(\omega t - \theta)$$

(2.10) numaralı denklem, zorlanmış salınıcının hareketinin sönümlü olmadığını gösterir, çünkü salınıcı bir dış kuvvet tarafından sürülmektedir. Yani, dış etken, direnç kuvvetlerinden kaynaklanan kayıpları yenmek için gerekli enerjiyi sağlar. Sistem, sürücü kuvvetin ω frekansıyla salınım yapmaktadır. Eğer sönümlenme küçük ise, sürücü kuvvetin frekansı doğal salınım frekansına yakın olduğu zaman genlik büyük değerler alır. Doğal frekans yakınında, genlikteki bu dramatik artışa rezonans ve ω_0 frekansına da bazen sistemin rezonans frekansı denir. Rezonans frekansındaki büyük genlikli salınımların sebebi, enerjinin sisteme en uygun şartlar altında aktarılıyor olmasıdır (Serway & Beichner, 2000). Başka bir ifadeyle rezonansın gerçekleştiği açısal frekans (ω_0), mekanik reaktansın (X) ortadan kaybolup, mekanik empedansın sadece reel olarak minimum değeri ile kaldığı $Z_m = R$ durumunda olur. Bu açısal frekansta sürücü kuvvet maksimum gücünü salınım elemanına aktarmaktadır. Buradaki ω_0 değeri, sönümlenme olmadan gerçekleşen salınım elemanının doğal açısal frekansıdır. Aynı zamanda bu değer (ω_0) maksimum hız genliğini de verir (Kinsler ve ark. 2000).

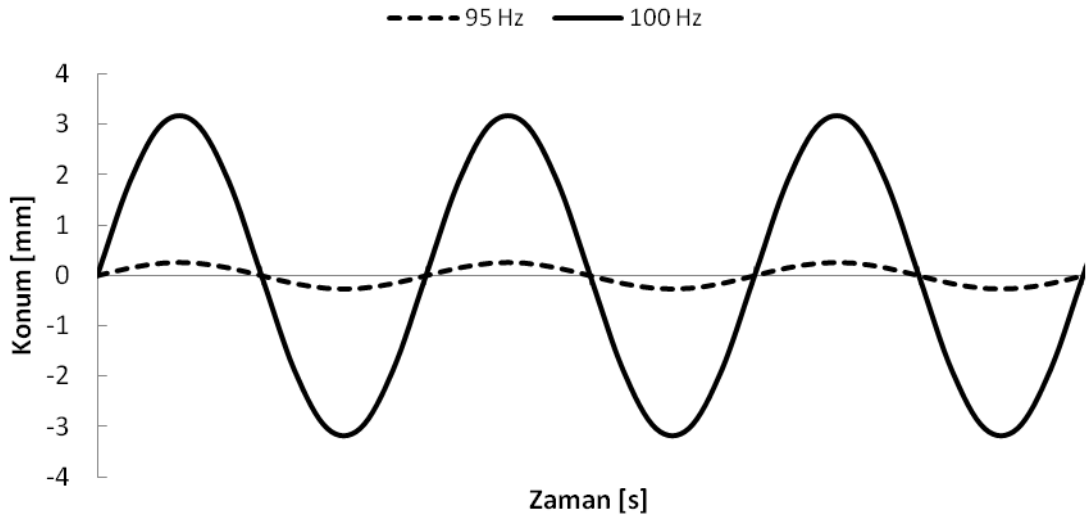
Şekil 2.16'da doğal frekansı 100 Hz olan, sönümlü zorlanmış salınım yapan bir sistemin, farklı frekanslarda tahrik edilmesi durumunda sistemin ulaştığı genlik değeri denklem (2.10) yardımıyla hesaplanmıştır. Burada $R = 0,5$ Ns/m, $m = 0,1$ kg, $F = 1$ N olarak seçilmiştir.



Şekil 2.16. Zorlanmış salınım yapan bir sistemin (sönümlü) tahrik frekansı ile genlik değeri arasındaki ilişki

Şekil 2.16’da görüldüğü üzere tahrik frekansı sistemin doğal frekansına çok yakın yada eşit olduğunda sistemin genlik değeri diğer frekanslardaki genlik değerlerine göre çok daha büyük bir değer almaktadır. Sistemde sönümlenme olmaması durumunda ise teorik olarak genlik sonsuz büyüklüğe gidecektir. Daima bir miktar sönüm bulunacağı için, bu sınırsız artış pratikte gerçekleşmez (Serway & Beichner, 2000).

Aşağıdaki grafikte ise (Şekil 2.17) aynı sistemin 95 Hz ve 100 Hz ile tahrik edilmesi sonucu, yeterince bir süre geçtiğinde (kararlı hal durumu), kütlenin zamana göre konumu verilmiştir. Konum değişimi denklem (2.10) yardımıyla hesaplanmıştır.



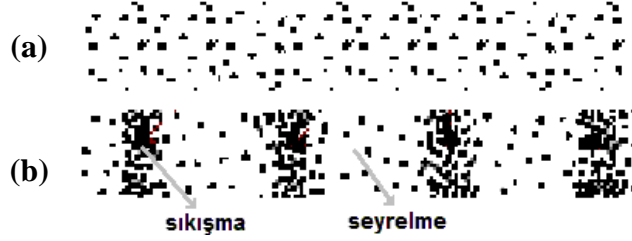
Şekil 2.17. Zorlanmış salınım yapan bir sistemin (sönümlü) farklı iki frekans değerinde zamana bağlı konum değişimi

Şekil 2.17’den de anlaşılacağı gibi, sistem doğal frekansı ile tahrik edildiğinde kütlenin salınım yaptığı mesafe çok daha büyük olmaktadır.

2.2.4. Sesin dalga denklemi

Ses, dalgalar halinde yayılan ve bir ortamda ilerleyen enerji çeşididir. Kaynağı titreşen bir cisim olan, ilerlediği ortamda sıkışma ve gevşeme noktaları yaratarak ilerleyen dalgalar bütününe ses dalgaları denir (Demirkale, 2007). Ses dalgalarının yayılabilmesi için maddesel ortama ihtiyaç vardır (Şekil 2.18a). Ses dalgasının her bir tam devrinde bir sıkışma ve bir seyrekleşme serisi vardır, bu durum ortam parçacıklarının ileri geri hareketine sebep olur. Dalganın ilerlemesi esnasında her parçacık salınım hareketi kendisine geldiğinde denge konumu etrafında kaynağın frekansı ile salınım yapmakta

ve hareketi kendisine komşu olan parçacığa aktarmaktadır (Dinçer & Yalçın, 2002). Bir dalga hareketinde ortam parçacıkları değil, dalganın enerjisi ilerler (Dinçer ve Yalçın 2002, Demirkale 2007). Parçacıklar, geçici olarak sıkışır ve seyrekleşir (Şekil 2.18b).



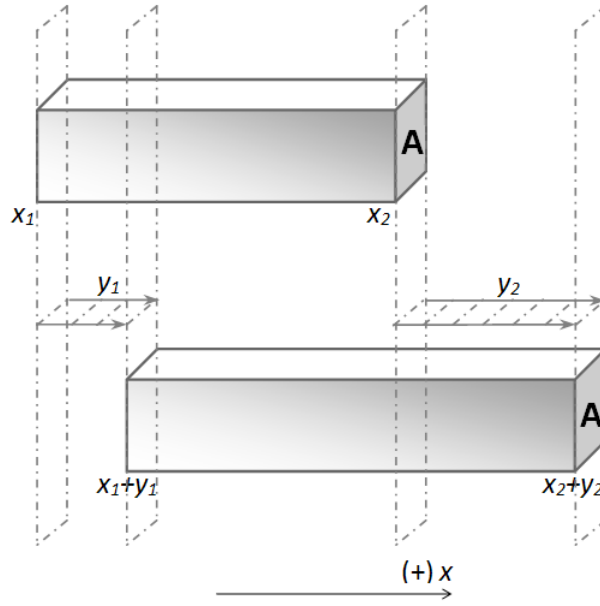
Şekil 2.18. Ortamı oluşturan parçacıkların geçici sıkışma ve seyrekleşmesi

Ses dalgaları ortamda yayılırken; ortamın parçacıkları, dalganın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişiklikleri üreterek ileri geri hareket ederler. Bu değişiklikler yüksek ve alçak basınç bölgelerinin oluşumuna yol açar (Serway & Beichner, 2000).

Aşağıdaki bölümlerde ilk olarak basıncın yer değiştirme ile olan ilişkisi verilecek, ardından Newton'un II. Kanunu uygulanarak sınırlı bölgedeki basınç değişimlerinin havaya ivme kazandırdığı ve böylece yer değiştirmenin meydana geldiği gösterilecektir.

Bir ortam içerisinde, ses dalga boyundan çok daha küçük x_1 ve x_2 noktaları arasında uzunluğu olan bir hacim elemanı alalım (Şekil 2.19). Ortamda ses dalgasının bulunmadığı anda bu elemanın hacmi (Wolfe, 2012):

$$V = A(x_2 - x_1)$$



Şekil 2.19. Ses dalgasının yayıldığı ortam içerisinde bulunan hacim elemanı

ρ : Yoğunluk

A : Kesit alan

m : Ağırlık:

$$m = \rho V = \rho A(x_2 - x_1) \quad (2.11)$$

y moleküllerin x eksenine doğrultusunda ortalama yer değiştirmesi olmak üzere t zaman sonra eleman hareket ederek $x_1 + y_1$ ve $x_2 + y_2$ konumuna gelecektir. Yeni hacim:

$$V + \delta V = A(x_2 + y_2 - x_1 - y_1)$$

$$\delta V = A(y_2 - y_1)$$

Young (germe) (Y) modülü aşağıdaki gibi tarif edilir (Sears ve ark. 2001):

$$Y = \frac{\text{germe zoru}}{\text{germe zorlanması}} = \frac{\text{sıkışma zoru}}{\text{sıkışma zorlanması}}$$

F : Uygulanan kuvvet

A : Kesit alan

l_0 : İlk boy

Δl : Boydaki uzama

$$Y = \frac{F_n/A}{\Delta l/l_0}$$

Bir ortam sıkıştırıldığında, basıncı artar(Wolfe, 2012). Basıncın artışı genellikle bir hacim azalmasına yol açar (Serway ve Beichner 2000, Sears ve ark. 2001). Basınç artışı (p) ve orantılı hacim azalma oranına hacimsel (bulk) elastik modül (κ) adı verilir (Serway ve Beichner 2000, Wolfe 2012). Sıkıştırılmaya karşı gösterilen direnci temsil eder (Sears ve ark. 2001):

$$\kappa = -\frac{p}{\delta V/V} \Rightarrow p = -\kappa \frac{\delta V}{V}$$

Burada $\delta V / V$ hacimdeki izafi değişmeyi göstermektedir (Sears ve ark. 2001). Bağıntıya konan (-) işareti δV den gelecek negatif işareti pozitif yapmak için konmaktadır (Serway ve Beichner 2000, Sears ve ark. 2001).

Dolayısıyla Şekil 2.19'da gösterildiği gibi hacim elemanımız yer değiştirdiği takdirde, eleman içindeki basınç:

$$p = -\kappa \frac{A(y_2 - y_1)}{A(x_2 - x_1)} \Rightarrow p = -\kappa \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$x_2 - x_1$, çok küçük olduğundan, limit durumunda:

$$p = -\kappa \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2.12)$$

Şimdi ise basınç değişimlerinin nasıl yer değiştirmelere sebebiyet verdiklerini inceleyelim; x_1 deki mutlak basınç $p_{atm} + p_1$ olsun (p_{atm} : atmosferik basınç). Bu durumda, bu basınç A alanına + x yönünde bir kuvvet uygular. Benzer şekilde x_2 noktasındaki mutlak basınç $p_{atm} + p_2$ ise A alanına + x yönünün tersine bir kuvvet etki eder. Net kuvvet:

$$F = A(p_{atm} + p_1) - A(p_{atm} + p_2) \Rightarrow F = A(p_1 - p_2)$$

Elemanımızın ortalama yer değiştirmesini y olarak alalım ($y_1 < y < y_2$). Newton'un II. hareket yasasını kullanarak, (2.11) numaralı denklemini yerine yazalım:

$$A(p_1 - p_2) = \rho A(x_2 - x_1) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\frac{p_2 - p_1}{x_2 - x_1} = -\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$x_2 - x_1$, çok küçük olduğundan, limit durumunda basınç değişimi ile yer değişimi arasındaki ilişki:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.13)$$

Denklem (2.12)'nin x e göre türevini alırsak ve denklem (2.13) te yerine yazarsak:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\kappa \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (2.14)$$

(2.14) numaralı diferansiyel denklem sesin dalga denklemidir. Denklemin bir czm ise aşağıda verilmiştir (Fowler 2007, Wolfe 2012):

$$y = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2.15)$$

Burada bazı tanımlamalar yapacak olursak; 1 saniyede f (frekans) kadar tekrar hareket olur. Bir hareket T (periyot) sürede geçer. 1 saniyede $\omega = 2\pi f$ kadar aı taranır, bunun sinüs değeri ve dalganın genliği (y_m : sabit denge konumu ($y = 0$) ile ortamın ulaştığı tepe noktası arasındaki mesafe farkı) ile carpımı parçacığın pozisyonunu verir.

λ : Dalga boyu; bir periyotluk sürede dalganın aldığı yoldur.

k : Dalga sayısı; 2π mesafedeki dalga boyu sayısıdır:

$$k = 2\pi/\lambda$$

λ mesafesi T sürede alınıyorsa, bir saniyede λ / T mesafesi alınır. Dolayısıyla ses hızı:

$$u = \lambda/T = w/k \quad (2.16)$$

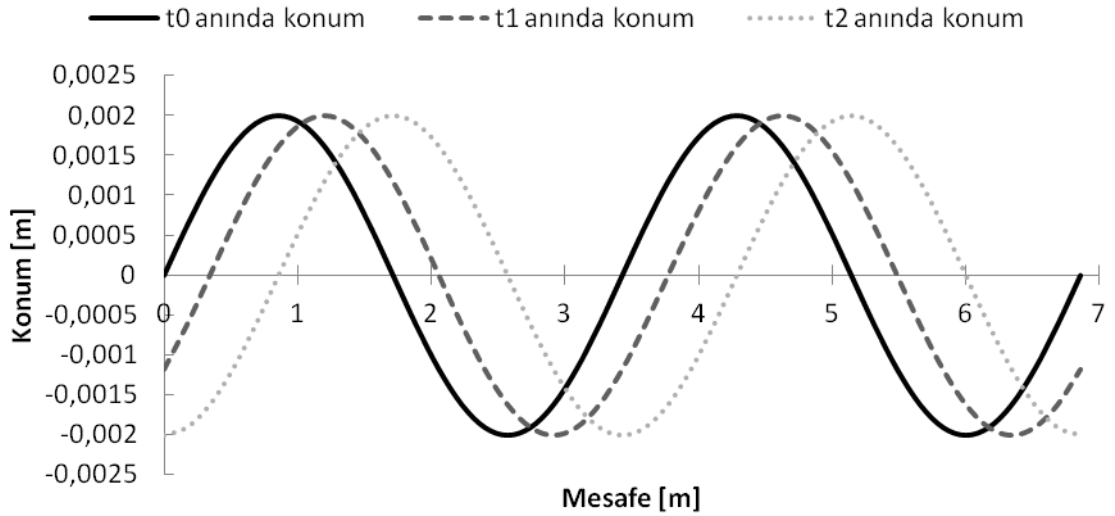
(2.14) numaralı diferansiyel denklemin çözümünden ayrıca aşağıdaki eşitlik elde edilir. (2.15) numaralı denklem (2.14) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilebilir:

$$\left(\frac{w}{k}\right)^2 = \left(\frac{\kappa}{\rho}\right) \quad (2.17)$$

Ses hızı dalgaya ait frekans, genlik ve dalga boyu gibi karakteristiklere bağlı değildir(Dinçer & Yalçın, 2002). (2.16) ve (2.17) numaralı denklemlere göre ses hızı aşağıdaki formda da yazılabilir:

$$u = \sqrt{\kappa/\rho} \quad (2.18)$$

Sesin bir ortamda ilerlemesini ele alalım. Bir kaynak tarafından, kaynağın bulunduğu ortamın tek bir frekansta titreştirildiğini (100 Hz) ve böylece sesin ilerlediğini tasavvur edelim. Bir müddet sonra bilinen bir (t) anında ortamı oluşturan, bir referans noktasına göre belirli mesafelerde bulunan ve ileri geri salınım yapan parçacıkların denge haline göre konumlarını (2.15) numaralı denklemi kullanarak hesaplayabiliriz. $t_0 = 0$, $t_1 = 0,001$, $t_2 = 0,0025$ saniye anlarındaki parçacıkların konumları, denklem (2.15)'e göre Şekil 2.20'deki gibi verilebilir. Dalganın genlik değeri (y_m) 2 mm seçilerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 2.20. Ortam parçacıklarının farklı t anlarındaki konumları

Şekil 2.20'ye bakıldığında parçacıkların aslında birbirlerine hareket ilettiği ve dolayısıyla yaptıkları salınım hareketi ile ses enerjinin taşınmasını sağladıkları söylenebilir.

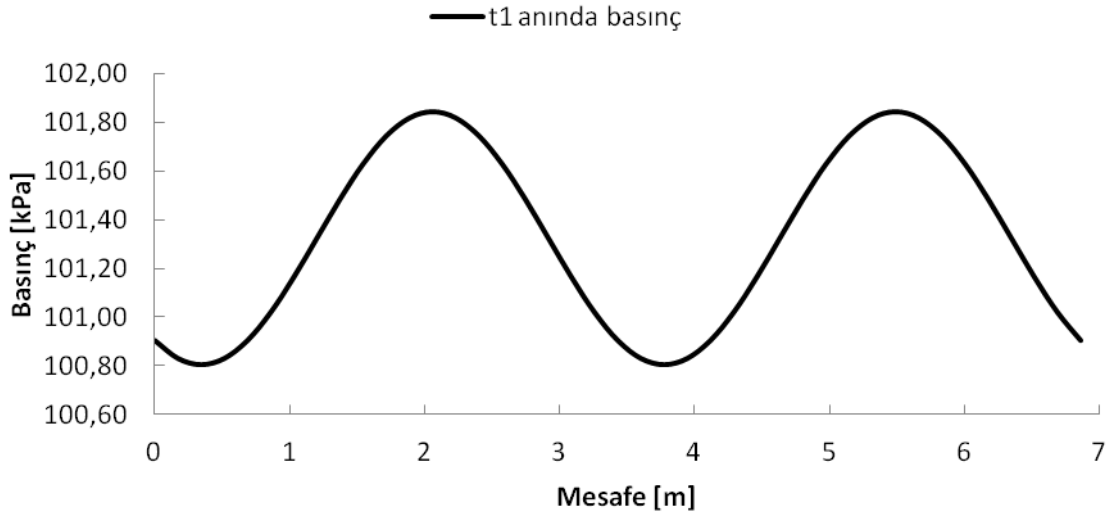
Ses bir ortamda ilerlerken aynı zamanda bulunduğu ortamda basınç değişiklikleri meydana gelir. Denklem (2.12)'de belirtildiği gibi, denklem (2.15)'in konuma göre kısmi türevini alırsak ve denklem (2.12)'de yerine yazarsak, zaman veya konuma bağlı basınç değişim ilişkisini çıkarabiliriz:

$$p = -\kappa \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = -\kappa y_m k \cos(kx - \omega t)$$

Yukarıdaki denklemin kosinüslü teriminin başındaki ifadeleri basınç genliği (p_0) olarak nitelendirebiliriz(Dinçer & Yalçın, 2002):

$$p_0 = \kappa y_m k \quad (2.19)$$

Havanın hacimsel elastik modülü $\kappa = 142000$ Pa, atmosfer basıncı $p_{\text{atm}} = 101325$ Pa, diğer değişkenleri ise Şekil 2.20'nin çizilmesinde seçilen değişkenler gibi alırsak, $t_1 = 0,001$ s anında mesafeye bağlı basınç değerleri Şekil 2.21'deki gibi olur.

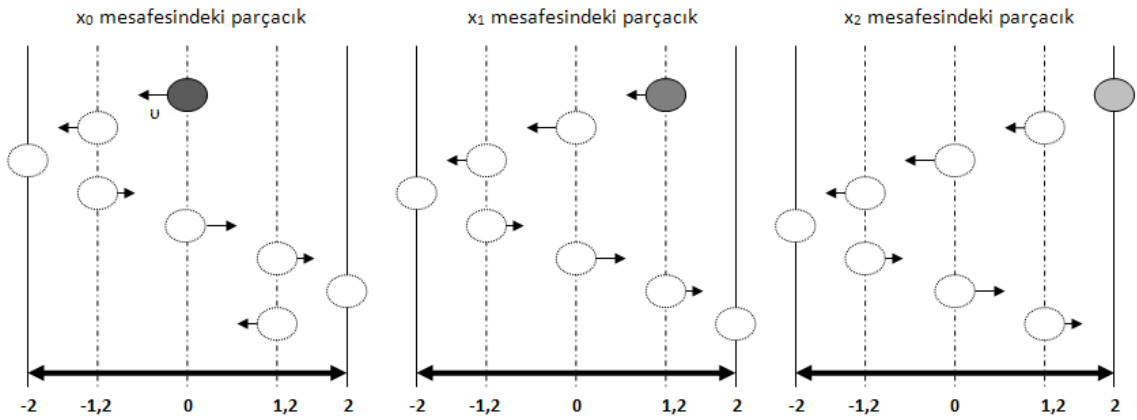


Şekil 2.21. Havada ortamında ses yayılırken t_1 anında mesafeye bağlı basınç değerleri

Basıncın maksimum olduğu mesafede parçacıklar lokal olarak çok yaklaşmıştır. Dolayısıyla bu mesafede belirtilen zamanda hava yoğunluğu da maksimumdur.

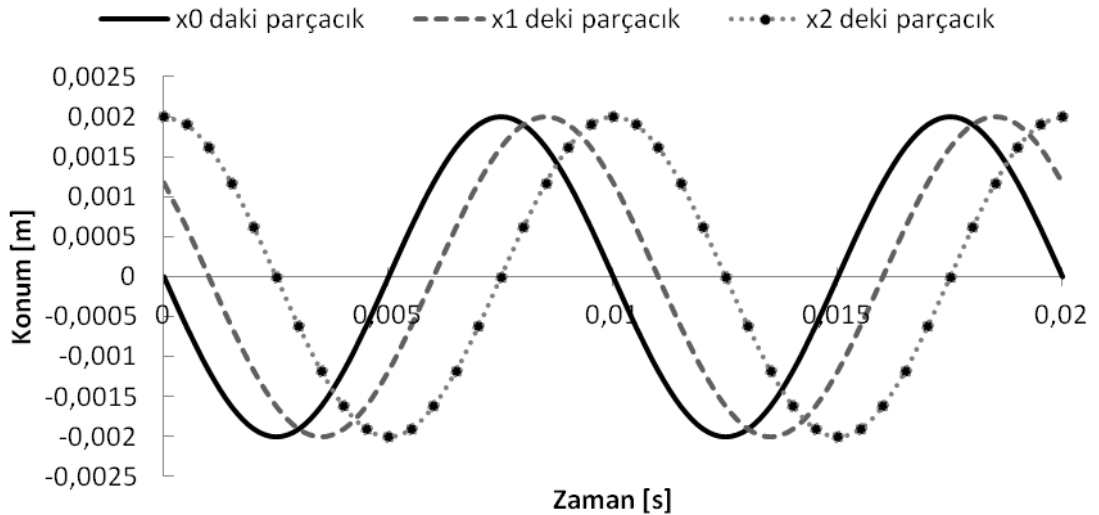
Basıncın minimum olduğu mesafede ise parçacıklar lokal olarak birbirinden uzaktır. Bu mesafede ise belirtilen zamanda hava yoğunluğu minimumdur (Wolfe, 2012).

Şekil 2.22’de $x_0 = 0$, $x_1 = 0,343$, $x_2 = 0,8575$ metre mesafelerinde bulunduğu varsayılan parçacıkların temsili salınım hareketleri verilmiştir. Ses dalgasını adeta taşıyan parçacıklar boyuna salınım hareketi yapmakta ve bu hareket denge konumundan ($y = 0$) ayrıldıktan sonra genlik değeri ile sınırlı kalmaktadır.



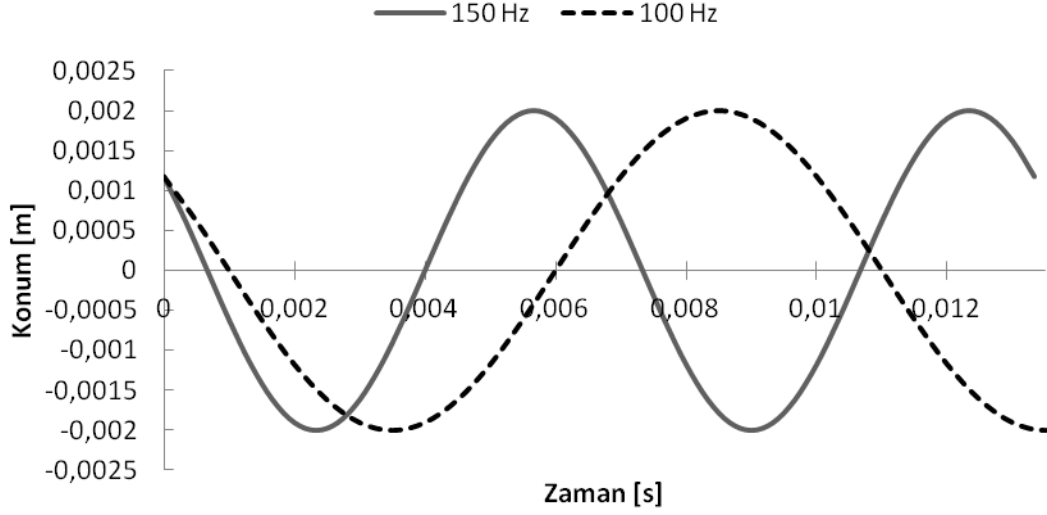
Şekil 2.22. Ortamı oluşturan bazı parçacıkların temsili salınım hareketleri

Şekil 2.23’de $x_0 = 0$, $x_1 = 0,343$, $x_2 = 0,8575$ metre mesafelerinde bulunduğu varsayılan parçacıkların zamana bağlı konum eğrileri verilmiştir. Parçacıkların 100 Hz frekansında salınım yaptığı ve genlik değerinin ise 2 mm olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 2.23. Ortamı oluşturan bazı parçacıkların zamana bağlı konum değişimleri

Şekil 2.24'te 2 mm genlik değerinin yaklaşık $y \approx 1,2$ mm konumlarında harekete başladığını varsaydığımız iki parçacık olsun. bunlardan birincisi 100 Hz, ikincisi ise 150 Hz ile salınım yapacak olursa aşağıdaki konum zaman grafiğini elde ederiz.

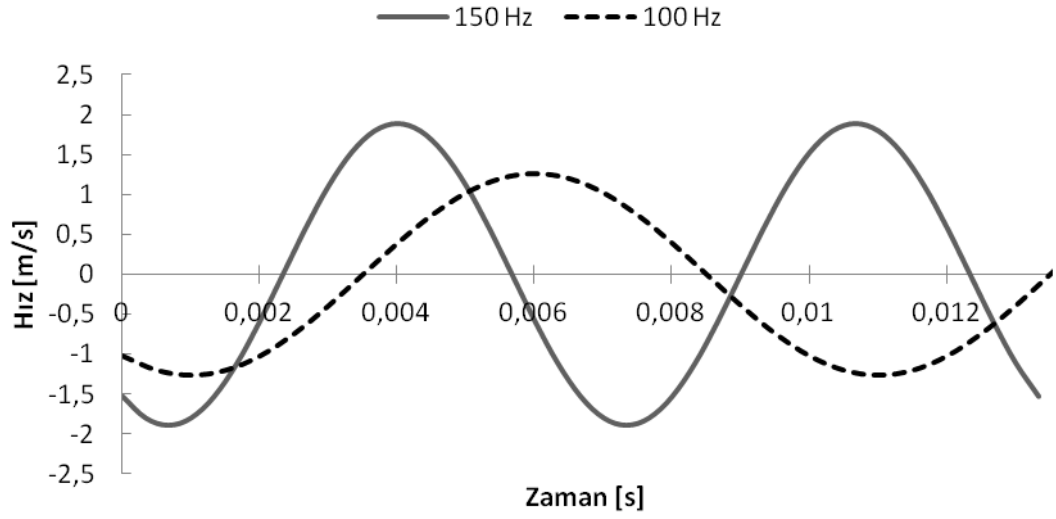


Şekil 2.24. Aynı ilk konumda, farklı frekanslarda salınım yapan parçacıkların zamana bağlı konum değişimleri

Şekil 2.24 incelendiğinde daha yüksek frekansta (150 Hz) salınım yapan parçacığın daha kısa zamanda maksimum konumuna (y_m) geldiğini görmekteyiz. Dolayısıyla 150 Hz'de salınım yapan parçacığın 100 Hz'de salınım yapan parçacığa nazaran daha hızlı olması gerekmektedir. Bu iki parçacığın hızlarını incelemek istersek denklem (2.15)'in zamana göre kısmi türevini alarak elde edilebilecek hız denkleminin kullanılması gerekecektir:

$$v = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -y_m \omega \cos(kx - \omega t) \quad (2.20)$$

Şekil 2.25'te 2 mm genlik değerinin yaklaşık $y \approx 1,2$ mm konumlarında harekete başladığını varsaydığımız, konum zaman grafikleri Şekil 2.24'te verilen, 100 ve 150 Hz frekans değerlerinde salınım yapan iki parçacığın zamana bağlı hız değişimleri gösterilmiştir. Hesaplamalar (2.20) numaralı denklem kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.25. Aynı ilk konumda, farklı frekanslarda salınım yapan parçacıkların zamana bağlı hız değişimleri

Şekil 2.25 incelendiğinde daha yüksek frekansta (150 Hz) salınım yapan parçacığın ulaştığı maksimum hızın daha yüksek olduğu görülmekte, ayrıca bu maksimum değere daha kısa sürede ulaştığı dikkat çekmektedir.

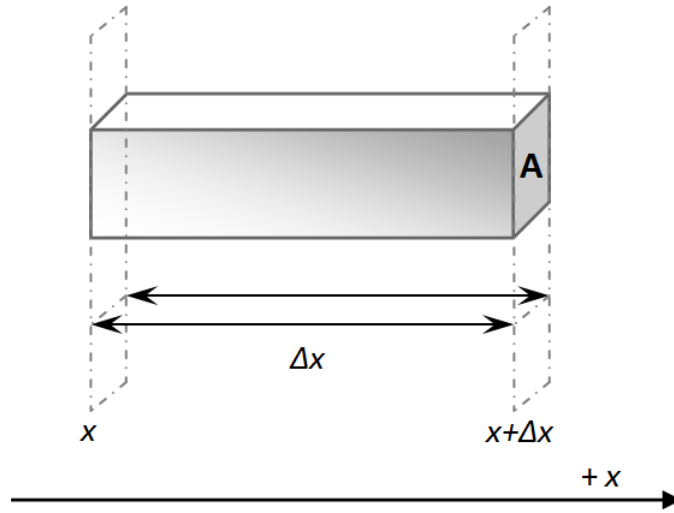
2.2.5. Ses dalgasının şiddet seviyesi

Esnek bir ortam içerisinde yayılan ses dalgası enerji taşır. Dalganın yayılma doğrultusuna dik, birim yüzeyden saniyede geçen enerjiye dalganın şiddeti denir (Dinçer & Yalçın, 2002). Dalganın geçtiği hacim elemanı içerisinde bulunan ve kütlesi m olan bir parçacığın titreşimi basit harmonik olup, bunun enerjisi (Dinçer & Yalçın, 2002):

$$E_1 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv_{maks}^2 = \frac{1}{2}my_m^2\omega^2$$

Bu değer ortamda sönümlenme yoksa değişmez bir sabit enerjidir. Kinetik ve potansiyel enerji toplamı sabit bir değer alır.

Şekil 2.26'da dalganın ilerlediği ortam içerisinde bulunduğu mesafe x , kesiti A , kalınlığı Δx olan bir hacim elemanı görülmektedir. Ortamın yoğunluğu ρ , dalganın yayılma hızı u olup doğrultusu kesite diktir (Dinçer & Yalçın, 2002).



Şekil 2.26. Ses dalgasının ilerlediği ortam içerisinde bulunan hacim elemanı

Hacim elemanı içerisinde bulunan parçacık sayısını bulmak istersek:

n : Hacim elemanı içinde bulunan parçacık sayısı

$\sum m$: Hacim elemanı kütlesi

V : Elemanın hacmi

$$V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow A\Delta x = \frac{\sum m}{\rho}$$

$$\sum m = mn \Rightarrow n = \frac{A\Delta x\rho}{m}$$

Parçacıkların toplam enerjisi(Dinçer & Yalçın, 2002):

$$E = nE_1 = \frac{1}{2}\rho\Delta xAy_m^2w^2$$

Enerji A kesitinden $\Delta t = \Delta x / u$ zamanda geçmiştir. A yüzeyinden saniyede geçen enerji (güç) (enerji aktarma hızı)(Dinçer & Yalçın, 2002):

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho uAy_m^2w^2$$

Birim yüzeyden saniyede geçen enerji (şiddet) (Dinçer & Yalçın, 2002):

$$I = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho u y_m^2 \omega^2 \quad (2.21)$$

Şiddet birimi [W/m^2] dir. Yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi şiddet (I), genlik ve açısal frekansın karesi ve hızın kendisi ile orantılıdır(Dinçer & Yalçın, 2002).

Dalganın şiddetini basınç genliği (p_0) cinsinden bulmak istersek (2.16), (2.18) ve (2.19) numaralı denklemleri (2.21) numaralı denklemde yerlerine yazarsak (Dinçer ve Yalçın 2002, Wolfe 2012):

$$I = \frac{p_0^2}{2\rho u}$$

Weber-Fechner Kanunu (1860) duyumsal yanıtın matematiksel tanımlaması olarak kabul edilir. Bir çok sayıda duyumsal sistem ve bunların özel uyarıcıları; ses, ışık, koku, tat uyarıcı unsurları bu kanuna göre modellenebilir. Bu kanuna göre; uyarıcı unsur şiddetinin fark edilmesi, orijinal uyarıcı unsur büyüklüğü ile orantılıdır. Duyumun eşit bir miktarda artması ile uyarıcının eşit miktarda logaritmik artışı birbiriyle ilişkilidir(Lanzara, 1994). Bu sebeple ses dalgaları için daha çok şiddet seviyesinden (ses şiddet düzeyi(Demirkale, 2007)) bahsedilir(Dinçer & Yalçın, 2002):

I_0 : 1000 Hz frekansta insan kulağının duyma alt sınır şiddeti ($10^{-12} W/m^2$)

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.22)$$

Şiddet seviyesi boyutsuz bir büyüklük olmasına rağmen “Graham Bell” anısına desibel (dB) birimi verilmiştir (Dinçer & Yalçın, 2002). Bazı kaynakların ses şiddet seviyeleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Buna göre 80 dB ses şiddet seviyesi bulunan yoğun trafik koşullarında (Çizelge 2.1), sesin şiddeti denklem (2.22)’ye göre $I = 10^{-4} W/m^2$ dir.

Çizelge 2.1. Bazı kaynakların ses şiddet seviyeleri [dB] (Dinçer ve Yalçın 2002’den değiştirilerek alınmıştır)

Ses Kaynağı	Ses Şiddet Seviyesi	Ses Kaynağı	Ses Şiddet Seviyesi
Jet uçağı	150	Normal konuşma	50
Rock konseri	120	Fısıltı	30
Taş kırma aleti	100	Yaprak hışırtısı	10
Yoğun trafik	80		
Elektrik süpürgesi	70		

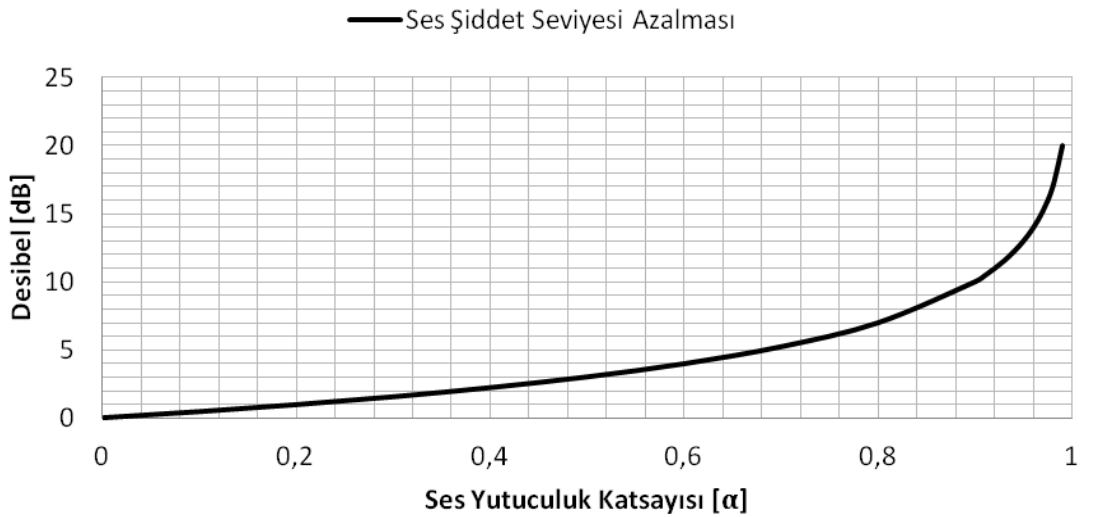
Ses yutuculuk katsayısı (α) ses enerjisinin yutulan yada yansıtılmayan oranıdır (Genis ve ark. 1990b, Coates ve Kierzkowski 2002, Lee ve Joo 2003, Demirkale 2007, Na ve ark. 2007). Bir gürültü kaynağından yayılan sesin, arka tarafına ses geçirmesi ihmal edilen kalın, üzeri ses yutucu malzeme kaplı bir duvara geldiğini düşünelim. Ses yutucu malzemenin yutuculuk katsayısına bağlı olarak geriye yansıyan sesin enerjisinde bir azalma olacaktır. Bu azalmayı desibel cinsinden hesaplamak istersek ve azalmaya ses şiddet seviyesi azalması (SA) dersek:

$$SA = 10 \log \frac{I}{I_0} - 10 \log \frac{I(1-\alpha)}{I_0}$$

$$\Rightarrow 10 \log \frac{I}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} + \log \frac{1-\alpha}{I_0}$$

$$SA = \log \frac{1-\alpha}{I_0} \quad (2.23)$$

Yukarıda çıkarılan ilişkiye göre, gelen sesin ses şiddet seviyesinden bağımsız, sadece ses yutucu malzemenin, ses yutuculuk katsayısına bağlı olarak gelen sesin enerjisi azalmaktadır. Malzemenin ses yutuculuk katsayısı ve yansıyan sesin şiddet seviyesindeki azalma miktarı denklem (2.23) yardımıyla hesaplanmış ve Şekil 2.27’de gösterilmiştir.

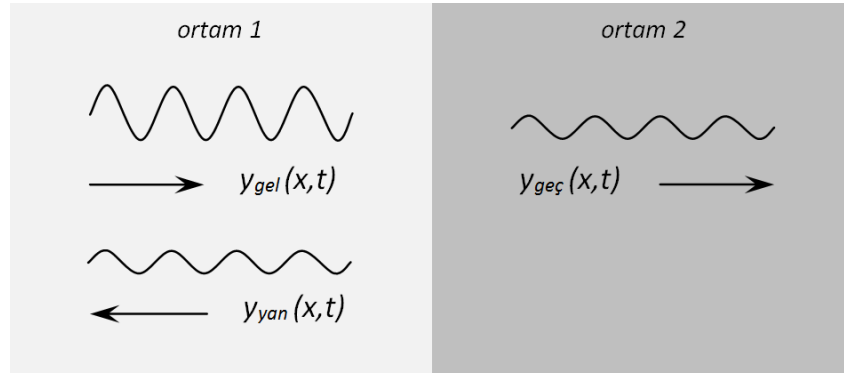


Şekil 2.27. Ses yutuculuk katsayısı ile ses şiddet seviyesi arasındaki ilişki

Denklem (2.23)'de ses yutuculuk katsayısının $\alpha = 1$ alınması durumunda logaritma tanımsız olacağından Şekil 2.27'nin çiziminde en büyük ses yutuculuk katsayısı $\alpha = 0,99$ alınmıştır. Bu yutuculuk değerinde 20 dB ses şiddet seviyesi azalması sağlanmaktadır. Ses yutuculuk katsayısının $\alpha = 0,9$ olması durumunda ise 10 dB ses şiddet seviyesi azalması sağlanmaktadır.

2.2.6. Duran dalgalar

Homojen bir ortam içerisinde ilerleyen boyuna düzlem dalga, yayılma doğrultusuna dik bir yüzeyle ayrılan ikinci bir ortama rastladığında, dalganın bir kısmı aynı ortam içerisinde geldiği doğrultuda geri yansır, kalan kısmı da yine aynı doğrultuda ikinci ortama kırılmadan geçer (Dinçer & Yalçın, 2002) (Şekil 2.28).



Şekil 2.28. Boyuna düzlem dalganın başka bir ortamla karşılaşması sonucu davranışı

İki yada daha fazla ilerleyen dalga bir ortam içinde hareket ediyorsa, herhangi bir noktadaki bileşke dalga, bireysel dalga fonksiyonlarının toplamıdır. Uzayın aynı bölgesinde, bir bileşke dalga oluşturmak üzere, farklı dalgaların birleşmesine girişim adı verilir(Serway & Beichner, 2000). İlerleyen dalga yayılma doğrultusuna dik bir düzlemden yansıdığına, düzleme gelen ve düzlemden yansıyan dalgalar girişim yaparak duran dalga (standing wave (Wolfe, 2012)) oluştururlar. Dalganın yolu üzerindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirme gelen dalga ile yansıyan dalgaya ait yer değiştirmelerin toplamından oluşur. Buna göre (Dinçer & Yalçın, 2002):

$$y(x, t) = y_{gel}(x, t) + y_{yan}(x, t)$$

Gelen dalganın tamamının geri yansıdığı varsaydığımız ikinci bir ortam düşünelim. İkinci ortamın karakteristik akustik empedansı, birinci ortama göre çok büyük olduğu zaman tam yansıma gerçekleşir $Z_2 \gg Z_1$ (Dinçer & Yalçın, 2002). Bu durumda birinci ortamda gelen ve yansıyan dalgaların genlikleri eşit olur. Gelen dalga, yansıma yaptığı düzleme dik olan eksene göre, ters çevrilmiş gibi geri dönerek yansıyan dalga olur. Bu iki dalganın girişiminden, birinci ortamdaki dalga denklemini (2.15) numaralı denklem yardımıyla aşağıdaki yazabiliriz (Serway ve Beichner 2000, Sears ve ark. 2001, Wolfe 2012):

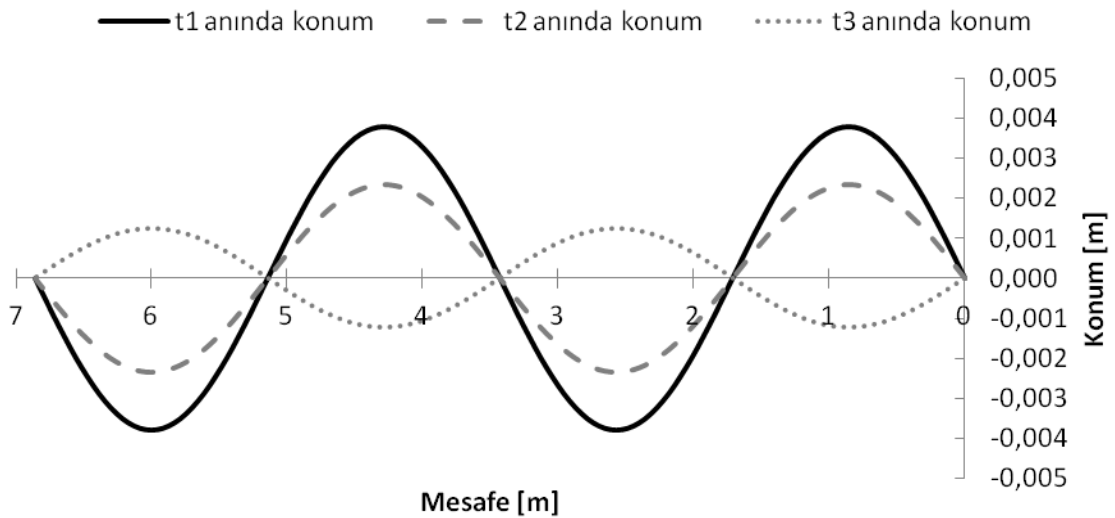
$$y = y_m \sin(kx - wt) + y_m \sin(kx + wt)$$

Trigonometrik eşitliklerden faydalanarak yukarıdaki denklemi düzenlersek:

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b \Rightarrow a = kx, \quad b = wt$$

$$y = 2y_m \sin kx \cos wt \quad (2.24)$$

(2.24) numaralı denklem duran dalga denklemdir. Duran dalganın en ilginç özelliği genlik değerinin sabit olmayıp mesafeye bağlı olarak değişmesidir. Şekil 2.29'da, (2.24) numaralı denklem kullanılarak $t_1 = 0,005$, $t_2 = 0,0015$, $t_3 = 0,003$ saniye anlarında dalganın (enerjinin) mesafeye bağlı konumları verilmiştir. Dalganın genlik değeri (y_m) 2 mm, frekansı ise 100 Hz seçilerek hesaplamalar yapılmış, dalganın yansıdığı düzlemin bulunduğu yer $x = 0$ olarak seçilmiştir.



Şekil 2.29. Duran dalganın farklı t anlarında mesafeye bağlı konum değişimi

Şekil 2.29’da görüldüğü üzere parçacıkların ulaştıkları maksimum yer değiştirme, buldukları mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Örneğin 0,8575 metre mesafesindeki parçacık denge konumuna göre, genlik değerinin iki katı olan 4 mm yer değiştirme yapmaktadır. Bu maksimum yer değiştirme, denklem (2.24) incelenirse “ $\sin kx$ ” terimini 1 yada -1’e eşitleyen x mesafelerinde görülmektedir:

$$\sin kx = 1 \implies kx = \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$$

$$\sin kx = -1 \implies kx = \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{2}, \dots$$

$$x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \frac{7\lambda}{4}, \dots$$

Dalganın yukarıdaki x mesafelerine karın noktaları denir (Sears ve ark. 2001, Dinçer ve Yalçın 2002).

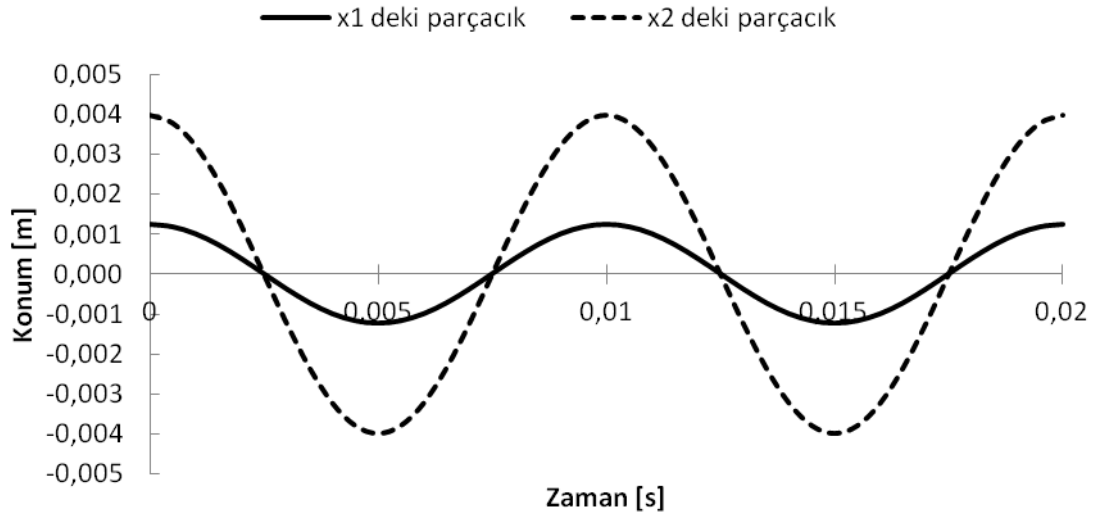
Şekil 2.29 incelendiğinde bazı x mesafelerinde bulunan parçacıklar hiç hareket etmemekte yani genlik değerleri sıfır olmaktadır. Örneğin 1,715 metre mesafesindeki parçacık denge konumunda kalmakta teorik olarak hiç hareket etmemektedir. Bu sabit hal ancak denklem (2.24)’deki “ $\sin kx$ ” terimini 0’a eşitleyen x mesafelerinde görülmektedir:

$$\sin kx = 0 \implies kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$$

$$x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, 2\lambda, \dots$$

Genliğin sıfır olduğu bu x mesafelerine duran (kararlı) dalganın düğüm noktaları denir (Sears ve ark. 2001, Dinçer ve Yalçın 2002).

Şekil 2.30’da $x_1 = 0,1715$, $x_2 = 0,8575$ metre mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı konum eğrileri verilmiştir. Parçacıkların 100 Hz frekansında salınım yaptığı ve genlik değerinin ise 2 mm olduğu kabulü yapılmıştır.



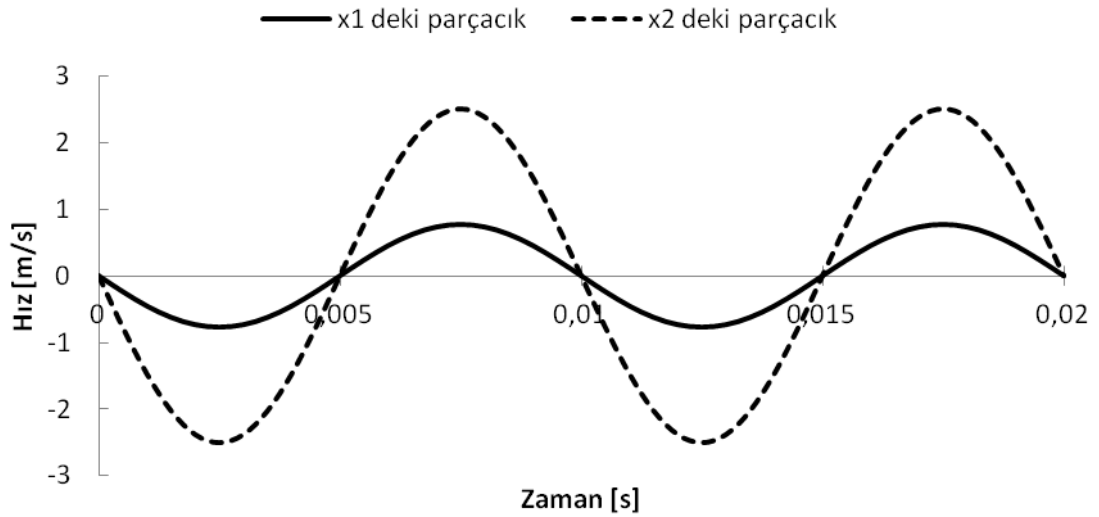
Şekil 2.30. Farklı x mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı konum değişimi

Şekil 2.30'da görüldüğü gibi x_1 mesafesindeki parçacık denge konumuna göre en fazla 0,0012 metre yer değiştirebilirken, x_2 mesafesindeki parçacık aynı sürede denge konumuna göre 0,0040 metre yer değiştirebilmektedir.

Farklı mesafelerde bulunan bu iki parçacığın hızlarını incelemek istersek, denklem (2.24)'ün zamana göre kısmi türevini alarak elde edilebilecek hız denkleminin kullanılması gerekecektir:

$$v = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -2y_m w \sin kx \sin wt \quad (2.25)$$

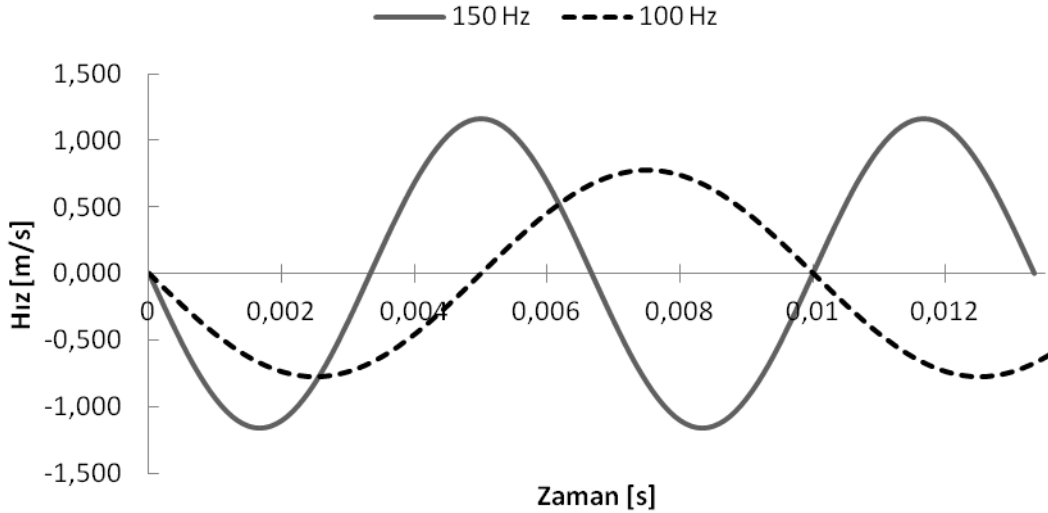
Denklem (2.25) kullanılarak, Şekil 2.31'de $x_1 = 0,1715$, $x_2 = 0,8575$ metre mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı hız eğrileri verilmiştir. Parçacıkların 100 Hz frekansında salınım yaptığı ve genlik değerinin ise 2 mm olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 2.31. Farklı x mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı hız değişimi

Beklendiği üzere daha fazla yer değiştiren x_2 mesafesindeki parçacığının hızının büyüklüğü her an için x_1 mesafesindeki parçacıktan fazla olmaktadır (düğüm noktaları hariç).

Şekil 2.32’de 100 ve 150 Hz frekans değerlerinde salınım yapan, $\lambda / 20$ mesafelerinde bulunan iki parçacığın zamana bağlı hız değişimleri gösterilmiştir Genlik değeri 2 mm seçilmiştir.



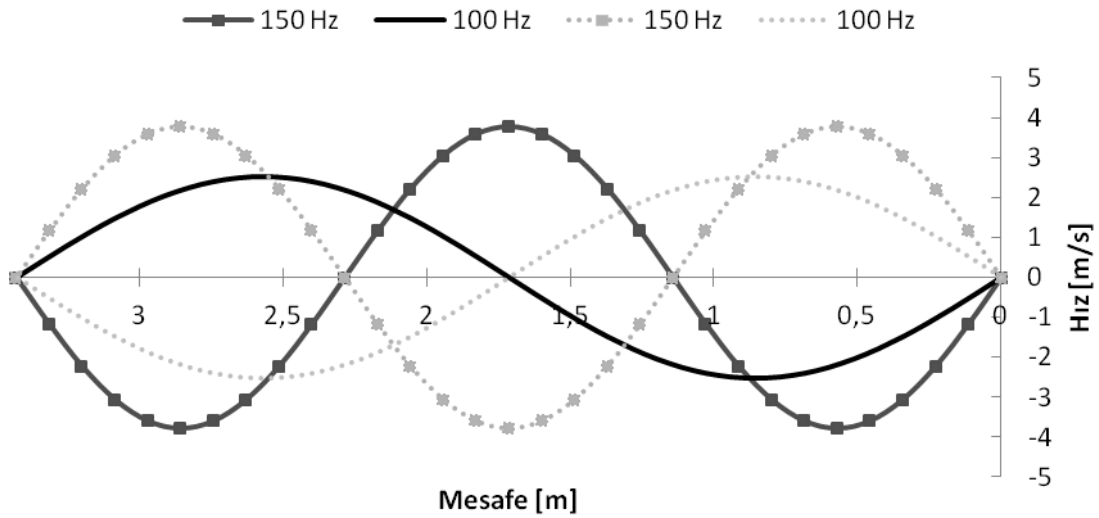
Şekil 2.32. Farklı frekans değerlerinde salınım yapan, $\lambda / 20$ mesafelerinde bulunan parçacıkların zamana bağlı hız değişimi

Şekil 2.32 incelendiğinde daha yüksek frekansta (150 Hz) salınım yapan parçacığın, 100 Hz’de salınım yapan parçacıkla aynı genlik değerine sahip olmasına rağmen, ulaştığı maksimum hızın daha yüksek olduğu görülmekte, ayrıca bu maksimum değere daha kısa sürede ulaştığı dikkat çekmektedir. Dalga boyuna göre eşlenik olan diğer mesafelerdeki parçacıklarda incelendiğinde (n değişken; λ / n) düğüm noktaları hariç yüksek frekansta salınım yapan parçacık daha yüksek maksimum hız değerlerine ulaşmaktadır.

Partikül hızlarının yol boyunca ulaştıkları maksimum hızları hesaplayalım. Bunun için parçacıkların maksimum hızlarına ulaştıkları zaman (t) değerlerini bulmamız gerekir. Denklem (2.25)’deki “ $\sin \omega t$ ” terimini 1 yada -1’e eşitleyen t anları, parçacıkların hızının maksimuma ulaştığı anlardır:

$$\begin{aligned} \sin \omega t = 1 &\Rightarrow \omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots \\ \sin \omega t = -1 &\Rightarrow \omega t = \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{2}, \dots \\ t &= \frac{1}{4f}, \frac{3}{4f}, \dots \end{aligned}$$

Parçacık hızlarının maksimum olduğu zamanları denklem (2.25)’de yerine yazarsak, genlik değerini daha önceki örneklerde olduğu gibi 2 mm kabul edersek, farklı frekanslarda parçacık hızlarının yol boyunca ulaştıkları maksimum hızları Şekil 2.33’deki gibi verebiliriz.



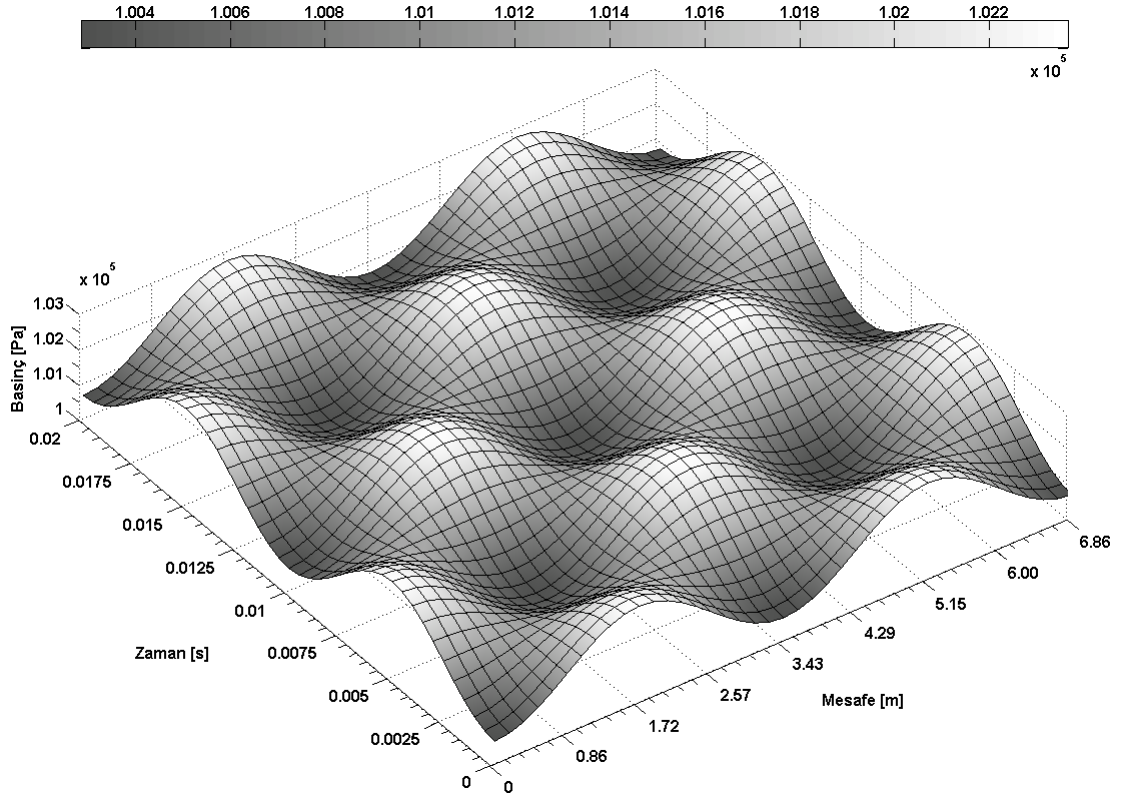
Şekil 2.33. Farklı frekanslar değerlerinde salınım yapan parçacıkların mesafeye bağlı ulaştıkları maksimum hızlar

Dalganın yansıdığı düzlem referans alınarak farklı frekanslarda salınım yapan parçacıkların hızları incelenirse, daha yüksek frekansta (150 Hz) salınım yapan belirli mesafedeki parçacıkların ulaştıkları maksimum hız değerleri, daha düşük frekansta (100 Hz) salınım yapan, referans düzleme göre aynı mesafede bulunan parçacıkların ulaştıkları maksimum hız değerlerinden küçüktür.

Sesin bir ortamda ilerlerken aynı zamanda bulunduğu ortamda basınç değişiklikleri meydana getirdiğinden daha önce bahsedilmişti. Duran dalgaların basınç ilişkilerini çıkarmak istersek, denklem (2.24)'ün konuma göre kısmi türevini alır, denklem (2.12)'de yerine yazarsak, zaman veya mesafeye bağlı basınç değişim ilişkisini çıkarabiliriz:

$$p = -\kappa \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} = -2\kappa y_m k \cos kx \cos \omega t$$

Havanın hacimsel elastik modülü $\kappa = 142000$ Pa, atmosfer basıncı $p_{\text{atm}} = 101325$ Pa, genlik değerini 2 mm, frekansı 100 Hz alırsak, mesafeye ve zamana bağlı basınç değerleri Şekil 2.34'deki gibi olur.



Şekil 2.34. Duran dalgaların zamana ve mesafeye bağlı basınç değişimi

Bir düğüm noktasında basıncın ortalama değere nazaran değişme miktarı en büyük olduğu halde karın noktasında hiç bir basınç değişikliği olmaz. Düğüm noktasının iki yanında bulunan iki parçacığın zıt fazda salınım yaptıkları göz önüne alınırsa, birbirlerine yaklaşınca düğüm noktasındaki basınç maksimum, birbirlerinden uzaklaşınca da bu basınç minimum olur. Buna karşılık karın noktası civarındaki parçacıklar aynı fazda salınım yaptıkları için bu noktada bir basınç değişikliğine sebep olmazlar (Sears ve ark. 2001). Basıncın maksimum olduğu mesafede parçacıklar lokal olarak çok yakınlaşmıştır. Dolayısıyla bu mesafede belirtilen zamanda hava yoğunluğu da maksimumdur. Basıncın minimum olduğu mesafede ise parçacıklar lokal olarak birbirinden uzaktır. Bu mesafede ise belirtilen zamanda hava yoğunluğu minimumdur (Wolfe, 2012).

2.3. Sesin Lifli-Gözenekli Malzemelerle Kontrolü

Kapalı ortamlarda yada hacimlerde varolan sesin iyi anlaşılabilmesini sağlamak bu iç mekanların akustik tasarımında ana hedefdir. Bu amaçla, arka plan sesinin veya gürültüsünün, gürültü kontrol yöntemleri ile kabul edilebilir düzeye indirilmesinin yanı

sıra, hacimde homojen ve yaygın ses alanı oluşturulması gereklidir. Uygulanan yöntemlerle ses enerjisi fazlası, ses yutucu elemanlar kullanılarak yutulur ve ortamdan alınır. Bu amaçla tasarlanmış olan ve ses yutucu elemanlar olarak tanımlanan yüzey ve yapıların kullanılması, hacim akustiğinde ses enerjisini kontrol etmek amacı ile uygulanan bir yöntemdir (Demirkale, 2007).

Bunun yanı sıra, hacimlerde bulunan kaynakların, bu hacimdeki işlevi olumsuz yönde etkileyebilecek sesini veya gürültüsünü kontrol etmek amacı ile de bu tip elemanlardan sıklıkla yararlanılmaktadır (Demirkale, 2007). Sesin ortama yayılmasını engellemek için gürültüye sebep olan kaynağın üzerinde yalıtım işlemleri yapılarak yada akustik enerjinin bir noktadan diğer bir noktaya ilerlerken izlediği yörünge üzerine bariyerler yerleştirilerek bu sağlanabilir. Bariyer malzeme olarak cam, kontrplak, alçı panel, plastik bölme, metal levha, tuğla duvar gibi örnekler verilebilir. Bu malzemeler sesin diğer ortama yayılmasını rijit yapılarıyla çok büyük oranda gelen sesi geldiği ortama yansıtarak engelleyebilirler, bu durum sesin geldiği ortamda etrafa geri yayılmasına ve ses kirliliğine sebep olmaktadır. Dolayısıyla inşaat ve otomotiv endüstrileri için bariyer malzemeler gürültünün engellenmesi açısından kesin bir çözüm olamamaktadır. Ses yutuculuk açısından inceleyecek olursak, bariyer malzemeler uzun dalga boyundaki ses dalgaların bir miktarını yutabilirler, bunun yanında yüksek frekanstaki sesi yutma özellikleri düşüktür (Na ve ark. 2007). Bu malzemeler aynı zamanda çoğunlukla ağır ve pahalıdırlar (Tascan & Vaughn, 2008b). Ses yutucu malzeme olarak, gözenekli ve lifli malzemeler olan, dokusuz yüzey yapılar, dokuma, örme kumaşlar, bunun dışında gözenekli köpükler (Zent & Long, 2007), panel yada zar benzeri yutucular örnek verilebilir.

Günlük yaşamda seslerin varlığı, insanların haberleşmesi ve bunun yanında kendilerini iyi hissetmeleri için gereklidir. Konuşma, müzik, doğadaki sesler, yaşantımız için vazgeçilmezdir (Demirkale, 2007). Fakat artan tüketme isteği ve bunun getirdiği endüstrileşme ve hızlı güçlü makinelerin üretilmesi ile birlikte hava, su kirliliği gibi gürültü kirliliği de giderek artan bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Lee ve Joo 2003, 2004, Teli ve ark. 2007). Gürültünün oluşturduğu fiziksel etkiler işitme duyusuyla ilgilidir. Geçici veya kalıcı olarak duyma hissiyatında olumsuz etkisi söz konusu olabilir (Anonim(a), 2012). Yüksek gürültü sebebiyle ortaya çıkan duyma bozuklukları hala

endüstri sebebiyle karşılaşılan sağlık sorunlarından (Na ve ark. 2007, Teli ve ark. 2007).Gürültü fizyolojik olarak ise ani reflekslere, kas gerilmelerine, kan basıncında artışa, kalp atışlarının ve kan dolaşımının değişmesine, göz bebeği büyümesine, solunum hızlanmasına, sindirim sistemi ve dolaşım bozukluklarına sebep olabilmektedir. Ayrıca gürültünün insan üzerinde stres oluşturduğu da biyolojik olarak gösterilmiştir (Na ve ark. 2007, Anonim(a) 2012). Gürültünün psikolojik etkilerini şikayet etme, öfkelenme, sinir bozukluğu, korku, rahatsızlık, tedirginlik, yorgunluk ve zihinsel etkilerde yavaşlama olarak sıralayabiliriz (Na ve ark. 2007, Anonim(a) 2012).

Fabrikaların dışında evlerde de, kişinin gizlilik haklarının ortadan kalkmaması adına ve artan konfor ihtiyaçları ile birlikte gürültü sorunu daha fazla dikkate alınmaktadır (Na ve ark. 2007).

Fiziksel ve psikolojik açılardan zararlarıyla, verimlilik gürültülü çevrelerde önemli biçimde düşmektedir (Na ve ark. 2007). İş verimi açısından bakılacak olur ise, ofis elemanlarında %60, beden işçilerinde %35 oranına yakın verim düşüklüğünün ve bazı hatalı imalatların gürültü sebebiyle ortaya çıktığı belirtilmiştir (Işikel, 2006). Gürültü sebebiyle direkt yada dolaylı yaşanan iş kazaları ise olayın ayrı bir boyutudur.

Endüstride gürültü kontrolü ve uygulamaları, çalışanların gürültüye maruz kalmaları sonucu sağlık ve güvenlik yönünden oluşabilecek risklerden korunmaları amacını taşır (Işikel, 2006). Birleşmiş Milletler Mesleki Güvenlik Ve Sağlık Antlaşmasına göre (1970) iş yerlerinde gürültüden korunmak için bazı standartlar geliştirilmiştir. İşçilerin ne kadar süre gürültülü ortamda çalışılabilecekleri belirlenmiştir (Demirkale, 2007) (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Gürültüye maruz kalma süreleri (Demirkale, 2007)

Günlük Zaman Dilimi (saat)	Ses Seviyesi (dB)
8	90
6	92
4	95
2	97
1,5	100
1	105
0,5	110
0,25	115

Çizelge 2.2'den da anlaşılacağı üzere ses seviyesindeki 5dB'lik düşüş çalışma süresini iki katına çıkartabilmektedir. Bu durum iş yerlerinde gürültünün azaltılması için ses yutucu malzemelerinin kullanımı dahil, alınacak her önlemleri verimlilik açısından da önemli hale getirmektedir.

2.3.1. Lifli-gözenekli malzemelerde ses yutuculuğu

Hacimli, lifli-gözenekli ses yutucular olarak cam yünü, mineral yünü, bunun yanında iğneleme yoluyla fikse edilmiş yada reçine yada sıcaklık ile liflerin birbirine bağlandığı gözenekli-lifli tekstil yapıları (dokusuz yüzeyler) iyi bilinen lifli-gözenekli ses yutuculardır(Coates & Kierzkowski, 2002). Bu malzemelerin (cam yünü, taş yünü, hacimli dokusuz yüzeyler) ses yutuculuğu çoğunlukla gözenekleri üzerine dayanır. Bu tür malzemelerin birçok derin delikli içten bağlantılı gözenekleri vardır(Demirkale, 2007). Sesin yutulması bu birbirine bağlı gözenekler vasıtasıyla, ortam parçacıklarının liflerle etkileşime girmesi sonucu genellikle akustik enerjinin ısı enerjisi olarak harcanması sonucu gerçekleşir (Rettinger 1968, Genis ve ark. 1990b, Zent ve Long 2007).

Ses gözenekli yapıya girdiği zaman, kendi ses frekansına göre, hava parçacıklarını gözenekli yapının boşluklarında salınım yaptırır. Bu parçacıkların bir bölümü liflerle temas halinde olduğundan sürtünme kayıpları olur, bu da enerji kaybına yol açar.

Salınım yapan ve belirli bir hızı olan parçacıkların liflere bir momentum iletimi söz konusu olabilir. Bu sayede titreşim yapması olası olan lifler birbirleriyle de sürtünebilir ve burada da bir enerji kaybı olasıdır.

Yukarıda açıklanan durumlar sebebiyle klasik gözenekli lifli malzemeler sesin bir miktarını yutarlar. Plastik köpüklerde gözenekli malzeme olduğundan gözenekli-lifli malzemeler gibi, ses yutucu olarak kullanılmaktadırlar (Wang ve Torng 2001, Zent ve Long 2007). Fakat köpüklerin gözenekleri arasında hava geçiş kanalları bulunmaması ses yutuculuk değerlerinin lifli malzemelerden daha düşük olmasına sebep olur (Na ve ark. 2007). Akustik enerjinin zayıflayabilmesi için havanın gözenekli malzeme içinde hareketi gereklidir(Zent & Long, 2007). Köpükler için, gözenekler arasında bir şekilde bağlantı sağlanması durumunda ise boşluklara giren havanın titreşimlerinin, sürtünmeyle azaltılması sağlanabilecektir (Na ve ark. 2007). Yinede lifli-gözenekli

malzemelerin ses yutma kabiliyetlerinin daha iyi olmasını, sürtünme kaybıyla akustik enerjinin azalmasının yanında, liflerin kendisinin de titreşimi ve enerji kaybına katkı sağladığı açıklayabilmektedir.

Tuğla, beton, taş gibi sert yüzeylere sahip malzemeler ses enerjisinin ancak % 5'ini yutarak, 0,05'lik bir ses yutuculuk katsayısına sahiptirler(Demirkale, 2007). Gözenekli lifli malzemelerin ses yutuculuk özellikleri yüksek frekans değerlerinde çok iyidir (Ryu, 2002). Özel olarak tasarlanan bazı gözenekli-lifli malzemelerde özel bir frekans değeri için (genellikle yüksek frekanslar) ses yutuculuk katsayısı 0.90'ı aşabilir (Coates ve Kierzkowski 2002, Lee ve Joo 2003, 2004, Vujasinovic ve ark. 2008). Düşük frekanslarda ise, gözenekli-lifli malzemelerin ses yutuculuğu daha azdır(Ryu, 2002) ve özellikle yapının kalınlığının artırılması ile bu düşük frekanslarda da ses yutuculuk artırılabilir. Ayrıca gözenekli malzemelerin düşük frekanslardaki ses yutuculuk değerlerini arttırabilmek için monte edildiği yer ile arasında hava boşluğu bırakılması fayda sağlar (Rettinger, 1968).

2.3.2. Ses yutucu malzemelerin kullanıldığı yerler

İnşaat ve otomotiv endüstrisi için istenmeyen sesin azaltılması önemli konulardan biridir. Dokusuz yüzey malzemeler boşluklu ve lifli yapılarından dolayı ses yutuculuğu ve sesin engellenmesi için otomobillerde(Tascan & Vaughn, 2008b), çalışma alanları için akustik panellerde, ayrıca konser salonlarında da sesi yutmak amacıyla kullanılmaktadırlar(Coates & Kierzkowski, 2002). Bunların dışında özellikle ahşap evlerde duvarlar içinde gürültü önleyici olarak termal fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzeyler kullanılmaktadırlar (Hemond 1983, Lee ve Joo 2004).

Tekstil malzemelerinin sesin azaltılması için kullanılmasının yüksek ses yutuculuk özelliği dışında, iki önemli avantajı vardır. Bunlardan ilki düşük üretim maliyeti ikicisi ise yine düşük özgül ağırlığıdır(Lee & Joo, 2003).

Her bir otomobilde ortalama 15 - 20 kg tekstil malzemesi, konfor, termal yalıtım, dizayn, araç güvenliği, akustik amaçlarla kullanılmaktadır (Vasile ve Langenhove 2004, Kant 2007). Otomobillerde kullanılacak ses yutucu elemanlar için gerekli hacim miktarı kısıtlıdır, bunun yanında kullanılan malzemenin hafif oluşu otomobilin yol almak için harcadığı enerjiyi de düşürecektir(Coates & Kierzkowski, 2002). Bunun için hafif ve

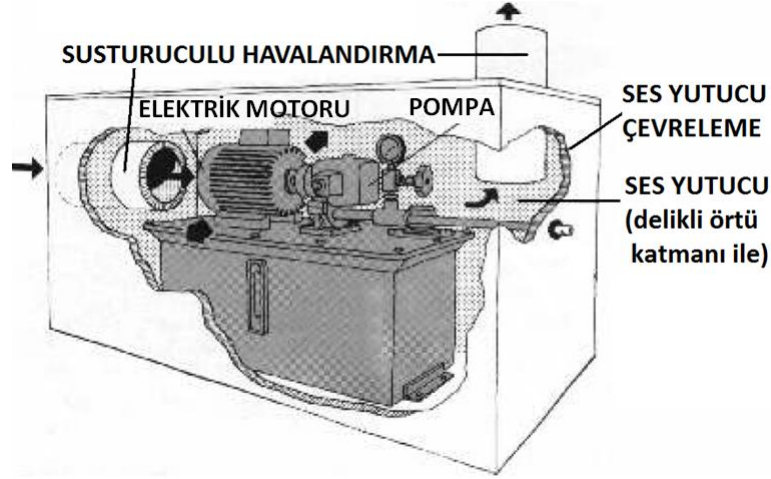
ince malzemelerin geliştirilmesi önemlidir. Bu koşulları dokusuz yüzey tekstil malzemesi sağlayabilir. Akustik materyal olarak dokusuz yüzeylerin kullanımını artırmakta (Teli ve ark. 2007) araç içinde, kapı panelleri, tavan bölgesi, direk-destek bölgeleri, zemin döşeme yapılarında, kaput altında, bagaj bölümünde kullanılmaktadırlar (Vasile ve Langenhove 2004, Zent ve Long 2007). Dokusuz yüzeylerin başka bir tekstil yapısı (çözgümlü örme) yada tekstil olmayan bir malzeme (sünger) ile kompozit olarak kullanımını da araçlarda mevcuttur (Teli ve ark. 2007).

Araçlarda yalıtıma yardımcı amaçlı olarak kaput kapağı altına, sıkıştırılmış şekil verilmiş camlifi yada keçe (termoset reçineler emdirilmiş) monte edilmektedir. Bu malzemelerde, şekil verilme esnasında zehirli gazlar açığa çıkmaktadır ve tekrar kullanımını yoktur. Bunun yanında 1mm inceliğinde 300 g/m² ağırlığında özel olarak tasarlanmış bir dokusuz yüzey ile, kaput ile 20 – 25 mm arasında boşluk bırakılarak monte edilmesi durumunda, kullanılan camlifi malzemelerine göre yaklaşık iki kat ses yutuculuğu sağladığı ilgili kaynaktan belirtilmiştir. Ayrıca bu malzemenin geri dönüşümü mümkündür. İnce olması sayesinde de kolay istiflenebilmektedir (Coates & Kierzkowski, 2002).

Tasarlanacak dokusuz yüzeyin maruz kalacağı kullanım yerine göre tasarlanması gereklidir. Böylece üretilen yapının en etkili şekilde kullanılması sağlanmış olacaktır. Örneğin araba tavanlarında yüksek frekanstaki sesin yutulması için ince, kapı panellerinde ise alçak frekanslı sesleri yutmak için daha kalın malzemeler kullanılmaktadır (Jayaraman, 2005).

Gürültü kaynaklarının başında gelen makineler, hareketli elemanlardan oluşur. Bu elemanların her biri çalışırken ses üretir. Sürtünmelerden dolayı buldukları ortama az yada çok gürültü yayarlar. Bu gürültünün etrafı rahatsız etmeyecek şekilde en aza indirilmesi o makinenin tasarım aşamasında ele alınması gereken önemli bir husustur (Ryu & Kim, 1998). Mekanik olarak yapılacak bazı tercihlerle gürültü azaltılabilir de bunun belirli bir sınırı vardır (Witt, 1980). Dolayısıyla farklı malzemeler kullanılarak makinelerde ses yalıtımı yapılması gerekli olabilir. Akla gelen ilk çözüm gürültü üreten elemanla ortam arasına bariyer malzeme yerleştirilmesidir. Bariyer malzemeler rijit yapılarıyla sesin birçoğunu geri yansıtırlar, dolayısıyla üretilen gürültüde aslında bir kayıp olmaz fakat gürültünün bariyer arkasına geçmesi bariyer malzemenin özelliğine,

ağırlığına ve kalınlığına bağlı olarak engellenir. Bunun yanında makine bölgesinde var olan ses seviyesi, yansıtıcı yüzeyden geri yansıyan ses dalgasıyla üretilen ses dalgasının çakışma etkisi nedeniyle normalden daha üst seviyelere çıkar. Bu durumu engellemenin yolu iç yüzeyde ses yutucu malzeme kullanılmasıdır (Şekil 2.35).



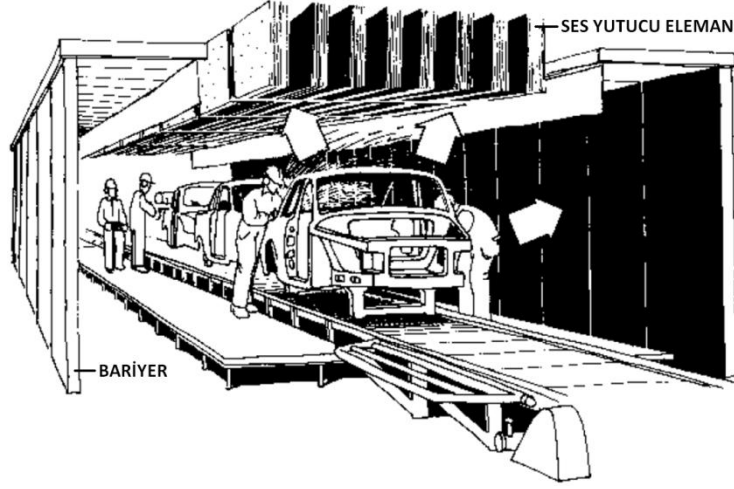
Şekil 2.35. Etrafı ses yutucu ve bariyer malzeme ile çevrelenmiş bir makine (Witt 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

Gürültü üreten parçaların ses seviyesinin aşağı çekilmesi için ses yutucu malzeme olarak tasarlanmış dokusuz yüzeyler, bariyer görevini gören başka bir malzeme ile uygun şekilde kullanılması durumunda bu işlevi yerine getirebilir.

Sesin engellenmesi için kullanılacak malzemelerin uygulamaya özel olarak tasarlanması gereklidir. Elbette bariyer malzeme olarak ağır, ses yutucu malzeme olarak kalın malzeme kullanılması, sesin engellenmesi için iyi bir çözüm olacaktır. Fakat ağır ve hacimli malzemelerin kullanımı farklı uygulamalar için her zaman mümkün olmayabilir. Örneğin ses yalıtımı çamaşır makinesinin motoru ve tahrik elemanları için yapılacaksa, makine toplam ağırlığının sınırlı, iç hacminin de kısıtlı olduğu açıktır.

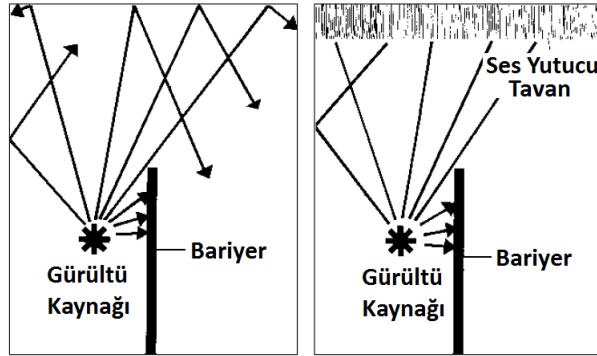
Sanayi tesislerinin içerisinde gürültü üreten bazı ortamların, diğer ortamlarda çalışanları etkilememesi için, bariyerler ile bu gürültünün engellenmesi gerekebilir. Bunun yanında gürültünün engellendiği ortamda çalışanlar, bariyer malzemelerin kullanılmasıyla birlikte daha yüksek gürültülere maruz kalırlar. Bu durumda hem diğer ortamlara giden gürültü seviyesinin azalması, hem de gürültülü ortamda çalışanların daha az sese maruz kalmaları için tek çözüm gürültülü ortam içinde ses yutucu malzemelerin

kullanılmasıdır. Şekil 2.36'daki gibi bir üretim hattında ses yutucu elemanların kullanılması yukarıda bahsedilen anlatıma bir örnek olabilir.



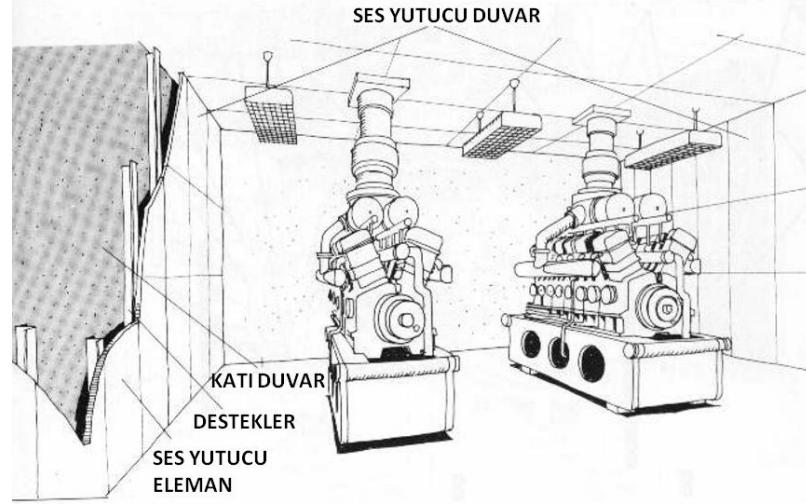
Şekil 2.36. Üretim hattında ses yutucu elemanların örnek kullanımı (Witt 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

Eğer gürültülü ortamın tamamen kapatılması havalandırma veya sıcaklık artışı açısından problem yaratacaksa ve özel havalandırma yada soğutma tertibatlarının kurulması çözümleri kullanılmayacaksa, bu durumda gürültülü ortamdaki sesin doğrudan gelen ses yolu üzerine bariyer yerleştirilir, diğer duvarlardan ve tavadan yansıyacak seslerin yutulması ses yutucu malzeme kullanılarak sağlanabilir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. Yansıyan seslerin ses yutucu malzeme ile yutulması (Witt 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

Bazı yapılarda ise genellikle "makine dairesi" ismiyle anılan gürültülü makinelerin çalıştığı odalar bulunur. Bu odalarda ses yutucu elemanların da kullanıldığı gürültüyü azaltmaya yönelik önlemler alınarak gürültünün etkisi en aza indirilir (Şekil 2.38).



Şekil 2.38. Makine dairesinde ses yutucu elemanların kullanımı (Witt 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

Ses yutucu malzemeler sadece gürültü azaltımı için değil, odalarda ve farklı salonlarda çınlama süresinin kontrolü için ve konuşmaların daha iyi anlaşılabilmesi için de kullanılır (Na ve ark. 2007). Ses yutucu malzemeler, hacim içindeki fazla yansımaları azaltır ve sesin direkt olarak kaynağından geldiği izlenimini verir (Demirkale, 2007).

Bir salonda bir ses çıkarıldığı zaman, ses basınç düzeyi yaklaşık doğrusal olarak azalır. Sesin 60 dB değerine düşmesi için geçen zamana çınlama süresi denir (Na, et al., 2007). Çok uzun çınlama süresi konuşmayı daha az anlaşılır, müziği ahenksiz kılar ve yüksek arka plan gürültü düzeylerini üretir. Kısa bir çınlama süresi arka plan gürültüsünü bastırır ama konuşmayı boğar, müzik sesini zayıf ve kesik kılar. Dolayısıyla ses yutucu elemanlar gerekli durumlarda, gereken miktarda ses enerjisinin yutmak için de kullanılırlar. Çınlama süresi odanın hacmine ve toplam yutuculuğuna bağlıdır (Demirkale 2007, Na ve ark. 2007).

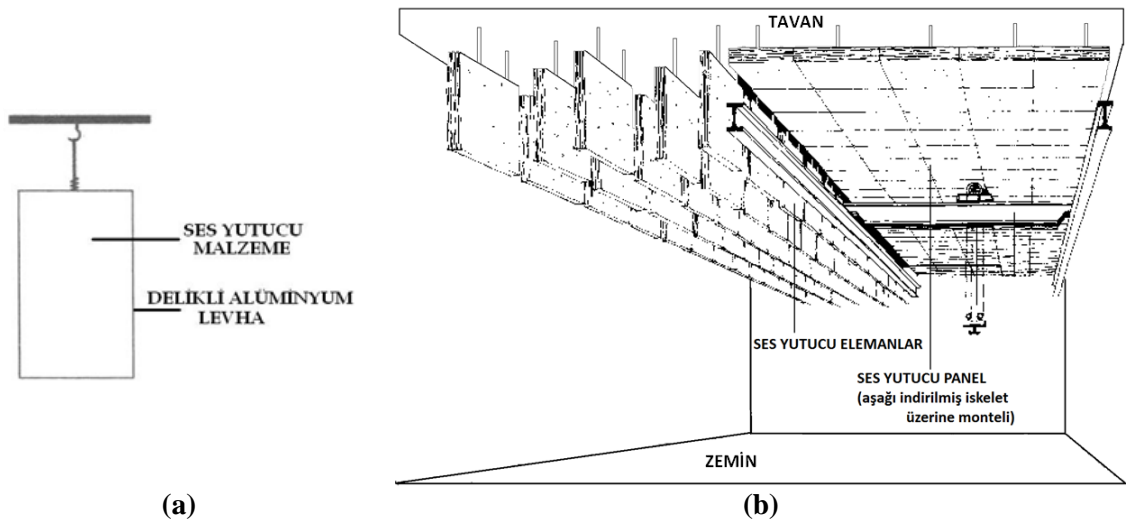
Ses yutucu malzemeler genellikle çınlama kontrolü ile birlikte eko kontrolünde de kullanılırlar. Ekolar uzun gecikmiş ses yansımaları olup, hacmin genel çınlamasının üstünde net olarak duyulabilirler. Tekrarlanan eko adlı verilen küçük hacimlerdeki eko sorunu ise ses yutucu malzemelerce kontrol edilebilirler (Demirkale, 2007).

Bir konferans salonu ele alınacak olursa, duvarlar, tavan, perdeler, koltuk döşemelikleri, halı, hatta hava sesi belli ölçülerde yutarlar ancak bu salonun iyi bir akustik kontrolü

için yüksek derecede ses yutuculuğa sahip malzemelerin uygulanması gerekebilir (Demirkale 2007, Na ve ark. 2007).

Ders, seminer verilen büyük salonlar, tiyatrolar, konser salonları ve geniş ofis gibi yerlerde en uygun dinleme, duyma ortamının sağlanabilmesi ve gürültü seviyesinin aşağılara çekilebilmesi için yüksek derecede ses yutucu özelliği olan yüzeylerin kullanılması gereklidir (Na ve ark. 2007).

Sanayi tesisi yada spor salonu gibi hacimlerde, tüm iç ortamın gürültü seviyesinin düşürülmesi istenirse Şekil 2.39b'deki örnekte verildiği gibi ses yutucu elemanların kullanılması gerekir. İç hacim yüzeyinin yetersiz olması durumunda ses yutucu elemanlar ayrı birimler olarak tavana asılabilirler (Demirkale, 2007) (Şekil 2.39b). Şekil 2.39a'da görüldüğü üzere, ses yutucu eleman, delikli alüminyum levha ve içinde ses yutucu malzemeden oluşabilmektedir. Şekil 2.39b'de sağ taraf tavan bölgesindeki ses yutucu elemanların, tavandan uzak yerleştirilmesi düşük frekanslı seslerin yutulmasını artırır.



Şekil 2.39.Ses yutucu elemanın yapısı (solda) (Demirkale 2007'den değiştirilerek alınmıştır) ve uygulama alanı (sağda) (Witt 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

2.3.3. Ses yutuculuk katsayısının ölçümü

Bir malzemenin ses yutuculuğu, her bir frekans için ayrı ölçülen, ses yutuculuk katsayısı ile değerlendirilir. Bir malzemenin ses yutuculuk katsayısı, o malzemeye gelen ses enerjisinin yutulan yada yansıtılmayan oranıdır ve α ile gösterilir (Genis ve ark. 1990b, Coates ve Kierzkowski 2002, Lee ve Joo 2003, Demirkale 2007, Na ve ark.

2007) Bu değer; 0 ile 1 arasında değişebilir(Coates & Kierzkowski, 2002), Örneğin akustik bir malzemenin, 1000 Hz'de üzerine gelen ses enerjisinin % 60'inin yutup, % 40'ını yansıtmaması, o malzemenin 1000 Hz frekans değerindeki ses yutuculuk katsayısının 0,60 olduğunu gösterir.

Ses yutuculuk katsayısı değeri, ses dalgasının malzemeye geliş açısı (Everest 2001, Ryu 2002, Demirkale 2007) ve frekansına göre değişiklik gösterebilir (Genis ve ark. 1990b, Everest 2001, Ryu 2002, Demirkale 2007).

Literatürde tekstil malzemelerinin akustik özelliklerinin ölçülmesi amacıyla üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar empedans tüp (*impedance tube*) metodu, yankılanma odası (*reverberant room*) metodu ve durgun hal (*steady state*) metodudur. Empedans tüp metodu için ayrıca iki teknik vardır. Bunlardan biri hareket edebilen mikrofonun kullanıldığı teknik, diğeri ise iki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniği yada transfer fonksiyon tekniğidir. Tüm ses ölçüm metotlarının temel prensibi, önceden bilinen bir ses ortamı yaratmak ve ardından malzemenin varlığının bu ses ortamına etkisini ölçmektir (Anonim(b) 2009, Ryu 2002).

Hareket edebilen mikrofonun kullanıldığı empedans tüp metodunda, numune tüpün bir duvarına, daha önceden tanımlanmış frekanslarda sesi çıkarabilecek bir hoparlör ise tüpün diğer duvarına yerleştirilmiştir. Hoparlörden çıkarılan ses dalgası tüp içinde ilerlemekte ve kumaştan yansıyan ses miktarı tüp boyunca pozisyonu ayarlanabilen mikrofonla algılanmaktadır(Lee & Joo, 2003). ASTM C 384 standartlarındaki tariflere göre ölçümler yapılır. Bu metotta ölçümü yapılan malzemelerin boyutları küçüktür (yaklaşık 10 cm çapında). Her frekans değerinde ses (gürültü) yutuculuk katsayısı (NAC) ayrı ayrı ölçülür (Tascan ve Vaughn 2008a, b).

İki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinde ise, büyük ve küçük olmak üzere iki ayrı konfigürasyon vardır. Büyük tüp konfigürasyonu 50 Hz ile 1,6 kHz, küçük tüp konfigürasyonu ise 500 Hz ile 6,4 kHz aralığında malzemelerin ses yutuculuğunu ölçebilmektedir (Anonim(b), 2009). ASTM E 1050 standardındaki tariflere göre ölçümler yapılır.



(a) Küçük tüp



(b) Büyük tüp

Şekil 2.40. İki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinin iki ayrı konfigürasyonu
(Anonim(b), 2009)

İki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinde, büyük yada küçük tüp, üzerinde mikrofonlar bulunan diğer tüpün açık ucuna yerleştirilir. Ses kaynağı tüpün diğer tarafında konumlandırılmıştır. Test numunesi ise bir diğer tarafa yerleştirilir. Ses kaynağı büyük yada küçük tüpün özelliğine göre geniş bantta ses dalgaları üretir. Empedans tüp içinde, ölçüm frekans aralığında olan ses dalgası, düzlem dalga şeklinde ilerlemektedir. Ses dalgası tüp içinde ilerler, numuneye çarpar ve geri yansır. Malzemenin ses yutuculuk katsayısı, iki ayrı konumda sabit iki mikrofonun ses basınçlarını ölçmesi (frekansın fonksiyonu olarak) ve iki kanallı dijital frekans analiz cihazını kullanarak kompleks transfer fonksiyonunun hesaplanması ile belirlenir(Anonim(b), 2009).

Empedans tüp metodunda ses dalgaları kumaş yüzeyine sadece dik gelebilmektedir, dolayısıyla pratikten biraz farklı bir durumdur, ancak küçük numunelerin kullanılabilmesine olanak sağladığı için avantajlıdır ayrıca doğru hassas karşılaştırılabilir sonuçlar vermektedir(Aso & Kinoshita, 1963).

Yankılanma odası metodunda büyük test örnekleri gereklidir, bunun yanında ölçümler özel olarak dizayn edilmiş yankılanma odasında yapılmaktadır (Tascan ve Vaughn 2008a, b). Kumaş üzerine farklı açılarla ses dalgasının gelmesine izin verdiğinden pratiğe uygun bir metottur(Aso & Kinoshita, 1963). ASTM C 423–72 standardındaki tariflere göre ölçümler yapılır. Rasgele yayılan ses dalgalarına maruz kalan malzemenin ses yutuculuk katsayısı ölçülür.

Ses yutuculuk ölçümleri için fazla tercih edilmeyen durgun hal metodu, malzemenin geçen sesin ölçümü için, malzeme arkasına mikrofon konularak gerçekleştirilen metottur(Jayaraman, 2005). ASTM E336–71 standardındaki tariflere göre ölçümler yapılır.

Bu ölçümler sonunda gürültü azaltım katsayısı (NRC) hesaplanabilir. Bu değer, malzemelerin ses yutuculuk özelliklerinin bir göstergesi olarak tek bir rakam ifade etmek gerektiğinde kullanılmaktadır. Gürültü azaltım katsayısı 250, 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarında ölçülen, malzemenin ses yutma katsayılarının aritmetik ortalamasıdır (Lee ve Joo 2004, Na ve ark. 2007, Zent ve Long 2007).

2.4. Lifli-Gözenekli Malzemelerin Akustik Özellikleri ile İlgili Yapılan Deneysel Ağırlıklı Araştırmalar

Lifli ve boşluklu yapısı, liflerin yapı içindeki düzensiz yerleşimi, ayarlanabilir yoğunluk, kalınlık parametreleri, ince liflerin yapı içinde direkt kullanılabilmesi, geri dönüşüm liflerinin kullanılabilme olanaklarıyla hem çevreci, hem de düşük maliyetli oluşu, dokusuz yüzey yapıları ses yutucu malzeme olarak ön plana çıkarmaktadır. Dokusuz yüzeyler, yüksek toplam lif yüzey alanına sahip olduklarından dolayı gürültünün azaltılması açısından uygun bir malzemedir. Cam ve kaya yünü malzemelerin yüksek akustik yutuculukları vardır. Bu malzemeler gürültü kontrol mühendisliğinde çokça kullanılmaktadır(Wang & Torng, 2001). Ancak, önceki çalışmalar, dokusuz yüzey yapıların hem yüksek (Byun ve Lee 2001, Lee ve Joo 2003) hem de düşük(Byun & Lee, 2001) frekanslarda ses yutuculuk değerlerinin konvansiyonel kaya yada cam yünü malzemelerle kıyaslanabilecek(Lee & Joo, 2003), hatta daha yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir(Byun & Lee, 2001). Dokusuz yüzey üretiminde uygun seçilecek polimerle birlikte, örneğin polyester, çevresel ve geri dönüşüm kriterleri de göz önünde bulundurulduğunda dokusuz yüzeylerin ses yutuculuğu açısından cam yününün yerine geçebileceği(Byun & Lee, 2001) ve geçmekte olduğu belirtilmelidir.

Literatürde dokusuz yüzey ve diğer lifli-gözenekli yapıların akustik özelliklerini incelemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki bölümde bu malzemelerin akustik özellikleri ile ilgili yapılan deneysel ağırlıklı araştırmalar özetlenmiştir.

Genis ve arkadaşlarının (1990a) yaptıkları çalışmada iğneleme yoluyla fiske edilmiş ve termal fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzey kumaşların yapısal parametrelerine bağlı olarak ses yutma özellikleri incelenmiştir. Üretilen lifli malzemeler farklı lif çapı, kalınlık ve ağırlıklarda üretilmişlerdir. Polimer eriyikten çekilerek üretilen lifli

malzemelerin yapısal parametrelerinin daha geniş bir aralıkta değiştirilebilme ihtimali, bu tür malzemeleri ses yutucu olarak diğer klasik malzemelere göre avantajlı yapmaktadır. Bunun yanında yüksek mukavemet, esnek ve düşük yoğunluklu lif çekilerek dokusuz yüzey üretebilme diğer avantajlarından. Çalışma sonucunda daha ince olmasına rağmen termal fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzey kumaşların ses yutuculuk değerleri, iğneleme yoluyla fiske edilmiş dokusuz yüzey kumaşlar ile aynı çıkmıştır.

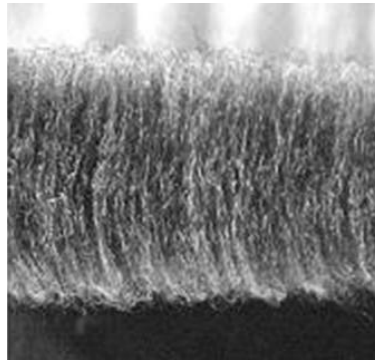
Lee ve Joo (2004) yaptıkları çalışmada, ısı fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzey kumaşların (geri dönüştürülmüş liflerinden elde edilmiş) ses yutma kapasitelerini 125 – 2500 Hz frekans değerleri için incelemişlerdir. İlk olarak dokusuz yüzey kumaşı oluşturan lif özelliklerinin etkisine bakılmış, ardından dokusuz yüzeylerin tülbent oryantasyon açısına bakılmıştır. Ses özelliklerinin ölçümleri empedans tüp metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliklerinin öncelikle kalınlığa ve malzemenin yüzey karakteristiğine bağlı olduğu, lif içeriğinin öneminin ise az olduğu ortaya konmuştur. Dokusuz yüzey kumaş önüne bir panel konulduğunda düşük ve orta frekanslarda yapının ses yutma kapasitesinin artış gösterdiği belirtilmiştir.

Lee ve Joo (2003) yaptıkları bir başka çalışmada, ses yutuculuğu için kullanılabilecek malzemeler olan cam yünü ve kaya yünü yerine kullanılması için geri dönüşüm ile elde edilmiş polyester liflerinden ısı fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzey kumaşların ses yutma katsayılarını incelemiştir. Geri dönüşüm dokusuz yüzey kumaşın kaya yünü yada cam yününe kıyasla uygun maliyeti, çevresel koruma gibi avantajları vardır. Çift mikrofona empedans tüp metodu kullanılarak ses yutuculuk ölçümleri yapılmıştır. Akustik yutma değerleri ile dokusuz yüzey kumaş parametreleri olan lif özellikleri ve tülbent özellikleri arasındaki ilişki saptanmıştır. Düşük erime sıcaklığına sahip binder polyester liflerinin dokusuz yüzey kumaş içindeki miktarının ses yutuculuğuna etkisi incelenmiştir. Kabaca, dokusuz yüzey yapıda binder liflerinin miktarının artması, yapının gürültü yutuculuk performansını düşürdüğü belirtilmiştir. Bu duruma özellikle 2000 – 3500 Hz frekansları arasında karşılaşılmıştır. Binder liflerinin kumaş içinde oranının artması, son kumaşa bir kalınlık düşüşüne neden olması da bu düşüşte etkilidir.

Binder lif oranının artması fikse işlemi esnasında dokusuz yüzey yapının çekmesine ve mikro-boşlukların da tahribata uğramasına neden olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Coates ve Kierzkowski (2002) tekstil malzemelerin ses yutucu özelliklerinin kontrolünün anlaşılması ile özel olarak tasarlanacak ince, hafif tekstil materyallerinin, kalın hacimli tekstil malzemelerinin yerine geçebileceğini ifade etmektedirler. Geliştirdikleri ses yutucu Deci-Tex isimli ürünleri, liflerin, oluşturdukları dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilmiştir (vertically lapped). Klasik ses yutucu malzemelere kıyasla %75 ağırlık avantajı, %50 ses yutuculuk artışı sağladığı iddia edilmiştir (Coates 2002).

Tascan ve Vaughn (2008a) yaptıkları çalışmada, liflerin, oluşturdukları dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilen “vertically lapped” (Şekil 2.41) dokusuz yüzeylerin akustik özelliklerini incelemiştir. Lifler ve küçük hava boşluklarından oluşan bu kumaşları oluşturan liflerin geometrisi, yapı içindeki yerleşimi akustik yutma ve yalıtım özelliklerini etkilediği belirtilmiştir. Liflerin inceliğinin ve kesit şeklinin farklı olması, dokusuz yüzey kumaşın farklı toplam yüzey alanına sahip olması ile sonuçlanır (Tascan ve Vaughn 2008a, b). Liflerin dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilen “vertically lapped” dokusuz yüzeylerin yüksek yüzey alanına sahip olduğu ve ses yalıtımı uygulamaları için uygun oldukları belirtilmiştir. Bu dokusuz yüzey kumaşlar, liflerin taranarak tülbent oluşumu ve bu tülbentin dikey olarak konumlandırılması ve binder lifleri sayesinde sıcak hava vasıtasıyla sabitleştirilmesiyle üretilmektedir.



Şekil 2.41. Liflerin dik konumlandığı dokusuz yüzey (*vertically lapped nonwoven*) (<http://www.v-lap.com>, 2009)

Hui ve Fan (2009) yaptıkları çalışmada kenevir lifinden üretilmiş yapıların akustik özelliklerinin belirlenmesi için, bu liflerden oluşturulmuş lifli-gözenekli yapıların ses yutuculuk katsayılarını ölçmüştür. Kalınlık, lif bileşiminin yoğunluğu, lifli yapı arkasındaki hava boşluğu, lif çapının ses yutuculuk katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak ses yutuculuk katsayıları 125-2000 Hz aralığında, artan kalınlık, artan yoğunluk, artan hava boşluğu ile artış göstermiştir. Lif çapı artışı ile de düşmüştür.

Teli ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada farklı tipte liflerden üretilen dokusuz yüzey kumaşların ses azaltma (engelleme) etkilerini araştırmışlardır. Dokusuz yüzey yapıların ses azaltma değerlerine ses frekansının, örnek ve ses üretici arasındaki mesafenin, hava geçirgenliğinin, kalınlığın ve kumaş birim ağırlığının etkisi araştırılmıştır. Gerçek hayattan bir örnek verme adına, yerden yüksekte bir motor aynı kumaşlarla kaplanarak ve 30 cm yakınına bir mikrofon monte edilerek yapılan ölçümler, tüp ölçümleriyle oldukça yakın sonuçlar göstererek, bu düzeneğin, farklı örneklerin sesi engelleme özelliklerini ölçülebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak frekans arttıkça ve kumaş birim ağırlığı arttıkça malzeme daha fazla sesi azaltmakta, hava geçirgenliğinin artması ile bu durum tersine dönmektedir. Ölçümleri yapılan kumaşların metrekare gramajları ve kalınlıkları farklı olduklarından lif tipinin ses düşürme değerlerine etkisi saptanamamıştır.

Na ve arkadaşlarının (2007) yaptığı çalışmada mikrolif kumaşların (dokuma ve örme) ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak mikroliften üretilen kumaşların aynı kalınlık ve aynı ağırlıkta konvansiyonel kumaşlara nazaran çok daha üstün bir şekilde ses yutma özelliğinin olduğu, mikroliflerin kullanıldığı ince ve hafif kumaşlar ses yutma uygulamaları açısından etkili bir malzeme olacağı belirtilmiştir.

Vujasinovic ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada farklı amaçlarla tasarlanan bazı teknik kumaşların akustik uygulanabilirliklerini incelemişlerdir. Burada amaç bu teknik kumaşların temel kullanım amaçlarına uygun işlevlerini yerine getirirken, kullanım ortamlarının akustik özelliklerini ne kadar değiştirdiğidir. Yarı geçirgen membran Desmopan, Gore-Tex, Simpatex, Windstooper, Spectra ve Cordura 1500 kumaşlarının ses özellikleri empedans tüp metodu kullanılarak ve standardın dışında, arkaya bir referans malzeme yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Referans malzemenin de ses

özellikleri ölçülmüş ve yukarıda adı geçen kumaşların bu referans malzemenin ses özelliklerini nasıl değiştirdiğine bakılmıştır. Tüm kumaşlar referans materyalin düşük frekanslarda (1000 Hz'e kadar) ses yutuculuk değerlerini arttırmış, yüksek frekanslardaki (1kHz – 4kHz) ses yutuculuk değerlerini ise düşürmüştür. Düşük frekanslardaki yükseliş, başka bir malzemenin referans malzeme üstüne yerleştirilmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yüksek frekanstaki ses yutuculuktaki düşüş ise, eklenen membran malzemenin yüksek frekanstaki sesi malzeme içine giremeden, yansıtmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Shoshani ve Rosenhouse (1990) yaptıkları çalışmada kaplama malzemesi olarak kullanılan dokuma kumaşların iç yapısı ile gürültü yutum katsayıları arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bu dokuma kumaşlar ses yutucu yapıların üzerini (kaya yünü) dekoratif amaçla kapatmak için kullanılabilir. Dikkate alınan parametreler lif muhteviyatı, iplik numarası, örtme faktörü, kumaş arkasındaki hava boşluğu, gelen ses dalgasının frekansdır. Bunların dışında, ses yutuculuk kapasitesine yıkamanın etkisi de incelenmiştir. Tüm bu amaçlar için 28 farklı kumaş üretilmiştir. Ölçümler ASTM 384-85 standardını kullanarak, empedans tüp metodu kullanılarak (tek mikrofonlu) yapılmıştır. Tüp içinde numune olmadan yapılan ölçümlerde NRC (*Noise Reduction Coefficient*) 0,075 ölçülmüştür. Dolayısıyla sonuçlar bu hatayı da içermektedir. Sonuç olarak, 0,09 ve 0,22 değerleri arasında değişen NRC elde edilmiştir. NRC 250, 500, 1000 ve 2000 Hz deki NAC (Gürültü (Ses) yutuculuk katsayısı) değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Ses yutuculuk katsayısının yüksek frekanslarda (örneğin 4000 Hz) daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kumaş iç yapısının 500 Hz den düşük frekanslarda ses yutuculuk katsayısına çok az etki ettiği görülmüş, ölçülen en yüksek frekans olan 4000 Hz'te ise daha fazla farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Örtme faktörünün etkisinin ses yutuculukta en fazla olduğu görülmüştür.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan ses yutucu malzemelerin özelliklerini inceleyen bir çalışmada, sesin azaltılması için, sesin malzeme içine girebilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bundan sonra ses malzeme içinde ilerlerken malzeme tarafından azaltılacaktır. Ses, malzeme yüzünün yüksek akustik empedansına (öz direnç) bağlı olarak yansır. Akustik empedans uyumsuzluğu, bu duruma neden olduğu belirtilmiştir(Zent & Long, 2007).

Literatürde dokusuz yüzey yapılarının akustik özellikleri ile ilgili yapılan çoğu araştırmada, malzemenin akustik davranışı yine malzemenin çeşitli karakteristik özellikleri ile açıklanmaya çalışılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde aynı karakteristik özelliklerin etkisini inceleyen araştırmalar bir arada verilerek, literatürde o özelliğin malzemenin akustik davranışına nasıl etki ettiğinin verilmesi amaçlanmıştır.

Dokusuz yüzey yapısı içinde birbirine kenetlenmiş lifler sürtünme elemanlarıdır ve akustik dalga hareketine karşı direnç gösterirler. Genel olarak ses materyal içine girdikten sonra, dolambaçlı bölgelerden ilerlemeye çalışacak ve büyüklüğü azalacaktır. Dolayısıyla dokusuz yüzey yapıların hava geçirgenliği, bu yapıların akustik özellikleri hakkında fikir veren önemli bir göstergedir. Hava geçirgenliği kumaş yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Liflerin kumaş içinde paketlenme katsayılarının artması hava geçirgenliğini düşürmektedir. Sabit bir kalınlık değerinde daha fazla sesin yutulması için lifli malzemenin yoğunluğunun artırılması bir çözümdür (Coates & Kierzkowski, 2002). Ayrıca yüksek hava geçirgenliğine sahip kumaş, aynı zamanda yüksek ses geçirgenliğine dolayısıyla düşük ses yalıtımına sahiptir (Tascan & Vaughn, 2008a).

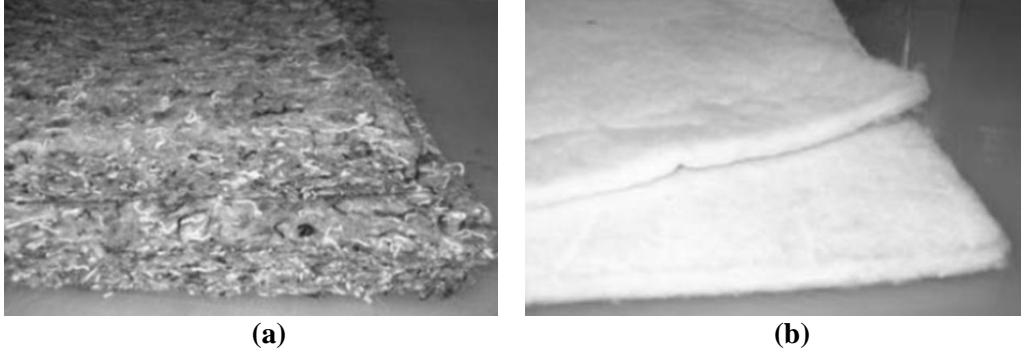
Hava geçirgenliğine karşı direnç gözenek yolunun artırılmasıyla da yükseltilebilir. Buda kumaş yapısında mikrolifler kullanılarak elde edilebilir (Na ve ark. 2007).

Teli ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, dokuz farklı kategoride polyester, pamuk, viskoz ve polipropilenden oluşan dokusuz yüzey kumaşlar kullanmışlardır. Ses özellik ölçümleri 10 cm çapındaki PVC bir tüpün içinde bulunan düzenekle gerçekleştirilmiştir. Tüpün bir ucunda önceden tanımlanan 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz frekans değerlerde ses üretecek hopörlör, diğer ucunda ise mikروفon bulunmaktadır. Ölçümlerin yapılacağı örnekler mikrofondan 2,54 cm uzaklığa yerleştirilmiştir. Tüp boyutu 50, 100 ve 150 olmak üzere üç şekilde ayarlanmış ve ölçümler örnek varlığında ve yokluğunda gerçekleştirilmiştir. Üç tüp uzunluğundan elde edilen değerlerin ortalaması alınarak dB olarak yüzde kaç sesin malzeme tarafından düşürüldüğü hesaplanmıştır. Tüm frekanslarda ölçülen değerlerin ortalaması alınarak da malzemenin ortalama ses düşürme miktarı hesaplanmıştır. Bu ölçümlerin dışında gerçek hayattan bir örnek verme adına yerden yüksekte bir motor farklı kumaşlarla kaplanarak ve 30 cm yakınına bir mikروفon monte edilerek ölçümler yapılmıştır. Kumaş metrekare ağırlığı en yüksek olan ve diğer kumaşlara nazaran hava geçirgenliği de oldukça düşük olan polyester dokusuz

yüze y kumaş sesi en fazla düşürmüştür. Hava geçirgenliğinin düşük olmasının sebebi birim hacimde fazla sayıda lif olmasından kaynaklanmakta buda, bu kumaşın sesi düşürme değerlerinin yüksek çıkmasını açıklamaktadır. Pamuk liflerinden üretilen dokusuz yüze y kumaşın hava geçirgenliği en yüksek olmasına rağmen ses düşürme etkisi, polyester lifinden üretilen dokusuz yüze y kumaştan sonra gelmektedir. Bu durumda lif farklılığının etkisinden söz edilebilir. Aynı kalınlıkta olan aynı tür dokusuz yüze y kumaştan daha ağır olan kumaşın ses düşürme değeri beklendiği üzere daha yüksek çıkmıştır.

Lee ve Joo (2003) yaptıkları çalışmada, tarama işlemi sırasında tülbent oryantasyon açıları 0-35-45-90 derecelerde değiştirilerek tülbentler üretilmiş ve bunlar çok katmanlı dokusuz yüze y üretiminde kullanılmıştır. 90⁰ oryantasyona sahip tülbentin orta katman olarak kullanıldığı dokusuz yüze y kumaşın gürültü yutma katsayıları (NAC) en yüksek ölçülmüştür. Hava akış direnci tülbent yatırma özellikleriyle ilişkilidir. Yüksek oryantasyon varyasyonu bulunan bu kumaşta daha küçük boşlukların bulunduğu belirtilmiştir. Yinede her bir farklı oryantasyon derecelerindeki dokusuz yüze y kumaşların gürültü yutuculuk katsayıları (NAC) arasında farklar küçük çıkmıştır.

Zent ve Long (2007) yaptıkları çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan, 10 farklı imalatçıdan edinilen, kalınlıkları ve materyal tiplerinde varyasyon gösteren 128 farklı gözenekli malzemenin ses yutuculuk özelliklerini incelemiştir. Ölçümler çınlama odasında yapılmış, ses alanındaki azalma, odada ses yutucu varken ve yokken ölçülmüştür. Çalışmada 6,44m³ hacmindeki Rieter AG firmasının imal ettiği ve bir çok otomotiv firması tarafından da kullanılan, ölçümler için 1,2 m² lik numuneler gerektiren “Alpha Cabin” isimli oda kullanılmıştır. Üç hoparlör vasıtasıyla 250 Hz ile 10000 Hz arası 1/3 oktav bandında sesler üretilmiş, odada bulunan 5 adet mikrofonla da ölçümler kaydedilmiş ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Ölçümleri yapılan ses yutucu malzemelerin kalınlığı 6,4 mm ile 36,5 mm arasında değişmektedir. Bunlardan bazıları iğneleme yoluyla fikse edilmiş pamuk yada geri dönüşüm lifleri kullanılmış dokusuz yüze ylerdir “Shoddy” (Şekil 2.42a).

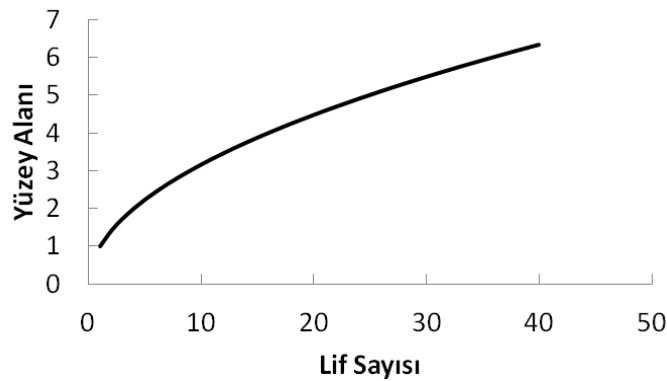


Şekil 2.42. Geri dönüşüm lifleri kullanılmış dokusuz yüzey “shoddy” (solda), PET dokusuz yüzey (sağda) (Zent & Long, 2007)

Polyester ve polipropilen, ses yutucularda yaygın kullanılan plastik materyallerdir. Çalışmada test edilen örneklerin çoğu PET liflerinden üretilmiş dokusuz yüzey yapılarıdır (Şekil 2.42b). Mikroliflerden üretilmiş, hafif dokusuz yüzey yapıların da ölçümleri yapılmıştır. Bazı örneklerde ise film tabakası yada lifli örtücü katman vardır. Araç iç bölgelerinde yaygın olarak kullanılmayan cam yünü malzemelerinde ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ses yutucu malzemenin kalınlığı arttığında ses yutuculuk performansında artış trendi gözlenmiştir. Fakat istisnai durumlarda söz konusudur. Örneğin bir lifli malzeme diğer bir lifli malzemeye göre daha ince olmasına rağmen ses yutuculuğu yüksek ölçülmüştür. Aynı malzemelerin hava akışına karşı gösterdiği dirençler ölçüldüğünde ince malzemenin daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle malzemenin ses yutuculuk performansı göz önüne alınırken hem kalınlık hem de hava akışına karşı gösterdiği direnç hesaba katılmalıdır. Benzer hava akışı direncinde olan materyallerden kalın olanların ses yutuculuk değerleri daha yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla ince malzemelerin yüksek ses yutuculukları isteniyorsa hava akışına karşı gösterdiği direncin yüksek olması gereklidir. Malzeme ince olduğu zaman, hava akışına karşı gösterdiği direnç daha fazla önem kazanır. Çünkü ses, kat ettiği kısa yol boyunca yutulmalıdır. Eğer malzeme göreceli olarak kalın ise (25 mm ve üstü) hava akışına karşı gösterdiği düşük direnç değerleri ile ses yutuculuk açısından başa çıkılabilir. Fakat hava akışına karşı gösterdiği direnç çok yüksek ise yüksek frekanslardaki ses yutuculuğu düşebilir. Sonuçlar göstermiştir ki, hem kalın hem de ince ses yutucu malzemelerde hava akışına karşı direnç belirli bir değere kadar (1000 mks rayls civarı) arttığında ortalama ses yutuculuk değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kalın malzemelerde bu limit değer daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Tüm ses yutucu malzeme kalınlıkları için,

optimum tek bir sabit hava akış direnci yoktur. Otomobillerde kullanılan gözenekli ses yutucu malzemelerin performansında, malzeme cinsinin (pamuk, PET, cam yünü) çok büyük etkisi olmadığı, malzeme cinsinden ziyade konstrüksiyonunun istenen ses yutuculuğu sağlayacak şekilde oluşturulmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında farklı frekans aralıklarında yutuculuğu arttırabilmek için malzeme özelliklerinde değişiklik yapılabilir. Örneğin malzemenin hava akışına karşı gösterdiği direnç arttırılarak, yüksek frekans ses yutuculuğunun düşmesine karşılık olarak, düşük frekanslardaki ses yutuculuğu arttırılabilir. Ayrıca, ses yutucu malzemenin başka bir malzemeyle kaplanması ses yutuculuk özelliklerinde önemli etkisi olduğu ifade edilmiştir (Zent & Long, 2007).

Farklı dokusuz yüzeylerin farklı inceliklerde lifler içermeleri bu liflerden oluşturulan dokusuz yüzeylerin de farklı toplam yüzey alanına sahip olmasına, bunun yanında daha küçük ve fazla sayıda gözeneklere sahip olmasına sebep olacaktır. Toplam gözenekli-lifli malzeme yüzey alanı direkt olarak lif inceliği ve lif kesit şekline bağlıdır. Eğer sabit kütlede polimer eriyiği kullanarak her defasında daha fazla sayıda dairesel lif üretseydik, üretilen lif sayısına bağlı olarak (n) liflerin toplam yüzey alanı \sqrt{n} kat artacaktır. Şekil 2.43'de sabit kütlede polimer eriyiği kullanılarak, üretilen lif sayısına bağlı olarak değişen yüzey alanı verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere lif inceliği artışına bağlı olarak, artan lif sayısı ile birlikte toplam yüzey alanı artış göstermektedir.



Şekil 2.43. Sabit kütlede üretilen lif sayısına göre toplam yüzey alanı değişimi

Dokusuz yüzey kumaşı oluşturan liflerin ince olması, kumaşın birim ağırlığına düşen lif sayısının daha fazla olmasına ve ses dalgasının daha fazla lif ile etkileşime girmesini sağlayacaktır (Tascan ve Vaughn 2008a, b).

Tascan ve Vaughn (2008a) yaptıkları çalışmada beş farklı yapıda dokusuz yüzey (vertically lapped) yapı, bir başka çalışmada ise, iğneleme yoluyla fiske edilmiş beş farklı dokusuz yüzey kumaş üretmişlerdir(Tascan & Vaughn, 2008b). Her iki çalışmada da kumaşların üçü farklı kesit şekline sahip (4DG, trilobal, dairesel) liflerden, ikisi ise farklı incelikte liflerden oluşturulmuştur. Her iki çalışmada da örnekler kendi içinde aynı kalınlıkta olacak şekilde 180⁰C'de sıkıştırılmış ve şekil verilmiştir. Üretilen örneklerden 30,5 x 30,5 cm boyutlarında örnekler kesilmiş ve "Clemson-Boston Differential Sound Insulation Tester" ismi verilen, tekstil yapılarının ses yalıtım özelliklerini ölçmek için ilgili araştırmacılar tarafından geliştirilen test aletinde ölçümler yapılmıştır. Bu test aleti altı adet bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ses sinyallerini üreten bir bilgisayar, ses sinyalini yükseltici elektronik devreler, ses üretim kaynağı (numunenin önünde), ses hücresi (odası), ses algılayıcı (numune arkasında) ve malzeme örneği tutucusu. Ölçümlerde beyaz ses-gürültü (white noise) diye adlandırılan 73Hz'ten 30,000Hz'e kadar frekansı bünyesinde barındıran ses kullanılmıştır. Ölçümleri yapılan dokusuz yüzey örnekleri % 65 polyester ve % 35 binder, düşük erime sıcaklığına sahip 4 denye inceliğinde ko-polyester lifleri kullanılmıştır. Yapılan ses yalıtımı ölçümü sonuçlarında her iki çalışmada da, 3 denye dairesel liflerin oluşturduğu dokusuz yüzey kumaşın, tüm frekans değerleri (73 Hz – 20000 Hz) için ses yalıtım değerleri 15 denye dairesel liflerin oluşturduğu dokusuz yüzey kumaşa göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kumaşın birim ağırlığına düşen lif sayısının ince liflerde daha fazla olmasına ve ses dalgasının daha fazla lif ile etkileşime girmesidir.

Na ve arkadaşlarının (2007) yaptığı çalışmada mikrolif kumaşların (dokuma ve örme teknolojileriyle üretilmiş) ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Ölçümler 1/3 oktav bant 90 dB değerinde gürültü üretecek şekilde test sinyali kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir süre sonra sinyal kesilip ortamdaki sesin her bir frekansta azalma zamanı ölçülmüştür. Boş odanın ses yutuculuğu "Sabin" ses yutma formülü kullanılarak ölçülmüştür. Ardından test materyalleri odaya yerleştirilerek ses yutma ölçümleri tekrar yapılmıştır. Aradaki fark alınarak malzemelerin ses yutuculuk katsayıları hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan mikrolif malzemeler toz, kir emici, temizleme amaçlı tasarlanan kumaşların yüksek toplam yüzey alanına sahip olmalarından ötürü, iyi ses yutuculuk özelliği göstereceği düşüncesiyle seçilmiş, ölçümler için özel olarak bir kumaş üretilmemiştir. Beş adet farklı boyutsal ve yapısal

özelliğinde mikrolif kumaş satın alınmış bunun yanında mikrolif malzemelerin ses yutmadaki üstünlüklerini gösterebilmek için birde içeriğinde mikrolif bulunmayan bir kumaşta satın alınmıştır. Çalışmada kullanılan kumaş ağırlıkları 176 ile 532 g/m² değerleri arasında değişmektedir. Ölçümler sonunda çınlama süresi beklendiği üzere, oda içerisinde kumaşlar var iken düşmüştür. Çünkü ses dalgaları kısa sürede kumaş tarafından yutulmuş ve ortadan kaybolmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre her bir örneğin ses yutuculuk değerleri arasındaki fark anlamlı çıkmıştır. Mesh kumaşın yapısının çok büyük gözenekler barındırması gürültü azaltım katsayısının (NRC) düşük ölçülmesinin sebebidir.

Mikrolif kumaşlardan, kalın kumaşların düşük frekansta ses yutuculuk değerleri ince kumaşlara nazaran daha yüksek ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarından, kumaşın kalınlığının fazla olması, yoğunluğundan bağımsız olarak düşük frekanstaki sesi daha fazla yutacağı sonucuna varılmıştır.

Lifli malzemenin kalın olması özellikle bir limite kadar düşük frekans ses yutuculuk değerlerini arttırmaktadır. Düşük frekanstaki ses dalgası tekstil materyalinin bulunduğu hava yolu boyunca tutulabildiği çalışmada belirtilmiştir (Na ve ark. 2007).

Lee ve Joo (2004) yaptıkları çalışmada beş farklı tipte geri dönüştürülmüş PET liflerinden elde edilen dokusuz yüzey kumaş kullanmışlardır. Düşük erime sıcaklığına sahip binder lifleri 6 denye inceliğinde, diğer lifler ise 0,05, 2, 3, 7 denye seçilmiştir. Tüm lifler 42 mm uzunluğa sahiptir. Yapılan ölçümler sonucunda, dokusuz yüzey kumaşı oluşturan liflerde ultraince (0,05 den) liflerin artmasıyla malzemenin ses yutuculuk özellikleri de artmıştır. Bunun sebebi ses enerjisinin dokusuz yüzey yapı içinde sürtünme ve liflerin titreşimi sonucu kaybolması şansının artmasıyla açıklanmıştır. Bunun yanında yüksek tülbent oryantasyon açısı varyasyonuna sahip dokusuz yüzeylerin gürültü düşürme katsayıları daha yüksek çıkmıştır ki bu durum daha küçük boşlukların oluşumuna bağlanmıştır. Fakat düşük ve yüksek frekanslardaki ses yutuculuk değerlerinin değişiminin önemsiz olduğu belirtilmiştir. Dokusuz yüzey kumaşlarda kalınlığın artmasıyla ses yutuculuk değerlerinde artış görülmüştür. Fakat düşük frekanslardaki artış çok daha fazla olmuştur. Dokusuz yüzeylerde kalınlığın ve ayrıca frekansın artmasıyla ses yutuculuk katsayısı artış göstermektedir. Fakat, gelen ses

dalgası uzunluğu ses yutucu malzemenin kalınlığından fazlaysa, kalınlığı arttırmanın manasız olduğu ilgili çalışmada belirtilmiştir.

Aynı alışmada, PP ve alüminyum filmlerle kaplanan dokusuz yüzeylerle oluşturulan yapıların ses yutuculuk katsayıları ölçölmüş ve düşük ve orta frekansların ses yutuculuk katsayılarında artış, yüksek frekansların ses yutuculuk katsayılarında ise düşüş gözlenmiştir. Daha ince PP filmde yüksek frekansların ses yutuculuk katsayılarında düşüş daha az ölçölmüştür.

Lee ve Joo (2003) yaptıkları çalışmada, tekstil malzemelerinin ses yutucu bir eleman olarak kullanılabilirliğinin tespitini amaçlamışlardır. Bunun için termal fiksaj yöntemiyle dokusuz yüzey kumaşlar üretilmiştir. Farklı lif içeriği oranlarında ve farklı inceliklerde geri dönüşüm polyester lifleri kullanılarak beş adet kumaş üretilmiştir. Kullanılan polyester lifleri 38 mm boyunda ve 1,25, 2, 7 denye kalınlıklarındadır. Bu liflerin dışında her kumaş örneğinin içeriğinde düşük erime sıcaklığına sahip 6 denye kalınlığında 42 mm uzunluğunda binder polyester lifleri de kullanılmıştır. Liflerin birbirine kenetlenmesi ve daha iyi mukavemet için bu liflerde karıştırlmaktadır. Ölçümler 16 – 5600 Hz arasında yapılmıştır. Dokusuz yüzey kumaşın içinde ince lif miktarının artması gürültü yutuculuk katsayılarının (NAC) artmasına neden olmuştur. En büyük fark 750 Hz'de ölçölmüştür, ses frekansının 1500 Hz üzerindeki durumlarda gürültü yutuculuk katsayıları (NAC) arasında önemli bir fark görölmemiştir. Bunun sebebi tüm örneklerin bu frekanslarda sesi çok yüksek oranlarda yutabilmeleridir (0.8 – 1).

Hui ve Fan (2009) yaptıkları çalışmada kenevir lifinden üretilmiş yapıların akustik özelliklerinin belirlenmesi için, bu liflerden oluşturulmuş lifli-gözenekli yapıların ses yutuculuk katsayılarını ölçmüştür. Diğer doğal liflerle bir karşılaştırma yapmak ve lif çapının ses yutuculuğa etkisinin belirlenmesi için aynı yoğunluk ve kalınlıklarda (5 cm kalınlığında 101,9 kg/m³ yoğunluğunda) yün (ortalama lif apı=13,8 µm), pamuk (ortalama lif apı=12,8 µm), akrilik (ortalama lif apı=13,7 µm) ve kenevir lifinden lifli gözenekli yapılar test edilmiştir. Kenevir lifinden üretilmiş yapının ses yutuculuğu en düşük çıkmıştır. Bunun sebebi kenevir lifinin daha kalın (ortalama ap=40,1 µm) olmasıdır. Diğer malzemeler arasında ses yutuculuğun çok yakın olması çaplarda yakın olduğu için lif tipinin etkisinin az olduğunu göstermektedir. Kalınlığın ses yutuculuğa

etkisini belirleyebilmek için lifli-gözenekli malzeme yoğunluğu sabit tutulmuş (101,9 kg/m³), 10,7 cm, 17,1 cm ve 21,4 cm kalınlıklarında kenevir lifinden oluşturulmuş lifli gözenekli yapının ses yutuculuk katsayısı 125 - 2000 Hz aralığında ölçülmüş, artan kalınlıkla ses yutuculuğun da arttığı tespit edilmiştir.

Demir ve Tascan (2009) nanolif tülbent yapıların, içerdiği çok ince lif katmanları ile ses enerjisini ısı enerjisine çevirerek, etkili bir ses yutuculuğu sağladığını belirtmişlerdir. Nanolif tülbent yapıyla nano büyüklüklerde boşluklar ve geniş yüzeyler elde edilebileceği, bu hafif yapısıyla otomotiv ve uçak sanayilerinde bu malzeme kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Teli ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada ilgi çekici bir sonuç olarak 2 cm kalınlığındaki polyester kumaşın hava geçirgenliğinin en yüksek çıkmasına rağmen ses düşürme değeri diğer kumaşlara nazaran ortalarda çıkmıştır. Bunun sebebi bu kumaşın kalınlığının kendisine en yakın kumaştan 4 kat fazla olmasındandır.

Li (2007) yaptığı çalışmada iğneleme yoluyla fikse edilmiş dokusuz yüzey kumaşların kalınlık ile ses yutuculuk arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Sırasıyla 2,67 mm, 3,50 mm, 5,43 mm, 9,03 mm kalınlıklarındaki iğneleme yoluyla fikse edilmiş dokusuz yüzey kumaşların ses yutuculuk özellikleri 125 – 4000 Hz frekans aralığında ölçülmüştür. En kalın kumaşın beklenildiği üzere ses yutuculuk performansı en yüksek çıkmıştır.

Su ve ark. (2009) dokusuz yüzeyler üzerine yaptıkları deneysel çalışmalar sonunda sonuçlar göstermiştir ki, ses yutuculuk katsayısı malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum özellikle orta ve düşük frekanslarda daha belirgin görülmüştür.

Wang ve Torng (2001) yaptıkları çalışmada, Tayvan ülkesinde üretilen ve kullanılan gözenekli lifli malzemelerin ses yutuculuk karakteristiklerini incelemiştir. Cam ve kaya yünü malzemelerin akışa karşı direnç, porozite ve yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Porozite ölçümleri bir ölçme kabında gerçekleştirilmiştir. İlk önce malzemenin hacmi ölçülmüştür. Ardından, malzeme su içine batırılarak ve malzeme içine suyun girebilmesi için bastırılarak dokusuz yüzeyi oluşturan cam lifi hacmi ölçülmüştür. Aradaki farktan porozite bulunmuştur. Dört farklı firmanın farklı yoğunluklardaki lifli malzeme olan ürünleri toplanmış ve ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda

yoğunluk arttıkça, hava akış direncinde artış görülmüştür. Yutucu malzeme için porozite de önemli bir parametredir. Farklı cam ve kaya yünü yoğunluklarına bağlı olarak değişen porozite 0,92 – 0,99 değerleri arasında ölçülmüştür. Sonuç olarak kalınlığın artmasıyla ses yutuculuk yeteneği özellikle düşük frekanslarda artış gösterdiği ölçülmüştür. Ayrıca ses yutuculuk açısından cam ve kaya yününün davranışları benzer bulunmuştur.

Byun ve Lee (2001) yaptıkları çalışmada otomotiv uygulaması için polyester (PET) içeren ses yutucu malzeme (dokusuz yüzey) hazırlamışlardır. Hem yüksek hem de düşük frekanslarda PET lifli malzeme cam yünü malzemeye göre daha iyi ses yutuculuk özelliği göstermiştir. Ayrıca çalışmada yoğunluk ve kalınlık PET lifli malzemenin ses yutuculuk özelliğinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. PET'in çevresel ve geri dönüşüm kriterleri de göz önünde bulundurulduğunda ses yutuculuğu açısından cam yününün yerine geçebileceği belirtilmiştir.

Tascan ve Vaughn (2008a, b) yaptıkları çalışmalarda hem liflerin, oluşturdukları dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilen (vertically lapped), hemde iğneleme yoluyla fikse edilmiş dokusuz yüzey kumaşlar için yapılan hava geçirgenliği ölçüm testlerinde 4DG (sekiz köşeli) lifleri kullanılarak üretilen dokusuz yüzey kumaşların hava geçirgenlikleri en düşük, dairesel kesitteki lifler kullanılarak üretilen kumaşların hava geçirgenlikleri ise en yüksek çıkmıştır. Çünkü 4DG (sekiz köşeli) lifleri kullanılarak üretilen dokusuz yüzey kumaşların birim ağırlık için toplam yüzey alanı, trilobal ve dairesel kesitteki lifler kullanılarak üretilen kumaşlara göre daha yüksektir. Trilobal lifleri kullanılarak üretilen kumaşların birim ağırlık için toplam yüzey alanı ise dairesel kesitteki lifler kullanılarak üretilen kumaşlara göre daha yüksektir. Beklendiği üzere tüm frekans değerleri (73 Hz – 20000 Hz) için ses yalıtım değerleri de 4DG (sekiz köşeli) lifleri kullanılarak üretilen dokusuz yüzey kumaşların en yüksek, dairesel kesitteki lifler kullanılarak üretilen kumaşların ses yalıtımı ise en düşük çıkmıştır. Liflerin, oluşturdukları dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilen (vertically lapped) kumaşlar için aradaki fark 8dB 'e kadar çıkmaktadır. Bunun sebebi kumaşın toplam yüzey alanının daha yüksek olmasındandır.

Malzeme yoğunluğunun artması, orta ve yüksek frekansta seslerin yutulmasında artışa sebep olmaktadır. Birim alandaki yoğunluğun artmasıyla lif sayısı artar. Enerji kaybı da

yüzey sürtünmesinin artmasıyla artar. Böylece ses yutuculuk katsayısı yükselir(Jayaraman, 2005).

Su ve ark. (2009) dokusuz yüzeyler üzerine yaptıkları deneysel çalışmalarda, malzeme kalınlığı sabit tutulduğunda, ses yutuculuk katsayısının düşük ve orta frekanslarda yoğunluk artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bunun yanında yüksek frekanslardaki ses yutuculuk değerleri düşüş göstermiştir.

Hui ve Fan (2009) kenevir liflerinden oluşturulmuş lifli-gözenekli malzeme yoğunluğunun ses yutuculuğa etkisini belirlemek için 5 cm kalınlığında, 40,8, 71,3, 91,7, 117,2 kg/m³ yoğunluklarında kenevir lifinden oluşturulmuş lifli gözenekli yapıların ses yutuculuk katsayıları 125 - 2000 Hz aralığında ölçülmüş, artan yoğunlukla ses yutuculuğun da arttığı tespit edilmiştir. Burada ses yutuculuğun artan yoğunlukla arttığı fakat 91,7 kg/m³ den sonra artışın yavaşladığı belirtilmiştir. Artan yoğunlukla ses yutuculuğun artması artan hava geçişine karşı direnç ve daha fazla hacim kaplayan liflerin bükülgen (flexural) titreşimlerine bağlanmıştır.

Na ve arkadaşlarının (2007) mikrolif kumaşların (dokuma ve örme) ses yutuculuk özelliği üzerine yaptıkları çalışmada kumaş yoğunluğunun ses yutuculuğuna etkisi kumaş kalınlığı ve kumaş ağırlığından daha fazla olduğu belirtilmiş ve gürültü azaltım katsayısı (NAC) 0,14 g/cm³ yoğunluk değerinde en yükek değere çıkmış, ardından düşüş göstermiştir. Yüksek frekanslı sesler yoğun kumaşta daha fazla yutulmuştur.

Kumaş yoğunluğu ses yalıtımı üzerinde de önemli bir etkidir. Sabit bir kalınlık değerinde liflerin paketlenme değeri değişecektir. Birim hacimde daha fazla lif oluşu, hava boşluklarının geometrisini ve hacmini etkilemektedir (Tascan & Vaughn, 2008a). Dokusuz yüzeyi oluşturan lifler arasında daha küçük hava boşluklarının bulunması, ses dalgası ile liflerin etkileşime girme ihtimalini arttırmaktadır(Tascan & Vaughn, 2008b).

Tascan ve Vaughn (2008a, b) yaptıkları çalışmalarda, yüksek yoğunluğa sahip dokusuz yüzey kumaşların ses yalıtım değerlerinin, düşük yoğunluğa sahip kumaşlara nazaran daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Beş farklı kumaşın yoğunlukları, liflerin, oluşturdukları dokusuz yüzey yapısına dik olarak yerleştirilmesiyle elde edilen (vertically lapped) kumaşlar için yapılan çalışmada 0,07 – 1,15 g/cm³ arasında, iğneleme yoluyla fikse edilmiş dokusuz yüzey kumaşlarda 0.09 – 1.18 g/cm³ aralığında

değişmektedir. Fakat liflerin aşırı derecede sık bir şekilde durması kumaş yüzeyinden daha fazla ses yansımaya sebep olmaktadır. Ses ölçümü yapılan sistemde mikrofonun kumaş arkasında bulunması, bu yansıyan seslerin hesaba katılmamasına sebep olmaktadır. Liflerin dikey yerleştiği dokusuz yüzey yapıda $1,15 \text{ g/cm}^3$, iğneleme yoluyla fikse edilmiş yapıda $1,18 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki dokusuz yüzey yapıyı oluşturan lifler çok sıkı ve ezilmiştir. Bu şekilde yapı, plastik bir film gibi ses dalgasına yanıt verir yani sesi çoğunlukla yansıtır. Ses yansımalarının ses yutulmasına nazaran artırılması ses yalıtımı açısından uygun bir çözüm değildir çünkü yansıyan sesler etrafta gürültü kirliliği oluşturacaklardır.

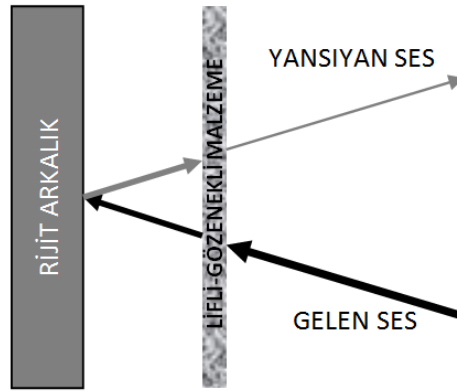
Sesin dokusuz yüzey yapı içine girebilmesi için boşlukların olması gerekir, ses dalgaları bu boşluklardan yapıya girer. Yapı yüzeyinde yeterli sayıda bulunan boşluklardan ses dalgaları geçer ve yapı içinde yutulur(Jayaraman, 2005).

Dokusuz yüzeylerin gözenekli yapısı, bu yapıyı dokuma veya örme kumaşlara nazaran ses yutuculuk için daha uygun yapmaktadır(Jayaraman, 2005). Gözenek sayısı, tipi, büyüklüğü, gözenekli yapılarda ses yutuculuk mekanizmasının incelenmesinde önemli faktörlerdendir (Genis ve ark. 1990a, Jayaraman 2005).

Gözenek büyüklüklerinin çok büyük olması, kumaşın ses yutuculuğunu düşüreceğini de söyleyebiliriz. Örneğin, Na ve arkadaşlarının (2007) mikrolif kumaşların (dokuma ve örme) ses yutma özelliği üzerine yaptıkları çalışmada $2 \times 2,5 \text{ mm}$ mesh gözü büyüklüğü olan mesh kumaşın yapısının çok büyük gözenekler barındırması, gürültü azaltım katsayısının (NRC) düşük ölçülmesine sebep olmuştur.

Hacimli, lifli-gözenekli ses yutucular olarak cam yünü, mineral yünü, bunun yanında iğneleme yoluyla fikse edilmiş yada reçine ya da sıcaklık ile liflerin birbirine bağlandığı lifli tekstil yapıları (dokusuz yüzeyler) iyi bilinen ve rijit gözenekli ses yutuculardır(Coates & Kierzkowski, 2002). Bunun yanında gözenekli malzemelerin düşük frekanslardaki ses yutuculuk değerlerini arttırabilmek için monte edildiği yer ile arasında hava boşluğu bırakılması fayda sağlar(Rettinger, 1968) (Şekil 2.44). Hatta lifli-gözenekli malzeme olarak ince yapılar seçilmesi ve arkasında uygun hava boşluğu bırakılması durumunda dahi kalın hacimli malzemelere benzer ses yutuculuk özelliği gösterebilirler(Coates & Kierzkowski, 2002).

Eğer hava geçirgenliğine karşı yeterli direnci olan ince gözenekli tekstil malzemesi rijit bir arkalığın önüne belirli bir hava boşluğu bırakılarak monte edilirse hem yüksek hem de düşük frekanslarda tatmin edici ses yutuculuk değerlerine ulaşılabilir. Hava boşluğu ile malzeme, hacimli kalın bir malzeme gibi, aynı kalınlığa ulaşabilecektir. Bu yapılarıyla panel yutucular en az, hacimli çok kalın tekstil malzemeleri kadar ses yutuculuk özelliğine sahip olacaklardır. Hacimli çok kalın tekstil malzemeleri hem daha fazla kaynağın kullanılması, hem de maliyeti açısından dezavantajlıdır. Bu haliyle panel yutucular iyi bir alternatif olmaktadır. Panel yutucularda yapılacak düzenlemeler ile düşük frekanslardaki ses yutuculuk, yüksek frekanstaki ses yutuculuk özelliğinden ödün verilerek, artırılabilir(Coates & Kierzkowski, 2002).



Şekil 2.44. Lifli-gözenekli malzemenin arkasında hava boşluğu bırakılması

Coates ve Kierzkowski (2002) çalışmalarında, arkasında 100 mm hava boşluğu bulunan bir panel yutucuda kullanılan tekstil malzemesinin hava akışına karşı gösterdiği direncin artırılması ile, panel yutucunun 200 Hz için ses yutuculuk katsayısının artış gösterdiği belirtilmiştir. Ses yutuculuk katsayısı 4000 rayls değerine kadar artış sonra azalma göstermiştir. Bu değerden sonra ses yutuculuk değerlerinin azalma göstermesi, sesin boşluklu yapı içine girmeden çevreye yansımından kaynaklanabilir.

Sabit bir kalınlık için hava akışına karşı direncin artması ses yutuculuk değerlerinin düşük frekanslarda daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Böylece hava boşluğu mesafesi değiştirilmeden, lifli yapının hava geçişine karşı direnci değiştirilerek, yutulması istenen frekans değerlerine göre ayarlama yapılabilir(Coates & Kierzkowski, 2002).

Hui ve Fan (2009) kenevir liflerinden oluşturulmuş lifli-gözenekli malzeme arkasında bırakılacak hava boşluğunun ses yutuculuğa etkisini belirlemek için 5 cm kalınlığında 293,5 g/m² ağırlığında lifli-gözenekli malzemenin arkasına 2,5, 5, 10, 15 cm boşluklar bırakılarak, kenevir lifinden oluşturulmuş lifli gözenekli yapının ses yutuculuk katsayısı 125 - 2000 Hz aralığında ölçülmüştür. Artan hava boşluğu ile ses yutuculuğunun da arttığı tespit edilmiştir.

Shoshani ve Rosenhouse (1990) yaptıkları çalışmada dokuma kumaş arkasında hava boşluğu bırakılması durumunda ses yutuculuk katsayısında önemli değişiklikler görmüştür. İncelemeler sonucunda dokuma kumaşın ses yutuculuk değerleri devamlı bir membran (film) gibi davranış gösterdiği, dolayısıyla sonuçların daha çok arkada bırakılan hava boşluğu mesafesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Dokuma kumaş arkasında bırakılan hava boşluğu miktarı, gelen ses dalgasının dalga boyunun yaklaşık 0,25 ve 0,75 katı olduğunda ses yutuculuğunun maksimuma ulaştığı, 0,5 katı olduğunda ise minimum olduğu gözlenmiştir. Bu davranış göreceli olarak daha ince ipliklerin kullanıldığı pamuklu kumaşta görülmemiştir. Bu kumaş için fazladan bir ses yutuculuk mekanizmasının (viskoz enerji kaybı) dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Lee ve Joo (2003)'nun yaptıkları çalışmada iki farklı kalınlıkta PP film (0,03 ve 0,08 mm), spunbond dokusuz yüzey (0,58 mm), alüminyum folyo (0,03 mm), termal fiksaj yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzey üzerine kaplanmış, bunun yanında birde yapı içine monte edilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarında, yukarıda bahsedilen malzemelerle kaplanan ve içine yerleştirilen tüm paneller, bu işlemler yapılmamış dokusuz yüzey kumaşa nazaran düşük ve orta frekanslar olarak nitelendirilebilecek ($f < 1750$ Hz) değerlerde gürültü yutuculuk katsayılarında (NAC) artış olduğu belirtilmiştir. Fakat yüksek frekans değerlerinde birçok örnekte ani düşüş görülmüştür. Bu ani düşüş özellikle PP film ve alüminyum folyo ile kaplanan panellerde görülmüştür. Bu ani düşüşün sebebi çakışma etkisi olarak açıklanmıştır. Çakışma etkisi literatürde, panelin üzerine etki eden ses dalgasının dalga boyu ile paneldeki eğilme dalgasının dalga boyu çakıştığı zaman üretilen rezonans olayı nedeniyle olduğu belirtilmektedir (Demirkale, 2007).

Spunbond dokusuz yüzey yapı ve kalın PP filmin yapı içine yerleştirilmiş olduğu panellerde düşük frekanslarda gürültü yutuculuk katsayılarında (NAC) artış görülmüş,

yüksek frekanslarda ise düşüş görülmemiştir. Bunun sebebi film sebebiyle yapı içinde yansıyan ses dalgasının dokusuz yüzey kumaş tarafından ikinciye yutulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir..

Lee ve Joo (2004) yaptıkları bir başka çalışmada bu sefer beş farklı tipte geri dönüştürülmüş PET liflerinden elde edilen dokusuz yüzey kumaş kullanmışlardır. Düşük erime sıcaklığına sahip binder lifleri 6 denye inceliğinde, diğer lifler ise 0.05, 2, 3, 7 denye seçilmiştir. Tüm lifler 42 mm uzunluğa sahiptir. Çalışmada, PP ve alüminyum filmlerle kaplanan dokusuz yüzeylerle oluşturulan yapıların ses yutuculuk katsayıları ölçülmüş ve düşük ve orta frekansların ses yutma katsayılarında artış, yüksek frekansların ses yutma katsayılarında ise düşüş gözlenmiştir. Daha ince PP filmde yüksek frekansların ses yutuculuk katsayılarında düşüş daha az ölçülmüştür.

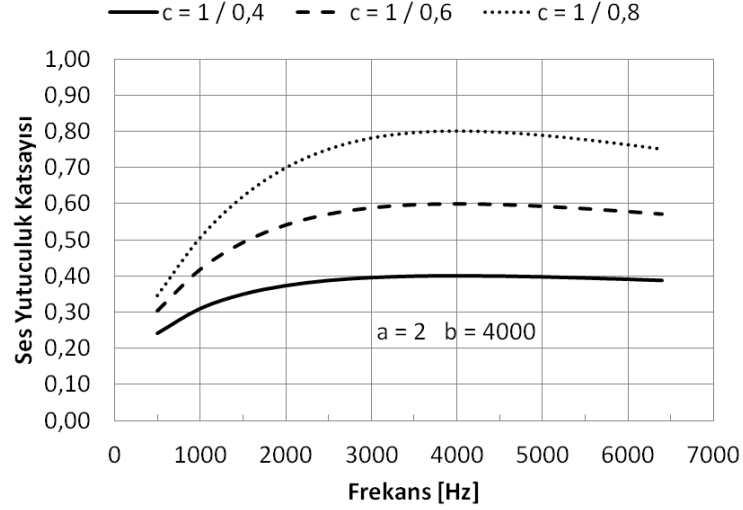
2.5. Lifli-Gözenekli Malzemelerin Akustik Özellikleri ile İlgili Yapılan Teorik ve Sayısal Ağırlıklı Araştırmalar

Dokusuz yüzeylerin akustik özelliklerinin tahmin edilebilmesi önemli bir konudur. Çünkü istenen uygulamaya göre, istenen ses yutuculuğa sahip malzemenin direkt olarak üretimine geçilebilmesine imkan sağlar. Literatürde ses dalgasının gözenekli malzemeler içinden geçişi ile ilgili teorik araştırmalar bulunmakla birlikte, bunların bir çoğu yapılan kabuller nedeniyle lifli-gözenekli malzemenin genel akustik özelliklerini tarif etmede kısmen başarılı olmuştur.

Bu tip malzemelerin yapılarının karışıklığı nedeniyle analitik bir çözümü kolayca gerçekleştirilememektedir (Wang & Torng, 2001). Bunun yanında deneysel verilere en iyi uyan ampirik ifadelerin çıkarılması konusunda çalışmalar yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalardan biri Genis ve arkadaşlarının (1990b) yaptığı araştırmadır. Ses yutucu olarak polimer eriyikten (polipropilen) çekilmiş farklı kalınlık, yoğunluk ve lif çapına sahip lifli malzeme üretmişlerdir. Lifli malzemede bağlantı, termal fiksaj yöntemiyle sağlanmıştır. Ses yutuculuk katsayısı ölçülen malzemelerin maksimum ses yutuculuk değeri 1000 ile 2000 Hz bölgesinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu frekansların dışında ses yutuculuk katsayısının düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Ses frekansındaki değişime karşılık gelen ses yutuculuk katsayısındaki değişim, deneysel veriler göz önünde bulundurularak aşağıdaki fonksiyon ile ifade edilmiştir.

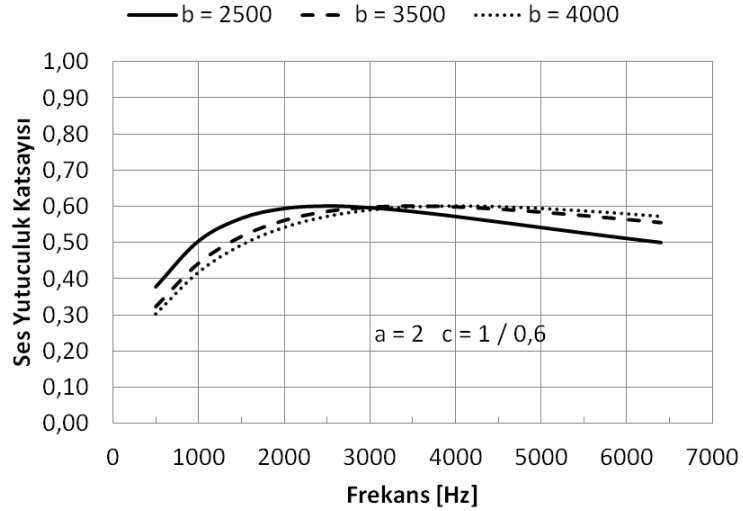
$$\alpha = 1 / \left[a \left(\log v / b \right)^2 + c \right] \quad (2.26)$$

v ses frekansı [Hz]; a , b ve c ise ampirik katsayılarıdır. Burada v ses frekansındaki değişim karşısında ses yutuculuk katsayısındaki değişim oranını, b maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekansı, c ise maksimum ses yutuculuk katsayısının çarpmaya göre tersini temsil etmektedir.



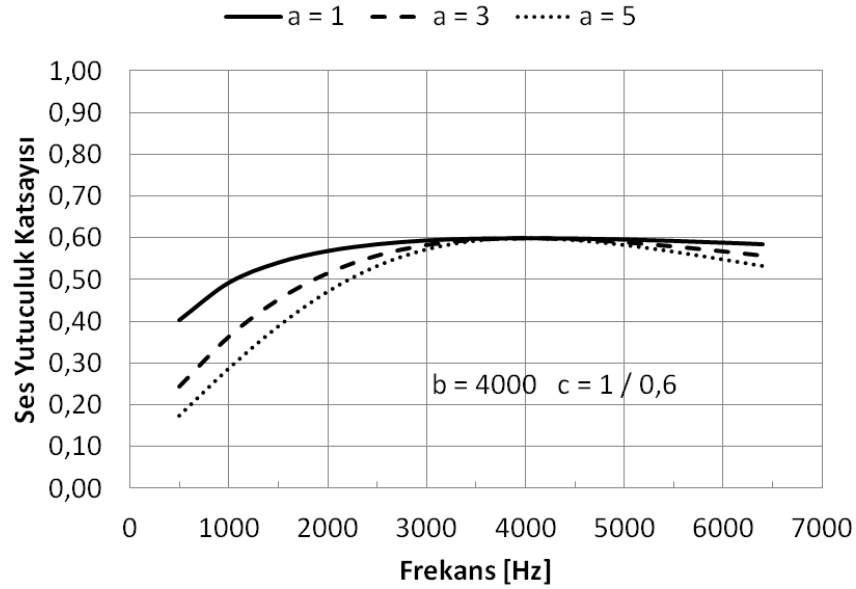
Şekil 2.45. Farklı c katsayılarının ses yutuculuğa etkisi

Şekil 2.45, 2.46 ve 2.47, (2.26) numaralı denklemden faydalanarak çizilmiştir. Her bir şekil çizilirken diğer katsayılar sabit tutularak, etkisinin görülmesi istenen katsayı üç farklı değer seçilmiş ve hesaplanan ses yutuculuk katsayıları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.46. Farklı b katsayılarının ses yutuculuğa etkisi

(2.26) numaralı denklemin doğası gereği, frekansın artmasıyla ses yutuculuk katsayısı önce bir çıkış, maksimum değerine ulaştıktan sonra da iniş eğilimi göstermektedir (Şekil 2.45, 2.46, 2.47).



Şekil 2.47. Farklı katsayılarının ses yutuculuğa etkisi

30 mikron çapında lifler kullanılarak farklı kalınlıklarda (9,3 , 6 , 4 , 2,1 mm) üretilen lifli malzemelerin ses yutuculukları ölçülmüştür. Kalınlık arttıkça ses yutuculuk değerlerinde artış gözlenmiştir. Bunun yanında ses yutuculuğun frekansa bağlı değişiminin hesaplanması için önerilen fonksiyonda çeşitli numuneler ile yapılan karşılaştırmalar sonunda a ve b katsayıları neredeyse hiç değişim göstermemiştir. Dolayısıyla a ve b katsayıları da üretilen bu numuneler için sabit kabul edilebilir. Nihayet c katsayısı malzeme özelliklerini ihtiva eden tek katsayı olarak kalmıştır. c katsayısı ile ses yutuculuğa etkisi olan malzeme özelliklerinden lif çapı, malzeme kalınlığı ve malzeme toplam yoğunluğu arasında deney sonuçları kullanılarak kurulan korelasyon ilişkilerinden faydalanılarak aşağıdaki denklem türetilmiştir.

T : kalınlık [mm],

d : lif çapı [μm],

ρ : yoğunluktur [kg/m^3].

$$\alpha_{maks} = \frac{1}{c} = \frac{1}{a_0 + a_1 T^{-1} + a_2 d + a_3 \rho + a_4 \rho^{-1}}$$

Lif çapı, malzeme kalınlığı ve malzeme toplam yoğunluğu farklı olan farklı lifli malzemelerin maksimum ses yutuculuk değerleri kullanılarak formülde yerine yazılmış ve geliştirilen bilgisayar programı vasıtasıyla polimer eriyikten (polipropilen) çekilmiş, termal fiksaj yöntemiyle lifler arası bağlantı sağlanmış lifli malzemeler için katsayıların çözümü yapılmıştır. Sonuç olarak $a_0 = 0,91$; $a_1 = 9,09$; $a_2 = 0,0055$; $a_3 = 0,0009$; $a_4 = 9,09$ hesaplanmıştır.

Benzer çalışma iğneleme yoluyla fiske edilmiş lifli malzemeler üzerinde de yapılmış, kumaşların yapısal parametrelerine bağlı olarak ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Üretilen lifli malzemeler farklı lif çapı, kalınlık ve ağırlıklarda üretilmişlerdir. Yukarıda verilen yöntem benzer şekilde kullanılmış ve deneysel sonuçlarından faydalanılarak $\alpha = 15$ olarak hesaplanmıştır (Genis ve ark. 1990a). Böylece farklı bir üretim metodu kullanılması durumunda katsayıların farklı çıkacağı öngörüsü doğrulanmaktadır.

Hesaplanan ses yutuculuk katsayılarına bakıldığında termal fiksaj yöntemiyle üretilmiş lifli malzemeler için lif çapının azalması yada malzeme kalınlığının artırılması ses yutuculuk katsayısını arttırmaktadır. Lif çapının azalması ile ses yutuculuk katsayısının artması lifli malzemenin daha küçük gözeneklere sahip olması ile açıklanabilir. Daha fazla ses enerjisi küçük gözenek kanallarında hava sürtünme kuvvetlerini yenerken harcanmakta, böylece ses enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir (Genis ve ark. 1990b).

Kalınlığın artmasında ise buna benzer bir durum ile karşılaşıldığı çalışmada belirtilmiştir. Çünkü gözenek kanallarının uzunluğu kalın malzemede daha fazla olmakta ve ses dalgasının ilerleme yolunda lif formunda daha fazla sayıda ilerlemeyi durduran, yavaşlatan engel bulunmakta olduğu iddia edilmiştir (Genis ve ark. 1990b).

Yoğunluk arttıkça ses yutuculuk katsayısı da artış göstermekte, yoğunluğun 100 kg/m^3 ü aşmasından sonra ise ses yutuculuk katsayısında düşüş gözlenmektedir. Daha düşük yoğunlukta ses enerjisi malzeme içine girebilmekte iken yüksek yoğunlukta ($200 - 600 \text{ kg/m}^3$) dikkate değer miktarda ses enerjisi liflerin engel olması nedeniyle geri yansımaktadır.

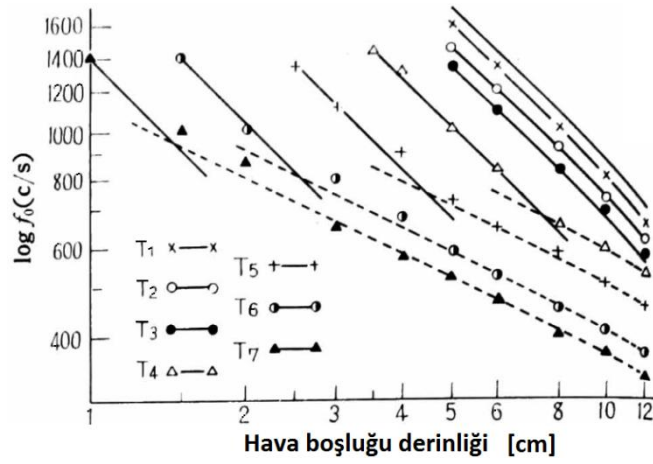
Aso ve Kinoshita lifli-gözenekli malzemelerin akustik özelliklerinin anlaşılabilmesi için araştırmalar yapmış, ses yutuculuk mekanizmaları ilk önce dokuma kumaşlar üzerinden ortaya konmuştur. Sonraki çalışmalarda dokusuz yüzeylerin ve cam yünü malzemelerin akustik özellikleri bu mekanizmalar temel alınarak ve bir kısım ilavelerle açıklanmıştır. Dokuma kumaşların ses yutuculuk özellikleri ile ilgili yapılan çalışmada (Aso & Kinoshita, 1963) farklı yoğunluklardaki (farklı gramajlarda) dokuma kumaşların empedans tüp metoduna göre ses yutuculuk katsayıları ölçülerek ses dalgalarının kumaşlar tarafından yutulma mekanizması analiz edilmiştir. Yedi farklı atkı sıklığına sahip (42 atkı/inç'den 92 atkı/inç'e kadar), 1 inçte 98 çözgü ipliği bulunan balıksırtı deseninde pamuklu kumaşlar dokunmuştur. Kumaşların gramajları 147 g/cm^2 den 219 g/cm^2 ye kadar değişmektedir. Sonuçlara bakıldığında arkasında hava boşluğu bırakılmayarak ses yutuculukları ölçülen kumaşların sonuçları frekanstan bağımsız olarak çok düşük çıkmıştır. Örneğin 219 g/cm^2 lik $0,70 \text{ mm}$ kalınlığa sahip kumaş için ses yutuculuk katsayısı () <0.026 , 147 g/cm^2 $0,77 \text{ mm}$ kalınlıktaki kumaş için <0.029 ölçülmüştür (1600 Hz 'e kadar ölçümler gerçekleştirilmiştir).

Kumaşlar arkasında 2 cm 'lik boşluk bırakıldığında ise ses yutuculuk değerleri frekans artışı ile birlikte ani artış göstermektedir. Arkada bırakılan hava boşluğu miktarı arttığında görülebilen maksimum ses yutuculuk değeri düşük frekanslara doğru kaymaktadır. Gramajları 147 den 181 g/m^2 ye kadar olan kumaşların arkalarında ikişer cm artımlarla hava boşluğu bırakılmalarının ardından ulaştıkları maksimum ses yutuculuk katsayıları, hava boşluğu miktarının daha fazla arttırılmasıyla değişmemiştir. Daha ağır kumaşların ise (194 den 219 g/m^2 ye kadar) maksimum ses yutuculuk katsayıları hava miktarı ile değişim göstermiştir.

Sonuçları bir başka şekilde yorumlayabilmek için x eksenini hava boşluğu derinliği (d) cinsinden, y eksenini ise yutuculuk katsayısı olarak düzenlenmiş ve tüm kumaşların 1600 Hz teki yutuculuk değerleri grafikte yerine konmuştur. Benzer yutuculuk karakteristikleri başka frekanslarda da görülmüştür. Tüm kumaşlar hava boşluğu miktarı (λ : dalga boyu) $d = 0$ ve $d = \lambda / 2$ iken minimum ses yutuculuk göstermiştir (1600 Hz 'de). En hafif (147 g/m^2) kumaşın maksimum ses yutuculuk değeri $d = \lambda / 4$ den çok az daha küçük uzunlukta ölçülmüştür. 1600 Hz de maksimum ses yutuculuk değerleri kumaş gramajı arttıkça arkalarında bırakılan hava boşluğu açısından daha küçük

uzunluklarda ölçülmüştür. Bunun yanında gramajları 147 den 181 g/m² ye kadar olan kumaşların eğrileri düzgün konveks (dış bükey) eğriler iken daha ağır kumaşların (194 den 219 g/m² ye kadar) eğrileri ise biçimsiz eğrilerdir.

Bir başka grafikte ise x eksenini yine hava boşluğu derinliği, y eksenini ise maksimum ses yutuculukların ölçüldüğü frekans değerlerini göstermektedir. Grafikteki kesiksiz doğruların derecesinin -1, kesikli doğruların derecesinin ise -1/2 olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.48) (Şekil 2.48’de T₁ en hafif kumaşı temsil etmekte artan indis bir öncekine göre daha ağır kumaşı temsil etmektedir).



Şekil 2.48. Hava boşluğu miktarı ile maksimum ses yutuculuğun görüldüğü frekans ilişkisi (Aso ve Kinoshita 1963’den değiştirilerek alınmıştır)

Sonuçlara göre, gramajları 181 den 219 g/m² ye kadar olan göreceli ağır kumaşlar arkadaki hava boşluğu az iken -1 çok iken -1/2 dereceli doğru davranışı göstermiştir. Bu sonuçlar eşliğinde aşağıdaki ifadeler yazılmıştır.

$$f_0 = K_1/d \quad (2.27)$$

$$f_0 = k_1/\sqrt{d} \quad (2.28)$$

Yukarıdaki denklemlerde f_0 kumaş arkasında hava boşluğu bulunması durumunda maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekansı, d hava boşluğu derinliğini, K_1 ve k_2 sabitlerdir ve gramaj arttıkça küçülmektedir.

Ses dalgasının enerjisinin kumaş içerisinde geçerken iplik yüzeyleri ile hava arasındaki viskoz direnç ve ayrıca liflerin titreşimi sonucu harcandığı belirtilmiştir. Yutuculuk mekanizmasının bu şekilde olması durumunda, kumaşın partikül hızın yüksek olduğu bölgeye yerleştirilmesiyle, enerji kaybının daha fazla olacağı beklenmektedir. Empedans tüp içinde partikül hızının incelenmesi sonucu, arka rijit duvar yüzeyinde hızın minimum, duvardan $\lambda / 4$ mesafe uzakta maksimum, $\lambda / 2$ uzakta ise yine minimum olduğu görülmüştür. Gramajı 147 ile 177 g/m² arasında değişen üç kumaş tüp içinde konumu $d = \lambda / 4$ olacak şekilde yerleştirildiğinde ses enerjisi diğer bölgelere nazaran daha fazla harcanmıştır. Bunun sebebi iplikler ile hava arasındaki maksimum sürtünme direncidir. $d = 0$, $d = \lambda / 2$ de ise yutuculuk katsayısı minimum partikül hızından dolayı düşüktür. Bu nedenle bu tür yutuculuk mekanizması viskozite direnci tipi (viscosity resistance type) olarak adlandırılmıştır. Bu durumda maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekans Şekil 2.48 de kesiksiz doğru ile gösterilmiş ve ilişki aşağıdaki formülasyonla verilmiştir.

c: Ses hızı

$$f_0 = \frac{c}{4d} \quad (2.29)$$

Gramajları 181 den 207 g/m² ye kadar olan üç kumaş tipinin arkalarındaki hava boşluk miktarının yüksek olması durumunda f_0 ile d arasındaki ilişki (2.28) numaralı ifade ile gösterilebilir. Bu sebeple bu kumaşların ses yutuculukları başka bir mekanizmayla açıklanması gerektiği öne çıkmaktadır. Fakat tüm kumaşlar ses yutuculuk mekanizmasından bağımsız, minimum partikül hızı bölgesine yerleştirildiklerinde minimum ses yutuculuk katsayıları elde edilmektedir.

Kumaşların ses dalgalarını yutmasında iki farklı mekanizmanın var olduğu görülmüştür. Bunlardan birincisi viskozite direnci tipidir (viscosity resistance type). Burada ses dalgası kumaş içerisinde geçerken hava ve lif arasındaki sürtünme direncinin üstesinden gelir ve bu arada enerji kaybı da meydana gelir. Bunun sonucunda yutuculuk oluşur.

Diğer ses yutuculuk mekanizmasının ise rezonans tipi mekanizma olduğu belirtilmiştir. Burada ses dalgaları kumaş ve kumaş arkasındaki elastik havanın oluşturduğu sistemi titreştirerek yutuculuk sağlanır. Bu tip ses yutuculukta, titreşim sonucu kumaşın yer değiştirme miktarı kumaşın tüm bölgelerinde eşit olduğu kabulü yapılmıştır, çünkü kumaşın titreşimleri çok küçüktür. Birinci durumda kumaşın hava içermediği, örneğin tüm yüzeyinin kumaşın kendisi olduğu kabulü yapılmıştır. Kumaş yüzeyine ses dalgası kuvvet olarak titreşim oluşturmak üzere etki ettiği zaman, bu tekli rezonans sisteminde (burada kumaş kütle, arkasındaki hava boşluğu ise kuvvete direnç gösteren (stiffness) ve elastik deformasyona uğrayan bir elemandır) denge denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$M \frac{d^2u}{dt^2} + r \frac{du}{dt} + \frac{KS}{d}u = SP_0 e^{i\omega t}$$

Rezonans ile ilgili denklemlerde; S : numune alanı, M : numune kütlesi, m : kumaş gramajı, u : titreşim elemanının yer değiştirmesi, r , r' : mekanik direnç, K : havanın hacimsel elastisitesi (hacimsel (bulk) elastik modül), d : hava boşluğu derinliği, P_0 : birim alana etkiyen ses basıncı, ω : dış basıncın açısal frekansı, F : Kumaşın açık boşlukların toplam alanı, P : F nin S ye oranı, l_0 : Kumaşın açık boşlukların kalınlığı, ρ : Havanın yoğunluğu, t : zaman dır.

Kararlı haldeki çözümde, rezonans frekansı aşağıdaki gibi olur:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{SK}{Md} \right)^{1/2} \quad (2.30)$$

İkinci durumda tekli rezonans sistemde, hem kumaş içindeki havayı hem de kumaş kütle, arkasındaki hava boşluğu ise kuvvete direnç gösteren (stiffness) ve elastik deformasyona uğrayan bir eleman olarak kabul edilirse, kuvvetin denge halinden aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$(M + Fl_0\rho) \frac{d^2u}{dt^2} + r \frac{du}{dt} + \frac{KS}{d}u = SP_0 e^{i\omega t}$$

İkinci durumda tekli rezonans sistemde, kararlı haldeki çözümde, rezonans frekansı aşağıdaki gibi olur (Ses dalga hızı $c = (K / \rho)^{1/2}$):

$$f_{rez} = \frac{c}{2\pi} \left(\frac{\rho}{m + Pl_0\rho} \right)^{1/2} d^{-1/2}$$

Üçüncü durumda sadece kumaş içerisindeki havayı kütle elemanı, kumaş arkasındaki hava boşluğu ise kuvvete direnç gösteren (stiffness) ve elastik deformasyona uğrayan bir eleman olarak kabul edilirse, kuvvetin denge halinden aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$(Fl_0\rho) \frac{d^2u}{dt^2} + r \frac{du}{dt} + \frac{KF^2}{Sd} u = FP_0 e^{i\omega t}$$

Üçüncü durum için kararlı haldeki çözümde, rezonans frekansı aşağıdaki gibi olur:

$$f_{rez} = \frac{c}{2\pi} \left(\frac{P}{l_0} \right)^{1/2} d^{-1/2}$$

Dördüncü durumda basıncın sadece kumaşa (S_0 : lifli yüzey alana) etki ettiği düşünülür, dolayısıyla kumaş kütle elemanı, kumaş arkasındaki hava boşluğu ise kuvvete direnç gösteren (stiffness) ve elastik deformasyona uğrayan bir eleman olarak kabul edilirse, kuvvetin denge halinden aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$M \frac{d^2u}{dt^2} + r \frac{du}{dt} + \frac{KS_0}{Sd} u = S_0 P_0 e^{i\omega t}$$

Dördüncü durum için kararlı haldeki çözümde, rezonans frekansı aşağıdaki gibi olur:

$$f_{rez} = \frac{c}{2\pi} \left(\frac{\rho(1-P)^2}{m} \right)^{1/2} d^{-1/2}$$

Tüm denklemlerde rezonans frekansı $1/\sqrt{d}$ ile orantılıdır. Deneysel sonuçlarda da bazı kumaşların maksimum ses yutuculuk frekansları $1/\sqrt{d}$ ile orantılı bulunmuştur.

Dolayısı ile (2.28) numaralı eşitliğe tabi olan kumaşlara rezonans tip yutuculuk mekanizması ismi verilmiştir.

(2.30) numaralı denklem için yapılan hesaplamalarla deney sonuçları tam olarak örtüşmemiştir. Bunun sebebi hava boşluğunun hesaba katılmaması olarak belirtilmiştir. Diğer denklemlerde ise kumaş içindeki hava boşluğunun ölçülmesinin mümkün olmadığı belirtilmiştir. Pamuk ipliklerinin dairesel olduğu varsayılarak hesaplanan, kumaşın açık boşluklarının toplam alanının, numune alanına bölünmesi ile hesaplanan P değerlerinin kullanımı fayda sağlamamıştır. Dolayısıyla birinci durumdaki rezonans sistemin, kumaşın rezonans mekanizması olarak kabul edilmesi pratik olarak daha uygun görülmüştür.

Aso ve Kinoshita (1964) bir başka çalışmada lifli malzemenin ses yutuculuk karakteristiğine etki eden faktörlerin, lif uzunluğu, inceliği, liflerin yüzey karakteristiği ve elastisitesi, porozite, lif oryantasyonu, malzeme kalınlığı, liflerin nasıl yerleştirildiği (dikey, yatay) ve frekans olduğunu belirtmiştir. Farklı porozite, kalınlık, lif oryantasyonu, incelikte bir çok lifli malzeme oluşturulmuş ve bu değişkenlerin ses yutuculuk üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada iplik kullanılmadan, direkt olarak liflerden oluşmuş malzemenin (fiber assembly) oluşturulmasında etkili faktörlerin malzemenin ses yutuculuk karakteristiklerine olan etkileri 250 - 2000 Hz arasında 1/3 oktavlarda normal gelen ses yutuculuk katsayıları ölçülerek araştırılmıştır. Lifli malzemeler üzerinde ızgara-tel olan bir kap içerisinde liflerin (çoğunlukla viskon lifleri) sıkıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Ses ölçümleri bu aparat ile beraber yapılmıştır.

İyi bilinen viskozite direnci tipi (I) (viscosity resistance type) dışında iki farklı yutuculuk karakteristiğinin varlığının söz konusu olduğu belirtilmiştir. Bunlardan ilki, yutuculuk karakteristiği düşük frekanslarda rezonans yutuculuğu gösteren fakat yüksek frekanslarda tip (I) 'e tabi olan lifli rezonans tipi (II), diğeri ise, (I) ve (II) arasında kalan orta düzey (intermediate type) tiptir.

(I) tipinde ses yutuculuk karakteristiği, lifli malzemelerde ortak ve yaygın görülen bir karakteristiktir. Burada düşük frekanslarda ses yutuculuk katsayısı düşük, frekans arttıkça ses yutuculuk katsayısı da kayda değer yükseliş göstermektedir. Ses dalgası lifli malzemeye çarptığı zaman, ses basıncı malzeme içindeki küçük gözeneklerde bulunan

havayı titreştirir. Titreşen hava ve lifler arasındaki sürtünme direncinin yenilebilmesi için ses dalgasında alınan enerjiye ihtiyaç vardır. Lif ve hava arasındaki relatif hareket ses enerjisinin ısı enerjisi olarak harcanmasına sebep olur (viskozite direnci tipi). Bu tip ses yutuculuk yüksek poroziteye sahip lifli malzemelerde görüldüğü yapılan çalışmada belirtilmiştir. Yüksek frekanslarda maksimum ses hızı malzeme içinde kaldığı için ses yutuculuk yüksek olur.

(II) tipindeki yutuculukta ise düşük frekanslarda bir pik (ani şekilde çok yükseliş) söz konusu, bunun dışında artan frekansla birlikte ses yutuculuk yine artış göstermektedir. Bu davranış, arkasında hava boşluğu bulunarak rezonans yutuculuk sağlayan malzemelerinkinden (pulp board, plywood) farklıdır. Düşük frekanslardaki pik malzemenin rezonansından kaynaklanmakla birlikte, yüksek frekanslara doğru yutuculuktaki artış lifli malzemeye has bir davranıştır. Buradaki davranış viskozite direnci tipi olarak kabul edilebilir. Bu nedenlerle tip (II) yutuculuk mekanizması lifli rezonans tip (fibrous resonance type) olarak ilgili çalışmada adlandırılmıştır. Bu davranış liflerin rasgele dizildiği daha düşük poroziteli lifli yapılarda ve liflerin dikey (sesin geliş doğrultusuna göre) olarak yerleştirildiği yapılarda görüldüğü dikkat çekilmektedir.

(III) tipindeki yutuculuk rezonans yutuculuk göstermekte fakat bir pik (ani şekilde çok yükseliş) söz konusu değildir. Bunun sebebi hava viskozitesi orijinli yutuculuk katsayısının, rezonans frekansa göre daha büyük olmasından kaynaklandığı iddia edilmiştir.

Eğer lifler ses dalgasının geliş doğrultusuna paralel şekilde yerleştirilirse lifli malzemenin yutuculuk karakteristikleri tip (I) e tabi olmaktadır. Poroziteyi düşürsek bile ses dalgası malzeme içine girebilmekte tip I e göre yutuculuk gerçekleşmektedir. Liflerin dik yada rasgele biçimde dizilmesi durumunda porozite yüksekken ses yutuculuk, sese göre paralel yerleşime göre fazladır. Çünkü paralel konumda arkaya doğru düz bir hava boşluğu vardır ve ses daha rahat şekilde ilerlemiş olur. Düşük porozite de ise liflerin dik yada rasgele biçimde dizilmesi halinde ses içeri giremeyebilir ve rezonans şeklinde bir yutum dışında fazla bir yutum olmaz sesin büyük kısmı geri yansır (Yüksek frekansta yutuculuk düşük olur bu sebeple).

Lifli malzeme içindeki hava, yutuculukta rol almakta, eğer lifler hava boşluğunu küçük bölümler oluşturacak şekilde bölerlerse yutuculuk katsayısının değeri yüksek olmaktadır. Örneğin % 82,5 porozitedeki sese paralel malzemenin ses yutuculuğu ile sese dikey % 90 porozitedeki malzemenin ses yutuculuğu çok yakındır.

Eğer lifli malzemenin ses yutuculuk mekanizması viskozite direnci tipinde ise doğal olarak lif toplam yüzey alanı ile ses yutuculuk arasında bir ilişki olmalıdır. Bununla birlikte eşit yüzey alanına sahip lifli malzemelerin yakın ses yutuculuk değerleri olmalıdır.

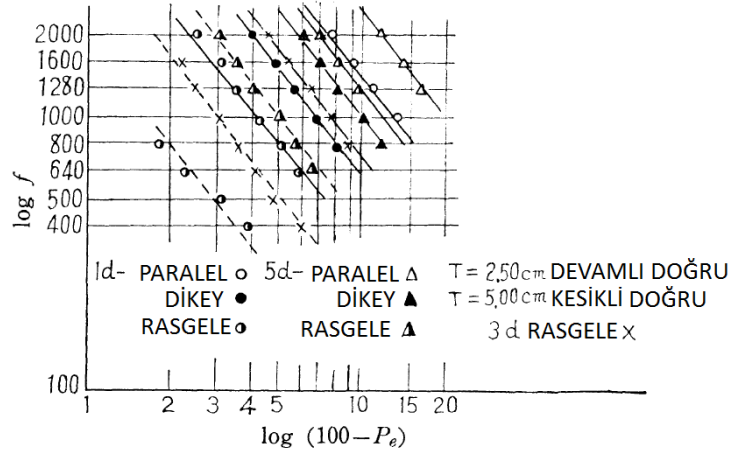
Lifli malzemenin yutuculuk mekanizması temelde lif yüzeyi ile yapı içindeki havanın sürtünme hareketinden kaynaklandığı deneysel olarak belirlenmiştir. Lifli malzemeyi oluşturan liflerin boyu yada incelikleri farklı olsa dahi toplam lif yüzey alanı aynı olması durumunda yutuculuk karakteristikleri de benzer olmaktadır.

Lifli malzemenin düşük frekanslarda ses yutuculuk katsayılarının artırılması adına kalınlıklarının artırılması porozitelerinin düşürülmesine nazaran daha iyi bir çözümdür. Kalınlık arttıkça düşük frekansta ses yutuculuk artmaktadır, çünkü daha fazla frekansın maksimum partikül hızı malzeme içine denk gelmektedir. Belirli bir frekans ve porozite değeri için, ses yutuculuk katsayısının maksimum bir değere ulaştığı efektif bir kalınlık değeri söz konusudur.

Eğer numuneler aynı oryantasyon (liflerin dikey yada yatay yerleşimi) ve aynı kalınlıkta iseler ve eşit yüzey alanına sahip iseler ses yutuculuk karakteristikleri aynı bulunmuştur. Bunun dışında toplam yüzey alanları aynı olsa bile kalınlığın artması durumunda ses yutuculukta artmaktadır. Ses yutuculuk karakteristiği yüksek frekanstan düşük frekansa kaymaktadır.

Çalışmada ayrıca belirli bir frekans için sesin maksimum yutulduğu kalınlık değerleri de not edilmiştir. Buna göre yüksek poroziteli yapıların ses yutuculukları artan kalınlıkla artmaktadır (1000 ve 2000 Hz için). Düşük poroziteli yapılarda böyle bir durum ölçülmemiştir. Genel olarak daha düşük poroziteli lifli yapılarda düşük frekanslarda ses yutuculuk daha yüksek ölçülmüştür.

Aşağıdaki grafikte (Şekil 2.49) frekans (f) ile efektif porozite (o frekansta ses yutuculuk katsayısını maksimum değere çıkaran porozite) (P_e) ilişkisi verilmiştir.



Şekil 2.49. Frekans ile efektif porozite arasındaki ilişki (Aso ve Kinoshita 1964'dan değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 2.49'daki tüm doğrular -1,3 dereceye sahip olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla belirli frekans değeri ve o frekansta ses yutuculuk katsayısını maksimum değere çıkaran belirli efektif porozite arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Farklı liflerle de (nylon, asetat) yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucu, bunlarında -1,3 dereceye sahip olması ilgi çekici bir sonuçtur. Bunun yanında kalınlık T = 1,25 cm için ölçülen frekans aralığında maksimum ses yutuculuk değerleri ölçülemediği için, bu örneklerin efektif porozite değerleri elde edilememiştir. Ayrıca ses yutuculuk katsayılarınının 250-2000 Hz aralığında ölçüldüğünü ifade etmek gerekir.

$$f = K(100 - P_e)^{-1.3}$$

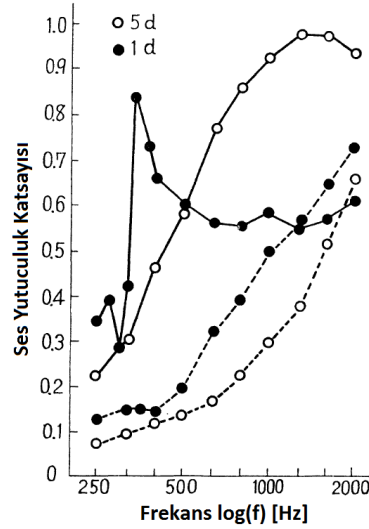
Denklemden K sabit bir katsayıdır. Bu katsayı lif tipini, lif inceliğini, lif oryantasyonunu ve malzeme kalınlığını içeren bir katsayıdır.

Genel olarak frekans artışı ile o frekansta görülen maksimum ses yutuculuk değeri artış göstermektedir. Lakin kalınlığın 5 cm olduğu durumda (diğer örneklere göre daha kalın) yutuculuk (diğerlerine göre yutuculuğu en yüksek) belli bir değerden sonra düşüş göstermektedir.

Tüm sonuçlara bakıldığında, lifin incilmesi toplam yüzey alanını arttırmakta, böylece en etkili efektif porozite değeri artmakta, ve etkili olduğu frekans değeri düşmektedir.

Aso ve Kinoshita (1965) bir başka çalışmada, ses yutucu olarak kullanılacak ve maksimum ses yutuculuk elde edilecek en uygun poroziteye sahip lifli malzemenin belirlenmesi için, malzemelerin arkalarına hava boşluğu bırakılarak ses yutuculuk katsayıları ölçülmüş, ses yutuculuk karakteristikleri incelenmiştir. Hammadde olarak 2,5 cm uzunluğunda kesikli viskoz rayonu lifi kullanılmıştır. Hava boşluğu bırakılarak ölçüm yapılmasının bir sebebi de sonuçları ölçüm frekans aralığına düşürmektir ve bu çalışma için bir dezavantajdır. Üretilen örneklerin lifleri el tarağı ile açılmış, lifli malzemeler, üzerinde ızgara-tel olan bir kap içerisinde liflerin doldurulmasıyla oluşturulmuştur. Numunelerin el ile hazırlanması da gerçek üretim hattından oluşturulacak lifli malzemenin aynı özelliklerini taşıyabileceği burada vurgulanmalıdır. Çıkan sonuçlar ise; porozite düştükçe ses yutuculuk karakteristikleri viskozite direnci tipinden, karma (mixed) tipe ve rezonans tipe doğru değişmektedir. Daha önceki çalışmada(Aso & Kinoshita, 1964) orta düzey tip (intermediate type) yutuculuk karakteristiği, bu çalışmada karma tip (mixed type) olarak tekrar adlandırılmıştır. Rezonans tipi ses yutuculuk mekanizmasının da iki farklı yutuculuk karakteristiği olduğu bu çalışmada belirtilmiştir. Bunlardan biri lifli rezonans tip, ikincisi ise tabla rezonansıdır (board resonance).

İlginç bir sonuç olarak, arkasında hava boşluğu bulunmayan viskozite direnci tipi numune, arkasında hava boşluğu bırakılınca rezonans tipe dönüştüğü Şekil 2.50'da gösterilmiştir. Şekil 2.50'daki numunelerin poroziteleri $P = \% 90$, kalınlıkları ise $T = 1,25$ cm dir. Kesikli çizgiler arkada hava boşluğu bulunmayan sonuçları, sürekli çizgiler ise arkada $l = 6$ cm hava boşluğu bulunan sonuçları göstermektedir. Daha ince liflere sahip numunenin (1d) arkasında hava boşluğu yok iken kalın liflere sahip (5d) numuneye göre ses yutuculuğu daha yüksektir ve her iki numune de viskozite direnci tipi yutuculuk göstermektedir. Arkalarında hava boşluğu bırakıldığında ise daha ince liflere sahip numunenin (1d) viskozite direnci tipi ses yutuculuk mekanizmasından rezonans tipi ses yutuculuk mekanizmasına geçişi daha belirgindir.



Şekil 2.50. Lifli malzemenin ses yutuculuk karakteristiği (Aso ve Kinoshita 1965'dan değiştirilerek alınmıştır)

Lifli rezonans tipindeki numuneler arkasında hava boşluğu bırakılması yada bırakılmaması durumunda, her ikisinde de benzer karakteristikte eğriler göstermektedir.

Viskozite direnci tipindeki bir örneğin, arkasındaki hava boşluğu miktarı arttırılırsa maksimum ses yutuculuk değerini gösterdiği frekans değeri düşüş göstermektedir.

Viskozite direnci tipindeki bir örneğin porozitesi düşürülmesi durumunda (arkada hava boşluğu var ve sabit, kalınlık sabit) maksimum yutuculuk değeri görülen frekansıda düşmekte olduğu belirtilmiştir. Aynı tipteki örnekte (viskozite direnci tipi) daha ince lifler kullanılması durumunda yine maksimum yutuculuk değeri görülen frekans düştüğü ifade edilmiştir.

Çalışmada, ses yutucu malzeme olarak kullanılacak lifli malzemenin yutuculuk mekanizmasının, viskozite direnci tipinde olması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle bu tipte ses yutuculuk gösteren numunelerin maksimum ses yutuculukları incelenmiştir. İnce olarak nitelendirilen 1,25 cm kalınlığındaki ve % 99 poroziteye sahip numune arkasındaki hava boşluğu miktarı 4 cm den 6, 8, ve 10 cm ye çıkarılmış ve maksimum ses yutuculuk katsayısı artan hava boşluğu ile azalmıştır (maksimum ses yutuculuğun görüldüğü frekans düşmektedir). Fakat kalın numuneler(2,5 ve 5 cm) için maksimum ses yutuculuk katsayısı artan hava boşluğu ile neredeyse sabit kalmıştır (maksimum ses yutuculuğun görüldüğü frekans düşmektedir). Burada bir tanım yapılmış ve hava

boşluğu değiştirildikçe ölçülen maksimum yutuculuk değerleri birbirine yakın olduğu için ortalaması alınmıştır ve bu ortalama değer maksimum yutuculuk katsayısı olarak isimlendirilmiştir.

Ölçüm yapılan numunelerin (kalınlık = 1,25 cm lif inceliği 1, 3, 5 denye, kalınlık = 2,5 cm 5 denye, kalınlık = 5cm 5 denye) ses yutuculuk değerleri azalan porozite ile her tip numune için bir değere kadar artmakta sonra düşüş göstermektedir.

Çalışmada bulunan başka bir sonuç şudur; iki numune farklı inceliklerde liflerden oluşsun fakat toplam yüzey alanları eşit olsun. Bu durumda ince liflere sahip lifli malzeme doğal olarak daha fazla sayıda liflerden oluşacaktır. İnce lifli numune iç yapısında daha fazla küçük hava bölgelerine bölünmüş olacaktır, dolayısıyla ses yutuculuğu da daha yüksek olacaktır. Bunun yanında hava bölümlerinin boyutları düştükçe (lif sayısının artması ve porozitenin düşmesi), havanın ses yutuculuğa etkisi kalkmakta ve efektif porozite değerine (maksimum yutuculuk görülen değer) ulaşıldığında bu etkinin ihmal edilebilir olduğu iddia edilmiştir.

Çalışmada bir çok örnek için en yüksek ses yutuculuğun ölçüldüğü porozite değeri araştırılmış, eğer bu optimum porozite değerinde lifli malzeme arkasına frekansa göre uygun hava boşluğu bırakılması durumunda o frekansta ses yutuculuğun 1,00 değerine ulaşılacağı belirtilmiştir.

Aso ve Kinoshita (1966) bir başka çalışmada ise, ticari olarak satılan ve çok çeşitli ses yutucu lifli malzemeleri temsil eden cam yünü levhaların (board) görünüşte olan (sonradan ölçülen) yoğunluklarıyla ses yutuculuk karakteristikleri arasında ilişkiyi incelemiştir. Bu amaçla 3 farklı firmadan 20 farklı çeşit cam yünü levhanın ses yutuculuk katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin kalınlıkları 1,3 cm den 5,0 cm 'ye yoğunlukları ise 8 kg/m³ ten 64 kg/m³ e kadar değişmektedir. Gramaj olarak verilmek istenirse 1600 gr/m² ağırlığa kadar cam yünü numunelerinin 10 cm çapında bir kalıp ile örnekler alınmış, ölçümleri yapılmıştır. Ses yutuculuk katsayıları ölçülürken numunelerin arkasında, numune ön yüzünden araka rijit duvar arası 8,5 cm olacak şekilde hava boşluğu bırakılmıştır. Numuneler farklı kalınlıklarda oldukları için hava boşluğu miktarı da değişkendir. Buradaki amaç, maksimum ses yutuculuk değerinin ölçüm yapılan 250 Hz ile 2000 Hz arasına düşmesini sağlamaktır. Fakat bu değişiklik

ölçüm sonuçlarının cam yünü levhaların gerçek hayatta kullanımının sadece sınırlı bir kısmını temsil ettiği söylenebilir . Çünkü cam yünü levhaların gerçek kullanımda arkalarında hava boşluğu bırakılmama, yada ölçümlerden farklı bir hava boşluğu bırakılması durumu kuvvetli ihtimal söz konusudur.

Yapılan ölçümler sonucunda 19 numune viskozite direnci tipi, sadece 64 kg/m^3 yoğunluk ve 2,5 cm kalınlıkta (1600 g/m^2) olan örneğin ses yutuculuğunun karma (mixed) tipte davranış gösterdiği ölçülmüştür. Ses yutuculuk katsayıları ve maksimum ses yutuculuk katsayısı, yoğunluğun artması ile birlikte artmaktadır. Başka bir sonuç ise maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü (herhangi bir frekansta olabilir) yoğunluk değerinde (efektif yoğunluk) kalınlık arttıkça düşüş olmaktadır. Diğer bir sonuç ise 2.5 cm kalınlık $11,8 \text{ kg/m}^3$ yoğunluk değeri ölçülen cam yünü yapının arkasında 5 , 7,5 , 10 , 12,5 , 15 cm hava boşluğu bırakılarak ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür, beklendiği üzere ses yutuculuk eğrisi düşük frekansa doğru kaymaktadır, bunun yanında maksimum yutuculuk katsayısı neredeyse değişmemiştir. Çalışmadan çıkarılan bir diğer önemli sonuç ise ses dalgasının cam lifi malzeme içinde ilerleme hızı ile ilgilidir. f_0 frekansında maksimum ses yutuculuğun sağlandığı düşünülün. d ise malzemenin orta noktası ile rijit duvar arasındaki mesafe olsun, arkadaki hava boşluğu miktarı arttıkça ses yutuculuğun düşük frekanslara kaydığı deneysel ve teorik gösterildiğine göre aşağıdaki denklem yazılabilir. Denklemin daha önceki çalışmada(Aso & Kinoshita, 1963) ses yutuculuk davranışı viskozite direnci tipinde olan dokuma kumaşlar için çıkarılan denklemle aynı olduğunu burada vurgulamak gereklidir.

$$f_0 = K/d \quad (2.31)$$

(2.31) numaralı denkleme göre cam yünü malzeme arkasındaki mesafe arttıkça, maksimum ses yutuculuk katsayısının görüldüğü frekans değeri azalmaktadır. K burada bir sabittir. Eğer ölçüm yapılan tüp içinde hiç malzeme olmasaydı havanın maksimum partikül hızı ve frekans arasında aşağıdaki ilişki olurdu:

$$f_0 = \frac{c/4}{d} \quad (2.32)$$

(2.32) numaralı denklemde $c / 4$ ün, (2.31) numaralı denklemde K ya karşılık geldiği görülmektedir. Dolayısıyla c havadaki ses hızını temsil ettiğinden (bu denklemde birimi [cm/s] olarak alınmış), K nın 8600 olması beklenmektedir, lakin yapılan ölçümler sonucunda K nın 8600 den düşük bulunduğu görülmüştür. Buradan da sesin lifli malzeme içinde hızının yavaşladığı sonucu çıkarılmaktadır. Eğer malzeme kalınlığını sonsuz küçük kabul etseydik, o zaman K nın 8600 olmasını bekleyebilirdik. Yapılan ölçümler sonucunda K nın artan yoğunluk ve kalınlık ile azaldığı görülmüştür. Daha yoğun malzemede kalınlık artışı ile K daha hızlı bir düşüş sergilemektedir. Dolayısıyla ses hızı daha fazla yavaşlıyor denebilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

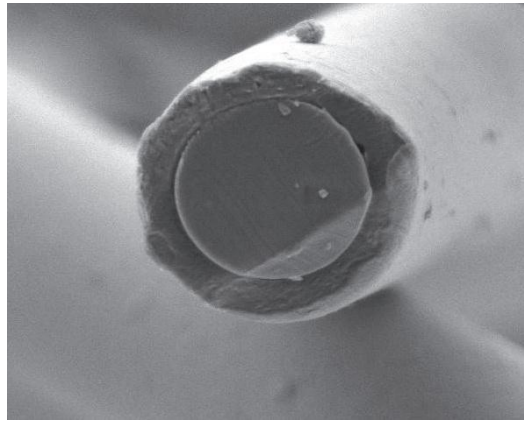
3.1. Materyal

Deniz içinde ada bikomponent liflerinden üretilen tüm dokusuz yüzeyleerin, ada lifleri için Naylon-6 (PA6) polimeri, bikomponent lifin deniz kısmı için ise Polietilen (PE) polimeri seçilmiştir. Bikomponent lifin deniz ve ada bölümleri için kullanılan bu polimerlerin bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan polimerlerin bazı özellikleri

Polimer	Ticari İsim	Tedarikçi	Erime Sıcaklığı T _e [°C]	Yoğunluk [g/cm ³]
PA6	Ultramid BS 700	BASF	220	1,14
PE	ASPUN 6811A	Dow Chemical Co.	125	0,94

Naylon-6 ve Polietilen polimerlerinin arayüzleri bir araya getirildiklerinde birbirleriyle bağ yapma istekleri düşüktür (Dasdemir ve ark. 2011). Şekil 3.1’de başka bir çalışmada Naylon-6 ve Polietilen polimerleri kullanılarak üretilen tek adalı olarak nitelendirebileceğimiz bikomponent lifin enine kesit görüntüsü verilmiştir. Naylon-6 ve polietilen polimeri birbirlerinden ayırt edilebilecek şekilde dairesel bir sınır oluşturdukları Şekil 3.1’de görülmektedir. Eğer bu iki polimerin birbirlerine ilgisi olsaydı bu sınır daha az belirgin olurdu.



Şekil 3.1. Merkezde PA6, etrafında PE polimerinden oluşan bikomponent lifin enine kesit görüntüsü (Dasdemir ve ark. 2011)

Dolayısıyla bu polimerlerin kullanımı daha sonraki aşamalarda uygulanacak olan mekanik işleme ada lifinin deniz polimerinden ayrılmasını kolaylaştıracaktır.

Hacimli dokusuz yüzeylerin üretilmesinde ise Çizelge 3.2’de bazı özellikleri verilen ve ses yutucularda yaygın kullanımı olan (Zent & Long, 2007) Polyester (PET) ve Polipropilen (PP) lifleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Hacimli dokusuz yüzeylerde kullanılan liflerin bazı özellikleri

Polimer	Dokusuz Yüzeydeki Oranı (%)	Lif İnceliği [denye]	Erime Sıcaklığı T _e [°C]	Yoğunluk [g/cm ³]
PET	85	6	250	1,38
PP	15	2	160	0,91

Dokusuz yüzey yapıda % 15 oranında bulunan polipropilen lifleri, düşük erime sıcaklık değerine sahip olmaları nedeniyle (Çizelge 3.2), dokusuz yüzey içinde bağlayıcı-birleştirici lif olarak kullanılmaya uygundur (Albrecht ve ark. 2003). Böylelikle fazladan kimyasal yapıştırıcı kullanılmasına gerek kalmadan ısı enerjisi ile PP lifleri yumuşatılıp/eritilip mukavemetli bir dokusuz yüzey oluşturulmasını sağlamaktadır.

3.2. Üretim Yöntemleri

3.2.1. Deniz içinde ada (*islands-in-the-sea*) lifleri içeren dokusuz yüzeylerin üretilmesi

Dokusuz Yüzey Enstitüsü, Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi, ABD (NCSU) pilot tesislerinde bulunan bikomponent lif üretim teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı dokusuz yüzey üretim sistemi, çift ekstrüder düzenine sahiptir. Böylece aynı anda iki polimer ile çalışmak mümkündür. Bir üniteden (ekstrüder) minimum 8,4 kg/saat, diğer üniteden ise 5,6 kg/saat üretim yapılabilir. Maksimum üretim miktarı ise bir düze için 168 kg/saat, diğer düze için ise 112 kg/saat’tir. Ekstrüderler farklı çaplara sahiptir, bu farklılık üretim miktarları arasındaki farkı açıklamaktadır. Çalışma sıcaklığı 190 °C ve 315 °C aralığındadır. Bikomponent lif üretimi için kullanılan polimer miktar oranları dış kısım (*sheath*) için % 20 den % 50’ye, iç kısım (*core*) için ise % 50 den % 80’e kadar değiştirilebilmektedir. Bikomponent teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı yöntemi (*spunbonding*), dış kabuk ve çekirdek (*sheath/core*), yan yana kesit (*side-by-side*), dilimli kesit (*segmented pie*) (64 segmente (dilime) kadar), deniz içinde ada (*islands-in-the-sea*) (360 adaya kadar) üretim yapabilme kapasitesine sahiptir. Üretim bandının genişliği 60 cm’dir. Bu genişlikte dokusuz yüzey üretilmektedir. Düze bloğunda 2222 delik ende, 4000 delik/metre ise boyda mevcuttur. Üretilen tülbentler,

izleyen bant ile bir kalenderleme işlemine tabi tutularak liflerin birbirine bağlanması sağlanır. Düzede bulunan her bir delik 0,35 mm çapındadır. NCSU’de bulunan eğirmeli bağlantı sistemi geniş sayılabilecek bir lif inceliği aralığında lif üretebilme kapasitesine sahiptir. Bunun yanına üretilebilecek dokusuz yüzey kumaş gramajı 15 g/m² ile 210 g/m² arasında değişebilmektedir.

Bikomponent teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı dokusuz yüzey üretim yöntemi ile üretilmiş deniz içinde ada lifleri içeren dokusuz yüzeyler, ses yutuculuk özelliklerini belirlemek üzere kullanılmıştır. Çizelge 3.3’te akustik özellikleri ölçülmek üzere üretilen dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deniz-içinde-ada dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri

Ada Lifi Sayısı	Polimer Türü		Polimer Oranı (%)		Gramaj (g/m ²)
	Ada	Deniz	Ada	Deniz	
1	PA6	PE	75	25	100
7	PA6	PE	75	25	100
19	PA6	PE	75	25	100
37	PA6	PE	75	25	100
108	PA6	PE	75	25	100

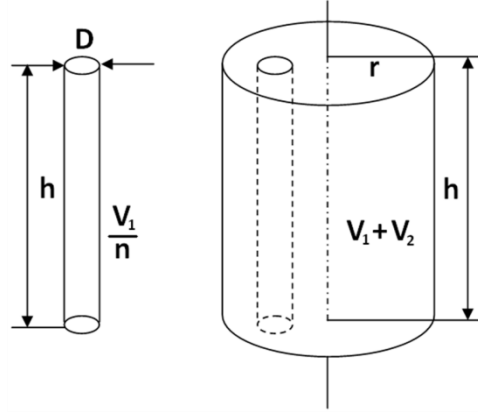
Çizelge 3.3’te verildiği üzere dokusuz yüzeylerin tümü aynı tür ada ve deniz polimerlerinden oluşmuştur. Ada olarak kütlece % 75 oranında Naylon-6 (PA6), deniz olarak ise kütlece % 25 oranında Polietilen (PE) polimeri kullanılmıştır. Dokusuz yüzeylerde kullanılan ada deniz oranları birbirine eşit olmakla birlikte, dokusuz yüzeylerin sahip olduğu ada lifi sayıları farklıdır. Üretilecek ada liflerinin çaplarını hesaplamak istersek; ada polimeri ile ilgili parametreler 1 indisi ile, deniz polimeri ile ilgili parametreler ise 2 indisi ile ifade edilsin:

r = bikomponent lif yarıçapı

h = lif yüksekliği

$V_1 + V_2$ = bikomponent lif hacmi

$$r^2 \pi h = V_1 + V_2 \quad (3.1)$$



Birim hacim lifte, polimer oranı ile orantılı kütlede polimer bulunacaktır. Polimer oranı $\% \beta$ ile temsil edilsin, buna göre birim hacimde $\% \beta_1 x$ kütlede ada $\% \beta_2 x$ kütlede deniz bulunacaktır. Buradan bikomponent lifte bulunan polimerlerin hacmi:

$$V_1 = \frac{\% \beta_1 x}{\rho_1} \quad (3.2)$$

$$V_2 = \frac{\% \beta_2 x}{\rho_2} \quad (3.3)$$

ρ = polimer yoğunluğu

Birim hacimde var olan toplam ada hacmini, ada sayısına böldüğümüzde tek bir adanın hacmini buluruz. Buna göre aşağıdaki eşitliği yazmak mümkündür:

$$V_1/n = (D/2)^2 \pi h$$

n = Ada sayısı

D = Ada çapı

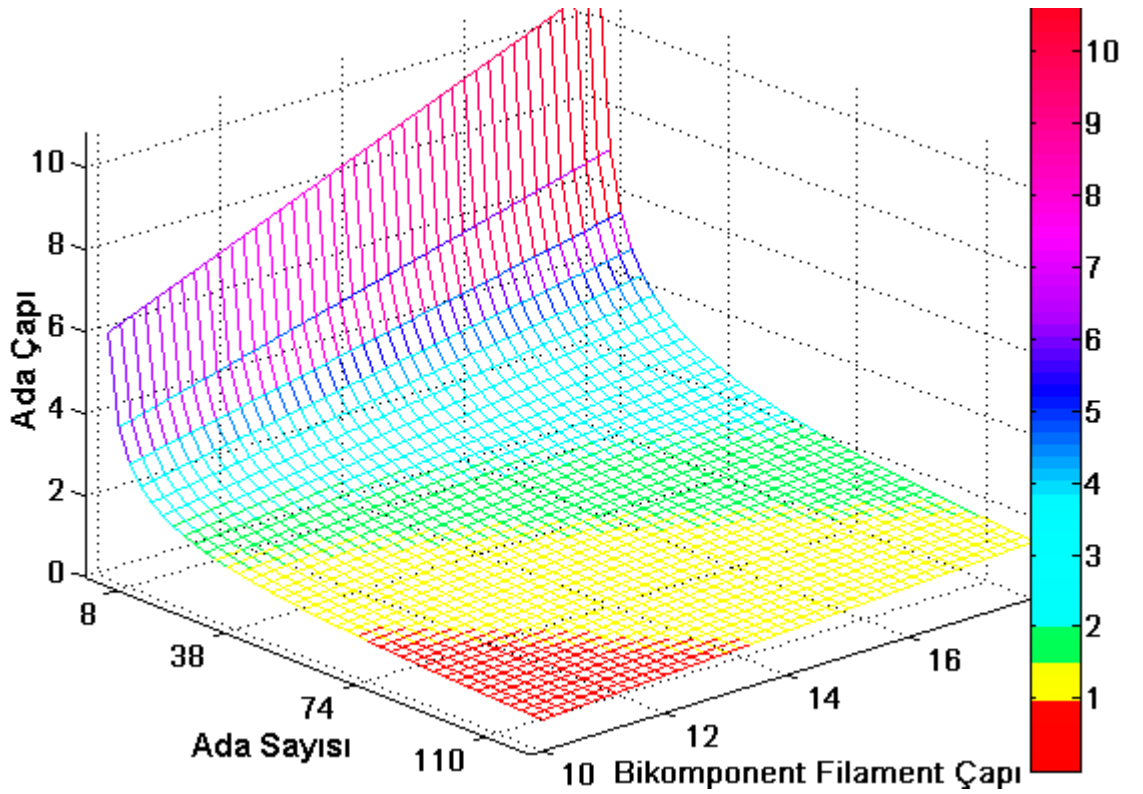
Buradan ada lifi çapı:

$$D = \sqrt{\frac{4V_1/n}{\pi h}} \quad (3.4)$$

olur. (3.1) numaralı eşitlikten h , (3.2) ve (3.3) numaralı eşitlikten V_1 ve V_2 , (3.4) numaralı eşitlikte yerlerine yazarak gerekli sadeleştirmeler yapılsa, (3.5) numaralı denklem elde edilir. Sonuç olarak ada çapı:

$$D = \sqrt{\frac{\% \beta_1 \rho_2 4r^2}{n(\% \beta_1 \rho_2 + \% \beta_2 \rho_1)}} \quad (3.5)$$

olur. Çıkarılan yukarıdaki denkleme göre % 75 PA6 ada ve % 25 PE deniz polimeri içeren bikomponent lif için ada sayısı ve bikomponent filament çapına bağlı olarak ada lifi çapının değişimi aşağıda grafikte verilmiştir. Ada lifi çapının nanometre mertebesinde olması için ada sayısı ve bikomponent filament çapı parametrelerinin kırmızı bölgeye karşılık gelecek şekilde seçilmesi gereklidir.



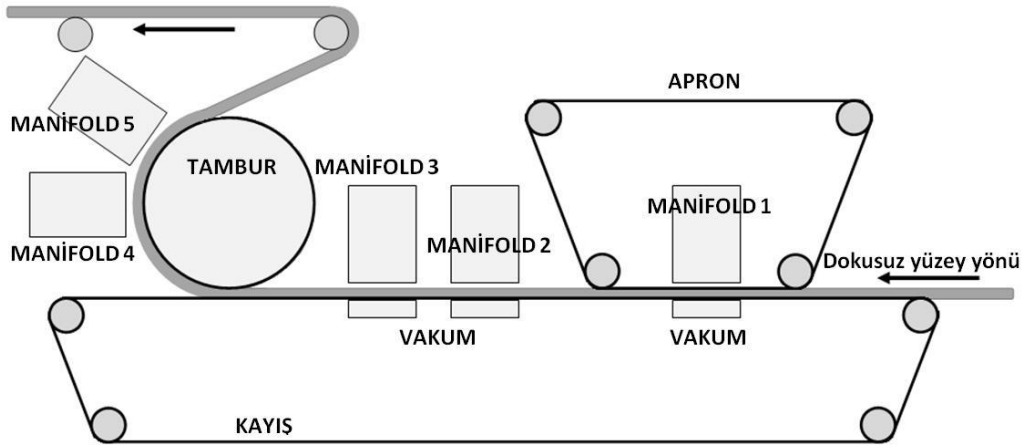
Şekil 3.2. Ada lifi çapının değişimi

Denklem (3.5) kullanılarak yapılan hesaplamalara göre bikomponent lif çapı 12,3 mikrometre ve daha aşağı üretildiği takdirde, 108 deniz içinde ada dokusuz yüzeyin ada liflerinin çapı 1 mikrometre çap değerinin altında olmaktadır.

3.2.2. Dokusuz yüzeylerin su jeti ile muamele (*hydroentangling*) edilmesi

Hydroentangling (su jeti ile muamele) yönteminde yüksek basınçlı su ile dokusuz yüzeye işlem yapılarak, ada lifleri denizden ayrılır ve lifler birbiri içine geçerek ince lifli, mukavemetli dokusuz yüzey yapıyı oluşturur. Eğirmeli bağlantı yöntemiyle

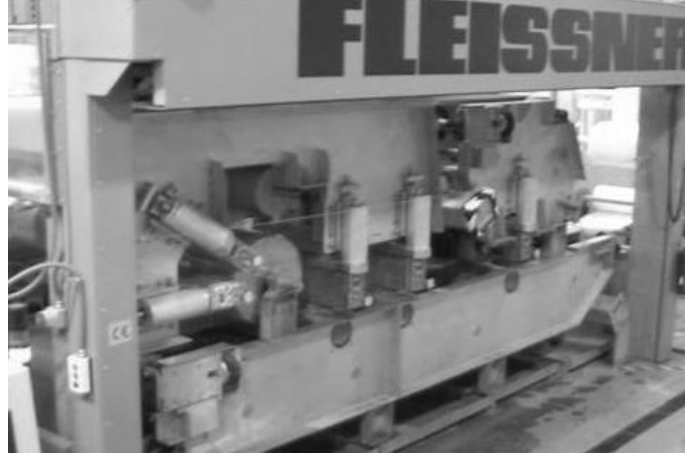
üretilem dokusuz yüzeylere şematik olarak Şekil 3.3'deki sistem kullanılarak su jetleriyle işlem yapılmıştır.



Şekil 3.3. Hydroentangling (su jeti ile birbiri içine geçme) işlemi

Şekil 3.3'deki ünite, dokusuz yüzeyi hareket ettiren bir platforma ve beş farklı manifolda (enjektör) sahiptir. İlk manifold ön ıslatma ve ön karıştırma için bant üzerinde monte edilmiştir. Bant üzerindeki diğer iki manifold dokusuz yüzeyin ön yüzüne, delikli tambur üzerindeki diğer iki manifold ise dokusuz yüzeyin arka yüzüne işlem yapmaktadır.

Eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilen 108 ada lifine sahip dokusuz yüzey 1'den 5'e, diğer dokusuz yüzeyler ise 3 kez hydroentangling ünitesinden geçirilmişlerdir. Tüm işlemlerde bant hızı 10 m/dak, manifold basınçları ise birinci manifolddan beşinci manifolda sırasıyla, 25, 150, 220, 220, 220 bar olarak seçilmiştir. Kullanılan "Fleissner" hydroentangling ünitesinin görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. NCSU pilot tesisleri, hydroentangling sistemi
(www.thenonwovensinstitute.com 2010)

Hydroentangling ünitesindeki su jetleri ile, toplam kumaşa geçen enerji miktarı Bernolli denklemi kullanılarak hesaplanabilir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Bu denklem, tüm sistemdeki viskoz kayıpları ihmal etmektedir.

P eğer bir düzede basınç ise jet hızı aşağıdaki denkleme göre hesaplanabilir.

$$V = \sqrt{2P/\rho}$$

ρ suyun yoğunluğudur ve oda sıcaklığında $998,2 \text{ kg/m}^3$ tür. P Pascal cinsinden basınçtır. V ise m/s olarak hızdır. Su jeti tarafından dokusuz yüzeye transfer edilen enerji hızı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanabilir.

$$\dot{E} = \frac{\pi}{8} \rho d^2 C_d V^3$$

\dot{E} J/s cinsinden enerji hızı, d metre cinsinden düze çapı, C_d ise deşarj katsayısıdır. Spesifik enerji (SE), bir kilogram kumaşa aktarılan joule cinsinden enerjidir.

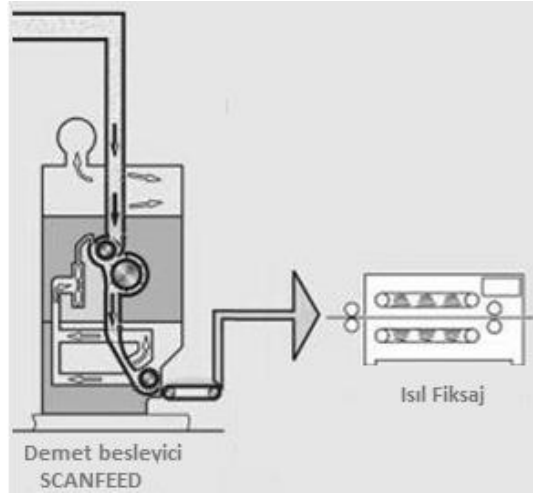
$$SE = \frac{\dot{E}}{\dot{M}} \quad (3.6)$$

\dot{M} bir saniyede kg biriminde, bant üzerinde geçen kumaş miktarıdır. Aşağıdaki denkleme göre bulunur.

$$\dot{M} = \text{örnek genişliği[m]} \times \text{kumaş gramajı} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] \times \text{bant hızı} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

3.2.3. Hacimli dokusuz yüzeylerin oluşturulması

Hacimli dokusuz yüzeylerin üretilmesi için önce liflerin açılması ve karıştırılması için “*Truetzschler Fiber Opener/Blender*” kullanılmış, ardından “*Truetzschler Tuft Feeder Scan Feed*” taramalı-besleme makinesi ile dokusuz yüzeylere form verilmiştir. Son olarak ısıfiksaj için dokusuz yüzey yapı direk sıcak hava üflemeli (*through-air bonding*) fırına yollanmıştır (Şekil 3.5)

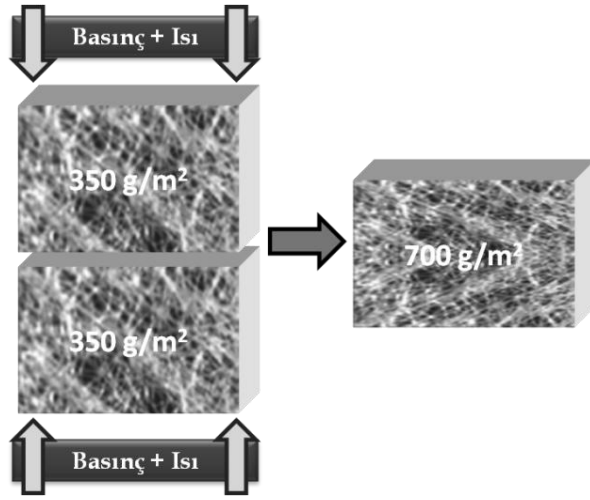


Şekil 3.5. Hacimli dokusuz yüzey üretim prosesi
(<http://www.truetzschler-nonwovens.de> 2011'den değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 3.5'te şematik olarak verilen bu üretim yöntemi ile üretilen dokusuz yüzeyler, hem enine hem de makine doğrultusunda homojen sayılabilecek bir yapıdadır. Düşük işlem maliyeti ve yüksek üretim hızları bu dokusuz yüzey üretim yönteminin diğer avantajlarından (http://www.truetzschler-nonwovens.de, 2011). Bu üretim yöntemi kullanılarak 45 mm kalınlıklarında 350, 450 ve 525 g/m² üç farklı gramaj değerinde dokusuz yüzeyler üretilmiştir.

Farklı gramajlarda ve kalınlıklarda dokusuz yüzeyler üretmek için 350, 450 ve 525 g/m² gramajlarındaki, 45 mm kalınlıklarındaki dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. İki ya da üç aynı gramaj değerindeki dokusuz yüzey örneğinin üst üste yerleştirilmesi, ardından bu iki ya da üç katlı yapıya üstünden ve altından basınç uygulanması, son olarak yapıya ısı

enerjisi verilerek yeni bir form almasının sağlanması ile (Şekil 3.6) farklı kalınlık ve gramaj değerlerinde dokusuz yüzeyler üretilmiştir¹.



Şekil 3.6. 700 g/m² dokusuz yüzey oluşturulmasının şematik gösterimi

3.3. Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri

Dokusuz yüzeylerin akustik özelliklerinin incelenmesi için yapılan tüm ölçümler Çizelge 3.4'te verilmiştir. Test öncesi tüm numuneler % 65 ± 2 bağıl nem ve 21 ± 1 °C sıcaklıkta en az bir gün bekletilmiştir.

Çizelge 3.4. Dokusuz yüzeylere yapılan testler

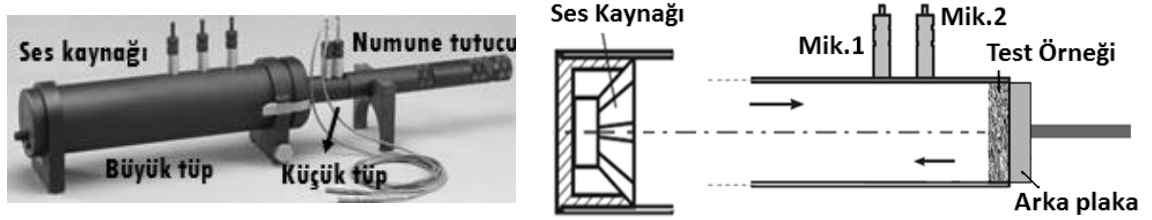
Karakterizasyon	Test Metodu	Cihaz
Gramaj	ASTM D 3776-07	Numune Kesici, Hassas Terazi
Kalınlık	ASTM D 5729-97	Kalınlık Ölçücü
Hava Geçirgenliği	ASTM D 737-04	FX 3300 Hava Geçirgenlik Test Cihazı
Gözenek Büyüklüğü	PMI Metodu	PMI CFP-1100-AX Gözenek Test Cihazı
Enine Kesit Görüntüleri	-	Tescan VEGA3 Elektron Mikroskobu
Ses yutuculuk Katsayısı	ASTM E 1050-08	Brüel&Kjær 4206 Empedans Tüp

3.3.1. Empedans tüp

Ses yutuculuk ölçümleri için empedans tüp yöntemi kullanılmıştır. İki sabit mikrofönlü empedans tüp tekniğinde büyük ve küçük olmak üzere iki ayrı konfigürasyon vardır. Büyük tüp konfigürasyonu 50 Hz ile 1,6 kHz, küçük tüp konfigürasyonu ise 500 Hz ile

¹ Farklı kalınlık ve gramajlarda dokusuz yüzey üretilmesini sağlayan bu yöntem Bölüm 4.2'de ayrıntılı açıklanmıştır.

6,4 kHz aralığında ses yutuculuğu ölçebilmektedir (Anonim(b), 2009). Yapılan ölçümlerde küçük tüp konfigürasyonu kullanılmıştır (Brüel&Kjær Tube Kit Type 4206). Empedans tüpün şematik gösterimi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Empedans tüp cihazının görüntüsü ve şematik gösterimi (Anonim(b) 2009’den değiştirilerek alınmıştır.)

İki sabit mikrofonlu empedans tüp tekniğinde, büyük yada küçük tüp, üzerinde mikrofonlar bulunan diğer tüpün açık ucuna yerleştirilir. Ses kaynağı tüpün diğer tarafında konumlandırılmıştır. Test numunesi ise bir diğer tarafa yerleştirilir. Ses kaynağı büyük yada küçük tüpün özelliğine göre geniş bantta ses dalgaları üretir. Empedans tüp içinde, ölçüm frekans aralığında olan ses dalgası, düzlem dalga şeklinde ilerlemektedir. Ses dalgası tüp içinde ilerler, numuneye çarpar ve geri yansır. Malzemenin ses yutuculuk katsayısı, iki ayrı konumda sabit iki mikrofonun ses basınçlarını ölçmesi (frekansın fonksiyonu olarak) ile belirlenir(Anonim(b), 2009). ASTM E 1050 standartlarındaki tariflere göre ölçümler yapılmıştır. Bu metotta ölçümü yapılan malzemenin boyutları küçüktür. Ölçümler 29 mm çapındaki numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Aynı numunenin farklı bölgelerinden en az dört örneğin ölçümleri yapılmış, ortalamalar hesaplanmıştır. Her frekans değerinde dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayısı ölçülmüştür. Ses yutuculuk katsayısı ses enerjisinin yutulan yada yansıtılmayan oranıdır. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir.

3.3.2. Gramaj ve kalınlık

Birim alandaki kumaş ağırlığı olan gramaj değeri ASTM D 3776-07 standardı dikkate alınarak 100 cm²’lik dokusuz yüzeylerin numune kesici ile kesilmesi ve hassas terazi ile tartılması ile ölçülmüştür.

Dokusuz yüzey kalınlıkları ise ASTM D 5729-97 standartlarındaki tariflere göre kalınlık ölçücü ile ölçülmüştür.

3.3.3. Hava geçirgenliği

“FX 3300 Air Permeability Tester III” (Şekil 3.8) kullanılarak dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlik testleri ASTM D 737 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.8. Hava geçirgenlik test cihazı
(Anon., 2012)

Ölçüm yapılacak örnek özelliğine ve standartta yer alan tarife göre makineye başlık takılır. Bu başlıktan bir pompa hava basmaktadır. Ölçüm yapılacak kumaş bu başlık arasına konur ve başlık aşağı doğru bastırılır. Başlığın bastırılması ile birlikte, kumaş sıkışır, aynı zamanda pompa daha önceden belirlenen hava basıncında çalışmaya başlar. Dokusuz yüzey kumaşın hava geçirgenliği dijital ekrandan okunur. Kumaş başlığına tekrar basılmasıyla pompa durur ve kumaş başlıktan çıkartılır.

3.3.4. Gözenek büyüklüğü testi

“PMI Capillary Flow Porometer (model CFP-1100-AX)” gözenek büyüklüğü test cihazı eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklüklerinin ölçülmesi için kullanılmıştır. Numunenin ıslatılması ve gözeneklerin doldurulması için için yüzey gerilimi 20,1 dynes/cm (Anonim(c), 2009) olan “Silwick” sıvısı kullanılmıştır. Bu test yönteminde, ıslatıcı sıvının dokusuz yüzey içinden dışarıya zorlanıp, uzaklaştırılması için hava basıncı doymuş dokusuz yüzeye dikey olarak küçük artımlarla uygulanmaktadır. Büyük gözeneklerden sıvının uzaklaşması için nispeten düşük, küçük gözeneklerden sıvının uzaklaşması için ise büyük hava basınçları gerekmektedir. Böylece gözenekten geçen hava akışının tespit edilmesiyle gözenek büyüklük ölçümleri gerçekleştirilmektedir (Jena & Gupta, 2003).

3.3.5. Enine kesit görüntülerinin çekilmesi

Dokusuz yüzeylerin enine kesitleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. SEM görüntüleri “Tescan VEGA3 SBU” taramalı elektron mikroskobu

kullanılarak çekilmiştir. Görüntü alınmadan önce numuneler “*Denton Vacuum Sputter Coater*” cihazı kullanılarak AuPd ile kaplanmıştır.

3.3.6. Porozite ve katı hacim katsayısı (*solid volume fraction*)

Porozite (gözeneklilik) gözenekli malzeme içinde bulunan boşluk (hava) hacminin, malzemenin toplam hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır (Tanchis, 2008). Aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

V_h : Malzemede bulunan boşluk (hava) hacmi

V_m : Malzemenin toplam hacmi

$$Porozite = \frac{V_h}{V_m}$$

Malzeme içindeki hava hacmini ölçmek biraz zor olduğundan, poroziteyi daha kolay ölçülebilir parametreler olan, lif ve malzeme yoğunluğu cinsinden aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

V_{lif} : Dokusuz yüzeyi oluşturan liflerin toplam hacmi

m_{lif} : Dokusuz yüzeyi oluşturan liflerin kütlesi

ρ_{lif} : Dokusuz yüzeyi oluşturan liflerin yoğunluğu

ρ_m : Malzemenin (dokusuz yüzey) yoğunluğu

$$V_{lif} = \frac{m_{lif}}{\rho_{lif}}, \quad V_m = \frac{m_{lif}}{\rho_m}$$

$$Porozite = \frac{V_h}{V_m} = \frac{V_m - V_{lif}}{V_m} = 1 - \frac{V_{lif}}{V_m}$$

$$Porozite = 1 - \frac{m_{lif}/\rho_{lif}}{m_{lif}/\rho_m} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{lif}} \quad (3.7)$$

Katı hacim katsayısı (*solid volume fraction*) (SVF) ise gözenekli malzemede bulunan katı fazdaki madde (lif) hacminin, malzemenin toplam hacmine oranıdır. Gözenekli malzemede bulunan katı madde miktarının bir ifadesidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$SVF = \frac{V_{lif}}{V_m} = \frac{\rho_m}{\rho_{lif}} \quad (3.8)$$

Bikomponent liflerden oluşan dokusuz yüzeylerin porozite ve katı hacim katsayısı hesaplamalarında bikomponent lif yoğunluğu (ρ_b), bikomponent lifi oluşturan polimerlerin yoğunlukları (ρ_A ve ρ_B) ve bikomponent lifteki kütle oranları ($\%m_A$ ve $\%m_B$) hesaba katılarak, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \%m_A \times \rho_A + \%m_B \times \rho_B$$

Denkleme göre bulunan bikomponent lif yoğunluğu, ağırlıklı ortalama lif yoğunluğudur.

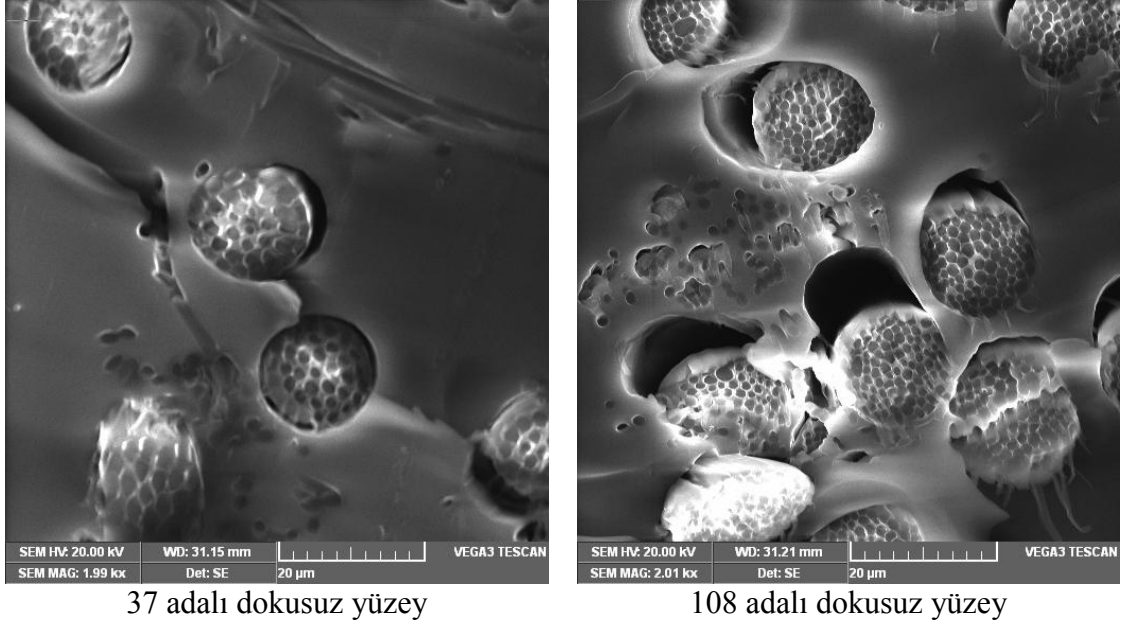
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deniz İçinde Ada Bikomponent Liflerinden Üretilen Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri

İlk olarak ada liflerinin bikomponent yapıdan ayrılabilmesi, bunun yanında liflerin birbiri içine geçerek, sıkı, mukavemetli dokusuz yüzey yapıyı oluşturması için dokusuz yüzeyler su jetleri ile işleme tabi tutulmuştur. Adaların serbest kalacağı optimum enerjinin tespiti için gerçekleştirilen aşamalar ilk bölümde verilmiştir. Ardından deniz polimerinden ayrılmış adaların sayısının, dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisi verilmiş, dokusuz yüzeylerin yapıları ve ses yutuculuk davranışları arasındaki ilişki ikinci bölümde tartışılmıştır. Üçüncü bölümde, eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş ve su jeti ile muamele edilmiş (hydroentangling) dokusuz yüzeylerden çok katlı yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Son bölümde ise en ince liflere sahip 108 adalı dokusuz yüzeyden oluşturulan çok katlı yapı ile ses yutuculuk uygulamalarında kullanılan hacimli bir başka dokusuz yüzeyin ses yutuculuk özellikleri karşılaştırılmış, çok katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin üstünlükleri vurgulanmıştır.

4.1.1. En uygun su jeti ile muamele (*hydroentangling*) enerjisinin tespiti

Bikomponent teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 1, 7, 19, 37 ve 108 ada sayılarına sahip dokusuz yüzeyler üretimin hemen ardından sadece soğuk kalenderleme işlemi görerek yapının sıkılaştırılması sağlanmıştır. Bu haliyle ada liflerinin deniz polimeri ile birlikte bikomponent lif içinde bulunması beklenmektedir.



Şekil 4.1. Su jeti ile işlem öncesi 37 ve 108 adalı dokusuz yüzeylerin enine kesit görüntüleri

Şekil 4.1’de su jeti ile işlem öncesi 37 ve 108 ada içeren dokusuz yüzeylerin enine kesitlerinden birer görüntüleri verilmiştir. Deniz polimerinin ada liflerini çevrelediği ve adaların birbirinden bağımsız olduğu her iki SEM fotoğrafında da görülmektedir. Bunun dışında her iki dokusuz yüzey için de, adaların bikomponent filament içinde hapsedildiği görülmektedir. Fotoğrafta bikomponent lif etrafındaki plastik görünümlü bölge, dokusuz yüzeyin enine kesitinin alınabilmesi için yapıya SEM fotoğraf çekimi öncesi emdirilen reçinedir. Belli bir süre sonra katılaştıran reçine, şekilde arka planda bulunan liflerin görülmesini engellemiştir.

Bikomponent teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş farklı ada sayılarına sahip dokusuz yüzeylerin ince lifli yapısının hem ses yutuculuk hem de mekanik özellikleri açısından getireceği olası iyileştirmelerin görülebilmesi için ada liflerinin bikomponent lif içinden çıkarılıp serbest kalması, ayrıca liflerin birbiri içine geçmesi, karışması ve dokusuz yüzeyin daha homojen bir yapı olması gereklidir. Deniz polimerinin uygun bir çözücü ile çözülmesi ve böylece ada liflerinin serbest kalması mümkündür. Fakat bu çözme prosesi çevre dostu bir uygulama değildir. Bununla birlikte denizin ayrı bir işlemlerle yapıdan uzaklaştırılması, üretilen nihai ürüne ek bir maliyeti de getirir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Tüm bu sebeplerle tüm dokusuz yüzeylerin su jeti ile işleme tabi tutulması gerektiği düşünülmüştür.

Yaklaşık 90 metre kadar üretilen 108 adaya sahip dokusuz yüzey yapı 1 pasaj su jeti ünitesinden geçirilmiştir. Ardından yaklaşık 18 metre uzunluğunda kumaş kesilip ayrı olarak kurutulup sarılmıştır. Kalan dokusuz yüzey tekrar su jeti ünitesinden geçirilmiştir. 2. pasaj sonunda yine yaklaşık 18 metre uzunluğunda kumaş kesilip ayrı olarak kurutulup sarılmıştır. Tüm bu işlemlere dokusuz yüzeyin 5. pasaj su jeti ünitesinden geçirilmesine kadar devam edilmiştir. Son olarak dokusuz yüzey 5. kez su jeti ünitesinden geçirilmiştir. Ardından bu dokusuz yüzey de kurutulmuş ve sarılmıştır. Sonuç olarak dokusuz yüzeylere her bir pasajda 22484 kJ/kg spesifik enerji transfer edilmiştir. Dokusuz yüzeylere toplamda aktarılan spesifik enerji miktarı Çizelge 4.1’de verilmiştir. Spesifik enerji hesaplamaları denklem 3.6’ya göre yapılmıştır.

Çizelge 4.1. 108 adalı dokusuz yüzeylere verilen spesifik enerji miktarları

Ada Sayısı	Polimer Türü		Polimer Oranı (%)		Su Jeti ile İşlem Pasaj Sayısı	Spesifik Enerji Toplam (kJ/kg)
	Ada	Deniz	Ada	Deniz		
108	PA6	PE	75	25	1	22484
108	PA6	PE	75	25	2	44968
108	PA6	PE	75	25	3	67452
108	PA6	PE	75	25	4	89936
108	PA6	PE	75	25	5	112420

108 adaya sahip dokusuz yüzeylerin farklı enerji seviyelerinde su jeti ile işlem görmesinin ardından, kalınlıkları ve ağırlıkları ölçülmüştür. Her bir pasaj su jeti ile işlem gören her bir dokusuz yüzeyin ayrıca katı hacim katsayıları (SVF) denklem (3.8)’e göre hesaplanmıştır. Tüm ölçümler ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

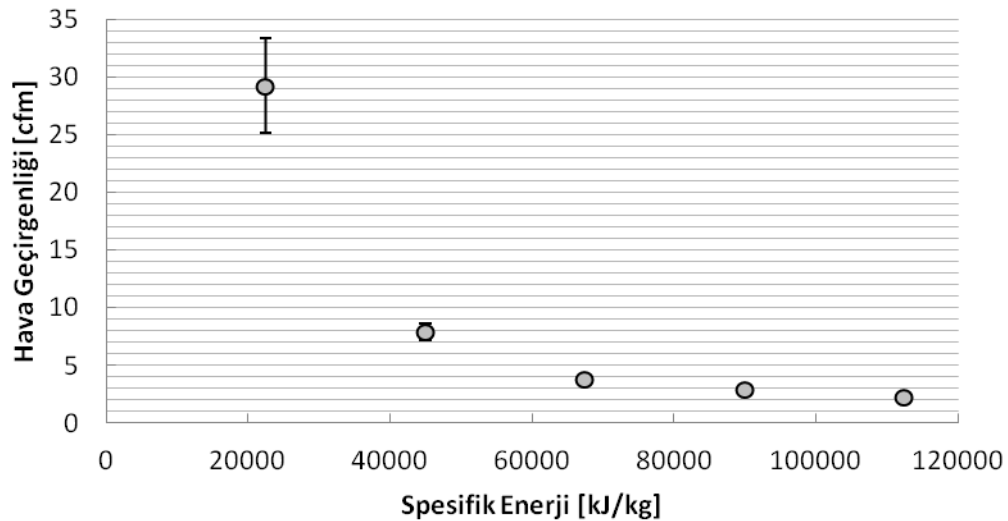
Çizelge 4.2. 108 adalı dokusuz yüzeylerin kalınlık, gramaj ve SVF değerleri

Spesifik Enerji (kJ/kg)	Kalınlık (mm)		Gramaj (g/m ²)		Katı Hacim Katsayısı (SVF)
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
22484	0,51	0,02	111	1,37	0,20
44968	0,47	0,02	130	2,53	0,25
67452	0,50	0,02	137	4,90	0,25
89936	0,52	0,03	146	5,50	0,26
112420	0,56	0,02	157	4,95	0,26

Çizelge 4.2’de verilen ortalama değerler incelendiğinde, dokusuz yüzeye su jetleriyle verilen enerjinin artmasıyla gramajda hafif bir artış olmuş, kalınlıkta ise önce küçük bir azalma ardından yine çok küçük olarak nitelendirilebilecek artışlar kaydedilmiştir.

Gramaj ve kalınlıktaki bu küçük değişimler, su jetlerinin etkisiyle liflerin pozisyon değiştirmesi, birbiri içine geçmesi, bir başka deyişle dokusuz yüzeyin özellikle fiziksel davranışlarını kontrol eden temel faktör olan lifli-ağsı yapının değiştiğinin okta açık olmayan göstergeleridir. Dokusuz yüzeyin lifli-ağsı yapısındaki bu değişim, su jetleriyle verilen enerjinin artışı ile birlikte dokusuz yüzey eninde kk azalma ile sonuçlandığını da burada belirtmek gerekir. Çizelge 4.2’de verilen ve ortalama kalınlık ve gramaj ölüm sonuçları kullanılarak hesaplanan katı hacim katsayılarına bakıldığında ise 2, 3, 4 ve 5 pasaj su jeti ile işlem gören dokusuz yüzeylerin, yani farklı enerji seviyelerinde muamele edilmiş yapıların katı hacim katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 4.2’deki temel bulguların daha iyi anlamlandırılması ancak dokusuz yüzey malzemenin yapısıyla ilgili bilgi verebilecek daha farklı bulgular ile karşılaştırılması ile mümkündür.

Dokusuz yüzeyler üzerinde yapılan hava geçirgenliği testi verileri, dokusuz yüzeyin hem lifli-ağsı yapısı ile ilgili hem de bu malzemenin ses yutuculuk davranışlarını yorumlamada kullanışlı bilgiler sunar. Farklı enerji seviyelerinde su jeti ile işlem görmüş 108 adaya sahip dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlikleri farklı bölgelerinden 12 kez lmlmş ve ortalama sonuçlar \pm standart sapma değerleri ile Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Spesifik enerji değişimi ile hava geçirgenliğindeki değişim

Sonuçlara bakıldığında 108 adalı dokusuz yüzeye verilen enerjinin artması ile hava geçirgenliğinin azaldığını görmekteyiz. Dokusuz yüzeyin hava geçirgenliği

davranışındaki bu belirgin değişiklik içyapısında meydana gelen farklılaşma nedeniyle gerçekleştiği düşünölmektedir. Öyle ki; su jetlerinin mekanik etkisiyle bikomponent liflerin kırılması ve ada liflerinin daha da serbest kalması söz konusudur. Daha fazla lifli hale gelen yapı hava geçişine karşı daha fazla direnç göstermektedir. Fakat burada dikkat çekilmesi gereken husus, hava geçirgenlik değerlerindeki bu düşüşün 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinden yada 3. pasaj su jeti işleminde sonra çok daha yavaş olduğudur (Şekil 4.2). Bu sonuç dokusuz yüzeyin 3. pasaj su jeti ile muameleden sonra, lifliliğinin (birim kütledeki lif sayısı) minimum düzeyde arttığıının bir göstergesidir.

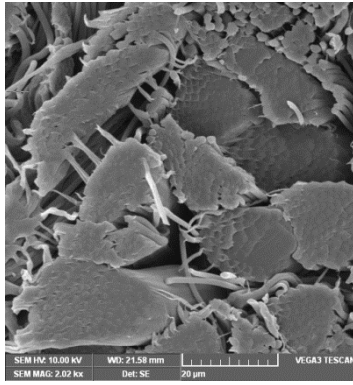
Farklı enerji seviyelerinde su jeti ile işlem görmüş 108 adaya sahip dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri ile ilgili veriler ortalama akış, en küçük ve en büyük gözenek çapı Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Çizelge 4.3'te ortalama akış gözenek çapı (*mean flow pore diameter*) ismiyle verilen sonuçlar dokusuz yüzey yapıda bulunan gözenek çaplarının çoğunluğunu temsil eder (Jena & Gupta, 2003).

Çizelge 4.3. 108 adalı dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri

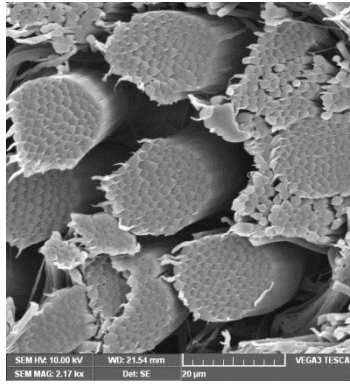
Gözenek Çapı (μm)	Spesifik Enerji (kJ/kg)				
	22484	44968	67452	89936	112420
En Küçük	4,36	2,14	1,58	0,89	0,40
Ortalama Akış	12,90	6,94	5,21	4,91	4,41
En Büyük	59,72	34,48	23,26	24,99	17,29

Hava geçirgenliği sonuçları dokusuz yüzeye verilen su jeti enerjisinin artması ile birlikte yapının daha lifli hale geldiğii bilgisini vermişti. Dolayısıyla daha lifli hale gelen lifli-gözenekli yapının gözeneklerinin küçülmesi beklenmektedir. Çizelge 4.3'deki veriler bu beklentiyi karşılamaktadır. Su jetlerinin mekanik etkisinin artmasıyla gözenek çapları küçölmektedir. Çizelge 4.3'den çıkarılacak başka önemli sonuç ise özellikle 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinden yada 3. pasaj su jeti işlemden sonra gözenek çapındaki küçölme eğiliminin git gide yavaşladığıdır. Gözenek çaplarıyla ilgili bu sonuç, daha önce verilen hava geçirgenliği sonuçlarıyla örtüşmektedir. Dolayısıyla 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinden ya da 3. pasaj su jeti işlemden sonra, su jeti işlemi ile beklediğimiz ada liflerinin bikomponent lif içinden çıkarılıp serbest kalması, ayrıca liflerin birbiri içine geçmesi, karışması olaylarının artık daha fazla gerçekleşmediğii sonucu kuvvetlenmektedir.

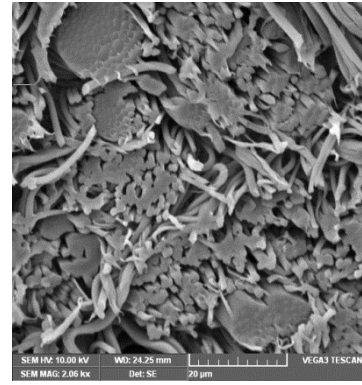
Dokusuz yüzeylerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleriyle, lifli-gözenekli yapının verilen su jeti enerjisinin artması ile birlikte daha lifli hale geldiği sonucunu çıkarmak niteliksel olarak zordur. Fakat Şekil 4.3’de verilen 1, 3 ve 5 pasaj su jeti ile işlem sonrası dokusuz yüzeylerin enine kesitinin çekilen SEM görüntüleri, bikomponent liflerin kırılması ve ada liflerinin serbest kalması ile ilgili önemli fikirler vermektedir.



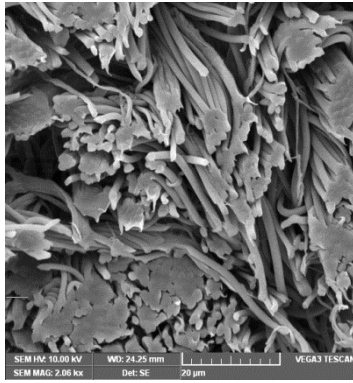
1 pasaj (22484 kJ/kg)



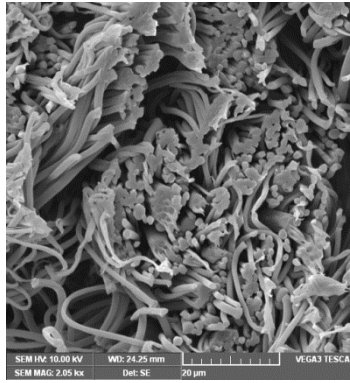
1 pasaj (22484 kJ/kg)



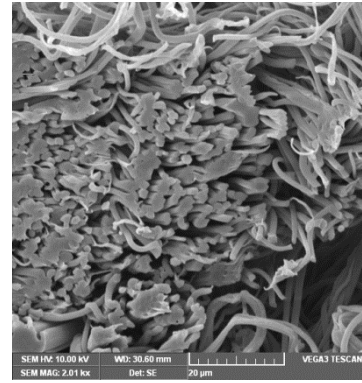
3 pasaj (67452 kJ/kg)



3 pasaj (67452 kJ/kg)



5 pasaj (112420 kJ/kg)



5 pasaj (112420 kJ/kg)

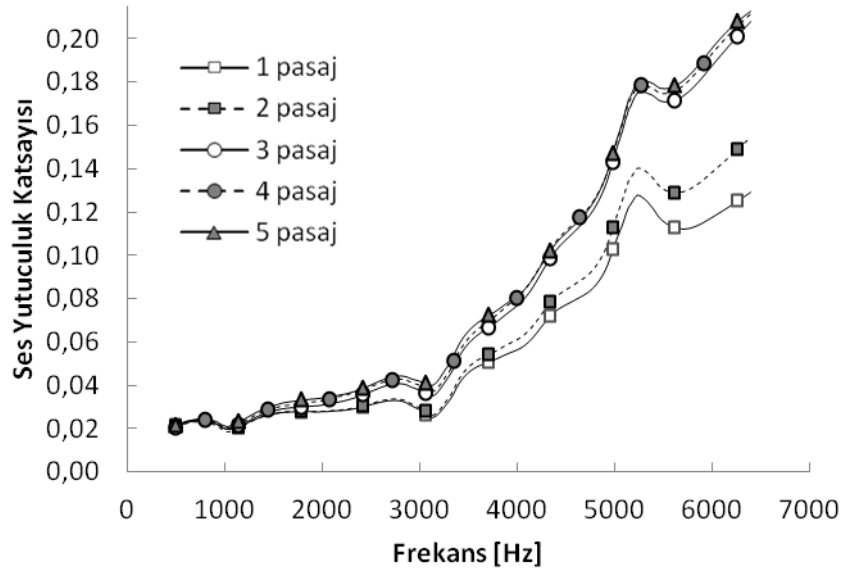
Şekil 4.3. Deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin enine kesit SEM görüntüleri

Şekil 4.3 incelendiğinde 1 pasaj su jeti ile işlemten sonra bazı bikomponent lifler deforme olmuş ve ancak bazıları da kırılmıştır. Açıkça görüldüğü üzere adalar hapsedildiği bikomponent filaman içinden bu enerji seviyesinde (22484 kJ/kg) tam olarak çevrelediği denizi kırıp çıkamamıştır. 3 pasaj su jeti ile işlemten sonra çekilen görüntüler incelendiğinde ise ada liflerinin büyük bir bölümü denizden sıyrılıp bikomponent liften ayrılarak bağımsız çok ince lifler haline gelmiştir. Dokusuz yüzey daha lifli bir yapı haline gelmiştir. Bu haliyle 108 ada dokusuz yüzey bir mikrometrenin altında çapta lifler içermektedir. 5 pasajdan sonra dokusuz yüzeyin enine kesit

görüntüleri incelendiğinde ise yine ada liflerinin denizden büyük oranda sıyrıldığı bir lifli gözenekli yapı görülmektedir.

SEM görüntüleri ve daha önce verilen tüm bulgular ve sonuçlar ışığında 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinin yani 3 pasaj su jeti işleminin, 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ada liflerinin bikomponent lif içinden çıkıp serbest kalması ve dokusuz yüzeyin ince lifli küçük gözenekli bir yapıya kavuşturmasında yeterli olduğu sonucuna varılmaktadır.

1 pasajdan 5 pasaja kadar su jeti ile işlem görmüş 108 ada dokusuz yüzeylerin 500 Hz ile 6400 Hz frekans aralığında 8 Hz'lik aralıklarla ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Her bir dokusuz yüzeyin farklı bölgelerinden yedişer örnek alınarak ölçümler yapılmış ve ortalama sonuçlar Şekil 4.4'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Su jeti ile işlem görmüş dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

Şekil 4.4 incelendiğinde, 3 pasaj su jeti ile işleme tabi tutulmuş dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayılarının, 1 ve 2 pasaj su jeti ile işlem görmüş dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca 3. pasaja kadar, artan pasaj işlemi sayısı ile ses yutuculuk açık bir şekilde artış göstermiştir. Daha önce, 3 pasaj sonunda yani 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinde, dokusuz yüzeyde bulunan ada liflerinin büyük bir bölümünün serbest kaldığı ve dokusuz yüzeyin daha lifli ve

küçük gözenekli bir lifli-ağsı yapı haline geldiği gösterilmişti. Dolayısıyla bu yapıdaki dokusuz yüzeyin ses yutuculuğunun daha yüksek olacağı sonucuna varabiliriz.

3, 4 ve 5 pasaj su jeti ile işlem görmüş dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları arasında ise sadece küçük farklar vardır. Daha önceki sonuçlarla bu üç dokusuz yüzeyin lifli-ağsı yapıları arasında farklılıkların az olduğu belirtilmişti. Bu nedenle ses yutuculuk davranışlarının da benzer ve birbirine çok yakın olması beklen bir sonuçtur.

Dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliği ve gözenek büyüklüğü sonuçları, SEM görüntüleri ve ayrıca ses yutuculuk davranışları, 108 adalı bikomponent liflerden oluşmuş eğirmeli bağlantı üretim yöntemi ile üretilmiş dokusuz yüzeylerin adalarının, serbest kalıp ince lifli bir yapı oluşturması için 3 pasaj su jeti işleminin ya da su jeti ile 67452 kJ/kg spesifik enerji vermenin yeterli ve en uygun enerji miktarı olduğunu bize göstermektedir.

4.1.2. Ada lifi sayısının deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisi

Bu bölümde, deniz polimerinden ayrılmış adaların sayısının bir başka deyişle lif inceliğinin, dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisi araştırılmış, dokusuz yüzeylerin yapıları ve ses yutuculuk davranışları arasındaki ilişki tartışılmıştır.

Farklı ada sayılarına sahip dokusuz yüzeylerin ince lifli yapısının, özellikle ses yutuculuk açısından oluşturacağı muhtemel etkilerin görülebilmesi için öncelikle ada liflerinin bikomponent lif içinden çıkarılıp serbest kalması gereklidir. 108 adaya sahip dokusuz yüzeyde, diğer farklı ada sayılarına sahip (1, 7, 19, 37 ada) dokusuz yüzeylere göre bikomponent lifte serbest bırakılması gereken daha fazla sayıda ada lifi olması nedeniyle, 108 adalı dokusuz yüzeyde ada liflerini serbest bırakmak için optimum enerji seviyesi olan 67452 kJ/kg spesifik enerji, diğer dokusuz yüzeyler için de seçilmiştir. Böylelikle, eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilen 1, 7, 19, 37 ve 108 adaya sahip dokusuz yüzeyler 67452 kJ/kg spesifik enerji verilecek şekilde 3 pasaj su jetleriyle işleme tabi tutulmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Su jeti ile işleme tabi tutulan dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri

Ada Sayısı	Polimer Türü		Polimer Oranı (%)		Su Jeti ile İşlem Pasaj Sayısı	Spesifik Enerji Toplam (kJ/kg)
	Ada	Deniz	Ada	Deniz		
1	PA6	PE	75	25	3	67452
7	PA6	PE	75	25	3	67452
19	PA6	PE	75	25	3	67452
37	PA6	PE	75	25	3	67452
108	PA6	PE	75	25	3	67452

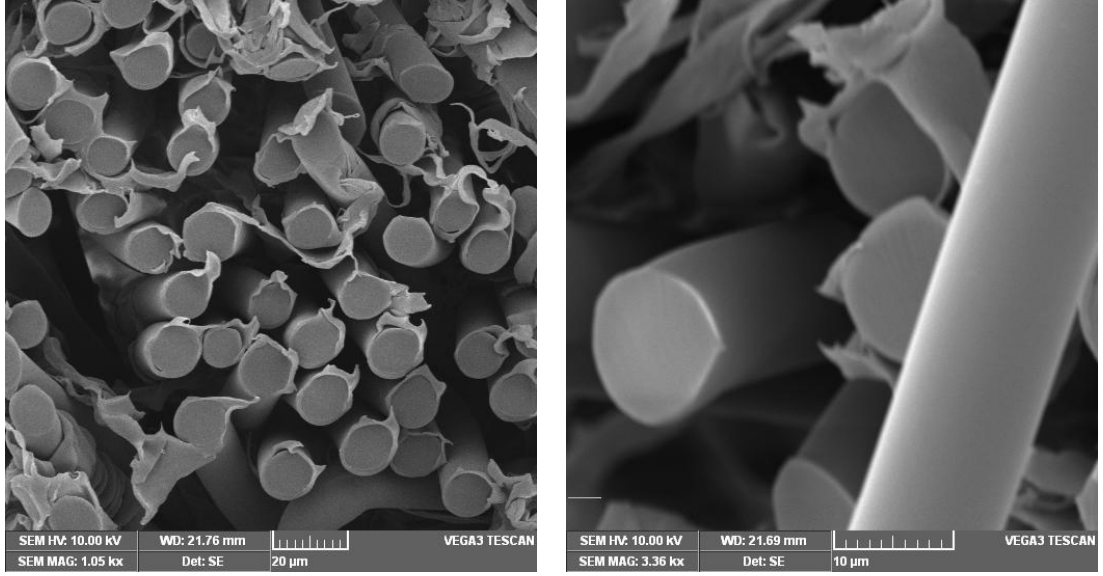
Farklı ada sayılarına sahip dokusuz yüzeylerin 67452 kJ/kg spesifik enerji seviyesinde su jetleri ile işlem görmelerinin ardından, kalınlıkları ve ağırlıkları ölçülmüştür. Her bir dokusuz yüzeyin ayrıca katı hacim katsayıları (SVF) denklem (3.8)'e göre hesaplanmıştır. Tüm ölçümler ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Su jeti işlemi sonrası dokusuz yüzeylerin kalınlık, gramaj ve SVF değerleri

Ada Sayısı	Kalınlık (mm)		Gramaj (g/m^2)		Katı Hacim Katsayısı (SVF)
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
1	0,59	0,04	114	6,43	0,18
7	0,47	0,02	139	6,46	0,27
19	0,49	0,01	137	4,72	0,26
37	0,47	0,02	136	3,46	0,27
108	0,50	0,02	137	4,90	0,25

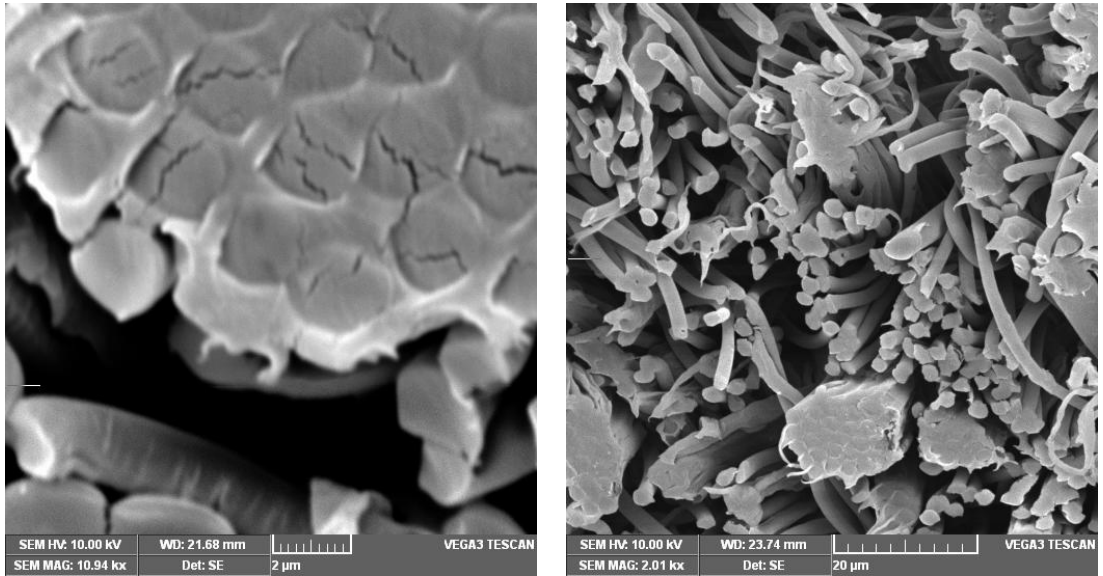
Çizelge 4.5'de verilen ortalama değerler incelendiğinde, dokusuz yüzeye su jetleriyle verilen enerjinin ardından başlangıçta (su jetleriyle enerji vermeden) yaklaşık $100 g/m^2$ olan gramajlarda hafif bir artış meydana gelmiştir. Gramajdaki bu değişim su jetlerinin etkisiyle liflerin pozisyon değiştirmesi ve birbiri içine geçmesi sonucu eninden hafifçe çekmesi ile gerçekleşmiştir. Kalınlık değerleri ise fazla bir değişim göstermemiştir ve 0,50 mm civarındadır. Çizelgede 4.5'de verilen ve ortalama kalınlık ve gramaj ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanan katı hacim katsayılarına bakıldığında ise 7, 19, 37 ve 108 adaya sahip dokusuz yüzeylerin katı hacim katsayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilen deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri oluşturan liflerin çaplarının incelenmesi için, dokusuz yüzeylerin enine kesitlerinin SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. Şekil 4.5'te 1 ada lifine sahip dokusuz yüzeyin enine kesit fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.5. 1 ada lifine sahip dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri

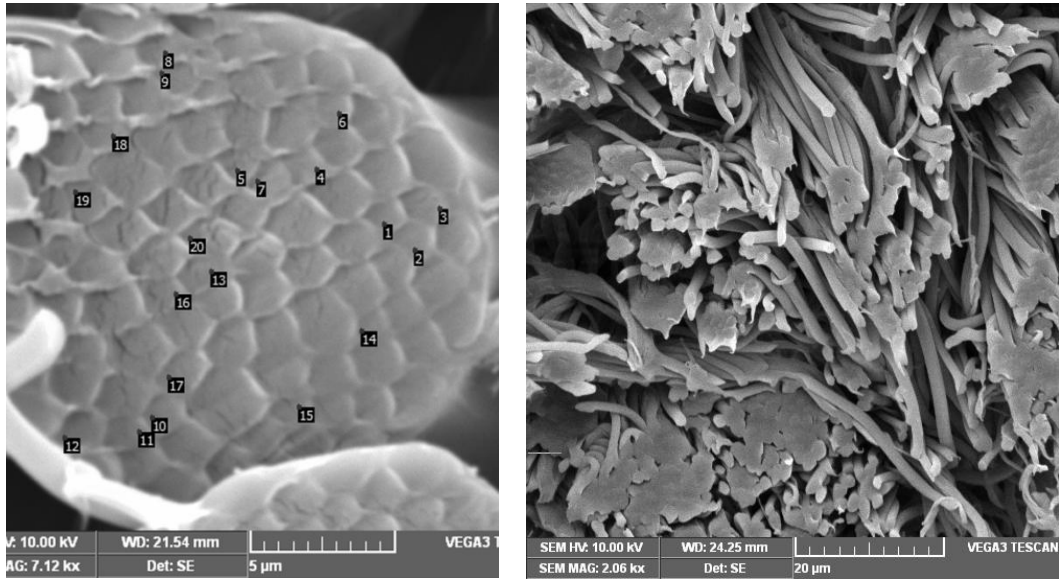
Şekil 4.5'te soldaki görüntünün incelenmesi sonucu, üretilen tek adalı bikomponent liflerin çaplarının 11 ile 14 mikrometre arasında olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.5'te, sağdaki görüntü ise su jetleriyle muamele sonucu serbest kalmış ada lifini göstermektedir¹. Şekil 4.6'da 37 adaya sahip bikomponent lifin ve 37 ada liflerinden oluşmuş dokusuz yüzeyin enine kesit fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.6. 37 ada bikomponent lifin ve dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri

¹ Su jetleriyle muamele sonucu ada lifinin denizden ayrıldığını gösteren bir başka SEM görüntüsü EK 1'de verilmiştir.

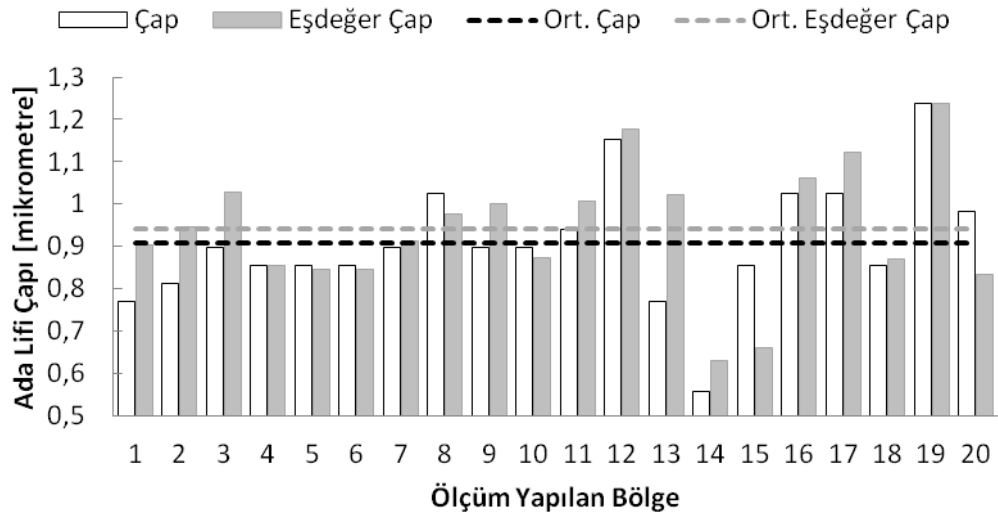
Şekil 4.6'da sağdaki görüntüye bakarak, 3 pasaj su jeti işleminin (67452 kJ/kg) 37 adaya sahip dokusuz yüzeyin ada liflerinin serbest bırakılması için yeterli olduğunu söyleyebiliriz¹. Şekil 4.6'da soldaki görüntüde, 37 adalı bikomponent life yaklaşık 11000 kat büyütme yapılarak, ada liflerinin çapları ölçülmüştür. Fotoğraf içine giren 14 ada lifinin ortalama çap değeri ve standart sapması sırasıyla 1,79 µm ve 0,17 hesaplanmıştır. Şekil 4.7'de 108 adaya sahip bikomponent lifin ve 108 ada liflerinden oluşmuş dokusuz yüzeyin enine kesit fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.7. 108 adalı bikomponent lifin ve dokusuz yüzeyin enine kesit SEM görüntüleri

Şekil 4.7'de, sağdaki görüntü su jetleriyle muamele sonucu (67452 kJ/kg) serbest kalmış ada liflerini göstermektedir. Şekil 4.7'de soldaki görüntü ise, 108 adalı bikomponent lifin fotoğrafıdır. Bu görüntüde işaretlenmiş 20 ayrı ada lifinin çapları, görüntü üzerindeki ölçek referans alınarak bilgisayarda ölçülmüştür. Bazı ada liflerinin enine kesitleri dairesel olmadığından, bu bölgeler görüntü üzerinde işaretlenmiş ve bilgisayar programı yardımıyla alanları hesaplanmıştır. Ardından enine kesitlerinin alanları ölçülen ada lifleri dairesel kabul edilerek eşdeğer çapları hesaplanmıştır. Ortalama çaplarda hesaplanarak, ada liflerinin tüm çap sonuçları Şekil 4.8'de verilmiştir.

¹ 3 pasaj su jeti işlemi (67452 kJ/kg), 37 adaya sahip dokusuz yüzeyin ada liflerinin ayrıca birbiri içine geçmesini sağlamıştır. İlgili enine kesit SEM görüntüsü EK 1'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Ortalama ada lifi çapı

Direkt ölçülen çap sonuçları için ortalama ve standart sapma değerleri 908 ± 146 nanometre olarak hesaplanmıştır. Önce ada lifi kesit alanının ölçülmesi, ardından alanın dairesel kabul edilerek eşdeğer çapın hesaplanması sonucu, ortalama ve standart sapma değerleri ise 940 ± 152 nanometre olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar ve Şekil 4.8’de verilen bulgulara göre, 108 ada dokusuz yüzeyin nanometre mertebesinde çapta lifler içerdiğini söyleyebiliriz.

Farklı ada sayılarına sahip dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri ile ilgili veriler olan ortalama akış, en küçük ve en büyük gözenek çapları ise Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

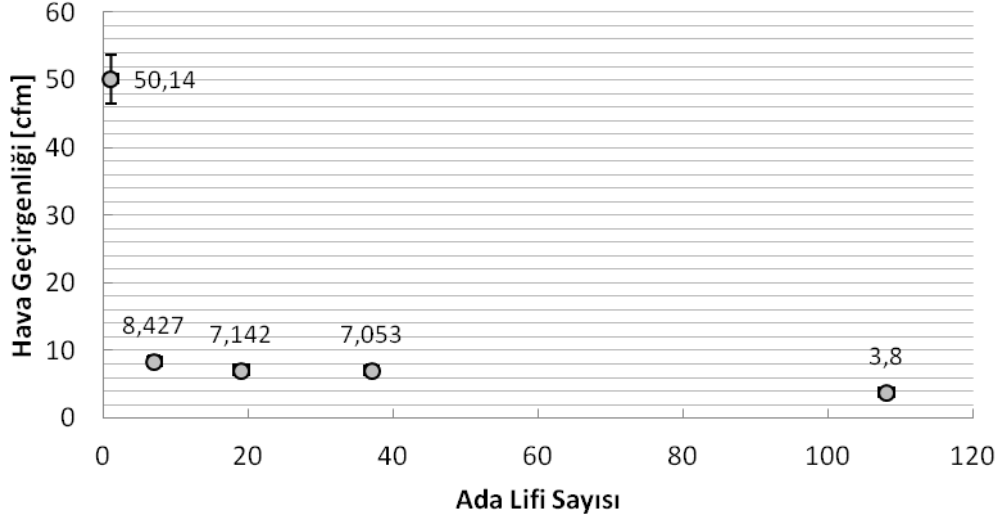
Çizelge 4.6. Farklı ada sayısına sahip dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklükleri

Gözenek Çapı (µm)	Ada Lifi Sayısı				
	1	7	19	37	108
En Küçük	6,48	2,23	1,89	1,68	1,58
Ortalama Akış	17,37	6,77	6,40	6,30	5,21
En Büyük	54,41	30,81	27,85	32,16	23,26

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere dokusuz yüzeyde bulunan ada sayısının artması ile gözenek çapları küçülmektedir. Ada sayısının fazla olduğu dokusuz yüzeylerde daha fazla sayıda lif bulunduğu ve bu liflerin daha ince olduğunun yanında, lifli-ağsı yapılarının daha küçük gözeneklerden oluştuğu bu verilerle anlaşılmaktadır.

Dokusuz yüzeyler üzerinde yapılan hava geçirgenliği testi verileri, dokusuz yüzeyin hem lifli-ağsı yapısı ile ilgili hem de bu malzemenin ses yutuculuk davranışlarını

yorumlamada kullanışlı bilgiler sunar. Su jeti ile işlem görmüş, farklı ada sayılarına sahip dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlikleri farklı bölgelerinden 10 yada 12 kez ölçülmüş ve ortalama sonuçlar \pm standart sapma değerleri ile Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı ada sayısına sahip dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlikleri

Şekil 4.9’den görüleceği üzere ada sayısının hava geçirgenlik değerleri üzerinde etkisi vardır. Bu etki, ada sayısının artması ile birlikte dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliğinin düşmesi şeklindedir. 1 adaya sahip dokusuz yüzeyin daha kalın liflerden oluşması, bunun yanında daha büyük gözeneklere sahip olması hava geçirgenlik değerinin en yüksek ölçülmesini açıklamaktadır. 1 adalı dokusuz yüzey bu yapıyla, hava geçişine karşı daha düşük bir direnç göstermektedir. Hava, dokusuz yüzeyin bir tarafından diğer tarafına daha kolay geçmektedir. 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ise daha ince liflerden oluşması ve küçük gözeneklere sahip olması hava geçirgenlik değerinin en düşük ölçülmesinin sebebidir.

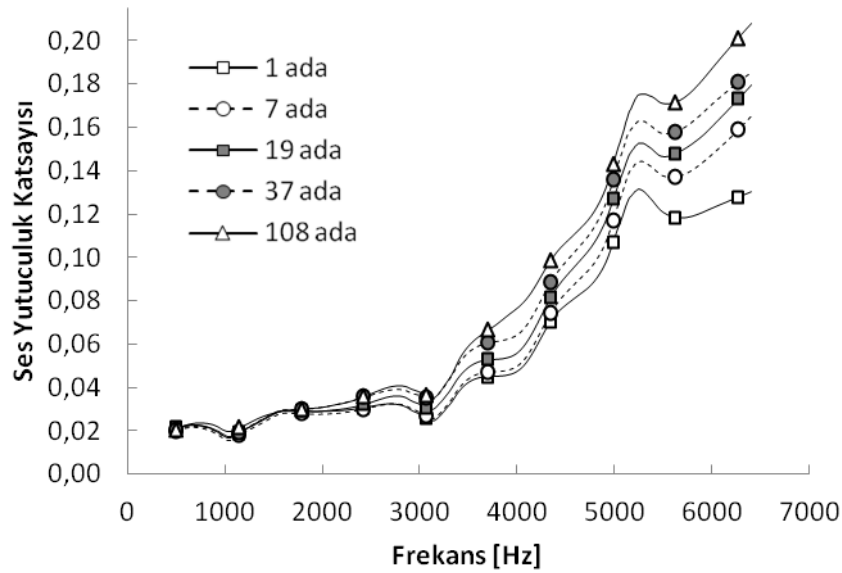
Dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlik verilerinin işaret ettiği bir başka sonuç ise üretilen deniz içinde ada dokusuz yüzeylerinin su jeti ile işlem sonrası adalarının kırılmasının yanında liflerin yapı içindi yeterince homojen dağıldığıdır. Çünkü eğer lifli-ağsı yapı homojen olmayıp düzensizlik yüksek olsaydı, ince lif ve küçük gözenekli yapıda yer yer büyük gözenekler olabilirdi. Hava geçirgenliği testinde ise, hava akışı her zaman büyük gözenekten geçmeyi tercih edeceği için, gözenek büyüklüğü testinde ölçülemeyen bu muhtemel büyük gözenekler, dokusuz yüzeyin hava geçirgenlik değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olabilirdi. Fakat gözenek büyüklükleri ile hava

geçirgenlik değerleri arasındaki korelasyona bakıldığında sonuçların 1'e çok yakın hesaplanması (Çizelge 4.7), deniz içinde ada dokusuz yüzeylerinin su jeti ile işlem sonrası ada liflerinin yapı içinde yeterince homojen dağıldığının ve yapının düzensizliğünün minimum olduğunun bir göstergesidir.

Çizelge 4.7 Hava geçirgenliği ve gözenek büyüklüğü verileri arasındaki korelasyon

Gözenek Çapı	Korelasyon Katsayısı (ρ) Hava Geçirgenliği (Y_1)
En Küçük (Y_2)	$\rho_{12} = 0,998$
Ortalama Akış (Y_3)	$\rho_{13} = 1,000$
En Büyük (Y_4)	$\rho_{14} = 0,977$

Buraya kadar ki sonuçlar değerlendirildiğinde farklı ada sayılarına sahip bu dokusuz yüzeylerinin ses yutuculuk davranışlarının da farklı olması beklenmektedir. Şekil 4.10'da dokusuz yüzey içerisinde bulunan ada lifi sayısının dokusuz yüzeyin ses yutuculuk özelliğine etkisi verilmiştir. Ölçüm sonuçları 500 Hz ile 6400 Hz frekans aralığını kapsamaktadır. Ses yutuculuk katsayısı değerleri yapılarında 1, 7, 19, 37, ve 108 ada lifi bulunan dokusuz yüzeylerin yedi farklı bölgesinden kesilen örneklerin ölçüm sonuçlarının ortalama değerleridir.



Şekil 4.10. Ada lifi sayısının dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayılarına etkisi

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, 108 adaya sahip olan dokusuz yüzey diğer deniz içinde ada dokusuz yüzeylere nazaran daha fazla sesi yutmuştur. Ayrıca ses yutuculuk katsayısı dokusuz yüzeyde bulunan ada lifi sayısının artması ile artış göstermiştir.

Dokusuz yüzeyi oluşturan eşit çaplı bikomponent liflerde daha fazla sayıda ada lifi bulunması, bu bikomponent liflerin su jetleri ile kırılması sonrası ada liflerinin serbest kalması ile birlikte dokusuz yüzey daha ince liflerden oluşan lifli-gözenekli bir yapı haline gelmektedir. Birim kütlede daha ince lifler bulunan yapının daha önce gösterildiği üzere gözenekleri de daha küçük olmaktadır. Ses dalgası lifli ve gözenekli yapıya girdiği zaman, sesin frekansına göre, hava parçacıkları gözenekli yapının boşluklarında salınım yapmaya başlamaktadır. Daha ince liflerden oluşan dokusuz yüzeyde, hava parçacıkları ile liflerin etkileşime girme ihtimali artmakta, hava parçacıkları temas edecek daha fazla yüzey alanı bulmakta ve daha fazla sürtünme kayıpları olmaktadır. Bu sürtünme kayıpları akustik enerjinin zayıflamasına ve sesin yutulmasına sebep olur. Ayrıca büyük gözenekli yapıda, salınım yapan hava parçacıkları ses dalgasının ilerlemesi adına, birbirlerine enerjilerini başka bir engel olmadan iletebilecekken, küçük gözenekli yapıda salınım yapan ve belirli bir hızı olan bu parçacıkların bir lifle karşılaşma ihtimali daha fazla olduğundan life bir momentum iletimi söz konusu olur. Bu etkiyle titreşim yapması olası olan lifler, dokusuz yüzeyin lifli-ağsı yapısı nedeniyle birbirleriyle de sürtünebilir ve bu şekilde de bir enerji kaybı muhtemeldir. Tüm bu sebepler su jetleri ile işlem yapılmış eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayısının daha yüksek olmasını açıklamaktadır.

Akışkan içinde ilerleyen bir nesne harekete ters yönde direnç kuvvetine (*drag force*) maruz kalır (Serway ve Beichner 2000, Morin 2008). Bu kuvvete bazı kaynaklarda viskoz sürtünme kuvveti de denir (Kinsler ve ark. 2000). Direnç kuvvetinin hıza bağlı olduğu deneysel araştırmalarla gözlenmiştir. Başka bir deyişle teorik bir modelden değil de gözlem sonuçlarından elde edilmiştir. Direnç kuvveti gerçekçi bir kuvvettir. İki durum vardır; birincisi, direnç kuvvetinin hız ile orantılı olduğunun kabulüdür. İkinci durum ise hareketli cismin, hızının karesi ile yaklaşık olarak orantılı direnç kuvvetinin etkisinde kaldığıdır (Serway & Beichner, 2000). Dokusuz yüzeyin, gözeneklerinde özellikle lif yüzeyine yakın bölgelerde hareketli olan ve salınım yapan hava parçacıkları ile lif arasında böyle bir direnç kuvvetinin meydana gelmesi olasıdır. Eğer böyle bir direnç kuvveti varsa ve akustik enerjisinin bir kısmının yutulması bu mekanizmaya göre gerçekleşiyorsa, artan parçacık hızı ile direnç kuvveti artacağından daha fazla akustik enerjinin yutulması beklenmelidir.

Empedans tüp içinde ilerleyen dalga, yayılma doğrultusuna dik uzak (arka) duvardan yansıdığıında, duvar düzlemine gelen ve düzlemden yansıyan dalgalar girişim yaparak duran dalga oluştururlar (Dinçer & Yalçın, 2002). Aşağıda verilen (4.1) numaralı denklem sesin dalga denklemidir. Bu denklemin bir çözümü (4.2) numaralı denklemde verilmiştir (Fowler 2007, Wolfe 2012):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4.1)$$

$$y = y_m \sin(kx - wt) \quad (4.2)$$

Dalganın yolu üzerindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirme gelen dalga ile yansıyan dalgaya ait yer değiştirmelerin toplamından oluştuğundan:

$$y = y_m \sin(kx - wt) + y_m \sin(kx + wt)$$

Yukarıdaki denklemi trigonometrik eşitliklerden faydalanarak düzenlersek:

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b \quad \Rightarrow \quad a = kx \quad , \quad b = wt$$

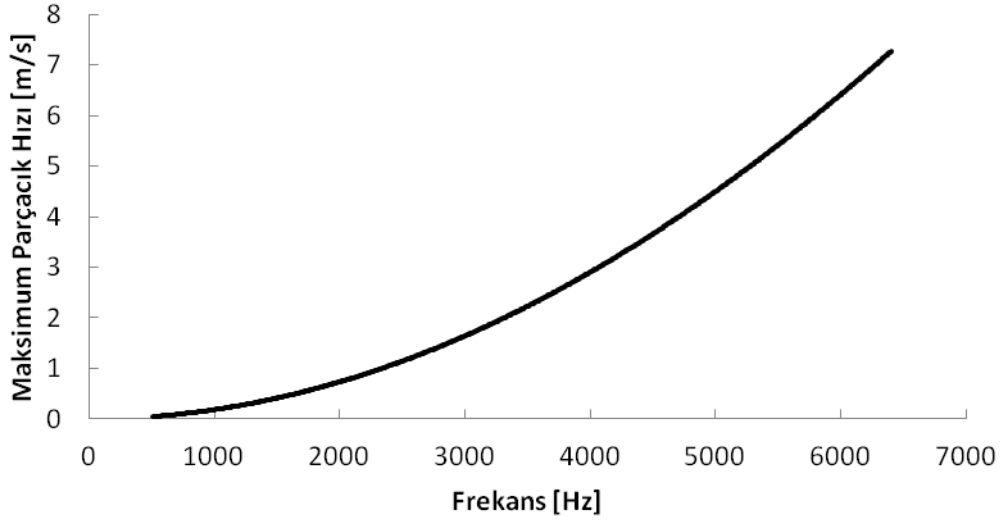
$$y = 2y_m \sin kx \cos wt \quad (4.3)$$

(4.3) denklemi duran dalga denklemidir.

Dokusuz yüzeylerin, empedans tüpün ses kaynağından uzak duvarıyla bitişik pozisyonda iken ses yutuculuk katsayıları ölçüldüğünden, test esnasında dokusuz yüzey içinde bulunacak, empedans tüp duvarından 0,35 mm uzakta ve 0,15 mm genlik değerine sahip bir hava parçacığının hareketini inceleyelim. Bunun için denklem (4.3)'ün zamana göre kısmi türevini alarak elde edilebilecek hız denkleminin kullanılması gerekecektir:

$$v = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -2y_m w \sin kx \sin wt \quad (4.4)$$

500 Hz'ten 6400 Hz'e kadar denklem (4.4) yardımıyla 0,35 mm uzaklıktaki hayali parçacığın ulaştığı maksimum hızlar hesaplanmıştır. Sonuçlar bir grafik halinde Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Hava parçacığı frekansı ile maksimum hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.11’de artan frekansla birlikte salınım yapan parçacığın ulaştığı maksimum hızın da arttığı görülmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde ise, çoğu lifli-gözenekli malzemenin gösterdiği davranış olan yüksek frekanslarda daha fazla ses yutuculuk özelliği, deniz içinde ada dokusuz yüzey malzemelerde de görülmüştür. Çizelge 4.8’de maksimum hava parçacık hızı ile 1, 7, 19, 37 ve 108 ada lifine sahip dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları arasındaki ilişki korelasyon katsayılarının hesaplanmasıyla araştırılmıştır.

Çizelge 4.8. Maksimum hava parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon

Ses Yutuculuk Katsayısı	Korelasyon Katsayısı (ρ) Maksimum Parçacık Hızı (Y_1)
1 ada (Y_2)	$\rho_{12} = 0,962$
7 ada (Y_3)	$\rho_{13} = 0,971$
19 ada (Y_4)	$\rho_{14} = 0,976$
37 ada (Y_5)	$\rho_{15} = 0,981$
108 ada (Y_6)	$\rho_{16} = 0,984$

Çizelge 4.8’de, tüm dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ile maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları 0,96’nın üzerinde hesaplanmıştır. Sonuçların 1’e yakın hesaplanması, hava parçacıkları ile deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri oluşturan ada lifleri arasında hız ile artan bir direnç kuvveti meydana geldiğini, akustik enerjinin çoğunlukla bu mekanizmaya göre yutulduğunu bize göstermektedir.

Sonuç olarak yapısında çapları nanometre mertebesinde olan lifler içeren 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ses yutuculuğu en yüksek ölçülmüştür ve yüksek frekanslar için ses yutuculuk katsayısı 0,2'ye kadar ulaşmıştır. Bu değer o frekans değeri için sesin % 20 miktarının yutulacağını göstermektedir. Bu değer dokusuz yüzeyin 0,5 mm civarındaki kalınlığı göz önüne alındığında yüksek bir yutuculuk olduğu söylenebilir.

4.1.3. Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri

Bu bölümde, eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş ve su jetleri ile muamele edilmiş dokusuz yüzeylerin, ses yutuculuk katsayılarının özellikle daha düşük frekanslarda artması adına, çok katlı dokusuz yüzey yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir.

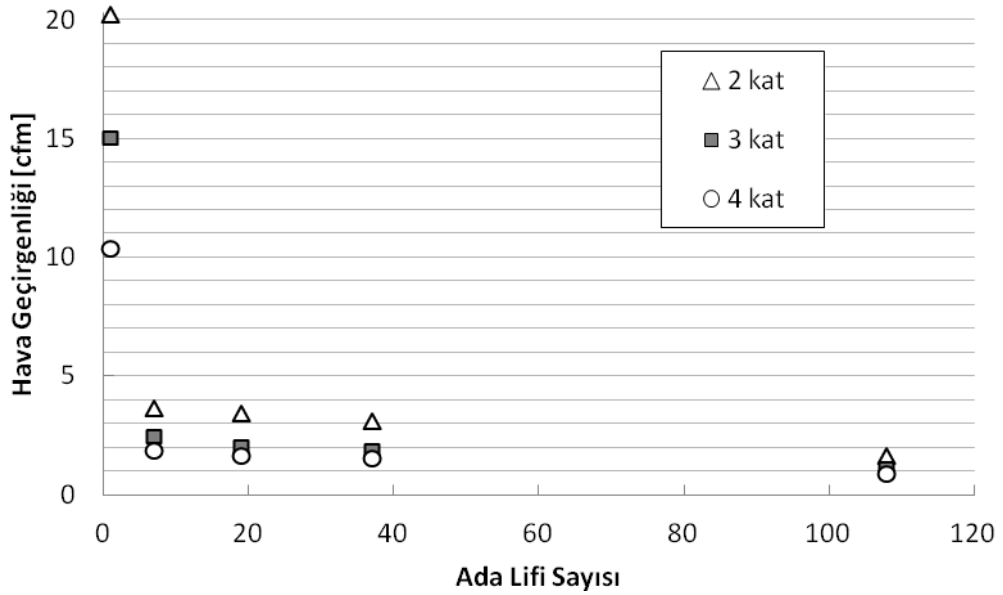
Sprey yapıştırıcının (adhesiv) tek katlı dokusuz yüzeyin bir yüzüne püskürtülmesi, ardından diğer tek katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeyin bu yapıya temas ettirilmesi, en sonunda üstten basınç uygulanması ile çok katlı dokusuz yüzeyler oluşturulmuştur. 1, 7, 19, 37 ve 108 ada liflerine sahip dokusuz yüzeyler için, iki, üç ve dört katlı yapılar bu şekilde elde edilmiştir. Bu çok katlı yapıların kalınlıkları ölçüldüğünde ise, beklenen değerlerden daha düşük kalınlık değerleri tespit edilmiştir. Kalınlık ile ilgili bulgular Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin kalınlık değerleri

Ada Sayısı	2 Kat Kalınlık (mm)		3 Kat Kalınlık (mm)		4 Kat Kalınlık (mm)	
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma
1	1,06	0,04	1,62	0,03	2,07	0,04
7	0,92	0,03	1,40	0,02	1,82	0,07
19	0,93	0,04	1,46	0,03	1,92	0,03
37	0,92	0,07	1,41	0,04	1,77	0,03
108	0,95	0,05	1,32	0,03	1,85	0,01

Tek katlı, 108 ada sayısına sahip dokusuz yüzeyin kalınlığı ortalama 0,50 mm iken, oluşturulan 4 katlı yapının kalınlığının 2,00 mm ya da bu değere çok yakın bir değer olması beklenmektedir. Fakat Çizelge 4.9'a göre 4 katlı 108 ada dokusuz yüzeyin kalınlığı 1,85 mm ölçülmüştür. Diğer katlı yapılarda da benzer sonuçlar görülmektedir (Çizelge 4.9). Birleştirme işlemi sırasında uygulanan basınç, katlı yapılardaki kalınlık değerlerinin beklenenden düşük ölçülmesinin sebebidir.

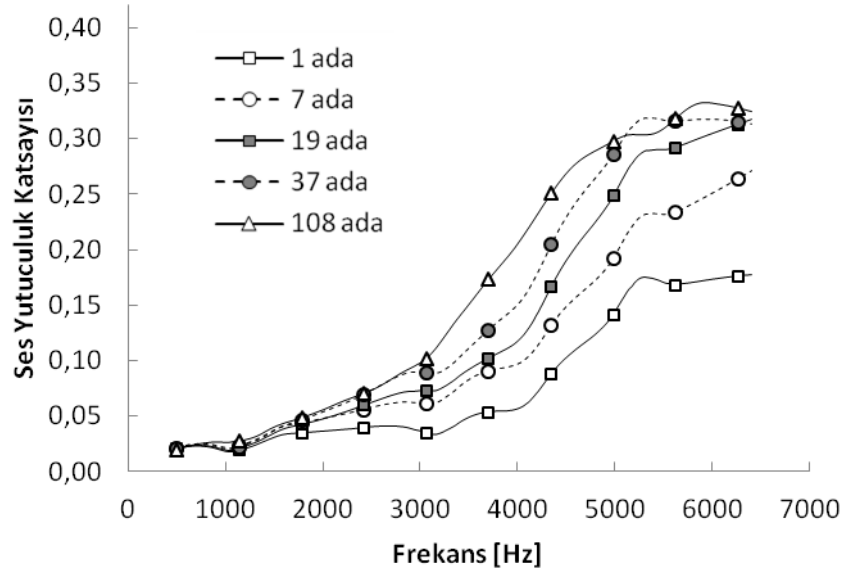
Katlı dokusuz yüzeyler üzerinde yapılan hava geçirgenliği testi verileri, bu dokusuz yüzeylerin hem lifli-ağsı yapısı ile ilgili hem de bu malzemenin ses yutuculuk davranışlarını yorumlamada kullanışlı bilgiler sunar. 1, 7, 19, 37 ve 108 ada liflerine sahip dokusuz yüzeylerin, iki, üç ve dört katlı yapılarının hava geçirgenlik test sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Çok katlı dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlik testi sonuçları

Şekil 4.12’de görüleceği üzere, hava geçirgenlik sonuçları dokusuz yüzeyde bulunan ada lifi sayısı tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Hava geçirgenlik sonuçları sadece ada lifi sayısının artması ile değil, aynı zamanda kat sayısının artması ile de düşüş göstermektedir. Hava akışının, artan kat sayısı ile daha fazla lif arasından geçmesi gerektiğinden, hava geçirgenliği değerlerindeki düşüş beklenen bir sonuçtur. 1 adaya sahip katlı dokusuz yüzeylerin daha kalın liflerden oluşması, bunun yanında daha büyük gözeneklere sahip olması hava geçirgenlik değerlerinin en yüksek ölçülmesini açıklamaktadır. 108 adaya sahip katlı dokusuz yüzeylerin ise daha ince liflerden oluşması ve küçük gözeneklere sahip olması hava geçirgenlik değerlerinin en düşük ölçülmesinin sebebidir.

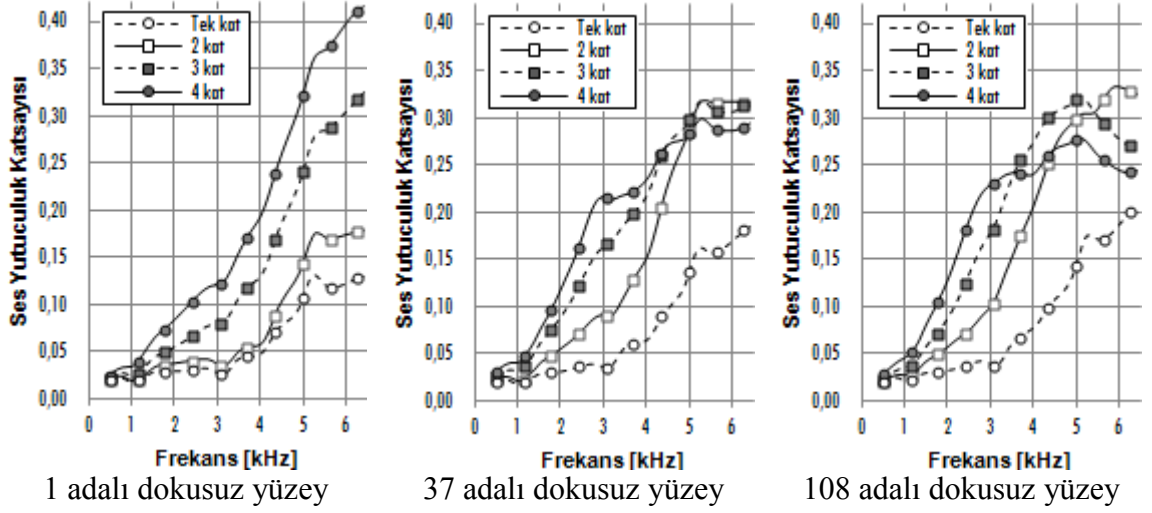
Hazırlanan tüm çok katlı dokusuz yüzeylerden dörder örnek alınarak ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. İki katlı dokusuz yüzeyler için ortalama ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. İki katlı dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

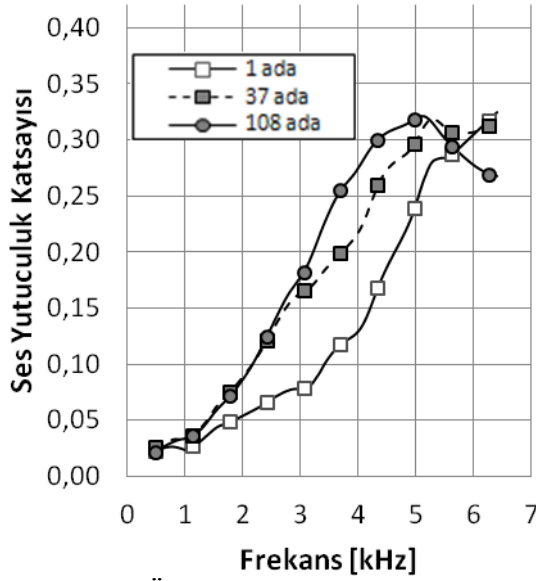
İki katlı dokusuz yüzeyler için ses yutuculuk sonuçlarına bakıldığında tüm dokusuz yüzeyler için ses yutuculuk katsayıları, tek katlıya göre artış göstermiştir (bkz. Şekil 4.10). Bunun yanında daha ince lifler içeren (daha fazla sayıda ada lifine sahip olan) dokusuz yüzeyler daha fazla sesi yutmuştur. Tek katlı dokusuz yüzeylerde olduğu gibi, burada da tüm iki katlı dokusuz yüzeyler için artan frekans ile birlikte ses yutuculuk artış göstermektedir. Artan frekansla birlikte, dokusuz yüzey içinde salınım yapan hava parçacığının ulaştığı maksimum hızın da arttığı daha önceki bölümde gösterilmiştir. Böylece hava parçacıkları ile iki katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri oluşturan ada lifleri arasında hız ile artan bir direnç kuvveti meydana geldiğini, akustik enerjinin tek katlı yapılarda olduğu gibi, iki katlı dokusuz yüzeylerde de çoğunlukla bu mekanizmaya göre yutulduğunu söyleyebiliriz.

Deniz içinde ada dokusuz yüzeylerde artan kat sayısının, malzemenin ses yutuculuk davranışına etkisini inceleme adına, 1, 37 ve 108 ada liflerine sahip dokusuz yüzeylerin, çok katlı yapılarının ortalama ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.14’de verilmiştir.

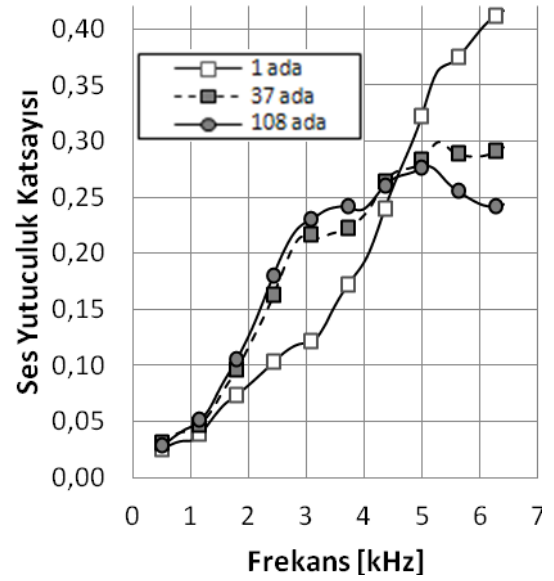


Şekil 4.14. Çok katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

Şekil 4.14'deki sonuçlara bakıldığında, genel olarak ses yutuculuk değerleri kat sayısının artması ile artış göstermiştir. Fakat 108 ve 37 ada lifine sahip dokusuz yüzeyler için ses yutuculuk katsayıları yüksek frekanslarda ikinci kattan sonra düşüş göstermeye başlamıştır (37 adalı dokusuz yüzey için 5320 Hz, 108 adalı dokusuz yüzey için 5424 Hz'den sonra). Bu durum 19 ve 7 ada lifine sahip dokusuz yüzeylerin sonuçlarında da benzerdir. Tüm bunların yanında 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeyin ses yutuculuk değerleri artan kat sayısı ile tüm frekanslarda istisnasız artış göstermiştir. Buna ilave olarak, bu artış özellikle yüksek frekanslarda daha fazla olmuştur. Çoğu lifli-gözenekli malzemenin gösterdiği davranış olan frekans arttıkça ses yutuculuktaki artış, tek katlı 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeylerde görüldüğü gibi çok katlı 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeylerde de görülmektedir. 108 ve 37 ada lifine sahip dokusuz yüzeyler için, artan kat sayısı ile birlikte ses yutuculuk katsayılarının orta ve düşük frekanslarda artış, yüksek frekanslarda ise düşüş trendine girmesi bu yapılar için farklı bir ses yutuculuk mekanizmasının söz konusu olabileceğini işaret etmektedir. Daha detaylı bir inceleme için 1, 37 ve 108 ada dokusuz yüzeylerden oluşturulan çok katlı dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.15'de verilmiştir.



(a) Üç katlı yapıların sonuçları



(b) Dört katlı yapıların sonuçları

Şekil 4.15. Üç ve dört katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk değerleri

Üç katlı dokusuz yüzeyler karşılaştırıldığında 108 ada lifine sahip dokusuz yüzey frekansların çoğunda daha fazla sesi yutmuştur. İstisna olan yer yüksek frekans bölgesidir. Burada 37 adalı dokusuz yüzeyin 5232 - 6400 Hz, 1 adalı dokusuz yüzeyin ise 5704 - 6400 Hz frekans aralığında ses yutuculuk katsayıları, 108 ada lifine sahip dokusuz yüzeyden daha yüksektir (Şekil 4.15a). Dört katlı dokusuz yüzeyler karşılaştırıldığında ise 108 ada lifine sahip dokusuz yüzeyin daha çok sesi yuttuğu söylenebilir. Fakat bu durum düşük ve orta frekanslar için doğrudur (Şekil 4.15b). 1 ada lifinden oluşan dört katlı dokusuz yüzeyin 4568 Hz'den sonraki frekanslarda ses yutuculuğu diğer katlı deniz içinde ada dokusuz yüzeylere göre daha fazladır. Çok katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin düşük frekanslardaki ses yutuculuğundan rezonans tip ses yutuculuk mekanizmasının kısmen sorumlu olduğu düşünülmektedir. Rezonans tip ses yutuculukta enerji harcanması numunenin titreşimi sebebiyle gerçekleşir ve sistemin kütesinin artmasıyla ses yutuculuk karakteristiği yüksek frekanstan düşük frekanslara doğru kayar (Aso ve Kinoshita 1963). Şekil 4.14'de görüleceği üzere çok katlı 108 ada dokusuz yüzeye fazladan bir katmanın dahil edilmesi, ses yutuculuğun yüksek frekansta azalmasına karşılık düşük frekanslarda artışı gibi bir etki göstermektedir. Bu nedenle her katman ilavesinde artan kütle ile birlikte rezonans tip ses yutuculuğun daha baskın bir şekilde kendini gösterdiği düşünülmektedir.

Genel olarak deniz içinde ada dokusuz yüzeyler ses yutuculuk özellikleri artan kat sayısı ile artış göstermiştir. Orta ve düşük frekanslarda daha fazla ses yutması katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin diğerlerine göre üstünlüğüdür. Bunun yanında özel bir uygulama için yüksek frekanslardaki sesin yutuculuğu önemli ise tek ada lifinden oluşan dokusuz yüzeyin kullanımının daha iyi bir çözüm olacağı açıktır.

4.1.4. Çok katlı 108 ada dokusuz yüzey ile hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliklerinin karşılaştırılması

Bu bölümde eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş, ardından su jetleriyle işleme tabi tutulmuş kalınlığı 2 mm'yi geçmeyen katlı 108 adaya sahip dokusuz yüzey yapısı ile daha kalın ve hacimli bir başka dokusuz yüzeyin ses yutuculuk özellikleri karşılaştırılmıştır. Hacimli dokusuz yüzeyler gibi kalın, lifli gözenekli malzemeler, gürültünün yutulması gereken ortamlarda tercih edilebilen malzemeler olduğu için böyle bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmaya dahil edilen hacimli dokusuz yüzey önce taramalı-besleme (*scanfeed*) ünitesiyle oluşturulmuş, ardından direk sıcak hava üfleli fırın vasıtasıyla da liflerin birbirine bağlanması (*through-air bonding*) sağlanmıştır. Hacimli dokusuz yüzeyi tanımlayan ayrıntılı veri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Hacimli dokusuz yüzeyin özellikleri

Dokusuz Yüzey Bileşimi		Lif İnceliği (denye)		Kalınlık (mm)	Gramaj (g/m ²)
PET %	PP %	PET	PP		
85	15	6	2	5	350

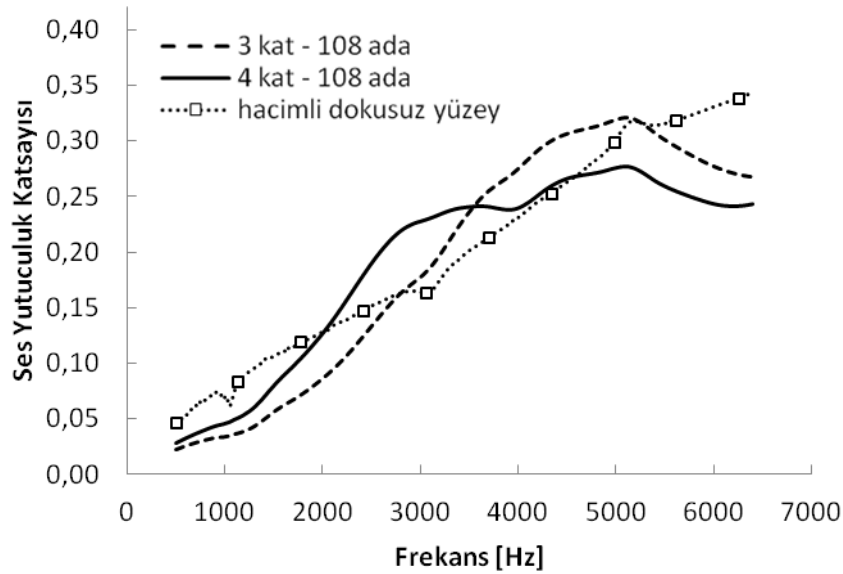
Sprey yapıştırıcının (adhesiv) tek katlı 108 ada dokusuz yüzeyin bir yüzüne püskürtülmesi, ardından diğer tek katlı 108 ada dokusuz yüzeyin bu yapıya temas ettirilmesi, istenen kat sayısına ulaşıncaya da üstten basınç uygulanması ile üç ve dört katlı 108 ada dokusuz yüzeyler oluşturulmuştur. Bu çok katlı 108 ada yapılar ile ses yutuculuk özellikleri karşılaştırılacak hacimli dokusuz yüzeylerin kalınlık, ağırlık ve hava geçirgenlik ölçüm sonuçları Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Karşılaştırılan dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri

	Kalınlık (mm)	Gramaj (g/m ²)	Hava Geçirgenliği (cfm)
Hacimli dokusuz yüzey	5,00	350	211
3 katlı 108 ada dok. yüzey	1,32	411	1,11
4 katlı 108 ada dok. yüzey	1,85	548	0,85

Tek katlı, 108 ada sayısına sahip dokusuz yüzeyin kalınlığı ortalama 0,50 mm iken, oluşturulan üç katlı yapının kalınlığının 1,50 mm, dört katlı yapının ise 2,00 mm olması beklenmektedir. Fakat Çizelge 4.11'e göre üç katlı 108 ada dokusuz yüzeyin kalınlığı 1,32 mm, dört katlı dokusuz yüzeyin ise 1,85 mm ölçülmüştür. Birleştirme işlemi sırasında uygulanan basınç, katlı yapılarıdaki kalınlık değerlerinin beklenenden düşük ölçülmesinin sebebidir. Çizelge 4.11 incelendiğinde, esas vurgulanması gereken nokta katlı 108 ada dokusuz yüzeylerin, hacimli dokusuz yüzeye göre çok daha ince olduğudur. Bunun yanında üç katlı 108 ada dokusuz yüzey ile hacimli dokusuz yüzeyin ağırlıkları da birbirine oldukça yakındır. Yine Çizelge 4.11'deki hava geçirgenlik verileri, hava akışının hacimli dokusuz yüzey içinden daha kolay geçtiğini, böylece lifli-ağsı yapının hava akışına daha az direnç gösterdiği sonucunu bize bildirmektedir.

Hazırlanan üç ve dört katlı 108 ada lifine sahip dokusuz yüzeylerden dörder, hacimli dokusuz yüzeyden ise sekiz örnek alınarak, tüm dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Ortalama ses yutuculuk değerleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı yapılarıdaki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

Çoğu lifli-gözenekli malzemenin gösterdiği davranış olan frekans arttıkça ses yutuculuktaki artış, hacimli dokusuz yüzeyde de görülmüştür (Şekil 4.16). Hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışları ile ilgili ayrıntılı inceleme bir sonraki bölümde verilmiştir.

Lifli-ağsı yapısı ince liflerden ve küçük gözeneklerden oluşan katlı 108 ada dokusuz yüzeylerin kalınlıklarının, hacimli dokusuz yüzeye göre çok daha küçük olmasına rağmen, ses yutuculuk özellikleri bazı frekans aralıklarında daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, bu daha yüksek yutuculuk artan kat sayısı ile birlikte göreceli olarak daha düşük frekanslı bölgeye kaymıştır. Şekil 4.16'ya göre üç katlı 108 ada dokusuz yüzey 2808 - 5322 Hz, dört katlı 108 ada dokusuz yüzey ise 2032 - 4600 Hz frekans aralıklarında hacimli dokusuz yüzeye nazaran daha fazla sesi yutmuştur. Dolayısıyla eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş, ardından su jeti ile işleme tabi tutulmuş 108 ada lifine sahip bu katlı yapıların, özellikle kısıtlı hacmi bulunan bazı uygulamalarda, ses yutucu eleman olarak iyi bir alternatif olabileceğini söyleyebiliriz.

4.2. Hacimli Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri

Bu bölümde deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri ile birlikte kullanılacak olan hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. İlk olarak farklı ağırlıklarda ve kalınlıklarda dokusuz yüzeyler oluşturmak için geliştirilen üretim yöntemi tanıtılmıştır. Ardından kalınlık, ağırlık ve frekans parametrelerinin dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışına etkisi ses dalgasının hareketi göz önünde bulundurularak tartışılmıştır.

Taramalı-besleme (*scanfeed*) ünitesiyle oluşturulmuş, ardından direk sıcak hava üfleme fırın vasıtasıyla da liflerin birbirine bağlanmasıyla (*through-air bonding*) üretilmiş gramajları farklı üç tipte dokusuz yüzey kullanılmıştır. Dokusuz yüzeylerin bazı özellikleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

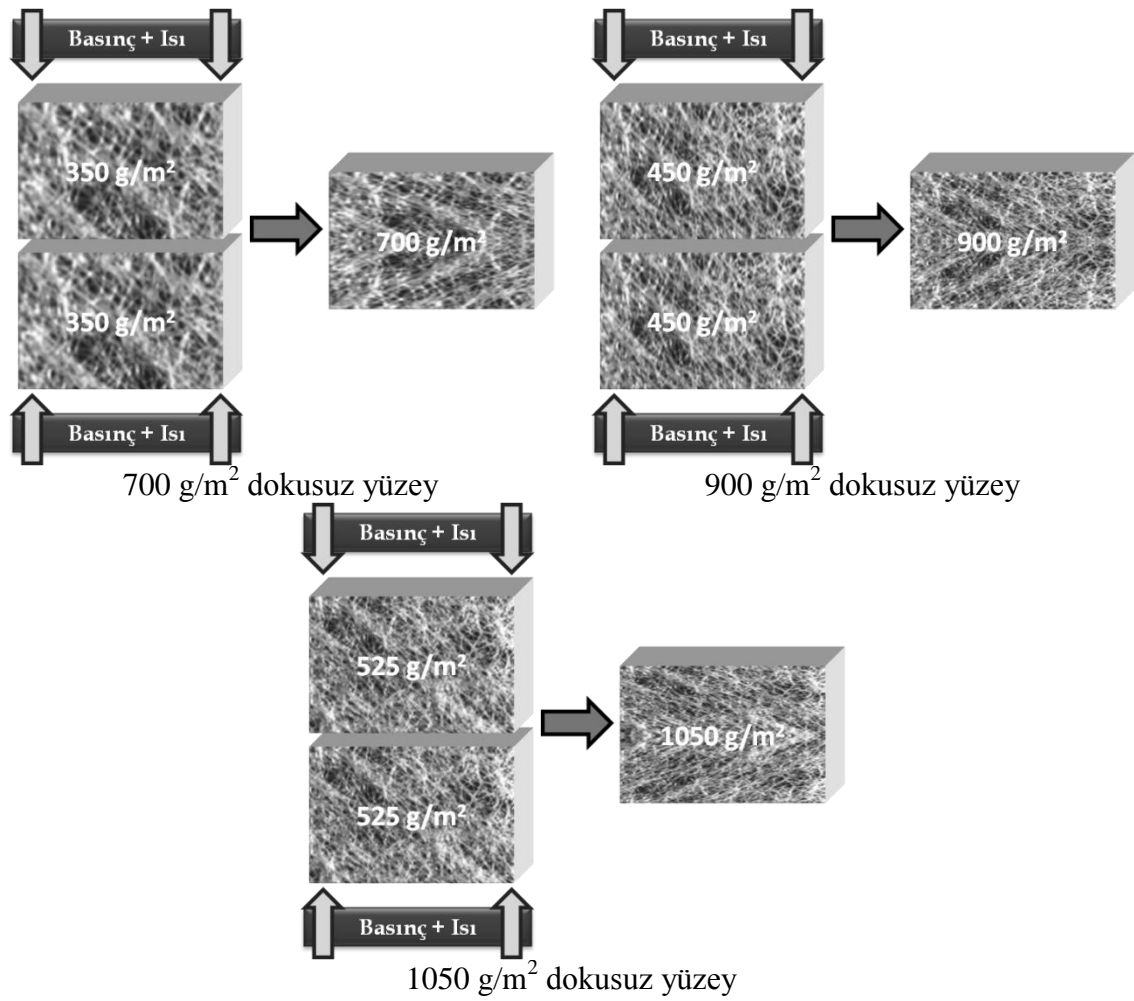
Çizelge 4.12. Hacimli dokusuz yüzeylerin özellikleri

Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Dokusuz Yüzey Bileşim		Lif İnceliği(denye)		Katı Hacim Katsayısı(SVF)
		PET %	PP %	PET	PP	
350	45	85	15	6	2	0,006
450	45	85	15	6	2	0,008
525	45	85	15	6	2	0,009

Gramaj değişiminin ve katı hacim katsayısının dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisini daha ayrıntılı inceleyebilmek için Çizelge 4.12'de özellikleri verilen üç farklı gramajdaki dokusuz yüzeyin dışında, daha yüksek gramajlarda da dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliklerinin incelenmesi düşünülmüştür. Böylece elde

edilecek ses yutuculuk katsayısı sonuçlarından daha genelleştirilmiş yorumlar çıkarılabilecektir.

Farklı gramajlarda dokusuz yüzeyler üretmek için Çizelge 4.12’de özellikleri verilmiş 350, 450 ve 525 g/m² gramajlarındaki 45 mm kalınlıklarındaki dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. Geliştirilen üretim yönteminin prensibi; iki ya da üç aynı gramaj değerindeki dokusuz yüzey örneğinin üst üste yerleştirilmesi, ardından bu iki ya da üç katlı yapıya üstünden ve altından basınç uygulanması, son olarak yapıya ısı enerjisi verilerek yeni bir form almasını sağlamaktır (Şekil 4.17).

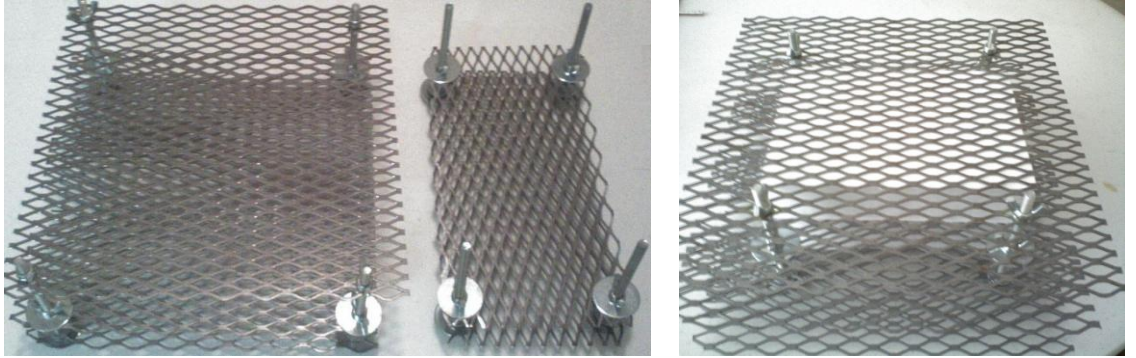


Şekil 4.17. Farklı gramajlarda dokusuz yüzey oluşturma yönteminin şematik gösterimi

Bu prensip kullanılarak iki 350 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyden 700 g/m², iki 450 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyden 900 g/m², iki 525 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyden 1050 g/m², üç 450 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyden 1350 g/m², son olarak üç 525 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyden

1575 g/m² gramaj değerlerinde dokusuz yüzeyler üretilmiştir. Oluşturulan bazı dokusuz yüzeyler ve üretim yöntemleri Şekil 4.17’de şematik olarak verilmiştir.

Üst üste yerleştirilen dokusuz yüzeyleri bir arada tutması, aynı zamanda alt ve üst bölgesinden basınç uygulaması amacıyla, özel olarak tasarlanan ve üretilen, Şekil 4.18’de görüntüleri verilen kalıplar kullanılmıştır. Kalıplar temel olarak iki adet delikli metal sacın deliklerinden iri başlı cıvataların geçirilmesi ile oluşturulmuştur. Burada delikli metal kullanılması bir başka sebebi dokusuz yüzey ile temas eden yüzeyin azaltılması, diğer bir sebebi ise ısının dokusuz yüzey iç bölgelerine daha kolay ulaşabilmesidir. Cıvatalar alt sacın deliklerinden geçirilmeden önce 5 cm çapında pullardan (ortası delik metal levhacık) geçirilmiş ve alt sacın diğer tarafından somun ile sıkılmıştır. Ardından, cıvataların her birine kelebek somun takılmış daha sonra üst sacın deliklerinden geçirilmiştir. Üst sacın diğer tarafında, cıvatanın 5 cm çapında pullar geçirilmiş ve onunda üstüne kelebek somun takılmıştır.



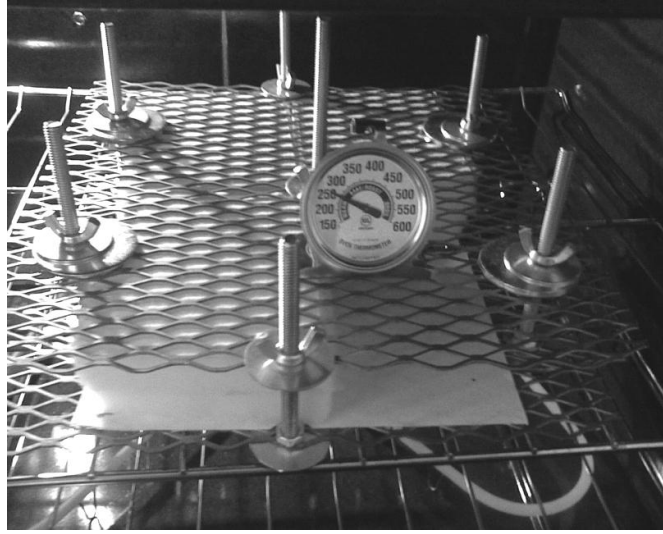
Şekil 4.18. Dokusuz yüzeylere form vermek için tasarlanan kalıplar

Oluşturulacak dokusuz yüzeye basınç, kalıbın üstündeki kelebek somunların döndürülmesi, böylece üst üste yerleştirilen dokusuz yüzeylerin sıkıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Kelebek somunların sıkılmasıyla birlikte delikli metal sac, dokusuz yüzeye altından ve üstünden kuvvet uygulamaktadır. İstenen kalınlık ayarlandıktan sonra, dokusuz yüzey kalıpla birlikte, önceden ısıtılmış fırının içine konarak 10 - 15 dakika bekletilmektedir. Basınç ve ısının etkisiyle dokusuz yüzeyler birbirine kenetlenmekte, form almakta ve bu halini kalıptan çıkarıldıktan sonra da korumaktadır.

Dokusuz yüzey yapıda % 15 oranında bulunan polipropilen polimeri, dokusuz yüzeyin tekrar farklı kalınlığa getirilmesini sağlayan en önemli bileşendir. Düşük erime sıcaklık

değerine (160 °C) sahiptirler. 120 °C'nin üzerinde polipropilende yumuşama (softening) meydana gelebilmektedir (Hedge, et al., 2004b).

Sıkıştırılan dokusuz yüzeyler, fırının içinde polipropilenin (PP) erime sıcaklığının altında, 255-275 °F (124-135 °C) sıcaklık aralığında bekletilmiştir (Şekil 4.19). Böylece polipropilen erimeden yumuşamaktadır. Basınç ve ısının etkisiyle dokusuz yüzey, istenen gramaj ve kalınlıkta form almakta ve bu halini kalıptan çıkarıldıktan sonra da korumaktadır.



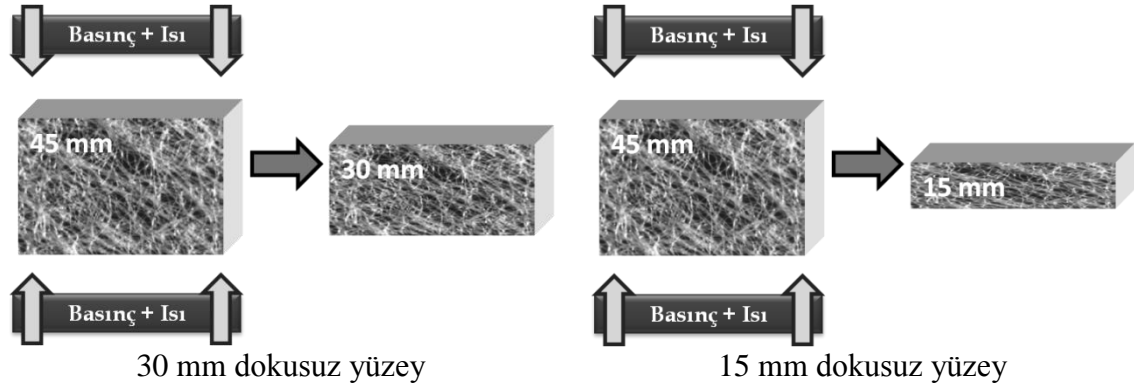
Şekil 4.19. Dokusuz yüzeyin fırın içinde sabit sıcaklık aralığında bekletilmesi

Fırın içinde ısınan delikli metal sacın, dokusuz yüzeyle temas noktalarının, dokusuz yüzey yapının üst ve alt yüzelerine zarar vermemesi için, alt ve üst sac ile dokusuz yüzey arasına 0,5 mm kalınlığında % 100 pamuklu bezayağı örgüde dokuma kumaş yerleştirilmiştir.

Sonuç olarak 350, 450 ve 525 g/m² gramajlarındaki dokusuz yüzeylerin yanında 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramajlarında dokusuz yüzeyler de üretilmiştir.

Kalınlığın ve katı hacim katsayısının dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliğine etkisini inceleyebilmek için farklı kalınlıklarda dokusuz yüzeylere ihtiyaç vardır. Farklı kalınlıklarda dokusuz yüzeyler üretmek için Çizelge 4.12'de özellikleri verilmiş 350, 450 ve 525 g/m² gramajlarındaki 45 mm kalınlıklarındaki dokusuz yüzeyler ve bu yapılar kullanılarak oluşturulan 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramajlarındaki dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. Üretim yöntemi olarak temelde, dokusuz yüzey yapıya

üstünden ve altından basınç uygulanmış, ardından yapıya bu haliyle ısı enerjisi verilerek yeni bir form alması sağlanmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Farklı kalınlıklarda dokusuz yüzey oluşturma yönteminin şematik gösterimi

Bu prensip kullanılarak en incesi 5 mm olmak üzere, 45 mm kalınlığa kadar 5 mm aralıklarla farklı kalınlıklarda dokusuz yüzeyler oluşturulmuştur. Üretim yöntemi 30 mm ve 15 mm için Şekil 4.20’de şematik olarak verilmiştir.

Dokusuz yüzeye alt ve üst bölgesinden basınç uygulaması amacıyla, özel olarak tasarlanan ve üretilen, Şekil 4.18’de görüntüleri verilen kalıplar kullanılmıştır. Üst sacın her iki tarafında bulunan kelebek somunlar el ile çevrilerek kalınlık kolayca istenen değere ayarlanabilmektedir. Somunların sıkılmasıyla birlikte delikli metal sac, dokusuz yüzeye altından ve üstünden kuvvet uygulamaktadır. Üst ve alt sacda bulunan 5 cm çapındaki pullar, kalınlığın küçük ayarlanması halinde metal sacın eğilmeye karşı direncini arttırmaktadır.

İstenen kalınlık elde edildikten sonra dokusuz yüzey, kalıpla birlikte, önceden ısıtılmış fırın içerisinde polipropilenin (PP) erime sıcaklığının altında, 255-275 °F (124-135 °C) sıcaklık aralığında yaklaşık 10 - 15 dakika bekletilmiştir. Basınç ve ısının etkisiyle dokusuz yüzey, istenen kalınlıkta form almakta bu halini kalıptan çıkarıldıktan sonra da korumaktadır.

Fırın içinde ısınan delikli metal sacın, malzemeye temas noktalarının, dokusuz yüzey yapının üst ve alt yüzeylerine zarar vermemesi için, alt ve üst sac ile dokusuz yüzey arasına 0,5 mm kalınlığında % 100 pamuklu bezayağı örgüde dokuma kumaş yerleştirilmiştir. Kelebek somunlarla kalınlık ayarlanırken dokusuz yüzeyin alt ve üstünde bulunan bu dokuma kumaşların kalınlıkları da hesaba katılmıştır.

Sonuç olarak 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramajlarındaki dokusuz yüzeylerden en incisi 5 mm olmak üzere, 45 mm kalınlığa kadar 5 mm aralıklarla farklı kalınlıklarda dokusuz yüzeyler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.13’de, oluşturulan tüm dokusuz yüzeylerin gramaj ve kalınlıkları verilmiş ve bu değerlere karşılık gelen katı hacim katsayıları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Üretilen dokusuz yüzeylerin gramaj, kalınlık ve katı hacim katsayıları^{1,2}

Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
350	0,053	0,027	0,018	0,013	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006
450	0,069	0,034	0,023	0,017	0,014	0,011	0,010	0,009	0,008
525	0,080	0,040	0,027	0,020	0,016	0,013	0,011	0,010	0,009
700	0,107	0,053	0,036	0,027	0,021	0,018	0,015	0,013	0,012
900	0,137	0,069	0,046	0,034	0,027	0,023	0,020	0,017	0,015
1050	0,160	0,080	0,053	0,040	0,032	0,027	0,023	0,020	0,018
1350	0,206	0,103	0,069	0,052	0,041	0,034	0,029	0,026	0,023
1575	-	0,120	0,080	0,060	0,048	0,040	0,034	0,030	0,027

Çizelge 4.13’den görüleceği üzere dokusuz yüzeylerde kalınlık azaldıkça katı hacim katsayısı artmakta, ağırlık azaldıkça ise katı hacim katsayısı azalmaktadır.

4.2.1. Kalınlığın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliğine etkisi

Bu bölümde, lifli-gözenekli bir malzeme olan hacimli dokusuz yüzeylerin artan kalınlığa, bağlı olarak ses yutuculuk özelliklerindeki değişim incelenmiş, farklı davranışlar sadece dokusuz yüzey yapısındaki değişim ile değil, aynı zamanda ses dalgasının hareketi göz önünde bulundurularak açıklanmıştır.

Kalınlığın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisini incelemek için gramaj değerleri, lif tipi, dokusuz yüzey bileşimi, lif inceliği aynı (Çizelge 4.12),

¹ Katı hacim katsayıları hesaplanırken polyester (PET) lifinin yoğunluğu 1,38 g/cm³, polipropilenin (PP) yoğunluğu ise 0,91 g/cm³ olarak alınmıştır.

² 1575 g/m² gramaj değerinde, 5 mm kalınlığında dokusuz yüzey aşırı basınçtan kalıbı oluşturan sacların eğilmesi nedeniyle üretilenmemiştir.

ses yutuculuğun artan kalınlıkla arttığını söyleyebiliriz. 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekans değerlerinde ses yutuculuk katsayısı, dokusuz yüzeyin kalınlığının artması ile artış göstermiş ve 40 mm kalınlık değerinde maksimum değerine ulaşmıştır. 4000, 5000 ve 6000 Hz frekans değerlerinde ise önce kalınlık artışı ile ses yutuculuk artmış, ardından yutuculukta nispeten küçük bir azalma ve yapı daha kalınlaştıkça bir önceki kalınlık değerine göre çok az değişen ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Hacimli dokusuz yüzeyin sadece yapısal parametreleriyle bu farklı davranışlarını açıklamanın pek mümkün olmadığı, ses dalgasının dokusuz yüzey yapı içindeki hareketinin de incelenmesi gerektiği tüm bu veriler ışığında anlaşılmıştır.

Daha önce nasıl çıkarıldığı açıklanan sesin dalga denklemini burada tekrar verecek olursak (4.5) numaralı genel denklemi yazabiliriz. Yine bu denklemin bir çözümünü (4.6) numaralı denklemle verelim (Fowler 2007, Wolfe 2012):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4.5)$$

$$y = y_m \sin(kx - wt) \quad (4.6)$$

Empedans tüp içinde ilerleyen dalga, yayılma doğrultusuna dik uzak (arka) duvardan yansıdığında, duvar düzlemine gelen ve düzlemden yansıyan dalgalar girişim yaparak duran dalga oluştururlar(Dinçer & Yalçın, 2002). Dalganın yolu üzerindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirme gelen dalga ile yansıyan dalgaya ait yer değiştirmelerin toplamından oluştuğundan:

$$y = y_m \sin(kx - wt) + y_m \sin(kx + wt)$$

Yukarıdaki denklemi trigonometrik eşitliklerden faydalanarak düzenlersek:

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b \quad \Rightarrow \quad a = kx \quad , \quad b = wt$$

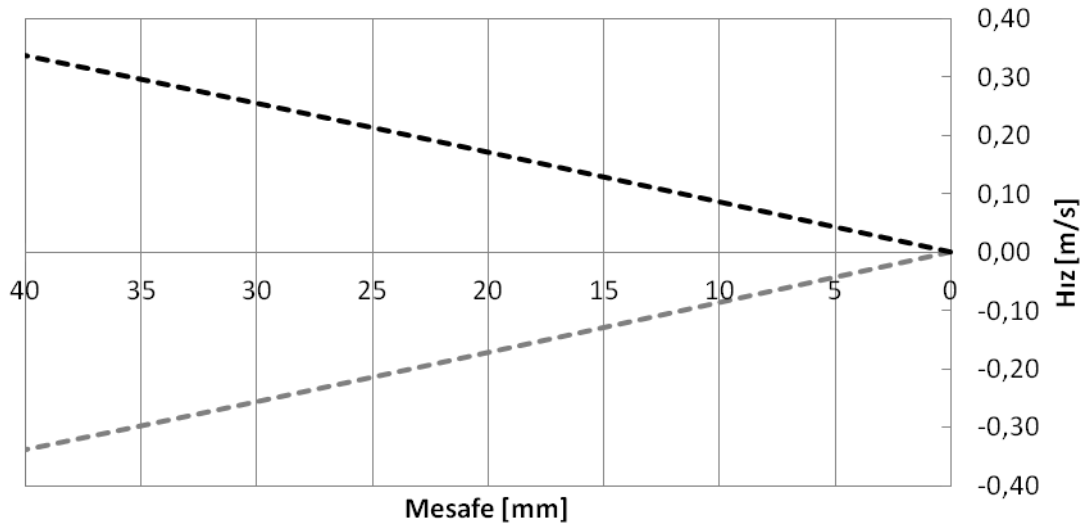
$$y = 2y_m \sin kx \cos wt \quad (4.7)$$

(4.7) denklemi duran dalga denklemdir. Duran dalganın en ilginç özelliği genlik değerinin sabit olmayıp mesafeye bağlı olarak değişmesidir.

Akışkan ile bir nesne arasında bir hareket söz konusu olduğunda bir direnç kuvveti meydana gelir (Serway ve Beichner 2000, Morin 2008). Bu kuvvete bazı kaynaklarda viskoz sürtünme kuvveti de denir (Kinsler ve ark. 2000). Direnç kuvvetinin hıza bağlı olduğu deneysel araştırmalarla gözlenmiştir (Serway & Beichner, 2000)._Dokusuz yüzey içerisindeki hava parçacıklarının hızlarını incelemek istersek (4.7) numaralı duran dalga denkleminin zamana göre kısmi türevini alarak elde edilebilecek hız denkleminin kullanılması gerekecektir:

$$v = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -2y_m w \sin kx \sin wt \quad (4.8)$$

Empedans tüp içinde dokusuz yüzey ile temas eden duvar $x = 0$ olarak kabul edilirse, bu noktadan 40 mm uzaklığa kadar var olduğu kabul edilen hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hızlar 500 Hz frekans değeri için hesaplanmış¹ ve sonuçlar Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22’deki negatif (-) değerler yön belirtmektedir.



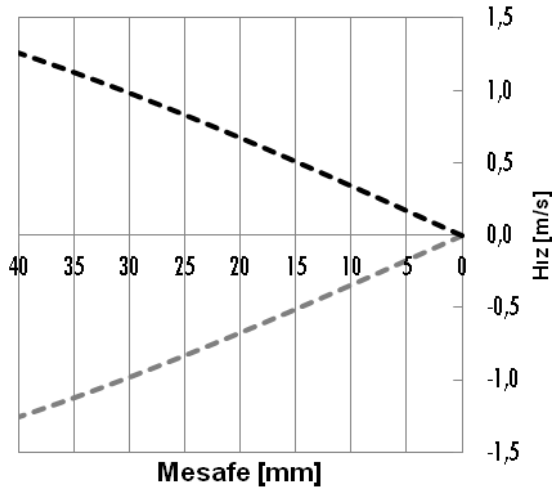
Şekil 4.22. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 500 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar

350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm’den 40 mm’ye kadar 5 mm aralıklarla değişen dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ölçülürken empedans tüpün arka duvarıyla temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde ise mesafenin artması ile bu pozisyonda bulunan hava parçacığının ulaştığı maksimum hız da daha yüksek olmaktadır. Dolayısıyla 5 mm kalınlığındaki dokusuz yüzey ile 10 mm

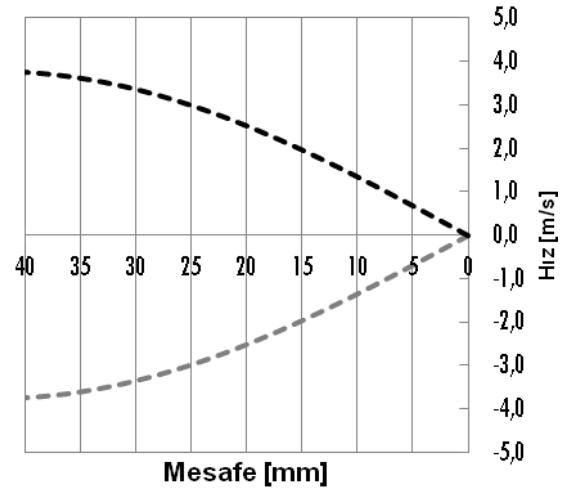
¹ Hava parçacıklarının $y_m = 0,15$ mm genlik değerine sahip olduğu kabulü yapılmıştır.

kalınlığındaki dokusuz yüzey karşılaştırıldığında 10 mm'lik dokusuz yüzey içerisinde özellikle dokusuz yüzeyin duvardan uzak, uç noktalarına doğru daha hızlı hava parçacıklarının var olduğu görülmektedir. Artan kalınlıkla bu durum devam etmekte maksimum hızları daha yüksek hava parçacıkları dokusuz yüzey içine dahil olmaktadır. Örneğin 5 mm kalınlığındaki dokusuz yüzeyin duvardan uzak en uç bölgesindeki hava parçacığı (-) ya da (+) yöne hareket ederken en yüksek 0,043 m/s hıza ulaşmakta iken 40 mm kalınlığındaki dokusuz yüzeyin duvardan uzak en uç bölgesindeki hava parçacığı (-) yada (+) yöne hareket ederken en yüksek 0,338 m/s hıza ulaşmaktadır.

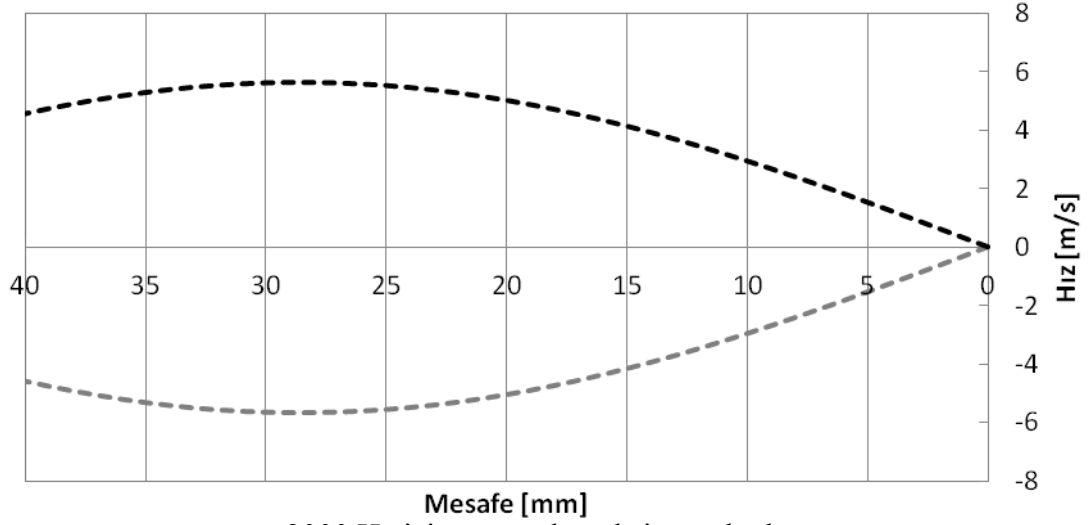
Yine empedans tüp içinde dokusuz yüzey ile temas eden duvar $x = 0$ olarak kabul edilip, bu noktadan 40 mm uzaklığa kadar var olduğu kabul edilen hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hızlar 1000, 2000, 3000 Hz frekans değerleri için denklem (4.8) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.23'te verilmiştir. Şekil 4.23'deki negatif (-) değerler yön belirtmektedir.



1000 Hz için parçacık maksimum hızları



2000 Hz için parçacık maksimum hızları



3000 Hz için parçacık maksimum hızları
Şekil 4.23. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 1000, 2000 ve 3000 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar

Şekil 4.23 incelendiğinde 1000 ve 2000 Hz için, mesafenin artması ile burada bulunan hava parçacığının ulaştığı maksimum hız da daha yüksek olmaktadır. Kalın dokusuz yüzey içerisinde özellikle dokusuz yüzeyin duvardan uzak uç noktalarına doğru daha hızlı hava parçacıklarının var olduğu görülmektedir. Artan kalınlıkla bu durum devam etmekte maksimum hızları daha yüksek hava parçacıkları dokusuz yüzey içine dahil olmaktadır. 3000 Hz için parçacık maksimum hızları incelendiğinde ise 28,56 mm mesafeye kadar, hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hız artmakta, bu noktadan sonra ise düşüşe geçmektedir.

Dokusuz yüzeylerde, kalınlıkları boyunca farklı maksimum hızlara ulaşan hava parçacıkları var olduğu için, farklı kalınlıklardaki dokusuz yüzeylerin hava parçacık hızları için, tüm bu hızları temsil eden bir ortalama değer bulunması, farklı kalınlıklardaki dokusuz yüzeylerdeki hava parçacık hızlarını karşılaştırmayı kolaylaştıracaktır. Ortalama değer bulmak için Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilen, mesafeye bağlı maksimum hız eğrilerinin altında kalan alanı hesaplayalım. Daha sonra bu alan değerini toplam mesafeye bölmemiz durumunda tüm eğriyi temsil eden bir ortalama değer bulabiliriz.

Başlangıç mesafesinden (a), bitiş mesafesine kadar (b) olan eğri altındaki alan için, denklem (4.8) ile verilen hız denkleminin a'dan b'ye kadar olan integralini almak gereklidir.

$$\int v(x, t) dx = \frac{1}{k} 2y_m w \sin wt \cos kx$$

$$\int_a^b v(x, t) dx = \frac{1}{k} 2y_m w \sin wt \cos kb - \frac{1}{k} 2y_m w \sin wt \cos ka$$

Ortalama değer (v_{ort}) için ise hesaplanan integral değerinin, başlangıç mesafesinden (a), bitiş mesafesine kadar (b) olan mesafeye cebirsel anlamda bölünmesi gereklidir:

$$v_{ort} = \frac{1}{b-a} \int_a^b v(x, t) dx \quad (4.9)$$

350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm'den 40 mm'ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz dokusuz yüzeyin 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekansları için, dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri denklem (4.9) yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

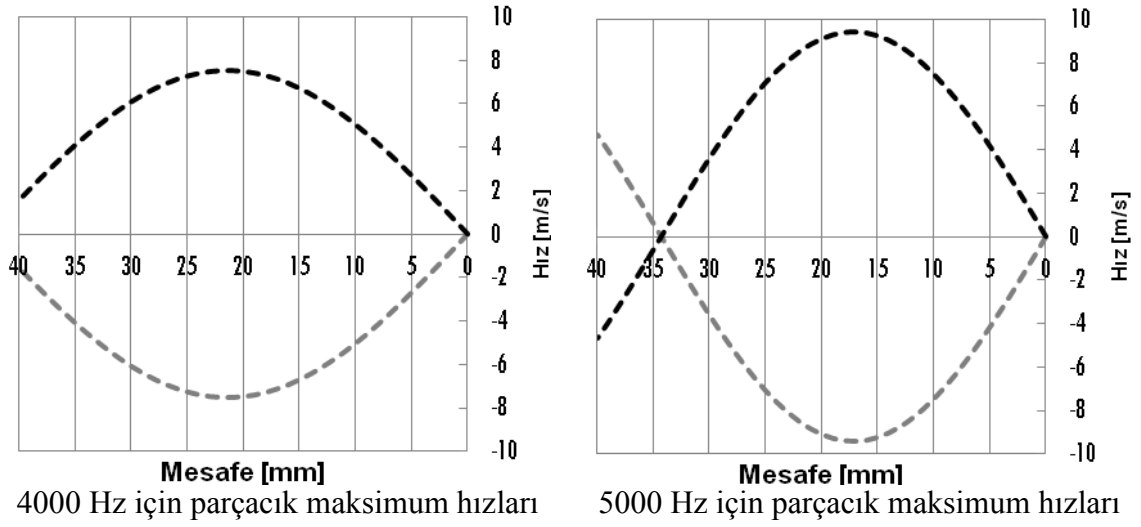
Çizelge 4.14. Dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz için ortalama maksimum hızları [m/s]

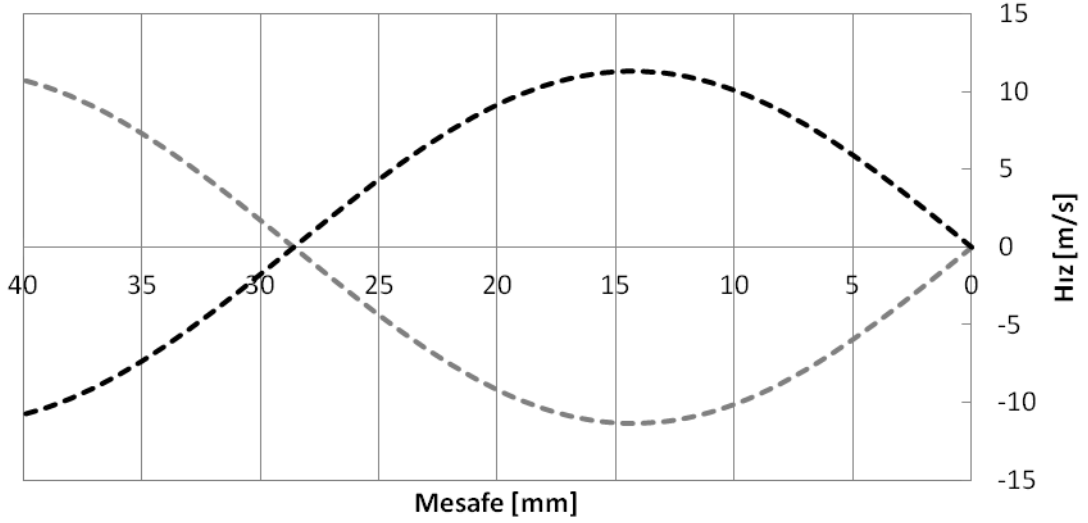
Frekans (Hz)	Kalınlık (mm)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
500	0,022	0,043	0,065	0,086	0,107	0,129	0,150	0,171
1000	0,086	0,172	0,257	0,341	0,424	0,505	0,584	0,660
2000	0,344	0,683	1,010	1,320	1,609	1,871	2,103	2,302
3000	0,772	1,515	2,202	2,807	3,311	3,697	3,955	4,083

Çizelge 4.14 incelendiğinde 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekanslarında artan kalınlık ile ortalama maksimum hız değerlerinin arttığı görülmektedir. Daha önce Şekil 4.21'de 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekans değerlerinde ses yutuculuk katsayılarının, dokusuz yüzeyin kalınlığının artması ile artış gösterdiği ve 40 mm kalınlık değerinde maksimum değerine ulaştığı belirtilmişti. 350 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyin 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekans değerlerinde artan kalınlıkla ses yutuculuk katsayılarındaki artışın sebebi; artan kalınlıkla dokusuz yüzey içine çok daha hızlı hareket eden hava parçacıklarının dahil olmasıdır. Burada şu hususu da belirtmek gerekir ki, kalınlığı düşük dokusuz yüzeylerde lifler daha sıkı paketlenmiş ve birbirine daha yakın durmaktadır, başka bir deyişle katı hacim katsayıları nispeten yüksektir. Dolayısıyla hava parçacıklarının daha fazla sayıda lif ile sürtünme ihtimali artmaktadır. Kalınlık

arttıkça ise lifler birbirinden uzaklaşmakta, katı hacim katsayısı düşmektedir. Dolayısıyla salınım yapan hava parçacıklarının daha az sayıda lif ile sürtünmeleri söz konusu olabilir. Ancak 350 g/m^2 gramaj değerindeki dokusuz yüzeyde katı hacim katsayısı düşüşüne karşılık, hava parçacık hızları çok daha fazla arttığından, kalın numunelerde hava parçacığı daha az lif ile sürtünse bile yüksek hava parçacık hızının sürtünmeyi arttırması nedeniyle artan hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme kayıplarının ve dolayısıyla akustik enerji kaybının gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

4000, 5000 ve 6000 Hz frekans değerleri için mesafeye bağlı hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hızları hesaplamak için, empedans tüp içinde dokusuz yüzey ile duvarın temas ettiği nokta $x = 0$ olarak kabul edilip, bu noktadan 40 mm uzaklığa kadar var olduğu kabul edilen hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hızlar denklem (4.8) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.24'deki negatif (-) değerler yön belirtmektedir.





6000 Hz için parçacık maksimum hızları
Şekil 4.24. Farklı mesafelerdeki hava parçacıklarının 4000, 5000 ve 6000 Hz için ulaştıkları maksimum hızlar

Şekil 4.24, 4000 Hz için incelendiğinde mesafenin artması ile burada bulunan hava parçacıklarının ulaştığı maksimum hız önce artmakta ardından belirli bir mesafeden sonra ($x = 21,43$ mm) düşüşe geçmektedir. 5000 Hz için parçacık maksimum hızlarına bakıldığında ise, yine mesafenin artması ile burada bulunan hava parçacıklarının ulaştığı maksimum hız önce artmakta, ardından düşüşe geçmekte ($x = 17,15$ mm'den sonra) ve belirli bir mesafede (düğüm noktası $x = 34,30$ mm) hava parçacıklarının hızı 0 olmaktadır. Bu düğüm noktasından sonra hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hız yine artış göstermektedir. Benzer durum 6000 Hz için parçacık maksimum hızları incelendiğinde de görülmektedir (Şekil 4.24). Yine mesafenin artması ile burada bulunan hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hız önce artmakta, ardından düşüşe geçmekte ($x = 14,28$ mm'den sonra) ve belirli bir mesafede (düğüm noktası $x = 28,56$ mm) hava parçacıklarının hızı 0 olmaktadır. Bu düğüm noktasından sonra hava parçacıklarının ulaştıkları maksimum hız yine artış göstermektedir.

Dokusuz yüzeylerin kalınlıkları boyunca gözeneklerinde, farklı maksimum hızlara ulaşan, hatta 0 değerini alan (hareket etmeyen) hava parçacıkları var olduğu için, farklı kalınlıklardaki dokusuz yüzeylerin hava parçacık hızları için, tüm bu hızları temsil eden bir ortalama değer bulunması, farklı kalınlıklardaki dokusuz yüzeylerdeki hava parçacık hızlarını karşılaştırmayı kolaylaştıracaktır. Ortalama değer bulmak için Şekil 4.24'de verilen, mesafeye bağlı maksimum hız eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması,

ardından bu alan değerinin toplam mesafeye bölünmesi durumunda tüm eğriyi temsil eden bir ortalama değer bulunabilecektir.

Şekil 4.24 'de 5000 ve 6000 Hz için parçacık maksimum hızları düğüm noktasından sonra negatif (-) değerler almaktadır. Başlangıç mesafesinden (a), bitiş mesafesine kadar (b) olan eğri altındaki alan için, denklem (4.8) ile verilen hız denkleminin a'dan b'ye kadar olan integrali alınırsa negatif değerlerin olduğu bölge toplam alandan çıkarılacaktır. Oysaki buradaki negatif (-) değerler sadece yön belirttiğinden, düğüm noktasından sonraki bölge de toplam alana katılmalıdır. Bunun için pozitif ve negatif bölgenin alanları ayrı hesaplanıp toplanmalıdır. Düğüm noktasına $x = c$ dersek, toplam (mutlak) alan (A):

$$A = \int_a^c v(x,t) dx + \left(- \int_c^b v(x,t) dx \right)$$

Ortalama değer (v_{ort}) için ise hesaplanan mutlak alan değerinin, başlangıç mesafesinden (a), bitiş mesafesine kadar (b) olan mesafeye cebirsel anlamda bölünmesi gereklidir:

$$v_{ort} = \frac{A}{b - a} \quad (4.10)$$

350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm'den 40 mm'ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz dokusuz yüzeyin, 4000 Hz frekansı için dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri denklem (4.9) yardımıyla, 5000 ve 6000 Hz frekansları için ise denklem (4.10) yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının 4000, 5000 ve 6000 Hz için ortalama maksimum hızları [m/s]

Frekans (Hz)	Kalınlık (mm)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
4000	1,366	2,641	3,743	4,604	5,178	5,444	5,404	5,088
5000	2,121	4,023	5,518	6,473	6,827	6,597	5,886	5,488
6000	3,030	5,614	7,394	8,165	7,917	6,901	6,581	6,918

Çizelge 4.15 incelendiğinde 4000 Hz frekansında artan kalınlık ile ortalama maksimum hız değerinin 30 mm kalınlığa kadar arttığı, daha sonra azaldığı görülmektedir. Daha önce Şekil 4.21'de 4000 Hz frekans değerinde ses yutuculuk katsayısının 30 mm'ye

kadar artış gösterdiği 35 mm kalınlık değerinde de çok yakın ses yutuculuk ölçüldüğü, 40 mm kalınlık değerinde de ses yutuculuğun düştüğü tespit edilmiştir. Çizelge 4.15, 5000 Hz frekansı için incelendiğinde, artan kalınlık ile ortalama maksimum hız değerinin 25 mm kalınlığa kadar arttığı, daha sonra azaldığı görülmektedir. Daha önce Şekil 4.21’de 5000 Hz frekans değerinde ses yutuculuk katsayısının 20 mm’de en yüksek değerine ulaştığı, yine 25 mm’de de yüksek ses yutuculuk katsayısı ölçüldüğü, daha kalın dokusuz yüzeylerde de ses yutuculuğun düşüş trendine girdiği görülmektedir. Çizelge 4.15, 6000 Hz frekansı için incelendiğinde, artan kalınlık ile ortalama maksimum hız değerinin 20 mm kalınlığa kadar arttığı, daha sonra 35 mm’ye kadar azaldığı, ardından 40 mm’de tekrar bir artış gösterdiği görülmektedir. Daha önce Şekil 4.21’de 6000 Hz frekans değerinde ses yutuculuk katsayısının 20 mm’de en yüksek değerine ulaştığı, daha kalın dokusuz yüzeylerde de ses yutuculuğun düşüş trendine girdiği tespit edilmiştir.

350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm’den 40 mm’ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz dokusuz yüzeyin 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz frekansları için, dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri ile ses yutuculuk katsayıları karşılaştırıldığında yüksek ortalama maksimum hız değerlerinde ses yutuculuğun da yüksek olduğu, düşük ortalama maksimum hız değerlerinde ise ses yutuculuğun da düşük olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısıyla dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri ile ses yutuculuk katsayısı arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayılarının hesaplanmasıyla araştırılmıştır (Çizelge 4.16).

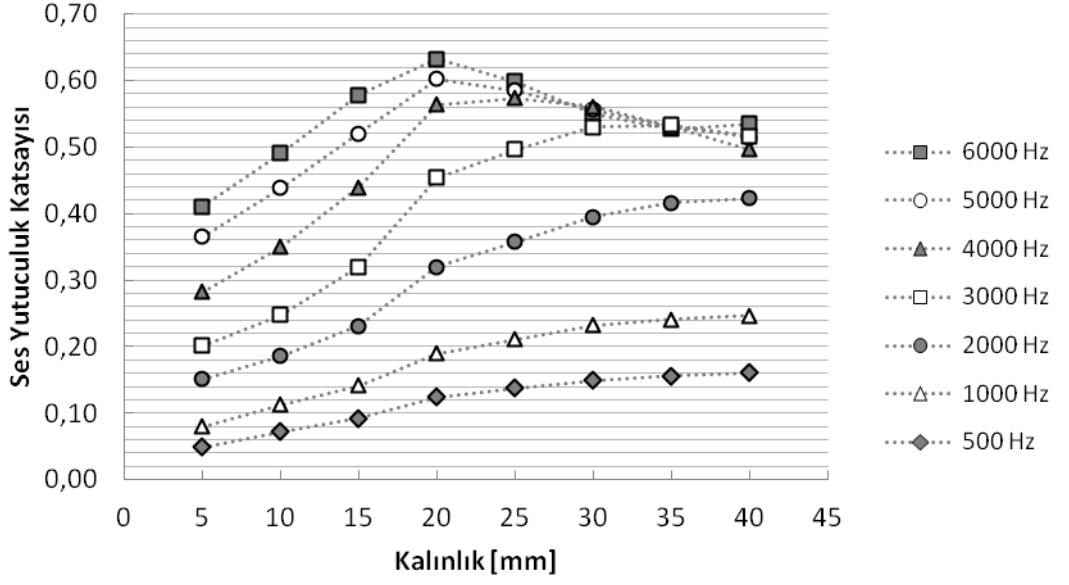
Çizelge 4.16. Ortalama maksimum parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon

Ses Yutuculuk Katsayısı	Korelasyon Katsayısı (ρ)
	Ortalama Maksimum Parçacık Hızı (Y_1)
500 Hz (Y_2)	$\rho_{12} = 0,965$
1000 Hz (Y_3)	$\rho_{13} = 0,976$
2000 Hz (Y_4)	$\rho_{14} = 0,998$
3000 Hz (Y_5)	$\rho_{15} = 0,999$
4000 Hz (Y_6)	$\rho_{16} = 0,988$
5000 Hz (Y_7)	$\rho_{17} = 0,965$
6000 Hz (Y_8)	$\rho_{18} = 0,980$

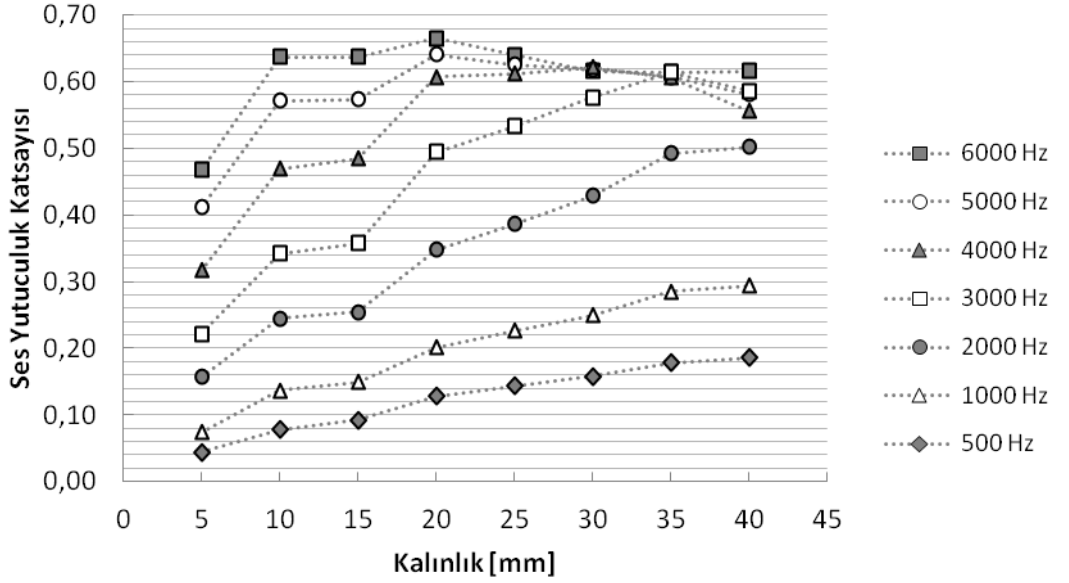
Çizelge 4.16’da, 350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm’den 40 mm’ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları ile ortalama maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz frekansları için 0,965’in üzerinde hesaplanmıştır. Sonuçların 1 değerine yakın hesaplanması, hava parçacıkları ile dokusuz yüzeyleri oluşturan lifler arasında, artan ya da azalan hız ile yine artan ya da azalan bir direnç kuvveti meydana geldiğini, akustik enerjinin çoğunlukla bu mekanizmaya göre yutulduğunu bize göstermektedir.

350 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeyin 500, 1000, 2000 ve 3000 Hz frekansları için artan kalınlıkla ses yutuculuk katsayılarındaki artışın sebebi olarak; artan kalınlıkla dokusuz yüzey içinde daha hızlı hareket eden hava parçacıkları nedeniyle artan hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme ve dolayısıyla akustik enerji kaybının gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Daha yüksek frekanslarda (4000, 5000 ve 6000 Hz) belirli bir kalınlık değerinden sonra ses yutuculuk katsayılarındaki azalmanın sebebi olarak ise, nispeten yüksek olan bu frekanslarda, artan kalınlıkla duvardan uzak bölgelerdeki parçacıkların hızlarının azalması ve hatta 0 değerine yaklaşmasıdır. Dolayısıyla bu bölgelerde daha az sürtünme kayıpları olmakta ve daha az akustik enerji yutulmaktadır.

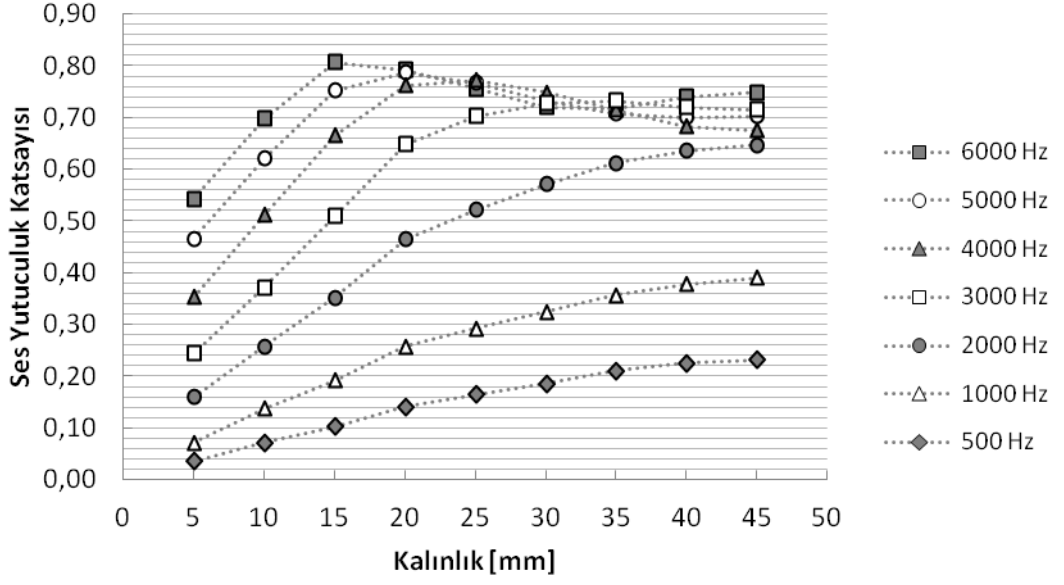
Kalınlık artışı ile dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışı arasındaki ilişki, gramajı daha yüksek dokusuz yüzeyler içinde incelemek adına, gramajları 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² olan dokusuz yüzeylerin de ses yutuculuk katsayıları farklı kalınlık değerleri için ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 4.25’den Şekil 4.31’e kadar gösterilmiştir. 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin, 45 mm kalınlık değerinde, kalınlık değişmeden numune düzgünce kesilebildiği için bu kalınlık değerindeki ses yutuculuk sonuçları da, bu dokusuz yüzeyler için verilebilmiştir.



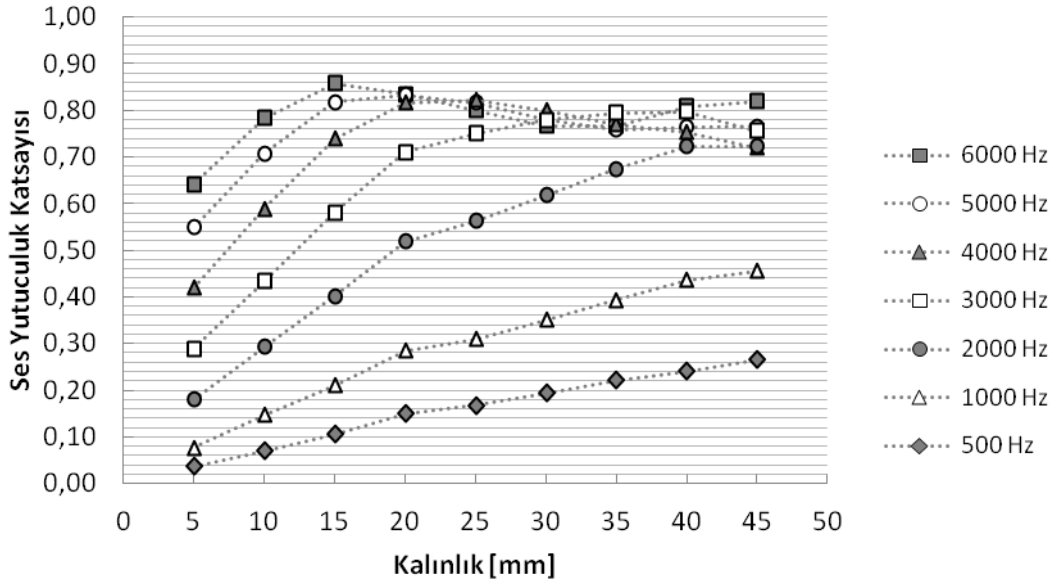
Şekil 4.25. 450 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



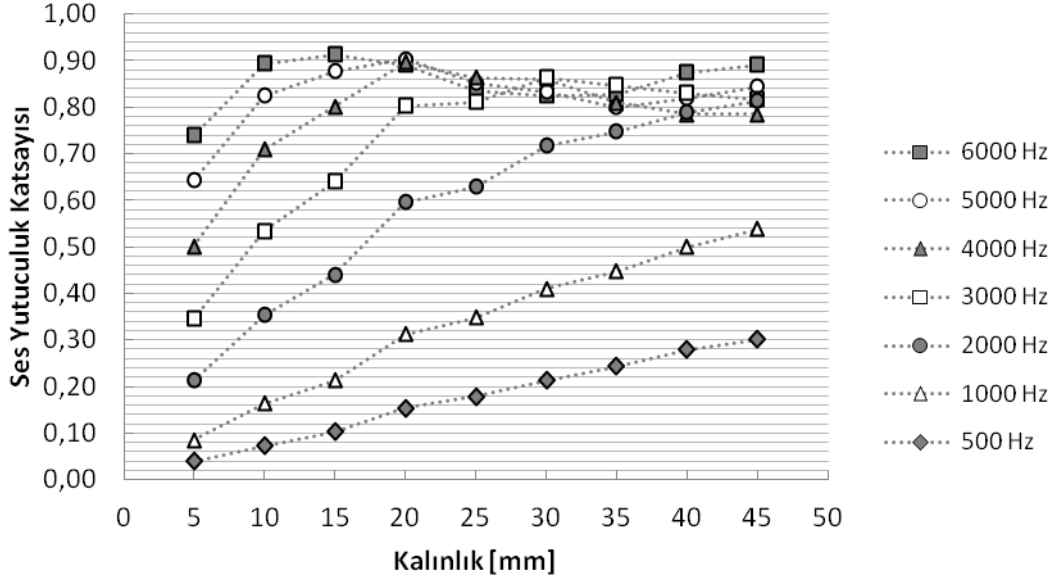
Şekil 4.26. 525 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



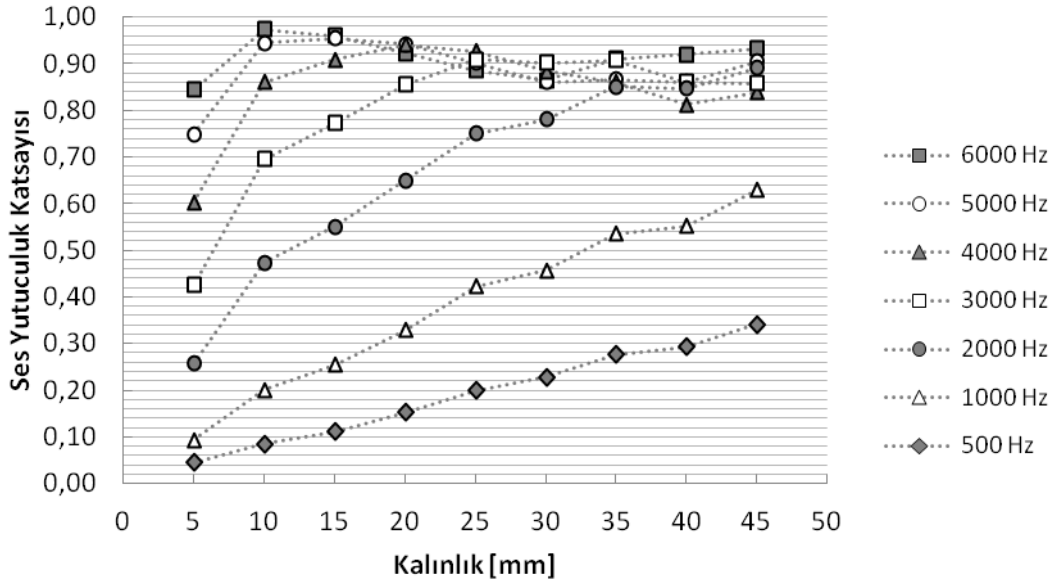
Şekil 4.27. 700 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



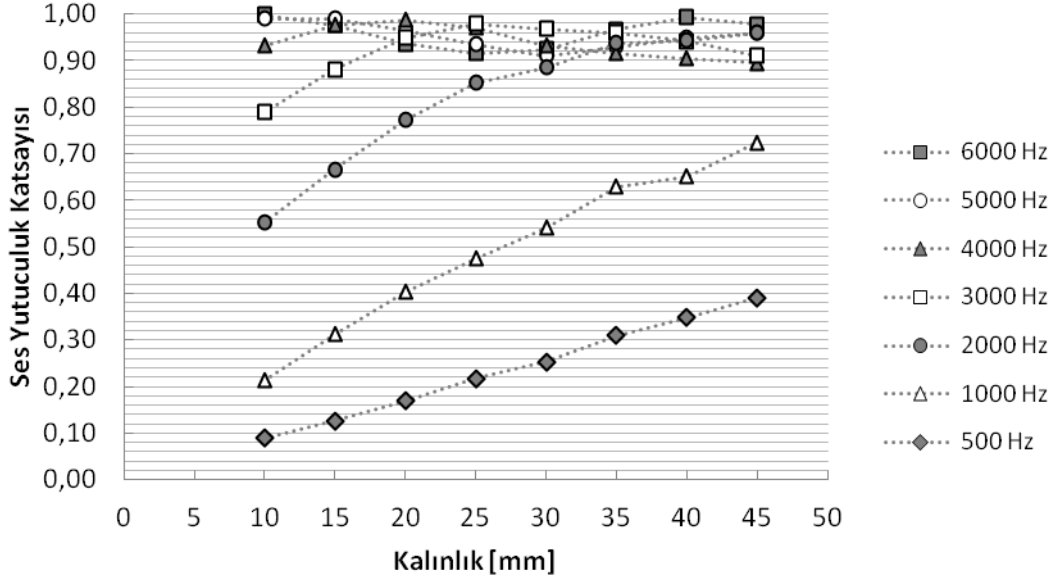
Şekil 4.28. 900 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



Şekil 4.29. 1050 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



Şekil 4.30. 1350 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi



Şekil 4.31. 1575 g/m² dokusuz yüzeyin farklı frekanslarda kalınlık-ses yutuculuk ilişkisi

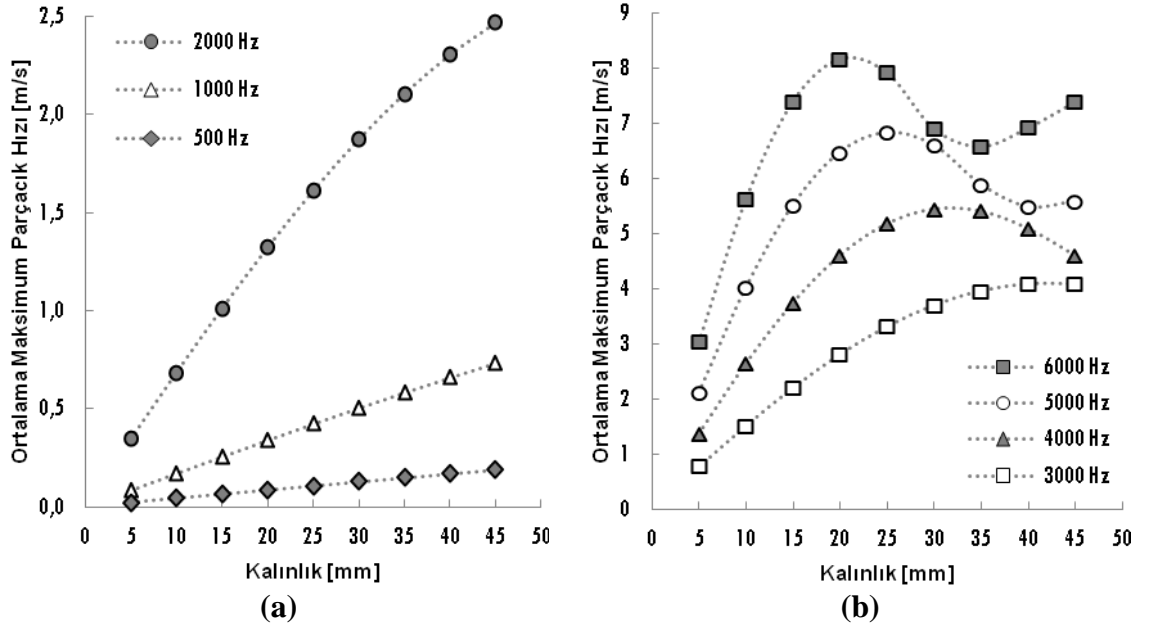
Şekil 4.25 – 4.31 incelendiğinde ilk olarak vurgulanması gereken husus 500, 1000 ve 2000 Hz frekans değerlerinde gramajları 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² olan tüm dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı artmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü daha önce 500, 1000 ve 2000 Hz için hesaplanan ve Çizelge 4.14’te verilen ortalama maksimum parçacık hızları da artan kalınlıkla artmaktadır. Artan kalınlıkla dokusuz yüzey içine çok daha hızlı hareket eden hava parçacıklarının dahil olmuştur (Şekil 4.32a). Sabit gramajdaki dokusuz yüzeyin kalınlığının artması aynı zamanda katı hacim katsayısının düştüğü anlamına geldiğinden, yapının daha gözenekli hale geleceği açıktır. Dolayısıyla salınım yapan hava parçacıklarının daha az sayıda lif ile sürtünmeleri söz konusu olabilir. Ancak dokusuz yüzeylerde katı hacim katsayısı düşüşüne karşılık, hava parçacık hızları özellikle 500, 1000 ve 2000 Hz için çok daha fazla arttığından, kalın numunelerde hava parçacığı daha az lif ile sürtünse bile yüksek hava parçacık hızının sürtünmeyi arttırması nedeniyle daha fazla akustik enerji kaybının gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Şekil 4.25 – 4.31, 3000 ve 4000 Hz frekans değerleri için incelendiğinde, gramajları 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² olan tüm dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı önce belirli bir kalınlık değerinde kadar artmış, ardından azalma göstermiştir. Bu da beklenen bir sonuçtur, çünkü daha önce 3000 ve 4000 Hz için hesaplanan ve Çizelge 4.14 ile Çizelge 4.15’te verilen ortalama maksimum

parçacık hızları da artan kalınlıkla 3000 Hz için 40 mm, 4000 Hz için 30 mm kalınlık değerinde kadar artmakta, sonra ortalama maksimum hızlar düşüş göstermektedir (Şekil 4.32b).

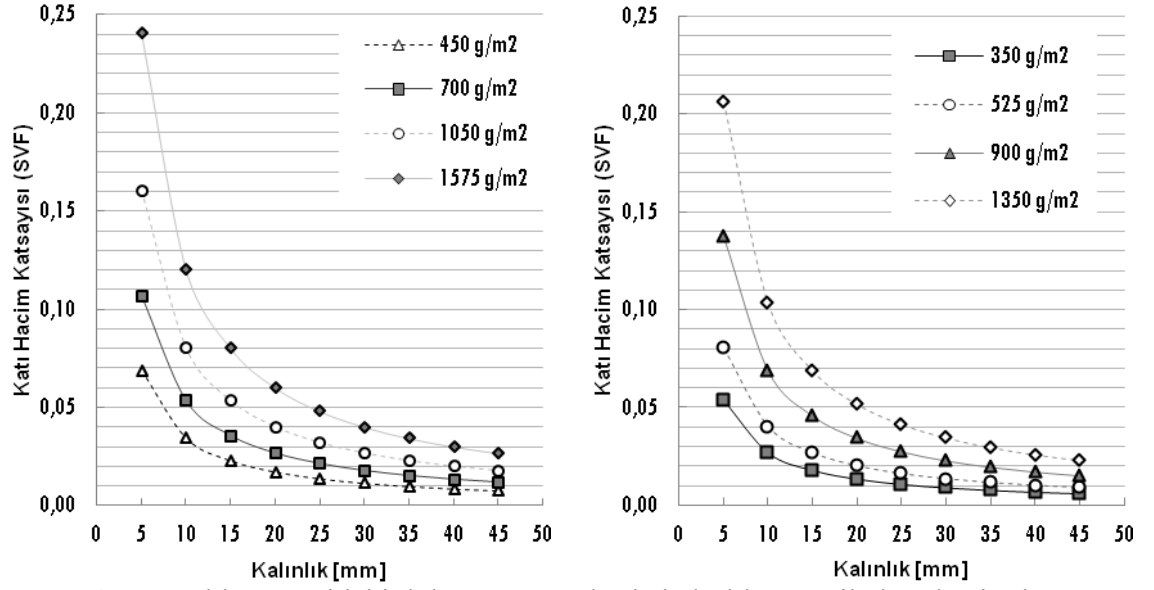
Şekil 4.25 – 4.31, 5000 Hz frekans değeri için incelendiğinde, gramajları 450 ve 525 olan dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı önce belirli bir kalınlık değerinde kadar artmış, ardından azalma göstermiştir. Bu da beklenen bir sonuçtur, çünkü ortalama maksimum parçacık hızları da 5000 Hz için artan kalınlıkla 25 mm kalınlık değerinde kadar artmakta, sonra ortalama maksimum hızlar 40 mm'ye kadar düşüş göstermektedir (Şekil 4.32b). Gramajları 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² olan dokusuz yüzeylerde ise 5000 Hz'de kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı önce belirli bir kalınlık değerinde kadar artmış, ardından azalma göstermiş, daha sonra da tekrar artmıştır. Bu da beklenen bir sonuçtur, çünkü ortalama maksimum parçacık hızları da 5000 Hz için artan kalınlıkla 25 mm kalınlık değerinde kadar artmakta, sonra ortalama maksimum hızlar 40 mm'ye kadar düşüş göstermekte ve 45 mm'de tekrar artmaktadır (Şekil 4.32b).

Şekil 4.25 – 4.31, 6000 Hz frekans değerleri için incelendiğinde, gramajları 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 olan dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı önce belirli bir kalınlık değerinde kadar artmış, ardından azalma göstermiş, sonra tekrar artmıştır. 5 mm kalınlıkta üretilmeyen ve 1575 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzey ise, 10 mm'de maksimum ses yutuculuk değeri ölçülmüş ardından kalınlık artışı ile ses yutuculuk katsayısı önce azalma göstermiş, sonra tekrar artmış, en sonunda tekrar azalmıştır. Ortalama maksimum parçacık hızları 6000 Hz için incelendiğinde, artan kalınlıkla 20 mm kalınlık değerinde kadar artmakta, sonra ortalama maksimum hızlar 35 mm'ye kadar düşüş göstermekte ve sonra tekrar artmaktadır (Şekil 4.32b).



Şekil 4.32. Farklı frekanslarda dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının ortalama maksimum hızları

Tüm bu sonuçlar ışığında şu belirtilmelidir ki, farklı frekanslarda kalınlık değişimi ile ses yutuculuk katsayısındaki değişim, dokusuz yüzey içindeki hava parçacıklarının hızları ile ilişkilidir. Ancak burada şu husus belirtilmelidir ki, yüksek ses yutuculuk için daha fazla sürtünme kayıpları gerektiğinden, bu hızlı parçacıkların ne kadar sayıda lif ile sürtüldüğü de önemlidir. Örneğin ortalama parçacık hızının değerine göre daha düşük olduğu bir dokusuz yüzey eğer çok daha fazla sayıda liften oluşuyorsa ses yutuculuk daha yüksek olabilir. Nitekim farklı kalınlıklardaki 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerde, maksimum ses yutuculuğun ortalama maksimum parçacık hızının en yüksek olduğu kalınlık değerinde gerçekleşmesi beklenebilecekken, özellikle daha ağır dokusuz yüzeylerde ve 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz frekanslarında maksimum ses yutuculuk çoğunlukla daha ince dokusuz yüzeylerde ölçülmüştür. 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarında ise maksimum ses yutuculuk en kalın dokusuz yüzeylerde, yani 350, 450 ve 525 g/m² için 40 mm kalınlığında, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² için 45 mm kalınlığında gerçekleşmiştir. Dokusuz yüzeylerde kalınlık arttıkça katı hacim katsayısı düşüşüne karşılık (Şekil 4.33), hava parçacık hızları 500, 1000 ve 2000 Hz için çok daha fazla arttığından (Şekil 4.32a), kalın numunelerde hava parçacığı daha az lif ile sürtünse bile yüksek hava parçacık hızının sürtünmeyi arttırması nedeniyle daha fazla akustik enerji kaybının gerçekleştiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.33. Farklı gramajdaki dokusuz yüzeylerde kalınlık artışı ile katı hacim katsayısı değişimi

Çizelge 4.17’de 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz için 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerde maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü kalınlık değerleri ile ortalama maksimum parçacık hızları göz önünde bulundurulduğunda maksimum ses yutuculuğun gerçekleşmesi beklenebilecek kalınlık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.17. Maksimum ses yutuculuk katsayısının ölçüldüğü kalınlık [mm] değerleri¹

Frekans	Beklenti	350 g/m ²	450 g/m ²	525 g/m ²	700 g/m ²	900 g/m ²	1050 g/m ²	1350 g/m ²	1575 g/m ²
3000 Hz	40	40	35	35	35	40(35)	30	25	25
4000 Hz	30	35(30)	25	30	25	25	20	20	20
5000 Hz	25	20(25)	20	20	20	20	20	15	15
6000 Hz	20	20	20	20	15	15	15	15	10

Çizelge 4.17’de görüldüğü üzere özellikle dokusuz yüzey ağırlaştıkça maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü kalınlık değeri, beklenen kalınlık değerine göre daha ince dokusuz yüzeylerde ölçülmüştür. Çünkü kalınlığı düşük dokusuz yüzeylerde lifler daha sıkı paketlenmiş ve birbirine daha yakın durmaktadır, başka bir deyişle katı hacim katsayıları nispeten yüksektir (Şekil 4.33). Dolayısıyla hava parçacıklarının daha fazla sayıda lif ile sürtünme ihtimali artmaktadır. Kalınlık arttıkça ise lifler birbirinden uzaklaşmakta, katı hacim katsayısı düşmektedir (Şekil 4.33). Dolayısıyla salınım yapan

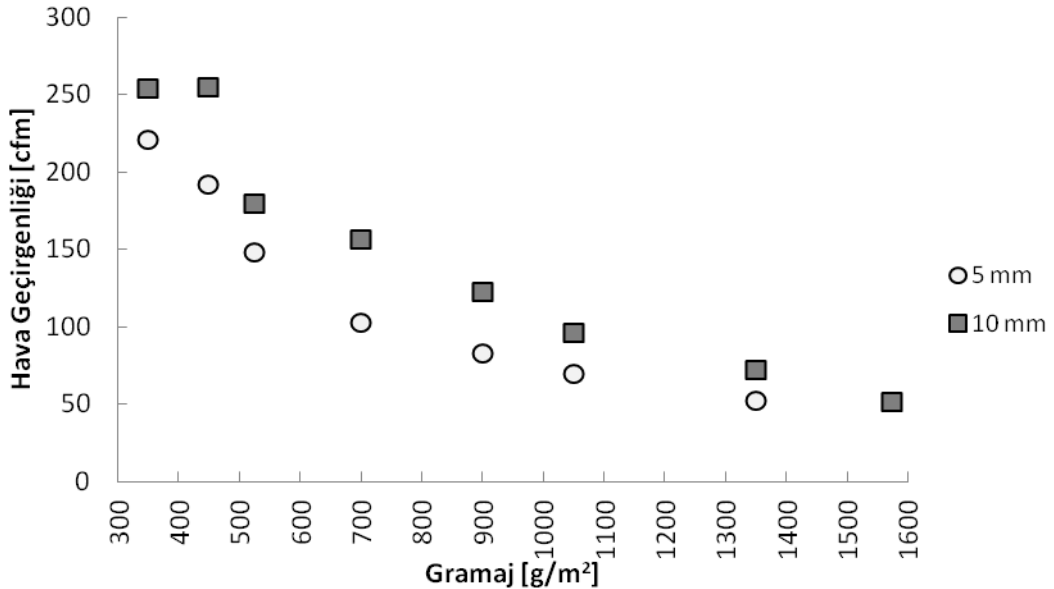
¹ Çizelge 4.17’deki parantez içindeki kalınlık değerleri ile maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü aynı hücredeki diğer kalınlık değerlerinde, ölçülen ses yutuculuk katsayıları birbirlerine çok yakındır.

hava parçacıklarının daha az sayıda lif ile sürtünmeleri söz konusu olabilir. Ayrıca daha ağır dokusuz yüzeylerde katı hacim katsayısının daha ani düşüşüne karşılık (Şekil 4.33), ortalama maksimum hava parçacık hızlarının artışı yavaşladığından (Şekil 4.32b), bu maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü daha ince numunelerde ortalama maksimum parçacık hızı daha yavaş olmasına rağmen daha fazla sayıda lif ile sürtünme gerçekleştiğinden, hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme kayıplarının ve dolayısıyla akustik enerji kaybının daha fazla gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

4.2.2. Ağırlığın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özelliğine etkisi

Bu bölümde, lifli-gözenekli bir malzeme olan hacimli dokusuz yüzeylerin artan gramaja bağlı olarak ses yutuculuk özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

Dokusuz yüzeyler üzerinde yapılan hava geçirgenliği testi verileri, dokusuz yüzeyin hem lifli-ağsı yapısı ile ilgili hem de bu malzemenin ses yutuculuk davranışlarını yorumlamada kullanışlı bilgiler sunar. Oluşturulan 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin 5 mm ve 10 mm kalınlıklarında hava geçirgenlikleri ön ve arka yüzlerinden ölçülmüş ve ortalama sonuçlar Şekil 4.34'de verilmiştir.

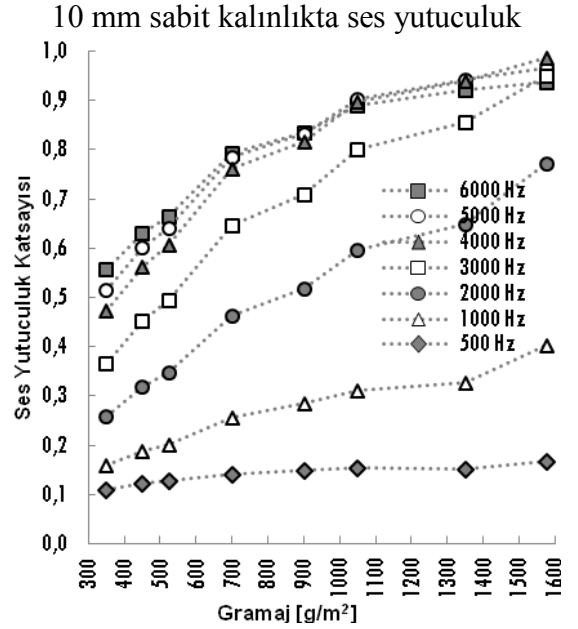
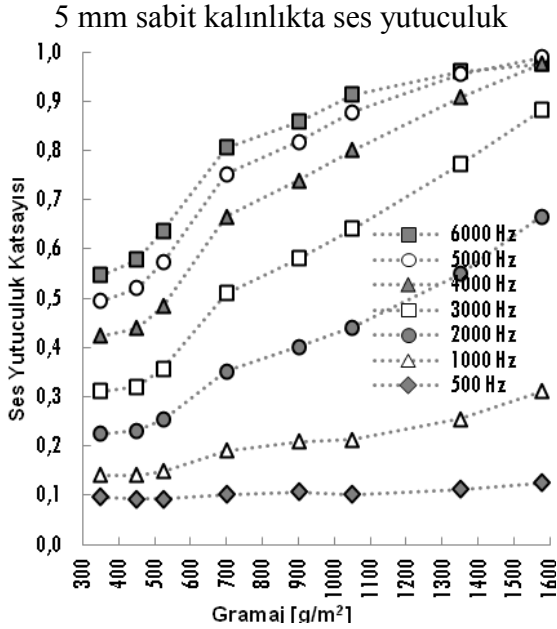
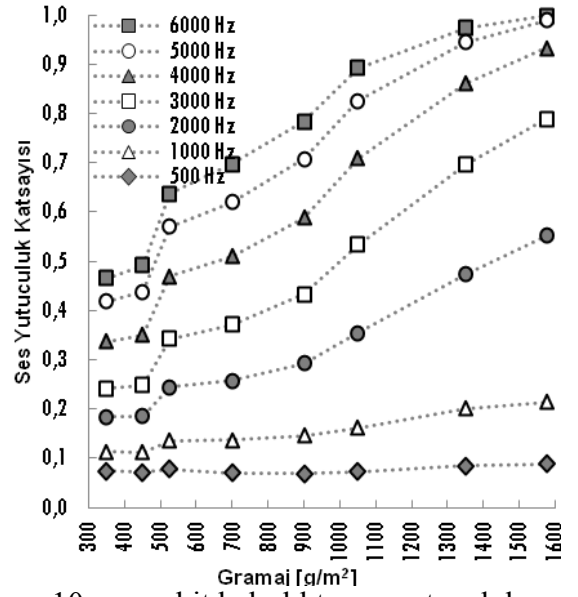
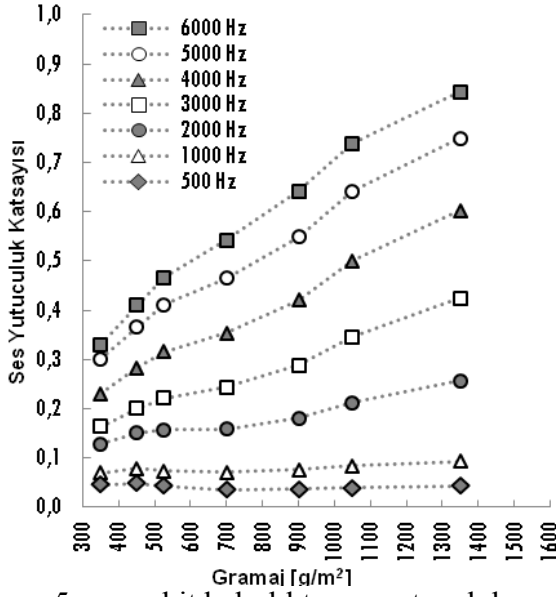


Şekil 4.34. Hacimli dokusuz yüzeylerde gramaj artışına bağlı olarak hava geçirgenliği değişimi

Şekil 4.34'den görüleceği üzere gramaj değişiminin hava geçirgenlik değerleri üzerinde etkisi vardır. Bu etki, gramajın artması ile birlikte dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliğinin düşmesi şeklindedir. Ayrıca daha kalın dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliklerinin de artış gösterdiğini vurgulamak gerekir. Dokusuz yüzeyin hava geçirgenliği davranışındaki bu belirgin değişiklik lifli-ağsı yapısındaki farklılıktan dolayı meydana gelmiştir. Öyle ki; kalınlık değeri aynı, gramajı yüksek dokusuz yüzeylerde daha fazla sayıda lif bulunacak bu da malzemenin daha fazla toplam lif yüzey alanına sahip olması anlamına gelecektir. Bu haliyle dokusuz yüzey hava geçişine karşı daha fazla direnç gösterecektir.

Gramajın hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışına etkisini incelemek için kalınlık değerleri, lif tipi, dokusuz yüzey bileşimi, lif inceliği aynı (Çizelge 4.12), gramajları farklı numunelerin farklı frekanslarda ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür.

5 mm kalınlığa sahip 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin; 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mm kalınlığa sahip 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin; 45 mm kalınlığa sahip 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz'deki ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. 5, 10, 15 ve 20 mm için sonuçlar Şekil 4.35'de, diğer kalınlıklar için sonuçlar ise EK 2'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde şu belirtilmelidir ki, tamamına yakın kalınlık değerlerinde artan gramaj değerleri ile ses yutuculuk artmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü sabit kalınlıkta artan gramaj dokusuz yüzeyin daha lifli olması anlamına gelir, öyle ki hava geçirgenlik sonuçları da sabit kalınlıkta, artan gramajla daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla ağır dokusuz yüzeylerde lifler daha sıkı paketlenmiş ve birbirine daha yakın durmaktadır, başka bir deyişle katı hacim katsayıları nispeten yüksektir (Çizelge 4.13). Böylelikle ses dalgasının ilettiği enerji ile salınım yapan hava parçacıklarının, ağır dokusuz yüzeylerde daha fazla lif ile sürtünme ihtimalleri artmaktadır. Böylelikle artan hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme kayıpları nedeniyle akustik enerji kaybının arttığını söyleyebiliriz.



5 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk

10 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk

15 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk

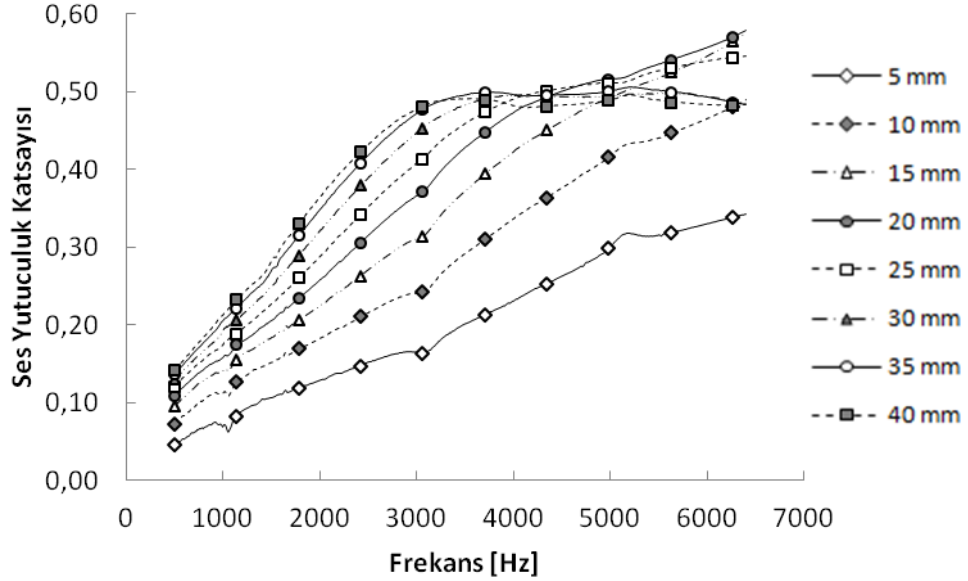
20 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk

Şekil 4.35. Sabit kalınlık değerinde farklı frekanslarda, gramaj değişimi ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim

4.2.3. Hacimli dokusuz yüzeylerin farklı frekanslardaki ses yutuculuk davranışı

Bu bölümde, lifli-gözenekli bir malzeme olan hacimli dokusuz yüzeylerin artan frekansa bağlı olarak ses yutuculuk özelliklerindeki değişim incelenmiş, farklı davranışlar sadece dokusuz yüzey yapısı ile değil, aynı zamanda ses dalgasının hareketi göz önünde bulundurularak açıklanmıştır.

Çoğu lifli-gözenekli malzemenin gösterdiği davranış, frekans arttıkça ses yutuculuğun da artması şeklindedir. Bu davranışın sebebi de artan frekansa bağlı olarak parçacık hızlarının artması ve daha fazla sürtünmenin meydana gelmesidir (Albrecht ve ark. 2003). Şekil 4.36'da, 350 g/m^2 gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm'den 40 mm'ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz farklı dokusuz yüzeyin artan frekansa bağlı olarak ses yutuculuk katsayılarındaki değişim verilmiştir.

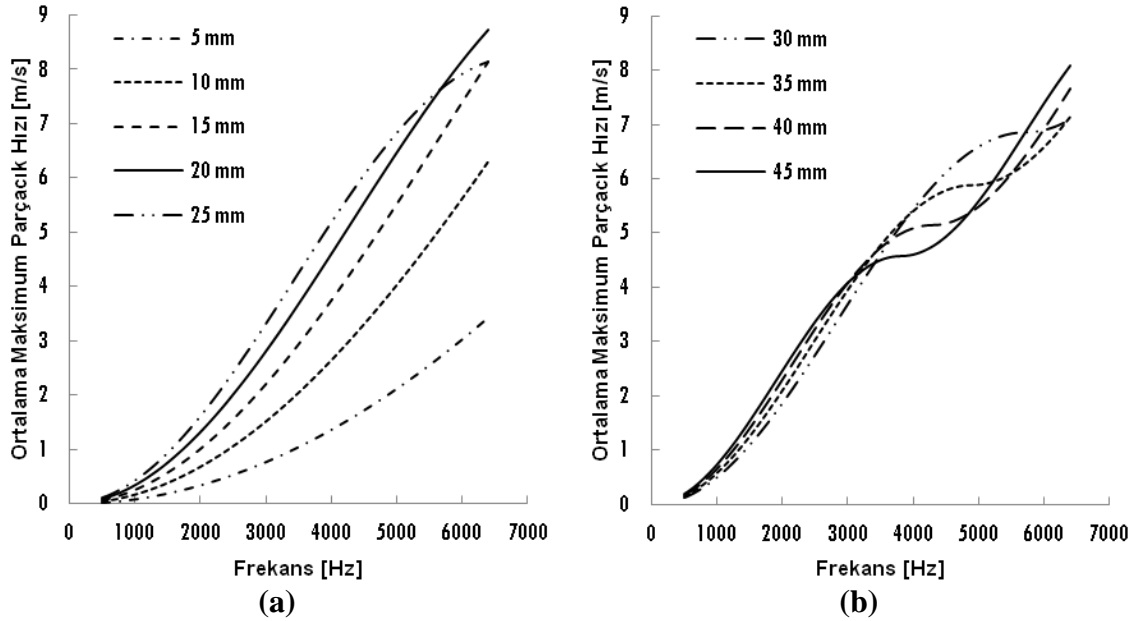


Şekil 4.36. 350 g/m^2 gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

Şekil 4.36 incelendiğinde frekans arttıkça genel olarak ses yutuculuğun da artış gösterdiğini söyleyebiliriz. Ancak, özellikle kalın numunelerde belirli frekanslardan sonra kayda değer bir artış olmamış hatta ses yutuculukta nispeten hafif bir düşüş görülmüştür. Şekil 4.36'da verilen eğriler sabit kalınlık ve sabit gramaj değerindeki dokusuz yüzey örneklerinin ses yutuculuk davranışları olduğu için, frekans değişimine bağlı olarak dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışını dokusuz yüzey yapısal parametreleriyle değil ancak malzeme içindeki hava parçacıklarının hareketlerini inceleyerek açıklayabiliriz.

Dokusuz yüzeylerde kalınlıkları boyunca, frekans değiştiğinde farklı maksimum hızlara ulaşan hava parçacıkları var olduğu için, tek bir frekans değerinde dokusuz yüzey içinde mesafeye bağlı parçacık maksimum hız dağılımı oluşacaktır. Farklı frekanslardaki hava parçacık hızlarını karşılaştırabilmek için, belirli bir frekanstaki hız dağılımını temsil eden bir ortalama değer bulunması kıyaslamayı kolaylaştıracaktır. Bu ortalama değer,

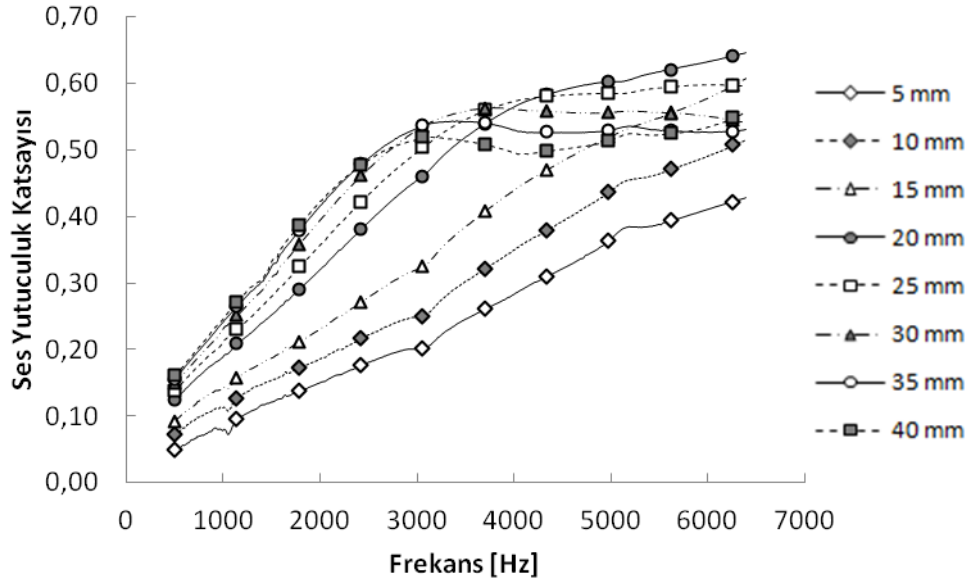
daha önce Bölüm 4.2.1.'de verilen (4.10) denklem yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.37'de verilmiştir.



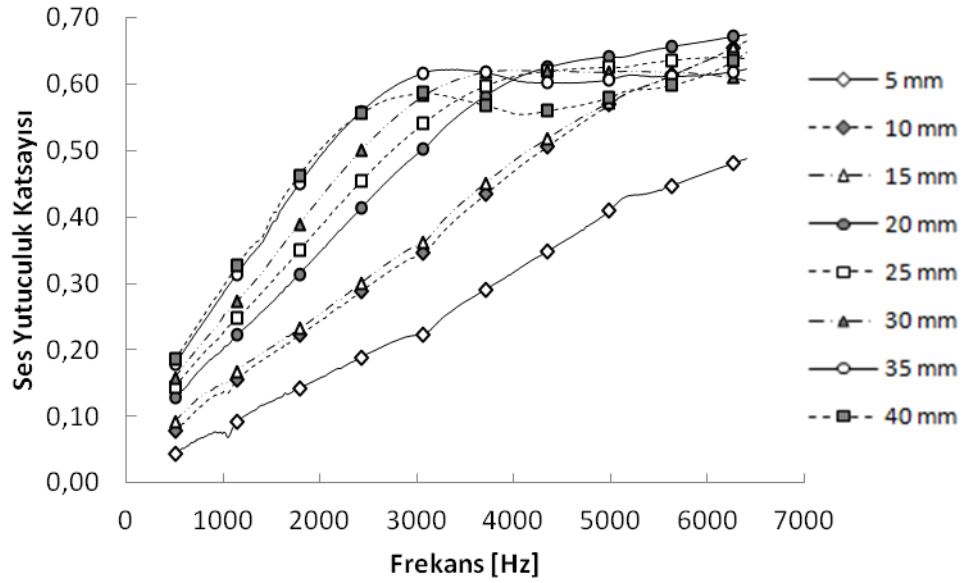
Şekil 4.37. Sabit kalınlık değerinde, frekans değişimi ile ortalama maksimum parçacık hızı değişimi

Şekil 4.37a'da görüldüğü üzere 5, 10, 15, 20 ve 25 mm kalınlık değerlerinde frekans arttıkça, bu kalınlık değerleri için ortalama maksimum parçacık hızları da artmaktadır. Bölüm 4.2.1. ve 4.2.2.'de ayrıntılı bir şekilde açıklandığı üzere, artan hızla daha fazla sürtünme olacağından, daha fazla akustik enerji kaybı beklenmektedir. Dolayısıyla 5, 10, 15, 20 ve 25 mm dokusuz yüzeylerde artan frekansla artan ses yutuculuk katsayılarının ölçülmesini beklemek bu gerçek ışığında doğaldır. Nitekim Şekil 4.36'daki 350 g/m²'lik dokusuz yüzeyin ses yutuculuk ölçüm sonuçları bu beklentiyi tamamen karşılamaktadır. Şekil 4.37b incelendiğinde 30, 35, 40 ve 45 mm kalınlık değerlerinde frekans arttıkça, bu kalınlık değerleri için önce ortalama maksimum parçacık hızları artmakta, fakat bu artış gitgide azalmakta ve bir noktada (frekans değerinde) artış durmaktadır. Ardından frekansın artması ile ortalama maksimum parçacık hızları yavaşça artmaktadır. Şekil 4.36'daki 350 g/m²'lik dokusuz yüzeyin 30, 35 ve 40 mm kalınlık değerlerinde ses yutuculuk sonuçları incelendiğinde de ses yutuculuk önce artmakta ve ardından bu artış yavaşlamakta ve sonunda artış durmaktadır. Şu husus belirtilmelidir ki, ölçüm yapılan son frekans değeri olan 6400 Hz'e yakın yüksek frekans değerlerinde ses yutuculukta küçükte olsa bir artış beklenmesine karşın ölçüm sonuçlarında bu beklenti 350 g/m² gramaj değerindeki

dokusuz yüzey için karşılıksız kalmıştır. Daha ağır dokusuz yüzeylerde yapılan ölçümlerde ise bu beklenti büyük ölçüde karşılanmıştır (Şekil 4.38 – 4.39), EK-3¹.



Şekil 4.38. 450 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları



Şekil 4.39. 525 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları

Frekans değişimi ile dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışının sabit gramaj ve kalınlık değeri için ortalama maksimum parçacık hızı ile ilişkili derecesinin tespiti için, 350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm'den 40 mm'ye kadar 5 mm aralıklarla

¹ 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerin frekans değişimi ile ses yutuculuk özelliklerindeki değişim EK-3'te verilmiştir.

değişen sekiz farklı dokusuz yüzeyin artan frekansa bağlı olarak ölçülen ses yutuculuk katsayıları ile bu kalınlıklarda hesaplanan ortalama maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Ortalama maksimum parçacık hızı ile ses yutuculuk katsayısı arasındaki korelasyon

Ses Yutuculuk Katsayısı	Korelasyon Katsayısı (ρ)
	Ortalama Maksimum Parçacık Hızı (Y_1)
5 mm (Y_2)	$\rho_{12} = 0,971$
10 mm (Y_3)	$\rho_{13} = 0,977$
15 mm (Y_4)	$\rho_{14} = 0,974$
20 mm (Y_5)	$\rho_{15} = 0,963$
25 mm (Y_6)	$\rho_{16} = 0,957$
30 mm (Y_7)	$\rho_{17} = 0,935$
35 mm (Y_8)	$\rho_{18} = 0,934$
40 mm (Y_9)	$\rho_{19} = 0,906$

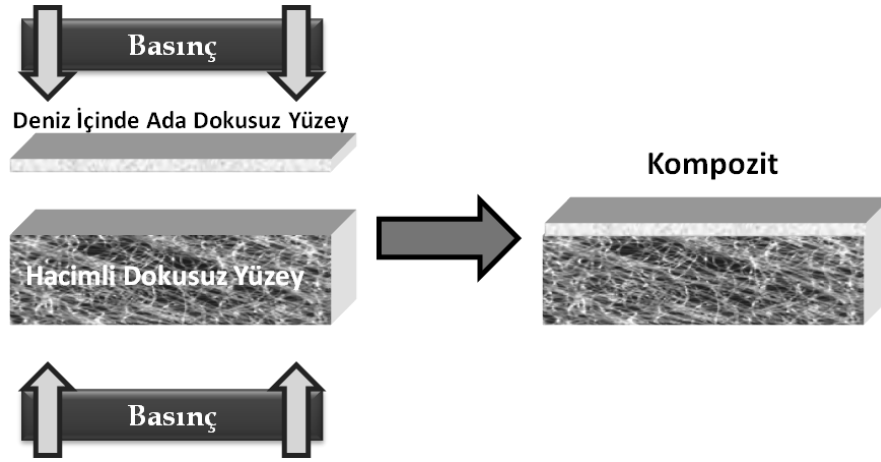
Çizelge 4.18’de, tüm dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ile maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları 0,90’ın üzerinde hesaplanmıştır. Sonuçların 1’e yakın hesaplanması, frekans değişimi ile hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışının değişiminin büyük oranda yapı içindeki parçacık hızları ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

4.3. Kompozit Yapılı Dokusuz Yüzeylerin Ses Yutuculuk Özellikleri

Bu bölümde daha önceki bölümlerde ses yutuculuk özellikleri incelenen deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri ile hacimli dokusuz yüzeyler kullanılarak oluşturulan kompozit yapıları dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri ortaya konmuş, getirdiği iyileştirme olası bir kullanım alanı (araç içi kullanım) üzerinden açıklanmıştır.

İlk olarak sprey yapıştırıcının (adhesiv) deniz içinde ada dokusuz yüzeyin bir yüzüne püskürtülmesi, ardından hacimli dokusuz yüzeyin bu yapıya temas ettirilmesi, son olarak ise bu iki katlı yapıya üstünden ve altından basınç uygulanarak oda koşullarında 15 dakika bekletilmesi ile kompozit yapıları dokusuz yüzeyler oluşturulmuştur. Basınç uygulama işlemi daha önce farklı kalınlık ve ağırlıklarda hacimli dokusuz yüzey üretmek için kullanılan kalıplar vasıtasıyla, kalıbın üstündeki kelebek somunların döndürülmesi, böylece üst üste yerleştirilen dokusuz yüzeylerin sıkıştırılmasıyla sağlanmıştır (Şekil 4.40). Kelebek somunların sıkılmasıyla birlikte delikli metal sac,

dokusuz yüzeye altından ve üstünden kuvvet uygulayarak iki farklı dokusuz yüzeyin birbirine yapışmasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4.40. Kompozit yapıli dokusuz yüzey oluşturma prensibi

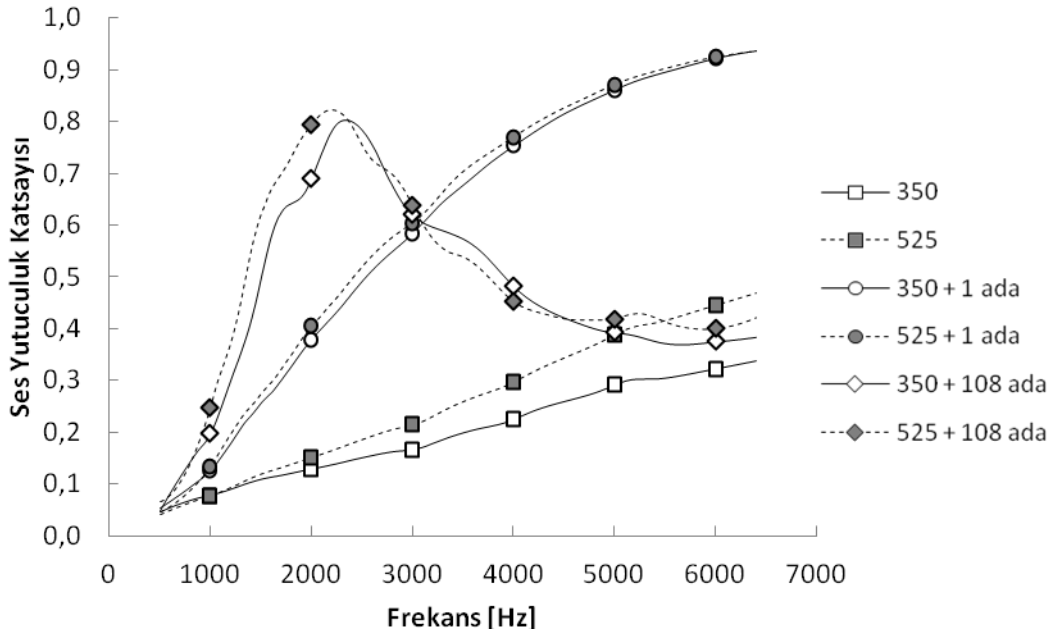
Çizelge 4.19’da, yukarıda anlatılan yöntem kullanılarak oluşturulan kompozit yapıların bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.19. Oluşturulan kompozit yapıların bazı özellikleri

Katman	Dokusuz Yüzey Tipi	Kalınlık [mm]	Gramaj [g/m ²]	Toplam Kalınlık [mm]	Toplam Gramaj [g/m ²]
Üst	1 Deniz İçinde Ada	0,59	114	5,59	464
Alt	Hacimli	5,00	350		
Üst	108 Deniz İçinde Ada	0,50	137	5,50	487
Alt	Hacimli	5,00	350		
Üst	1 Deniz İçinde Ada	0,59	114	5,59	639
Alt	Hacimli	5,00	525		
Üst	108 Deniz İçinde Ada	0,50	137	5,50	662
Alt	Hacimli	5,00	525		
Üst	1 Deniz İçinde Ada	0,59	114	10,59	464
Alt	Hacimli	10,0	350		
Üst	108 Deniz İçinde Ada	0,50	137	10,50	487
Alt	Hacimli	10,0	350		
Üst	1 Deniz İçinde Ada	0,59	114	10,59	639
Alt	Hacimli	10,0	525		
Üst	108 Deniz İçinde Ada	0,50	137	10,50	662
Alt	Hacimli	10,0	525		

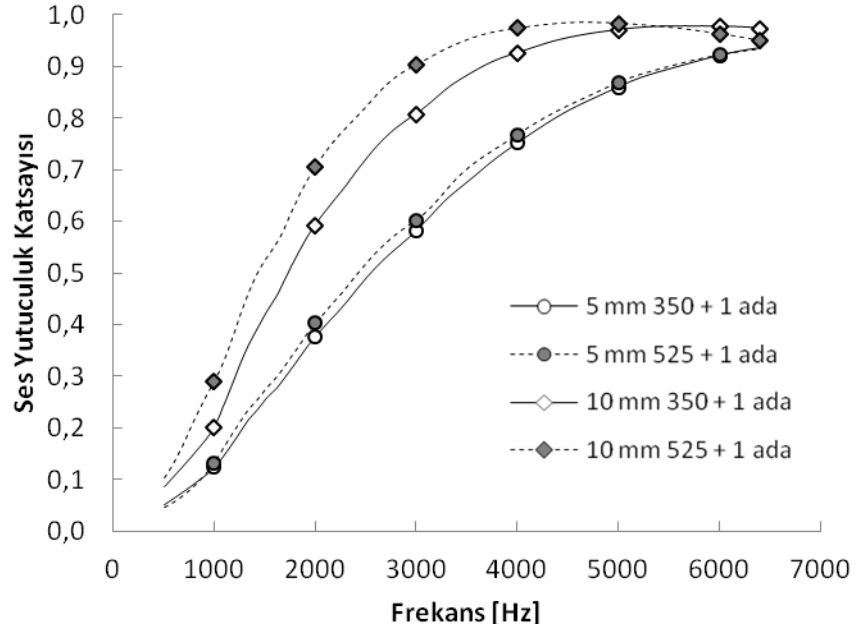
Oluşturulan tüm kompozit yapılarda alt katmanda hacimli dokusuz yüzey, üst katmanda ise eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. Böylelikle eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş dokusuz yüzeylerin hava parçacıklarının

maksimum hızlarının daha yüksek oldukları bölgeye getirilmesi amaçlanmaktadır. Çok daha ince liflerden üretilen ve toplam lif yüzey alanı geniş olan bu dokusuz yüzeylerde daha çok hava parçacığı lif sürtünmesi olacağı ve ses yutuculuğunun yüksek olacağı tahmin edilmektedir. 5 mm kalınlığında 350, 525 g/m² gramaj değerlerindeki hacimli dokusuz yüzeyler ile 1 ve 108 deniz içinde adaya sahip dokusuz yüzeylerden oluşturulan kompozit yapıların ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.41’de verilmiştir. Ayrıca karşılaştırmayı kolaylaştırmak için 5 mm kalınlığında 350, 525 g/m² gramaj değerindeki hacimli dokusuz yüzeylerin tek başına ses yutuculuk katsayıları da aynı grafikte verilmiştir.



Şekil 4.41. Kompozit yapıli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları-1

Şekil 4.41 incelendiğinde karşımıza ilginç veriler çıkmaktadır. Öncelikle hacimli dokusuz yüzeyin üstüne eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 1 adalı dokusuz yüzey yerleştirildiğinde, ses yutuculuk katsayılarında müthiş bir yükseliş kaydedilmiştir. Kalınlık ve ağırlıkta küçük nitelendirebilecek artışlara rağmen (Çizelge 4.19) ses yutuculuktaki bu büyük artış ancak kompakt yapıli 1 ada dokusuz yüzeyin hava parçacık hızlarının çok daha yüksek olduğu bölgeye getirilmesinden dolayı, artan parçacık-lif sürtünmesi ve dolayısıyla gerçekleşen akustik enerji kaybı ile açıklanabilir. 5 ve 10 mm kalınlığında 350, 525 g/m² gramaj değerindeki hacimli dokusuz yüzeyler ile 1 deniz içinde adaya sahip dokusuz yüzeyden oluşturulan kompozit yapıların ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.42’de verilmiştir.



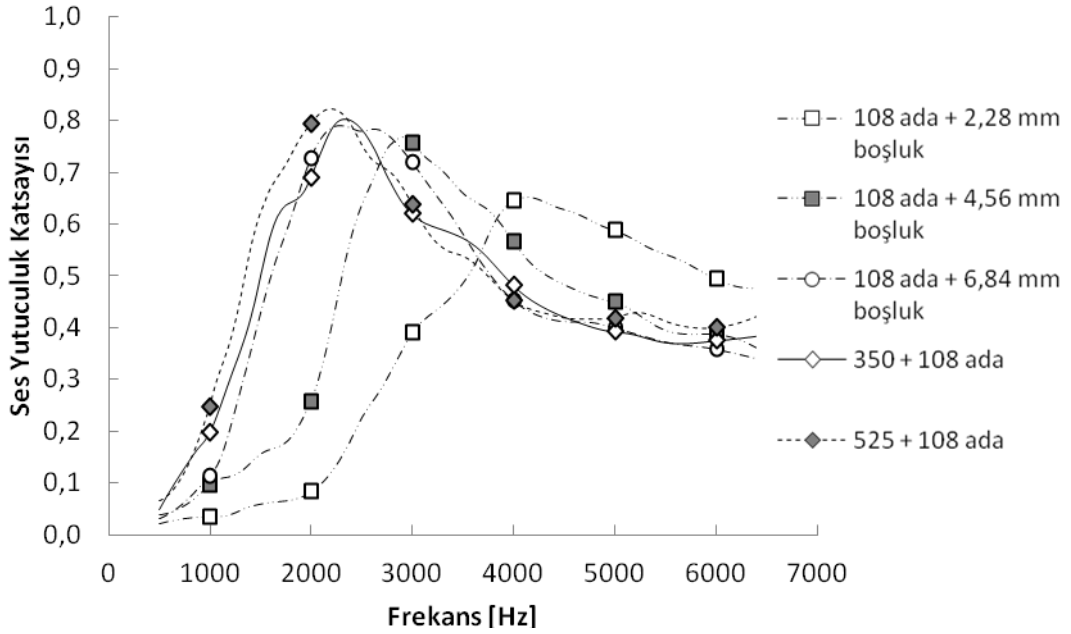
Şekil 4.42. 1 adalı kompozit yapıli dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları

Şekil 4.42’de verildiği üzere gramajı ve/veya kalınlığı daha yüksek bir hacimli dokusuz yüzey seçildiğinde ses yutuculuk katsayıları artmaktadır.

Hacimli dokusuz yüzeyin üstüne eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 108 adalı dokusuz yüzey yerleştirildiğinde ise malzeme beklenenin dışında bir ses yutuculuk davranışı göstermiştir (Şekil 4.41). Öyle ki; ses yutuculuk katsayısı alt katman olarak 350 g/m^2 gramaj değerine sahip dokusuz yüzey kullanıldığında 2336 Hz, 525 g/m^2 gramaj değerine sahip dokusuz yüzey kullanıldığında da 2200 Hz frekans değerinde en yüksek değerine ulaşp daha sonra frekans arttıkça azalmaktadır. Ses yutuculuk katsayısında, nispeten düşük frekanslardaki bu ani artışın sebebi çoğu lifli-gözenekli malzemenin ses yutuculuk mekanizması olan hava parçacığı-lif sürtünmesi ile enerji kaybı şeklinde açıklanamamaktadır. 108 adalı kompozit yapının bu davranışı Aso ve Kinoshita (1963) tarafından dokuma kumaşlar için arkasında hava boşluğu bırakılarak yapılan ses yutuculuk ölçüm sonuçlarına benzerlik göstermekte ve ilgili kaynakta bu davranışın rezonans tip ses yutuculuk mekanizması olduğu belirtilmektedir.

108 adalı kompozit yapının bu davranışını daha iyi açıklayabilmek için 108 adalı dokuz yüzeyin arkasına 2,28 mm kalınlığında büyük gözenekli plastik mesh yapı yerleştirilerek hava boşluğu bırakılması sağlanmış ve ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Ayrıca mesh iki, ve üç kat olarak da 108 adalı dokusuz yüzey arkasına

yerleştirilmiş ve sırasıyla 4,56 mm, 6,84 mm kalınlıklarında hava boşlukları oluşturularak ses yutuculuk katsayıları ölçülmüştür. Ölçümlerde büyük gözenekli mesh yapının ses yutuculuğunun olmadığı kabul edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Hava boşluğunun 108 adalı dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışına etkisi

Şekil 4.43 incelendiğinde öncelikle 108 adalı dokusuz yüzeyin arkasında hava boşluğu bırakılmasıyla ses yutuculuk kompozit yapıları dokusuz yüzeyde olduğu gibi belirli frekansta en yüksek değerine ani bir çıkış yapmış ardından ses yutuculuk katsayısı azalmıştır. Ayrıca bırakılan hava boşluğu kalınlığı arttırıldığında maksimum ses yutuculuğunun gerçekleştiği frekans değeri düşük frekanslara doğru kaymakta buna karşılık yüksek frekanslardaki ses yutuculuk katsayısı da düşmektedir. Bu tip ses yutuculuk davranışı rezonans tip ses yutuculuk davranışına benzemektedir (Aso ve Kinoshita, 1963). Burada, ses dalgaları dokusuz yüzey ve dokusuz yüzey arkasındaki elastik havanın oluşturduğu sistemi titreştirerek ses yutuculuk sağlanır. Bu tip ses yutuculukta, titreşim sonucu dokusuz yüzeyin yer değiştirme miktarı dokusuz yüzeyin tüm bölgelerinde eşit olduğu kabulü yapılmıştır, çünkü kumaşın titreşimleri çok küçüktür. Dokusuz yüzey malzemenin yüzeyine ses dalgası kuvvet olarak titreşim oluşturmak üzere etki ettiği zaman, bu tekli rezonans sisteminde (burada dokusuz yüzey kütle, arkasındaki hava boşluğu ise kuvvete direnç gösteren ve elastik deformasyona uğrayabilen bir elemandır) denge denklemi için yeterince uzun bir zaman sonra, devir

başına enerji girdisi, devir başına enerji kaybına eşit olduğunda, salınımın sabit genlikle sürdüğü bir kararlı hal durumuna varılır(Serway & Beichner, 2000). Bu durumda hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + kx = Fe^{j\omega t} \quad (4.11)$$

Denklem (4.11)'de aşağıdaki düzenlemeler yapılırsa, denklem (4.12) elde edilir.

Young (germe) (Y) modülü (Sears ve ark. 2001):

$$Y = \frac{\text{germe zoru}}{\text{germe zorlanması}} = \frac{\text{sıkışma zoru}}{\text{sıkışma zorlanması}}$$

F : Uygulanan kuvvet

A : Kesit alan

l_0 : İlk boy

Δl : Boydaki uzama

$$Y = \frac{F_n/A}{\Delta l/l_0}$$

$$F = kx \quad \rightarrow \quad F = \frac{YA}{l_0} \Delta l \quad \rightarrow \quad F = \frac{EA}{d} x$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + \frac{EA}{d} x = P_0 A e^{j\omega t} \quad (4.12)$$

Denklem 4.12'de; A : numune yüzey alanı, m : numune kütlesi, x : titreşim elemanının yer değiştirmesi, R : mekanik direnç, E : havanın hacimsel elastisitesi (hacimsel (bulk) elastik modül), d : hava boşluğu derinliği, P_0 : birim alana etkiyen ses basıncı, ω : periyodik dış basıncın açısal frekansı, t : zamandır.

Kararlı haldeki çözümde, rezonans frekansı aşağıdaki gibi olur:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{EA}{md} \right)^{1/2} \quad (4.13)$$

(4.13) numaralı denklem kullanılarak, rezonans frekansı (f_{rez}) 108 adalı kumaşın arkasında hava boşluğu bırakıldığı durumlar için hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.29'de verilmiştir.

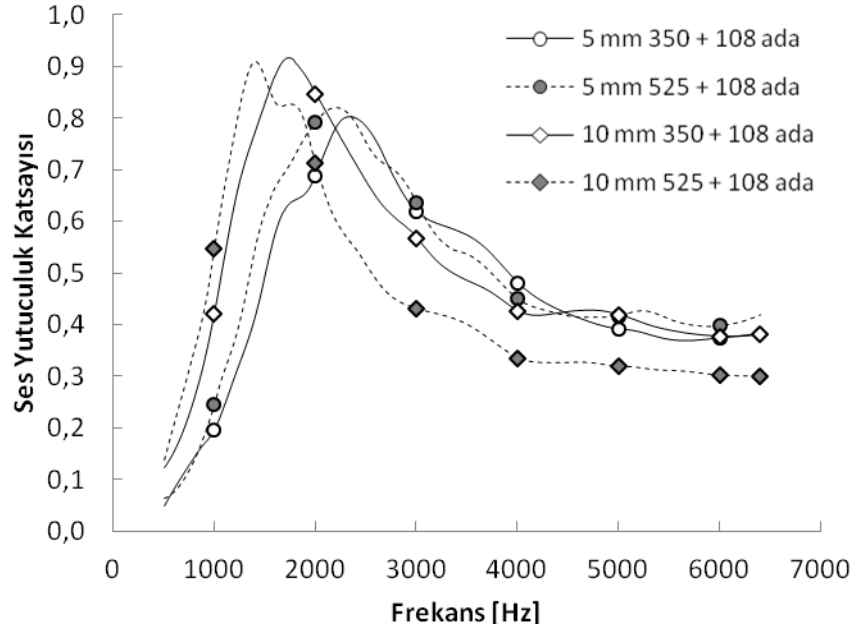
Çizelge 4.20. Arkasında hava boşluğu bırakılan örneklerin rezonans frekansları

Hava Boşluğu Kalınlığı [mm]	Rezonans Frekansı [Hz]	Maksimum Ses Yutuculuğun Ölçüldüğü Frekans [Hz]
2,28	3393	4144
4,56	2400	2912
6,84	1959	2288

Çizelge 4.20 incelendiğinde 108 adalı dokusuz yüzey arkasında bırakılan hava boşluğu kalınlığı arttırıldığında rezonans frekansları düşüş göstermektedir. Maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü frekans değerleri ile, hesaplanan rezonans frekans değerlerinin yakın fakat farklı çıkmasının sebebi ise dokusuz yüzeyin lifli-gözenekli malzeme olma özelliğinin hesaplamalara katılamamasından ileri geldiği düşünülmektedir. Ayrıca yüksek ses yutuculuğun ölçüldüğü frekans bölgesinin, maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekans etrafında geniş bir bölgeye yayılması, hava parçacığı-lif arasındaki sürtünme kayıpları ile gerçekleşen ses yutuculuk mekanizmasının da, rezonans tip ses yutuculuk kadar baskın olmasa da ses yutuculukta etkisi olduğu düşüncesini uyandırmaktadır.

Şekil 4.43 incelendiğinde hava boşluğu yerine hacimli dokusuz yüzey yerleştirilmesi ise maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekans değerini ve yüksek yutuculuğun ölçüldüğü frekans bölgesini daha düşük frekanslara kaydırmaktadır. Hacimli dokusuz yüzey olarak gramajı daha yüksek bir dokusuz yüzey seçildiğinde ise maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekans değeri ve yüksek yutuculuğun ölçüldüğü frekans bölgesi daha da düşük frekanslara kaymaktadır. Ayrıca hava boşluğu yerine hacimli dokusuz yüzey yerleştirilmesi maksimum ses yutuculuk katsayısının da daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

5 ve 10 mm kalınlığında 350 ve 525 g/m² gramaj değerindeki hacimli dokusuz yüzeyler ile 108 deniz içinde adaya sahip dokusuz yüzeyden oluşturulan kompozit yapıların ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44. 108 adalı kompozit yapıli dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayıları

Şekil 4.44 incelendiğinde alt katman olarak daha kalın bir hacimli dokusuz yüzey seçildiğinde, maksimum ses yutuculuğun gerçekleştiği frekans değeri ve yüksek yutuculuğun ölçüldüğü frekans bölgesi daha da düşük frekanslara kaymaktadır.

Sonuç olarak 108 adalı kompozit yapıli dokusuz yüzeyin nispeten düşük frekanslardaki yüksek ses yutuculuğu önemli bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca hacimli dokusuz yüzeyde yapılabilecek değişikliklerle, yutuculuğun yüksek istendiği frekans aralıkları belirli sınırlar dahilinde değiştirilebilmektedir. Bu sonuçlar ışığında uygulamaya özel, yüksek ses yutuculuk özelliği olan kompozit malzeme tasarlayabilme olanağı doğmuştur.

4.3.1. Nanolif kompozit yapıli dokusuz yüzeyin ses yutucu olarak araç içinde kullanımı

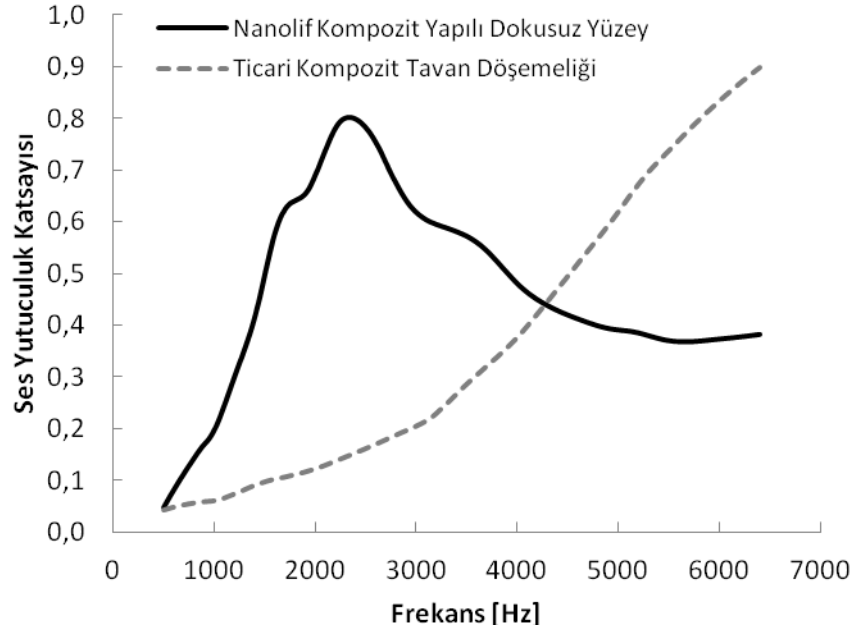
Otomobillerde araç içinde bulunan sürücü ve yolcular birçok gürültü yapan donanım tarafından gürültüye maruz kalırlar. Motor, lastik yol arası sürtünme, motor tekerlek arası iletim parçaları, egzoz sistemi hepsi birer gürültü kaynağıdır. Şekilde 4.45’de araçlarda yolcu ve sürücü kabinine gürültü giren bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 4.45. Yolcu ve sürücü kabinine gürültü giren bölgeler

Yapılan bir araştırmada araç içinde gürültünün azaltılmasında benzinli motorlu araçlar için 1200 Hz ile 4000 Hz arası, dizel motorlu araçlar için ise 1600 Hz ve daha düşük frekanslarda ses yutuculuğun önemli olduğu belirtilmiştir (Nick ve ark. 2002). Düşük frekanslarda sesin yutulması için örneğin, tavan döşemeliği tasarlanması düşünülün. Klasik lifli-gözenekli bir malzeme kullanılması durumunda, malzemenin kalın, aynı zamanda düşük frekansta yüksek ses yutuculuk istenirse malzemenin ağır olması gerektiği açıktır. Halbuki 108 adalı kompozit yapılı dokusuz yüzeyin tavan döşemeliği olarak kullanılması durumunda, malzeme daha ince ve hafif olarak tasarlanabilecek ve istenen frekanslarda yüksek ses yutuculuk sağlanabilecektir.

Şekil 4.46'de hacimli dokusuz yüzey ve 108 adalı dokusuz yüzey ile oluşturulmuş 487 g/m^2 , 5,5 mm kalınlığındaki kompozit yapının ve ticari olarak araçlarda tavan döşemeliği olarak satılan üst katmanı çözümlü örme yapıda alt katmanı ise poliüretan sünger olan toplam ağırlığı 176 g/m^2 kalınlığı 5 mm olan kompozit yapının ses yutuculuk katsayıları verilmiştir.



Şekil 4.46. Nanolif kompozit yapıları dokusuz yüzey ile ticari kompozit tavan döşemeliğinin ses yutuculuk katsayıları

Sonuçlara bakıldığında 108 ada dokusuz yüzey ile oluşturulmuş kompozit yapının ses yutuculuğu, ticari olarak satılan kompozit malzeme ile karşılaştırıldığında, dokusuz yüzey kompozit yapının düşük ve orta frekanslarda ses yutuculuk açısından üstünlüğü görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada geliştirilen nanolif (108 adalı) kompozit yapıları dokusuz yüzeyin tavan döşemeliği olarak kullanılması durumunda sürücü ve seyahat eden yolcuların kendilerini daha rahat ve konforlu hissetmeleri sağlanacaktır.

5. SONUÇ

Bikomponent teknolojisine sahip eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş deniz içinde ada liflerinden oluşan dokusuz yüzeylerin, ada liflerinin serbest kalması ve ince lifli yapının ses yutuculuk açısından avantajını gösterebilmek için dokusuz yüzeyler farklı spesifik enerji seviyelerinde su jetleri ile işleme tabi tutulmuştur. Yapılan incelemede ada liflerinin serbest bırakılmasının en zor olacağı düşünülen en fazla ada sayısına sahip 108 adalı dokusuz yüzeyin hava geçirgenliği ve gözenek büyüklüğü sonuçları, SEM görüntüleri ve ayrıca ses yutuculuk davranışları, ada liflerinin bikomponent lif içinden çıkıp serbest kalıp ince lifli bir yapı oluşturması için 3 pasaj su jeti işleminin ya da su jeti ile 67452 kJ/kg spesifik enerji vermenin yeterli ve en uygun enerji miktarı olduğunu bize göstermiştir. Dokusuz yüzeyi oluşturan eşit çaplı bikomponent liflerde daha fazla sayıda ada lifi bulunması, bu bikomponent liflerin su jetleri ile kırılması sonrası ada liflerinin serbest kalması ile birlikte dokusuz yüzey daha ince liflerden oluşan lifli-gözenekli bir yapı haline gelmiştir. Ses yutuculuk ölçümleri sonunda ise 108 adaya sahip olan dokusuz yüzey diğer deniz içinde ada dokusuz yüzeylere nazaran daha fazla sesi yutmuştur. Ayrıca ses yutuculuk katsayısı dokusuz yüzeyde bulunan ada lifi sayısının artması ile artış göstermiştir. Ses dalgası lifli ve gözenekli yapıya girdiği zaman, sesin frekansına göre, hava parçacıkları gözenekli yapının boşluklarında salınım yapmaya başlamaktadır. Daha ince liflerden oluşan dokusuz yüzey daha lifli yapıda olduğu için, hava parçacıkları ile liflerin etkileşime girme ihtimali artmakta, hava parçacıkları temas edecek daha fazla yüzey alanı bulmakta ve daha fazla sürtünme kayıpları olmaktadır. Bu sürtünme kayıpları akustik enerjinin zayıflamasına ve sesin yutulmasına sebep olur. Bu sebepler su jetleri ile işlem yapılmış eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ses yutuculuk katsayısının daha yüksek olmasını açıklamaktadır. Tüm deniz içinde ada dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ile maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları 0,96'nın üzerinde hesaplanmıştır. Sonuçların 1'e yakın hesaplanması, hava parçacıkları ile deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri oluşturan ada lifleri arasında hız ile artan bir direnç kuvveti meydana geldiğini, akustik enerjinin çoğunlukla bu mekanizmaya göre yutulduğunu bize göstermektedir. Sonuç olarak yapısında çapları nanometre mertebesinde olan lifler içeren 108 adaya sahip dokusuz yüzeyin ses yutuculuğu en yüksek ölçülmüştür ve yüksek frekanslar için ses yutuculuk katsayısı 0,2'ye kadar ulaşmıştır. Bu değer

dokusuz yüzeyin 0,5 mm civarındaki kalınlığı göz önüne alındığında yüksek bir yutuculuk olduğu söylenebilir.

Eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş ve su jetleri ile muamele edilmiş dokusuz yüzeylerin, ses yutuculuk katsayılarının özellikle daha düşük frekanslarda artması adına, çok katlı dokusuz yüzey yapıları oluşturulmuş ve bu yapıların ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, genel olarak ses yutuculuk değerleri kat sayısının artması ile artış göstermiştir. Fakat 108 ve 37 ada lifine sahip dokusuz yüzeyler için ses yutuculuk katsayıları yüksek frekanslarda ikinci kattan sonra düşüş göstermeye başlamıştır. Tüm bunların yanında 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeyin ses yutuculuk değerleri artan kat sayısı ile tüm frekanslarda istisnasız artış göstermiştir. Buna ilave olarak, bu artış özellikle yüksek frekanslarda daha fazla olmuştur. Çoğu lifli-gözenekli malzemenin gösterdiği davranış olan frekans arttıkça ses yutuculuğundaki artış, tek katlı 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeylerde görüldüğü gibi çok katlı 1 ada lifinden oluşan dokusuz yüzeylerde de görülmektedir. 108 ve 37 ada lifine sahip dokusuz yüzeyler için, artan kat sayısı ile birlikte ses yutuculuk katsayılarının orta ve düşük frekanslarda artış, yüksek frekanslarda ise düşüş trendine girmesi bu yapılar için farklı bir ses yutuculuk mekanizmasının söz konusu olabileceğini işaret etmektedir. Çok katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin düşük frekanslardaki ses yutuculuğundan rezonans tip ses yutuculuk mekanizmasının kısmen sorumlu olduğu düşünülmektedir. Rezonans tip ses yutuculukta enerji harcanması numunenin titreşimi sebebiyle gerçekleşir ve sistemin kütlelerinin artmasıyla ses yutuculuk karakteristiği yüksek frekanslardan düşük frekanslara doğru kayar. Çok katlı 108 ada dokusuz yüzeye fazladan bir katmanın dahil edilmesi, ses yutuculuğun yüksek frekansdaki azalmasına karşılık düşük frekanslarda artışı gibi bir etki göstermektedir. Bu nedenle her katman ilavesinde artan kütle ile birlikte rezonans tip ses yutuculuğun daha baskın bir şekilde kendini gösterdiği düşünülmektedir. Genel olarak deniz içinde ada dokusuz yüzeyler ses yutuculuk özellikleri artan kat sayısı ile artış göstermiştir. Orta ve düşük frekanslarda daha fazla ses yutması katlı 108 adalı dokusuz yüzeyin diğerlerine göre üstünlüğüdür. Bunun yanında özel bir uygulama için yüksek frekanslardaki sesin yutuculuğu önemli ise tek ada lifinden oluşan dokusuz yüzeyin kullanımı daha iyi bir çözüm olacağı açıktır.

Eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş, ardından su jetleriyle işleme tabi tutulmuş kalınlığı 2 mm'yi geçmeyen katlı 108 adaya sahip dokusuz yüzey yapısı ile daha kalın ve hacimli bir başka dokusuz yüzeyin ses yutuculuk özellikleri karşılaştırılmıştır. Hacimli dokusuz yüzeyler gibi kalın, lifli gözenekli malzemeler, gürültünün yutulması gereken ortamlarda tercih edilebilen malzemeler olduğu için böyle bir karşılaştırma yapılmıştır. Lifli-ağsı yapısı ince liflerden ve küçük gözeneklerden oluşan katlı 108 ada dokusuz yüzeylerin kalınlıklarının, hacimli dokusuz yüzeye göre çok daha küçük olmasına rağmen, ses yutuculuk özellikleri bazı frekans aralıklarında daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla özellikle kısıtlı hacmi bulunan bazı uygulamalarda, ses yutucu eleman olarak 108 adalı yapının iyi bir alternatif olabileceğini söyleyebiliriz.

Deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri ile birlikte kullanılacak olan hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. 350 g/m² gramaj değerinde, kalınlıkları 5 mm'den 40 mm'ye kadar 5 mm aralıklarla değişen sekiz dokusuz yüzeyin 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 6000 Hz frekansları için, dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri ile ses yutuculuk katsayıları karşılaştırıldığında yüksek ortalama maksimum hız değerlerinde ses yutuculuğun da yüksek olduğu, düşük ortalama maksimum hız değerlerinde ise ses yutuculuğun da düşük olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısıyla dokusuz yüzey içinde bulunan hava parçacıklarının ortalama maksimum hız değerleri ile ses yutuculuk katsayısı arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayılarının hesaplanmasıyla araştırılmıştır. Sonuçların 1 değerine yakın hesaplanması, hava parçacıkları ile dokusuz yüzeyleri oluşturan lifler arasında, artan ya da azalan hız ile yine artan ya da azalan bir direnç kuvveti meydana geldiğini, akustik enerjinin çoğunlukla bu mekanizmaya göre yutulduğunu bize göstermektedir. Ancak burada şu husus belirtilmelidir ki, yüksek ses yutuculuk için daha fazla sürtünme kayıpları gerektiğinden, bu hızlı parçacıkların ne kadar sayıda lif ile sürtüldüğü de önemlidir. Örneğin ortalama parçacık hızının diğerine göre daha düşük olduğu bir dokusuz yüzey eğer çok daha fazla sayıda liften oluşuyorsa ses yutuculuk daha yüksek olabilir. Nitekim farklı kalınlıklardaki 350, 450, 525, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² gramaj değerlerindeki dokusuz yüzeylerde, maksimum ses yutuculuğun ortalama maksimum parçacık hızının en yüksek olduğu kalınlık değerinde gerçekleşmesi beklenebilecekken, özellikle daha ağır dokusuz yüzeylerde ve 3000, 4000, 5000 ve 6000

Hz frekanslarında maksimum ses yutuculuk çoğunlukla daha ince dokusuz yüzeylerde ölçülmüştür. 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarında ise maksimum ses yutuculuk en kalın dokusuz yüzeylerde, yani 350, 450 ve 525 g/m² için 40 mm kalınlığında, 700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² için 45 mm kalınlığında gerçekleşmiştir. Dokusuz yüzeylerde katı hacim katsayısı düşüşüne karşılık, hava parçacık hızları 500, 1000 ve 2000 Hz için çok daha fazla arttığından, kalın numunelerde hava parçacığı daha az lif ile sürtünse bile yüksek hava parçacık hızının sürtünmeyi arttırması nedeniyle daha fazla akustik enerji kaybının gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Ayrıca daha ağır dokusuz yüzeylerde katı hacim katsayısının daha ani düşüşüne karşılık, ortalama maksimum hava parçacık hızlarının artışı yavaşladığından, bu maksimum ses yutuculuğun ölçüldüğü daha ince numunelerde ortalama maksimum parçacık hızı daha yavaş olmasına rağmen daha fazla sayıda lif ile sürtünme gerçekleştiğinden, hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme kayıplarının ve dolayısıyla akustik enerji kaybının daha fazla gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Hacimli dokusuz yüzeylerin artan gramaja bağlı olarak ses yutuculuk özelliklerindeki değişim incelendiğinde ise, tamamına yakın kalınlık değerlerinde artan gramaj değerleri ile ses yutuculuk artmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü sabit kalınlıkta artan gramaj dokusuz yüzeyin daha lifli olması anlamına gelir, öyle ki hava geçirgenlik sonuçları da sabit kalınlıkta, artan gramajla daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla ağır dokusuz yüzeylerde lifler daha sıkı paketlenmiş ve birbirine daha yakın durmaktadır, başka bir deyişle katı hacim katsayıları nispeten yüksektir. Böylelikle ses dalgasının ilettiği enerji ile salınım yapan hava parçacıklarının, ağır dokusuz yüzeylerde daha fazla lif ile sürtünme ihtimalleri artmaktadır. Böylelikle artan hava parçacığı-lif yüzeyi arasındaki sürtünme kayıpları nedeniyle akustik enerji kaybının arttığını söyleyebiliriz.

Sabit kalınlık ve sabit gramaj değerindeki hacimli dokusuz yüzey örneklerinin ses yutuculuk davranışlarını frekans değişimine bağlı olarak incelendiğinde, dokusuz yüzeyin ses yutuculuk davranışının dokusuz yüzey yapısal parametreleriyle değil ancak malzeme içindeki hava parçacıklarının hareketlerini inceleyerek açıklanabileceği görülmektedir. Tüm hacimli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk katsayıları ile maksimum parçacık hızı arasındaki korelasyon katsayıları 0,90'ın üzerinde hesaplanmıştır. Sonuçların 1'e yakın hesaplanması, frekans değişimi ile hacimli

dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk davranışının değişiminin büyük oranda yapı içindeki parçacık hızları ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Ses yutuculuk özellikleri incelenen deniz içinde ada dokusuz yüzeyleri ile hacimli dokusuz yüzeyler kullanılarak oluşturulan kompozit yapıli dokusuz yüzeylerin ses yutuculuk özellikleri incelenmiştir. Öncelikle hacimli dokusuz yüzeyin üstüne eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 1 adalı dokusuz yüzey yerleştirildiğinde, ses yutuculuk katsayılarında müthiş bir yükseliş kaydedilmiştir. Kalınlık ve ağırlıkta küçük nitelendirebilecek artışlara rağmen ses yutuculuktaki bu büyük artış ancak kompakt yapıli 1 ada dokusuz yüzeyin hava parçacık hızlarının çok daha yüksek olduğu bölgeye getirilmesinden dolayı, artan hava parçacık-lif sürtünmesi ve dolayısıyla gerçekleşen akustik enerji kaybı ile açıklanabilir.

Hacimli dokusuz yüzeyin üstüne eğirmeli bağlantı yöntemiyle üretilmiş 108 adalı dokusuz yüzey yerleştirildiğinde ise malzeme beklenenin dışında bir ses yutuculuk davranışı göstermiştir. Öyle ki; ses yutuculuk katsayısı alt katman olarak 350 g/m² gramaj değerine sahip dokusuz yüzey kullanıldığında 2336 Hz, 525 g/m² gramaj değerine sahip dokusuz yüzey kullanıldığında da 2200 Hz frekans değerinde en yüksek değerine ulaşp daha sonra frekans arttıkça azalmaktadır. Ses yutuculuk katsayısında, nispeten düşük frekanslardaki bu ani artışın sebebi çoğu lifli-gözenekli malzemenin ses yutuculuk mekanizması olan hava parçacığı-lif sürtünmesi ile enerji kaybı şeklinde açıklanamamaktadır. Burada çoğunlukla, ses dalgaları 108 adalı dokusuz yüzey ve dokusuz yüzey arkasındaki elastik (hacimli dokusuz yüzeydeki lifler ve onları saran hava) yapı ile birlikte oluşturduğu sistemi titreştirerek ses yutuculuk sağlanır. Sonuç olarak 108 adalı kompozit yapıli dokusuz yüzeyin nispeten düşük frekanslardaki yüksek ses yutuculuğu önemli bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca hacimli dokusuz yüzeyde yapılabilecek değişikliklerle, yutuculuğun yüksek istendiği frekans aralıkları belirli sınırlar dahilinde değiştirilebilmektedir. Bu sonuçlar ışığında uygulamaya özel, yüksek ses yutuculuk özelliği olan kompozit malzeme tasarlayabilme olanağı doğmuştur. 108 ada dokusuz yüzey ile oluşturulmuş kompozit yapının ses yutuculuğu, ticari olarak satılan kompozit malzeme ile karşılaştırıldığında, dokusuz yüzey kompozit yapının düşük ve orta frekanslarda ses yutuculuk açısından üstünlüğü görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada geliştirilen nanolif (108 adalı) kompozit yapıli

dokusuz yüzeyin tavan döşemeliği olarak kullanılması durumunda sürücü ve seyahat eden yolcuların kendilerini daha rahat ve konforlu hissetmeleri sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

Albrecht, W., Fuchs, H., Kittelmann, W., 2003. Nonwoven Fabrics. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH, Co.

Anantharamaiah, N., Verenich, S., Pourdeyhimi, B., 2008. Durable nonwoven fabrics via fracturing bicomponent islands-in-the-sea filaments. *Journal of Engineered Fibers and Fabric*, 3(3), pp. 1-9.

Anonim(a), 2012. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.
<http://gurultu.cevreorman.gov.tr/gurultu/AnaSayfa/gurultu/sagliketkileri.aspx?sflang=tr>
[Erişim tarihi: 23 Ağustos 2012].

Anonim(b), 2009. Impedance Tube Kit (50Hz – 6.4 kHz) — Type 4206 Product Data Sheet, Nærum-Denmark: Brüel, Kjær Sound, Vibration Measurement A/S.

Anonim(c), 2009. Capillary Flow Porometer, New York: Porous Material Inc.

Aso, S., Kinoshita, R., 1963. Absorption of Sound Wave by Fabrics Part 1: Absorption Mechanism. *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*, January.pp. 32-39.

Aso, S., Kinoshita, R., 1964. Sound Absorption Characteristics of Fiber Assemblies. *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*, 10(5), pp. 209-217.

Aso, S., Kinoshita, R., 1965. Maximum Sound Absorption Coefficient of a Fiber Assembly. *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*, 11(3), pp. 81-87.

Aso, S., Kinoshita, R., 1966. Sound Absorption Coefficient of Glass Wool. *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*, 12(3), pp. 101-106.

Batra, S. K., Pourdeyhimi, B., 2011. Introduction to Nonwovens Technology. Lancaster, Pa.: DEStech Publications Inc..

Batra, S. K., Pourdeyhimi, B., 2012. Introduction to Nonwovens Technology. *Textile World*, May / June.

Batt, T., Dauner, M., Planck, H., 2011. Experimentelle Analyse der Feinst – Faserbildung im Meltblow – Prozess (English version). Frankfurt.

Bresee, R. R., Qureshi, U. A., 2004. Influence of Processing Conditions On Melt Blown Web Structure: Part 1 – DCD. *International Nonwovens Journal*, Spring.pp. 49-55.

Bresee, R. R., Qureshi, U. A., 2006. Influence Of Process Conditions On Melt Blown Web Structure. Part IV - Fiber Diameter. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 1(1), pp. 32-46.

- Byun, H. S., Lee, T. G., 2001.** A study on the characteristic of sound absorption of the polyester non-woven fabrics used for the automobile sound absorption material. *Polymer (Korea)*, 25(3), pp. 427-434.
- Coates, M., 2002.** Better Acoustic Insulation For Australia's Car. *Technical Textiles International*, 11(4), p. 5.
- Coates, M., Kierzkowski, M., 2002.** Acoustic Textiles – Lighter, Thinner And More Sound Absorbent. *Technical Textiles International*, September, pp. 15-18.
- Cox, T. J., D'Antonio, P., 2004.** Acoustic Absorbers and Diffusers. ISBN 0-415-29649-8 London: Spon Pres.
- Dahiya, A., Kamath, M. G., Hegde, R. R., 2004.** Melt Blown Technology. <http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Melt%20Blown%20Technology.htm>
[Erişim tarihi: 19 Ağustos 2009].
- Dasdemir, M., Maze, B., Anantharamaiah, N., Pourdeyhimi, B., 2011.** Influence of polymer interface on Bicomponent Fiber. Istanbul, Namık Kemal University, pp. 40-47.
- Demir, A., Tascan, M., 2009.** Drastic decrease in weight via better noise insulation. *TUT Textiles a Usages Techniques*, 5(71), pp. 34-38.
- Demirkale, S. Y., 2007.** Çevre Ve Yapı Akustiği Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Diñcer, S., Yalçın, S., 2002.** Akustik ve Optik. Bursa: Uludağ Üniversitesi Basımevi.
- Durany, A., Anantharamaiah, N., Pourdeyhimi, B., 2009.** High surface area nonwovens via fibrillating spunbonded nonwovens comprising Islands-in-the-Sea bicomponent filaments: structure–process–property relationships. *Journal of Material Science*, Cilt 44, p. 5926–5934.
- Ellison, C. J., 2007.** Melt blown nanofibers: Fiber diameter distributions and onset of fiber breakup. *Polymer*, Cilt 48, pp. 3306-3316.
- Everest, A. F., 2001.** Master Handbook of Acoustics, Fourth Edition. USA: McGraw-Hill.
- Fedorova, N., Pourdeyhimi, B., 2007.** High Strength Nylon Micro- and Nanofiber Based Nonwovens via Spunbonding. *Journal of Applied Polymer Science*, Cilt 104, p. 3434–3442.
- Fowler, M., 2007.** Lectures on Oscillations and Waves. s.l.:UVA.
- Genis, A. V., Kostyleva, E. Y., Andrianova, L. N., Martemyanov, V. A., 1990a.** Comparative Evaluation of Acoustical Properties of Heat-Bonded And Needle-punched

Fibrous Materials Prepared from Polymer Melts. *Fibre Chemistry (Translated from Khimicheskie Volokna)*, pp. 479-482.

Genis, A. V., Kostyleva, E. Y., Kostylev, V. A., 1990b. Sound-Absorbing Properties Of Fibrous Materials Prepared By The Aerodynamic Method. *Fibre Chemistry (Translated from Khimicheskie Volokna)*, pp. 389-392.

Gün, A. D., Demircan, B., Şevkan, A., 2011. Mikroliflerin Üretim Yöntemleri, Özellikleri Ve Kullanım Alanları. *Tekstil ve Mühendis*, Yıl:18(83), pp. 38-46.

Haughton, P. M., 2002. Acoustics for Audiologists. s.l.:Academic Press.

Hegde, R. R., Dahiya, A., Kamath, M. G., 2004a. Bicomponent Fibers.
<http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Bicomponentfibers.htm>
[Erişim tarihi: 25 Haziran 2010].

Hedge, R. R., Dahiya, A., Kamath, M. G., 2004b. Olefin Fiber.
<http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Olefin fibers.htm> [Erişim tarihi: 15 07 2010].

Hegde, R. R., Dahiya, A., Kamath, M. G., 2005. Nanofiber Nonwovens.
<http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Nanofiber%20Nonwovens.htm>
[Erişim tarihi: 19 Ağustos 2009].

Hemond, C. J., 1983. Engineering acoustics and noise control. s.l.:Prentice-Hall.

Horrocks, A. R., Ananad, S. C., 2000. Handbook of Technical Textiles. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.

<http://www.dow.com/voractiv/benefits/stain.htm>, 2012. [Erişim tarihi: 14 Şubat 2012].

<http://www.elmarco.com>, 2011. [Erişim tarihi: 5 Kasım 2011].

<http://www.thenonwovensinstitute.com>, 2010. [Erişim tarihi: 25 Haziran 2010].

<http://www.toptec.co.kr>, 2011. [Erişim tarihi: 5 Kasım 2011].

<http://www.truetzschler-nonwovens.de>, 2011. Truetzschler Scanfeed System.
[Erişim tarihi: 01 08 2011].

<http://www.v-lap.com>, 2009. [Erişim tarihi: 5 Aralık 2009].

http://www.bstnc.co.kr/product/3300-III_leaflet_en.pdf [Erişim tarihi: 31 10 2012].

Hui, Z., Fan, X., 2009. Sound absorbtion properties of hemp fibrous assembly absorbers. *SEN'I GAKKAISHI*, 65(7), pp. 191-196.

Işikel, K., 2006. Endüstri Tesislerinde Gürültü Kontrolü ve Uygulamaları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Cilt 91, pp. 69-73.

- Jayaraman, K. A., 2005.** Acoustical Absorptive Properties of Nonwovens, Raleigh.
- Jena, A., Gupta, K., 2003.** Liquid Extrusion Techniques for Pore Structure Evaluation of Nonwovens. *Int. Nonwoven J.*, Issue 12, pp. 45-53.
- Kant, C. K., 2007.** Auto textiles industry told to step up output. *Business Standard*, 31 August.
- Kaynak, H. K., Babaarslan, O., 2009.** Mikroliflerin Tekstil Endüstrisindeki Yeri ve Önemi. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3), pp. 70-83.
- Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B., Sanders, J. V., 2000.** Fundamentals of Acoustics (Fourth Edition). USA: John Wiley, Sons, Inc..
- Lanzara, R. G., 1994.** Weber's Law Modeled by the Mathematical Description of a Beam Balance. *Mathematical Biosciences*, Cilt 122, pp. 89-94.
- Lee, Y. E., Joo, C. W., 2003.** Sound Absorption Properties Of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers. *AUTEX Research Journal*, June, Cilt 3, pp. 78-84.
- Lee, Y. E., Joo, C. W., 2004.** Sound Absorption Properties of Thermally Bonded Nonwovens Based on Composing Fibers and Production Parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, Cilt 92, pp. 2295-2302.
- Lewin, M., 1996.** Handbook of Fiber Science and Technology. Vol. 3, Pt. D : High Technology Fibers. s.l.:CRC Press.
- Li, J., 2007.** A Study on the Relationship between the Thickness Of Nonwoven and Its Sound Absorption Capability. *Modern Applied Science*, November, 1(4), pp. 74-76.
- Morin, D., 2008.** Introduction to Classical Mechanics. s.l.:Cambridge University Press.
- Moskowitz, M. A., 2002.** A Course in Complex Analysis in One Variable. s.l.:World Scientific Publishing Co.
- Mukhopadhyay, S., Ramakrishnan, G., 2008.** Microfibres. *Textile Progress*, 40(1), pp. 1-86.
- Na, Y., Lancaster, J., Casali, J., Cho, G., 2007.** Sound Absorption Coefficients of Micro-fiber Fabrics by Reverberation Room Method. *Textile Research Journal*, 77(5), pp. 330-335.
- Nick, A., Becker, U., Thoma, W., 2002.** Improved Acoustic Behavior of Interior Parts of Renewable Resources in the Automotive Industry. *Journal of Polymers and the Environment*, July, 10(3), pp. 115-118.
- Pourdeyhimi, B., 2011.** The World of Nonwovens. *TAPPI Paper 360*, September / October, pp. 38-40.

- Purane, S. V., Panigrahi, N. R., 2007.** Microfibers microfilaments and their applications. *Autex Research Journal*, 7(3), pp. 148-158.
- Reddy, K. R., Badami, S. B., Bailasubramanian, V., 1994.** Oscillations and Waves. s.l.:Universities Press.
- Rettinger, M., 1968.** Acoustics: Room Design and Noise Control. New York: Chemical Publishing Co. Inc..
- Rusell, S. J., 2007.** Handbook of Nonwovens. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.
- Ryu, Y., 2002.** The Acoustic Impedance Measurement System Using Two Microphones, Denmark: BRUEL, KJAER SOUND, VIBRATION MEASUREMENT A/S.
- Ryu, Y., Kim, Y. S., 1998.** Sound Quality Testing And Evaluation For Passenger Vehicle.
- Sears, J. R., Sears, F. W., Wehr, M. R., Zemansky, M. W., 2001.** Modern Üniversite Fiziği Cilt 1. s.l.:Çağlayan Kitabevi.
- Serway, R. A., Beichner, R. J., 2000.** Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. s.l.:Sounders College Publishing.
- Shoshani, Y., Rosenhouse, G., 1990.** Noise absorption by woven fabrics. *Applied Acoustics*, Cilt 30, pp. 321-333.
- Su, W., Li, X. Y., Liu, S. S., 2009.** Influence of thickness and density on sound-absorption capability of nonwoven sound-absorbing material. *Journal of Tianjin Polytechnic University*, 28(3), pp. 34-36.
- Süvari, F., Ulcay, Y., 2011.** Spunbond-Bikomponent Teknolojisiyle Mikro- Ve Nanolif Yüzey Üretim Metodu Ve Tekstilde Olası Uygulamaları. Kahramanmaraş.
- Süvari, F., Ulcay, Y., 2012.** ITMA – 2011 Fuarında Sergilenen Dokusuz Yüzey Makineleri Ve Teknolojik Gelişmeler, Bursa: BUTEKOM.
- Tanchis, G., 2008.** The Nonwovens Reference Books of Textiles Technologies. s.l.:Fondazione Acimit.
- Tascan, M., Vaughn, E. A., 2008a.** Effects of Fiber Denier, Fiber Cross-Sectional Shape and Fabric Density on Acoustical Behavior of Vertically Lapped Nonwoven Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3(2), pp. 32-38.

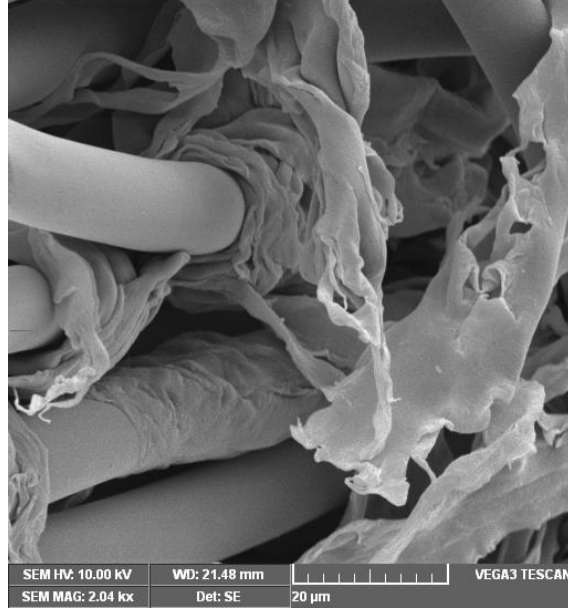
- Tascan, M., Vaughn, E. A., 2008b.** Effects of Total Surface Area and Fabric Density on the Acoustical Behavior of Needlepunched Nonwoven Fabrics. *Textile Research Journal*, 78(4), pp. 289-296.
- Teli, M. D., Pal, A., Roy, D., 2007.** Efficacy of Nonwoven Materials as Sound Insulator. *Indian Journal of Fibre, Textile Research*, June, Cilt 32, pp. 202-206.
- Vasile, S., Langenhove, L. V., 2004.** Automotive Industry a high potential market for nonwovens sound insulation. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Winter, 3(4), pp. 1-5.
- Vujasinovic, E., Bozic, M., Bolkovac, I., Domitrovic, H., 2008.** Sound Absorption by Advanced Textile Materials. Dubrovnik Croatia, s.n., pp. 1136-1139.
- Wang, C. N., Torng, J. H., 2001.** Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials. *Applied Acoustics*, Cilt 62, pp. 447-459.
- Witt, M., 1980.** Noise Control A Guide for Workers and Employers, s.l.: U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration.
- Wolfe, J., 2012.** The wave equation for sound. <http://www.phys.unsw.edu.au/>
[Erişim tarihi: 20 Şubat 2012].
- Zent, A., Long, J. T., 2007.** Automotive Sound Absorbing Material Survey Results. *SAE International*.

EKLER

- EK 1** Deniz İçinde Ada Liflerinden Üretilmiş Dokusuz Yüzeylerin Enine Kesitlerinin SEM Görüntüleri
- EK 2** Sabit Kalınlık (25, 30, 35, 40, 45 mm) Değerinde Farklı Frekanslarda, Gramaj Değişimi İle Ses Yutuculuk Katsayılarındaki Değişim
- EK 3** 700, 900, 1050, 1350, 1575 g/m² Gramaj Değerlerindeki Dokusuz Yüzeylerin Frekans Değişimi ile Ses Yutuculuk Özelliklerindeki Değişim

EK 1

Deniz İçinde Ada Liflerinden Üretilmiş Dokusuz Yüzeylerin Enine Kesitlerinin SEM Görüntüleri



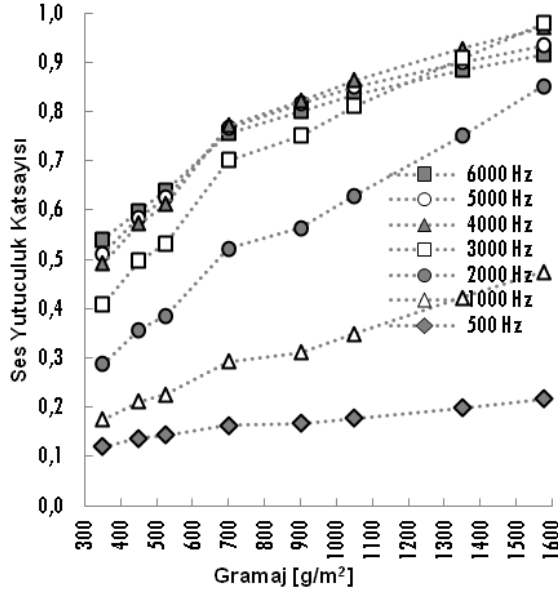
Yukarıdaki şekilde, su jetleriyle muamele sonucu 1 adaya sahip dokusuz yüzeyin ada lifinin deniz polimerinden ayrılmış hali görülmektedir.



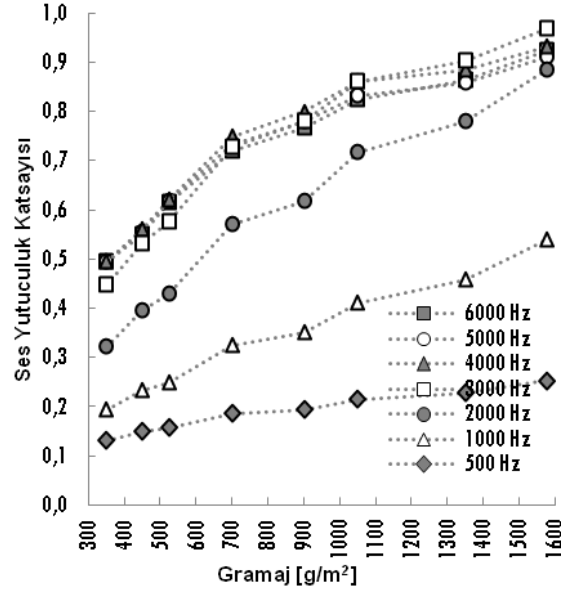
Yukarıdaki şekilde 3 pasaj su jeti işleminin (67452 kJ/kg), 37 adaya sahip dokusuz yüzeyin ada liflerinin birbiri içine geçmesini sağlamıştır.

EK 2

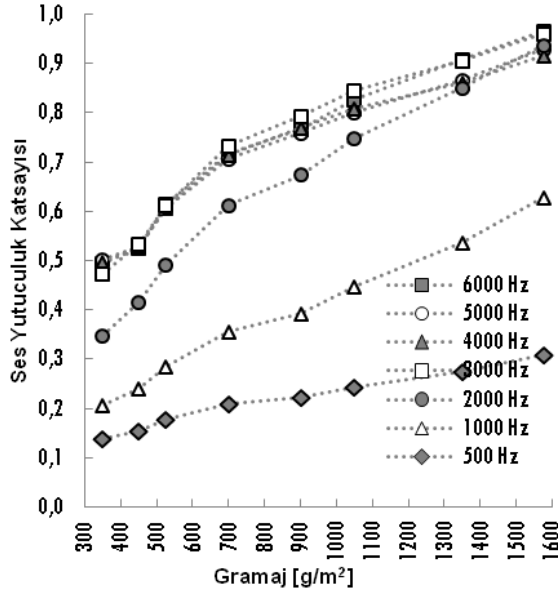
Sabit Kalınlık (25, 30, 35, 40, 45 mm) Değerinde Farklı Frekanslarda, Gramaj Değişimi İle Ses Yutuculuk Katsayılarındaki Değişim



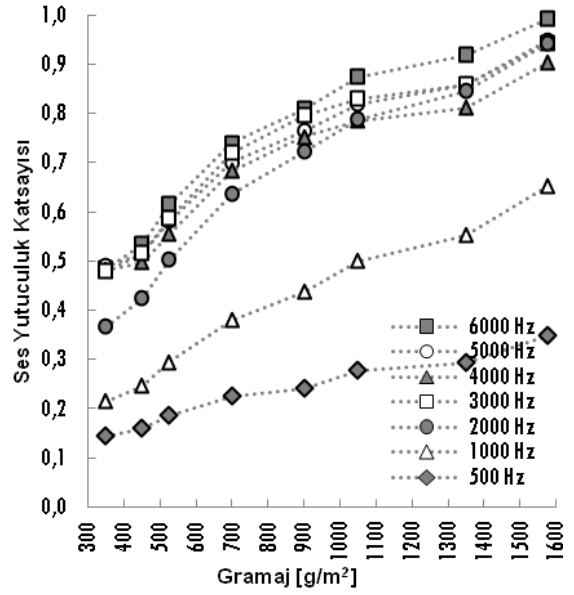
25 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk



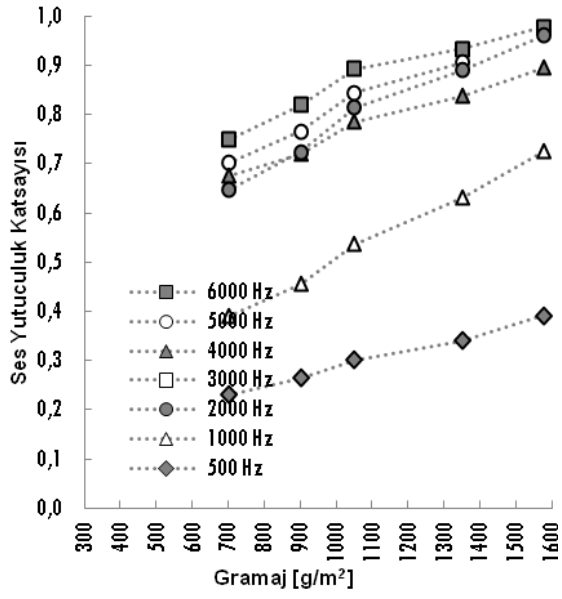
30 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk



35 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk



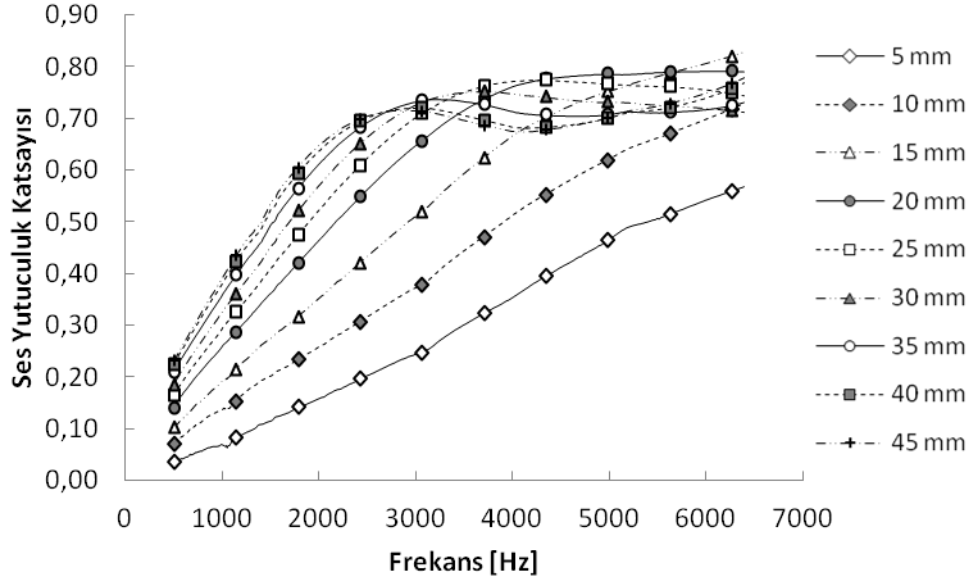
40 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk



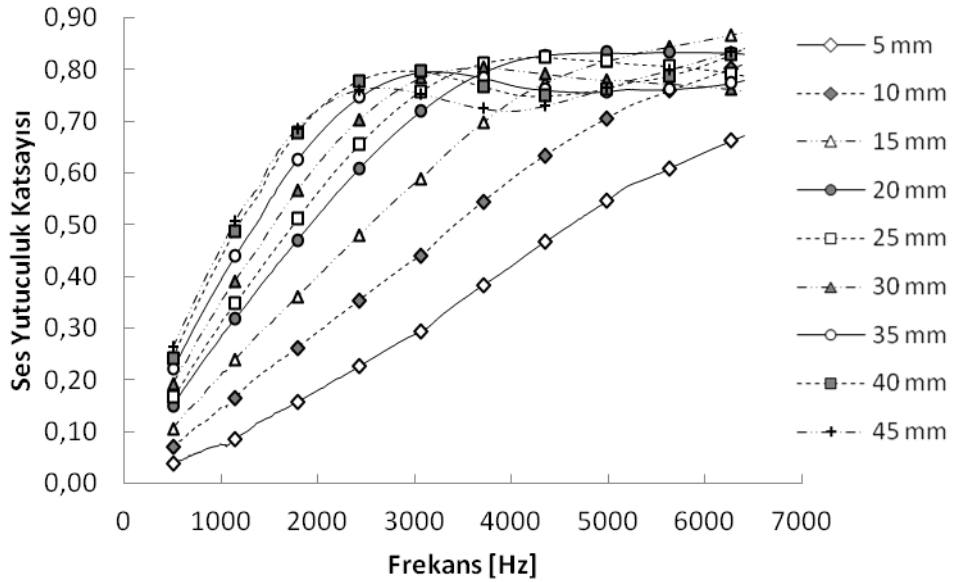
45 mm sabit kalınlıkta ses yutuculuk

EK 3

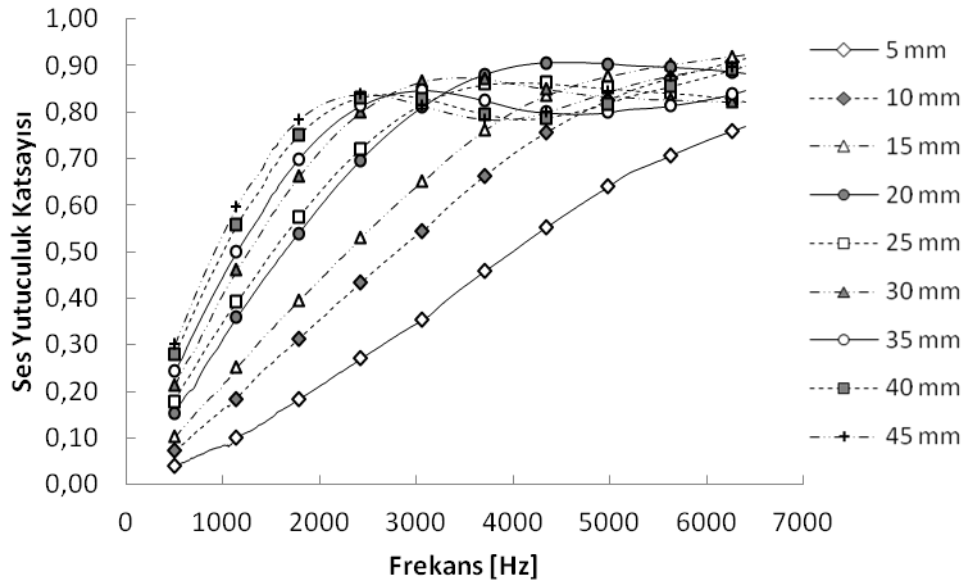
700, 900, 1050, 1350 ve 1575 g/m² Gramaj Değerlerindeki Dokusuz Yüzeylerin Frekans Değişimi ile Ses Yutuculuk Özelliklerindeki Değişim



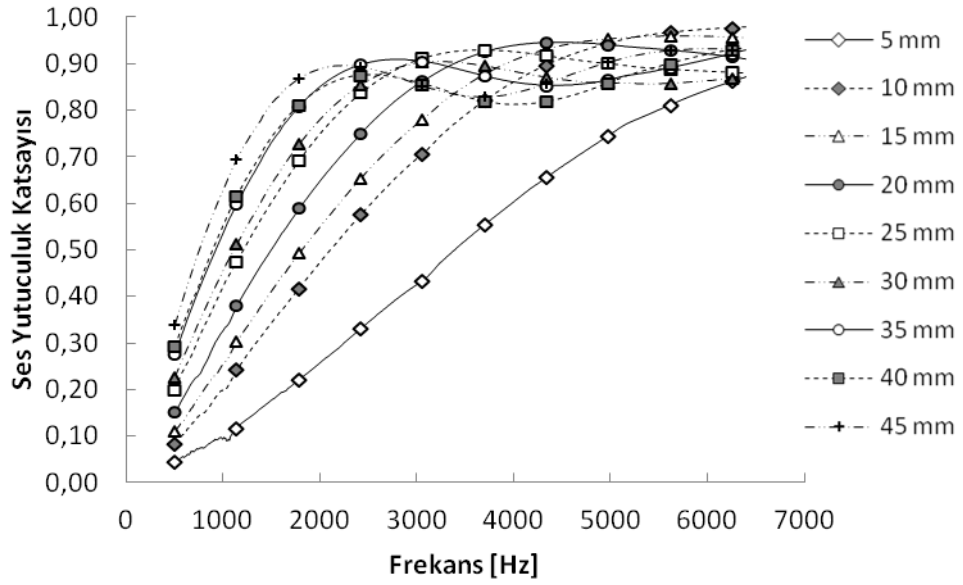
700 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin frekans artışı ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim



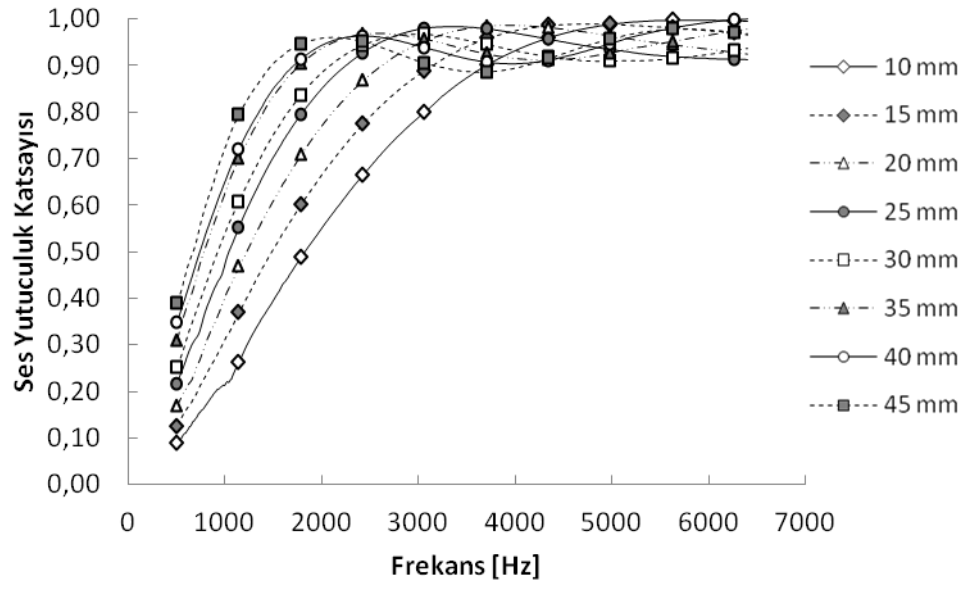
900 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin frekans artışı ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim



1050 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin frekans artışı ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim



1350 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin frekans artışı ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim



1575 g/m² gramaj değerindeki dokusuz yüzeylerin frekans artışı ile ses yutuculuk katsayılarındaki değişim

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih SÜVARI
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa – 1983
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi
(1995 – 2002)

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık
Fakültesi, Tekstil Mühendisliği (2002 – 2006)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı (2006 -2008)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü
(2008 –)

İletişim (e-posta) : fuvari@yahoo.com

Yayınları:

Süvari, F., Meriç B., 2008. Measurement of Seam Puckering With Image Analysis Approach, (in Turkish) *Uludag University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, Vol: 13, No: 2.

Suvari, F., Meriç B., 2008. New Measurement and Evaluation Methods of Seam Puckering, 4th International Textile, Clothing, Design Conference, October 5-8, Dubrovnik , Croatia.

Suvari, F., Ulcay Y., Pourdeyhimi B., 2010. Evaluating the Potential Use of Nonwoven Fabrics Made From Islands in the Sea Fibers as a Sound Absorber, TAPPI 2010 Innovative Nonwovens Conference, November 10-12, Raleigh, NC, USA.

Süvari, F., Ulcay Y., 2011. Spunbond-Bikomponent Teknolojisiyle Mikro- ve Nanolif Yüzey Üretim Metodu ve Tekstilde Olası Uygulamaları, V. Ulusal Tekstil Boya ve Kimyasalları Kongresi, Nisan 27-29, Kahramanmaraş, Türkiye.

Süvari, F., Ulcay Y., 2011. Experimental Investigation Into Sound Absorptive Properties of PET/PP High Loft Nonwovens, Proceedings of International Congress of Innovative Textiles ICONTEX 2011, October 20-22, Istanbul, TURKEY.

Suvari, F., Ulcay Y., Pourdeyhimi B., 2012. Sound Absorptive Nonwovens for Indoor Structures, The Fiber Society 2012 Spring Conference, May 23-25, St. Gallen, Switzerland.

Suvari, F., Ulcay Y., Pourdeyhimi B., 2012. Sound absorption behaviour of multi-layer islands in the sea nonwovens, 5th Technical Textile Congress, November 7-9, Izmir, Turkey.

Suvari, F., Ulcay Y., 2012. On the Design Method of Lightweight Construction Materials: Structural Characteristics - Tearing Strength Relationship, The Fiber Society 2012 Fall Conference, November 7-9 2012, Boston, Massachusetts, USA.

Suvari, F., Ulcay Y., Maze B., Pourdeyhimi B., 2012. Acoustical Absorptive Properties of Spunbonded Nonwovens Made From Islands-in-the-Sea Bicomponent Filaments, *Journal of the Textile Institute*, December.

Süvari, F., Ulcay Y., 2012. Teknik Tekstil 2011 Frankfurt Fuarı Teknolojik Değerlendirme Raporu; İnşaat Teknik Tekstilleri (Buildtech), Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, Ekim 2012, ISBN 978-605-63376-0-4

Süvari, F., Ulcay Y., 2012. ITMA 2011 Uluslararası Tekstil Makineleri Fuarı Teknolojik Değerlendirme Raporu; ITMA 2011 Fuarı'nda Sergilenen Dokusuz Yüzey Makineleri Ve Teknolojik Gelişmeler, Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, Ekim 2012, ISBN 978-605-63376-1-1

