

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SUALTI AKUSTİK SOĞURMA UYGULAMALARI**

**DOKTORA TEZİ**  
**BARIŞ ŞAHİNER**  
**(151238001)**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ DOKTORA PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK**

**ŞUBAT 2019**



14/03/2019



T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DOKTORA TEZ ONAY BELGESİ

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Doktora Programı 151238001 numaralı öğrencisi Barış ŞAHİNER'in "Sualtı Akustik Soğurma Uygulamaları" adlı doktora tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 25/02/2019 tarih ve 2019/04 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından *başarıyla* ile Doktora tezi olarak *kabul* edilmiştir.

	Unvan- Ad-Soyad	İmza
Tez Danışmanı	Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK	<i>S. Özbek</i>
İkinci Danışman	Prof. Dr. Tarık BAYKARA	<i>Tarık Baykara</i>

Jüri Üyeleri	Unvan- Ad-Soyad	İmza
Üye	Prof. Dr. Serdar SALMAN	<i>S. Salman</i>
Üye	Prof. Dr. H. Özkan GÜLSOY	<i>Gülsoy</i>
Üye	Dr. Öğr. Üy. Bülent İmamoğlu	<i>B. İmamoğlu</i>
Üye	Dr. Öğr. Üy. Zeynep Taşlıcanlı ÖZTÜRK	<i>Z. Öztürk</i>
Üye	Dr. Öğr. üyesi Tuba Karahan	<i>T. Karahan</i>

Tezin Savunulduğu Tarih : 14/03/2019

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Prof. Dr. Feriha ERFAN KUYUMCU

Enstitü Müdür V.



## YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum ‘‘Sualtı Akustik Soğurma Uygulamaları’’ adlı çalışmanın, tezin proje safhasında sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yadıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden olduğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (21/02/2019)

Barış şAHİNER





## **ÖNSÖZ**

Başta sevgili ailem ve değerli eşim olmak üzere; tezimin her safhasında beni destekleyen, motive eden ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan tüm arkadaşlarıma ve tez aşamasında fikirlerini benimle paylaşıp kıymetli zamanını ayıran herkese teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında değerli bilgilerini benimle paylaşarak yol gösteren, çalışmanın her safhasında olumlu yönde motive olmamı sağlayan tez danışmanlarım Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK'e ve Prof. Dr. Tarık BAYKARA'ya, malzeme üretimi sürecinde yardımlarını eksik etmeyen Sayın Alparslan DEMİRURAL ve Doğu Üniversitesi Makine İleri Teknolojiler Laboratuvarı personeline, hiçbir karşılık beklemeden akustik testlerin yapılabilmesi maksadıyla SUASİS'in test imkanlarından faydalanmama müsaade eden Sayın Tuncay AKAL'a, başta Sayın Doç.Dr.Hakan BAŞARAN olmak üzere ölçümlerin yapılması esnasında yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşan tüm Koç Savunma A.Ş. çalışanlarına saygılarımı arz ederim.

**Şubat 2019**

**Barış ŞAHİNER**





# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ ONAY FORMU</b> .....	iii
<b>YEMİN METNİ</b> .....	v
<b>ÖNSÖZ</b> .....	vii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR</b> .....	xiii
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xv
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xvii
<b>ÖZET</b> .....	xix
<b>ABSTRACT</b> .....	xxi
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
1.1 Araştırmanın Konusu .....	1
1.2 Araştırmanın Amacı .....	1
1.2.1 Ana amaç .....	1
1.2.2 Alt amaçlar.....	1
1.3 Araştırmanın Önemi .....	2
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sualtı Akustigi.....	5
2.1.1 Sesin tanımı.....	6
2.1.2 Sesin yayılması ve Ses gradyanları.....	6
2.1.2.1 İzotermal gradyan.....	7
2.1.2.2 Negatif gradyan .....	7
2.1.2.3 Pozitif gradyan .....	7
2.1.2.4 Tabaka derinliği .....	8
2.1.2.5 Karışım tabakası.....	8
2.1.2.6 Ana termoklin.....	8
2.1.2.7 Derin tabaka .....	9
2.1.2.8 Ses kanalı .....	9
2.1.2.9 Yüzey kanalı.....	9
2.1.2.10 Gölge bölgesi .....	9
2.1.2.11 Toplanma bölgesi.....	10
2.1.2.12 Dip sıçraması.....	11
2.1.3 Ses ile ilgili temel kavramlar .....	11
2.1.3.1 Frekans .....	11
2.1.3.2 Periyot .....	11
2.1.3.3 Dalga boyu .....	11
2.1.3.4 Genlik.....	12
2.1.3.5 Ses şiddeti.....	12
2.1.3.6 Desibel.....	12
2.1.3.7 Ses yutma katsayısı .....	13
2.1.3.8 Akustik empedans .....	13
2.1.4 Ses çeşitleri .....	13
2.1.5 Snell kanunu .....	13

2.1.6 Sualtı ortamı.....	14
2.1.6.1 Ses hızı .....	15
2.1.6.2 Ses hızı profili .....	15
2.1.6.3 Sıcaklık.....	17
2.1.6.4 Tuzluluk .....	18
2.1.6.5 Basınç .....	19
2.1.7 Temel akustik denklemler.....	20
2.1.7.1 Durum denklemi.....	20
2.1.7.2 Lineerleştirilmiş süreklilik denklemi .....	20
2.1.7.3 Lineerleştirilmiş Euler denklemi .....	21
2.1.8 Akustik dalga denklemi .....	21
2.1.9 Akustik şiddet, Akustik güç ve Enerji .....	22
2.2 Sonar.....	23
2.2.1 Aktif sonar sistemi .....	24
2.2.2 Pasif sonar sistemi.....	25
2.2.3 Kullanım alanlarına göre sonar çeşitleri .....	25
2.2.3.1 Yakalama sonarı.....	25
2.2.3.2 Haberleşme sonarı .....	26
2.2.3.3 Mayın tarama sonarları.....	26
2.2.3.4 Mayın avlama sonarları .....	26
2.2.3.5 Yandan taramalı sonarlar .....	26
2.2.3.6 İskandiller.....	26
2.2.4 Radar yerine sonar kullanımı .....	27
2.2.5 Sonar parametreleri .....	27
2.2.5.1 Kaynak seviyesi.....	27
2.2.5.2 Alış yönlendirme indeksi .....	28
2.2.5.3 Tespit eşiği .....	29
2.2.6 Transmisyon (İletim) kayıpları .....	29
2.2.6.1 Sesin dağılması.....	30
2.2.6.2 Soğurulma kayıpları .....	31
2.2.6.3 Yansıma.....	31
2.2.6.4 Kırılma .....	32
2.2.6.5 Saçılma ve Reverberasyon .....	32
2.2.7 Gürültü .....	32
2.2.7.1 Isıl gürültü .....	33
2.2.7.2 Deniz (Çevre) gürültüsü .....	33
2.2.7.3 Gemi gürültüsü.....	34
2.2.8 Hedef Kuvveti.....	35
2.2.8.1 Hedef kuvveti değerlerinin azaltılması .....	35
2.2.9 Temel sonar denklemleri.....	37
2.3 Kompozit Malzemeler .....	38
2.3.1 Mühendislikte kullanılan malzemelerin genel özellikleri.....	38
2.3.2 Kompozit malzemelerin yapısı .....	40
2.3.3 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları.....	41
2.3.4 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	42
2.3.5 Matris malzemeye göre sınıflandırma .....	42
2.3.5.1 Metal matrisli kompozitler .....	42
2.3.5.2 Seramik matrisli kompozitler .....	43
2.3.5.3 Polimer matrisli kompozitler.....	43
2.3.6 Takviye malzemeye göre sınıflandırma.....	45

2.3.6.1 Elyaf takviyeli kompozitler.....	45
2.3.6.2 Parçacık takviyeli kompozitler.....	45
2.3.6.3 Tabakalı kompozitler .....	46
2.3.6.4 Karma kompozitler .....	46
2.3.7 Kompozit malzeme üretim yöntemleri .....	46
2.4 Malzemenin Akustik Özelliğine Etki Eden Temel Faktörler .....	47
2.4.1 Makroskobik özellikler .....	48
2.4.1.1 Gözeneklilik .....	48
2.4.1.2 Gözenek şekil faktörü ve Karakteristik boyutlar .....	49
2.4.1.3 İç yapı.....	51
2.4.2 Geometrik ve mekanik özellikler.....	51
<b>3. GEREÇ ve YÖNTEM.....</b>	<b>53</b>
3.1 Sualtında Kullanılan Konvansiyonel Kompozit/ Hibrid Akustik Malzemeler	53
3.1.1 Malzeme seçimi .....	55
3.1.1.1 Referans metal plaka .....	56
3.1.1.2 Köpük filtre esaslı plakalar .....	56
3.1.1.3 Kauçuk kaplı petekyapılı plakalar.....	57
3.1.1.4 Lamine plaka .....	57
3.2 Akustik Testler .....	58
3.2.1 Akustik test ortamının belirlenmesi.....	58
3.2.2 Akustik test havuzu.....	60
3.2.3 Akustik test düzeneği.....	61
3.2.4 Transduser, Hidrofon ve Test plakasının konumlandırılması.....	62
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>63</b>
4.1 Akustik Testler .....	63
4.2 Referans Çelik Saç Plaka Ölçümleri .....	64
4.3 Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka (Plaka-1) Ölçümleri.....	64
4.4 Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka (Plaka-2) Ölçümleri.....	65
4.5 İnorganik Köpük Plaka (Plaka-3) Ölçümleri.....	65
4.6 İnorganik Köpük Filtre Plaka (Plaka-4) Ölçümleri.....	66
4.7 Kompozit Lamine Plaka (Plaka-5) Ölçümleri.....	66
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>67</b>
5.1 Hidrofonlarda Ölçülen Değerler.....	67
5.2 Hidrofon-1 (Yansıma) .....	68
5.2.1 Hidrofon-1’de ölçülen yansıma değerleri .....	68
5.2.2 Hidrofon-1’de hesaplanan yansıma değerleri .....	69
5.2.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması .....	71
5.3 Hidrofon-2 (Geçirgenlik) .....	72
5.3.1 Hidrofon-2’de ölçülen geçirgenlik değerleri .....	72
5.3.2 Hidrofon-2’de hesaplanan geçirgenlik değerleri .....	73
5.3.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması .....	75
5.4 Hidrofon-3 (Geçirgenlik) .....	75
5.4.1 Hidrofon-3’de ölçülen geçirgenlik değerleri .....	75
5.4.2 Hidrofon-3’de hesaplanan geçirgenlik değerleri .....	77
5.4.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması .....	78
5.5 Hidrofon-4 (60° Saçılma).....	79
5.5.1 Hidrofon-4’de ölçülen saçılma değerleri .....	79
5.5.2 Hidrofon-4’de hesaplanan saçılma değerleri .....	80
5.5.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması .....	82
5.6 Hidrofon-5 (30° Saçılma).....	83

5.6.1 Hidrofon-5’de ölçülen yansıma değerleri .....	83
5.6.2 Hidrofon-5’de hesaplanan saçılma değerleri .....	84
5.6.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması .....	85
<b>6. GENEL SONUÇLAR .....</b>	<b>87</b>
6.1 Genel Sonuçlar .....	87
<b>7. İLERİYE DÖNÜK YAPILABİLECEK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ.....</b>	<b>91</b>
7.1 İleriye Dönük Öneriler.....	91
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>93</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ABS</b>	: Acrylonitrile-Butadine-Styren
<b>CMC</b>	: Ceramic Matrix Composites
<b>CW</b>	: Continuous Wave
<b>dB</b>	: Desibel
<b>DI</b>	: Directivity Index
<b>DT</b>	: Detection Threshold
<b>FM</b>	: Frequency Modulation
<b>HMS</b>	: Hull Mounted Sonar
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>kHZ</b>	: Kilohertz
<b>MAG</b>	: Mayın Avlama Gemisi
<b>MKT</b>	: Mayın Karşı Tedbirleri
<b>MTB</b>	: Mayın Toplama Botu
<b>MTG</b>	: Mayın Tarama Gemisi
<b>MDS</b>	: Minimum Discernible Signal
<b>MMC</b>	: Metal Matrix Composites
<b>Pa</b>	: Pascal
<b>PA</b>	: Poli amid
<b>PC</b>	: Polikarbonat
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PET</b>	: Polyester
<b>PL</b>	: Propagation Loss
<b>PMC</b>	: Polymer Matrix Composites
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PTFE</b>	: Poli-Tetra-Flor-Etilene
<b>PVC</b>	: Polivinil Klorür
<b>RADAR</b>	: Radio Detection and Ranging
<b>SE</b>	: Signal Excess
<b>SPL</b>	: Sound Pressure Level
<b>SS</b>	: Scattering Strength
<b>SIP</b>	: Sound Intensity Level
<b>SIPRI</b>	: Stockholm International Peace Research Institute
<b>SL</b>	: Source Level
<b>SLD</b>	: Sonic Layer Depth
<b>SNR</b>	: Signal to Noise Ratio
<b>SONAR</b>	: Sound Navigation and Ranging
<b>TL</b>	: Transmission Loss
<b>TS</b>	: Target Strength
<b>VDS</b>	: Variable Depth Sonar



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : Çeşitli Ses Hızı Formüllerinin Aralık ve Parametreleri.....	16
Çizelge 2.1 : Denizin Çevre Gürültüsü.....	33
Çizelge 2.2 : Büyük, Küçük ve Kaplamalı Denizaltıların Hedef Kuvveti.....	37
Çizelge 2.3 : Seramik, Metal ve Polimerlerin Genel Özellikleri.....	40
Çizelge 2.4 : Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	41
Çizelge 2.5 : Sık Kullanılan Termoplastiklerin Özellikleri.....	44
Çizelge 3.1 : 2005 Yılı Ülkelerin Sahip Olduğu MKT Sistem/ Cihazları.....	58
Çizelge 4.1 : Referans Plaka Ölçümleri.....	64
Çizelge 4.2 : Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka-1 Ölçümleri.....	64
Çizelge 4.3 : Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka-2 Ölçümleri.....	65
Çizelge 4.4 : Köpük Filtre Plaka-1 Ölçümleri.....	65
Çizelge 4.5 : Köpük Filtre Plaka-2 Ölçümleri.....	66
Çizelge 4.6 : Lamine Plaka Ölçümleri.....	66
Çizelge 5.1 : 1 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri.....	69
Çizelge 5.2 : 2 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri.....	73
Çizelge 5.3 : 3 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri.....	77
Çizelge 5.4 : 4 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri.....	80
Çizelge 5.5 : 5 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri.....	84





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Ses Gradyanları.....	6
Şekil 2.2 : Su Altındaki Katmanlar.....	7
Şekil 2.3 : Yüzey Kanalı.....	9
Şekil 2.4 : Sığ ve Derin Suda Oluşan Gölge Bölgeleri.....	10
Şekil 2.5 : Toplanma Bölgesi.....	10
Şekil 2.6 : Dip Sıçraması.....	11
Şekil 2.7 : Dalga Boyu, Frekans ve Genlik.....	12
Şekil 2.8 : İki Katmanlı Su Altı Ortamında Sesin Kırılması.....	14
Şekil 2.9 : Ses Hızı ve Derinlik Arasındaki İlişki.....	15
Şekil 2.10 : Sıcaklık ve Derinlik Arasındaki İlişki.....	18
Şekil 2.11 : Tuzluluk ve Derinlik Arasındaki İlişki.....	19
Şekil 2.12 : Basınç ve Derinlik Arasındaki İlişki.....	19
Şekil 2.13 : Aktif Sonar Sistemi Blok Diagramı.....	24
Şekil 2.14 : Pasif Sonar Sistemi Blok Diagramı.....	25
Şekil 2.15 : Sonar Sisteminin Temel Yapısı.....	29
Şekil 2.16 : Küresel ve Silindirik Yayılım.....	30
Şekil 2.17 : Sesin Yansıması.....	31
Şekil 2.18 : Denizin Çevresel Gürültüsü.....	34
Şekil 2.19 : Gemi Hızına Göre Gemi Gürültüsü Değeri.....	35
Şekil 2.20 : Derinlik ve Sıcaklığa Göre Tipik Alberich Tasarımı.....	36
Şekil 2.21 : Mühendislikte Kullanılan Malzemeler.....	39
Şekil 2.22 : Kompozit Malzeme Yapısı.....	41
Şekil 2.23 : Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	47
Şekil 2.24 : Gözeneklilik ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki.....	48
Şekil 2.25 : Gözeneklilik ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki.....	49
Şekil 2.26 : Gözenek Boyutu ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki.....	50
Şekil 2.27 : Malzeme Kalınlığı ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki.....	52
Şekil 3.1 : HMS TRIUMPH Gemisine Ait Düşen Akustik Kaplamalar.....	54
Şekil 3.2 : Manta ve Rockan Mayınları.....	54
Şekil 3.3 : Kauçuk Kaplama Sonar Transdüseri ve Kompozit Sonar Domu.....	55
Şekil 3.4 : Referans Çelik Saç Plaka.....	56
Şekil 3.5 : Köpük Filtre Esaslı Plakalar.....	56
Şekil 3.6 : Kauçuk Kaplı Petekyapılı Plakalar.....	57
Şekil 3.7 : Lamine Plaka.....	58
Şekil 3.8 : Akustik Test Havuzu.....	60
Şekil 3.9 : Test Düzeneği.....	61
Şekil 3.10 : Transdüser, Hidrafon ve Test Levhasının Konumları.....	62
Şekil 5.1 : Frekanslara Göre Hidrofon-1'de Ölçülen Yansıma Değerleri (mV).....	68
Şekil 5.2 : Hidrofon-1'de Hesaplanan Ortalama Yansıma Değerleri (mV).....	69
Şekil 5.3 : Frekanslara Göre Hidrofon-1'de Hesaplanan Yansıma Değerleri(dB).....	70
Şekil 5.4 : Hidrofon-1'de Hesaplanan Ortalama Yansıma Değerleri(dB).....	70

<b>Şekil 5.5</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-2’de Ölçülen Geçirgenlik Değerleri(mV)...	72
<b>Şekil 5.6</b> : Hidrofon-2’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (mV).....	73
<b>Şekil 5.7</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-2’de Hesaplanan Geçirgenlik Değerleri(dB).....	74
<b>Şekil 5.8</b> : Hidrofon-2’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (dB).....	74
<b>Şekil 5.9</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-3’de Ölçülen Geçirgenlik Değerleri(mV)...	76
<b>Şekil 5.10</b> : Hidrofon-3’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (mV).....	76
<b>Şekil 5.11</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-3’de Hesaplanan Geçirgenlik Değerleri(dB).....	77
<b>Şekil 5.12</b> : Hidrofon-3’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (dB).....	78
<b>Şekil 5.13</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-4’de Ölçülen Saçılma Değerleri(mV).....	79
<b>Şekil 5.14</b> : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (mV).....	80
<b>Şekil 5.15</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-4’de Hesaplanan Saçılma Değerleri(dB).....	81
<b>Şekil 5.16</b> : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (dB).....	81
<b>Şekil 5.17</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-5’de Ölçülen Saçılma Değerleri(mV).....	83
<b>Şekil 5.18</b> : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (mV).....	83
<b>Şekil 5.19</b> : Frekanslara Göre Hidrofon-5’de Hesaplanan Saçılma Değerleri(dB).....	84
<b>Şekil 5.20</b> : Hidrofon-5’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (dB).....	85



## SUALTI AKUSTİK SOĞURMA UYGULAMALARI

### ÖZET

Bu tez çalışmasında hibrid/ kompozit yapıdaki plakaların sualtı test havuzunda referans çelik saç plakaya göre yansıma, geçirgenlik, saçılma özellikleri incelenmiş ve 50 cm x 50 cm x 2 cm boyutlarında toplam altı adet plakanın sualtı akustik havuzunda akustik testleri yapılmıştır. Bu plakalar:

- Referans plaka olarak çelik saç,
- Kauçuk, petekyapı, silikon ve cam granüllerin birleştirilmesi ile oluşturulan katmanlı hibrid plaka,
- Kauçuk, petekyapı, silikon ve metal bilyelerin birleştirilmesi ile oluşturulan katmanlı hibrid plaka,
- İnorganik köpüklerin birleştirilmesi ile oluşturulan plaka,
- İnorganik köpüklerin biraraya getirilerek cam tozu ile birleştirilmesinden sonra kısmı vakum uygulanarak oluşturulan plaka,
- Kompozit lamine plaka'dır

Testlerde kullanılacak frekansı belirlemek amacıyla mayın gemilerinde kullanılan sonarların frekansları incelenmiş ve yoğunlukla kullanılan 80 kHz, 85 kHz, 90 kHz, 95 kHz ve 100 kHz frekansları testlerde kullanılmak üzere referans frekanslar olarak belirlenmiştir. Ölçümler maksadıyla hidrofon, transdüser, sinyal jeneratörü ve osiloskop kullanılarak test düzeneği kurulmuş ve her bir frekans için ayrı ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçları incelendiğinde üretilen plakalarda referans plakada ölçülen değerlere göre çok daha düşük yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerlerine ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** *Sualtı Akustik Uygulamaları, Kompozit/ Hibrid Malzemeler, Savunma Teknolojileri, Akustik Kaplamalar, Deniz Mayınları*



## UNDERWATER ACOUSTIC APPLICATIONS

### ABSTRACT

In this thesis reflection, permeability and scattering properties of composite materials are studied according to reference steel plate in underwater test facility and acoustic tests of six plates with the size of 50 cm x 50 cm x 2 cm were performed. These plates are given below:

- Stainless steel plate as a reference plate,
- Layered hybrid plate formed by combining rubber, honeycomb structure, silicon and glass granules,
- Layered hybrid plate formed by combining rubber, honeycomb structure, silicon and steel ball,
- Plate formed by gathering inorganic foams,
- Plate formed by gathering inorganic foams and glass powder by applying semi vacuum,
- Composite laminated plate.

The frequencies of the sonars used in MCM vessels have examined at 80 kHz, 85 kHz, 90 kHz, 95 kHz and 100 kHz, which are often used in MCM vessels, determined as reference frequencies. Oscilloscope, signal generator, hydrophone and transducer used to create a test setup and separate computation conducted for each frequencies. According to underwater test results lower reflection, permeability and scattering values were obtained comparing to reference plate.

**Keywords :** *Underwater Acoustic Applications, Composit/ Hybrid Materials, Defence Technologies, Acoustic Coatings, Naval Mines*



# 1. GİRİŞ VE AMAÇ

## 1.1 Araştırmanın Konusu

Bu tez çalışmasında sualtı akustiği, malzemelerin sualtında göstermiş olduğu akustik davranışlar ve kompozit/hibrid yapıda sualtında kullanılabilir özgün akustik malzeme tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. 50cm x 50cm x 2cm ebatlarında 5 adet kompozit/ hibrid yapıdaki plakanın akustik test havuzunda çelik sac levha referans alınarak 80kHz, 85kHz, 90kHz, 95kHz ve 100kHz frekanslarında osiloskop, transdüser ve hidrofön kullanılarak oluşturulan test düzeneği ile yansıma, saçılma ve geçirgenlik testleri yapılmıştır. Testler sonucunda üretilen plakaların sualtında göstermiş olduğu yansıma, saçılma ve geçirgenlik özellikleri referans plakaya göre incelenerek sonuçları değerlendirilmiştir.

## 1.2 Araştırmanın Amacı

### 1.2.1 Ana amaç

Bu tez çalışmasının ana amacı katmanlı veya katmansız olarak kompozit/ hibrid yapıda malzeme tasarlamak, üretmek ve üretilen akustik malzemelerin akustik test havuzunda 80kHz, 85kHz, 90kHz, 95kHz ve 100kHz frekanslarında çelik sac plaka referans alınarak yansıma, saçılma ve geçirgenlik özelliklerini değerlendirmektir.

### 1.2.2 Alt amaçlar

Bu tez çalışmasında ortaya konmak istenen alt amaçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Sualtı akustiği ve kompozit ile ilgili temel kavramları incelemek,
- Malzemelerin farklı özelliklerini kullanarak kompozit/ hibrid yapıda akustik plaka tasarımı ve üretimi gerçekleştirmek,
- Üretilen akustik plakaların sualtı test havuzunda yansıma, saçılma ve geçirgenlik testlerini yapmak,
- Plakaların akustik testler sonucu ölçülen yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerlerini referans çelik sac plakadan alınan değerlere göre değerlendirmektir.

### 1.3 Araştırmanın Önemi

Konvansiyonel olarak kullanılan silah sistemlerinin temel hedefi düşmanı tespit etme ve buna karşı tedbir olarak tespit edilmeyi engellemektir. Denizaltıların suüstü gemilerini daha kolay tespit etmesi amacıyla sonar sistemleri geliştirilirken diğer taraftan suüstü gemileri tarafından tespit edilmelerini engellemek veya zorlaştırmak amacıyla özel akustik kaplamalar geliştirilmektedir. Aynı örnek mayın silahı ve mayın avlama gemileri için de verilebilir. Deniz mayınlarını daha hızlı ve kolay bulmak amacıyla sualtında ve su üzerinde kullanılabilen birçok sistem cihaz geliştirilirken mayın silahının yerinin tespit edilmesini güçleştirmek amacıyla kompozit kabuklu akıllı mayınlar üretilmektedir, (Truver, 2015). Tüm bu döngüde sistem ve cihaz geliştirilmesinin temelini akustik ve malzeme bilimi oluşturmaktadır.

Stockholm Barış ve Araştırma Enstitüsünün (SIPRI) ülkelerin askeri harcama raporuna göre yıllara sari savunma harcamaları her yıl artış göstermekle beraber Türkiye 2017 yılında 18.2 milyar dolar askeri harcama ile 15. sırada yer almış ve 2018 yılında yüzde 46'lık bir yükselişe geçmiştir. (<https://www.sipri.org/databases/milex> Erişim Tarihi: 29 Ocak 2019) Son yıllarda güvenlik güçlerimizin gerek yurtiçi gerekse sınır ötesi harekatlarda kullanmış oldukları silah, sistem, cihazların yerli ve milli olmasına önem verilmesi ile birlikte savunma sanayii projelerinde kullanılan malzemeler de kritik önem derecesine sahip olmuşlardır.

Ülkemizde sualtı akustik dalgaları soğuran malzeme geliştirme çalışmaları çok kısıtlı olarak yapılmakla beraber açık kaynaklarda henüz üretimi yapılan bir malzeme ile karşılaşılmamıştır. Stratejik öneme sahip olan bu malzemelerin yerli ve milli olarak üretilmesi ülkemiz açısından hayati öneme haizdir. Bu nedenle sualtında akustik özelliklere sahip özgün bir malzeme tasarımı yaparak üretim süreçlerini gerçekleştirmiş olmak bu çalışmanın önemini oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında ülkemizde daha önce akademik olarak çalışılmayan kompozit/hibrid yapıda sualtında farklı akustik özelliklere sahip plaka tasarımı ve üretimi gerçekleştirilerek plakaların havuz ortamında yansıma, saçılma ve geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Test sonuçları neticesinde; referans çelik saç plakaya göre daha iyi yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerlerine ulaşılmıştır.

Test sonuçlarına göre üretilen plakaların denizaltı gemilerinde, deniz mayınlarında, sualtı robotlarında, insansız sualtı araçlarında, torpido ve milli silah sistemlerinde



kullanılarak sualtında gizliliğin sağlanmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.





## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Sualtı Akustiği

Sualtı akustiği, ortamı su olan bir bölgenin yüzeyinden başlayarak suyun dibine kadar olan kısmında ses dalgalarının doğrusal veya doğrusal olmayan yayılım, saçılım ve etkileşimini inceleyen ve bu kavramlara bağlı olarak uygulama alanları geliştiren bilim dalıdır. Sualtı uygulamalarının büyük çoğunluğu sualtı hedef tespitine yöneliktir. Sualtı hedeflerinin tespitinde;

- Manyetik özellikler yöntemi,
- Optik özellikler,
- Elektrik alan özellikleri,
- Isı ile ilgili özellikler,
- Hidrodinamik özellikler,
- Ses ile ilgili özellikler kullanılmaktadır.

Verilen bu yöntemlerle sualtı akustiği;

- Sualtı hedef takibi ve yer belirleme,
- Mayın harbi,
- Denizaltı savunma harbi,
- Sismik araştırma,
- Sualtı haritalama,
- Sualtı canlı faaliyetlerini izleme

gibi birçok aktivitede etkin olarak kullanılmaktadır. Bu faaliyetleri yürütmek amacıyla genel ve özel olmak üzere kullanım amacına ve ortamına göre farklı frekanslarda birçok sonar geliştirilmiştir.

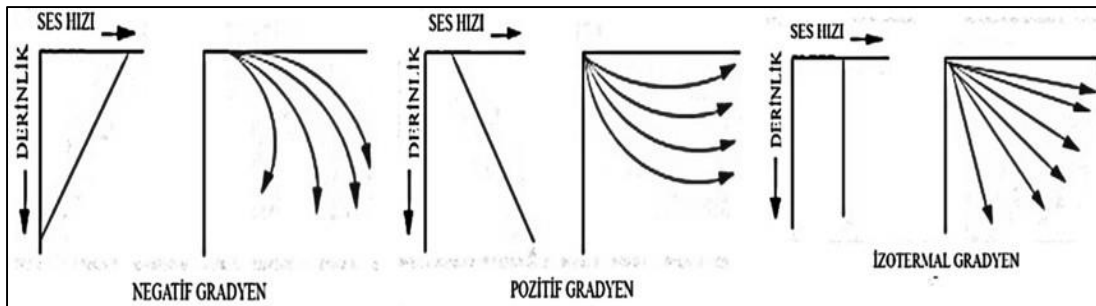
### 2.1.1 Sesin tanımı

Sesi oluşturan kaynaktan gerçekleşen titreşim sonucunda sesin ortamda yayılması ve bir alıcı tarafından algılanması ile ses meydana gelir. Basitçe ifade edilecek olursa ses, çeşitli nedenlerle titreşerek ortamda yayılan sesin canlıların duyma organı tarafından algılandığı basınç değişimleridir.

### 2.1.2 Sesin yayılması ve Ses gradyanları

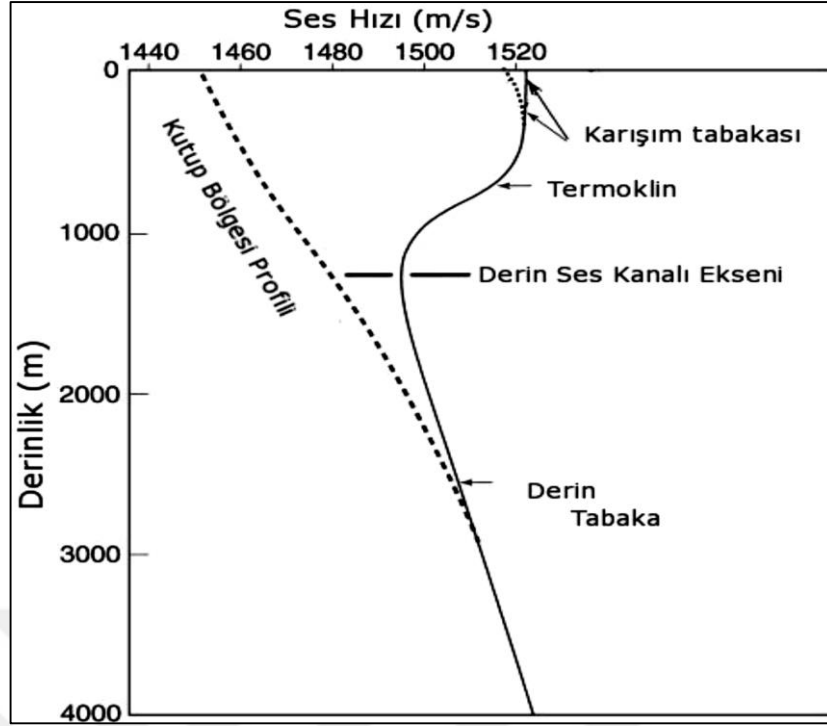
Kütle ve esnekliğe sahip ortamların akustik dalgalar tarafından mekanik olarak titreştirilmesi sonucunda akustik dalgalar yayılmaktadır. Basit ortamlarda yatayda titreşim oluşmaktayken karmaşık olan ortamlarda hem yatayda hem dikeyde titreşim meydana gelmektedir. Ses kendini oluşturan kaynağın titreşmesi sonucunda katı, sıvı veya gaz bir ortam içerisinde bulunan molekülleri hareket ettirir ve bu moleküllerin hareket etmesi sonucunda yayılır. Kaynak tarafından oluşturulan ses iletken ortam aracılığıyla alıcıya gelir. Temel olarak sesin yayılabilmesi için bir verici, bir iletken ortam ve bir alıcı gerekmektedir. Ses dalgalarının kaynaktan çıktıktan sonra izlediği yol yayılım yolu olarak adlandırılır ve yayılım yönü ses hızı gradyanı ile belirlenir. Ses hızı gradyanında meydana gelen değişimler sesin yansımaya veya kırılmaya neden olur. Sesin gradyanında meydana gelen değişiklikler sonucu oluşan kırılma ve yansımalar sesin düz bir dalga halinde ilerlemesini engeller. Ses daima en düşük ses hızının olduğu yere doğru ilerler.

Sesin yayılma yolları arasında en baskın olanı sıcaklık gradyanı olarak görülür ve izotermal, negatif ve pozitif olmak üzere üç gruba (Şekil 2.1), suyun yoğunluğuna bağlı olarak su altı karışım tabakası, ana termoklin ve derin tabaka olmak üzere de üç katmana ayrılır, (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 : Ses Gradyanları (<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/rays.html>

Erişim Tarihi: 21 Kasım 2016)



Şekil 2.2 : Su Altındaki Katmanlar (Jensen, 2011).

### 2.1.2.1 İzotermal gradyan

Sualtı ortamında derinliğin artması ile su sıcaklığı sabit kalıyorsa bunun sonucunda izotermal gradyan oluşmaktadır. Bu durumda ses dalgaları sualtında kırılmadan düz bir şekilde yayılarak uzun menzillere ulaşabilir. Sıcaklık ve tuzluluğun sabit olduğu ortamda ses dalgalarının hareketine hidrostatik basınç etki eder, ses hızı derinlikle birlikte artar ve ses dalgaları yavaş bir şekilde deniz yüzeyine doğru kırılır, (Şekil 2.1).

### 2.1.2.2 Negatif gradyan

Sualtı ortamında derinliğin artması ile su sıcaklığında azalma gözleniyorsa negatif gradyan oluşmaktadır. Ses dalgaları, ses hızının düşük olduğu bölgeye yönelme eğilimi gösterirken daha derin olan su seviyesine doğru kırılır. Gradyanın büyüklüğü bükülmenin oranını ve bu sayede menzili belirler. Negatif gradyan oluşan bölgelerde aktif sonar menzilin daha kısa olduğu gözlemlenmektedir, (Şekil 2.1).

### 2.1.2.3 Pozitif gradyan

Sualtı ortamında derinliğin artması ile su sıcaklığında artış gözleniyor ise pozitif gradyan oluşmaktadır. Ses dalgaları yüzeye yani sesin daha yavaş olduğu yere doğru ilerlemek istediğinden yüzeye doğru kırılırlar. Bu kırılma derinlik artarken basınç ve

sıcaklığın da artmasıyla fazlalaşır. Yüzeyden yansıyan sinyal dibe doğru devam edeceğinden negatif gradyana göre ses dalgaları daha uzun menzillere ulaşabilir, (Şekil 2.1).

#### **2.1.2.4 Tabaka derinliği**

Tabaka derinliği (layer depth), ses hızının maksimum olduğu derinliktir. Tespit şeklinde transduser derinliği 3 metre olarak alınır;

- Maksimum ses hızı 3 metrede ise tabaka derinliği sıfırdır. Bu durum negatif gradyanlar söz konusu olduğunda görülür.
- Ses hızı kaydında 3 metrenin altındaki maksimum ses hızı derinliği tabaka derinliğidir. Bu durumda ses hızı kaydında pozitif gradyan vardır. Bu gradyan, yüzeyde izotermal tabaka altında bulunabileceği gibi negatif gradyan altında da bulunabilir.

#### **2.1.2.5 Karışım tabakası**

Sualtında diğer bölgelere nazaran izotermal ve daha sıcak su kütesinin bulunduğu tabakadır, (Şekil 2.2). Karışık olmasının nedenleri rüzgar ve dolaylı olarak dalga hareketleridir. Karışım tabakasının derinliği 1500 feete kadar çıkabilmektedir. Yüzey dalgalarının radyasyonel ısıma/ soğumaya maruz kalan tek tabaka olması sebebiyle mevsimsel ve günlük hava/ deniz sıcaklık değişimleri bu tabaka üzerinde çok fazla etkilidir. Tabakada sıcaklık sabit olup basınç etkisiyle ses hızı küçük açılı pozitif gradyana sahiptir.

#### **2.1.2.6 Ana termoklin**

Sualtında sıcaklığın derinlikle ani olarak düşmesi neticesinde oluşan negatif gradyandır, (Şekil 2.2). Termoklinin başlangıç noktası karışım tabakası derinliğidir ve yaklaşık olarak 1000 – 1500 feet derinliğe sahiptir. Böyle bir termoklin tabakasının üzerinde izotermal bir tabaka var ise, ses ışınları izotermal tabakada yukarı doğru hafifçe kırılır eğer tabaka termoklinin altında ise aşağı doğru keskin bir şekilde kırılır. Bu derinliğe tabaka derinliği denir. Bu derinliğin altında gölge bölgesi meydana gelmektedir.

### 2.1.2.7 Derin tabaka

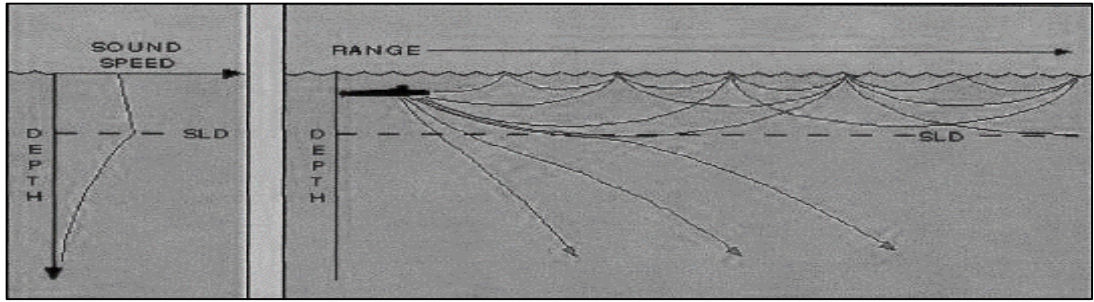
Sualtında oluşan tabakaların en alt ve en soğuk olan kısmıdır. Tabakada su sıcaklığı genellikle sabittir. Bu tabakada sıcaklığın sabit olması nedeniyle meydana gelen ses hızı değişimleri basınç değişimleri nedeniyle olmaktadır. Derinlik artışıyla ses hızında da artış gözlemlenir, (Şekil 2.2).

### 2.1.2.8 Ses kanalı

Ses kanalı (sound chanel), sualtında termoklin ve derin tabaka arasında bulunmakta olup bu tabakada ses hızı asgari düzeydedir. Birbirine hemen hemen eşit açılı bir negatif ve hemen arkasından bir pozitif gradyanın gelmesi ile oluşur. Süratin asgari olduğu noktaya tepe noktası, bu noktanın bulunduğu derinlikteki eksene de ses kanalı ekseni denir. Ses kanalında ilerleyen ses dalgaları emilme/ dağılmaya uğrayıncaya kadar yüzlerce mile ulaşabilirler.

### 2.1.2.9 Yüzey kanalı

Yüzey kanalı (surface duct), Sualtında pozitif gradyan içinde kırılan ses dalgalarının su yüzeyi ile ses hızının azami seviyede olduğu derinlik arasında defalarca yansıması sonucunda oluşur. Bu yansımaların oluşabilmesi için tabakanın derinde ve deniz yüzeyinin dalgasız olması gerekmektedir. Menzilin kısılmasında denizin dalgalı olması, deniz canlılarının yoğunluğu ve yağış etkilidir, (Şekil 2.3).



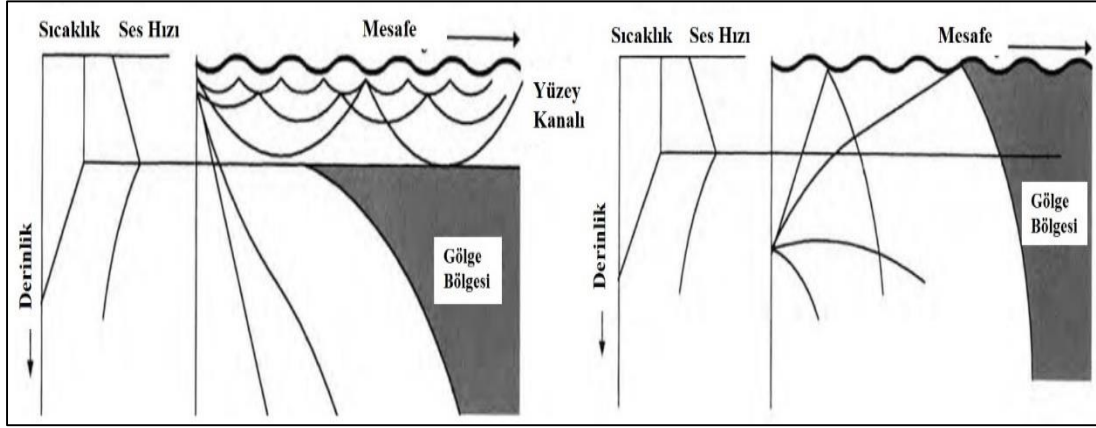
Şekil 2.3 : Yüzey Kanalı (<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/surfaceduct.html>

Erişim Tarihi: 21 Kasım 2016).

### 2.1.2.10 Gölge bölgesi

Sualtında düzensiz kırılma ve yansımalar nedeniyle (Etter, 1995) ses dalgalarının ulaşamadığı bölgelerde meydana gelir, (Şekil 2.4). Ses dalgaları dibe veya yüzeye

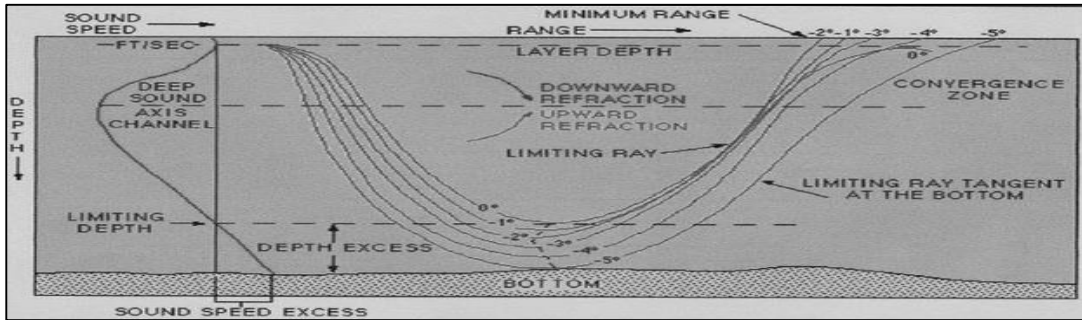
yansıdığı için bu bölgelere giremez. Denizaltı gemileri için en ideal bölgeler olup yakalanmaları imkansız hale gelebilir. İzotermal gradyanlarda gölge bölgesi oluşmaz.



Şekil 2.4 : Sığ ve Derin Suda Oluşan Gölge Bölgeleri (Waite, 2005).

### 2.1.2.11 Toplanma bölgesi

Toplanma bölgesi (convergence zone) sualtında ses dalgalarının derin sularda bir negatif gradyan ve hemen onun altında yer alan bir izotermal gradyana denk gelmesi sonucu oluşur. Ses dalgaları derine doğru kırılarak inerler ve izotermal gradyanın başladığı noktadan itibaren oluşan ses hızı artışı ile yukarı kırılırlar, oluşan bu kırılma deniz yüzeyine kadar devam eder ve ses dalgalarının bir kısmı deniz yüzeyinden yansıyarak Şekil 2.5’de gösterildiği gibi aşağıya doğru inme eğilimi gösterir, (Etter, 1995). Ses dalgaları transmisyon gücüne ve reverberasyona bağlı olarak 2-3 atlama yapabilirler.

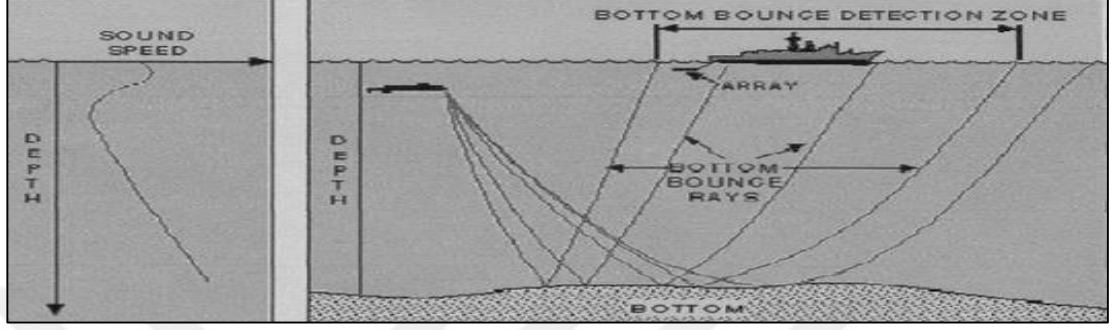


Şekil 2.5 : Toplanma Bölgesi (<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/soundchannel.html> Erişim Tarihi: 21 Kasım 2016)



### 2.1.2.12 Dip sıçraması

Sualtında derinliğin 6000 metreden az olduğu bölgelerde deniz dibi yansıtma özelliğine ve düz bir yapıya sahip ise, bim açısının 15 derece ile 42 derece olduğu durumlarda ses ışınları dibe çarparak aynı açıyla yansır ve 5-25 deniz mili mesafelerde deniz yüzeyine ulaşarak tekrar yansır, (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Dip Sıçraması <http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/bottombounce.html>  
Erişim Tarihi: 21 Kasım 2016)

## 2.1.3 Ses ile ilgili temel kavramlar

### 2.1.3.1 Frekans

Frekans ( $f$ ) (2.1), sesin iletken bir ortamdan geçerken bir saniyede meydana gelen titreşim sayısı olup birimi Hertz'dir.

$$f = \frac{1}{\text{Periyot}} \quad (2.1)$$

### 2.1.3.2 Periyot

Periyot ( $T$ ) (2.2), bir ses dalgasının oluşabilmesi için gereken zamandır.

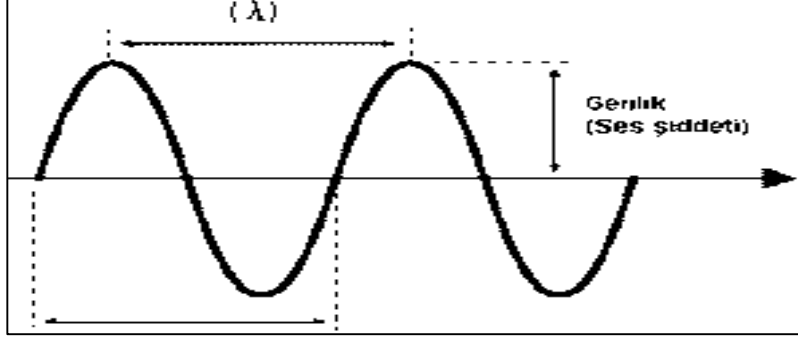
$$T = \frac{1}{\text{Frekans}} \quad (2.2)$$

### 2.1.3.3 Dalga boyu

Dalga boyu ( $\lambda$ ), sesi oluşturan kaynaktan yayılan periyodik dalgaların arka arkaya gelen iki tepe veya iki çukur arasındaki yatay uzunluktur.

### 2.1.3.4 Genlik

Sesi oluşturan kaynaktan yayılan periyodik dalgaların meydana getirdiği dikey hareketin yarısıdır, (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Dalga Boyu, Frekans ve Genlik

### 2.1.3.5 Ses şiddeti

Ses şiddeti (I) (2.3), ses dalgalarının taşıdıkları enerjiye bağlı olarak birim alana uyguladıkları akustik güçtür, (Rienstra ve Hirschberg, 2004).

$$I = \frac{\text{Ses Gücü (w)}}{\text{Alan (m}^2\text{)}} \quad (2.3)$$

Ses Basınç Yüzeyi (SPL):  $20 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}}$  (db),  $P_{\text{ref}}$  Hava için: 20  $\mu$ Pa, Su için 1  $\mu$ Pa, (2.4)

Ses Şiddet Yüzeyi (SIP):  $10 \log \frac{I}{I_{\text{ref}}}$  (db),  $I_{\text{ref}} = 10^{-12}$  w/m<sup>2</sup>, (Kinsler, 2000). (2.5)

### 2.1.3.6 Desibel

Ses seviyesini ölçmek maksadıyla kullanılan birim olarak tanımlanmaktadır. Ancak, desibeli bir ses birimi olarak kullanabilmek için referans bir ses seviyesi seçmek gerekmektedir. Bu referans ses basınç seviyesi genelde 20 mPa olarak seçilir (Kinsler, 2000) ve bu referans ses basınç seviyesi de atmosfer basıncının 20 milyarda birine denk gelmektedir. Başka bir ifade ile farklı frekanslarda yayılan sesin basınç seviyesinin 20 mPa'a oranı sesin o frekanstaki dB değerini verir,

Örneğin, 500 Hz frekansta 200 mPa ses basınç seviyesi,

$$\text{dB} = 10 \times \log (200 \text{ mPa} / 20 \text{ mPa}) = 10 \times \log 10 = 10 \times 1 = 10 \text{ dB} \quad (2.6)$$

olur. Yani desibel üretilen sesin referans ses seviyesine göre logaritmik oranıdır (2.6), (Randall, 2005).

### 2.1.3.7 Ses yutma katsayısı

Ses dalgaları kaynaktan çıktıktan sonra yayılırlar ve belirli bir süre sonra bir yüzeye çarparlar. Yüzey üzerine gelerek yutulan ses enerjisinin yüzey üzerine gelen toplamı ses yutma katsayısıdır ve ( $\alpha$ ) ile gösterilir (2.7).

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (2.7)$$

Ses yutma katsayısı, malzeme yüzeyine gelen dalga açısının bir fonksiyonu olarak değerlendirilebilir ve 0 ile 1 arasında değerler alır. “0” değeri tümüyle yansıtıcı yüzeyleri, “1” değeri ise ses enerjisini yutan yüzeyleri göstermektedir. Ses yutma katsayısı malzemenin özelliğine, frekansa, ortam şartlarına ve kalınlığına göre değişim göstermektedir.

### 2.1.3.8 Akustik empedans

Akustik empedans ( $Z$ ), malzeme yüzeyinde oluşan ses basıncının, sesin partikül hızına oranıdır, (Kinsler, 2000). Akustik empedans, farklı ortamlar içerisinde ses dalgalarının ilerlemesi sırasında yüzey üzerinde oluşan direnci ifade etmektedir. Genel olarak karmaşık sayı olup gerçek kısım enerji kaybını, imajiner kısım faz değişikliklerini gösterir ve yüzeyden yansıyan ses dalgalarının genlik ve faz değişimleri hakkında bilgi vermektedir.

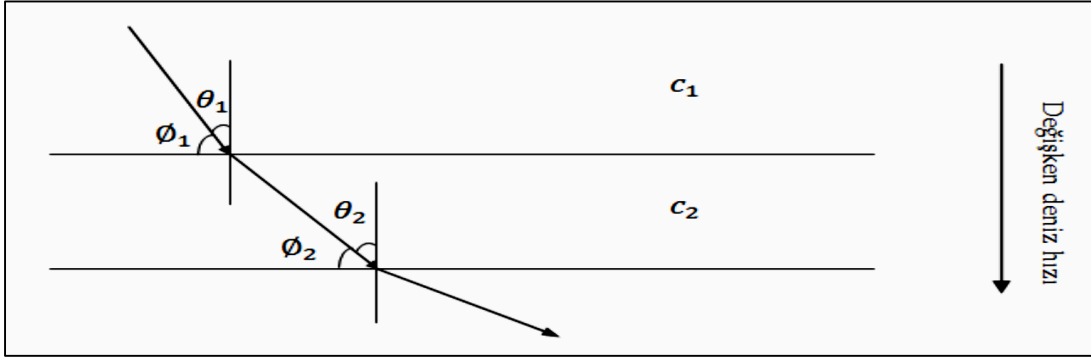
### 2.1.4 Ses çeşitleri

İnsan kulağının hassasiyetine göre ses subsonik, sonik ve süpersonik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Frekans aralıklarına göre sesler:

- 20 Hz altındaki sesler subsonik,
- 20-15000 Hz arasındaki sesler sonik olarak adlandırılır.

### 2.1.5 Snell kanunu

Sualtı, bir veya birden fazla katmandan oluşan model olarak ele alınmaktadır. Bu katmanlar arasında akustik dalgalarının geçişi için snell kanunu kullanılmaktadır (2.8), (Şekil 2.8) (Rienstra ve Hirschberg, 2004).



**Şekil 2.8 : İki Katmanlı Su Altı Ortamında Sesin Kırılması**

Snell yasası, geliş açısı katman yüzeyine göre alınırsa (2.8);

$$\frac{\cos\theta_1}{c_1} = \frac{\cos\theta_2}{c_2} \quad (2.8)$$

Geliş açısının katman yüzeyi normaline göre alınırsa (2.9);

$$\frac{\sin\theta_1}{c_1} = \frac{\sin\theta_2}{c_2} \quad (2.9)$$

olarak verilir. Bu denklemlerden iki açı arasındaki ilişki (2.10);

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{c_2}{c_1} \sin\theta_1\right) \text{ 'dir.} \quad (2.10)$$

### 2.1.6 Sualtı ortamı

Sualtı akustiğinin kullanıldığı mayın harbi, denizaltı savunma harbi, hidrografi ve oşinografi gibi alanlarda sualtı ortamının yapısal özelliklerinin bilinmesi oldukça önem taşımaktadır. Ortamın yapısal özelliklerinde meydana gelen değişimler akustik dalgaların yansıma ve kırılma şekil ve oranlarının değişmesine neden olmaktadır. Meydana gelen değişimler yer tespiti, sualtında belirlenen cisimlerin analizi gibi birçok veriye direkt olarak etki etmektedir.

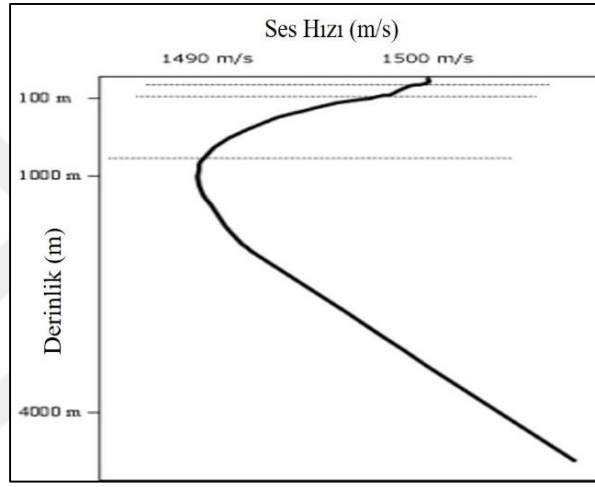
Sualtı ortam şartları ile ilgili en önemli parametre ses hızı profilidir. Ses dalgasının deniz suyu içindeki hızına ise temel olarak tuzluluk, sıcaklık ve basınç etki etmektedir.

### 2.1.6.1 Ses hızı

Su altında ses hızı (2.11);

$$c = \frac{\sqrt{\text{Elastik Özelliği}}}{\sqrt{\text{Atalet Özelliği}}} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\rho}}, \quad \beta = -V \frac{du}{dv} \quad (2.11)$$

olarak verilir. Buna göre havada ses hızı  $\beta=1,42 \times 10^5$  Newton/m<sup>2</sup>,  $\rho=1.3$  kg/m<sup>3</sup> olmak üzere 330 m/sn, deniz suyunda  $\beta=2,06 \times 10^9$  Newton/m<sup>2</sup>,  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup> olmak üzere 1435 m/sn olarak bulunur. Boşlukta elektromanyetik dalganın havada yayılım hızı ışık hızı olan  $3 \times 10^8$  m/sn'dir.



**Şekil 2.9 :** Ses Hızı ve Derinlik Arasındaki İlişki (<https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/sound-speed/>, Erişim Tarihi : 23 Kasım 2016)

### 2.1.6.2 Ses hızı profili

Ses hızı profilleri, derinliğe bağlı olarak ses hızının değişimini gösteren grafiklerdir. Derinlik ölçümü birçok teknikle yapılabilmektedir, (Hodges, 2010). Bunlar genel olarak manuel ölçüm teknikleri, tek bimli akustik derinlikölçerler, çoklu transduser tarama sistemleri, akustik çok bimli arama sistemleri olarak verilebilir, (Ingham ve Abbott, 1992). Derinliği ölçmek için birçok teknik olmasına rağmen en çok kullanılan ölçüm tek bimli akustik derinlikölçerlerdir.

Suyun içindeki ses hızı, esneklik ve yoğunluğa göre değişim göstermektedir. Buna göre ses hızını sıcaklık, tuzluluk, basınç, canlı organizmalar, hava kabarcıkları gibi etmenler dolaylı olarak etkilemektedir. Ölçümlerde tuzluluk çoğunlukla 35 ppt (parts per thousand) olarak sabit kabul edilir. Ses hızı yukarıda belirtilen parametrelere göre

çeşitli şekillerde formüle edilmiş olup bu formülere ait bilgiler Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.1 : Çeşitli Ses Hızı Formüllerinin Aralık ve Parametreleri**

Referans	Sıcaklık Aralığı (°C)	Tuzluluk Aralığı (ppt)	Basınç/ Derinlik Aralığı	Standart Hata (m/sn)	Terim Sayısı
Wilson (1960)	-4 – 30	0-37	1-1000 kg/cm <sup>2</sup>	0.30	23
Leroy(1969)	-2 – 34	20-42	0-8000 m	0.2	13
Frye ve Pugh (1971)	-3 – 30	33.1-33.6	1.033-984.3 kg/cm <sup>2</sup>	0.10	12
Del Grosso (1974)	0 – 35	29-43	0-1000 kg/cm <sup>2</sup>	0.05	19
Medwin (1975)	0 – 35	0-45	0-1000 m	-0.2	6
Chen ve Millero (1977)	0 – 40	5-40	0-1000 bar	0.19	15 terim (düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta düzeltme gerekir)
Loven (1978)	0 – 30	30-37	0-10000 dbar	0.063	13
Coppens (1981)	-2 – 35	0-42	0-4000 m	0.1	8
Mackenzie (1981)	-2 – 30	25-40	0-8000 m	0.07	9

Bu formüllerden en çok kullanılanı aşağıda verilen Medwin formülüdür, (Jensen, 2011).

$$c=1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34-0.010T)(S-35) + 0.016D \quad (2.12)$$

T : Sıcaklık (°C)

S : Tuzluluk

D : Derinlik

c : Ses Hızı

Bu formül  $0 \leq T \leq 35$  °C,  $0 \leq S \leq 45$  ppt,  $0 \leq D \leq 1000$  m. şartları sağlandığı takdirde tam bir ölçüm sonucu vermektedir (2.12).

Ses hızının tuzluluk ve derinlikle değişimini tanımlayan yaklaşık katsayılar aşağıda belirtilmiştir;

$$\frac{\Delta c}{\Delta T} = 3.4 \frac{m}{s} \text{ per } ^\circ\text{C}, \frac{\Delta c}{\Delta S} = 1.2 \frac{m}{s} \text{ per ppt}, \frac{\Delta c}{\Delta D} = 17 \frac{m}{s} \text{ per } 1000m.$$

Paremetreler incelendiğinde, parametrelerde meydana gelen değişimlerin ses hızında artışa sebep olduğu görülmektedir.

Okyanus gibi bölgelerde yani derin sularda kullanılan diğer bir ses hızı profili de;

$$c = 1500 \left( 1 + 0.00737 \left( \frac{2(D - 1300)}{1300} + e^{-\frac{2(D-1300)}{1300}} - 1 \right) \right) \quad (2.13)$$

c : Ses Hızı

D : Derinlik (m) olmak üzere;

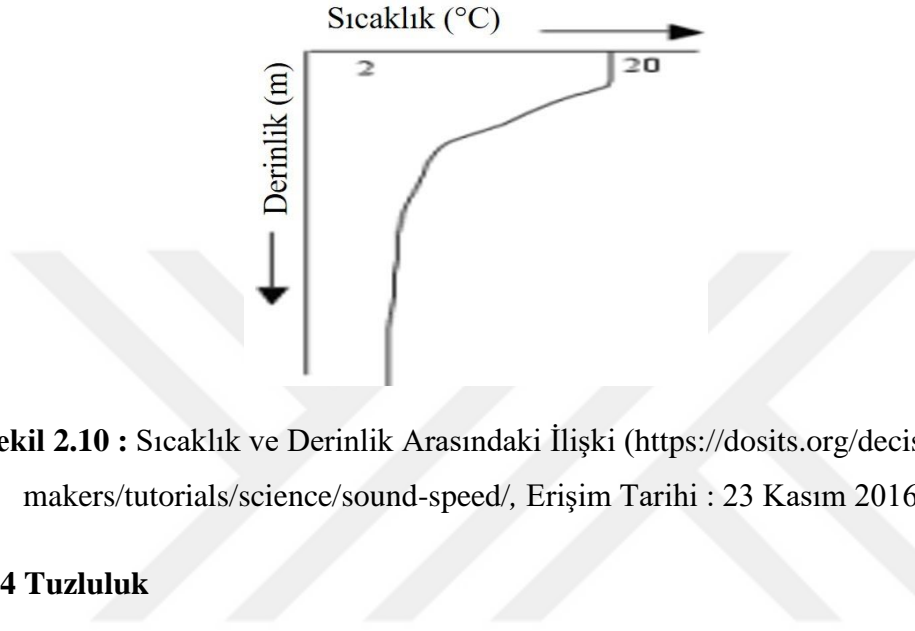
olarak verilmektedir, (Munk, 1974).

Sualtında sıcaklık değişimlerinin tespiti zor bir işlem olup deneysel hesaplamaların yanında ses hızını direkt ölçmek maksadıyla batitermograf ve ses ölçerler kullanılmaktadır. Batitermograflar çalışma prensibi olarak sonoboylara benzemekte ve genellikle gemilerden yapılan ölçümlerde kullanılmaktadır. Deniz suyunun sıcaklığı ölçüm yapılan bölge ve derinliğe göre  $-20^\circ\text{C}$  ile  $+40^\circ\text{C}$  arasında değişebilmektedir. Ölçüm için kullanılan şamandıra derinliğe bağlı su sıcaklığını ölçmektedir. Deniz yüzeyinde sıcaklık güneş, yağışlar, akıntılar ve rüzgarın etkisi ile değişim göstermektedir. Batitermograf ölçüm maksadıyla denize atıldıktan sonra 1.5 metrede bir termostat vasıtası ile ölçüm yaparak termostatın elektriksel çıktısı osilatör tarafından sinyal frekansına dönüştürülür ve gemiye iletilir. Batitermograf tarafından ölçülen suyun sıcaklık bilgisi ve bilinen derinlik bilgisinin deneye dayalı formüle konulmasıyla ses hızı profili elde edilir, (Haklıdır, 2006). Hızölçerler ise hassas ölçüm yapan cihazlardır ve direkt ölçüm sonucu verirler.

### 2.1.6.3 Sıcaklık

Sualtında sıcaklıkta meydana gelen değişim, ses hızını etkileyen diğer parametreler ile kıyaslandığında hıza en fazla etki eden faktördür. Deniz suyu sıcaklık ölçümlerinde, sıvıların sıkışması ve genişmesiyle oluşan potansiyel enerjinin de hesaba katılması gerekmektedir. Suyun özgül ısısının, toprağın özgül ısısından fazla olması suda meydana gelen ısı iletiminin toprağa göre daha fazla olmasına neden olmaktadır. Deniz suyu sıcaklığı derinlik azaldıkça azalmaktadır. Deniz suyunun ısınmasında rol

oynayan diğ er etkenler, güneş enerjisinden meydana gelen ısınmalar, yer iç ısısının okyanus tabanından konveksiyonla alınması, kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu oluşan ısı, kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşümü ve suyun buharının yoğunlaşmasından ötürü meydana gelen ısıdır. Buharlaşma ve atmosfere bağı lı ısı konveksiyonları ile deniz yüzeyinden yansıma gibi etkenler deniz suyunda ısı kaybına yol açan etkilere dir. Temel olarak derinlik arttıkça sıcaklık düşmektedir, (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10** : Sıcaklık ve Derinlik Arasındaki İlişki (<https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/sound-speed/>, Erişim Tarihi : 23 Kasım 2016)

#### 2.1.6.4 Tuzluluk

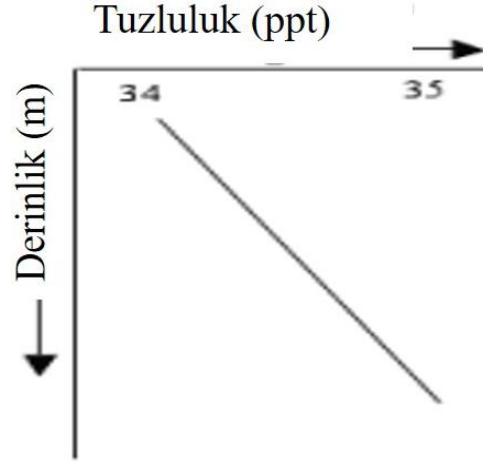
Deniz suyu yapısı bakımında incelendiğinde tuzlu bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Deniz suyunun tuzlu bir yapıya sahip olması ses dalgasının deniz suyu içindeki hızına etki etmektedir. Şekil 2.11’den de görüleceği üzere derinlik arttıkça tuzluluk ihmal edilebilecek kadar küçük oranlarda değı şim göstermektedir. Bunun tersine kıyıs al bölgelerde, özellikle fiyort ve buz sahalarında, tuzluluk etkisi önemlidir. Deniz suyunun yoğunluğu, elektrik iletkenliğı , viskozitesi, genleşme katsayısı, basıncı ve sesin yayılım hızı tuzluluğun artmasıyla artarken, özgül ısısı, buhar basıncı, ısı iletkenliğı gibi özellikler azalır. Buharlaşma ve yağış deniz suyundaki tuzluluk oranını etkilemektedir. Buharlaşma tuzluluğı arttırırken, yağışla birlikte tuzluluk düşer ve bu iki zıt etkenin tuzlulukla olan ilişkisi için aşağıdaki denklem kullanılır. Bu denklemde;

$$S \text{ (binde olarak)} = 34.6 + 0.0175 (E-P) \quad (2.14)$$

E : Buharlaşma

P : Yağı ş Yüksekliklerini (mm) olmak üzere;

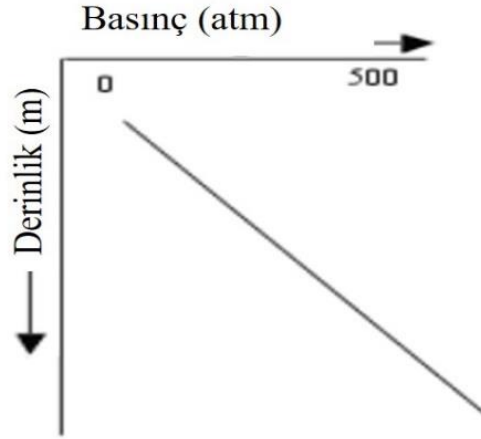




**Şekil 2.11** : Tuzluluk ve Derinlik Arasındaki İlişki (<https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/sound-speed/>, Erişim Tarihi : 23 Kasım 2016)

### 2.1.6.5 Basınç

Deniz suyu içerisinde ses hızına etki eden bir diğer faktör de basınçtır. Basınç değişimlerinin ses hızına etkisi tuzluluğun etkisine göre çoğunlukla daha fazladır. Basıncın ses hızına etkisi derinlikle doğru orantılı olup dikey yönde ilerlerken sabit bir şekilde artar (Şekil 2.12) ve kolaylıkla hesaplanabilir. Derinliğin 1 metrelik artışı, basıncın etkisi ile ses hızını 0,017 m/sn arttırır. Derinlik 1000 metreyi geçtiğinde ses hızına etki eden en önemli faktördür.



**Şekil 2.12** : Basınç ve Derinlik Arasındaki İlişki (<https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/sound-speed/>, Erişim Tarihi: 23 Kasım 2016)

### 2.1.7 Temel akustik denklemler

Sualtı akustiğini oluşturan temel denklemler akışkanlar mekaniğini oluşturan temel denklemlerin lineerleştirilmesi sonucu elde edilmiştir. Buna göre durum, süreklilik ve Euler denklemleri sualtı akustik denklemlerin temelini oluşturur. Bu denklemlerde kullanılan temel büyüklük ve birimler  $r$  konum ve  $t$  zaman olmak üzere;

- $u(r,t)$  : Akustik basınç (Newton/m<sup>2</sup>)
- $v(r,t)$  : Parçacık Hızı (m/sn)
- $\rho(r)$  : Su yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)
- $s(r,t)$  : Yoğunlaşma
- $\rho_0(r,t)$  = ortam yoğunluğu olmak üzere;  
 $s(r,t) = \rho(r,t) / \rho_0(r,t)$
- $\beta$  : Esneklik/ Sıkıştırılmazlık (Newton/m<sup>2</sup>)
- $K$  :  $(1/ \beta)$  Sıkıştırılabilirlik' dir. (Aksoy,2014)

#### 2.1.7.1 Durum denklemi

Akışkanlar için durum denklemi, akışkanların şekillerinin bozulma ve bu bozulmanın eski haline dönmesi ile alakalı ilişkiyi gösterir aşağıdaki şekilde formüle edilir (2.15).

$$u(r,t) = \beta s.(r,t) \quad (2.15)$$

Viskozite etkilerinin katılması ile aşağıda verilen formüle ulaşılır (2.16), (Urick, 1982).

$$u(r,t) = \beta s.(r,t) + \mu \frac{\partial}{\partial t} s(r,t) \quad (2.16)$$

#### 2.1.7.2 Lineerleştirilmiş süreklilik denklemi

Lineerleştirilmiş süreklilik denklemi belirli bir bölgede hareket eden su kütlesi için parçacık hızı ve su yoğunlaşması arasındaki ilişkiyi göstermektedir, (Aksoy, 2014).

$$\frac{\partial s(r,t)}{\partial t} + \nabla \cdot v(r,t) = 0 \quad (2.17)$$

olarak gösterilir (2.17). Durum denklemi yerine koyulursa,

$$\frac{1}{\beta} \frac{\partial u(r, t)}{\partial t} + \nabla \cdot v(r, t) = 0 \quad (2.18)$$

halini alır (2.18).

### 2.1.7.3 Lineerleştirilmiş Euler denklemi

Lineerleştirilmiş Euler denklemi, akustik basınç dağılımı ve parçacık hızı arasındaki ilişkiyi gösterir (2.19), (Aksoy, 2014).

$$\rho(r) \frac{\partial v(r, t)}{\partial t} + \nabla u(r, t) = 0 \quad (2.19)$$

### 2.1.8 Akustik dalga denklemi

Akustik dalga denklemi durum, süreklilik ve Euler denklemleri kullanılarak çıkartılabilir (2.20). Lineerleştirilmiş Euler denkleminin diverjansı alınarak (2.20a),

$$\nabla \cdot \left[ \rho(r) \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t} \right] + \nabla \cdot \nabla u(r, t) = 0 \quad (2.20)$$

$$\nabla \cdot \left[ \rho(r) \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t} \right] + \Delta u(r, t) = 0 \quad (2.20a)$$

bulunur. Burada  $\rho(r)$ 'nin konuma göre yavaş değiştiği ve  $\nabla \cdot (\alpha \vec{A}) = \nabla \cdot \alpha \vec{A} + \alpha \nabla \cdot \vec{A}$  bağıntısı ile (2.20b);

$$\left| \nabla \rho(r) \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t} + \rho(r) \nabla \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t} \right| + \Delta u(r, t) = 0 \quad (2.20b)$$

Lineerleştirilmiş Euler denkleminden  $\frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t}$  çekilerek yukarıdaki yerine koyulduğunda;

$$\left| -\nabla \rho(r) \frac{\partial u(r, t)}{\rho(r)} + \rho(r) \nabla \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t} \right| + \Delta u(r, t) = 0 \quad (2.20c)$$

elde edilir. Lineerleştirilmiş süreklilik denkleminin zaman türevi alınıp, durum denkleminden  $s(r, t) = u(r, t)/\beta$  kullanılarak ve  $\nabla \frac{\partial \vec{v}(r, t)}{\partial t}$  çekilerek yukarıdaki denklemde yerine konulursa (2.20ç);

$$\left| -\nabla\rho(r) \frac{\partial u(r, t)}{\rho(r)} - \frac{\rho(r)}{\beta} \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2} \right| + \Delta u(r, t) = 0 \quad (2.20\text{ç})$$

olarak bulunur. Bu bağıntı düzenlendiğinde  $c(r) = \sqrt{\frac{\beta}{\rho(r)}}$  konuma bağlı ses hızı (m/sn) olmak üzere;

$$\nabla^2 u(r, t) - \nabla\rho(r) \left| \frac{1}{\rho(r)} \right| \nabla u(r, t) - \frac{1}{c^2 r} \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.20d)$$

olarak bulunur.

$-\nabla \rho(r) \cdot 1/\rho(r) = +\nabla 1/\rho(r)$ .  $\rho(r)$  bağıntısı ile,  $a = \rho(r)$  ile  $b = \rho(r)^{-1}$  ve  $A = \nabla u(r, t)$  ve  $\varphi = 1/\rho(r)$  seçilerek  $\nabla ab = a\nabla b + b\nabla a$  ve  $\nabla \varphi A = A \cdot \nabla \varphi + \varphi \nabla \cdot A$  bağıntısı ile Akustik Dalga Denklemi (2.20e);

$$\rho(r) \nabla \left[ \frac{1}{\rho(r)} \nabla u(r, t) \right] - \frac{1}{c^2 r} \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.20e)$$

olarak bulunur.

Su altı akustiğinde suyun yoğunluğu, suyun kimyasal yapısı ile çok az değişmekte, esneklik ise sıcaklık ve basınçla değişmektedir. En genel olarak  $c(r) = \sqrt{\frac{\beta(r)}{\rho(r)}}$  olarak ele alınır ve su altı şartları göz önüne alındığında  $\rho$  sabit olarak düşünülür. Bu durumda dalga denklemi;

$$\Delta u(r, t) - \frac{1}{c^2 r} \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.20f)$$

olarak bulunur, (Aksoy, 2014).

### 2.1.9 Akustik şiddet, Akustik güç ve Enerji

Akustik şiddet, akustik dalganın ilerlediği yere dik birim yüzeyden geçen ses enerjisidir (2.21).

- $I(r, w)$  : Konuma ve açısal frekansa bağlı akustik basınç dağılımı ( $N/m^2$ ),
- $\rho$  : Konuma bağlı su yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),
- $c$  : Ses hızı (m/sn),

- $\rho c$  : akustik empedans ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $\vec{e}_{\text{ilerleme}}$  : Dalga ilerleme yönünü gösteren birim vektör,

$$I(r, w) = \frac{u^2(r, w)}{Z} = \frac{u^2(r, w)}{\rho c} \text{ W/m}^2 \quad (2.21)$$

olarak hesaplanır. Bu durumda parçacık hızı (2.21a);

$$v(r, w) = \frac{u(r, w)}{\rho c} \vec{e}_{\text{ilerleme}} \quad (2.21a)$$

olmak üzere  $\vec{v}(r, w) = |\vec{v}(r, w)| \cdot \vec{e}_{\text{ilerleme}} = v(r, w) \cdot \vec{e}_{\text{ilerleme}}$  bağıntısından

$I = u(r, w)v(r, w)$  bulunur.

Akustik Güç  $\rho$  parçacık hızı yönünde olduğundan, A yüzey alanı ( $\text{m}^2$ ) olmak üzere;

$$\vec{P} = A \rho c v \vec{e}_{\text{ilerleme}} = A \rho c \frac{u^2(r, w)}{\rho c} \vec{e}_{\text{ilerleme}} = A \rho c u(r, w) \vec{v}(r, w) \quad (2.21b)$$

olarak elde edilir (2.21b).

Akustik dalgaların enerjisi kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır (2.21c).

$$\text{Enerji} = 1/2 \int_v (\rho |\vec{v}(r, t)|^2 + \frac{u^2(r, t)}{\rho c^2}) dv < \infty \text{ Joule} \quad (2.21c)$$

Özel harmonik düzlemsel akustik dalgalar için  $u(r, t) = \rho c \vec{v}(r, t)$  bağıntısı kullanıldığında enerjinin formülasyonu (2.21ç);

$$\text{Enerji} = 1/2 \int_v \frac{u^2(r, t)}{\rho c^2} dv < \infty \text{ Joule} \quad (2.21ç)$$

olarak bulunur.

## 2.2 Sonar

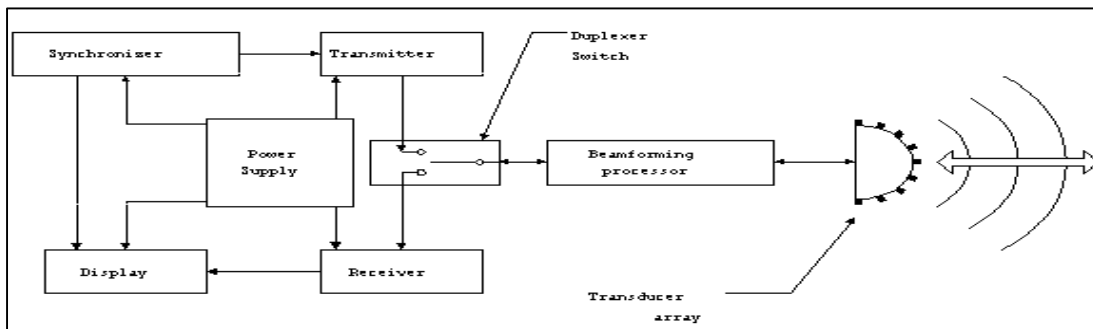
Sonar sistemlerinin temeli 1490 yılında Leonardo da Vinci'nin uzunca bir borunun ucunu suya sokarak uzak mesafeden gemilerin seslerini duymaya başlamasına dayanmaktadır. Bu basit olarak pasif sonarların çalışma prensibine örnektir. Günümüzde kullanılan anlamda ilk sonar sistemleri ise I.Dünya Savaşı döneminde ABD, Britanya ve Fransızlar tarafından denizaltıları ve Titanik'in buzdağına çarparak

batması sonucu buzdağlarını tespit etmek amacıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Dünya savaşları sırasında mayın ve denizaltı tehdidinin ölümcül sonuçlar doğurması nedeniyle sonar sistemleri savaş sistemleri arasında önem bakımından ilk sıraları almıştır.

Sonar sistemleri ses dalgaları ile su altı hedeflerinin yerinin tespit, teşhis ve sınıflandırılmasına yarayan aletlerdir. Sonar sistemleri gemi içindeki (dry-end) ve gemi dışında yani suyun içinde (wet-end) parçalardan oluşur. Sonar sistemleri kullanım amaçlarına, kullanıldıkları yere ve tasarımlarına göre temelde aktif/ pasif olarak ayrılırlar, (Dawe, 1997) (Waite, 2005).

### 2.2.1 Aktif sonar sistemi

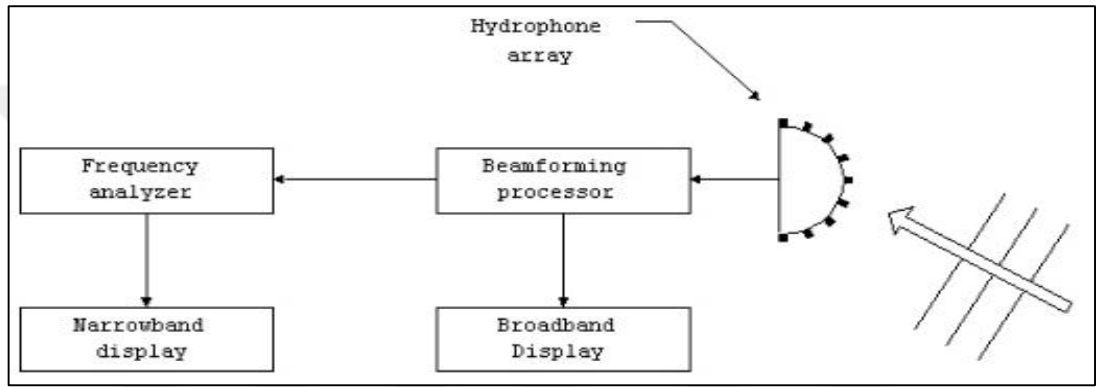
Aktif sonar sistemi temel olarak, elektrik enerjisini sualtına akustik enerji olarak gönderen bir verici (transmitter) ve sualtından geri gelen sinyali alan bir alıcıdan (receiver/hidrofon) oluşan sistemdir. Bunun yanında sistem içerisinde elektrik enerjisini ses enerjisine, ses enerjisini de elektrik enerjisine dönüştüren transdüserler mevcuttur. Transmitter sualtı ortam şartlarına bağlı olarak ses dalgalarını üretmek için yayar. Gönderilen ses dalgalarının su içerisinde bir cisme veya deniz tabanına çarpması sonucu sualtına yayılan enerjinin bir kısmı sonara geri döner. Receiver / hidrofon tarafından enerji alınır ve bir kontrol sistemi gelen veriyi işleyerek bir monitör üzerinden gösterime sunar, (Dawe, 1997). Aktif sonarlar kullanılarak vericiden çıkan ve tekrar alıcıya geri dönen ses dalgasının geliş – gidiş zamanı, sesin su içindeki yayılım hızı da kullanılarak su altı cisminin mesafesi ölçülür. Aktif sonarlar denizaltı savunma harbi, mayın harbi, balıkçılık amaçlı ve derinlik ölçme amaçlı kullanılmaktadır, (Waite, 2005). Temel aktif sonar diyagramı Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.13 :** Aktif Sonar Sistemi Blok Diagramı ([https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw\\_sys/asw\\_sys.htm](https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw_sys/asw_sys.htm) , Erişim Tarihi : 29 Kasım 2018)

### 2.2.2 Pasif sonar sistemi

Pasif sonar sistemleri sualtında bir cisim tarafından üretilen akustik enerjiyi tespit etmek üzerine çalışır. Başka bir deyişle hedefin tespit edilebilmesi için sualtında gürültü üretmesi gerekmektedir. Pasif sonarların aktif sonarlara göre avantajı, akustik sinyali alan tarafın gizli kalabilmesidir, (Waite, 2005). Pasif sonar sistemleri çoğunlukla denizaltı savunma harbi maksadıyla kullanılmaktadır, (Dawe, 1997). Mayın harbinde ise pingerlerle donatılmış eğitim mayınları ve insansız su altı araçlarının mevkilerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Temel pasif sonar diyagramı Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Pasif Sonar Sistemi Blok Diagramı ([https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw\\_sys/asw\\_sys.htm](https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw_sys/asw_sys.htm) , Erişim Tarihi : 29 Kasım 2018)

### 2.2.3 Kullanım alanlarına göre sonar çeşitleri

Sonar sistemleri ihtiyaca göre çok çeşitli olarak üretilmekte ve bir çok sistem/ cihazda kullanılmaktadır. Örnek olarak derinliği değiştirilebilir (Variable Depth Sonar), karınaya monteli (HMS), helikopterden yedeklenebilen, insansız su altı araçlarına monte edilebilen, torpidolara monte edilebilen, gemi tarafından çekilebilen vb. kullanımları mevcuttur. Kullanım alanları farklılık gösterse de temel olarak aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırlar, (Waite, 2005).

#### 2.2.3.1 Yakalama sonarı

Su sathında veya sualtında hareketli olarak bulunan gemi, denizaltı, derinliği değiştirilebilir sonar, torpido gibi kaynaklardan gelen FM veya CW sinyallerini tespit ederek sinyalin hangi hedeften geldiğini tespit eden ve gelen sinyale göre hedefin uzaklığının tespitini sağlayan pasif sonarlardır, (Waite, 2005).

### **2.2.3.2 Haberleşme sonarı**

Gemi – denizaltı, denizaltı – denizaltı arasında haberleşmeyi sağlamak amacıyla üretilen sonarlardır, (Waite, 2005). Temelde haberleşme için sualtı telefonu kullanılmakla beraber bu sonarlar ile güvenli olarak kriptolu haberleşme yapmak mümkündür. Çalışma prensibi yakalama sonarları ile aynıdır. Haberleşme sonarlarında hedeften alıcıya gelen kriptolu sinyalin özellikleri bilinirken yakalama sonarında sinyal özellikleri bilinmemektedir. Tespit mantığı işaret-gürültü oranına dayanmaktadır. Muhaberenin yakalama sonarları tarafından tespit edilmesini engellemek amacıyla mesajlaşmalar hızlı ve kısa olmalıdır. Bu durum kodlanmış mesaj iletiminde daha fazla band genişliğinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

### **2.2.3.3 Mayın tarama sonarları**

Sualtında belirli bir derinlikte bulunan veya sualtında serbest olarak gezinen (serseri mayın) demirli mayınları tespit etmek amacıyla kullanılırlar. Sonarların tasarımına göre çalışma frekansları 10kHz'den başlar. Çalışma prensibi olarak dalgıç tespit sonarları ile benzerlik göstermektedirler.

### **2.2.3.4 Mayın avlama sonarları**

Sualtında bulunan dip ve demirli mayınları tespit etmek ve sualtı araştırması icra etmek amacıyla kullanılırlar. Değişken derinlikli veya karinaya monteli olarak üretilebilirler. Çalışma frekansları 50kHz den 420kHz'e kadar değişiklik gösterebilmektedir.

### **2.2.3.5 Yandan taramalı sonarlar**

Yandan taramalı sonarlar genel olarak dip şekillerinin iki boyutlu resmini çıkarmak, sualtında bulunan nesnelere tespit etmek, sualtı araştırması yapmak ve arama kurtarma gibi maksatlarla kullanılmaktadırlar. Kullanım ihtiyacına göre frekans aralıkları 20kHz ile 500kHz arasında değişmektedir, (Christ ve Wernli, 2014).

### **2.2.3.6 İskandiller**

İskandiller sualtı derinliğini ölçmek amacıyla kullanılan sonarlardır. Temel olarak verici tarafından deniz dibine gönderilen sinyalin geri dönmesi ile derinlik hesaplanır. 20kHz ile 500kHz bandı içerisinde üretilmekte ve genellikle 100kHz'de



çalışmaktadırlar. Çalışma prensipleri balık bulucu sonarlarla hemen hemen aynıdır. Balık bulucu sonarlar gelişmiş görüntü ekranlarına sahiptir.

#### **2.2.4 Radar yerine sonar kullanımı**

Aktif sonarların çalışma prensibi büyük oranda radarlar ile aynıdır. Radarların sonar yerine kullanılmamasının nedenleri aşağıda belirtilmiştir, (Waite, 2005).

- Elektromanyetik dalga enerjisi verici tarafından sualtına gönderildiğinde enerji hızlı bir şekilde ısıya dönüşerek harcanır. Bu sebeple elektromanyetik dalgalar sualtı ortamında ısıya dönüşmeleri nedeniyle kayıp göstermektedir. Aynı şartlar altında kullanılacak akustik dalgalar daha uzak mesafelere ulaşabilmektedir.
- Elektromanyetik dalga suda havaya nazaran daha yavaş yayılırken, ses enerjisi suda havaya nazaran daha hızlı yayılmaktadır.

#### **2.2.5 Sonar parametreleri**

Sonar parametreleri ekipman, ortam ve hedef parametreleri olarak üçe ayrılmaktadır.

- Ekipman (Cihaz Parametreleri)
  - Kaynak Seviyesi (SL)
  - Alış Yönlendirme İndeksi (DI)
  - Tespit Eşiği (DT)
- Ortam Parametreleri
  - Transmitter Kaybı (TL)
  - Reverberasyon (Yankı) ve Saçılma
  - Gürültü Seviyesi (NL)
- Hedef Parametreleri
  - Hedef Kuvveti (TS)

##### **2.2.5.1 Kaynak seviyesi**

Kaynak seviyesi (SL), sesi üreten kaynaktan sualtına yayılan ses miktarı olarak tanımlanabilir (2.22). Başka bir deyişle sualtına yayılan sesin 1 mikropalslik basınca sahip dalganın şiddetine oranla şiddeti olarak da tanımlanabilir. Kaynak seviyesi ses kaynağının akustik merkezinden 1 m. mesafede hedef yönünde ölçülür. Ortam gürültüsünün fazla olduğu bir ortamda çalışılıyor ise bu durumda kaynak seviyesini

arttırmak en uygulanabilir yöntem olarak gözüktür. Pratikte kavitasyon ve transdüserler ses enerjisini kısıtlayan iki faktör olarak belirtilebilir.

Ses enerjisinin sınırlanmasına etki eden ilk faktör kavitasyondur. Güç çıkışının arttırılması ile doğrusal olarak meydana gelen basınç da artacaktır. Oluşan basıncın yeterli seviyeye gelmesi durumunda ses dalgasının genleşme safhasında vakum oluşur. Bir başka deyişle ses dalgasının düşük basınç bölgesi suyun buharlaşmasına neden olur. Buharlaşma sonucu oluşan hava kabarcıklarının sönmeye vericide hasar meydana getirebilir. Bunun yanında oluşan hava kabarcıkları gücü emer ve huzme oluşum işlemini olumsuz etkiler. İkinci büyük faktör ise vericinin kendisi ile ilgilidir. Sonar vericileri tasarım olarak elektro-akustik eleman dizinlerinden oluşur. Dizinler yalnız olarak bir akustik dalgayı yayıp alabilen elektro-akustik elemanların kombinasyonudur. Yüksek miktarlarda ses enerjisini yaymak maksadıyla üretilmiş bir dizin için en büyük tehlike elektro-akustik elemanların birbirini karşılıklı olarak etkilemesidir.

$$SL = 10 \log \left( \frac{\text{Standart uzaklıktaki kaynağın akustik şiddeti}}{\text{Referans akustik şiddet}} \right)$$

olarak tanımlanır. Yani  $SL=10\log P + 170.8$  db halini alır, (Hodges, 2010). (2.22)  
Kaynağın çok yönlü olması durumunda formüle alış yönlendirme indeks değeri de eklenir, (Christ, ve Wernli, 2014).

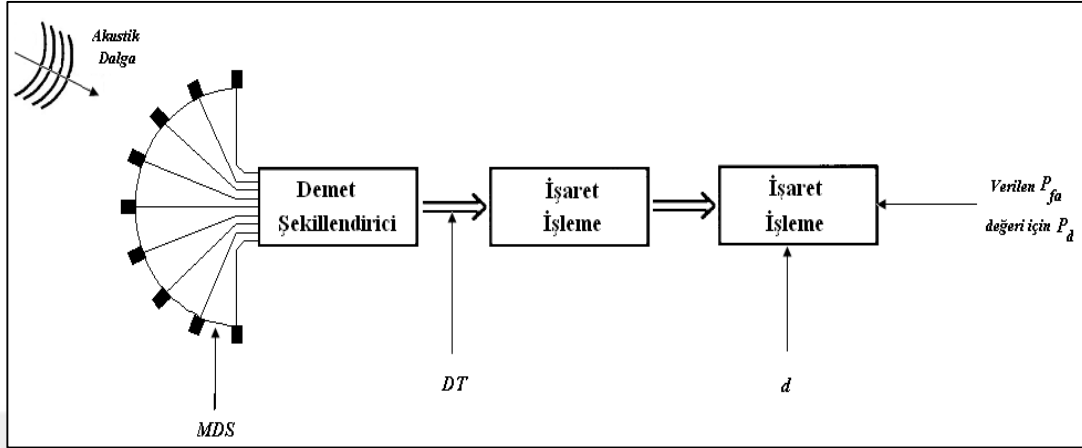
### 2.2.5.2 Alış yönlendirme indeksi

Akustik güçleri aynı yönlendirilmiş yayılım yapan ve her yöne yayılım yapan iki kaynaktan, yönlendirilmiş olarak yayılım yapan kaynak herhangi bir uzaklıkta daha fazla akustik şiddet oluşturur. Meydana gelen akustik şiddetlerin birbirine göre oranı sahip olunan yönlendirilmiş kaynağın istenilen yere ne kadar yoğunlaşabildiğini gösterir. Bu orana yönlendirme, desibel cinsinden gösterimi ise yönlendirme indeksi (DI) olarak tanımlanır (2.23) ve frekans ile doğru orantılıdır.

$$DI = 10 \log D \quad (2.23)$$

### 2.2.5.3 Tespit eşiği

Sonar alıcıları işaret / gürültü oranına (SNR) istinaden minimum fark edilebilir işaret seviyesine (MDS) sahiptirler.



Şekil 2.15 : Sonar Sisteminin Temel Yapısı (Aksoy, 2014)

Yukarıdaki yapıya istinaden demet şekillendirme sonrası gürültü oluşumu izotropik ise  $MDS = DT - DI$ , yönlü ise  $MDT = DT - AG$  formülü ile hesaplanır. Böylece sonar alıcı dizinindeki işaret/ gürültü oranı sonucu çıktı olarak tespit ihtimali veya yanlış alarm oluşur. Tespit eşiğinin yüksek tutulması durumunda sadece hedef ekoları, düşük tutulması durumunda ise birçok temas elde edilecektir. Birçok temas elde edilmesi mayın avlama hareketi yapan unsurlar tarafından istenmeyen bir durumdur. Yüksek eşik ayarlarında hem hedef tespit olasılığı hem de sahte eko olasılığı asgari düzeyde olacaktır. Düşük eşik ayarlarında ise her iki olasılıkta yüksek olması beklenecektir, (Aksoy,2014). Sonar sisteminin temel yapısı Şekil 2.15’de gösterilmiştir.

### 2.2.6 Transmisyon (İletim) kayıpları

Sualtı sesin yayılımı için kompleks bir ortamdır. Sesin suda yayılımı esnasında meydana gelen yansıma ve kırılmalar ses enerjisinin bir kısmının kaybolmasına neden olur. Meydana gelen bu kayıplar iletim kaybı olarak adlandırılır ve sesin yayılım yaptığı yol ve frekansla ilintili olarak değişiklik gösterir.

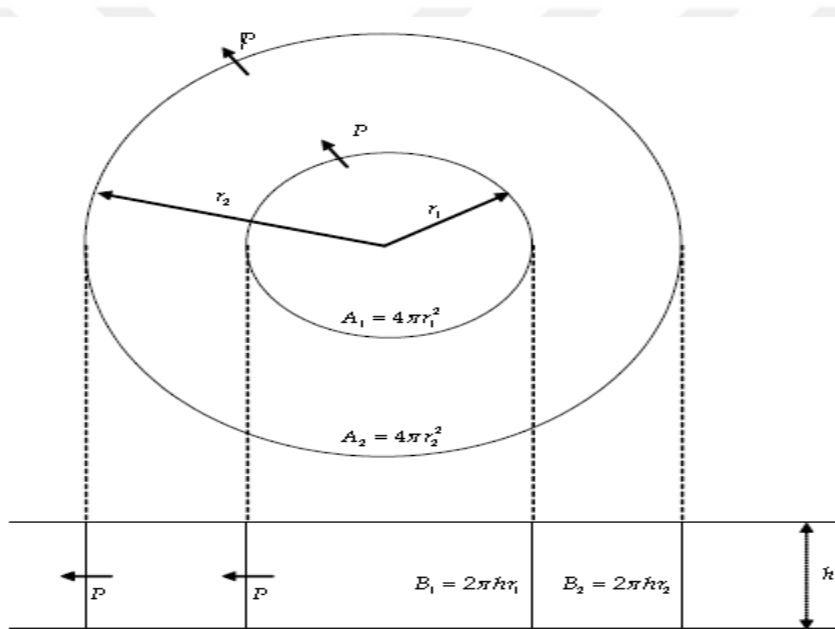
Transmisyon kayıpları, yayılım kaybı cinsinden  $TL = - PL$  olarak da ifade edilebilir. Meydana gelen soğurulma kayıpları (absorption loss) ve dağılma kayıpları (spreading loss) yayılım kayıplarının başlıca nedenleridir. Bunun yanında sualtı ortamından dolayı meydana gelen yansıma (reflection), saçılma (scattering) ve kırılma (refraction) gibi nedenlerden dolayı oluşan kayıplar da mevcuttur (2.24).

$$\text{Yayılm Kayıpları} = \text{İletim Kayıpları} + \text{Soğurulma Kayıpları} + \text{Diğer Kayıplar} \quad (2.24)$$

olarak formül haline getirilir.

### 2.2.6.1 Sesin dağılımı

Ses, akustik dalgalarının yayılımına göre çok büyük bir alana dağılılabılır. Ses dalgalarının kesin bir şekilde ortama göre nasıl bir yayılım gösterdiği bilinmemekle birlikte 1000 m. den uzun mesafeler için silindirik, 1000 m. den daha kısa mesafelerde küresel yayılım gösterdiği kabul edilir. Yayılm kayıpları akustik yayılımın hangi şekil olacağına kabulüne göre ( $r_1 < r_2$ ) hesaplanır, (Şekil 2.16). (<http://www.dosits.org/science/advancedtopics/spreading/>, Erişim Tarihi : 2 Mart 2017)



Şekil 2.16 : Küresel ve Silindirik Yayılım (Waite, 2005)

- Küresel Yayılım (2.25) :

$$P_1 = P_2 \rightarrow 4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2 \rightarrow I_1/I_2 = r_2^2/r_1^2$$

$$r_1 = 1 \text{ m.}, r_2 = r \rightarrow 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 20 \log(1/r) = -20 \log(r)$$

$$\text{Soğurulma kayıpları ile birlikte} = 20 \log(r) + a \times r \times 10^{-3} \text{ db} \quad (2.25)$$

- Silindirik Yayılım (2.26) :

$$P_1 = P_2 \rightarrow 2\pi r_1 h I_1 = 2\pi r_2 h I_2 \rightarrow I_1/I_2 = r_2^2/r_1^2$$

$$r_1 = 1 \text{ m.}, r_2 = r \rightarrow 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log(1/r) = -10 \log(r) \quad (2.26)$$

Burada menzil (r) arttıkça yayılım kayıpları artmaktadır.

### 2.2.6.2 Soğurulma kayıpları

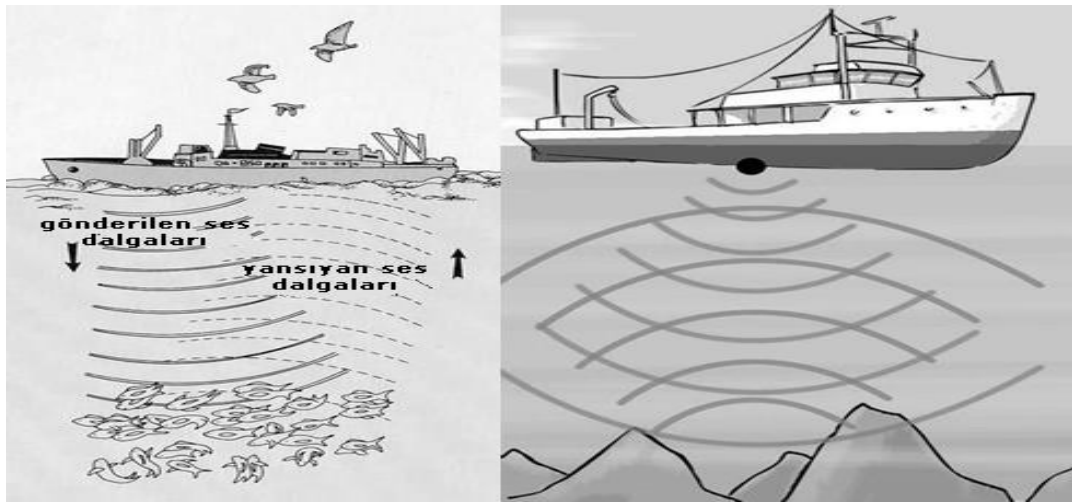
Ses dalgaları sualtında yayılırken sıcaklık ve frekansa bağlı olarak kayba uğramaktadır. Viskozite kayıpları akışkanların oluşturduğu dirençten dolayı meydana gelen kayıplar, moleküler gevşeme kayıpları ise moleküler iyonların gevşemesi sonucu sadece tuzlu suda oluşan kayıplardır. Soğurulma kaybı için pek çok formül üretilmiş olup en yaygın olarak kullanılanı Thorp'un 50kHz'in altındaki sesler için geliştirdiği formüldür (2.27).

$$\alpha = 1,0936 \left( \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} \right) \quad (2.27)$$

TL (db)<sub>emilme</sub> =  $\alpha * R$ 'dir.

### 2.2.6.3 Yansımaya

Yansımaya, ses enerjisinin herhangi bir yüzeye çarparak sıçraması veya atlamasıdır. Yansıyan enerji mutlaka geldiği açıyla yansımaktadır yani yansıtıcı yüzey gelen ses enerjisini hangi açı ile geldiyse o açıyla yansıtılmaktadır, (Şekil 2.17) (Everest ve Pohlmann, 2015).



Şekil 2.17 : Sesin Yansımaları

#### 2.2.6.4 Kırılma

Yapısal özellikleri itibari ile deniz suyunun tamamen düzgün olması ses dalgalarının iki nokta arasında doğrusal olarak hareket edebilmesini olanak sağladı. Gerçek şartlarda ise ses dalgası vericiden çıktığı andan itibaren sualtı ortam şartları nedeniyle hızında değişimler oluşmaktadır. Bu dış etkiler ses dalgasının sesin daha yavaş olduğu bölgelere kırılmasına neden olur. Ses enerjisi sıcaktan soğuğa, tuzlu bölgelerden tuzsuz bölgelere doğru bir eğilim hareketindedir, (Everest ve Pohlmann, 2015).

#### 2.2.6.5 Saçılma ve Reverberasyon

Ses dalgalarının sualtı ortam şartları ve sualtında bulunan canlı/ cansız maddelerden ötürü yansıması ve saçılması olaylarının tümü yankılanma (reverberasyon) olarak adlandırılır (2.28). Yansıma esnasında ses dalgalarının çevreye dağılması olayı ise saçılmadır. Yankılanma yüzey yankılanması, dip yankılanması ve hacim yankılanması olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Tüm yankılanma türlerinde genel olarak yankılanma seviyesi kaynak seviyesi ile orantılı olup gönderilen ses darbenin süresi ile orantılıdır. Bu bir çeşit zayıflama olarak tanımlanabilir, (Waite, 2005).

$$SS_{\text{geri-saçılma}} = 10 \log(I_{\text{saçılma}}/I_{\text{kaynak}}) \quad (2.28)$$

Ses kaynağından yayılan ses dalgaları su yüzeyi pürüzlü olduğundan dolayı her yere yansıyarak ve saçılarak zayıflar. Böyle bir durum su yüzeyi yankılanmasını gösterir. Su içerisinde yayılan ses dalgaları canlı/ cansız birçok cisme çarpar. Bu cisimlerin boyutları genelde ses dalgalarının boyutlarından küçük olduğundan saçılma ve yayılmalar meydana gelir. Özellikle dik açılarda bu olay daha fazla görülmektedir. Ses kaynağından yayılan ses dalgalarının deniz dibinin pürüzlü olmasından dolayı saçılarak zayıflaması dip yankılanmasıdır.

#### 2.2.7 Gürültü

Gürültü, hedeften gelen sinyalleri maskeleyen çalışan, sonar alıcısına gelen arzu edilmeyen sesler olup su altı akustığında 1 Hz ile 100kHz frekans bandındadır.

Aktif sonarlarda hedeften yansıyan ve tespit edilmek istenmeyen yansımalar, pasif sonarlarda hedeften yansıyan ve istenen yansımalar. Isıl, çevre ve gemi (kendi) gürültümüz olmak üzere 3 çeşit gürültü vardır.

### 2.2.7.1 Isıl gürültü

Sonar sistemi dahilinde oluşan her türlü direnç ısı gürültüyü oluşturmaktadır. Sonarın radyasyon direnci ve denizin hareket direnci ısı gürültü kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Isı gürültü ortamda başka bir gürültü kaynağı olmadığı durumda (2.29);

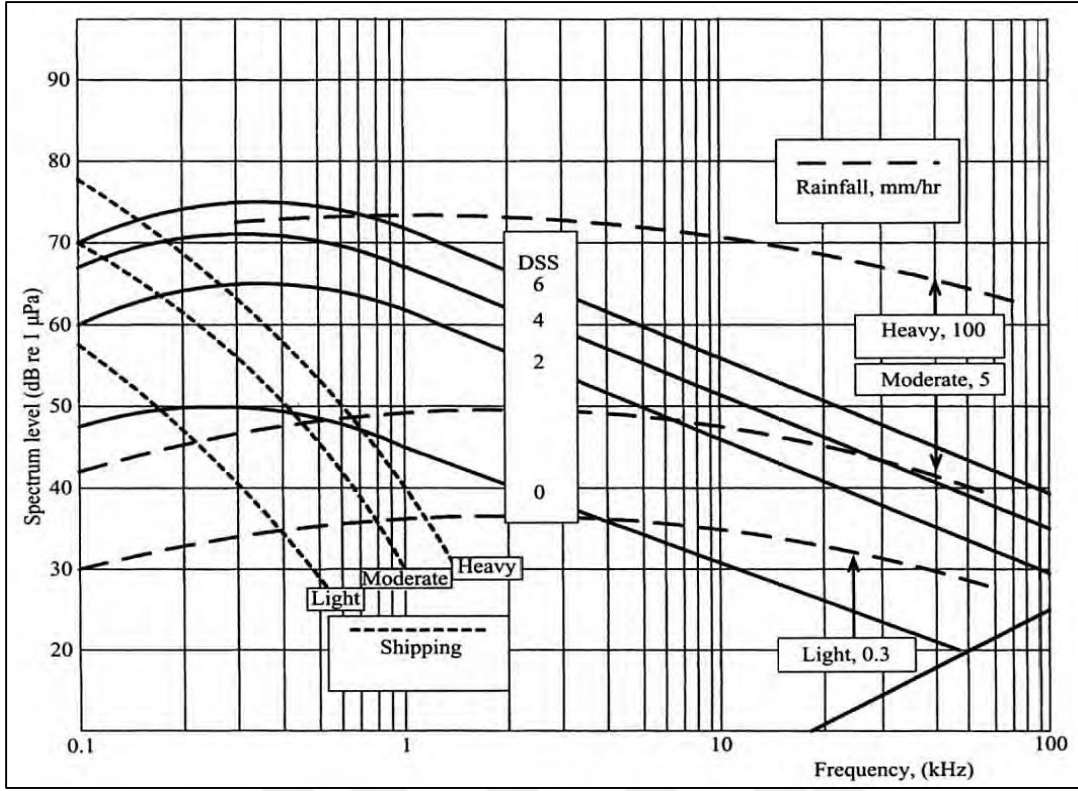
$$N_{\text{ısı}} = -15 + 20 \log(f_{\text{kHz}}) \text{ (dB) olarak verilir.} \quad (2.29)$$

### 2.2.7.2 Deniz (Çevre) gürültüsü

Çevre gürültüsü, denizdeki geçici gürültüler (deniz canlılarının gürültüsü, yağmurlar vb.) ve sonar sisteminin kendi gürültüsü hariç denizin kendi fon gürültüsü olarak tanımlanmış olup Şekil 2.18'de gösterilerek Çizelge 2.1'de açıklanmıştır. Çevre gürültüsü ortam şartlarına göre değişmektedir. Genellikle deniz suyunun türbülansı veya deniz canlılarının çıkardığı seslerden oluşmakta olup alçak frekanslıdır. (Waite, 2005)

**Çizelge 2.1 : Denizin Çevre Gürültüsü**

Yağmur Gürültüsü	Yağan yağmurlar denizin çevre gürültüsünü arttırmaktadır. 3 mm/saat'den daha fazla hızla yağan yağmur deniz gürültüsü üzerinde baskın olup 30 kHz'den daha düşük frekanslarda oluşur.
Rüzgar	Deniz üzerinde oluşan rüzgarlar dolaylı olarak şiddetine göre dalga oluşumuna neden olmaktadır. 300 kHz'den yüksek frekanslarda başlıklar ve 500 kHz frekansında baskın olurlar.
Trafik Gürültüsü	Deniz üzerindeki tüm ticari ve askeri gemilerin oluşturduğu gürültülerin toplamıdır. Tüm trafik nedeniyle oluşan trafik 200 Hz'den düşük frekanslarda etkindir.
Denizin Biyolojik Gürültüsü	Arkaplan gürültüsü olarak da adlandırılmaktadır. 500Hz ile 20kHz arasında 70 db civarındadır.

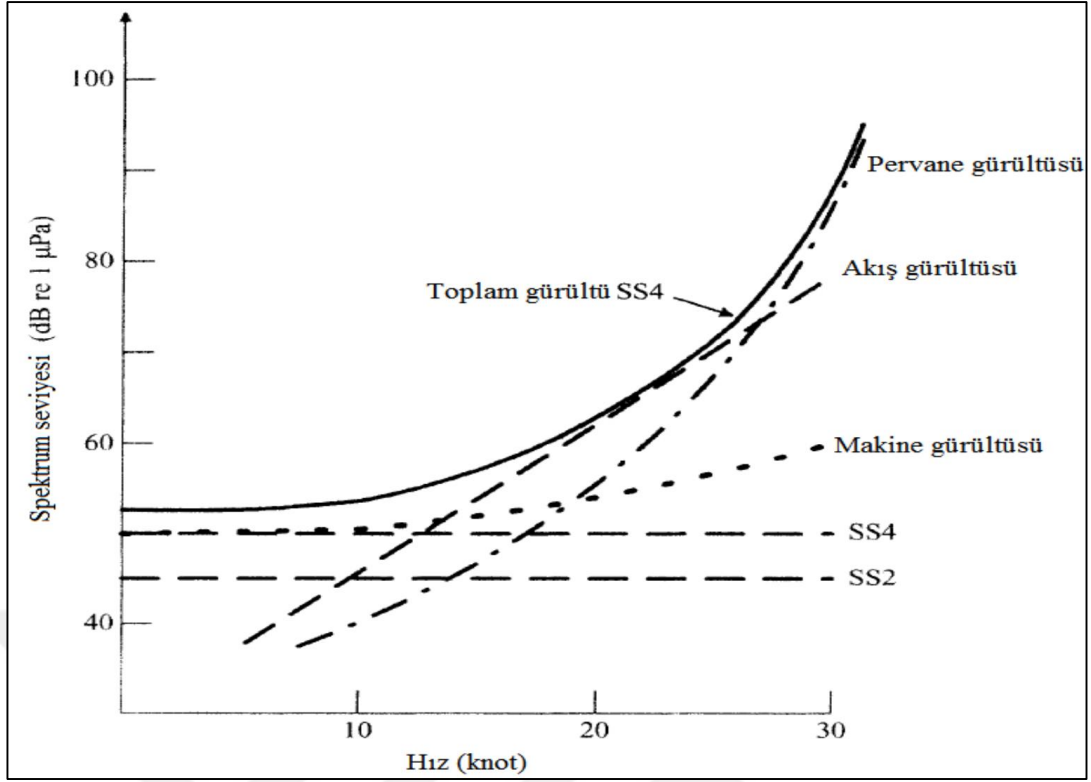


Şekil 2.18 : Denizin Çevresel Gürültüsü (Waite, 2005)

### 2.2.7.3 Gemi gürültüsü

Gemi gürültüsü, geminin ve gemide mevcut sonarın meydana getirmiş olduğu gürültülerin toplamından oluşur. Gemi gürültüsünü geminin tahrik sistemi (makineler), pervanelerin oluşturduğu gürültü ve akışkanlardan dolayı meydana gelen gürültü oluşturmaktadır. Makinenin dönen aksamlarında oluşan dengesizlikten ötürü teknede belirli bir seviyede düzensiz titreşimler meydana gelir ve bunun sonunda oluşan titreşim önce tekneye sonra suya akustik enerji olarak iletilir. Makine gürültüsü düşük frekanslarda baskındır. Pervane gürültüsü pervanenin mekanik titreşimlerinden ve pervane kanatlarının neden olduğu kavitasyon nedeni ile oluşur. Akışkanların oluşturduğu gürültü ise geminin su altında kalan aksamalarının deniz suyu ile etkileşimi sonucu oluşmaktadır. (Waite, 2005) Geminin hızında meydana gelen değişimler ve çevresel faktörler gemi gürültüsünün doğrudan etkilenmesine neden olmaktadır, (Şekil 2.19).





**Şekil 2.19** : Gemi Hızına Göre Gemi Gürültüsü Değeri (Waite, 2005)

Sonarın kendi gürültüsü, yakalanması istenen hedef gürültüsü hariç ortamda bulunan arka plan gürültü olup sonar sisteminin iç gürültüsü, deniz gürültüsü ve gemimizin yayılım gürültüsü olmak üzere üç gürültü çeşidinden oluşmaktadır. Gemilerin dizayn sürecinde sonar gürültülerinin ihmal edilebilir, denizin kendi gürültüsünün önlenemeyeceği tasarımlarda dikkate alınarak geminin gürültüsü asgari seviyeye indirilmelidir.

## 2.2.8 Hedef Kuvveti

Hedef kuvveti (TS), sualtında bulunan hedeflere (gemi, torpido, mayın, denizaltı vb.) çarpan akustik dalganın çarptığı hedef tarafından yansıtılabilme yeteneğidir. Hedef kuvveti sualtında bulunan cismin geometrik yapısına, akustik sinyalin açısına, çıkış yapılacak frekansa bağlıdır.

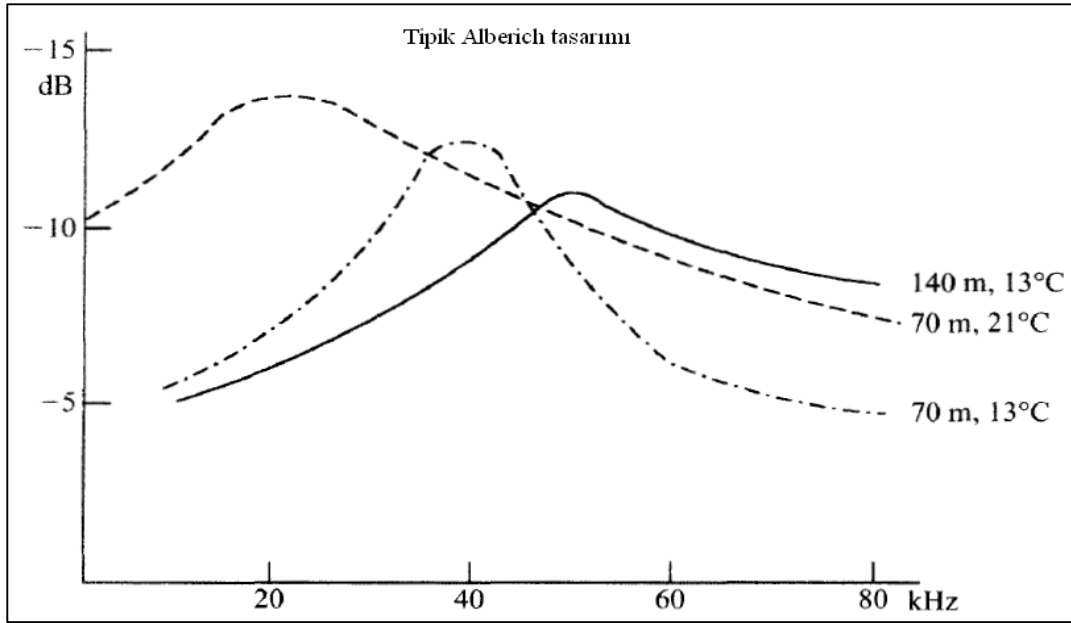
### 2.2.8.1 Hedef kuvveti değerlerinin azaltılması

Hedef kuvvetini azaltmak maksadıyla hedefin tamamının veya belirli bir bölümünün özel akustik kaplamalar ile kaplanması hedef kuvvetinin azaltılmasına yardımcı olur.

Hedef kuvvetinin azaltılması dalga boyuna göre üretilen kaplama malzemesinin ince veya kalın olarak üretilmiş malzemelerle yüzeyin kaplanması sonucunda sağlanabilir.

Hedef kuvvetinde etkin bir azalma yakalanması için kaplanan malzemenin asgari  $\lambda/2$  kalınlığında olması gerekmektedir. Bu durumda kaplama 30 kHz'de 50mm olur bir çok açıda 10-15 dB civarında azalma sağlayabilirler. Pratikte 3 kHz'in altındaki frekanslarda 500 mm kaplama kalınlığı olacağından uygulanabilir görülmemektedir.

İnce kaplamalar ilk defa 2.Dünya Savaşı döneminde Alberich tarafından ince kauçuk tabakası üzerine açılmış uygun biçimli deliklerin 2mm.lik bir dış kaplama ile birleştirilmesi suretiyle kullanılmıştır. Bu uygulama ile yüksek frekanslarda derinlik ve sıcaklığa bağlı olarak rezonanslar oluşturularak hedef kuvveti küçültülmeye çalışılmıştır. Değişik sıcaklık, derinlik ve frekanslarda göre tipik Alberich tasarımlarının ölçümleri Şekil 2.20'de gösterilmiştir, (Waite, 2005).



**Şekil 2.20 :** Derinlik ve Sıcaklığa Göre Tipik Alberich Tasarımı (Waite, 2005)

Denizaltıların kaplanması şüphesiz denizaltının hedef kuvvetini değiştirecektir. Özellikle büyük tonajlı denizaltıların kaplanması ağırlıklarını ve aynı zamanda maliyetlerini arttıracığından her zaman efektif olmayabilir. Pratik uygulamalarda büyük, küçük ve kaplamalı denizaltıların hedef kuvvetleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir, (Waite, 2005).

**Çizelge 2.2 : Büyük, Küçük ve Kaplamalı Denizaltıların Hedef Kuvveti**

dB	Küçük D/A	Büyük D/A	Büyük ve Kaplamalı D/A
İskele/ Sancak	5	25	10
Omuzluklar	5	25	10
Baş/ K1ç	0	10	5

### 2.2.9 Temel sonar denklemleri

Sonar denklemleri tasarım ve performans tanımlamak için sonar sisteminin birlikte çalıştığı ortamlarla ilgili parametreleri içerir. Çalışan bir sisteminin performansını hesaplama veya performansa yönelik tasarım yapmak maksadıyla kullanılırlar. Sonar sisteminin performansı cihazın ve su altı akustik ortamının karakteristik özelliklerine bağlıdır. Genel olarak sonar sistemleri demet şekillendirme, işaret işleme ve görüntüleme birimlerinden oluşur, (Ainslie, 2010).

Temel sonar denklemi (2.30);

$$SE = S - N - (DT - DI) \text{ (db)}, \quad (2.30)$$

Aktif sonarlar için temel sonar denklemi (2.31);

$$SE=(SL+TS-2PL) - N - (DT - DI) \text{ (db)}, \quad (2.31)$$

Pasif sonarlar için temel sonar denklemi;

$$SE = (SL - PL) - N - (DT - DI) \text{ (db)} \quad (2.32)$$

olarak verilir. Burada;

- S : İşaret
- N : Gürültü
- DT : Tespit Eşiği
- DI : Alış Yönlendirme İndeksi
- SE : Sinyal Aşırılığı
- TS : Hedef Kuvveti
- PL : Propagasyon Kayıpları

## 2.3 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, malzeme bilimi içerisinde diğerk bilim dallarına nazaran nispeten yeni bir alan olup kompozit malzemelerin geliştirilmesine 2.Dünya Savaşı sırasında klasik malzemelerin istekleri karşılamaması üzerine başlanmış ve 2.Dünya Savaşını takip eden yıllarda kompozit malzemelerin üretim ve geliştirme faaliyetlerine devam edilmiştir. Yüksek dayanım/ yoğunluk ve yüksek elastikiyet modülü/ yoğunluk oranları ar-ge faaliyetlerinin temel ilgi noktası olmuştur. Kompozit malzemeler bir uygulama alanı üzerine üstün mekanik/ fiziksel özellikler elde etmek amacıyla spesifik konfigürasyonlarda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzemeler olduklarından çok fazlı malzemeler olarak da isimlendirilirler, (Wang, 2016). Tarihsel gelişimi içerisinde killi çamura katılan saman, sarmaşık dalı gibi lifli malzemelerin killi çamurun dayanım özelliğini artırarak kerpici oluşturması ilk kompozit kullanımına örnek olarak verilebilir. 1930'lu yılların başında cam elyafın bulunması ile mühendislik bazında ele alınmaya başlanmış ve modern kompozitin üretimi başlamıştır. Malzeme bilimi olarak kompozit malzemeler ele alındığında yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak değerlendirilebilirler. Kompozit malzemelerin gelişmesi denizcilik, inşaat, savunma, havacılık gibi birçok sektörde etkin olarak kullanılmalarına olanak sağlamıştır.

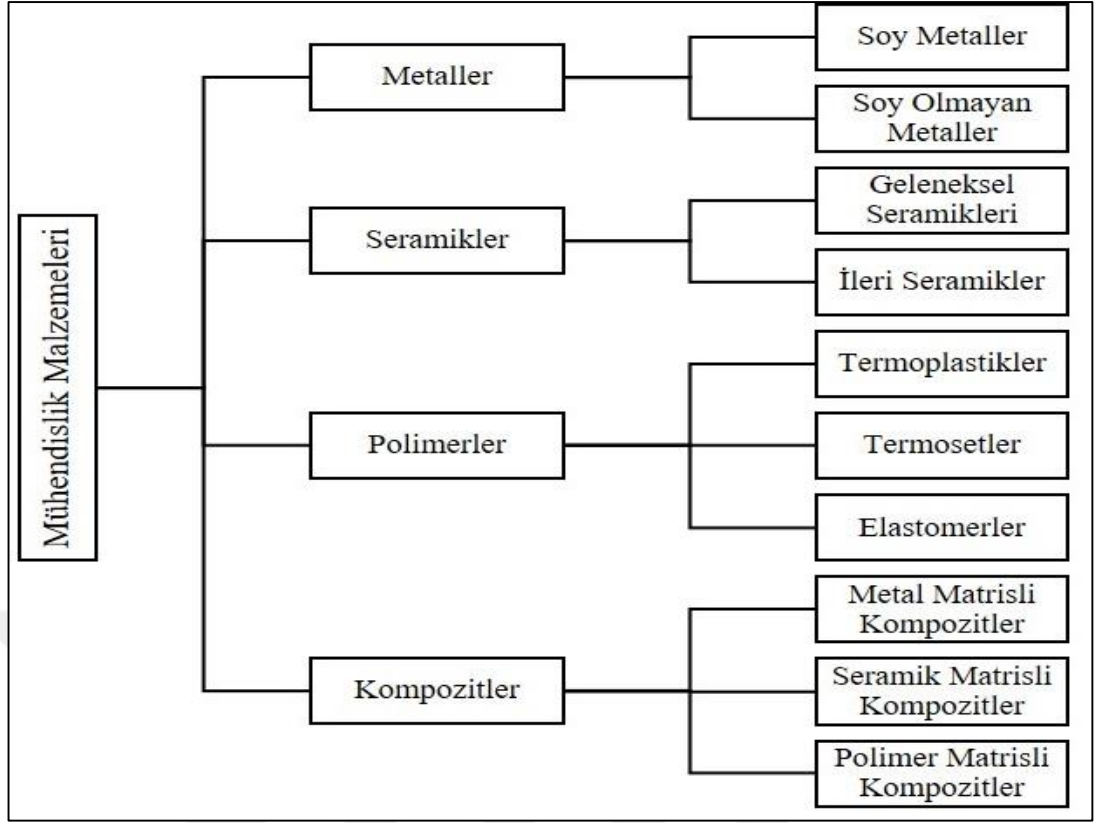
### 2.3.1 Mühendislikte kullanılan malzemelerin genel özellikleri

Mühendislikte kullanım alanları ve yerlerine göre birçok malzeme sınıfı bulunmaktadır. Seramikler, metaller ve plastikler genel olarak en fazla kullanılan malzemeler olup sınıflandırılmaları Şekil 2.21'de gösterilmiştir.

Bütün malzemelerin birbirine göre üstün ve zayıf noktaları vardır (Çizelge 2.3) ve üretim yaparken malzemenin;

- Sıcaklığa olan direnci,
- Elastik modülü,
- Akma dayanımı,
- Çatlak yayılımına karşı direnci,
- Yoğunluğu,

gibi özellikler göz önüne alınmalıdır.



**Şekil 2.21 : Mühendislikte Kullanılan Malzemeler**

Metaller, orta ve yüksek yoğunluğa sahip aynı zamanda tokluk ve dayanım özelliklerinin uyumlu olduğu grup olup makine ve metalürji mühendisliği alanlarında yaygınlıkla kullanılmaktadır. Saf haldeyken yumuşak olmalarına rağmen ısıl işlem, alaşımlama ve soğuk biçimlendirme ile sertlikleri artırılabilir.

Plastikler, düşük yoğunluklu ve karmaşık parçaların üretilmesinin kolay olması, birbirleri ile ve diğer parçalarla kolay birleştirilebilir olması, talaş kaldırma işleminin kolay olması özellikleri açısından avantaj sergilemektedir. Bunun yanında mekanik özellikleri düşüktür.

Seramikler düşük yoğunluklu, dayanıklı ve sert olmalarına rağmen aşırı derece kırılındırlar. Yüksek ergime dereceleri nedeniyle işlenmeleri zordur. Termal ve kimyasal etkilere karşı dirençli olup yalıtıkandırlar. Diğer malzemelere nazaran tasarım esnasında daha az hata kabul payı bulunmaktadır.

Bu malzemelerin ayrı ayrı farklı özelliklerinden yararlanmak maksadı ile kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu sayede daha mukavemetli, daha elastik ve hafif malzemeler mühendislik alanlarında kullanılmaya başlanmıştır, (Şahin, 2015). Seramik, metal ve polimerlerin genel özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

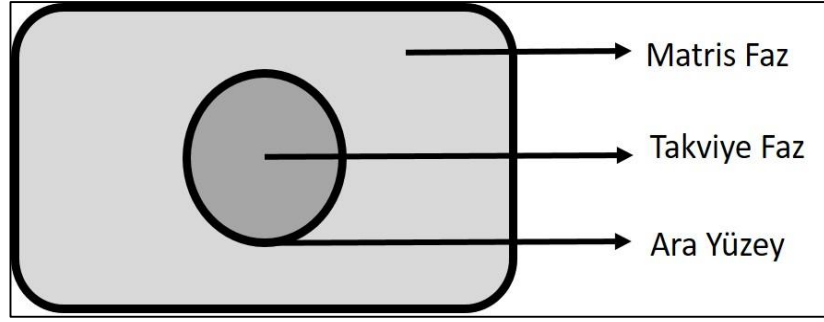
**Çizelge 2.3 : Seramik, Metal ve Polimerlerin Genel Özellikleri**

<b>Özellik</b>	<b>Seramik</b>	<b>Metal</b>	<b>Polimer</b>
<b>Sertlik</b>	↑	↓	↓
<b>Elastik Modül</b>	↑	↑	↓
<b>Yüksek Sıcaklık Mukavemeti</b>	↑	↓	↓
<b>Isıl Genleşme</b>	↓	↑	↑
<b>Süneklik</b>	↓	↑	↑
<b>Korozyon Direnci</b>	↑	↓	↓
<b>Aşınma Direnci</b>	↑	↓	↓
<b>Elektriksel İletkenlik</b>	↑ ↓	↑	↓
<b>Yoğunluk</b>	↓	↑	↓
<b>Isıl İletkenlik</b>	↑ ↓	↑	↓

### **2.3.2 Kompozit malzemelerin yapısı**

Malzemelerin tek başına iken sahip olmadığı özelliklerinin (hafiflik, dayanıklılık vb.) geliştirilmesi veya biraraya getirilmesi amacıyla en az iki farklı malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde makro ölçüde birleştirilmesiyle ortaya çıkan yeni malzemelerdir. Eğer malzemeler molekül ve atomsal düzeyde birleştirilmiş ise mikroskobik olarak homojen olacaklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar, bu malzemeler genelde karışımdır. Örneğin çelikteki krom ve vanadyum bir karışımı oluşturur ve yapısal olarak homojen olması sebebiyle kompozit değildir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla kendi özelliklerini korumaktadırlar, (Şahin, 2015).

Her malzemenin özelliğine göre üstün ve zayıf noktaları (ısı iletkenliği, şekil, akustik yalıtım, dayanıklılık vb.) bulunmaktadır. Kompozit malzemeler matris olarak adlandırılan bir ana malzeme ve takviye olarak adlandırılan bir mukavim malzemedir oluşmaktadır. Matris yapı malzemeye uygulanan bir kuvveti ara yüzey vasıtasıyla takviye elemanına ileterek dağıtır, (Şekil 2.22). Bu şekilde yükü taşıyan takviye elemanının tahribatı önlenir.



**Şekil 2.22 :** Kompozit Malzeme Yapısı.

Kompozit malzemelerde takviye elamanının görevlerini yerine getirebilmesi için matris malzemelerinin mekanik özellikleri büyük önem arz etmektedir. Takviye malzemesi üretim aşamasında malzemenin tane büyüklüğünü kontrol eder ve uygulanan kuvvetin dağıtılmasını sağlar. Matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcı rolü üstlenen ara yüzey kırılğan özellikli olmasına rağmen kuvvetin takviye fazına iletilmesini sağlar. Ara yüzey malzemenin elastikiyet özelliğini etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle kompozit malzemenin dayanıklı olması ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasına bağlıdır.

### 2.3.3 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerde, kendini oluşturan bileşenlerin en iyi özelliklerinin tek malzemede toplanması bir avantaj olmakla beraber birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.4’de verilmiştir, (Şahin, 2015; Kaw, 2006).

**Çizelge 2.4 :** Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.

Avantajlar	Dezavantajlar
Düşük ağırlık	Pahalı olması
Estetik görünüm	Üretim güçlüğü
Kolay şekil verebilme	İşlenmesinin güç olması
İyi termal ve ısı iletkenliği	Geri dönüşümü olmayışı
Yüksek dayanım	Maliyetinin yüksek olması
Yüksek aşınma direnci	Kırılma uzamasının az oluşu
Yüksek sıcaklık kapasitesi	UV ışınlarına karşı hassas olması

### **2.3.4 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler yapısal olarak bünyesinde çokça malzeme bulundurmaktadır ve kompozit malzeme elde etmek için çok sayıda seçenek mevcuttur. Bu nedenle kompozit malzemelerin sınıflandırılması konusunda çok farklı diyagramlar ortaya çıkabilir. Bir malzemenin kompozit olarak sınıflandırılabilmesi için,

- Fiziksel ve mekanik özellikleri farklı olan en az iki malzemenin birleştirilmesi ve farklı ara yüzeylere sahip olması,
- Doğal yollar dışında birleştirilmiş olması,
- Birleştirilen iki malzemenin de en iyi özelliklerinin bir araya toplanması gerekmektedir.

Kompozit malzemeler en yaygın olarak matrise ve takviye malzemesine göre sınıflandırılmaktadır.

### **2.3.5 Matris malzemeye göre sınıflandırma**

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi elyaf arasında emdirilmeli, elyafları ıslatabilmeli, yapışma için bağ oluşturmalı, mümkün olan en düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılma yapabilmelidir. Bağdan ayrı olarak da üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler sırasında matris ve elyaf arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris zamanla kararlı kalmalıdır. Üretim esnasında matrisin kimyası nedeniyle elyaflar da her hangi bir fiziksel hasara maruz kalmamalıdır. Kompozitin sıcaklığa, kimyasal etkileşime ve neme karşı direnci öncelikle matris tarafından belirlenir ve ardından takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır, (Şahin, 2015).

Matris malzemeye göre kompozitler, Metal Matrisli Kompozitler, Seramik Matrisli Kompozitler ve Polimer Matrisli Kompozitler olarak üç gruba ayrılabilir.

#### **2.3.5.1 Metal matrisli kompozitler**

Hafif metaller plastiklerden daha yüksek elastik modül, dayanım ve tokluğa sahip, yüksek sıcaklıklara karşı daha mukavemetli olduklarından kompozit malzemeler için matris malzemesi olarak daha cazip görünürler ve üretimleri zordur. Bunlar her elyaf ile iyi ara yüzey bağı oluşturamazlar. Metaller ile en kolay bağ oluşturan silisyum karbür ile kaplanmış Boron olmasına rağmen bu malzemeler pahalıdır. En çok kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip



olan hafif metaller ve alaşımlardır. Genel olarak Al, Ti, Mg, Ni, Cu, ve Zn matris malzemesi olarak kullanılmakla beraber bunların arasından alüminyum ve alaşımları ile magnezyum ve titanyum en yaygın olarak kullanılanlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımları da yüksektir. Bu kompozitlerde takviye fazı değişik geometrik şekillerde olabilmektedir. Metal esaslı malzemeler takviye edildikleri malzemelere nazaran üstün özelliklere sahiptirler. Seramiklerin yüksek elastik özellikleri nedeniyle genellikle bu sınıf kompozitlerde takviye fazı olarak kullanılırlar. Aşınmanın fazla olduğu yerlerde ve gerilme mukavemeti fazla olan yerlerde kullanılırlar, (Şahin,2015; Kaw,2006).

### **2.3.5.2 Seramik matrisli kompozitler**

Seramikler yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları için oldukça kullanışlı malzemelerdir. Genellikle yüksek sıcaklık altında çalışılan yerlerde kullanılırlar. Sert ve kırılğan yapıları nedeniyle düşük süneklik ve tokluğa sahip olup termal şoklara karşı dayanıklı değildirler. Bu nedenle çoğu zaman liflerle takviye edilirler. Elektriksel olarak çok iyi yalıtıkandırlar, (Kaw, 2006).

### **2.3.5.3 Polimer matrisli kompozitler**

Polimer matrisli kompozit malzemeler büyük oranda petrokimya bazlı ürünler olup günümüzde yaygın kullanım alanına sahiptirler. Polimerik kompozitler korozyona karşı dayanıklı, uzun süreli kullanıma uygun ve işlenmesi kolay malzemelerdir. Kompozit malzemelerde plastik matris olarak termoplastikler, termosetler ve elastomerler kullanılmaktadır.

Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşayarak tekrar şekil verilebilen, soğutulduklarında ise tekrar katılaştıran polimerlerdir. Polimerlerden çoğunlukla termoplastikler kullanılmaktadır. Moleküler anlamda birbirlerine zayıf metaller arasında Van der Waals bağları ile bağlıdırlar. Isıtma sonucu yumuşarlar ve viskoziterleri düşer. Üretimleri için yüksek basınç ve sıcaklık gerekmektedir. Düşük rijitliğe sahiptirler ve yüksek termal uzama katsayısına sahiptirler. Termoplastikler üretilen bütün sentetik polimerlerin hemen hemen %70'ini meydana getirmekte olup ticari olarak en önemli polimerdir. Tipik olarak acetal, acrylonitrile-Butadine-Streyn, Selülöz, Poli-tetra-flor-etilene, Poli amids, Polikarbonat, Polietilen, Polyester, Polivnil

klorür, Naylon 6.6, Polistireyn ve Polipropilen kullanılmaktadır, (Şahin, 2015). Sık olarak kullanılan termoplastiklerin özellikleri Çizelge 2.5’de verilmiştir, (<http://www.teknikport.com/2012/04/plastik/> Erişim Tarihi: 4 Nisan 2017).

Termosetler ısı uygulamasına tabii tutulduktan sonra verilen şekle göre sertleşerek katılaştıran malzemelerdir. Bu sertleşme işlemi malzemenin molekül zincirleri arasında oluşan daimi bağlantılar sonucu geri dönüşü olmayan bir işlemdir. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar polimere yüksek rijitlikte bir iskelet oluşturmaktadır. Termosetler üretim sonrası yeniden eritememekte ve bu nedenle geri dönüşümü olmayan malzemelerdir. Termosetler, termoplastikler ile karşılaştırıldığında mekanik özellik, kimyasal direnç ve ısı istikrarlılık bakımından daha avantajlı özelliklere sahip olup kırılığandır. Epoksi, polyesterler, bakalit ve vulkanize kauçuk termoset polimerlerden başlıca kullanılanlarıdır.

Elastomerler çapraz bağlara sahip uzun zincir moleküllerden oluşmakta ve birden fazla gerilmeye maruz kaldığında tekrar ilk şekline dönebilen malzemelerdir. Bu özelliği nedeniyle düşük elastikiyet modülü ve yüksek akım mukavemetine sahiptir. Başlıca elastomerlere polibütadien, stiren bütadien, nitril kauçuk örnek gösterilebilir.

**Çizelge 2.5 : Sık Kullanılan Termoplastiklerin Özellikleri.**

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (izod, J/m)	Elektriksel Yalıtıklık Dayanımı (V/mm)	En Yüksek (yüksüz) Kullanım Sıcaklığı
<b>Polietilen</b>					
Düşük Yoğunluk	0,92 – 0,93	6,2 – 17,2		18912	82 – 100
Yüksek Yoğunluk	0,95 – 0,96	20 – 37,2	21,35 – 747,3	18912	80 – 100
<b>PVC</b>	1,49 – 1,58	51,7 – 62,1	53,38 – 298,9		110
<b>Polipropilen</b>	0,90 – 0,91	33 – 38	21,35 – 117,4	25610	107 – 150
<b>Stiren (SAN) Akrlonetril</b>	1,08	69 – 82,8	21,35 – 26,69	69935	60 – 104
<b>ABS</b>	1,05 – 1,07	40,7	320,28	15169	71 – 93
<b>Acrilik</b>	1,11 – 1,19	75,9	122,77	17730– 19700	54 – 110
<b>Selülozik, asetat</b>	1,2 – 1,3	20,7 – 55,2	133,45– 213,52	9850 –	60 – 104
<b>Plitetrafloretlen</b>	2,1 – 2,3	6,9 – 27,6	64,05 362,98	21670	228
<b>Naylon</b>	1,13 – 1,15	62,1 – 82,8	106,76	15169	82 – 150
<b>Poliasetal</b>	1,42	69	74,73	12608	90
<b>Polikarbonat</b>	1,2	62,1	640,56– 854,08	14972	120
<b>Polyester</b>					
<b>PET</b>	1,37	71,7	42,7	-	80
<b>PBT</b>	1,31	55,2 – 56,5	64,05 – 69,39	23246– 27580	120
<b>Polifenilen oksit</b>	1,06 – 1,10	53,8 – 66,2	266,9	15760– 19700	80 – 105
<b>Polisülfon</b>	1,24	70,3	64,05	16745	150
<b>Polifenilen sülfür</b>	1,34	69	16,01	23443	260

### **2.3.6 Takviye malzemeye göre sınıflandırma**

Kompozit malzeme içerisinde takviye malzemesinin temel görevi yükü taşıyarak matrisin dayanımını arttırmaktır. Son dönemde yüksek özgül dayanımlı olan malzemelere olan talep nedeni ile takviye elamanı olarak seramikler elyaflar veya parçacıklar çoğunlukla tercih edilmeye başlanmıştır.

Takviye malzemeye göre kompozitler, elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitler olarak dört temel gruba ayrılabilir.

#### **2.3.6.1 Elyaf takviyeli kompozitler**

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Yumuşak ve sünek matris içine sert dayanıklı elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde çekme, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileşmektedir. Matris malzemesi, uygulanan kuvveti elyaflara transfer ederek tokluk ve yumuşaklık özelliği sağlarken elyaf uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır. Bu tip kompozitlerde çok çeşit takviye malzemesi kullanılmakla beraber ilk sırayı cam almaktadır. Matris malzeme olarak reçineler en fazla kullanılan türdür ve ucuzluğu sebebi ile çok fazla kullanılmaktadır. Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır. Elyaf takviyeli kompozitler sürekli elyaf takviyeli kompozitler, kesikli elyaf takviyeli kompozitler, rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler olarak alt sınıflara ayrılabilir.

#### **2.3.6.2 Parçacık takviyeli kompozitler**

Tek veya iki boyutlu makro mikrobik partiküllerin veya sıfır boyutu olarak kabul edilen mikrobik partiküllerin matris ile oluşturduğu malzemelerdir. En çok kullanılan parçacıkları  $Al_2O_3$  ve SiC'den oluşan seramiklerdir. Burada uygulanan yük, elyaf ve matris tarafından beraber taşınır ve malzeme özellikleri bakımından incelendiğinde izotropiktir. Dayanımı iyileştirmekten ziyade alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Metal, seramik ve polimerin birleşiminden oluşabilirler. Parçacık takviyeli kompozitlere metal kesici ve delici uçlar veya beton örnek olarak verilebilir, (Şahin,2015).

### **2.3.6.3 Tabakalı kompozitler**

Tabakalı kompozitler en eski ve yaygın kullanıma sahip olan kompozit çeşididir. Temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlerdeki katman ve tabakaların üst üste konulması ile üretilirler. Tabakalama, tabakayı oluşturan malzemelerin özelliklerinden yararlanarak daha iyi bir ürün meydana çıkarmak için yapılmaktadır. Farklı elyaf yönlendirmeleri ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir. Isıya ve neme dayanıklı yapılar olup metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.

### **2.3.6.4 Karma kompozitler**

Karma kompozitler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere “hibrid kompozitler” denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür.

Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

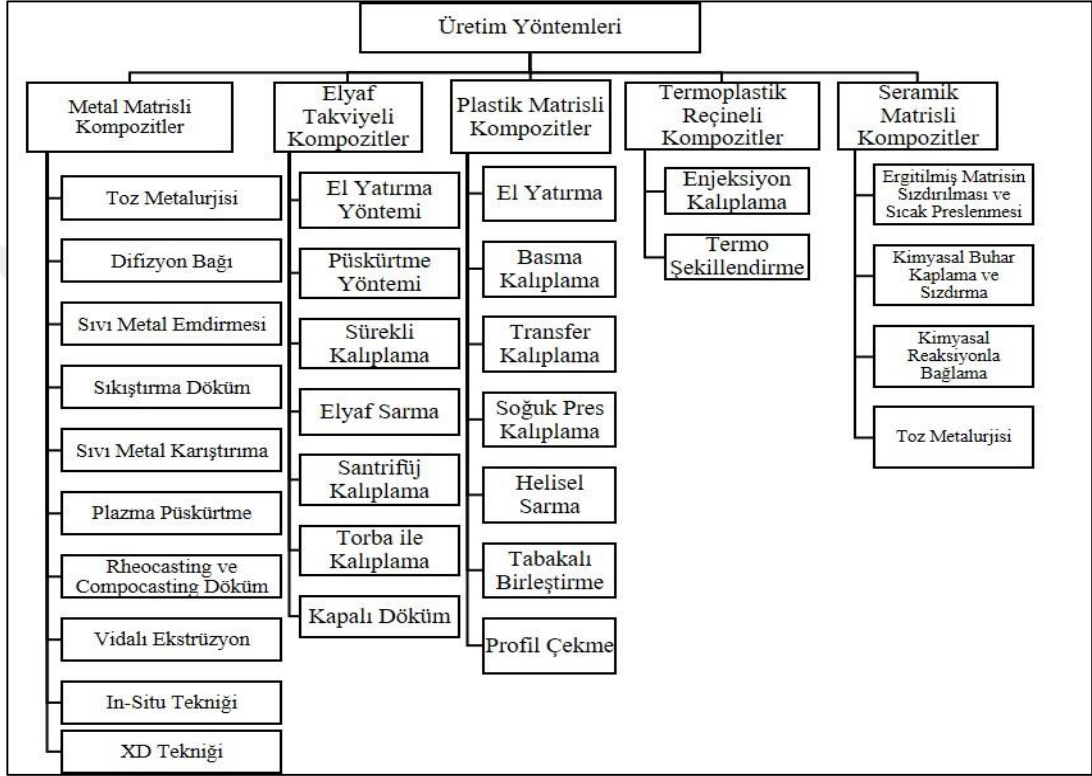
### **2.3.7 Kompozit malzeme üretim yöntemleri**

Kompozit malzemeler; makroskopik yapıda birbirinden bağımsız iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Eğer bu bileşenler makroskopik yapının yanında mikroskopik yapıda da birleştirilirse kompozit olarak tanımlanamazlar, bu nedenle metal alaşımları ve polimer karışımları kompozit olarak sınıflandırılmazlar.

Kompozit malzemelerin son yıllarda konvansiyonel malzemelere nazaran sergilemiş oldukları üstün özellikler üretim teknikleri bakımından da birçok araştırma

yapılmasına sebebiyet vermiştir. Kompozit malzemelerin halihazırda üretim maliyetleri diğer klasik malzemelere nazaran çok yüksektir.

Kompozitlerin üretim teknikleri malzemede istenen mekanik ve fiziksel özelliklere, parçaya, matrise ve elyafa göre belirlenmektedir, (Şahin, 2015). Genel olarak üretim teknikleri sıvı hal ve katı hal üretim teknikleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Kompozit malzemelerin temel üretim teknikleri Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.23 : Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

## 2.4 Malzemenin Akustik Özelliğine Etki Eden Temel Faktörler

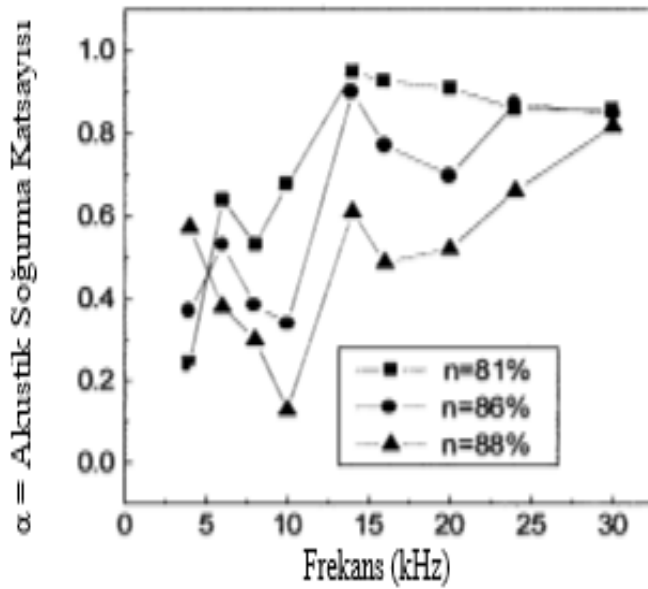
Malzemelerin bazı yapısal özellikleri suyun üzerinde ve suyun altında malzemenin akustik özelliğini farklı şekillerde etkilemektedir. Bu özelliklerden bazıları su üzerinde iyi bir akustik performans sergilenmesine neden olurken bazı özellikler su altında akustik performansın olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle akustik performansı etkileyen ortamlarda malzemenin akustik özelliklerini etkileyen faktörlerin iyi analiz edilerek yorumlanması ve malzeme üretiminin bu koşullar altında gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

### 2.4.1 Makroskobik özellikler

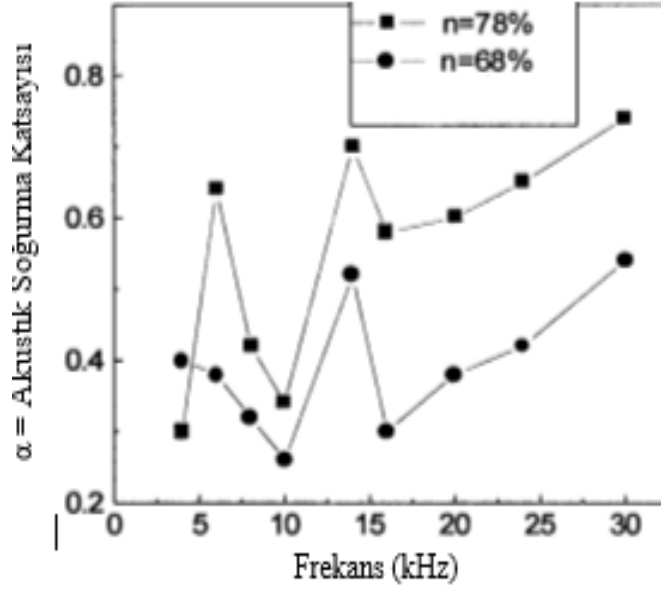
Malzemenin gözeneklilik, gözeneklerinin sahip olduğu geometrik şekil ve boyutları, içyapı dağılımı Makroskobik boyutta sesin akustik özelliğine etki eden faktörlerdir.

#### 2.4.1.1 Gözeneklilik

Gözeneklilik, toplam gözenek hacminin soğurucu malzemenin toplam hacmine olan oranıdır. Yüksek gözenekliğe sahip olan malzemelerin akustik soğurma katsayılarının yüksek olduğu görülmüştür. Gözenekli yapılara çoğunlukla köpüklerde rastlanmaktadır ve yutucu malzemelerde gözeneklilik oranı 1'e yaklaşmaz. Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'de farklı gözeneklilik değerlerine, 2.5 mm. gözenek genişliğine ve 30 mm. kalınlığa sahip alüminyum köpüğün farklı frekanslarda soğurma katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 2.24 : Gözeneklilik ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki (Guiping, Deping ve Guangji, 2001)



**Şekil 2.25 :** Gözeneklilik ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki (Guiping, Deping ve Guangji, 2001)

Sesin soğurulması için ses dalgalarının alüminyum köpük içerisine girmesi gerekmektedir. Gözeneklilik düşük olduğunda birim alan başına düşen gözenek sayısı azalacağından gelen ses dalgası yansıma eğilimi gösterecektir. Gözenek miktarının artmasıyla birim alan başına düşen gözenek sayısı artar ve enerji dağılımı meydana gelir. Yüksek gözeneklilik değerine sahip alüminyum köpük sesi içerisine alır ve soğurulan enerji azalır. %75-80 arasında gözeneğe sahip köpüğün daha iyi soğurma yaptığı görülmektedir.

#### 2.4.1.2 Gözenek şekil faktörü ve Karakteristik boyutlar

Ses dalgaları kaynaktan çıkıp malzemenin içerisine girdiğinde malzemenin gözenek yapısı nedeniyle ses dalgalarının ilerleyişi etkilenmektedir. Malzemenin içerisindeki gözenek şekilleri farklı geometrik şekillerde ve farklı alanlara sahip olduğundan farklı olan her yüzey şeklinin malzemenin üzerindeki etkisi de farklı olacaktır. Malzeme içerisinde mevcut gözenekler basit geometrik şekillere sahip olmadığından analitik olarak şekil faktörünü bulmak neredeyse imkansızdır. Gözenek şekil faktörleri genellikle deneysel olarak malzemenin efektif yoğunluk ve esneklik/hacim modülü ölçümlerinin en iyi şekilde ayarlanmasıyla bulunurlar. Efektif yoğunluk ve empedans modülünden karakteristik empedans ve dalga sayısı elde edilebilir. Karakteristik boyut hacmin yüzey alanına oranıdır ve basit geometrik şekillere sahip gözenek yapıları için

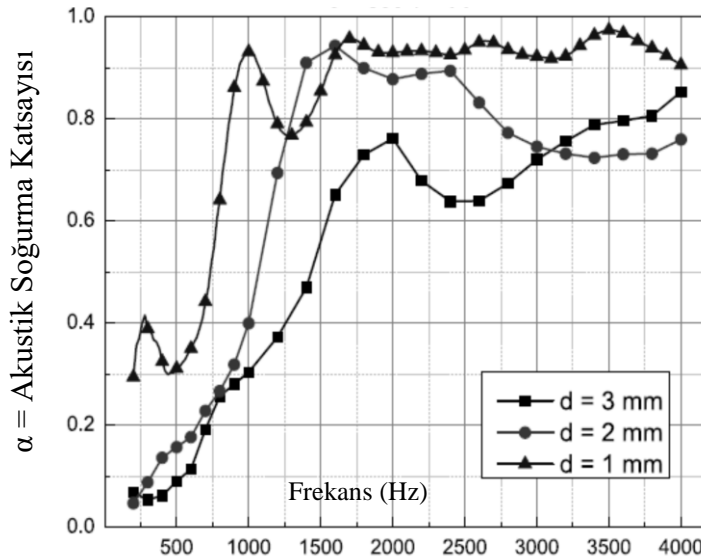
s 0.3-3 arasında değişen bir sabit,  $\eta$  havanın viskozitesi,  $\alpha_\infty$  içyapı dağınlıklığı olmak üzere;

$$\Lambda = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{8\eta\alpha_\infty}{\varepsilon\sigma}} \quad (m) \quad (2.33)$$

formülü kullanılabilir (2.33). Silindirik şekle sahip olmayan ve komplike i yapılaraya sahip malzemeler için farklı bir karakteristik boyut kullanılması daha yararlı olacaktır. Efektif yoğunluk küçük kesit alanlı gözenekler ile belirlenebilirken esneklik modülünün belirlenmesinde daha büyük kesit alanlı gözeneklere ihtiyaç duyulmaktadır.  $S_p$  gözeneklerin yüzey alanı,  $V_p$  gözeneklerin yüzey hacmi, formül (2.34) verildiği üzere;

$$\Lambda' = \frac{2 V_p}{S_p} \quad (m) \quad (2.34)$$

İkinci karakteristik boyut olarak tanımlanabilir. Karakteristik boyutla gerekli parametreler bulunarak bir değerlendirme yapılabilse de teorik modellerin kullanımında sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Soğurucu malzemeler için gözenek şekilleri genellikle karmaşıktır ve karakteristik boyutlar yapılacak testler üzerinden belirlenmelidir, (Vidinlimen, 2010).



şekil 2.26 : Gözenek Boyutu ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki, (Xu,Jiang ve Zang, 2015).



Şekil 2.26'da %80 gözenekliliğe ve 90 mm. kalınlığa sahip silikon karbür köpüğün farklı gözenek boyutlarındaki akustik soğurma özellikleri gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere köpük yapısındaki malzemelerin akustik davranışları gözenek boyutuna oldukça bağlıdır. Gözenek boyutunun küçük olması akustik soğurma davranışının iyileşmesini sağlamaktadır.

#### 2.4.1.3 İç yapı

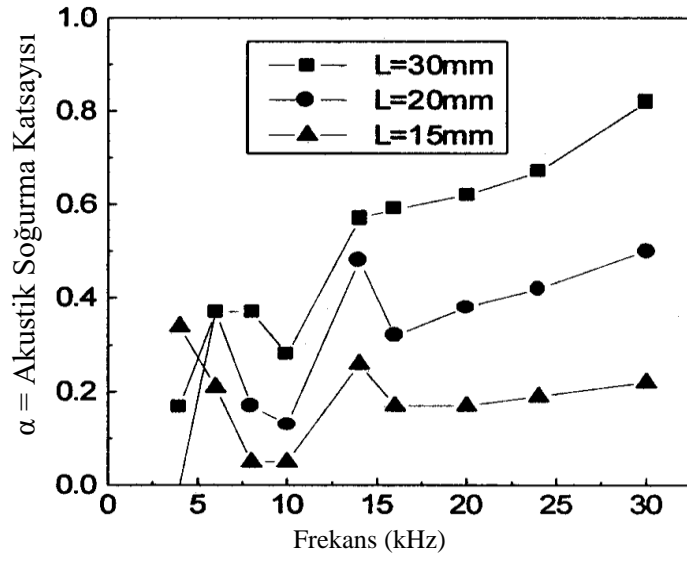
Malzeme içerisindeki gözeneklerin uzanımının gelen ses dalgasının alanına göre ses yayılımı üzerinde etkisi bulunmakta olup bu içyapı dağılımı  $\alpha_{\infty}$  ile gösterilmektedir. Basiti silindirik ve aynı yönde dizilmiş gözenekler için, içyapı dağılımı aşağıda verilen formüle göre ses dalgası ve gözenek arasındaki açıya ( $\Psi$ ) bağlıdır.

$$\alpha_{\infty} = \frac{1}{\cos^2(\Psi)} \quad (2.35)$$

Formül (2.35) ile verildiği üzere hava partiküllerinin yutum elemanı içerisinde izledikleri yol ne kadar karmaşık olur ise yutumun da o kadar yüksek olacağı değerlendirilmektedir. (Cox ve D'antonio, 2005).

#### 2.4.2 Geometrik ve mekanik özellikler

Sualtı akustik kaplamaları ihtiyaca göre çeşitli kalınlıklarda üretilmektedirler. Kalınlığın soğurma üzerinde önemli bir etkisi mevcuttur. Bunun yanında çok kalın olan malzemenin daha iyi soğurma yapacağı düşüncesi yanlıştır. Gözenekli köpükler kullanmak malzeme ağırlığını azaltmak için iyi olsa da malzeme kalınlığını arttırmak en iyi yol olarak seçilmemelidir. Kalınlık dışında Biot teorisine göre, açık gözenekli bir elastik malzeme, malzeme yoğunluğu ile birlikte kayıp faktörü, kayma modülü, Young / Poisson oranı olmak üzere üç makroskopik elastik özellik ile ifade edilir. Şekil 2.27'de %70 gözenekliliğe, 4,5 mm. gözenek genişliğine sahip alüminyum köpüğe ait akustik soğurma katsayıları gösterilmiştir. 5 Khz'den sonra kalın olan numunenin soğurma katsayısının iyileşerek devam ettiği ve kalınlığın artmasının akustik soğurma katsayısını iyileştirdiği görülmektedir. Bu parametrelerin her plaka için gözeneklilik, frekans, yoğunluk, sualtı ortam şartları, kalınlık gibi birçok faktör ile değişebileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.27 : Malzeme Kalınlığı ve Soğurma Katsayısı Arasındaki İlişki (Guiping, Deping ve Guangji, 2001)

### **3. GEREÇ ve YÖNTEM**

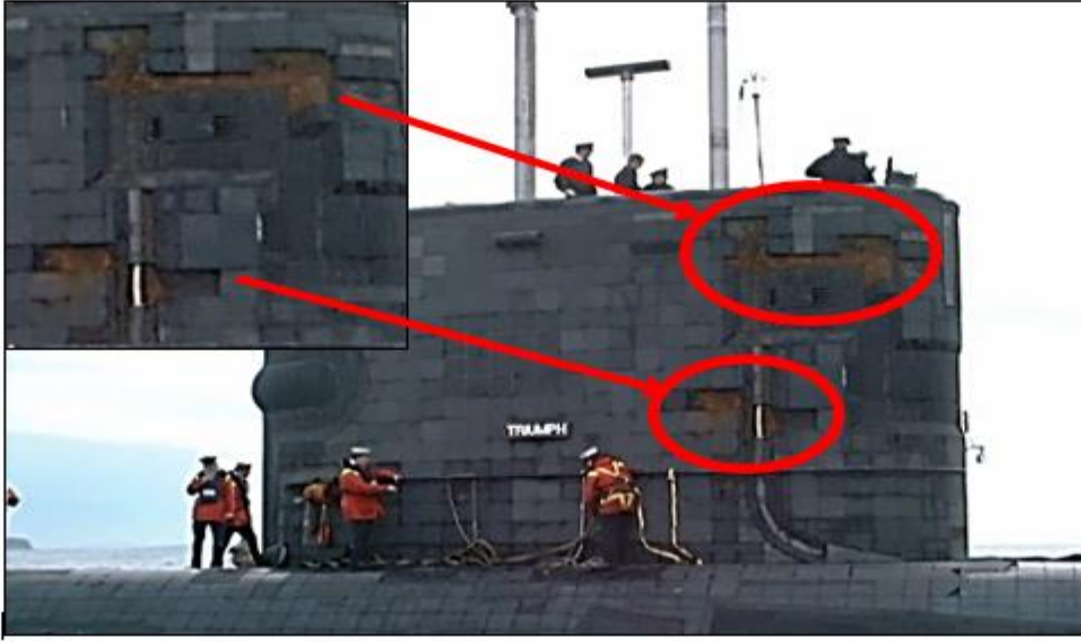
#### **3.1 Sualtında Kullanılan Konvansiyonel Kompozit/ Hibrid Akustik Malzemeler**

Sualtı akustik uygulamaları incelendiğinde askeri alanda üretilen malzemelerin gizlenme, yer tespitini zorlaştırma, sonar sinyallerini emici ve dağıtıcı özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

Çoğunlukla denizaltı ve mayın silahında kullanılan kompozit veya hibrid yapıdaki malzemeler kalınlıklarına, kullanılan frekansa, gözenek boyutlarına (Guiping, Deping ve Guangji, 2001), ortam şartları ve çevresel faktörlere göre farklı özellikler göstermekte olup bir malzemenin tüm ortam şartlarında ve tüm frekanslarda aynı özellikleri göstererek verimli bir şekilde çalışması beklenmemelidir.

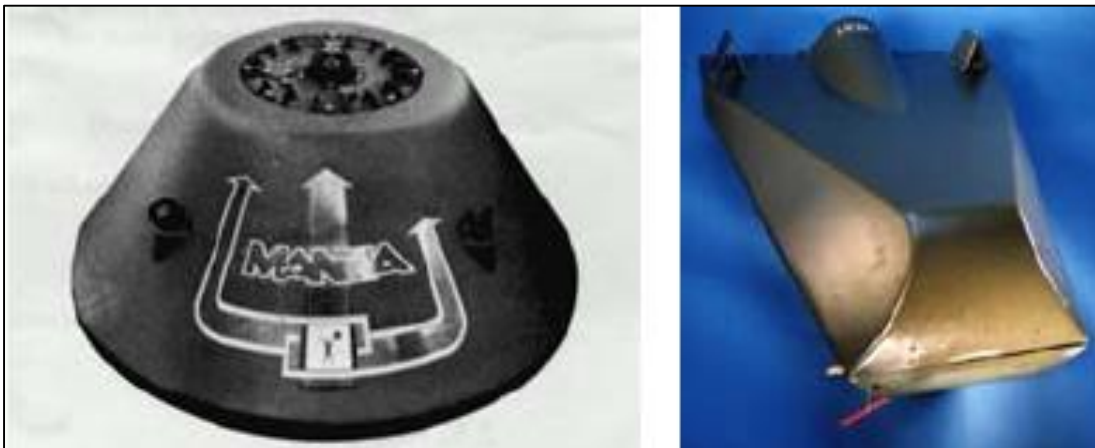
Denizaltılarda 2.Dünya Savaşından itibaren suüstü gemileri tarafından tespit edilmeyi zorlaştırmak bir başka deyişle suüstü gemilerinin sonarlarına yakalanmayı güçleştirmek amacıyla “Alberich Kaplamaları” (Quian ve Li, 2017) olarak ortaya çıkan kaplamalar, sonardan gelen sinyali soğuran ve efektif menzilinı düşürecek şekilde polimer/ kauçuk malzemelerden üretilmişlerdir, (Waite, 2005). Halihazırda birçok konvansiyonel denizaltıda anekoik kaplama adı altında kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de İngiliz Donanma gemisi HMS TRIUMPH’a ait düşen kaplamalar gözükmektedir.

Donanma gemilerinde sessizliği sağlamak için birçok uygulama bulunmakta bunlardan biri de elastomerik kaplamalardır. Kauçuğun akustik empedansı ve geometrik şeklinin uygun düzenlenmesi ile hem denizaltının iç sesi hem de üzerine gelen sonar sinyalinin azaltılması sağlanmaktadır, (Roland, 2004).



**Şekil 3.1 :** HMS TRIUMPH Gemisine Ait Düşen Akustik Kaplamalar.

Mayın gemilerinin sonarları tarafından tespit edilmeyi güçleştirmek amacıyla konvansiyonel olarak paslanmaz çelikten üretilen mayınların yerini dış kabuğu kompozit/ hibrid malzemelerden üretilen mayınlar almıştır. Kompozit/ hibrid malzemelerin sonar ekranında metale nazaran daha az eko yaratması sebebiyle günümüzde tespit edilebilirliği önlemek veya azaltmak amacıyla birçok ülke dış kabuğu kompozit/ hibrid yapıda üretilen mayınları kullanmaya başlamıştır, (Selmi, 2016). Şekil 3.2’de yukarıda anlatılan şekilde dış kabuğa sahip Manta ve Rockan mayınları gözükmemektedir.



**Şekil 3.2 :** Manta ve Rockan Mayınları

Kauçuklar denizaltı akustik kaplamalarında kullanıldığı gibi sualtı akustik transdüserlerde akustik soğurma, akustik reflektör ve akustik pencere olmak üzere 3

ana amaç için kullanılmaktadır. Malzemenin yoğunluğu ve sesin malzeme içindeki hızının suya yakın olması durumundan malzeme kabaca Rho-c olarak adlandırılmaktadır. Rho-c kauçuklar da akustik özellikleri suya çok yakın olduğu için yoğunlukla kullanılmaktadırlar, (Pillai, 2003).

Suüstü ve denizaltı gemilerinin sonar domlarında kauçuk ve kompozit malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır, (Şekil 3.3). Türk Deniz Kuvvetlerinde görev yapmakta olan Engin Sınıfı Mayın avlama gemileri ve diğer birçok geminin sonar domları kauçuk ve kompozit malzemeden üretilmiştir, (Mouritz ve diğ, 2005).



**Şekil 3.3 :** Kauçuk Kaplama Sonar Transdüseri ve Kompozit Sonar Domu

Kauçuk ve benzeri yapıların dışında şu an konvansiyonel olarak kullanım yeri farklı olan açık hücreli inorganik köpük malzemelerde de farklı gözeneklilik, kalınlık ve frekans değerlerinde sualtında çok iyi akustik özellikler elde edilmiştir, (Guiping, Deping ve Guangji, 2001; Xu,Jiang ve Zang, 2015).

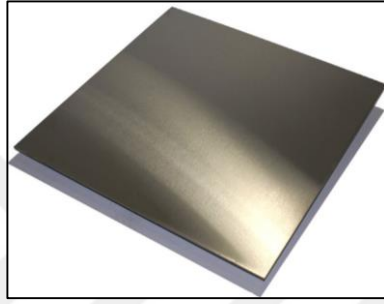
### **3.1.1 Malzeme seçimi**

Sualtı akustik uygulamalarında konvansiyonel olarak kullanılan ve yeni kullanılmaya başlanmış malzemeler incelenerek malzeme üretiminde açık hücreli inorganik köpük malzemeler, kauçuklar ve kompozitler akustik plaka tasarlamak ve üretmek amacıyla kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen nedenler ışığında sualtı akustik ölçümleri yapmak maksadıyla toplam 6 adet 50cm x 50 cm x 2 cm boyutlarında farklı özelliklerde (biri 50cm x 50 cm x 1 cm referans çelik saç plaka) olmak üzere plakalar tasarlanarak üretilmiştir.

### 3.1.1.1 Referans metal plaka

Desibel (dB), ses seviyesini ölçmek maksadıyla tanımlanan birimdir. Ancak, desibeli bir ses birimi olarak kullanabilmek için referans bir ses seviyesi seçmek gerekmektedir. Bu nedenle sualtı silah ve sistemlerinde yoğunlukla kullanılan çelik saç referans plaka (Şekil 3.4) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4 : Referans Çelik Saç Plaka

### 3.1.1.2 Köpük filtre esaslı plakalar

Birinci plaka, 5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilerek 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında plaka elde edilmesi sonucu oluşturulmuştur, (Şekil 3.5).

İkinci plaka, 5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilmesi ardından meydana gelen 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında inorganik plakaya cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanması yoluyla oluşturulmuştur, (Şekil 3.5).

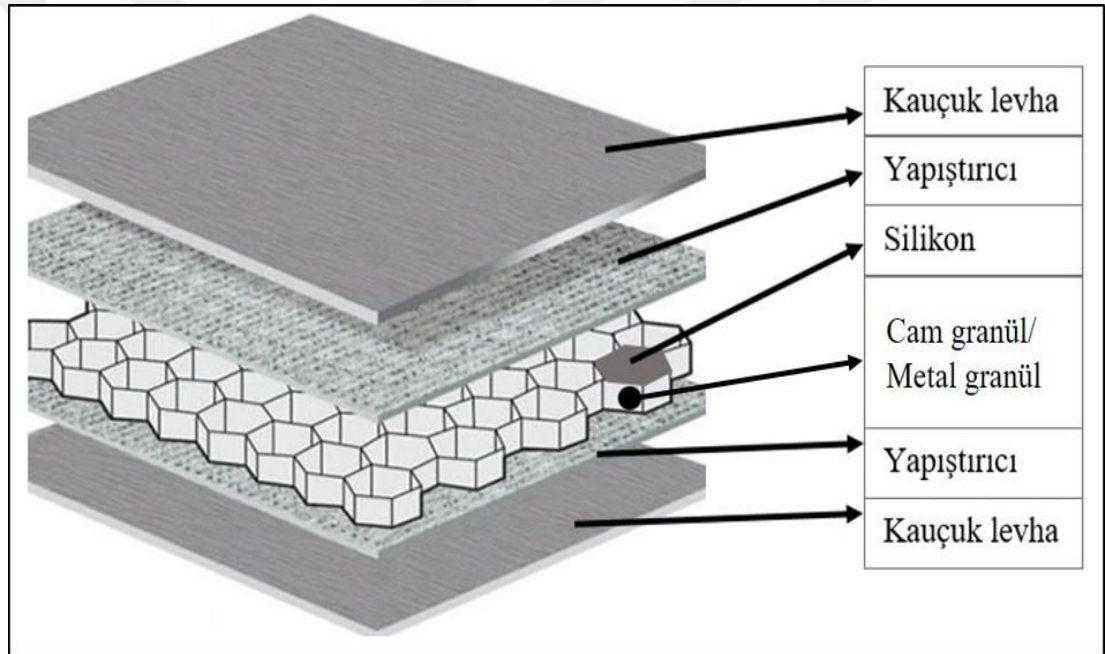


Şekil 3.5 : Köpük Filtre Esaslı Plakalar

### 3.1.1.3 Kauçuk kaplı petekyapılı plakalar

Üçüncü plaka, 50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin cam granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması sonucu oluşturulmuştur, (Şekil 3.6).

Dördüncü plaka, 50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin metal granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması sonucu oluşturulmuştur, (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Kauçuk Kaplı Petekyapılı Plakalar

### 3.1.1.4 Lamine plaka

Beşinci plaka, referans çelik saç plakaya göre akustik özellikleri belirlemek amacıyla 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında kompozit lamenin kesilmesi ile oluşturulmuştur, (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Lamine Plaka

### 3.2 Akustik Testler

#### 3.2.1 Akustik test ortamının belirlenmesi

Öncelikle üretilen malzemelerin akustik ölçümlerinde kullanılacak olan frekans bandını belirlemek amacıyla Çizelge 3.1’de yer alan 2005 yılı itibari ile ülkelerin sahip olduğu 372 mayın gemisi (Rios, 2005) incelenerek yoğunlukla kullanılan 80-100 kHz frekans bandı referans frekanslar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 : 2005 Yılı Ülkelerin Sahip Olduğu MKT Sistem/ Cihazları

Ülke	Gemi Tipi	Adet
Amerika	Avenger Sınıfı MKT Gemisi	14
	Osprey Sınıfı MAG	12
	MCM C2 Platformu	1
Almanya	Seehund drone	18
	Type 332 MAG	12
	Type 333 MAG	5
	Type 352 MTG	5
Belçika	Flower Sınıfı Tripartite MAG	6
	Aggressive Sınıfı Okyanus Tipi MTG	1
Bulgaristan	Sonya Sınıfı MTG	4
	Vanya Sınıfı MTG	4
	Yevgenya Sınıfı MTG	4
	Olya Sınıfı MTG	6
	PO 2 (501) Sınıfı MTG	2
	Sörvey (Araştırma) Gemisi	2
Danimarka	MSF Mark I Sınıfı Gemi	4
Estonya	Linadu Sınıfı MAG	2



Finlandiya	Kuha Sınıfı MTG	6
	KIISKI Sınıfı MTG	7
Fransa	Eridan Sınıfı MAG	13
Hollanda	Alkmaar Sınıfı	12
İngiltere	Hunt Sınıfı MAG/MTG	11
	Sandown Sınıfı MAG	11
İspanya	Segura Sınıfı MAG	6
	MSC 268 Sınıfı MTG	3
İsviçre	Landsort Sınıfı MAG	7
	Styrso Sınıfı MTG	4
	Gassten Sınıfı MTG	1
	M15 Sınıfı MTG	5
	Ejdern Sınıfı Sonoboy Gemisi	4
	MSF MK1 Dron	1
	Sam Sınıfı Dron	5
İtalya	Lerici Sınıfı MAG/MTG	12
Kanada	Kingston Sınıfı MTG	12
Letonya	Type 331 MAG	1
	Kondor II Sınıfı MTG	2
Litvanya	Type 331 MAG	2
Macaristan	Nestin Sınıfı MTG	3
Norveç	Oksoy Sınıfı MAG/MTG	8
Polonya	Krogulec Sınıfı MAG	3
	Goplo Sınıfı MAG/MTG	13
	Namry Sınıfı MTG	4
	Leniwka Sınıfı MTG	2
Romanya	M40 Sınıfı MTG	3
	Corsar Sınıfı Destek Gemisi	2
	VD 141 Sınıfı MTG	25
	Musca Sınıfı MTG	4
Türkiye	Edincik Sınıfı MAG	5
	Vegesack Sınıfı MTG	6
	Adjutant Sınıfı MTG	9
	Körfeziçi MTG	4
	MTB	8
Yunanistan	Adjutant Sınıfı MTG	3
	Hunt Sınıfı MAG	2
	Alkyn Sınıfı MTG	8
		Toplam : 372

Akustik malzemelerin sualtında akustik ölçümlerini yapmak maksadıyla içi sıvı ile doldurulan empedans tüpleri, akustik test havuzları (Garu ve Chaki, 2012), göletler ve deniz ortamı kullanılmaktadır.

Test ortamını belirlemek maksadıyla açık kaynaklarda empedans tüpü ölçümü yapan üniversite, kamu kurumu ve özel sektör kuruluşları ile koordine kurulmuş, ülkemizde içi sıvı doldurularak akustik ölçüm yapan empedans tüpü bulunamaması, empedans tüplerinin ölçüm yaptığı frekans aralıklarının çoğunlukla 50 Hz-12.8 kHz arasında olması ve akustik ölçümler için belirlenen frekans aralığında (80 kHz-100 kHz) empedans tüpleri ile akustik ölçüm yapma kabiliyeti olmaması nedenleriyle akustik ölçümler empedans tüpü ile yapılmamıştır.

Akustik ölçümler için belirlenen frekans aralıklarında sualtı akustik testleri akustik test havuzlarında ve göl, deniz gibi doğal sualtı ortamında yapılmaktadır. Ülkemizde sualtı akustik test yapabilme imkan ve kabiliyetine sahip çok az sayıda kurum, kuruluş bulunmaktadır. Üretilen plakaların sualtı akustik testleri Kartepe/ KOCAELİ’de SUASİS A.Ş. yerleşkesinde bulunan akustik test havuzunda gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2 Akustik test havuzu

Akustik testlerin yapıldığı test havuzu 4 metre derinliğe 8.2 metre uzunluğa ve 4.2 metre genişliğe sahiptir, (Şekil 3.8). İçerisinde mevcut bulunan kreyn vasıtası ile malzemelerin konumlandırılması yapılabilmektedir. Boş havuz yaklaşık 10 saatte dolmaktadır.



**Şekil 3.8 :** Akustik Test Havuzu

### 3.2.3 Akustik test düzeneği

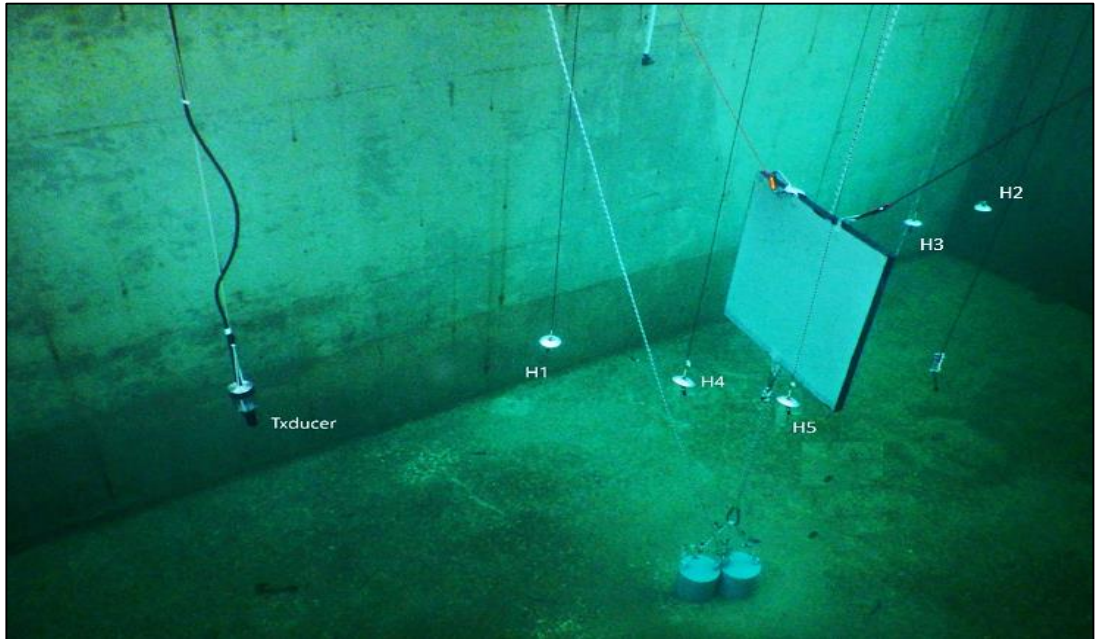
Test düzeneğinde 1 adet transdüser, 5 adet hidrofon, 1 adet sinyal üretici ve 1 adet osiloskop kullanılmıştır.

Sinyal üretici tarafından 80kHz, 85kHz, 90kHz, 95kHz ve 100kHz frekanslarında üretilen ses dalgaları önce transdüser vasıtası ile havuza yayılmış ardından hidrofonlarda oluşan akım değerleri osiloskop ile mV cinsinden ayrı ayrı ölçülmüştür.

Oluşturulan plakalardan önce çelik saç plakanın, bunu takiben diğer plakaların ölçümleri yapılarak yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda 1 numaralı hidrofon ile yansıma, 2 ve 3 numaralı hidrofonlar ile geçirgenlik, 4 ve 5 numaralı hidrofonlar saçılma değerlerini hesaplamak maksadıyla kullanılmıştır, (Şekil 3.9 ; Şekil 3.10).

Hidrofonlardan alınan ölçümler mV cinsinden osiloskop üzerinde RMS olarak kaydedilmiş olup sinyal üretici çıkışı 20 Vpp, hidrofon preamplifierda 50 dB gain BPF olarak ayarlanmıştır. Osiloskop üzerinde 80 kHz için 31 çevrim, 85 kHz için 33 çevrim, 90 kHz için 35 çevrim, 95 kHz için 37 çevrim ve 100 kHz için 40 çevrim uygulanmıştır.

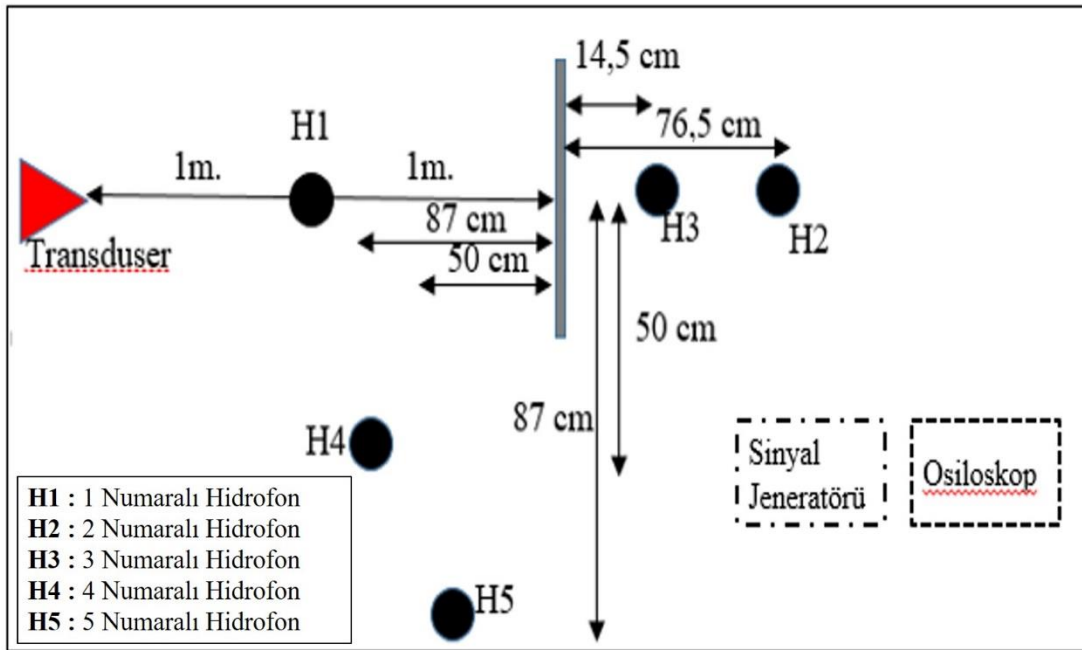
Akustik testi yapılan plakalar ağırlık ve mengene yardımıyla havuz tabanına 90° dik olacak şekilde sabitlenmiştir, (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Test Düzeneği

### 3.2.4 Transduser, Hidrofon ve Test plakasının konumlandırılması

Test edilen plakanın merkezi, transdüser ve hidrofonlar havuz tabanından 2 metre yukarıda konumlandırılmıştır. 1 numaralı Hidrofon, transdüser ve plakanın ortasında her ikisine 1 metre mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. 4 numaralı Hidrofon test plakasından 60 derece açı ile (plaka merkezinden 50 cm. yatay 87 cm. dikey mesafede) ve 5 numaralı hidrofon plaka merkezinden 30 derece açı ile konumlanmıştır (plaka merkezinden 87 cm. Yatay 50 cm. dikey olacak mesafede). 3 numaralı hidrofon test plakasının 14,5 cm arkasında ve 2 numaralı hidrofon test plakasının 76,5 cm arkasında konumlandırılmıştır, (Şekil 3.9 ; Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Transdüser, Hidrofon ve Test Levhasının Konumları

## 4. BULGULAR

### 4.1 Akustik Testler

- Sinyal üretici tarafından 80kHz, 85kHz, 90kHz, 95kHz ve 100kHz frekanslarında üretilen ses dalgaları önce transdüser vasıtası ile havuza yayılmış ardından hidrofonda oluşan akım değerleri osiloskop ile mV cinsinden ayrı ayrı ölçülmüştür.
- Hazırlanan plakalardan önce çelik saç plakanın, bunu takiben diğer plakaların ölçümleri yapılarak yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda 1 numaralı hidrofonda yansıma, 2 ve 3 numaralı hidrofonda geçirgenlik, 4 ve 5 numaralı hidrofonda saçılma değerlerini hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.
- Testler esnasında ölçüm yapılan plakaların havuz tabanına dik olmasının ve plakaların yerleştirilme esnasında havuz içinde meydana gelen kabarcıkların teste etki ettiği görülmüştür. Ölçüm hassasiyeti nedeniyle plakaların konumlandırılması mengene yardımı ile yapılmış, plakalar havuza yerleştirildikten sonra havuzun sabit hale gelmesi beklenmiştir.
- Ölçümler ortalama 13°C ortam sıcaklığında yapılmıştır.
- Ölçüm sonuçlarına ilişkin Çizelgelerde hidrofonda için kullanılan kısaltmalar ve anlamları aşağıda belirtilmiştir.

H1D : 1 numaralı hidrofonda doğrudan ölçülen değer

H1Y : 1 numaralı hidrofonda ölçülen yansıma değeri

H2G : 2 numaralı hidrofonda ölçülen geçirgenlik değeri

H3G : 3 numaralı hidrofonda ölçülen geçirgenlik değeri

H4S : 4 numaralı hidrofonda ölçülen 60° saçılma değeri

H5S : 5 numaralı hidrofonda ölçülen 30° saçılma değeri

#### 4.2 Referans Çelik Saç Plaka Ölçümleri

Desibel (dB), ses seviyesini ölçmek maksadıyla tanımlanan birimdir. Ancak, desibeli bir ses birimi olarak kullanabilmek için referans bir ses seviyesi seçmek gerekmektedir. Bu nedenle sualtı silah ve sistemlerinde yoğunlukla kullanılan çelik saç plaka sualtı akustik test havuzunda farklı frekanslarda teste tabi tutulmuş ve Çizelge 4.1’de verilen ölçüm değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Referans Plaka Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1D	430,0	402,0	424,0	461,0	411,0	425,6
H1Y	235,0	165,0	118,0	98,2	91,5	141,5
H2G	99,0	80,9	38,8	50,3	31,6	60,1
H3G	103,0	69,8	65,3	49,1	45,8	66,6
H4S	57,3	89,0	101,0	76,2	52,7	75,2
H5S	44,7	74,0	29,6	13,7	21,6	36,7

#### 4.3 Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka (Plaka-1) Ölçümleri

50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin cam granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması sonucu oluşturulan test plakası ile ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.2’de verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2 : Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka-1 Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1Y	45,00	25,60	45,20	52,00	55,00	44,6
H2G	10,50	3,80	5,70	6,20	13,70	8,0
H3G	5,52	3,20	6,06	3,70	2,20	4,1
H4S	23,30	34,60	26,10	18,60	16,00	23,7
H5S	44,60	72,20	29,10	13,20	19,00	35,6

#### 4.4 Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka (Plaka-2) Ölçümleri

50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin metal granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması sonucu oluşturulan test plakası ile ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.3’de verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Kauçuk Kaplı Petekyapı Plaka-2 Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1Y	77,50	66,00	60,00	56,60	48,50	61,7
H2G	14,50	13,20	13,00	4,91	4,54	10,0
H3G	4,82	2,50	1,94	3,38	2,36	3,0
H4S	21,70	10,50	10,10	24,40	11,90	15,7
H5S	43,00	59,50	30,10	19,90	12,40	33,0

#### 4.5 İnorganik Köpük Plaka (Plaka-3) Ölçümleri

5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilerek 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında plaka elde edilmesi sonucu oluşturulan test plakası ile ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.4’de verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.4 : Köpük Filtre Plaka-1 Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1Y	140,00	115,00	107,00	109,00	100,00	114,2
H2G	9,10	3,90	5,10	4,40	5,90	5,7
H3G	3,00	3,00	3,30	1,20	2,30	2,6
H4S	17,00	10,00	16,70	17,50	20,00	16,2
H5S	20,00	11,50	6,20	11,80	8,20	11,5

#### 4.6 İnorganik Köpük Filtre Plaka (Plaka-4) Ölçümleri

5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilmesi ardından meydana gelen 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında inorganik plakaya cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanması yoluyla oluşturulan test plakası ile ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.5’de verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.5 : Köpük Filtre Plaka-2 Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1Y	250,00	184,00	171,00	156,00	136,00	179,4
H2G	27,40	24,50	13,80	10,80	13,10	17,9
H3G	2,86	3,00	4,40	4,29	1,73	3,3
H4S	38,00	46,80	45,60	54,30	38,60	44,7
H5S	36,00	22,80	19,50	12,00	24,10	22,9

#### 4.7 Kompozit Lamine Plaka (Plaka-5) Ölçümleri

Referans çelik saç plakaya göre akustik özellikleri belirlemek maksadıyla 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında kompozit laminenin kesilmesi ile oluşturulan test plakası ile ölçümler yapılmış ve Çizelge 4.6’da verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.6 : Lamine Plaka Ölçümleri**

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)	Genlik (mV)
H1Y	130,0	115,0	55,0	63,0	59,0	84,4
H2G	139,0	106,0	96,0	105,0	100,0	109,2
H3G	138,0	149,0	105,0	151,0	141,0	136,8
H4S	16,9	12,2	13,1	18,0	12,5	14,5
H5S	11,6	10,3	8,3	4,3	14,0	9,7



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 5.1 Hidrofonlarda Ölçülen Değerler

Akustik testler esnasında osiloskop ile alınan değerler önce mV cinsinden kaydedilmiş ardından her bir hidrofon için ortalama değerler ayrı ayrı hesaplanmıştır. 1 numaralı hidrofon yansıma, 2 ve 3 numaralı hidrofonlar geçirgenlik, 4 ve 5 numaralı hidrofonlar saçılma değerlerini hesaplamak maksadıyla kullanılmıştır.

Her bir hidrofonda oluşan ses seviyesini ölçmek maksadıyla referans olarak önce çelik saç plakanın akustik ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler referans değerler olarak belirlenmiştir. Referans çelik saç plakanın ölçümlerini takiben hazırlanan diğer plakaların akustik ölçümleri yapılmıştır. Hidrofonlarda oluşan ses seviyesini hesaplamak için akustik testleri yapılan plakanın hidrofonlarda ölçülen değerleri referans saç plakanın değerlerine bölünerek logaritması alınmış ve 20 ile çarpılarak ses seviyeleri desibel (dB) cinsinden hesaplanmıştır (5.1).

$$20 \log \frac{\text{hidrofonda ölçülen değer}(mV)}{\text{çelik saç plakada ölçülen referans değer}(mV)} \quad (5.1)$$

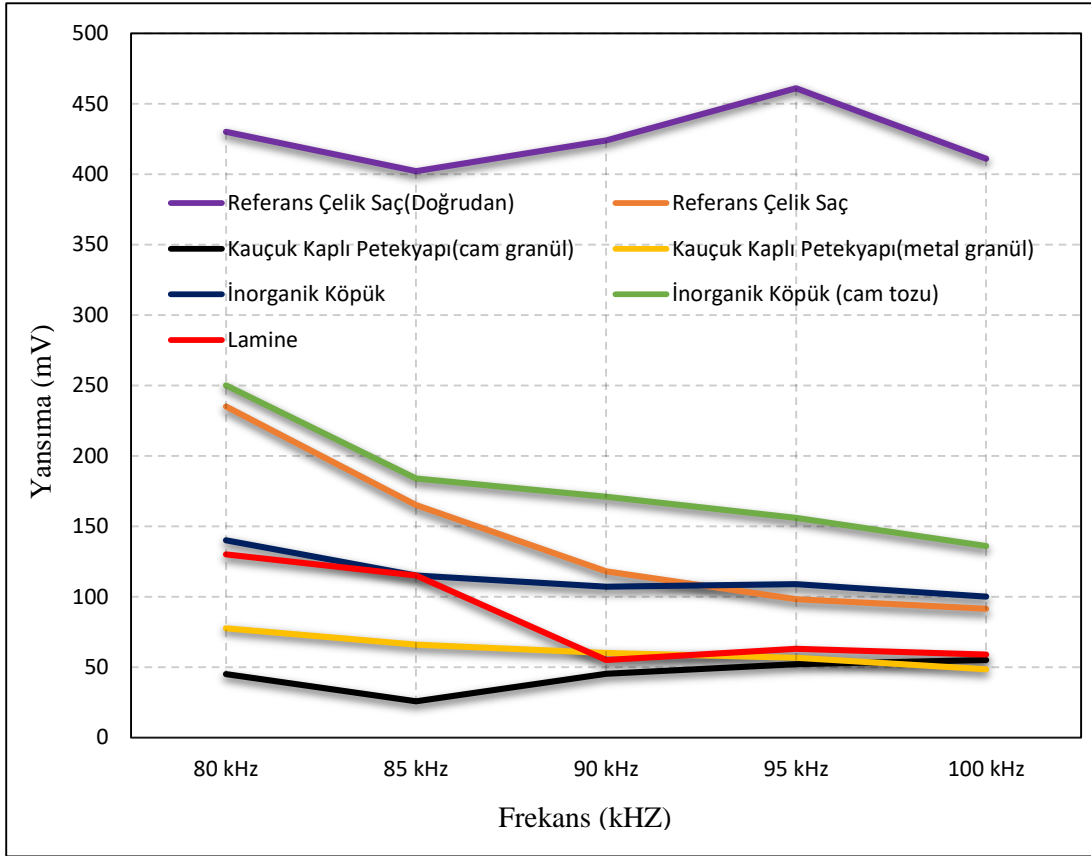
Ses seviyeleri hesaplanırken çelik saç plaka referans olarak kullanılmış bu nedenle çelik saç plaka için referans plaka kullanılmadığından ses seviyesi hesaplanmamıştır.

Hesaplanan ses seviyelerini belirtmek amacıyla oluşturulan Çizelgelarda plakalar için Bölüm 4’de yer alan kısaltmalar (PLAKA-1, PLAKA-2, PLAKA-3, PLAKA-4, PLAKA-5) kullanılmıştır.

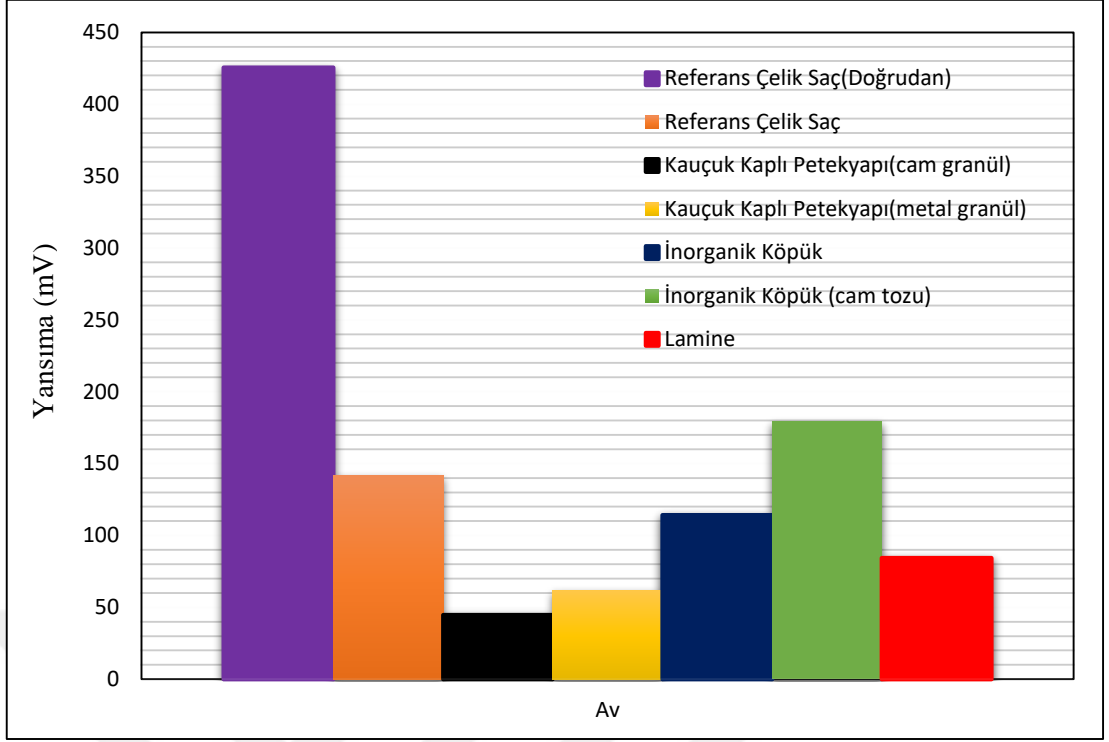
## 5.2 Hidrofon-1 (Yansıma)

### 5.2.1 Hidrofon-1’de ölçülen yansıma değerleri

Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucunda 1 numaralı hidrofondan ölçülen yansıma değerleri mV olarak Şekil 5.1’de, hesaplanan ortalama yansıma değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Frekanslara Göre Hidrofon-1’de Ölçülen Yansıma Değerleri (mV).



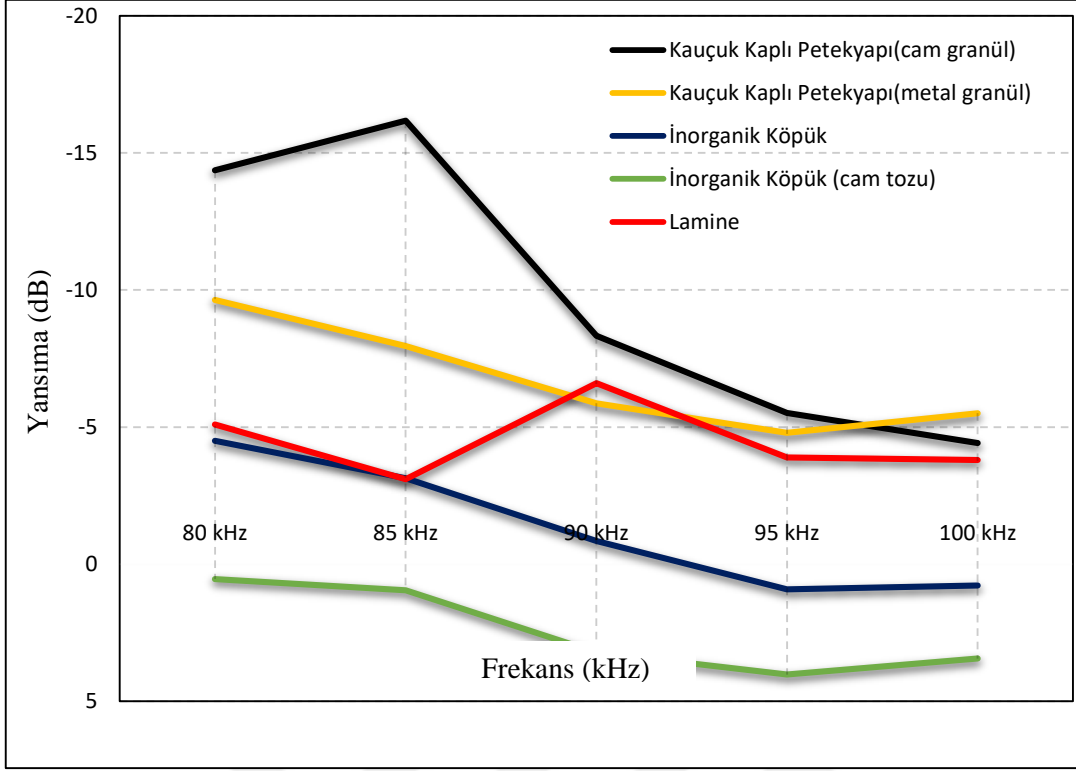
Şekil 5.2 : Hidrofon-1'de Hesaplanan Ortalama Yansımada Değerleri (mV)

### 5.2.2 Hidrofon-1'de hesaplanan yansımada değerleri

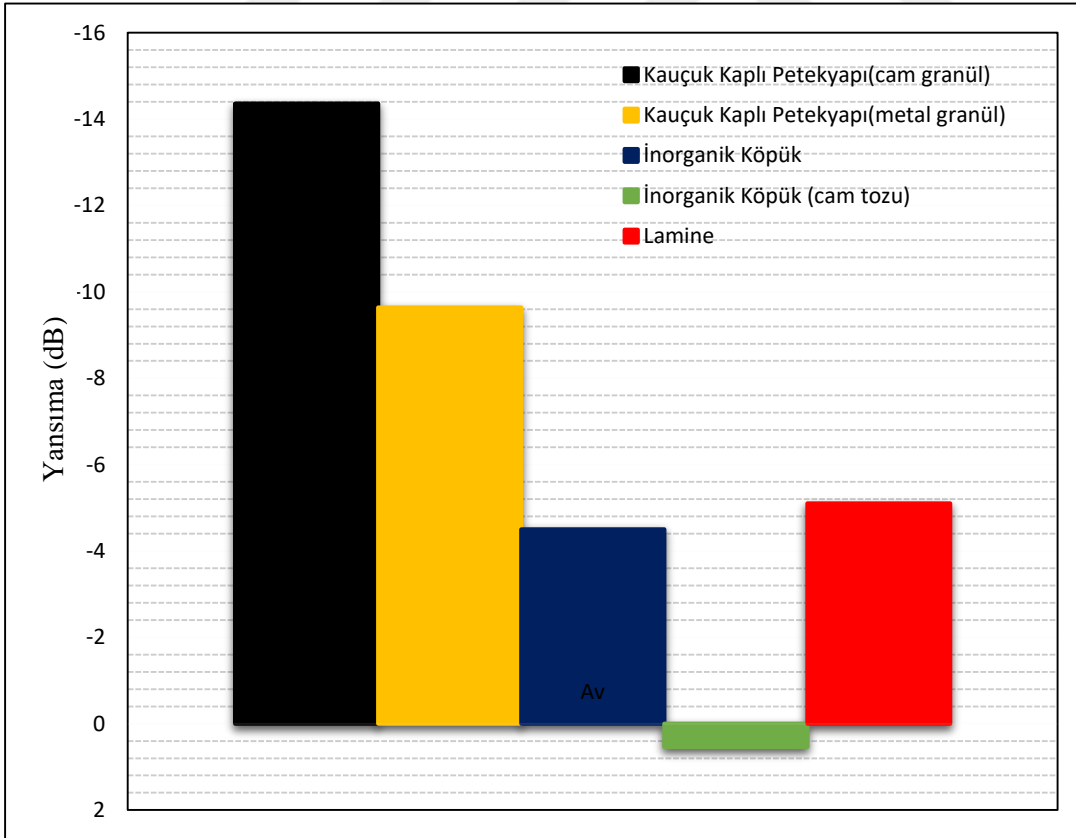
Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucu elde edilen yansımada değerleri ve çelik saç plakanın akustik testleri sonucunda belirlenen referans değerler kullanılarak hesaplanan ses seviyeleri (dB) Çizelge 5.1'de, frekanslara göre hesaplanan ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.3'de, ortalama ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : 1 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
PLAKA-1	-14,36	-16,18	-8,33	-5,52	-4,42	-10,04
PLAKA-2	-9,64	-7,96	-5,87	-4,79	-5,51	-7,21
PLAKA-3	-4,50	-3,14	-0,85	0,91	0,77	-1,86
PLAKA-4	0,54	0,95	3,22	4,02	3,44	2,06
PLAKA-5	-5,1	-3,1	-6,6	-3,9	-3,8	-4,5



Şekil 5.3 : Frekanslara Göre Hidrofon-1’de Hesaplanan Yansımalar Değerleri(dB).



Şekil 5.4 : Hidrofon-1’de Hesaplanan Ortalama Yansımalar Değerleri(dB)

### 5.2.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması

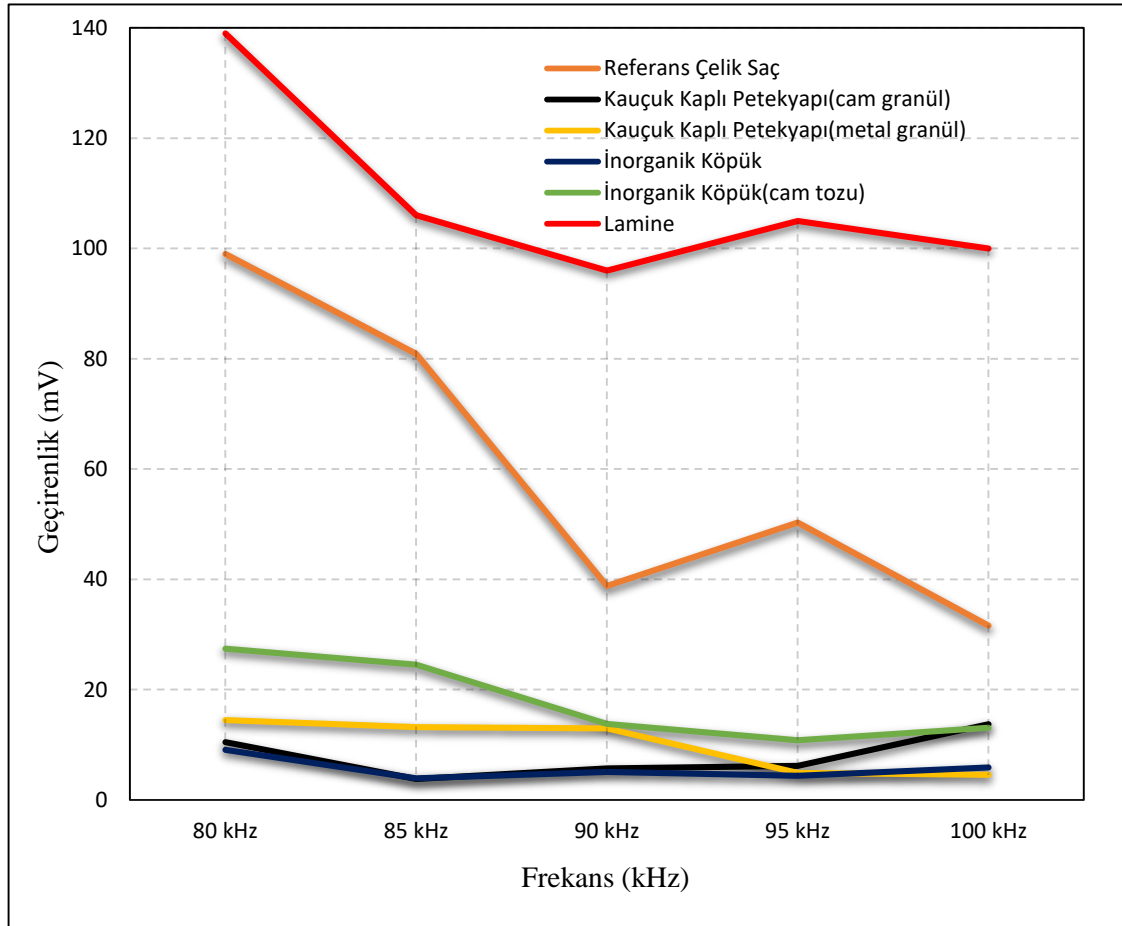
Hidrofon-1’de ölçülen ve hesaplanan değerler incelendiğinde,

- İçi cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanan inorganik köpük esaslı plakanın tüm frekanslarda diğer plakalara nazaran daha fazla yansımaya değerlerine sahip olduğu, içi boş köpük filtre ile karşılaştırıldığında cam tozunun yansımaya değerlerini arttırdığı, bu nedenle cam tozunun yansımaya istenen uygulamalarda kullanılabileceği,
- Cam ve metal granüller içeren kauçuk kaplı petek yapının en az yansımaya değerlerine sahip olduğu, cam granül içeren plaka ile 85 kHz’de en düşük yansımaya değerine ulaşıldığı, malzemenin tasarımından kaynaklanan özellikleri nedeniyle düşük yansımaya değeri istenen sualtı akustik uygulamalarında kullanılabileceği,
- Cam granül ve metal granülün yansımaya özellikleri karşılaştırıldığında metal granüllerin yansımaya arttırdığı,
- En düşük yansımaya değerine cam granül içeren kauçuk kaplı petek yapı plaka ile 85 kHz’de ulaşıldığı,
- Hazırlanan plakaların frekans aralıklarına göre sabit bir özellik göstermediği, her frekans için farklı özellikler gösterdiği,
- Ortalama değerler ile frekans bazındaki değerler arasında belirgin bir farklılık olmadığı,
- Ortalama değerlere göre en düşük yansımaya değerine cam granül içeren kauçuk kaplı petek yapının, en fazla yansımaya değerine ise içi cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanan inorganik köpük esaslı plakanın sahip olduğu,
- İçi cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanan inorganik köpük plaka hariç hazırlanan diğer tüm plakaların sualtında düşük yansımaya istenen uygulamalarda kullanılabileceği,
- İçi cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanan inorganik köpük plakanın yansımaya değerlerinin referans çelik saç plakaya göre daha fazla olduğu, bu nedenle malzemenin sualtında yansımaya değerinin fazla olması istenen akustik uygulamalarda kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

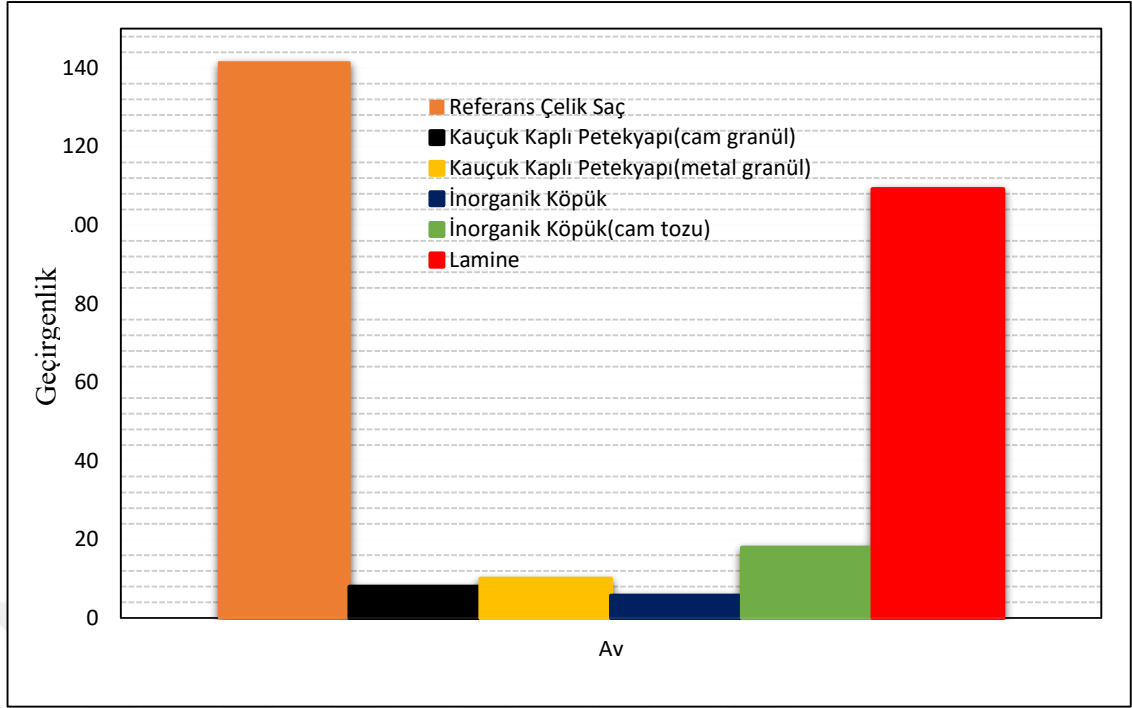
### 5.3 Hidrofon-2 (Geçirgenlik)

#### 5.3.1 Hidrofon-2’de ölçülen geçirgenlik değerleri

Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucunda 2 numaralı hidrofondan ölçülen geçirgenlik değerleri mV olarak Şekil 5.5’de, hesaplanan ortalama geçirgenlik değerleri Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.5 : Frekanslara Göre Hidrofon-2’de Ölçülen Geçirgenlik Değerleri(mV)



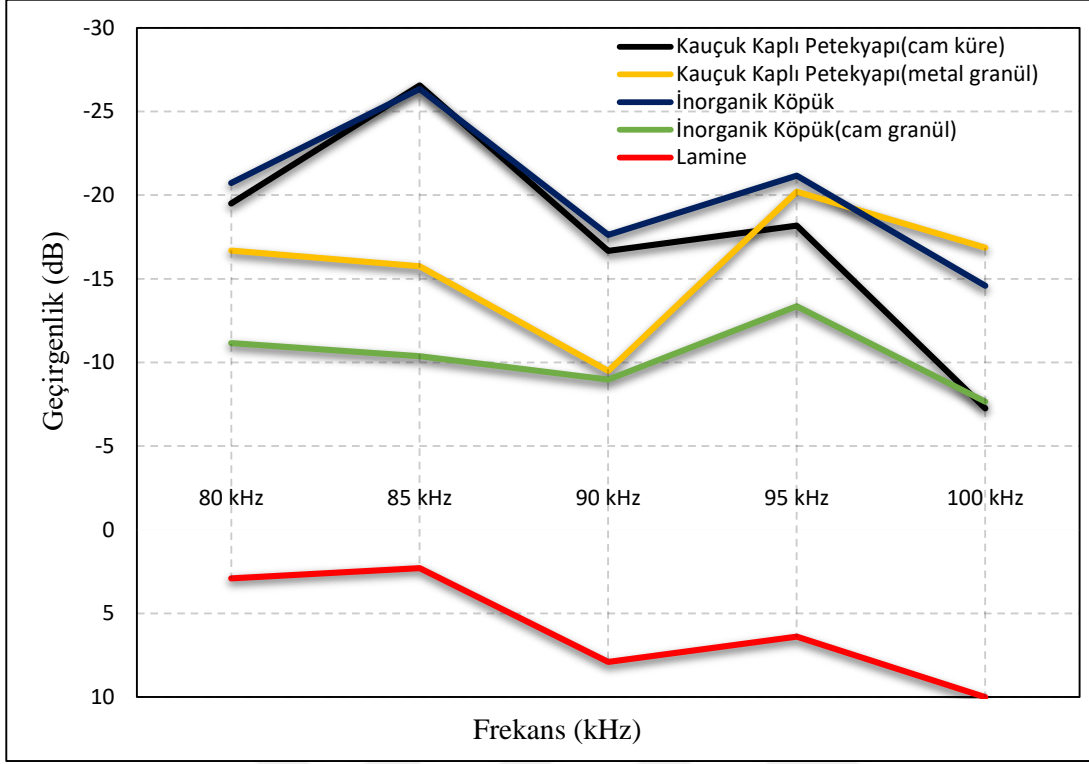
**Şekil 5.6 :** Hidrofon-2’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (mV)

### 5.3.2 Hidrofon-2’de hesaplanan geçirgenlik değerleri

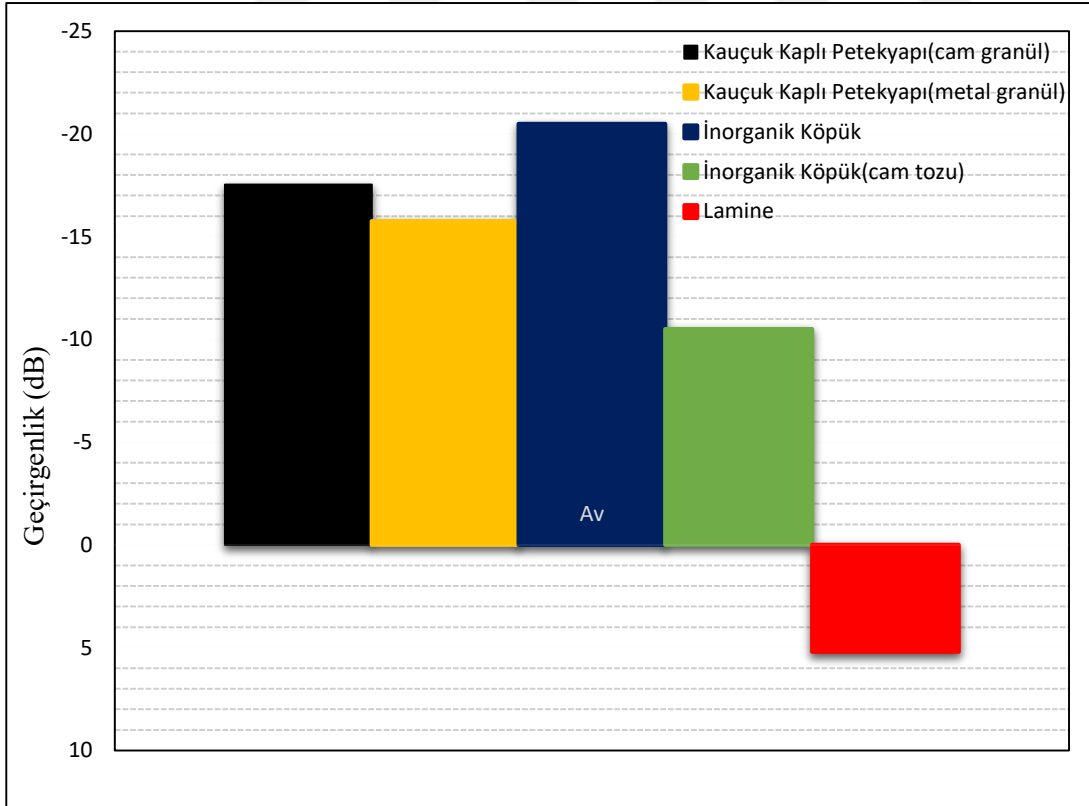
Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucu elde edilen geçirgenlik değerleri ve çelik saç plakasının akustik testleri sonucunda belirlenen referans değerler kullanılarak hesaplanan ses seviyeleri (dB) Çizelge 5.2’de, frekanslara göre hesaplanan ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.7’de, hesaplanan ortalama ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.8’de verilmiştir

**Çizelge 5.2 :** 2 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
PLAKA-1	-19,49	-26,56	-16,66	-18,18	-7,26	-17,54
PLAKA-2	-16,69	-15,75	-9,50	-20,21	-16,85	-15,55
PLAKA-3	-20,73	-26,34	-17,63	-21,16	-14,58	-20,49
PLAKA-4	-11,16	-10,38	-8,98	-13,36	-7,65	-10,51
PLAKA-5	2,9	2,3	7,9	6,4	10,0	5,2



Şekil 5.7 : Frekanslara Göre Hidrofon-2’de Hesaplanan Geçirgenlik Değerleri(dB)



Şekil 5.8 : Hidrofon-2’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (dB)



### 5.3.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması

Hidrofon-2’de ölçülen ve hesaplanan değerler incelendiğinde,

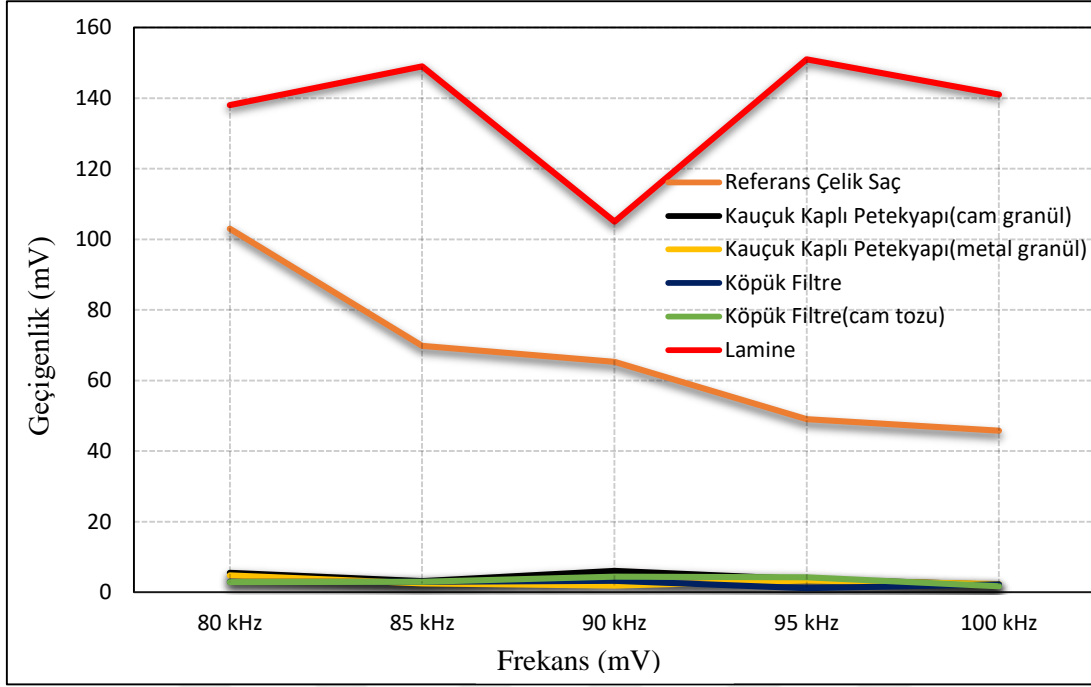
- Lamine plakanın ölçüm yapılan tüm frekanslarda diğer plakalara göre belirgin ölçüde daha fazla geçirgen olduğu bu özelliği sebebiyle sualtında geçirgenliğin fazla olması istenen uygulamalarda kullanılabilceği,
- Cam granüller içeren kauçuk kaplı petekyapı ve inorganik köpüğün en az geçirgenlik değerlerine sahip olduğu, cam granül içeren plaka ile 85 kHz’de en düşük yansıma değerine ulaşıldığı, kompozit lamine plaka hariç hazırlanan diğer tüm plakaların malzemelerin tasarımdan kaynaklanan özellikleri nedeniyle düşük geçirgenlik değeri istenen sualtı akustik uygulamalarında kullanılabilceği,
- Petekyapılı kauçuk plakaların geçirgenlik değerlerinin birbirine yakın olduğu bu nedenle cam ve metal granüllerin sualtında geçirgenliği belirgin ölçüde etkileyecek şekilde davranış göstermediği,
- Hazırlanan plakaların frekans aralıklarına göre sabit bir özellik göstermediği, her frekans için farklı özellikler gösterdiği,
- Ortalama değerler ile frekans bazındaki değerler arasında farklılık olmadığı,

gözlemlenmiştir.

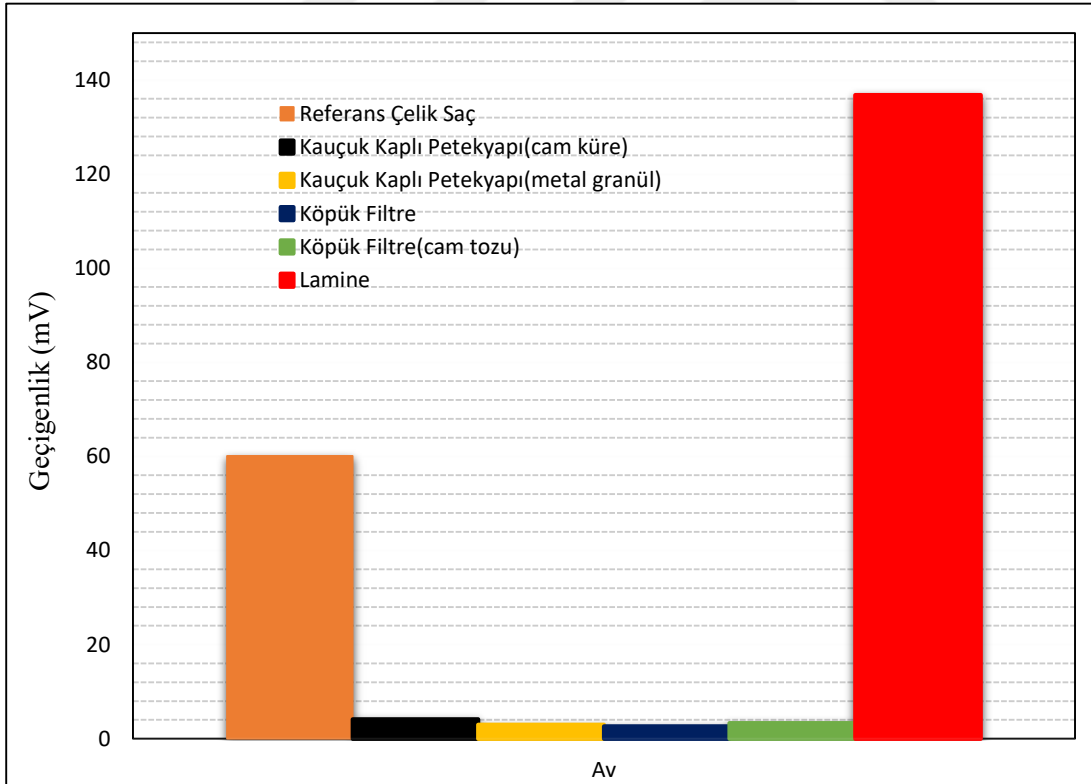
### 5.4 Hidrofon-3 (Geçirgenlik)

#### 5.4.1 Hidrofon-3’de ölçülen geçirgenlik değerleri

Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucunda 3 numaralı hidrofonda ölçülen geçirgenlik değerleri mV olarak Şekil 5.9’da, hesaplanan ortalama geçirgenlik değerleri Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9 : Frekanslara Göre Hidrofon-3’de Ölçülen Geçirgenlik Değerleri(mV)



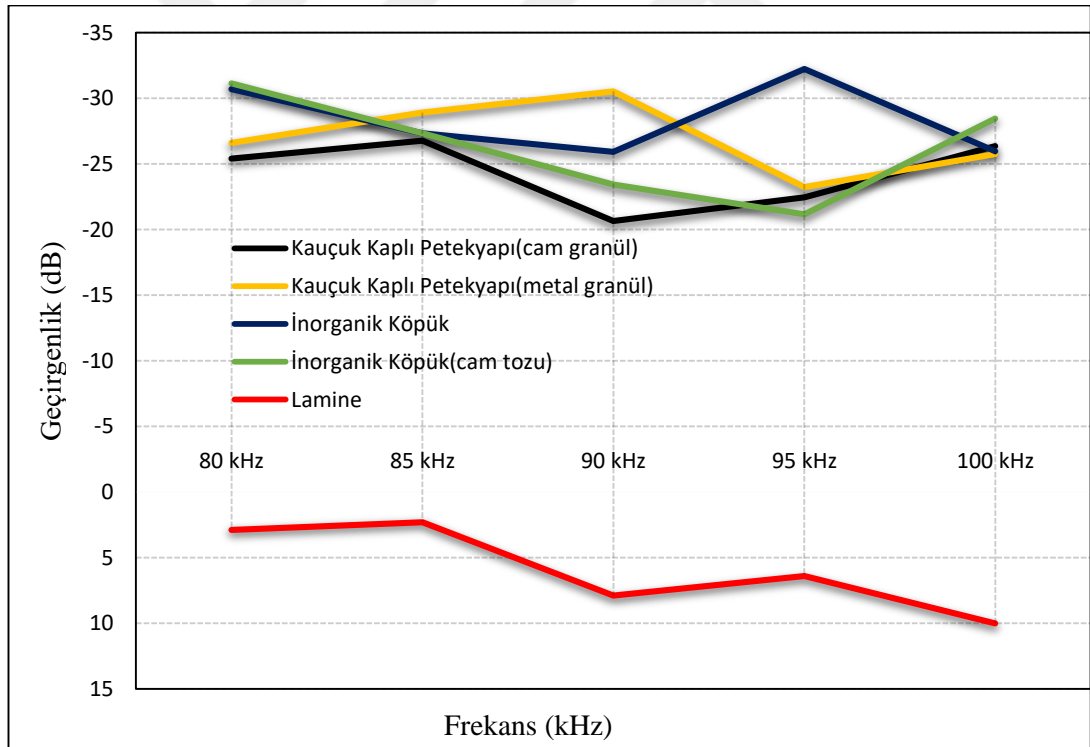
Şekil 5.10 : Hidrofon-3’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (mV)

#### 5.4.2 Hidrofon-3'de hesaplanan geçirgenlik değerleri

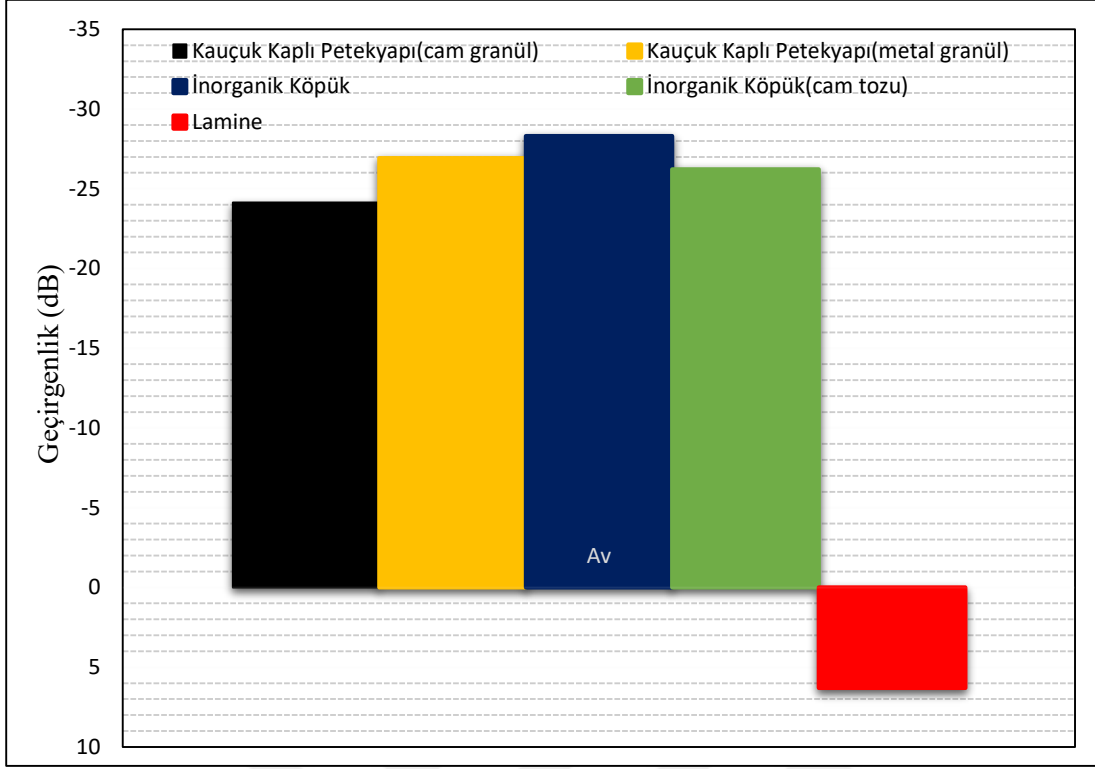
Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucu elde edilen geçirgenlik değerleri ve çelik saç plakanın akustik testleri sonucunda belirlenen referans değerler kullanılarak hesaplanan ses seviyeleri (dB) Çizelge 5.3'de, frekanslara göre hesaplanan ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.11'de, hesaplanan ortalama ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.12'de verilmiştir

Çizelge 5.3 : 3 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
PLAKA-1	-25,42	-26,77	-20,65	-22,46	-26,37	-24,14
PLAKA-2	-26,60	-28,92	-30,54	-23,24	-25,76	-26,93
PLAKA-3	-30,71	-27,33	-25,93	-32,24	-25,98	-28,30
PLAKA-4	-31,13	-27,33	-23,43	-21,17	-28,46	-26,22
PLAKA-5	2,5	6,6	4,1	9,8	9,8	6,3



Şekil 5.11 : Frekanslara Göre Hidrofon-3'de Hesaplanan Geçirgenlik Değerleri(dB)



Şekil 5.12 Hidrofon-3’de Hesaplanan Ortalama Geçirgenlik Değerleri (dB)

### 5.4.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması

Hidrofon-3’de ölçülen ve hesaplanan değerler incelendiğinde,

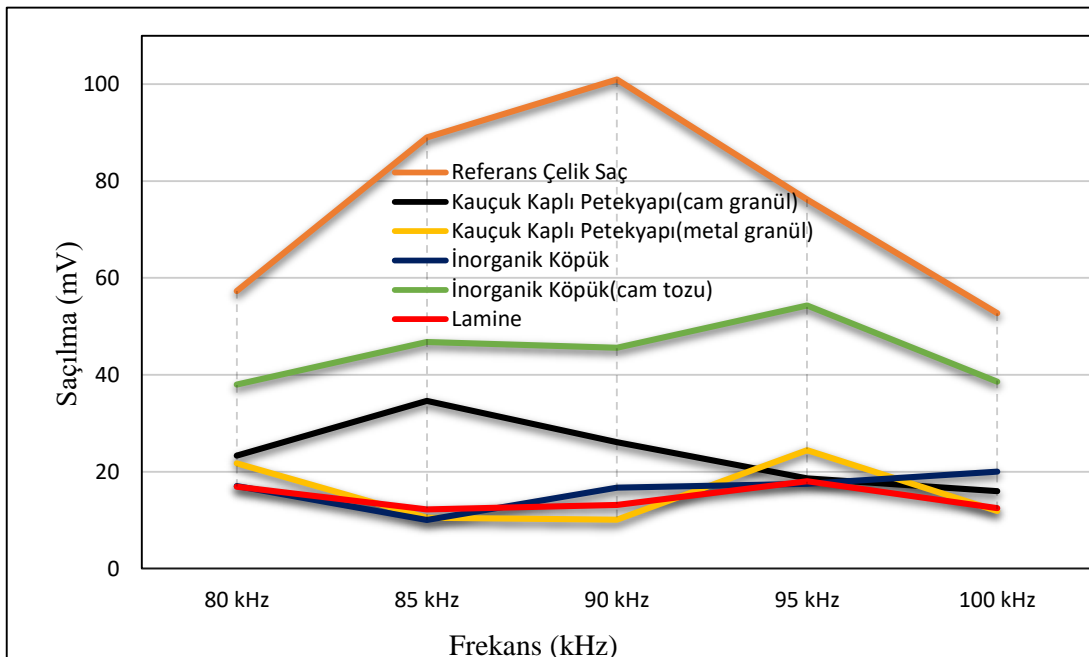
- Lamine plakanın ölçüm yapılan tüm frekanslarda diğer plakalara göre belirgin ölçüde daha fazla geçirgen olduğu, durumun 2 numaralı hidrofonda da değişmediği, malzemenin bu özelliği sebebiyle sualtında geçirgenliğin fazla olması istenen uygulamalarda kullanılabileceği,
- Cam granüller içeren kauçuk kaplı petekyapı ve inorganik köpüğün en az geçirgenlik değerlerine sahip olduğu, inorganik köpük plaka ile 95 kHz’de en düşük yansıma değerine ulaşıldığı, kompozit lamine plaka hariç hazırlanan diğer tüm plakaların malzemelerin tasarımdan kaynaklanan özellikleri nedeniyle düşük geçirgenlik değeri istenen sualtı akustik uygulamalarında kullanılabileceği,
- Petekyapılı kauçuk plakaların geçirgenlik değerlerinin birbirine yakın olduğu bu nedenle cam ve metal granüllerin sualtında geçirgenliği belirgin ölçüde etkileyecek şekilde davranış göstermediği,

- Ortalama değerler ile frekans bazındaki değerlerin farklılık göstermediği, lamine plaka hariç diğer plakaların birbirine yakın geçirgenlik değerlerine sahip olduğu,
- Hazırlanan plakaların frekans aralıklarına göre sabit bir özellik göstermediği, her frekans için farklı özellikler gösterdiği,
- gözlemlenmiştir.
- 3 numaralı hidrofon ve 2 numaralı hidrofonda ölçülen değerler karşılaştırıldığında plakaya yakın konumlandırılan 3 numaralı hidrofonda ölçülen ve hesaplanan geçirgenlik değerlerinin 2 numaralı hidrofonda ölçülen ve hesaplanan geçirgenlik değerlerine göre daha az olduğu, referans plaka değerlerinin belirgin şekilde değişmediği, durumun havuz duvarında meydana gelen yansımalarından veya plakaların gözenekli yapısından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

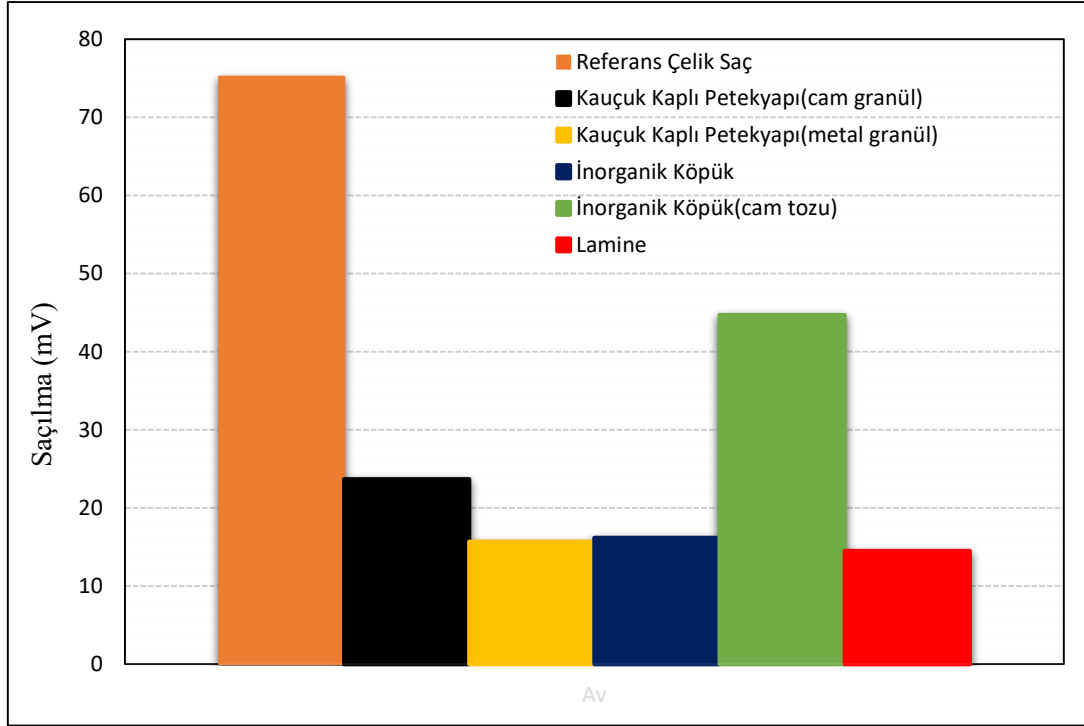
## 5.5 Hidrofon-4 (60° Saçılma)

### 5.5.1 Hidrofon-4'de ölçülen saçılma değerleri

Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucunda 4 numaralı hidrofonda ölçülen saçılma değerleri mV olarak Şekil 5.13'de, hesaplanan ortalama saçılma değerleri Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.13 : Frekanslara Göre Hidrofon-4'de Ölçülen Saçılma Değerleri(mV)



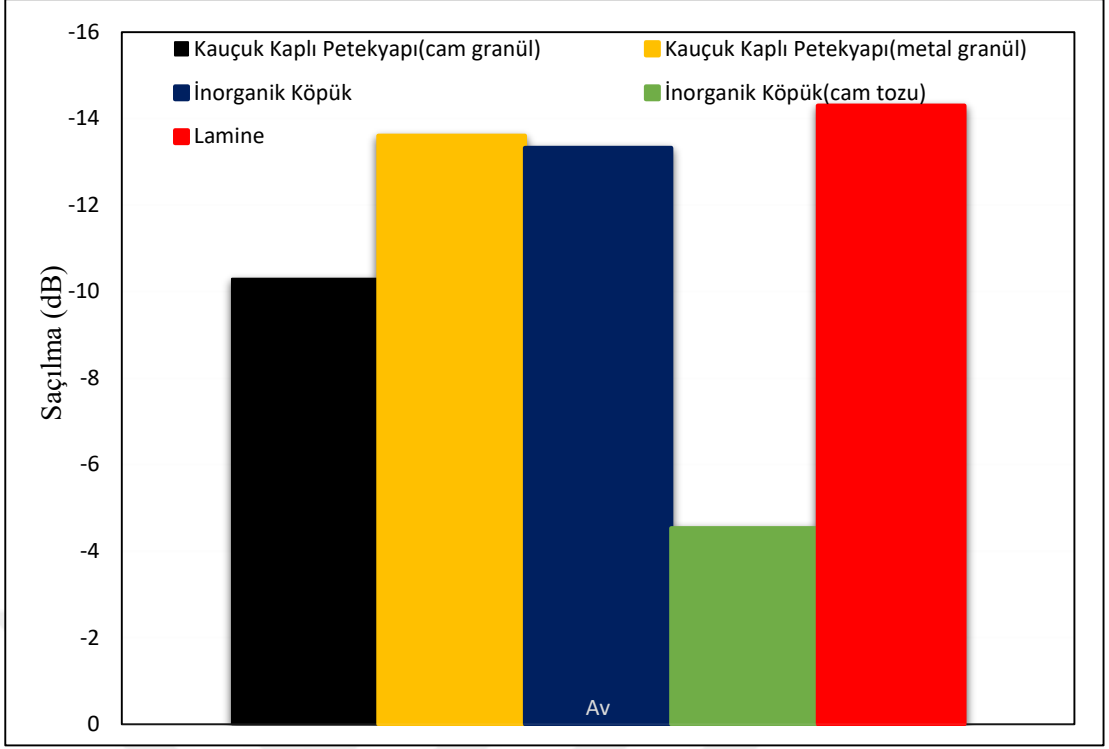
Şekil 5.14 : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (mV)

### 5.5.2 Hidrofon-4’de hesaplanan saçılma değerleri

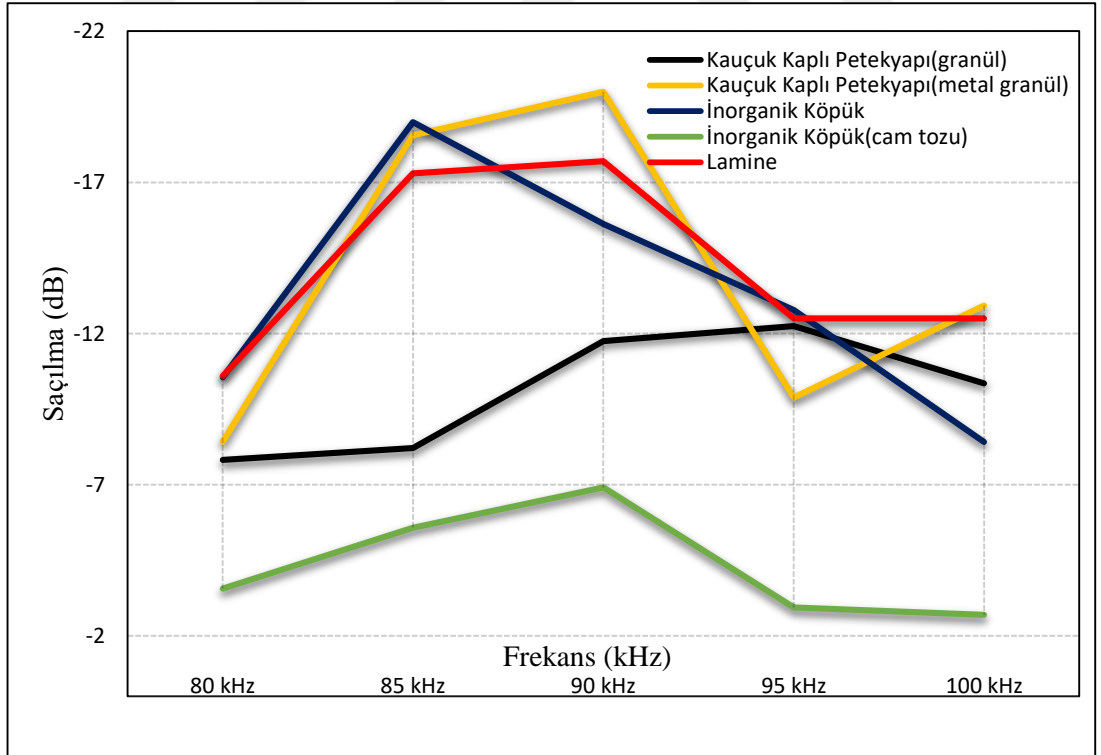
Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucu elde edilen saçılma değerleri ve çelik saç plakanın akustik testleri sonucunda belirlenen referans değerler kullanılarak hesaplanan ses seviyeleri (dB) Çizelge 5.4’de, frekanslara göre hesaplanan ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.15’de, hesaplanan ortalama ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.16’da verilmiştir

Çizelge 5.4 : 4 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
PLAKA-1	-25,42	-26,77	-20,65	-22,46	-26,37	-24,14
PLAKA-2	-8,43	-18,56	-20,00	-9,89	-12,93	-13,60
PLAKA-3	-10,55	-18,99	-15,63	-12,78	-8,42	-13,32
PLAKA-4	-3,57	-5,58	-6,91	-2,94	-2,70	-4,53
PLAKA-5	-10,6	-17,3	-17,7	-12,5	-12,5	-14,3



Şekil 5.15 : Frekanslara Göre Hidrofon-4’de Hesaplanan Saçılma Değerleri(dB)



Şekil 5.16 : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (dB)

### 5.5.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması

Hidrofon-4’de ölçülen ve hesaplanan değerler incelendiğinde,

- İçi cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanan inorganik köpük esaslı plakanın tüm frekanslarda diğer plakalara nazaran daha fazla saçılma değerlerine sahip olduğu, içi boş köpük filtre ile karşılaştırıldığında cam tozunun saçılma değerlerini arttırdığı, bu nedenle cam tozunun saçılma istenen uygulamalarda kullanılabileceği,
- Metal granüller içeren kauçuk kaplı petekyapı ve inorganik köpüğün en az saçılma değerlerine sahip olduğu, metal granüller içeren kauçuk kaplı petekyapı plaka ile 90 kHz’de en düşük saçılma değerine ulaşıldığı, malzemenin tasarımından kaynaklanan özellikleri nedeniyle düşük saçılma değeri istenen sualtı akustik uygulamalarında kullanılabileceği,
- Metal granül ve silikon içeren kauçuk petekyapının, cam granül ve silikon içeren kauçuk petekyapıya göre daha düşük saçılma değerlerine sahip olduğu, kullanılan cam granüllerin saçılmayı arttıracak yönde etki yaptığı,
- Hazırlanan plakaların frekans aralıklarına göre sabit bir özellik göstermediği, her frekans için farklı özellikler gösterdiği,
- Ortalama değerler ile frekans bazındaki değerler arasında belirgin bir farklılık bulunmadığı,
- Ortalama değerlere göre inorganik köpüğün, laminenin ve metal granül içeren petekyapının yaklaşık olarak aynı saçılma değerlerine sahip olduğu ve düşük saçılma istenen sualtı uygulamalarında kullanılabileceği,

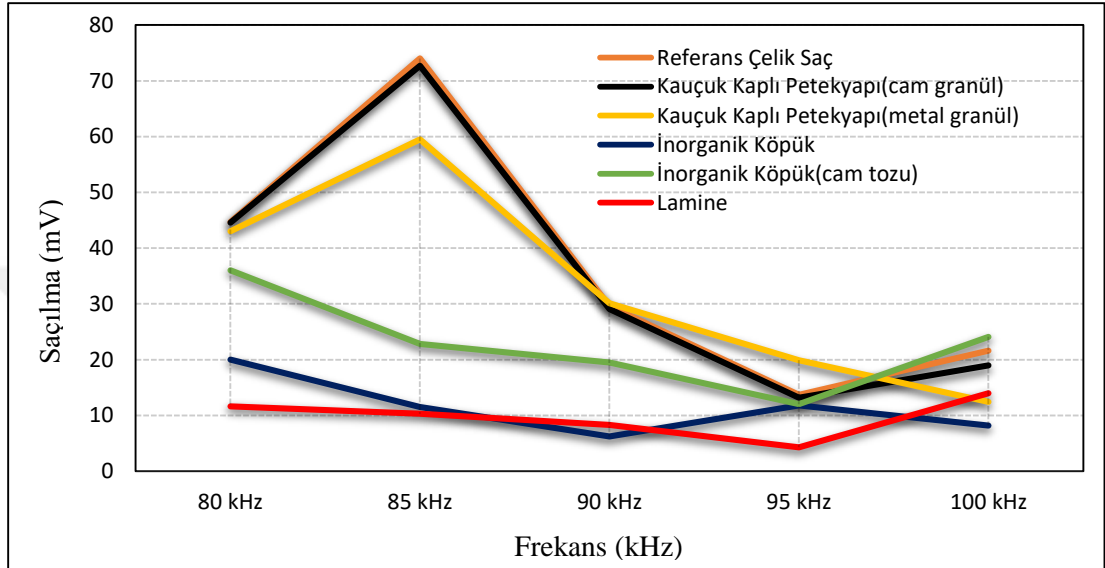
gözlemlenmiştir.



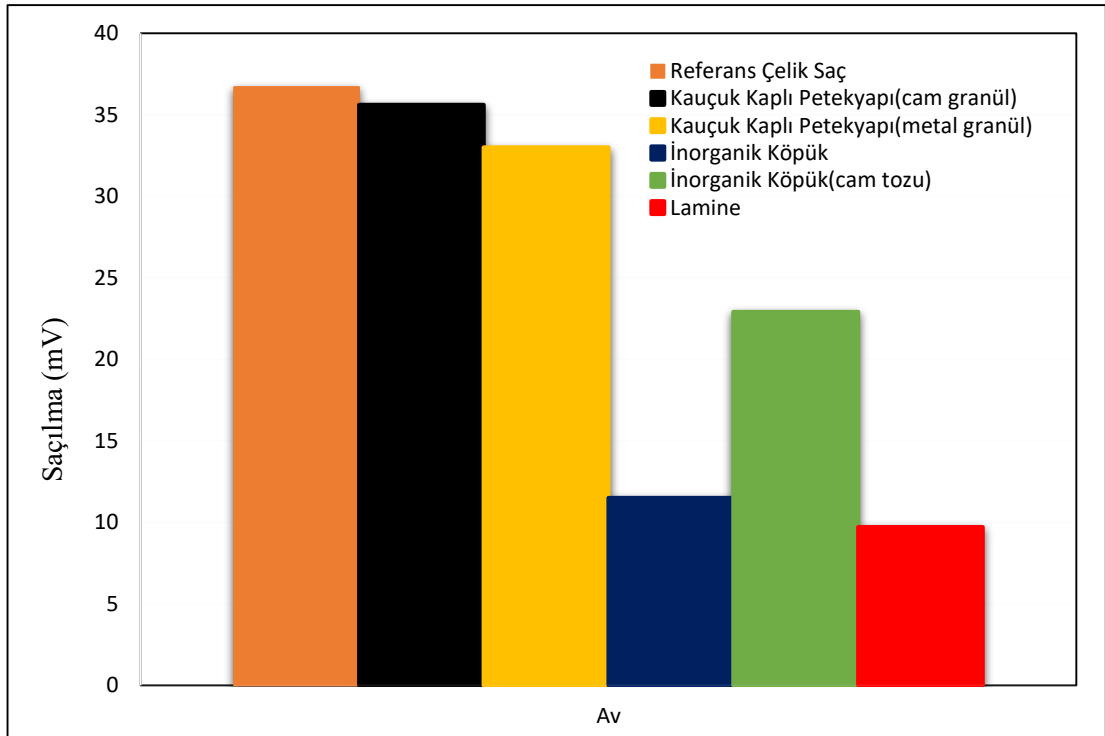
## 5.6 Hidrofon-5 (30° Saçılma)

### 5.6.1 Hidrofon-5’de ölçülen yansıma değerleri

Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucunda 5 numaralı hidrofondan ölçülen saçılma değerleri mV olarak Şekil 5.17’de, hesaplanan ortalama saçılma değerleri Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.17 : Frekanslara Göre Hidrofon-5’de Ölçülen Saçılma Değerleri(mV)



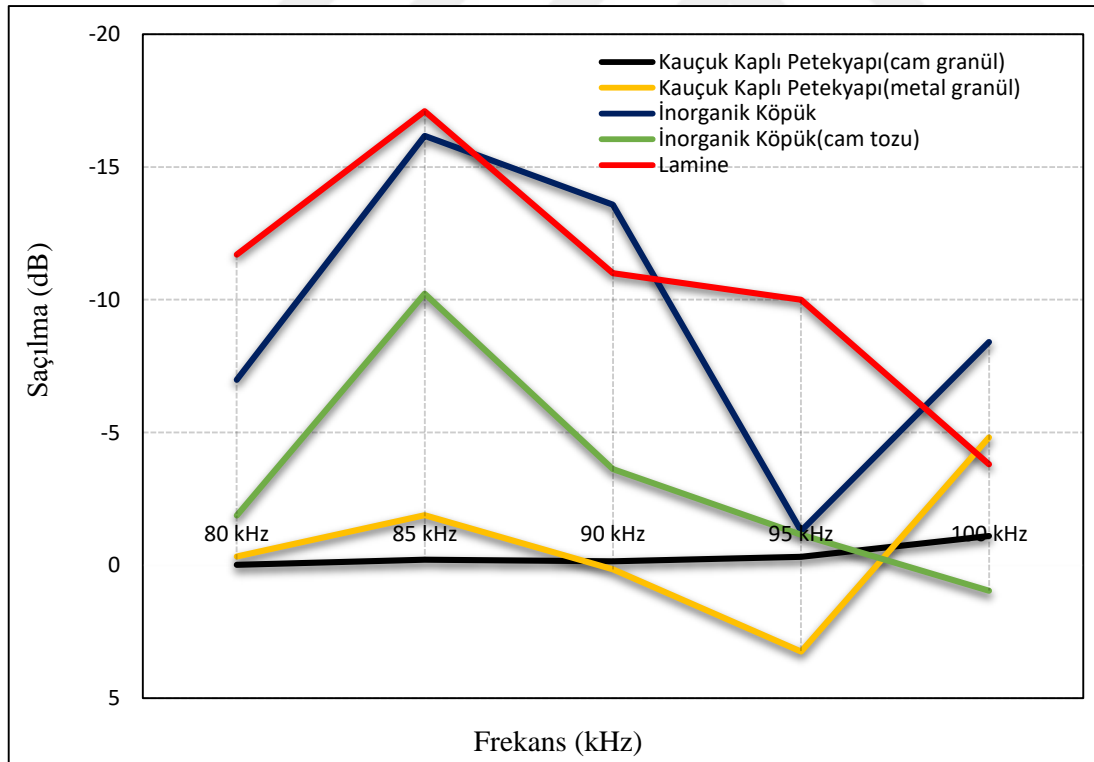
Şekil 5.18 : Hidrofon-4’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (mV)

### 5.6.2 Hidrofon-5’de hesaplanan saçılma değerleri

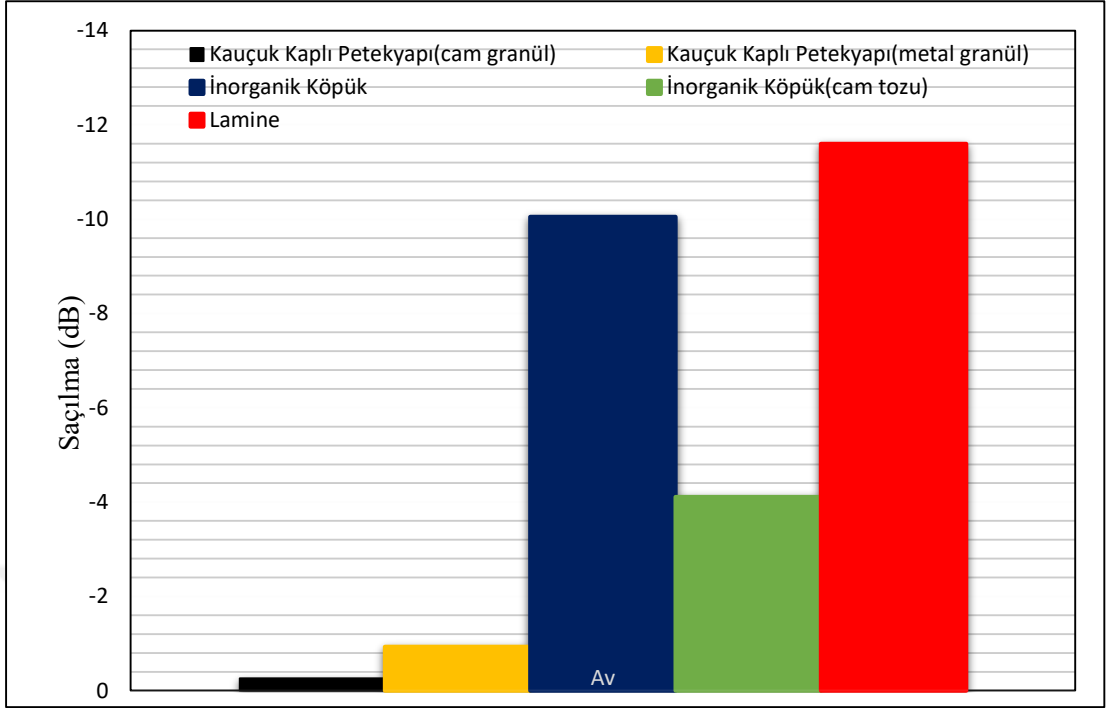
Üretilen plakalara farklı frekanslarda uygulanan akustik testler sonucu elde edilen saçılma değerleri ve çelik saç plakanın akustik testleri sonucunda belirlenen referans değerler kullanılarak hesaplanan ses seviyeleri (dB) Çizelge 5.5’de, frekanslara göre hesaplanan ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.19’de, hesaplanan ortalama ses seviyelerine ait grafik Şekil 5.20’de verilmiştir

Çizelge 5.5 5 Numaralı Hidrofonda Hesaplanan Ses Seviyeleri

	80 KHz	85 KHz	90 KHz	95 KHz	100 KHz	Av
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
PLAKA-1	-0,02	-0,21	-0,15	-0,32	-1,11	-0,26
PLAKA-2	-0,34	-1,89	0,15	3,24	-4,82	-0,93
PLAKA-3	-6,99	-16,17	-13,58	-1,30	-8,41	-10,05
PLAKA-4	-1,88	-10,23	-3,63	-1,15	0,95	-4,11
PLAKA-5	-11,7	-17,1	-11,0	-10,0	-3,8	-11,6



Şekil 5.19 Frekanslara Göre Hidrofon-5’de Hesaplanan Saçılma Değerleri(dB)



Şekil 5.20 Hidrofon-5’de Hesaplanan Ortalama Saçılma Değerleri (dB)

### 5.6.3 Ölçülen ve hesaplanan değerlerin yorumlanması

Hidrofon-5’de ölçülen ve hesaplanan değerler incelendiğinde,

- Metal granüller içeren içi silikon doldurulmuş kauçuk kaplı petekyapı plakasının genel olarak diğer plakalara göre daha fazla saçılma değerlerine sahip olduğu, saçılma değerlerinin referans saç plaka ile neredeyse aynı olduğu,
- Kompozit lamine plaka ve inorganik köpüğün diğer plakalara göre daha az saçılma değerlerine sahip olduğu ve 85 kHz’de en düşük saçılma değerine ulaşıldığı, malzemenin tasarımından kaynaklanan özellikleri nedeniyle düşük saçılma değeri istenen sualtı akustik uygulamalarında kullanılabilceği,
- Hazırlanan plakaların frekans aralıklarına göre sabit bir özellik göstermediği, her frekans için farklı özellikler gösterdiği,
- Lamine plakasının diğer plakalara göre daha az saçılma değerlerine sahip olduğu,
- Ortalama değerler ile frekans bazındaki değerler arasında belirgin bir farklılık bulunmadığı,

gözlemlenmiştir.

Hidrofon-4 ve hidrofon-5 de ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırıldığında,

- 4 numaralı hidrofonda yapılan ölçümlerde metal granül ve silikon içeren kauçuk petek yapının, cam granül ve silikon içeren kauçuk petek yapıya göre daha düşük saçılma değerlerine sahip olduğu, kullanılan cam granüllerin saçılmayı arttıracak yönde etki yaptığı fakat 5 numaralı hidrofon ölçümlerinde aynı durumla karşılaşılmadığı,
- Lamine plakanın saçılma değerlerinin açıyla değişmeyerek hemen hemen sabit kaldığı,
- Petek yapılı kauçuk plakalarda 30°'deki saçılma değerlerinin 60°'de ölçülen değerlere göre daha yüksek olduğu,
- Açısal farklılıkların saçılma üzerinde etkili olduğu,

görülmüştür.

## 6. GENEL SONUÇLAR

### 6.1 Genel Sonuçlar

Ülkemizde sualtı akustik dalgaları soğuran malzeme geliştirme çalışmaları çok kısıtlı olarak yapılmakla beraber açık kaynaklarda henüz üretimi yapılan bir malzeme ile karşılaşmamıştır. Stratejik öneme sahip olan bu malzemelerin yerli ve milli olarak üretilmesi ülkemiz açısından hayati öneme haizdir. Bu nedenle sualtında akustik özelliklere sahip özgün bir malzeme tasarımı yaparak üretim süreçlerini gerçekleştirmek ve hazırlanan malzemelerin akustik testlerini yapmış olmak bu tezin önemini göstermektedir.

Öncelikle sualtı akustik testleri yapmak ve ses seviyesini hesaplayabilmek maksadıyla referans değerleri oluşturabilmek için sualtı sistem ve cihazlarında yoğunlukla kullanılan çelik sac referans plaka test edilmiştir. 50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin cam granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması ile birinci plaka oluşturulmuştur. 50cm x 50cm x 1cm boyutlarında kompozit petekyapının içinin metal granül ve silikon ile doldurulmasından sonra 50cm x 50cm x 0,5cm boyutlarında iki adet kauçuk levhanın petekyapının her iki yüzeyine yapıştırılması ile ikinci plaka oluşturulmuştur. 5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilerek 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında plaka oluşturulması ile üçüncü plaka oluşturulmuştur. 5cm x 5cm x 2cm boyutlarında 10ppi 100 adet açık hücreli inorganik köpüğün misina ile birbirine dikilmesi ardından meydana gelen 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında inorganik plakaya cam tozu doldurularak kısmi vakum uygulanması ile dördüncü plaka oluşturulmuştur. 50cm x 50cm x 2cm boyutlarında kompozit laminenin kesilmesi ile beşinci plaka sualtı akustik testleri yapmak maksadıyla hazırlanmıştır.

Hazırlanan plakalardan önce çelik saç plakanın, bunu takiben diğer plakaların ölçümleri yapılarak 5 adet hidrofona yardımıyla 80 kHz, 85 kHz, 90 kHz, 95 kHz ve 100 kHz frekanslarında sualtı test havuzunda yansımaya, saçılma ve geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Akustik testler sonucunda ölçülen ve hesaplanan değerlere göre;

- Özgün olarak tasarlanarak üretilmiş, cam/metal granül ve silikon doldurulmuş kauçuk kaplı petek yapıların sualtında düşük yansımaya, geçirgenlik ve saçılma değerlerine sahip olduğu, bu özellikleri nedeniyle tespit edilebilirliğin engellenmesi amacıyla iyi bir akustik kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği,
- Cam ve metal granül kullanımı karşılaştırıldığında; saçılma ve yansımaya özelliklerinin az miktarlarda değiştiği,
- Sualtında yansımaya ve/veya saçılma istenen uygulamalarda cam tozu kullanılarak yansımaya artırılabilirliği,
- Laminenin düşük yansımaya ve saçılma ile yüksek geçirgenlik özellikleri nedeniyle sualtında sonar pencereleri gibi şeffaflık (transparent) istenen uygulamalarda kullanılabilirliği,
- Petek yapı ve yapısal olarak açık gözenekli malzemelerin yansımaya ve geçirgenlik değerlerinin azaltılmasında etkili olduğu,
- Kauçuk, polimer matrisli kompozitler ve inorganik köpüklerin sualtı akustik uygulamalarında kullanılabilirliği,

gözlemlenmiştir.

Özgün olarak tasarlanarak üretim süreci gerçekleştirilen malzemelerin sualtı akustik testleri sonucunda kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği değerlendirildiğinden malzemelerin yansımaya ve saçılma özelliklerinin, geçirgenlik özelliğine göre daha öncelikli olduğu değerlendirilmektedir. Malzemenin sualtında geçirgenlik ve yansımaya özelliğinin sonar penceresi tasarım ve üretimi gibi şeffaflık istenen uygulamalar kapsamında kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Sualtı akustik testlerinin maliyetli olması, sualtı test imkânına sahip şirketlerin proje odaklı çalışması ve kullanılan malzemelerin fiyatlarının çok yüksek olması nedenleriyle akustik test süreçlerinde güçlüklerle karşılaşmış; farklı kalınlıklarda üretilen plakaların testleri yapılamamıştır. Malzemelerin akustik testleri sonucunda

yukarıda detaylı bir şekilde anlatıldığı üzere inorganik köpüklerde cam tozunun; hibrid yapıda ise cam granüller ile metal granüllerin sualtı akustik özelliklere etkisi değerlendirilmiştir.

Sualtında, akustik yansıma, geçirgenlik, saçılma elde etmek maksadıyla kullanılabilir malzemelerin tam olarak bilinmiyor olması, malzemelerin sualtında değişken ortam şartlarında akustik davranışlarını gösteren kaynak bir doküman bulunmaması, sualtında akustik saçılma, geçirgenlik, yansıma özelliklerine sahip malzemelerin askeri amaçlı kullanıldığından literatürde yer almaması/ sınırlı olarak yer alması nedenleriyle tez kapsamında kullanılan malzemeler arasında akustik etki yönünden doğrudan bir kıyaslama yapılamamıştır.

Genel olarak malzemelerin sualtında göstermiş olduğu akustik davranışlar simülasyon ortamına aktarılabilse de, çok katmanlı olarak üretilen ve farklı malzeme kompozisyonları içeren hibrid yapıların simülasyon ortamına aktarılması denenmiş ve mümkün olmadığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında ülkemizde daha önce akademik olarak çalışılmayan sualtı akustik malzeme üretimi üzerinde durulmuş, kompozit/ hibrid yapıda sualtında farklı akustik özelliklere sahip özgün plaka tasarımı ve üretim süreçleri gerçekleştirilerek plakaların havuz ortamında yansıma, saçılma ve geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Test sonuçları neticesinde; referans çelik saç plakaya göre daha iyi yansıma, saçılma ve geçirgenlik değerlerine ulaşılmıştır.

Test sonuçlarına göre yapılan değerlendirmede özgün olarak hazırlanan plakaların denizaltı gemilerinde, deniz mayınlarında, sualtı robotlarında, insansız sualtı araçlarında, torpido ve milli silah sistemlerinde kullanılarak sualtında gizliliğin sağlanmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir.





## 7. İLERİYE DÖNÜK YAPILABİLECEK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ

### 7.1 İleriye Dönük Öneriler

Sualtı akustik testlerin,

- Farklı frekans aralıklarında,
- Farklı çevresel şartlarda (su sıcaklığı, tuzluluk, deniz, göl gibi),
- Malzemelerin kalınlıklarının değiştirilerek,
- Farklı hidrostatik etkilere maruz bırakılarak,
- Köpük malzemeler için farklı gözeneklilik değerlerinde,
- Kompozitler için farklı özelliklerdeki kompozit malzemeler kullanılarak yapılmasının malzemenin geliştirilmesi açısından fayda sağlayacağı değerlendirilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Ainslie, M. A.** (2010). *Principles of sonar performance modelling*. Heidelberg: Springer.
- Aksoy, S.** (2014). *Su Altı Akustik Dalga Yayılımı & Sonar Sistemleri*, Turkey, Erişim Tarihi Kasım 21, 2016, [http://anibal.gyte.edu.tr/dosya/102/~saksoy/Dersler/AKUSTIK&SONAR\\_Web/Su%20alt%C4%B1%20Akustik%20Dalga%20Yay%C4%B1%C4%B1m%C4%B1%20&%20Sonar%20Sistemleri.html](http://anibal.gyte.edu.tr/dosya/102/~saksoy/Dersler/AKUSTIK&SONAR_Web/Su%20alt%C4%B1%20Akustik%20Dalga%20Yay%C4%B1%C4%B1m%C4%B1%20&%20Sonar%20Sistemleri.html)
- Christ, R. D. ve Wernli, R. L.** (2014). *The ROV manual a user guide for remotely operated vehicles*. Amsterdam: Elsevier.
- Dawe, R.L.** (1997). *Detection threshold modelling explain*. United States : Defence Science and Technology Organisation (DSTO) Aeronautical and Maritime Research Lab. Melbourne, Australia
- Etter, P. C.** (1995). *Underwater acoustic modelling: Principles, techniques and applications*. Spon.
- Everest, F. A. ve Pohlmann, K. C.** (2015). *Master handbook of acoustics*. New York: McGraw-Hill
- Garu, P. K. ve Chaki, T. K.** (2012). Acoustic & Mechanical Properties of Neoprene Rubber for Encapsulation of Underwater Transducers. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 1(5), 231-237.
- Guiping, C., Deping, H., ve Guangji, S.** (2001). *Underwater sound absorption property of porous aluminum*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **179(2-3)**, 191-194. doi:10.1016/s0927-7757(00)00656-7
- Haklıdır, M.** (2006). *Yüzer Göndermecin Durum Denetimi İçin Modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006). İstanbul.
- Hodges, R. P.** (2010). *Underwater acoustics: Analysis, Design, and Performance of Sonar*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Ingham, A. E. ve Abbott, V. J.** (1992). *Hydrography for the surveyor and engineer*. London: Blackwell.

- Jensen, F. B.** (2011). *Computational Ocean Acoustics*. New York: Springer.
- Kaw, A. K.** (2006). *Mechanics of composite materials*. Boca Raton,: CRC Taylor & Francis.
- Kaya, A.İ.** (2016). *Kompozit Malzemeler ve Özellikleri*. Putech & Composites, Temmuz,Ağustos,Eylül 2016
- Kinsler, L. E.** (2000). *Fundamentals of acoustics*. New York: John Wiley & Sons.
- Munk, W. H.** (1974). *Sound channel in an exponentially stratified ocean, with application to SOFAR*. The Journal of the Acoustical Society of America, **55(2)**, doi:10.1121/1.1914492
- Mouritz, A., Gellert, E., Burchill, P. ve Challis, K.** (2001). *Review of advanced composite structures for naval ships and submarines*. *Composite Structures*, **53(1)**, 21-42. doi:10.1016/s0263-8223(00)00175-6
- Nijssen, R.** (2015). *Composite materials: an introduction*. Rotterdam: Inholland University of Applied Sciences.
- Qian, C. ve Li, Y.** (2017). *Review on Multi-scale Structural Design of Submarine Stealth Composite*. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, (Icaenm). doi:10.12783/dtetr/icaenm2017/7834
- Qu, J.** (1993). *The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic*
- Pillai, V.B.** (2003). *Studies on rubber compositions as passive acoustic materials in underwater electro acoustic transducer technology and their aging characteristics* (Doktora Tezi). Cochin University of Science and Techology
- Randall, R. H.** (2005). *An introduction to acoustics*. Mineola, NY: Dover Publications.
- Ravindran, A.,** (2007). *Investigation of inverse acoustical characterization of porous materials used in aircraft noise control application* (Yüksek Lisans Tezi).
- Rienstra S.W. ve Hirschberg A.** (2004). *An introduction to acoustics*. Eindhoven University of Technology
- Rios J.J.** (2005). *Naval mines in the 21th century: Can NATO navies meet the challenge?* (Yükses Lisans Tezi) Naval Postgraduate School
- Roland, C. M.** (2004). *Naval Applications of Elastomers*. Rubber Chemistry and Technology, **77(3)**, doi:10.5254/1.3547835
- Selmi, O.** (2016). *Teknolojide Beklenen Gelişmeler Etkisinde 2030 Yılında Deniz Mayın Harbinin Geleceği Üzerine Teknoloji Öngörüsü* (Yüksek Lisans Tezi) Gedik Üniversitesi Fen Bil. Enst.

- Şahin, Y.** (2015). *Kompozit malzemelere giriş: Mukavemet/ Dayanım, Hafiflik, Özgül Modül*. Ankara: Seçkin.
- Truver, S. C.** (2015). *Taking Mines Seriously: Mine Warfare in China's Near Seas. Scholar's Choice Edition*.
- Urlick, R.** (1982). *Sound Propagation in the Sea*. Los Altos, Cal. Peninsula Publishing.
- Vidinlimen, G. T.** (2010). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan gözenekli malzemelerin akustik özellikleri ve analizi* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bil. Enst.
- Waite, A. D.** (2005). *Sonar for practising engineers*. Chichester: Wiley
- Wang, R.** (2016). *Polymer Matrix Composites And Technology*. S.l.: WOODHEAD.
- Watts, A. J.** (2005) *Jane's Underwater Warfare Systems (17th Edition 2005 -2006)*, Janes Information Group, Coulsdon, U.K.
- Xu, W., Jiang, C. ve Zhang, J.** (2015). *Underwater acoustic absorption of air-saturated open-celled silicon carbide foam*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 471, 153-158. doi:10.1016/j.colsurfa.2015.01.091

### **İnternet Kaynakları**

- Url-1** <<https://www.sipri.org/databases/milex>> alındığı tarih: 29.01.2019
- Url-2** <<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/rays.html>> alındığı tarih: 21.11.2016
- Url-3** <<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/surfaceduct.html>> alındığı tarih: 21.11.2016
- Url-4** <<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/soundchannel.html>> alındığı tarih: 21.11.2016
- Url-5** <<http://www.oc.nps.edu/~bird/oc2930/acoustics/bottombounce.html>> alındığı tarih: 21.11.2016
- Url-6** <<https://dosits.org/decision-makers/tutorials/science/sound-speed/>> alındığı tarih: 23.11.2016
- Url-7** <[https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw\\_sys/asw\\_sys.htm](https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw_sys/asw_sys.htm)> alındığı tarih: 29.11.2016
- Url-8** <<http://www.teknikport.com/2012/04/plastik/>> alındığı tarih: 04.04.2017



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Barış ŞAHİNER  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1985-İzmit  
**E-Posta** : baris-sahiner@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2007, Deniz Harp Okulu, Elk/Eln Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2009, Maltepe Üniversitesi, İşletme

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

2007-Devam : Deniz Kuvvetleri Komutanlığı