**T.C.**
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİĞİ KAYNAKLI AKUSTİK EMİSYONUN DÜŞÜK MALİYETLİ HİDROFON İLE İNCELENMESİ

**Volkan OKUTAN**

**Denizel Çevre Anabilim Dalı**
**Deniz ve Kıyı Koruma Bilim Dalı**

**Danışman**
**Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU**

**Mayıs 2017**

**T.C.**

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**

**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

Volkan OKUTAN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİĞİ KAYNAKLI AKUSTİK EMİSYONUN DÜŞÜK MALİYETLİ HİDROFON İLE İNCELENMESİ" başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE Ana Bilim Dalı, DENİZ VE KIYI KORUMA Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

**Jüri Üyesi**

Prof. Dr. Ş. Bedri ALPAR

**Jüri Üyesi**

Doç. Dr. Oral YAĞCI

**Jüri Üyesi**

Doç. Dr. İ. Noyan YILMAZ

**Jüri Üyesi**

Doç. Dr. Nazlı DEMİREL

**Tez Savunma Tarihi: 23/06/2017**

**T.C.**
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİĞİ KAYNAKLI AKUSTİK EMİSYONUN DÜŞÜK MALİYETLİ HİDROFON İLE İNCELENMESİ

**Volkan OKUTAN**

**Denizel Çevre Anabilim Dalı**
**Deniz ve Kıyı Koruma Bilim Dalı**

**Danışman**
**Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU**

**Mayıs 2017**

# ÖNSÖZ

Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nda Haliç girişinde ve Baltalimanı bölgesinde sualtı ortam gürültüsü kaydı yapılmıştır. Bahsedilen kayıtlar frekans temelinde analiz edilerek, şehir içi deniz trafiği ve transit gemi geçişleri kaynaklı seslerin, İstanbul Boğazı sualtı ortam gürültüsü içindeki yerleri ve düzeyleri tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında; İstanbul Boğazı'ndaki şehir içi deniz trafiği ve transit gemi geçişleri kaynaklı gürültünün, denizel canlılar üzerindeki olası etkilerinden bahsedilmiştir. Ayrıca; gemi kaynaklı gürültü emisyonunun kontrol altına alınmasına yönelik muhtemel standart ve kural çalışmaları için öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmada; sualtı ortam gürültüsü kaydı için İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü bünyesinde geliştirdiğimiz "düşük maliyetli hidrofon" kullanılmıştır. Bahsedilen hidrofon buluşu için yapmış olduğumuz, EP2975432 yayın numaralı Avrupa Patenti başvurusu, tescil ile sonuçlanmıştır.

Hidrofonun geliştirilmesi, sualtı akustik veri toplama çalışmaları ve tez hazırlık sürecinde, bana; özveri ve sabırla destek, fikirleriyle yardımcı olan değerli hocam, Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca, hidrofon buluşunun gerçekleşmesinde önemli katkıda bulunan değerli hocam nezdinde tüm Denizel Çevre Anabilim Dalı akademik personeline teşekkür ederim.

Uzun süren tez hazırlık sürecinde; "Tez ne oldu?" sorusuyla, beni sürekli olarak motive eden kadim ve bengi dostum Gökhan TÜFEKÇİ'ye teşekkür ederim.

Ve uzun süren tez hazırlık sürecinde, bana sonsuz sabır gösteren, ilgisini ve güler yüzünü eksik etmeyen, mutluluk ve huzur kaynağım, sevgili eşim Sema Nur OLGUN OKUTAN'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No.**

ÖNSÖZ ..... i
ŞEKİL LİSTESİ ..... iv
TABLO LİSTESİ ..... vii
KISALTMA LİSTESİ ..... viii
ÖZET ..... ix
ABSTRACT ..... x

**1. GİRİŞ** ..... 1

**2. TEMEL KAVRAMLAR** ..... 5
2.1. AKUSTİK ..... 5
2.1.1. Ses ..... 5
2.1.2. Ses Basıncı ..... 5
2.1.3. Akustik Empedans ..... 6
2.1.4. Ses Basınç Düzeyi (*SPL*) ve Desibel (*dB*) ..... 6
2.1.5. Frekans ..... 7
2.1.6. Frekans Analizi ..... 8
2.1.7. Ses Kaynağı Düzeyi (*SL*) ..... 9
2.1.8. Sese Maruz Kalma Düzeyi (*SEL*) ..... 9
2.1.9. Gürültü ..... 10
2.1.10. Ses Kanalları ..... 10
2.1.11. Sesin Yayılımı ..... 10
2.2. SUALTI AKUSTİĞİ ..... 13
2.2.1. Sualtında Ses Hızı ..... 13
2.2.2. Sualtında Ses Yayılımı ..... 14
2.2.3. Sualtı Ortam Gürültüsü ..... 17
2.3. İSTANBUL BOĞAZI ..... 23
2.4. SUALTI BİYOAKUSTİĞİ ..... 27

**3. MATERYAL** ..... 37
3.1. HİDROFON ..... 37
3.1.1. Düşük Maliyetli Hidrofon Buluşunun Arka Planı ..... 38
3.1.2. Düşük Maliyetli Hidrofon ..... 40

**4. YÖNTEM** ..... 47
4.1. HALİÇ ÖLÇÜM NOKTASI ..... 48
4.2. BALTALİMANI ÖLÇÜM NOKTASI ..... 50

**5. ANALİZ VE BULGULAR** ..... 52
5.1. HALİÇ KAYDI ..... 52
5.2. BALTALİMANI KAYDI ..... 58

**6. SONUÇLAR** ..... 70

**7.ÖNERİLER** ..... 73

**KAYNAKLAR** ..... 76

# ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No.**


**Şekil 2.1** Basit harmonik ses dalgasında; frekans, genlik ve dalga boyunun gösterimi ..... 7

**Şekil 2.2** Snell kanunu şematik gösterimi ..... 11

**Şekil 2.3** Farklı fiziksel özellikteki katmanlar arasında geçiş yapan bir ses dalgasının temsili yayılım şekli ..... 12

**Şekil 2.4** Sualtında noktasal bir kaynaktan oluşan sesin yayılımı ..... 16

**Şekil 2.5** Wenz eğrileri ..... 18

**Şekil 2.6** Gemi gürültü kaynaklarının tipik frekans aralıkları ..... 22

**Şekil 2.7** Bir balık odyogramı örneği; Sazan (*Cyprinus carpio*) odyogramı ..... 28

**Şekil 3.1** Düşük maliyetli hidrofonun şematik gösterimi ..... 41

**Şekil 3.2** Deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 44

**Şekil 3.3** Haliç kaydının ses şiddeti en düşük kısmı ile deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması ..... 45

**Şekil 3.4** Baltalimanı kaydının ses şiddeti en düşük kısmı ile deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması ..... 45

**Şekil 4.1** Haliç ölçüm noktası ..... 49

**Şekil 4.2** Haliç ölçüm bölgesi seyir haritası ..... 49

**Şekil 4.3** Baltalimanı ölçüm noktası ..... 50

**Şekil 4.4** Baltalimanı ölçüm bölgesi seyir haritası ..... 51

**Şekil 5.1** Haliç kaydının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 52

**Şekil 5.2** Balıkçı teknesi tornistan manevrası 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 54

**Şekil 5.3** Haliç kaydında, deniz trafiği kaynaklı en yüksek ve en düşük ses düzeylerinin 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması ..... 55

**Şekil 5.4** Haliç kaydında, ortalama ve en düşük ses düzeylerinin 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması ..... 55

**Şekil 5.5** Haliç kaydında, deniz trafiği kaynaklı en yüksek, ortalama ve en düşük ses düzeylerinin, 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması ..... 56

**Şekil 5.6** Baltalimanı kaydının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 59

**Şekil 5.7** Baltalimanı kaydında, LIDIA isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 60

**Şekil 5.8** LIDIA ..... 61

**Şekil 5.9** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Min.) ile LIDIA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği ..... 62

**Şekil 5.10** Baltalimanı kaydında, NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 63

**Şekil 5.11** NADEZHDA ..... 64

**Şekil 5.12** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Min.) ile NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği ..... 65

**Şekil 5.13** Baltalimanı kaydında, ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı ..... 66

**Şekil 5.14** ODESSA STAR ..... 66

**Şekil 5.15** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Min.) ile ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği ..... 67

**Şekil 7.1** Bir geminin gürültü mekanizmaları ..... 73

# TABLO LİSTESİ

**Sayfa No.**


**Tablo 2.1** 1/3 oktav bant frekans değerleri ..... 9

**Tablo 2.2** 2006 – 2015 yılları arası İstanbul Boğazı gemi geçiş istatistik özeti ..... 24

**Tablo 2.3** İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin tiplerine ve yıllara göre dağılımı ..... 25

**Tablo 5.1** LIDIA, NADEZHDA ve ODESSA STAR isimli gemilerin, makine ve pervane seslerinin etkili olduğu frekans aralıklarındaki ses düzeyleri ..... 68

# KISALTMA LİSTESİ

**ºC:** Derece Santigrat

**m:** metre

**s:** saniye

**v.b.:** ve benzeri

**N:** Newton

**$m^2$:** Metre kare

**$m^3$:** Metre küp

**Pa:** Pascal

**µPa:** Mikro-Pascal

**kg:** kilogram

**Z:** Akustik empedans

**c:** Ses hızı

**ρ:** Yoğunluk

**SPL:** Ses basınç düzeyi

**dB:** Desibel

**P:** Basınç

**Hz:** Hertz

# ÖZET

## İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİĞİ KAYNAKLI AKUSTİK EMİSYONUN DÜŞÜK MALİYETLİ HİDROFON İLE İNCELENMESİ

**Volkan OKUTAN**

Deniz ve kıyılarda artan beşeri faaliyetlerin, sualtı gürültü seviyesini, denizel yaşamı olumsuz etkileyecek derecede yükselttiği bilinmektedir. Özellikle 2000'li yıllar ile birlikte, dünyada artan endişeler, sualtı ortam gürültüsünün tespiti ve yorumlanması adına yapılan çalışmaların yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu bağlamda değerlendirildiğinde; İstanbul Boğazı, denizcilik için önemli bir rota olduğu kadar, balıklar için de doğal bir göç yolu ve yaşam alanıdır. Açıkça görüldüğü üzere; İstanbul Boğazı'nda gürültü kaynağı gemiler, gürültüye maruz kalan alıcılar ise balıklarıdır. İstanbul Boğazı'ndaki yoğun şehir içi deniz trafiği ve transit gemi geçişlerinin akustik emisyonunu saptamak için; İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü bünyesinde geliştirdiğimiz "düşük maliyetli hidrofon" ile ölçümler yapılmış ve akustik veriler toplanmıştır. Ölçüm noktaları olarak; şehir içi deniz trafiği için Haliç girişi, transit gemi geçişleri için Baltalimanı bölgesi seçilmiştir. Haliç ölçümünde, halihazırda yüksek ses seviyelerinde seyreden deniz trafik gürültüsünde, bir balıkçı teknesinin bölgeye gelişi ve tornistan manevrası sırasında, ses seviyesinde yaklaşık 30 *dB re 1µPa* artış tespit edilmiştir. Aynı şekilde; Baltalimanı ölçümünde, gemi geçişleri sırasında, sualtı ortam gürültüsünde, 55 – 60 *dB re 1µPa* artış tespit edilmiştir.

# ABSTRACT

## DETECTION OF ACOUSTIC EMISSION FROM SHIP TRAFFIC WITH LOW COST HYDROPHONE AT THE STRAIT OF ISTANBUL (BOSPHORUS)

**Volkan OKUTAN**

Increasing human activities in the high seas and coasts are known to raise underwater noise level that negatively affect to marine life. Especially with the years of 2000, increasing worries about the underwater noise in the world have led to widespread work on the identification and interpretation of underwater ambient noise. In this study; the Strait of İstanbul (Bosphorus) will be examined as the medium. The region has been an important route for shipping throughout history and a natural migration path for fishes. Obviously, the noise sources are vessels and exposed to noise receivers are fishes in this research. Our own developed "low-cost hydrophone" systems were used for underwater measurements. As measuring points; The Golden Horn entrance for urban sea traffic and the Baltalimanı region for transit ships. In the measurement of the Golden Horn, an increase in the sound level of about 30 *dB re 1 μP* was detected during the arrival and maneuvering of a fishing boat. Similarly; During the Baltalimanı measurement, an increase of 55 – 60 *dB re 1 μP* was detected in the underwater environment during the ships transit.

# 1. GİRİŞ

Ses, havada; 15 °*C*'de, yaklaşık 340 *m/s* hızla yayılmaktadır. Buna karşın, 15 °*C* sıcaklıktaki deniz suyunda, ses hızı; yaklaşık 1500 *m/s* olmaktadır. Bu değer; sıcaklık, tuzluluk, basınç gibi fiziksel oşinografik şartlara bağlı olarak, küçük değişimler gösterse de genel olarak; ses dalgalarının, suda, havaya oranla yaklaşık 4,5 kat daha hızlı yol aldığı söylenebilir. Ayrıca aynı şiddete sahip bir ses dalgası; sualtında, havada olduğundan 60 kat daha fazla basınç yaratmaktadır (OGP, 2008). Dolayısıyla ses; sualtında, enerjisini uzun süre koruyarak uzak mesafelere yayılabilmektedir. Bu bağlamda, denizel canlıların birçoğu; sualtında iletişim kurmak, beslenmek, eş bulmak, çevreyi algılamak ve kendilerini korumak gibi yaşamsal faaliyetler için seslerden ve işitme organlarından faydalanmaktadır (National Research Council, 2003).

Ses, sualtında yol alırken; ortamda, basınç değişimlerine ve parçacık hareketlerine (*titreşimlere*) neden olmaktadır. Balıklar ve deniz memelileri, sualtı ortamındaki sesleri; bahsedilen basınç değişimleri ve titreşimler sayesinde "duymaktadır". Denizel canlılar; ses kaynaklı basınç değişimlerini ve parçacık hareketlerini; iç kulak, lateral hat[1], yüzme kesesi, duyusal epiteller, periferik[2] duyu organları, otolit[3] kesesi v.b. organlar vasıtasıyla algılamaktadır (Evans ve Claiborne, 2006). Bahsedilen işitme organlarının sayısı, niteliği ve anatomik kombinasyonları, türlere göre farklılık gösterse de; denizel canlıların birçoğu; sualtı ortamındaki ses dalgalarını, sadece "kulaklarında" değil; lateral hat, yüzme kesesi, otolit kese gibi duyu organları sebebiyle vücutlarının tümünde hissetmektedir. Bu durum; özellikle abiyotik seslerin, denizel canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini arttırmaktadır.

[1] **Lateral hat:** Denizel canlıların vücutları boyunca uzanan ve sualtı ortamındaki hareketleri ve titreşimleri algılayan, duyu organı sistemi.
[2] **Periferik:** Kenarında, çevresinde, dışında. (TDK Veteriner Hekimliği Terimleri Sözlüğü)
[3] **Otolit:** Birçok hayvanın işitme organlarında bulunan kalkerli parçacıklar, kulak taşları, denge taşı (TDK Veteriner Hekimliği Terimleri Sözlüğü ve TDK Zooloji Terimleri Sözlüğü)

Deniz ve kıyılarda artan (*kıyı şehirleri, gemi trafiği, her türlü sismik kaynaktan yayılan enerji, denizlerdeki endüstriyel etkinlikler, sonarlar v.b.*) beşeri faaliyetlerin, sualtı gürültü seviyesini oldukça yükselttiği bilinmektedir. Denizlerde insan kaynaklı gürültünün artması, denizel canlıların ses ve işitmeye bağlı yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Yapılan araştırmalara göre; insan kaynaklı gürültü, deniz canlıları üzerinde; maskeleme, kaçınma, geçici veya kalıcı duyma kaybı ve hatta fiziksel hasar gibi etkilere yol açmaktadır (National Research Council, 2003).

Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (*IMO*), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (*FAO*), Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı (*UNESCO*), Dünya Meteoroloji Örgütü (*WMO*), Dünya Sağlık Örgütü (*WHO*), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (*UNEP*), Uluslararası Oşinografi Komisyonu (*IOC*) gibi organizasyonlardan uzmanların oluşturduğu bir danışma organı olan; GESAMP (*Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution*) deniz kirliliğini aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır:

"Deniz kirliliği", biyolojik kaynaklara, denizel canlılara ve insan sağlığına zarar verecek, denizden ekonomik ve dinlence amaçlı yararlanma olanaklarını kısıtlayacak ve deniz suyunun kalitesini bozacak şekilde; haliçleri de içine alan deniz ortamına, insanoğlu tarafından doğrudan veya dolaylı olarak madde veya enerji bırakılması olayıdır (GESAMP, 1991).

Gürültü ise akustik manada; geniş bir frekans aralığında akustik enerji içeren karmaşık ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır (OSPAR, 2009).

Bu iki tanımdan yola çıkarak; deniz ve kıyılardaki insani faaliyetlerden sualtı ortamına yayılan gürültünün, denizel çevrede meydana getirdiği olumsuz etkiler; "akustik kirlilik" olarak adlandırılabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte deniz ve kıyılardaki insani faaliyetlerin çeşitlenmesi, gemi boyutlarının büyümesi, özellikle körfez, boğaz, kanal v.b. bölgelerde deniz trafiğinin yoğunlaşması gibi etkenler; "akustik kirliliğin" denizel çevreye etkileri ile ilgili endişeleri arttırmıştır. Dolayısıyla günümüzde, deniz ve kıyılarda artan gürültü seviyesinin denizel çevreye etkileri; deniz bilimlerinin araştırma konusu haline gelmiştir. Bahsedilen çalışmalar, özellikle 2000'li yılların başlarından itibaren yoğunlaşmıştır.

İnsan kaynaklı sualtı gürültüsünün, denizel çevreye etkilerini anlamaya yönelik çalışmalar, çoğunlukla; deniz trafiğinin ve diğer antropojenik[4] etkilerin yoğun olduğu; körfez, boğaz, kanal v.b. bölgelerde yapılmaktadır. Örneğin; Portekiz'deki Algarve Üniversitesi bünyesinde, bilim insanlarından oluşan bir topluluk olan MarSensing Lda[5]; Manş Denizi, Ligurya Denizi[6], Balear Denizi[7] ve Portekiz'in Atlantik kıyıları için gemi trafiği bazlı sualtı gürültü haritaları yayınlamaktadır.[8] İtalya'daki Trieste Üniversitesi bünyesinde; Dünya Doğayı Koruma Vakfı (*WWF*) tarafından doğal deniz koruma alanı ilan edilmiş olan Trieste Körfezi'ndeki deniz trafiğinin, sualtı yaşamına etkileri araştırılmaktadır.[9] Cebelitarık Hükümeti; "Gibraltar's Marine Monitoring Programme for British Gibraltar Territorial Waters (*BGTW*)" isimli bir deniz koruma ve izleme programı yürütmektedir. Bu programın, 11 stratejik çerçevesinden biri; "sualtı gürültüsü dâhil olmak üzere enerji kirliliğinin" izlenmesidir.[10] Bu bağlamda; Cebelitarık Hükümeti tarafından yayınlanmış olan Cebelitarık Deniz Strateji Mevzuatında, "deniz kirliliği"; "… deniz ortamına, insanoğlu tarafından doğrudan veya dolaylı olarak madde veya insan kaynaklı sualtı gürültüsü dahil olmak üzere enerji bırakılması olayı" olarak tanımlanmaktadır (Marine Strategy Regulations in Gibraltar, 2011). Görüldüğü üzere, 1991'de GESAMP tarafından yapılmış olan "deniz kirliliği" tanımını baz alan bu tanımda; ilave olarak "insan kaynaklı sualtı gürültüsü" ifadesi bulunmaktadır. Deniz kirliliği tanımlarına, "insan kaynaklı sualtı gürültüsü" ifadesinin eklenmesi; denizlerdeki akustik kirlilik ile ilgili artan endişelerin ve yapılan bilimsel çalışmaların bir sonucudur. Bahsedilen örnek çalışmaların yanı sıra; Tayvan (*Formosa*) Boğazı, Meksika Körfezi, Guanabara Körfezi, Karayip (*Antil*) Denizi, Kanada Vancouver Adasının çevresi, Cape Cod Körfezi, Kaliforniya Körfezi, Tiren Denizi gibi bir çok bölge, kanal, boğaz ve körfezde, insan kaynaklı gürültünün denizel çevreye etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bahsedilen çalışmalar; insan kaynaklı sualtı gürültüsünün boyutlarını ve etkilerini ortaya koymaktadır. Bu sayede, konu ile ilgili; gerekli önlemler alınabilmekte,

[4]**Antropojenik:** Doğada insanoğlunun neden olduğu etkiler. (TDK Su Ürünleri Terimleri Sözlüğü)
[5]**MarSensing Lda.:** Marine Sensing and Underwater Acoustic Technologies Company
[6]**Lingurya Denizi:** Akdeniz'in bir koludur. İtalyan Rivierası (Liguria ve Toskana) ile Korsika ve Elba Adaları arasında kalan bölgedir.
[7]**Balear Denizi:** Akdeniz'de İspanya'nın doğu kıyılarıyla Balear Adaları arasında kalan bölgedir.
[8]**İlgili çalışmaya** http://www.shippingnoise.com/ bağlantısından ulaşılabilir.
[9]**Örnek çalışma olarak;** Codarin, Antonio et al. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy), Marine Pollution Bulletin, 2009
[10]**İlgili çalışmaya** https://www.gibraltar.gov.gi/new/marine-monitoring bağlantısından ulaşılabilir.

paydaşların sorumlulukları belirlenebilmekte ve sualtı ortam gürültüsünün kontrol altına alınmasına yönelik standart ve mevzuatlar oluşturulabilmektedir.

İstanbul Boğazı da, yukarıda bahsedilen örnekler gibi; denizel yaşamın, insani etkilere, yoğun olarak maruz kaldığı bir bölgedir. İstanbul Boğazı ve çevresindeki insani faaliyetler (*transit ve şehir içi deniz trafiği, kıyı yerleşimi, köprüler, köprü inşaatı, sualtı tüneli v.b.*) önemli boyutlardadır. İstanbul Boğazı; tarih boyunca denizcilik için önemli bir rota ve birçok balık türü için doğal bir göç yolu olmuştur. İstanbul Boğazı; Akdeniz ve Karadeniz arasındaki "biyolojik koridorun" (*Çanakkale Boğazı, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı*) bir parçasıdır (Öztürk ve Öztürk, 1996). Bu bağlamda; İstanbul Boğazı ve çevresindeki yoğun insani faaliyetler dolayısıyla, sualtı ortamına yayılan gürültünün, denizel çevre üzerindeki etkileri, dikkate alınması gereken bir konudur. Ancak literatürdeki, İstanbul Boğazı ile ilgili sualtı akustik çalışmaların büyük bir çoğunluğu; askeri faaliyetler, jeofizik ve haberleşme konuları ile alakalıdır. İstanbul Boğazı'nda insan kaynaklı sualtı gürültüsünün analizi ve denizel yaşama etkilerinin tespiti ile ilgili bilimsel çalışma sayısı oldukça azdır. Bu bağlamda, İstanbul Boğazı ile ilgili sualtı akustik kirlilik sorunun, ortaya konulabilmesi için, ilk etapta; sualtı ortam gürültüsünün tespiti, insan kaynaklı akustik kirliliğinin boyutları, akustik kirliliğe neden olan gürültü kaynaklarının belirlenmesi, her gürültü kaynağının tek tek ele alınarak etkilerinin değerlendirilmesi, gürültüye maruz kalan türlerin belirlenmesi, sualtı gürültüsünün türler ve ekolojik düzen üzerindeki etkileri gibi konuların araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, genel olarak; İstanbul Boğazı'ndaki transit ve şehir içi deniz trafiğinin, sualtı ortamında oluşturduğu akustik kirlilik ve bu kirliliğin denizel çevre üzerindeki olası etkileri incelenmektedir. İlk aşamada; İstanbul Boğazı'nda sualtı ortam gürültüsü ölçümleri yapılarak, elde edilen akustik veriler analiz edilmektedir. Sualtı ortam gürültüsü ölçümleri; İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü bünyesinde geliştirdiğimiz "düşük maliyetli hidrofon" ile yapılmıştır. Analiz sonucunda; İstanbul Boğazı sualtı ortam gürültüsü içindeki, deniz trafiği kaynaklı gürültünün oranı saptanmaktadır. Ardından; İstanbul Boğazı'nda, deniz trafiği kaynaklı gürültüye maruz kalan türler belirlenmektedir. Deniz trafiği kaynaklı akustik kirliliğin, bahsedilen türler üzerindeki olası etkileri açıklanmaktadır. Son olarak; deniz trafiği kaynaklı sualtı gürültüsünü azaltma yöntemleri ele alınarak, muhtemel standardizasyon için çerçeve çizilmektedir.

# 2. TEMEL KAVRAMLAR

## 2.1. AKUSTİK

Akustik kelimesi; Yunanca, "duyma ile ilgili, duyulabilir, duyulmaya hazır" gibi anlamlara sahip olan "ἀκουστικός" (*akoustikos*) kelimesinden türetilmiştir. Akustik; bir akışkan veya katı ortamda, ses ve titreşim gibi mekanik dalgaların oluşumunu ve hareketlerini inceleyen çok disiplinli bir bilimdir. Akustik bilimi; müzik, oda ve yapı akustiği, biyo-akustik, sismoloji, uygulamalı sismik, elektro iletişim, tıbbi görüntüleme, haberleşme, psiko-akustik, gürültü kontrolü, navigasyon, sualtı akustiği v.b. birçok çalışma alanına sahiptir.

### 2.1.1. Ses

Fiziksel olarak, bir kaynakta oluşan, ortamda parçacık hareketi ve basınç değişimi (sıkışma – gevşeme) meydana getirerek yayılan mekanik dalgalardır (Erbe, 2011).

### 2.1.2. Ses Basıncı

Ses dalgalarının yayılımı sırasında ortamda oluşan parçacık dalgalanması, sıkışma ve gevşeme gibi değişimleri meydana getiren kuvvettir (OGP, 2008). Ses basıncı, ses dalgalarının, alıcı (*işitme organları, mikrofon, hidrofon v.b.*) tarafından algılanmasını sağlayan etkendir. Basınç temelde, birim alana düşen kuvvet olarak tanımlandığından, birimi; metrekare başına Newton'a *($N/m^2$)* eşit olan Pascal *(Pa)*'dır.

### 2.1.3. Akustik Empedans

Bir ortamda yayılan ses dalgaları, içinde bulundukları ortamın fiziksel özelliklerine göre hareket etmektedir. Akustik empedans temelde; bir ortamın yoğunluğunun, ses yayılımına etkisini tanımlamaktadır. Bir ortamın akustik empedansı; $Z = \rho.c$ formülüyle ifade edilmektedir. Bu formülde; *"Z"* akustik empedans, *"$\rho$"* ortamın yoğunluğu ve *"c"* ses hızı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; 15 ºC, %3,5 tuzluluk oranına sahip deniz suyunun yoğunluğu; 1035 $kg/m^3$ olmaktadır. Aynı suda, ses hızı; 1507 *m/s* olmaktadır. Bu ortamda akustik empedans; 1559745 $kg/m^2s$ olarak hesaplanmaktadır (Erbe, 2011).

### 2.1.4. Ses Basınç Düzeyi (*SPL*) ve Desibel (*dB*)

Canlılar ve ölçü aletleri tarafından algılanan ses basınç değerleri genellikle çok geniş bir aralığa yayılmaktadır. Söz konusu dinamik aralığı sıkıştırıp değerleri daha elverişli bir şekilde ifade etmek için logaritmik bir ölçek kullanılmaktadır (OSPAR, 2009). Bu logaritmik skalanın gösterdiği değerler, *ses düzeyi* veya *ses basınç düzeyi* olarak adlandırılmaktadır. Logaritmik ölçekte gösterilen ses basınç düzey değerleri, Desibel *(dB)* cinsinden ifade edilmektedir. Ancak Desibel birimsiz bir büyüklüktür ve iki basınç değerinin logaritmik oranını belirtmektedir (National Research Council, 2003). Bu nedenle ses basınç düzeyi, Desibel olarak ifade edilirken bir referans basınç değeri ile kıyaslanmaktadır. Bu referans basınç değeri; havada 20 $\mu Pa$ (*mikro-Pascal*) iken suda 1 $\mu Pa$ olarak alınmakta ve dolayısıyla sudaki ses basınç düzeyi *"dB re 1 $\mu Pa$"* şeklinde yazılmaktadır (OSPAR, 2009).

Ses basınç düzeyi genel olarak;

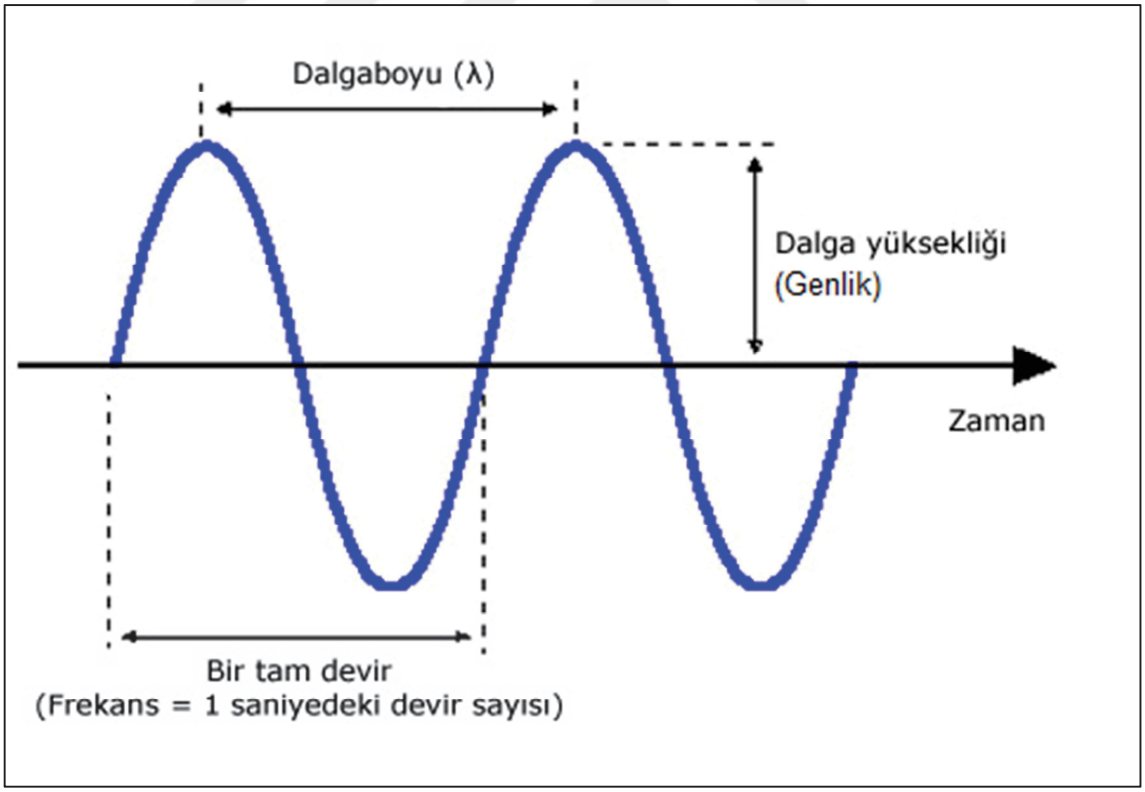
$$SPL = 20 \log\left(\frac{P}{P_{Ref}}\right) \tag{2.1}$$

formülüyle ifade edilmektedir. Burada *"P"* ölçülen basınç değeri, *"$P_{Ref}$"* referans basınç değeridir. Daha önce de belirtildiği gibi; "$P_{Ref(Hava)} = 20\ \mu Pa$", "$P_{Ref(Su)} = 1\ \mu Pa$" alınmaktadır. Buna göre ses basınç düzeyi (*Sound Pressure Level: SPL*) ifadesi havada *"20 log(P/20 $\mu$Pa)"*, sualtında *"20 log(P/1 $\mu$Pa)"* şeklinde olmaktadır.

Görüldüğü üzere bir akustik analizde, ses basınç düzeyi (*SPL*) belirtilirken; sadece Desibel cinsinden ifade etmek yeterli olmamaktadır. Doğru bir ifade için; Desibel ile birlikte referans basınç değeri ve ses basınç düzeyinin okunduğu frekans değeri de belirtilmelidir (OSPAR, 2009).

### 2.1.5. Frekans

Ses dalgasının bir saniyedeki tekrarlama sayısıdır. Frekans birimi Hertz *(Hz)*'dir. Örnek vermek gerekirse; frekansı 20 *Hz* olan bir harmonik ses dalgası, saniyede yirmi döngü tamamlamaktadır (Erbe, 2011). Şekil 2-1'de basit harmonik ses dalgasında; frekans, dalga yüksekliği (*genlik*) ve dalga boyu (λ) görülmektedir. Buna göre; frekans ile dalga boyu arasında ters orantı olduğu görülmektedir.




**Şekil 2.1** Basit harmonik ses dalgasında; frekans, genlik ve dalga boyunun gösterimi (tr.wikipedia.org).

### 2.1.6. Frekans Analizi

En az bir ses kaynağının bulunduğu doğal ortamlarda meydana gelen çoğu ses, farklı frekanstaki ses dalgalarını bir arada içermektedir. Frekans analizi genel olarak, sesin "frekans içerik çeşitliliğini" tanımlamayı sağlayan bir araçtır (OSPAR, 2009). Oktav bant analizleri, FFT (*Fast-Fourier Transform*), korelasyon gibi çeşitli frekans analiz yöntemleri mevcuttur. Frekans analiz yöntemleri temelde, ses basınç düzeyleri ile frekanslar arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

#### *2.1.6.1. 1/3 Oktav Bant Analizi*

Oktav bantlar; frekans eksenini (*değerlerini*) belli genişliklerde parçalara (*bantlara*) ayıran sistemlerdir. Her bant için alt sınır, üst sınır ve merkez frekans değerleri vardır (National Research Council, 2003). Sualtı ortam gürültüsü analizlerinde, yaygın olarak; 1/3 oktav bant değerleri kullanılmaktadır. 1/3 oktav bant değerlerinde; her oktav, logaritmik olarak artan üç parçaya bölünmüştür. 1/3 oktav bantlar; üçte bir oktav genişliğinde bitişik bantlar dizisi olarak da tanımlanmaktadır (Erbe, 2011).

1/3 oktav bantlarda, bant sınırları yaklaşık olarak, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$F_{alt} = 10^{(-\frac{1}{20})} \times F_M \tag{2.2}$$

$$F_{\text{üst}} = 10^{(\frac{1}{20})} \times F_M \tag{2.3}$$

Yukarıdaki formüllerde *"$F_{alt}$"* alt frekans değerini, *"$F_{üst}$"* üst frekans değerini ve *"$F_M$"* merkez frekans değerini ifade etmektedir. 1/3 oktav bant genişliklerinin, yüzde olarak artış sabiti yaklaşık %23,2'dir (Erbe, 2011).

Aşağıdaki tabloda 1/3 oktav bant analizinde kullanılan bantlar ve frekans aralıkları verilmektedir.

**Tablo 2.1.** 1/3 oktav bant frekans değerleri.

| 1/3 Oktav Bantları | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bant | Alt Frekans Değeri (Hz) | Merkez Frekans Değeri (Hz) | Üst Frekans Değeri (Hz) | Bant | Alt Frekans Değeri (Hz) | Merkez Frekans Değeri (Hz) | Üst Frekans Değeri (Hz) |
| 1 | 14,1 | 16 | 17,8 | 16 | 447 | 500 | 562 |
| 2 | 17,8 | 20 | 22,4 | 17 | 562 | 630 | 708 |
| 3 | 22,4 | 25 | 28,2 | 18 | 708 | 800 | 891 |
| 4 | 28,2 | 31,5 | 35,5 | 19 | 891 | 1000 | 1122 |
| 5 | 35,5 | 40 | 44,7 | 20 | 1122 | 1250 | 1413 |
| 6 | 44,7 | 50 | 56,2 | 21 | 1413 | 1600 | 1778 |
| 7 | 56,2 | 63 | 70,8 | 22 | 1778 | 2000 | 2239 |
| 8 | 70,8 | 80 | 89,1 | 23 | 2239 | 2500 | 2818 |
| 9 | 89,1 | 100 | 112 | 24 | 2818 | 3150 | 3548 |
| 10 | 112 | 125 | 141 | 25 | 3548 | 4000 | 4467 |
| 11 | 141 | 160 | 178 | 26 | 4467 | 5000 | 5623 |
| 12 | 178 | 200 | 224 | 27 | 5623 | 6300 | 7079 |
| 13 | 224 | 250 | 282 | 28 | 7079 | 8000 | 8913 |
| 14 | 282 | 315 | 355 | 29 | 8913 | 10000 | 11220 |
| 15 | 355 | 400 | 447 | 30 | 11220 | 12500 | 14130 |

### 2.1.7. Ses Kaynağı Düzeyi (*SL*)

Ses kaynağı düzeyi; ses kaynağından nominal olarak 1 *m.* uzaklıkta ölçülen etkin ses seviyesi veya ses basıncı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak, sualtında; *"dB re 1 µPa @ 1 m."* şeklinde ifade edilmektedir (National Research Council, 2003).

### 2.1.8. Sese Maruz Kalma Düzeyi (*SEL*)

Ses basıncının, zamana bağlı fonksiyonunu ifade etmektedir. Genel olarak, sualtında; *"dB re 1 µPa$^2$. s"* şeklinde ifade edilmektedir (National Research Council, 2003). Ortam gürültülerinde; canlıların, rahatsız edici seslere maruz kalma süreleri, etkilerin saptanması açısından büyük önem taşımaktadır.

### 2.1.9. Gürültü

"Gürültü" kabaca istenmeyen sesler olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım canlıların "gürültüye maruz kalma" ölçütüyle anlam kazanmaktadır. Akustik manada gürültü; geniş bir frekans aralığında akustik enerji içeren karmaşık ses dalgaları olarak nitelendirilmektedir (OSPAR, 2009).

### 2.1.10. Ses Kanalları

Bir ortamda yayılan ses dalgalarının, ses hızının düşük olduğu bölgelere doğru hareket ettiği bilinmektedir. Özellikle denizlerde; derinlik, karışım ve akıntı tabakaları gibi etkenlerin neden olduğu sıcaklık, basınç ve tuzluluk farkları, sesin ortamda yayılma hızını değiştirmektedir. Ses dalgalarının; sualtı ortamında, ses hızının düşük olduğu bölgelere doğru hareket etmesi, çeşitli derinlik ve kalınlıklarda ses kanallarının oluşmasına neden olmaktadır. Ses kanalı, ses enerjisini odaklayan bir boru gibi davranmaktadır. Bu sayede bir ses kanalı içinde yayılan ses; enerjisini daha uzun süre korumakta ve dolayısıyla daha uzak mesafelere iletilmektedir (OGP, 2008).

### 2.1.11. Sesin Yayılımı

Ses; çevresindeki ortamda, parçacık dalgalanması, sıkışma - gevşeme, titreşim gibi bir dizi değişimler oluşturarak yayılmaktadır (Urick, 1979). Başka bir deyişle, ses; bir ortamdan (*katı, sıvı, gaz*) geçerken; ortamın moleküllerini hareket ettirerek ve bu moleküller üzerinde yol alarak yayılmaktadır. Ses dalgalarının, ortamda yayılması sırasında; ortamın fiziksel özelliklerine ve ses dalgasının enerji seviyesine bağlı olarak iletim kayıpları meydana gelmektedir. Ses dalgaları, ortam moleküllerini hareket ettirebildiği sürece yayılım göstermektedir. Bu durumda, yayılım; ortam moleküllerinin fiziksel özelliklerine ve ses dalgasının enerjisine bağlıdır. Ayrıca, ses dalgaları farklı fiziksel özelliklere sahip ortamlar ile karşılaştıklarında; yansıma, kırılma, bükülme, saçılım gibi olaylar meydana gelmektedir.

#### *2.1.11.1. Yansıma*

Ses dalgasının, bir ortamdan diğer bir ortama geçemeyip, ara yüzeyde yansıyarak, bulunduğu ortama döndüğü durumdur (National Research Council, 2003). Bu olayda; ortamlar arasındaki yüzey, bir ayna gibi davranmaktadır. Örnek olarak; sualtında yayılan ses dalgaları, su yüzeyinden, deniz tabanından veya bir gemi gövdesinden yansıyabilmektedir.

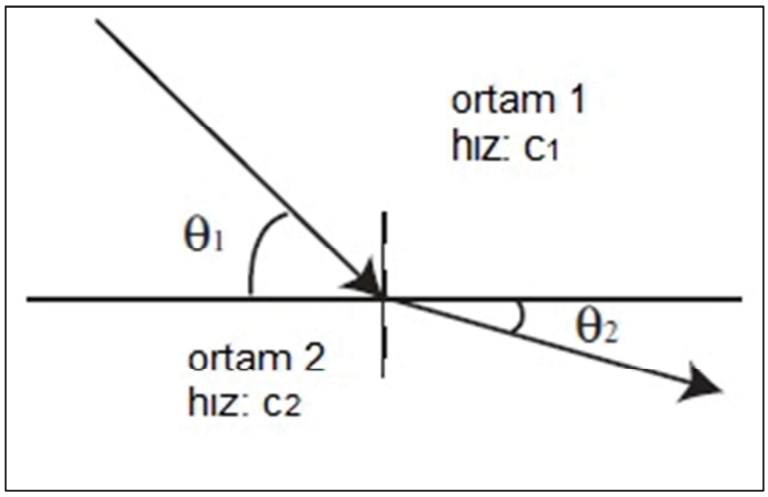
#### *2.1.11.2. Kırılma*

Ses dalgasının, bir ortamdan diğer bir ortama geçerken, yönünün ve hızının değişmesidir (National Research Council, 2003). Kırılma miktarı; "Snell yasası" ile tanımlanmaktadır. Snell yasası;

$$\frac{cos\theta_1}{c_1} = \frac{cos\theta_2}{c_2} \tag{2.4}$$

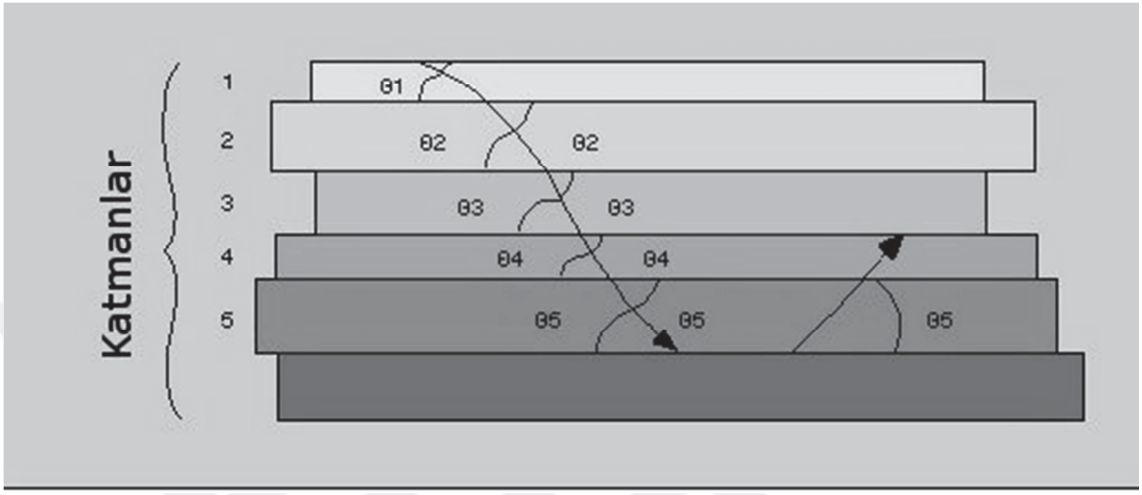
şeklinde ifade edilmektedir.

Denklem (2.4)'de $\theta_1$ ses dalgasının ilk ortamdaki açısı, $C_1$ ses dalgasının ilk ortamdaki hızı ve $\theta_2$ ses dalgasının ikinci ortamdaki açısı, $C_2$ ses dalgasının ikinci ortamdaki hızı olarak tanımlanmaktadır.




**Şekil 2.2** Snell yasasının şematik gösterimi (National Research Council, 2003).

Örnek olarak; denizlerde farklı fiziksel özelliklere sahip katmanlar, farklı ortamlar gibi davranmaktadır. Bu durumda, ses dalgaları, bu katmanlar arası geçişlerde; yansıma, kırılma, bükülme, saçılım gibi olaylara maruz kalmaktadır.




**Şekil 2.3** Farklı fiziksel özellikteki katmanlar arasında geçiş yapan bir ses dalgasının temsili yayılım şekli (National Research Council, 2003).

### *2.1.11.3. Saçılma*

Ses dalgalarının, pürüzlü bir yüzeyden, birçok yöne doğru yansıması olayıdır. Örnek olarak; deniz tabanındaki oluşumlar, ses dalgalarında saçılmalara neden olabilmektedir.

### *2.1.11.4. Bükülme*

Bir ortamda, ses hızını değiştiren fiziksel farklılıklar varsa; ses dalgaları, ses hızının daha düşük olduğu bölgelere doğru bükülerek yayılmaktadır. Örnek olarak; denizlerde, sıcaklık, basınç ve tuzluluk; ses hızını etkileyen fiziksel faktörlerdir (OGP, 2008).

## 2.2. SUALTI AKUSTİĞİ

Sualtı akustiği, temel olarak; ses dalgalarının, su altında yayılımlarını ve etkileşimlerini inceleyen bilim dalıdır. Sualtı akustiği; SONAR[11], akustik iletişim ve hidrofon gibi pratik uygulamalara sahiptir. Diğer ortamlarının aksine, sualtında; radar yerine sonar, radyo yerine akustik iletişim, optik görüntüleme veya x-ray yerine akustik görüntüleme kullanılmaktadır. Bu durum; ses dalgalarının, sualtında, yüksek enerji ile uzun mesafelere yayılabilmesi sayesinde mümkün olmaktadır (Hodges, 2010). 15 $°C$ sıcaklıktaki deniz suyunda, ses hızı; yaklaşık 1500 *m/s* olmaktadır. Bu değer; sıcaklık, tuzluluk, basınç gibi fiziksel oşinografik şartlara bağlı olarak, küçük değişimler gösterse de genel olarak; ses dalgalarının, suda, havaya oranla 4,5 kat daha hızlı yol aldığı söylenebilir. Ayrıca aynı şiddete sahip bir ses dalgası; sualtında, havada olduğundan 60 kat daha fazla basınç yaratmaktadır (OGP, 2008).

### 2.2.1. Sualtında Ses Hızı

Sualtında, ses hızı; sıcaklık, tuzluluk ve basınç ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde; sualtı ses hızının hesaplanmasına yönelik birçok ampirik formül bulunmaktadır. Bu formüller; farklı sıcaklık, tuzluluk ve basınç aralıklarına göre tanımlanmıştır. Bahsedilen sualtı ses hızı formülleri; standart sapma ve hesaplama pratiği açısından karşılaştırıldıklarında; Mackenzie formülü, "optimum" bir denklem olarak görülmektedir. Kenneth V. Mackenzie formülü için; "*okyanustaki ses hızını hesaplamak için basit fakat hatasız, dokuz terimli, sekiz değişkenli, programlanabilir cep hesaplayıcıları için uygun, bir denklem*" ifadesini kullanmaktadır (Mackenzie, 1981). Mackenzie formülü;

$$C(D,S,T) = 1448{,}96 + 4{,}591T - 5{,}304x10^{-2}T^2 + 2{,}374x10^{-4}T^3 + 1{,}340\,(S-35) + 1{,}630x10^{-2}D + 1{,}675x10^{-7}D^2 - 1{,}025x10^{-2}T\,(S-35) - 7{,}139x10^{-13}T\,D^3 \quad (2.5)$$

Yukarıdaki formülde; $T$ santigrat derece ($^oC$) cinsinden sıcaklığı, $S$ binde ($‰$) olarak tuzluluğu, $D$ ise metre ($m$) cinsinden derinliği ifade etmektedir. $C$ ise; sıcaklık,

[11]**SONAR:** (SOund Navigation And Ranging) Sesin, hedef ve alıcı arasında yayılımını kullanarak, sualtında haberleşmeyi ve diğer cisimleri tespit etmeyi sağlayan bir teknik. (Hodges, 2010)

tuzluluk ve derinliğin bir fonksiyonu olarak; *m/s* cinsinden tanımlanmıştır. Mackenzie formülünün, geçerli olduğu aralıklar; 2 ila 30 *ºC* sıcaklık aralığı, ‰25 ila ‰40 tuzluluk aralığı ve 0 ila 8000 *m.* derinlik aralığıdır (Mackenzie, 1981). Örnek olarak; 15 *ºC* sıcaklığında, ‰25 tuzluluğa sahip deniz suyunda, 30 *m.* derinlik için Mackenzie formülü ile hesaplanan ses hızı: 1495,3 *m/s* olmaktadır. Tuzlulukta, binde birlik bir değişim; ses hızını, yaklaşık 1,3 *m/s* değiştirmektedir. Tuzluluk arttığında; ses hızı da artmaktadır. Sualtında, ses hızına etki eden basınç değişimleri, direkt su derinliği ile orantılıdır. Derinlikteki 1 metrelik artış; basınç etkisiyle, ses hızını, yaklaşık 0,017 *m/s* arttırmaktadır. Basınç, 1000 metreden sonra ses hızını etkileyen en önemli parametredir. Sıcaklık, ses hızına en çok etki eden parametredir. 1 *ºC* sıcaklık artışı; ses hızının yaklaşık 3,5 *m/s* artmasına neden olmaktadır (Mackenzie, 1981). Sıcaklık, 1000 metreye kadar en etkin parametredir. 1000 metreden daha derin yerlerde, sıcaklık neredeyse sabit bir değer almakta ve ses hızı, basınç ile etkin olarak değişmektedir.

### 2.2.2. Sualtında Ses Yayılımı

Sualtı akustik yayılımın, standart ölçü birimi; akustik yoğunluk (*SI*) olarak adlandırılmaktadır. Akustik yoğunluk; birim alan başına ses akış gücü olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, akustik yoğunluk birimi; metrekare başına watt ($W/m^2$) olmaktadır. Akustik yoğunluk formülü;

$$SI = \frac{p^2}{\rho . c} \tag{2.6}$$

Yukarıdaki formülde; "$p$" ses dalgasının anlık basınç değeri, "$\rho$" deniz suyunun yoğunluğu, "$c$" ise sualtında ses hızı olarak tanımlanmaktadır (Etter, 2003). Akustik yoğunluk formülünde; "$\rho.c$" ortamın akustik empedansını ifade etmektedir. (*Bkz. Bölüm: 2.1.3. Akustik Empedans*) Bu bağlamda, ortamın akustik empedansı arttıkça; ortamın, ses dalgalarının yayılımına muhalefeti artmaktadır. Bir ses dalgası, yayılımı sırasında karşılaştığı her ortamda; belli bir direnç ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, iletim kayıplarını ortaya çıkarmaktadır. Bir ses dalgası, düzlemde hareket eden bir cisme benzetildiğinde; akustik empedans "*sürtünme*", iletim kayıpları ise "*sürtünme ile kaybedilen enerji*" gibi düşünülebilir. İletim kaybı (*TL*); sesin yayılım doğrultusundaki bir nokta ile bir referans mesafe (*genellikle 1 metre*) arasındaki akustik

yoğunluk kaybının desibel (*dB*) olarak ifadesidir (Hodges, 2010). Bahsedilen referans mesafedeki akustik yoğunluk "$SI_{ref}$" olarak adlandırılırsa; iletim kaybı formülü;

$$TL = 10 \log_{10} \frac{SI_{ref}}{SI} \tag{2.7}$$

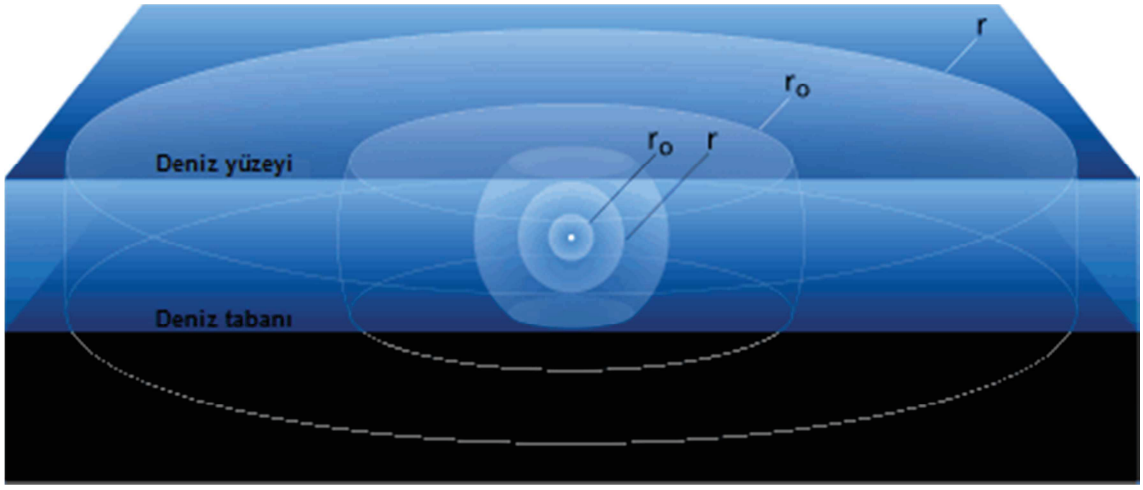
Yukarıdaki formülde; "$SI_{ref}$" referans mesafedeki akustik yoğunluk, "*SI*" mesafeye ve derinliğe bağlı akustik yoğunluk olarak tanımlanmaktadır. Eğer ilgili ses dalgaları, fiziksel oşinografik özellikleri değişmeyen bir ortamda yayılıyorsa; iletim kaybı formülü şu şekilde yazılabilir:

$$TL = 20 \log_{10} \frac{p_{ref}}{p} \tag{2.8}$$

Yukardaki formülde; "$p_{ref}$" referans mesafedeki anlık ses basıncı, "*p*" mesafeye ve derinliğe bağlı anlık ses basıncı olarak tanımlanmaktadır. Sualtı ortamında yayılan bir ses dalgasının iletim kayıplarını, sadece mesafeye bağlamak; tabii ki eksik bir tanımlama olacaktır. Yukarıda verilmiş olan formüller; ideal bir yayılımı temel almaktadır. Ancak, bir ses dalgasının, sualtında yayılımı sırasında; genleşme, emilim, saçılma, ses kanallarına dağılma v.b. olaylar meydana gelebilmektedir.

Ses, sınırsız ve fiziksel oşinografik özellikleri homojen olan bir suda, her yöne eşit olarak, küresel şekilde yayılım gösterir. Ancak, denizler ve okyanuslar sınırsız değildir. En bariz sınırlar; deniz tabanı ve yüzeyidir. Bu durumda; küresel olarak yayılmakta olan ses; deniz tabanı ve yüzeyine ulaştığında, bu sınırlar arasında sıkışmakta ve yüksekliği, su derinliğine eşit olan bir silindir şeklinde yayılım göstermektedir (Hodges, 2010).

Sualtında bir kaynakta (*Şekil 2.4'te beyaz nokta olarak gösterilen kaynak*) oluşan ses, deniz yüzeyine veya deniz tabanına ulaştığında, küresel şekilde yayılmaya devam edememektedir. Ses, deniz yüzeyi ile deniz tabanı arasına sıkıştığında; silindirik yayılma başlamaktadır (DOSITS, 2016).




**Şekil 2.4** Sualtında noktasal bir kaynaktan oluşan sesin yayılımı (DOSITS, 2016)

Bu çalışmaya konu olan, İstanbul Boğazı ve Haliç gibi sığ sayılabilecek kanallarda, ses dalgalarının yayılımı; açık ve derin denizlere göre, çok daha karmaşık bir şekilde olmaktadır. Kanallar içinde yüzey ve taban yansımalarının yoğun olması; sualtı ortamındaki ses dalgalarının birbirleriyle daha fazla girişim yapmasına neden olmaktadır. Girişim, kısaca; iki veya daha fazla ses dalgasının ortamda karşılaşarak birbirlerini etkilemesi olayıdır. Ses dalgalarının karşılaşma şekillerine göre, girişim olayı; ses şiddetinin azalmasına veya artmasına yol açmaktadır. Harmonik dalganın grafik gösterimindeki (*Bkz. Şekil 2.1*) tepe ve çukurlar; ses dalgasını oluşturan seri sıkışma ve gevşemeleri ifade etmektedir. Ses dalgalarının sıkışma ve gevşemeleri, girişim esnasında birbirleriyle çakışırsa; genlik ve dolayısıyla ses şiddeti artmaktadır. Bir ses dalgasının sıkışması, diğerinin gevşemesi ile birleşirse; genlik ve ses şiddeti azalmaktadır. Sualtı ortam gürültüsü gibi, ortamdaki birçok kaynaktan yayılan seslerin oluşturduğu karmaşık ses dalgalarında, girişim olayı; genliğin sürekli olarak artıp azalmasına neden olduğundan, sualtında sesler, devam eden vurular[12] halinde duyulmaktadır (Urick, 1979).

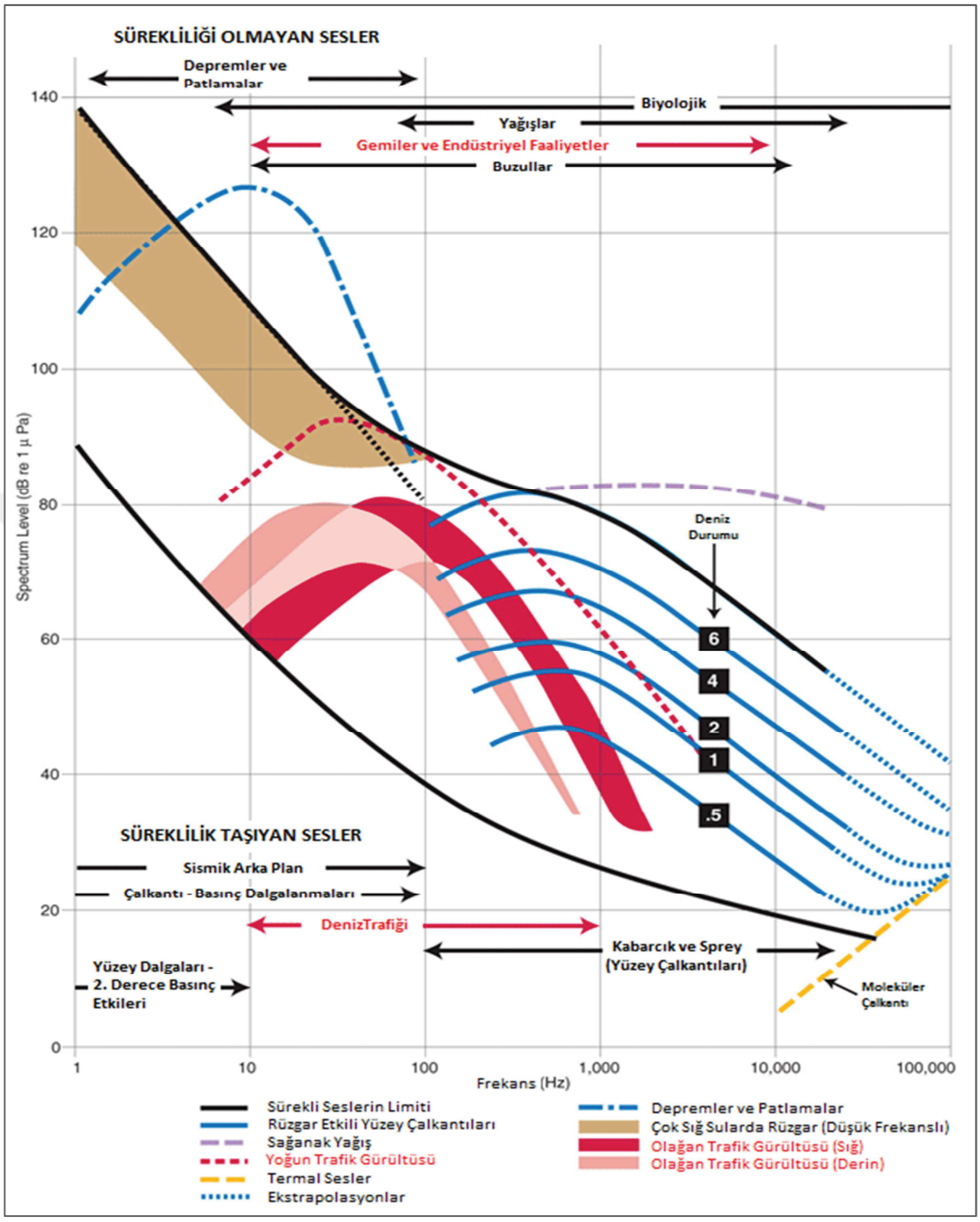
[12]**Vuru:** Birbirine yakın sıklıkta iki sesin bir arada yayımlanmasıyla duyulan ve ses seviyesinin belli aralıklarla değişmesi biçiminde ortaya çıkan olay. (TDK Uygulayım Terimleri Sözlüğü – Yankıbilim)

Ayrıca kanal ve sığ sularda yansıma, girişim, saçılma gibi olayların daha fazla olması, uzun mesafelere yayılan ses dalgalarının iletim kayıplarını arttırmaktadır. Dolayısıyla bu tip ortamlarda alıcıya ulaşan ses dalgaları, yoğun olarak daha yakın mesafelerde bulunan gürültü kaynaklarından yayılmaktadır.

### 2.2.3. Sualtı Ortam Gürültüsü

Denizlerde, sualtı ortam gürültüsü; çevresel faktörlere bağlı bir ses olayıdır. Sualtı ortam gürültüsünü oluşturan potansiyel kaynaklar, genel olarak; türbülans, dalga hareketleri, deniz trafiği, kıyı ve denizlerdeki endüstriyel faaliyetler, yüzey çalkantıları, sismik olaylar, yağışlar, rüzgâr, deniz canlıları, buzul hareketleri ve ısıl değişimlerdir (Hodges, 2010). Bu bağlamda; sualtı ortam gürültüsü, belirli bir çevredeki ses kaynaklarıyla birebir ilişkilidir. Bu çalışmanın yeri ve ölçüm sırasındaki şartlar itibarıyla, ölçülen sualtı ortam gürültüsüne, yoğun olarak; dalga hareketleri, deniz trafiği, rüzgar gibi kaynakların etki etmesi beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmaya özel olarak; Galata Köprüsü'nde meydana gelen salınımlardan kaynaklanan sesler, ölçülen sualtı ortam gürültüsünün bileşenleri arasındadır.

Sualtı ortam gürültüsü, 1 *Hz*'in altından 100 *kHz*'in üzerine kadar çok geniş bir frekans spektrumunda etkili olmaktadır (Urick, 1984). 1962 yılında, G. Wenz tarafından yayınlanan ve denizlerde ortam gürültüsünü oluşturan potansiyel kaynakların ses düzeylerinin frekansa bağlı değişimlerini gösteren Wenz eğrilerini temel alarak hazırlanmış olan Şekil 2.5'teki grafikten; hangi kaynağın, hangi frekans aralığında baskın olduğu görülebilmektedir.




**Şekil 2.5** Wenz eğrileri (1962 Wenz'den uyarlanmış) (National Research Council, 2003).

Wenz eğrilerinden de görüldüğü üzere; denizlerde, süreklilik arz eden (*bir arka plan gürültüsü şeklinde*) ve sürekliliği olmayan gürültü kaynakları bulunmaktadır. Süreklilik taşıyan ses kaynaklarına; sismik arka plan, yüzey dalgaları, çalkantılar, deniz

trafiği örnek gösterilebilir. Sürekliliği olmayan ses kaynaklarına; depremler, yağışlar, gemiler, buzul hareketleri örnek olarak gösterilebilir. Bahsedilen ses kaynakları; spektrumun farklı bölgelerinde ve toplam olarak çok geniş bir frekans aralığında gürültü oluşturmaktadır. Geniş bantlı bir hidrofon vasıtasıyla, ortam gürültüsü ölçümü yapıldığında; spektrumun hemen hemen her bölgesinin dolu olduğu görülmektedir (Urick, 1984). Bu durumda, gürültü kaynaklarının baskın oldukları frekans aralıklarının bilinmesi; ortam gürültüsünün analiz edilebilmesini kolaylaştırmaktadır.

#### *2.2.3.1. Sismik Gürültü*

Dünya ve dolayısıyla deniz tabanı; sürekli bir sismik aktivite içindedir. Bu durum; sualtı ortamında, sürekli bir sismik arka plan gürültüsünün oluşmasına yol açmaktadır. Sismik arka plan gürültüsü, spektrumda 0 – 100 *Hz* aralığında varlık gösterse de; sualtı ortam gürültüsüne, 0,14 – 1 *Hz* frekans aralığında belirgin olarak etki etmektedir. Deprem ve yanardağ patlaması gibi geçici sismik olaylar ise; daha geniş bir frekans aralığında, anlık olarak etki göstermektedir (Hodges, 2010).

#### *2.2.3.2. Dalga Hareketleri ve Türbülans*

Türbülans, genel olarak; 1 – 10 *Hz* frekans aralığında etkin bir gürültü kaynağıdır. Yüzey dalga hareketlerinin, sualtı ortam gürültüsüne etkileri ise; 0 – 100 *Hz* frekans aralığında belirgin olmaktadır. Bu etki alıcının bulunduğu derinlik arttıkça azalmaktadır. Rüzgâr kaynaklı deniz durumuna bağlı çalkantı, sprey, kabarcık, köpük gibi etkiler ise genelde 500 *Hz*'in üzerindeki frekanslarda baskın olmaktadır (Urick, 1984). Ancak bu etkileri yaratan dalga kırılmaları, yüksek rüzgâr hızlarında ve derin denizlerde anlamlı biçimde ortaya çıkmaktadır.

#### *2.2.3.3. Yağış Gürültüsü*

Deniz yüzeyini etkileyen yağışlar, üç mekanizma ile ses üretmektedir. Bahsedilen üç mekanizma; damlanın, deniz yüzeyine çarpması, çarpma sonrası yüzey altına salınımı ve damla ile sürüklenen havanın yüzey altında salınımı olarak açıklanabilir. Yağış gürültüsü, özellikle deniz yüzeyinde etkili olmakta ve derinlere inildikçe etkisini yitirmektedir. Yağış gürültüsü; 100 – 3000 *Hz* frekans aralığında etkin olmaktadır (Hodges, 2010).

### *2.2.3.4. Deniz Trafik Gürültüsü ve Gemi Kaynaklı Sesler*

Literatürün genelinde, gemi kaynaklı sesler ve deniz trafik gürültüsünün, spektrumda baskın olduğu bölge; 10 – 1000 *Hz* frekans aralığı olarak verilmektedir (Hodges, 2010; Urick, 1984). Deniz trafik gürültüsü; özellikle kanal, boğaz, liman, marina, iskele gibi bölgelerde süreklilik arz etmektedir. Transit geçiş yapan gemiler ise; bir bölgedeki sualtı ortam gürültüsüne, geçiş yaptığı süre boyunca etki etmektedir. Bu nedenle gemiler; bir ortam için sürekliliği olmayan ses kaynakları olarak değerlendirilmektedir (National Research Council, 2003). Bu çalışmada, İstanbul Boğazı için; hem süreklilik arz eden deniz trafik gürültüsü, hem de sürekliliği olmayan transit gemi geçişleri analiz edilmektedir.

Bir gemi, toplam olarak; bir gürültü kaynağı olarak görülebilir. Bu çalışmada, deniz trafiği kaynaklı sualtı ortam gürültüsünün denizel çevre üzerindeki etkileri değerlendirildiğinden; gemi ve teknelerin, ortam içinde, noktasal ses kaynakları olarak ele alınması yeterli olmaktadır. Ancak sualtı ortam gürültüsünü oluşturan seslerin karakterlerini ayırt ederek yorumlamak adına; gemi bünyesindeki ses kaynaklarına değinmek faydalı olacaktır.

Gemilerden suya iletilen gürültüyü meydana getiren ses kaynakları; pervaneler veya diğer iticiler, ana makineler, dizel jeneratörler, yardımcı makineler, yapısal titreşimler, gövde etrafındaki hidrodinamik akım ve gemi bünyesinde ses üreten diğer (*özellikle su hattı altındaki*) aksamlardır (Lobo, 2002). Genel olarak gemi kaynaklı sualtı gürültüsü ifade edildiğinde en baskın ses kaynakları makineler ve pervanelerdir.

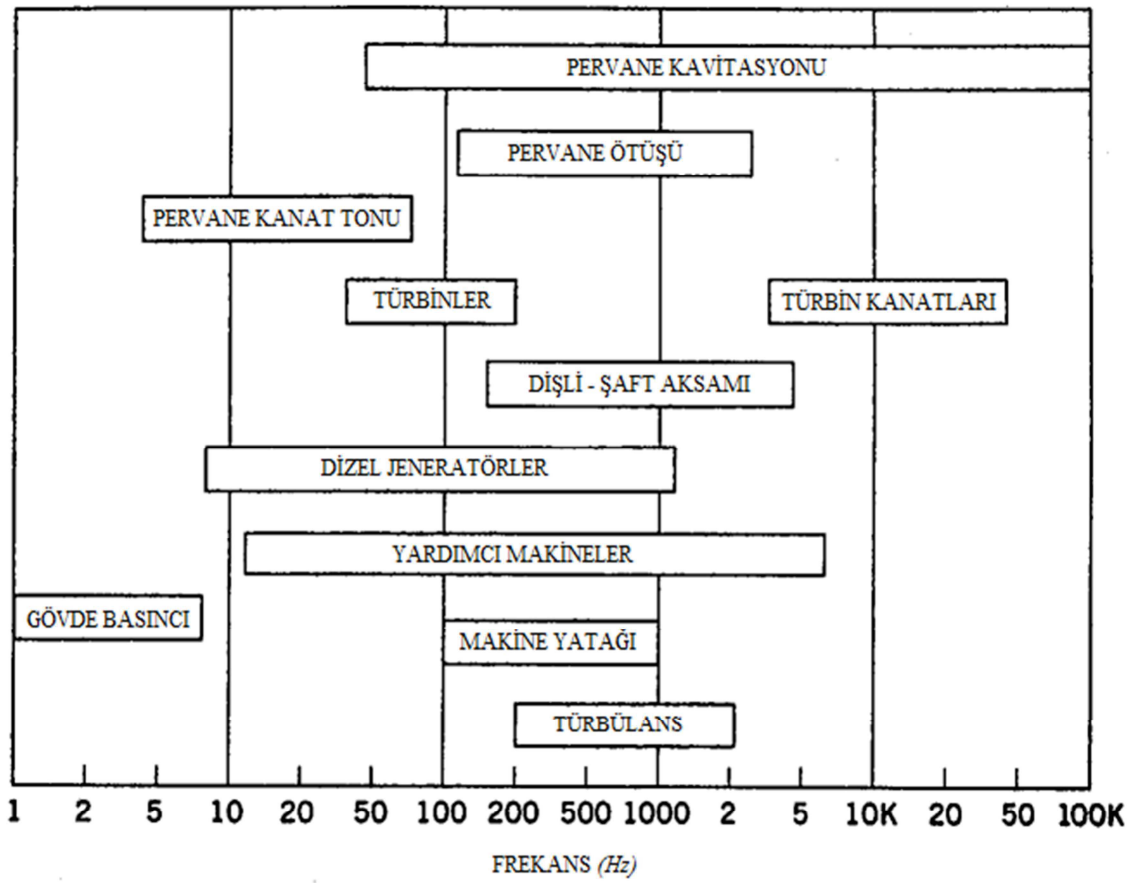
Özellikle kavitasyon halindeki pervaneler önemli gürültü kaynaklarıdır. Pervane kavitasyon gürültüsü, geniş bir frekans aralığında etkili olmaktadır. Kavitasyonun artıp azalması ile ilişkili olan tipik pervane kavitasyonu spektrum grafiği; 40 – 300 *Hz* arasında geniş bir tepe ve sonrasında -6 *dB/oktav* eğimle 10 *kHz*'e kadar iniş göstermektedir. Buna karşın, pervane kanatlarına ve şaft devrine bağlı unsurları içeren etkiler; daha dar frekans aralıklarında etkili olmaktadır (Odabaşı ve Akman Pek, 2010).

Gemi bünyesindeki makineler ve makine donanımı; gemi kaynaklı sualtı gürültüsüne katkı yapan diğer önemli etkenlerdir. Makine gürültüsü; makinelerin sayısına, türüne, boyutlarına, yerleşimine, montaj şekline ve çalışma koşullarına bağlı olarak geniş bir frekans skalasının farklı bölümlerinde ortaya çıkmaktadır (Lobo, 2002).

Gemide meydana gelen makine gürültüsü, dış kaplamada oluşturduğu titreşim ile suya yayılmaktadır (Odabaşı ve Akman Pek, 2010). Bu durumda, makinelerle ilgili parametrelerin yanı sıra, gemi dış kaplamasının kalınlığı, yapı elemanlarının yerleşimi, makine dairesinin yapısı ve büyüklüğü gibi etkenler de suya yayılan makine gürültüsünün ses karakteristiğini değiştirmektedir.

Geminin, hidrodinamik hareketleri; birçok nedenden ötürü, sualtı ortam gürültüsüne katkı yapmaktadır. Öncelikle; geminin baş şeklinden dolayı suyu yarması, kıç tarafından suyu emmesi ve borda yayı boyunca suyu itmesi nedeniyle; düşük frekanslı dalgalar oluşmaktadır. Türbülanslı ve dalgalı bir suda yol alan bir gemide, yukarıda bahsedilen etkiler daha fazla gürültü oluşturmaktadır. Ayrıca, gemi gövdesinde, zamanla; gemi sacının çökmesi, eğilmesi gibi yapısal bozulmalar ve midye, yosun gibi denizel organizmaların birikmesi sonucu meydana gelen düzensizlikler oluşabilmektedir. Bahsedilen gövde düzensizlikleri, geminin çevresinde akan suda kavitasyon oluşmasına neden olup; yüksek frekanslı gürültüye yol açmaktadır. Geminin hızı attıkça; bahsedilen hidroakustik gürültünün genliği artmaktadır. Gemilerin etrafındaki hidrodinamik hareketler nedeniyle oluşan hidroakustik gürültü, düşük frekanslarda etkili olmaktadır (Lobo, 2002).

Gemiden gemiye değişen tüm bu faktörler, sualtı ses ölçümlerinde, her gemiye ait ayırt edici bir akustik çıktının oluşmasına neden olmaktadır. Bu akustik çıktının belli koşullarda ve frekans aralıklarında değerlendirilmesi ile geminin; *"akustik imzası"* bulunmaktadır. Akustik imza, özellikle askeri alanda, gemiler için kimlik belirleyici bir nitelik olarak kullanılmaktadır. Ancak; askeri gemiler için sualtına yayılan sesler güvenlik açığı, sivil gemiler için ise denizel çevre üzerinde akustik kirlilik anlamına gelmektedir. Bu nedenle gemi inşa teknolojisinde, dizayn sırasında, özellikle askeri gemilerin akustik imzasının mümkün olduğunca düşük seviyede kalması amaçlanmaktadır (Trevorrow ve diğerleri, 2008).




**Şekil 2.6** Gemi Gürültü Kaynaklarının Tipik Frekans Aralıkları (Lobo, 2002).

Şekil 2.6'da gemi akustik imzasını belirleyen gürültü kaynaklarının karakteristik frekans aralıkları görülmektedir.

Akustik imza, geminin çalışma koşullarıyla birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanmaktadır. Çünkü seyir hızına ve devrede olan makinelere bağlı olarak gemiden yayılan ses düzeyi önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Lobo, 2002). Dolayısıyla yanaşma, ayrılma, dönme, tornistan gibi manevralar sırasında geminin akustik çıktısında fark edilir değişimler izlenebilmektedir. Trevorrow, Vasiliev ve Vagle tarafından yapılan, gemilerde manevraların sualtı akustik imzasına etkilerinin araştırıldığı çalışmada; 40 *m.* boyunda tek pervaneli bir geminin dönüş manevraları sırasında, 1/3 oktav bant ses düzeylerinde 18 *dB re 1 µPa*'a kadar artış gözlemlendiği belirtilmektedir (Trevorrow ve diğerleri, 2008).

## 2.3. İSTANBUL BOĞAZI

İstanbul Boğazı; yaklaşık 17 deniz mili (*yaklaşık 30 km.*) uzunluğunda, en dar kısmı 700 metre, en geniş kısmı 3500 metre olan bir suyoludur. İstanbul Boğazı boyunca, 12 adet keskin dönüş bulunmaktadır. İstanbul Boğaz'ından geçiş yapan gemiler; dört noktada 45 derecelik, bir noktada (*Yeniköy önlerinde*) ise 80 derecelik rota değişikliği yapmak zorunda kalmaktadır. İstanbul Boğazı'nda; Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru sürekli bir yüzey akıntısı ve yer yer orkoz[13] akıntıları etkili olmaktadır. Normal koşullarda 3 – 4 knot[14] olan yüzey akıntı hızı; özellikle rüzgârlı havalarda 7 – 8 knot'a kadar çıkabilmektedir (İstanbul Liman Başkanlığı, 2011; Ertan, 2010). Bahsedilen rota değişiklikleri ve akıntılar; İstanbul Boğazı'nda yol alan gemilerin, sürekli olarak, seyir hızlarını değiştirmesine ve manevralar yapmasına neden olmaktadır.

Gemiler, güçlü ters akıntılarla karşılaştıklarında "dümen dinlemez" hale gelebilmektedir. Gemilerin, dümen dinlemesi yani dümen ile idare edilebilmesi için; "dümen dinleme hızı" denilen hıza ulaşmaları gerekmektedir. Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü'ne göre, İstanbul Boğazı'nda gemi geçiş hızı, karaya göre 10 knot olarak belirlenmiştir. Bu hız; "dümen dinleme hızı" sağlanamadığında, Trafik Kontrol İstasyonuna bilgi verilerek arttırılabilmektedir (Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü, 1998). Boğaz'dan geçiş yapan bir geminin, hem geçiş kriterlerini sağlaması, hem de dümen dinlemesi için; akıntı hızından, en az 3 – 4 knot daha fazla hız yapması gerekmektedir (Ertan, 2010). Bu durum, özellikle Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru geçiş yapan gemilerin; yüksek makine ve pervane devirlerine ulaşmasını zorunlu kılmaktadır. Makine ve pervane devirlerinin artmasıyla, genellikle; gemilerden, sualtı ortamına yayılan sesler ve titreşimler de artış göstermektedir.

İstanbul Boğazı; özellikle Karadeniz'e kıyısı olan ülkeler için alternatifi olmayan bir suyoludur. İstanbul Boğazı'ndan her gün yaklaşık 150 gemi, transit geçiş yapmaktadır. Ayrıca İstanbul Boğazı'nda oldukça yoğun bir şehir içi deniz trafiği de

[13]**Orkoz:** İstanbul Boğazı'nda şiddetli lodosun esmesi durumunda, Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru akan üst akıntının kesilerek, yer yer Karadeniz'e doğru akması olayı. (TDK Su Ürünleri Terimleri Sözlüğü)

[14]**Knot:** Saatte 1 deniz miline eşit hız birimi. 1 knot = 1 deniz mili/saat = 0,5144444 m/s

gözlenmektedir. Şehir içi deniz trafiğinde, her gün yaklaşık 2500 hareket izlenmektedir (İstanbul Liman Başkanlığı, 2011).

**Tablo 2.2** 2006 – 2015 yılları arası İstanbul Boğazı gemi geçiş istatistik özeti (DTGM, 2015).

| YILLAR | Gemi Adedi | Toplam Gros Ton | Boyu 200 Metre'den Büyük Gemiler | 500 Gros Ton'dan Küçük Gemiler |
|---|---|---|---|---|
| 2006 | 54.880 | 475.796.880 | 3.653 | 2.176 |
| 2007 | 56.606 | 484.867.696 | 3.653 | 2.138 |
| 2008 | 54.396 | 515.639.614 | 3.911 | 1.800 |
| 2009 | 51.422 | 514.656.446 | 3.871 | 1.128 |
| 2010 | 50.871 | 505.615.881 | 3.623 | 1.377 |
| 2011 | 49.798 | 523.543.509 | 3.800 | 1.046 |
| 2012 | 48.329 | 550.526.579 | 3.866 | 1.064 |
| 2013 | 46.532 | 551.771.780 | 3.801 | 1.192 |
| 2014 | 45.529 | 582.468.334 | 4.295 | 928 |
| 2015 | 43.544 | 565.216.784 | 3.930 | 879 |

Tablo 2.2 incelendiğinde; İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemi adedinin, yıllara göre bir miktar azaldığı gözlenmektedir. Buna karşın, toplam groston[15] rakamlarındaki artış; geçiş yapan gemilerin boyutlarının büyüdüğünü göstermektedir. Gemi boyutları ve ağırlıkları arttıkça; makine güçleri ve pervane çapları da artmaktadır.

[15]**Groston:** Geminin tüm kapalı hacimleri ile ilgili birimsiz bir büyüklüktür. (Gemi Mühendisleri Odası, Gemi ve su araçlarının tonilatolarını ölçme yönetmeliği taslağı, 2011) Gemi mühendisliği ve denizcilikte; groston veya gros tonaj; bir geminin boyutları ile ilgili en kesin fikri vermektedir.

Artan makine güçleri ve pervane çapları, çoğu zaman; gemilerden sualtı ortamına yayılan seslerin de artmasına neden olmaktadır.

**Tablo 2.3** İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin tiplerine ve yıllara göre dağılımı (DTGM, 2015)

| YILLAR | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Barç (Barge Carrier) | 63 | 47 | 52 | 53 | 28 | 17 | 2 | 19 | 12 | 17 |
| Dökme Yük Gemisi | 5.419 | 5.145 | 5.978 | 6.635 | 5.863 | 6.341 | 7.163 | 6.898 | 7.263 | 7.485 |
| Çimento Gemisi | 13 | 6 | 0 | 0 | 3 | 4 | 2 | 1 | 4 | 8 |
| Konteyner Gemisi | 2.401 | 2.727 | 2.773 | 2.014 | 2.292 | 2.718 | 2.707 | 2.868 | 3.073 | 2.664 |
| Feribot | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 4 | 2 |
| Genel Kargo Gemisi | 33.082 | 34.822 | 32.735 | 30.840 | 30.876 | 29.288 | 27.126 | 25.521 | 24.107 | 22.412 |
| Canlı Hayvan Taşıyan Gemi | 141 | 136 | 70 | 147 | 243 | 238 | 390 | 432 | 391 | 434 |
| Savaş Gemisi | 168 | 166 | 200 | 180 | 114 | 94 | 129 | 196 | 237 | 318 |
| Yolcu Gemisi | 1.658 | 1.702 | 1.147 | 786 | 631 | 481 | 583 | 474 | 649 | 444 |
| Frigorifik Gemi | 908 | 819 | 805 | 623 | 602 | 441 | 248 | 204 | 65 | 24 |
| Ro-Ro Gemi | 436 | 441 | 713 | 350 | 457 | 599 | 492 | 406 | 431 | 377 |
| Türü Belirtilmemiş Tanker | 7.659 | 7.204 | 6.564 | 6.557 | 6.464 | 6.216 | 5.912 | 5.685 | 5.587 | 5.825 |
| Kimyasal Taşıyan Tanker | 1.680 | 2.050 | 1.975 | 1.876 | 1.711 | 1.660 | 1.779 | 1.561 | 1.618 | 1.576 |
| Gaz Tankeri | 814 | 800 | 764 | 866 | 1.099 | 1.227 | 1.336 | 1.760 | 1.540 | 1.232 |
| Römorkör | 294 | 253 | 313 | 304 | 293 | 245 | 274 | 241 | 231 | 282 |
| Araç Taşıyan Gemi | 14 | 92 | 189 | 78 | 42 | 47 | 37 | 47 | 93 | 17 |
| Diğer | 126 | 195 | 117 | 113 | 152 | 179 | 148 | 218 | 224 | 427 |

Tablo 2.3'de görüldüğü üzere; İstanbul Boğazı'ndan, her yıl, bir çok farklı tipte gemi geçiş yapmaktadır. Bununla birlikte, İstanbul Boğazı'nın, özellikle göçebe balıklar için bir göç yolu olduğu da göz önüne alınırsa; bu suyolu, gemiler ve balıklar tarafından

beraberce kullanılmaktadır. Bu karşılaşma, akustik manada yorumlandığında; gürültü kaynağı gemiler, gürültüye maruz kalan alıcılar ise balıklar ve diğer deniz canlıları olmaktadır.

İstanbul Boğazı'nda yüzey ve dip akıntısı olmak üzere; değişmez iki akıntı bulunmaktadır. Yüzey akıntısı; kuzeyden güneye doğru akarken, dip akıntısı; güneyden kuzeye doğru akmaktadır. Oşinografik açıdan oldukça karmaşık bir akım yapısına sahip olan İstanbul Boğazı'nda; tuzluluğu ~37 *PSU*[16] olan Marmara Denizi suyu alt tabaka akımı ile kuzey doğrultusunda ve tuzluluğu ~18 *PSU* olan Karadeniz suyu ise üst tabaka akımı ile güney doğrultusunda akmaktadır. İstanbul Boğazı'ndaki tabakalı akıntı yapısı, önemli ölçüde iki etkin mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar; Marmara Denizi ve Karadeniz arasındaki tuzluluk ve su seviyesi farklarıdır (Yüksel ve diğerleri, 2007). Mevsimsel olarak değişmek ile birlikte, Karadeniz, Ege Denizi'ne göre ortalama 55 *cm.* daha yüksek su seviyesine sahiptir. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz ucundaki su seviyesi, Marmara ucundan; ortalama 35 *cm.* daha yüksektir (Alpar ve Yüce, 1998). Bu su seviyesi farkı; İstanbul Boğazı'ndaki üst tabaka akıntısını oluşturmaktadır. Alt tabaka akıntısı ise; iki deniz arasındaki tuzluluk farkı nedeniyle oluşmaktadır. Alt ve üst tabaka, birbirinden, türbülanslı bir arakesit tabakası ile ayrılmaktadır. Bu arakesitin kalınlığı; Boğaz'ın Marmara Denizi girişinde 10 *m.*, Karadeniz girişinde ise 2 *m.* civarındadır (Yüksel ve diğerleri, 2007). Bahsedilen alt, üst ve arakesit (*karışım*) tabakaları; farklı oşinografik özelliklere sahiptir. Başka bir deyişle; İstanbul Boğazı'nda farklı fiziksel özelliklere sahip, en az üç adet derinlik bölgesi bulunmaktadır. Bu bağlamda; İstanbul Boğazı'nda yayılan sesler, her tabakada ve tabakalar arası geçişlerde farklı akustik davranışlar göstermektedir. Boğaz ve kanallarda zaten çokça oluşan; yansıma, saçılma, kırılma, girişim gibi akustik olaylar, İstanbul Boğazı'nda, tabakalar arası geçişlerde de meydana gelmektedir. Bu durum; İstanbul Boğazı'ndaki ortam gürültüsünü daha karmaşık bir hale getirmektedir.

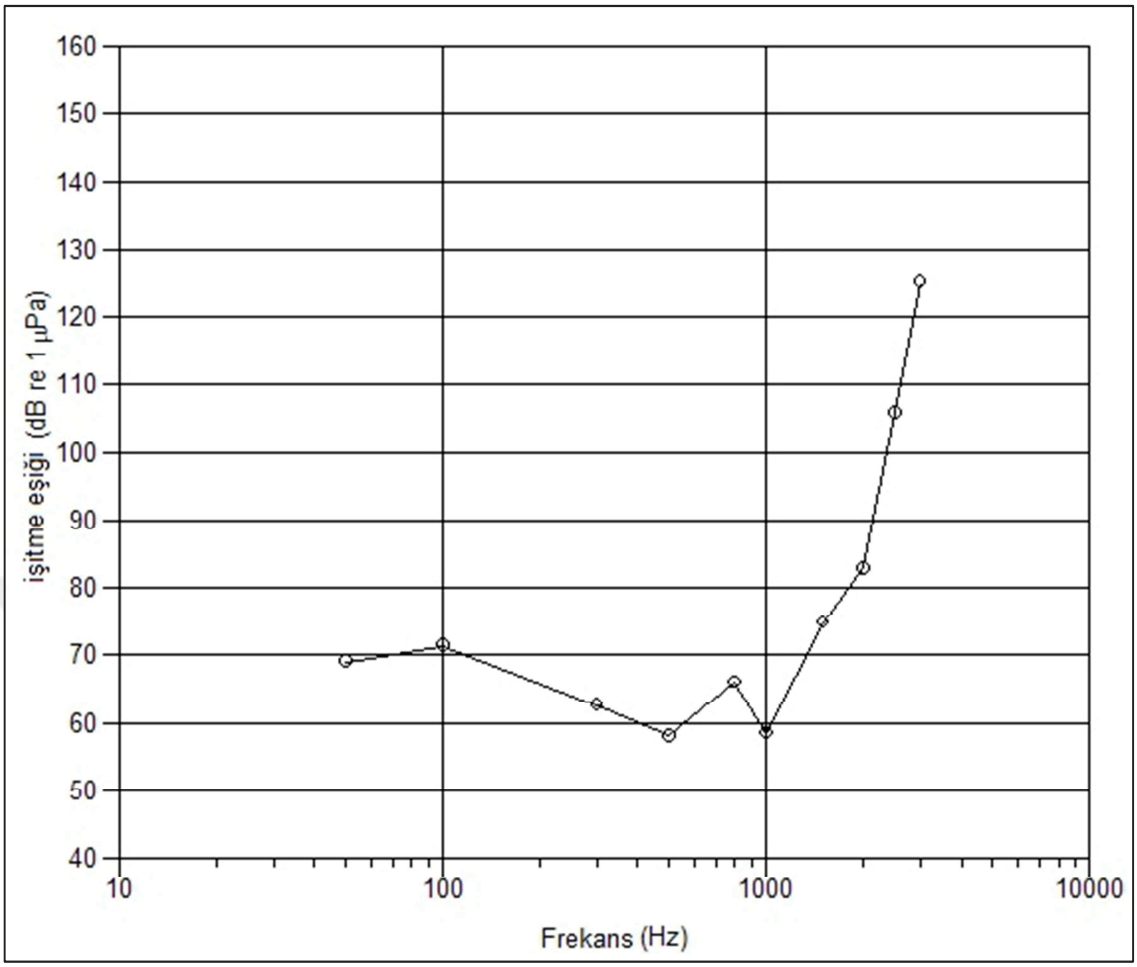
[16] **PSU:** (practical salinity unit) 1 kilogram deniz suyundaki, gram cinsinden tuz miktarı.

## 2.4. SUALTI BİYOAKUSTİĞİ

Sualtı ortam gürültüsü, geniş bir frekans aralığını kaplamaktadır. Herhangi bir canlı türünün, bir sesi algılaması; duyabileceği frekans aralığına, sesin seviyesine ve spektrumuna bağlıdır. İşitme duyarlılığı ve duyulabilen frekans aralığı; canlı türlerine göre çeşitlilik göstermektedir. İnsanlar için duyma üst sınırı 20 *kHz* iken birçok balık için duyma üst sınırı 1 *kHz*'dir. Deniz memelilerinin birçoğu ise; 1 *kHz*'in altıdaki sesleri duyamamaktadır. Bu bağlamda; sualtı gürültüsünün, denizel canlılar üzerindeki etkileri değerlendirilirken, işitme kabiliyetlerinin göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Canlılar, sesleri; işitme organlarının yapısına ve duyarlılığına göre farklı seviyelerde algılamaktadır. Bu bağlamda; bir canlı türü, duyabildiği frekanslar dâhilinde bir sesi, diğer bir canlı türüne göre farklı bir seviyede algılayabilmektedir. Bu nedenle, literatürde; canlıların algıladıkları ses seviyeleri, $dB_{ht(CanlıTürü)}$ birimiyle ifade edilmektedir. $dB_{ht}$ algılama birimi, türlerin işitme duyarlılığının kullanıldığı bir *dB* ölçeği olarak düşünülmektedir. $dB_{ht}$ ölçeğinin en önemli faydası basitliktir: Belli bir frekanstaki sesin, bir türe etkisini, tek bir sayı ile ifade edebilmemizi sağlamaktadır. $dB_{ht}$ her bir canlı türüne göre özelleşen bir birim olduğundan; "canlı türü" ifadesi ile birlikte yazılmaktadır. Örneğin; Atlantik morinası için $dB_{ht(Gadus\ morhua)}$ veya Sazan için $dB_{ht(Cyprinus\ carpio)}$ şeklinde yazılmaktadır. $dB_{ht}$; ilgili türün işitme kabiliyetini taklit eden bir filtre yardımıyla belirlenmektedir. Bu bağlamda; $dB_{ht}$ ölçeği, ilgili türün işitme kabiliyetini, yani odyogramını temel almaktadır (Nedwell ve diğerleri, 2007).

Her canlı, işitme mekanizmalarının yapısına ve işitme kabiliyetlerine bağlı olarak; belli frekans aralığındaki sesleri duyabilmekte, duyulabilir frekanslar dışında kalan sesleri algılayamamaktadır. Bahsedilen duyulabilir frekanslar, her canlı türü için farklılık göstermektedir. Ayrıca her tür için duyulabilir her frekansta, bir işitme eşiği bulunmaktadır. İşitme eşiği; canlının, bir duyulabilir frekans için işitebildiği minimum ses seviyesini tanımlamaktadır. Bir canlı türü için duyulabilir frekanslardaki işitme eşiklerini gösteren grafik, o canlı türünün odyogramı olarak adlandırılmaktadır (Nedwell ve diğerleri, 2004).




**Şekil 2.7** Bir balık odyogramı örneği: Sazan (*Cyprinus carpio*) odyogramı (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Balıkların ve deniz memelilerinin odyogramları elde edilirken, iki ana yöntem uygulanmaktadır. Bahsedilen yöntemler; davranışsal tepkilerin izlenmesi ve canlının işitme mekanizmasında oluşan elektriksel aktivitelerin izlenmesidir. Davranışsal tepkilerin izlenmesi yönteminde; canlının, ses sinyalinin etkisiyle yaptığı kaçınma, yer değiştirme, irkilme, şartlı refleks gibi hareketler takip edilmektedir. Denizel canlının tepki verdiği bir frekanstaki ses sinyali, kademeli şekilde azaltılarak; tepkinin kesildiği ses seviyesi saptanmaktadır. Böylece; denizel canlının tepki verdiği son ses seviyesi, o frekanstaki işitme eşiği olarak tespit edilmektedir. Davranışsal tepkilerin izlenmesi yöntemi; canlının daha serbest bir ortamda gözlenmesini sağlarken, hata payını arttırmaktadır. Canlının işitme mekanizmasında oluşan elektriksel aktivitelerin izlenmesi yönteminde ise; hata payı nispeten daha az olmaktadır. Ancak bu yöntemde,

canlı, bir cihaza bağlı durumda olduğundan; davranışsal tepkiler gözlenememektedir (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Şekil 2.7'de; örnek olarak; bir Sazan (*Cyprinus carpio*) balığının odyogramı görülmektedir. Bahsedilen odyogram incelendiğinde; Sazan balığının, 100 – 1000 *Hz* frekans aralığında, ortalama 60 *dB re 1 µPa* üstündeki sesleri duyabildiği görülmektedir. 1000 *Hz* sonrasında ise; işitme eşiği keskin bir ivme ile yükselmektedir. Sualtı ortamında, deniz trafik gürültüsünün, 10 – 1000 *Hz* frekans aralığında etkili olduğu göz önüne alınırsa; Sazan balığının, deniz trafik gürültüsünü yoğun bir şekilde algılayabildiği görülmektedir.

Balık türleri arasındaki; anatomik, fizyolojik ve davranışsal çeşitlilik muazzamdır. Bahsedilen çeşitliliğe; işitme organlarının yapısı ve işitme mekanizmaları da dâhildir. Çeşitli balık türlerinin, sesleri, farklı şekillerde algıladıkları ve işledikleri bilinmektedir (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Ses, sualtında yol alırken; ortamda, basınç değişimlerine ve parçacık hareketlerine (*titreşimlere*) neden olmaktadır. Balıklar, sualtı ortamındaki sesleri; bahsedilen basınç değişimleri ve titreşimler sayesinde "duymaktadır". Balıklar; ses kaynaklı basınç değişimlerini ve parçacık hareketlerini; iç kulak, lateral hat, yüzme kesesi, otolit kesesi v.b. organlar vasıtasıyla algılamaktadır (Evans ve Claiborne, 2006). Bahsedilen işitme organlarının sayısı, niteliği ve anatomik kombinasyonları, türlere göre farklılık gösterse de; balıkların birçoğu; sualtı ortamındaki ses dalgalarını, sadece "kulaklarında" değil; lateral hat, yüzme kesesi, otolit kese gibi duyu organları sebebiyle vücutlarının tümünde hissetmektedir.

Sualtı ortam gürültüsünün, balıklar üzerindeki etkileri, temelde; maruz kalınan gürültünün ses düzeyine ve gürültüye maruz kalan balığın işitme hassasiyetine bağlıdır.

Yapılan araştırmalar; 50 – 2000 *Hz* frekans aralığında 180 *dB re 1 µPa* ve üstü ses düzeyinin, birçok balık türünde fiziksel hasarlara neden olabileceğini göstermektedir. 150 *dB re 1 µPa*'ın altındaki sesler ise genellikle, fiziksel hasara neden olmayıp, duyma kaybından, maskelemeye kadar çeşitli etkiler oluşturmaktadır. Örneğin; belli bir süre, sürekli olarak 300 *Hz,* 180 *dB re 1 µPa* sese maruz bırakılan Astronot balıklarının (*Astronotus ocellatus*) beşte dördünde, duyusal epitellerin hasar gördüğü gözlenmiştir. İkinci bir örnek deneyde; Kaliforniya kıyılarındaki sismik araştırmalar

için kullanılan hava tabancalarının (*airgun*), sualtı ortam gürültüsünü 161 *dB re 1 µPa*'dan 200 *dB re 1 µPa*'ın üstüne çıkarmasıyla; bölgede yaşayan İskorpit balıklarının (*Scorpaenidae*) popülasyonunda %52,4 düşüş gözlenmiştir. Diğer bir deneyde; Karadeniz'de yaşayan 16 farklı balık türünün larvaları ve yumurtaları; bir hava topu, bir elektriksel darbe üretici ve bir TNT (*Trinitrotoluen*) patlamasının gürültülerine maruz bırakılmıştır. TNT patlaması, 10 *m* yarıçapındaki bir alanda, larvaların ve yumurtaların fiziksel zarar görmesine neden olmuştur. Hava topu ve elektriksel darbe üretici ise; 5 *m* yarıçapındaki bir alanda fiziksel hasara yol açmıştır. Yüksek ses düzeyleri, en önemli fiziksel zararları, balıkların işitme sistemlerine vermektedir. Ancak, yüksek ses düzeylerinde gürültüye maruz kalan balıklar, işitme sistemi hasarlarının yanı sıra; yüzme kesesi hasarları, gözlerde oluşan deformasyonlar, yumurta canlılığının düşmesi, büyüme oranlarının azalması gibi fiziksel zararlarla da karşı karşıya kalmaktadır. Sualtı ortam gürültüsünün, balıklar üzerindeki potansiyel etkileri hakkında yapılmış araştırma sayısı oldukça azdır. Bu nedenle; sualtı ortam gürültüsünün, balıklara verdiği zararlar tanımlanırken; ses basınç düzeyleri için kesin rakamlardan bahsetmek olası değildir (Conservation and Development Problem Solving Team Graduate Program in Sustainable Development and Conservation Biology, 2000; Popper ve Hasting, 2009).

Gemi kaynaklı gürültülerin, balıklar üzerindeki etkilerinden bahseden araştırmalarda; iki zıt görüş ile karşılaşılabilmektedir. Bazı araştırmalar; gemi gürültüsünün, balıklar üzerinde kaçınma etkisi yarattığından bahsederken, aksi görüş belirten araştırmalar ise, gemi gürültüsünün, balıkları cezbettiğini söylemektedir. Örnek olarak; R. B. Mitson (2000) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Morina ve Ringa balıkları, işitme eşiklerini 30 *dB* aşan gemi gürültüleri karşısında kaçınma reaksiyonu göstermektedir. Aynı araştırmada; bahsedilen kaçınma reaksiyonun oluşabilmesi için gürültü kaynağı geminin, en fazla 20 *m* mesafede olması gerektiği belirtilmektedir (Mitson, 2000). Diğer görüşe örnek olarak; Anders Røstad ve diğerleri (2006) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, sonar, transdüser, hidrofon vb. cihazlar kullanan araştırma gemileri, düşük ve düzenli ses karakteristikleri nedeniyle, balıklar tarafından ilgi çekici bulunabilmektedir. Bu durumda; balık sürüleri, gemi karinasının altında toplanma eğilimi gösterebilmektedir (Røstad ve diğerleri, 2006).

Gemi gürültüsünün balık türleri üzerindeki etkileri; balık türünün işitme hassasiyeti, duyabildiği frekans aralığı, gürültü kaynağı geminin uzaklığı, gemi

gürültüsünün karakteristiği, deniz durumu, alışılmış sualtı ortam gürültüsünün seviyesi gibi birçok parametreye bağlıdır.

Örnek olarak; Akdeniz'de Mavi Yüzgeçli Orkinoslar üzerinde yapılan bir araştırmada, Mavi Yüzgeçli Orkinosların, hydrofoil yolcu gemisi, feribot ve bir küçük tekne tarafından üretilen seslere maruz kaldıklarında gösterdikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Her geminin, frekans aralığı ve akustik kompozisyon bakımından farklı sesler ürettiği bilinmektedir. Bahsedilen araştırmaya göre; feribot gürültüsüne maruz kalan Orkinoslar, yüzme yönünü değiştirip deniz tabanına doğru düşey hareketlerini arttırmaktadır. Ayrıca yüzme koordinasyonları da bozulmaktadır. Orkinoslar, hydrofoil yolcu gemisi gürültüsüne maruz kaldıklarında da benzer etkiler görülmekte, ancak bu etkiler daha kısa sürmektedir. Küçük tekne gürültüsüne maruz kalan Orkinoslar ise; çok daha belirgin kaçınma hareketleri yapmaktadır. Özellikle küçük teknelerin kavitasyonlu pervane gürültüsüne maruz kaldıklarında; Orkinosların, su derinliklerine doğru düşey kaçınma hareketleri keskinleşmektedir (Sarà ve diğerleri, 2007).

Diğer bir örnek olarak; İtalya Trieste'deki doğal koruma alanı olan Miramare'de yapılan araştırmada; Papaz balığı (*Chromis chromis*), Eşkina (*Sciaena umbra*) ve Kayabalığı (*Gobius cruentatus*) türleri üzerinde, bahsedilen bölgedeki sualtı ortam gürültüsünün etkileri incelenmiştir. Bölge, özellikle yaz mevsiminde; yoğun bir tekne trafiğine sahne olmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede; küçük tekne ve deniz trafiği kaynaklı sualtı gürültüsü, yerel balıklar için kaçınılmazdır. Bahsedilen araştırmada; tekne hızları arttıkça, balık türleri üzerindeki gürültü etkisinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, deniz trafiği kaynaklı gürültünün, bölgedeki yerel balıklar üzerindeki en önemli etkisinin maskeleme olduğu da belirtilmiştir (Codarin ve diğerleri, 2009).

Yukarıda bahsedilen araştırmalardan da anlaşılacağı üzere; özellikle deniz trafik ve gemi kaynaklı gürültülerin, balıklar üzerindeki etkileri, ses karakteristiğine göre değişkenlik göstermektedir. Bu durumda; gemi kaynaklı gürültülerin, balıklar üzerindeki etkilerinden bahsedilirken, genel ve kategorik ifadelerden kaçınmak gerekmektedir. Balık türünün işitme hassasiyetinden, gemi kaynaklı gürültünün ses karakteristiğine kadar; birçok parametre, bahsedilen etkilerin farklılaşmasına neden olmaktadır. Kabul edilmelidir ki; "gürültü", herhangi bir ortam için normal bir olay değildir.

Denizin derinliklerinde, işitme duyusu, deniz memelileri için hayati önem taşımaktadır. Deniz memelileri; sosyal gruplarda bütünlüğü korumak, yiyecek bulmak ve yakalamak, avcılardan ve diğer zararlı durumlardan kaçınmak gibi hayati faaliyetlerinde, işitme sistemlerini ve sualtı ortamındaki sesleri yoğun olarak kullanmaktadır. Örnek olarak, birçok deniz memelisi; yiyecek bulmak ve yakalamak için ekolokasyon (*biyosonar*) yapmaktadır (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Dişli balinaların (*Odontoceti*); 1 – 20 *kHz* frekans aralığında sesler ile iletişim kurdukları bilinmektedir. Deniz memelilerinin birçoğu; 20 – 150 *kHz* frekans aralığında ekolokasyon yapmaktadır. Yunuslar; 20 *Hz* – 150 *kHz* frekans aralığında, geniş bir yelpazedeki sesleri duyabilmektedir. Örneklerden görüldüğü üzere; deniz memelileri, oldukça geniş bir frekans aralığındaki sesleri işitebilmekte ve kullanabilmektedir. Bu durum; deniz memelilerinin, işitme sistemlerinin, balıklara oranla daha gelişmiş olduğunu göstermektedir. İşitme sistemlerinin gelişmiş olması nedeniyle; deniz memelileri, sualtı ortam gürültüsünden yoğun şekilde etkilenmektedir (DOSITS, 2016).

Birçok deniz memelisi, ortamdaki sesleri algılamanın yanı sıra, bazı sesler üretebilmektedir. Deniz memelileri, genel olarak; tıkırtı, çatırtı, şakırtı, ıslık ve çınlama şeklinde sesler oluşturabilmektedir. Örneğin dişli balinalar, nazal[17] sistemlerindeki hava keseleri vasıtasıyla; tıklama, ıslık ve vuru şeklinde bazı sesler üretebilmektedir. Bazı balinalar ve yunuslar; düşük frekanslı gümbürtü, inleme, çığlık, ıslık v.b. sesler oluşturabilmektedir (Nedwell ve diğerleri, 2004). Deniz memelileri, bahsedilen sesleri; haberleşme, sosyal grupları koruma, uyarı, ekolokasyon ve benzeri yaşamsal faaliyetler için kullanmaktadır. Sualtı ortam gürültüsünün, deniz memelileri tarafından kullanılan frekanslarda, yüksek seviyelere çıkması; bahsedilen yaşamsal faaliyet seslerinin duyulmaz olmasına yol açabilmektedir. Bu durum; "maskeleme" olarak adlandırılmaktadır. Bir deniz memelisi grubunda; bir bireyin çıkardığı uyarı sesini, sualtı ortam gürültüsü nedeniyle duyamayan diğer bireyler, tehlike ile karşılaşabilmektedir. Bu nedenle; sualtı ortam gürültüsü belirli seviyelerden sonra, denizel canlıların yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkileyebilmektedir.

Kara memelileri gibi deniz memelilerinin de işitme sistemleri, genel olarak; üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar; bir dış kulak, duyusal hücreler ile etkileşime

[17]**Nazal:** Hayvanlarda burun veya koku alma duyu organına ait. (TDK Su Ürünleri Terimleri Sözlüğü)

giren bir zar içeren sıvı dolu bir iç kulak ve iç kulak ile dış kulak arasındaki bağlantıyı sağlayan hava dolu bir orta kulaktır. Kara memelilerinin işitme sistemlerinde, bahsedilen yapıların işlevleri net şekilde belirlenmiştir. Buna karşın, deniz memelilerinde, işitme sistemlerinin ayrıntılı yapısı, türler arasında önemli derecede farklılıklar göstermektedir. Bazı deniz memelilerinde, balıklarınkine benzer ek işitsel yolların var olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır. En çarpıcı örnek; bazı balina ve yunus türlerinde, dış kulak yapısının körelmiş olması veya hiç bulunmamasıdır. Dişli balinalarda, ortamdaki sesler, alt çene boyunca uzanan yağlar ve "*pan kemik*" olarak adlandırılan ince kemikler vasıtasıyla orta kulağa iletilmektedir. Bunun yanı sıra, yunusların, alt çenelerini kullanarak ses ürettikleri bilinmektedir. Dişsiz balinaların (*Mysticeti*), dişli balinalara kıyasla, işitme ile ilgili daha az sinir hücresi bulunmaktadır. Ancak balina ve yunuslarda, işitme hassasiyetini belirleyen en önemli etken; kulak zarının kalınlığı ve esnekliğidir. Bu bağlamda, dişsiz balinaların kulak zarları, dişli balinalara göre daha ince ve esnek yapıdadır. Bu durum, dişsiz balinaların, düşük frekanslı seslere karşı duyarlılığını arttırmaktadır. Denizaslanı, su samuru, fok gibi deniz memelerinin işitme sistemlerinin yapıları ise, kara memelilerine oldukça benzemektedir (Nedwell ve diğerleri, 2004).

Birçok araştırma; sualtı ortam gürültüsünü kritik şekilde arttıran gemi kaynaklı seslerin, deniz memelileri üzerinde, kaçınma etkisi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Örnek olarak; Kanada Arktik Adaları'nda yapılan bir araştırmada; Beyaz Balinaların, Buzkıran gemiler tarafından üretilen seslere maruz kaldıklarında, gösterdikleri tepkiler izlenmiştir. Bahsedilen araştırmada; Buzkıran gemileri yaklaştığında, Beyaz Balinaların hızlı bir şekilde uzaklaştıkları görülmüştür. Beslenme alanlarından, yaklaşık 80 *km.* uzaklaşan Beyaz Balinalar; ancak 1 – 2 gün sonra geri dönme eğilimi göstermişlerdir (Finley ve diğerleri, 1990)

Baja Kaliforniya Lagünü'nde yapılan diğer bir araştırmada; sezonluk, yoğun tekne trafiğinin, Gri Balinaların, lagünü terk etmesine neden olduğundan ve sezon sonunda tekne trafiği azaldığında, Gri Balinaların, lagüne geri döndüğünden bahsedilmektedir (Gard, 1974). Bu araştırmada; Gri Balinaların kaçındığı faktörün, tekne trafiğinin gürültüsü mü yoksa teknelerin fiziksel varlığı mı olduğu açıkça ortaya koyulmamıştır.

Gemi kaynaklı gürültülerin, deniz memelileri üzerindeki etkilerini ortaya koyan en çarpıcı çalışma; tesadüfen gerçekleşmiştir. 11 Eylül 2001'de Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen terör saldırıları sonucu, güvenlik önlemlerini tekrar gözden geçirmek amacıyla, ticari taşımacılığın durdurulduğu sırada; Kanada'da Fundy Körfezi'nde, bir grup bilim adamı, balinalar üzerine çalışma yapmaktaydı. Gemi trafiğinin kesilmesiyle; bölgedeki sualtı ortam gürültüsü, 150 *Hz*'in altındaki frekanslarda, 6 *dB* azalma göstermiştir. Sualtı ortam gürültüsündeki düşüşe paralel olarak; bölgede bulunan Kuzey Atlantik Balinalarının (*Eubalaena*), dışkılarındaki stres ile ilişkili hormonlarda önemli bir azalma gözlenmiştir. Araştırmada; sonuçların, yoğun deniz trafik gürültüsüne maruz kalan ve nesli tehlikede olan Kuzey Atlantik Balina popülasyonu için önemli bir umut olduğundan bahsedilmektedir (Rolland ve diğerleri, 2012).

Deniz trafiği ve gemi kaynaklı gürültülerin, maskeleme etkisini ortaya koyan araştırmalardan biri; Kanada'da Saint Lawrence Körfezi'nde, Beyaz Balinalar üzerinde yapılmıştır. Saint Lawrence Körfezi; hem ticari gemiler için yoğun bir rota, hem de bölgedeki Beyaz Balinalar için bir konaklama yeridir. Ayrıca, balinaları izlemek amacıyla, yılın belli zamanlarında, bölgeye, birçok gezi teknesi gelmektedir. Özellikle küçük tekne trafiğinin yoğunlaştığı zamanlarda; Beyaz Balinaların, birbirleri ile haberleşmek için çıkardıkları sesleri, minimum sayıya indirdikleri gözlenmiştir. Tekneler, körfezden, ancak 1 *km* uzaklaştığı zaman; Beyaz Balinalar, haberleşme seslerini tekrar kullanmaya başlamışlardır. Ayrıca, gemi geçişleri sırasında; Beyaz Balinaların sürekli kullandıkları frekansları değiştirdikleri ve daha yüksek frekanslarda sesler ürettikleri gözlemlenmiştir (Lesage ve diğerleri, 1999). Bu araştırmada gözlemlenen; haberleşme seslerinin kullanımının minimuma indirilmesi ve frekanslarının değiştirilmesi gibi olaylar; Beyaz Balinaların, deniz trafiği ve gemi gürültülerinin maskeleme etkisine karşı, aldıkları önlemler olarak görülmektedir.

Birçok deniz memelisi üzerinde, duyma kayıpları ile ilgili yapılan araştırmalar; özellikle yunuslarda ve balinalarda, frekansa göre değişen 180 ila 201 *dB re 1 μPa* düzeyindeki seslerin, geçici duyma kayıplarına yol açtığını ortaya koymaktadır (DOSITS, 2016).

21 – 26 Temmuz 2004 tarihleri arasında, Kanarya Adaları'nda, dört adet Cuvier Gagalı Balinası kıyıya vurmuş halde bulunmuştur. Bu olayın; 11 – 15 Temmuz 2004

tarihleri arasında bölgede yapılmış olan NATO Deniz Tatbikatından sonra gerçekleşmesi dikkat çekicidir. Kıyıya vuran balinalardan üç tanesine nekropsi[18] yapılmıştır. Nekropsi sonucu, balinalarda herhangi bir hastalık ve fiziksel hasar izine rastlanmamıştır. Ancak balinaların birçok dokusunda mikroskobik gaz kabarcıkları tespit edilmiştir. Bu durum; balinaların ani kaçınma hareketleri sırasında, vurgun yemiş olma ihtimallerini güçlendirmiştir. Bu bağlamda; NATO Deniz Tatbikatı sırasında, sualtı ortamında artan gürültü seviyesinin, bahsedilen ani kaçınma hareketlerine neden olması muhtemeldir (DOSITS, 2016).

Sualtı ortamındaki ani gürültü artışları, deniz memelilerini, süreklilik arz eden arka plan gürültüsüne oranla daha olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle; donanma tatbikatları, sualtı silah testleri, sonarlar, patlamalar vb. ani ses artışına neden olan kaynaklar, deniz memelilerini oldukça fazla etkilemektedir. Bu bağlamda; Amerikan Donanması, 2015'de, Güney Kaliforniya ve Hawaii'de, deniz memelilerinin yaşam alanlarını -ulusal güvenliği zafiyete uğratmayacak şekilde- korumak için bir protokol kabul etmiştir. Bahsedilen protokole göre; Amerikan Donanması, özellikle balina ve yunusların yaşam bölgelerindeki faaliyetlerini, askeri yükümlülüklerin izin verdiği ölçüde, deniz memelilerine zarar vermeyecek seviyeye çekecektir (DOSITS, 2016). Doğal olarak; bu konu ile ilgili, hem deniz memelilerinin yaşam alanlarının korunmasını, hem de askeri yükümlülükleri optimum seviyede sağlayacak bir çerçevenin çizilmesi gerekmektedir. Bahsedilen çerçevenin belirlenmesi; belli bir araştırma ve çalışma sürecinin sonunda mümkün olacaktır.

Denizel canlıları olumsuz etkileyen tüm faktörler içinde, sualtı gürültüsünün etki derecesini kesin olarak tespit etmek oldukça zordur. Denizel canlılar, dünyadaki diğer tüm canlılar gibi; "modern insanın" doğa üzerindeki tahakkümü ile baş etmek zorunda kalmaktadır. Sonuçlar açısından değerlendirilse; insani faaliyetler, doğa üzerinde kümülatif bir etki oluşturmaktadır. Özellikle sualtı ortamında, denizel canlıları olumsuz etkileyen herhangi bir faktörün izole edilerek analiz edilmesi neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, ideal olarak; gürültü, diğer faktörlerle birlikte değerlendirilebilir. Örneğin; kimyasal kirlilik ve gıda kıtlığıyla baş etmek zorunda kalan bir denizel türün, ilave olarak gürültü ile karşılaşması, olumsuz etkilenmenin artmasına neden olacaktır. Tersi

[18]**Nekropsi:** Ölüm nedenini bulmak amacıyla, kadavranın iç organ ve boşluklarının dikkatle kesilmesi, açılması ve incelenmesi, postmortem muayene, ölüm sonrası muayene, nekroskopi. (TDK Veteriner Hekimliği Terimleri Sözlüğü)

düşünüldüğünde; sualtı ortam gürültüsüne sürekli olarak maruz kalan bir tür, çok fazla stres altında olacağından, diğer olumsuz etkilerle baş etme kapasitesi azalmaktadır.

# 3. MATERYAL

Bir bölgede deniz trafiği kaynaklı akustik kirliğinin, denizel çevre üzerindeki etkilerinden bahsedilirken; o bölgedeki deniz trafik gürültüsünün, sualtı ortam gürültüsü içindeki payının tespit edilmesi, oldukça önemlidir. Bahsedilen analizin yapılabilmesi için; sualtı ortam gürültüsünün dinlenip, kayıt edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, sualtından akustik veri toplamak ve sualtı seslerini dinlemek amacıyla kullanılan su yalıtımı yapılmış mikrofonlara; "hidrofon" adı verilmektedir. Hidrofon basit bir tabirle; sualtı mikrofonu olarak tanımlanabilir. Mikrofonlar; ses dalgalarının oluşturduğu basınç değişimlerini elektriksel titreşimlere çeviren cihazlardır. Hidrofonlar ise bu işlevi, sualtında gerçekleştirmektedir.

## 3.1. HİDROFON

Bu çalışmada; İstanbul Boğazı'nda sualtı ortam gürültüsünün kayıt edilmesi için İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü bünyesinde geliştirdiğimiz hidrofon sistemi kullanılmıştır. Bahsedilen hidrofon; düşük maliyetle imal edilecek şekilde geliştirilmiştir. Düşük maliyetli hidrofon için Türkiye'de ulusal ve Avrupa'da bölgesel patent başvuruları yapılmıştır. Düşük maliyetli hidrofon ile ilgili patent başvuruları; Türkiye'de TR2014/08127 patent numarasıyla, Avrupa Patent Ofisi nezdinde ise EP2975432 patent numarasıyla yayınlanmıştır. Düşük maliyetli hidrofon buluşumuzun, Avrupa Patenti başvurusu tescil kararı ile sonuçlanmıştır. Türkiye ulusal başvurusunda ise araştırma aşaması devam etmektedir.

### 3.1.1. Düşük Maliyetli Hidrofon Buluşunun Arka Planı

Hidrofonlar; bilimsel ve askeri alanda, çeşitli sualtı akustiği çalışmalarında kullanılmaktadır. Sualtı akustiği ile ilgili bilimsel çalışmalarda; sualtı seslerinin dinlenmesi ve ortam gürültüsünün tespiti, hidrofonlar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca askeri alanda, denizaltı ve gemilerin sualtı akustik imzaları; makine ve pervane ses çıktılarının hidrofonlarla ölçülmesi sayesinde belirlenmektedir.

Mevcut teknikte, yukarıda bahsedilen farklı kullanım alanlarına göre tasarlanmış, çeşitli tiplerde hidrofonlar bulunmaktadır. Genel olarak kaliteli bir hidrofondan; geniş bir frekans aralığını algılayabilmesi, sensör hassasiyetinin yüksek, rezonans hassasiyetinin düşük olması ve ölçüm için gerekli olan derinliklerde çalışabilmesi beklenmektedir. Ancak piyasada bulunan kaliteli hidrofonların birçoğu, yüksek fiyatlarla satılmaktadır. Bu durum, özellikle düşük bütçeli bilimsel araştırmalar için sorun olmaktadır. Birçok araştırmanın bütçesi, piyasada bulunan kaliteli hidrofonları karşılayamamaktadır. Özellikle farklı derinliklerden eşzamanlı akustik veri almaya yarayan hidrofon dizilerini oluşturmak oldukça maliyetli olmaktadır. Bu durum araştırmacıları, daha düşük maliyetli çözümler aramaya itmektedir.

Tekniğin bilinen durumunda, düşük maliyetli olarak imal edilmiş olan bazı hidrofonlar bulunmaktadır. Bahsedilen düşük maliyetli hidrofonların birçoğunda, ses algılayıcı eleman olarak; ses dalgalarının oluşturduğu basınç değişimlerine maruz kaldığında elektriksel sinyal üreten piezoelektrik dönüştürücüler kullanılmaktadır.

Mevcut teknikteki düşük maliyetli hidrofonların ayırt edici özellikleri; sualtına indirilebilen elemanlarında ve su yalıtım yöntemlerinde ortaya çıkmaktadır.

Bilinen teknikte; sualtında sadece piezoelektrik dönüştürücü eleman (*algılayıcı*) bulunduran hidrofonlar bulunmaktadır. Bu tip hidrofonların sualtı yapıları, temelde; su yalıtımı yapılmış piezoelektrik seramik disk ve kablolardan oluşmaktadır. Piezoelektrik seramik disk; tek parça, yuvarlak, yassı ve ince yapıda bir eleman olduğundan, su yalıtımı kolayca yapılabilmektedir. Bu nedenle, mevcut uygulamalarda; bu tip hidrofonlara çokça rastlanmaktadır[19]. Söz konusu hidrofonlarda; piezoelektrik disk,

[19]**Sualtında sadece yalıtımı yapılmış piezoelektrik disk bulunduran hidrofon örneklerine;**
http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a042622.pdf ve
http://www.lukemiller.org/journal/2009/11/simple-hydrophone.html adreslerinden ulaşılabilir.

sualtında yayılan ses dalgalarının oluşturduğu basınç değişimlerini elektriksel sinyale dönüştürmekte ve bu elektriksel sinyal, kablo ile su üstüne iletilmektedir. Bu hidrofon sistemlerinde; su üstüne elektriksel sinyal olarak gelen sesler, genellikle bir amplifikatör vasıtasıyla yükseltilerek hoparlöre veya ses kartına gönderilmektedir. Ancak bu tip hidrofonlarda; sualtındaki piezoelektrik elemandan herhangi bir güçlendirme yapılmadan su üstüne gönderilen sinyaller, amplifikatöre ulaşana kadar, kablo boyunca kayba uğramaktadır. Bu durum; kablo uzunluğuna bağlı olarak ciddi veri kayıplarına neden olmakta ve dolayısıyla bilimsel araştırmaların doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Bilinen teknikteki diğer hidrofonlarda; veri kaybını önlemek amacıyla, sualtında, piezoelektrik eleman ile birlikte pre-amplifikatör devresi de bulunmaktadır. Pre-amplifikatör; ses – sinyal oranını bozmaksızın, kablo boyunca taşınan sinyali kuvvetlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Pre-amplifikatör, sensöre ne kadar yakın yerleştirilse o kadar verimli ve sorunsuz çalışmaktadır. Bu nedenle hidrofonlarda, piezoelektrik elemana (sensöre) çok yakın konumlandırılan pre-amplifikatörlerin, suya karşı en iyi şekilde yalıtılması gerekmektedir. Ancak pre-amplifikatör devrelerinin düzensiz yapısı, elektronik devre elemanlarının hassasiyeti ve bağlantıları gibi faktörler; yalıtımı zorlaştırmaktadır. Bilinen teknikte, sualtında pre-amplifikatör de bulunduran hidrofonlar için birkaç farklı yalıtım yöntemi kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerden biri; piezoelektrik sensör ve pre-amplifikatör devresini, suya karşı yalıtılmış metal, plastik v.b. bir kutu içinde muhafaza etmektir. Kutunun suya karşı yalıtımı; kaynak, conta, silikon, kauçuk kaynak bandı gibi birçok farklı şekilde yapılabilmektedir. Ancak bu yöntemde; elemanlar sabitlenip kutu kapatıldığında, doğal olarak kutu içinde bir miktar boşluk (*hava*) kalmaktadır. Bu boşluk, sualtında, iç – dış basınç dengesinin kritik şekilde değişmesine yol açmaktadır. Bu nedenle muhafaza kutuları, çalışılacak derinlikteki basınca dayanabilecek mukavim malzemelerden seçilmek zorundadır. İç – dış basınç farkı nedeniyle muhafaza kutusunda oluşacak herhangi bir deformasyon, su yalıtımının bozulmasına neden olabilmektedir. Ancak kutu içindeki boşluğun neden olduğu en büyük olumsuzluk; hidrofonun, cihaz içi gürültüsünü arttırmasıdır. Mikrofon ve hidrofon gibi cihazlarda; devre elemanları, elektriksel akım, kablo bağlantıları v.b. faktörlerin neden olduğu cihaz içi sesler oluşmaktadır. Bu sesler literatürde, “60 Hz uğultusu” olarak adlandırılmaktadır. Bir

akustik ölçümün doğru olabilmesi için cihazın iç seslerinin, ölçülen ses düzeyinden düşük olması gerekmektedir (Hodges, 2010). Ancak muhafaza kutusunun içindeki boşluk, iç seslerin yoğunlaşmasına, girişim yapmasına ve artmasına neden olmaktadır. Ayrıca söz konusu boşluk, hidrofon tarafından algılanan seslerin de girişime uğrayıp boğulmasına neden olabilmektedir.

Bilinen teknikte; muhafaza kutusunun içindeki boşluğun yarattığı olumsuzlukları önlemek amacıyla, bahsedilen boşluk çeşitli kimyasal yağlar ile doldurulmaktadır. Ancak kimyasal yağlar zamanla; pre-amplifikatör devresinde bulunan bazı elektronik elemanların bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum hidrofonun ömrünü kısaltmaktadır. Ayrıca kaliteli kimyasal yağlar, yüksek fiyatlarla satılmaktadır. Bu yağlar, hidrofonun maliyetini oldukça arttırmaktadır.

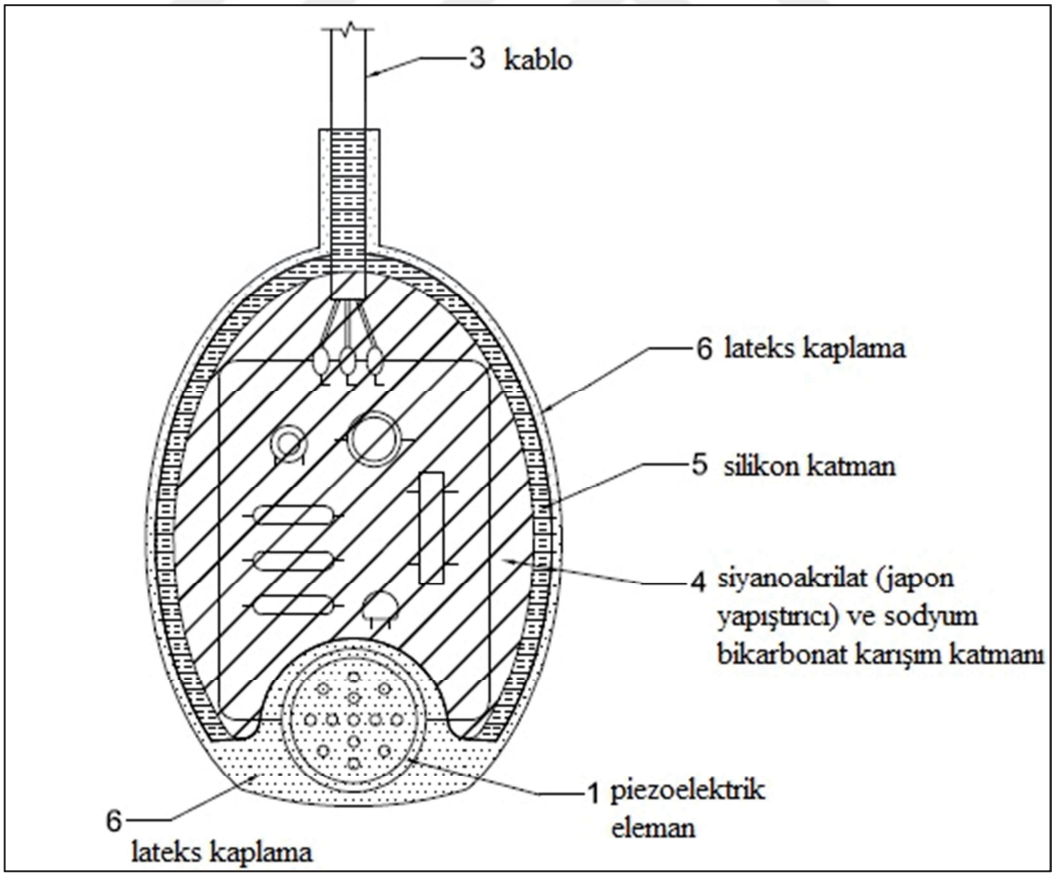
Düşük maliyetli hidrofonlarda diğer bir husus; elemanların ve bağlantıların hareketlerinden doğan parazitik gürültülerin (*cızırtı, parazit, uğultu v.b.)* önlenmesidir. Düşük maliyetli hidrofonların çoğunda bu hareketler engellenemediğinden; parazitik gürültü miktarı oldukça fazla olmaktadır.

Ayrıca yalıtımda veya muhafaza kutusunda, piezoelektrik sensörü kaplayan malzeme büyük önem taşımaktadır. Kalın lastik, plastik, ince metal, sac gibi bazı malzemelerin titreşim modu, -özellikle sensör ile malzeme arasında boşluk varsa-, algılanan sesin frekansını bozabilmektedir.

### 3.1.2. Düşük Maliyetli Hidrofon

Bu çalışmada kullanılan düşük maliyetli hidrofon geliştirilirken, yukarıda bahsedilen dezavantajların giderilmesi amaçlanmıştır. Geliştirdiğimiz hidrofon; piezoelektrik sensör ile birlikte basit bir pre-amplifikatör devresine sahiptir. Pre-amplifikatör devresi sayesinde uzun kablo mesafelerinden kayıpsız şekilde veri taşınabilmektedir. Piezoelektrik sensör, pre-amplifikatör devresinin üzerine entegre şekilde konumlandırılmıştır. Böylece sensör ve devre, verimli ve sorunsuz çalışmaktadır (Gazioğlu ve diğerleri, 2014).

Bahsedilen hidrofonun, su yalıtımı yapılırken; pre-amplifikatör devresi, -sadece piezoelektrik sensör açıkta kalacak şekilde-, siyanoakrilat (*Japon yapıştırıcısı*) ve sodyum bikarbonat (*karbonat tozu*) karışımı ile kaplanmaktadır. Siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımı; kolay kurumakta ve kuruduğunda sert, düzgün, boşluksuz ve mukavim bir yapı almaktadır. Bu yapı; pre-amplifikatör devresini suya karşı iyi bir şekilde korumaktadır. Ayrıca; siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımı dielektrik özelliğinden dolayı; hidrofon içindeki iç sesleri ve parazitik gürültüleri en aza indirmektedir. Pre-amplifikatör devresine bağlanan kablo girişi de bahsedilen dielektrik karışım ile kaplanmaktadır. Bu sayede kablo bağlantı yerlerinin hareketlerinden doğan akustik parazitler engellenmektedir. Ayrıca siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımının üzerine silikon katman geçilerek, hem su yalıtımı kuvvetlendirilmekte hem de yüzey pürüzsüzlüğü sağlanmaktadır. Pürüzsüz yüzey, vakumlu lateks kaplamanın en iyi şekilde yapılmasını sağlamaktadır (Gazioğlu ve diğerleri, 2014).




**Şekil 3.1** Düşük maliyetli hidrofonun şematik gösterimi

Siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımı ile yalıtılmış olan pre-amplifikatör devresi ve açıkta bırakılmış olan piezoelektrik sensör; ince ve mukavim lateks malzeme ile kaplanmaktadır. Kaplama vakum yöntemiyle yapıldığından, lateks kaplama ile devre arasında hiç boşluk kalmamaktadır. Lateks kaplama, piezoelektrik sensörü, suya karşı iyi şekilde korumaktadır. Ayrıca lateks kaplama, mikrofon diyaframı gibi davranarak, sensör tarafından algılanan seslerin frekanslarını korunmasını sağlamaktadır. İnce lateks kaplama sayesinde sensör, ses basıncını çok iyi şekilde algılamaktadır. Boşluksuz ve stabil yapı, hidrofonun iç seslerini en aza indirmektedir. Bu sayede hidrofon, deniz trafik gürültüsü, deniz memelilerinin sesleri, sualtı ortam gürültüsü tespiti vb. her tür sualtı akustik araştırma için kullanılabilmektedir (Gazioğlu ve diğerleri, 2014).

Geliştirdiğimiz hidrofonun yapımı ve kullanımı şu şekilde olmaktadır:

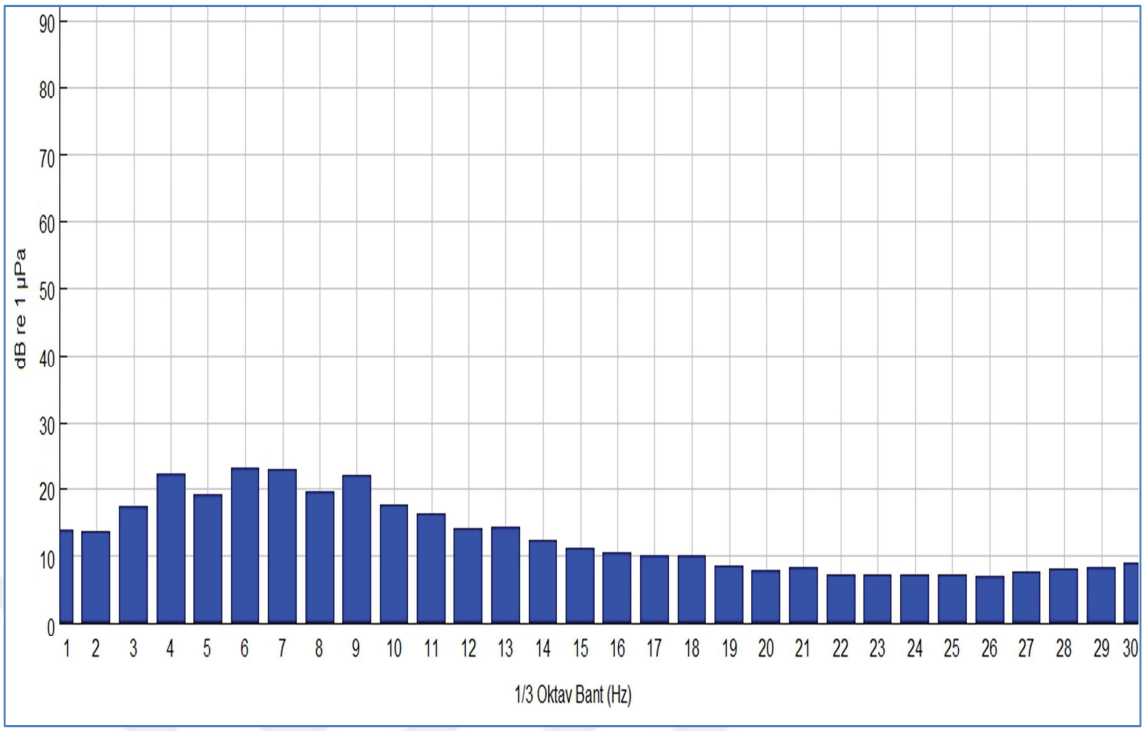
Bünyesinde piezoelektrik eleman bulunan pre-amplifikatör devresine; çıkış, besleme, topraklama olarak üç adet kablo bağlantısı yapılmaktadır. Piezoelektrik eleman açıkta kalacak şekilde, pre-amplifikatör devresi ve kablo bağlantı yerleri, siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımı ile çepeçevre kaplanmaktadır. Kuruyarak sertleşen siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışımı, pre-amplifikatör devresinin üzerinde mukavim bir katman oluşturmaktadır. Siyanoakrilat ve sodyum bikarbonat karışım katmanının üzerine sürülen silikon katman ile su geçirmezlik güçlendirilmekte ve yüzey pürüzsüzlüğü sağlanmaktadır. Hepsinin üzerine, piezoelektrik elemanı ve kablonun bir kısmını da içine alacak şekilde, lateks kaplama vakumla kaplanmaktadır. Balon şeklindeki lateks kaplamanın ağız kısmı, kablonun etrafına, silikon yapıştırıcı ve bant kullanılarak sıkıca yapıştırılmaktadır. Hidrofonun en dışında; içine su girebilen, delikli dış muhafaza bulunmaktadır. Dış muhafaza; yapıyı, yabancı maddelere ve küçük çaplı çarpmalara karşı korumaktadır. Hidrofon; kabloya belli yerlerden tutturulmuş halat ve halatın taşıdığı ağırlık vasıtasıyla sualtına batmaktadır (Gazioğlu ve diğerleri, 2014).

Sualtında yayılan ses dalgaları, piezoelektrik eleman tarafından algılanmaktadır. Ses dalgalarının oluşturduğu basınç, piezoelektrik elemanda elektriksel sinyale dönüşmektedir. Bu elektriksel sinyal, pre-amplifikatör devresinde güçlendirilip kablo boyunca su üstüne taşınmaktadır. Kablo vasıtasıyla bilgisayara ulaşan elektriksel sinyal, akustik veri şeklinde kaydedilmektedir (Gazioğlu ve diğerleri, 2014).

Bu çalışmada kullanılan hidrofon yönsüz (*tüm-yönlü*) olduğundan, bölgedeki tüm ses kaynaklarından yayılan sualtı ortam gürültüsü veri olarak kaydedilebilmiştir. Sualtı ortam gürültüsü genel olarak; ölçüm için kullanılan araç ve ekipmanların kendi sesleri hariç, ortamda bulunan sürekli ve süreksiz tüm kaynaklardan yayılan gürültü olarak tanımlanmaktadır (Urick, 1984; Hodges, 2010). Bu bağlamda, bir ölçümün geçerli olabilmesi için; ölçüm ekipmanlarında oluşan iç seslerin, ölçülen sualtı ortam gürültü seviyesinin altında olması gerekmektedir. Bu iç seslerin en baskınlarından biri, hidrofon güç hattındaki elektrik akımından kaynaklanan ve literatürde *"60 Hz uğultusu"* olarak adlandırılan gürültüdür (Hodges, 2010). 60 *Hz* uğultusu; yoğun olarak alternatif akım spektrumunda görülmektedir. Ayrıca hidrofon, mikrofon gibi aletlerde elektrik akımı taşıyan elemanların ve güç kablolarının hareketlerinden kaynaklanan, 50 – 60 *Hz* frekans aralığında belirgin olan ve bu aletler için olağan sayılan bir iç ses olarak da tanımlanmaktadır (Barlow ve diğerleri, 2008; Hodges, 2010).

Geliştirdiğimiz hidrofon sisteminin ilk denemesi, su dolu bir kap içinde dışarıdan ses verilerek yapılmıştır. Hidrofonun çeşitli ses şiddetlerine verdiği tepkileri belirleyebilmek için kabın dışından farklı yoğunluk ve karakterlerde sesler verilerek, bahsedilen deneme kaydedilmiştir. Ayrıca deneme esnasında hidrofon sisteminden kaynaklı seslerin ve olası cızırtıların tespiti adına, dışarıdan ses verilmeden kaydedilen bir bölüm de mevcuttur.

Ölçümlerde kullanılan hidrofonun deneme kaydında, dışarıdan ses verilmeye başlamadan önceki kısmın 1/3 oktav bant analizi, Şekil 3.2'de frekans histogramı olarak verilmektedir. Deneme kaydı herhangi bir ses yalıtımı olmadan yapıldığından hidrofonda oluşan iç ses seviyesinin Şekil 3.2'deki grafikte görünenden daha az olduğu söylenebilir. Buna rağmen grafik incelendiğinde, hidrofonda oluşan iç seslerin karakteristiği hakkında fikir edinmek mümkün olmaktadır.

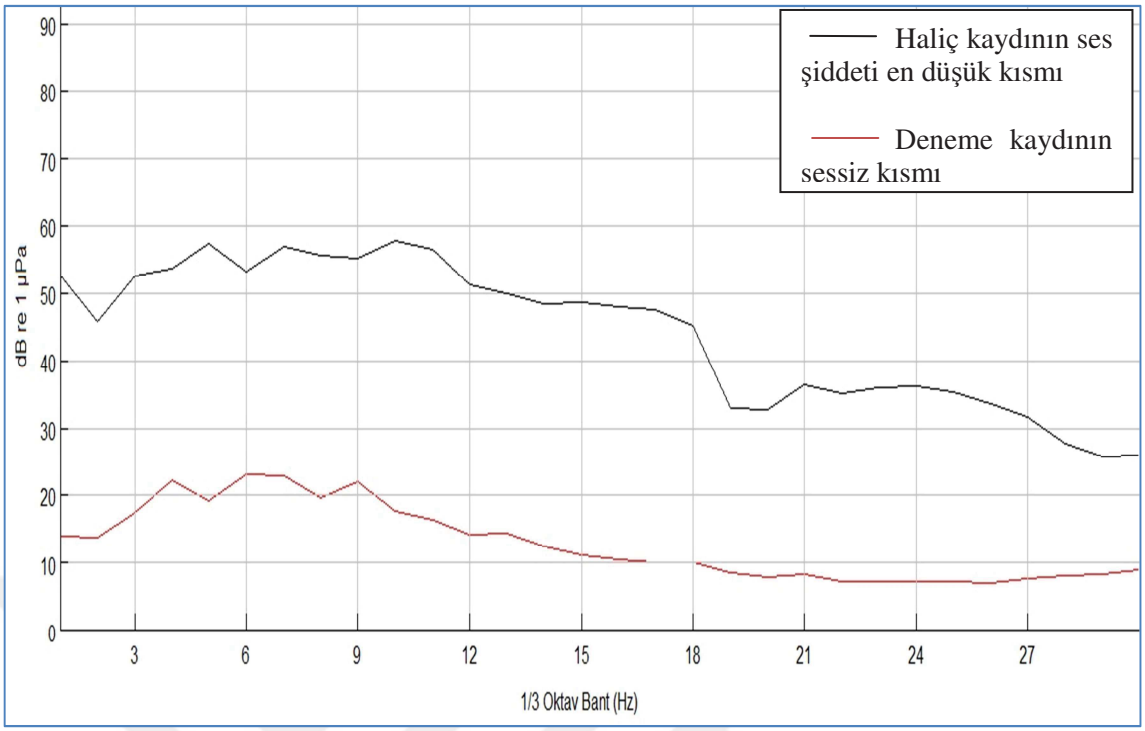



**Şekil 3.2** Deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı

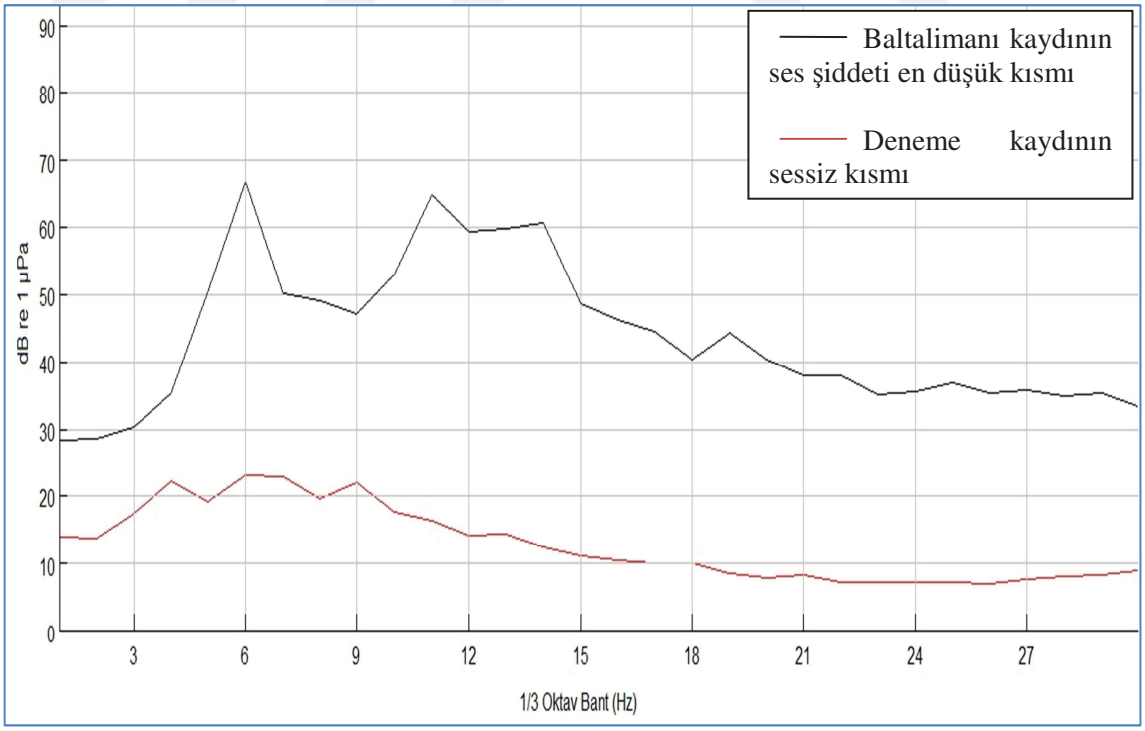
Şekil 3.2'deki 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı incelendiğinde; baskın ses seviyesinin 6. (*merkez frekans: 50 Hz*) ve 7. (*merkez frekans: 63 Hz*) frekans bantları civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda ölçümlerde kullanılan hidrofon sisteminden kaynaklı dominant iç seslerin, "60 Hz uğultusu" olarak adlandırılan olağan gürültüden ibaret olduğu söylenebilir.

Şekil 3.3'teki çizgi grafikte, bu çalışma kapsamında, Haliç'te gerçekleştirilen kaydın ses şiddeti en düşük olan kısmı ile deneme kaydının dışarıdan ses verilmeye başlamadan önceki kısmının 1/3 oktav bant analizleri karşılaştırması verilmektedir. Analizin tutarlılığı açısından kayıtların eşit uzunluktaki (*30'ar saniyelik*) parçaları mukayese edilmiştir.

Şekil 3.3'teki grafikten; deneme kaydının baz alınan kısmındaki ses seviyesinin, Haliç kaydındaki en düşük sualtı ortam gürültü seviyesinden önemli ölçüde az olduğu görülebilmektedir. Bu karşılaştırma, Haliç kaydında kullanılan hidrofondan kaynaklı iç seslerin, ölçümün doğruluğunu olumsuz etkileyecek düzeyde olmadığını göstermektedir.




**Şekil 3.3** Haliç kaydının ses şiddeti en düşük kısmı ile deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması




**Şekil 3.4** Baltalimanı kaydının ses şiddeti en düşük kısmı ile deneme kaydının sessiz kısmının 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması

Şekil 3.4'teki çizgi grafikte, bu çalışma kapsamında, Baltalimanı'nda gerçekleştirilen kaydın ses şiddeti en düşük olan kısmı ile deneme kaydının dışarıdan ses verilmeye başlamadan önceki kısmının 1/3 oktav bant analizleri karşılaştırması verilmektedir. Analizin tutarlılığı açısından kayıtların eşit uzunluktaki (30'ar saniyelik) parçaları mukayese edilmiştir.

Şekil 3.4'teki grafikten; deneme kaydının baz alınan kısmındaki ses seviyesinin, Baltalimanı kaydındaki en düşük sualtı ortam gürültü seviyesinden önemli ölçüde az olduğu görülebilmektedir. Bu karşılaştırma, Baltalimanı kaydında da kullanılan hidrofondan kaynaklı iç seslerin, ölçümün doğruluğunu olumsuz etkileyecek düzeyde olmadığını göstermektedir.

Özetle; bu çalışmada kullanılan "düşük maliyetli hidrofonun", iç sesleri; İstanbul Boğazı'nda Baltalimanı ve Haliç ölçüm noktalarında, sualtı gürültü tespiti için kaydedilmiş olan akustik verilere, etki edecek düzeyde değildir.

Bu çalışmada kullanılan "düşük maliyetli hidrofon"; herhangi bir kalibrasyon işleminden geçirilmemiştir. Ancak, kullandığımız hidrofonun, herhangi bir referansa göre kalibre edilmemiş olması; ölçümün doğruluğunu değil, yorumlanma şeklini değiştirmektedir. Bu durumda; akustik verilerin, *dB* olarak değerleri değil, ölçüm sırasındaki ses düzeyi farkları önem kazanmaktadır. Örnek olarak; ölçüm noktasına yakın seyreden bir gemi veya teknenin, ölçüm bölgesindeki sualtı ortam gürültüsüne etkisi tespit edilebilmektedir. Ayrıca, akustik verilerin yoğunlaştığı frekans bölgeleri yorumlanarak; sualtı ortam gürültüsünü domine eden ses kaynakları saptanabilmektedir. Bu bağlamda; bu çalışmada kullanılan "düşük maliyetli hidrofonun", sualtında, geniş bir frekans aralığındaki sesleri, aynı hassasiyetle algılayabilen, bir deniz canlısı gibi davrandığını düşünmek yanlış olmaz.

# 4. YÖNTEM

Robert J. Urick *"Ambient Noise in the Sea"* kitabında, sualtı ortam gürültüsünün; çeşitli karakterlere sahip ses kaynaklarından yayılan ve dolayısıyla spektrumun farklı bölgelerinde, geniş bir frekans aralığına hâkim olan sesler bütünü olduğunu belirtmektedir (Urick, 1984). Bu tanımdan yola çıkarak, sualtı ortam gürültüsünün; geniş bir frekans aralığına yayılmış, farklı karakterlerdeki seslerin toplamı olduğu söylenebilir. Ortam gürültüsünü oluşturan farklı frekanstaki bileşenlerin çözümlenmesi, frekans analiz yöntemleri ile mümkün olmaktadır (Çalışkan, 2005). Bu çalışmada yapılan frekans analizleri ile sualtı ortam gürültüsü ses düzeylerinin, frekanslara göre dağılımı incelenmektedir.

Ölçümlerde kaydedilen akustik veriler, *"Sigview"* isimli sinyal analiz programı vasıtasıyla, grafikler halinde ifade edilmiştir. Sigview programında; ham kayıtların frekans analizi, literatürde yaygın olarak kullanılan, 1/3 oktav bant analiz yöntemi ile yapılmış ve ilgili grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler, genel olarak; ses düzeylerinin *(dB re 1μPa)*, 1/3 oktav bantlara bölünmüş olan frekans spektrumunda *(Hz)* dağılımını göstermektedir.

Bahsedilen grafikler; kayıt sırasında bölgedeki en düşük ses düzeyleri, kaydın ortalama ses düzeyleri, kayıt sırasında gerçekleşen gemi geçişi, tekne manevrası gibi olayların belirlediği ses düzeyleri ve kayıt sırasında bölgedeki en yüksek ses düzeyleri için çizilmiştir. Bahsedilen grafiklerde, ses düzeylerinin, nispeten yüksek seyrettiği frekans aralıkları belirlenmiş ve böylece kayıt bölgesindeki sualtı ortam gürültüsünde, hangi tip gürültü kaynaklarının baskın olduğu saptanmıştır. Baskın gürültü kaynakları saptanırken; literatürde belirtilen frekans aralıkları baz alınmıştır. Şekil 2.5'te verilmiş olan Wenz eğrileri, bu konuda önemli bir referans kaynaktır.

Ayrıca; yukarıda bahsedilen grafiklerin belli kombinasyonlarının, tek düzlemde ifade edilmesiyle oluşturulan, karşılaştırma grafikleri çizilmiştir. Karşılaştırma grafikleri sayesinde; kayıt sırasında gerçekleşen gemi geçişi, tekne manevrası gibi olayların,

bölgedeki sualtı ortam gürültüsünü, hangi oranda arttırdığı belirlenmiştir. Bahsedilen grafikler sayesinde; ses düzeyindeki artışların, frekanslara göre dağılımları da izlenmiştir. Böylece; deniz trafiği ve gemi kaynaklı gürültülerin, İstanbul Boğazı sualtı ortamı üzerindeki olası etkileri yorumlanmıştır.

İstanbul Boğazı'nda hem süreklilik arz eden; şehir içi deniz trafiği gürültüsü, hem de sürekli olmayan gürültü sınıfına giren; transit geçiş yapan gemilerden kaynaklı gürültü etkili olmaktadır. Bu bağlamda; şehir içi deniz trafiği gürültüsünün tespiti adına Haliç bölgesinden ve transit geçiş yapan gemilerden kaynaklı gürültü tespiti için ise Baltalimanı bölgesinden akustik veriler toplanmıştır.

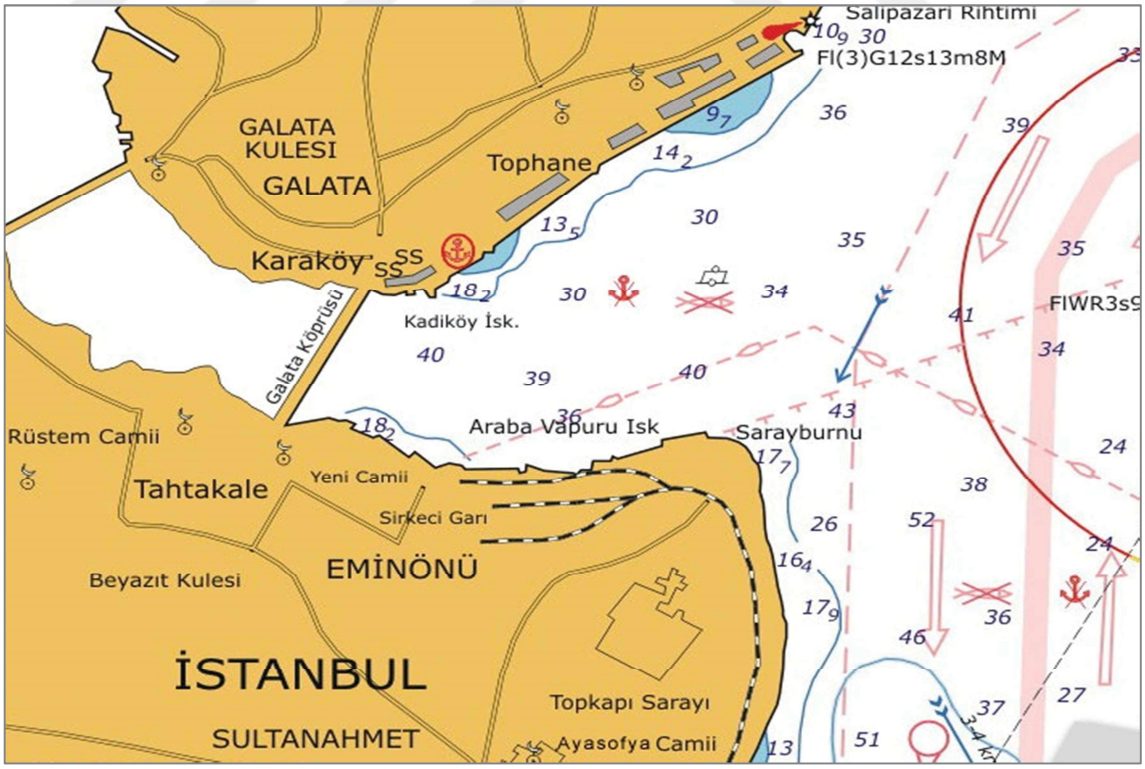
## 4.1. HALİÇ ÖLÇÜM NOKTASI

Bu çalışma kapsamında ilk ölçüm (*akustik veri toplama*) noktası olarak; Galata Köprüsü'nün açılır kısmının (*baskül kanatların*) Karaköy tarafındaki ayağı (*köprü kesonu*) seçilmiştir. Bu noktanın etrafında, yaklaşık 750 *m.* yarıçapındaki bir alanda; Karaköy ve Eminönü'ndeki Şehir Hatları vapur iskeleleri, Sirkeci'deki arabalı vapur iskelesi ve köprünün arkasında TURYOL (*Turizm ve Yolcu Deniz Taşıyıcılar Kooperatifi*) teknelerinin iskeleleri bulunmaktadır. Bu nedenle köprü etrafında ve altında, sürekli ve yoğun bir trafik akışı izlenmektedir. İskelelerin yoğunluğu ve köprü altından geçişler dolayısıyla bölge; gemi ve teknelerin çokça manevra yaptıkları bir kavşak görüntüsündedir.

Ölçüm noktasında derinlik yaklaşık 40 metredir. Ölçüm, 3. Bölümde bahsedilen düşük maliyetli hidrofon ile 15 *m.* derinlikte gerçekleştirilmiştir. Sığ sularda, ses kanalları genelde yüzeye yakın bölgelerde bulunmaktadır. Bu nedenle sığ sularda, yüzeye yakın konuşlandırılmış hidrofonlara ses iletimi daha iyi olmaktadır (Urick, 1979). Toplamda 40 dakikayı aşan iki parçalı bir kayıt yapılmıştır. Karşılaştırma grafikleri elde edilirken; kaydın ilgili kısımlarından 90'ar saniyelik parçalar kullanılmıştır. Amaç; Haliç girişindeki yoğun deniz trafiğinin sualtı ortam gürültüsüne etkilerini tespit etmektir.




**Şekil 4.1** Haliç ölçüm noktası (41° 01'12.72" K - 28° 58'25.70" D).




**Şekil 4.2** Haliç ölçüm bölgesi seyir haritası (Gemi Trafik, 2010).

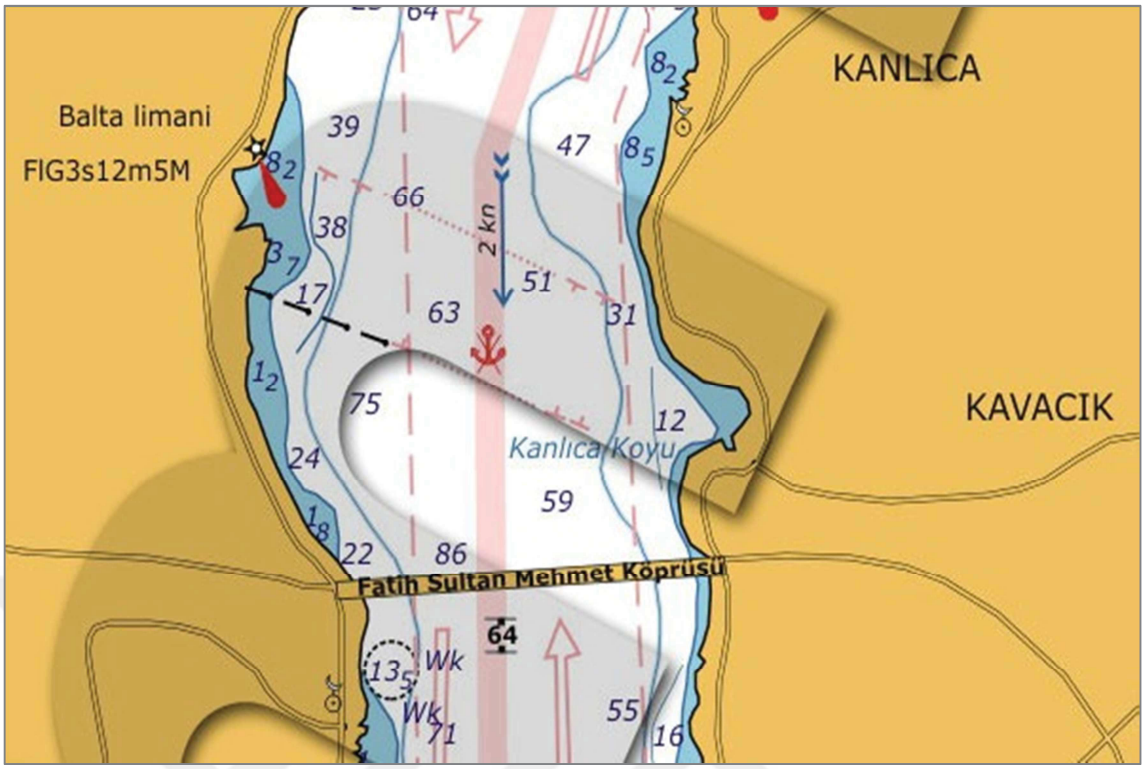
Haliç'teki kayıt sırasında yapılan aktüel dinlemede; bölgedeki yoğun şehir içi deniz trafiği nedeniyle, sürekli olarak yüksek boyutlarda seyreden sualtı ortam gürültüsünün, gemi ve teknelerin manevraları (*tornistan, yanaşma için yol verme, hız kesme, bow truster çalıştırma v.b.*) esnasında farkedilir şekilde artış gösterdiği izlenmiştir. Ayrıca Galata Köprüsünde, büyük araç ve tramvay geçişi sırasında oluşan salınımlardan kaynaklanan sesler ayırt edilebilmektedir.

## 4.2. BALTALİMANI ÖLÇÜM NOKTASI

Bu çalışma kapsamında ikinci ölçüm noktası olarak; Baltalimanı'ndaki İstanbul Üniversitesi Sosyal Tesislerinin önü seçilmiştir. Bu nokta; İstanbul Boğazı'ndaki transit gemi geçişlerinin izlenmesi için oldukça uygundur. Baltalimanı'nda yapılan ölçümlerde; transit gemi geçişleri sırasında, sualtı ortam gürültüsündeki artışlar izlenmiştir.




**Şekil 4.3** Baltalimanı ölçüm noktası (41° 05'50.18" K - 29° 03'17.13" D).




**Şekil 4.4** Baltalimanı ölçüm bölgesi seyir haritası (Gemi Trafik, 2010).

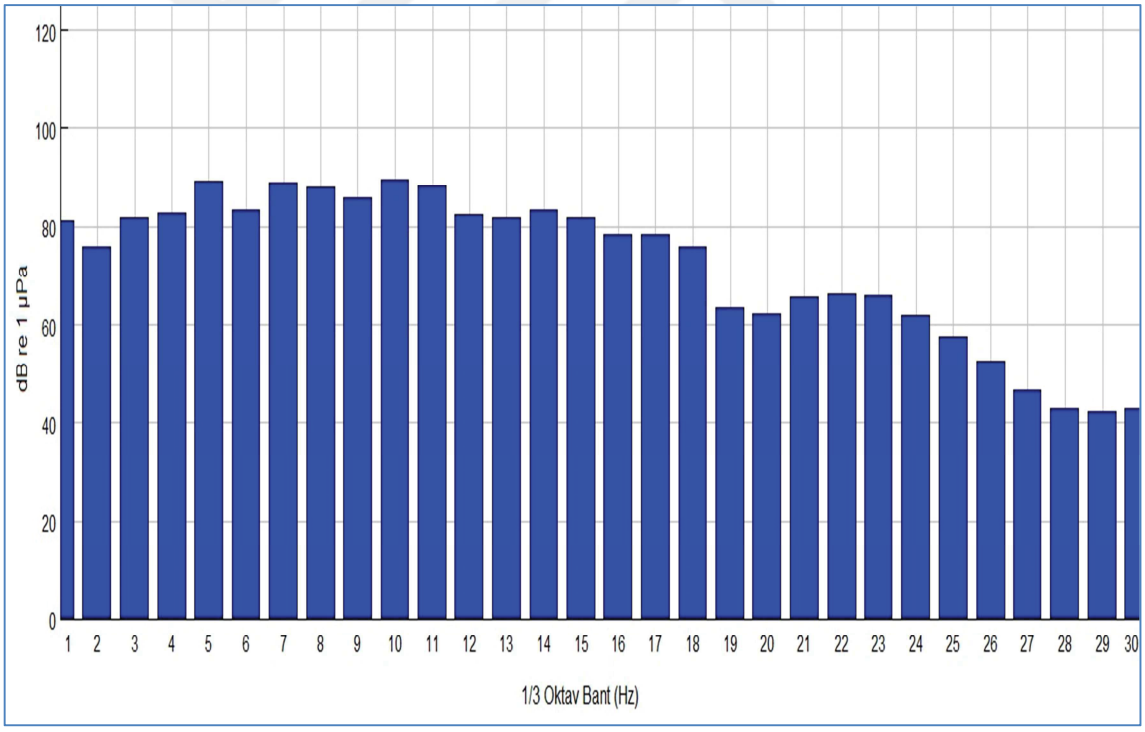
Ölçüm noktasındaki yaklaşık derinlik; 17 metredir. Ölçüm, yukarıda bahsedilen düşük maliyetli hidrofon ile yaklaşık 8 *m.* derinlikte gerçekleştirilmiştir. Ölçüm derinliği; yüzey dalgalarını ve taban yansımalarını bertaraf etmek için yeterli değildir. Ancak, ölçüm noktasındaki, optimum derinlik seçilmeye çalışılmıştır. Yüzey dalgalarının ve taban yansımalarının etkisiyle; Baltalimanı ölçümünün, ortalama ve minimum ses seviyeleri, Haliç ölçümüne oranla çok daha yüksek seyretmektedir. Bu şartlar altında dahi; transit gemi geçişleri sırasındaki ses düzeyi artışları, oldukça belirgin şekilde izlenmiştir.

Baltalimanında, toplamda 2 saati bulan, 3 parça kayıt yapılmıştır. Kayıt sırasında; ölçüm noktasından 14 adet, büyük tonajlı gemi transit geçiş yapmıştır. Bu gemilerden 3 tanesi, kaydın temizliğine göre seçilerek, analizlerde kullanılmıştır. Analizler yapılıp karşılaştırma grafikleri elde edilirken; kaydın ilgili kısımlarından 90'ar saniyelik parçalar kullanılmıştır.

# 5. ANALİZ VE BULGULAR

Bu bölümde; Haliç ve Baltalimanı kayıtlarının analiz edilmesi ile oluşturulan Ses Düzeyi (*dB re 1 µPa*) - 1/3 Oktav Bant (*Hz*) grafikleri incelenmekte ve yorumlanmaktadır.

## 5.1. HALİÇ KAYDI




**Şekil 5.1** Haliç kaydının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

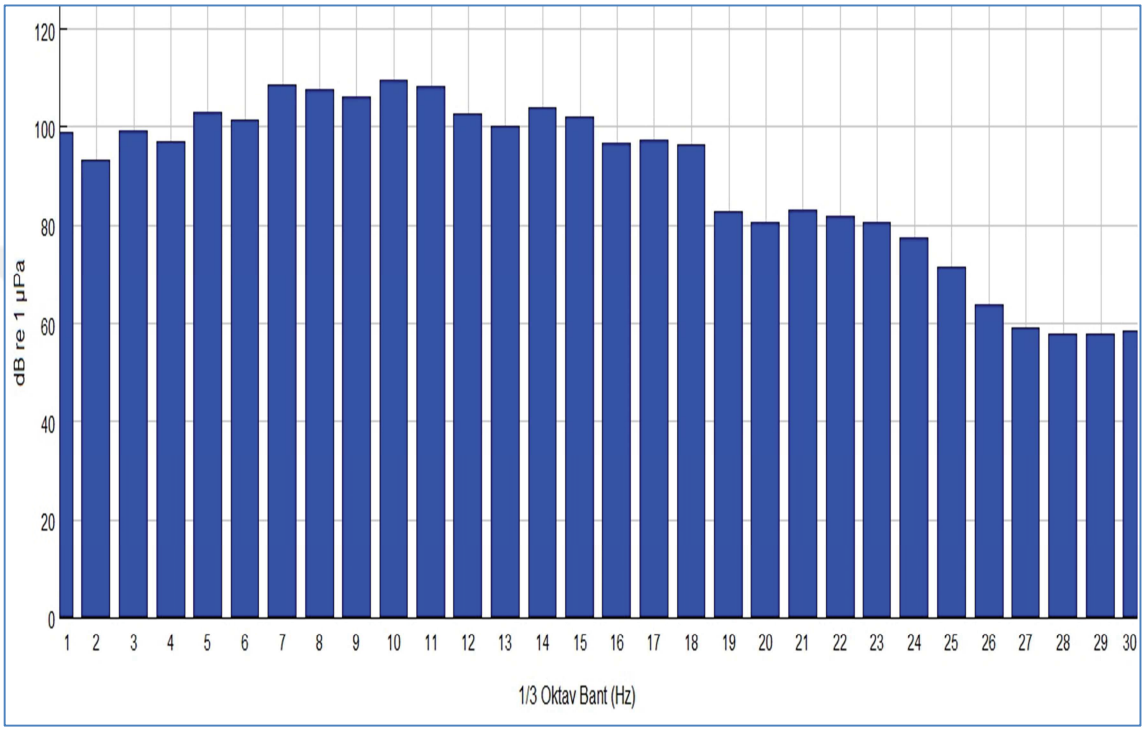
Şekil 5.1'de; Haliç'te yapılmış olan kaydın tamamının 1/3 oktav bant analizi, frekans – ses düzeyi histogramı olarak görülmektedir. Şekil 5.1'deki histogram incelendiğinde; Haliç'te yapılmış olan kaydın ses düzeyinin; 3 – 18 bantları, diğer bir deyişle yaklaşık 20 – 900 *Hz* frekansları arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Ses düzeyinin tepe noktaları ise, 5 – 11 bantları arasında, diğer bir deyişle yaklaşık 40 – 200 *Hz* frekans aralığında bulunmaktadır. Bu değerler göz önüne alındığında; Wenz'in deniz trafik eğrileri (*Bkz: Şekil 2.5*) ile Haliç kaydının, frekans ekseninde paralellik gösterdiği görülmektedir. Bu durumda; Haliç'te Galata Köprüsü çevresinde, sualtı ortam gürültüsünü oluşturan baskın etkenin, yoğun deniz trafiği olduğu anlaşılmaktadır.

Tüm kaydın 1/3 oktav bant analizi, aslen; ölçüm sırasında, zaman içinde değişen ses düzeylerinin, her frekans bandındaki ortalamalarını göstermektedir. Haliç kaydının, ortalama ses düzeyi pik noktası 10. bantta (*125 Hz merkez frekansında*) 92 *dB re 1 µPa* olarak okunmaktadır. Haliç kaydında, bölgedeki deniz trafiğinin yakınlaştığı veya yoğunlaştığı ve uzaklaştığı veya seyrekleştiği bölümler bulunmaktadır. Bu bağlamda; bölgedeki deniz trafiğinin yoğunlaştığı zamanlarda, çok daha yüksek bir ses düzeyinden bahsetmek mümkündür.

Haliç kaydında, deniz trafiği kaynaklı en yüksek ses düzeyine; bir balıkçı teknesinin tornistan manevrası esnasında ulaşılmıştır. Bu manevra, Karaköy iskelesi önünde, ölçüm noktasına yaklaşık 200 *m.* mesafede gerçekleşmiştir. Balıkçı teknesinin, sualtı ortam gürültüsüne etkisi, eş zamanlı olarak, ölçüm sırasında yapılan aktüel dinlemede ve kaydın genlik – zaman grafiğinde açıkça izlenebilmiştir. Bu sayede; tornistan manevrasının, kayıt içindeki yeri ve uzunluğu tam olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.2'de, bahsedilen balıkçı teknesinin tornistan manevrası sırasında kaydedilen sualtı ortam gürültüsünün, 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı verilmektedir. Şekil 5.2'deki histogramda, tepe noktaları; 7 – 11 bantları arasında, 50 – 200 *Hz* frekans aralığında bulunmaktadır. Balıkçı teknesinin tornistan manevrası sırasında ses düzeyi pik noktası, 10. bantta (*125 Hz merkez frekansında*) 113.5 *dB re 1 µPa* olarak okunmaktadır. Benzer biçimde, tüm kaydın 1/3 oktav bant analizinde de (*Bkz: Şekil 5.1*) ses düzeyi pik noktası 10. bantta yer almaktadır. Ayrıca kabaca bakıldığında Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafikler ana hatlarıyla benzerlik göstermektedir. Bu durum; Haliç girişinde sualtı ortam gürültüsünü domine eden deniz trafiğinin ses karakteri hakkında fikir vermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi; Haliç

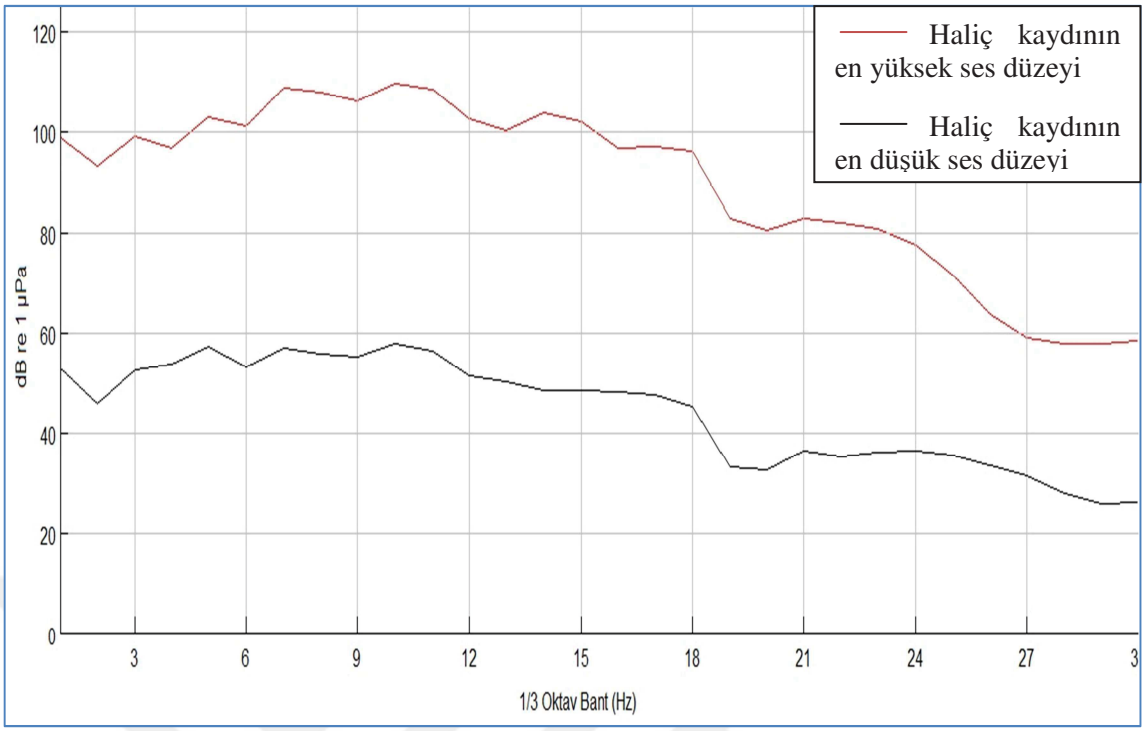
ölçümünün gerçekleştirildiği bölge, şehir içi deniz trafiğine ait gemi ve teknelerin çokça manevra yaptıkları bir kavşak görüntüsündedir. Bu nedenle, kaydın büyük bir bölümünde hâkim olan deniz trafik gürültüsü; yoğun olarak, gemi ve teknelerin düşük hızlardaki manevralarından oluşmaktadır.



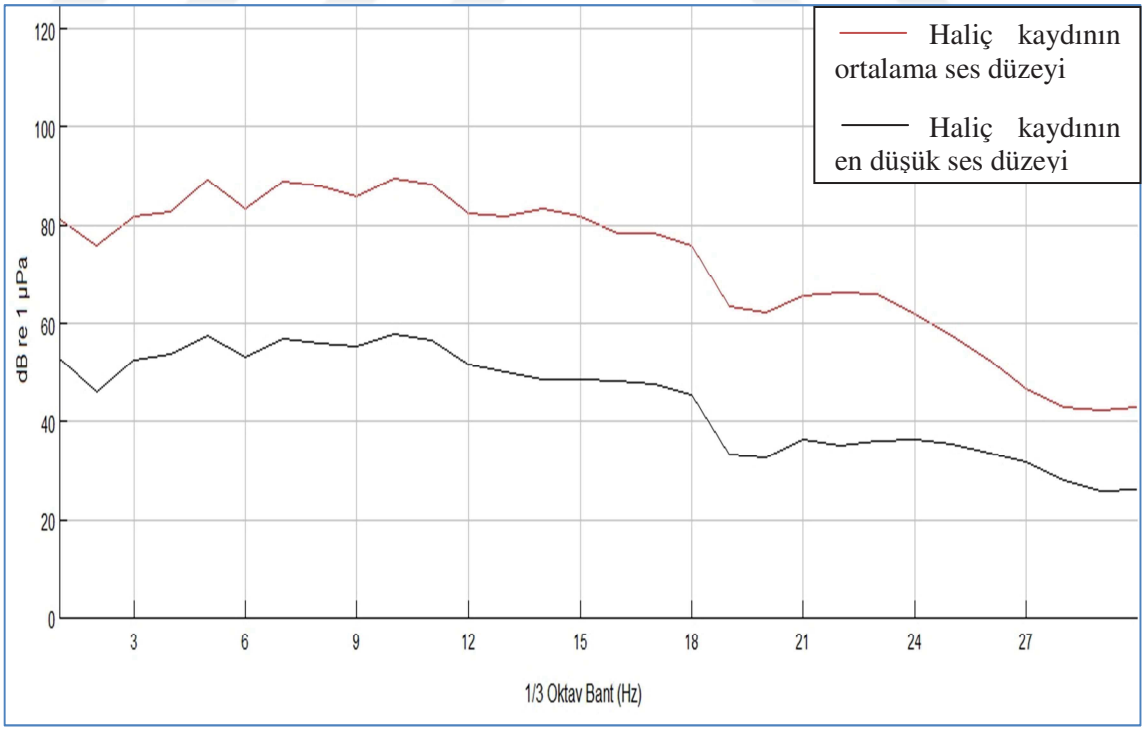

**Şekil 5.2** Balıkçı teknesi tornistan manevrası 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

Balıkçı teknesinin tornistan manevrasının; Haliç girişindeki sualtı ortam gürültüsüne etkileri, Şekil 5.3'teki karşılaştırma grafiğinden daha net şekilde görülebilmektedir. Bahsedilen grafikte; Haliç kaydının ses düzeyi en düşük olan kısmı ile ses düzeyi en yüksek olan kısmının (*Balıkçı teknesinin tornistan manevrası*) 1/3 oktav bant analizleri karşılaştırılmıştır.

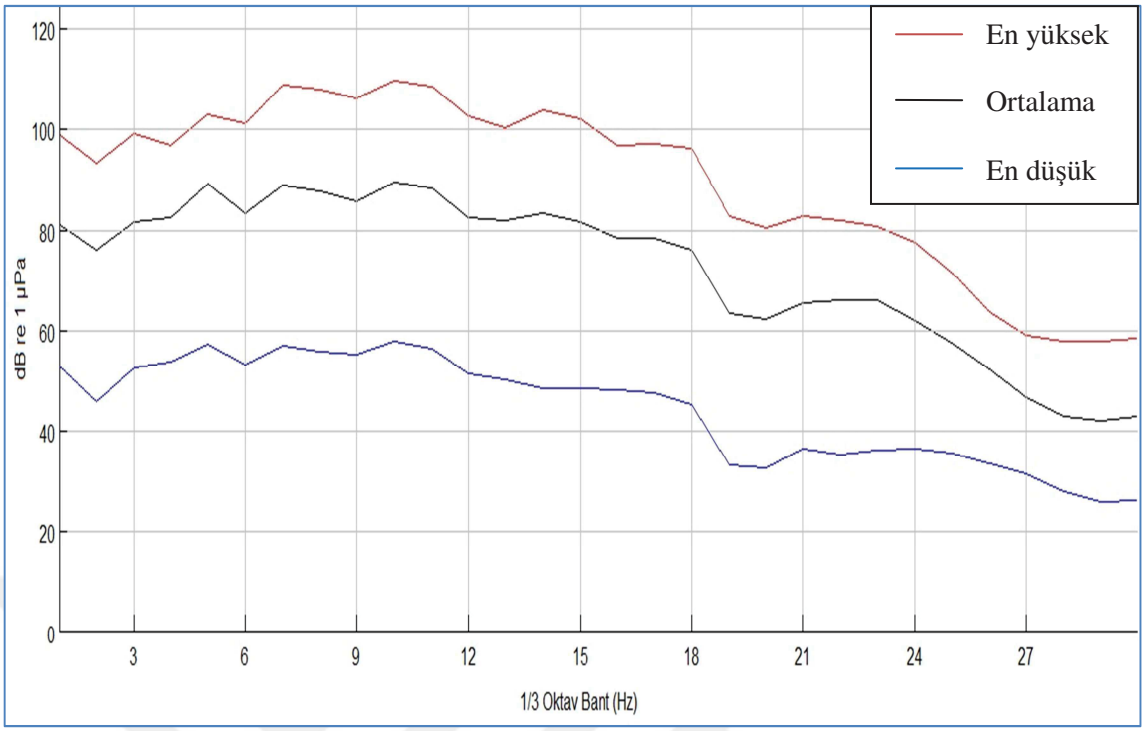
Ayrıca; Şekil 5.4'de, Haliç kaydının tamamının (*ortalama*) 1/3 oktav bant – ses düzeyi eğrisi ile en düşük 1/3 oktav bant – ses düzeyi eğrisi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 5.5'te ise; Haliç kaydının en düşük, ortalama ve en yüksek ses düzeylerinin 1/3 oktav bant grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.




**Şekil 5.3** Haliç kaydında, deniz trafiği kaynaklı en yüksek ve en düşük ses düzeylerinin 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması.




**Şekil 5.4** Haliç kaydında, ortalama ve en düşük ses düzeylerinin 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması.




**Şekil 5.5** Haliç kaydında, deniz trafiği kaynaklı en yüksek, ortalama ve en düşük ses düzeylerinin, 1/3 oktav bant analiz karşılaştırması.

Haliç ölçümünde kaydedilmiş olan sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizlerinden, genel hatlar itibarıyla, karakteristik bir eğri şeklinin ortaya çıktığı; Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki grafiklerden görülebilmektedir. Haliç ölçümünün farklı kısımlarının 1/3 oktav bant analizlerinde, şekil itibarıyla benzer eğrilerin ortaya çıkması; bölgedeki sualtı ortam gürültüsünde, süreklilik arz eden bir ses kaynağının hâkim olduğunu göstermektedir. Eğrilerin her biri, 20 – 900 *Hz* (*3 – 18 oktav bantları arasında*) bölgesinde geniş bir tepe çizmektedir. Bahsedilen tepe şekli ve frekans bölgesi, Wenz'in deniz trafik eğrileri (*Bkz: Şekil 2.5*) ile benzerlik göstermektedir. Bu bağlamda; Haliç girişi, Galata Köprüsü çevresindeki sualtı ortam gürültüsüne, büyük oranda, süreklilik arz eden şehir içi deniz trafiği neden olmaktadır.

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki grafikler incelendiğinde; bahsedilen tepe bölgeleri üzerinde, pikler görülebilmektedir. Bahsedilen pikler; her eğride, bir miktar farklı şekilde görünmektedir. Bu durum; en yüksek, ortalama ve en düşük ses düzeyi için seçilen kayıt parçalarının ses karakterlerini ortaya koymaktadır.

En yüksek ses düzeyi eğrisinde, pikler; diğer eğrilere göre daha fazla, daha belirgin ve keskindir. Bunun nedeni; balıkçı teknesinin, bazı frekanslarda, ortamdaki diğer ses kaynaklarını bastırması ve kaydedilen sualtı ortam gürültüsüne o frekanslarda hâkim olmasıdır. Balıkçı teknesinden yayılan pervane ve makine seslerinin hâkim olduğu frekanslar, en yüksek ses düzeyi eğrisinde belirgin pikler olarak görünmektedir.

En yüksek ve ortalama ses düzeyi eğrilerinde belirgin olan bazı pikler, en düşük ses düzeyi eğrisinde belirgin değildir. Bu durum; ölçüm noktasına çok yakın seyreden ve tüm kayıtta baskın olan deniz trafiğinin, en düşük ses düzeyine sahip kayıt parçasında nispeten uzakta kalmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek ve ortalama ses düzeyi eğrilerinde belirgin olup, en düşük ses düzeyi eğrisinde belirgin olmayan pikler; 9 – 18 oktav bantları (*100 – 800 Hz*) arasında bulunmaktadır. Şekil 2.6'daki çizelgeden de görüldüğü üzere, 100 – 800 *Hz* frekans aralığı, başka bir deyişle 9 – 18 oktav bant aralığı; pervane ve makine etkilerini birlikte içeren bir frekans bölgesidir. Bu durumda; şehir içi deniz trafiği kaynaklı gürültünün hâkim olduğu Haliç girişinde, bahsedilen frekans aralığında görülen eğri pikleri, teknelerin pervane ve makine gürültülerinden kaynaklanmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi, kanal ve sığ sularda; yansıma, girişim, saçılma gibi olayların daha fazla olması, uzun mesafelere yayılan ses dalgalarının iletim kayıplarını arttırmaktadır. Dolayısıyla bu tip ortamlarda alıcıya ulaşan ses dalgaları, yoğun olarak daha yakın mesafelerde bulunan gürültü kaynaklarından yayılmaktadır. Bu bağlamda; şehir için deniz trafiği paydaşlarının, ölçüm noktasına konuşlandırmış olduğumuz hidrofondan uzaklaştığı bölümlerde, bahsedilen piklerin belirginliği azalmaktadır.

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki tüm eğriler; 19. oktav banta doğru keskin bir düşüş göstermektedir. 19. oktav bantın merkez frekansı 1000 *Hz*'dir. Daha önce de belirtildiği gibi; literatürün genelinde, gemi kaynaklı sesler ve deniz trafik gürültüsünün, spektrumda baskın olduğu bölge; 10 – 1000 *Hz* frekans aralığı olarak verilmektedir (Hodges, 2010; Urick, 1984). Bu durum; Haliç girişi, Galata Köprüsü çevresinde, deniz trafik gürültüsünün tüm bileşenlerinin etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.5'teki grafikte; Haliç kaydının en düşük, ortalama ve en yüksek ses düzeylerinin 1/3 oktav bant grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. En yüksek ses düzeyi grafiği, balıkçı teknesinin tornistan manevrası sırasında elde edilmiştir. Şekil 5.5'teki grafik incelendiğinde; balıkçı teknesinin tornistan manevrası sırasında, ölçüm

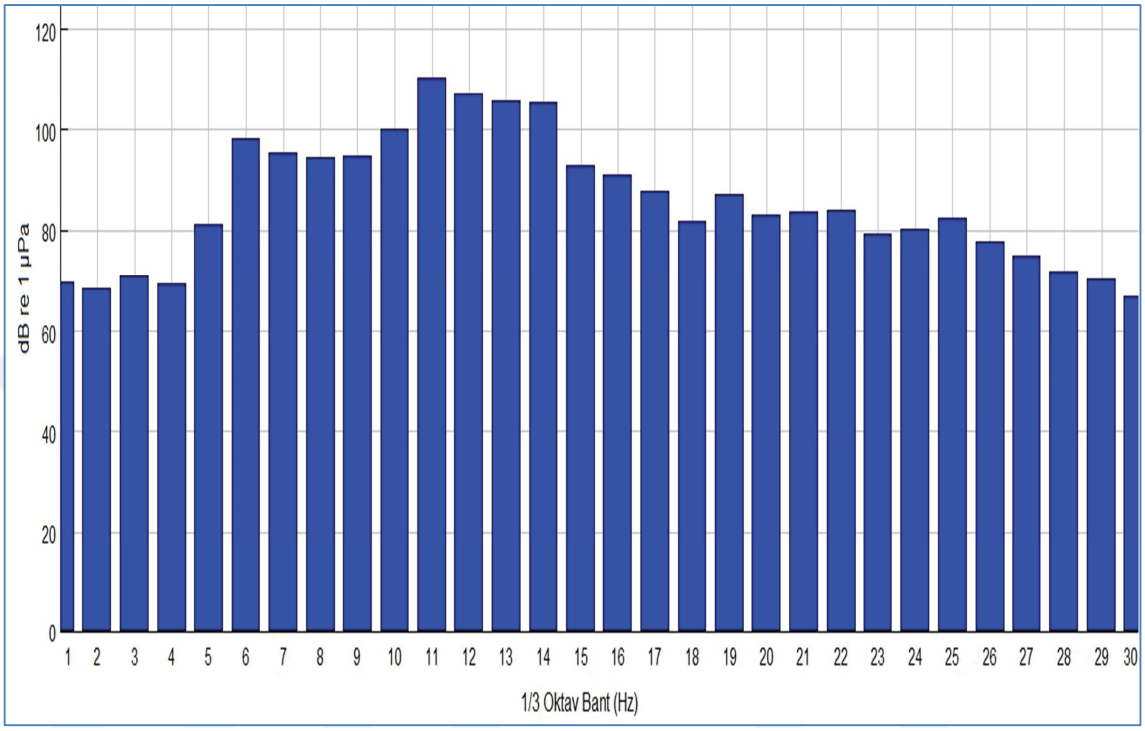
bölgesindeki sualtı gürültü düzeyinin, ortalama gürültü düzeyine göre; deniz trafiği için tanımlanan frekans aralığında, yaklaşık 30 *dB re 1µPa* arttığı görülmektedir. Ölçüm noktası civarında nispeten daha az trafiğin olduğu en düşük ses düzeyi eğrisi baz alındığında ise; balıkçı teknesinin, sualtı ses düzeyini yaklaşık 60 *dB re 1µPa* kadar arttırdığı belirlenmektedir. Özetlemek gerekirse; balıkçı teknesinin tornistan manevrası sırasında, ölçüm bölgesindeki ses düzeyi, ortalama gürültü seviyesine göre 30 *dB re 1µPa*, en düşük gürültü seviyesine göre ise yaklaşık 60 *dB re 1µPa* artış göstermiştir. Bahsedilen ses seviyesi artışları; bölgedeki sualtı ortam gürültüsü içinde, oransal olarak, oldukça kayda değer bir etki yaratmaktadır. Bölüm 2.4 Sualtı Biyoakustiği başlığı altında verilen birçok örnekten de görüldüğü üzere; sualtı ortam gürültüsündeki bu tip kritik artışlar, denizel canlılar üzerinde, en hafif etkiyle, kaçınma, stres ve çeşitli davranış bozuklukları meydana getirmektedir.

Galata Köprüsü'ndeki olta balıkçılığının dengesiz verimi ile bölgedeki sualtı ortam gürültüsünün kritik değişimlerinin olası bağlantısı ve varsa ilgi derecesi; araştırılabilecek bir konudur.

## 5.2. BALTALİMANI KAYDI

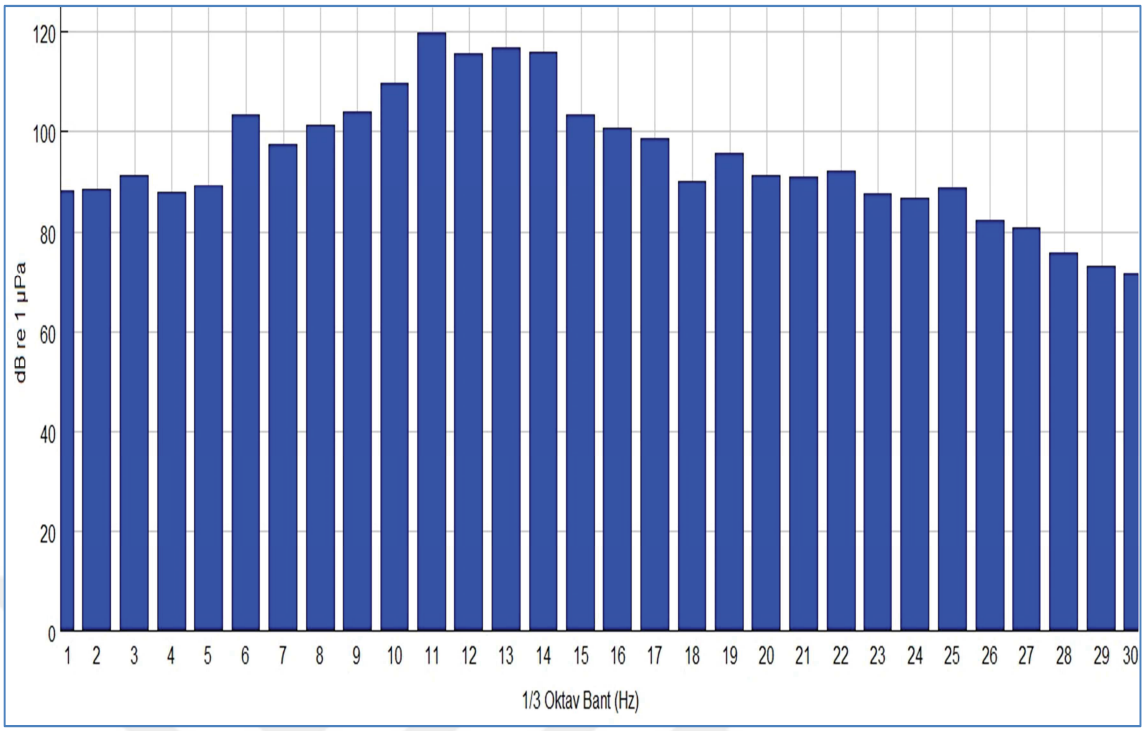
Baltalimanı ölçüm noktası, Haliç'e kıyasla şehir içi deniz trafik hareketlerinin daha az olduğu bir bölgedir. Baltalimanı; sürekliliği olmayan sualtı gürültü kaynağı olarak kabul edilen transit gemi geçişlerinin izlenebildiği bir noktadır. Bu bağlamda; Baltalimanı kaydında, transit geçiş yapan gemilerden kaynaklanan seslerin, İstanbul Boğazı'nın söz konusu bölgesindeki sualtı ortam gürültüsüne etkileri görülmektedir. Hidrofon derinliği itibarıyla; Baltalimanı kaydına, yüzey dalgaları ve taban yansımaları da etki etmiştir. Yüzey dalgalarının ve taban yansımalarının etkisiyle; Baltalimanı ölçümünün, ortalama ve minimum ses seviyeleri, Haliç ölçümüne oranla çok daha yüksek seyretmektedir. Ancak, bu şartlar altında dahi; transit gemi geçişleri sırasındaki ses düzeyi artışları, oldukça belirgin şekilde izlenebilmiştir. Daha önce de açıklandığı üzere; ölçüm yaptığımız hidrofon, akustik açıdan, sualtında herhangi bir deniz canlısı gibi davranmaktadır. Bu durumda, yaptığımız analizlerde; hidrofonun "maruz kaldığı"

gürültü önem kazanmaktadır. Aşağıda, Baltalimanı kaydı ile ilgili verilmiş grafikler; bu doğrultuda değerlendirilmektedir.




**Şekil 5.6** Baltalimanı kaydının 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

Şekil 5.6'da; Baltalimanı'nda yapılmış olan kaydın tamamının 1/3 oktav bant analizi, frekans – ses düzeyi histogramı olarak görülmektedir. Baltalimanı kaydının 1/3 oktav bant analizinde, özellikle; 11 – 14 bantları, başka bir deyişle 140 – 355 *Hz* frekansları arasındaki ses düzeyleri dikkat çekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi; yüzey dalga hareketlerinin, sualtı ortam gürültüsüne etkileri; 0 – 100 *Hz* frekans aralığında belirgin olmaktadır. Deniz durumuna bağlı çalkantı, sprey, kabarcık, köpük gibi etkiler ise genelde 500 *Hz*'in üzerindeki frekanslarda baskın olmaktadır (Urick, 1984). Bu durumda; Baltalimanı kaydında etkili olduğu görünen 140 – 355 *Hz* aralığındaki seslerin, deniz yüzeyi etkilerinden kaynaklanmadığı ortadadır. Hidrofonun, deniz yüzeyi etkilerine açık olan konumuna rağmen; Baltalimanı kaydında baskın olan gürültü, başka bir kaynaktan yayılmaktadır.




**Şekil 5.7** Baltalimanı kaydında, LIDIA isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

Şekil 5.7'de; LIDIA isimli geminin, Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru transit geçişi sırasında, Baltalimanı bölgesindeki sualtı ortam gürültüsünün, 1/3 oktav bant analizi, frekans – ses düzeyi histogramı olarak görülmektedir. Bahsedilen LIDIA isimli gemi, Panama bandıralı bir dökme yük gemisidir. 180 metre uzunluğundaki geminin, Baltalimanı ölçüm noktasından geçişi sırasında hızı; 12,5 knot olarak ölçülmüştür. LIDIA isimli geminin geçişi sırasında, bölgedeki sualtı ortam gürültüsünde; 11 – 14 oktav bantları arasındaki frekanslarda, yüksek ses düzeyleri izlenmektedir. Bahsedilen frekans aralığı; Şekil 5.6'da tüm kaydın 1/3 oktav bant analizinde, yüksek ses düzeylerinin göründüğü frekans aralığı ile aynıdır. Bu durumda; Baltalimanı kaydında baskın olan gürültünün, gemi geçişlerinden kaynaklandığı görülmektedir.

Şekil 2.6 Gemi Gürültü Kaynaklarının Tipik Frekans Aralıkları grafiğine göre; 11 – 14 oktav bantları, başka bir deyişle 140 – 355 *Hz* frekansları arasında; pervane ötüşü, dişli – şaft aksamı, dizel jeneratörler, yardımcı makineler, makine yatağı gibi bileşenler etkili olmaktadır.

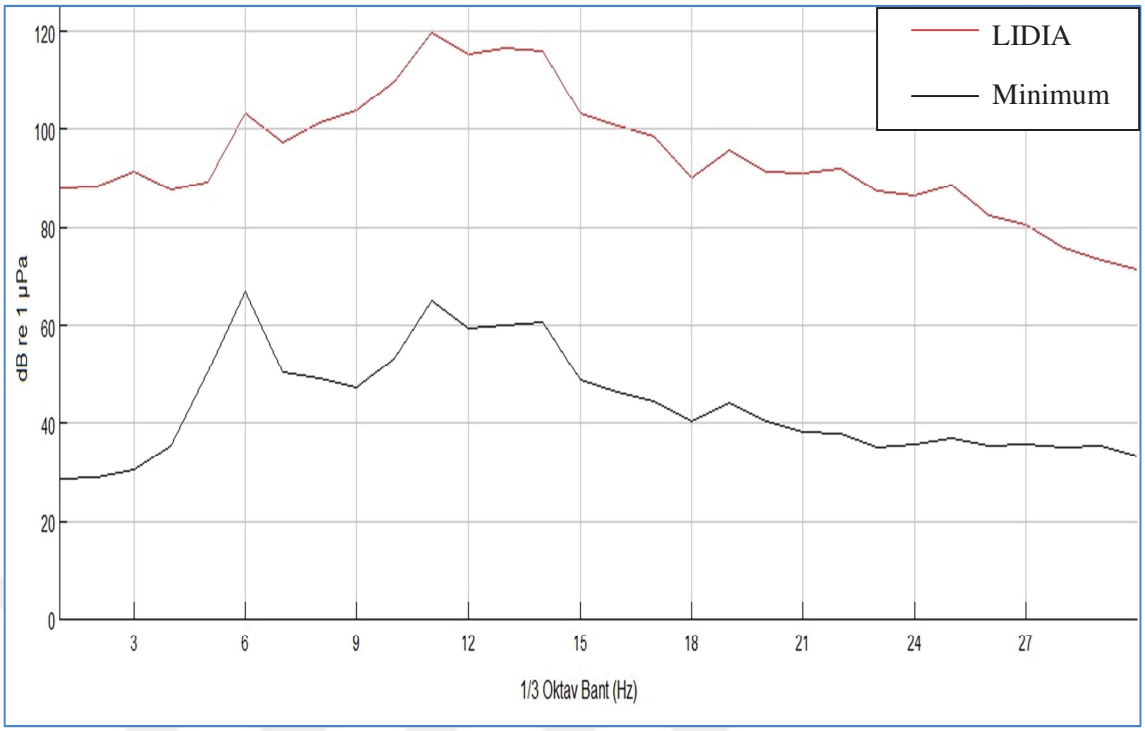



**Şekil 5.8** LIDIA (URL 1).

Özellikle, İstanbul Boğazı'nda yüzey akıntısının tersine, Karadeniz'e doğru seyreden gemilerde, gürültü kaynağı olarak; yukarıda bahsedilen bileşenlerin etkili olması oldukça doğaldır.

Şekil 5.7'deki grafikte en yüksek ses düzeyi noktası; 11. oktav bantta bulunmaktadır. 11. oktav batta okunan ses düzeyi; 120 *dB re 1µPa*'dır. Diğer yüksek ses düzeyleri ise; 13. oktav batta; 118 *dB re 1µPa*, 14. oktav bantta; 117,5 *dB re 1µPa* ve 12. oktav bantta 117 *dB re 1µPa*'dır. Bahsedilen ses düzeylerinin anlamlı olarak ifade edilebilmesi için; Baltalimanı kaydında, gemi geçişinin olmadığı kısımlar ile karşılaştırma yapmak gerekmektedir. İstanbul Boğazı'ndan gemi geçişleri, "konvoy" şeklinde yapılmaktadır. Bu nedenle, gemi geçişinin olmadığı kısımlar ifadesi; aslında, ölçüm noktasının, geçiş yapan iki geminin arasında kaldığı zaman dilimlerinden ibarettir. Bu durumda; gemi geçişinin olmadığı kısımlarda da, gemi kaynaklı seslerin etkisi, az da olsa görülebilmektedir.

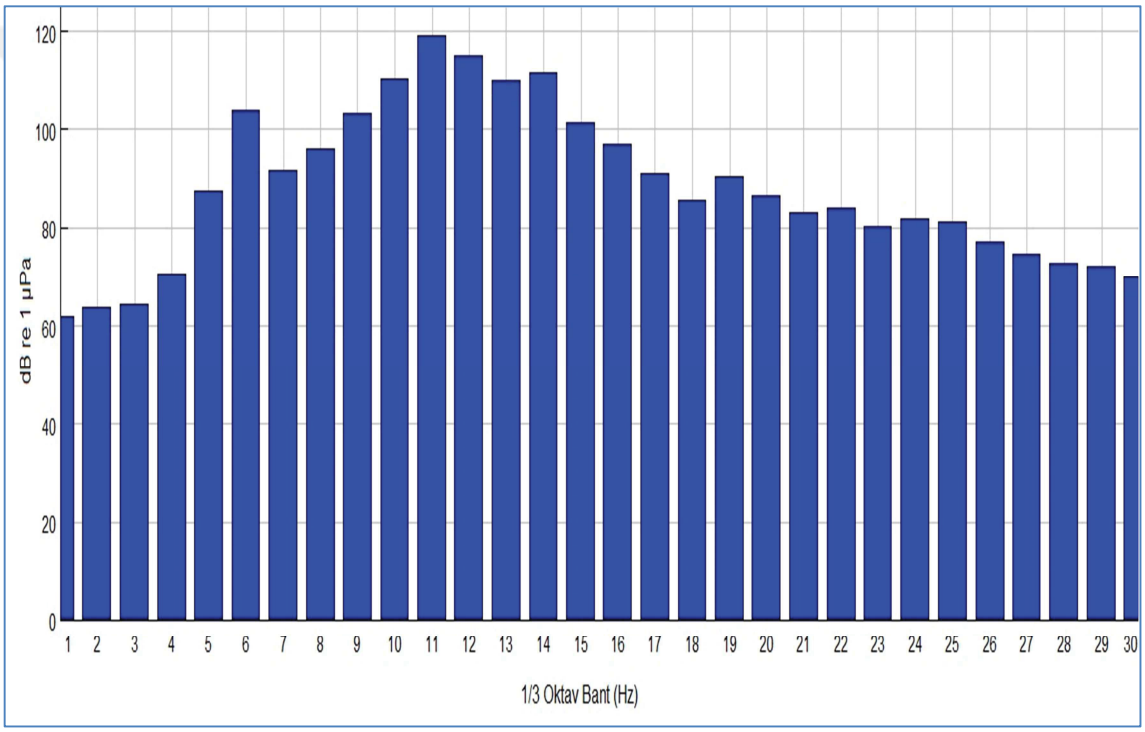
Şekil 5.9'da; Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar ile LIDIA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği verilmektedir.




**Şekil 5.9** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Minimum) ile LIDIA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği.

Şekil 5.9'daki grafik incelendiğinde; minimum ses düzeyi eğrisinde de gemi kaynaklı seslerin etkisi 11 – 14 oktav bantları arasında görülebilmektedir. Ancak bu etki, yukarıda da bahsedildiği gibi; İstanbul Boğazı'nda, transit gemi geçişlerinin, "konvoy" şeklinde yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, Baltalimanı kaydında minimum ses düzeyi eğrisi; ölçüm noktasının, iki geminin arasında olduğu zaman dilimlerinden seçilerek çizdirilmiştir. Minimum ses düzeyi eğisinde 11 – 14 oktav bantlar arasındaki tepe; LIDIA isimli geminin ses düzey eğrisindeki kadar belirgin değildir. Ayrıca, minimum ses düzeyi eğrisinde; 11 – 14 oktav bantları arasında bulunan gemi kaynaklı seslerin etkisi, 6. oktav bantta bulunan pikin altında kalmıştır. 6. oktav bant; 50 *Hz* merkez frekans ile 44,7 – 56,2 *Hz* frekansları arasını tanımlamaktadır. Yüzey dalga hareketleri, sualtı ortam gürültüsüne; 0 – 100 *Hz* frekans aralığında etki etmektedir. (Urick, 1984) Bu bağlamda, minimum ses düzeyi eğrisinde, 6. oktav bantta görülen pik; hidrofonun konumu dolayısıyla, yüzey dalga hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Gemi geçişleri sırasında ise; gemi kaynaklı gürültüler, bahsedilen yüzey dalga hareketlerinden kaynaklanan sesleri bastırmaktadır.

Şekil 5.9'da görüldüğü üzere; LIDIA isimli geminin geçişi sırasında, bölgedeki ses düzeyi, özellikle 11 – 14 oktav bantları arasında, ortalama 57 *dB re 1µPa* artış göstermiştir. Bahsedilen ses seviyesi artışı; bölgedeki sualtı ortam gürültüsünün, önemli şekilde yükselmesine neden olmuştur. Bu durumun, transit gemi geçişleri sırasında "matematiksel dizi" şeklinde yaşandığı göz önüne alınırsa; İstanbul Boğazı'nın her noktasında, gemi trafiği yönünde, sürekli bir gürültü akışı olduğu anlaşılmaktadır. Baltalimanı kaydı sırasında; LIDIA isimli geminin ardından, Malta bandıralı NADEZHDA isimli gemi geçiş yapmıştır.




**Şekil 5.10** Baltalimanı kaydında, NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

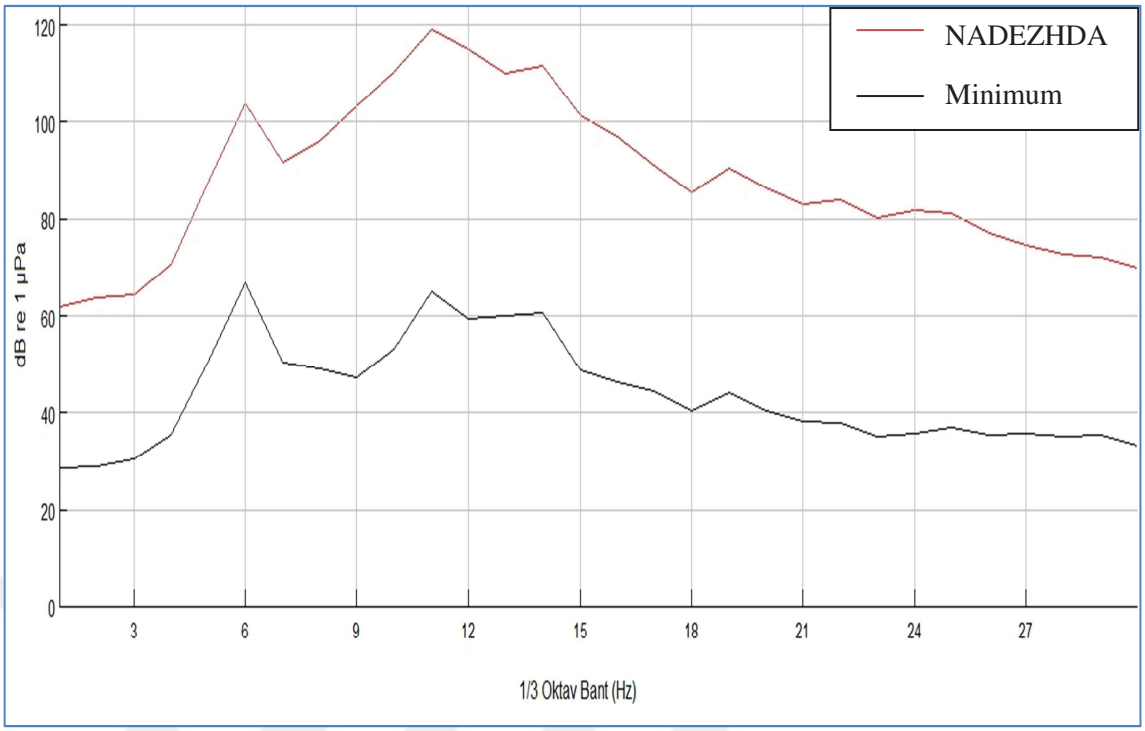
Şekil 5.10'da; NADEZHDA isimli geminin, Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru transit geçişi sırasında, Baltalimanı bölgesindeki sualtı ortam gürültüsünün, 1/3 oktav bant analizi, frekans – ses düzeyi histogramı olarak görülmektedir. Bahsedilen NADEZHDA isimli gemi, Malta bandıralı bir genel kargo gemisidir. 124 metre uzunluğundaki geminin, Baltalimanı ölçüm noktasından geçişi sırasında hızı; 8 knot olarak ölçülmüştür.




**Şekil 5.11** NADEZHDA (URL 1).

Şekil 5.10'daki grafikde en yüksek ses düzeyi noktası; 11. oktav bantta bulunmaktadır. 11. oktav batta okunan ses düzeyi; 118 *dB re 1µPa*'dır. Diğer yüksek ses düzeyleri ise; 12. oktav batta; 115 *dB re 1µPa*, 14. oktav bantta; 112 *dB re 1µPa*, 13. oktav bantta 110 *dB re 1µPa* ve 10. oktav bantta 110 *dB re 1µPa*'dır. NADEZHDA isimli gemi, LIDIA isimli gemiye göre, ses karakteristiği bakımından bazı farklar gösterse de; LIDIA ile benzer şekilde, makine ve pervane kaynaklı seslerin hâkim olduğu frekans aralıklarında gürültü yaymaktadır.

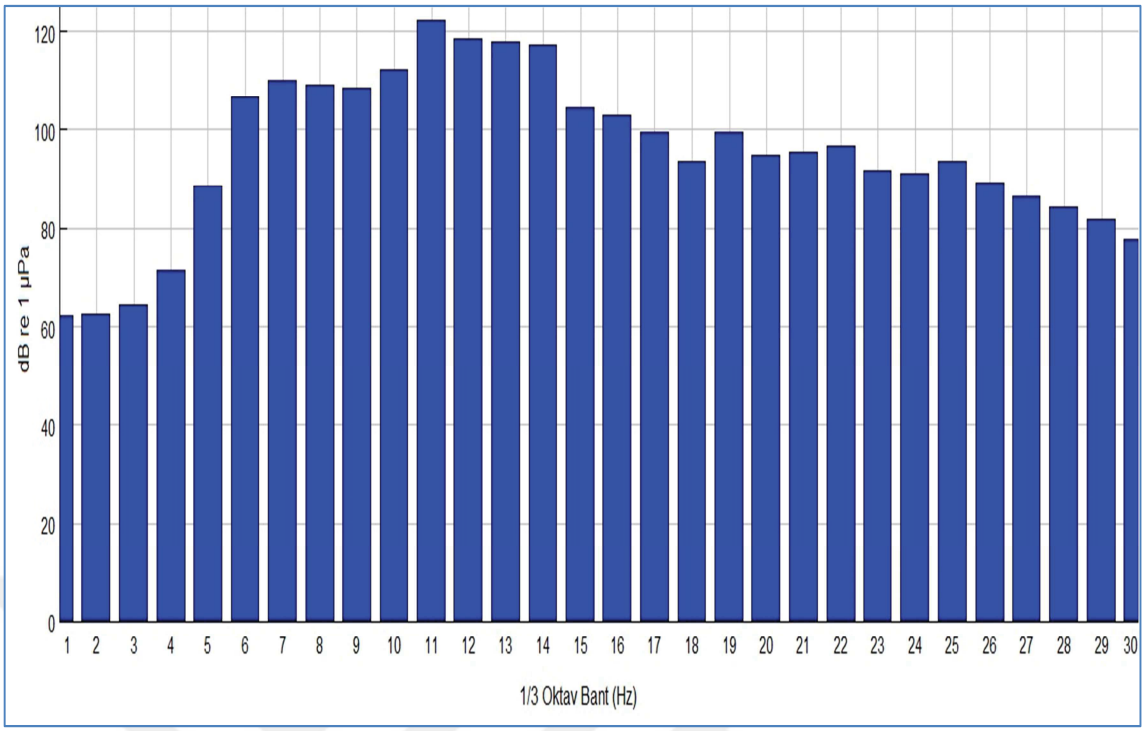
Şekil 5.12'de; Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar ile NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği verilmektedir.




**Şekil 5.12** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Minimum) ile NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği.

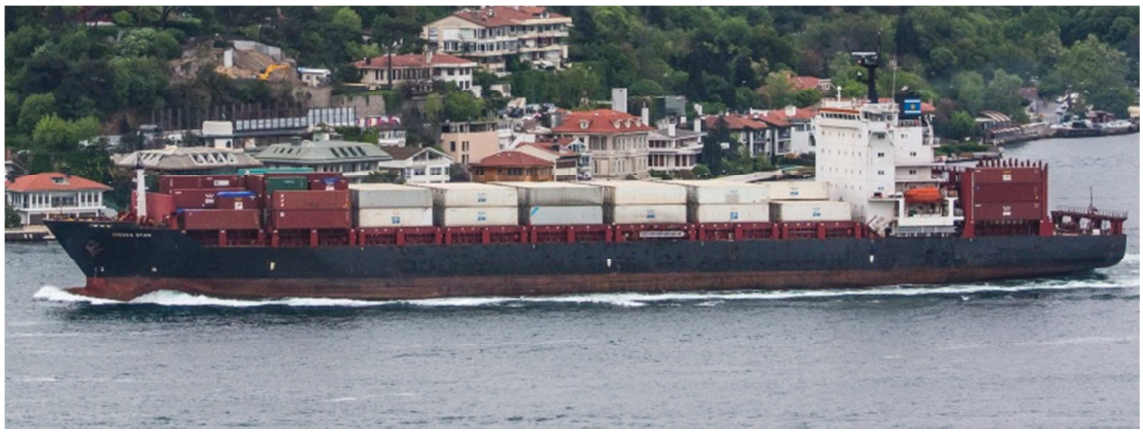
Şekil 5.12'de görüldüğü üzere; NADEZHDA isimli geminin geçişi sırasında, Baltalimanı ölçüm bölgesindeki ses düzeyi, özellikle 11 – 14 oktav bantları arasında, ortalama 55 *dB re 1µPa* artış göstermiştir. NADEZHDA isimli geminin ardından, Malta bandıralı ODESSA STAR isimli gemi geçiş yapmıştır.

Şekil 5.13'de; ODESSA STAR isimli geminin, Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru transit geçişi sırasında, Baltalimanı bölgesindeki sualtı ortam gürültüsünün, 1/3 oktav bant analizi, frekans – ses düzeyi histogramı olarak görülmektedir. Bahsedilen ODESSA STAR isimli gemi, Malta bandıralı bir konteyner gemisidir. 180 metre uzunluğundaki geminin, Baltalimanı ölçüm noktasından geçişi sırasında hızı; 14 knot olarak ölçülmüştür. Baltalimanı ölçümünde, gemi kaynaklı gürültünün etkili olduğu frekans aralığında, en yüksek ses seviyesi; ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasında kaydedilmiştir.



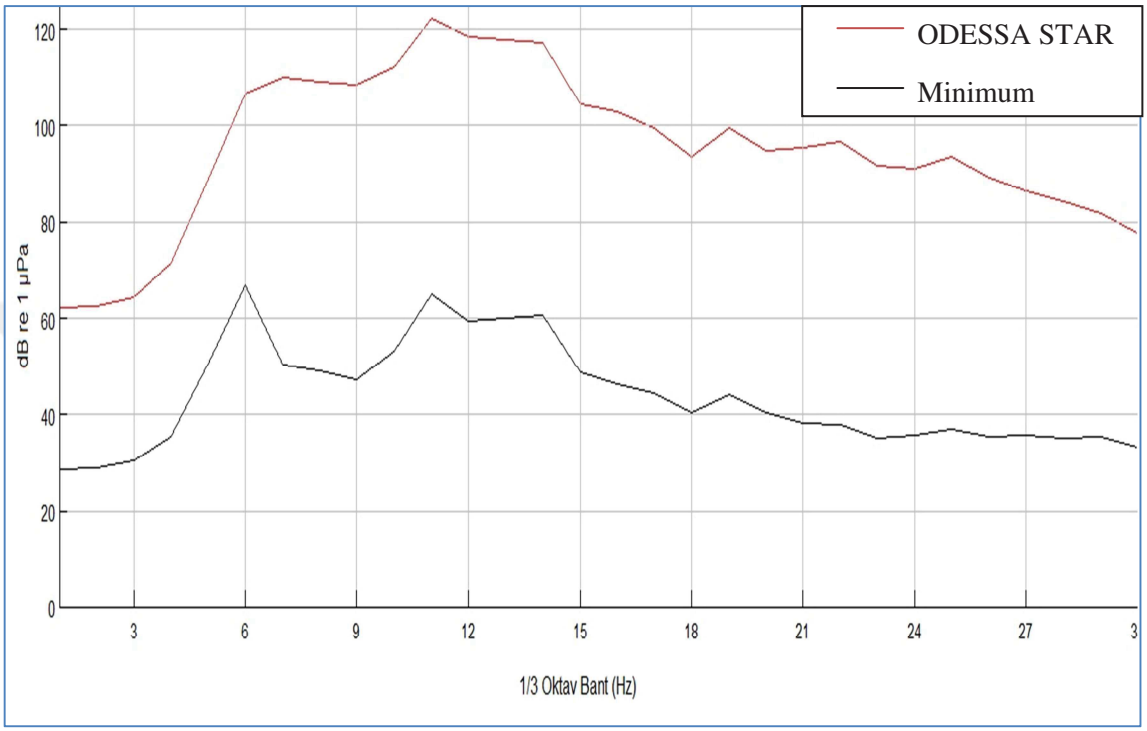

**Şekil 5.13** Baltalimanı kaydında, ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasında, sualtı ortam gürültüsünün 1/3 oktav bant analizi frekans histogramı.

Şekil 5.13'deki grafikde en yüksek ses düzeyi noktası; 11. oktav bantta bulunmaktadır. 11. oktav batta okunan ses düzeyi; 122 *dB re 1µPa*'dır. Diğer yüksek ses düzeyleri ise; 12. oktav batta; 119 *dB re 1µPa*, 13. oktav bantta; 118,5 *dB re 1µPa*, 14. oktav bantta 118 *dB re 1µPa*'dır.



**Şekil 5.14** ODESSA STAR (URL 1).

Şekil 5.15'de; Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar ile ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği verilmektedir.




**Şekil 5.15** Baltalimanı kaydında gemi geçişinin olmadığı kısımlar (Minimum) ile ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasındaki sualtı ortam gürültülerinin, 1/3 oktav bant analizi, karşılaştırma grafiği.

Şekil 5.15'de görüldüğü üzere; ODESSA STAR isimli geminin geçişi sırasında, Baltalimanı ölçüm bölgesindeki ses düzeyi, özellikle 11 – 14 oktav bantları arasında, ortalama 59 *dB re 1µPa* artış göstermiştir.

Bilindiği üzere; *dB* ölçeği, logaritmik artış göstermektedir. Desibel birimsiz bir büyüklüktür ve ses basınç değerlerinin logaritmik oranını belirtmektedir (National Research Council, 2003). Bu bağlamda; üç gemi de transit geçişleri esnasında, Baltalimanı bölgesindeki sualtı ortam gürültüsünü, oldukça yüksek seviyelere çıkarmıştır. Bahsedilen gemilerin, birbirlerine göre ses karakteristikleri farklılık

göstermektedir. Ancak üç gemi de; genel olarak, gemi makine ve pervane seslerinin hâkim olduğu frekans aralıklarında gürültü oluşturmuştur.

Tablo 5.1'de; Baltalimanı ölçüm bölgesinden, bahsedilen üç geminin geçişi sırasında, makine ve pervane seslerinin hâkim olduğu frekanslarda okunan ses düzeyleri sunulmaktadır.

**Tablo 5.1** LIDIA, NADEZHDA ve ODESSA STAR isimli gemilerin, makine ve pervane seslerinin etkili olduğu frekans aralıklarındaki ses düzeyleri

| **GEMİ İSMİ** | **10. Oktav Bant** | **11. Oktav Bant** | **12. Oktav Bant** | **13. Oktav Bant** | **14. Oktav Bant** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **112 – 141 *Hz*** | **141 – 178 *Hz*** | **178 – 224 *Hz*** | **224 – 282 *Hz*** | **282 – 355 *Hz*** |
| ODESSA STAR | 111 *dB re 1µPa* | 122 *dB re 1µPa* | 119 *dB re 1µPa* | 118,5 *dB re 1µPa* | 118 *dB re 1µPa* |
| LIDIA | 109 *dB re 1µPa* | 120 *dB re 1µPa* | 117 *dB re 1µPa* | 118 *dB re 1µPa* | 117,5 *dB re 1µPa* |
| NADEZHDA | 110 *dB re 1µPa* | 118 *dB re 1µPa* | 115 *dB re 1µPa* | 110 *dB re 1µPa* | 112 *dB re 1µPa* |

Daha önce de belirtildiği gibi; NADEZHDA 124 metre, LIDIA ve ODESSA STAR ise 180 metre uzunluğundadır. Baltalimanı ölçüm noktasından; LIDIA 12,5 knot, ODESSA STAR 14 knot, NADEZHDA ise 8 knot hız ile geçiş yapmıştır. 180 metre uzunluğunda olan ve 12 knot üzerinde seyreden iki gemi, LIDIA ve ODESSA STAR; oransal olarak, 12., 13. ve 14. oktav bantlarda, 11. oktav banttaki pik noktasına yakın ses düzeyleri çıkarmışlardır. 124 metre uzunluğunda olan ve 8 knot ile seyreden NADEZHDA ise; oransal olarak, 13. ve 14. oktav bantlarda, 11. oktav banttaki pik noktasından oldukça uzak ses düzeyi değerlerine sahiptir. Bahsedilen farklı ses karakteristiği; NADEZHDA'nın nispeten küçük boyutu ve düşük seyir hızı dolayısıyla, geminin çevresindeki türbülansın ve gemiden yayılan makine seslerinin, diğerlerine göre daha az olmasıyla açıklanabilir. Bunun yanında, Baltalimanı ölçüm bölgesindeki sualtı ortam gürültüsü, 11 – 14. oktav bantlarda; LIDIA'nın geçişi sırasında ortalama 57 *dB re 1µPa*, NADEZHDA'nın geçişi sırasında ortalama 55 *dB re 1µPa*, ODESSA STAR'ın geçişi sırasında ise ortalama 59 *dB re 1µPa* artış göstermiştir. Herhangi iki

geminin geçişleri arasında kalan zaman dilimlerinde kaydedilen ses düzeyleri baz alınıp, kıyaslama yapıldığında; bahsedilen artış miktarlarının, sualtı gürültü seviyesini, önemli derecede yükselttiği görülmektedir.

# 6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında; İstanbul Boğazı Haliç girişinde ve Baltalimanı bölgesinde, sualtı ortam gürültüleri, "düşük maliyetli hidrofon" vasıtasıyla kaydedilip, bu kayıtlar frekans – ses düzeyi temelinde analiz edilmiştir. İstanbul Boğazı; hem şehir içi deniz trafiğinin, hem de transit gemi geçişlerinin yoğun olduğu bir suyoludur. Sualtı akustiği literatüründe; şehir içi deniz trafiği; süreklilik arz eden bir gürültü kaynağı, gemiler ise; sürekliliği olmayan gürültü kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Şehir içi deniz trafiği; bir bölgedeki sualtı ortam gürültüsüne, bütün olarak, sürekli şekilde etki etmektedir. Gemiler ise; bir bölgedeki sualtı ortam gürültüsüne, o bölgeden geçişleri esnasında, belli bir süre için etki etmektedir. Dolayısıyla, Haliç ölçümü; şehir içi deniz trafiğinin, Baltalimanı ölçümü ise; transit gemi geçişlerinin, İstanbul Boğazı'ndaki sualtı ortam gürültüsüne etkilerini görmek adına yapılmıştır.

Haliç ölçümünde; şehir içi deniz trafiği kaynaklı etkilerin, bölgedeki sualtı ortam gürültüsünü, 20 – 900 *Hz* frekans aralığında, 30 – 60 *dB re 1μPa* arttırdığı saptanmıştır. Literatürün genelinde, gemi kaynaklı sesler ve deniz trafik gürültüsünün, spektrumda baskın olduğu bölge; 10 – 1000 *Hz* frekans aralığı olarak verilmektedir (Hodges, 2010; Urick, 1984). Bu bağlamda; Haliç ölçüm bölgesindeki deniz trafik gürültüsü, ilgili olduğu frekans bölgesinin neredeyse tamamında baskın karakter göstermektedir. Bölgedeki deniz trafik gürültüsünün nispeten seyrekleştiği kısımlara ile oranlandığında; sualtı ortam gürültüsündeki 30 – 60 *dB re 1μPa* seviyesindeki artışların, hissedilir etkilerinin olması kuvvetle muhtemeldir. Bölüm 2.4'te verilmiş olan örnekler de göz önüne alındığında; bahsedilen gürültü düzeyinin, Haliç bölgesindeki denizel canlılar üzerinde kaçınma, maskeleme, stres, denge ve davranış bozuklukları gibi etkiler oluşturması olasıdır.

Baltalimanı ölçümünde; gemi geçişleri sırasında, bölgedeki sualtı ortam gürültüsü, özellikle 120 – 350 *Hz* frekans aralığında, 55 – 60 *dB re 1μPa* artış göstermiştir. Şekil 2.6 Gemi Gürültü Kaynaklarının Tipik Frekans Aralıkları grafiğine göre, 100 – 500 *Hz* frekans aralığında; gemi etrafındaki türbülans, pervane ötüşü, dişli –

şaft aksamı, dizel jeneratörler, yardımcı makineler, makine yatağı gibi bileşenler birlikte etkili olmaktadır. Herhangi iki geminin geçiş seyirleri arasında kalan zaman dilimlerinde kaydedilen ses düzeyleri baz alındığında; bahsedilen artış miktarları, sualtı gürültü seviyesini, önemli derecede yükseltmiştir. İstanbul Boğazı'ndan günde ortalama 150 gemi geçişi olduğu göz önüne alınırsa; İstanbul Boğazı sualtı ortamında, gemi trafiği yönünde, sürekli bir gürültü akışı olduğu anlaşılmaktadır.

Sualtı ortam seslerinin kaydedilmesi için kullanmış olduğumuz; "düşük maliyetli hidrofon" geliştirilmeye açık olmakla birlikte, ilk örnek olması itibarıyla oldukça iyi bir performans göstermiştir. Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te de görüldüğü üzere; düşük maliyetli hidrofonun iç sesleri, İstanbul Boğazı gibi deniz trafiğinin ve gemi geçişlerinin yoğun olduğu ortamlarda sualtı gürültüsünü tespit etmek için uygun seviyededir.

Yapılmış olan kayıtların analizlerinden görüldüğü üzere; düşük maliyetli hidrofon, yaklaşık 15 – 15000 *Hz* gibi geniş bir frekans aralığındaki sesleri algılayabilmektedir. Ayrıca; düşük maliyetli hidrofonun frekans tespitlerinin tutarlı olduğu görülmektedir:

Haliç ölçümünün yapılma amacı; sürekli bir gürültü kaynağı olan şehir içi deniz trafik seslerinin kayıt edilmesidir. Ölçüm öncesinde; konuyla ilgili kaynakların ışığında, deniz trafik seslerinin, 10 – 1000 *Hz* frekans aralığında hâkim olması beklenmiştir. Ölçüm sırasında ise; hem izlem, hem de eş zamanlı akustik dinleme sayesinde, Haliç Bölgesinde, şehir içi deniz trafiğinin yoğunluğu ve akustik hakimiyeti fark edilmiştir. Düşük maliyetli hidrofon vasıtasıyla Haliç'te yapılmış olan kayıtlar analiz edildiğinde; ses seviyesi en yüksek frekans aralığı, 20 – 900 *Hz* olarak belirlenmiştir. Bu durumda; düşük maliyetli hidrofonun akustik frekans tespitlerinin, Haliç'teki sualtı ortamı için tutarlı olduğu görülmektedir.

Baltalimanı ölçümü; süreklilik arz etmeyen bir gürültü kaynağı olarak nitelendirilen gemi seslerinin tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Gemiler müstakil ses kaynakları olduğudan; gemi bünyesindeki makine, pervane, boru donatımı gibi elemanlar ve gemi bordası çevresindeki hidrodinamik akım, türbülans, kavitasyon gibi etkenler, gemilerden yayılan ses karakteristiğini belirlemektedir. Düşük maliyetli hidrofon vasıtasıyla Baltalimanı'nda yapılmış olan kayıtlar analiz edildiğinde; gemi geçişleri sırasında en yüksek ses seviyesi artışları, 120 – 350 *Hz* frekans aralığında

görülmektedir. Bahsedilen frekans aralığı; özellikle pervane, makine ve hidrodinamik kaynaklı seslerin beraberce etkili olduğu bir bölgedir. Bu bağlamda; Haliç ölçümüyle birlikte değerlendirildiğinde, düşük maliyetli hidrofonun akustik frekans tespitlerinin, Baltalimanı sualtı ortamı için de uygun olduğu söylenebilir.

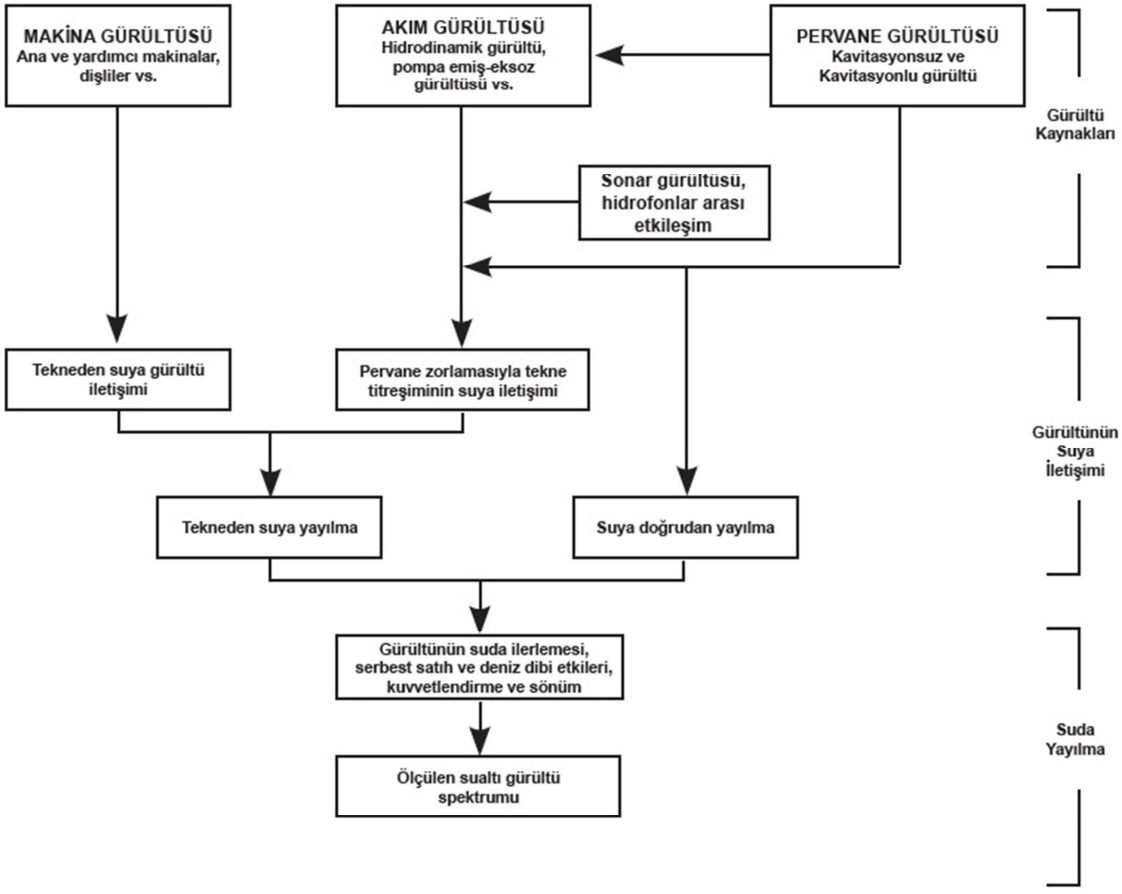
Yapılmış olan analizler dikkate alındığında, düşük maliyetli hidrofonun ses seviyesi hassasiyetinin de oldukça iyi olduğu görülmektedir:

Düşük maliyetli hidrofon, bir referans ses düzeyine göre kalibre edilmemiş olmasına rağmen; yapılmış olan ölçümlerde, deniz trafiği ve gemi geçişlerinin sualtı ortam gürültüsü üzerindeki etkilerinin ayırt edilmesini sağlayan ses seviyesi artışları tespit etmiştir. Haliç ölçümünde, halihazırda yüksek ses seviyelerinde seyreden deniz trafik gürültüsünde, balıkçı teknesinin bölgeye gelişi ve tornistan manevrası sırasında, ses seviyesinde yaklaşık 30 *dB re 1µPa* artış tespit edilmiştir. Bahsedilen ses seviyelerinde, düşük maliyetli hidrofonun algılamış olduğu 30 *dB re 1µPa* artış, sualtı ortam gürültüsünü arttıran etkenin ayırt edilebilmesi için yeterlidir. Aynı şekilde; Baltalimanı ölçümünde, gemi geçişleri sırasında, sualtı ortam gürültüsünde, 55 – 60 *dB re 1µPa* artış tespit edilmiştir. Bahsedilen artış miktarları, sualtı ortam gürültüsünü arttıran etkinin ayrıt edilebilmesi için oldukça yeterlidir.

Sonuç olarak; bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nda sualtı ortam gürültüsü ve gemi trafiği kaynaklı "akustik emisyonun" tespiti adına bir basamak oluşturulması amaçlanmıştır. Bu basamak hakkındaki her türlü, menfi veya müspet tartışma; konunun detaylı şekilde çalışılması adına faydalı olacaktır. Dünyadaki örneklere bakıldığında; sualtı ortam gürültüsü ve insan kaynaklı "akustik emisyon" hakkındaki çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çalışmalar, bahsedilen "akustik emisyonun" kontrol altına alınmasına yönelik kural ve standartlara önayak olacaktır. Bahsedilen standartların hazırlanma sürecinde, paydaşlardan biri olmak için; ülkemizdeki boğaz, koy ve kıyılarda, sualtı gürültü düzeyi ve akustik emisyon etkenleri ile ilgili çalışmalar yapılması büyük önem taşımaktadır.

# 7.ÖNERİLER

Şekil 7.1'deki çizelgeden görüldüğü üzere; her bir gemi toplamda bir ses kaynağı olarak ortaya koyulmaktadır. Özellikle Baltalimanı kaydı, bu doğrultuda akustik veriler içermektedir. Geçiş yapan gemiler, yekpare bir ses kaynağı olarak algılanmıştır. Gemi gürültüsünün, sualtı ortam gürültüsüne katkısı saptanırken; gemilerin yekpare bir ses kaynağı olarak düşünülmesi doğrudur. Ancak gemi üzerinde, gürültüye karşı önlemler alınırken, her bir bileşen için özelleşmiş çözümler gerekmektedir.




**Şekil 7.1** Bir geminin gürültü mekanizmaları (Odabaşı ve Akman Pek, 2010).

IMO kodları (*International Maritime Organization – Uluslararası Denizcilik Organizasyonu*) ve SOLAS (*Safety of Life at Sea – Denizde Can Güvenliği Sözleşmesi*); gemi içinde mürettebatın maruz kaldığı gürültü seviyeleri ile ilgili standartlar belirlemektedir. Aynı türden bir standardın, gemilerden, sualtı ortamına yayılan gürültü için de belirlenmesine yönelik çalışmalar sürmektedir.

Gemilerde "akustik emisyonunun" önlenmesi için temel yöntemler; makine, pervane, boru donatımı gibi gürültü kaynaklarının ses seviyelerini olabildiğince düşük tutmak ve bahsedilen gürültü kaynaklarından suya yayılan sesleri azaltmaktır. Bahsedilen yöntemlerin uygulamaları; dizayn iyileştirmeleri ve yalıtım önlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Örnek olarak; makine bağlantılarının özelleştirilmesi veya makinelerin akustik yalıtımlı kutu içine alınması gibi önlemler, makinelerden yayılan seslerin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemler uygulanırken; makine bağlantıları, rezonans yaratmayacak katılıkta yapılmalıdır. Makine ile irtibatlı olan boru, egzoz, şaft vb. bağlantılar esnek ve akustik sönümleyici tipte olmalıdır (Odabaşı ve Akman Pek, 2010).

Ayrıca pervanelerde oluşan kavitasyon ve türbülansların önlenmesi için pervane kanat dizaynlarının iyileştirilmesi ve her gemi için özelleştirilmiş pervane tasarımlarının uygulanması; gemi kaynaklı sualtı gürültülerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Her gemi için optimum pervane tasarımlarının yapılabilmesi; oldukça detaylı hesaplama ve deneyler gerektirmektedir.

Makine, dişli ve pervane dışında, gemilerdeki diğer bir önemli gürültü kaynağı da boru donatımlarıdır. Boru donatımlarında kullanılan taşıma ve bağlantı elemanlarının, akustik sönümleyici özelliğe sahip olması; titreşim iletimini önleme açısından oldukça önemlidir. Boru donatımlarının destek bağlantılarının, geminin dış kaplamasına bağlanmaması; gemi bünyesinden sualtına yayılan sesleri azaltacaktır (Odabaşı ve Akman Pek, 2010).

Sonuç olarak; mevcut teknikte, gemilerin gürültü emisyonunu azaltmaya yönelik; birçok önlem bulunmaktadır. Tasarım ve inşa aşamalarında, sualtı gürültüsü ile ilgili gerekli hassasiyetin gösterilmesi durumunda, daha sessiz gemilerin üretilebileceği aşikârdır. Ancak bahsedilen hassasiyetin yaygınlaşması ve genel olarak uygulanması; gerekli standart ve kuralların belirlenmesi ile sağlanacaktır. Standart ve kuralların

oluşturulması ise; gemi kaynaklı gürültünün etkileri ile ilgili çerçevenin net olarak çizilmesiyle mümkün olacaktır. Sualtı ortam gürültüsünün tespiti, yorumlanması ve olası sorunlara çözüm getirilmesi için çoklu-disiplin içeren araştırma gruplarının koordineli çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, sualtı akustiği ile ilgili denizel çevre temelli, farklı disiplinlerden bakış açıları içeren araştırma ve çalışmalar; bahsedilen çerçevenin çizilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışma; İstanbul Boğazı'ndaki deniz trafiği ve gemi geçişlerinin sualtı ortam gürültüsüne katkılarını saptamayı amaçlayan bir tespit çalışmasıdır. Bir sonraki basamak; deniz trafiği ve gemi kaynaklı seslerin, İstanbul Boğazı'nda bulunan ve/veya geçiş yapan denizel canlılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi ile koyulabilir.

# KAYNAKLAR


ALPAR, B., ve YÜCE, H. (1998). Sea-level Variations and their Interactions Between the Black Sea and the Aegean Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 609-619.

BARLOW, J., RANKİN, S. ve DAWSON, S. (2008). A Guide to Constructing Hydrophones and Hydrophone Arrays for Monitoring Marine Mammal Vocalizations. The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Technical Memorandum. U.S. Department of Commerce.

CODARİN, A., WYSOCKİ, L. E., LADİCH, F. ve PİCCİULİN, M. (2009). Effects of Ambient and Boat Noise on Hearing and Communication in Three Fish Species Living in a Marine Protected Area (Miramare, Italy). Marine Pollution Bulletin.

Conservation and Development Problem Solving Team Graduate Program in Sustainable Development and Conservation Biology. (2000). Anthropogenic Noise in the Marine Environment. Maryland: The National Oceanic and Atmospheric Administration and The Marine Conservation Biology Institut.

ÇALIŞKAN, M. (2005). Gürültü: Temel Kavramlar. TTMD Dergi (39).

DOSITS. (2016). Discovery of Sound in the Sea. 01 22, 2017 tarihinde DOSITS Web sitesi: http://www.dosits.org adresinden alındı

DTGM. (2015). Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü İstatistik Bilgi Sistemi. 05 22, 2016 tarihinde https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx adresinden alındı

ERBE, C. (2011). Underwater Acoustics: Noise and the Effects on Marine Mammals . JASCO Applied Sciences.

ERTAN, A. (2010). İstanbul Boğazı'nda Balıkçılık. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.

ETTER, P. C. (2003). Underwater Acoustic Modeling and Simulation. Londra: Spon Press.

EVANS, D. H. ve CLAİBORNE, J. B. (2006). The Physiology of Fishes, Third Edition. Florida: Taylor & Francis Group LLC.

FİNLEY, K. J., MİLLER, G. W., DAVİS, R. A. ve GREENE, C. R. (1990). Reactions of Belugas and Narwhals to Ice Breaking Ships in the Canadian High Arctic. Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Science , 97-117.

GARD, R. (1974). Aerial Census of Gray Whales in Baja California Lagoons, 1970 and 1973, with Notes on Behavior, Mortality and Conservation. California Fish and Game , 132-143.

GAZİOĞLU, C., OKUTAN, V. ve MÜFTÜOĞLU, A. E. (2014). Patent No. EP2975432. Avrupa Patenti.

Gemi Trafik. (2010). 2014 tarihinde Gemi Trafik Canlı Gemi İzleme Web Sitesi: http://www.gemitrafik.com/charts.htm adresinden alındı

GESAMP. (1991). Reports and Studies No:47. Roma: FAO of The United Nations.

Government of Gibraltar (2011). Marine Strategy Regulations in Gibraltar, LN. 2011/013

HODGES, R. P. (2010). Underwater Acoustics Analysis, Desing and Performance of Sonar. John Wiley and Sons, Ltd., Publication.

İstanbul Liman Başkanlığı. (2011). İstanbul Liman Başkanlığı Yerel Deniz Trafiği Rehberi. İstanbul.

LESAGE, V., BARRETTE, C., KİNGSLEY, M. C. ve SJARE, B. (1999). The Effect of Vessel Noise on the Vocal Behavior of Belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada. Marine Mammal Science , 65-84.

LOBO, V. J. (2002). Ship Noise Classification. Lizbon: New University of Lisbon, College of Science and Technology.

MACKENZİE, K. V. (1981). Nine-term equation for sound speed in the oceans. The Journal of the Acoustical Society of America .

MİTSON, R. B. (2000). Fish Avoidance: The Vessel Noise Factor. Incorporation of External Factors in Marine Resources Surveys .

National Research Council. (2003). Ocean Noise and Marine Mammals. Washington D.C.: The National Academies Press.

NEDWELL, J. R., EDWARDS, B., TURNPENNY, A. W. ve GORDON, J. (2004). Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information. Hampshire: Subacoustech Ltd.

NEDWELL, J. R., TURNPENNY, A. W., LOVELL, J., PARVİN, S. J., WORKMAN, R. ve SPİNKS, J. A. (2007). A validation of the dBht as a measure of the behavioural and auditory effects of underwater noise. Hants : Subacoustech Ltd.

ODABAŞI, Y. ve AKMAN PEK, N. (2010). Sualtı Gürültüsü: Kaynaklar, Yöntemler ve Önlemler. Gemi ve Deniz Teknolojisi , 7-13.

OGP. (2008). Fundamentals for Underwater Sound. The International Association of Oil and Gas Producers.

OSPAR. (2009). Overview of the Impacts of Anthropogenic Underwater Sound in the Marine Environment. OSPAR Commission.

ÖZTÜRK, B., ve ÖZTÜRK, A. A. (1996). On the Biology of the Turkish Straits System. Bulletin de L'Institut Oceanographique , s. 205-221.

POPPER, A. N. ve FAY, R. R. (1993). Sound Detection and Processing by Fish: Critical Review and Major Research Questions . Brain, Behavior and Evolution , 14-25.

POPPER, A. N. ve HASTİNG, M. C. (2009). The Effects of Anthropogenic Sources of Sound on Fishes. Journal of Fish Biology , 455-489.

ROLLAND, R. M., PARKS, S. E., HUNT, K. E., CASTELLOTE, M., CORKERON, P. J. ve NOWACEK, D. P. (2012). Evidence that Ship Noise Increases Stress in Right Whales. Proceedings of the Royal Society .

RØSTAD, A., KAARTVEDT, S., KLEVJER, T. A. ve MELLE, W. (2006). Fish Are Attracted to Vessels. ICES Journal of Marine Science , 1431-1437.

SARÀ, G., DEAN, J. M., D'AMATO, D., BUSCAINO, G., OLIVERI, A. ve GENOVESE, S. (2007). Effect of Boat Noise on the Behaviour of Bluefin Tuna Thunnus Thynnus in the Mediterranean Sea. Marine Ecology Progress Series , 243-253.

TREVORROW, M. V., VASİLİEV, B. ve VAGLE, S. (2008). Directionality and Maneuvering Effects on a Surface Ship Underwater Acoustic Signature. Journal Acoustical Society of America , 767–778.

TÜDAV. (2014). Türkiye Deniz Araştırmaları Vakfı Web Sitesi: http://www.tudav.org adresinden alınmıştır.

Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü, 23515 (1998).

URİCK, R. J. (1979). Sound Propagation in the Sea. Washington: Defense Advanced Research Projects Agency.

URİCK, R. J. (1984). Ambient Noise in the Sea. Washington D.C.: Undersea Warfare Technology Office.

URL 1. https://www.marinetraffic.com/tr

URL 2. http://www.lukemiller.org/journal/2009/11/simple-hydrophone.html

YÜKSEL, Y., AYAT, B., ÖZTÜRK, N. M., AYDOĞAN, B., GÜLER, I. ve ÇEVİK, E. Ö. (2007). İstanbul Boğazı'nda Akıntı İklimi Çalışması. 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu , s. 263-270.