

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN ULB
CİHAZLARININ GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ**

ERCAN KIVANÇ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN ULB
CİHAZLARININ GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ

ERCAN KIVANÇ

Doç.Dr. Satılmış ÜRGÜN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. Faruk ARAS
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. Erhan BÜTÜN
Jüri Üyesi, Özyeğin Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2018



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bir havacılık çalışanı olarak gerek eğitim gerekse çalışma hayatımda öğrendiğim en önemli kavram emniyet kavramıdır. Uçuş emniyeti her şeyden önce gelmelidir. Havacılık kuralları yaşanan kaza-kırım ve benzeri olaylardan çıkarılan dersler ile sürekli değişmekte ve emniyet seviyesi yükselmektedir. Bu tip olaylardan sonra FDR-CVR kayıt cihazlarının ve uçak enkazının incelenmesi bu zincirin en önemli halkasıdır. Bu işleyişin aksaması, bilgi, teknoloji ve tecrübe açısından havacılık endüstrisinin geldiği nokta göz önünde bulundurulduğunda, oldukça rahatsız edicidir. Yüksek lisans tezimi ULB konusunda yazmamdaki en önemli etken budur.

Bana olan inancını hiç kaybetmeyen, büyük bir sabırla beni destekleyen ve cesaretlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Satılmış ÜRGÜN'e teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan aileme, benim en büyük destekçim ve moral kaynağım olan, varlığıyla hayatıma anlam katan biricik eşim Zehra KIVANÇ'a ve canım oğlum Ali Yahya KIVANÇ'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Haziran – 2018

Ercan KIVANÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. SUALTI ORTAMININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ.....	5
1.1. Su Altı Akustiğine Genel Bakış	5
1.2. Su Altı Akustiğinin Tarihi.....	6
1.3. Akustik Dalga	7
1.4. Ses Bilimi ile İlgili Bazı Tanımlar	7
1.4.1. Ses basıncı.....	9
1.4.2. Ses şiddeti	9
1.4.3. Desibel kavramı	9
1.5. Su Altı Ses Hızı ve Ses Hızını Etkileyen Faktörler.....	10
1.5.1. Sıcaklık.....	12
1.5.2. Tuzluluk	12
1.5.3. Basınç.....	12
1.5.4. Termoklin.....	12
1.5.5. SOFAR kanalı	13
1.6. Su Altı Ses İletimi	13
1.6.1. Yansıma	13
1.6.2. Kırılma	13
1.6.3. Saçılma.....	14
1.7. Sinyal Zayıflaması	15
1.7.1. Yayılım kaybı.....	15
1.7.2. Emilim kaybı	16
1.8. Gürültü	17
1.8.1. Ortam gürültüsü	18
1.8.2. Yankılanma	19
1.8.3. Kendinden gürültü.....	20
1.9. Okyanusta Ses Yayılımı ve Yayılım Kanalları	20
1.9.1. Yüzeysel kanal.....	22
1.9.2. Derin ses kanalı	23
1.9.3. Toplanma bölgesi yayılımı.....	23
1.9.4. Güvenilir akustik yol yayılımı	24
1.9.5. Sığ sularda yayılım.....	24
1.9.6. Kutup denizlerinde yayılım.....	25
1.9.7. Çok yönlü yayılım.....	25
1.10. Yayılım Kaybı Modelleri	25
1.10.1. Işın teorisi.....	26

1.10.2. Normal modlar	26
1.10.3. Parabolik eşitlikler	26
1.11. Sonar Sistemleri	27
1.12. Kaynak ve Alıcılar	27
1.13. Sonar Denklemi.....	28
1.13.1. Aktif sonar denklemi.....	28
1.14. Doppler Shift.....	30
1.15. Sinyal İşleme.....	30
2. SUALTI KONUMLAMA VERİCİSİ (UNDERWATER LOCATOR BEACON)	31
2.1. FDR ve CVR.....	32
2.1.1. Bilgilerin depolanması	33
2.1.2. Kaza dayanımı.....	34
2.1.3. Analiz	35
2.2. ULB'nin İlk Tasarım Özellikleri.....	35
2.3. ULB Karakteristikleri.....	37
2.3.1. Fiziksel özellikler	38
2.3.2. Çalışma prensibi.....	38
2.3.3. Teknik özellikler	39
2.3.4. Kısıtlamalar	40
2.4. Transdüser	40
2.4.1. Transdüser cevabı	41
2.5. ULB'nin Sualtı Performansı Hakkında Bazı Deneysel Örnekler	42
2.6. Uçak Üzerinde ULB Bakımı.....	44
2.7. ULB Problemi	46
3. UÇAK KAZASI VAKALARI.....	48
3.1. AF447.....	48
3.2. MH370	51
3.3. US1549.....	52
3.4. Air India Flight 182.....	52
3.5. MS804.....	53
3.6. Kazalardan Sonra Yapılan Emniyet Tavsiyeleri.....	53
3.7. Düşük Frekanslı ULB	54
4. BULGULAR	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	64
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Transverse ve Longitudinal dalga gösterimleri.....	7
Şekil 1.2.	Akustik dalganın zaman – basınç grafiği.....	8
Şekil 1.3.	Derinliğe göre sıcaklık, tuzluluk ve basınç profilleri	10
Şekil 1.4.	Derinliğe göre ses hızı profili	11
Şekil 1.5.	Asfalt yoldan kuma geçen askerlerin yürüyüş yönlerinin kırılması	14
Şekil 1.6.	KHz bandındaki çeşitli frekanslar için mesafeye göre toplam iletim kayıpları.....	15
Şekil 1.7.	Geometrik yayılım modelleri	16
Şekil 1.8.	Sualtı gürültü kaynakları.....	17
Şekil 1.9.	Akustik modelleme ve analiz için ortam gürültüsü standartları	18
Şekil 1.10.	Homojen bir ortamdaki ideal ışın yolları	20
Şekil 1.11.	Snell Yasası.....	21
Şekil 1.12.	Temel yayılım yolları.....	21
Şekil 1.13.	16 metre derinlikte bulunan bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının yüzey kanalındaki yayılımını gösteren ışın diyagramı	22
Şekil 1.14.	Okyanustaki sıcaklık ve ses hızı arasındaki şematik ilişki	23
Şekil 1.15.	Aktif sonar ve bazı denklem parametreleri.....	28
Şekil 2.1.	FDR ve ULB	32
Şekil 2.2.	Cockpit Voice Recorder (CVR).....	33
Şekil 2.3.	Hafıza çipi ve manyetik şerit	34
Şekil 2.4.	Kazada hasar görmüş bir CVR	34
Şekil 2.5.	Yangında hasar görmüş bir koruyucu muhafazanın sağlamı	35
	ile karşılaştırılması	35
Şekil 2.6.	FAA testlerinde kullanılan ULB modeli.....	36
Şekil 2.7.	Underwater Locator Beacon	38
Şekil 2.8.	Nominal darbe dizileri	39
Şekil 2.9.	Farklı geometrilerdeki piezoelektrik transdüserler	41
Şekil 2.10.	DK140 ULB akustik yayılım paterni	43
Şekil 3.1.	Uçağın bilinen son pozisyonu, ULB için taranan bölge, enkazın bulunduğu yer ve su üzerinde yüzen enkaz parçalarının konumları	49
Şekil 3.2.	Enkaz parçalarının okyanus tabanına dağılmış hali.....	50

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dalga gürültü seviyeleri (Hz – dB).....	19
Tablo 2.1. FAA testlerinde kullanılan ULB özellikleri.....	36
Tablo 2.2 ULB ve ULD cihazlarının bazı teknik özellikleri.....	39
Tablo 2.3 Referans ULB'nin bazı test değerleri	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	: Ses/Işık Hızı (m/s)
f	: Frekans (Hz)
I	: Ses şiddeti (watt/m ²)
p	: Akustik Basınç (Pa)
R	: Mesafe (m)
S	: Tuzluluk (ppt)
u	: Parçacık hızı (m/s ²)
W	: Güç (Watt)
Z	: Derinlik (m)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
α	: Emilim Katsayısı
Δf	: Doppler Kayması
ΔV	: İzafi Hız (m/s)
λ	: Dalga Boyu (m)

Kısaltmalar

AG	: Array Gain (Dizi Kazancı)
ATSB	: Australian Transport Safety Bureau (Avustralya Taşımacılık Emniyet Bürosu)
AUV	: Autonomous Underwater Vehicle (Otonom Sualtı Aracı)
BEA	: Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (Sivil Havacılık Güvenliği Araştırma ve Analiz Bürosu)
CVR	: Cockpit Voice Recorder (Kokpit Ses Kaydedicisi)
DFDAU	: Digital Flight Data Acquisition Unit (Dijital Uçuş Data Edinim Ünitesi)
DI	: Directivity Index (Yönlülük İndeksi)
DT	: Detection Threshold (Tespit Eşiği)
EASA	: European Aviation Safety Agency (Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı)
ELT	: Emergency Locator Transmitter (Acil Durum Konumlama Vericisi)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
FDR	: Flight Data Recorder (Uçuş Veri Kaydedicisi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
ICAO	: International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu)
INS	: Inertial Reference System (Eylemsizlik Referans Sistemi)
NL	: Noise Level (Gürültü Seviyesi)
NTSB	: National Transportation Safety Board (Ulusal Taşımacılık Emniyet Kurulu)
ROV	: Remotely Operated Underwater Vehicle (Uzaktan Kumandalı Sualtı Aracı)

SAE	: Society of Automobile Engineers (Otomobil Mühendisleri Derneği)
SE	: Signal Excess (Sinyal Fazlası)
SL	: Source Level (Kaynak Seviyesi)
SNR	: Signal to Noise Ratio (Sinyal – Gürültü Oranı)
SOFAR	: Sound Fixing and Ranging (Ses Sabitleme ve Mesafe Tayini)
SONAR	: Sound Navigation and Ranging (Ses Seyrüseferi ve Mesafe Tayini)
SS	: Sea State (Deniz Durumu)
TL	: Transmission Loss (İletim Kaybı)
TS	: Target Strength (Hedef Gücü)
TSO	: Technical Standart Order (Teknik Standart Emri)
UHF	: Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
ULB	: Underwater Locator Beacon (Sualtı Konumlama Vericisi)
ULD	: Underwater Locating Device (Sualtı Konumlayıcı Cihaz)
@ 1 m	: 1 metrede



HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN ULB CİHAZLARININ GÜVENİLİRLİK İNCELEMESİ

ÖZET

Halk tarafından genelde kara kutu olarak bilinen FDR (Flight Data Recorder) ve CVR (Cockpit Voice Recorder) kayıt cihazları havacılık için çok önemlidir. Havacılıkta FDR ve CVR cihazlarına takılı olarak kullanılan ULB (Underwater Locator Beacon) ise su ile temas ettiğinde belirli bir frekansta akustik sinyal yayan bir sualtı ses vericisidir. Enkazın suya battığı hava aracı kazalarında, arama – kurtarma ekiplerinde bulunan akustik alıcılar vasıtası ile ULB sinyalleri tespit edilir ve kayıt cihazlarının sualtındaki konumları hesaplanır. Bu sayede kayıt cihazlarına ve uçak enkazına ulaşılabilir, kazanın kök nedenlerini bulmak için araştırmalar yapılabilir. Son yıllarda yaşanan bazı uçak kazalarında okyanusa düşen uçakların arama çalışmalarında ULB cihazlarının tespit edilemediği görülmüştür. Havacılık dünyasında sık tartışılan bir konu haline gelen ULB regülasyonları ile ilgili otoriteler bazı değişiklikler yapmışlardır. Bu çalışmada, sualtı akustik doğasının karakteristik özelliklerinden kaynaklanan etkiler, ULB cihazlarından beklenen performansın alınamamasının olası nedenleri, otoriteler tarafından yapılan değişikliklerin muhtemel etkileri ve hali hazırda problemin devam etmesine neden olabilecek faktörler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CVR, FDR, Sualtı Akustiği, Uçak Kazaları, ULB (Underwater Locator Beacon).

RELIABILITY STUDY OF ULB DEVICES USED IN AIRCRAFTS

ABSTRACT

FDR (Flight Data Recorder) and CVR (Cockpit Voice Recorder) devices, which are known as black boxes by the public, are very important for aviation. ULB(Underwater Locator Beacon) is an underwater sound projector which is activated by water immersion and it is attached to FDR and CVR in aviation use. If an aircraft is submerged in water after an air accident, ULB signal can be detected by hydrophones held by SAR teams and then underwater locations of the recorder devices will be calculated. Thus, wreckage and recorders can be found and investigations can be carried out to find out root causes of the accident. ULB devices could not be detected during search operations of some accidents occurred over the ocean in recent years. Authorities have been making some changes to ULB regulations which become a matter of debate in aviation community very often. In this study, the effects originated by natural characteristics of the underwater acoustic environment, possible causes of the unexpected low performance of ULB devices, potential improvements of changes made by authorities, and existing other factors which may contribute to the problem were examined.

Keywords: CVR, FDR, Underwater Acoustics, Aircraft Accidents, ULB (Underwater Locator Beacon).

GİRİŞ

Havayolu ulaşımı en güvenli ve en konforlu ulaşım türü olmakla beraber hava aracı kazaları ölümcül olmaktadır. Yaşanan kazalardan sonra hataların kök neden analizini yapmak ve tekrarlanmaması için önlemler almak çok önemlidir. Havacılığın bugünlere gelmesinde bu prensibin payı büyüktür. Kaza sonrasında FDR (Flight Data Recorder) ve CVR (Cockpit Voice Recorder) cihazlarının analiz edilmesi ile beraber uçak enkazı üzerinde yapılan incelemeler araştırmaların temelini oluşturur. Uçağın sular altında kaldığı kaza vakalarında, kayıt cihazlarının ve enkazın bulunmasında ULB'lerin (Underwater Locator Beacon) görevi çok önemlidir.

ULB; su ile temas ettiğinde belirli bir frekansta akustik sinyal yayan bir sualtı ses vericisidir. ULB'ler havacılıkta, kara kutu olarak bilinen FDR ve CVR kayıt cihazlarının üzerine monte edilmiş olarak kullanılırlar. Güç kaynağının yettiği sürece sinyal verirler ve enkaz yeri tespit çalışmalarına büyük katkı sağlarlar [1].

ULB'lerin uçaklarda kullanılması ilk olarak 1968 yılında tartışılmaya başlanmıştır [2]. FDR ve CVR cihazlarına takılması 1977 yılında zorunlu hale getirilmiştir [3,4]. Literatürde ULB'lerin geliştirilmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur fakat çalışma prensibi olarak çok fazla değişime uğramamışlardır. ULB'ler son yıllarda okyanus üzerinde düşen uçakların yer tespitinde beklenen performansı verememişlerdir. Bu nedenle havacılık otoriteleri ULB regülasyonlarında bazı değişiklikler yapmışlardır. ICAO (International Civil Aviation Organization), Kasım 2012'de Annex 6/Amendment 36 numaralı yasa değişikliğinde ilgili yenilikleri yayınlamıştır. Bu düzenlemelerden bazıları ULB, FDR, CVR ve uçakların ortadan kaybolması engelleyecek yeni sistemler hakkındadır. ICAO düzenlemelerine paralel olarak FAA (Federal Aviation Administration) ve EASA (European Aviation Safety Agency), bu sistemlerle ilgili regülasyonları güncellemek için sektörden görüş ve yorum toplamış, yeni düzenlemeleri sektörle paylaşmışlardır. Bunlardan biri mevcut ULB cihazlarının çalışma kapasitesinin artırılması, diğeri de düşük frekanslı ULB'ler ile ilgilidir. Düşük frekanslı ULB'ler, ULD (Underwater Locating Device)

olarak ifade edilmiştir. ULD'lerin kullanımına geçilmesinin sebebi, akustik sinyali çok daha fazla mesafeye gönderebilmeleridir. Bu sayede tespit edilebilme mesafeleri de artmış olacaktır.

Son yıllarda gerçekleşen olaylar, uzak bölgelerde bir kaza gerçekleştiğinde, uçuş bilgilerini ortaya çıkarmanın oldukça zor ve maliyetli olduğunu göstermektedir. Örneğin; 1 Haziran 2009 tarihinde AF-447 sayılı Rio De Janeiro – Paris seferini yapan, AirFrance havayollarına ait Airbus 330 uçağı 228 yolcu ve mürettebatı ile Atlantik okyanusunda düşmüştür. Kazadan kurtulan olmamıştır. Arama kurtarma çalışmalarının ilk günlerinde enkazın bazı parçaları bulunmuştur fakat buna rağmen kayıt cihazlarının yerlerinin tespit edilip bulunması 2 yıl sürmüştür ve 40 milyon dolara mal olmuştur [5].

8 Mart 2014 tarihinde MH370 sefer sayılı, Kuala Lumpur – Beijing seferini yapan, Malezya Havayollarına ait Boeing 777 uçağı 239 yolcu ve mürettebatı ile kaybolmuştur. Havacılık tarihinin en maliyetli ve en kapsamlı arama çalışmalarına rağmen uçak hâlâ bulunamamıştır [1]. Bu ve benzeri örnekler incelendiğinde havacılıkta kullanılan ULB temelli sualtı yer belirleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmektedir. Gelecekte aynı şeylerin tekrarlanmaması için ilgili ekipmanların geliştirilmesi ve daha verimli hale getirilmeleri gerekmektedir.

1960'lı yılların başlarında petrol ve gaz arama, enkaz kurtarma, deniz ve arkeoloji bilimi gibi çeşitli uygulamalar için kullanılan sualtı akustik konumlama sistemlerinin ticari olarak mevcut olduğu bilinmektedir [6]. Şimdiye kadar yapılan çalışmalara bakıldığında örnek tasarımlardan birinin 1965 yılında yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, başlıca sualtı petrol yataklarının sondaj faaliyetlerinde kullanılmak üzere bir sualtı yer belirleme sistemi tasarlanmıştır. Birebir aynı özelliklere sahip iki akustik alıcı arasına yerleştirilmiş bir akustik verici bulunur. Gemiden suya salınan bu düzenekte verici su altındaki objeye akustik sinyal yollar. Yansıyan sinyaller alıcılar tarafından alınır ve bu sinyallerin dönüş süreleri ölçülür. Bu süreler eşit oluncaya kadar gemi hareket eder. Sinyallerin eşit olduğu nokta su altındaki objenin tam üstüdür [7].

1968 yılında Amerikan Havacılık Otoritesi FAA, Dukane Corporation adlı şirkete bir ULB tasarlatmış, sualtı ortamında kaza benzetimi yapılarak test etmiş ve sonuçlarını

açıklayan bir rapor yayınlamıştır. Bu, tasarım özellikleri ve kullanım şekli ile havacılık endüstrisinde girecek olan ULB'lerin neredeyse birebir aynısıdır [2].

1976 yılında yapılan diğer bir çalışma ise günümüzde kullanılan ULB'lere daha çok benzerlik gösteren tasarım olarak göze çarpar. İlk ULB 'lerin bu tarihten daha önce üretildiği bilinir fakat bu tasarımda piezo seramik kristal ve entegre devre osilatör kullanılarak hem menzil arttırılmış hem de daha ucuz bataryaların kullanılabilmesine olanak sağlanmıştır. Yine de o zamanın teknolojisi çalışma süresini 36 saat ile sınırlamıştır [8].

Bu gelişmelerden sonra 1977 yılında ULB'nin FDR ve CVR cihazlarına takılması zorunlu hale getirilmiştir. Günümüze kadar yapılan diğer çalışmaların, genelde optimizasyona yönelik yapıldığı görünmektedir. 1990 yılında yapılan bir çalışmada konvansiyonel ULB'lerin problemi olan; sinyal seviyesinin kısıtlı güç imkânları nedeniyle, gürültü seviyesinin altına düşerek tespit edilmesinin zorlaşması durumuna çözüm önerilmiştir. Bunu, darbe modülasyonlu sinyal yerine geniş spektrum kodlu, faz kaydırma modülasyonlu sinyal kullanarak yapmıştır. Bu sayede verici gücü düşük tutulmakta, sinyalin gürültü içine gömülmesine izin verilmektedir. Böylece batarya daha tasarruflu kullanılmıştır. Eşsiz geniş spektrum kodlu sinyal çok zayıf olsa bile alıcı tarafından tespit edilebilir [9].

2010 yılında yapılan başka bir tasarımda ise ULB, FDR üzerine monte edilmiş olan kapalı bir koronak içine alınmıştır. ULB bataryası sisteme bağlanarak sürekli şarjda tutulmuş ve şarj durumu izlenerek kayıt altına alınmıştır. Bu çalışmada olası bir kaza durumunda ULB'nin daha az hasar alması amaçlanmış ve bataryayı her zaman tam güçte tutmak istenmiştir [10].

2012 yılında yapılan diğer bir çalışmada, ULB 'nin büyük ve derin okyanuslarda verimli çalışabilmesi için boyutlarının küçük, batarya ömrünün uzun ve tüm yönlü yayılım özelliğinin olması gerektiği belirlenmiştir. Bu ihtiyaçlara cevap veren bir tasarım yapmak için Helmholtz Prensibinden faydalanılmıştır. ULB 'nin gövde yapısı değiştirilerek, etrafına piezo elektrik transdüser gömülü olan ve içine su giriş çıkışı olan bir boşluk oluşturulmuştur. Akustik dalganın bu sistemle üretilmesi sağlanmıştır [11].

2013 yılında, ULB 'nin içine entegre bir basınç sensörü yerleştirilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu sensör ULB'nin bulunduğu lokasyonda su basıncını ölçerek derinlik kestirimi yapar. Buna göre güç ve darbe tekrar oranı optimizasyonu yaparak bataryayı daha tasarruflu kullanmayı amaçlar. Bu sayede arama kurtarma çalışmaları için daha uzun bir zaman sağlar [12].

Bazı çalışmalarda ise ULB 'ye alternatif bazı tasarımlar yapıldığı da anlaşılmaktadır. Bunlardan biri 2014 yılında yapılmış olan, pasif sonar mantığı ile çalışan akustik reflektörlerin uçağın gövdesinde muhtelif yerlere yerleştirilmesi ve bunların sırasıyla kendi frekanslarında aktif sonar tarafından sorgulanması şeklinde çalışan sistemdir [13].

2015 yılında yapılan bir araştırmada ise daha karmaşık ve gelişmiş bir ULB tasarımı yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ULB'ye bir INS (Inertial Reference System) sistem entegrasyonu yaklaşımı denenmiştir. INS sistemi üzerine takılı olduğu aracın manevrasını Newton'un hareket yasasına göre ölçer. INS hata payının ise kabul edilebilir limitler içinde olduğu tespit edilmiştir [14].

ULB bataryasını daha tasarruflu kullanmak adına yapılan çalışmalara bir yenisi de 2016 yılında eklenmiştir. Bu çalışmada uçaktaki GPS (Global Positioning System) bilgisi kullanılarak coğrafi konum bilgisine ulaşılır. Sistemde her konum için güneşin doğuş ve batış saatlerini güncel olarak tutan bir hesaplayıcı bulunur. Uçağın mevcut konumundaki havanın aydınlanma ve kararlık vakitleri ULB'nin çalışmasını ve durmasını tetikleyen bir kontrolöre iletilir. Bu sayede ULB'nin arama kurtarma faaliyetlerinin yapılamadığı karanlık vakitlerde boş yere çalışması engellenmiş olur [15].

Bu tezin amacı, son yıllarda gerçekleşen hava aracı kazalarında, ULB merkezli sualtı konum belirleme yöntemlerinden istenen verimin alınamamasının ULB kaynaklı sebeplerini, sualtı akustik prensipleri, ULB cihazlarının teknik özellikleri ve performansları ile bazı kaza incelemelerini göz önünde bulundurarak araştırmaktır. Elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yapılacaktır.

1. SUALTI ORTAMININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

1.1. Su Altı Akustiğine Genel Bakış

Geçtiğimiz 100 yılda denizlerin ve kaynaklarının kullanımı gittikçe artmıştır. Akustik dalgalar su zeminindeki ve su ortamındaki nesnelere ve kaynakları belirlemek için oldukça kullanışlı bir araç haline gelmiştir. Radar su yüzeyindeki nesnelere belirlemede çok kullanışlıdır fakat elektromanyetik radyo dalgaları deniz suyunda çok fazla soğrulur. Deniz suyunda bulunan magnezyum suyu elektriksel iletken yapar. UHF (Ultra High Frequency) bandında 0,3 metre dalga boyuna sahip 1 GHz frekansındaki bir radyo dalgasının soğrulma katsayısı 1400 dB/m iken, aynı dalga boyundaki 5 KHz frekanslı ses dalgasının soğrulma katsayısı $3 \cdot 10^{-4}$ dB/m'dir. Bu nedenle radar sistemleri sualtı yer belirleme için kullanışlı değildir [16].

SONAR (Sound Navigation and Ranging), radarın su altındaki karşılığıdır. Aktif ve pasif sonarlar en çok bilinen iki sonar çeşididir. Pasif sonar, bir kaynaktan gelen akustik sinyali alır ve işler. Aktif sonar ise, hedefe akustik sinyal yollar ve yansımaları alarak işler. Sinyal işleme, yansıyan sinyali güçlendirmek veya yansıyan sinyalin gömülü olabileceği gürültüyü zayıflatmak için uygulanır. Verici projektör, alıcı ise hidrofon olarak isimlendirilir. Dönüş sinyali yakalandığında hedefin pozisyonu ve olası yer değiştirmesi, dönüş sinyalinin zaman gecikmesi ve yönünün hesaplanması ile bulunur. Ayrıca hareket eden hedefin hızı, dönen sinyalin frekans kayması (doppler shift) ile bulunur [16].

Sualtında üretilen ses sinyali bulunduğu ortama yayılacaktır. Ses kaynağı doğal olabileceği gibi insan kaynaklı da olabilir. Akustik dalga sualtında yayılırken, ses sinyalini ve yayılımını değiştirebilecek bazı süreçlere maruz kalabilir. Örnek olarak, sinyal genliğinin soğrulma, yayılma ve saçılma olayları nedeniyle zayıflaması verilebilir. Ortam gürültüsü de sinyal belirlemede kısıtlayıcı bir faktördür. Ayrıca, akustik sinyalin genliğinin yüksek olduğu durumlarda harmonik bozulma, akustik doygunluk ve kavitasyon gibi olaylarda etkili olur [16].

1.2. Su Altı Akustiğinin Tarihi

Pisagor milattan önce 600 yılında yaptığı çalışmalar ile akustik bilimini inceleyen ilk insanlardan biri olmuştur. Aristoteles de milattan önce 350 yılında sesin havada olduğu gibi suda da duyulabileceğini fark etmiştir. 15. Yüzyılın sonlarında, Leonardo Da Vinci pasif sonar prensibi ile ilgili ilk tanımlamalardan birini yapmıştır. Suyu bir boru daldırılıp, borunun diğer ucu dikkatle dinlenirse çok uzaktaki gemilerin seslerinin duyulabileceğini açıklamıştır. Sesin su altındaki hızı başarılı bir şekilde ilk kez 1827 yılında Cenevre gölünde yapılan deneyde ölçülmüştür. Su altındaki zil çalınırken kayıktaki barut tozu aynı anda ateşlenmiş, 10 mil uzaktaki başka bir kayıpta barutun parlaması ve zil sesinin su altından kayığa ulaşma süreleri arasındaki fark ölçülmüştür. Su altındaki ses hızı buna göre 1435 m/s ölçülmüştür. Bu değer günümüzde yapılabilecek bir ölçüme nispeten sadece 3 m/s saptanmıştır. 1887 yılında Lord Rayleigh, bugün hala akustik biliminin temeli olarak ifade edilen “Theory of Sound” isimli eserini yayımlamıştır [17,18].

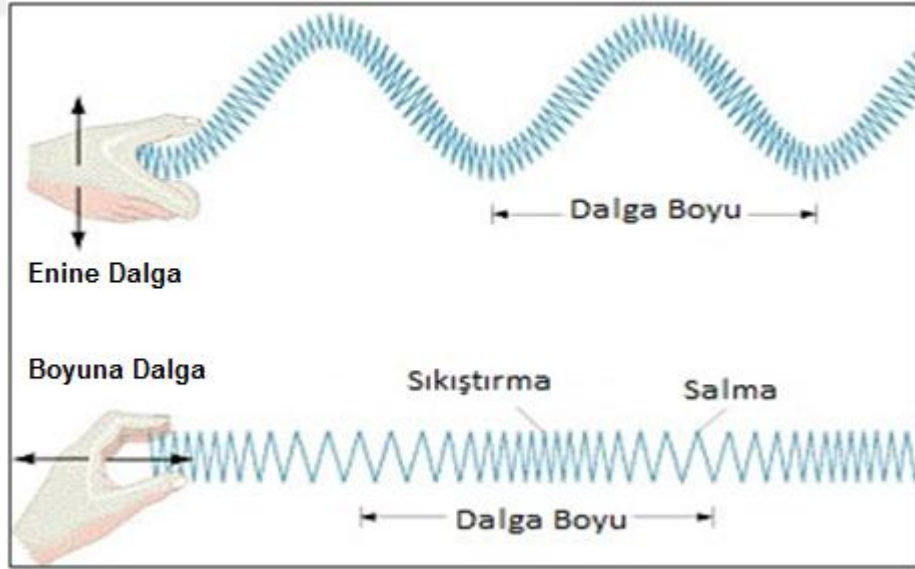
Yüzyıllarca oldukça yavaş ilerleyen akustik bilimi, 1912 yılında gerçekleşen Titanik faciasının ardından daha hızlı gelişim göstermiştir. Buz dağlarını tespit eden sistemler ve artan gemi trafiğini yönetmek için sualtı akustik haberleşmeye yarayan sistemler geliştirilmiştir. 1. ve 2. Dünya savaşlarının etkisiyle denizaltı araçlarını ve sualtı mayınları tespit eden aletler tasarlanmış ve üretilmiştir. Daha sonraki yıllarda akustik bilimi adına yaşanan gelişmeler; piezoelektrik malzemelerin kullanıma girmesi, sıcaklık, basınç ve tuzluluk gibi faktörlerin sesin yayılımına etki ettiğinin anlaşılması, düşük frekanslı ses dalgalarının daha uzun menzilli olduğunun anlaşılması olarak listelenebilir. Su altı tespit sistemlerinin “SONAR” adını alması ve çalışma performanslarını etkileyen sinyal seviyesi, ses dağılımı, ses emilimi, yansıma kayıpları, ortam gürültüsü ve alıcı karakteristiği gibi faktörlerin, sonar denklemi ile tanımlanması da oldukça önemli bir gelişim sürecidir. Günümüzde ise sinyal işleme ve sonrasında uygulanan algoritmaların geliştirilmesi daha çok ön plandadır [17,18].

Bu gelişmelerin sonunda akustik bilimi, derinlik ölçme, deniz tabanının morfolojisinin çıkartılması, sismik araştırmalar, petrol ve doğalgaz araştırmaları, balık stoklarının tayini, mühendislik ve akustik uygulamaların yanı sıra, sualtı haberleşme ve yer tespiti gibi birçok alanda kullanılmaktadır [19].

1.3. Akustik Dalga

Akustik dalgalar hava veya su gibi bir ortam yoluyla yayılan dalgalardır. İçinden geçtiği ortamın moleküllerine sıkışma-seyrelme şeklinde basınç uygulayarak bu moleküllerin buldukları pozisyondan ileri-geri hareket etmelerine neden olurlar. Bu parçacıkların yaptığı harekete titreşim, titreşimden önceki ve sonraki pozisyonlarına denge noktası denir [20].

Bir ses dalgası transverse (enine) veya longitudinal (boyuna) dalga şeklindedir. Transverse dalga yayılımında, ortamdaki partiküller dalganın hareket yönüne dik olarak titreşirler. Bu, bir su birikintisine taş atıldığında yüzeyde oluşan dalgalara benzer. “Compressional” olarak da isimlendirilen Longitudinal dalga yayılımında ise, ortam molekülleri dalganın hareket yönüne paralel olarak titreşirler. Bir stres yayı oynucağı gergin şekilde tutulup, bir ucundan yatay bir hareket yapılırsa, hareketin diğer uca dalga şeklinde ilerlediği görülür. Longitudinal dalga yayılımı buna benzerdir [21]. Sıvılarda kayma mukavemeti olmadığı için sadece longitudinal dalgalar desteklenir [22]. Şekil 1.1’de dalga şekil örnekleri verilmiştir.

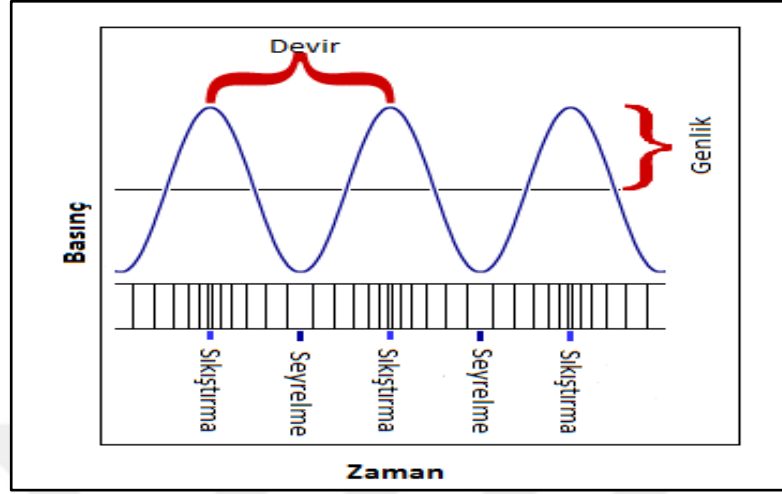


Şekil 1.1. Transverse ve longitudinal dalga gösterimleri [23]

1.4. Ses Bilimi ile İlgili Bazı Tanımlar

Sesler genellikle yüksek – alçak ve ince – kalın olarak tarif edilir. Bu tanımlar duyulan sesi tarif etmek için kullanılırlar. Bilim insanları ise sesi tanımlarken aletler

ile ölçülebilen parametreler kullanılır. Bunlar; sesin yükseklik seviyesi ile ilgili olan ses şiddeti ve genlik, sesin inceliği ve kalınlığı ile ilgili olan frekanstır [24].



Şekil 1.2. Akustik dalganın zaman – basınç grafiği

Akustik dalga, Şekil 1.2’de olduğu gibi zaman-basınç grafiğinde gösterilebilir ve bu şekilde oluşan sinüs dalgasındaki en üst ve en alt seviyeler sıkıştırma ve seyrilme bölgelerini gösterir. Dalganın bir tam hareketine bir devir denir. Akustik dalganın bir saniyedeki devir sayısına frekans denir. Frekans “f” ile ifade edilir ve birimi “Hz” ‘dir. Ses dalgasının yayıldığı ortam parçacıklarının denge durumundan yaptıkları maksimum sapmaya dalganın genliği denir. Art arda gelen iki dalganın tepe noktaları arasındaki mesafe dalga boyudur ve “λ” ile gösterilir, Denklem (1.1) ile hesaplanır [19];

$$\lambda = \frac{c(\text{m/s})}{f(\text{Hz})} \text{ (m)} \quad (1.1)$$

Ses hızı “c” ile ifade edilir. Hava ve su ortamları için farklı değerlere sahiptir. Ses hızı su altında çok daha yüksektir. Su altındaki ses hızı ise birçok faktör tarafından etkilenen ve az da olsa değişen bir parametredir. Bu küçük değişiklikler sesin iletiminde önemli etkilere sahiptir. Frekans, dalga boyu ve ses hızı arasındaki matematiksel ilişki Denklem (1.2) ile ifade edilir;

$$c = \lambda \cdot f \text{ (m/s)} \quad (1.2)$$

1.4.1. Ses basıncı

Bir akustik dalga içinde yayıldığı ortamın parçacıklarına basınç uygular. Bu parçacıkların yapacağı hareket, akustik basıncın ortam basıncından yaptırdığı sapma sonucudur. Bir ses dalgasının oluşturduğu akustik basınç (p), ortam parçacıklarının hızı (u), yoğunluk (ρ) ile ilgilidir ve sesin yayılım hızı (c) ile ilişkisi Denklem (1.3) ile hesaplanır;

$$p=\rho.c.u \quad (1.3)$$

Özgül akustik empedansı gösteren “ $\rho.c$ ” çarpımının ifadesi ise deniz suyu için Denklem (1.4) ile ifade edilir;

$$\rho.c=1,5 \times 10^5 \text{ g/(cm}^2\text{)(s)} \quad (1.4)$$

1.4.2. Ses şiddeti

Bir ses dalgasının genliği taşıdığı enerji miktarı ile ilgilidir. Bu enerji kinetik ve potansiyel olmak üzere iki bileşenlidir. Kinetik enerji ortam parçacıklarının yaptığı hareketten, potansiyel enerji ise ortamın viskozitesini yenmek için elastik basınç kuvvetlerinin yaptığı işten kaynaklanır. Belirli bir yönde, birim zamanda, birim alandan geçen ortalama enerji miktarına dalga şiddeti denir. Dalga şiddeti “ I ” ile gösterilir ve birimi watt / m² ‘dir. Düzlemsel bir dalgada anlık şiddet anlık akustik basınçla ilişkilidir ve Denklem (1.5) ile gösterilir [25,26];

$$I=\frac{p^2}{\rho.c} \quad (1.5)$$

1.4.3. Desibel kavramı

Ses yayılımının analizinde basınç ve şiddet gibi akustik değerlerin, referans değerlere oranını temsil eden “desibel” (dB) birimi ile gösterilmesi çok kullanılan bir ifadedir. Bu, akustik problemlerin içerdiği geniş sayısal aralık ile baş etmek için oldukça elverişli bir çözümdür. Çarpımların yerine desibel değerlerin toplamına imkân verdiği için de kolaylaştırıcı bir yöntemdir. Güç veya enerji gibi değerlerin oranlarının logaritmik birimi Bel’dir. Desibel ise Bel’in onda biridir. Akustik ifadelerdeki hassasiyet göz önünde bulundurulduğunda desibel kullanımı öne

çıkıştır. Desibel mutlak değil, bağıl bir birimdir. Akustik bir değerin referans değere oranının 10 tabanında logaritmasının 10 katı desibel birimi ile ifadeyi verir. Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)'de akustik değerlerin desibel skalasına dönüşümü verilmiştir;

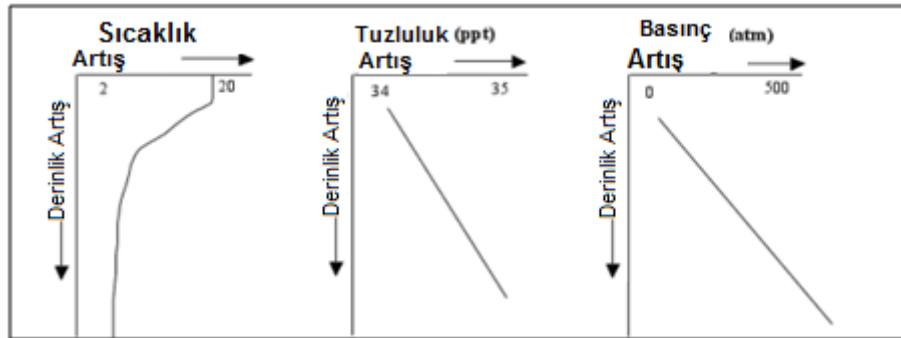
$$I(\text{dB})=10\log_{10}\left(\frac{I_{\text{sound}}}{I_{\text{reference}}}\right) \quad (1.6)$$

$$I(\text{dB})=10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{sound}}^2}{P_{\text{reference}}^2}\right)=20\log_{10}\left(\frac{P_{\text{sound}}}{P_{\text{reference}}}\right) \quad (1.7)$$

Akustik şiddet direkt olarak ölçülmez. Hidrofon adı verilen su altı mikrofonları ses basıncını (genliğini) ölçer. Desibel birimi kullanılırken referans değer mutlaka belirtilmelidir. Sualtı için kabul edilen referans ses şiddeti 1 μPa @ 1m rms basınca sahip bir düzlemsel dalganın ses şiddetidir. Hava için bu değer 20 μPa olarak kabul edilir. Ses şiddet seviyesi 10 dB ise dalganın ses şiddetinin referans ses şiddetinden 10 kat, ses şiddet seviyesi 20 dB ise dalganın ses şiddetinin referans ses şiddetinden 100 kat daha büyük olduğu anlaşılır [16,19].

1.5. Su Altı Ses Hızı ve Ses Hızını Etkileyen Faktörler

Ses hızı havada yaklaşık 340 m/s iken, sualtında yaklaşık 1500 m/s olarak bilinir. Sualtındaki ses hızı değeri sabit değildir. Bu değer sıcaklığa, tuzluluğa ve hidrostatik basınca bağlı olarak değişir. Bu değişimler çok büyük ölçekli olmasa da okyanustaki ses hızına önemli etkiye sahiptirler. Ses hızı sıcaklık, tuzluluk ve basınç ile doğru orantılı olarak değişir. Bu değişkenlerin derinliğe bağlı çizilen değişim grafiklerine profil denir ve Şekil 1.3'de gösterilmişlerdir.

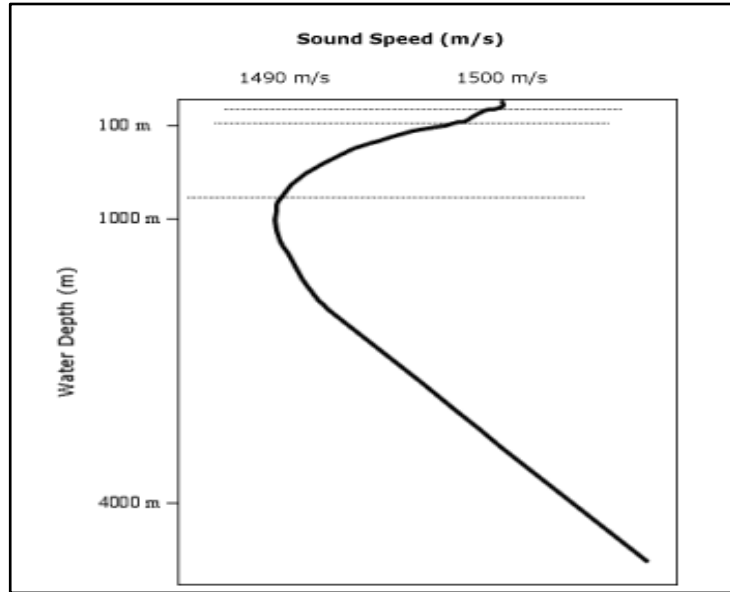


Şekil 1.3. Derinliğe göre sıcaklık, tuzluluk ve basınç profilleri [27]

Bu parametrelerin ses hızının değişimine etkileri farklı farklıdır ve en büyük etkiye sahip olan değişken sıcaklık, en düşük etkiye sahip olan değişken ise tuzluluktur. Bu alandaki çalışmalar ve laboratuvar deneyleri ses hızının çok karmaşık bir değişim dinamiğine sahip olduğunu göstermektedir. Ses hızını bahsi geçen değişkenlere bağlı olarak veren deneysel denklemler yazılmıştır. Bunlardan bir tanesi 1975 yılında Medwin tarafından ortaya konmuş Denklem (1.8)'de gösterilen ifadedir [28];

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T).(S-35) + 0,016 \quad (1.8)$$

Burada ses hızı “c” (m/s), sıcaklık “T” (°C), tuzluluk “S” (ppt) ve derinlik “Z” (m) ile gösterilmiştir. Bu değişkenlerin artmasının ses hızını artırması sonucunda derinliğe göre oluşacak ses hızı profili Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Yüzeydeki su ısındığı için sıcaklığın etkisiyle ses hızı bu bölgede yüksektir. Deniz suyu sıcaklığının sert düşüş eğilimde olduğu yaklaşık 1000 metre derinliğe kadar inen bölgeye termoklin tabakası denir. Bu tabaka ile deniz dibi arasındaki sıcaklığın hemen hemen sabit kaldığı bölgeye de izotermal bölge denir. Sıcaklığın sabit bir değere ulaşmasından sonra basınç ve tuzluluk etkisiyle ses hızının yaklaşık 1000 metreden sonra artmaya başladığı görülür. Bu nokta ise ses hızının en düşük değerde olduğu bölgedir. Bu bölge SOFAR (Sound Fixing and Ranging) kanalı olarak adlandırılır [16].



Şekil 1.4. Derinliğe göre ses hızı profili [27]

1.5.1. Sıcaklık

Sıcaklık ses hızı üzerindeki en belirleyici faktördür. Güneşten gelen enerjinin çok büyük bölümü ilk 10 metrede emilir [19]. Deniz yüzeyinin hemen altında sıcaklığın keskin bir şekilde düşmesi ses hızının da düşüş eğilimine girmesine neden olur. Açık denizlerde yaklaşık 1000 metreye, daha sığ ve kapalı olan denizlerde ise 100-200 metreye kadar sıcaklıktaki bu düşüş devam eder. Ayrıca yerel varyasyonlara da bu noktalara kadar daha çok rastlanır. Daha derine indikçe sıcaklık değerindeki değişimler oldukça azalır ve neredeyse sabit duruma geçer [25].

1.5.2. Tuzluluk

Deniz suyu saf su ve çözülmüş tuzun karışımından oluşur. Açık denizlerde tuzluluk değeri 35 ppt civarındadır. Fakat sığ ve kapalı denizlerde tuzluluk çok daha farklı değerler alabilir. Bu yüzden açık denizlerde tuzluluğun ses hızı üzerindeki etkisi sıcaklık ve basınca göre daha azdır fakat kıyı bölgelerinde tuzluluk ses hızını daha farklı etkileyebilir [25].

1.5.3. Basınç

Derine indikçe sıcaklık değeri sabitlendiği için, hidrostatik basınç ses hızı üzerindeki baskın parametre haline gelir. Artan derinlikle ses hızı da doğrusal bir şekilde yükselmeye başlar. Basıncın ses hızını etkilemesinin temelinde elastik modül üzerindeki etkisi yatar. Hidrostatik basıncın ses hızı üzerindeki yaklaşık etkisi her bir metre derinlik için 0,017 m / s olarak verilir [25].

1.5.4. Termoklin

Termoklin, okyanusta sıcaklığın derinlikle değiştiği bir tabakadır. Sıcaklığın sabit olmaya başladığı derinlik olan 1000 metreye kadar inebilir. Bu tabaka ana termoklin tabakasıdır. Yüzeğe yakın bölgeler güneşin neden olduğu sıcaklık artışına ve rüzgârların oluşturduğu karıştırmaya maruz kalırlar. Bu bölge birkaç yüz metre derinliğe kadar ulaşabilir ve buradaki ses hızı mevsimsel değişimlere duyarlıdır. Bazı bölgelerde yaz aylarında yüzey suları daha çok ısındığı için ses hızının daha yüksek olduğu mevsimsel termoklin tabakaları oluşabilir [16].

1.5.5. SOFAR kanalı

Sıcaklık ve basıncın net etkisi yaklaşık 1000 metre civarında ses hızının minimum olduğu bir bölge oluşturur. Ses dalgaları ses hızının düşük olduğu bölgeye doğru kırılma eğiliminde olduğu için, bu bölgede bir akustik dalga kılavuzu meydana gelir. Ses kaynağından çıkan ses dalgasının az kayıpla çok yüksek mesafelere (birkaç bin kilometre) ulaşabildiği bu kanala derin ses kanalı ve SOFAR kanalı adı verilmiştir [27].

1.6. Su Altı Ses İletimi

Bir el feneri yakıldığında ışık demeti fenerin doğrultulduğu noktaya doğru düz bir hat izleyerek hareket eder. Aslında ses dalgaları da düz hatlar izleyerek hareket ederler. Fakat sualtı ortamı ile ses arasındaki etkileşimler sesin iletimini çok daha karmaşık hale getirir. Ses dalgaları ortam değiştirirken ya da bir engel ile karşılaştıklarında öylece durup kalmazlar. Yansıma, kırılma ve saçılma gibi olaylar ses iletimini oldukça değiştirir.

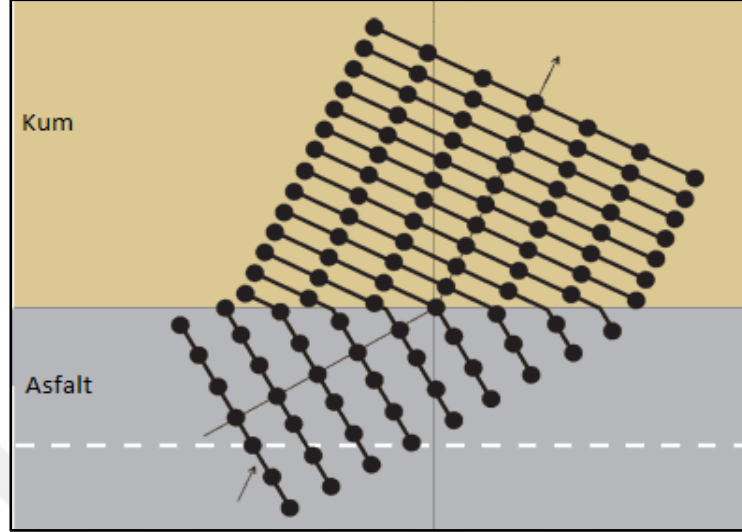
1.6.1. Yansıma

Sesin yansıması, yansıma yasası olarak bilinen “ geliş açısı yansıma açısına eşittir” kuralına uyar. Eğer yansıtıcı çok iyi ise, dalganın tümü yansıtılacağından, gelen dalga ve yansıyan dalganın enerji miktarları eşit olacaktır. Işık için düz bir ayna nasıl mükemmel bir yansıtıcı ise, okyanus yüzeyi de sakin şartlar altında ses için neredeyse mükemmel bir yansıtıcıdır. Eğer ses dalgası deniz tabanı gibi başka bir sınıra çarparsa, akustik enerjinin bir kısmı yansıyıp asıl ortamına dönerken, kalan kısmı da çarptığı ortama iletilir. İletilen ve yansıyan sesin miktarı iki ortamın akustik özelliklerine ve geliş açısına bağlıdır. Akustik özellikler benzer ise yansıma az iletim çok, akustik özellikler farklı ise yansıma çok iletim az olur.

1.6.2. Kırılma

Ses hızları farklı olan iki ortam arasında geçiş yapan ses dalgaları kırılmaya maruz kalır. Kırılma olayı ses yayılımının yönünün ve ses dalgalarının dalga boylarının değişmesine neden olur. Sudaki ses hızı sıcaklık, basınç ve tuzluluk ile değiştiği için sualtında ilerleyen ses dalgası zaman zaman kırılır. Şekil 1.5’de yürüyüş yapan

askerlerin ortam değiştirdiğinde ilerleme yönünün ve aralarındaki mesafenin nasıl değiştiği örnek gösterilmiştir.



şekil 1.5. Asfalt yoldan kuma geçen askerlerin yürüyüş yönlerinin kırılması [29]

1.6.3. Saçılma

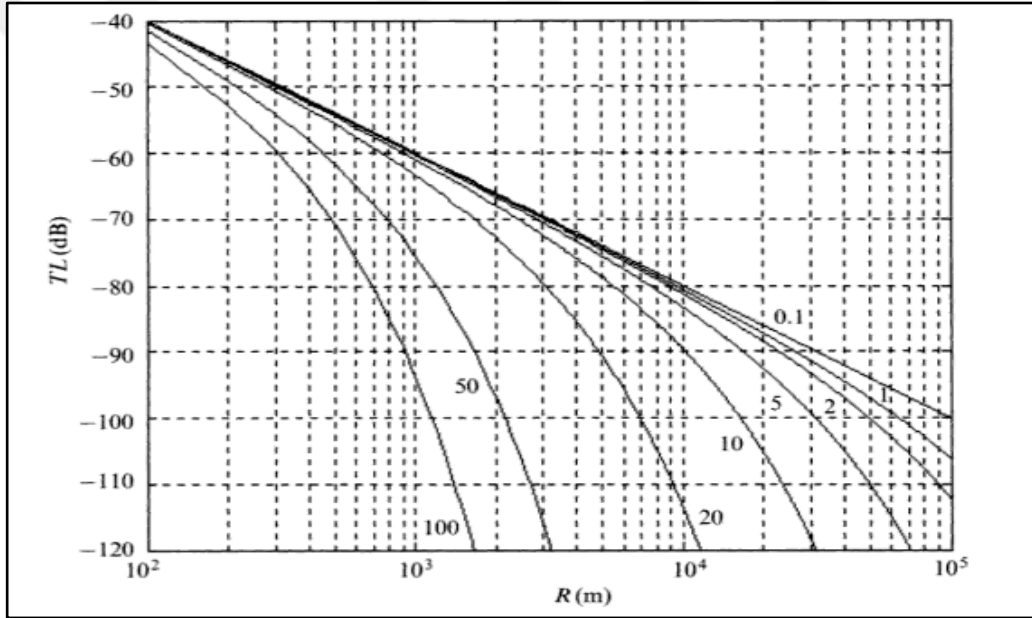
Deniz yüzeyi ve deniz tabanı okyanustaki ses yayılımı için yansıtıcı yüzeylerdir. Okyanus boyunca yol alan bir sinyalin gücünün saçılma etkisi ile azaldığı görülür. Akustik enerji okyanus sınırlarından biri tarafından yansıtıldığında, eğer bu yansıma tam düzgün değilse, birçok yönde saçılma gerçekleşir. Alıcının bulunduğu ynn dışındaki yönlere doğru saçılan akustik enerji kayıp olarak değerlendirilir. Ana ses dalgasını zayıflatan diğer bir etken ise dalga etkileşimidir. Özellikle tam geri yansıyan akustik enerji, ana ses dalgası için negatif bir etki oluşturur [30].

Sualtı ortamındaki cisimlerin neden olduğu saçılmaya hacimsel saçılma denir. Sualtı ortamı içersinde baloncuklar, partiküller, organizmalar ve pek çok farklı cisim bulunabilir. Ses sualtında yayılırken bu nesnelere takılabilir. Sisli bir havada yakılan el fenerinin ışık dalgaları havadaki su moleküllerine takılarak daha görünür hale gelir. Bundan dolayı aydınlatılmak istenen noktaya daha az ışık ulaşır. Ses dalgaları da sualtındaki nesnelere takılarak saçılmaya uğrar. Saçılma miktarı nesnenin büyüklüğüne ve ses dalgasının boyuna bağlıdır. Deniz yüzeyi, deniz tabanı ve hacimsel kaynaklı saçılma kayıpları artan frekansla birlikte yükselir.

1.7. Sinyal Zayıflaması

Sualtında ilerleyen akustik dalgalar geometrik yayılım ve ortam kaynaklı enerji emilimi nedeniyle zayıflarlar. Bu kayıpların tümüne iletim kayıpları (TL, Transmission Loss) denir. İletim kayıplarının frekans ve mesafeye bağlı değişimi Şekil 1.6’da gösterilmiştir. İletim kayıpları yayılım ve emilim kayıpları olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Toplam iletim kaybını hesaplamada yaygın olarak kullanılan denklem “R” kaynağa olan mesafe ve “ α ” emilim katsayısı olmak üzere Denklem (1.9)’da verilmiştir (küresel yayılım için);

$$TL = 20\log R + \alpha R \text{ (dB)} \quad (1.9)$$



Şekil 1.6. KHz bandındaki çeşitli frekanslar için mesafeye göre toplam iletim kayıpları [25]

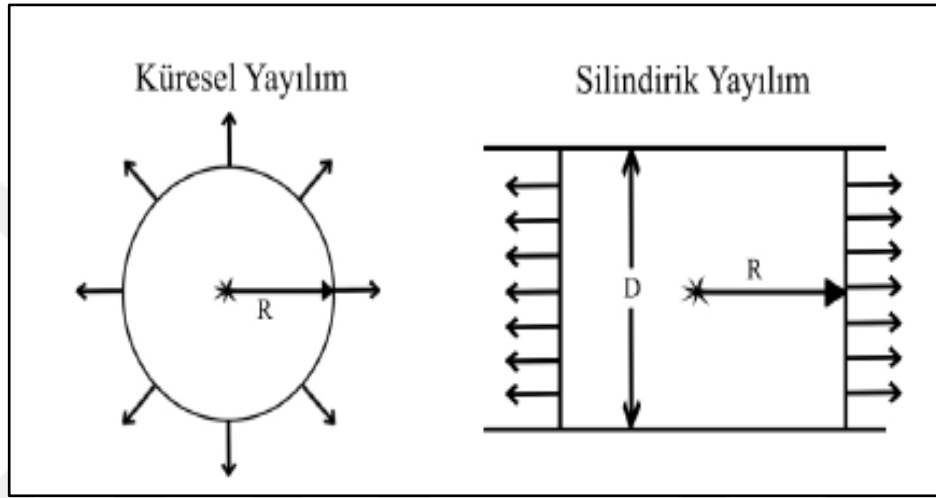
1.7.1. Yayılım kaybı

Bir ses kaynağından yayılan akustik dalga, mevcut akustik enerjiyi giderek artan bir alana dağıtır. Toplam enerji korunduğu için (diğ er kayıplar dikkate alınmaz ise), ses şiddeti alan ile ters orantılı olarak azalır. Bu azalma yayılım kaybı olarak ifade edilir. Ses yayılımı küresel ve silindirik olmak üzere iki farklı geometriye göre modellenir. Şekil 1.7’de örnek geometrik gösterimler verilmiştir. Okyanusun orta derinliklerindeki bir kaynaktan çıkan ses dalgaları bütün yönler e eşit şekilde dağılarak küresel yayılım yapar. Kaynaktan uzaklaştıkça ses dalgaları okyanus

yüzeyi ve okyanus tabanı gibi sınırlara ulaşır ve sadece yatay yönde silindirik yayılım yapmaya başlar. Bu yayılım modellerinin kayıp hesaplamaları küresel yayılım için Denklem (1.10)'da, silindirik yayılım için Denklem (1.11)'de verilmiştir;

$$TL = 20\log R(\text{dB}) \quad (1.10)$$

$$TL = 10\log R(\text{dB}) \quad (1.11)$$



Şekil 1.7. Geometrik yayılım modelleri [19]

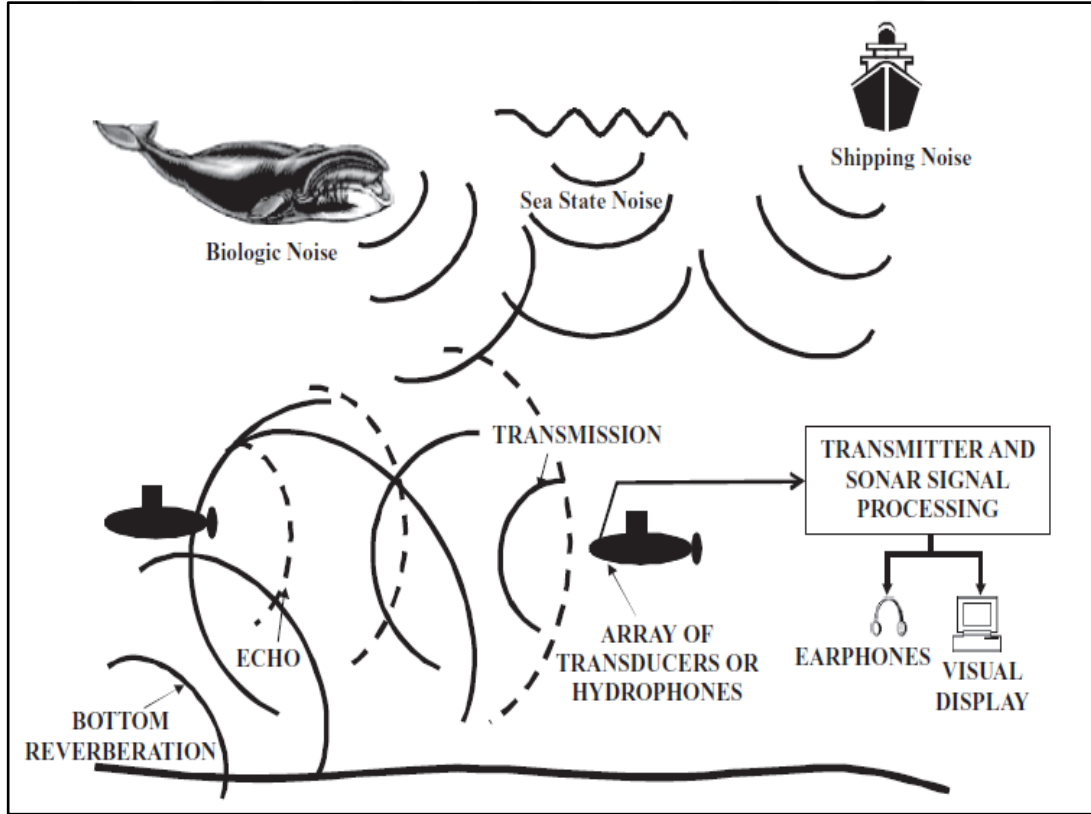
1.7.2. Emilim kaybı

Su içerisinde ilerleyen ses dalgasının akustik enerjisinin bir kısmının ortam tarafından ısıya çevrilmesi ile meydana gelir. Akustik enerji ortam moleküllerinin titreşim yapmasına neden olur. Normalde denge durumunda olan moleküllerin titreşmeye başlayabilmesi için ses dalgasının, moleküllerin harekete karşı olan dirençlerini yenecek kadar güçlü olması gerekir. Moleküller ses yayılımının olduğu ortamın viskozitesini yenmek zorundadır ve bunu ses dalgasından bir miktar enerji çalarak yaparlar. Emilim kaybı frekansa çok bağlıdır. Yüksek frekanslı dalgalar daha çok emilirler. 1967'de Thorpe tarafından yayınlanan Denklem (1.12), emilim katsayısını(α) hesaplamada yaygın olarak kullanılır [22];

$$\alpha = [0,1 f^2 / (1 + f^2)] + [40 f^2 / (4100 + f^2)] \quad (1.12)$$

1.8. Gürültü

Bir akustik alıcı hidrofonda meydana gelen basınç dalgalanmaları aslında iki farklı etkinin toplamıdır. Bunlardan biri tespit etmek istenilen hedeften gelen sinyallerdir. Gürültü olarak adlandırılan diğer etki ise bu sinyallerin dışında kalan bütün dalgalanmalardır. Gürültünün tanımı “sinyalin dışında kalan bütün sesler” olarak yapıldığı için birçok potansiyel ses kaynağının hesaba katılması gerekir. Rüzgâr ve gemi gibi kaynakların oluşturduğu gürültüye ortam gürültüsü denir. Gürültü niteliği taşıyan diğer etken ise özellikle sonar ekipmanlarını taşıyan gemi veya platformların neden olduğu kendinden gürültüdür. Sadece aktif sonarları etkileyen ve gürültü olarak değerlendirilen diğer bir etken ise yankılanmadır. Aktif sonar vericisinden çıkıp, sualtı ortam sınırları veya sualtı ortamı içerisindeki hedef harici nesnelere tarafından saçılmaya uğratılarak aktif sonar alıcısına geri dönen sinyallerin oluşturduğu gürültü etkisine yankılanma denir. Ortam gürültüsü, kendinden gürültü ve yankılanmanın birleşik etkisine “Background” denir. Şekil 1.8’de bazı gürültü kaynakları gösterilmiştir [31].



Şekil 1.8. Sualtı gürültü kaynakları [22]

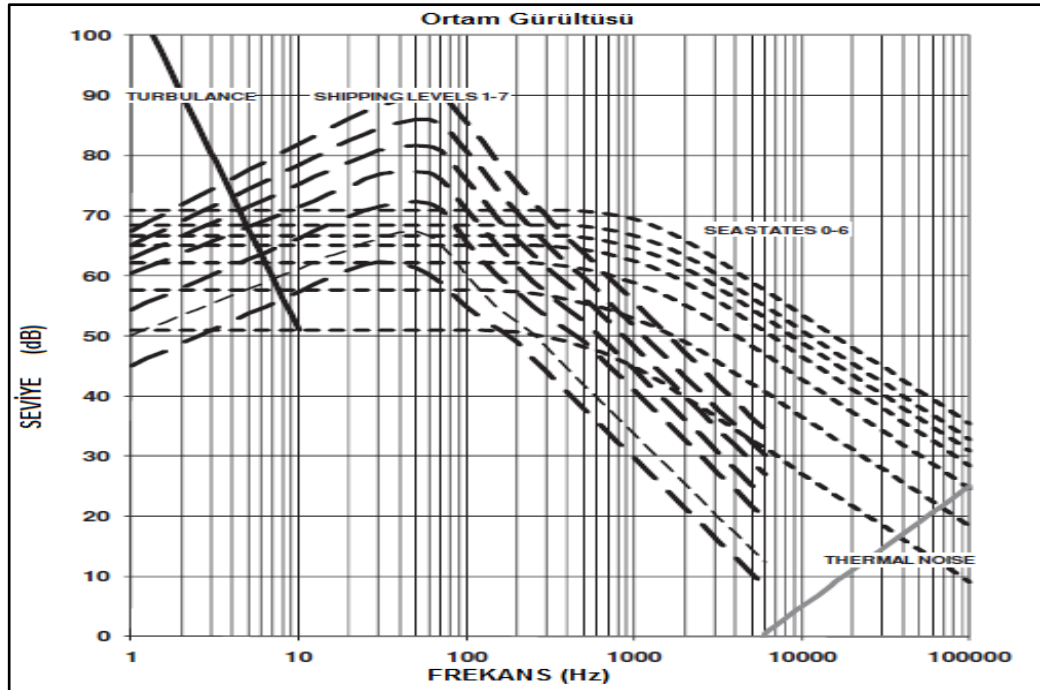
1.8.1. Ortam gürültüsü

Okyanustaki ortam gürültüsü belirli bir çevredeki tespit edilebilir kaynaklardan çıkan seslerin dışındaki seslere denir. Ortam gürültüsünün potansiyel kaynakları okyanus türbülansı, gemi trafiği, dalgalar, termal kaynaşma, sismik olaylar, yağış, deniz canlıları ve buz tabaka çatlamalarıdır.

Ortam gürültüsünü oluşturan potansiyel kaynaklardan çıkan gürültü sinyallerinin frekans spektrumunda baskın oldukları bölgeler vardır. Sürekli olan sismik aktiviteler neredeyse düzenli olarak 0,14 Hz frekansında gerçekleşirler. Volkanik aktiviteler ve büyük depremler gibi sürekli olmayan gürültü kaynakları çok daha geniş bir frekans aralığında gerçekleşebilir. Okyanus türbülansı ise 1-10 Hz frekans aralığındaki baskın gürültü kaynağıdır ve Denklem (1.13) ile hesaplanır;

$$NL_{\text{turb}} = 108,5 - 57,6\log(f) \quad (1.13)$$

Gemi trafiğinden kaynaklanan ortam gürültüsü yaklaşık 10 Hz - 200 Hz frekans aralığında baskındır. Çok yoğun bölgelerde 2000 Hz frekansına kadar çıkabilir. Şekil 1.9'da gemi aktivite yoğunluğuna ve frekansa göre gürültü seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Akustik modelleme ve analiz için ortam gürültüsü standartları [22]

Yaklaşık 200 – 50000 Hz frekans aralığında dalga ve rüzgâr kaynaklı gürültü baskındır. ULB'lerin çalışma frekansları da bu aralığa denk gelmektedir. Bu gürültü seviyesi, deniz durumu (SS, Sea State) olarak ifade edilen seviyelere göre değişir. Tablo 1.1 ve Şekil 1.9'da frekans ve deniz durumuna göre gürültü seviyeleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Dalga gürültü seviyeleri (Hz – dB) [22]

Frekans	SS 0	SS 1	SS 2	SS 3	SS 4	SS 5	SS 6
5000	32,6	42,0	48,3	52,1	54,4	56,4	59,0
6400	30,8	40,2	46,4	50,2	52,6	54,5	57,1
8000	28,9	38,3	44,5	48,3	50,7	52,7	55,3
10000	27,1	36,5	42,8	46,6	48,9	50,9	53,5
12500	25,4	34,8	41,0	44,8	47,2	49,1	51,7
16000	23,4	32,8	39,1	42,9	45,2	47,2	49,8
20000	21,7	31,1	37,3	41,1	43,5	45,4	48,0
25000	19,9	29,3	35,6	39,4	41,7	43,7	46,3
32000	18,1	27,5	33,7	37,5	39,9	41,9	44,5
40000	16,2	25,6	31,9	35,7	38,0	40,0	42,6
50000	14,4	23,8	30,1	33,9	36,3	38,2	40,8
64000	12,6	22,0	28,3	32,1	34,4	36,4	39,0
80000	10,7	20,1	26,4	30,2	32,6	34,5	37,1
100000	9,0	18,4	24,6	28,4	30,8	32,8	35,4

1.8.2. Yankılanma

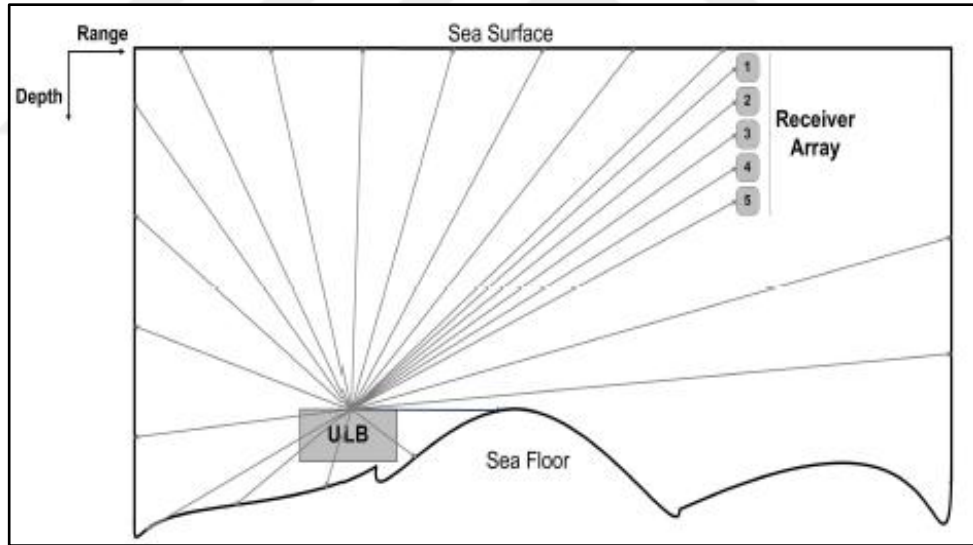
Aktif sonar, vericisinden akustik sinyal gönderip hedeften yansıyan ekoların alıcıya dönmesini bekler fakat dönen sinyallerin arasında hedef dışındaki birçok kaynaktan yansıyan veya saçılan seslerde vardır. Tespit edilmek istenenden farklı bir hedeften, ortamdaki diğer nesnelere veya okyanus sınırlarından gelen dönüş sinyalleri yankılanma olarak adlandırılır. Yankılanma kaynakları okyanus yüzeyini, okyanus tabanını ve su hacmini içerir. Su hacmi; sualtı ortamı içerisindeki deniz canlıları ve baloncuklar gibi homojenliği bozan her türlü nesneyi ifade eder. Yüksek güçlü aktif sonarlarda yankılanma ana gürültü kaynağıdır [22].

1.8.3. Kendinden gürültü

Kendinden gürültünün sebebi, hidrofonların çok yakın çevresindeki kaynaklardan çıkan seslerdir. Hidrofonun bağlı olduğu gemi, platform ve destek yapıdan çıkan sesler, hidrofon üzerinden akan suyun gürültüsü ve sonar sisteminin iç gürültüsü potansiyel kendinden gürültü kaynakları olarak sayılabilir. Deniz suyunun neden olduğu gürültü kontrol edilebilir değildir. Gemi, platform vb. kaynakların etkisini azaltmak için, hidrofon ile aralarına sesi yansıtan veya emen malzemeden yapılmış yansıtıcılar yerleştirilebilir [22].

1.9. Okyanusta Ses Yayılımı ve Yayılım Kanalları

Okyanustaki ses yayılımı hakkındaki çalışmalar diğer sualtı olayların tümünün anlaşılması ve öngörülmesi için çok önemlidir. Yayılım modelleri sonar performans tahminleri için kullanılmaktadır.

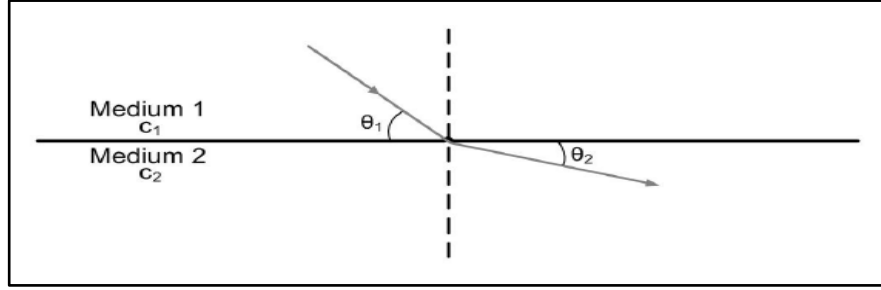


Şekil 1.10. Homojen bir ortamdaki ideal ışın yolları [30]

Homojen bir sualtı ortamında ses ışınlarının Şekil 1.10'da ki gibi olması beklenebilir fakat gerçekte sualtı ortamı homojen özellikte değildir. Ses hızı profili çok değişkendir ve bu ses dalgalarının düşük ses hızının olduğu bölgeye bükülme eğilimine girmesine neden olur. Kırılma olarak bilinen bu olay temel ışın izlemede kullanılan "Snell Yasası" ile açıklanır. Bu yasa, Şekil 1.11'de ki gibi, ses hızının farklı olduğu ortamlardaki geçişlerde ses ışınlarının kırılmasını ifade eder [32];

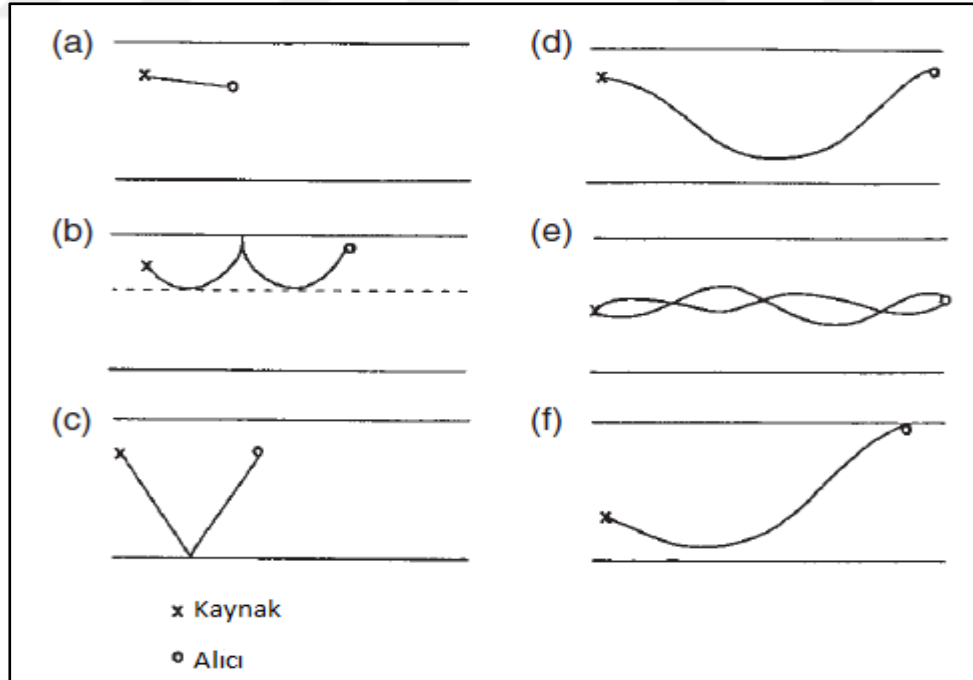
$$\frac{\cos\theta_1}{c_1} = \frac{\cos\theta_2}{c_2}$$

(1.14)



Şekil 1.11. Snell Yasası [30]

Ses okyanusta değişik yolları izleyerek yayılabilir. Ses ışınlarının izleyeceği yollar, kaynak – alıcı geometrisine ve ilgili sualtı bölgesindeki ses hızı profiline bağlıdır. Düz yol yayılımı (a), yüzey kanalı yayılımı (b), dipten sekme yayılımı (c), toplama bölgesi yayılımı (d), derin ses kanalı yayılımı (e) ve güvenilir akustik yok yayılımı (f) olmak üzere 6 temel yayılım yolu vardır ve Şekil 1.12’de örnek gösterimler verilmiştir.



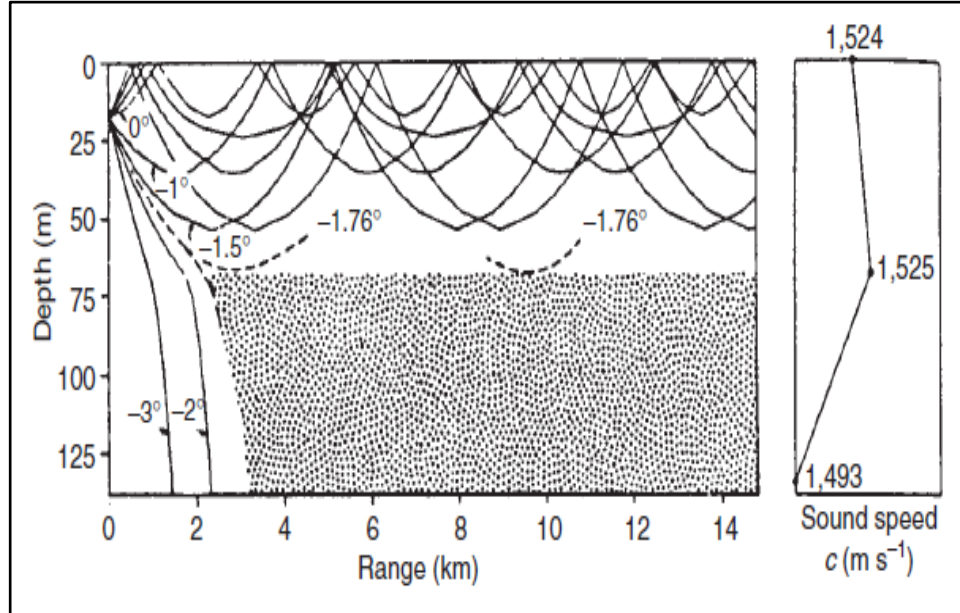
Şekil 1.12. Temel yayılım yolları [32]

Okyanus ortamına bağlı olmak üzere, belirli bir kaynak – alıcı geometrisi için, yayılımın bu yolların kombinasyonu ile veya daha farklı yollar ile gerçekleşmesi

mümkündür ve buna çok yollu yayılım denir. Yüzey kanalı, derin ses kanalı, toplanma bölgesi ve güvenilir akustik yol yayılımları ses hızı değişimlerinden çok etkilenirken, düz yol ve dipten sekme yayılımları nispeten daha az etkilenir. Düz yol yayılımları genelde kısa mesafelerde meydana gelir. Dipten sekme yayılımında ise ses ışınları kırılma katmanlarına dik açılar ile girerler [32]

1.9.1. Yüzey kanalı

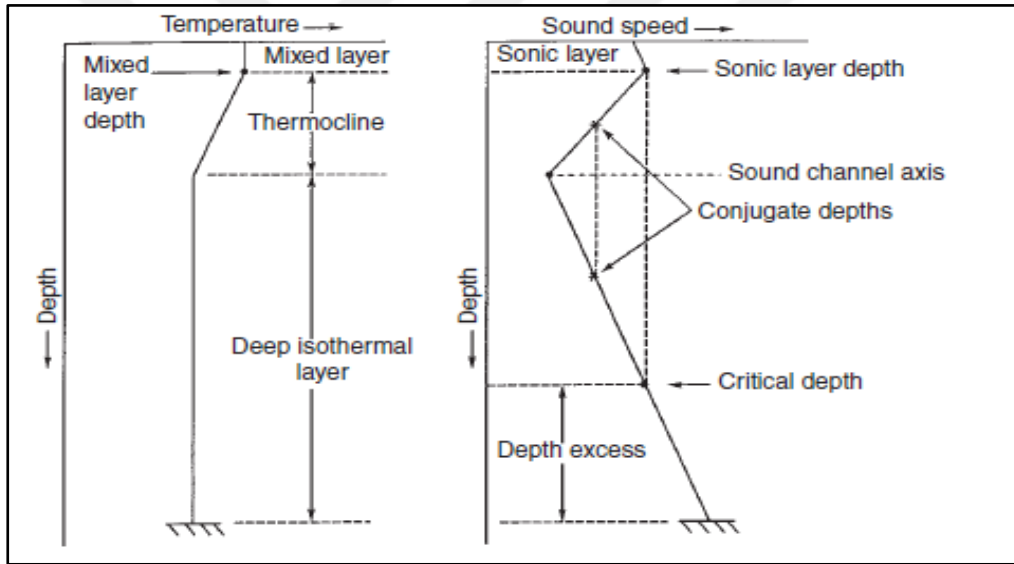
Ses dalgaları çok çeşitli formlardaki kanal yayılımları ile okyanusta çok uzun mesafeler kat eder. Ses eğer bir kanal içersinde yol alıyorsa, bu kanalın sınırları içersinde tutulur ve derinlere yayılması engellenir. Yüzey kanalı Şekil 1.13'de gösterildiği gibi, üstten deniz yüzeyi ile alttan ise sonik katman derinliği ile sınırlanmış bölgedir. Sonik katman derinliği, yüzeyin altında kalan ve su sıcaklığının hava koşulları ve rüzgârdan etkilendiği bölgedeki ses hızının maksimum olduğu noktadır. Bu noktaya kadar ses hızında artış gözlemlendiğinden, yüzey kanalı ses dalgaları için doğal bir dalga kılavuzu gibi davranır. Bu kanalda sadece çok dik açıyla gelen dalgalar dışarı kırılırlar. Ayrıca ses kaynağının da kanal içinde olması gerekir [30,32].



Şekil 1.13. 16 metre derinlikte bulunan bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının yüzey kanalı yayılımını gösteren ışın diyagramı [32]

1.9.2. Derin ses kanalı

Derin ses kanalı, okyanustaki ses hızı profiline karakteristik bir sonucudur ve SOFAR kanalı olarak da adlandırılır. Bu profil, Şekil 1.14’de ki sıcaklık – ses hızı ilişkisine göre, toplam derinliğe göre değişmekle birlikte yaklaşık 1000 metre derinlikte minimum ses hızına sahiptir. Buradaki ses hızının minimum olması üst ve alt bölgelerdeki ses dalgalarının sürekli olarak bu bölgeye doğru kırılmalarına sebep olur. Derin ses kanalındaki bir kaynaktan çıkan akustik enerjinin bir bölümü bu kanalda kalarak, deniz yüzeyi ve deniz tabanının sebep olduğu yansıma kayıplarına uğramaz fakat iletim kaybı etkisi ile bir miktar zayıflar. İletim kayıplarının az olması nedeni ile bu kanaldaki ses dalgaları binlerce kilometre mesafeye ulaşabilir. Bu kanalın derinliği okyanus ve sınır şartlarına göre bölge bölge değişebilir [32].



Şekil 1.14. Okyanustaki sıcaklık ve ses hızı arasındaki şematik ilişki [32]

1.9.3. Toplanma bölgesi yayılımı

Bu yayılımda kaynaktan yatay olarak çıkan ses dalgaları aşağı yönde kırılarak ilerler ve dibe ulaşmadan tekrar yukarı doğru kırılır. Yüzeğe yakın bazı alanlarda periyodik olarak yaklaşık 35 – 70 kilometre de bir toplanma bölgeleri oluştururlar ve bu bölgelerde yüksek ses şiddeti elde edilmiş olur. Bunun gerçekleşmesi için ses dalgalarının dipten veya yüzeyden yansıma yapmaması gerekir. Ayrıca derinliğin, aşağı yönde giden ses dalgalarının dibe vurmadan kırılma yapmasına imkân verecek ölçüde olması gerekir. Toplanma alanlarının oluşup oluşmayacağını öngörülme

istenirse, yüzeydeki ses hızını belirlemek için sıcaklık tablolarına, dipteki ses hızını belirlemek için derinlik tablolarına bakılmalıdır. Böylece ses dalgalarının, oluşturacakları toplanma alanlarına doğru kırılıp kırılmayacakları öngörülebilir. Örneğin Kuzey Atlantik Okyanusunda yaklaşık 65 km aralıklar ile genişlikleri yaklaşık 2 km olan toplanma alanları oluşur. İletim kayıplarının ses dalgalarını tüketmeye başlayacağı birkaç yüz kilometre mesafeye kadar, toplanma alanlarının çapı giderek artar.

1.9.4. Güvenilir akustik yol yayılımı

Derin ses kanalının alt ve üst sınırlarını belirleyen iki noktada ses hızları eşittir ve kanal içindeki maksimum ses hızı değerindedir. Bu noktalardan alt sınırı belirleyen noktaya kritik derinlik denir. Bir ses kaynağı kritik derinlikte bulunuyorsa ve bu kaynaktan çıkan ses dalgalarının dibe vurmadan kırılması için yeterli derinlik fazlası var ise, ses dalgaları güvenilir akustik yol olarak adlandırılan kanal ile çok uzun mesafelere ulaşabilir. Bu kanala güvenilir denmesinin nedeni, yüzey ya da dip etkilerinden bağımsız olmasıdır.

1.9.5. Sığ sularda yayılım

Sığ su kavramının hipsometrik ve akustik olmak üzere iki tanımı vardır. Hipsometrik olarak, karasal sahanlıkta bulunan ve derinliği 200 metreyi aşmayan sulardır. Bu tanıma göre sığ sular tüm okyanus alanlarının %7,5 'ini kapsar. Akustik olarak sığ su şartları, ses yayılımının deniz yüzeyi ve deniz tabanı ile birlikte çok sayıda etken ile karakterize edilmesiyle oluşur. Yani hipsometrik olarak sığ olan sular akustik olarak derin sayılabilir ya da hipsometrik olarak derin olan sular düşük frekanslı ses yayılımını söz konusu ise akustik olarak sığ sayılabilir.

Yansıma ve saçılma sınırlarının sığ sudaki ses yayılımında nispeten daha önemli ve belirleyici olması, sığ su bölgelerini derin sulardan farklı kılar. Ayrıca deniz tabanının kompozisyonu ve yapısı da sığ sulardaki en önemli etkenlerden biridir. Nitekim sığ sular uzun menzilli akustik haberleşme için elverişli değildir.

1.9.6. Kutup denizlerinde yayılım

Kutuplardaki okyanus sularında ses yayılım kanalları buz kütlesinin tipi ve su derinliği gibi okyanus geometrisi ile derinlikle artan ses hızı profiline bağlıdır. Ses hızı profili yüzeyin hemen altında hızlı bir şekilde artarken, derinlere inildikçe basıncın standart etkisiyle artar. Bu iki farklı ses hızı profili, biri yüzeyin hemen altında, diğeri de daha dipten kırılan dalgaların oluşturduğu iki farklı ses kanalı meydana getirir. Kutup sularında ses dalgaları sürekli yukarı doğru kırılma eğilimindedir ve ses dalgaları yüzeydeki buz kütlesinden yansır.

1.9.7. Çok yollu yayılım

Gerçekte akustik dalgalar çok yollu olarak yayılırlar. Yukarıda anlatılan kanallardan çok daha fazlası vardır. Bu nedenle bir akustik dalga iletiminde vericiden çıkan ses dalgaları yüzlerce farklı yol izler. Bunun sonucu olarak her bir dalga neredeyse sabit hızlar ile farklı mesafeler kat ederler. Böylece alıcıya farklı zaman gecikmeleri ile ulaşırlar. Alıcının kanal cevabı incelendiğinde, en az kayıplı yolları izleyen dalgaların en yüksek genlik ile alıcıya ulaştıkları görülür. Örneğin, derin ses kanalından giden ses dalgasının ses hızı düşük olduğu için alıcıya en son ulaştığı fakat en yüksek genliğe sahip olduğu sık gözlenen bir durumdur. Ayrıca hidrofond dizisi içerisinde bulunan alıcıların kanal cevabında zamansal farklılıklar görülebilir.

1.10. Yayılım Kaybı Modelleri

Akustik yayılımın bütün matematiksel modellerinin altında yatan teorik temel, dalga denklemdir. Dalga denklemi ise, daha temel olan durum, süreklilik ve hareket denklemlerinden türetilmiştir. Eğer genelleştirilmiş dalga denklemi her durum için analitik olarak çözülebilseydi veya bir bilgisayarda direkt olarak uygulanabilseydi, hatasız bir yayılım kaybı hesabı yapılabilirdi. Fakat genelleştirilmiş dalga denkleminin analitik olarak çözümlenebildiği çok az ortam vardır ve bunlarında sayısal uygulamaları çok zordur.

Akustik yayılım modellerinin formüle edilmesinde genelde üç boyutlu, zamana bağlı dalga denklemi ile başlar. Bu denklem üzerinden yapılan basitleştirmeler ve varsayımlar ile bilgisayarlı çözümler sunan matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Burada ışın teorisi, normal modlar ve parabolik eşitlik olmak üzere üç teknikten bahsedilecektir.

1.10.1. Işın teorisi

Zamana bağlı dalga denklemine, tek frekanslı sürekli dalga için bir harmonik çözüm dâhil edilmesiyle elde edilen frekans bağımlı denkleme “Helmholtz denklemi” veya “indirgenmiş dalga denklemi” denir. Işın teorisi sesin dalga boyunun çok küçük olduğunu varsayar. Bu, Helmholtz denkleminin rastgele seçilen ortamlarda kolayca uygulanabilecek şekilde tekrar yazılmasına imkân verir. Basit ışın teorisi iki ışın arasında kalan enerjinin sonsuza kadar orada kalacağını varsayar. Bu, ses şiddetinin mesafe ile ters orantılı olarak iki ışın arasında var olacağını gösterir. Bu tekniğin düşük frekanslarda hata payı yüksektir. Düşük frekanslı dalgaların dalga boylarının uzun olması, teorinin temel varsayımına ters düşer.

1.10.2. Normal modlar

Normal mod modelleri, mesafeden bağımsız ve şartların sadece derinliğin bir fonksiyonu olarak değiştiği ortam varsayımı ile Helmholtz denkleminden türetilmiştir. Daha sonra sesin birbiri ile etkileşime girmeyen, farklı dalgaların toplamı olarak yayıldığı kabul edilir. Normal mod çözümlerinin ışın teorisine göre avantajlı yönü; iletim kayıplarının verilen herhangi bir frekans – kaynak derinliği kombinasyonu için kolayca hesaplanabilmesidir. Normal mod çözümlerinin dezavantajı ise; deniz tabanının yapısı ile ilgili daha fazla bilgi gerektirmesidir.

1.10.3. Parabolik eşitlikler

Parabolik eşitlik çözümü, Helmholtz denklemine normal mod çözümünde yapılandırılan çok farklı varsayımlar ile yaklaşır. Normal mod çözümünde uygulanan, şartların sadece derinliğin bir fonksiyonu olarak değiştiği mesafeden bağımsız yaklaşım burada uygulanmaz. Parabolik eşitlik çözümünde yapılan iki varsayım bulunur. Bunlardan ilki enerjinin dar açılar ile ilerlemesi, ikincisi de hiç saçılma olmamasıdır. Sualtı akustüğünde bu çözümün ilk uygulandığı yıllarda dar açı $\pm 20^\circ$ ile tanımlanmıştır. Fakat 1974 yılından buyana daha dik açılar ile meydana gelen ses

yayımlarına giderek artan ilgiden dolayı, bu açı yapılan düzeltmeler ile yaklaşık +/- 45 ° 'ye kadar çıkarılmıştır [22].

1.11. Sonar Sistemleri

Sonar, ortamdaki nesnelere tespit etmek için radyo dalgaları yerine ses dalgalarını kullanan bir sualtı radarıdır. Sualtı ortamında dalgaların yayılımı hava ortamındakinden farklıdır. Radyo dalgaları havada engelsiz bir şekilde yol alırken, ses dalgaları nispeten daha hızlı zayıflar. Sualtında ise bu durumun tam tersi söz konusudur. Ses emiliminin düşük olması ve okyanusta doğal dalga kılavuzlarının bulunması ses enerjisinin sualtında binlerce kilometreye ulaşmasına imkân verirken, elektromanyetik radyo dalgaları sualtında çabucak emilir. Sonar sistemlerinin başlıca amacı, akustik dalgaları kullanarak sualtı ortamındaki hedeflerin tespit edilmesi ve sınıflandırılmasıdır. Bu sistemler aktif ve pasif sonarlar olmak üzere iki çeşittirler. Aktif sonarlarda verici ve alıcı bulunur. Hedefe gönderilen ses sinyallerinin bir kısmı hedeften geri yansır ve kaynağa geri döner. Dönen ekonun zaman gecikmesi ve geliş yönü kullanılarak hedef tespiti yapılmaya çalışılır. Aktif sonarlarda ses enerjisini ve akustik enerjiyi çift yönlü dönüştürebilen transdüser cihazı kullanılır. Pasif sonarlarda ise sadece alıcı vardır. Sualtındaki ses sinyallerini dinlerler. Ses kaynağından gelen sesi kullanarak yer tespiti yapmaya çalışılır. Pasif sonarlar genelde dizi halinde kullanılırlar. Bu sistemlerde sualtında mikrofon görevi yapan, akustik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren hidrofön cihazları kullanılır. Sonar sistemlerin çalışma prensibi ise birkaç adımdan oluşur. Örneğin aktif sonarda, sonarın elektronik devresinden çıkan sinyalin transdüseri sürmesi ile ses sinyali sualtı ortamına iletilmiş olur. Daha sonra hedeften yansıyıp geri dönen ses sinyali transdüser tarafından elektrik sinyaline dönüştürülür. Sinyal işleme süreçlerinden sonra kullanıcı ara yüzleri bilgilere ulaşılır [31].

1.12. Kaynak ve Alıcılar

Sualtındaki ses kaynaklarına projektör, ses alıcılarına ise hidrofön denir. Günlük hayatta kullanılan hoparlörün sualtındaki karşılığı projektör, mikrofonun sualtındaki karşılığı ise hidrofondur. Teorik gelişmeler açısından bakıldığında akustik ses kaynağı titreten bir küre gibi, akustik alıcı ise ses basıncına duyarlı bir aygıt gibi düşünülür. Aslında bu cihazlar çok geniş fiziksel, elektriksel, geometrik ve akustik

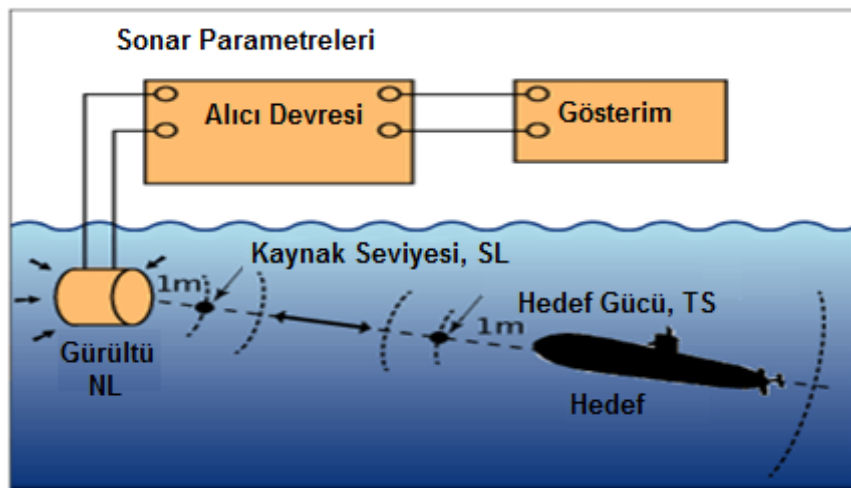
karakteristikleri ile tasarlanan transdüser aygıtlarıdır. Transdüser genel anlamda, enerjii bir formdan başka bir forma dönüştüren aygıt olarak tanımlanır. Projektörler ve hidrofonda kullanılan elektroakustik transdüserler ise elektrik enerjisini akustik enerjiye veya akustik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler [28].

1.13. Sonar Denklemi

Sonar denklemleri sonar sistemlerinin sinyal – gürültü oranını tahmin etmede kullanılan sistematik bir yoldur. Özellikle, var olan bir sonar sistemin seçilen şartlar altındaki performansını öngörmek ya da istenen şartlar altında çalışabilecek bir sonar sistemi tasarlamak için kullanılır. Sonar denklemi akustik enerjinin korunumunu ifade eder ve içersindeki her bir terim sonarın tespit etme performansı üzerindeki etkisinin büyüklüğü hakkında fikir verir. Terimlerin hepsi birimsiz formdadır ve logaritmik desibel skalasında ifade edilir. Bu hesaplamalarda sinyal kaynak seviyesi, iletim kayıpları, ortam gürültüsü, alıcı karakteristikleri göz önünde bulundurulur. Aktif sonar denklemi ve pasif sonar denklemi küçük farklar dışında benzerdir [16].

1.13.1. Aktif sonar denklemi

Hedefe bir ses sinyali gönderip, hedeften yansiyıp geri gelen ekoyu dinleyen sonarlara aktif sonarlar denir. Aktif sonarlarda sinyal kaynağı aynı zamanda alıcı görevini de yapar. Şekil 1.15’de örnek aktif sonar parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Aktif sonar ve bazı denklem parametreleri [33]

Sonar kaynaktan çıkan ses dalgasının şiddeti kaynak seviyesi (S_L , Source Level) olarak adlandırılır. Bu değer kaynaktan çıkan ses dalgasının 1 metre uzaklıkta sahip olduğu ses şiddetidir ve Denklem (1.15) ile hesaplanır;

$$S_L = 10 \cdot \log \left[\frac{I}{I_{ref}} \right] = 10 \cdot \log P + 170,8 \quad (\text{dB}) \quad (1.15)$$

Ses hedefe doğru ilerlerken iletim kayıplarından dolayı zayıflar. Bu kayıplar yayılım ve emilim kayıpları olarak ayrılabilir. Küresel yayılım için yayılım ve emilim kayıpları, 'R' mesafe ve ' α ' emilim katsayısı olmak üzere Denklem (1.16) ve Denklem (1.17) ile hesaplanır;

$$\text{Yayılım Kaybı} = 20 \cdot \log R \quad (\text{dB}) \quad (1.16)$$

$$\text{Emilim Kaybı} = \alpha \cdot R \quad (\text{dB}) \quad (1.17)$$

Hedefe ulaşan sesin bir kısmı hedefe çarpıp geri yansır. Ekonun hedeften 1 metre mesafedeki şiddetinin, hedefe çarpan sesin şiddetine oranının hedef gücü (TS, Target Strength) denir. Kaynağa doğru ilerleyen ses dalgası yine iletim kayıpları tarafından azaltılacaktır. Alıcıdaki gürültü seviyesi de (NL, Noise Level) zayıflatıcı bir unsurdur. Gürültünün bileşenleri cihazın kendi gürültüsü, ortam gürültüsü ve termal gürültü olarak sıralanabilir. Küçük alıcıların birleştirilmesi ile oluşan daha büyük alıcılara "dizi" denir ve bu alıcılar yönlü olup sadece belirli bir yönden gelen ses dalgalarını tespit edebilirler. Dolayısıyla sadece belirli yönden gelen gürültüden etkilenirler. Gürültüdeki bu azalmaya dizi kazancı (AG, Array Gain) denir. Sonuç olarak en genel ifade ile aktif sonar denklemi Denklem (1.18) ile ifade edilir;

$$\text{SNR} = S_L - 2TL + TS - (NL - AG) \quad (\text{dB}) \quad (1.18)$$

Sonarın pasif olması, vericinin yönlü olması, diğer kayıplarında hesaba katılması, yayılımın silindirik olması gibi durumunda denklemde küçük değişiklikler olacaktır. Sonar denkleminin sonucu alıcıdaki sinyal – gürültü oranını (SNR, Signal to Noise Ratio) verir.

1.14. Doppler Shift

Alıcı – verici arasındaki izafi hareketin en yaygın bilinen etkisi Doppler kaymasıdır. İlk konumuna göre izafi hareket eden bir sonar sisteminde kaynaktan çıkıp alıcıya ulaşan ses dalgalarının frekansında görülen değişimi tanımlar. Bu hareket yaklaşma yönündeyse Doppler kayması pozitif, uzaklaşma yönünde ise negatif olur. Doppler kayması “ Δf ”, orijinal sinyal frekansı “ f_s ”, izafi hız “ ΔV ”, ışık hızı “ c ” olmak üzere Denklem (1.19) ile hesaplanır;

$$\Delta f = f_s \frac{\Delta V}{c} \quad (1.19)$$

1.15. Sinyal İşleme

Akustik sinyaller hidrofondan alınmak istenen mesajlardır. Bu mesajların dışındaki her şey gürültüdür. Akustik mesaj sinyalleri uzun veya kısa süreli devamlı dalga ya da darbe şeklinde olabilir. Bu sinyallerin frekansları sabit veya değişken olabilirken, karmaşık kodlu mesajlar ya da rastgele diziler içerebilirler. Gürültü sinyalleri ise bütün şekillerde olabilir. Bu durumda mesaj sinyallerini gürültüden ayırmak için bazı işlemler uygulanır ve bunlar sinyal işleme teknikleri olarak tanımlanırlar. Huzme şekillendirme, filtreleme ve yükseltme vb. gibi sinyal işleme tekniklerinin temel fonksiyonları; sinyalin gürültü içersinden tanımlanıp tespit edilmesi, yayılım zamanı ve sinyalin geliş açısı gibi bazı parametrelerin hesaplanması, hedef tanımlaması ve sınıflandırması olarak sayılabilir [25,28].

2. SUALTI KONUMLAMA VERİCİSİ (UNDERWATER LOCATOR BEACON)

Ticari havayolu taşımacılığı için kullanılan uçaklarda bulunması zorunlu olan ve halk arasında kara kutu olarak bilinen iki kayıt cihazı vardır. Bunlardan biri, uçağın durumunu ve performansını gösteren parametrelerin kayıt edildiği Flight Data Recorder cihazı, diğeri ise kokpit ve çevresindeki sesler ile uçuş ekibi arasında veya uçuş ekibi ile kabin ekibi arasında geçen sesli iletişimin kayıt edildiği Cockpit Voice Recorder cihazıdır. Kaza ve kırım olaylarının ardından bu cihazların bulunup analiz edilmesi, araştırma ve inceleme sürecinin en önemli bilgi kaynağını sağlar. Underwater Locator Beacon ise, uluslararası yönetmelikler ile FDR ve CVR cihazlarının gövdesine takılması zorunlu kılınmış, aktive olduğunda belirli bir frekansta akustik sinyal yayan, okyanus, deniz veya göl gibi bölgelere düşen uçakların FDR ve CVR cihazlarının sualtındaki yerlerinin tespit edilmesinde kullanılmak için tasarlanmış alettir. Arama kurtarma ekiplerinde ULB cihazlarının yaydığı akustik sinyalleri tespit edebilen hidrofonder bulunur. Bu hidrofonder vasıtasıyla alınan sinyaller ile belirli metotlar kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ULB'lerin yer tespiti yapılır. Bu, çoğu zaman uçak enkazının da yerinin bulunması anlamına gelir. Fakat son yıllarda yaşanan bazı kazalarda, enkazın ve kayıt cihazlarının bulunması oldukça uzun sürmüştü, hatta bazıları halen bulunamamıştır.

Uçak kazaları halk nezdinde çok dikkat çektiği için, medya aracılığı ile uzun süreler gündemde kalmaktadır. Uçak enkazının ve kayıt cihazlarının bulunamaması, kaza araştırmalarının sonuca ulaşamamalarına sebep olmaktadır. Böyle durumlarda başta kazazede yakınları olmak üzere halkın soruları cevapsız kalmakta, endişeleri giderilememektedir. Ayrıca kazaların kök nedenlerini bulmak, benzer olayların tekrar yaşanmaması için alınacak tedbirlerin temel dayanak noktalarını oluşturduğu için çok önemlidir. Arama çalışmalarının uzamasının başka bir dezavantajı da okyanus gibi derin sularda yapılan arama kurtarma operasyonlarının maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır.

Sonuç olarak mevcut ULB ve sualtı yer belirleme teknolojilerinin bazı durumlarda yetersiz kaldığı görülmüştür. Akustik haberleşme için sualtı ortamının doğasından kaynaklanan zorluklar da düşünüldüğünde, teknolojik ve sistemsel işleyişler bakımından araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Şekil 2.1’de FDR, Şekil 2.2’de ise CVR üzerine takılmış ULB’ler görünmektedir.



Şekil 2.1. FDR ve ULB

2.1. FDR ve CVR

1950’li yılların başlarında, üst üste gerçekleşen ve halk tarafından çok tartışılan uçak kazaları havacılık endüstrisini zora sokmuştu. Bu kazaların sebepleri, enkazlar incelemeye imkân vermeyecek kadar çok hasarlı olduğundan ve herhangi bir görgü tanığı olmadığından dolayı bir türlü bulunamıyordu. O zamanın en gözde uçaklarının üst üste düşmesi ve kaza araştırmalarının sonuçsuz kalması, insanlardaki güvensizliği giderek arttırmıştı. Babasını 1934 yılında bir uçak kazasında kaybeden Avusturyalı kimyacı David Warren, uçuş ekiplerinin konuşmalarının ve bazı uçuş bilgilerinin, daha sonra araştırmalarda kullanılmak üzere kayıt edilmesini önerdi. Böylece kazaların sebeplerine ulaşmak için çok önemli bilgiler elde edilebilecekti. FDR ve CVR kayıt cihazları bu şekilde havacılık endüstrisine girmiş oldu [13].

Kayıt cihazlarının kaza sonrasında sağlam kalması ya da en azından kayıtların saklandıkları bölümlerin zarar görmemesi gereklidir. Bu yüzden darbe, su ve yangın gibi zarar verici etkilere karşı oldukça dayanıklı üretilirler. Kayıt cihazları, istatistikler ile uçağın kazadan en az hasar alan kısmı olduğu tespit edilen kuyruk bölümüne takılırlar. Kolay tespit edilebilmeleri için turuncu renklidirler [34].



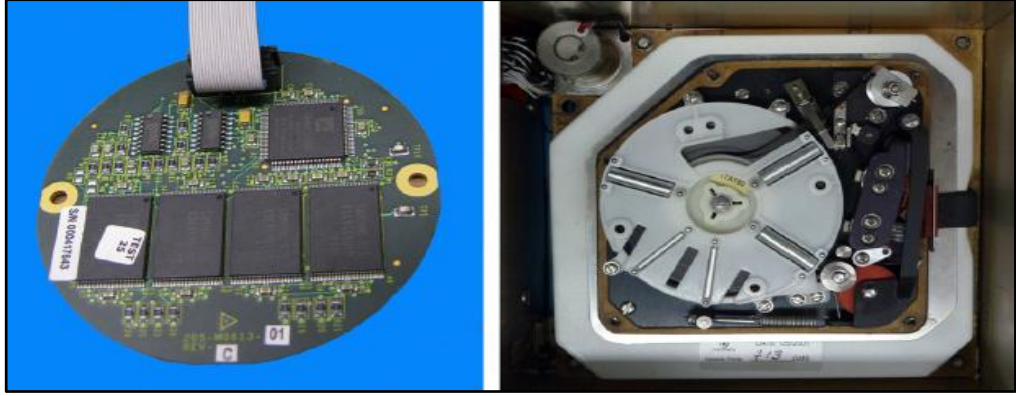
Şekil 2.2. Cockpit Voice Recorder (CVR) [34]

Günümüzde kullanılan modern CVR cihazları, iki saatlik ses kaydını hafızasında tutar. Bu kayıt sadece pilotların konuşmalarını değil, aynı zamanda kokpit bölgesindeki bütün sesleri içerir. Bu seslere, ekip konuşmaları (kokpit – kabin), radyo iletişimleri, sesli ikazlar, kontrol manevraları, switch aktivasyonları, motor gürültüsü ve hava akımının gürültüsü örnek olarak verilebilir. Uçak kazalarının %80'i insan faktörü kaynaklı hatalar içerdiğinden, CVR kayıtları araştırmacılara kazanın nedeni hakkında çok önemli bilgiler sağlar [34].

FDR cihazının asıl kullanım amacı hava aracı kazalarının sebeplerini bulmaya çalışan araştırmacılara yardımcı olmaktır. FDR birçok uçuş bilgisini kaydeder. Günümüzde kullanılan modern FDR'ler, uçağın operasyonunun tümünü kapsayacak şekilde binlerce parametre kaydederler. FDR 25 saatlik kayıt yapar. Uçak işletmecileri FDR bilgilerini düzenli olarak toplayıp analiz ederler. Bu, uçak sistemleri ve motorların performansını izlemeye yardımcı olurken, operasyonel verimi takip etmek için de çok kullanışlıdır [34,35].

2.1.1. Bilgilerin depolanması

Eski teknoloji ürünü olan kayıt cihazlarında, metal folyo, fotografik, manyetik kablo ve manyetik şerit gibi yöntemler kullanılırdı. Günümüzde ise yarı iletken teknolojisi ile donatılan kayıt cihazları, bilgileri hafıza çiplerine kaydeder [34,36]. Şekil 2.3'de hafıza çipi ve manyetik şerit örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hafıza çipi ve manyetik şerit [34]

2.1.2. Kaza dayanımı

Kayıt cihazları hem yüksek genlikli darbelere hem de yangın etkisine karşı dayanıklı olarak tasarlanmış olsalar da, yüksek hızlı çarpmanın ya da yangının etkisinden dolayı verilerin okunamayacak kadar zarar gördüğü kazalar da mevcuttur. Kayıt cihazları, kaza durumunda bilgilerin kayıt edildiği kısımların korunması düşünülerek tasarlanmışlardır. Bu bölümler darbeye, yangına ve sıvı temasına dayanıklı muhafazalar içinde bulunurlar. 3400 g kuvvetindeki darbeye dayanıklılık ve 1100 °C sıcaklığa 60 dakika dayanıklılık, kayıt cihazlarının üretim standartlarına örnek olarak verilebilir [34]. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de bazı hasar örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.4. Kazada hasar görmüş bir CVR [34]



Şekil 2.5. Yangında hasar görmüş bir koruyucu muhafazanın sağlamı ile karşılaştırılması [34]

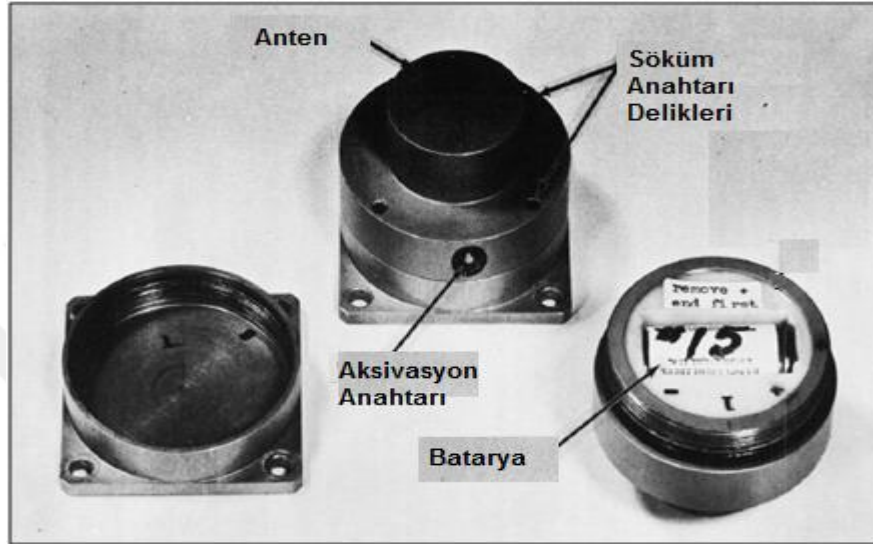
2.1.3. Analiz

Uçak sistemlerinden gelen her türlü bilgi, DFDAU (Digital Flight Data Acquisition Unit) olarak adlandırılan, uçağın aviyonik bilgisayarında toplanır. Burada bilgiler dijital hale dönüştürüldükten sonra FDR'ye yollanır. FDR'deki bilgileri normal operasyon sırasında edinmek için, çeşitli test üniteleri FDR'ye bağlanarak bilgi indirme işlemi yapılır. Günümüz teknolojisinde, uçak yerdeyken FDR verilerini kablosuz iletişim ile yer istasyonuna ileten sistemlerde mevcuttur. Herhangi bir kaza kırım olayında ise yetkili otorite, kayıt cihazları bulunduğu anda onlara el koyar ve kendi laboratuvarında analiz eder. Bu analizlerin çıktısı tablo, grafik veya animasyon olmak üzere üç şekilde alınarak değerlendirme yapılır [36].

2.2. ULB'nin İlk Tasarım Özellikleri

ULB'lerin kayıt cihazlarına takılması 1977 yılında zorunlu hale gelmiştir. 1960'lı yıllarda havacılık dışındaki uygulamalarda kullanılan sualtı akustik konumlama sistemlerinin ticari olarak bulunabilir olduğu bilinmektedir [6].Yine bu yıllarda ULB'lerin hava araçlarının kayıt cihazlarına takılmak üzere geliştirilip test edilmeye başlandığı anlaşılmaktadır. 1968 yılında FAA'nın yaptırmış olduğu ULB ve bu cihazla yapılan testler, günümüzde kullanılan ULB'lerin ilk örnekleri niteliğindedir [2]. Şekil 2.6'da gösterilen bu cihazın bazı özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Dışarı ile herhangi bir bağlantısı olmayan bu cihazlar boyut olarak küçük ve herhangi bir yüzeye monte edilebilir özelliktedir. ULB'nin dış kasası akustik anten görevi yapmakta, cihazın aktivasyon teçhizatı su ile temas ettiği anda elektronik devre tarafından üretilen darbe sinyalleri bu akustik anten vasıtasıyla su ortamına iletilmektedir. Bu çalışma prensibi bugünde geçerliliğini korumaktadır.



Şekil 2.6. FAA testlerinde kullanılan ULB modeli [2]

Tablo 2.1. FAA testlerinde kullanılan ULB özellikleri

Parametre	Değer
Akustik çıkış (ilk)	1000 dynes/cm ² (1 metrede)
Frekans	35-40 KHz
Darbe süresi	10-20 ms
Darbe tekrar oranı	1-4 darbe/saniye
Batarya çalışma ömrü	48 saat
Tespit mesafesi	450-900 metre

ULB bir kuyruk parçası içine konulup, farklı durum ve pozisyonlarda, 15-30-60 metre derinlikteki test noktalarına batırılarak birçok kez test edilmiştir. Sonuç olarak, test edilen cihazlar uçak içinde kapalı kalmış olsa bile akustik sinyallerinin tespit edilebilir olduğu, bir uçak malzemesi olan alüminyum bal peteği yapının ULB'nin akustik güç seviyesini azalttığı, ortamın arka plan gürültüsünün ULB'nin tespit mesafesini olumsuz etkilediği ve kirli bir aktivasyon teçhizatının ortamdaki yüksek

nem sebebiyle yanlışlıkla aktive olmasının mümkün olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca yapılan testlerde ULB sinyallerinin yaklaşık 2700 metre yüzey mesafesine kadar ulaştıkları görülmüştür [2].

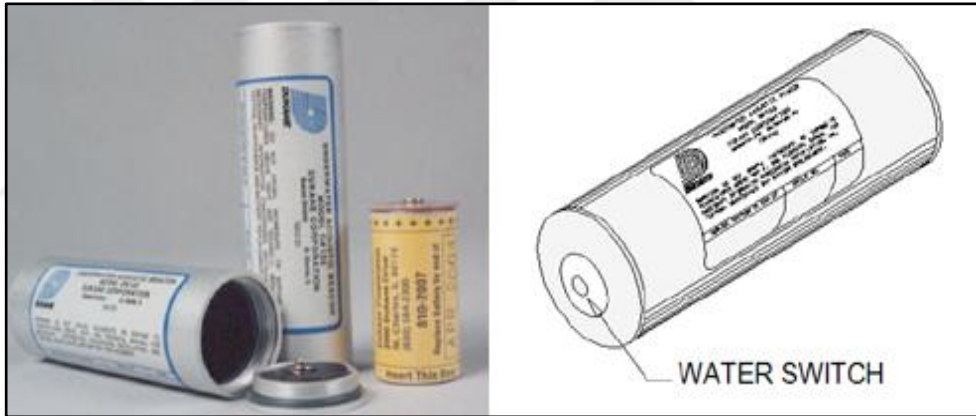
2.3. ULB Karakteristikleri

Okyanus üzerinde uçuş yapan bir uçak düştüğünde, yapısal olarak yekpare kalmaması durumunda batmaya başlar. GPS, radar ve uçuş planı bilgileri uçağın son konumu hakkında tahminde bulunmaya yardımcı olabilir. Fakat bu tahminin nokta atışı olması pek olası değildir. Ayrıca uçağın son konumu %100 doğru hesaplanırsa bile, bu bilgi batık enkazın bulunduğu derinliği göstermez. Bu durum, özellikle derin okyanus sularında arama kurtarma çalışmalarını oldukça zorlaştırır. Bazı kazalarda su üzerinde enkaz parçalarının ve yakıt kalıntılarının görüldüğü olmuştur. Fakat bunlarda enkazın konumu hakkında kesin bilgi vermez çünkü birçok vakada enkaz su altında sürüklenerek çarpışma noktasından uzaklaşmıştır. Karada düşen uçaklarda, enkazın yerini tespit etmeye yardımcı olarak kullanılan ELT (Emergency Locator Transmitter) sistemi mevcuttur. Bu sistem darbe etkisi veya su teması ile aktive olur ve acil durum merkezlerine 3 farklı frekansta elektromanyetik sinyal gönderir. Eğer uçak suya düştü ise, enkaz su üstünde yüzer halde iken, ELT sistemi aktive olursa görevini yapacaktır. Fakat enkaz suya battığında, elektromanyetik dalgalar suda çok hızlı emildiği için ELT sistemi faydasız hale gelir. Bu durumda özel bir sualtı yer tespit cihazına ihtiyaç vardır ve ULB bunun için tasarlanmıştır [30].

ULB sinyal yaymaya başladığı zaman, uçağın bilinen en son pozisyon tahminine göre konumlanmış olan arama kurtarma ekipleri, hidrofonlar vasıtasıyla ULB' den gelen sinyallerin gücünü ve geliş açısını kullanarak konumunu tespit etmeye çalışırlar. Bu hidrofonlar yönlü (directional) veya yönsüz (omnidirectional) olabilirler. Dalgiç, gemi, denizaltı, ROV (Remotely Operated Underwater Vehicle) ve AUV (Autonomous Underwater Vehicle) gibi çeşitli sualtı araştırma araçları ile kullanıma uygun hidrofon sistemleri mevcuttur.

2.3.1. Fiziksel özellikler

ULB'ler havacılık endüstrisinde kullanılmak üzere tasarlandıkları tarihten buyana, batarya ömrünün uzaması ve fiziksel karakteristiklerinin geliştirilmesi dışında önemli bir değişikliğe uğramamışlardır. Ticari hava taşımacılığı yapan uçaklarda kullanılan ULB cihazları, piyasada birkaç farklı firma tarafından üretilirler. Neredeyse tamamen aynı olan bu cihazlar, alüminyum kasa, batarya, elektronik devre, transdüser ve aktivasyon (water) switch'i parçalarından oluşurlar. Cihazın ana elemanları Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Silindir şeklindeki alüminyum kasanın bir tarafında elektronik devre ile transdüser bulunur ve kasanın bu tarafı aktivasyon switch'i ile kapatılmıştır. Kasanın diğer tarafında batarya bulunur ve bu taraf bakım amaçlı sökülebilir bir kapak ile kapatılmıştır. Alüminyum gövde yüksek genlikli darbeye ve hidrostatik basınca dayanıklıdır [37].



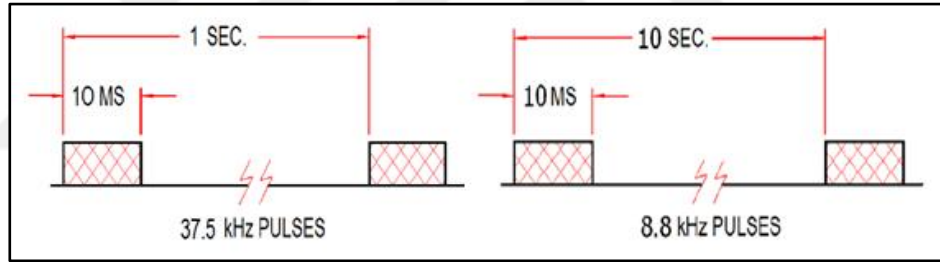
Şekil 2.7. Underwater Locator Beacon

2.3.2. Çalışma prensibi

Günümüzde kullanılan ULB'ler, ilk örneklerinde olduğu gibi su ile aktive olduğu anda 37.5 KHz frekansında ultrasonik ses sinyalini ortama iletirler. ULB'ler literatürde zaman zaman “pinger” olarak da adlandırılırlar. Pinger'in aktivasyon switch'i, düşük akımlı tetikleme devresinin bir parçasıdır. Bu devre çalıştığında, osilatör devresi darbe sinyalini üretmeye başlar. Osilatör çıkış voltajının piezo-seramik transdüser halkasına uygulanmasıyla üretilen mekanik titreşim, alüminyum gövde vasıtası ile ortama iletir [37].

2.3.3. Teknik özellikler

ULB'ler havacılık otoriteleri tarafından belirlenmiş standartlara göre üretilirler. 37,5 KHz frekansında en az 30 gün veya 90 gün boyunca çalışma süresi olan ULB'ler FAA TSO-C121 (Technical Standart Order) standardına, 8,8 KHz frekansında en az 30 veya 90 gün boyunca çalışma süresi olan ve en geç 2019 yılında uçaklara takılması zorunlu hale getirilmiş olan ULD'ler ise FAA TSO-C200 standardına göre tasarlanıp üretilirler. Bu cihazların minimum çalışma performansları SAE (Society of Automobile Engineers) AS8045A ve SAE AS6254 standartlarında belirtilen testler ile onaylanır. Tablo 2.2'de Dukane Seacon firmasının ürettiği DK120/90 modeli ULB ve Novega firmasının ürettiği SID88 modeli ULD cihazlarının bazı teknik özellikleri gösterilmiştir. Darbe süreleri yaklaşık 10 milisaniyedir ve bu sürede DK120 375 ± 10 darbe üretirken SID88 ise 88 ± 10 darbe üretir. Şekil 2.8'de darbe süresi ve tekrar oranı örneklenmiştir [37,38].



Şekil 2.8. Nominal darbe dizileri

Tablo 2.2. ULB ve ULD cihazlarının bazı teknik özellikleri

	DK120/90	SID88
Akustik çıkış (ilk)	160,5 dB re 1 µPa @1m	160,5 dB re 1 µPa @1m
Akustik çıkış (son)	157 dB re 1 µPa @ 1m	157 dB re 1 µPa @ 1m
Frekans	37,5 KHz ± 1 KHz	8,8 KHz ± 1 KHz
Darbe süresi	Min. 9 ms	Min. 10 ms
Darbe tekrar oranı	Min. 0,9 darbe/s	Min. 0,1 darbe/s
Çalışma süresi	Min. 90 gün	Min. 90 gün
Güç kaynağı	Tek kullanımlık batarya	Tek kullanımlık batarya
Batarya raf ömrü	6 yıl	6 yıl
Boyut	Çap= 3,3 cm, boy=9,95 cm	Çap= 7,6 cm, boy=9,6 cm
Ağırlık	190 gr	890 gr
Aktivasyon	Su teması ile	Su teması ile

2.3.4. Kısıtlamalar

ULB'nin operasyonel anlamda en önemli kısıtlaması güç kaynağı olarak bataryaya bağlı kalmasıdır. Bu kısıtlı güç kaynağı ile ULB'nin çalışma süresi belli limitler dâhilinde kalır. Yeni düzenlemeler ile bu süre 30 günden 90 güne çıkarılmıştır. Bataryalar genelde lityum – metal tipinde tek kullanımlık özellikte pillerdir.

ULB'ler 6000 metre derinliğe kadar hidrostatik basınca dayanırlar. Çalışma sıcaklığı limitleri $- 2,2 \text{ }^{\circ}\text{C} / + 37,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. ULB sinyalinin tespit mesafesi deniz durumuna ve frekansa bağlı olarak değişir. 37,5 KHz frekansında sinyal yayan bir ULB'nin, sakin bir denizdeki ortalama tespit mesafesi 4000 metre civarındadır [37,39].

2.4. Transdüser

Transdüser en genel anlamıyla, enerjiyi bir formdan diğer forma dönüştüren elemandır. ULB içerisinde üretilen elektrik sinyalini mekanik titreşimlere çevirip, alüminyum gövde vasıtası ile akustik sinyalin su altı ortamına yayılmasını sağlayan kısım transdüserdir. Çoğu ULB'de bu iş için, piezoelektrik etki ile çalışan elektroakustik transdüserler kullanılır. Piezoelektrik etki, bir malzemenin voltaj altındayken mekanik stres üretmesi veya tersi olarak, bir malzemeye mekanik stres uygulandığında voltaj üretmesi şeklinde açıklanabilir [11].

Bir elektroakustik transdüser elektrik enerjisi ve akustik enerji arasındaki dönüşümü sağlar. Transdüserler sesi üreten kaynak olarak kullanıldıklarında, hava ortamı için hoparlör, su ortamı için projektör olarak adlandırılırlar. Ses alıcısı olarak kullanıldıklarında ise hava ortamı için mikrofon, su ortamı için ise hidrofondur. ULB'ler su altında sinyal üreten projektörlerdir ve bunu piezoelektrik malzemeden yapılmış halka şeklinde transdüser kullanarak yaparlar [40,41].

Piezoelektrik, elektrostriktif, manyetostriktif, elektrostatik, değişken relüktans ve hareketli bobin olmak üzere 6 ana elektroakustik transdüser tipi vardır ve hepsi de sualtı akustik uygulamalarında kullanılırlar. Lineer cevap göstermeleri, birçok geometride üretilibilmeleri, elektromekanik özelliklerinin çok iyi olması, elektrik kayıplarının düşük olması ve yüksek kuvvet üretebilmeleri gibi avantajları nedeniyle

piezoelektrik transdüser sualtı uygulamalarında en çok kullanılan tiptir. Şekil 2.9’da çeşitli geometrilerde üretilen transdüserler gösterilmiştir [41].



Şekil 2.9. Farklı geometrilerdeki piezoelektrik transdüserler

2.4.1. Transdüser cevabı

Lineer cevap karakteristiği, transdüserlerin sahip olmaları istenen bir özelliktir. Lineer transdüserler için hassasiyet veya cevap, desibel birimi ile ifade edilen bir orantılılık sabitidir. Örneğin; hassasiyeti 100 dB re 1 μ Pa / V @ 1 m olarak verilen bir projektör, 1 volt gerilim altındayken, 1 metrede 10⁵ μ Pa olarak ölçülen akustik basınç üretir. Hidrofonlar için desibel değeri negatif olarak verilir. Örneğin; hassasiyeti -100 dB re 1 V/ μ Pa olarak verilen bir hidrofon, 1 μ Pa rms basınca sahip bir akustik dalga etkisiyle 10⁻⁵ volt üretecektir [22]. Bir projektörün kaynak seviyesi ise, ‘W’ toplam akustik güç ve ‘DI’ yönlülük indeksi olmak üzere Denklem (2.1) ile verilir [41];

$$SL = 10\log W + DI + 170,8 \text{ dB re } \mu\text{Pa @ } 1 \text{ m} \quad (2.1)$$

ULB sinyalinin kaynak seviyesi 160,5 dB re 1 μ Pa @ 1 m olarak standart olarak belirlenmiştir. Bu değer akustik basınç seviyesidir. Akustik basınç (p) ise, ürün kataloglarında genelde 1060 dyne / cm², yani 106 Pa olarak belirtilmektedir. Akustik gücü (W) hesaplamak için akustik şiddet (I) bulunmalıdır. Denklem (1.8) için, akustik basınç 106 Pa, su yoğunluğu 1000 kg / m³, sudaki ses hızı da 1500 m/s olarak

varsayılırsa, akustik şiddet $0,00749 \text{ W/m}^2$ bulunur. Akustik güç, akustik şiddet ile alanın çarpımıdır. ULB'nin yakın bölgede küresel yayılım yaptığı varsayılırsa, 1 metre yarıçapındaki kürenin alanı ($4\pi r^2$) $12,51 \text{ m}^2$ olarak hesaplanır ve piyasadaki ULB cihazlarının akustik gücü $0,0940 \text{ W}$ olarak bulunur. Denklem (2.1) ile verilen kaynak seviyesi hesaplaması, eş yönlü yayılım yapan (DI, Directivity Index = 0) bir ULB için doğrulanmış olur [30].

2.5. ULB 'nin Sualtı Performansı Hakkında Bazı Deneysel Örnekler

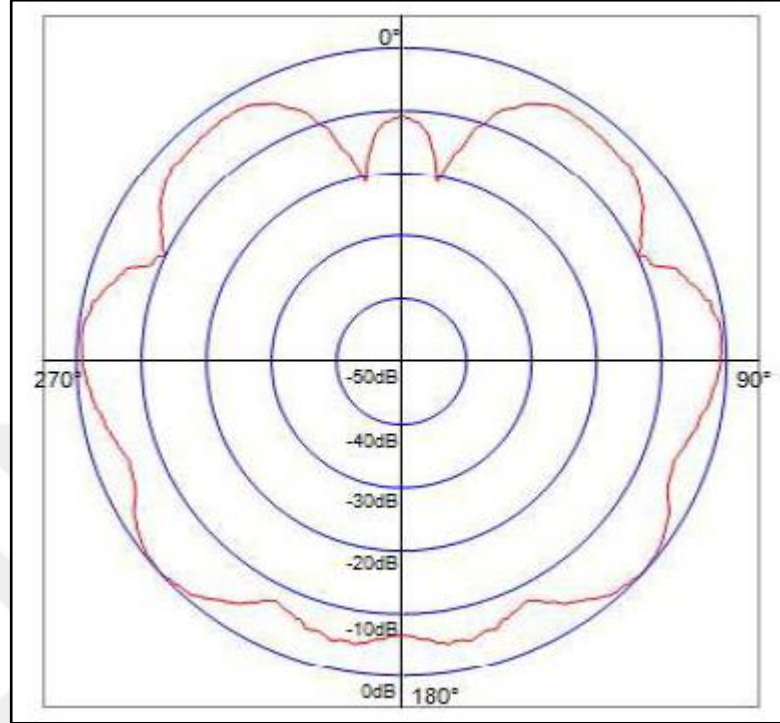
2009 yılında yaşanan uçak kazasında, AirFrance uçağının CVR kayıt cihazında bulunan ULB, Fransız havacılık otoritesi BAE tarafından bazı laboratuvar testlerine tabi tutulmuştur. Bu incelemelerde, ULB'nin test sonuçlarını karşılaştırmak için, yeni ve sağlam bir ULB'nin test sonuçları referans olarak kullanılmıştır. Su tankında yapılan bu testlerde, referans ULB'nin test sonuçlarındaki bazı elektriksel veriler Tablo 2.3'de verilmiştir [40].

Tablo 2.3. Referans ULB'nin bazı test değerleri

MODEL	DK120
Frekans	37,2 KHz
Darbe Süresi	10,3 ms
Darbe tekrar oranı	1,08 darbe/s
Darbe genliği	0,6 V_{pp}

2011 yılında Brezilya'da bir helikopterin denize düşmesiyle meydana gelen kazanın ardından, bu helikopter modelinin operasyonlarında sıklıkla kullanan bir enerji şirketi, sualtı arama çalışmalarında işbirliği yaptığı şirketler ile birlikte, DK140 model ULB'yi kullanarak bazı saha araştırmaları yapmıştır. Bu testlerde genelde sualtı petrol operasyonlarında kullanılan ve çalışma frekansları 19 – 36 KHz aralığında değişen hidroakustik konum belirleme sistemleri kullanılmıştır. Bu sistemlerin bazı kısıtlamalar ile birlikte, 37,5 KHz frekansındaki ULB sinyalinin de belirleme kabiliyetleri vardır. Bahsi geçen kazadan sonra yapılan arama kurtarma operasyonları sırasında bilinmeyen bu kabiliyetlerin derecesi araştırılmıştır. Testlerin

daha verimli sonuçlanması için DK140 ULB'sinin akustik yayılım pateni Şekil 2.10'daki gibi belirlenmiştir [42].



Şekil 2.10. DK140 ULB akustik yayılım pateni

ULB'nin sinyal seviyesi 160,5 dB re 1 μ Pa @ 1 m, alıcının özelliği olan ve çevredeki sinyalin varlığını algılayabilmesi için gereken minimum akustik sinyal seviyesi anlamına gelen tespit eşiği (DT, Detection Threshold) 80 dB re 1 μ Pa @ 1 m, alıcının yönlülük indeksi de göz önünde bulundurularak hesaplanan gürültü seviyesi 10 dB re 1 μ Pa @ 1 m, 37,5 KHz için emilim kaybı ise 8 dB / km olarak alınmıştır. Sonar denkleminin sonucunda yapılacak testlerde maksimum tespit mesafesi 1100 metre olarak öngörülmüştür. Bu testlerde, ULB'nin, uçak yapısı altında kalarak sinyal yayma simülasyonunu yapabilmek için, DK140 bir helikopter kuyruk konisi içine konularak yaklaşık 100 metre ve 2000 metre derinliklerine indirilmiştir. Yapılan testlerde 3 farklı hidroakustik konum belirleme sistemi kullanılmıştır ve bu sistemlerin 1700 metre derinliğe kadar verimli oldukları belirlenmiştir. Yatayda ise 1 km çapındaki bölgeyi kapsadıkları tespit edilmiştir. Sonuç olarak ULB sinyalini tespit etmek için kullanılan cihazlarında, ULB'nin çalışma frekansına göre optimize edilmeleri gerekliliği anlaşılmıştır [42].

ULB'nin sinyal yayma periyodu ile arama kurtarma araçlarının hızının ilişkisini analiz etmek amacıyla oluşturulan matematiksel model ile yapılan bir araştırmada, piyasadaki 37,5 KHz frekansında yayın yapan ULB'lerin yaklaşık 1 saniye olan darbe tekrar oranının, belirli hızlarda çalışan araçlar ile yapılan aramalar için çok kısa olduğu ifade edilmiştir. İki darbe sinyali arasındaki sessiz sürenin uzatılmasıyla, bataryanın daha uzun süre kullanılabilceği gösterilmiştir [39].

Yapılan başka bir çalışmada ise, Hint Okyanusu'nda 4000 metre derinlikte bulunan bir ULB'nin yaydığı sinyal için, emilim kaybı 6 dB / km olarak varsayılmıştır ve bu sinyalin yüzeye ulaşana kadar yaşayacağı yayılım kaybı, ışın izleme metodu ile hesaplanarak yaklaşık 105 – 120 dB re 1µPa @ 1 m olarak bulunmuştur. Eş yönlü olarak çalışan bir alıcı ile oluşturulacak sistem için kurulabilecek sonar denklemi, Denklem (2.2)'de gösterilmiştir. ULB'nin sinyal seviyesi (SL) ile alıcının tespit eşiği (DT), sinyalin belirlenebilmesindeki (SE, Signal Excess) önemli donanımsal parametreler değerlendirilmiştir [43];

$$SE = SL - TL - NL - DT \quad (2.2)$$

2.6. Uçak Üzerinde ULB Bakımı

Uçak üreticilerinin, ULB standartlarına göre belirlenmiş, kullandığı ULB cihazları için bakım prosedürleri vardır. Uçak üzerinde yapılan bu işlemler, batarya değişimi ve sonrasında yapılan testler ve temizlik işlemleridir. ULB bataryasının ömrü, üreticisine göre değişmekle birlikte, genelde 6 ya da 7 yıl olarak belirtilir. Havayolu firmaları bu süreden önce batarya değişimini yapmak zorundadırlar. Bunun dışında, ulusal otoriteler tarafından mecbur kılınmış veya havayolu firmasının kendi inisiyatifi ile uyguladığı bir kural yoksa ULB'ler başka bir bakım işlemi görmezler [37].

ULB'lerin uçak üzerinde bulunduğu yerler, nem ve kir gibi yanlışlıkla aktivasyona sebep olabilecek etkenlere açıktır. ULB üreticileri, uçak üzerindeki kayıt cihazlarına takılı olan ULB'lerin, 6 – 7 yılda bir yapılan zorunlu batarya değişimi ve testlerin dışında, her iki yılda bir temizlik ve test işlemine tabi tutulmasını tavsiye ederler. Amerikan Ulusal Ulaştırma Emniyet Kurulu NTSB (National Transportation Safety Board), yaşanan kazaların ardından yaptığı emniyet tavsiyelerinde, havayolu

firmalarının, ULB üreticilerinin tavsiye ettiği bakım prosedürlerini (zorunlu olmayan) uygulamadığını belirtmiş, batarya ve ULB'nin düzgün bir şekilde çalıştığından emin olmak için, periyodik testlerin planlı bir şekilde yapılması gerektiğini vurgulamıştır [35, 37].

ULB bataryası tek kullanımlık ve lityum – metal kimyasal özelliklidir. Nominal voltajı üreticinin tercihine göre değişir. Örneğin DK120 modelinde bataryanın nominal voltajı 3 volt, testlerden geçmesi için gereken minimum voltaj değeri ise 2,97 voltur. ULB'nin uçak üzerinde yapılan çalışma testlerinde ise, ULB üreticilerinin teknik el kitaplarında belirttiği test aletleri ve ilgili prosedürlerden biri kullanılarak yapılır. Bu testlerde temel olarak, ULB gövdesi ve aktivasyon switch'inin kısa devre edilmesi ile üretilen akustik sinyalin, sinyal frekansına ayarlanmış test cihazı tarafından tespit edilerek, sesli veya görsel bir uyarı ile test operatörüne gösterilmesi amaçlanır. Bu testlerde frekans, genlik, akustik basınç seviyesi ve darbe süresi gibi parametrelerin hassas ölçümleri yapılmaz. Batarya voltajı ise, aktivasyon switch'i ve ULB gövdesi üzerine bir voltmetre bağlanarak ölçülebilir [37].

Uçaktaki acil durum ekipmanları her uçuş öncesi kontrol edilir. Uçakların günlük bakımlarında da bu kontroller yapılır. ULB, acil durum ekipmanı olarak değerlendirilmese bile, zorunlu bakım periyodunun, benzer sistemlerin bakım periyodundan çok daha uzun olması dikkat çekicidir. Örneğin ELT sistemleri, ULB'nin su altında yaptığı işin benzerini karada ve su üzerinde yaparlar. Uçakta sabit ve taşınabilir olmak üzere iki çeşit ELT sistemi bulunabilir. Sabit ELT sistemlerinin çalışma testleri yılda bir, taşınabilir ELT sistemlerinin çalışma testleri ise 6 ayda bir yapılır. ELT sistemleri, ULB'ye benzer şekilde, tek kullanımlık batarya ile çalışır. Ayrıca ELT ekipmanlarının üzerlerinde, kendi test düzenekleri vardır ve bu şekilde çok hızlı ve basit bir şekilde testleri yapılabilir.

Yaşanan uçak kazalarına bakılacak olursa, su üzerine yumuşak iniş yapan bir uçaktaki ULB'lerden birinin çalışmadığı görüldüğü gibi, bomba patlaması sonucu denize çakılan bir uçaktaki her iki ULB'nin de sağlam kaldığı ve çalıştığı da görülmüştür. Ayrıca AirFrance kazasında, ULB arama ekipmanları, ULB'lerin çok yakınından geçmiş olmasına rağmen sinyali tespit edememiştir ve daha sonra yapılan

incelemelerde CVR'ye takılı olan ULB'nin arızalı olduğu anlaşılmıştır. Neticede, bazı ULB'lerin kazalar yaşanmadan önce bozulmuş olma ihtimallerinin olması, ULB bakım periyotlarının çok uzun olması, benzer sistemlerde olduğu gibi kolayca test yapmaya imkan veren dahili test düzeneklerinin olmaması, ULB bakımına verilen önemin ve bakım uygulamalarının revizyona ihtiyaç duyduğunun önemli göstergeleridir.

2.7. ULB Problemi

Derin sularda düşen uçakların ULB arama çalışmalarının başlangıcında dahi, gecikmelere neden olabilecek birçok faktör vardır. Bunlar; son pozisyon bilgisinin doğruluk derecesi, kaza bölgesinin uzaklığı, kazadan kurtulan olma ihtimali ile arama kurtarma çalışmalarına önce bu yönde ağırlık verilmesi, ULB arama ekipmanları ve personellerin bölgeye ulaştırılması ve hava durumu gibi etkenlerdir. ULB arama çalışmalarında ortalama olarak günlük 100 km²'lik alan taranmaktadır. Bu çalışmalara 7. günden sonra başlanıldığı varsayılırsa, 30 günlük süre içerisinde 2300 km²'lik bir alan taranabilir. Bu yüzden son pozisyon bilgisi çok önemlidir. 37,5 KHz frekansında çalışan ULB cihazlarının tespit edilme mesafesi, deniz durumu ve ses hızı profili gibi faktörlerin etkisiyle değişmekle birlikte 2-4 km civarındadır. Yüzeyden arama yapan hidrofonlar, 2 km derinliğe kadar verimli çalışabilirler. Bundan daha derin sularda ise, suya daldırılan sonar teçhizatları gereklidir. Bu sonarlar ile ULB yerinin tam tespiti için birkaç farklı noktadan sinyal tespit çalışması yapılmalıdır. Bazı durumlarda ULB uçak enkazının altında kalabilir ve bu sinyalin yayılımını negatif etkiler. Diğer bir ihtimalde kaza olduğunda ULB cihazlarının çalışır durumda olmamalarıdır. AF447 kazasında bu iki ihtimal üzerinde durulmuştur [44].

Yapılan bir araştırmada ise, ULB sinyalinin darbe tekrar oranının çok kısa olduğu, bu sürenin uzatılmasıyla bataryanın daha tasarruflu kullanılabileceği belirtilmiştir. Diğer bir araştırmada ise ULB sinyalinin jamming'den etkilenebileceği, ayrıca bu sinyallerin kötü amaçlı kişiler tarafından da tespit edilebileceği ifade edilmiştir [9, 39].

Yaşanan kazalardan sonra otoriteler, ULB bataryalarının ömrünü 30 günden 90 güne çıkarmıştır. Ayrıca düşük frekansta çalışan ULD cihazlarının da uçakların gövdesine

takılması kararlaştırılmıştır. Böylece ULB cihazlarının arama çalışmaları daha kapsamlı ve etkili bir şekilde yapılabilir. Düşük frekanslı ULD sayesinde, tespit mesafesi arttırılmış, cihaz uçak enkazının altında kalsa bile sinyalinin zayıflama ihtimali azaltılmış ve arama çalışmalarına düşük frekanslı sonar teçhizatına sahip birçok aracın da katılabilmesine olanak sağlanmıştır. ULD'lerin darbe tekrar süresi uzun tutularak, bataryayı daha verimli kullanmaları sağlanmıştır.

Hiç alışmayan veya istenen performansta alışmayan ULB'lerin tespiti için uçak üzerindeki bakım faaliyetlerinde olağanın dışında bir uygulama henüz yapılmamaktadır. Bu bakım faaliyetlerinin kapsamının ve sıklığının arttırılması, yaklaşık olarak yılda bir kez deniz ve okyanus bölgelerinde uçak kazası yaşandığı düşünöldüğünde, kaçınılmaz bir gerekliliktir.

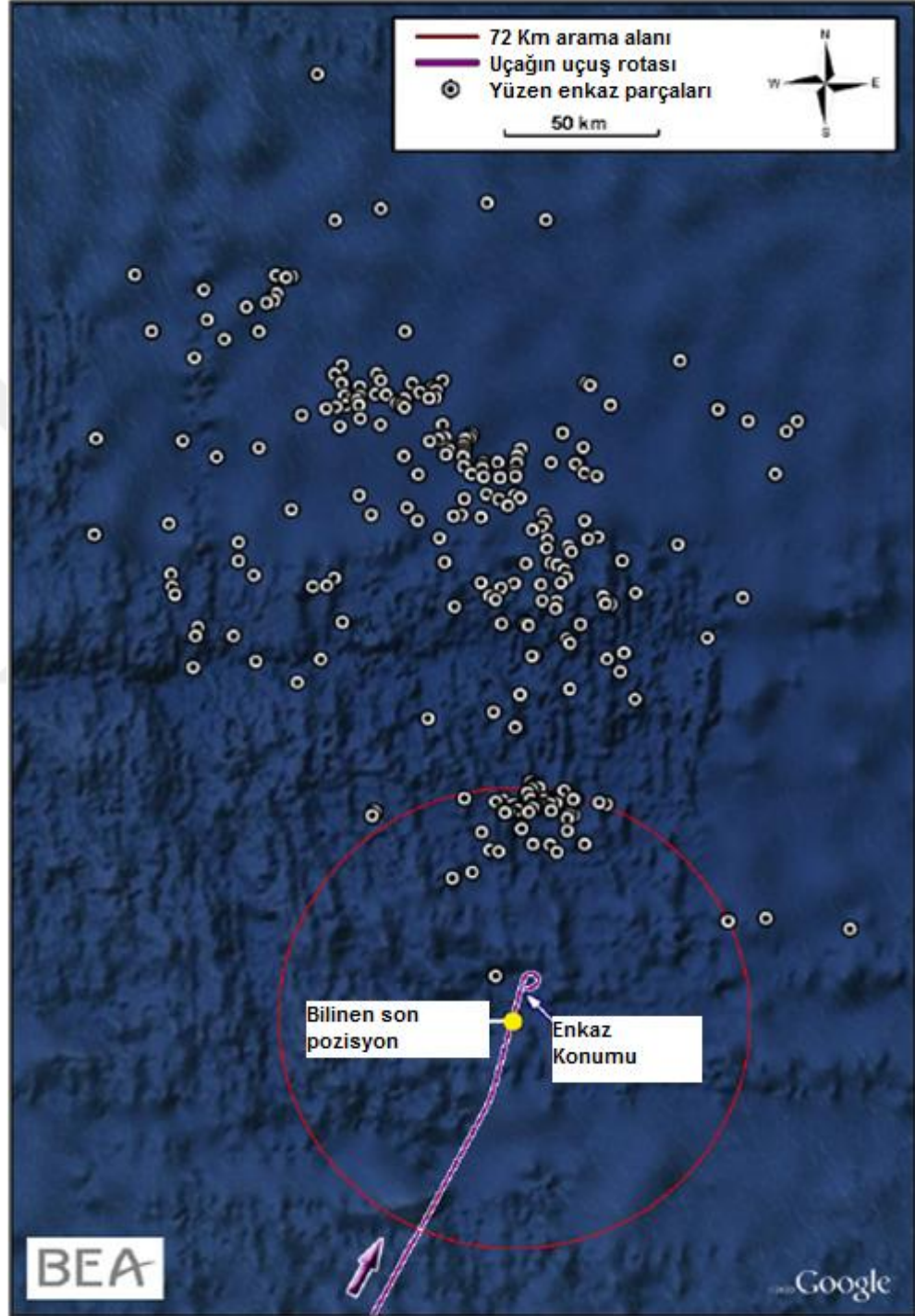
3. UÇAK KAZASI VAKALARI

3.1. AF447

1 Haziran 2009 tarihinde, Rio de Jenerio'dan Paris'e, 216 yolcu ve 12 mürettebatı ile, AF447 numaralı uçuşu yapan, AirFrance şirketine ait Airbus 330-200 tipi yolcu uçağı Güney Atlantik Okyanusu üzerinde kayboldu. Uçağın bazı teknik problemler rapor ettikten kısa bir süre sonra düştüğü anlaşıldı. Kazadan 16 gün sonra, Şekil 3.1'de gösterilen noktalarda, su üzerinde yüzen birçok enkaz parçası bulundu. Uçağın enkazı ise, yaklaşık 2 yıl sonra, 2 Nisan 2011'de, 40 milyon dolar harcanarak yapılan arama çalışmalarının sonucunda bulunabilmiştir. Uçağın düşüş nedeni ise, hava hızını ölçen pitot tüplerinin buz kristalleri tarafından tıkanması nedeni ile uçağın yanlış hava hızı bilgisi algılaması ve takibinde uçuş ekibinin yaptığı yanlış müdahaleler sonucunda uçağın aerodinamik stall'a girmesi olarak açıklanmıştır. 10 Haziran – 10 Temmuz arasında yapılan ULB sinyallerini tespit etme çalışmaları sonuçsuz kalmıştır. 5 günlük yüzey arama çalışmalarının ardından başlatılan ve 1. faz olarak adlandırılan bu çalışmalarda, Amerikan donanmasına ait iki gemi, su içine daldırılan pinger detektörleri ile, uçağın bilinen son pozisyon bilgisine göre arama yapmışlardır. Bu cihazların öngörülen başarı oranı %90, yatay tespit mesafeleri ise, 160 dB sinyal seviyesi ve 37,5 KHz frekansı için 1730 metre olarak hesaplanmıştır. Akustik hesaplamalar, derine indirilen detektörlerin bulunduğu ortamdaki ses dalgalarının düz yol yayılımı yaparak ilerlediği, iletim kayıpları ve gürültü seviyesinin, ULB sinyalinin tespitine imkân verecek ölçüde düşük olduğunu göstermiştir [30,45].

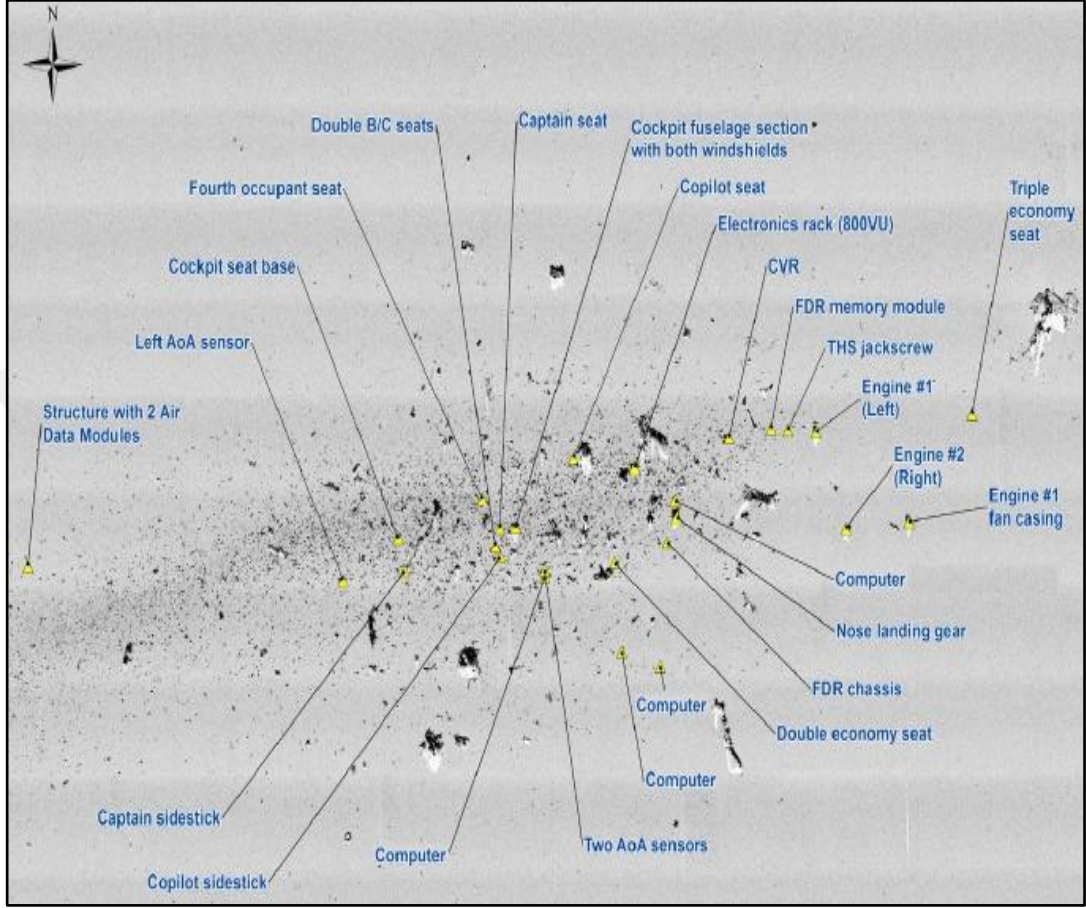
Kazadan 2 yıl sonra bulunan enkazın konumu göz önünde bulundurulduğunda, ULB sinyalini tespit etmek için toplamda 75 km çapında dairesel bir alanı tarayan detektörlerin, 22 ve 23 Haziran tarihlerinde, FDR ve CVR 'nin buldukları bölgenin yakınından geçmesine rağmen, herhangi bir ULB sinyali tespit edilememiştir [46].

Yayınlanan kaza raporunda, ULB sinyalini tespit etme çalışmalarında kullanılan hidrofonların, dünya üzerinde 6000 metre derinliğe kadar çalışma dayanımı bulunan eşsiz iki cihaz oldukları belirtilmiştir [46].



Şekil 3.1. Uçağın bilinen son pozisyonu, ULB için taranan bölge, enkazın bulunduğu yer ve su üzerinde yüzen enkaz parçalarının konumları

Uçağın enkazı, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, bilinen son pozisyonundan 12 km uzakta, 3900 metre derinlikte, 600x200 metrelik bir alana dağılmış olarak bulunmuştur.



Şekil 3.2. Enkaz parçalarının okyanus tabanına dağılmış halı

Kazadan sonraki arama kurtarma sürecinde, ULB’lerin çalışıp çalışmadığının bilinmesi imkânsızdır. Uçak enkazı bulunduktan sonra Fransız Havacılık Emniyet Otoritesi BEA (Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses), CVR’ye takılı olan ULB’yi incelemiş ve bazı testlere tabi tutmuştur. Yapılan ilk incelemelerde, ULB’nin iç kısımlarına su girmediği, elektronik devre ve piezoelektrik halkanın fiziksel olarak sağlam kaldığı görülmüştür. Yapılan testlerde ise ULB’nin elektronik devresinin arızalı olması nedeniyle, akustik sinyal parametrelerinin olması gereken değerlerden çok uzak olduğu anlaşılmıştır [39].

3.2. MH370

8 Mart 2014 tarihinde, Kuala Lumpur'dan Beijing 'e, 227 yolcu ve 12 mürettebatı ile, MH370 sefer sayılı uçuşu yapan, Malezya Hava Yollarına ait, Boeing 777-200ER tipi yolcu uçağı Güney Çin Denizi üzerinde kayboldu. Havacılık tarihindeki en kapsamlı ve en maliyetli arama çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, kayıp uçak halen bulunamamıştır. Uçağın neden kaybolduğı bilinmemekle birlikte, uçuşun ilk 38 dakikasından sonra uçakla iletişimin kesildiğı, fakat radar ve uydu bilgilerinin analizine göre, uçağın 7 saat daha uçtuğı bilinmektedir. 1046 gün süren arama çalışmalarına 17 Ocak 2017 tarihinde son verildiğı, Avustralya Ulaştırma Emniyet Otoritesi ATSB (Australian Transport Safety Bureau) tarafından duyurulmuştur. Bu arama çalışmaları boyunca, deniz tabanında 710,000 km² alan taranmış ve bunun için yaklaşık 200 milyon dolar harcanmıştır [44].

2 – 17 Nisan arasında yapılan ULB sinyalini tespit etme çalışmaları sonuçsuz kalmıştır. ULB üreticisinin, ULB'nin tahmini maksimum çalışma süresinin 40 gün olduğunu bildirmesi üzerine arama çalışmalarına son verilmiştir. Bu çalışmalarda birçok farklı sonar sistemi kullanılmıştır. 4 Nisan günü Haixun 01 isimli Çin 'e ait arama gemisi, 15 dakika boyunca, 37,5 KHz frekansında, saniyede bir tekrarlayan sinyal aldığını rapor etmiştir. Bir sonraki günde aynı bölgede aynı sinyali 90 saniye boyunca, daha zayıf bir şekilde tespit ettiğini bildirmiştir. Fakat bölgedeki okyanus derinliğinin 4500 metre olması, arama gemisinin tespit derinliğinin 2000 metre civarında olması, ayrıca bölgedeki diğer sonarların ve denizaltı araçlarının hiçbirinin bu sinyalleri algılayamaması nedeniyle, Haixun 01 gemisinin aldığı sinyallerin MH370'in ULB sinyalleri olmadığı şeklinde değerlendirme yapılmıştır. Ocean Shield isimli Amerikan arama gemisi ise, 5 – 10 Nisan tarihleri arasında, frekansları 32-43 KHz aralığında değişen sinyaller algıladığını bildirmiştir. Fakat yapılan analizlerden sonra bu sinyallerin ULB sinyal standartlarına uygun olmadığı anlaşılmıştır. Daha sonra, sonar teçhizatında arızalı bir test kablosu tespit edilmiş, bu kablunun, test için kullanılan ULB'yi aktive etmiş olabileceğı, aynı zamanda 37,5 KHz'lik frekansta kaymalara sebep olabileceğı açıklanmıştır. Ocean Shield gemisinin aldığı sinyallerin arıza sonucu ortaya çıkan yanıltıcı sinyaller olduğu şeklinde değerlendirme yapılmış olsa da, bazı uzmanlar, MH370'e ait ULB'lerin

kazanın etkisiyle hasar alıp arızalanmış olabileceği ve bu arızanın da frekans kaymalarına sebep olabileceği şeklinde yorum yapmışlardır [44].

3.3. US1549

15 Şubat 2009 tarihinde, US Airways şirketine ait, 1549 sefer sayılı Newyork City – Charlotte seferini yapan Airbus 320-214 tipi yolcu uçağı, kalkıştan 2 dakika sonra Hudson nehrine acil iniş yaparak kırıma uğramıştır. Kazanın nedeni ise, uçağın kuş sürüsüne girmesinin ardından motorlarının çalışmayı durdurması olarak açıklanmıştır. Kazanın ardından yolcular ve ekip uçaktan tahliye edilmiştir. Uçağın kayıt cihazları Amerikan ulusal taşımacılık emniyet otoritesi NTSB tarafından incelemeye alınmıştır. Bu inceleme raporlarında, CVR üzerindeki ULB ile ilgili bazı bulgular vardır. ULB bataryasının son kullanma tarihi Ekim 2009 olmasına rağmen, yapılan testlerde ULB'nin çalışmadığı, batarya zayıf ikazı alındığı görülmüştür [47].

3.4. Air India Flight 182

23 Haziran 1985'de, 182 numaralı Toronto-Delhi seferini yapan, Air India firmasına ait, 307 yolcu ve 22 mürettebat taşıyan, Boeing 747 tipi yolcu uçağı, bombalı suikast sonucu havada parçalanarak Atlantik okyanusuna düşmüştür. Enkazın bulunduğu bölgenin belirlenmesinin ardından, FDR ve CVR cihazlarını bulmak için 3 gemi görevlendirilmiştir. Bu bölgedeki su derinliği yaklaşık 2000 metre, deniz tabanı ise düzdür. Kazadan 11 gün sonra arama gemilerinden biri, frekansları 39 – 42 KHz aralığında değişen iki farklı ses sinyali aldığını belirtmiştir. ULB üreticisinden alınan tavsiye ile ULB transdüserinin almış olabileceği hasar nedeni ile olması gerekenden daha yüksek frekanslarda sinyal üretebileceği, fakat darbe tekrar oranının değişmeyeceği anlaşılmıştır ve sonar frekansının üst limiti 45 KHz'e yükseltilmiştir. Kazanın 17. günü CVR, 18. günü de FDR bulunmuştur [48].

Yaklaşık 9500 metre irtifada uçarken, bomba patlaması sonucu okyanusa düşen uçakta ULB cihazları sağlam kalmıştır. Okyanus şartlarının da elverişli olması ile birlikte FDR ve CVR konumları ULB sinyalleri sayesinde tespit edilmiştir.

3.5. MS804

19 Mayıs 2016 tarihinde, Mısır havayollarına ait, MS804 numaralı Paris – Kahire seferini yapan, 56 yolcu, 7 mürettebat ve 3 güvenlik görevlisi olmak üzere 66 kişi taşıyan Airbus 320 tipi uçak Akdeniz’de düşmüştür. Uçak, çeşitli bölgelerinde duman olduğuna dair ikaz verdikten kısa bir süre sonra radardan kaybolmuştur. Uçağın düştüğü bölgede su derinliği yaklaşık 3000 metredir. Enkazın su altındaki konumu 15 Haziranda tespit edilebilmiştir. 16 Haziranda CVR, 17 Haziranda ise FDR bulunmuştur. Deep Ocean Search adlı şirkete ait olan gemiden, 3000 metre derinliğe indirilen ROV, ULB’lerden gelen sinyali tespit edip, yön ve mesafe hesabı ile konum belirlemesi yapmıştır. Kaza raporları henüz açıklanmadığından uçağın kesin düşüş nedeni bilinmemektedir. ULB sinyallerinin, batarya gücünün bitmesine birkaç gün kala tespit edilebildiği gözden kaçırılmamalıdır [49,50].

3.6. Kazalardan Sonra Yapılan Emniyet Tavsiyeleri

1980 – 2010 yılları arasında, derin sulara düşen ve araştırmaları BEA tarafından yapılan 27 uçak kazası vardır. Bu kazalarda kayıt cihazları üzerinde bulunan 52 ULB’ arasından 5 tanesinin çalışmadığı ifade edilmiştir. Bu kazalara AF447, MH370, US1549 kazaları ve bazı diğer kazalar dâhil değildir. Ortalama olarak yılda bir kez derin sulara düşmeyle sonuçlanan uçak kazası yaşanmaktadır [45].

AF447 kazası ve daha öncesinde yaşanan benzer olaylar nedeniyle, Fransız Havacılık Emniyet Otoritesi BEA, “Uçuş bilgilerini kurtarma” adını verdiği uluslararası bir çalışma grubu kurmuştur. Bu grubun amacı uçuş bilgilerinin korunmasında ve kayıt cihazlarının konumlarının belirlenmesinde kullanılabilecek yeni teknolojileri tartışmaktır. Uçuş bilgilerinin iletimi, yeni FDR teknolojisi ve enkaz konumu belirleme teknolojisi olmak üzere 3 ana konuda çözümler aranmıştır. Her konu için mümkün olan çözüm önerileri listelenmiş, gerekli teknik fizibilite, maliyet ve altyapı incelemeleri yapılmış, neticede kısa, orta ve uzun vadede uygulanabilecek çözümler ortaya çıkmıştır. Bu çözüm önerilerinden iki tanesi ULB’ler ile ilgilidir. ULB batarya ömrünün 30 günden 90 güne çıkarılması ve çalışma frekansı 8,5 – 9,5 KHz arasında olan düşük frekanslı ULB’lerin uçaklara takılması, kısa vadeli çözümler olarak önerilmiştir. Uluslararası havacılık otoriteleri, yapılan bu emniyet tavsiyelerine uymuş ve uygulanmalarını zorunlu hale getirmiştir. 90 günlük ULB bataryalarının

kullanımına geçilmesi için son tarih 2018, düşük frekanslı ULB'lerin uçaklara takılması için son tarih 2019'dur [5].

3.7. Düşük Frekanslı ULB

Kısa vadede uygulanabilecek çözümlerden biri olarak, düşük frekanslı ULB'lerin, kalkış ağırlığı 27 tonun üzerinde olan uçakların gövdesine takılması zorunlu hale getirilmiştir. Bununla birlikte, ULB'lerin yatay tespit mesafelerinin, 3 katına çıkarak yaklaşık 12000 metreye kadar artması beklenmektedir [39].

Uluslararası regülasyonlarda düşük frekanslı ULB'ler, ULD olarak ifade edilmiştir. ULD'lerin en önemli avantajları; düşük frekansta emilim kaybı daha az olduğundan sinyalin tespit edilme mesafesinin yüksek olması ve düşük frekanslı sinyalin dalga boyu yüksek olduğundan uçak gövdesi üzerinden daha kolay iletilebilir olmasıdır. Bu sayede gövde altında kalmış olan ULD sinyalinin kısıtlanma ihtimali azaltılmıştır. 8,8 KHz frekansında çalışan ULD'lerin diğer bir avantajı ise, birçok askeri ve şahsi deniz aracında, bu frekanslardaki sinyalleri tespit edebilen alıcıların bulunmasıdır. Bu sayede sinyalin tespit edilme ihtimali artmıştır. ULD cihazlarından beklenen görev, uçak enkazlarının yer tespitine yardımcı olmasıdır. Bu yüzden uçakların gövdelerine monte edilirler. Uçak enkazının yer tespitine yardımcı olarak, aynı zamanda daha hassas konum bilgisi veren ULB sinyallerinin tespit edilmesine de yardımcı olacaklardır [1].

ULD'lerin dezavantajları da vardır. Düşük çalışma frekansına bağlı olarak, ULB'lere göre yaklaşık 2 kat daha büyük ve 4 kat daha ağırdırlar. Ayrıca daha yüksek batarya gücüne ihtiyaç duyarlar. Fakat ULD'lerin çalışma prensibinde, darbe tekrar oranı ULB'lere göre daha düşük tutularak bataryanın daha tasarruflu kullanılması yoluna gidilmiştir. Transdüser boyutlarının büyümesi, sinyal yayılımının yönlüleşme ihtimalini de arttırmıştır [11].

4.BULGULAR

ULB'lerin hava araçlarındaki kayıt cihazlarına montajının zorunlu hale getirilmesiyle kullanıma girmesi 1977 yılında olmuştur. Bu tarihten beri literatürde ULB ile ilgili bazı alternatif tasarımlar yapıldığı görülmektedir. Farklı tasarımlar ve birçok teknolojik gelişmeye rağmen ULB cihazlarının aynı hızda değişmediği anlaşılmaktadır. Fakat sualtı akustik biliminin pek çok farklı uygulama alanı olduğu, hidrofön, sonar ve sensör gibi sualtı akustik enstrümanların teknolojik gelişmelerden daha fazla etkilendiği, sinyal işleme teknikleri ve lokalizasyon algoritmalarının sürekli iyileştirildiği bilinmektedir.

Elektromanyetik radyo dalgaları sualtı haberleşme için uygun olmadığından, bu alanda akustik dalgalar kullanılır. Sualtı akustik karakteristikleri, ses dalgalarının sualtı ortamında uzun mesafelere ulaşmasına imkân verse de, kendi içersinde birçok zorlayıcı ve zayıflatıcı etkene sahiptir. ULB cihazları da sualtı akustik haberleşme için ses dalgalarını kullandıklarından, bu etkenlere maruz kalırlar. Denizin sakin veya dalgalı olmasının, ULB'nin ürettiği ses sinyallerinin menzili üzerinde büyük etkisi vardır. Deniz durumunun kötü olması, gürültünün yüksek olması demektir. Bazı ULB üreticileri de ürün kılavuzlarında menzilin, deniz durumuna göre değişimini çizelge olarak göstermişlerdir.

ULB'den çıkan ses dalgaları alıcı – kaynak geometrisine ve ses hızına göre birçok şekilde yayılabilir. Ses hızının buradaki etkisi, akustik dalgaların ses hızının düşük olduğu bölgeye doğru sürekli olarak kırılma eğiliminden kaynaklanır. Sualtı ses iletiminde yansıma, kırılma ve saçılma etkilerinin altında, farklı farklı yayılım kanalları kullanarak ilerleyen ses dalgaları, emilim ve yayılım kayıpları ile zayıflar. Tamamen tükenmeden önce alıcıya ulaşabilen ses dalgalarının, tespit edilebilmeleri için belirli bir şiddet seviyesinde olmaları gerekir. Bu seviye, alıcının tespit eşiği ve gürültü değerlerinin toplamından yüksek olmalıdır. Sualtıdaki ULB konumunun hesaplanabilmesi için, gelen ses sinyallerinin farklı noktalardan tespit edilmesi

gereklidir. Normal şartlar altında bu süreçlerin neticesinde ULB'nin binlerce metre derinlikteki konumu öngörülebilir.

Yaşanan bazı uçak kazaları ve yapılan çalışmalar üzerindeki incelemelerden de anlaşılacağı üzere, sualtındaki ULB konumunun tespit edilmesi işlemi zorlaştıran, hatta imkânsız hale getiren anormal şartlarında mevcut olabileceği görülmektedir. Öncelikle konumu tespit edilecek olan ULB cihazının çalışır durumda olması beklenir. ULB, uçak kazasında almış olabileceği hasar sonucu çalışamaz hale gelmiş olabilir ya da kaza öncesinde bozulmuş olabilir. Örnek olarak verilen kaza vakalarına bakıldığında, AF447 kazasından sonra yapılan arama çalışmalarında, hidrofonların ULB'lerin çok yakınından geçmiş olmasına rağmen ses sinyallerini tespit edemedikleri görülmüştür. CVR'ye takılı olan ULB'nin yapılan incelemeler sonucunda çalışır durumda olmadığı görülmüştür. US1549 kazasında ise, uçak suya nispeten yumuşak bir iniş yapmıştır ve ULB'ler herhangi bir hasar almamıştır. Fakat yapılan incelemelerde CVR'ye takılı olan ULB'nin çalışmadığı anlaşılmıştır. Bu bulguları destekler nitelikte olan, havayolu firmalarının sadece zorunlu olan bakım faaliyetlerini yapması ve tavsiye edilen (zorunlu olmayan) prosedürleri uygulamaması, ULB bakım periyotlarının benzer uçak sistemlerine nazaran çok uzun olması, ULB cihazlarına uçak üzerinde uygulanan testlerde bazı önemli akustik parametrelerin hassas ölçümlerinin yapılmaması gibi faktörlerde gözden kaçırılmamalıdır.

Konumu tespit edilmek istenen ULB'nin çalışır durumda olduğu varsayıldığında, arama kurtarma çalışmalarının başlangıcında dahi pek çok zorluk çıkabileceği anlaşılmıştır. Uçağın bilinen son pozisyon bilgisinin doğruluğu, kazadan kurtulan olma ihtimali ile başlangıçtaki arama kurtarma faaliyetlerine bu yönde ağırlık verilmesi, kaza bölgesinin coğrafi konumu dolayısıyla ilgili personel ve ekipmanın buraya ulaştırılmasındaki zorluklar ULB arama çalışmalarının başlamasını geciktiren faktörlerdir. Çalışmalara başlandığında ise hava ve deniz durumu, personel ve ekipman kapasitesi gibi faktörler arama çalışmalarının ilerleme durumunu belirler. Örneğin yüzeyden arama yapan hidrofonlar ortalama 2000 metre derinliğe kadar sinyal tespiti yapabilirler. Daha derinlerdeki sinyaller tespit edebilmek için daha kompleks ekipmanlar gereklidir. Ayrıca ULB'nin uçak enkazı altında kalması da tespit edilebilme mesafesini düşürür. Tüm bu zorlukların üstesinden gelerek ULB

konumunun belirlenebilmesi için, 30 günlük batarya süresinin ve 4000 metre (sakin deniz için) sinyal tespit mesafesinin yetersiz kalabileceği anlaşılmıştır.

37,5 KHz frekansında sinyal yayan ULB cihazlarının darbe tekrar oranının yaklaşık saniyede bir darbe olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, arama kurtarma araçlarının tarama hızları göz önüne alındığında bu oranın çok kısa olduğu ve uzatılmasıyla bataryanın daha tasarruflu kullanılabileceği açıklanmıştır.

ULB arama çalışmalarının şartları göz önünde bulundurulduğunda, kötü niyetli kişiler tarafından jamming uygulanabileceği, ULB sinyallerinin bu kişiler tarafından da tespit edilebileceği ve dolayısıyla bu kişilerin FDR-CVR kayıt cihazlarına ulaşabilecekleri de anlaşılmıştır.

Yaşanan kazaların ardından havacılık otoritelerinin ilgili regülasyonları değiştirerek, ULB batarya kapasitesini arttırdığı ve düşük frekanslı ULD cihazının uçak gövdesine takılma zorunluluğu getirdiği görülmüştür. ULD cihazlarının darbe tekrar oranının 10 saniyede bir darbe olarak belirlendiği anlaşılmıştır.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, deniz aşırı bölgelerde hava aracı kaza yaşanması durumunda, FDR ve CVR kayıt cihazları ile uçak enkazının sualtındaki konumlarının tespit edilmesinde kullanılan, su ile temas ettiğinde belirli frekansta akustik sinyal yayan ULB cihazlarının güvenilirlik incelemesi yapılmıştır. Sualtı akustik prensiplerinin ULB cihazlarına etkisi, ULB'lerin teknik özellikleri ve performansı, yaşanan bazı uçak kazası vakaları ve sonrasında alınan önlemler incelenmiştir.

Sualtı akustik prensiplerinin ULB performansı üzerinde önemli etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Sonar denklemi incelendiğinde, emilim kayıplarının frekansa bağlı olarak değiştiği ve bu değerın düşürülmesiyle akustik sinyallerin daha uzağa ulaşabileceği açıktır. Ayrıca, tespit eşiğı olarak ifade edilen ve hidrofön cihazlarının bir özelliğı olan parametrenin düşük değerde olması da sinyalin tespit edilmesinde belirleyici bir parametredir.

Yapılan incelemeler sonucunda, ULB merkezli sualtı konum belirleme sisteminin en önemli problemlerinin sınırlı güç kaynağı ve tespit mesafesinin düşüklüğü olduğu görülmektedir. Yaşanan kazalardan sonra otoritelerin ULB cihazlarının batarya kapasitelerini arttırarak çalışma sürelerini 30 günden 90 güne çıkarması ve 8,8 KHz frekansında çalışan ULD cihazlarının uçak gövdesine takılmasını zorunlu hale getirerek muhtemel tespit mesafesini yaklaşık 4000 metreden 12000 metreye kadar çıkarmaları uygun çözümler olarak görünmektedir.

Yapılan incelemeler sonucu ortaya çıkan diğér bir netice ise, bazı ULB cihazlarının kazalar yaşanmadan önce zaten bozuk olma ihtimallerinin bulunmasıdır. ULB cihazlarının uçak üzerindeki bakım prosedürleri ile ilgili bulgularda hesaba katıldığında, bu cihazların uçak üzerindeki bakımlarına verilen önemin arttırılması ve

bakım uygulamalarının revize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Őuana kadar otoriteler bu konu ile ilgili herhangi bir değişiklik yapmamıştır.

Deniz ve okyanus aşırı rotalarda ortalama olarak yılda bir kez hava aracı kazası yaşanmıştır. MH370 kazasında kayıp uçağı arama çalışmaları aralıklarla da olsa halen sürmektedir. Başta havacılık endüstrisi olmak üzere birçok kurum ve kişi bu kazanın gizeminin özölmesini beklemektedir. Benzer kazaların tekrar yaşanmaması herkesin ortak temennisidir fakat havacılık emniyeti her türlü ihtimale hazırlıklı olmayı gerektirir. Bu yüzden ULB cihazlarının güvenilirliğinin maksimum seviyeye çıkartılması gereklidir. Bunun için otoriteler tarafından yapılan değişikliklere ek olarak, ULB cihazlarının bakım faaliyetlerinin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

ULB cihazlarına dâhili test tertibatının yerleştirilmesi, akustik radyasyon modelinin bozulması ihtimalini doğurabilir ve kullanımdaki ULB cihazlarının tümünü değiştirmek zaten maliyet açısından pek uygulanabilir değildir. Daha pratik ve verimli bir bakım için, bakım personelinin rahatça ulaşabileceği, kullanımı kolay ve fazla ağırlık yükü getirmeyen, batarya voltajı, frekans, genlik, akustik basınç seviyesi, darbe süresi ve hatalı aktivasyon gibi önemli parametrelerin takibini yapabilen, harici bir test ve izleme donanımının uçağa takılması uygun bir çözüm olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.nts.gov/safety/safety-recs/reletters/a-15-001-008.pdf> (Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2016).
- [2] <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/na68-7.pdf> (Ziyaret tarihi: 20 Ekim 2016).
- [3] http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgFAR.nsf/0/95BF75814BC85D3A85256673004EF515?OpenDocument (Ziyaret tarihi: 20 Ekim 2016).
- [4] http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgFAR.nsf/0/6875BE9FA3130F2B85256673004EF5DE?OpenDocument (Ziyaret tarihi: 20 Ekim 2016).
- [5] https://www.bea.aero/uploads/tx_elyextendtnews/flight.data.recovery.working.group.final.report.pdf (Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2014).
- [6] Tan H. P., Diamant R., Seah W. K. G., Waldmeyer M., A Survey of Techniques and Challenges in Underwater Localization, *Ocean Engineering*, 2011, **38** (14), 1663-1676.
- [7] Foster K. W., Underwater Locating Device, 1965, U. S. Patent No. 3,222,634., *United States Patent Office*.
- [8] Filer A. J., Programmable Underwater Acoustic Beacon, 1976, U. S. Patent No. 3,992,692., *United States Patent Office*.
- [9] Shope S. M., Spread Spectrum Underwater Location Beacon System, 1990, U. S. Patent No. 4,951,263., *United States Patent Office*.
- [10] Winterhalter M. C., Berecz E., Locator Beacon Disposed internal to an enclosure of a flight data recorder and method therefor, 2010, U. S. Patent No. 20100063654A1, *United States Patent Office*.
- [11] Walden J., Steller T., A Transducer for a Locator Beacon and an Underwater Locator Beacon, 2012, Patent No. EP2735380A1, *European Patent Office*.
- [12] Zheng J., A New Design of Underwater Locator Beacon with Integrated Pressure Sensor, 2013, Patent No. 2013088275A1, *World Intellectual Property Organization*.

- [13] Huskamp C. S., Gorsic B. L., Aircraft Location System for Locating Aircraft in Water Environments, 2014, U. S. Patent No. 8857368B2, *United States Patent Office*.
- [14] Wang S. S., Hung H. S., Ho J. J., Lin X. J., Yeh C. H., Improving Detection Technique for Flight Recorders of the Distress Airplanes Crashed into Ocean by Integrating Inertial Navigation System into Underwater Locator Beacon, *Journal of Marine Science and Technology*, 2015, **23**(4), 467-474.
- [15] Spiegel H. J., Extended Life Timed Pinger for Aircraft, 2016, U. S. Patent No. 9268310B2, *United States Patent Office*.
- [16] Bjørnø L., *Applied Underwater Acoustics*, 1st ed., Elsevier, Amsterdam, 2017.
- [17] <http://dosits.org/people-and-sound/history-of-underwater-acoustics/> (Ziyaret tarihi: 20.10.2017).
- [18] Marage J. P., Mori Y., *Sonar and Underwater Acoustics*, 1st ed., John Wiley & Sons, Hoboken, 2010.
- [19] Köprülü K., Akdeniz – Karadeniz Su Altı Akustik Yayılım Model Uygulamaları, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 2006, 202882.
- [20] <http://dosits.org/science/sound/what-is-sound/> (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2017).
- [21] Henderson T., The Anatomy of a Wave, Illinois, <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-2/The-Anatomy-of-a-Wave> (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2017).
- [22] Hodges R. P., *Underwater Acoustics: Analysis, Design and Performance of Sonar*, 1st ed., John Wiley & Sons, Chichester, 2010.
- [23] Taylor D., Waves, Illinois, <http://faculty.wcas.northwestern.edu/~infocom/Ideas/graphics/waves.jpg> (Ziyaret tarihi: 21 Eylül 2017).
- [24] <http://dosits.org/science/sound/characterize-sounds/> (Ziyaret tarihi: 22 Eylül 2017).
- [25] Lurton X., *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*, 1st ed., Praxis, Chichester, 2002.
- [26] <https://dosits.org/science/advanced-topics/what-is-intensity/> (Ziyaret tarihi: 10.10.2017).
- [27] <http://dosits.org/science/movement/how-fast-does-sound-travel/> (Ziyaret tarihi: 22.10.2017).

- [28] Medwin H., Clarence S. C., *Fundamentals of Acoustical Oceanography*, 1 st ed., Academic Press, San Diego, 1998.
- [29] <https://dosits.org/science/movement/how-does-sound-move/refraction/> (Ziyaret tarihi: 30.10.2017).
- [30] Rocha A. F. P., Flight Recorder Localization Following at-Sea Plane Crashes, Lizbon, <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143172650/dissertacao.pdf> (Ziyaret tarihi: 12.06.2014).
- [31] Ainslie M. A., *Principles of Sonar Performance Modelling*, 1 st ed., Praxis, Netherlands, 2010.
- [32] Etter P. C., *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*, 3rd ed., Spon Press, London, 2003.
- [33] <http://dosits.org/science/advanced-topics/sonar-equation/> (Ziyaret tarihi: 30.10.2017).
- [34] <https://www.atsb.gov.au/publications/2014/black-box-flight-recorders/> (Ziyaret tarihi: 23.08.2016).
- [35] <https://www.casa.gov.au/file/151971/download?token=bk9o7Ylr> (Ziyaret tarihi: 17.01.2018).
- [36] <http://clacsec.lima.icao.int/Reuniones/2014/Sem-CAAS/Presentaciones/Inglés/Session%209.pdf> (Ziyaret tarihi: 22.01.2018).
- [37] <http://www.radiantpowercorp.com/wp-content/uploads/2015/04/DK120-90-Tech-Manual-03-TM-0063-REV-A.pdf> (Ziyaret tarihi 30.01.2018).
- [38] <http://www.novega-sky.com/en/documents.html> (Ziyaret tarihi 01.02.2018).
- [39] Eckman D. J., Maillart L. M., Schaefer A. J., Optimal Pinging Frequencies in The Search For an Immobile Beacon, *IIE Transactions*, 2016, **48**(6), 489-500.
- [40] <https://www.bea.aero/enquetes/vol.af.447/cvr.ulb.examination.report.pdf> (Ziyaret tarihi 12.06.2014).
- [41] Sherman C. H., Butler J. L., *Transducers and Arrays for Underwater Sound*, 1st ed., Springer Science Business Media, New York, 2007
- [42] Conti F. K. P., Bjerke E., Brown G., Acoustic Search of Aircraft CVR/FDR in the Ocean Floor using USBL/SSBL Hydroacoustic Positioning Systems, *IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium*, Rio de Janeiro, Brazil, 29-31 Temmuz 2015.
- [43] Brown A., Predicted Detection Of An Emergency Underwater Locator Beacon, *24th International Congress on Sound and Vibration*, London, United Kingdom, 23-27 July 2017.

- [44] https://www.bea.aero/uploads/tx_elyextendttnews/metron.search.analysis.pdf (Ziyaret tarihi 23.08.2016).
- [45] <https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf> (Ziyaret tarihi 18.01.2018).
- [46] https://www.atsb.gov.au/media/5773565/operational-search-for-mh370_final_3oct2017.pdf (Ziyaret tarihi 18.01.2018).
- [47] <http://graphics8.nytimes.com/packages/images/nytint/docs/documents-for-the-testimony-of-us-airways-flight-1549/original.pdf> (Ziyaret tarihi 22.01.2018).
- [48] <https://ia800309.us.archive.org/23/items/ReportOfTheCourtInvestigatingAccidentToAirIndia747On23rdJune1985/ReportOfTheCourtInvestigatingAccidentToAirIndia747On23rdJune1985.pdf> (Ziyaret tarihi 18.01.2018).
- [49] <http://avherald.com/h?article=4987fb09> (Ziyaret tarihi 21.02.2018).
- [50] <http://www.deepoceansearch.com/newwebsite/2016/09/09/natoque-penatibus-etiam-magnis-dis-parturient/> (Ziyaret tarihi 21.02.2018).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Kıvanç E.**, Ürgün S., Hava Araçlarında Kullanılan ULB Cihazlarının Güvenilirlik İncelemesi, *Journal of Aviation*, 2018, 2(1), 36-44.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Elektrik-Elektronik Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2010-2012 yılları arasında Türk Hava Yollarında Uçak Bakım Teknisyeni olarak görev yaptı. 2013 yılından beri Pegasus Havayollarında Uçak Bakım Teknisyeni olarak çalışmaya devam etmektedir. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.

