

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SUALTI DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ SIZINTILARIN PASİF AKUSTİK
YÖNTEMLERLE İKİ BOYUTLU KONUMLANDIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Elektronik Yük. Müh. Yiğit MAHMUTOĞLU

MART 2019

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

Yiğit MAHMUTOĞLU Tarafından Hazırlanan

**SUALTI DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ SIZINTILARIN PASİF AKUSTİK
YÖNTEMLERLE İKİ BOYUTLU KONUMLANDIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26 /02/2019 gün ve 1793 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

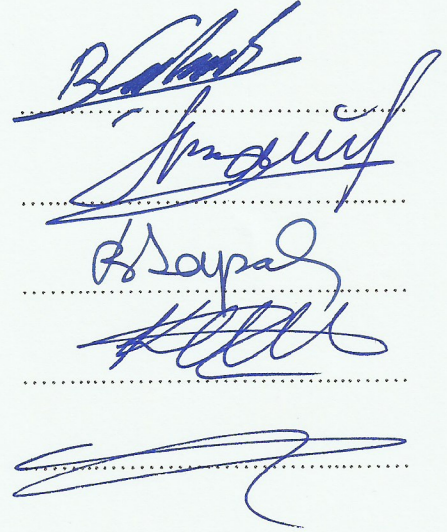
Başkan : Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK

Üye : Prof. Dr. Vasif NABİYEV

Üye : Doç. Dr. Birol SOYSAL

Üye : Doç. Dr. Kadir TÜRK

Üye : Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı çerçevesinde hazırlanmış olan bu tezde, sualtı doğalgaz boru hatlarındaki sızıntıların konumlandırılması için pasif akustik tabanlı yöntemler önerilmiştir.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana her türlü desteği sağlayıp beni en doğru şekilde yönlendiren ve en umutsuz olduğum anda bana yol gösteren tez danışmanım sayın Doç. Dr. Kadir TÜRK'e sonsuz teşekkür ederim. Doktora eğitimimde Genel Yurtiçi Doktora Burs Programı-BİDEB 2211-A kapsamında maddi olarak beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca sabırlarını, desteklerini ve sevgilerini benden esirgemeyen aileme en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yiğit MAHMUTOĞLU

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "Sualtı Doğalgaz Boru Hatlarındaki Sızıntıların Pasif Akustik Yöntemlerle İki Boyutlu Konumlandırılması" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Kadir TÜRK'ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/03/2019

Yiğit MAHMUTOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Sualtı Doğalgaz Boru Hatları	8
1.2.1. Dünyada Genelinde Sualtı Doğalgaz Boru Hatları	8
1.2.2. Sualtı Boru Hattı Sızıntı Vakaları	10
1.3. SDBH Sızıntı Tespit Yöntemleri	12
1.3.1. İçsel Tabanlı Yöntemler	15
1.3.1.1 Akış/Basınç Değişimi ve Kütle/Hacim Dengesi Yöntemleri	15
1.3.1.2 Basınç Nokta Analizi Yöntemi	15
1.3.1.3 Negatif Basınç Dalgası Yöntemi	15
1.3.1.4 İstatistiksel Yöntem	16
1.3.1.5 Gerçek Zamanlı Geçici Modelleme Yöntemi	16
1.3.2. Dışsal Tabanlı Yöntemler	16
1.3.2.1 Kapasitans Yöntemi	17
1.3.2.2 Yarı İletken Yöntemi	17
1.3.2.3 Optik Kamera Yöntemi	17
1.3.2.4 Biyo-Sensör Yöntemi	17
1.3.2.5 Floresan Yöntemi	18

1.3.2.6	Fiber Optik Kablo Yöntemi	18
1.3.2.7	Akustik Yöntem	18
1.4.	Geleneksel Konum Tespit Teknikleri	19
1.4.1.	Mesafeye Bağımlı Teknikler	19
1.4.1.1	Alınan Sinyal Gücü (ASG) Tekniği	19
1.4.1.2	Alınan Sinyal Güçleri Farkı (ASGF) Tekniği	21
1.4.1.3	Variş Zamanı (VZ) Tekniği	21
1.4.1.4	Variş Zamanları Farkı (VZF) Tekniği	24
1.4.1.5	Variş Doğrultusu (VD) Tekniği	24
1.4.1.6	Mesafeye Bağımlı Tekniklerin Karşılaştırılması	26
1.4.2.	Mesafeden Bağımsız Teknikler	27
1.4.2.1	Sıçrama Sayısı Tekniği	27
1.4.2.2	Ağırlık Merkezi Tekniği	28
1.4.2.3	Parmak İzi (Haritası) Tekniği ve k. En Yakın Komşu Algoritması	29
1.5.	Sualtında Akustik Yayılım ve Sualtı Gürültüsü	31
1.5.1.	Sualtı Ortamında İletim Kaybı	31
1.5.1.1	Yayılım Kaybı	32
1.5.1.2	Emilim (Zayıflatma) Kaybı	33
1.5.2.	Sualtı Gürültüleri	35
1.5.2.1	Ortam Gürültüsü	35
1.5.2.2	Aralıklı Gürültü	37
1.5.2.3	Öz Gürültü	37
1.6.	Sualtı Akustik Kanalı	38
1.6.1.	Zamanla Değişmeyen Çok Yollu (Sabit) Kanal Modeli	39
1.6.2.	Zamanla Değişen Çok Yollu (Değişken) Kanal Modeli	42
1.6.2.1	Nominal Koşullar ve Büyük-Ölçekli Değişim	44
1.6.2.2	Küçük-Ölçekli Değişim	46
1.6.2.3	Doppler Kayması	48
1.7.	Konum Tespit Algoritmaları	49
1.7.1.	Doğrusal En Küçük Kareler (DEKK) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal En Küçük Kareler (ADEKK) Algoritmaları	49
1.7.2.	Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler (DOEKK) Algoritması	50
1.7.3.	Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması	51

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	54
2.1.	Giriş	54
2.2.	Sızıntı Tabanlı Akustik Basınç Sinyalinin Doğası	57
2.2.1.	Sualtı Ortamında Gaz Baloncukları	57
2.2.2.	Sızıntı Tabanlı Akustik Basınç Sinyali	61
2.3.	Tek Yollu Sualtı Akustik Kanalında ASG ve ASGF Teknikleri Tabanlı Pasif Akustik Yöntemlerle Konumlandırma	64
2.3.1.	Benzetim Sonuçları	70
2.4.	Zamanla Değişmeyen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalında Parmak İzi Yöntemiyle Konumlandırma	78
2.4.1.	Benzetim Sonuçları	80
2.5.	Zamanla Değişen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalında Sinyal Gücü Tabanlı Eğri Uydurma Yöntemiyle Konumlandırma	84
2.5.1.	Benzetim Sonuçları	87
2.6.	Zamanla Değişen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalında Parmak İzi Yöntemiyle Konumlandırma	103
2.6.1.	Benzetim Sonuçları	105
3.	SONUÇLAR	113
4.	ÖNERİLER	115
5.	KAYNAKLAR	116

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

SUALTI DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ SIZINTILARIN PASİF AKUSTİK
YÖNTEMLERLE İKİ BOYUTLU KONUMLANDIRILMASI

Yiğit MAHMUTOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir TÜRK

2019, 127 Sayfa

Bu doktora tezinde, tek yollu kanal, zamanla değişmeyen çok yollu kanal ve zamanla değişen çok yollu kanal olmak üzere üç farklı sualtı akustik kanalı göz önüne alınarak, sualtı doğalgaz boru hatlarındaki (SDBH) sızıntıları konumlandırmak için pasif akustik yöntemler önerilmiştir. Yöntemlerin başarımlarını ortaya koymak için benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar kapsamında ilk olarak, SDBH'lerde meydana gelebilecek sızıntıların oluşturacağı akustik basınç sinyalinin doğası incelenmiştir. Bu incelemeye göre sızıntı tabanlı akustik basınç sinyallerinin dar bantlı oldukları ve alınan sinyallerin frekansları ve gerekli parametreler yardımıyla sızıntı delik çapının, baloncuk çapının ve sızıntı deliğindeki akustik sinyal gücünün hesaplanabileceği gösterilmiştir. İkinci olarak, sadece direk yol sinyalinin bulunduğu tek yollu sualtı akustik kanalında, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için alınan sinyal gücü ve alınan sinyal güçleri farkı teknikleri tabanlı pasif akustik konum tespit yöntemleri önerilmiştir. Üçüncü olarak, direk yol sinyaline ek olarak, deniz tabanından ve yüzeyinden yansıyan sinyallerin de bulunduğu zamanla değişmeyen çok yollu bir sualtı akustik kanalında, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için parmak izi yöntemi önerilmiştir. Son olarak, zamanla değişen (hareketli deniz yüzeyi, sualtı akıntıları vb. nedenlerle) çok yollu bir sualtı akustik kanalında, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için alınan sinyal güçleri tabanlı eğri uydurma yöntemi ve parmak izi yöntemi önerilmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda en iyi konumlandırma başarımına parmak izi yönteminin sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sualtı doğalgaz boru hatları, Gaz baloncukları, Alınan sinyal gücü, Pasif akustik, Konumlandırma.

Ph.D. THESIS

SUMMARY

TWO DIMENSIONAL POSITIONING OF LEAKAGES IN UNDERWATER NATURAL
GAS PIPELINES WITH PASSIVE ACOUSTICS METHODS

Yiğit MAHMUTOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadir TÜRK
2019, 127 Pages

In this dissertation, passive acoustic based methods have been proposed to locate leakages in underwater natural gas pipelines (UNGP), taking into account three different underwater acoustic channels, which are single (direct) path channel, time-invariant multipath channel and time-varying multipath channel. Simulation studies were performed to demonstrate the success of the methods.

First of all, the nature of the acoustic pressure signal to be generated by leakages that can occur in UNGP is investigated. According to this analysis, it has been shown that the leakage based acoustic pressure signals are narrowband, and the leak hole diameter, bubble diameter and the acoustic signal strength at the leak hole can be calculated by using frequencies of the received signals and required parameters. Secondly, passive acoustic localization methods based on the techniques of received signal strength and received signal strength difference for positioning the leakages in the UNGPs have been proposed. As the underwater acoustic channel model, a single path channel with direct path signal is used. Thirdly, the fingerprint method has been proposed to locate leakages in the UNGPs in time invariance multipath channel, where the received signal is composed of direct path signal and reflected signals from the seabed and surface. Finally, the signal strength based curve fitting method and the fingerprint method have been proposed to locate leakages in the UNGPs in a time varying (due to moving sea surface, underwater currents, etc.) multipath underwater acoustic channel. As a result of the simulation studies, it has been seen that the fingerprint method has the best positioning performance.

Key Words: Underwater natural gas pipelines, Gas bubbles, Received signal strength, Passive acoustic, Localization.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Sualtı boru hatlarının delinme nedenleri [15]	2
Şekil 1.2. Kuzey Denizi sualtı boru hattı haritası (2009) [62]	11
Şekil 1.3. Meksika körfezi sualtı boru hattı haritası (2014) [71]	12
Şekil 1.4. SDBH'ler için sızıntı tespit/konumlandırma yöntemleri [16-18]	13
Şekil 1.5. Geleneksel konum tespit tekniklerinin sınıflandırılması [86,87]	20
Şekil 1.6. ASG tekniğiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]	22
Şekil 1.7. ASGF tekniğiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]	23
Şekil 1.8. VZF tekniğiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]	25
Şekil 1.9. VD tekniğiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]	26
Şekil 1.10. Parmak izi yöntemiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]	30
Şekil 1.11. Küresel yayılım [96]	32
Şekil 1.12. Silindirik yayılım [96]	33
Şekil 1.13. Zayıflatma katsayısı ile frekans arasındaki ilişki ($\alpha_s = 3 \times 10^{-3}$ dB/km, $K = 0.9$)	34
Şekil 1.14. Küresel ve silindirik yayılım durumları için iletim kaybı ve mesafe arasındaki ilişki ($f = 1$ kHz, $\alpha_s = 3 \times 10^{-3}$ dB/km, $K = 0.9$)	35
Şekil 1.15. Sualtı gürültüleri	36
Şekil 1.16. Sabit geometrili çok yollu kanal yapısı	40
Şekil 1.17. [61]'de önerilen sualtı akustik kanal modelinin blok şeması	43
Şekil 2.1. Konum tespit sistemi	56
Şekil 2.2. Farklı modlar için baloncuk salınım durumları (Düz çizgi baloncuğun ortalama konumunu ve kesikli çizgiler baloncuğun sınır konumlarını ifade etmektedir) [137]	58
Şekil 2.3. Salınım frekansının baloncuk çapıyla değişimi ($\rho=1000$ kg/m ³ , $g=9.8$ m/s ² , $h=400$ m, $\kappa=1.49$)	59
Şekil 2.4. Salınım frekansının derinlikle değişimi ($\rho=1000$ kg/m ³ , $g=9.8$ m/s ² , $d_b=100$ mm, $\kappa=1.49$)	59
Şekil 2.5. Akustik basınç sinyalinin frekans spektrumu	62

Şekil 2.6.	Akustik basınç sinyalinin frekansı ve sızıntı delik çapı arasındaki ilişki	63
Şekil 2.7.	Akustik basınç sinyalinin gücü ve sızıntı delik çapı arasındaki ilişki	63
Şekil 2.8.	Önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler için ortak akış diyagramı	65
Şekil 2.9.	Önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler için ayrı akış diyagramları	66
Şekil 2.10.	ASG tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti	67
Şekil 2.11.	ASGF tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti	68
Şekil 2.12.	Sızıntı deliğinden alıcıya gelen akustik basınç sinyali için akış diyagramı	71
Şekil 2.13.	OKKHK ve ölçüm sayısı arasındaki ilişki	71
Şekil 2.14.	ASG tekniği ve farklı alıcı sayıları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	73
Şekil 2.15.	ASGF tekniği ve farklı alıcı sayıları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	73
Şekil 2.16.	ASG tekniği ve farklı sızıntı delik çapları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	74
Şekil 2.17.	ASGF tekniği ve farklı sızıntı delik çapları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	74
Şekil 2.18.	ASG tekniği ve farklı ortam gürültüleri için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	75
Şekil 2.19.	ASGF tekniği ve farklı ortam gürültüleri için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi	76
Şekil 2.20.	ASG ve ASGF teknikleri için alıcı sayıları-ortalama OKKHK ilişkisi	76
Şekil 2.21.	ASG ve ASGF teknikleri için sızıntı delik çapları ve ortam gürültüleri-ortalama OKKHK ilişkileri	77
Şekil 2.22.	ASG ve ASGF teknikleri için konum hatalarının olasılık yoğunlukları	77
Şekil 2.23.	Kanal yapısı	79
Şekil 2.24.	Zamanla değişmeyen çok yollu kanalda parmak izi yöntemiyle konumlandırma için blok diyagramı	81
Şekil 2.25.	Ortalama OKKHK ve alıcı sayısı ilişkisi	82
Şekil 2.26.	Ortalama OKKHK ve ortam gürültü gücü ilişkisi	82
Şekil 2.27.	Farklı ortam gürültüsü durumu için konum hatalarının olasılık yoğunlukları	83
Şekil 2.28.	Farklı alıcı sayısı durumu için konum hatalarının olasılık yoğunlukları	83
Şekil 2.29.	1 m (üst-sol), 3 m (üst-sağ) ve 5 m (alt) dalga yükseklikleri için elde edilmiş ve üç terimli Gauss modeline göre uydurulmuş veri setleri	89

Şekil 2.30.	DEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	90
Şekil 2.31.	ADEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	91
Şekil 2.32.	DOEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	92
Şekil 2.33.	PSO algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	93
Şekil 2.34.	DEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	94
Şekil 2.35.	ADEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	95
Şekil 2.36.	DOEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	96
Şekil 2.37.	PSO algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	97
Şekil 2.38.	1 m (üst), 3 m (orta), 5 m (alt) dalga yükseklikleri ve tüm algoritmalar için gemi aktivite faktörü ve ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler	99
Şekil 2.39.	1 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler	100
Şekil 2.40.	3 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler	101
Şekil 2.41.	5 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler	102
Şekil 2.42.	kEYK algoritması tabanlı parmak izi tekniğiyle konum tespiti için blok diyagramı	104
Şekil 2.43.	1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	107
Şekil 2.44.	3 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	108

Şekil 2.45.	5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler	109
Şekil 2.46.	1 m, 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m dalga yükseklikleri için gemi aktivite faktörü ve ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler	110
Şekil 2.47.	1 m dalga yüksekliği ve N_5 ortam gürültüsü için farklı alıcı sayıları ve ortalama OKKHK arasındaki ilişki	110
Şekil 2.48.	1 m dalga yüksekliği, N_5 ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayıları için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler	111
Şekil 2.49.	1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1 , N_5 ortam gürültüleri için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler	112



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Norveç'in sahip olduğu SDBH'lerden bazıları [65]	10
Tablo 1.2. SDBH sızıntı tespit/konulandırma yöntemlerinin belirli kriterlere göre karşılaştırılması [17-19]	14
Tablo 2.1. Varsayılan parameterler	61
Tablo 2.2. Hesaplanan parameterler	61
Tablo 2.3. Durumlar için değişkenler	72
Tablo 2.4. Farklı ortam gürültüleri	72
Tablo 2.5. Kanal ve yüzey dalga parametreleri	88
Tablo 2.6. Büyük-ölçekli ve küçük-ölçekli benzetim parametreleri	88
Tablo 2.7. Değişken ortam gürültüleri	89
Tablo 2.8. 1 m dalga yüksekliği, N_5 ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayıları için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m'den düşük olma olasılıkları	111
Tablo 2.9. 1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1 , N_5 ortam gürültüleri için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m'den düşük olma olasılıkları	112

SEMBOLLER DİZİNİ

AAM	:	Ağırlıklandırılmış ağırlık merkezi
$ADEKK$:	Ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler
AR	:	Oto regresif
AS	:	Alıcı sayısı
ASG	:	Alınan sinyal gücü
$ASGF$:	Alınan sinyal güçleri farkı
AM	:	Ağırlık merkezi
A_w	:	Dalga genliği (yükseliği)
B	:	Baloncuk sayısı
BG	:	Bant genişliği
BS	:	Beaufort skalası
B_{δ_p}	:	Alt yol gecikmelerinin güç spektral yoğunluklarının 3-dB genişliği
c	:	Su ortamındaki ses hızı
c_t	:	Deniz tabanındaki ses hızı
c_1, c_2	:	Öğrenme faktörleri
dB	:	Desibel
$dB_{re 1\mu Pa}$:	$1\mu Pa$ referansı için desibel
$DBGF$:	Dar bant geçiren filtre
$DEKK$:	Doğrusal en küçük kareler
df	:	Frekans çözünürlüğü
DG	:	Direk görüş var
DGY	:	Direk görüş yok
$DOEKK$:	Doğrusal olmayan en küçük kareler
d_b	:	Baloncuk çapı
d_{no}	:	Sızıntı delik çapı
d_{ref}	:	Referans mesafe
D_{ty}	:	Aşağı yönlü doğrultuda harekete başlayan ışının aldığı yol
D_{yt}	:	Yukarı yönlü doğrultuda harekete başlayan ışının aldığı yol

D_0	:	Direk ışının aldığı yol
f_{min}	:	Minimum frekans
f_n	:	n . mod için salınım frekansı
f_T	:	Rahatlama frekansı
f_w	:	Dalga frekansı
f_0	:	0. mod için salınım frekansı
g	:	Yer çekimi ivmesi
GAF	:	Gemi aktivite faktörü
GSY	:	Güç spektral yoğunluğu
h	:	Suyun derinliği
h_{alc}	:	Alıcı yüksekliğinin değişim aralığı
h_{knl}	:	Kanal mesafesi değişim aralığı
h_{zy}	:	Deniz yüzey yüksekliğinin değişim aralığı
IK	:	İletim kaybı
$ITGI$:	Interconnector Turkey-Greece-Italy
$J(\tilde{x})$:	Maliyet fonksiyonu
K	:	Bor ile ilişkili etkilerin bölgesel değişimine karşılık gelen katsayı
k	:	Yayılm faktörü
$kEYK$:	k . en yakın komşu
L_{KY}	:	Işının genliğinde küresel yayılımdan dolayı meydana gelen zayıflama
L_T	:	Taban yansıma katsayısı
L_Y	:	Yüzey yansıma katsayısı
L_Z	:	Işının genliğinde meydana gelen emilim kaybı
MAG	:	Mağrip-Avrupa Gaz
N_d	:	Dalga gürültüsü
N_g	:	Gemi trafik gürültüsü
N_t	:	Türbülans gürültüsü
N_{tr}	:	Termal gürültü
n_y	:	Işının yüzeyden yansıma sayısı
n_t	:	Işının tabandan yansıma sayısı
$OKKHK$:	Ortalama karesel konum hatasının karekökü
PAY	:	Pasif akustik yöntem

$pbest$:	Parçacığın önceki iterasyonlarda elde ettiği en iyi değer
$gbest$:	Tüm sürünün tecrübesinden elde edilen en iyi değer
PSO	:	Parçacık sürü optimizasyonu
P_{hava}	:	Hava basıncı
P_{ortam}	:	Ortam basıncı
P_0	:	d_{ref} mesafesindeki akustik basınç sinyalinin genliği
R_0	:	Baloncuk yarıçapı
r_1, r_2	:	0-1 arasında düzgün dağılıma sahip rastgele değişkenler
P_t	:	Aşma basıncı
Q	:	Gaz akış hızı
S	:	Yüzey gerilmesi
s	:	Gemi aktivite faktörü
$SDBH$:	Sualtı doğalgaz boru hattı
$SDÇ$:	Sızıntı delik çapı
S_I	:	Deniz suyu tuzluluk oranı
S_p	:	Alt yol sayısı
T_I	:	Deniz suyu sıcaklığı
T_{top}	:	Toplam benzetim sinyali süresi
VD	:	Variş doğrultusu
VFF	:	Variş frekansları farkı
VZ	:	Variş zamanı
VZF	:	Variş zamanları farkı
v_p	:	Alt yol genliklerinin varyansı
\dot{v}_0	:	Hacim hızı
V_0	:	Ortalama hacim
W	:	Ağırlıklandırma matrisi
w	:	Rüzgar hızı
w_a	:	Atalet ağırlık katsayısı
\tilde{x}	:	Konum tahmin değişkeni
\hat{x}	:	Konum tahmini
z_a	:	Alıcı derinliği
z_v	:	Verici (delik) derinliği
$\alpha(f)$:	Zayıflatma katsayısı
$\alpha_{dB}(f)$:	Desibel cinsinden zayıflatma katsayısı

α_{kes}	:	Kesim faktörü
α_p	:	Doppler faktörü
α_s	:	Frekanstan bağımsız ek zayıflatma katsayısı
δ	:	Sönüm katsayısı
Γ	:	Toplamsal yansıma katsayısı
$\tilde{\gamma}_p(f, t)$:	Toplam küçük-ölçekli saçılma katsayısı
$\bar{H}(f)$:	Toplam transfer fonksiyonu
$\bar{H}_0(f)$:	Referans yol için transfer fonksiyonu
κ	:	Özel ısı oranı
λ	:	Dalga boyu
μ	:	Adım büyüklüğü
μ_p	:	Alt yol genliklerinin ortalaması
$\nabla(\cdot)$:	Gradyan vektörü
ρ	:	Su yoğunluğu
ρ_t	:	Deniz tabanının yoğunluğu
$\sigma_{h_{zy}}$:	Deniz yüzey yüksekliğinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması
$\sigma_{h_{alc}}$:	Alıcı yüksekliğinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması
$\sigma_{d_{knl}}$:	Kanal mesafesinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması
σ_y^2	:	Küçük-ölçekli yüzey değişimlerinin varyansı
σ_t^2	:	Küçük-ölçekli taban değişimlerinin varyansı
τ_b	:	Baloncuklar arasındaki zaman gecikmesi
τ_{ty}	:	D_{ty} mesafesi boyunca yayılan ışının gecikmesi
τ_{yt}	:	D_{yt} mesafesi boyunca yayılan ışının gecikmesi
θ_{ty}	:	D_{ty} mesafesi boyunca yayılan ışının düzlem normaliyle yaptığı açı
θ_{yt}	:	D_{yt} mesafesi boyunca yayılan ışının düzlem normaliyle yaptığı açı
ϑ	:	Faz açısı

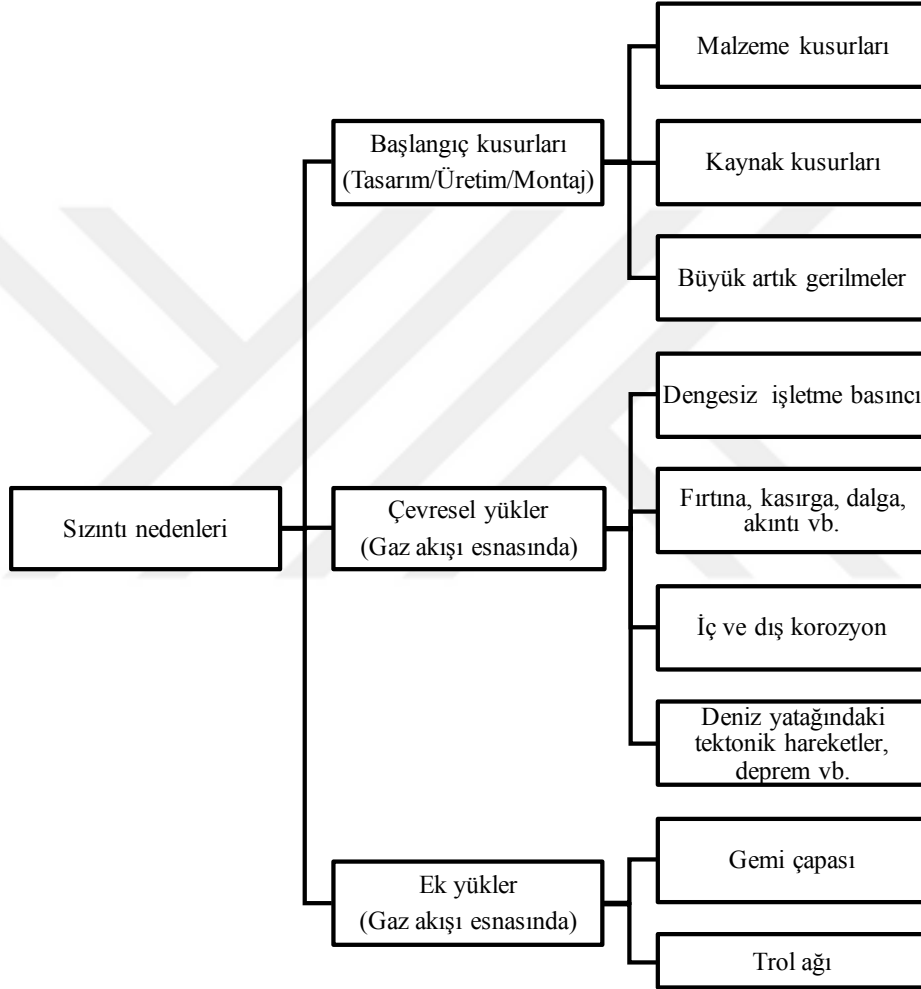
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1940'lı yıllardan beri konum tespiti akademisi, askeriye ve endüstri başta olmak üzere birçok alandan yoğun ilgi görmektedir [1]. Bu bağlamda, literatürde hem karasal ortamda hem de sualtı ortamında konum tespiti ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur [2-12]. Karasal ortamda elektromanyetik dalga yayan bir kaynağın konum tespiti elektronik savaşlarda, acil durumdaki bir kişiyi cep telefonu aracılığıyla bulmada ve kablosuz sensör ağlarında kullanılmışken, akustik dalga yayan kaynağın konum tespiti keskin nişancuların konumunu tayin etmek için kullanılmıştır [2-7]. Sualtı ortamı karasal ortamdaki farklı olarak elektromanyetik dalgayı ciddi oranda zayıflattığı için sualtında hem haberleşmede hem de konum tespitinde genellikle akustik dalga kullanılmaktadır. Literatürde, sualtı ortamında akustik kaynak konum tespiti kablosuz sensör ağlarındaki düğümlerin, balinalar gibi akustik ses yayan sualtı canlılarının, insansız sualtı araçlarının ve denizaltıların konumunun tespit edilmesi için kullanılmıştır [8-12]. Sualtı ortamındaki bu akustik kaynaklara önemli bir örnek olarak belirli nedenlerden dolayı delinme riskine sahip olan sualtı doğalgaz boru hatları (SDBH) verilebilir. SDBH'ler delindiği zaman, boru içinden akan gaz, baloncuklar halinde deniz ortamına karışır. Bu gaz baloncuklarının yaptığı salınım hareketleri sonucu oluşan akustik basınç sinyali boru hattını güçlü bir akustik kaynak yapar. Takip eden kısımlarda SDBH'lerdeki sızıntıların nedenleri ve konumlandırılmasıyla ilgili genel bilgiler verilmiş ve literatür incelemesi eşliğinde bu tez kapsamında önerilen yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir.

Önemli bir enerji kaynağı olan doğalgazın, üretim merkezlerinden tüketicilere taşınmasında boru hatları yaygın olarak kullanılmaktadır. Önemli bir kısmı da denizlerden geçen doğalgaz boru hatları başta yaşlanmaya bağlı iç/dış korozyon ve balıkçılık faaliyetleri (gemi çapası, trol ağı vb.) olmak üzere genel olarak aşınma, bükülme, kırılma, üretim hataları, doğal tehlikeler ve deniz yatağındaki tektonik hareketler nedeniyle zarar görüp delinebilir ve denize gaz sızdırabilir [13,14]. 1967-1990 yılları arasında sadece Meksika körfezinde bulunan sualtı boru hatlarında 1047 kere sızıntı yaşandığı [13]'te rapor edilmiştir. Şekil 1.1'deki gibi üç ana başlık altında sınıflandırılan bu nedenlerden dolayı delinme riski taşıyan SDBH'ler yukarıda da bahsedildiği üzere potansiyel birer akustik kaynak olarak görülebilirler [15]. Bunun yanında, 1900'lü yılların ikinci yarısında kurulmuş ve günümüzde hala kullanımda

olan çok sayıdaki SDBH ise büyük ölçüde delinme riski taşımaktadırlar. Bu nedenlerden dolayı SDBH'lerin sürekli olarak kontrol edilmesi ve sızıntı olması durumunda konumunun hızlıca tespit edilip erkenden müdahalede bulunulması enerji güvenilirliğini sağlamada ve çevre kirliliğinin önüne geçip doğal hayatı korumada önemli bir rol oynamaktadır. Bu tezin amacı yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı SDBH'lerde oluşan sızıntıların konumunu tespit etmektir.



Şekil 1.1. Sualtı boru hatlarının delinme nedenleri [15]

SDBH'lerde sızıntı olup olmadığını anlamak ve/veya sızıntı deliğinin konumunu tespit etmek için literatürde bir dizi yöntem önerilmiştir [16-20]. Bu yöntemler içsel ve dışsal tabanlı olmak üzere ikiye ayrılabilir. İçsel tabanlı yöntemler akış/basınç değişimi, kütle/hacim dengesi, basınç nokta analizi, negatif basınç dalgası yöntemleri, istatistiksel yöntem ve gerçek zamanlı geçici modelleme yöntemidir (dinamik model tabanlı yöntem) [17, 18]. Dışsal tabanlı yöntemler ise kapasitans, yarı iletken, optik kamera, biyo-sensör, fiber optik kablo,

floresan ve akustik yöntemleridir [16, 19, 20]. Bu yöntemlerin hepsi sızıntının olup olmadığını tespit edebilir. Ancak dışsal tabanlı yöntemler grubunda olan akustik yöntem hariç diğer yöntemlerin, sızıntı konumlandırma başarısızlık, yüksek maliyet, uzun boru hatları için kullanışsızlık, sualtı akıntı ve bulanıklığından etkilenme ve zahmetli bakım/onarım süreci gibi birbirinden farklı dezavantajları vardır [19].

Akustik yöntem pasif ve aktif olarak ikiye ayrılır. Pasif akustik yöntem (PAY), akustik sinyallerin hidrofönler olarak bilinen sualtı mikrofonları kullanılarak dinlenmesi üstüne kuruludur. Hem alıcı hem de verici gerektiren aktif akustik yöntemde ise ilk olarak vericiden akustik sinyal gönderilir ve sonrasında ölçülmek istenen ortamdan (sızıntıdan) yansıyor gelen sinyal dinlenir. SDBH'lerdeki sızıntıların boyutu çok küçük bile olsa bu sızıntılar oldukça güçlü akustik sinyaller üretebilmektedir. Bu durum, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için PAY'ı aktif akustik yöntemde göre daha kullanışlı kılmaktadır. Sualtı akıntısı ve bulanıklığından etkilenmeyen PAY SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Bilindiği kadarıyla sualtı gaz boru hatlarında pasif akustik algılama sadece [20]'de (ticari bir amaçla) gerçekleştirilmiştir. Adriyatik Denizi'nde gerçekleştirilen bu çalışmada bir akustik sızıntı algılama sistemi 30 km'lik boru hattının 10-20 m üstüne sarkıtılarak, boru hattı boyunca birkaç saat sürüklenmiştir. Bu şekilde 4 mm çapındaki bir delik 90 m mesafeden tespit edilmiştir. Sadece sızıntının algılandığı ancak konumlandırmanın yapılmadığı bu ticari amaçlı çalışmada sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalinin doğası ve yayılımı hakkında herhangi bir inceleme yapılmamıştır.

Kaynak konum tespiti için kullanılan teknikler mesafeye bağımlı ve mesafeden bağımsız teknikler olmak üzere ikiye ayrılır. Mesafeye bağımlı teknikler zaman tabanlı olan varış zamanı (VZ) ve varış zamanları farkı (VZF), sinyal gücü tabanlı olan alınan sinyal gücü (ASG) ve alınan sinyal güçleri farkı (ASGF), yön tabanlı olan varış doğrultusu (VD) teknikleridir. Bu tekniklerde ilk olarak alınan sinyalin gücü, varış zamanı veya doğrultusu bilgileri kullanılarak hedef-alıcı arasındaki mesafe veya açı bilgileri tahmin edilir. Sonrasında ise elde edilen mesafe veya açı bilgileri literatürde yaygın olarak tercih edilen üçgenleme yönteminde kullanılarak (belirli konumlandırma algoritmaları yardımıyla) hedef konumu tespit edilir. Mesafeden bağımsız teknikler ise sıçrama sayısı (mesafe vektörü-sıçrama), ağırlık merkezi ve parmak izi teknikleridir.

SDBH'lerdeki sızıntı deliğinin konum tespiti genel anlamda bir kaynak konumlandırma problemidir. Yukarıda anlatıldığı üzere, bu problemi çözmek için PAY'ın kullanılması daha uygundur. Sualtı ortamında, akustik kaynak konum tespiti için PAY ile beraber VZ, VZF,

ASG ve VD teknikleri kullanılmıştır [2,21-24]. Bunların dışında, kaynağın hareketli olduğu durumlarda çalışan varış frekansları farkı (VFF) tekniği de sualtında kaynak konum tespiti için kullanılmıştır [25]. VZ tekniğinde akustik basınç sinyalinin delikten çıkış ve alıcıya varış zamanlarının tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Ancak boru hattının delindiği anı tam olarak bilmek mümkün değildir. Bu nedenle VZ tekniği SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için uygun değildir. Özellikle korozyon nedeniyle SDBH zaman içinde yavaşça delineceğinden, alıcılara ulaşan sinyallerin varış zamanları belirlenemeyebilir. Bu da varış zamanları farkını kullanan VZF tekniğini kullanışsız kılar. VD tekniği ise pahalı hidrofondizileri gerektirdiğinden ve hidrofond hareketliliği nedeniyle oluşan Doppler etkisine karşı çok hassas olduğundan sızıntı konumlandırma için uygun olmayabilir. SDBH'lerdeki sızıntı delikleri sabit olduğundan (konumu zamanla değişmez) VFF tekniği de sızıntı konum tespiti için uygun bir teknik değildir. Zaman tabanlı tekniklerin aksine, sinyal gücü tabanlı olan ASG ve ASGF teknikleri herhangi bir zaman bilgisi veya zaman senkronizasyonu gerektirmez [26]. Sinyal gücü tabanlı tekniklerin sistem karmaşıklığı ve maliyeti diğer tekniklere göre düşük olup, uygulanmaları daha basittir [27]. Bu nedenlerden dolayı SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için sinyal gücü tabanlı tekniklerin kullanılması daha uygundur. Literatür araştırıldığı kadarıyla ASG tekniği SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için kullanılmamıştır. ASGF tekniği ise sualtında herhangi bir kaynağın konumlandırılması için kullanılmamıştır.

Mesafeden bağımsız teknikler sualtı ortamında kaynak konumlandırma için kullanılmışlardır [28-31]. Sıçrama sayısı tekniğinde, ağda bulunan ve konumu bilinen her referans düğüm için ortalama sıçrama mesafesi bulunur ve bu mesafeler kullanılarak konumu bilinmeyen düğümler konumlandırılır [32]. Bu teknikte, sıçrama mesafesi hesabı için her referans düğüm konum bilgisini diğer referans düğümlere gönderir. Ancak sızıntı konumlandırma probleminde alıcılardan sızıntıya herhangi bir şekilde konum bilgisi gönderilemeyeceğinden bu teknik sızıntı konumlandırma problemi için uygun değildir. Ağırlık merkezi tekniğinde ilk olarak, konumu bilinen sensörler konum bilgilerini kapsama alanlarında olan ve konumu bilinmeyen sensörlere gönderir. Sonrasında konumu bilinmeyen sensörler kendi konumlarını bilgi aldıkları sensörlerin konumlarının ortalamasını alarak bulurlar [33,34]. Ancak sızıntı konum tespit probleminde alıcılardan sızıntı deliğine konum bilgisi gönderme durumu mümkün olmadığından ağırlık merkezi tekniği de sızıntı konumlandırma için uygun bir çözüm değildir. Parmak izi tekniğinde ilk olarak, (konum tespitinden önce) vericinin konumu ilgilenilen alan içinde değiştirilir ve böylece farklı verici konumları için alıcılar

tarafından alınan sinyal güçleri kaydedilerek sinyal gücü haritaları elde edilir [1]. Sonra, konumu bilinmeyen vericiden alıcılara ulaşan sinyal güçleri oluşturulan parmak izi haritasıyla eşleştirilerek vericinin konumu tahmin edilir. Literatür araştırıldığı kadarıyla parmak izi tekniği SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için hiç kullanılmamıştır.

Konum tespiti, sinyalin yayılım durumuna göre direk görüşün olduğu (DG) ve direk görüşün olmadığı (DGY) durum olmak üzere ikiye ayrılabilir. DGY'li durumda vericiden alıcıya direk olarak giden bir sinyal bileşeni olmayıp alınan sinyali yansıyarak gelen sinyal bileşenleri oluşturmaktadır. Direk yol sinyalinin alıcılara ulaştığı DG durumu, tek yollu ve çok yollu durum olmak üzere ikiye ayrılabilir. Tek yollu durumda vericiden alıcıya sadece direk yol sinyali gitmektedir. Çok yollu durumda ise alınan sinyali direk yoldan ve yansımali yollardan gelen sinyal bileşenleri oluşturmaktadır. Literatürde, bir veya birden fazla alıcıya direk yol sinyalinin gitmediği kabul edilen konum tespit sistemlerinde, DGY'li durumun etkisini azaltıp konumlandırma doğruluğunu artırmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir [35-43]. SDBH'lerde sızıntı konumlandırma için DGY'li durum deniz vasıtaları (insansız sualtı aracı, denizaltı vb.) veya deniz canlılarından dolayı geçici olarak oluşabilir.

Çok yollu bir ortamda konumlandırma yapmak için, en basit anlatımla, alıcının direk yolu seçmesi veya tahmin edip diğer yolları ihmal etmesi gerekir. Bunu gerçekleştirmek için birincisi artırılmış bant genişliğiyle direk yolu bulma yöntemi ve ikincisi kanal tepkesini tahmin etme ve bu bilgiyi kullanarak mesafeyi kestirme yöntemi olmak üzere iki genel yöntemin olduğu [44]'te rapor edilmiştir. İlk yöntem sinyalin bant genişliğiyle direk olarak ilgili olup, çok yollu kanalın tepkesini çözer. Bu yöntemde yolları çözümleyebilmek için en az 300 MHz'lik bir bant genişliğine ihtiyaç vardır. Ancak bu değer sızıntı tabanlı akustik basınç sinyallerinin bant genişliğinden çok büyüktür. Bu nedenle, ilgili yöntem sızıntı konumlandırma için uygun değildir. İkinci yöntem, sinyalin bant genişliği çok yollu kanalı yeterince çözümleyebilecek kadar küçük olduğu zaman, çok yollu kanalın kestirilmiş mesafe üstündeki etkisinin tahmin edilip bu etkinin giderilmesi üstüne kuruludur. Bu yöntemde, kanal frekans/vuruş tepkesinin tahmini ve kanalın mesafe kestirimi üstündeki etkisinin tahmini olmak üzere iki önemli adım vardır. Yöntemin ilk adımı olan kanal frekans/vuruş tepkesi tahmini için literatürde sıklıkla vericiden alıcıya eğitim dizisi gönderme işlemi uygulanmıştır [44]. Ancak sızıntıdan (verici) alıcıya eğitim dizisi gönderme işlemi mümkün olmadığından ilgili yöntem de SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için uygun değildir.

Literatürde, konum tespitinde çok yolluluk etkisini azaltma/çok yollu kanalda konumlandırma için çalışmalar yapılmıştır. Konum tespit sistemlerinde, çok yolluluk etkisini

azaltma için kullanılan erken-eksi-geç gecikme kilitlemeli çevrim (early-minus-late delay lock loop), çift delta tekniği, gecikme kilitlemeli çok yolluluk tahmincisi, evreyuysuz gecikme kilitlemeli çok yolluluk tahmincisi, erken geç eğimi ve dalgacık analizi gibi birçok teknikte vericiden alıcıya kanalı tanımak üzere alıcı tarafından bilinen bir eğitim dizisi gönderilmiştir [45-48]. Ancak daha önce de bahsedildiği üzere eğitim dizisi gönderme işlemi sızıntı konumlandırma probleminin doğasına aykırıdır. [49]'da açık mekanda, frekans çeşitlemesi yöntemi ASG ölçümlerine uygulanarak çok yolluluk etkisi bastırılmıştır. [50]'de ise kapalı mekanda, ASG ölçümlerine (frekans çeşitlemesi yöntemi tabanlı) frekans ortalaması alma tekniği uygulanarak çok yolluluk etkisi bastırılmıştır. Benzer şekilde [51,52] çalışmalarında da frekans çeşitlemesi yöntemiyle çok yolluluk etkisi azaltılmıştır. Frekans çeşitlemesi yönteminde gönderilmek istenen veri birden fazla sayıda taşıyıcı frekans kullanılarak gönderilir Ancak sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalinin frekansı sabit olduğundan ve sızıntı delik çapı veya boru hattı derinliği değiştirilmediği sürece değişme ihtimali olmadığından frekans çeşitlemesi yöntemi sızıntı konumlandırmada çok yolluluk etkisini bastırmak için kullanılamaz. [53]'te, ASG ölçümleri tabanlı olan ve çok yolluluk etkisini bastırmak için önerilen yöntem verici-alıcı arasında karşılıklı sinyal gönderip alma temeline dayanmaktadır. Burada, hareketli olan verici sabit olan alıcıya yüksek güçlü bir sinyal gönderir ve bu sinyali alan alıcı da vericiye geri olarak düşük güçlü bir sinyal gönderir. İletim kaybı her iki sinyal için de aynı olacağından gönderilip alınan yüksek ve düşük güçlü sinyallerin güçleri farkları birbirine eşit olacaktır. Buna göre geliştirilen kuralda, ilk olarak gönderilen ve alınan düşük ve yüksek güçlü sinyallerin güçleri farkları kullanılarak bir ön ölçüm sabiti tanımlanmıştır. Sonrasında, alınan yüksek ve düşük güçlü sinyallerin güçleri farkı bu sabite eşitse alıcıya gelen sinyalin gücü, eşit değilse alıcıya gelen bir önceki sinyalin gücü gerçek güç kabul edilmiştir. Bu şekilde çok yolluluk etkisinden dolayı ASG'de olan dalgalanmalar azaltılmıştır. Daha önce de bahsedildiği üzere SDBH'lerdeki sızıntı delikleri sadece birer verici olup alıcı işlevine sahip değildir. Yani sızıntı deliğine sinyal göndermek mümkün olmadığından bu yöntem de sızıntı konumlandırmada çok yolluluk etkisini azaltmak için uygun olmayacaktır.

Çok yollu sualtı akustik kanalında kaynak (pasif) konumlandırmayla ilgili olan [54]'te, deniz tabanı ve yüzeyinden dolayı oluşan çok yollu gecikmeler cepstrum (cepstrum) yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve bu gecikmeler kaynağı konumlandırmak için kullanılmıştır. Cepstrum, alınan bir sinyalin spektrumunun logaritmasının ters fourier dönüşümünün alınması işlemi olup, çok yollu kanaldan dolayı meydana gelen yansıma bileşenlerinin toplamsal olarak ifade edilmesini sağlar. Duruma sızıntı konumlandırma açısından aşağıdaki gibi bakılabilir.

Sızıntı tabanlı bir akustik basınç sinyalinin başlangıç kısmını periyodik olmayan geçici durum ve kalan kısmını da periyodik sinüzoidal bir formun bulunduğu sürekli durum oluşturmaktadır. Özellikle korozyon tabanlı etkilerde, SDBH zaman içinde yavaşça delineceğinden, sızıntı sinyalinin başlangıç kısımları (geçici durum) alıcı tarafından yakalanamayabilir. Bu durumda, alınan periyodik sinüs sinyalinden kepstrum yöntemiyle çok yollu gecikme bilgilerinin elde edilmesi mümkün olmaz ve sızıntı konumlandırılmaz.

Bu yöntemlerin haricinde, sinyal gücü tabanlı konumlandırmada kullanılan parmak izi yöntemi, oldukça etkili ve bilindik bir çok yolluluk etkisi azaltma yaklaşımı olup, sualtı ortamında kaynak konum tespiti için kullanılmıştır [30, 31, 55, 56]. Bilindiği kadarıyla, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için kullanılmamış olan parmak izi yöntemi bu problem için uygun bir çözüm olabilir.

Bu literatür araştırması ve değerlendirmeler doğrultusunda, tez kapsamında yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir: SDBH'lerde meydana gelebilecek sızıntıların oluşturacağı akustik basınç sinyalinin doğası incelenmiştir. Sızıntı tabanlı akustik basınç sinyallerinin çok dar bantlı oldukları ve alınan sinyallerin frekansları ve SDBH ile ilgili gerekli parametreler yardımıyla sızıntı delik çapı, baloncuk çapı ve sızıntı deliğindeki akustik sinyal gücünün hesaplanabileceği gösterilmiştir [57-59]. Dahası, SDBH üstünde farklı çaplara sahip birden fazla sızıntı deliğinin olması durumunda, alınan sinyallerin frekansları ve gerekli parametreler kullanılarak delik sayısı ve deliklerin çapları belirlenebilir. SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için ASG tekniği tabanlı bir pasif akustik konum tespiti yöntemi önerilmiştir [58, 59]. ASG tekniğinde, gönderilen sinyal gücü bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Boru hattıyla ilgili parametreler (sabit kabul edilmiştir) ve alınan sinyalin frekansı kullanılarak sızıntı deliğindeki akustik basınç sinyal gücü hesaplanmıştır. Sualtı akustik kanal modeli olarak sadece direk yol sinyalinin olduğu tek yollu kanalın kullanıldığı benzetim çalışmaları, önerilen yöntemin farklı sualtı ortam gürültüleri, alıcı sayıları ve sızıntı delik çaplarına bağlı olarak, sızıntıları kilometrelerce öteden oldukça düşük ortalama konum hatalarıyla konumlandığını ortaya koymuştur. Boru hattıyla ilgili bazı parametrelerin (gaz baloncukları arasındaki zaman gecikmesi, gaz akış hızı vb.) zamanla değiştiği ve anlık olarak bilinemediği durumda sinyalin delikten çıkış gücü hesaplanamayacağından ASG tekniği kullanılamaz. Bu nedenle, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için gönderilen sinyal gücü bilgisine ihtiyaç duymayan ASGF tekniği tabanlı bir pasif akustik konum tespit yöntemi önerilmiştir. Önceki çalışmaya benzer olarak tek yollu bir sualtı akustik kanalının kullanıldığı benzetim çalışmaları sonucunda sızıntıların oldukça uzak mesafelerden düşük

ortalama konum hatalarıyla konumlandırıldığı gösterilmiştir. ASG ve ASGF teknikleri tabanlı yöntemlerin konum tespit başarımları karşılaştırılmıştır.

Direk yol sinyaline ek olarak, deniz tabanından ve yüzeyinden yansıyan sinyallerin de olduğu zamanla değişmeyen çok yönlü bir sualtı akustik kanalında (sabit kanal), SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için parmak izi yöntemi önerilmiştir [60]. Önerilen yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar, zamanla değişmeyen çok yönlü kanalda sızıntıların düşük hatalarla konumlandırılabilceğini göstermiştir. Bu tezin son çalışmasında, [61]'de önerilen, literatürde sıklıkla kullanılan ve oldukça gerçekçi olan zamanla değişen (hareketli deniz yüzeyi, sualtı akıntıları vb. nedenlerle) çok yönlü bir sualtı akustik kanalında (değişken kanal), SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için alınan sinyal güçleri tabanlı eğri uydurma yöntemi ve parmak izi yöntemi önerilmiştir. İlk yöntem olan alınan sinyal güçleri tabanlı eğri uydurma yönteminde doğrusal en küçük kareler (DEKK), ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK), doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmaları kullanılarak konum tespiti yapılmıştır. İkinci yöntemde ise k. en yakın komşu (KEYK) algoritması tabanlı parmak izi tekniği kullanılarak konum tespiti yapılmıştır. İlk yöntem içindeki algoritmalarından en yüksek başarıma PSO algoritmasının sahip olduğu, genel olarak ise sızıntıyı en düşük hatayla konumlandırılan yöntemin parmak izi yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.2. Sualtı Doğalgaz Boru Hatları

Bu başlık altında Dünya'daki SDBH'ler hakkında genel bilgiler verilmiş ve gerçek SDBH sızıntı vakalarından bahsedilmiştir.

1.2.1. Dünyada Geneline Sualtı Doğalgaz Boru Hatları

Sualtı boru hatları gaz, petrol ve su olmak üzere üç ana maddenin taşınması için kullanılmaktadır. Sualtı gaz ve petrol boru hatları iç-alan boru hattı, dışarı-aktarım boru hattı ve nakliye boru hattı olmak üzere üç gruba ayrılabilir. İç-alan boru hatları gazı/petrolü kaynaklardan denizde bulunan işleme alanlarına iletmek için kullanılırlar. Dışarı-aktarım boru hatları gazı/petrolü işleme alanlarından karaya aktarmak için kullanılırlar. Nakliye boru hatlarının işleme alanlarıyla herhangi bir bağlantısı olmayıp gazın/petrolün bir noktadan diğer noktaya taşınması için kullanılırlar [13].

Gaz nakli için kullanılan sualtı boru hatları yoğunluklu olarak Akdeniz, Baltık ve Kuzey Denizlerinde bulunmaktadır (Amerika hariç) [13]. Batı Avrupa ve Akdeniz’de bulunan SDBH’ler aşağıda özetlenmiştir. Akdeniz’in ilk SDBH’si olan ve Cezayir’den İtalya’ya gaz taşıyan Trans-Mediterranean (Trans-Akdeniz) boru hattı 1983 yılında kurulmuştur. Bu boru hattını, 1996 yılında kurulan ve Cebelitarık boğazından geçip Fas’tan İspanya’ya gaz taşıyan Maghreb-Europa Gas (Mağrip-Avrupa Gaz; MEG) boru hattı takip etmiştir. Sonrasında, Akdeniz’de sırasıyla; 2004’te Libya-Sicilya arasında Green-Stream (Yeşil-Akım) boru hattı, 2007’de 17 km’lik kısmı Marmara Denizinden geçmekte olan Interconnector Turkey-Greece-Italy (Türkiye-Yunanistan-İtalya enterkonnektör; ITGI) boru hattı, 2008’de Mısır-İsrail arasındaki boru hattı (2012’de kullanıma kapatıldı) ve 2011’de Cezayir-İspanya arasında Medgaz boru hattı kurulmuştur. 1998’de Belçika-İngiltere arasında Interconnector (enterkonnektör) boru hattı kurulmuştur. 2006’da kurulan Balgazand/Bacton hattı Hollanda ve İngiltere arasındaki doğalgaz iletimini sağlamaktadır [13]. 2012 yılında, Baltık Denizinin altından geçip, Rusya-Almanya arasındaki doğalgaz iletimini sağlayan ve 1222 km uzunluğuyla Dünya’nın en uzun boru hattı olan Nord Stream (Kuzey Akımı) kullanıma açılmıştır [62, 63]. 2012 yılında yapımına başlanan ve Rusya’dan başlayıp, Baltık denizinin altından 1230 km uzanarak Almanya’ya ulaşacak olan Nord Stream 2 (Kuzey Akımı 2) boru hattının 2019 yılı sonlarına doğru faaliyete geçmesi planlanmaktadır [64]. Norveç’teki gaz taşıma sistemleri 1970’lerde geliştirilmeye başlanmış ve doğalgazın denizin altından Norveç anakarasına aktarılması için kullanılmışlardır. Norveç’in gaz tüketimi sınırlı miktarda olduğundan üretilen gazın neredeyse tamamı (101 milyar m³) Belçika, Fransa, Almanya ve İngiltere’ye ihraç edilmiştir. 2014 yılı itibariyle 7980 km uzunluğundaki bir sualtı boru hattı ağına sahip olan Norveç’in SDBH’lerinden bazıları Tablo 1.1’de verilmiştir [65]. Burada verilen uzunluklar boru hatlarının sadece sualtındaki kısımlarıyla ilgilidir. 2009 yılı için Kuzey Denizindeki sualtı boru hattı haritası Şekil 1.2’de gösterilmiş olup, turuncu kısımlar doğalgaz üretim alanları ve SDBH’leri temsil etmektedir [62].

Batı Avrupa ve Akdeniz’in dışında bulunan SDBH’lerden bazıları aşağıda verilmiştir. Rusya’dan Türkiye’ye doğalgaz nakletmek için 2003 yılında kurulan 1213 km’lik Blue Stream (Mavi-Akım) boru hattının 380 km’lik kısmı sualtından geçmektedir. Bu boru hattı 2150 m derinlikten geçmesiyle Dünya’nın en derin SDBH’sidir [66]. 2016 yılında yapımına başlanan ve hala yapım aşamasında olan White Stream (Beyaz-Akım) boru hattının, Azerbaycan’dan başlayıp, Gürcistan üstünden geçip, Karadeniz’in altından 1100 km ve 630 km’lik kollardan sırasıyla Romanya’ya ve Ukrayna’ya ulaşması planlanmaktadır [67]. Yapımına 2017 yılının

Tablo 1.1. Norveç'in sahip olduğu SDBH'lerden bazıları [65]

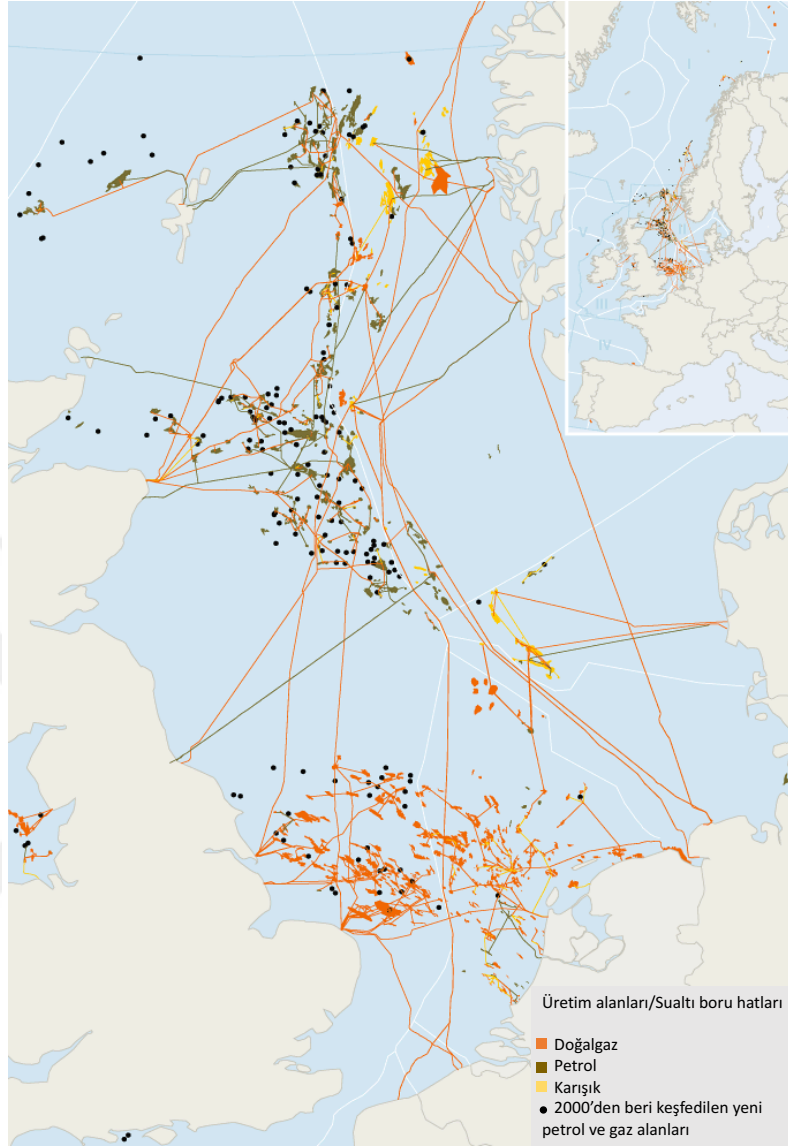
SDBH'nin adı	Nereden	Nereye	Başlangıç yılı	Uzunluk (km)
Langed	Norveç	İngiltere	2007	1166
Franpipe	Norveç	Fransa	1998	840
Europipe-I	Norveç	Almanya	1995	620
Europipe-II	Norveç	Almanya	1999	658
Vesterled	Norveç	İngiltere	1978	360
Zeepipe-I	Norveç	Belçika	1993	813
Zeepipe-II	Norveç (Kollsnes işleme tesisi)	Norveç (Draupner E platformu)	1997	301
Asgard Transport	Norveç (Asgard işleme tesisi)	Norveç (Karsto)	2000	720

Mayıs ayında başlanan ve Rusya'dan Türkiye'ye doğalgaz taşıyacak olan Turkish Stream (Türk Akımı) boru hattının 910 km'lik kısmının Karadeniz'in 2200 m derinliğinden geçmesi planlanmaktadır [68]. 2025 yılında tamamlanması beklenen, İsrail ve Kıbrıs'ı birbirine bağlayacak olan boru hattının 2000 km uzunlukla Dünya'nın en uzun SDBH'si olması planlanmaktadır [69].

Amerika'da toplamda 10000 km'lik sualtı petrol ve doğalgaz boru hattı vardır [70]. 2014 yılı için Meksika körfezindeki sualtı boru hatlarının (hem doğalgaz hem de petrol) haritaları Şekil 1.3'te verilmiştir [71]. Dünyada her yıl ortalama 8000 km'lik sualtı boru hattı kullanıma açılmaktadır. 5 milyar dolarlık bu yatırımın %60'ı Avrupa'nın Kuzey Batısı, Asya Pasifiği ve Meksika Körfezindedir [70]. Dünya'da her yıl bu kadar fazla miktarda sualtı boru hattının kullanıma açılmasının nedeni, sadece 2018 yılının ilk çeyreğinde dünya genelinde 13 adet sualtı doğalgaz/petrol yatağı keşfi yapılması ve daha sayısı bilinmeyen miktarda kaynak olmasıyla açıklanabilir. 2018'in ilk çeyreğinde yapılan bu keşiflere Avrupa (özellikle Polonya ve Norveç) başta olmak üzere, Afrika ve Güney Amerika ev sahipliği yapmaktadır [72].

1.2.2. Sualtı Boru Hattı Sızıntı Vakaları

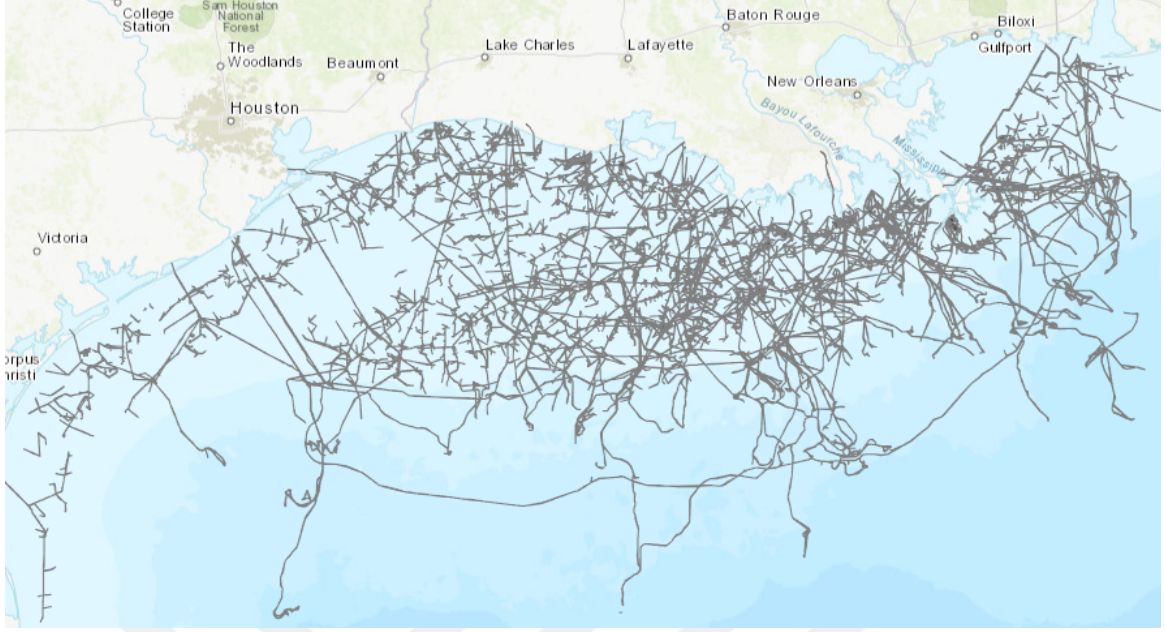
1967-1990 yılları arasında Meksika körfezinde bulunan sualtı boru hatlarında 1047 kere sızıntı yaşanmıştır. Veriler ortalama olarak 8 günde bir sızıntı olduğunu göstermektedir. Bu sızıntıların 916'sının ana nedenleri: %50'si (456) iç veya dış korozyon, %14'ü (124) gemi çapaları ve balıkçı ekipmanları, %12'si (106) fırtına ve kasırgalar, %10'u (94) üretim hataları ve bağlantı noktası sıkıntıları ve %15'i (136) diğer veya bilinmeyen nedenlerdir [13]. Buna ek olarak, 10 yaşından daha büyük olan boru hatlarının korozyon nedeniyle yeni boru



Şekil 1.2. Kuzey Denizi sualtı boru hattı haritası (2009) [62]

hatlarına göre daha fazla delindiği rapor edilmiştir [13]. 2004 yılındaki Katrina ve 2005 yılındaki Rita kasırgaları Meksika Körfezindeki sualtı boru hatlarının 542 noktasında hasara neden olmuştur [73]. Avrupa'da ise 1971-2000 yılları arasında sualtı boru hatlarında 542 kere sızıntı olmuştur. Bu sızıntıların %51'i korozyon nedeniyle, %23'ü gemi çapası gibi balıkçılık aktiviteleri nedeniyle ve %26'sı ise üretim hatası ve bilinmeyen nedenlerden dolayı olmuştur [13]. İngiltere'deki sualtı petrol ve gaz boru hatlarında 2001 ve 2011 yılları arasında yaklaşık 1978 sızıntı olmuştur [74].

Bahsedilen olaylar haricindeki bazı muhtelif SDBH sızıntı vakaları aşağıda özetlenmiştir. Kuzey Doğalgaz Şirketinin (Enron) 1981 yılında ürettiği 61 cm çaplı SDBH iç korozyon



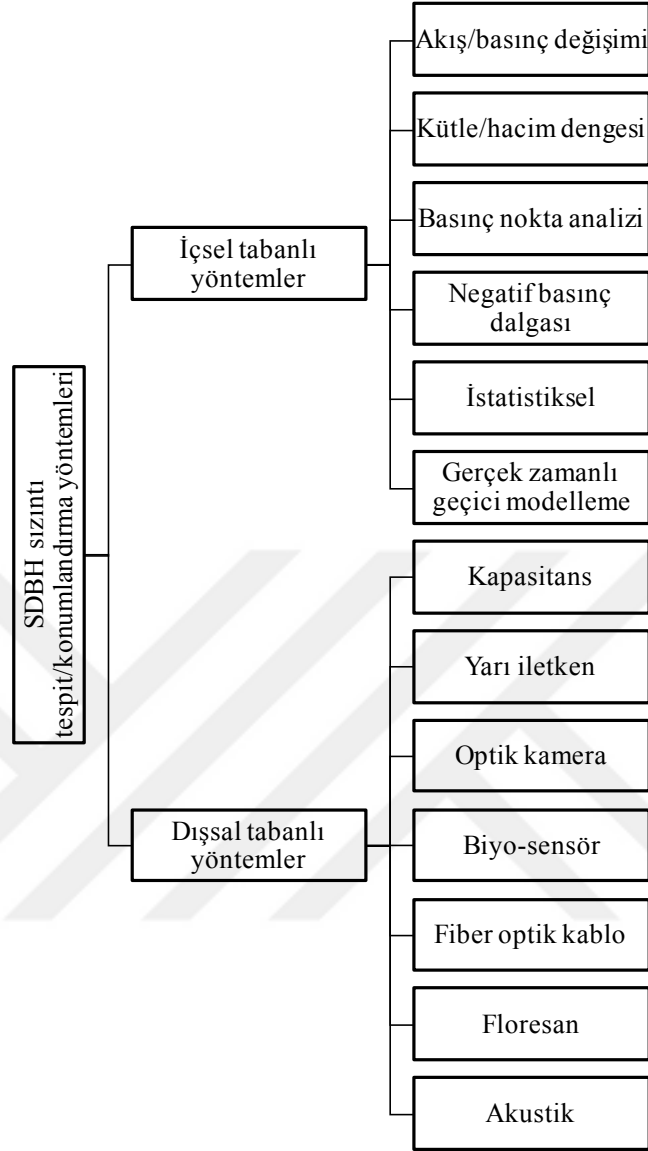
Şekil 1.3. Meksika körfezi sualtı boru hattı haritası (2014) [71]

nedeniyle 26 Ocak 2002’de delinmiştir [75]. Çin’de 2011 yılının Aralık ayında yapılan mekanik kum taraması nedeniyle Zhuai SDBH delinmiştir. Bu olay sonucunda günlük 3218 m³ gaz denize sızmıştır [76]. 2017 yılında Alaskanın Cook Körfezindeki 20.3 cm çapa sahip ve 1965 yılında kurulmuş olan SDBH’nin kıyıdan 6.5 km uzaklıktaki kısmında bir sızıntı olmuştur [77]. İlk başta fark edilemeyen ve sonrasında dalgıçların ulaşmakta zorlandığı bu sızıntıdan 3 ay süresince günde en az 5950 m³’lük gaz denize salınmıştır. Dahası bu bölgede yaşayan ve türleri tehlike altında olan Beluga Balinalarının ve diğer sualtı canlılarının bu durumdan etkilenmesinin olası olduğu rapor edilmiştir [78].

1.3. SDBH Sızıntı Tespit Yöntemleri

SDBH’lerde sızıntı olup olmadığını anlamak ve/veya sızıntı deliğinin konumunu tespit etmek için kullanılan yöntemler Şekil 1.4’te gösterildiği gibi içsel ve dışsal tabanlı olmak üzere ikiye ayrılır [16-18]. Bu yöntemler genelde aşağıda verilen kriterler kullanılarak kıyaslanmaktadır [17-19].

1. Sızıntı büyüklük tahmini: Boru hattındaki sızıntının ne kadar büyük olduğu belirlenebiliyor mu?
2. Sızıntı konum tespiti: Sızıntı konumlandırılabilir mi?



Şekil 1.4. SDBH'ler için sızıntı tespit/konumlandırma yöntemleri [16-18]

3. Maliyet: Sistem kurulum ve işletme maliyeti ne kadar?
4. Tespit hızı: Sızıntı ne kadar hızlı tespit edilebiliyor?
5. Kolay yenileme: Sistemde bir arıza olduğu zaman düzeltme/yenileme işlemi kolay mı?
6. Kolay kullanım: Sistem (yöntem), ilgili konuda uzman birisi olmadan da kullanılabilir mi?
7. Sualtı ortamından etkilenme: Sualtı akıntıları ve bulanıklığından etkileniyor mu?

8. Uzun hatlarda kullanılabilirlik: Uzun boru hatlarında kullanılabilir mi?

Bu kriterlere göre yöntemler Tablo 1.2’de karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin avantajları, dezavantajları ve yöntemlerle ilgili detaylı bilgiler Bölüm 1.3.1 ve 1.3.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. SDBH sızıntı tespit/konumlandırma yöntemlerinin belirli kriterlere göre karşılaştırılması [17-19]

Yöntem	Sızıntı büyüklük tahmini	Sızıntı konum tespiti	Maliyet	Tespit hızı
Akış/basınç değişimi	Hayır	Hayır	Düşük	Hızlı
Kütle/hacim dengesi	Hayır	Hayır	Düşük	Hızlı
Basınç nokta analizi	Hayır	Hayır	Düşük	Hızlı
Negatif basınç dalgası	Evet	Evet	Orta	Hızlı
İstatistiksel	Evet	Evet	Yüksek	Hızlı
Gerçek zamanlı geçici modelleme	Evet	Evet	Yüksek	Hızlı
Kapasitans	Hayır	Hayır	Orta	Orta
Yarı iletken	Hayır	Hayır	Orta	Orta
Optik kamera	Evet	Evet	Orta	Yavaş
Biyo-sensör	Hayır	Hayır	Orta	Orta
Fiber optik kablo	Evet	Evet	Yüksek	Hızlı
Floresan	Hayır	Evet	Orta	Yavaş
Akustik	Evet	Evet	Orta	Hızlı

Yöntem	Kolay yenileme	Kolay kullanım	Sualtı ortamından etkilenme	Uzun hatlarda kullanılabilirlik
Akış/basınç değişimi	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Kütle/hacim dengesi	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Basınç nokta analizi	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Negatif basınç dalgası	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
İstatistiksel	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Gerçek zamanlı geçici modelleme	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
Kapasitans	Evet	Evet	Evet	Evet
Yarı iletken	Evet	Evet	Evet	Evet
Optik kamera	Evet	Evet	Evet	Evet
Biyo-sensör	Evet	Evet	Evet	Evet
Fiber optik kablo	Hayır	Evet	Evet	Evet
Floresan	Evet	Evet	Evet	Evet
Akustik	Evet	Evet	Hayır	Evet

1.3.1. İçsel Tabanlı Yöntemler

Bu kısımda, akış/basınç değişimi, kütle/hacim dengesi, basınç nokta analizi, negatif basınç dalgası yöntemleri, istatistiksel yöntem ve gerçek zamanlı geçici modelleme yönteminden (dinamik model tabanlı yöntem) bahsedilmiştir.

1.3.1.1. Akış/Basınç Değişimi ve Kütle/Hacim Dengesi Yöntemleri

Akış/basınç değişimi yönteminde, boru hattına giren gaz ile boru hattından çıkan gazın akışı/basıncı arasındaki değişimler daha önceden belirlenmiş olan bir eşik değerin üstündeysen boru hattında sızıntı olduğuna karar verilir [17]. Kütlenin korunumu yasası temeline dayanan kütle/hacim dengesi yönteminde, giren gaz ile çıkan gazın kütlesi/hacmi arasındaki dengesizlik sızıntının varlığını gösterir. Boru hattının bir bölümünden çıkan gazın hacmi, bu bölüme giren gazın hacminden çıkarılarak elde edilen fark belirli bir eşik değerin üstündeysen sızıntı olduğuna karar verilir. En az iki veya daha fazla sayıda sensör (akış, basınç veya sıcaklık) kullanarak sızıntıyı algılayabilen bu yöntemler düşük maliyetli olmalarına rağmen küçük sızıntıların algılanmasına karşı hassas olmayıp, sızıntıyı konumlandıramazlar [17, 18, 79].

1.3.1.2. Basınç Nokta Analizi Yöntemi

Hızlı bir sızıntı algılama yöntemi olan basınç nokta analizinde "sızıntı durumunda boru hattı içindeki gaz basıncı azalır" prensibi temel alınmıştır [80]. Basınç nokta analizi yönteminde boru hattının farklı noktalarından sürekli basınç ölçümleri alınır. Bu basınç ölçümlerinin ortalama değeri, önceden belirlenmiş eşik değerin altına düşünce sızıntı olduğu anlaşılır. Bu yöntem küçük sızıntıları algılayabilmesine rağmen sızıntının konumunu tespit edemez [18].

1.3.1.3. Negatif Basınç Dalgası Yöntemi

Negatif basınç dalgası yöntemi, boru hattındaki sızıntının, kendi konumundan hem yukarıya hem de aşağıya doğru yayılan dalgalar olarak tanımlanan ani bir basınç azalmasıyla ilgili olduğu prensibi üstüne kuruludur. Negatif basınç dalgası olarak tanımlanan ve

boru içinde yayılan bu dalgalar boru hattının iki ucuna yerleştirilen sensörler yardımıyla algılanır [81]. Dalgaların sensörlere ulaşma zamanları arasındaki fark kullanılarak sızıntının konumlandırılabilirdiği bu yöntem uzun boru hatları için kullanışsızdır [82]. Buna ek olarak boru hattı bakım çalışmaları esnasında (temizlik vb. işlemler) bu yöntem sızıntıyı algılayamaz [17].

1.3.1.4. İstatistiksel Yöntem

İstatistiksel yöntemde, matematiksel bir modele gerek olmadan istatistiki analizler kullanılarak sızıntı algılanır. Boru hattının birçok noktasından alınan basınç ve akış ölçümlerine dayanılarak yapılan bu analizler sonucunda boru hattında sızıntı olup olmadığının anlaşılabilmesi için bir eşik değer saptanır [83]. Bu yöntemde sızıntı konumlandırılabilir, ancak çok sayıda ölçüm gerektiren eşik değer saptama işlemi oldukça uzun bir sürede tamamlanır [84]. Buna ek olarak, eğer sızıntı, eşik değer saptama işleminden önce oluşmuşsa yöntem sızıntıyı tespit edemeyebilir.

1.3.1.5. Gerçek Zamanlı Geçici Modelleme Yöntemi

Gerçek zamanlı geçici modelleme yönteminde (dinamik model tabanlı yöntem), kütlelenin korunumu, momentumun korunumu, enerjinin korunumu ve akışkanlar için durum eşitlikleri kullanılarak hesaplanan (tahmin edilen) değerler ve ölçüm değerleri arasındaki farklara bağlı olarak sızıntının mevcudiyetine karar verilir. Sızıntı konumunun tespit edilebildiği bu yöntemde gerçek zamanlı akış, basınç ve sıcaklık ölçümleri yapmak için oldukça pahalı ekipmanlara gerek vardır. Buna ek olarak kullanılan modeller karmaşık olup konu hakkında eğitimli bir kullanıcıya ihtiyaç vardır [18].

1.3.2. Dışsal Tabanlı Yöntemler

Bu kısımda, kapasitans, yarı iletken, optik kamera, biyo-sensör, fiber optik kablo, floresan ve akustik yöntemlerinden bahsedilmiştir.

1.3.2.1. Kapasitans Yöntemi

Kapasitans yönteminde, kapasitif sensörler kullanılarak ortamın dielektrik sabitindeki değişim ölçülür. Sensörlerin kapasite değeri, ortamın dielektrik sabitiyle doğru orantılıdır. Deniz suyu ve sızan gazın (hidrokarbon bileşenleri nedeniyle) dielektrik sabitleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle eğer sensörler gaz ile direk bir etkileşim içine girerse ölçülen kapasite değerinde bir değişim olur ve böylece sızıntı olduğu anlaşılır. Sadece bulunduğu noktadaki sızıntıyı algılayabilen bu yöntemle sızıntının konumlandırılması mümkün değildir [19].

1.3.2.2. Yarı İletken Yöntemi

Yarı iletken yönteminde suda çözünen metan gazının membran bir zardan geçerek sensör haznesinde bulunan bir iç bileşenin direncini değiştirmesiyle sızıntı mevcudiyeti anlaşılır. Ancak bu yöntem sızıntıyı konumlandıramaz [19].

1.3.2.3. Optik Kamera Yöntemi

Optik kamera yönteminde insansız sualtı aracına yerleştirilmiş bir kamera yardımıyla boru hattı taranarak sızıntının konumu tespit edilir. Ancak suyun bulanıklığına bağlı olan bu yöntemin tespit mesafesi (kameranın ışığı açıkken) sadece 3-4 m ile sınırlıdır [19].

1.3.2.4. Biyo-Sensör Yöntemi

Biyo-sensör yönteminde izlenecek olan bölgeye uygun organizmalar yerleştirilir ve çevredeki kirlenmeye bağlı olarak organizmaların verdiği tepkiye (bu tepkileri kaydeden sensörler vasıtasıyla) bakılarak sızıntı olup olmadığı tespit edilir. Biyo-sensör olarak kullanılan organizmalara örnek olarak midye verilebilir. Midyenin kalp ritmine ve açılıp kapanma sıklığına göre sızıntının varlığına karar verilir. Deniz akıntılarının sızıntı ortamını organizmalardan uzağa taşıması durumunda yöntem sızıntıyı algılamaz. Buna ek olarak bu yöntemle sızıntı konumlandırılmaz [16, 19].

1.3.2.5. Floresan Yöntemi

Floresan yönteminde, sızıntıyı uyararak ve sızıntı moleküllerini bir üst enerji seviyesine taşımak için belirli bir dalga boyundaki ışık sızıntıya gönderilir. Moleküller bu ışıkla uyarıldıktan sonra bir alt enerji seviyesine geçerek farklı dalga boyunda bir ışık yayarlar ve algılayıcılar yardımıyla alınan bu ışıkla sızıntı konumu tespit edilir. Floresan yöntemini kullanabilmek için ortamda doğal olarak ışık yayan bir hedef olmalıdır (hidrokarbon bileşeni taşıyan doğalgaz bu tanıma uygundur). Ancak optik kamera yönteminde olduğu gibi tespit mesafesi birkaç metre (3-5 m) ile sınırlıdır [19].

1.3.2.6. Fiber Optik Kablo Yöntemi

Fiber optik kablo yönteminde, boru hattı boyunca döşenen fiber optik kablo, oluşan mekanik bozulmaları (sızan gazın oluşturduğu titreşimler) ölçmek ve bu bozulmaların konumunu tespit etmek için kullanılır. Yani bu yöntemle sızıntılar konumlandırılabilir [14, 19]. Ancak oldukça yüksek maliyetli olan bu yöntemde sızıntının algılanamama riskine karşı kilometrelerce uzunluğundaki bir SDBH boyunca birden fazla fiber optik kablo döşenmelidir. Yöntemin diğer dezavantajları olarak, zaman içinde fiber kablonun kimyasal kaplamasının bozulması ve yenilenmesinin zor olması, mevcut SDBH'lere uygulanmasının güç olması, bulanık ve yüksek basınçlı sualtı ortamında fiber-ortam kuplajının zor olması ve uzun süreli olarak güvenilirliğinin test edilmemiş olması sıralanabilir [18, 19, 85].

1.3.2.7. Akustik Yöntem

Bölüm 1.1'de bahsedildiği üzere, akustik yöntem pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif akustik yöntem (PAY), akustik sinyallerin hidrofonlar olarak bilinen sualtı mikrofonları kullanılarak dinlenmesi üzerine kuruludur. Aktif akustik yöntemde ise ilk olarak vericiden akustik sinyal gönderilir ve sonrasında ölçülmek istenen ortamdan (sızıntıdan) yansıtılan gelen sinyal dinlenir. SDBH'lerdeki sızıntıların boyutu çok küçük bile olsa bu sızıntılar oldukça güçlü akustik sinyaller üretebilmektedir [20]. Bu durum, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için PAY'ı aktif akustik yöntemle göre daha kullanışlı kılmaktadır. Sualtı akıntısı ve bulanıklığından etkilenmeyen PAY'da [19], SDBH'de oluşan sızıntı deliğinden su ortamına karışan gaz baloncuklarının salınım hareketleri sonucu oluşan akustik basınç sinyali

kullanılarak sızıntının konumu tespit edilebilir. Yani PAY SDBH'lerdeki sızıntıların etkin bir şekilde konumlandırılması için kullanılabilir. Literatürde daha önce hiç çalışılmamış olan PAY ile SDBH'lerdeki sızıntıları konumlandırma bu tez kapsamında ele alınmıştır. PAY'da sualtı ortam gürültüsünün, sızıntı (akustik basınç) sinyaline karışması bozucu bir etkidir. Ancak bu bozucu etki [58-60] çalışmalarında gösterildiği gibi sayısal işaret işleme yöntemleri kullanılarak azaltılabilir.

1.4. Geleneksel Konum Tespit Teknikleri

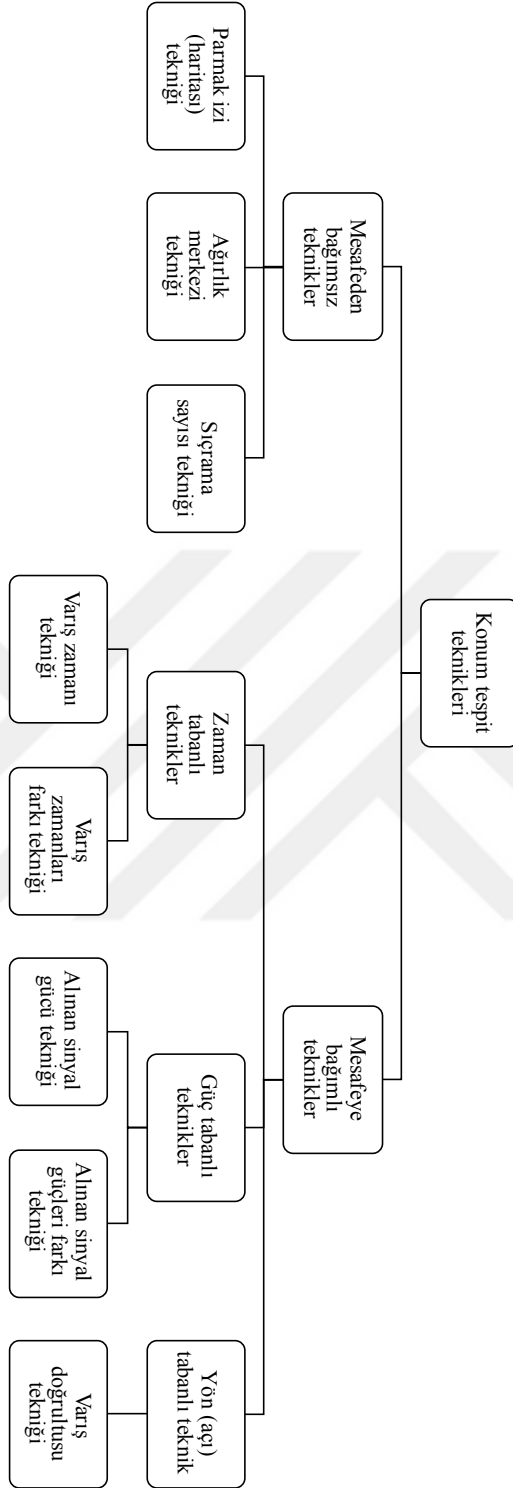
Literatürde konum tespit sistemlerinde kullanılan geleneksel teknikler Şekil 1.5'teki gibi sınıflandırılabilir [86, 87].

1.4.1. Mesafeye Bağımlı Teknikler

Hedef-alıcı arasındaki mesafe veya açı bilgilerini, alınan sinyalin gücü, varış zamanı ve doğrultusu bilgileri yardımıyla tahmin ederek hedefi konumlandırmak için kullanılan bu teknikler, sinyal gücü tabanlı olan alınan sinyal gücü (ASG) ve alınan sinyal güçleri farkı (ASGF) teknikleri, zaman tabanlı olan varış zamanı (VZ) ve varış zamanları farkı (VZF) teknikleri ve doğrultu/açı tabanlı olan varış doğrultusu/açısı (VD) tekniği olarak sıralanabilir. Bu kısımda, mesafeye bağımlı tekniklerle konumlandırmadan (gürültüsüz durum için) bahsedilmiş ve bu teknikler birbirleriyle kıyaslanmıştır.

1.4.1.1. Alınan Sinyal Gücü (ASG) Tekniği

Alınan sinyal gücü (ASG) tekniğinde, alıcılardaki sinyal gücü ölçümleri kullanılarak vericinin (hedefin) konumu tespit edilir. Konumlandırma için üçgenleme yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Vericiden gönderilen sinyal gücünün, tüm alıcı konumlarının ve ortam parametrelerinin bilinmesi gereken bu teknikte konum tespiti yapabilmek için iki boyutlu düzlemde en az üç alıcı ve üç ASG ölçümü gerekmektedir. Verici-alıcı arasında herhangi bir senkronizasyona (zaman vb.) gerek duyulmayan bu teknikte alıcıların da kendi aralarında senkronize olmaları gerekmez. Teknikte ilk olarak, gönderilen ve alınan sinyal güçleri kullanılarak verici ve alıcılar arası mesafeler belirlenir. Sonrasında, alıcılar merkezlerinde olacak şekilde yarıçapları verici-alıcılar arası mesafeler kadar olan çembersel konum hatları tanımlanır. Bu hatların kesişim noktası vericinin konumunu gösterir [1].



Şekil 1.5. Geleneksel konum tespit tekniklerinin sınıflandırılması [86, 87]

İki boyutlu konum tespitinin ifade edildiği Şekil 1.6'da üstten aşağıya doğru ilk şekilde, bir alıcılı (A_1) durumda vericinin gösterilen çember üstünde bir yerde olduğu bilgisi verilmiştir. İkinci şekilde, iki alıcılı (A_1, A_2) durumda verici konumunun çemberlerin kesiştiği iki noktadan birinde olduğu ve üçüncü şekilde, üç alıcılı (A_1, A_2, A_3) durumda verici konumunun üç çemberin kesiştiği noktada olduğu gösterilmiştir. Burada r_1, r_2 ve r_3 çemberlerin yarıçaplarıdır (verici-alıcılar arası mesafeler) [1].

1.4.1.2. Alınan Sinyal Güçleri Farkı (ASGF) Tekniği

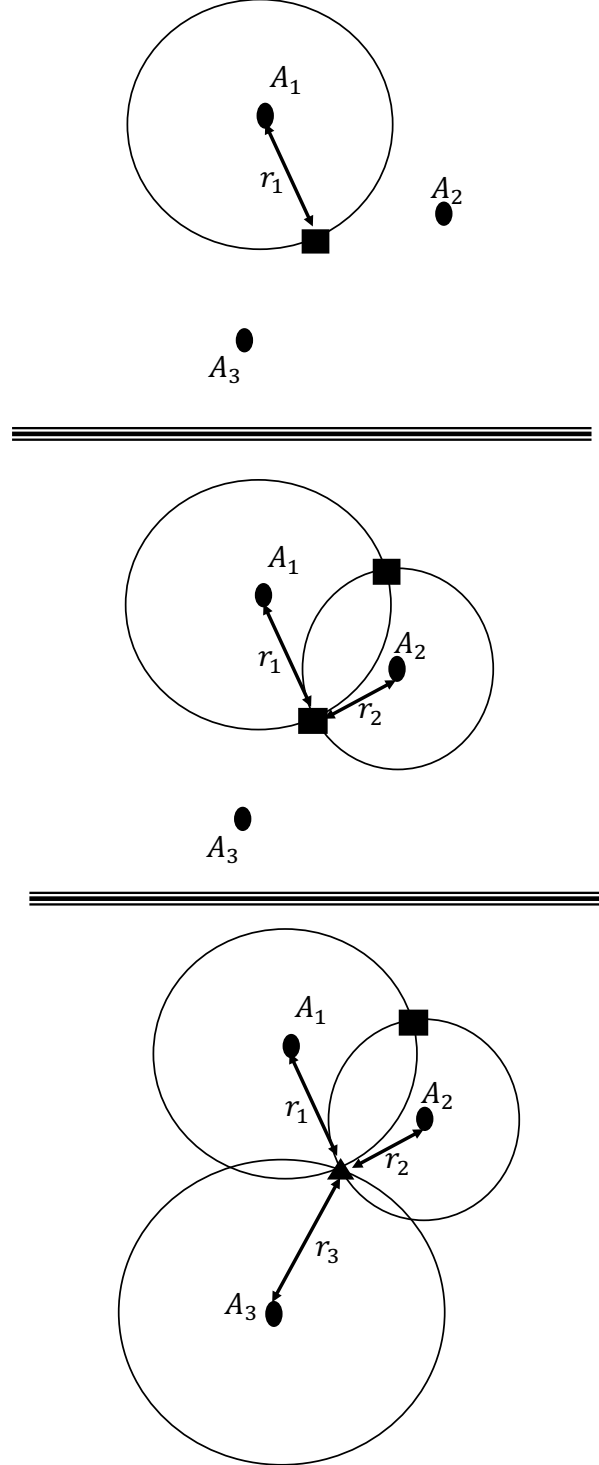
Alınan sinyal güçleri farkı (ASGF) tekniği, alıcılardaki sinyal güçleri arasındaki farkın ölçülmesine dayanır. Bu teknikte, alıcılardaki sinyal güçlerinin farkları çembersel konum hatları ile temsil edilmekte ve verici (hedef) bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır [1]. ASG tekniğinin aksine, burada vericideki sinyal gücünün bilinmesine gerek yoktur. ASG tekniğine benzer olarak ise bu yöntemde de alıcıların konumlarının ve ortam parametrelerinin bilinmesi gerekir. ASGF tekniğinde, ilk olarak alıcılardan birisi referans alıcı olarak seçilir. Bu referans alıcı ve diğer alıcılar arasındaki ASGF ölçümleri kullanılarak çembersel konum hatları tanımlanır ve verici bu hatların kesiştiği noktada konumlandırılır. ASG tekniğinin aksine burada alıcılar çembersel konum hatlarının merkezinde değildir. İki boyutlu düzlemde dört alıcı ve üç ASGF ölçümü verici konumunun belirlenmesi için gereklidir.

İki boyutlu konum tespitinin ifade edildiği Şekil 1.7'de A_1 referans alıcı olarak seçilmiştir. Yukarıdan aşağıya doğru ilk şekilde, vericinin potansiyel konumu, referans alıcı ile 3. alıcı arasındaki ASGF ölçümü ($A_{1,3}$) kullanılarak oluşturulan çemberin üstündedir bilgisi verilmiştir. İkinci şekilde, vericinin konumunun referans alıcı ile 3. alıcı ve 2. alıcı arasındaki ASGF ölçümleri ($A_{1,3}$ ve $A_{1,2}$) kullanılarak elde edilen iki çemberin kesiştiği iki noktadan birinde olduğu ifade edilmiştir. Üçüncü şekilde, verici konumunun referans alıcı ile 3. alıcı, 2. alıcı ve 4. alıcı arasındaki ASGF ölçümleri ($A_{1,3}, A_{1,2}$ ve $A_{1,4}$) kullanılarak elde edilen üç çemberin kesiştiği noktada olduğu gösterilmiştir [1].

1.4.1.3. Varış Zamanı (VZ) Tekniği

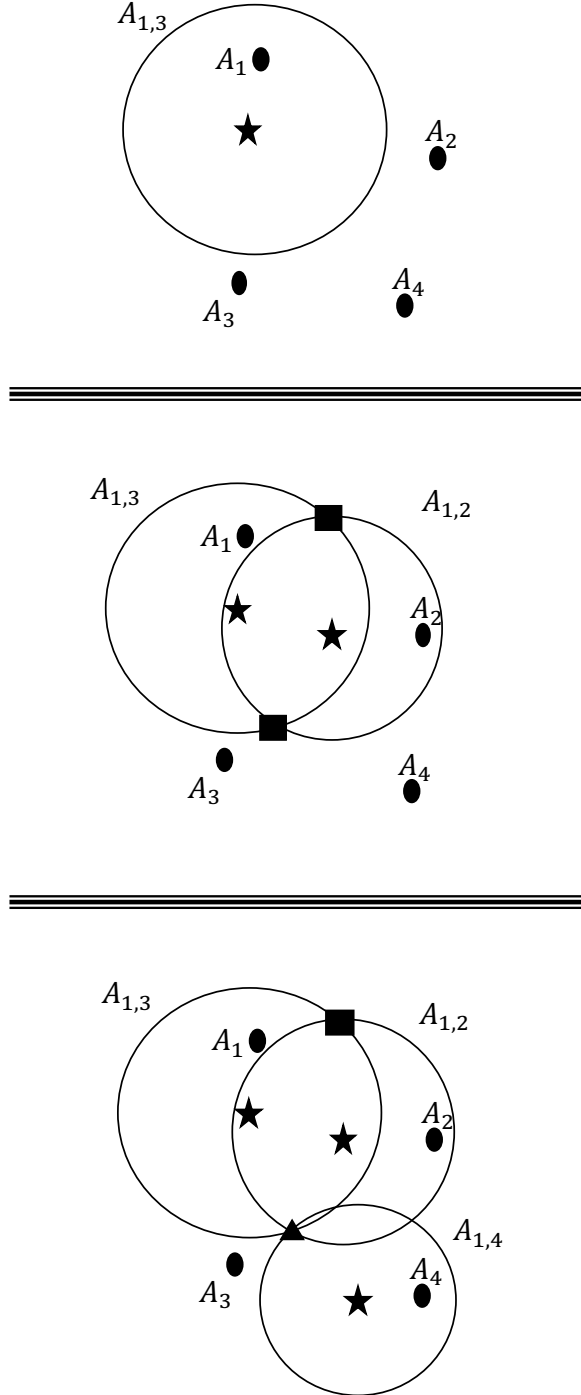
Varış zamanı (VZ) verici-alıcı arasındaki mesafeyi verir. VZ bilgisini doğru olarak elde etmek için verici ve alıcının senkronize olmaları gerekmektedir. Bu zaman senkronizasyonu

- : Alıcı konumları
- : Olası verici konumu
- ▲ : Bulunan verici konumu



Şekil 1.6. ASG tekniğiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]

- : Alıcı konumları
- : Olası verici konumu
- ▲ : Bulunan verici konumu
- ★ : Çemberin merkezi



Şekil 1.7. ASGF tekniğiyle iki boyutlu konum tespiti [1]

sağlandıktan sonra alınan sinyallerin VZ ölçümleri kullanılarak verici-alıcılar arasındaki mesafeler bulunur. Bu teknikte alıcıların konumlarının bilinmesi ve alıcıların kendi aralarında senkronize olmaları gerekir. ASG tekniğine benzer olarak, konum tespiti için iki boyutlu düzlemde en az üç alıcı gereklidir. Teknikte ilk olarak, alınan sinyallerin VZ ölçümleri kullanılarak verici ve alıcılar arasındaki mesafeler belirlenir. Sonrasında, her alıcı merkezinde olacak biçimde Şekil 1.6'daki (burada çember yarıçapı VZ ile orantılıdır) gibi yarıçapları verici-alıcılar arası mesafeler kadar olan çemberler çizilir. Verici bu çemberlerin kesişim noktası belirlenerek konumlandırılır [1].

1.4.1.4. Varış Zamanları Farkı (VZF) Tekniği

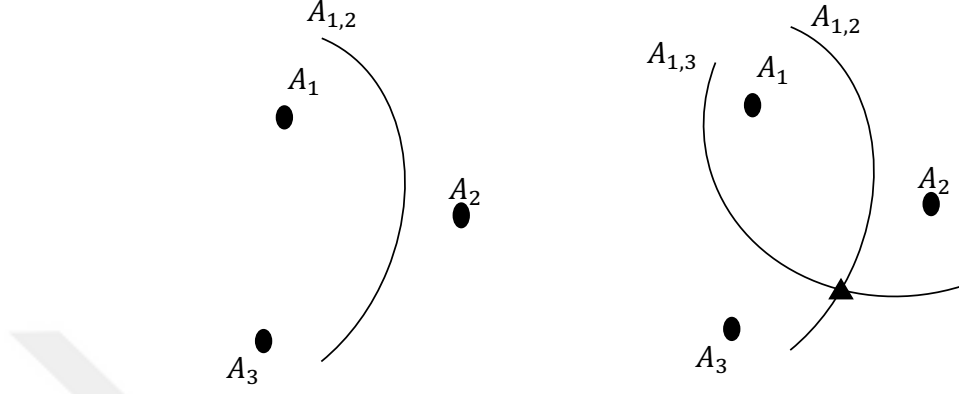
Varış zamanları farkı (VZF) tekniği alınan sinyallerin varış zamanları arasındaki farkın ölçülmesine dayanır. ASGF ve VZF ölçümleri aynı mantığa dayanılarak oluşturulurlar, ancak VZF, çembersel konum hatları yerine hiperbolik konum hatlarıyla tanımlanmaktadır [1]. VZ tekniğinin aksine burada verici ve alıcıların senkronize olması gerekmez. VZ tekniğine benzer olarak bu teknikte de alıcıların konumlarının bilinmesi ve alıcıların kendi aralarında senkronize olmaları gerekir. Teknikte ilk olarak, alıcılardan birisi referans alıcı (sinyali en erken alan alıcı olabilir) olarak seçilir. Sonra referans alıcı ve diğer alıcılar arasındaki VZF ölçümleri kullanılarak hiperbolik konum hatları tanımlanır ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılır. İki boyutlu düzlemde üç alıcı ve iki VZF ölçümü hedefin konumunun belirlenmesi için gereklidir. Eğer iki hiperbolün kesişiminden iki nokta elde edilirse vericinin konumlandırılması için bir ölçüm daha gerekir ve bu da dördüncü bir alıcının gerekli olduğuna işaret eder.

İki boyutlu konum tespitinin ifade edildiği Şekil 1.8'de A_1 alıcısı referans alıcı olarak seçilmiştir. Soldaki şekilde, hedefin potansiyel konumu, referans alıcı ile 2. alıcı arasındaki VZF ölçümü ($A_{1,2}$) kullanılarak oluşturulan bir hiperbolün üstündedir bilgisi verilmiştir. Sağdaki şekilde ise hedef konumunun referans alıcı ile 2. alıcı ve 3. alıcı arasındaki VZF ölçümleri ($A_{1,2}$ ve $A_{1,3}$) kullanılarak oluşturulan iki hiperbolün kesişim noktası üstünde olduğu gösterilmiştir.

1.4.1.5. Varış Doğrultusu (VD) Tekniği

Aynı zamanda varış açısı (VA) olarak da adlandırılan varış doğrultusu (VD) tekniği alınan sinyalin varış açısını tahmin eder ve kaynağın yönü hakkında bilgi verir [88]. Bu

- : Alıcı konumları
 ▲ : Bulunan verici konumu



Şekil 1.8. VZF tekniğiyle iki boyutlu konum tespiti [1]

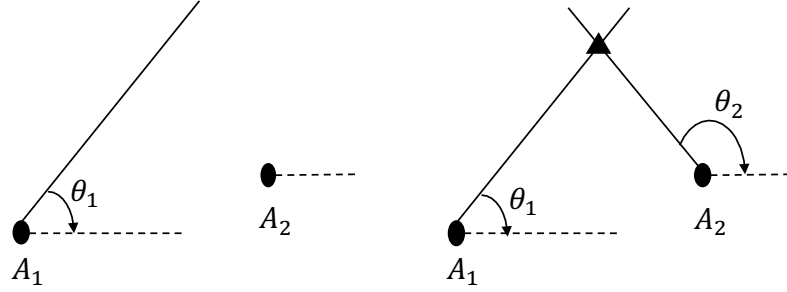
teknikte, kaynaktan yayılan sinyalin alıcıdaki anten dizisinde en büyük gücü oluşturduğu yön, varış doğrultusunu verir. Alıcı konumlarının bilinmesi gereken bu yöntemde alıcılarda hassas hidrofon/anten/mikrofon dizilerinin olması gerekmektedir. Ancak bu durum güç tüketimini, maliyeti ve karmaşıklığı artırmaktadır. Verici ve alıcı senkronizasyonu gerektirmeyen bu teknikte en az iki alıcı kullanılarak kaynağın konumu tespit edilebilir.

(x,y) verici koordinatları, (x_1,y_1) 1. alıcının (A_1) koordinatları ve (x_2,y_2) 2. alıcının (A_2) koordinatları olmak üzere kaynağın konumu Şekil 1.9'daki gibi bulunur. Soldaki şekilde hedefin potansiyel konumu, yönü (θ_1), gelen enerji sinyalinin en büyük gücü tarafından (anten dizisi kullanılarak) tanımlanan bir doğru üstünde bulunmaktadır bilgisi verilmiştir. Sağdaki şekilde ise vericinin son konumunun, yönleri (θ_1 ve θ_2), gelen enerji sinyallerinin en büyük güçleri tarafından (anten dizileri kullanılarak) tanımlanan iki doğrunun kesişim noktası üstünde olduğu gösterilmiştir. İlgili varış açıları olan θ_1 ve θ_2 sırasıyla (1.1) ve (1.2) denklemlerinde verilmiştir [1].

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{x - x_1}{y - y_1} \right) \quad (1.1)$$

$$\theta_2 = \arctan \left(\frac{x - x_2}{y - y_2} \right) \quad (1.2)$$

● : Alıcı konumları
 ▲ : Bulunan verici konumu



Şekil 1.9. VD tekniğiyle iki boyutlu konum tespiti [1]

1.4.1.6. Mesafeye Bağımlı Tekniklerin Karşılaştırılması

Mesafeye bağımlı teknikler konumlandırma doğruluğu, maliyet ve karmaşıklık açılarından aşağıdaki gibi karşılaştırılmıştır.

1. Sinyal gücü tabanlı teknikler, mevcut sistemlere yazılımsal ve donanımsal olarak çok basit düzenlemelerle kolayca adapte edilip konumlandırma için kullanılabilirken, zaman ve yön tabanlı teknikler bunun için ek bir donanıma ihtiyaç duyarlar. Direk yol sinyalinin alıcılara ulaşmadığı durumda sinyal gücü tabanlı teknikler diğer tekniklere göre daha az hatayla konumlandırma yapar. Zaman tabanlı teknikler hedefi yüksek doğrulukla konumlandırabilirken sinyal gücü tabanlı teknikler onlara nazaran daha düşük doğruluğa sahiptir. ASG tekniği verici gücü bilgisi gerektirirken, ASGF tekniği bu bilgiye ihtiyaç duymaz [1, 26, 27, 89].
2. Hedefi konumlandırabilmek için sinyalin gönderim zamanı bilgisine ihtiyaç duyan VZ tekniği diğer teknikler arasında en yüksek konum tespit doğruluğuna sahiptir. Ancak verici ile alıcılar arasında zaman senkronizasyonu ve yüksek hassasiyetli zamanlama gerektiren VZ tekniğinde alıcıların da kendi aralarında senkronize olmaları gerekir [22, 89]. Bu nedenle de pasif konum tespiti için kullanılamaz .
3. VZ tekniğinin aksine, VZF tekniği gönderilen sinyal hakkında ön bir bilgi gerektirmez. Ancak VZF tekniği alınan sinyallerin varış zamanı farklarını kullandığı için alıcıların kendi aralarında senkronize olmaları gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle hedefin doğru

olarak konumlandırılabilmesi için hassas zamanlama ve senkronizasyon gerekmektedir. Bu işlemler için kullanılan yüksek hassasiyetli saatler uygulama maliyetini ve karmaşıklığını artırmaktadır [22, 26, 89, 90].

4. VD tekniğinde alınan sinyalin varış açısı bilgisi gerekmektedir. Bu bilgi donanım karmaşıklığını ve maliyetini artıran anten dizileriyle elde edilebilir [26]. Buna ek olarak VD'nin konum tespit doğruluğu diğer tekniklere göre daha düşüktür [1].

1.4.2. Mesafeden Bağımsız Teknikler

Burada, mesafeye bağımlı tekniklerin aksine, verici-alıcı arası mesafe (alınan sinyalin gücü, varış zamanı ve doğrultusu bilgileri yardımıyla) tahmin edilmeden konumlandırma yapılır. Bu nedenle mesafeden bağımsız teknikler olarak adlandırılan bu teknikler arasında sıçrama-sayısı, ağırlık merkezi ve parmak izi teknikleri sıralanabilir.

1.4.2.1. Sıçrama Sayısı Tekniği

Literatürde genelde mesafe vektörlü sıçrama algoritmasıyla kullanılan bu teknikte, ağda bulunan ve konumu bilinen her referans düğüm için ortalama sıçrama mesafesi bulunur ve bu mesafeye göre konumu bilinmeyen düğümler konumlandırılır [32]. Tekniğin çalışma prensibi aşağıda verilmiştir. Konumu bilinen referans düğümler konum bilgilerini ağ (hem referans hem de konumu bilinmeyen düğümler vardır) boyunca yayınlamaya başlar. Konum bilgisi, bir referans düğümden diğer referans düğüme ulaşınca kadar geçilen her düğüm için sıçrama sayısı bir artırılır. Konum bilgisi diğer referans düğümlere ulaşınca bu bilgi kullanılarak iki referans düğüm arası mesafe hesaplanır ve bu mesafe en düşük (optimum) sıçrama sayısına bölünerek (her referans düğüm için) ortalama sıçrama mesafesi elde edilir. Sonra konumu bilinmeyen düğüme en yakın üç referans düğümden en düşük sıçrama sayısına sahip olanın ortalama sıçrama mesafesi sıçrama sayısıyla (konumu bilinmeyen düğüm ile referans düğümler arasındaki sıçrama sayıları) çarpılarak konumu bilinmeyen düğüm ve referans düğümler arasındaki mesafeler hesaplanır. Referans düğümlerin konum bilgileri ve hesaplanan mesafeler üçgenleme yönteminde kullanılarak konumu bilinmeyen düğüm konumlandırılır [91].

1.4.2.2. Ağırlık Merkezi Tekniği

Ağırlık merkezi (AM) tekniği, bir hedefin (sensörün) konumunu komşu sensörlerin konumlarına göre tahmin eder. Bu teknikte ilk olarak, komşu sensörler konum bilgilerini kapsama alanlarında olan ve konumu bilinmeyen sensörlere gönderirler. Sonrasında konumu bilinmeyen sensörler, kendi konumlarını bilgi aldıkları alıcıların konumlarının ortalamasını alarak (1.3) ve (1.4) denklemlerine göre bulurlar [33].

$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_j) \quad (1.3)$$

$$\hat{y} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j) \quad (1.4)$$

Burada (\hat{x}, \hat{y}) hedefin tahmini konumu, N komşu sensör sayısı ve (x_j, y_j) j . komşu sensörün konumudur.

Bu teknik, konum tespiti başarımını artırmak için ağırlıklandırılmış ağırlık merkezi (AAM) tekniği olarak geliştirilmiştir. AAM tekniğinde, komşu sensörlere önemlerine göre (onlardan alınan sinyal güçlerine göre) ağırlık katsayıları atanmıştır. Bu ağırlık katsayılarına göre hedefin konumu (1.5), (1.6) ve (1.7) denklemleri kullanılarak bulunur. Böylece daha önemsiz olan sensörler konum tespitinde daha az etkili hale getirilmiştir [92].

$$\hat{x} = \frac{\sum_{j=1}^N w_j x_j}{\sum_{j=1}^N w_j} \quad (1.5)$$

$$\hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^N w_j y_j}{\sum_{j=1}^N w_j} \quad (1.6)$$

$$w_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^N P_j} \quad (1.7)$$

Burada P_j j . komşu sensörden gönderilip hedef tarafından alınan sinyal gücü ve w_j j . komşu sensör için ağırlık katsayısıdır.

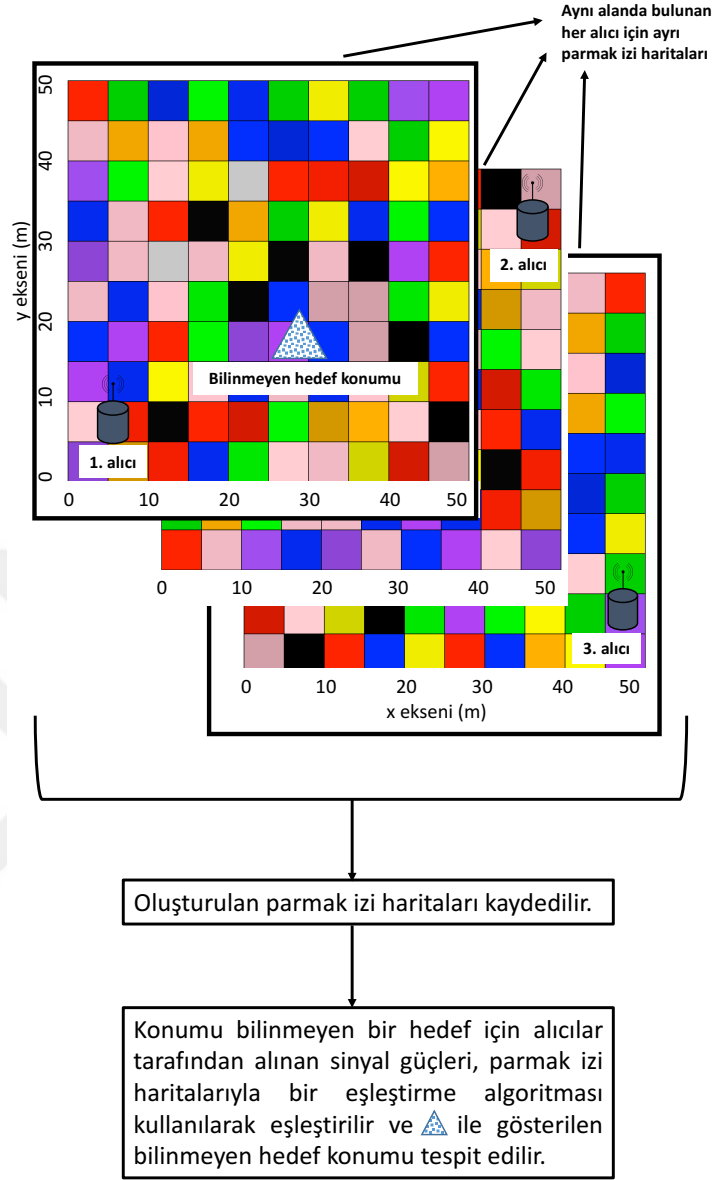
1.4.2.3. Parmak İzi (Haritası) Tekniği ve k. En Yakın Komşu Algoritması

Özellikle çok yönlü kanallarda, farklı hedef (verici) konumları için alıcılara farklı sinyal güçleri ulaşır. Parmak izi tekniği, konum tespitinde, her hedef konumu için farklı olup, sinyalin imzası olarak tanımlanan bu alınan sinyal güçlerini kullanır. Şekil 1.10'da gösterilen parmak izi tekniğiyle konum tespiti iki aşamada yapılmaktadır [1].

1. Parmak İzi Aşaması: Parmak izi aşaması olarak bilinen ilk aşamada, ilgilenilen alan ızgaralara bölünecek şekilde hedefin konumu değiştirilir. Değiştirilen her hedef konumu için alıcılara ulaşan sinyal güçleri kaydedilip, daha sonra konum tespitinde kullanılacak veri setleri (parmak izi haritaları) oluşturulur. Şekil 1.10'da, değiştirilen her hedef konumu için alıcılar tarafından alınan sinyal güçleri, oluşturulan parmak izi haritalarında farklı renklerle ifade edilmiştir. M alıcı sayısı ve N her haritadaki örnek (alınan ölçüm) sayısı olmak üzere, $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = [(x_1, y_1)(x_2, y_2) \cdots (x_N, y_N)]$ hedef konumları için $1., 2., \dots, M.$ alıcılar tarafından alınan sinyal gücü veri setleri sırasıyla $P_{alc_1} = [P_{11}P_{12} \cdots P_{1N}]$, $P_{alc_2} = [P_{21}P_{22} \cdots P_{2N}]$, \dots , $P_{alc_M} = [P_{M1}P_{M2} \cdots P_{MN}]$ 'dir. Bu veri setleri (1.8) denkleminde verilen matris ile ifade edilebilir. Burada $(.)^T$ transpoze işlemini ifade etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} P_{alc_1}^T & P_{alc_2}^T & \cdots & P_{alc_M}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{M1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1N} & \cdots & P_{MN} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

2. Konum Tespit Aşaması: Konum tespitinde, konumu bilinmeyen bir hedeften alıcılara ulaşan sinyallerin güçleri, mevcut parmak izi haritalarıyla bir eşleştirme (sınıflandırma) algoritması (k. en yakın komşu (kEYK) algoritması, naive Bayes sınıflandırma vb.) kullanılarak eşleştirilir ve hedef konumu tespit edilir.



Şekil 1.10. Parmak izi yöntemiyle ile iki boyutlu konum tespiti [1]

Bu tezde, eşleştirme algoritması olarak basitliği ve konum tespitindeki etkinliği nedeniyle k . en yakın komşu (KEYK) algoritması kullanılmıştır [93]. KEYK algoritmasında, parmak izi aşamasında kaydedilen sinyal gücü veri setleri (parmak izi haritaları) ve konumu bilinmeyen hedeften alıcılara ulaşan sinyal güçleri arasındaki Öklid mesafeleri denklem (1.9)'a göre bulunur. Hesaplanan bu Öklid mesafeleri sıralandıktan sonra en düşük mesafelere sahip olan k tane komşu seçilir. Hedef konumu, seçilen k tane komşunun konumlarının ortalaması alınarak bulunur [93]. KEYK algoritmasında k , 1 ile parmak izi haritasındaki örnek

sayısı arasındaki bir tam sayıdır. kEYK algoritmasından en iyi sonucu elde etmek için k genelde 3 veya 4 olarak seçilmektedir [94].

$$mes_i = \sqrt{\sum_{z=1}^M (P_{zi} - P'_z)^2} \quad (1.9)$$

Burada $P' = [P'_1 P'_2 \dots P'_M]$ konumu bilinmeyen hedeften alıcılara ulaşan sinyal güçleri, P parmak izi aşamasında kaydedilen sinyal gücü veri setleri (parmak izi haritaları) ve i bu veri setlerindeki eleman indeks değeridir.

1.5. Sualtında Akustik Yayılım ve Sualtı Gürültüsü

Bu bölümde, sualtında akustik sinyal yayılımından (bu yayılımı etkileyen parametrelerden) ve sualtı gürültülerinden bahsedilmiştir.

1.5.1. Sualtı Ortamında İletim Kaybı

Sualtı ortamında ses yayılımı, deniz suyunun fiziksel/kimyasal özelliklerinden ve kanalın geometrisinden etkilenir. Eğer bir ses kaynağı, P_v (dB re $1\mu\text{Pa}$) kadar güce sahip bir akustik sinyal yayarsa, alıcı tarafından $P_a = P_v - IK$ (dB re $1\mu\text{Pa}$) kadar güce sahip bir akustik sinyal alınır. Yani alıcıya ulaşan sinyal gücü, iletim kaybı (IK) kadar azalır. Burada dB re $1\mu\text{Pa}$, (literatürde sualtı ortamı için standart olan) $1\mu\text{Pa}$ referans değeri için desibel (dB) olarak akustik sinyal (basınç) gücünü ifade etmektedir.

İletim kaybı, yayılım kaybı ve emilim (zayıflatma) kaybı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Sualtı ortamında, d (m) mesafesi boyunca yayılan f frekanslı bir akustik sinyal için iletim kaybı denklem (1.10)'da verilmiştir [95].

$$IK(d, f) = d^k \alpha(f)^d \quad (1.10)$$

(1.10) denklemi dB olarak (1.11) denklemindeki gibi ifade edilir [95, 96].

$$10 \log_{10}(IK(d, f)) = k 10 \log_{10} d + d \frac{\alpha_{dB}(f)}{1000} \quad (1.11)$$

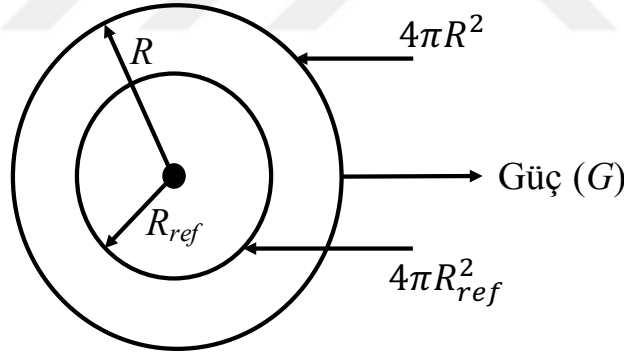
Burada k yayılım faktörü ve $\alpha_{dB}(f)$ frekansın (f , kHz) bir fonksiyonu olarak dB/km cinsinden zayıflatma katsayısıdır. (1.11) denkleminin sağ tarafındaki ilk terim yayılım kaybını ve ikinci terim emilim (zayıflatma) kaybını ifade etmektedir.

1.5.1.1. Yayılım Kaybı

Küresel yayılımda, noktasal bir akustik kaynağın homojen, kayıpsız ve sınırlandırılmamış bir ortamda Şekil 1.11'deki gibi akustik dalga yaydığı düşünülür. Bu durumda kaynağın ürettiği güç (G), kaynağı çevreleyen bir kürenin yüzeyine dağılacak şekilde tüm yönlere eşit olarak yayılır [96]. R_{ref} , G , I_1 ve I_2 sırasıyla referans mesafe (1 m), akustik kaynağın gücü, R_{ref} mesafesindeki akustik güç yoğunluğu ve R mesafesindeki akustik güç yoğunluğu olmak üzere küresel yayılım kaybı YK_k (1.12) denklemi kullanılarak (1.13) denklemindeki gibi ifade edilir.

$$I_1 = \frac{G}{4\pi R_{ref}^2} \quad I_2 = \frac{G}{4\pi R^2} \quad (1.12)$$

$$YK_k = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = 20 \log_{10}(R) \quad (1.13)$$

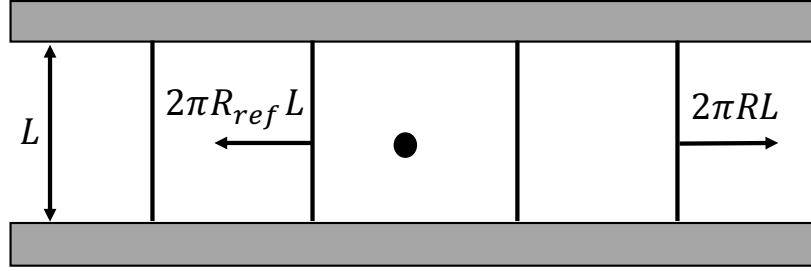


Şekil 1.11. Küresel yayılım [96]

Silindirik yayılımda, akustik dalga'nın birbirine paralel iki düzlem arasındaki ortamda Şekil 1.12'deki gibi yayıldığı düşünülür. Bu durumda güç (G) silindirik bir yüzeye yayılır ve silindirik yayılım kaybı olan YK_s (1.14) denklemi kullanılarak (1.15) denklemindeki gibi ifade edilir. Burada L iki düzlem arası mesafedir.

$$I_1 = \frac{G}{2\pi R_{ref} L} \quad I_2 = \frac{G}{2\pi R L} \quad (1.14)$$

$$YK_s = 10\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = 10\log_{10}(R) \quad (1.15)$$



Şekil 1.12. Silindirik yayılım [96]

1.5.1.2. Emilim (Zayıflatma) Kaybı

Literatürde, emilim kaybında kullanılan zayıflatma katsayısı hesabı için ampirik olarak elde edilen (1.16-1.19) denklemleri tanımlanmıştır. Denklem (1.16)'da verilen Kibblewhite ve Hampton modeli 1 kHz'in altındaki frekanslar için [97], denklem (1.17)'de verilen Thorp modeli birkaç yüz Hz-3 kHz arasındaki frekanslar için [98], denklem (1.18)'de verilen Marsh ve Schulkin modeli 3 kHz-0.5 MHz arasındaki frekanslar için [97] ve denklem (1.19)'da verilen Francois ve Garrison modeli 200 Hz-1 MHz arasındaki frekanslar için kullanılmaktadır [99].

$f < 1$ kHz için (Kibblewhite ve Hampton modeli):

$$\alpha_{dB}(f) = 10\log_{10} \alpha(f) = \alpha_s + 0.11f^2 K \left(1 + f^2\right)^{-1} + 0.011f^2 \quad (1.16)$$

Burada α_s frekanstan bağımsız ek zayıflatma katsayısı (dB/km) ve K bor ile ilişkili etkilerin bölgesel değişimine karşılık gelen katsayı olup, buldukları aralıklar sırasıyla 0.2×10^{-3} - 4.2×10^{-3} dB/km ve 0.5 - 1.1'dir.

Birkaç yüz Hz $< f < 3$ kHz için (Thorp modeli):

$$\alpha_{dB}(f) = 10\log_{10} \alpha(f) = \frac{0.11f^2}{1 + f^2} + \frac{44f^2}{4100 + f^2} + \frac{2.75f^2}{10^4} + 0.003 \quad (1.17)$$

3 kHz < f < 0.5 MHz için (Marsh ve Schulkin modeli):

$$\alpha_{dB}(f) = 10 \log_{10} \alpha(f) = 8.68 \cdot 10^3 \left(\frac{S_I A_I f_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{B_I f^2}{f_T} \left(1 - 6.54 \cdot 10^{-4} P_I \right) \right) \quad (1.18)$$

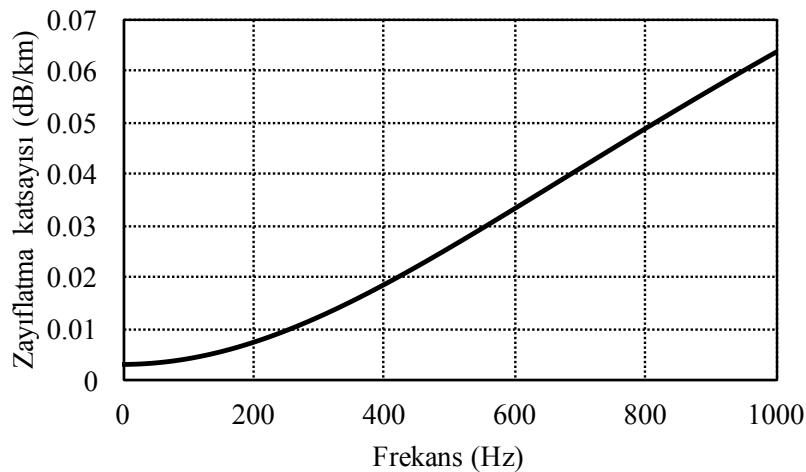
Burada $A_I = 2.34 \times 10^{-6}$, $B_I = 3.38 \times 10^{-6}$, S_I deniz suyu tuzluluğu (bindelik oranda), P_I hidrostatik basınç (kg/cm²) ve $f_T = 21.9 \times 10^{(6-1520/(T_I+273))}$ kHz cinsinden rahatlama frekansıdır. T_I , °C cinsinden sıcaklıktır.

200 Hz < f < 1 MHz için (Francois ve Garrison modeli):

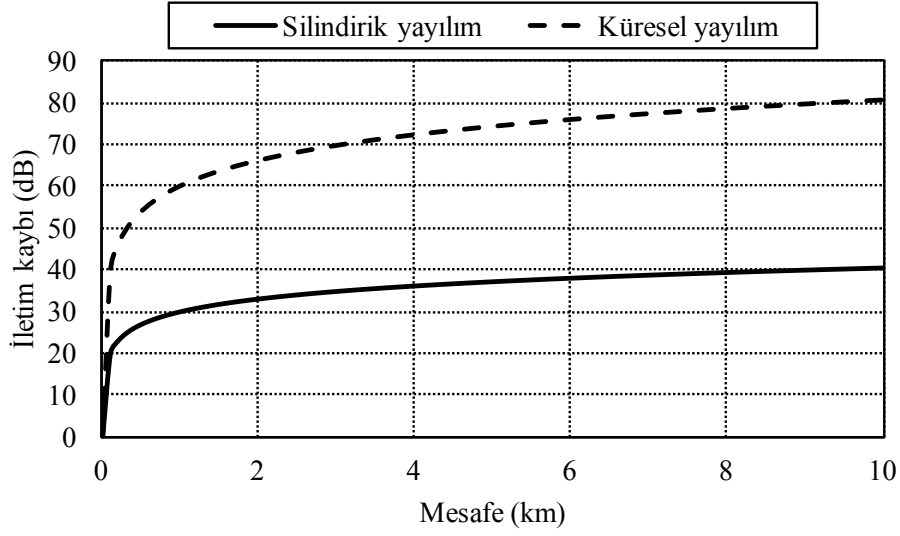
$$\alpha_{dB}(f) = 10 \log_{10} \alpha(f) = \left(\frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} \right) + \left(\frac{A_2 P_2 f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} \right) + \left(A_3 P_3 f^2 \right) \quad (1.19)$$

Burada eşitliğin sağ tarafındaki ilk kısım borik asit zayıflatmasını, ikinci kısım magnezyum sülfat zayıflatmasını ve son kısım saf su zayıflatmasını ifade etmektedir. Parametrelerle ilgili detaylı bilgi ve denklemler [99]'da verilmiştir.

SDBH'lerdeki sızıntılar sonucu oluşan akustik sinyaller çok düşük frekanslara sahip olduğundan bu tezde zayıflatma katsayısı hesabı için Kibblewhite ve Hampton modeli yani (1.16) denklemi kullanılmıştır. Zayıflatma katsayısı (Kibblewhite ve Hampton modeli) ile frekans arasındaki ilişki Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Küresel ve silindirik yayılımlar için mesafeye bağlı olarak iletim kaybının değişimi Şekil 1.14'te gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Zayıflatma katsayısı ile frekans arasındaki ilişki ($\alpha_s = 3 \times 10^{-3}$ dB/km, $K = 0.9$)



Şekil 1.14. Küresel ve silindirik yayılım durumları için iletim kaybı ve mesafe arasındaki ilişki ($f = 1$ kHz, $\alpha_s = 3 \times 10^{-3}$ dB/km, $K = 0.9$)

1.5.2. Sualtı Gürültüleri

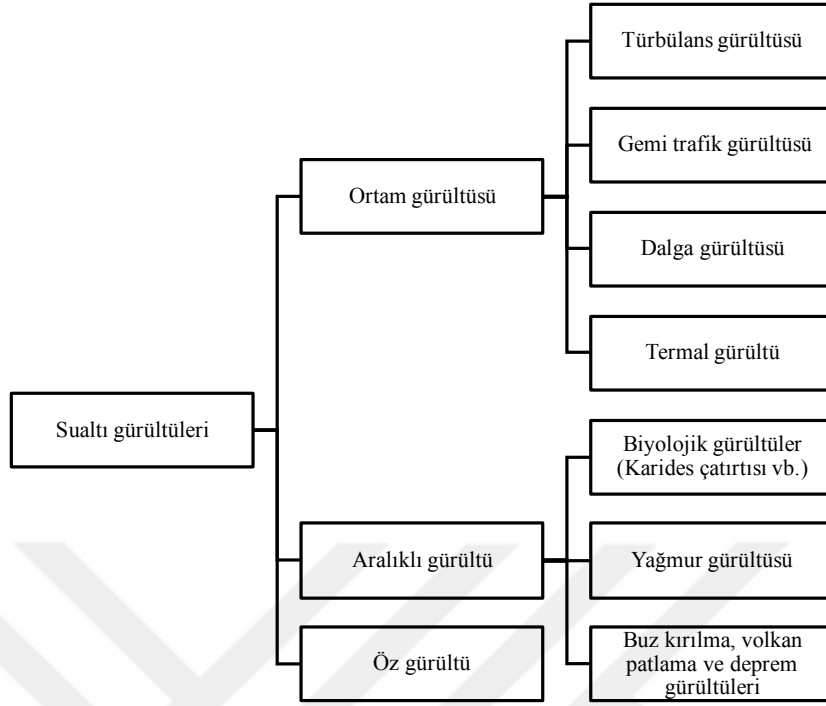
Sualtı gürültüleri, Şekil 1.15'te gösterildiği gibi genel olarak ortam gürültüsü, aralıklı gürültü ve öz gürültü olmak üzere üçe ayrılır. Aralıklı gürültü ve öz gürültü her zaman mevcut olmayıp belirli durumlarda ortaya çıkarlar. Ortam gürültüsü ise sürekli. Bu tezde, literatürdeki birçok çalışmada kabul edildiği gibi sualtı gürültüsü olarak ortam gürültüsü göz önüne alınmıştır.

1.5.2.1. Ortam Gürültüsü

Sualtı ortam gürültü kaynakları genelde Gauss dağılımlı olup sürekli bir güç spektral yoğunluğuna (GSY) sahiptir. Denizde ortam gürültüsünü modellemek için kullanılan dört ana kaynak: türbülans gürültüsü (N_t), gemi trafik gürültüsü (N_g), dalga gürültüsü (N_d) ve termal gürültüdür (N_{tr}) [95].

Türbülans gürültüsü: Denizdeki türbülanslar sonucu oluşan basınç farkları ve deniz suyu ile hidrofona arasındaki hareketlilik bu gürültüyü oluşturur. 0.1-10 Hz arasında baskın bir etkiye sahiptir [96,97].

Gemi trafik gürültüsü: Gemi gürültüsüyle karıştırılmaması gereken gemi trafik gürültüsü tüm gemi trafiklerinin birleşiminden oluşur (örneğin, sadece Kuzey Atlantikte aynı anda yol



Şekil 1.15. Sualtı gürültüleri

alan binlerce gemi vardır). Gemi gürültüsü ise yakınlarda bulunan bir veya birkaç geminin oluşturduğu kısa süreli bir gürültüdür. Gemi sayısı ve dağılımı gemi trafik gürültü seviyesini etkilemektedir. 10-100 Hz arasında baskın bir etkiye sahiptir [95,97, 100].

Dalga gürültüsü: Denizin üstünde esen rüzgara bağlı olarak oluşan dalga gürültüsü rüzgar hızı arttıkça daha baskın bir hale gelir. 0.1-100 kHz arasında baskın bir etkiye sahiptir [95,97].

Termal gürültü: Denizdeki moleküllerin hareketi sonucu oluşur. 100 kHz'den büyük frekanslarda baskın bir etkiye sahiptir [95,96].

Bu gürültülerin GSY'lerinin dB re $1\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ cinsinden, frekansın (kHz) bir fonksiyonu olarak ampirik formülleri (1.20)-(1.23) denklemlerinde verilmiştir [95, 98]. Denizdeki minimum ortam gürültüsü, Beaufort skalasının (gözlenen deniz durumları ile rüzgar hızları arasındaki ilişkiyi gösteren ampirik ölçümler) sıfır olduğu dalga gürültüsü ve termal gürültünün birleşimidir [100,101].

Türbülans gürültüsü:

$$N_{tdB} = 10\log_{10}N_t(f) = 17 - 30\log_{10}f \quad (1.20)$$

Gemi trafik gürültüsü:

$$N_{gdB} = 10\log_{10}N_g(f) = 40 + 20(s - 0.5) + 26\log_{10}f - 60\log_{10}(f + 0.03) \quad (1.21)$$

Dalga gürültüsü:

$$N_{ddB} = 10\log_{10}N_d(f) = 50 + 7.5\sqrt{w} + 20\log_{10}f - 40\log_{10}(f + 0.4) \quad (1.22)$$

Termal gürültü:

$$N_{trdB} = 10\log_{10}N_{tr}(f) = -15 + 20\log_{10}f \quad (1.23)$$

Burada s ($0 \leq s \leq 1$) gemi aktivite faktörü ve w m/s cinsinden rüzgar hızıdır. Sualtı ortam gürültüsü için toplam GSY (1.24) denkleminde verilmiştir.

$$N(f) = N_t(f) + N_g(f) + N_d(f) + N_{tr}(f) \quad (1.24)$$

1.5.2.2. Aralıklı Gürültü

Bu gürültüler adından da anlaşıldığı üzere sürekli olmayan gürültülerdir. Ancak mevcut oldukları zaman oldukça yüksek seviyelere sahip olabilirler. Yağmur damlalarının deniz yüzeyine çarpması sonucu oluşan yağmur gürültüsü, deniz canlılarının avlanırken veya birbirleriyle haberleşirken çıkarttıkları sesler sonucu oluşan tüm biyolojik gürültüler (karides çatırtı gürültüsü vb.), özellikle kutup bölgelerinde deniz yüzeyindeki buzların kırılması sonucu oluşan buz kırılma gürültüsü, sualtındaki volkanların patlamaları sonucu oluşan gürültü ve deprem sonucu oluşan gürültü aralıklı gürültülerdir [97, 102-104].

1.5.2.3. Öz Gürültü

Öz gürültü, gemi, kayak, denizaltı, insansız sualtı aracı vb. vasıtaların kendilerinden kaynaklanan gürültüdür. Yani vasıtaların üstüne yerleştirilen hidroфона, vasıtanın mekanik yapısından direk olarak veya sudan dolaylı olarak ulaşan, pervane, motor ve makina gürültüleri toplamıdır. Öz gürültü motor tipi, yerleşimi ve sürücüsü seçimlerine bağlı olarak kontrol edilebilir [105].

1.6. Sualtı Akustik Kanalı

Bu tez kapsamında üç farklı sualtı akustik kanal modeli göz önüne alınmıştır. Tek yönlü (sadece direkt yol sinyali) olan ilk kanal modelinde deniz yüzeyinden/tabandan herhangi bir yansıma olmadığı varsayılmıştır. Sabit kanal (zamanla değişmeyen çok yönlü kanal) olarak adlandırılan ve direkt yol sinyaline ek olarak deniz tabanından/yüzeyinden yansıyan sinyallerin de olduğu çok yönlü olan ikinci kanal modelinde, deniz yüzeyinin sabit olduğu varsayılmış ve kanalın rastgele değişimleri göz önüne alınmamıştır. Değişken kanal (zamanla değişen çok yönlü kanal) olarak adlandırılan ve çok yönlü olan üçüncü kanal modelinde ise frekansa bağımlı zayıflatma, taban ve yüzey yansımaları, rastgele yer değiştirmeler ve buna bağlı olarak oluşan Doppler etkisi gibi akustik yayılımın fiziksel özelliklerinin çoğu göz önünde bulundurulmuştur. Kanal modellerinin hepsinde ses hızının sabit olduğu ve sualtı ortamının homojen olduğu varsayılmıştır. Tek yönlü kanalda herhangi bir yansıma veya rastgele değişim göz önüne alınmadığından bu gürültülü kanal sadece iletim kaybıyla ((1.11) denklemi) modellenmiştir. Tek yönlü kanal modelinde kullanılan iletim kaybıyla ilgili bilgiler Bölüm 1.5.1’de verilmiştir. Bölüm 1.6.1 ve 1.6.2’de sırasıyla zamanla değişmeyen (sabit) ve zamanla değişen (değişken) çok yönlü kanal modelleri detaylandırılmıştır.

Sualtı ortamındaki (akustik) ses yayılımı karmaşık dalga eşitlikleri kullanılarak açıklanmaktadır. Bu karmaşık dalga eşitliklerini çözmek zor olduğundan, ses yayılımını modellemek için bazı yaklaşımlar kullanılmaktadır [106]. Bu yaklaşımlardan birisi olan ışın izleme tekniği (ışın teorisi), ses dalgalarının dalga cephesine dik olarak yayılması prensibi üzerine kuruludur. Ses hızının sabit olduğu bir ortamda, noktasal bir kaynaktan yayılan dalga cephesi eş merkezli dairesel yüzeyler oluşturur ve ses kaynaktan dışarı yönde doğrusal yollardan ilerler. Eğer ses hızı sabit değilse, ışınlar doğrusal yollar yerine eğimli yollardan ilerler. Işın izleme olarak bilinen hesaplama tekniği, kaynaktan yayılan sesin ışın yollarının güzergahını hesaplamak için kullanılır [107]. Literatürde sıklıkla tercih edilen, basit ve sezgisel olan ışın izleme tekniği, bu tezde ele alınan kanallarda ses yayılımını modellemek için kullanılmıştır [106-108].

Yüzeyle ve tabanla sınırlanan deniz ortamı sığ olarak tanımlanmaktadır. Sığ su ortamında ses sinyali (ışını) deniz yüzeyi ve tabanı arasında yansıyarak uzun mesafelere kadar ilerleyebilir. Sığ terimi sadece sesin yayıldığı ortamın özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda ses kaynağının frekansıyla da ilişkilidir [109]. [110]’da sığ su (1.25) denkleminde verilen koşulla tanımlanmıştır. Bu koşula göre ses sinyalinin frekansı çok düşükse ve deniz

derinliği çok değilse bu ortam sığ deniz olarak tanımlanabilir. Bu tezde ele alınan çok yollu kanal modelleri sığ deniz ortamını ifade etmektedir.

$$M^2 \gg \frac{d^2}{\lambda} \quad (1.25)$$

Burada M , d ve λ sırasıyla metre cinsinden verici-alıcı arası mesafe, deniz derinliği ve ses sinyalinin dalga boyudur.

1.6.1. Zamanla Değişmeyen Çok Yollu (Sabit) Kanal Modeli

Sabit kanal modelinde, deniz yüzeyinin zamanla değişmediği ve kanal geometrisinin sabit olduğu varsayılmıştır. Bu çok yollu kanal modelinde deniz suyu ve deniz tabanı olmak üzere birbirinden bağımsız iki tabaka olduğu göz önüne alınmıştır. Her tabakanın kendi içinde homojen olduğu ve her iki tabakada yayılan ses ışınlarının hızlarının birbirinden bağımsız olarak sabit olduğu kabul edilmiştir [106]. Direkt gelen, yüzeyden ve tabandan yansıtılarak gelen ışınların olduğu çok yollu kanal yapısı basitçe Şekil 1.16'da gösterilmiştir (üç ışın alınmasının nedeni gösterimi basitleştirmedir). Burada z_v verici derinliği, z_a alıcı derinliği, h suyun derinliği ve M verici-alıcı arasındaki yatay mesafedir. D , Y ve T sırasıyla direkt ışını, yüzeyden yansıyan ışını ve tabandan yansıyan ışını temsil etmektedir. Direkt ışının aldığı yol D_0 olup (1.26) denkleminde verilmiştir.

$$D_0 = \sqrt{M^2 + (z_v - z_a)^2} \quad (1.26)$$

Vericiden yukarı (yüzeğe) ve aşağı (tabana) yönlü doğrultularda harekete başlayan ışınların aldığı yollar sırasıyla D_{yt} ve D_{ty} ile ifade edilip (1.27) ve (1.28) denklemlerinde verilmiştir. Burada n_y ve n_t sırasıyla ışınların yüzeyden ve tabandan olan yansıma sayılarıdır.

$$D_{yt} = \sqrt{M^2 + \left[2n_t h + z_v - (-1)^{n_y - n_t} z_a \right]^2} \quad (0 \leq n_y - n_t \leq 1) \quad (1.27)$$

$$D_{ty} = \sqrt{M^2 + \left[2n_t h - z_v + (-1)^{n_t - n_y} z_a \right]^2} \quad (0 \leq n_t - n_y \leq 1) \quad (1.28)$$

Vericinin yönsemez olduğu ve bu nedenle üretilen akustik basınç sinyalinin küresel yayılıma sahip olduğu kabul edilip, akustik basınç sinyalinin (ışının) genliğinde küresel

yayılmadan dolayı meydana gelen zayıflama (D mesafesi boyunca yayılan bir ışın için) (1.29) denklemindeki gibi yazılabilir [106].

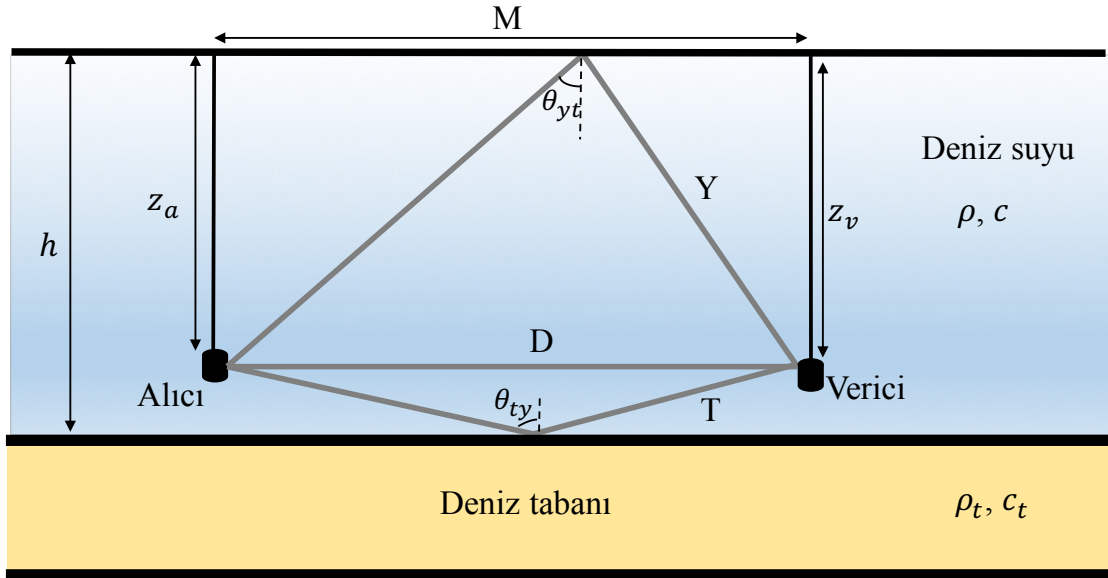
$$L_{KY}(D) = 1/D \quad (1.29)$$

Akustik basınç sinyali deniz ortamında yayılırken enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür [106]. Bu durumu ifade etmek için (1.16) denklemindeki zayıflama katsayısı kullanılarak elde edilen kayıp faktörü (basınç genliği cinsinden), D mesafesi boyunca yayılan bir ışın için (1.30) denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$L_Z(D) = 10^{-((D/1000)\alpha_{dB})/20} \quad (1.30)$$

Deniz suyu ve hava arasındaki empedans uyumsuzluğu deniz yüzeyinin çok iyi bir yansıtıcı olmasına neden olur. Eğer deniz yüzeyi sakin ise mükemmel yakın olan yansıma π radyan faz kayması içerdiğinden yansıma katsayısı -1 olarak alınabilir. Eğer deniz yüzeyi dalgalar nedeniyle pürüzlü ise yüzey yansıma katsayısı (1.31) denklemi kullanılarak elde edilebilir [111].

$$L_Y(\theta_{yt}) = 10^{0.5 \log_{10} \left(\frac{(1+(f_0/f_1)^2)}{(1+(f_0/f_2)^2)} \right) - 0.05 \left(1 + \frac{90-w_k}{60} \right) \left(\frac{\theta_{yt}}{30} \right)^2} e^{j\pi} \quad (1.31)$$



Şekil 1.16. Sabit geometrili çok yollu kanal yapısı

Burada w_k knot cinsinden rüzgar hızı, θ_{yt} derece cinsinden yüzeye gelen ışın ve yüzey düzlem normali arasındaki açı, $f_1 = \sqrt{10}f_2$ ve $f_2 = 378w_k^{-2}$ 'dir. Deniz suyu ve deniz tabanı arasındaki empedans uyumsuzluğu da gelen ses dalgasının bir kısmının deniz tabanından yansmasıyla sonuçlanmaktadır. Düzgün bir deniz tabanı için yansıma açısına bağlı olup (Rayleigh yansıma katsayısı) (1.32) denklemindeki gibi verilebilir [106].

$$L_T(\theta_{ty}) = \left| \frac{m_\rho \cos \theta_{ty} - \sqrt{n_c^2 - \sin^2 \theta_{ty}}}{m_\rho \cos \theta_{ty} + \sqrt{n_c^2 - \sin^2 \theta_{ty}}} \right| \quad (1.32)$$

Burada $m_\rho = \rho_t/\rho$, $n_c = c/c_t$ ve θ_{ty} derece cinsinden tabana gelen ışın ve taban düzlem normali arasındaki açıdır. ρ , c , ρ_t ve c_t sırasıyla deniz suyunun yoğunluğu, deniz suyundaki ses hızı, deniz tabanının yoğunluğu ve deniz tabanındaki ses hızıdır. D_{yt} ve D_{ty} mesafeleri boyunca yayılan ışınların düzlem normalleriyle yaptıkları geliş açıları sırasıyla θ_{yt} ve θ_{ty} olup ışın geometrileri kullanılarak (1.33) ve (1.34) denklemlerine göre hesaplanırlar.

$$\theta_{yt} = \tan^{-1} \left(\frac{M}{2n_t h + z_v - (-1)^{n_y - n_t} z_a} \right) \quad (1.33)$$

$$\theta_{ty} = \tan^{-1} \left(\frac{M}{2n_t h - z_v + (-1)^{n_t - n_y} z_a} \right) \quad (1.34)$$

D_{yt} ve D_{ty} mesafeleri boyunca yayılan ışınların gecikmeleri sırasıyla τ_{yt} ve τ_{ty} olup (1.35) ve (1.36) denklemlerindeki gibi bulunurlar.

$$\tau_{yt} = \frac{D_{yt} - D_0}{c} \quad (1.35)$$

$$\tau_{ty} = \frac{D_{ty} - D_0}{c} \quad (1.36)$$

Vericiden gönderilip direk ve yansımali yollardan alıcıya ulaşan akustik basınç sinyali (1.37) denklemindeki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
y(t) = & L_{KY}(D_{00})L_Z(D_{00})P(t) \\
& + \sum_{n_y=1}^{\infty} \sum_{n_t=n_y-1}^{n_y} L_{KY}(D_{yt})L_Z(D_{yt}) \times (L_Y(\theta_{yt}))^{n_y} (L_T(\theta_{yt}))^{n_t} P(t - \tau_{yt}) \\
& + \sum_{n_t=1}^{\infty} \sum_{n_y=n_t-1}^{n_t} L_{KY}(D_{ty})L_Z(D_{ty}) \times (L_Y(\theta_{ty}))^{n_y} (L_T(\theta_{ty}))^{n_t} P(t - \tau_{ty}) + n(t)
\end{aligned} \tag{1.37}$$

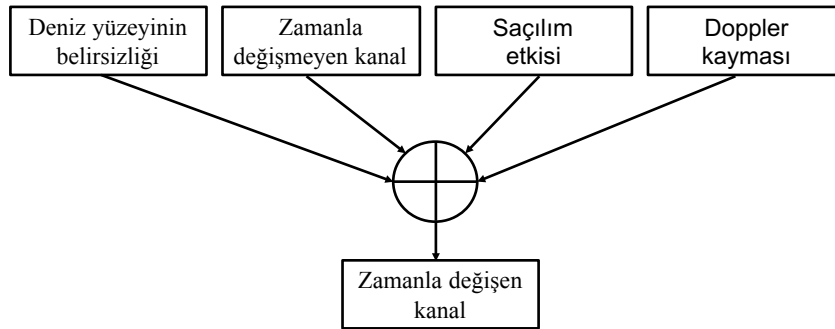
Burada $P(t)$ gönderilen akustik basınç sinyali ve $n(t)$ Gauss dağılımına sahip sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı gürültüdür.

1.6.2. Zamanla Değişen Çok Yollu (Değişken) Kanal Modeli

Sualtı ortamı bölgeden bölgeye değişiklik gösterdiği için literatürde hangi sualtı akustik kanal modelinin kullanılacağı konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Literatürde kullanılan bazı kanal modelleri aşağıdaki gibi verilmiştir. Işın teorisi tabanlı bir ışın izleme yazılımı olan Bellhop kullanılarak sualtı akustik kanalı modellenmiştir. Ancak kanalın rastgele değişimleri göz ardı edilmiştir [112]. [113]'te, Bellhop modeline, sualtı akustik kanalının rastgele değişim etkilerinden birisi olan deniz yüzeyi hareketlilik etkisi adapte edilmiştir. Ancak, yüksek rüzgar hızlarında [113]'te önerilen kanal modeli için elde edilen benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları örtüşmemiştir. Diğer bir ışın izleme yazılımı olan Virtual Time Series Experiment (VirTEX) kullanılarak sualtı akustik kanalı istatistiki olarak modellenmiştir ve VirTEX Bellhop'tan daha düşük hesaplama karmaşıklığına sahiptir [114]. Yine de hesaplama karmaşıklığının yeterince düşük olduğu söylenemeyebilir. Sualtı akustik kanalını stokastik olarak modellemek için çok sayıda çalışma yapılmıştır [115-122]. Söz konusu çalışmalarda, belirli bölgelerden alınan akustik veriler (ölçümler) analiz edilerek kanal modelleri oluşturulmuştur. Bu çalışmaların bazılarında alınan ölçümlerle Rician [115, 116] veya Rayleigh dağılımı [117, 118] uyum sağlarken, bazılarında log-normal dağılım [119, 120] ve K dağılımı uyum sağlamıştır [121, 122]. Yani ölçüm alınan denizlerin özellikleri birbirinden farklı olduğundan ilgili çalışmalarda farklı istatistiki dağılımlarla uyum sağlayan kanal modelleri önerilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmalarda, belirli ortamlar için önerilen kanal modelleri farklı ortamlarda geçerli olmayabilir.

Literatürdeki diğer kanal modelleriyle [112-122] karşılaştırınca, sualtı akustik kanalını

en gerçekçi biçimde modelleyen [61]'de, Qarabaqi ve Stojanovic zamanla değişen sualtı kanalını tanımlamak için kapsamlı bir matematiksel analiz yapmıştır. Bu tanımlamada frekansa bağımlı zayıflama, taban ve yüzey yansımaları, rastgele yer değiştirmeler ve buna bağlı olarak oluşan Doppler etkisi gibi akustik yayılımın fiziksel özelliklerinin çoğu göz önünde bulundurulmuştur. [61]'de sualtı kanalındaki değişimler, vericinin/alıcının rastgele yer değiştirme (su akıntısı, sürüklenme, deniz yüzeyinin hareketliliği v.b nedenlerden dolayı) büyüklüğüne bağlı olarak küçük-ölçekli değişim (birkaç dalga boyu mertebesindeki yer değiştirmeler) ve büyük-ölçekli değişim (çok sayıda dalga boyu mertebesindeki yer değiştirmeler) olarak sınıflandırılmıştır. Saçılma ve hareket tabanlı Doppler etkilerini tanımlamak için kullanılan küçük-ölçekli değişimler anlık kanal tepkesindeki hızlı değişimlerden sorumludur. Alınan ortalama sinyal gücünü etkileyen büyük-ölçekli değişimler ise değişen sistem geometrisine bağlı olarak oluşan konum belirsizliği ve değişken çevresel koşulları tanımlamak için kullanılır. Diğer bir anlatımla, büyük-ölçekli değişimler yayılım yollarının kazanç ve gecikmelerinde, büyük değişikliklere yol açan rastgele sistemsel yer değiştirmelerin bir sonucu olarak modellenmektedir. Özetlemek gerekirse, sabit geometri bir kanal (nominal kanal) içinde, vericiden gönderilen sinyaller alıcılara, farklı uzunluklara ve varış açılarına sahip yollardan ulaşacaktır. Büyük-ölçekli değişimler, her bir yayılım yol uzunluğunun nominal değerinden rastgele olarak sapmasına neden olurken, küçük-ölçekli değişimler her bir yayılım yolunun saçılarak belirli sayıda alt yollara ayrılmasına neden olur. Literatürde sıklıkla kullanılan [123-128] bu kanal modelinin blok diyagramı Şekil 1.17'de verilmiştir.



Şekil 1.17. [61]'de önerilen sualtı akustik kanal modelinin blok şeması

1.6.2.1. Nominal Koşullar ve Büyük-Ölçekli Değişim

Nominal kanal geometrisi (deniz yüzeyi/tabanı düz, verici/alıcı sabit) akustik kanalın nominal bir tepkeye sahip olmasına neden olur. Zamanla-değişmeyen bir sistemi karakterize eden bu nominal tepke ışın izleme tekniği kullanılarak belirlenebilir. Herbiri alçak geçiren bir filtre gibi davranan ve \bar{l}_p uzunluğuna sahip oldukları düşünülen çoklu yayılım yollarının transfer fonksiyonu (1.38) denkleminde verilmiştir. Burada iletim kaybı (IK), (1.10) ve (1.16) denklemleri kullanılarak hesaplanır. Γ_p , p . yol boyunca deniz yüzeyinden ve tabanından olan n_{yp} ve n_{tp} adet yansımanın etkisini ifade eden toplamsal yansıma katsayısıdır. İdeal bir deniz yüzeyi için (eğer deniz yüzeyi sakinse) yüzey yansıma katsayısı $L_Y=-1$ olarak alınabilir. Taban yansıma katsayısı ise (1.39) denklemi kullanılarak hesaplanabilir. Burada θ_p (p . yayılım yoluyla ilgili) gelen ışın ile düzlem arasındaki açıdır.

$$\bar{H}_p(f) = \frac{\Gamma_p}{\sqrt{IK(\bar{l}_p, f)}} \quad (1.38)$$

$$L_T(\theta_p) = \begin{cases} \frac{\rho_t \sin \theta_p - \rho \sqrt{\left(\frac{c}{c_t}\right)^2 - \cos^2 \theta_p}}{\rho_t \sin \theta_p + \rho \sqrt{\left(\frac{c}{c_t}\right)^2 - \cos^2 \theta_p}}, & \cos \theta_p \leq \frac{c}{c_t} \\ 1, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1.39)$$

Her bir yolun transfer fonksiyonu kullanılarak çok yollu kanalın toplam transfer fonksiyonu denklem (1.40)'daki gibi elde edilir.

$$\bar{H}(f) = \sum_p \bar{H}_p(f) e^{-j2\pi f \bar{\tau}_p} \quad (1.40)$$

Burada $\bar{\tau}_p$, \bar{l}_p uzunluğundaki p . yolla ilgili yayılım gecikmesi olup ($\bar{\tau}_p = \bar{l}_p/c - t_0$) referans bir t_0 değerine ($t_0 = \bar{l}_0/c$) göre ölçülür. Her yolun farklı şekle sahip bir vuruş tepkisi ile karakterize edilmesi kanal modelini karmaşık bir hale getirmektedir. Bu durumun önüne geçmek için \bar{l}_0 uzunluğundaki referans yola ($p = 0$) bağımlı olacak şekilde $\bar{H}_p(f)$ denklem (1.41)'deki gibi yeniden tanımlanmıştır. Burada $\bar{H}_0(f)$, referans yol için transfer

fonksiyonudur.

$$\bar{H}_p(f) = \frac{\Gamma_p}{\sqrt{\left(\frac{\bar{l}_p}{\bar{l}_0}\right)^k \alpha(f)^{\bar{l}_p - \bar{l}_0}}} \bar{H}_0(f) \quad (1.41)$$

Eğer denklem (1.41)'de frekansa bağımlı olan $\alpha(f)^{\bar{l}_p - \bar{l}_0}$ terimi sabit olarak alınabilirse, tüm yollar aynı şekilde sahip vuruş tepkisi ve farklı kazançlar ile modellenebilir. (1.16) denkleminden görüldüğü üzere düşük frekanslar (SDBH'lerdeki sızıntılar sonucu oluşan akustik basınç sinyallerinin frekansları oldukça düşüktür) için $\alpha(f)$ 1'e çok yakındır. Bu nedenle $\alpha(f)$, ilgili sinyalin bandındaki bir frekansa karşılık düşen zayıflama katsayısı olan α_0 ile ifade edilebilir. Bu durumda kanal transfer fonksiyonu denklem (1.42)'deki gibi modellenir.

$$\bar{H}_p(f) \approx \bar{h}_p \bar{H}_0(f) \quad (1.42)$$

Burada yol kazancı olan \bar{h}_p (1.43) denkleminde verilmiştir.

$$\bar{h}_p = \frac{\Gamma_p}{\sqrt{\left(\frac{\bar{l}_p}{\bar{l}_0}\right)^k \alpha_0^{\bar{l}_p - \bar{l}_0}}} \quad (1.43)$$

Yol filtreleme (tüm yollar için aynı olmak üzere $\bar{H}_0(f)$ olarak alındı) etkisinin ve frekanstan bağımsız hale getirilmiş yol kazancının birbirinden ayrıştırıldığı kanalın tam transfer fonksiyonu (1.44) denkleminde verilmiştir.

$$\bar{H}(f) = \bar{H}_0(f) \sum_p \bar{h}_p e^{-j2\pi f \bar{\tau}_p} \quad (1.44)$$

Büyük-ölçekli değişimler (yer değiştirme) deniz yüzey yüksekliğindeki (dalgalar nedeniyle) veya deniz taban şeklindeki değişimin yanı sıra nominal bir kanal geometrisi içindeki verici/alıcı yer değiştirmelerinin sistemin geometrisiyle ilgili bir belirsizliğe yol açması sonucu oluşur. Bu yer değiştirmeler yol uzunluğunun (ışının aldığı yol) nominal değerden sapmasına neden olur. Yeni yol uzunluğu $l_p = \bar{l}_p + \Delta l_p$ şeklinde ifade edilir (Δl_p değişimi rastgeledir). Yol gecikmesi olan τ_p kolaylıkla yol uzunluğu olan l_p kullanılarak elde edilebilir. Bu durumdaki yol kazancı (1.43) denkleminde \bar{l}_p yerine l_p yazılarak (1.45) denklemindeki

gibi ifade edilebilir.

$$h_p = \bar{h}_p \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{\Delta l_p}{\bar{l}_p}\right)^k \alpha_0^{\Delta l_p}}} \quad (1.45)$$

Tipik bir sistem geometrisi için $\Delta l_p \ll \bar{l}_p$ ve $k \ll \bar{l}_p$ (burada \bar{l}_p metre cinsindedir) varsayımları yapılabilir. Bu durumda (1.46) denklemindeki yaklaşım elde edilir.

$$\left(1 + \frac{\Delta l_p}{\bar{l}_p}\right)^k \approx 1 + k \frac{\Delta l_p}{\bar{l}_p} \approx \left(1 + \frac{k}{\bar{l}_p}\right)^{\Delta l_p} \quad (1.46)$$

Bu yaklaşım kullanılarak yol kazancı (1.47) denklemindeki gibi ifade edilebilir.

$$h_p \approx \bar{h}_p e^{-\zeta_p \Delta l_p / 2} \quad (1.47)$$

Burada $\zeta_p = \alpha_0 - 1 + k/\bar{l}_p$ 'dir. Bu durumda kanalın tam transfer fonksiyonu (1.48) denklemindeki gibi verilebilir.

$$H(f) = \bar{H}_0(f) \sum_p h_p e^{-j2\pi f \tau_p} \quad (1.48)$$

1.6.2.2. Küçük-Ölçekli Değişim

Sadece büyük-ölçekli değişim etkilerini içeren (1.48) denklemindeki kanal transfer fonksiyonu saçılma gibi küçük-ölçekli değişim etkileri hakkında herhangi bir bilgi vermez. Sinyalin rastgele olarak değişmesine yol açan en önemli nedenlerden birisi olan saçılma, sinyal pürüzlü deniz yüzeyine veya boyutları kendi dalga boyunun birkaç katı olan nesnelere çarpınca meydana gelir. Sualtı akustik kanalında saçılma etkisini tanımlamak için h_p kazancı ve τ_p gecikmesine sahip tek bir p yolu göz önüne alınsın. Eğer p yolu boyunca saçılma oluşursa, bu yol birçok alt yola ayrılır. Bu durumda kanal transfer fonksiyonu (1.49) denklemindeki gibi yazılabilir.

$$H(f) = \bar{H}_0(f) \sum_p \sum_i h_{p,i} e^{-j2\pi f \tau_{p,i}} \quad (1.49)$$

Burada $h_{p,i}$ alt yol kazançları ve $\tau_{p,i} = \tau_p + \delta \tau_{p,i}$ alt yol gecikmeleridir. Bir saçılım alanı içindeki saçılım noktalarının rastgele yer değiştirmesinden dolayı, hem kazanç ($h_{p,i}$) hem de

gecikme ($\delta\tau_{p,i}$) değerlerinin rastgele olarak değiştiği kabul edilir. Böylece küçük-ölçekli saçılma katsayısı

$$\gamma_p(f) = \frac{1}{h_p} \sum_{i \geq 0} h_{p,i} e^{-j2\pi f \delta\tau_{p,i}} \quad (1.50)$$

olarak tanımlanır. Kanalin tam transfer fonksiyonu ise

$$H(f) = \bar{H}_0(f) \sum_p h_p \gamma_p(f) e^{-j2\pi f \tau_p} \quad (1.51)$$

olarak tanımlanır.

$\gamma_p(f)$ 'nin bileşenlerinden birinin gecikmesinin sabit olduğu bir durum göz önüne alınırsa (1.50) denklemi, (1.52) denklemi olarak yazılabilir.

$$\gamma_p(f) = \gamma_{p,0} + \frac{1}{h_p} \sum_{i \geq 1} h_{p,i} e^{-j2\pi f \delta\tau_{p,i}} \quad (1.52)$$

Burada $\gamma_{p,0}$ sabit yolun ilgili katsayısını temsil etmektedir ($\delta\tau_{p,0} = 0$). $\gamma_p(f)$ katsayısı genelde $\bar{\gamma}_p(f)$ ortalamalı ve $2\sigma_p^2(f)$ varyanslı karmaşık Gauss dağılımına sahiptir. Bu dağılım hem büyük-ölçekli parametreler olan h_p ve τ_p hem de küçük-ölçekli yol istatistiki parametreleri olan $\bar{\gamma}_p(f)$ ve $\sigma_p^2(f)$ için kullanılır. Eğer (1.50) denklemindeki bileşenlerin dağılımları bilirse yol istatistiki parametreleri olan $\bar{\gamma}_p(f)$ ve $\sigma_p^2(f)$ analitik olarak tanımlanabilir. Bu analitik yaklaşımı göstermek için alt yol genlikleri, μ_p ortalamalı ve v_p^2 ($v_p^2 \ll \mu_p^2$) varyanslı ve ilgili alt yol gecikmeleri ($\delta\tau_{p,i}$), sıfır ortalamalı ve $\sigma_{\delta_p}^2$ varyanslı Gauss dağılımlı olsun. Bu gecikmelerin Gauss dağılımlı olması, deniz yüzey/tabana yüksekliğinin (değişiminin) Gauss dağılımına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, eğer yüzey ve taban varyansları σ_y^2 ve σ_t^2 olarak tanımlanırsa,

$$\sigma_{\delta_p}^2 = \frac{1}{c^2} (2 \sin \theta_p)^2 [n_{yp} \sigma_y^2 + n_{tp} \sigma_t^2] \quad (1.53)$$

olarak elde edilir. Burada n_{yp} ve n_{tp} sırasıyla ışınların p . yol boyunca yüzeyden ve tabandan yansıma sayılarıdır. Böylece saçılma katsayılarının ortalama ve varyansı

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}_p(f) &= \mu_{p0} + \mu_p S_p \rho_p(f) \\ 2\sigma_p^2(f) &= \mu_p^2 S_p [1 - \rho_p^2(f)] + S_p v_p^2 \approx \mu_p^2 S_p [1 - \rho_p^2(f)] \end{aligned} \quad (1.54)$$

olarak elde edilir. Burada S_p alt yol sayısı ve $\rho_p(f) = e^{(-2\pi f)^2 \sigma_{\delta_p}^2 / 2}$, dir.

1.6.2.3. Doppler Kayması

Vericideki/alıcıdaki veya herhangi bir yansıma noktasındaki hareket yol gecikmelerinin (τ_p) zamanla değişmesine neden olur. Bu durumda yol gecikmeleri $\tau_p(t) = \tau_p - \alpha_p t$ olarak modellenebilir, burada $\alpha_p = v_p/c$, v_p hızıyla ilişkili Doppler faktörüdür. İstemsiz alıcı/verici hareketi (sürüklenme), istemli alıcı/verici hareketi ve dalga (yüzey) hareketi olmak üzere Doppler faktörünü etkileyen üç tip hareket etkisi vardır. Bu tezde yapılan çalışmalarda, verici (sızıntı deliği) sabit olduğundan sadece yüzey hareketi etkisi göz önüne alınmıştır. Dalgaların, zamanla değişen A_w genlikli ve f_w frekanslı sinüzoidal bir yer değişimi (sadece düşey ekseninde) oluşturarak yüzeydeki bir noktanın aşağı-yukarı hareket etmesine neden oldukları göz önüne alınsın. p . yol boyunca olan j . yansıma noktasına gelen bir sinyal bu noktayı rastgele bir faz değerinde yakalar, örneğin $\psi_{p,j} \sim [-\pi, \pi]$ ve $v_w = 2\pi f_w A_w$ olmak üzere düşey hız $v_w \sin(\psi_{p,j} + 2\pi f_w t)$ 'dir. p . yol üstündeki bu hızın bütün yüzey yansıma noktaları boyunca toplamı

$$v_p = 2v_w \sin \theta_p \sum_{j=1}^{n_{yp}} \sin(\psi_{p,j} + 2\pi f_w t) \quad (1.55)$$

olarak verilebilir. Böylece küçük-ölçekli saçılma katsayısı (1.56) denklemindeki gibi tanımlanır.

$$\tilde{\gamma}_p(f, t) = \gamma_p(f, t) e^{j2\pi a_p f t} \quad (1.56)$$

Şu ana kadar bahsedilen bütün etkileri içeren, zamanla değişen kanalın toplam transfer fonksiyonu

$$H(f, t) = \bar{H}_0 \sum_p h_p \tilde{\gamma}_p(f, t) e^{-j2\pi f \tau_p} \quad (1.57)$$

olarak tanımlanır.

[61]'de önerilen bu analitik kanal modeli deneysel çalışmalarla doğrulanarak, ilgili çalışmanın yazarları tarafından [129]'daki sualtı akustik kanal simülatörü geliştirilmiştir. Bu simülatörde, büyük-ölçekli benzetimler için ses hızının sabit ve deniz yüzeyinin/tabasının

düzgün kabul edildiği basitleştirilmiş ışın izleme yazılımı veya alternatif olarak Bellhop ışın izleme yazılımı sunulmuştur. Küçük-ölçekli benzetimler için ise direk model veya alternatif olarak istatistiki denk model sunulmuştur.

1.7. Konum Tespit Algoritmaları

Bu tez kapsamında önerilen sinyal gücü tabanlı eğri uydurma yönteminde konum tespiti için doğrusal en küçük kareler (DEKK), ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK), doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmaları kullanılmıştır. Bu bölümde, verici-alıcı arasındaki ölçüm mesafesinin bilindiği (tahmin edildiği) durum için söz konusu algoritmalarla iki boyutlu konumlandırmadan bahsedilmiştir.

1.7.1. Doğrusal En Küçük Kareler (DEKK) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal En Küçük Kareler (ADEKK) Algoritmaları

m adet alıcının bilinen konumları (x_z, y_z) ($z = 1, 2, \dots, m$) ve vericinin bilinmeyen konumu (x, y) olmak üzere verici-alıcı arası mesafe olan d_z

$$d_z = \sqrt{(x_z - x)^2 + (y_z - y)^2} \quad (1.58)$$

olarak tanımlanır. Ölçüm mesafesi (alınan sinyal gücü yardımıyla tahmin edilebilir)

$$\hat{d}_z = d_z + n_z \quad (1.59)$$

olarak verilebilir. Burada n_z sıfır ortalamalı ve σ_z^2 varyanslı Gauss dağılımlı gürültüdür. Verici-alıcılar arasındaki bütün ölçüm mesafeleri elde edildikten sonra (1.59) denkleminde bağlı olarak (1.60) denklemini elde edilir [130].

$$\hat{d}_z^2 = (x_z - \hat{x})^2 + (y_z - \hat{y})^2 \quad (1.60)$$

DEKK algoritmasında, (1.60) denkleminde verilen doğrusal olmayan eşitlikler doğrusal hale getirilir ($A\hat{\mathbf{x}} = b$ formunda) ve bilinmeyen konum (1.61) denklemindeki gibi elde edilir. Burada $\hat{\mathbf{x}} = (\hat{x}, \hat{y})$ 'dir. A ve b sırasıyla (1.62) ve (1.63) denklemlerinde verilmiştir [130, 131].

$$\hat{\mathbf{x}} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (1.61)$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z & y_1 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m y_z \\ \vdots & \vdots \\ x_m - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z & y_m - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m y_z \end{bmatrix} \quad (1.62)$$

$$b = 0.5 \begin{bmatrix} \left(x_1^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z^2 \right) + \left(y_1^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m y_z^2 \right) - \left(\hat{d}_1^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \hat{d}_z^2 \right) \\ \vdots \\ \left(x_m^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z^2 \right) + \left(y_m^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m y_z^2 \right) - \left(\hat{d}_m^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \hat{d}_z^2 \right) \end{bmatrix} \quad (1.63)$$

DEKK algoritmasının ağırlıklandırılmış hali olan ADEKK algoritması DEKK'dan daha yüksek doğruluğa sahiptir. Ancak burada ağırlık hesabı için (1.64) denkleminde verilen W ağırlıklandırma matrisinin bilinmesi gerekmektedir.

$$W = \left[4 \left(\frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \hat{d}_z \right)^2 \sigma^2 + 2\sigma^4 + \text{diag} \left(4\sigma^2 \hat{d}_1^2 + 2\sigma^4, \dots, 4\sigma^2 \hat{d}_m^2 + 2\sigma^4 \right) \right]^{-1} \quad (1.64)$$

Burada $\text{diag}(\cdot)$ köşegen matrisi ifade etmektedir. ADEKK algoritması ile bilinmeyen konum (1.62), (1.63) ve (1.64) denklemlerindeki matrisler (1.65) denkleminde yerine yazılarak tahmin edilir [1, 130].

$$\hat{\mathbf{x}} = \left(A^T W A \right)^{-1} A^T W b \quad (1.65)$$

1.7.2. Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler (DOEKK) Algoritması

DEKK ve ADEKK algoritmalarının aksine DOEKK algoritmasında mesafe denklemleri doğrusal hale getirilmez. Bilinmeyen verici koordinatları, (1.66) denklemindeki maliyet fonksiyonunun, (1.67) denklemindeki gibi minimize edilmesiyle bulunabilir [1, 131]. Burada $\tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{x}, \tilde{y})$ konum tahmin (optimizasyon) değişkenidir.

$$J(\tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{z=1}^m \left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \tilde{x})^2 + (y_z - \tilde{y})^2} \right)^2 \quad (1.66)$$

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\tilde{\mathbf{x}}}{\text{argmin}} J(\tilde{\mathbf{x}}) \quad (1.67)$$

(1.67) denklemindeki minimizasyon işlemini gerçekleştirmek için bu tezde, düşük hesaplama karmaşıklığından dolayı literatürde sıklıkla tercih edilen en dik iniş (steepest descent) yöntemi kullanılmıştır. Bu yönteme göre $\hat{\mathbf{x}}$, (1.68) denklemi kullanılarak bulunabilir.

$$\hat{\mathbf{x}}^{k+1} = \hat{\mathbf{x}}^k - \mu \nabla \left(J \left(\hat{\mathbf{x}}^k \right) \right) \quad (1.68)$$

Burada k yineleme sayısı, μ adım büyüklüğü ve $\nabla(\cdot)$ gradyan vektörüdür. $\nabla(J(\hat{\mathbf{x}}))$ (1.69) denkleminde verilmiştir. μ pozitif bir sabit olup yakınsama hızını ve kararlılığı kontrol eder. Büyük μ değerleri yakınsama hızını artırırken küçük μ değerleri yakınsama hızını azaltır [1]. Bu tezde, en dik iniş yönteminin durma kriteri olarak yineleme sayısı seçilmiştir.

$$\nabla(J(\hat{\mathbf{x}})) = \begin{bmatrix} \frac{\partial J(\hat{\mathbf{x}})}{\partial \hat{x}} \\ \frac{\partial J(\hat{\mathbf{x}})}{\partial \hat{y}} \end{bmatrix} = -2 \begin{bmatrix} \sum_{z=1}^m \frac{\left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \hat{x})^2 + (y_z - \hat{y})^2} \right) (\hat{x} - x_z)}{\sqrt{(x_z - \hat{x})^2 + (y_z - \hat{y})^2}} \\ \sum_{z=1}^m \frac{\left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \hat{x})^2 + (y_z - \hat{y})^2} \right) (\hat{y} - y_z)}{\sqrt{(x_z - \hat{x})^2 + (y_z - \hat{y})^2}} \end{bmatrix} \quad (1.69)$$

1.7.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması

1995'te Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş olan PSO popülasyon temelli bir optimizasyon tekniğidir [132]. Balık ve kuş sürülerinin sosyal davranışları gözlenerek geliştirilen PSO'nun diğer algoritmalara göre olan avantajları yakınsama hızının yüksek olması, gerçekleştirilmesinin kolay olması ve ayarlanması gereken parametre sayısının az olmasıdır. PSO, sürü olarak adlandırılan belirli sayıda çözümle (parçacıkla) başlatılır ve parçacıklar güncellenerek en uygun çözüm bulunmaya çalışılır. Sürüdeki bütün parçacıklar rastgele değerler olarak çözüm uzayında arama işlemine başlarlar. Her bir parçacık konum (p) ve hız (v) vektörü olmak üzere iki vektörel bileşene sahip olup bu vektörlerin boyutu çözülmek istenen problemdeki değişken sayısına bağlıdır. Hız vektörü parçacığın yön ve konum değiştirme miktarı bilgilerini saklarken, konum vektörü parçacığın konum bilgisini saklar. Bir parçacığın hız vektörü, parçacığın daha evvelki yinelemelerde kazandığı tecrübeden ($pbest$, yerel en iyi) ve sürünün genel tecrübesinden ($gbest$, küresel en iyi) faydalanılarak (1.70) denkleminde göre hesaplanır [133].

$$v_{jb}^{k+1} = w_a^k v_{jb}^k + c_1 r_1^k \left(pbest_{jb}^k - p_{jb}^k \right) + c_2 r_2^k \left(gbest_b^k - p_{jb}^k \right) \quad (1.70)$$

Konum vektörü ise (1.71) denklemine göre hesaplanır.

$$p_{jb}^{k+1} = p_{jb}^k + v_{jb}^{k+1} \quad (1.71)$$

(1.70) denkleminde yer alan w_a atalet ağırlık katsayısıdır. PSO algoritmasının orijinal versiyonunda yer almayan bu katsayı, 1998 yılında Shi ve Dr. Eberhart tarafından algoritmaya adapte edilmiştir [134]. En optimum başarımın elde edilmesi için ise atalet ağırlık katsayısının 0.9'dan 0.4'e kadar kademeli bir şekilde indirilmesi gerekmektedir [134]. (1.70) denklemindeki c_1 ve c_2 , parçacıkları $pbest$ ve $gbest$ konumlarına doğru yönlendiren öğrenme faktörleri olup genelde 2 olarak seçilirler. c_1 , parçacığın kendi tecrübeleri doğrultusunda hareket etmesini sağlarken, c_2 ise sürüde bulunan diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareket etmesini sağlamaktadır. Bu değerlerin düşük seçilmesi parçacıkların hedeften uzaklaşmasına neden olurken, yüksek seçilmesi parçacıkların hedefe ulaşma hızını artırıp hedef bölgenin pas geçilmesine neden olabilir. Denklemindeki r_1 ve r_2 ise 0-1 arasında düzgün dağılıma sahip rastgele değişkenlerdir. j parçacık indisini, k yineleme indisini ve b problem boyutunu ifade etmektedir. Bu tezde yapılan çalışmalarda, atalet ağırlık katsayısı (1.72) denklemi kullanılıp doğrusal olarak azaltılarak güncellenmiştir.

$$w_a^k = w_{a,max} - \frac{(w_{a,max} - w_{a,min})}{k_{mak}} k \quad (1.72)$$

Burada $w_{a,max}$ w_a 'nın seçilen maksimum değeri, $w_{a,min}$ w_a 'nın seçilen minimum değeri ve k_{mak} maksimum yineleme sayısıdır [135].

PSO'nun çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir: ilk olarak, bir problem uzayı tanımlanır ve oluşturulan parçacıklar bu problem uzayında rastgele olarak konumlandırılır. İkinci olarak, (1.73) denklemindeki maliyet fonksiyonu kullanılarak parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır. Sonra parçacıkların mevcut konumları $pbest_j$ olarak atanır ve $gbest$ belirlenir. Parçacıkların hızları ve konumları (1.70) ve (1.71) denklemlerine göre güncellenir. Parçacıkların tanımlanan problem uzayı içinde olup olmadıkları kontrol edilir. Eğer problem uzayı dışına çıkan parçacık/parçacıklar varsa bunların konumu problem uzayı içerisinde olacak şekilde ayarlanır. Parçacıkların yeni konumları için uygunluk değerleri (1.73) denkleminde hesaplanır ve $pbest_j$ ve $gbest$ değerleri güncellenir. Belirlenmiş olan adım sayısına ulaşıncaya kadar işlemler parçacıkların hızlarının ve konumlarının güncellenmesi

basamağından itibaren tekrarlanır.

$$J(p_j) = \sum_{z=1}^m \left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \tilde{x}_j)^2 + (y_z - \tilde{y}_j)^2} \right)^2, \quad z = 1, 2, \dots, m \quad (1.73)$$

Burada $p_j = (\tilde{x}_j, \tilde{y}_j)$ 'dir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Giriş

SDBH'lerdeki sızıntıların algılanması ve/veya konumlandırılması için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir [16-20]. Bu yöntemlerden dışsal tabanlı olan pasif akustik yöntem hariç, diğerlerinin uzun boru hatlarında kullanışsız olma, yüksek maliyetli olma, deniz suyu akıntısından/bulanıklığından etkilenme, sızıntı konumlandırmada başarısız olma ve zahmetli bir bakım/onarım sürecine sahip olma gibi dezavantajları mevcuttur [19]. Literatür araştırıldığı kadarıyla SDBH'lerdeki sızıntıların pasif akustik yöntem kullanılarak algılanması sadece [20]'de ticari bir amaç için gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada 4 mm çapa sahip bir sızıntı deliği en fazla 90 m mesafeden birkaç saatlik bir sürede tespit edilmiştir. İlgili çalışmada sızıntı oldukça kısa bir mesafeden tespit edilebilmiştir. Ancak sızıntının çok daha uzak mesafelerden tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, söz konusu çalışmada sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalinin doğası ve yayılımı hakkında herhangi bir inceleme yapılmamış ve sızıntı konumlandırılmamıştır. Bölüm 1.1'de verilen detaylı literatür incelemesinde, mesafeye bağımlı tekniklerden ASG ve ASGF tekniklerinin ve mesafeden bağımsız tekniklerden parmak izi tekniğinin SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için daha önce hiç kullanılmadıkları ve sızıntıların konumlandırılması için uygun olabilecekleri belirtilmişti. Bu özet bilgiler ve Bölüm 1.1'deki kapsamlı literatür araştırması ve değerlendirmeler doğrultusunda, bu tezde yapılan çalışmalar beş başlık altında toplanmış ve aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalinin doğasında, literatürde sualtı ortamında gaz baloncuklarının salınımlarıyla ilgili yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak sürekli bir baloncuk dizisinin oluşturacağı akustik basınç sinyalinin formülü elde edilmiştir. Sızıntı tabanlı akustik basınç sinyallerinin çok dar bantlı oldukları ve alınan sinyallerin frekansları ve SDBH ile ilgili gerekli parametreler yardımıyla sızıntı delik çapı, baloncuk çapı ve sızıntı deliğindeki akustik sinyal gücünün hesaplanabileceği gösterilmiştir [57-59].
2. Tek yönlü sualtı akustik kanalında ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemlerle konumlandırmada, sadece direk yol sinyalinin olduğu tek yönlü kanalda,

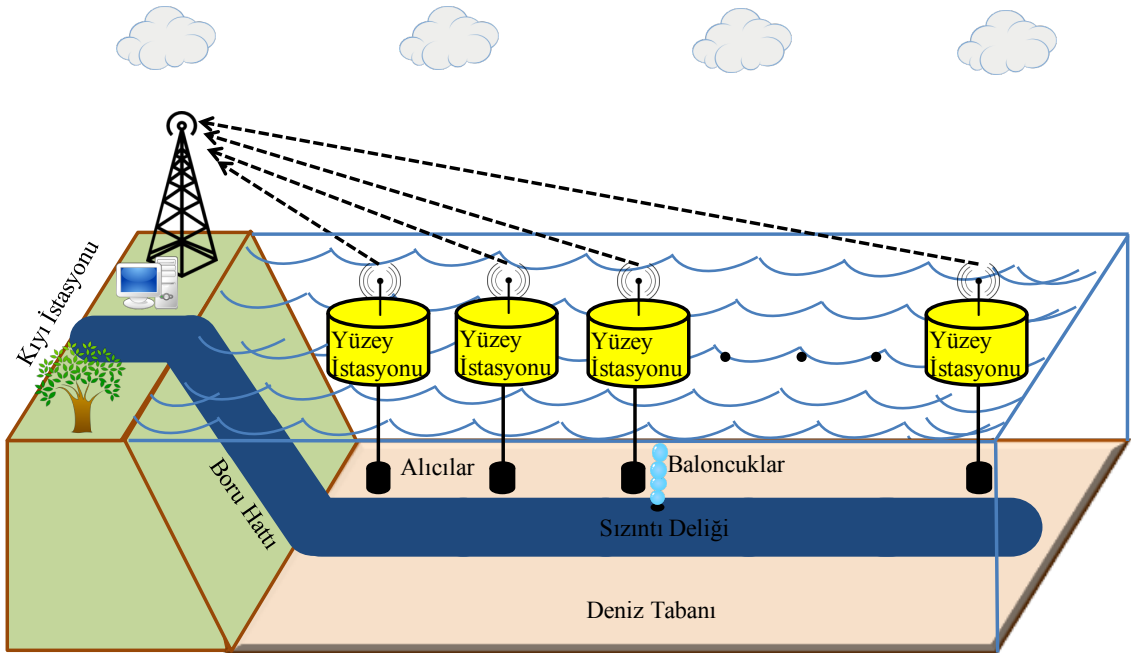
sızıntı deliğindeki sinyal gücünün bilindiği (hesaplanabildiği) durum için ASG tekniği [58,59] ve bilinmediği durum için ASGF tekniği kullanılarak konumlandırma işlemi yapılmıştır.

3. Zamanla değişmeyen çok yollu sualtı akustik kanalında parmak izi yöntemiyle konumlandırmada, ilk olarak sinyalin delikten çıkış gücü bilindiğinden, [106]'daki zamanla değişmeyen çok yollu sualtı akustik kanal modeli kullanılarak, belirli aralıklarla değiştirilen delik konumları için alıcılara ulaşan sinyal güçleri (gürültüsüz) hesaplanmıştır. Böylece parmak izi haritaları oluşturulmuştur. Sonrasında, konumu bilinmeyen bir sızıntı deliğinden alıcılara ulaşan sinyallerin güçleri ile parmak izi haritaları KEYK algoritması kullanılarak eşleştirilmiş ve sızıntı delik konumu tespit edilmiştir [60].
4. Zamanla değişen çok yollu sualtı akustik kanalında sinyal gücü tabanlı eğri uydurma yöntemiyle konumlandırmada, ilk olarak [61]'de önerilen, zamanla değişen çok yollu sualtı akustik kanal modeli için sızıntı deliği ile alıcı arasındaki mesafe tüm SDBH'yi kapsayacak şekilde kısa aralıklarla değiştirilmiş ve her mesafe için (sinyalin delikten çıkış gücü hesaplanabildiğinden) alıcıya ulaşması gereken gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyalin gücünün zamana göre ortalaması hesaplanıp kaydedilmiştir. Sonrasında, kaydedilen ortalama sinyal gücü ve delik-alıcı arası mesafe veri seti (eğrisi), Gauss modeline uydurulmuştur. Uydurulan eğri yardımıyla konumu bilinmeyen delik ve alıcılar arası mesafeler belirlenmiştir. Son olarak ise DEKK, ADEKK, DOEKK ve PSO algoritmaları kullanılarak sızıntının konumu tespit edilmiştir.
5. Zamanla değişen çok yollu sualtı akustik kanalında parmak izi yöntemiyle konumlandırmada, ilk olarak [61]'de önerilen, zamanla değişen çok yollu sualtı akustik kanal modeli için sızıntı delik konumunun tüm SDBH'yi tarayacak şekilde kısa aralıklarla değiştirildiği varsayılarak, değiştirilen her delik konumu için alıcılara ulaşan gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları hesaplanıp kaydedilmiştir. Böylece parmak izi haritaları oluşturulmuştur. Son olarak ise konumu bilinmeyen bir delik için alıcılar tarafından alınan sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları ile parmak izi haritaları KEYK algoritması kullanılarak eşleştirilmiş ve sızıntı delik konumu tespit edilmiştir.

Tez kapsamında sunulan yöntemlerde, SDBH'lerde meydana gelebilecek sızıntıların oluşturacağı akustik basınç sinyali hakkında yapılmış olan incelemeye dayanarak, dar bantlı

bant geçiren filtreler kullanılarak alıcı tarafta sızıntı sinyali ve ilgili banttaki gürültü hariç, diğer tüm sinyal bileşenleri filtrelenmiştir. Filtrelenen sinyallerin güçlerinin bir süre için ortalaması alınarak ortam gürültü etkisi azaltılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan benzetim çalışmalarında aşağıda sıralanan ortak durumlar kullanılmıştır.

1. Özellikleri Mağrip-Avrupa Gaz (MAG) boru hattına benzer olan bir SDBH örnek olarak alınmıştır. Cebelitarık boğazının 400 m derinliğinden geçerek Cezayir'den İspanya'ya doğalgaz taşıyan MAG boru hattı 0.56 m çapında iki borudan oluşup, yıllık 8.6 milyar m^3 akış kapasitesine sahiptir. Her bir hat için akış hızı $136 m^3/s$ 'dir [136].
2. Üç boyutlu konumlandırma problemi, SDBH'lerin bilinen derinliği ve ihmal edilebilir ölçüde küçük çapları nedeniyle tek boyuta indirgenebilir. Bu nedenle, benzetim çalışmalarında tek boyutlu konum tespiti yapılmıştır.
3. Şekil 2.1'deki gibi bir konum tespit sistemi oluşturulduğu düşünülmüştür. Bu sistemde, farklı sayıdaki alıcıların, eşit aralıklarla yerleştirilmiş yüzey istasyonlarından (şamandıralar), SDBH'nin tam üstüne sarkıtıldığı ve alınan akustik basınç sinyallerinin kıyı istasyonuna gönderilerek burada önerilen konum tespit yöntemlerinin uygulandığı varsayılmıştır.



Şekil 2.1. Konum tespit sistemi

2.2. Sızıntı Tabanlı Akustik Basınç Sinyalinin Doğası

Bu kısımda, SDBH'lerde meydana gelebilecek sızıntıların oluşturacağı akustik basınç sinyali hakkında bir inceleme yapılmıştır.

2.2.1. Sualtı Ortamında Gaz Baloncukları

Su ortamına giren bir gaz baloncuğunun salınım hareketi genliği yüksek bir akustik basınç sinyali (ses basıncı) oluşturur [137]. Su ortamındaki bir delikten çıkan hava baloncuğunun akustik sinyal oluşturması ilk olarak Minnaert tarafından incelenmiştir [138]. Minnaert, su ortamına giren, bir merkez frekansa ve sönüm katsayısına sahip baloncuğun, basit bir salınım sistemi gibi davrandığını deneysel olarak ortaya koymuştur. Baloncuğun salınım hareketleri n ile ifade edilen modlar ile tanımlanmaktadır. Farklı modlar için baloncuk salınım durumları Şekil 2.2'de gösterilmiştir [137]. Her modun bir salınım frekansı vardır. Sıfıncı mod ($n = 0$) sabit bir küresel şeklin hacimsel salınımlarını ifade eder. Hacimsel salınımına sahip bir baloncuk için baloncuk çapı, ortam basıncı ve salınım frekansı arasındaki ilişki Minnaert tarafından denklem (2.1)'deki gibi bulunmuştur [137].

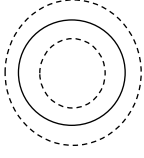
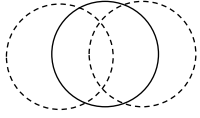
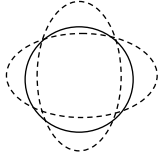
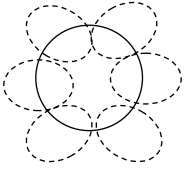
$$f_0 = \frac{1}{\pi(d_b)} \sqrt{\frac{3\kappa P_{ortam}}{\rho}} \quad (2.1)$$

Burada f_0 , ρ , d_b , P_{ortam} ve κ sırasıyla, salınım frekansı (Hz), su yoğunluğu (kg/m^3), baloncuk çapı (m), ortam basıncı (Pa) ve gaz baloncuğu içindeki havanın özel ısı oranıdır. $P_{ortam} = \rho gh + P_{hava}$ olarak hesaplanır. Burada h , g ve P_{hava} sırasıyla derinlik (m), yer çekimi ivmesi (m/s^2) ve deniz yüzeyindeki 1 atmosfer basınçtır. Büyük h değerleri için P_{hava} ihmal edilip $P_{ortam} = \rho gh$ olarak alınabilir. Bu tezde $P_{ortam} = \rho gh$ olarak alınmıştır. Sıfırdan yüksek modlar için ($n > 0$) salınım frekansı, Lamb tarafından bulunan (2.2) denklemi kullanılarak elde edilir [139].

$$f_n = \frac{1}{\pi(d_b)} \sqrt{(n^2 - 1)(n + 2)S/\rho(d_b/2)} \quad (2.2)$$

Burada S mN/m cinsinden yüzey gerilmesidir. Sıfıncı mod (hacimsel salınım) dışındaki modlar, ihmal edilebilecek düzeylerde ses basıncı ürettiklerinden, baloncuk tarafından oluşturulan ses basıncı hesaplamalarında sadece sıfıncı modun göz önüne alınması yeterlidir

[137, 139]. Bu nedenle, tez kapsamında yapılan çalışmalarda sıfıncı mod (hacimsel salınım) dikkate alınmıştır. Sıfıncı mod için salınım frekansı ile baloncuk çapı ve derinlik arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Baloncuk Şekli	Mod (n)	Salınım türü
	$n = 0$	Hacimsel salınım
	$n = 1$	Dönüşümsel salınım
	$n = 2$	Yüzeysel salınım
	$n = 3$	Yüzeysel salınım

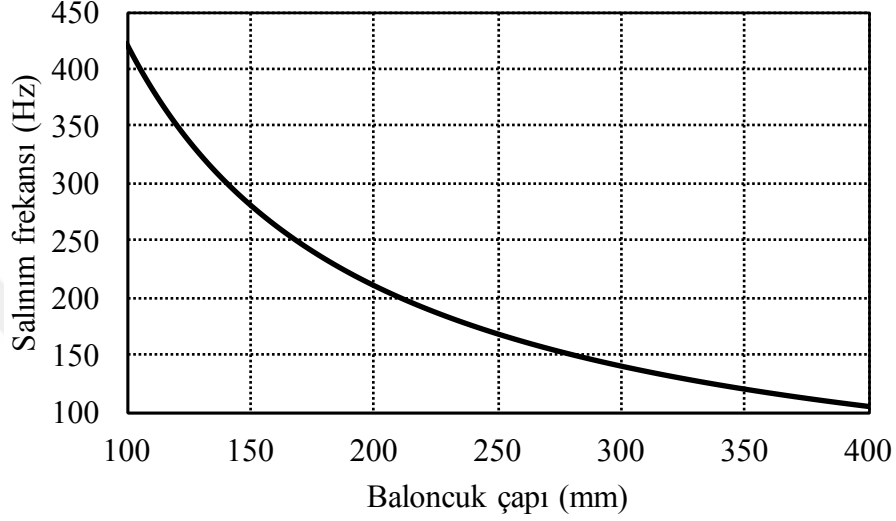
Şekil 2.2. Farklı modlar için baloncuk salınım durumları (Düz çizgi baloncunun ortalama konumunu ve kesikli çizgiler baloncunun sınır konumlarını ifade etmektedir) [137]

Sızıntı deliğinin çapı direk olarak baloncuk çapını etkiler. Eriyik haldeki demirde baloncuk oluşumu üstüne yapılmış olan [140] çalışmasında delik dış çapını kullanan bir baloncuk çapı formülü (2.3) elde edilmiştir. Dahası (2.3) denklemi su ortamındaki baloncuk oluşumu için de kullanılmıştır [141].

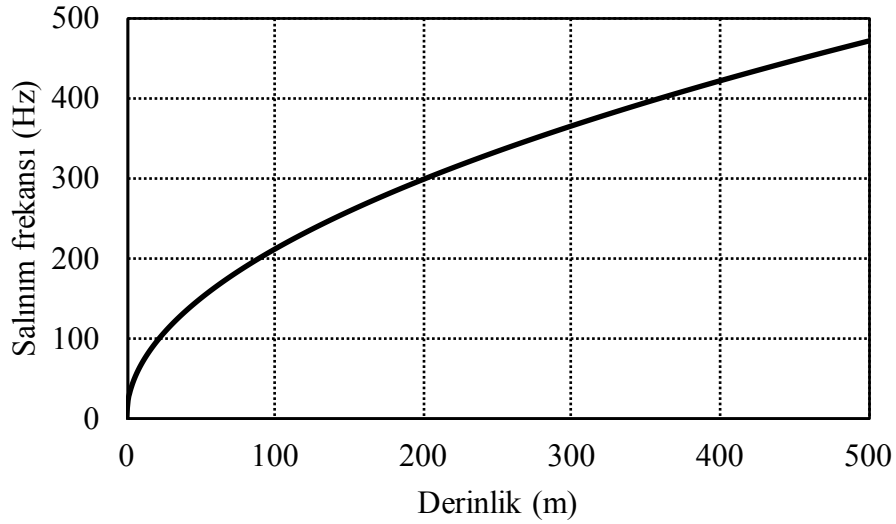
$$d_b = \left[\left(\frac{6Sd_{no}}{\rho g} \right)^2 + \left(0.54 \left(Qd_{no}^{0.5} \right)^{0.289} \right)^6 \right]^{1/6} \quad (2.3)$$

Burada S , d_{no} ve Q sırasıyla, yüzey gerilmesi (mN/m), delik çapı (m) ve gaz akış hızıdır (m^3/s). Delikten çıkan gaz baloncuklarının yaptığı salınımlar (2.4) denkleminde verilen sönüm katsayısına göre azalır [137].

$$\delta = 0.014 + 4.5 \times 10^{-4} \sqrt{f_0} \quad (2.4)$$



Şekil 2.3. Salınım frekansının baloncuk çapıyla değişimi ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $g=9.8 \text{ m/s}^2$, $h=400 \text{ m}$, $\kappa=1.49$)



Şekil 2.4. Salınım frekansının derinlikle değişimi ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $g=9.8 \text{ m/s}^2$, $d_b=100 \text{ mm}$, $\kappa=1.49$)

Tek bir baloncuk tarafından üretilen, akustik basınç sinyali olan P'_b (2.5) denkleminde elde edilir [137].

$$P'_b = P_0 e^{-(\pi\delta f_0 t)} \cos(2\pi f_0 t - \vartheta) \quad (2.5)$$

Burada δ , ϑ , P_0 , t and f_0 sırasıyla, sönüm katsayısı, faz açısı (rad), ses basıncının genliği (Pa), zaman (s) ve salınım frekansdır (Hz). Faz açısı olan ϑ , $(v_0 - V_0) = V_0 (P_t/P_{ortam})$ yaklaşımı kullanılarak (2.6) denkleminle ifade edilebilir [137].

$$\vartheta = \arctan\left(\frac{-\dot{v}_0}{2\pi f_0 (v_0 - V_0)}\right) \quad (2.6)$$

Burada \dot{v}_0 , v_0 , $V_0 (= \frac{4}{3}\pi R_0^3)$ ve P_t sırasıyla hacim hızı (m^3/s), hacim (m^3), P_{ortam} basıncındaki ortalama hacim (m^3) ve aşma basıncıdır (Pa). P_t (2.7) denkleminde ifade edilmiştir.

$$P_t = 2S/R_0 \quad (2.7)$$

Burada R_0 baloncuk yarıçapıdır (m). Eğer baloncuğun yarıçapı deliğin yarıçapından oldukça büyükse hacim hızı olan \dot{v}_0 (2.8) denklemindeki gibi elde edilir [137].

$$\dot{v}_0 = 4\pi R_0^2 \sqrt{\frac{2P_t}{3\rho}} \quad (2.8)$$

Baloncuğun merkezinden d_{ref} referans mesafesi kadar uzaklıktaki akustik basınç sinyalinin genliği olan P_0 (2.9) denkleminle kullanılarak bulunur [137].

$$P_0 = \left(\frac{R_0}{d_{ref}}\right) \sqrt{2\kappa P_{ortam} P_t} \quad (2.9)$$

Baloncukların sürekli bir dizisi tarafından üretilen akustik basınç sinyali olan P_b (2.5) ve (2.9) denklemleri kullanılarak (2.10) denklemindeki gibi elde edilir.

$$P_b = \sum_{i=1}^B P_0 e^{-(\pi\delta f_0 (t - \tau_{b_i}))} \cos\left(2\pi f_0 (t - \tau_{b_i}) - \vartheta\right) \quad (2.10)$$

Burada, B baloncuk sayısı ve τ_{b_i} 1. ve i . baloncuklar arasındaki zaman gecikmesidir. [142]'de sonraki baloncuğun delikten ayrılma anının, genelde önceki baloncuğun genliğindeki ilk minimum değerini oluşturduğu andan sonra olduğu söylenmiştir. Görüldüğü üzere (2.10) denkleminde

zamanla sönümlenen sinüzoidlerin zamanda gecikmiş olarak toplanmasıdır. Bu nedenle (2.10) denkleminden elde edilen işaret sürekli bir sinüs işareti olarak değerlendirilebilir.

2.2.2. Sızıntı Tabanlı Akustik Basınç Sinyali

Sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalini oluşturmak için gerekli olan parametreler Tablo 2.1’de verilmiştir. Tablo 2.2’deki değerler, Tablo 2.1’deki değerler ve (2.1), (2.3), (2.4), (2.6), (2.7), (2.8) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve (2.9), (2.10) denklemleri kullanılarak akustik basınç sinyali üretilmiştir. Söz konusu denklemlerle ilgili detaylı açıklamalar Bölüm 2.2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Varsayılan parametreler

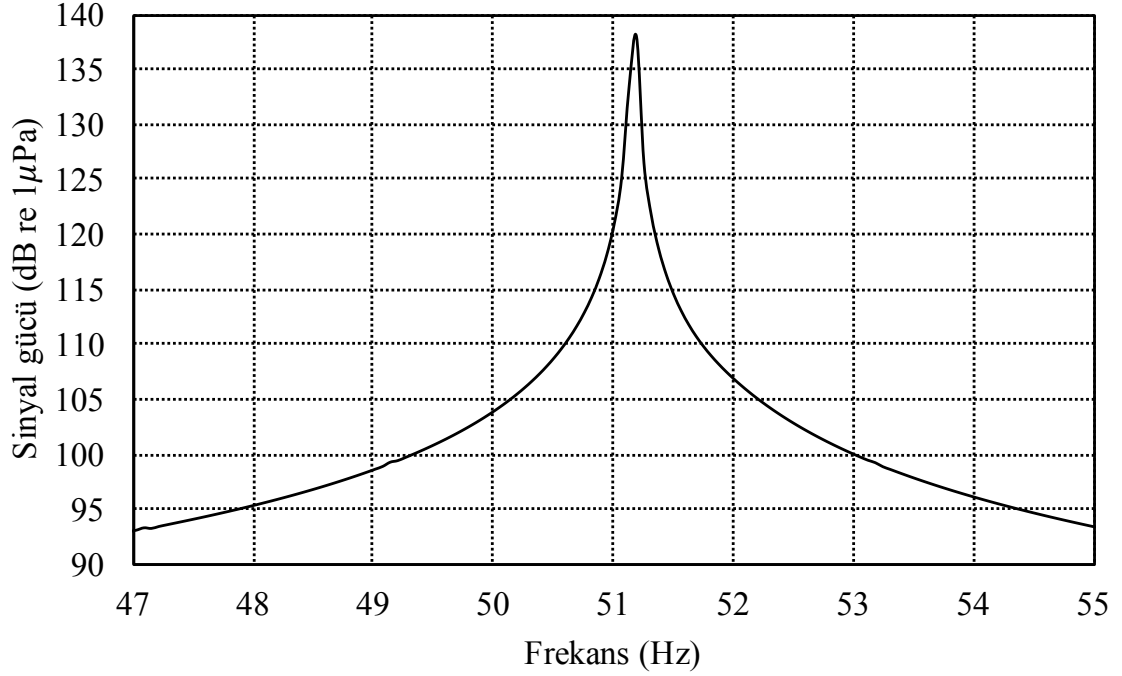
Parametre	Değer
Derinlik (h)	400 m
Su yoğunluğu (ρ)	1000 kg/m ³
Yer çekimi ivmesi (g)	9.8 m/s ²
Sızıntı delik çapı (d_{no})	1 mm
Yüzey gerilmesi (S)	68 mN/m [143]
Gaz akış hızı (Q)	136 m ³ /s
Özel ısı oranı (κ)	1.49 [144]
Referans mesafe (d_{ref})	1 m
Gecikme (τ_b)	19.75 ms

Tablo 2.2. Hesaplanan parametreler

Parametre	Değer
Ortam basıncı (P_{ortam})	3920 kPa
Baloncuk çapı (d_b)	823 mm
Salınım frekansı (f_0)	51.2 Hz
Ortalama hacim (V_0)	0.292 m ³ /s
Sönüm katsayısı (δ)	0.0172
Aşma basıncı (P_t)	0.33 Pa
Hacim hızı (v_0)	31.58 m ³ /s
Faz açısı (ϑ)	$-\pi/2$

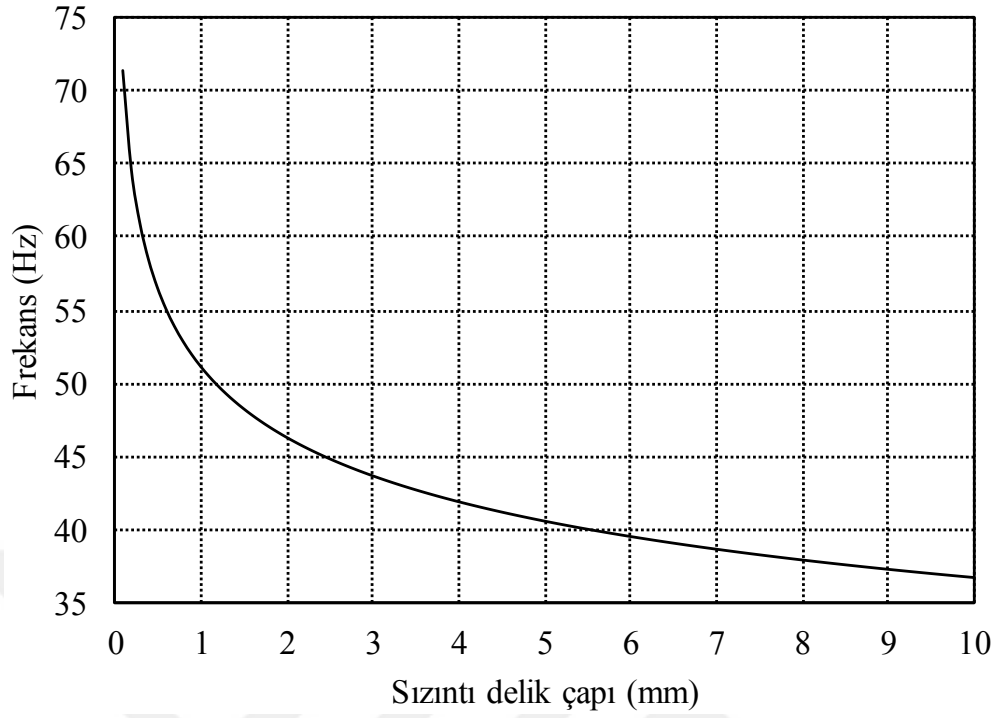
Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 esas alınarak, sızıntı deliği tarafından üretilen akustik basınç sinyalinin frekans spektrumu Şekil 2.5’te gösterilmiştir. (2.1) ve (2.3) denklemlerine göre, akustik basınç sinyalinin frekansı delik çapına bağlıdır. Buna göre, sinyalin frekansı ve sızıntı

delik çapı arasındaki ilişki Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Akustik basınç sinyalinin gücü de sızıntı delik çapına bağlı olup sinyalin gücü ve sızıntı delik çapı arasındaki ilişki Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

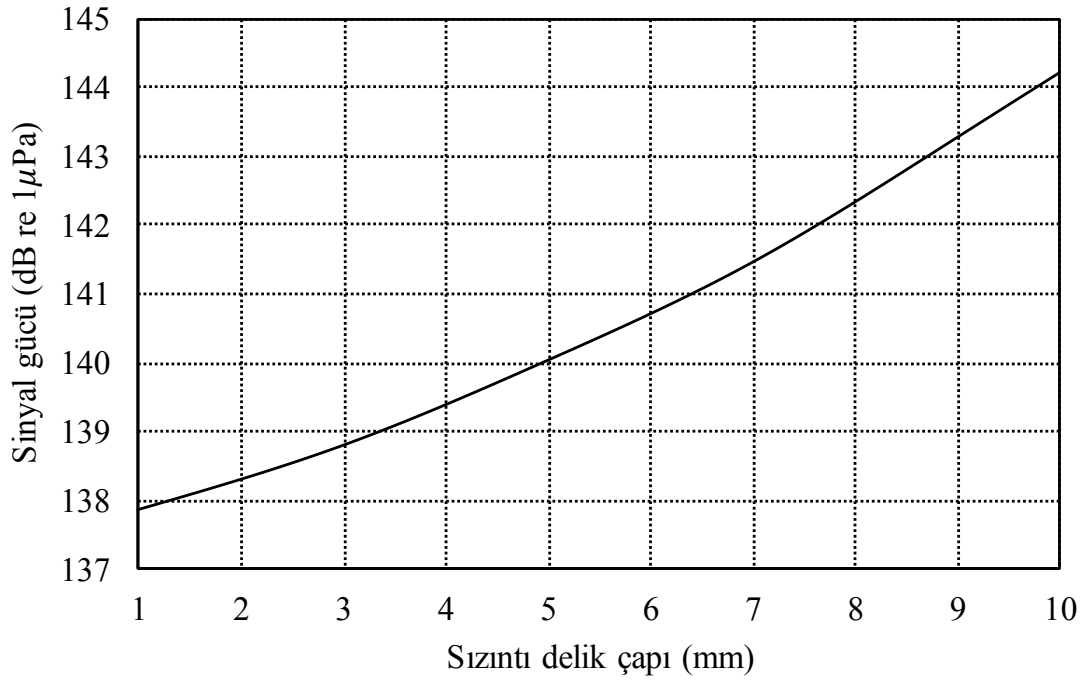


Şekil 2.5. Akustik basınç sinyalinin frekans spektrumu

Bu tezde yapılan benzetim çalışmalarında, sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalini oluşturmak için Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'deki (1 mm sızıntı delik çapı için) parametreler kullanılmıştır. Farklı sızıntı delik çapları için de akustik basınç sinyalleri benzer şekilde oluşturulmuştur. Şekil 2.5'ten görüldüğü üzere sinyalin frekans spektrumu oldukça dar olduğundan benzetim çalışmaları boyunca akustik basınç sinyalinin bant genişliği 3 Hz olarak alınmıştır.



Şekil 2.6. Akustik basınç sinyalinin frekansı ve sızıntı delik çapı arasındaki ilişki



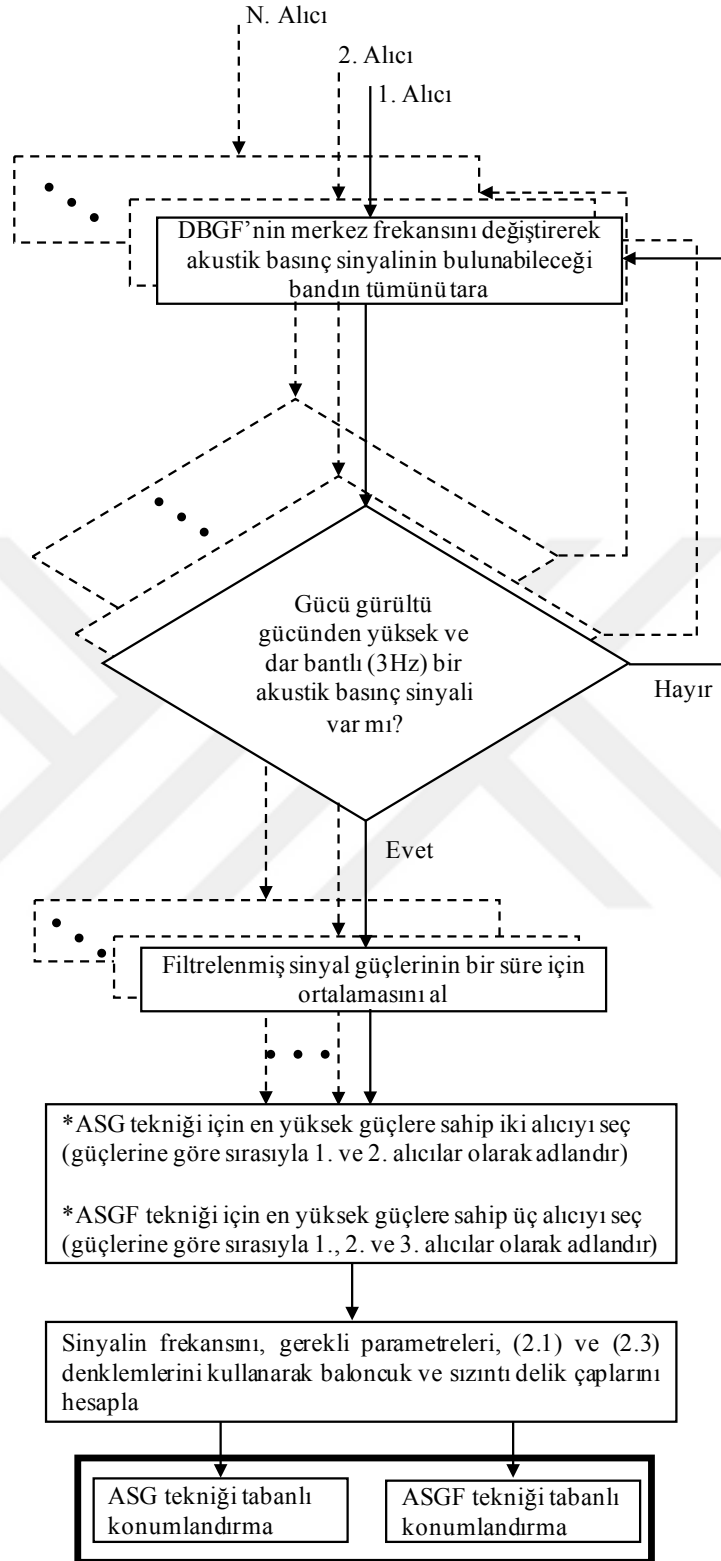
Şekil 2.7. Akustik basınç sinyalinin gücü ve sızıntı delik çapı arasındaki ilişki

2.3. Tek Yollu Sualtı Akustik Kanalında ASG ve ASGF Teknikleri Tabanlı Pasif Akustik Yöntemlerle Konumlandırma

Bu kısımda SDBH'lerdeki sızıntıları konumlandırmak için önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler sunulmuştur.

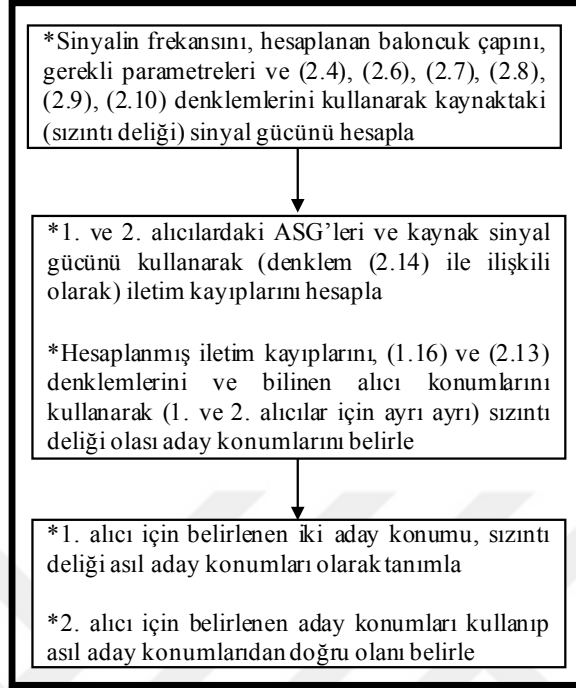
Delinmiş bir SDBH sürekli sinyal yayan bir kaynağa benzetilebilir. Bu kaynağın gücü (sızıntı deliğindeki güç) alınan akustik basınç sinyalinin frekansı, gerekli parametreler ve Bölüm 2.2.1'de verilen denklemler kullanılarak hesaplanabilir. Böylece sızıntı deliği, kaynak gücü bilgisini gerektiren ASG tekniği kullanılarak konumlandırılabilir. Eğer gerekli parametrelerden bazılarının (baloncuklar arası gecikme, gaz akış hızı vb.) değerleri anlık olarak değişiyor ve tam olarak bilinmiyorsa sızıntı deliğindeki sinyal gücü (kaynak gücü) hesaplanamaz. Bu durumda sızıntı delik konumunun tespit edilmesi için ASG tekniği yerine, kaynak gücü bilgisine ihtiyaç duymayan ASGF tekniğinin kullanılması gerekmektedir.

Bu başlık altında, kaynak (sızıntı deliği) gücü bilinen ve bilinmeyen olmak üzere iki durum göz önüne alınmış ve önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler kullanılarak tek boyutlu konumlandırma yapılmıştır. Önerilen yöntemlerin akış diyagramları, ASG ve ASGF teknikleri için ortak olan kısım ve ayrı olan kısım olmak üzere ikiye bölünmüş ve birbirlerini tamamlayacak şekilde sırasıyla Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da verilmiştir. Her iki yöntemde de ilk olarak, alıcılar tarafından alınan akustik basınç sinyalleri birbirine eş olan dar bantlı bant geçiren filtrelerden (DBGF) geçirilir. Bu filtrelerin bant genişliği, Bölüm 2.2.1'de (2.10) denklemiyle açıklandığı üzere akustik basınç sinyalinin çok dar olan spektrumuna göre belirlenir. DBGF'lerin bant genişliği Bölüm 2.2.2'de bahsedildiği üzere 3 Hz olarak alınmıştır. DBGF'lerin merkez frekansı değiştirilerek akustik basınç sinyalinin bulunabileceği bandın tümü taranır. Böylece, aranan akustik basınç sinyali ve ilgili banttaki gürültü dışındaki bütün sinyaller ve gürültü bileşenleri elimine edilir. Eğer tarama işlemi sırasında gücü ortam gürültü gücünden büyük ve dar bantlı bir sinyal tespit edilirse SDBH'de sızıntı olduğu anlaşılır. Sonrasında, ortam gürültü etkisinin azaltılması için filtrelenen sinyallerin güçlerinin bir süre için ortalaması alınır. Bu filtreleme ve gürültü azaltma işlemlerinden sonra ASG tekniği için mevcut alıcılardan en yüksek sinyal gücüne sahip iki alıcı (1. ve 2. alıcılar) ve ASGF tekniği için mevcut alıcılardan en yüksek sinyal gücüne sahip üç alıcı (1. 2. ve 3. alıcılar) seçilir. Bu işlemden sonra, alınan sinyalin frekansı, gerekli parametreler ve (2.1), (2.3) denklemleri kullanılarak baloncuk ve delik çapları hesaplanır. Sadece ASG tekniği için alınan sinyalin frekansı, gerekli parametreler ve (2.4), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) denklemleri kullanılarak

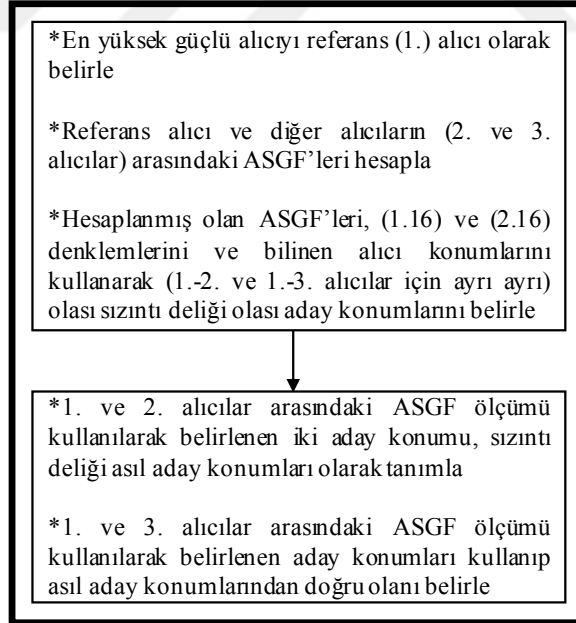


Şekil 2.8. Önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler için ortak akış diyagramı

ASG tekniği tabanlı konumlandırma



ASGF tekniği tabanlı konumlandırma

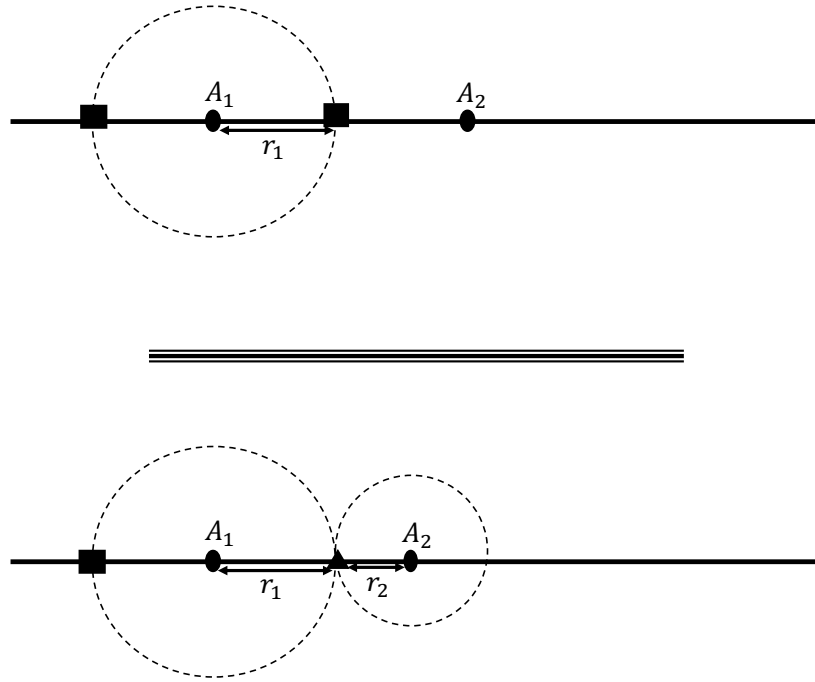


Şekil 2.9. Önerilen ASG ve ASGF teknikleri tabanlı pasif akustik yöntemler için ayrı akış diyagramları

kaynak (sızıntı deliğindeki) sinyal gücü hesaplanır. Son olarak ASG ve ASGF tekniklerinin kullanıldığı konum tespit sürecine geçilir.

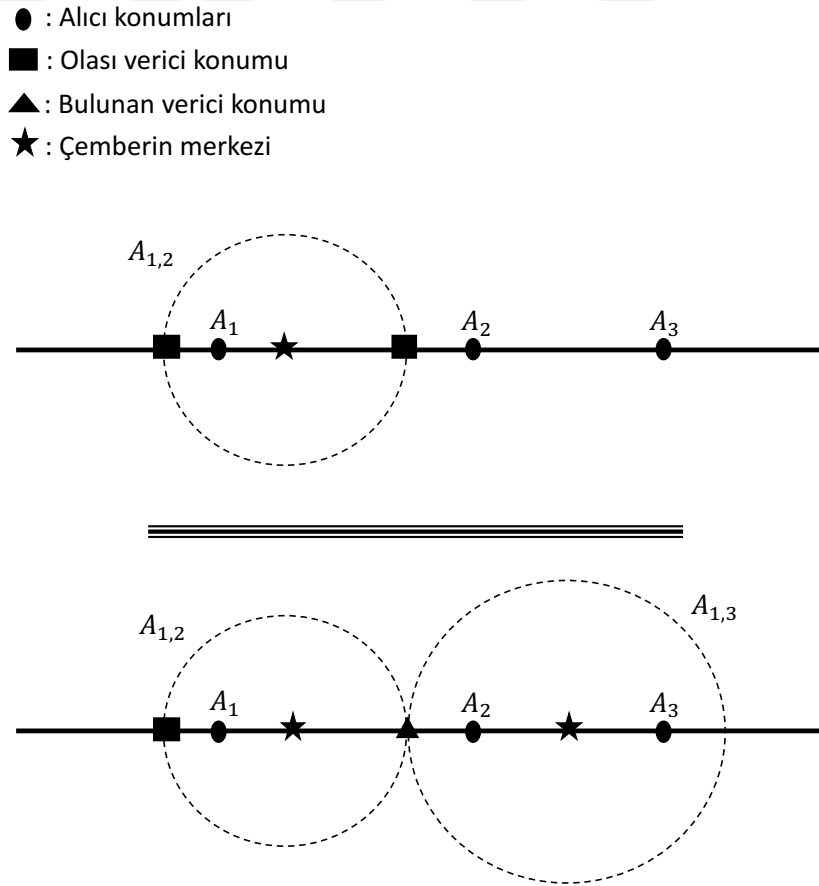
ASG tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti yapabilmek için en az iki alıcı ve iki ASG ölçümüne gerek vardır. ASG tekniğiyle tek boyutlu konumlandırma, Bölüm 1.4.1.1'de verilen bilgiler doğrultusunda Şekil 2.10'daki gibi ifade edilmiştir. Üstteki şekilde, kaynağın konumunun birinci alıcıdaki (A_1) ASG ölçümü kullanılarak oluşturulan ve kesikli çizgiyle gösterilen çembersel konum hattının eksenle kesiştiği iki noktadan birinde olduğu bilgisi verilmiştir. Alttaki şekilde, kaynağın konumunun birinci ve ikinci alıcılardaki (A_1 ve A_2) ASG ölçümleri kullanılarak oluşturulan ve kesikli çizgiyle ifade edilen iki çembersel konum hattının kesiştiği noktada olduğu gösterilmiştir. Bir doğru üstünde (tek boyutta) geometrik olarak bir çember ifade edilemez. Burada kesikli çizgiyle gösterilen çembersel konum hatları zahiri olup Bölüm 1.4.1.1'de anlatılan ASG tekniğinin doğasını temsilen verilmiştir. Burada önemli olan bu zahiri çembersel konum hatlarının (r_1 ve r_2 yarıçaplı) eksenle kesiştiği noktalardır.

- : Alıcı konumları
- : Olası verici konumu
- ▲ : Bulunan verici konumu



Şekil 2.10. ASG tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti

ASGF tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti yapabilmek için en az üç alıcı ve iki ASGF ölçümü gerekir. ASGF tekniğiyle tek boyutlu konumlandırma, Bölüm 1.4.1.2’de verilen bilgiler doğrultusunda Şekil 2.11’deki gibi ifade edilmiştir. Burada A_1 alıcısı referans alıcı olarak seçilmiştir. Üstteki şekilde, kaynağın konumunun referans alıcı (A_1) ile ikinci alıcı (A_2) arasındaki ASGF ölçümü ($A_{1,2}$) kullanılarak elde edilen ve kesikli çizgiyle gösterilen çembersel konum hattının eksenle kesiştiği iki noktadan birinde olduğu bilgisi verilmiştir. Altındaki şekilde, kaynağın konumunun referans alıcı (A_1) ile ikinci alıcı (A_2) ve üçüncü alıcı (A_3) arasındaki ASGF ölçümleri ($A_{1,2}$ ve $A_{1,3}$) kullanılarak elde edilen ve kesikli çizgiyle gösterilen iki çembersel konum hattının kesiştiği noktada olduğu gösterilmiştir. Burada kesikli çizgiyle gösterilen çembersel konum hatları zahiridir ve Bölüm 1.4.1.2’de anlatılan ASGF tekniğinin doğasını temsilen verilmiştir. Burada önemli olan zahiri çembersel konum hatlarının eksenle ve birbirleriyle kesiştiği noktalarıdır.



Şekil 2.11. ASGF tekniğiyle tek boyutlu konum tespiti

Önerilen yöntemlerden, ASG tekniği tabanlı konumlandırmada konum tespit doğruluğunu artırmak için tüm alıcıların içinden (eğer ikiden fazla alıcı varsa) en yüksek

birinci ve ikinci güçlere sahip iki alıcı (sırasıyla birinci ve ikinci alıcılar olarak adlandırılırlar) seçilmiştir. Birinci alıcıdaki ASG ölçümü kullanılarak elde edilen iki konum, sızıntı deliği (asıl) aday konumları olarak tanımlanmıştır. İkinci alıcıdaki ASG ölçümü kullanılarak elde edilen konumlar ise bu aday konumlardan doğru olanı belirlemek için kullanılmıştır. ASGF tekniği tabanlı konumlandırmada ise konum tespit doğruluğunu artırmak için tüm alıcıların içinden (eğer üçten fazla alıcı varsa) en yüksek birinci, ikinci ve üçüncü güçlere sahip üç alıcı (sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü alıcılar olarak adlandırılırlar) seçilmiştir. En yüksek güce sahip olan alıcı (birinci alıcı) referans alıcı olarak belirlenmiştir. Referans alıcı ile ikinci alıcı arasındaki ASGF ölçümü kullanılarak elde edilen iki konum, sızıntı deliği (asıl) aday konumları olarak tanımlanmıştır. Referans alıcı ile üçüncü alıcı arasındaki ASGF ölçümü kullanılarak elde edilen konumlar ise bu aday konumlardan doğru olanı belirlemek için kullanılmıştır.

Bir kaynak (sızıntı deliği) ve Z adet alıcı bulunan sistemde (tek boyutlu uzayda) bilinmeyen kaynak konumu x ve bilinen alıcı konumları x_1, x_2, \dots, x_Z olmak üzere kaynak ve alıcılar arası mesafeler (2.11) denklemiyle ifade edilir.

$$r_m = \sqrt{(x - x_m)^2}, \quad (m = 1, 2, \dots, Z) \quad (2.11)$$

Kaynak ve m . alıcı arasındaki log-normal yol kaybı modeli (2.12) denklemindeki gibi verilmiştir [27].

$$P_m(dB) - P_t(dB) = K_0(dB) - IK_m(dB) + n_m \quad (2.12)$$

Burada P_m m . alıcıdaki güç, P_t kaynak gücü, K_0 referans mesafe (genelde 1 m olarak alınır) için yol kaybı, n_m m . alıcıdaki sıfır ortalamalı ve σ_m^2 varyanslı Gauss dağılımlı gürültü ve IK_m kaynak ile m . alıcı arasındaki iletim kaybı olup (2.13) denklemde verilmiştir.

$$IK_m(dB) = r_m \frac{\alpha_{dB}(f)}{1000} + k10 \log_{10} r_m \quad (2.13)$$

Burada k yayılım faktörüdür. $\alpha_{dB}(f)$ frekansın (f kHz cinsinden) bir fonksiyonu olarak dB/km cinsinden zayıflatma katsayısı olup (1.16) denklemde verilmiştir. (2.12) denklemi yeniden düzenlenerek (2.14) denklemindeki gibi ifade edilebilir.

$$IK_m(dB) = P_t(dB) - P_m(dB) + K_0(dB) + n_m \quad (2.14)$$

Referans (1.) alıcı ve n . ($n = 2, \dots, Z$) alıcı arasındaki ASGF (2.15) denklemindeki gibi verilebilir.

$$\hat{\Delta}P_{1n} = P_1 - P_n = \Delta P_{1n} + n_{1n} \quad (2.15)$$

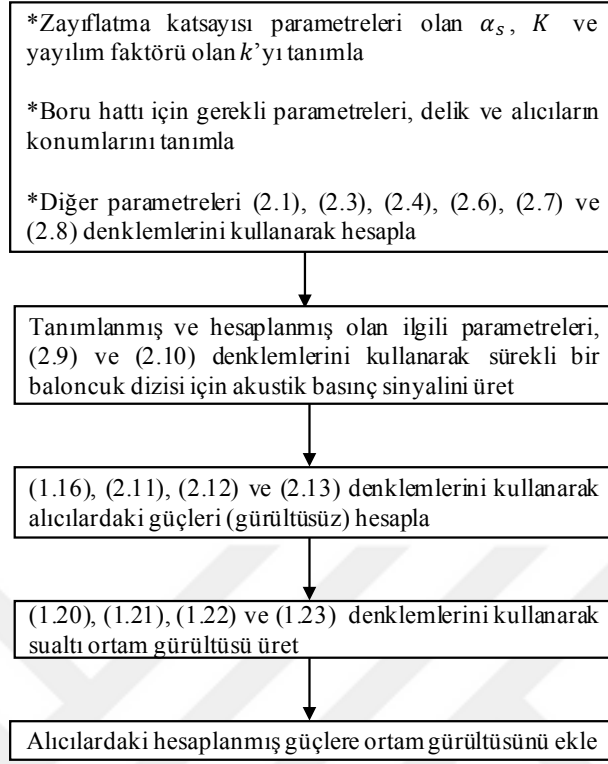
Burada n_{1n} sıfır ortalamalı ve σ_{1n}^2 ($\sigma_1^2 + \sigma_n^2$) varyanslı Gauss dağılımlı gürültüdür. ΔP_{1n} (2.16) denkleminde verilmiştir.

$$\Delta P_{1n} = (r_n - r_1) \frac{\alpha_{dB}(f)}{1000} + k10 \log_{10} \left(\frac{r_n}{r_1} \right) \quad (2.16)$$

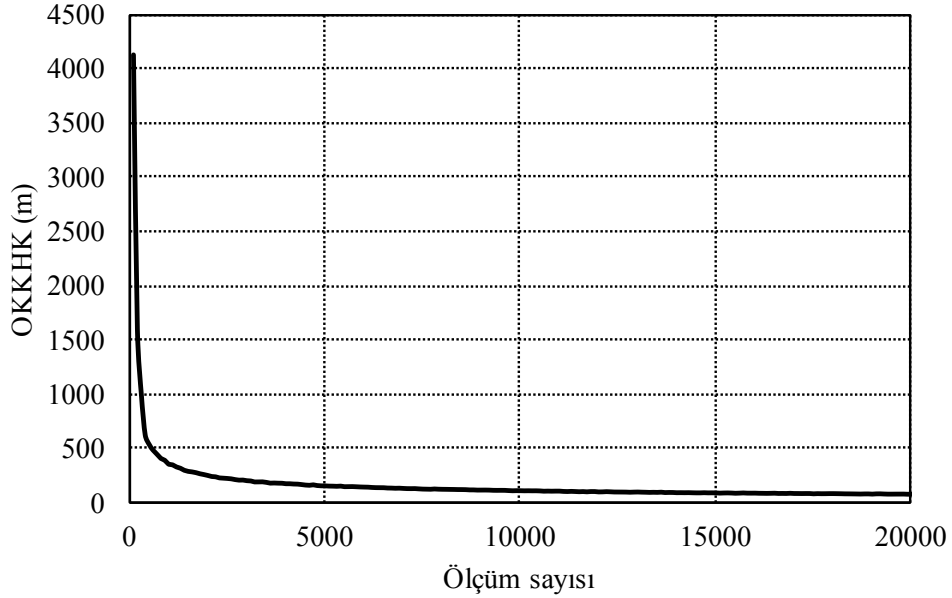
2.3.1. Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemlerin başarımlarının değerlendirilmesi için oluşturulan benzetim sisteminde Bölüm 2.1'de bahsedilen SDBH (20 km uzunluğa sahip) örnek olarak alınmıştır. Oluşturulan benzetim sisteminin ilk kısmında, sızıntı deliğinden çıkıp alıcılara ulaşan akustik basınç sinyali simüle edilmiş ve Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Benzetim çalışmalarında ilk olarak, tek boyutlu konum tespiti (ASG tekniği tabanlı), ölçüm sayısı (filtrelenen sinyallerin güçlerinin ortalamasının alındığı süreye karşılık gelmektedir) ve ortalama karesel konum hatasının karekökü (OKKHK) arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılmış ve bu ilişki Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Burada sızıntı delik konumu, alıcı konumları (iki alıcı), sızıntı delik çapı, Beaufort skalası, gemi aktivite faktörü ve Monte Carlo (MC) deneme sayısı sırasıyla $x = 0$ m, $x_1 = 5000$ m ve $x_2 = 6000$ m, 1 mm, 8 (19 m/s rüzgar hızına karşılık düşer), 0.1 ve 5000 olarak alınmıştır. Şekil 2.13'ten görüldüğü üzere, 20000 ölçüm hata tabanına ulaşmak için yeterlidir. Bu nedenle benzetim çalışmalarında MC deneme sayısı ve ölçüm sayıları sırasıyla 5000 ve 20000 olarak alınmıştır. Zayıflatma katsayısı hesabında kullanılan α_s , K değerleri ve yayılım faktörü k sırasıyla 3×10^{-3} dB/km, 0.9 ve 2 olarak alınmıştır.

İkinci olarak, önerilen yöntemlerin konumlandırma başarımları farklı alıcı sayıları (Durum-I), sızıntı delik çapları (Durum-II) ve ortam gürültüleri (Durum-III) olmak üzere üç değişik durum için incelenmiştir. Bu incelemeler takip eden varsayımlar altında yapılmıştır. Alıcıdaki ortam gürültüsü, akustik basınç sinyalinin bant genişliği olan 3 Hz için verilmiştir. Sızıntı deliğinin konumu 0-20 km arasında değiştirilmiştir. Önerilen konum tespit yöntemleri için ele alınan bütün durumlar Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te verilmiştir. Burada BS, GAF ve SDC sırasıyla Beaufort skalası, gemi aktivite faktörü ve sızıntı delik çapını ifade etmektedir.



Şekil 2.12. Sızıntı deliğinden alıcıya gelen akustik basınç sinyali için akış diyagramı



Şekil 2.13. OKKHK ve ölçüm sayısı arasındaki ilişki

Tablo 2.3. Durumlar için değişkenler

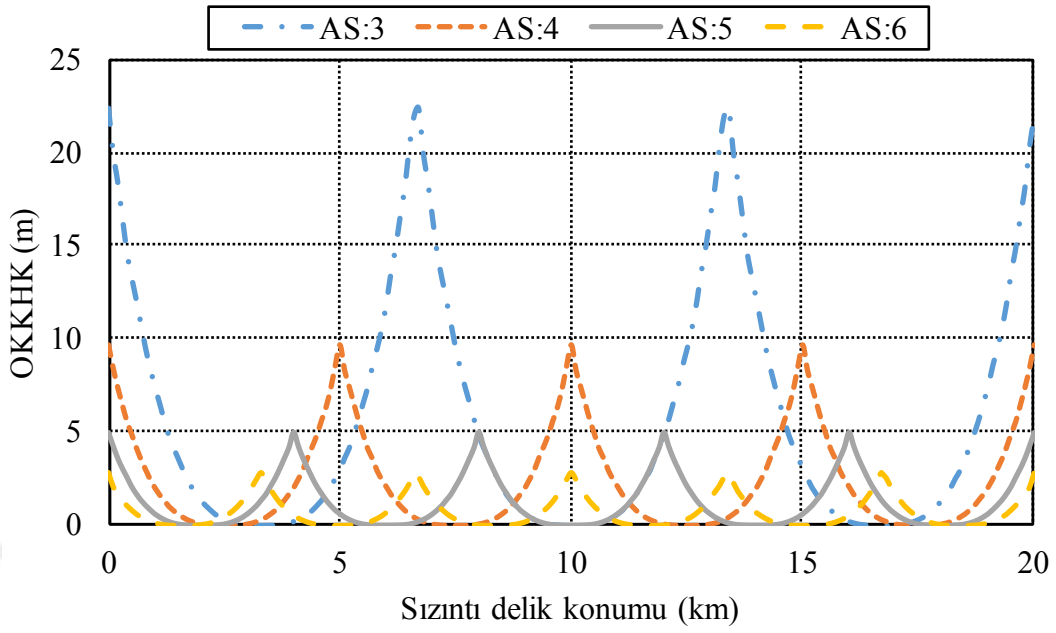
Durum	Alıcı konumları (km) (x_1, \dots, x_z)	Ortam gürültüsü	SDÇ (mm)
I (ASG)	(3.25, 10, 16.75)	N_3	1
	(2.5, 7.5, 12.5, 17.5)		
I (ASGF)	(2, 6, 10, 14, 18)	N_3	1, 5, 10
	(1.6, 4.96, 8.32, 11.68, 15.04, 18.4)		
	(0.75, 10, 19.25)		
II (ASG)	(0.5, 6.83, 13.16, 19.5)	N_3	1
	(0.4, 5.2, 10, 14.8, 19.6)		
	(0.3, 4.18, 8.06, 11.94, 15.82, 19.7)		
II (ASGF)	(2, 6, 10, 14, 18)	N_3	1, 5, 10
III (ASG)	(0.4, 5.2, 10, 14.8, 19.6)		
III (ASGF)	(2, 6, 10, 14, 18)	N_1, N_2, N_3, N_4, N_5	1
	(0.4, 5.2, 10, 14.8, 19.6)		

Tablo 2.4. Farklı ortam gürültüleri

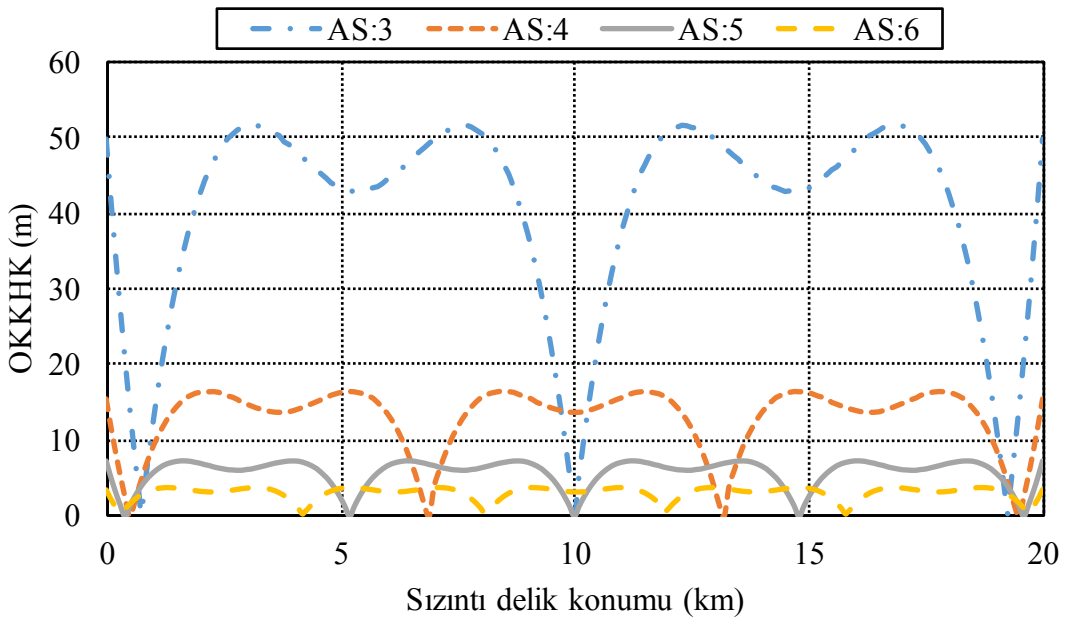
Ortam gürültüsü (Bileşenleri)	(BS, GAF)
N_1 (N_d ve N_{tr})	(0, -)
N_2 (N_d ve N_{tr})	(8, -)
N_3 (N_t, N_g, N_d ve N_{tr})	(8, 0.1)
N_4 (N_t, N_g, N_d ve N_{tr})	(8, 0.3)
N_5 (N_t, N_g, N_d ve N_{tr})	(8, 0.5)

Durum-I'de alıcı sayıları 3, 4, 5 ve 6 olarak alınmıştır. Bu alıcıların konumları (en iyi sonuçlar için) Tablo 2.3'teki gibi alınmıştır. Farklı alıcı sayıları için OKKHK ve sızıntı delik konumu arasındaki ilişkiler, ASG ve ASGF teknikleri için sırasıyla Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Burada alıcı sayısı AS ile ifade edilmiştir. Buradan görüldüğü üzere artan alıcı sayısı ile beraber OKKHK'da ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Alıcı sayısı arttıkça her iki tekniğin maksimum OKKHK'ları arasındaki farklar azalmıştır.

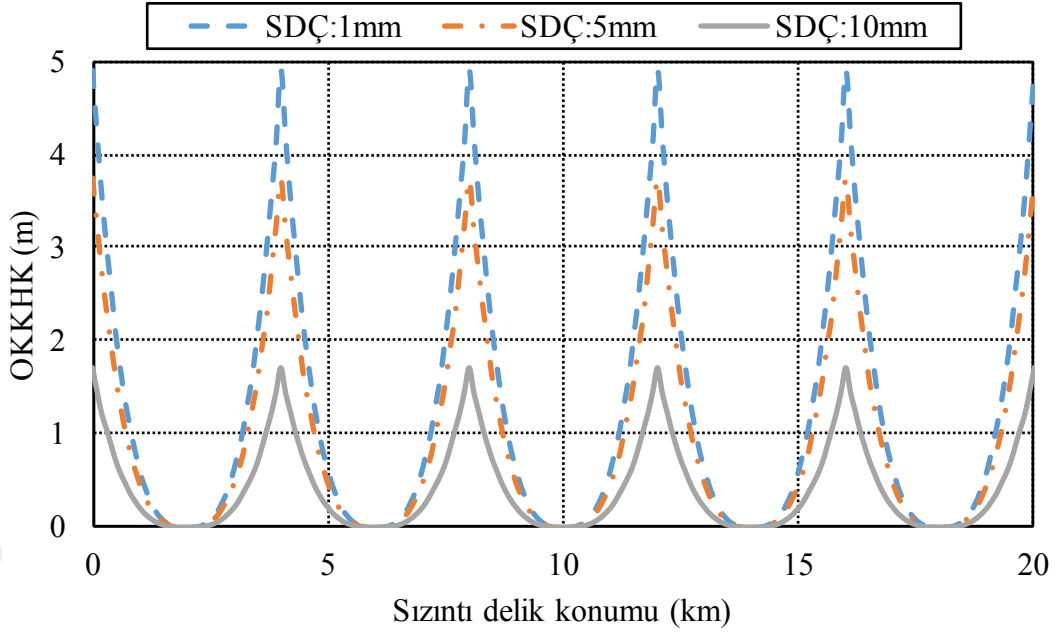
Durum-II'de SDÇ'ler 1 mm, 5 mm ve 10 mm olarak alınmıştır. Farklı SDÇ'ler için OKKHK ve sızıntı delik konumu arasındaki ilişkiler, ASG ve ASGF teknikleri için sırasıyla Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere OKKHK sızıntı delik çapı arttıkça azalmıştır. Başka bir ifadeyle, geniş çaplı sızıntı delikleri daha kolay konumlandırılabilir.



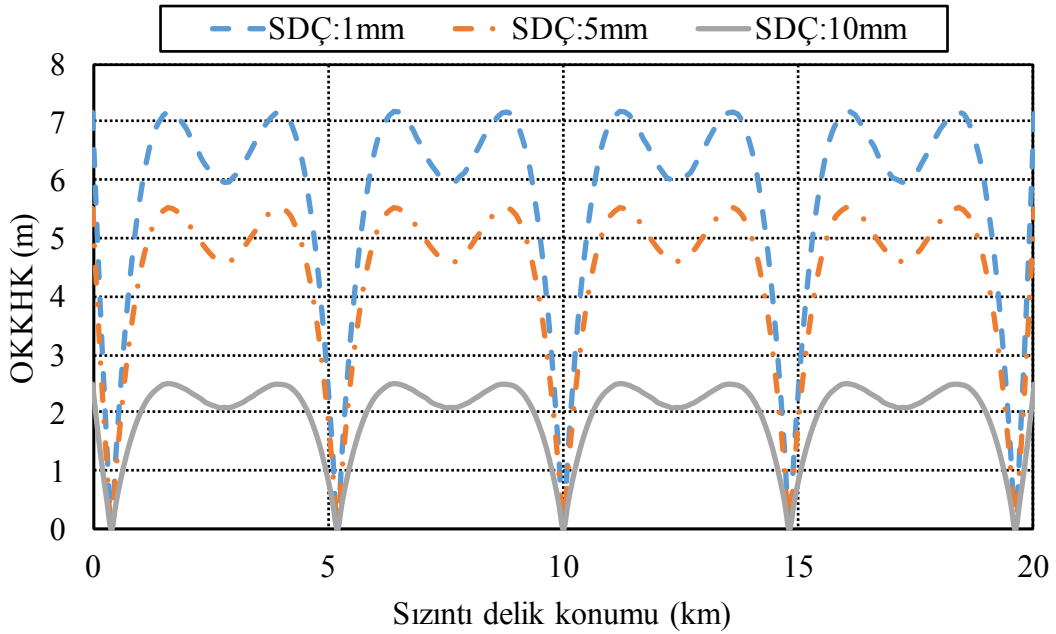
Şekil 2.14. ASG tekniği ve farklı alıcı sayıları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi



Şekil 2.15. ASGF tekniği ve farklı alıcı sayıları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi



Şekil 2.16. ASG tekniği ve farklı sızıntı delik çapları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi

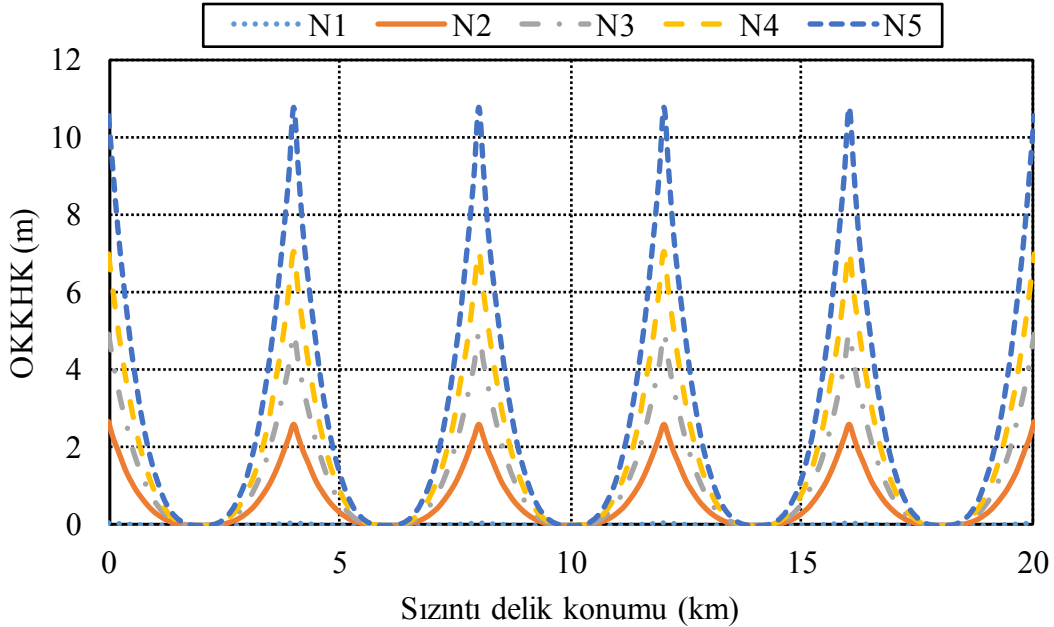


Şekil 2.17. ASGF tekniği ve farklı sızıntı delik çapları için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi

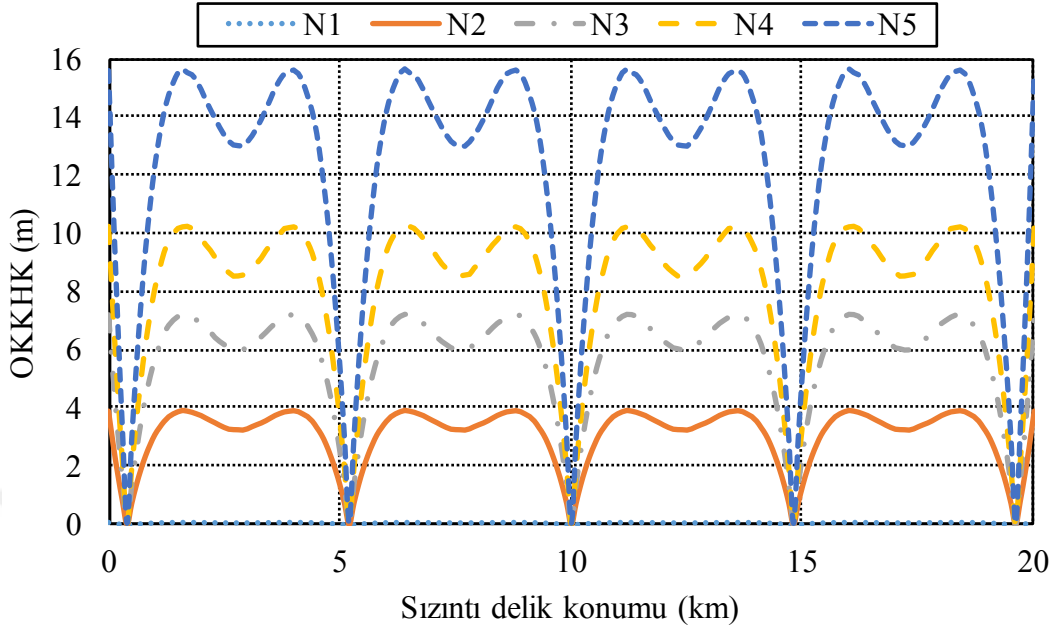
Durum-III'te N_1 , N_2 , N_3 , N_4 ve N_5 olmak üzere beş farklı ortam gürültüsü (Tablo 2.4) göz önüne alınmıştır. Denizdeki en düşük ortam gürültüsü olan N_1 'in (Bölüm 1.5.2.1'de

bahsedildiği üzere) ve burada alınan en yüksek ortam gürültüsü olan N_5 'in güçleri sırasıyla 43 ve 87 dB re $1\mu\text{Pa}$ 'dır. Farklı ortam gürültü güçleri için OKKHK ve sızıntı delik konumu arasındaki ilişkiler, ASG ve ASGF teknikleri için sırasıyla Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Burada, artan ortam gürültüsüyle OKKHK'nın arttığı açıkça görülmektedir. Bu şekillerde, N_1 ortam gürültüsü için maksimum OKKHK değerleri, ASG ve ASGF teknikleri için sırasıyla 0.06 m ve 0.09 m olup neredeyse sızıntı delik konumu ekseninin üstündedir.

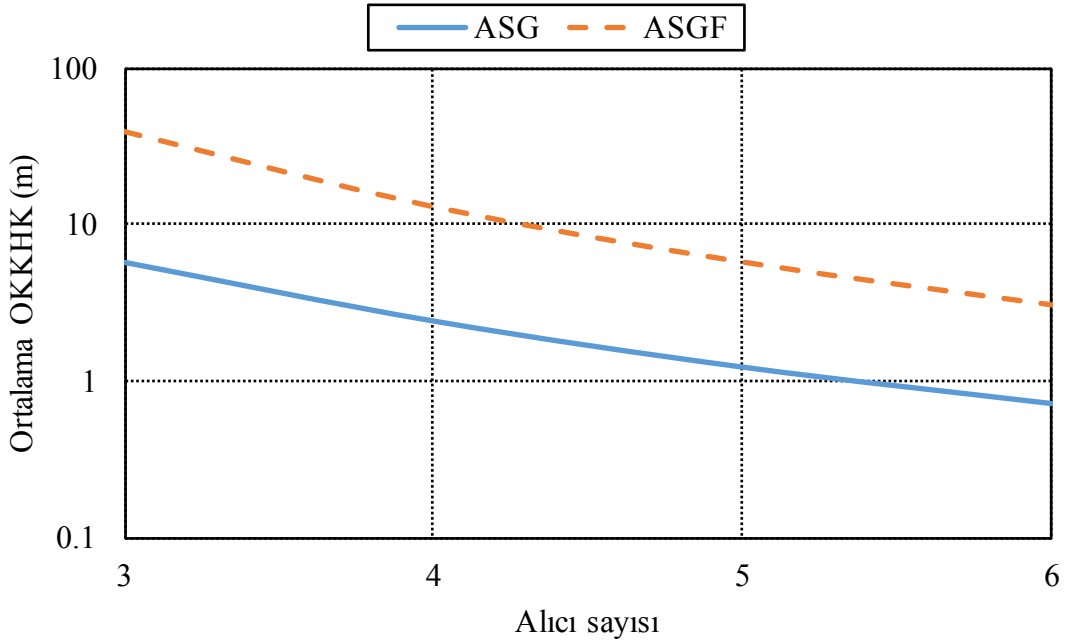
ASG ve ASGF teknikleri için alıcı sayısı (Durum-I) ile ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler Şekil 2.20'de verilmiştir. Ortalama OKKHK, 0-20 km arasında değiştirilen sızıntı delik konumları için elde edilen OKKHK'ların ortalamasıdır. Her iki teknik için SDÇ (Durum-II) ve ortam gürültüsü (Durum-III) ile ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler Şekil 2.21'de verilmiştir. Burada, teknik-durum çiftleri ASG-II, ASGF-II, ASG-III ve ASGF-III olarak ifade edilmiştir. Şekillerden görüldüğü ve beklendiği üzere, alıcı sayısı ve SDÇ arttıkça OKKHK azalırken, ortam gürültü gücü arttıkça OKKHK artmaktadır. Durum-I (5 alıcılı) için her iki teknik kullanılarak elde edilen konum hatalarının olasılık yoğunlukları Şekil 2.22'de verilmiştir. ASG ve ASGF teknikleri için konum hataları sırasıyla %99.8 ve %90 olasılıklarla 10 m'den daha düşüktür.



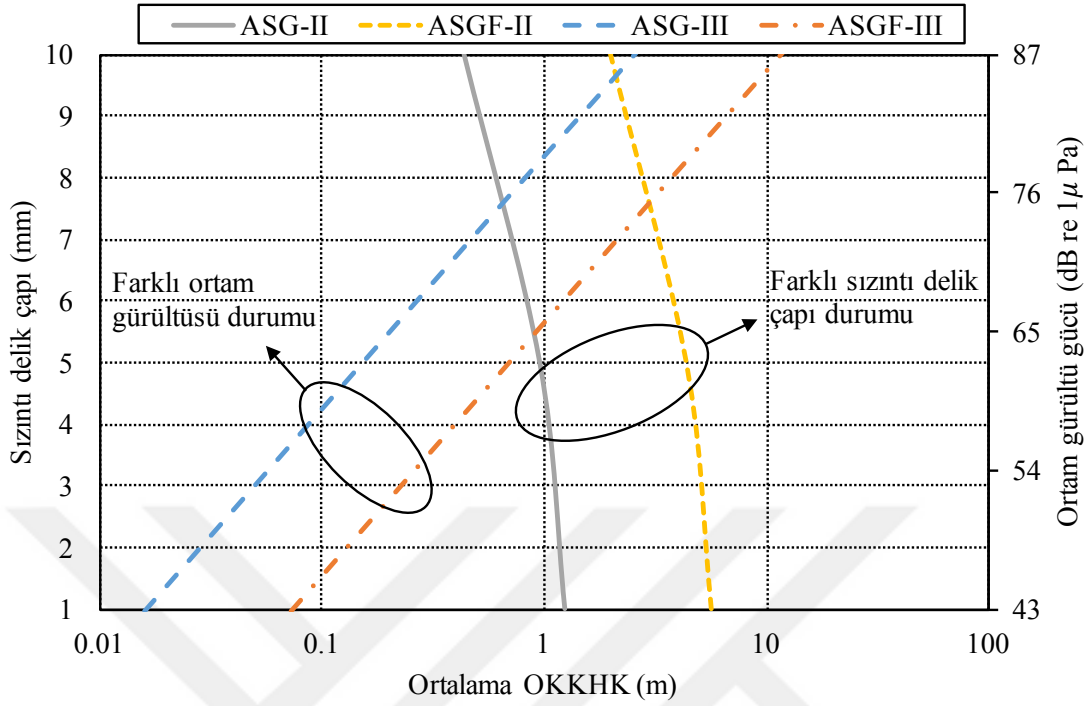
Şekil 2.18. ASG tekniği ve farklı ortam gürültüleri için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi



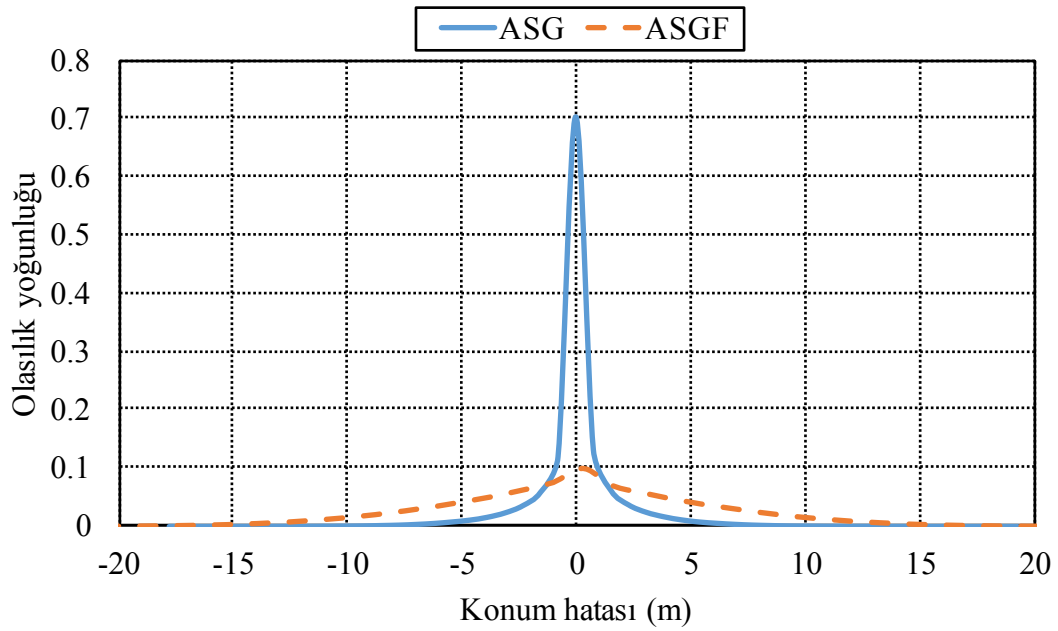
Şekil 2.19. ASGF tekniği ve farklı ortam gürültüleri için OKKHK-sızıntı delik konumu ilişkisi



Şekil 2.20. ASG ve ASGF teknikleri için alıcı sayıları-ortalama OKKHK ilişkisi



Şekil 2.21. ASG ve ASGF teknikleri için sızıntı delik çapları ve ortam gürültüleri-ortalama OKKHK ilişkileri



Şekil 2.22. ASG ve ASGF teknikleri için konum hatalarının olasılık yoğunlukları

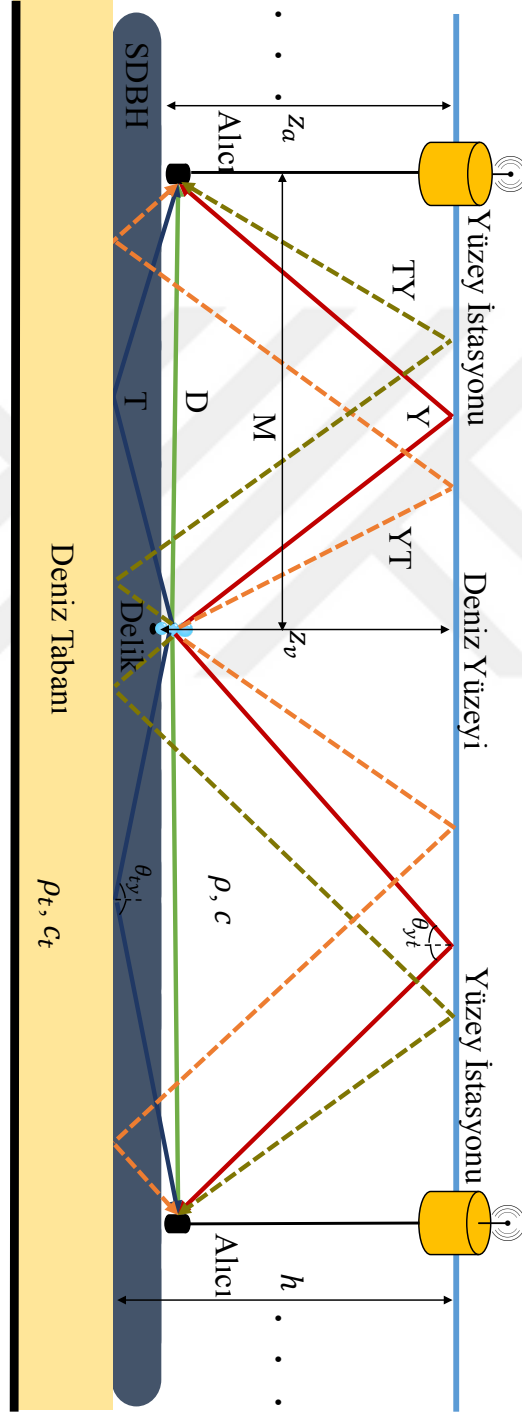
2.4. Zamanla Değişmeyen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalında Parmak İzi Yöntemiyle Konumlandırma

Bu kısımda, (Bölüm 2.1’de bahsedilen ortak durumlar göz önüne alınarak) SDBH’ler deniz ortamında bilinen bir doğrultu boyunca ilerlediğinden, üç boyutlu konum tespit problemi tek boyuta indirgenmiştir ve Şekil 2.23’tekine benzer bir konum tespit sistemi oluşturulduğu düşünülmüştür. Bu sistemde farklı sayıdaki alıcıların eşit aralıklarla yerleştirilmiş yüzey istasyonlarından SDBH’nin tam üstüne sarkıtıldığı, alıcılar yardımıyla alınan akustik basınç sinyallerinin bir kıyı istasyonuna gönderildiği ve burada önerilen konum tespit yönteminin uygulandığı varsayılmıştır. Kanal modeli olarak, Bölüm 1.6.1’de bahsedilen, zamanla değişmeyen ve çok yollu olan sabit kanal modeli kullanılmıştır. Kullanılan kanalın yapısı Şekil 2.23’te gösterilmiştir. Burada z_v , verici (sızıntı deliği) derinliği, z_a alıcı derinliği, h deniz derinliği ve M verici-alıcı arasındaki yatay mesafedir. D , Y , T , YT ve TY sırasıyla direk ışını, yüzeyden yansıyan ışını, tabandan yansıyan ışını, önce yüzeyden sonra tabandan yansıyan ışını ve önce tabandan sonra yüzeyden yansıyan ışını temsil etmektedir.

Alıcılar tarafından alınan sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalleri sualtı akustik kanalı ve sızıntı delik çapına bağlı, belirli bir frekansa sahip sinüzoidal işaretlerdir. Bu nedenle, (Bölüm 2.3’te bahsedildiği üzere) SDBH’deki sızıntıdan dolayı oluşan akustik basınç sinyalinin bulunabileceği tüm spektrum, alıcı tarafta 3 Hz’lik bant geçiren filtrelerden geçirilerek taranır. Sonrasında, filtrelenen sinyallerin güçlerinin bir süre için ortalaması alınır ve böylece ortam gürültü etkisi azaltılır. Tespit edilen sinyalin frekansı, Bölüm 2.2.2’de bahsedilen gerekli parametreler ve Bölüm 2.2.1’de verilen denklemler kullanılarak akustik basınç sinyalinin delikten çıkış gücü hesaplanabilir.

Sinyalin delikten çıkış gücü ve alıcılara ulaştığı güç bilindiği halde çok yolluluğun etkin olduğu ve bunun etkisiyle bayılmanın olduğu durumlarda konumlandırmanın düşük hatalarla yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, konum tespiti için parmak izi yöntemi önerilmiştir. Tek boyutlu konumlandırma için önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 2.24’te verilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak, SDBH’de bir delik olduğu ve delik konumunun kısa aralıklarla tüm SDBH’yi tarayacak şekilde değiştirildiği varsayılır. Böylece, değiştirilen her delik konumu için alıcılara ulaşması gereken gürültüsüz sinyallerin güçleri hesaplanıp kaydedilerek parmak izi haritaları oluşturulur. Sonrasında konumu bilinmeyen bir delikten alıcılara ulaşan sinyallerin güçleri, kaydedilmiş olan parmak izi haritalarıyla KEYK algoritması kullanılarak eşleştirilir ve delik konumlandırılır. KEYK algoritmasında, kaydedilmiş olan parmak izi

haritalarıyla, konumu bilinmeyen bir delikten alıcılara ulaşan sinyallerin güçleri arasındaki Öklid mesafeleri (1.9) denklemine göre bulunur. Daha sonra, bu mesafeler sıralanır ve en düşük mesafeye sahip olan k tane komşu seçilir. Delik konumu, seçilen k tane komşunun konularının ortalaması alınarak bulunur.

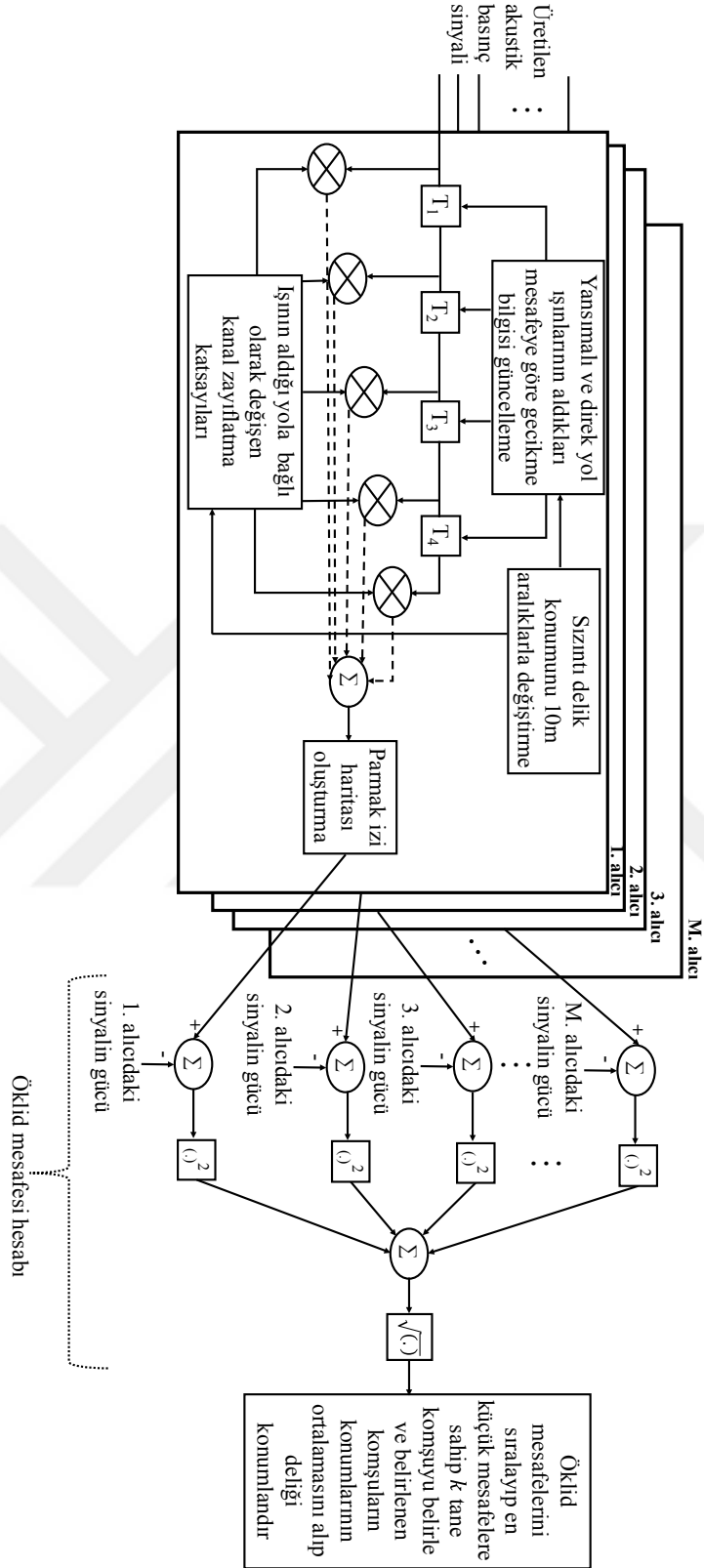


Şekil 2.23. Kanal yapısı

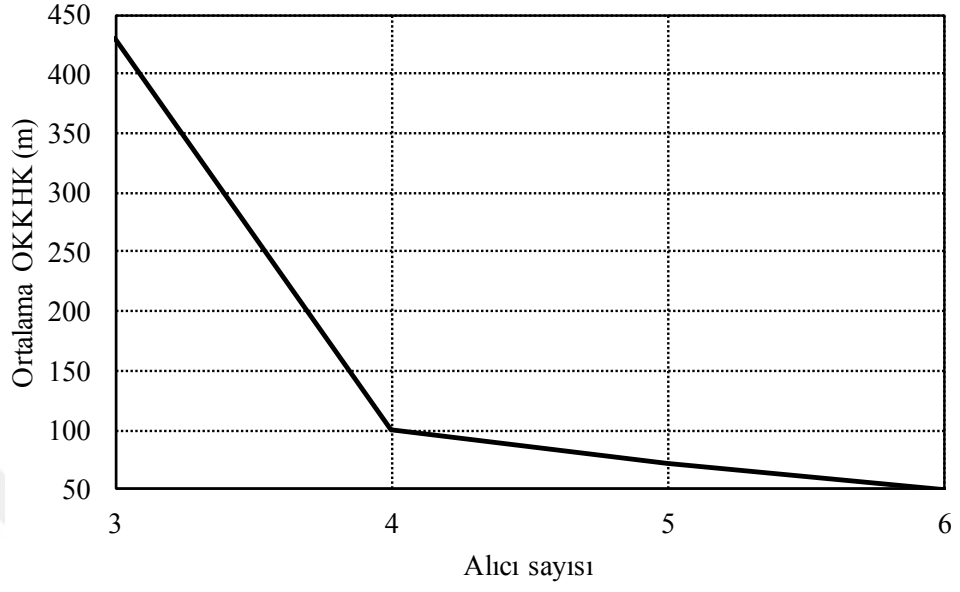
2.4.1. Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemin konumlandırma başarımının değerlendirilmesi için yapılan benzetim çalışmalarında Bölüm 2.1’de bahsedilen SDBH (20 km uzunluğa sahip) örnek olarak alınmıştır. Akustik basınç sinyali, Bölüm 2.2.2’de bahsedildiği üzere Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve (2.9), (2.10) denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Zayıflatma katsayısı hesabında kullanılan α_s , K değerleri ve yayılım faktörü k sırasıyla 3×10^{-3} dB/km, 0.9 ve 2 olarak alınmıştır. Deniz tabanı yoğunluğu, deniz suyundaki ses hızı ve deniz tabanındaki ses hızı değerleri sırasıyla $\rho_t=1800$ kg/m³, $c=1500$ m/s ve $c_t=1200$ m/s olarak alınmıştır.

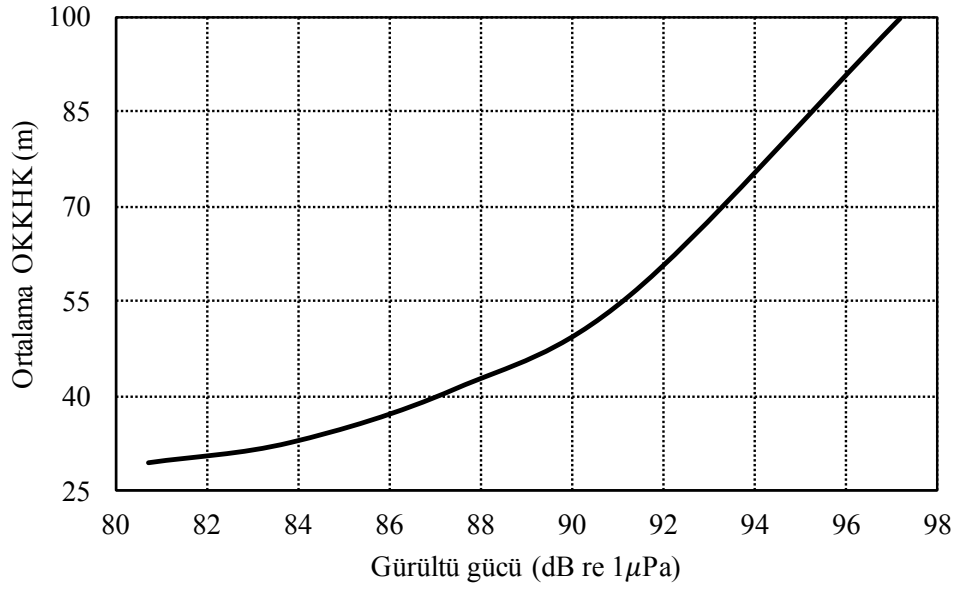
Önerilen konum tespit yönteminin başarımı, farklı ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayısı olmak üzere iki değişik durum için incelenmiştir. Alıcılardaki ortam gürültüsü 3 Hz bant genişliği için hesaplanmıştır. Sızıntı delik konumu 0-20 km arasında 10 m aralıklarla değiştirilmiştir. MC deneme sayısı 1000 olarak alınmıştır. kEYK algoritmasında $k=3$ olarak alınmıştır. (2.5, 7.5, 12.5, 17.5) km konumlarındaki 4 alıcının kullanıldığı farklı ortam gürültüsü durumu için N_1, N_2, N_3, N_4 ve N_5 olmak üzere beş farklı ortam gürültüsü göz önüne alınmıştır. Bu gürültüler, Bölüm 1.5.2.1’de bahsedilen tüm gürültü bileşenlerini içermektedir. Bu ortam gürültüleri için rüzgar hızı $w=19$ m/s (Beaufort skalası: 8) ve gemi aktivite faktörleri sırasıyla 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ve 1 olarak alınmıştır. Sadece N_5 gürültüsünün kullanıldığı farklı alıcı sayısı durumu için alıcı sayıları 3, 4, 5 ve 6 olarak alınmıştır. Bu alıcıların konumları sırasıyla (3.25, 10, 16.75) km, (2.5, 7.5, 12.5, 17.5) km, (2, 6, 10, 14, 18) km ve (2.5, 5.5, 8.5, 11.5, 14.5, 17.5) km olarak alınmıştır. 0-20 km arasında değiştirilen delik konumları için elde edilen ortalama OKKHK ve alıcı sayısı arasındaki ilişki Şekil 2.25’te sunulmuştur. Görüldüğü üzere artan alıcı sayısı ile ortalama OKKHK ciddi miktarda azalmaktadır. 0-20 km arasında değiştirilen delik konumları için elde edilen ortalama OKKHK ve farklı ortam gürültü güçleri arasındaki ilişki Şekil 2.26’da gösterilmiştir. Burada kabul edilen en düşük ortam gürültüsü olan N_1 ve en yüksek ortam gürültüsü olan N_5 ’in güçleri sırasıyla 80.76 ve 97.2 dB re $1 \mu\text{Pa}$ ’dır. Şekilde görüldüğü gibi artan ortam gürültü gücü hatayı önemli ölçüde artırmaktadır. Farklı ortam gürültüsü durumu için elde edilen konum hatalarının olasılık yoğunlukları Şekil 2.27’de gösterilmiştir. Konum hatalarının 100 m’den daha düşük olma olasılıkları N_1, N_2, N_3, N_4 ve N_5 ortam gürültüleri için sırasıyla %95.23, %94.73, %93.20, %90.38 ve %82.63’dür. Farklı alıcı sayısı durumu için elde edilen konum hatalarının olasılık yoğunlukları Şekil 2.28’de gösterilmiştir. Konum hatalarının 100 m’den daha düşük olma olasılıkları 3, 4, 5 ve 6 alıcı için sırasıyla %59.71, %82.63, %90.84 ve %93.05’dir.



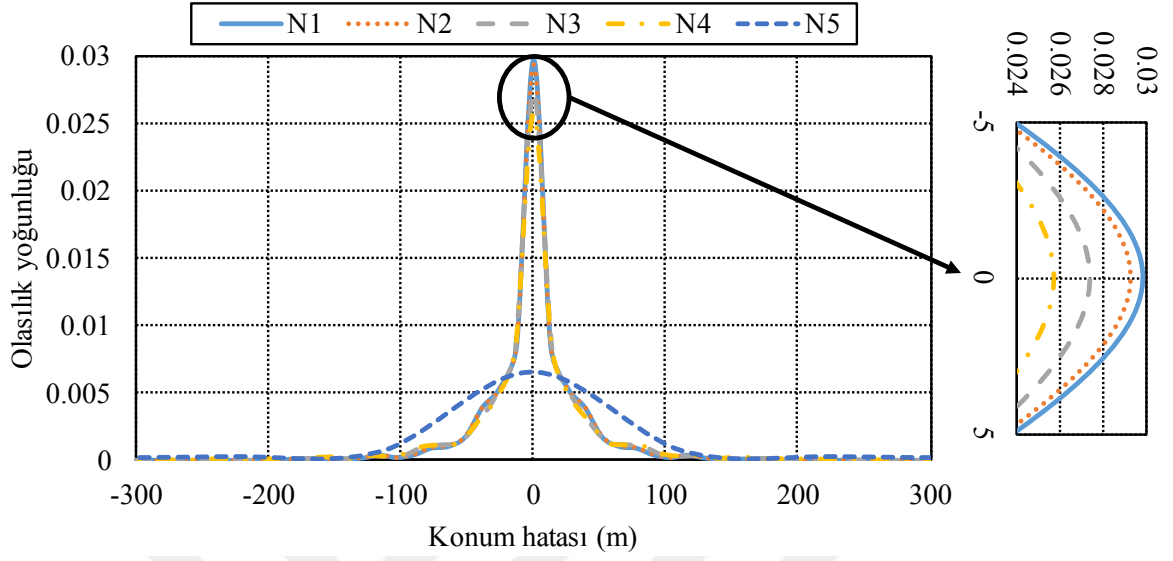
Şekil 2.24. Zamanla değişmeyen çok yollu kanalda parmak izi yöntemiyle konumlandırma için blok diyagramı



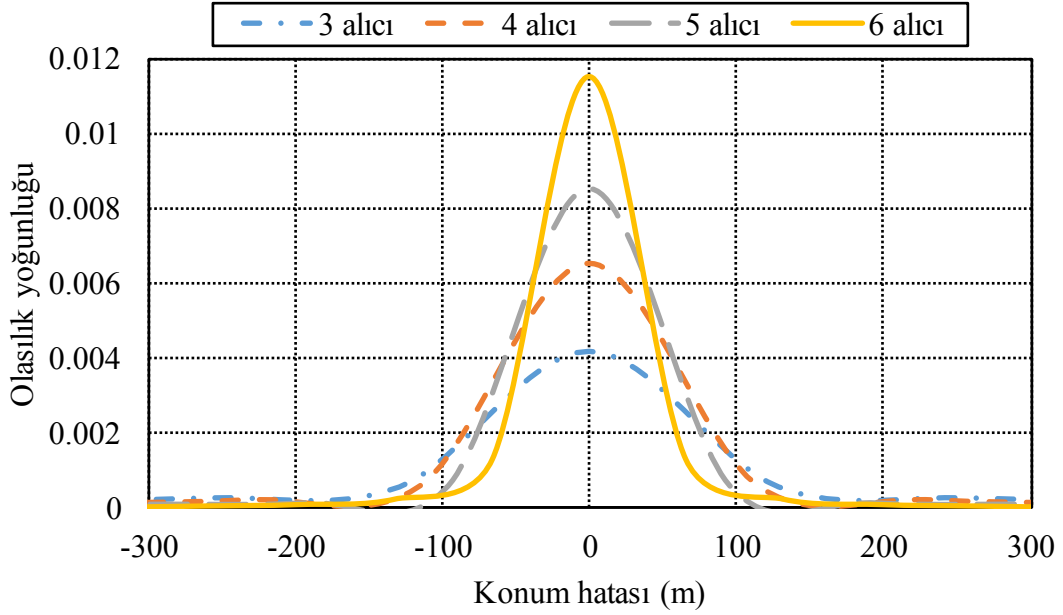
Şekil 2.25. Ortalama OKKHK ve alıcı sayısı ilişkisi



Şekil 2.26. Ortalama OKKHK ve ortam gürültü gücü ilişkisi



Şekil 2.27. Farklı ortam gürültüsü durumu için konum hatalarının olasılık yoğunlukları



Şekil 2.28. Farklı alıcı sayısı durumu için konum hatalarının olasılık yoğunlukları

2.5. Zamanla Değişen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalı Sinyal Gücü Tabanlı Eğri Uydurma Yöntemiyle Konumlandırma

Bu kısımda, Bölüm 2.1’de bahsedildiği üzere, Şekil 2.1’deki gibi bir konum tespit sistemi oluşturulduğu düşünülmüş ve üç boyutlu konum tespit problemi tek boyuta indirgenmiştir. Bölüm 1.6.2’de detaylı olarak anlatılan, zamanla değişen ve çok yollu olan değişken kanal modeli göz önüne alınmış ve bu kanal modelini öneren yazarlar tarafından [129]’da geliştirilmiş olan sualtı akustik kanal simülatörü kullanılmıştır. Bu simülatörde büyük-ölçekli benzetimler için ses hızının sabit ve deniz yüzeyinin/tabasının düzgün kabul edildiği basitleştirilmiş ışın izleme yazılımı veya alternatif olarak Bellhop ışın izleme yazılımı sunulmuştur. Bellhop ışın izleme yazılımında, belirli bir ses hızı profili (derinliğe bağlı olarak ses hızının değişimi) ve belirli bir deniz taban yapısı için ışın izleme yapılmaktadır. Ancak ses hızı profili ve deniz taban yapısı bölgesel farklılıklar gösterdiğinden, belirli bir bölge için yapılan ışın izleme işlemi farklı bir bölge için doğru olmayacaktır. Bu nedenle, bu kısımda, daha genel olması açısından büyük-ölçekli benzetimler için hesaplama karmaşıklığı yüksek olan Bellhop yerine, [145]’te de kullanılan basitleştirilmiş ışın izleme yazılımı ve küçük-ölçekli benzetimler için direk model kullanılmıştır.

Alıcılar tarafından alınan (sızıntı tabanlı) akustik basınç sinyalleri, sualtı akustik kanalı ve sızıntı delik çapına bağlı, belirli bir frekansa sahip sinüzoidal işaretlerdir. Bundan dolayı, Bölüm 2.3’te anlatıldığı üzere akustik basınç sinyalinin mevcut olabileceği tüm spektrum alıcı tarafta 3 Hz bant genişliğine sahip DBGF’lerden geçirilerek taranır. Sonra, filtrelenen sinyallerin güçlerinin bir süre için ortalaması alınarak ortam gürültü etkisi azaltılır. Belirlenen sinyalin frekansı, Bölüm 2.2.2’de bahsedilen gerekli parametreler ve Bölüm 2.2.1’deki denklemler kullanılarak akustik basınç sinyalinin delikten çıkış gücü bulunabilir.

Delikten çıkan sinyalin gücünün ve alınan sinyallerin güçlerinin bilinmesine rağmen kanaldaki konum belirsizliklerinin, saçılmanın ve hareketli deniz yüzeyinin neden olduğu bayılma etkisi azaltılmadan sızıntı deliğinin konumunu düşük hatalarla tespit etmek mümkün değildir. Bunun için önerilen yöntem aşağıdaki gibi anlatılmıştır (alınan sinyellere yukarıda anlatılan filtreleme ve gürültü etkisini azaltma işlemleri uygulanmıştır). Yöntemde ilk olarak, sızıntı deliği-alıcı arası mesafe tüm SDBH’yi kapsayacak şekilde kısa aralıklarla değiştirilerek her mesafe için (sinyalin delikten çıkış gücü hesaplanabildiğinden ve kanal modeli bilindiğinden) alıcıya ulaşması gereken gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyalin gücünün zamana göre ortalaması hesaplanıp kaydedilir. Ancak delik-alıcı

arasındaki mesafe arttıkça düzenli olarak azalması gereken alınan ortalama sinyal gücü, kanalın bayılma etkisinden dolayı düzensiz bir azalma (toplamda azalan ancak aralarda artış ve azalış şeklinde dalgalanma gösteren) gösterir. Yüksek konumlandırma hatalarına neden olan bu düzensiz azalmayı düzenli bir hale getirmek için kaydedilen ortalama sinyal gücü ve delik-alıcı arası mesafe veri seti (eğrisi) Gauss modeline uydurulur. Sonrasında, konumu bilinmeyen bir delik için alıcılara ulaşan ortalama sinyal güçlerinin, uydurulmuş olan eğrideki değerlerine karşılık düşen mesafe değerleri söz konusu delik ile alıcılar arasındaki mesafeler olarak belirlenir. Son olarak ise DEKK, ADEKK, DOEKK ve PSO algoritmaları kullanılarak sızıntı deliğinin konumu tespit edilir.

Tek boyutlu uzayda x bilinmeyen delik konumu ve $x_z (z = 1, 2, \dots, m)$ bilinen alıcı konumları olmak üzere delik-alıcı arası mesafe $d_z = \sqrt{(x_z - x)^2}$ olarak ifade edilir. Eğri yardımıyla bulunan delik-alıcı arası mesafe \hat{d}_z olmak üzere, DEKK algoritması kullanılarak bilinmeyen delik konumu (2.17) denkleminde bulunur (Bölüm 1.7.1).

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (2.17)$$

Burada A ve b sırasıyla (2.18) ve (2.19) denklemlerinde verilmiştir. \hat{x} tahmin edilecek delik konumudur.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z \\ \vdots \\ x_m - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$b = 0.5 \begin{bmatrix} \left(x_1^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z^2 \right) - \left(\hat{d}_1^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \hat{d}_z^2 \right) \\ \vdots \\ \left(x_m^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m x_z^2 \right) - \left(\hat{d}_m^2 - \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \hat{d}_z^2 \right) \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

ADEKK algoritmasıyla bilinmeyen delik konumu, (1.64), (2.18) ve (2.19) denklemlerinde verilen matrisler (2.20) denkleminde yerine yazılarak bulunur. Burada W ağırlıklandırma matrisidir.

$$\hat{x} = (A^T W A)^{-1} A^T W b \quad (2.20)$$

Bölüm 1.7.2’de bahsedildiği üzere, DOEKK algoritmasıyla bilinmeyen delik konumu (2.21) denklemindeki maliyet fonksiyonunun minimize edilmesiyle bulunabilir.

$$J(\hat{x}) = \sum_{z=1}^m \left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \hat{x})^2} \right)^2 \quad (2.21)$$

Minimizasyon işlemini gerçekleştirmek için bu tezde, düşük hesaplama karmaşıklığından dolayı literatürde sıklıkla tercih edilen en dik iniş yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre \hat{x} , (2.22) denklemi kullanılarak bulunabilir.

$$\hat{x}^{k+1} = \hat{x}^k - \mu \nabla \left(J(\hat{x}^k) \right) \quad (2.22)$$

Burada k yineleme sayısı, μ adım büyüklüğü ve $\nabla(\cdot)$ gradyan vektörüdür. $\nabla(J(\hat{x}))$, (2.23) denkleminde verilmiştir. En dik iniş yönteminin durma kriteri olarak yineleme sayısı seçilmiştir.

$$\nabla(J(\hat{x})) = \frac{\partial J(\hat{x})}{\partial \hat{x}} = \sum_{z=1}^m 2(x_z - \hat{x}) \left(\frac{\hat{d}_z}{\sqrt{(x_z - \hat{x})^2}} - 1 \right) \quad (2.23)$$

Bölüm 1.7.3’te bahsedildiği üzere, PSO algoritmasıyla bilinmeyen delik konumu aşağıda anlatıldığı üzere bulunabilir.

1. Oluşturulan parçacıklar tanımlanan tek boyutlu problem uzayında (yani SDBH boyunca) rastgele konumlandırılır.
2. (2.24) denklemindeki maliyet fonksiyonu kullanılarak parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
3. Parçacıkların mevcut konumları $pbest_j$ olarak atanır ve $gbest$ belirlenir.
4. Parçacıkların hızları ve konumları (1.70) ve (1.71) denklemlerine göre güncellenir.
5. Parçacıkların tanımlanan problem uzayı içinde olup olmadıkları kontrol edilir. Eğer problem uzayı dışına çıkan parçacık/parçacıklar varsa bunların konumu problem uzayı içerisinde olacak şekilde ayarlanır.
6. Parçacıkların yeni konumları için uygunluk değerleri (2.24) denkleminde göre hesaplanır ve $pbest_j$ ve $gbest$ değerleri güncellenir.

7. Belirlenmiş olan adım sayısına ulaşıncaya kadar işlemler 4. basamaktan itibaren tekrarlanır.

$$J(p_j) = \sum_{z=1}^m \left(\hat{d}_z - \sqrt{(x_z - \hat{x}_j)^2} \right)^2, \quad z = 1, 2, \dots, m \quad (2.24)$$

Burada $p_j = \hat{x}_j$ ve j parçacık indisidir.

2.5.1. Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntem ve kullanılan algoritmaların konumlandırma başarımlarının değerlendirilmesi için yapılan benzetim çalışmalarında Bölüm 2.1’de bahsedilen SDBH (10 km uzunluğa sahip) örnek olarak alınmıştır. Akustik basınç sinyali, Bölüm 2.2.2’de bahsedildiği üzere Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve (2.9), (2.10) denklemleri kullanılarak elde edilmiştir.

Zamanla değişen çok yollu sualtı akustik kanal modelinde ([129]’daki kanal simülatöründe) kullanılan parametreler Tablo 2.5 ve Tablo 2.6’da verilmiştir. Kesim faktörü, alınan ışın sayısına bir sınırlama getirmek için kullanılmıştır. Direkt gelen sinyalin gücü kesim faktörüne bölünerek, gücü bu değer altında olan sinyaller ihmal edilmiştir. Küçük-ölçekli benzetim parametrelerinin tüm yollar için sabit olduğu varsayılmıştır. Bu parametrelerin kullanıldığı kanal model denklemleri [61]’de detaylı olarak anlatılmıştır.

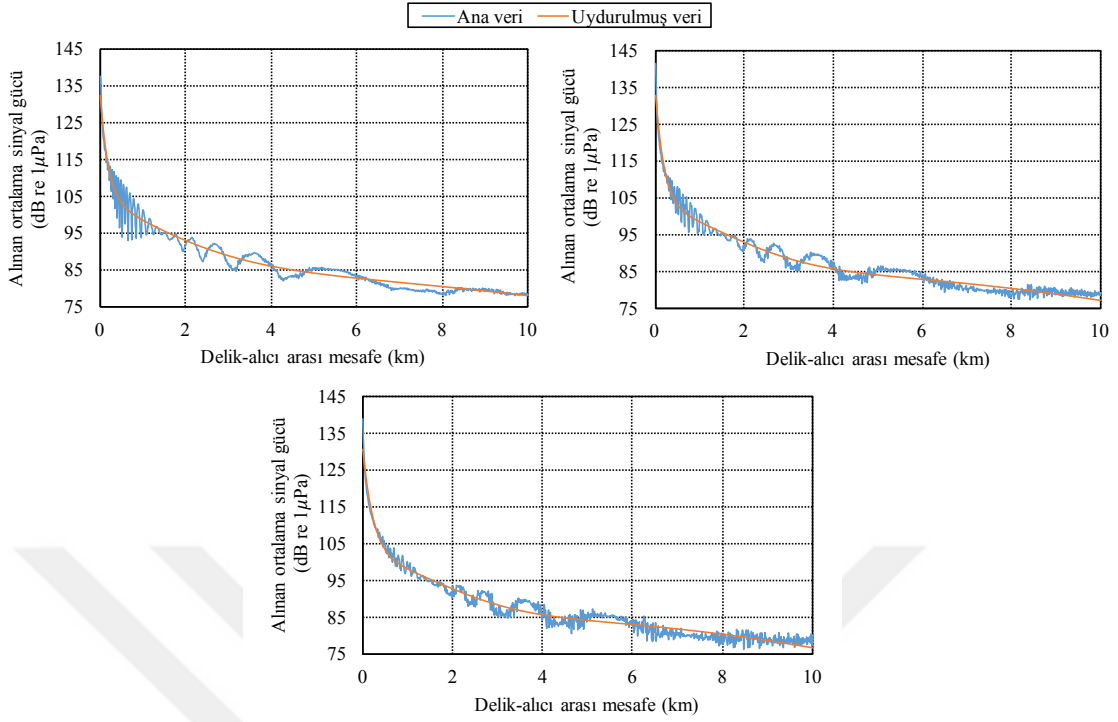
Kullanılan kanal modelinde (kanal simülatöründe), 1 m, 3 m ve 5 m dalga yükseklikleri (A_w) için sızıntı deliği-alıcı arasındaki mesafe 0-10 km arasında 10 m aralıklarla değiştirilerek, alınan gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları hesaplanmıştır. Böylece ortalama sinyal gücü-mesafe veri setleri elde edilmiştir. Bu veri setleri üç terimli Gauss modeline uydurulmuş olup bu işlem Matlab R2014a’da eğri uydurma araç çubuğu kullanılarak yapılmıştır. 1 m, 3 m ve 5 m dalga yükseklikleri için elde edilen (ana) veri setleri ve uydurulmuş eğriler Şekil 2.29’da gösterilmiştir. ADEKK algoritması için ağırlık matrisi oluşturulurken ortam gürültüsünün varyansı göz önüne alınmıştır. DOEKK algoritmasında, steepest descent yöntemi için başlangıç değeri, adım büyüklüğü ve yineleme sayısı sırasıyla $\hat{x}^0=5000$ m, $\mu=0.01$ ve 100 olarak alındı. PSO algoritmasında, parçacık sayısı, yineleme sayısı, problem boyutu, en büyük atalet katsayısı, en küçük atalet katsayısı ve öğrenme faktörleri sırasıyla 100, 100, $b=1$, $w_{a,max}=0.9$, $w_{a,min}=0.4$ ve $c_1=2$, $c_2=2$ olarak alınmıştır. Tüm benzetimlerde takip eden varsayımlar yapılmıştır. MC deneme sayısı 1000 olarak alınmıştır. Alıcılardaki ortam gürültüsü 3 Hz bant genişliği için

Tablo 2.5. Kanal ve yüzey dalga parametreleri

Parametre	Değer
Boru hattı ve deniz derinliği (h)	400 m
Sızıntı deliğinin derinliği (h_d)	400 m
Alıcı derinliği (h_a)	398 m
Delik-alıcı arası mesafe (d)	0-10 km
Yayılm faktörü (k)	2
Frekanstan bağımsız ek zayıflatma katsayısı (α_s)	0.003 dB/km
Bor tabanlı etkilerin bölgesel değişimine bağlı katsayı (K)	0.9
Sudaki ses hızı (c)	1500 m/s
Deniz tabanındaki ses hızı (c_t)	1200 m/s
Suyun yoğunluğu (ρ)	1000 kg/m ³
Deniz tabanının yoğunluğu (ρ_t)	1800 kg/m ³
Kesim faktörü (α_{kes})	20
Minimum frekans (f_{min})	49.7 Hz
Bant genişliği (BG)	3 Hz
Frekans çözünürlüğü (df)	0.003 Hz
Zaman çözünürlüğü (dt)	0.1 s
Dalga genliği (yükseliği) (Aw)	1-5 m
Dalga frekansı (f_w)	0.1 Hz

Tablo 2.6. Büyük-ölçekli ve küçük-ölçekli benzetim parametreleri

Parametre	Değer
Toplam benzetim sinyali süresi (T_{top})	80 s
Deniz yüzey yüksekliğinin değişim aralığı (h_{yzy})	[-10 10] m
Alıcı yüksekliğinin değişim aralığı (h_{alc})	[0 5] m
Kanal mesafesinin değişim aralığı (h_{knl})	[-20 20] m
Deniz yüzey yüksekliğinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması ($\sigma_{h_{yzy}}$)	1
Alıcı yüksekliğinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması ($\sigma_{h_{alc}}$)	1
Kanal mesafesinin büyük-ölçek değişimlerinin standart sapması ($\sigma_{d_{knl}}$)	1
Büyük-ölçekli değişimleri üretmek için kullanılan AR parametresi	0.9
Küçük-ölçekli yüzey değişimlerinin varyansı (σ_y^2)	1.125
Küçük-ölçekli taban değişimlerinin varyansı (σ_t^2)	0.5625
Küçük-ölçekli değişimler için bağdaşım zamanı (T_{kd})	40 s
Alt yol gecikmelerinin güç spektral yoğunluklarının 3-dB genişliği (B_{δ_p})	0.0005
Alt yol sayısı (S_p)	20
Alt yol genliklerinin ortalaması (μ_p)	0.025
Alt yol genliklerinin varyansı (v_p)	0.000001



Şekil 2.29. 1 m (üst-sol), 3 m (üst-sağ) ve 5 m (alt) dalga yükseklikleri için elde edilmiş ve üç terimli Gauss modeline göre uydurulmuş veri setleri

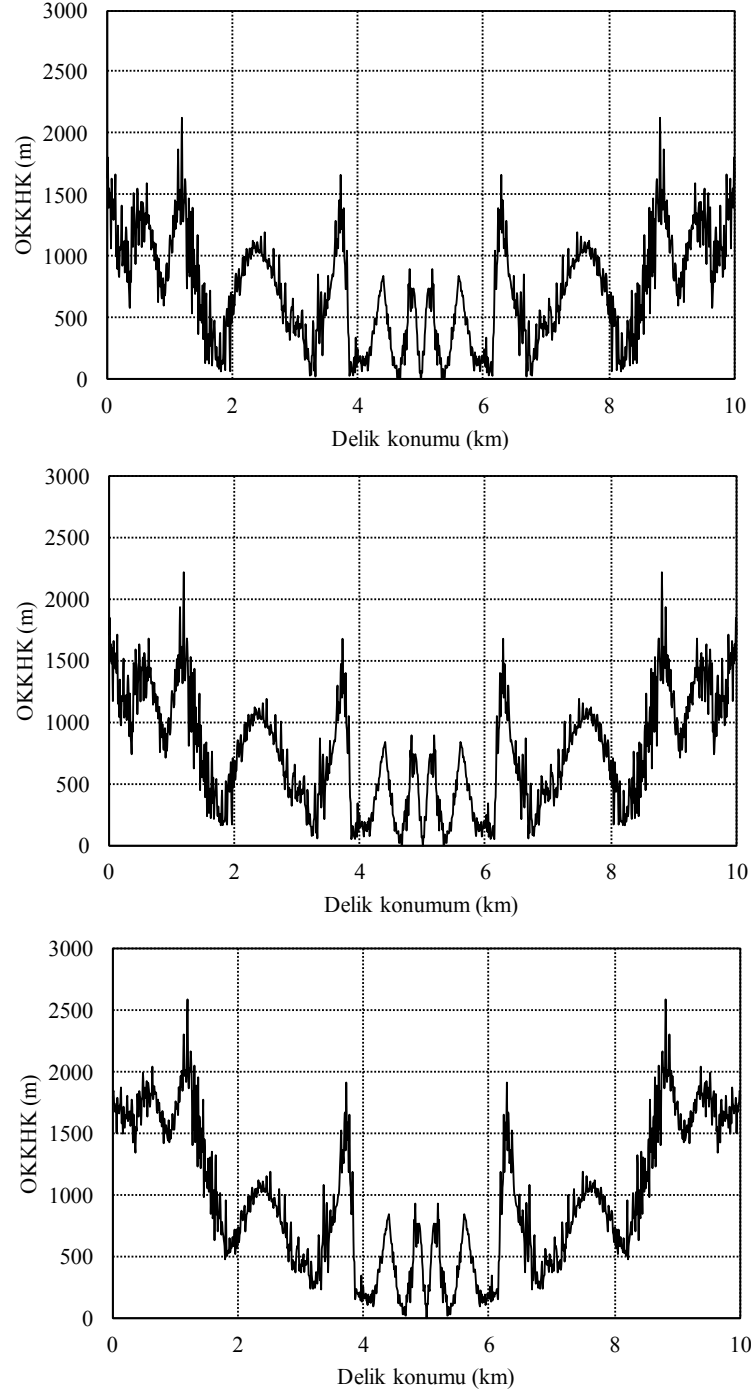
hesaplanmıştır. Delik konumu 10 m aralıklarla 0-10 km arasında değiştirilmiştir. Alıcı sayısı 4 ve alıcı konumları (2, 4, 6, 8) km olarak alınmıştır.

Önerilen yöntemin ve kullanılan algoritmaların konumlandırma başarımları farklı ortam gürültüsü ve dalga yüksekliği durumları için incelenmiştir. Farklı ortam gürültüsü durumu için N_1 , N_2 , N_3 , N_4 ve N_5 olmak üzere beş farklı ortam gürültüsü göz önüne alınmıştır (Tablo 2.7, burada BS:8 rüzgar hızının 19 m/s olduğunu ifade etmektedir). Bu gürültüler, Bölüm 1.5.2.1’de bahsedilen tüm gürültü bileşenlerini içermektedir. Burada kabul edilen en düşük ortam gürültüsü olan N_1 ve en yüksek ortam gürültüsü olan N_5 ’in güçleri sırasıyla 80.76 ve 97.2 dB re $1\mu\text{Pa}$ ’dır.

Tablo 2.7. Değişken ortam gürültüleri

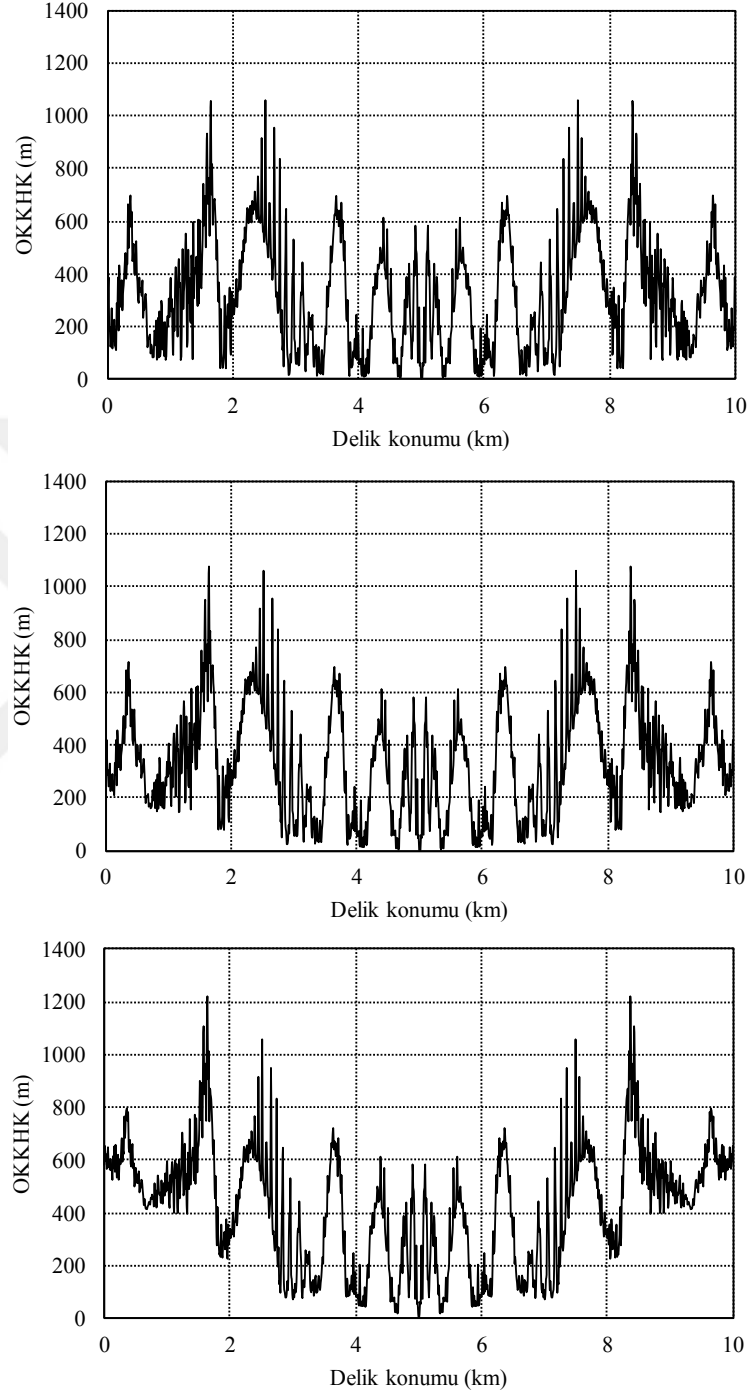
Ortam gürültüsü	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
(BS, GAF)	(8, 0.1)	(8, 0.3)	(8, 0.5)	(8, 0.7)	(8, 1)

Şekil 2.30'da DEKK algoritması için 1 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



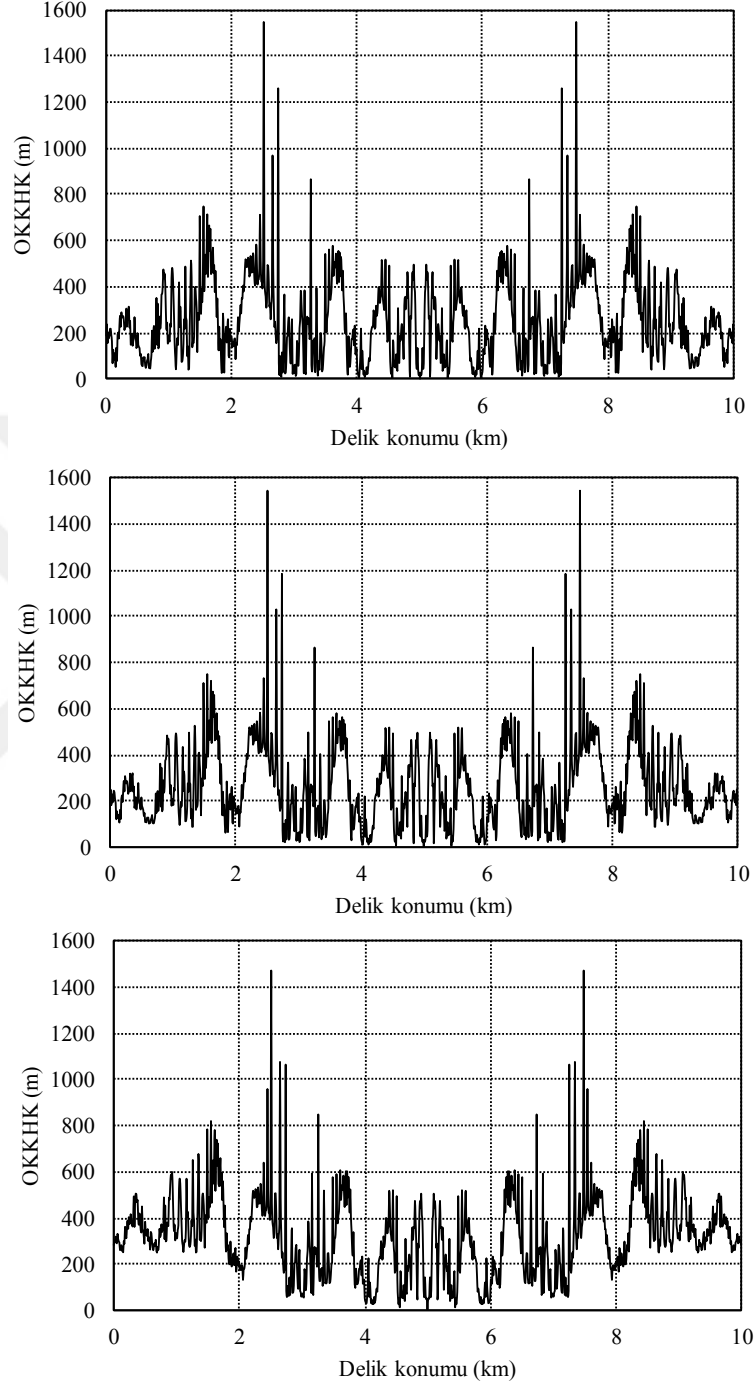
Şekil 2.30. DEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.31’de ADEKK algoritması için 1 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



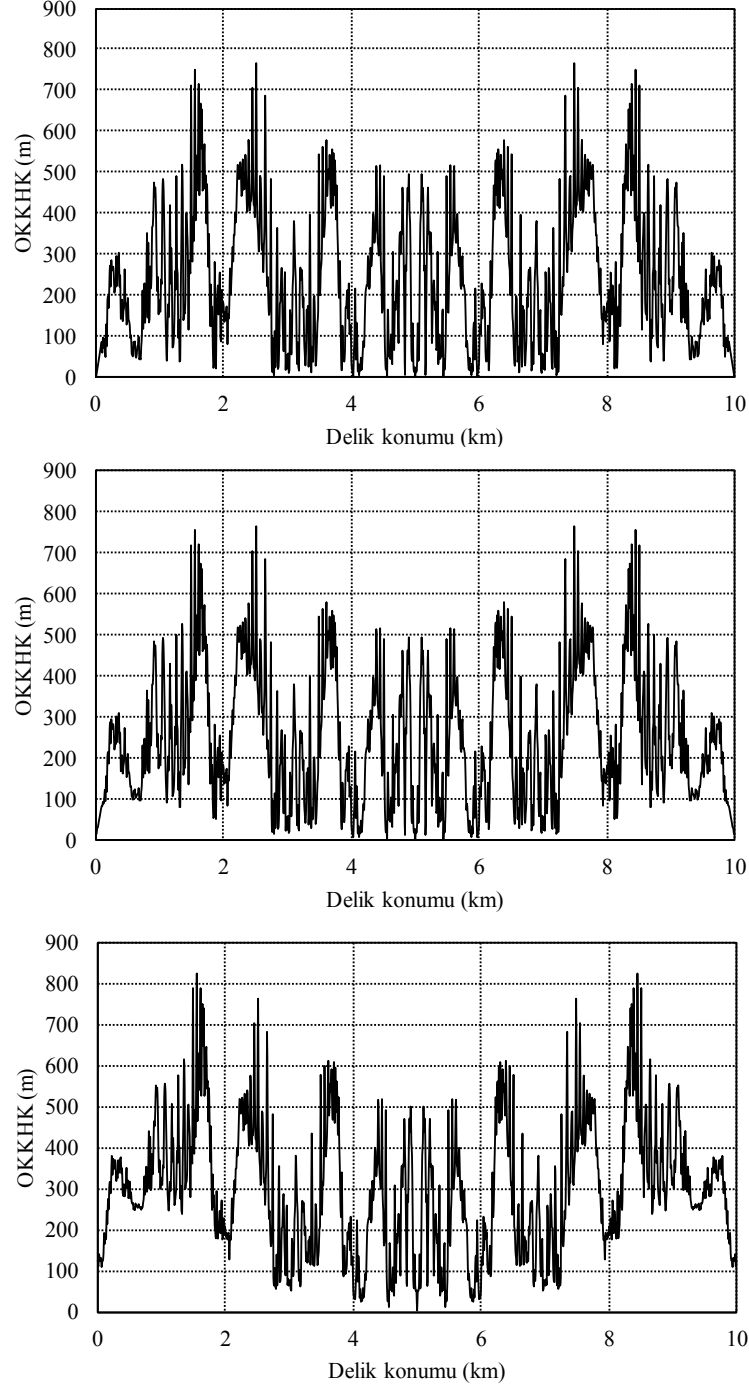
Şekil 2.31. ADEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.32’de DOEKK algoritması için 1 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



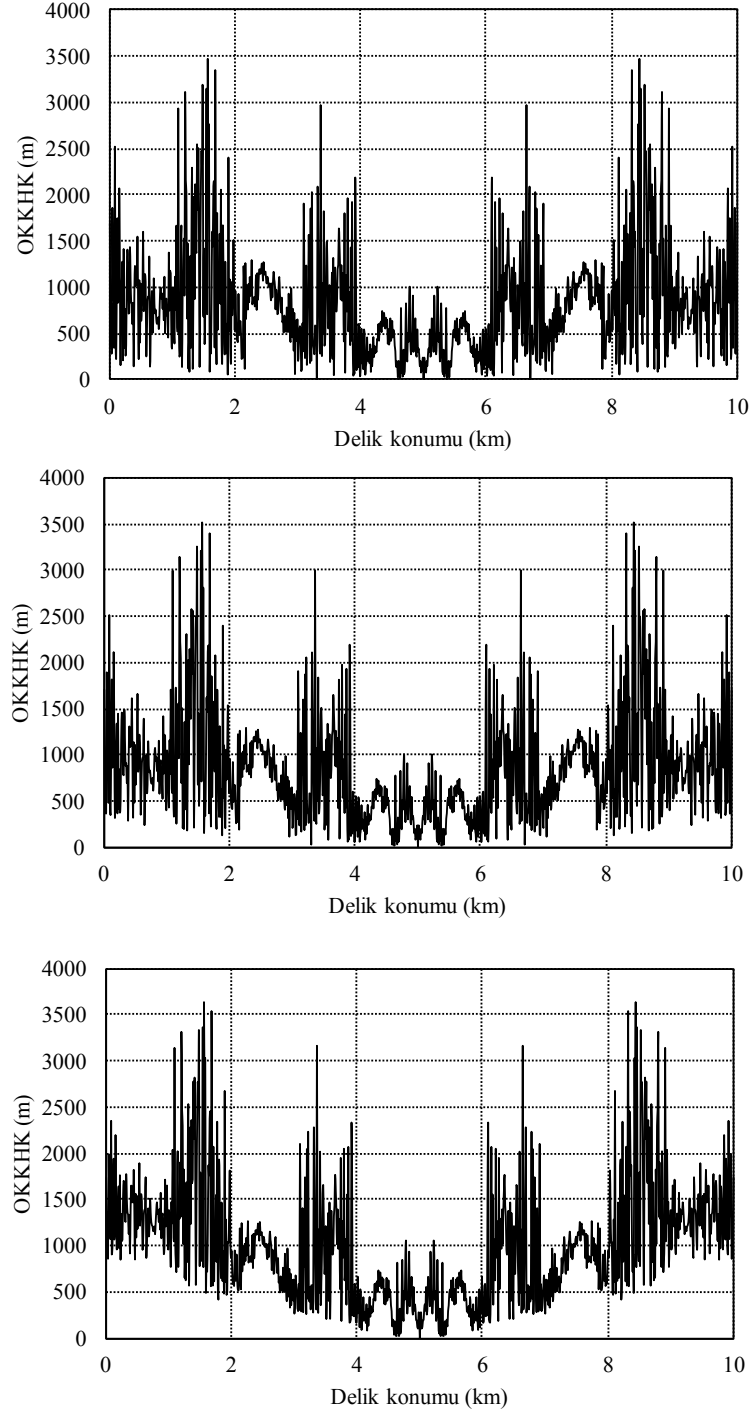
Şekil 2.32. DOEKK algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.33'te PSO algoritması için 1 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



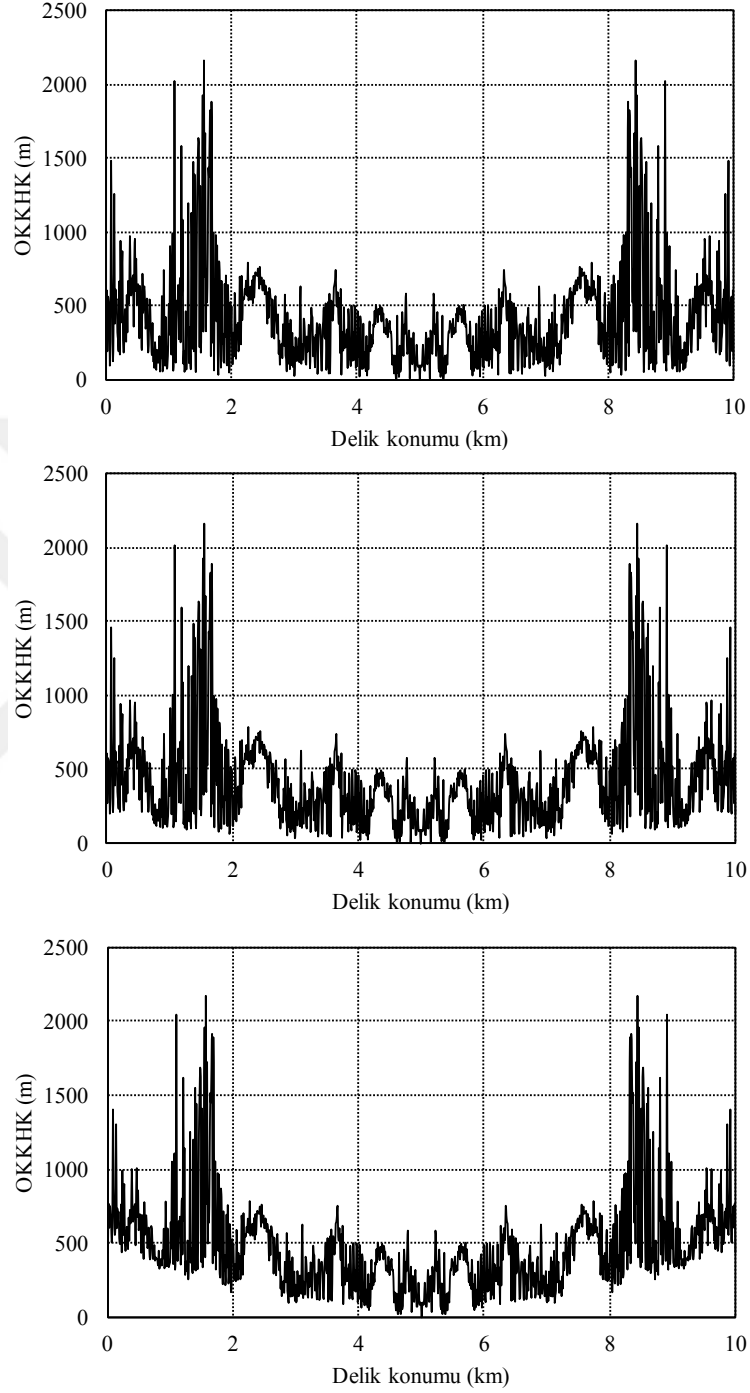
Şekil 2.33. PSO algoritması, 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.34'te DEKK algoritması için 5 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



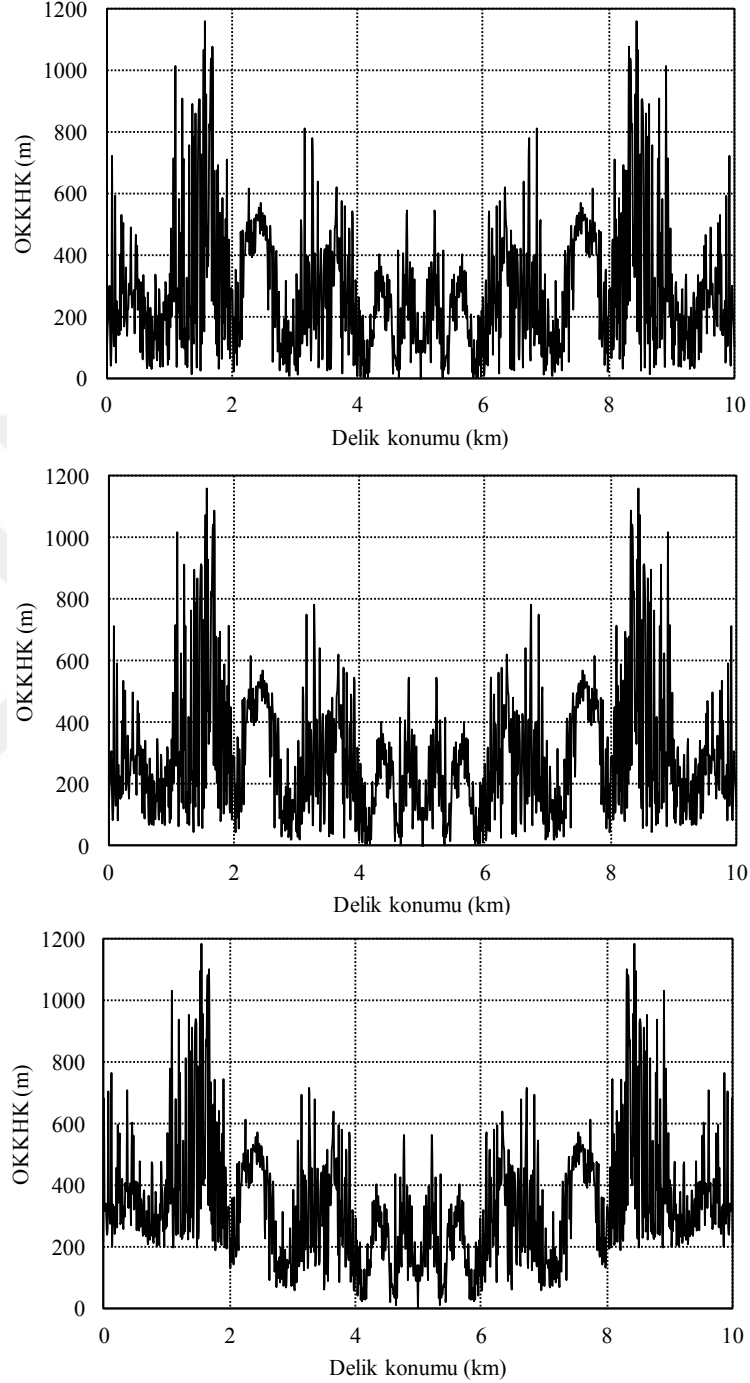
Şekil 2.34. DEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.35'te ADEKK algoritması için 5 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



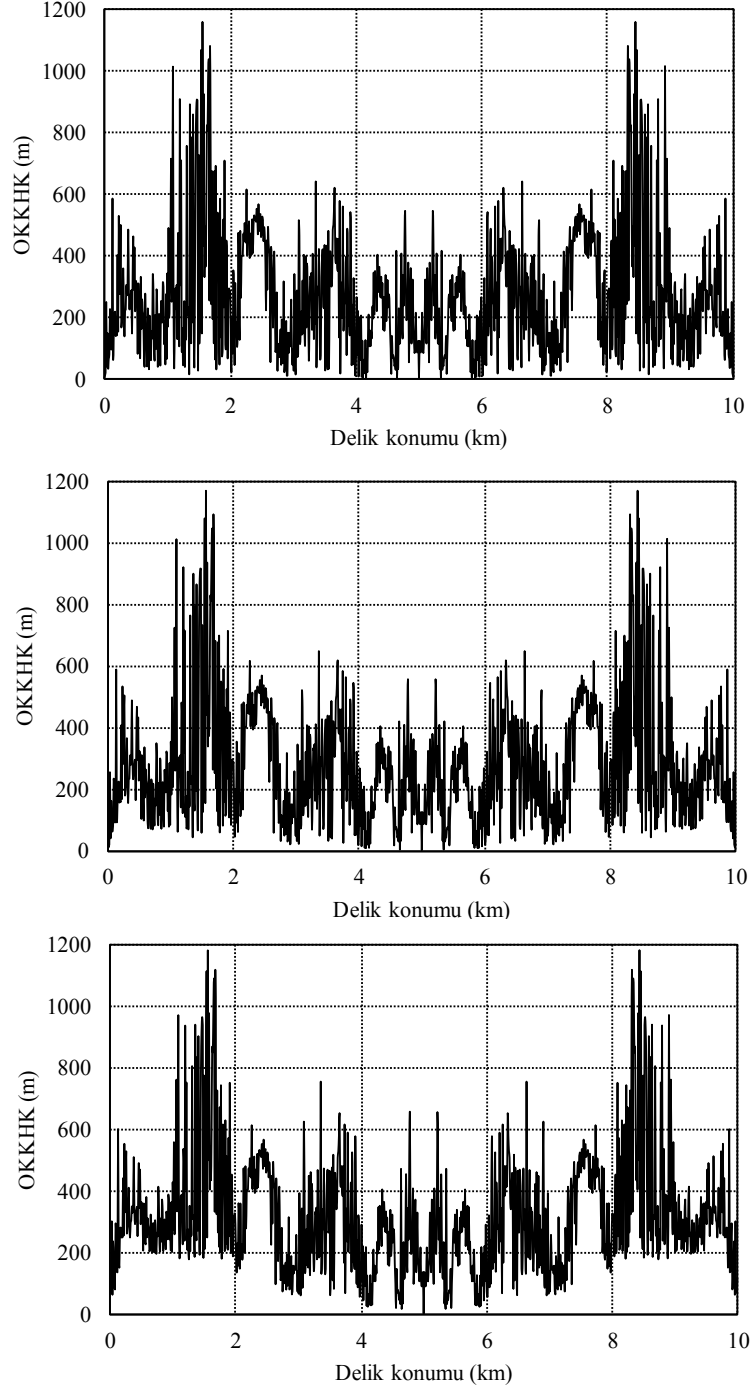
Şekil 2.35. ADEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.36’da DOEKK algoritması için 5 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



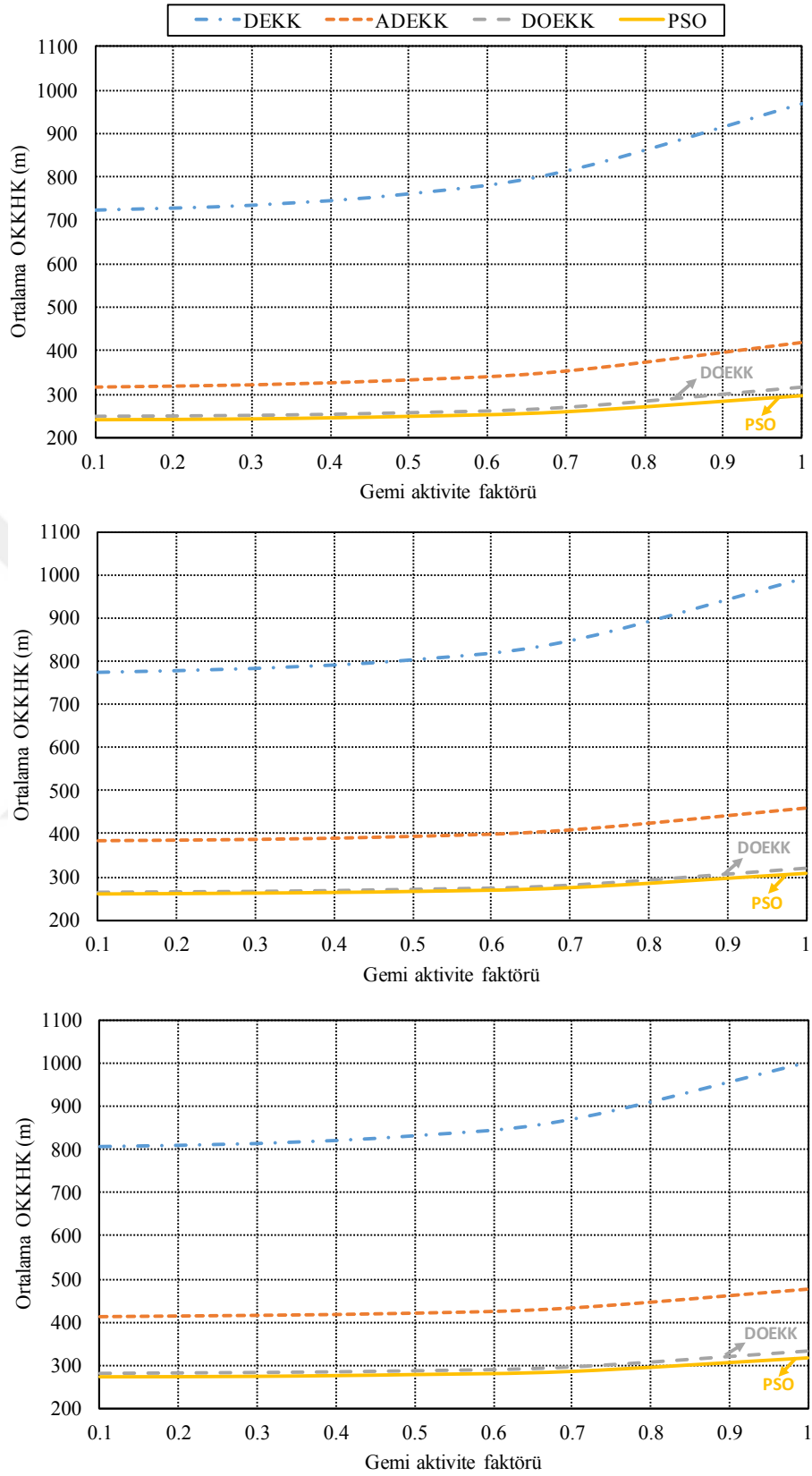
Şekil 2.36. DOEKK algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

Şekil 2.37’de PSO algoritması için 5 m dalga yüksekliği ve N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri durumunda sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

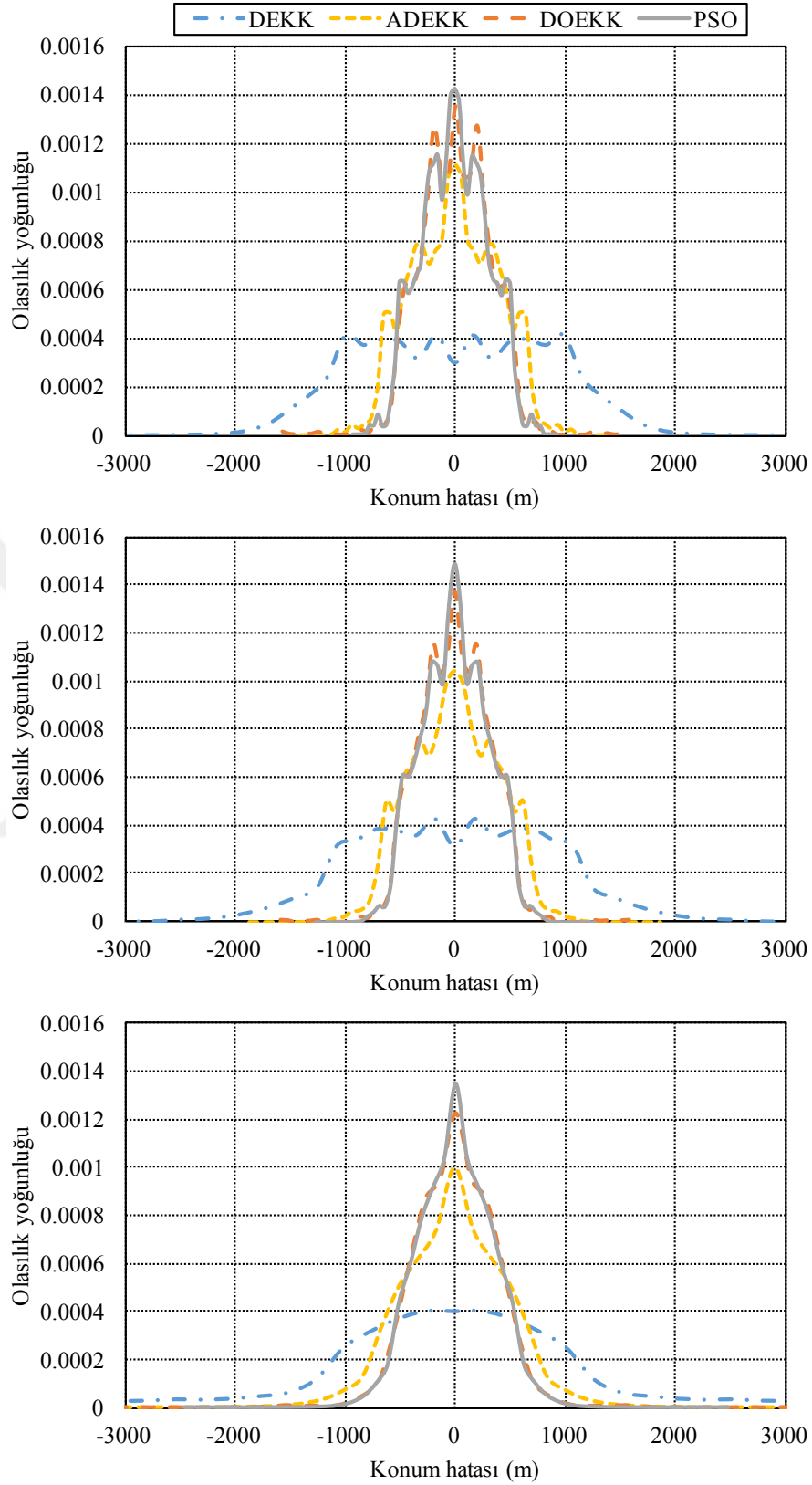


Şekil 2.37. PSO algoritması, 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler

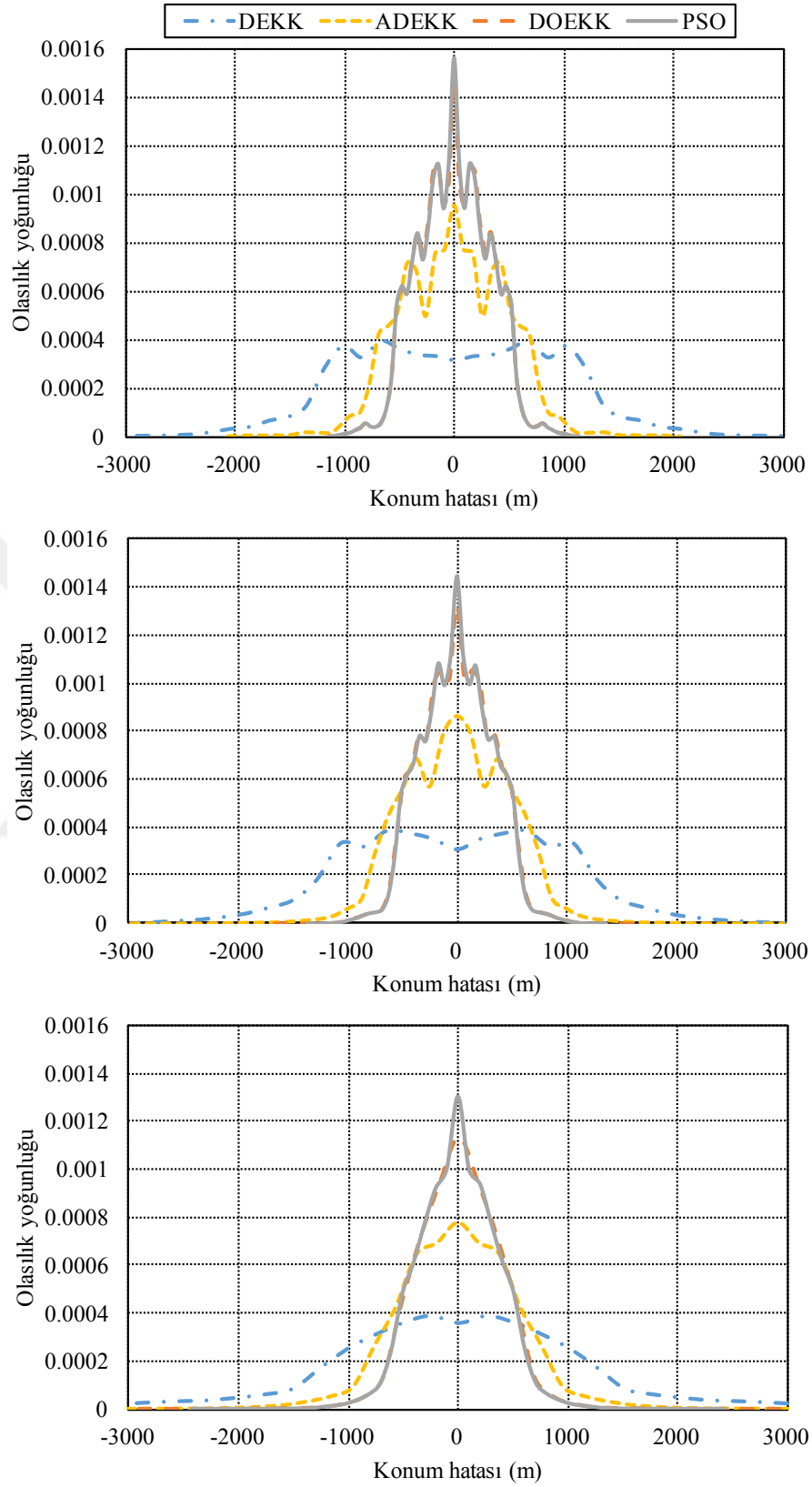
Şekil 2.38’de 1 m, 3 m ve 5 m dalga yükseklikleri için gemi aktivite faktörü (ortam gürültüsü) ve 0-10 km arasında 10 m aralıklarla değiştirilen delik konumları için elde edilen OKKHK’lerin ortalamaları arasındaki ilişkiler tüm algoritmalar için gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere PSO ve DOEKK’nin performansları birbirine oldukça yakındır. Önerilen yöntemde kullanılan algoritmaların konumlandırma başarımları en yüksekten en düşüğe doğru PSO, DOEKK, ADEKK, DEKK olarak sıralanabilir. Şekillerden görüldüğü üzere artan gemi aktivite faktörü (ortam gürültü gücü) konumlandırma doğruluğunu azaltmaktadır. Ayrıca, dalga yüksekliğinin konumlandırma başarımlarını ciddi ölçüde etkilediği görülmektedir. N_1 , N_3 , N_5 ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler 1 m, 3 m ve 5 m dalga yükseklikleri için sırasıyla Şekil 2.39, Şekil 2.40 ve Şekil 2.41’de gösterilmiştir. En yüksek konumlandırma başarımına sahip olan PSO algoritması için 1 m dalga yüksekliği durumunda konum hatalarının 500 m’den düşük olma olasılıkları N_1 , N_3 ve N_5 ortam gürültüleri için sırasıyla %92.53, %91.6 ve %86.9’dur. 3 m dalga yüksekliği durumunda konum hatalarının 500 m’den düşük olma olasılıkları N_1 , N_3 ve N_5 ortam gürültüleri için sırasıyla %89.21, %88.71 ve %84.75 ’tir. 5 m dalga yüksekliği durumunda konum hatalarının 500 m’den düşük olma olasılıkları N_1 , N_3 ve N_5 ortam gürültüleri için sırasıyla %88.32, %88 ve %84.5 ’tir.



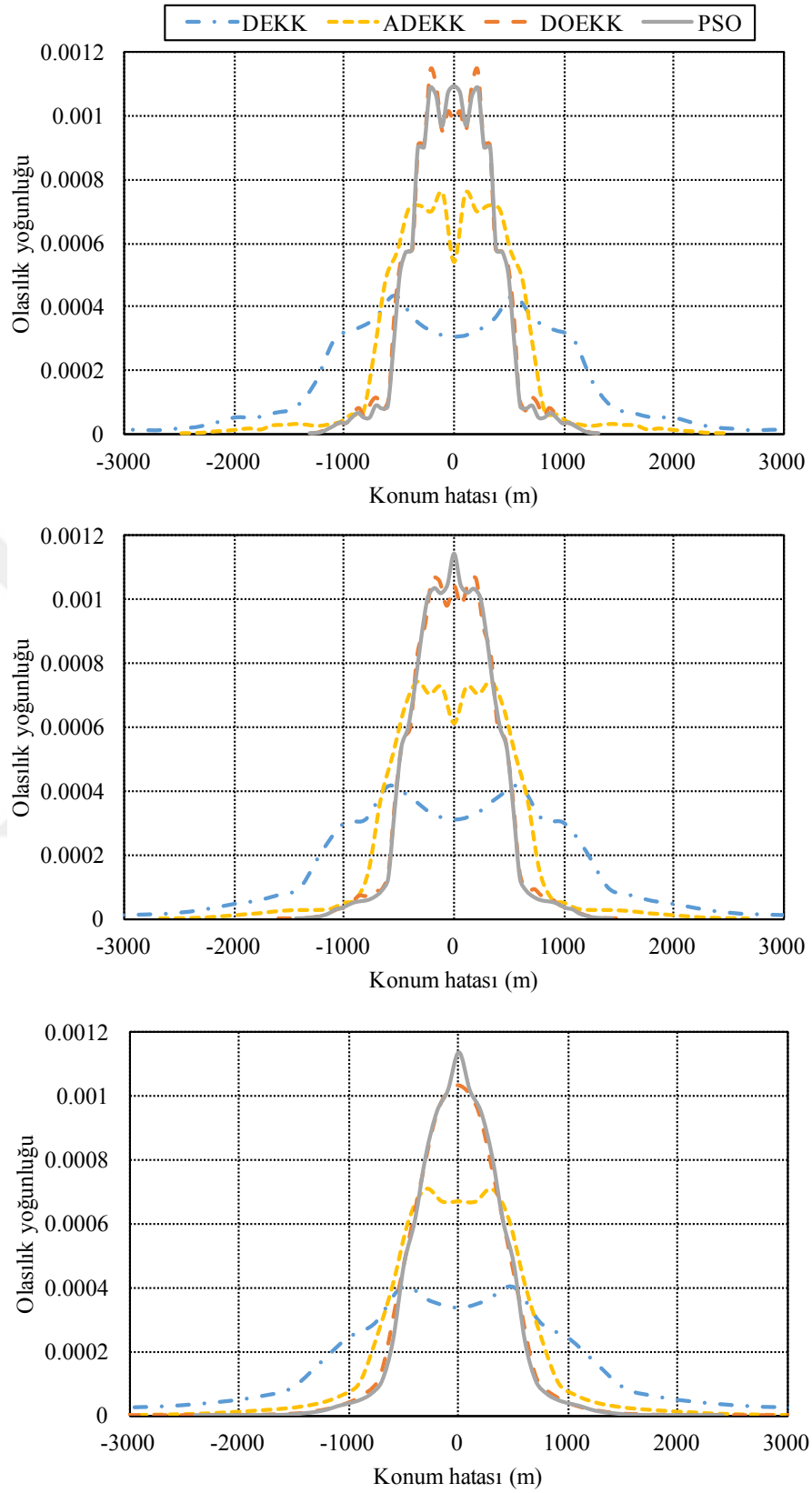
Şekil 2.38. 1 m (üst), 3 m (orta), 5 m (alt) dalga yükseklikleri ve tüm algoritmalar için gemi aktivite faktörü ve ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler



Şekil 2.39. 1 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler



Şekil 2.40. 3 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler



Şekil 2.41. 5 m dalga yüksekliği durumunda N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri ve tüm algoritmalar için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler

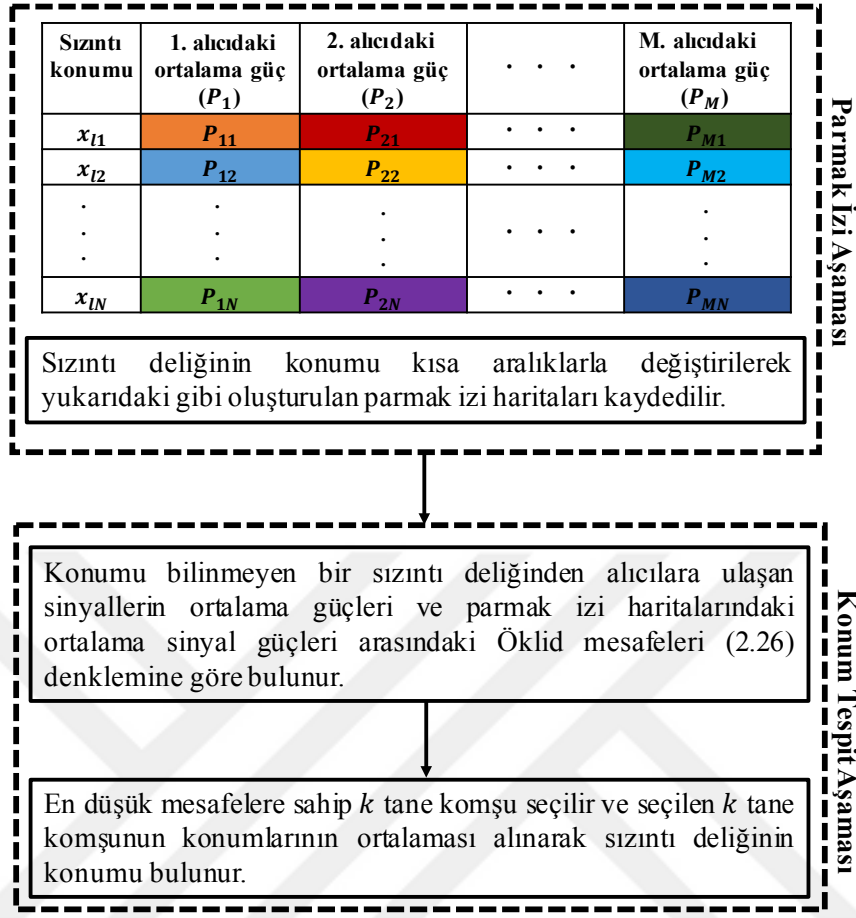
2.6. Zamanla Değişen ve Çok Yollu Olan Sualtı Akustik Kanalında Parmak İzi Yöntemiyle Konumlandırma

Bu kısımda, Bölüm 2.1’de bahsedildiği üzere, Şekil 2.1’deki gibi bir konum tespit sistemi oluşturulduğu düşünülmüş ve üç boyutlu konum tespit problemi tek boyuta indirgenmiştir. Bölüm 1.6.2’de detaylı olarak anlatılan, zamanla değişen ve çok yollu olan değişken kanal modeli göz önüne alınmış ve bu kanal modelini öneren yazarlar tarafından [129]’da geliştirilmiş olan sualtı akustik kanal simülatörü kullanılmıştır. Kanal simülatöründe (Bölüm 2.5’te açıklandığı üzere), büyük-ölçekli benzetimler için basitleştirilmiş ışın izleme yazılımı ve küçük-ölçekli benzetimler için direk model kullanılmıştır.

Alıcı taraftaki (alınan) akustik basınç sinyalleri, sualtı akustik kanalı ve sızıntı delik çapına bağlı, belirli bir frekansa sahip sinüzoidal işaretlerdir. Bundan dolayı, Bölüm 2.3’te anlatıldığı üzere akustik basınç sinyalinin mevcut olabileceği tüm spektrum alıcı tarafta 3 Hz bant genişliğine sahip DBGF’lerden geçirilerek taranır. Sonra, filtrelenen sinyallerin güçlerinin bir süre için ortalaması alınarak ortam gürültü etkisi azaltılır. Belirlenen sinyalin frekansı, Bölüm 2.2.2’de bahsedilen gerekli parametreler ve Bölüm 2.2.1’deki denklemler kullanılarak akustik basınç sinyalinin delikten çıkış gücü bulunabilir.

Delikten çıkan sinyalin gücünün ve alınan sinyallerin güçlerinin bilinmesine rağmen değişken kanaldaki konum belirsizliklerinin, saçılmanın ve hareketli deniz yüzeyinin neden olduğu bayılma etkisi azaltılmadan sızıntı deliğinin düşük hatalarla konumlandırılması mümkün değildir. Bu nedenle, konum tespiti için KEYK algoritması tabanlı parmak izi tekniği önerilmiştir. Şekil 2.42’de blok diyagramı gösterilen KEYK algoritması tabanlı parmak izi tekniğiyle sızıntı deliğinin konum tespiti iki aşamada yapılmaktadır. Bu yöntemde, alıcılar tarafından alınan sinyellere yukarıda anlatılan filtreleme ve gürültü etkisini azaltma işlemleri uygulanmıştır.

1. Parmak İzi Aşaması: Parmak izi aşaması olarak bilinen ilk aşamada SDBH’de delik olduğu ve delik konumunun tüm SDBH’yi tarayacak şekilde kısa aralıklarla değiştirildiği varsayılır. Böylece değiştirilen her delik konumu için alıcılara ulaşan, gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları hesaplanıp kaydedilerek daha sonra konum tespitinde kullanılacak veri setleri (parmak izi haritaları) oluşturulur. Şekil 2.42’de farklı delik konumları için alıcılar tarafından alınan sinyallerin ortalama güçleri gösterilmiştir. Burada M alıcı sayısı ve N parmak izi aşamasında oluşturulan her veri setindeki örnek sayısı



Şekil 2.42. KEYK algoritması tabanlı parmak izi tekniğiyle konum tespiti için blok diyagramı

olmak üzere, $x_I = [x_{I1} x_{I2} \dots x_{IN}]$ sızıntı delik konumları için 1., 2., ..., M . alıcılar tarafından alınan ortalama sinyal gücü veri setleri sırasıyla $P_1 = [P_{11} P_{12} \dots P_{1N}]$, $P_2 = [P_{21} P_{22} \dots P_{2N}]$, ..., $P_M = [P_{M1} P_{M2} \dots P_{MN}]$ 'dir. Bu veri setleri (2.25) denkleminde verilen matris ile ifade edilebilir. Burada $(\cdot)^T$ transpoze işlemini ifade etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} P_1^T & P_2^T & \dots & P_M^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{M1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1N} & \dots & P_{MN} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

2. Konum Tespit Aşaması: Konum tespitinde, konumu bilinmeyen bir delik için alıcılar tarafından alınan sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları, parmak izi aşamasında kaydedilmiş olan veri setleriyle bir eşleştirme algoritması kullanılarak eşleştirilir ve delik konumlandırılır. Burada, (Bölüm 1.4.2.3'te bahsedildiği üzere)

eşleştirme algoritması olarak basitliği ve konumlandırmadaki etkinliği nedeniyle kEYK algoritması kullanılmıştır. kEYK algoritmasında, parmak izi aşamasında kaydedilen ortalama sinyal gücü veri setleriyle, konumu bilinmeyen bir delikten alıcılara ulaşan sinyallerin ortalama güçleri arasındaki Öklid mesafeleri (2.26) denkleminde göre bulunur. Sonrasında, hesaplanan Öklid mesafeleri sıralanır ve en düşük mesafeye sahip olan k tane komşu seçilir. Delik konumu, seçilen k tane komşunun konumlarının ortalaması alınarak bulunur.

$$mes_i = \sqrt{\sum_{z=1}^M (P_{zi} - P'_z)^2} \quad (2.26)$$

Burada $P' = [P'_1 P'_2 \dots P'_M]$ konumu bilinmeyen sızıntı deliğinden alıcılara ulaşan sinyallerin ortalama güçleri, P parmak izi aşamasında kaydedilen ortalama sinyal gücü veri setleri (denklem (2.25)) ve i bu veri setlerindeki eleman indeks değeridir.

2.6.1. Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemin konumlandırma başarımının değerlendirilmesi için yapılan benzetim çalışmalarında Bölüm 2.1'de bahsedilen SDBH (10 km uzunluğa sahip) örnek olarak alınmıştır. Akustik basınç sinyali, Bölüm 2.2.2'de bahsedildiği üzere Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve (2.9), (2.10) denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Sualtı akustik kanal (değişken kanal) modelinde ([129]'daki kanal simülatöründe) kullanılan parametreler Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da verilmiştir.

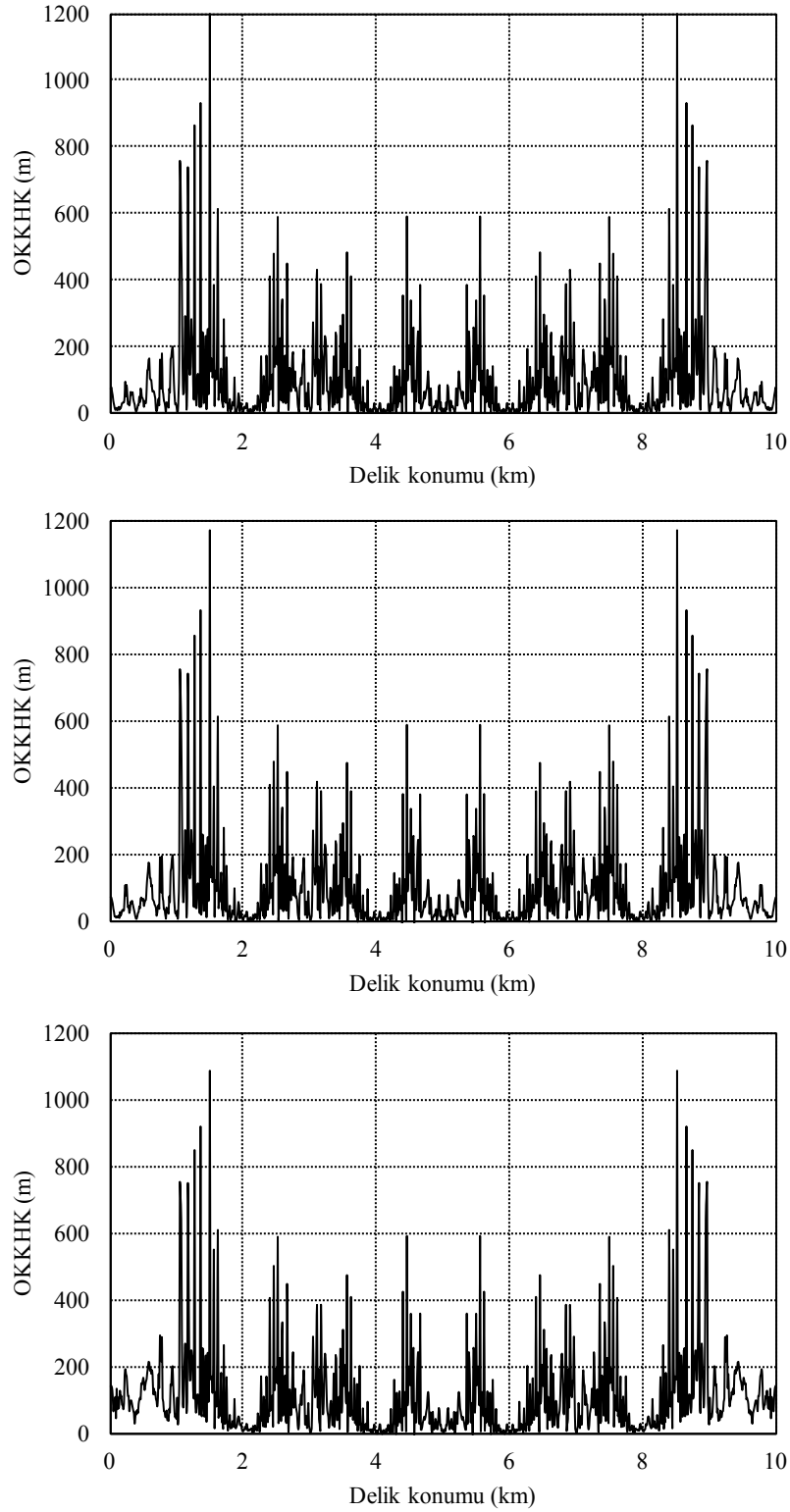
Parmak izi aşamasında, sızıntı delik konumu 0-10 km arasında 16 m aralıklarla değiştirilerek, alınan gürültüsüz ve kanal modeline göre zamanla değişen sinyallerin güçlerinin zamana göre ortalamaları hesaplanmış ve parmak izi haritaları elde edilmiştir. Bu süreçte dalga yüksekliği 4 m olarak alınmıştır. Konum tespit aşamasında, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m dalga yükseklikleri için sızıntı delik konumu 10 m aralıklarla 0-10 km arasında değiştirilmiştir. Farklı alıcı sayısı durumunda 3, 4, 5 ve 6 alıcı kullanılmış ve konumları sırasıyla (3, 5, 7) km, (2, 4, 6, 8) km, (1, 3, 5, 7, 9) km ve (1, 2.6, 4.2, 5.8, 7.4, 9) km olarak alınmıştır. Diğer tüm durumlarda alıcı sayısı 4 olarak alınmıştır. kEYK algoritmasında $k=3$ olarak alınmıştır. Alıcılardaki ortam gürültüsü 3 Hz bant genişliği için hesaplanmıştır. MC deneme sayısı 1000 olarak alınmıştır.

Yöntemin başarımı farklı ortam gürültüleri, dalga yükseklikleri ve alıcı sayıları için incelenmiştir. Farklı ortam gürültüsü durumunda N_1, N_2, N_3, N_4 ve N_5 olmak üzere Tablo

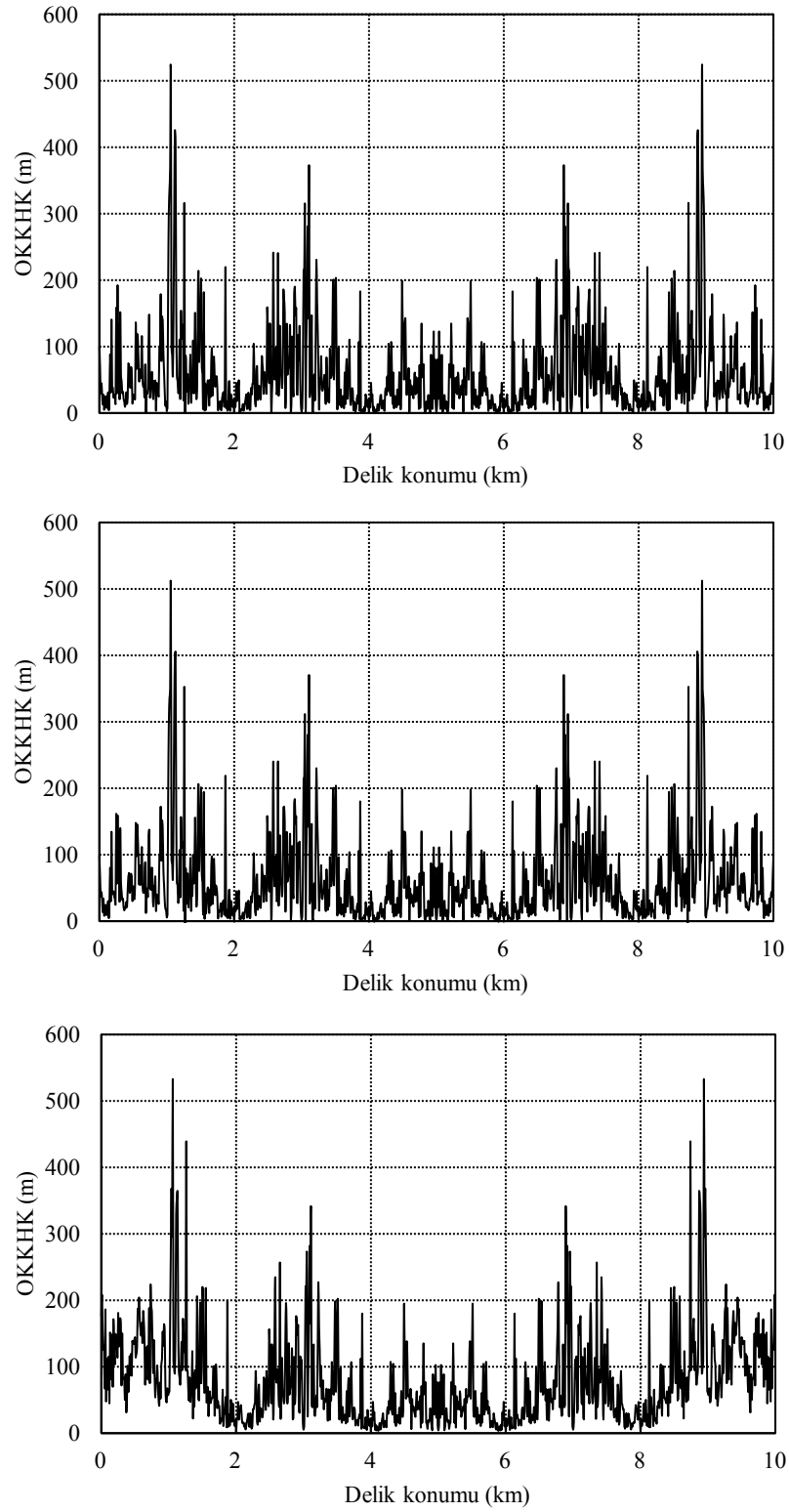
2.7’de verilen beş farklı ortam gürültüsü göz önüne alınmıştır. Bu gürültüler, Bölüm 1.5.2.1’de bahsedilen tüm gürültü bileşenlerini içermektedir. Burada kabul edilen en düşük ortam gürültüsü olan N_1 ve en yüksek ortam gürültüsü olan N_5 ’in güçleri sırasıyla 80.76 ve 97.2 dB re $1\mu\text{Pa}$ ’dır. Şekil 2.43 , Şekil 2.44 ve Şekil 2.45’te N_1, N_3, N_5 ortam gürültüleri ve sırasıyla 1 m, 3 m ve 5 m dalga yükseklikleri için delik konumu ve OKKHK arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Burada, beklendiği üzere 0-5 km ve 5-10 km aralıklarındaki OKKHK’ler arasında bir simetri vardır. OKKHK değerlerindeki ani azalış ve artışlar kanalın bayılma etkisinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 2.46’da 1 m, 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m dalga yükseklikleri için gemi aktivite faktörü ve 0-10 km arasında 10 m aralıklarla değiştirilen delik konumları için elde edilen OKKHK’lerin ortalamaları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, artan gemi aktivite faktörü (ortam gürültü gücü) konumlandırma doğruluğunu azaltmaktadır. Dalga yüksekliği ise konumlandırma hatasını ciddi bir oranda etkilemektedir.

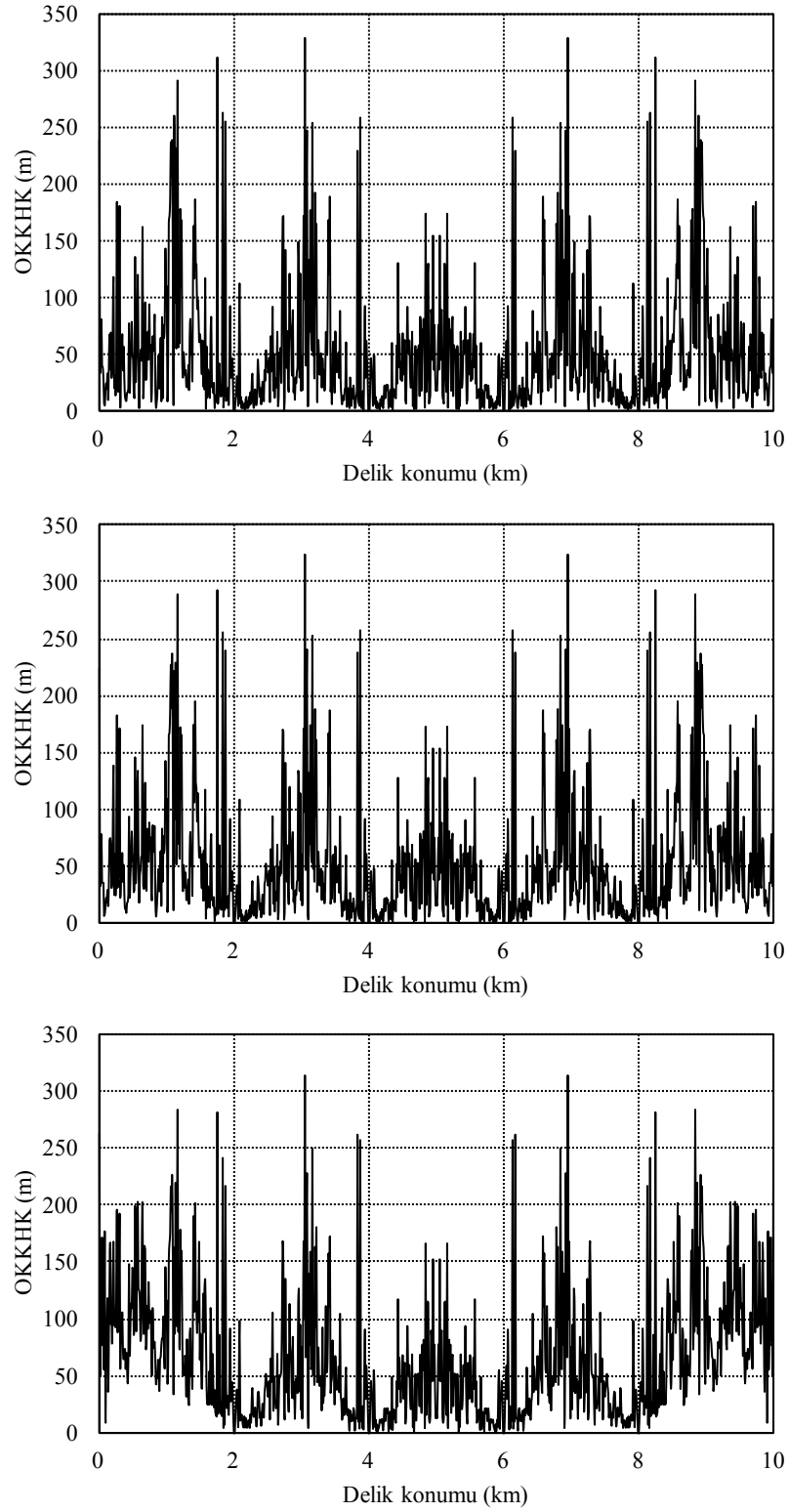
1 m dalga yüksekliği ve N_5 ortam gürültüsü için farklı alıcı sayıları ve ortalama OKKHK arasındaki ilişki Şekil 2.47’de gösterilmiştir. 1 m dalga yüksekliği, N_5 ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayıları için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler ise Şekil 2.48’de gösterilmiştir. Burada AS, alıcı sayısını ifade etmektedir. Beklendiği üzere alıcı sayısı arttıkça konumlandırma doğruluğu da artmaktadır. Tablo 2.8’de farklı alıcı sayıları için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m’den düşük olma olasılıkları verilmiştir. Şekil 2.49’da 1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1, N_5 ortam gürültüleri için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Görüldüğü üzere gürültü gücü arttıkça olasılık eğrisi daha kısa ve yayvan bir hale gelmektedir. Tablo 2.9’da 1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1, N_5 ortam gürültüleri için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m’den düşük olma olasılıkları verilmiştir.



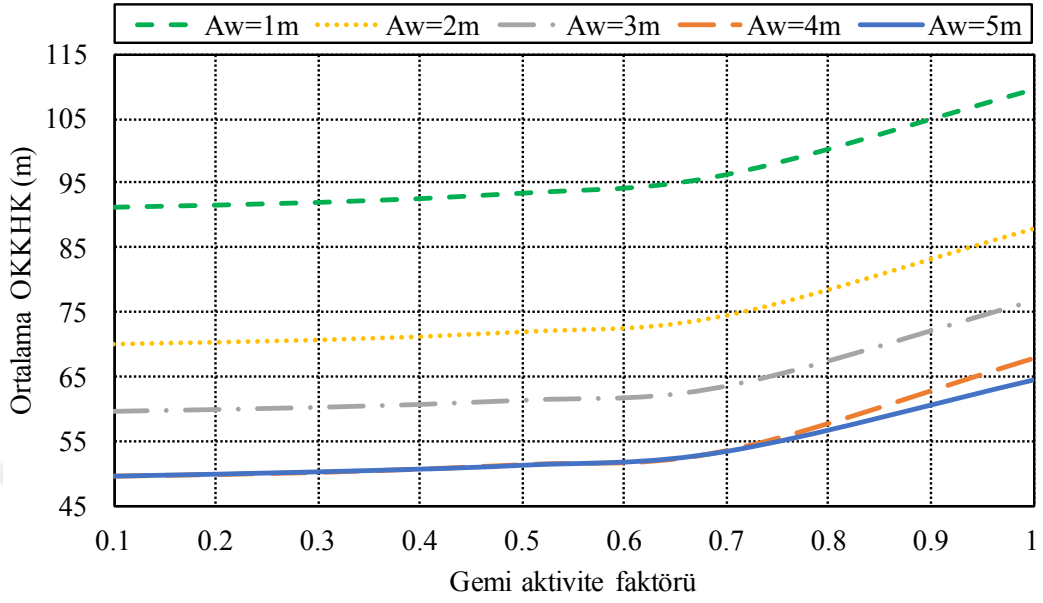
Şekil 2.43. 1 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler



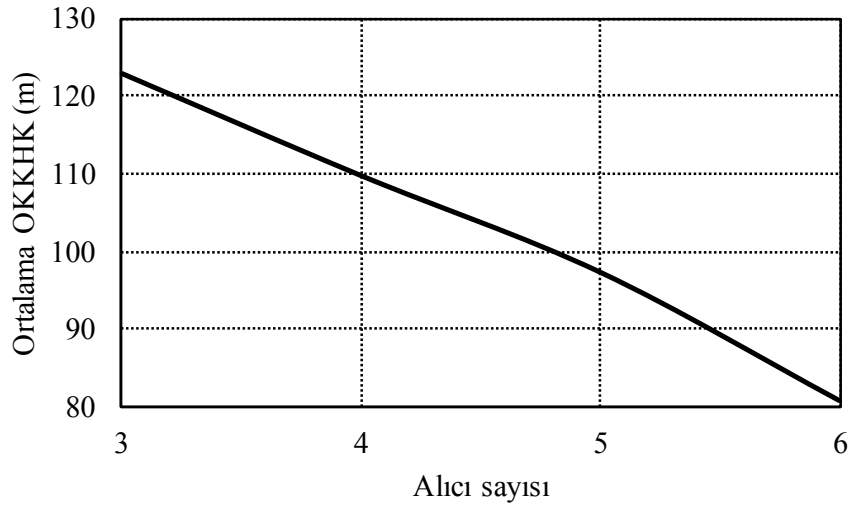
Şekil 2.44. 3 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler



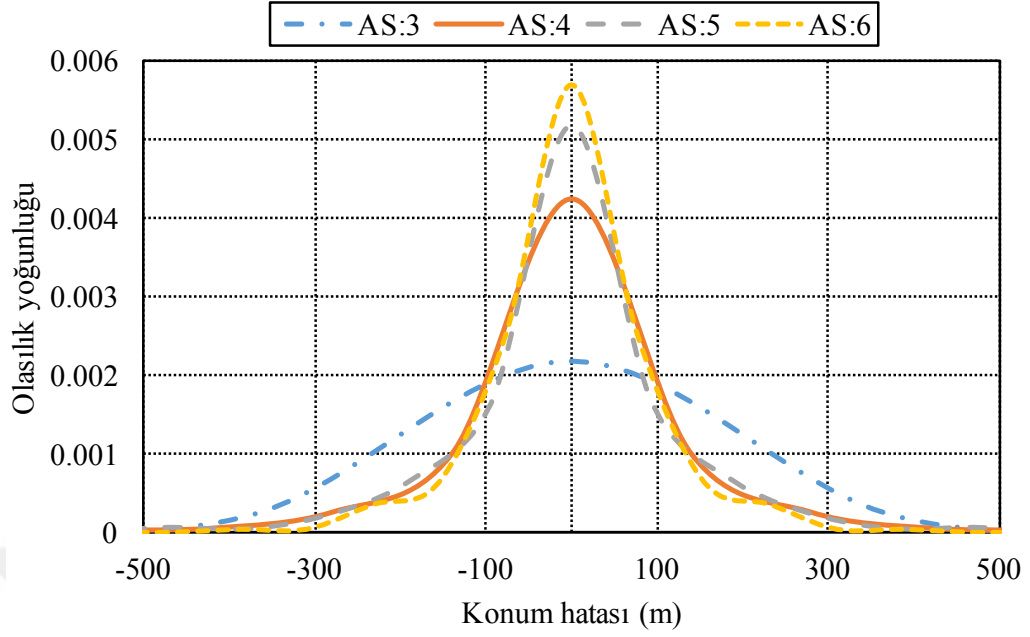
Şekil 2.45. 5 m dalga yüksekliği ve N_1 (üst), N_3 (orta), N_5 (alt) ortam gürültüleri için sızıntı delik konumu ile OKKHK arasındaki ilişkiler



Şekil 2.46. 1 m, 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m dalga yükseklikleri için gemi aktivite faktörü ve ortalama OKKHK arasındaki ilişkiler



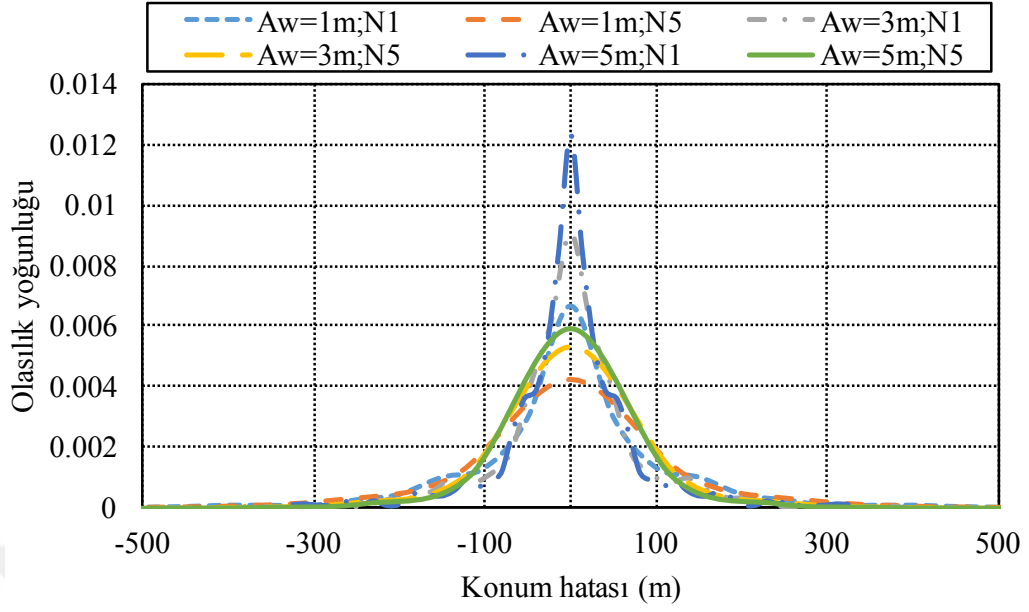
Şekil 2.47. 1 m dalga yüksekliği ve N_5 ortam gürültüsü için farklı alıcı sayıları ve ortalama OKKHK arasındaki ilişki



Şekil 2.48. 1 m dalga yüksekliği, N_5 ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayıları için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler

Tablo 2.8. 1 m dalga yüksekliği, N_5 ortam gürültüsü ve farklı alıcı sayıları için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m'den düşük olma olasılıkları

AS	100 m <	200 m <	300 m <	400 m <	500 m <
3	% 64	% 83.25	% 92.79	% 95.74	% 97.28
4	% 68.81	% 87.17	% 94.29	% 96.23	% 97.52
5	% 69.88	% 88.5	% 96.06	% 97.71	% 99.19
6	% 78.73	% 93.05	% 98.56	% 99.44	% 99.63



Şekil 2.49. 1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1 , N_5 ortam gürültüleri için konum hatası ve olasılık yoğunluğu arasındaki ilişkiler

Tablo 2.9. 1 m, 3 m, 5 m dalga yükseklikleri ve N_1 , N_5 ortam gürültüleri için konum hatalarının 100 m, 200 m, 300 m, 400 m ve 500 m'den düşük olma olasılıkları

Gürültü ; A_w	100 m <	200 m <	300 m <	400 m <	500 m <
$N_1; 1m$	% 71.22	% 89.49	% 95.08	% 96.69	% 98.10
$N_5; 1m$	% 68.81	% 87.17	% 94.29	% 96.23	% 97.52
$N_1; 3m$	% 81.75	% 95.71	% 98.23	% 99.39	% 99.81
$N_5; 3m$	% 80.04	% 94.44	% 98.06	% 99.23	% 99.69
$N_1; 5m$	% 86.40	% 97.05	% 99.41	% 100	% 100
$N_5; 5m$	% 84.76	% 96.43	% 99.16	% 99.84	% 99.90

3. SONUÇLAR

Bu doktora tezinde, sızıntı tabanlı akustik basınç sinyalinin doğası incelenmiş ve tek yöllü kanal, zamanla değişmeyen çok yöllü kanal, zamanla değişen çok yöllü kanal olmak üzere üç farklı sualtı akustik kanalında, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için pasif akustik tabanlı yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin konumlandırma başarımlarını değerlendirmek için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- SDBH'lerde meydana gelebilecek sızıntıların oluşturacağı akustik basınç sinyalinin doğası incelenmiştir. Bu incelemeye göre sızıntı tabanlı akustik basınç sinyallerinin çok dar bantlı oldukları ve alınan sinyallerin frekansları ve gerekli parametreler yardımıyla sızıntı delik çapının ve sızıntı deliğindeki akustik sinyal gücünün hesaplanabileceği gösterilmiştir. SDBH üstünde farklı çaplara sahip birden fazla sızıntı deliğinin olması durumunda, alınan sinyallerin frekansları kullanılarak delik sayısı ve deliklerin çapları belirlenebilir.
- SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için ASG tekniği tabanlı bir pasif akustik konum tespit yöntemi önerilmiştir. SDBH ile ilgili parametrelerin sabit oldukları düşünülerek sızıntı deliğindeki akustik basınç sinyal gücü hesaplanmıştır. Sualtı akustik kanal modeli olarak sadece direk yol sinyalinin olduğu tek yöllü kanalın kullanıldığı benzetim çalışmalarında önerilen yöntemin farklı sualtı ortam gürültüleri, alıcı sayıları ve sızıntı delik çaplarına bağlı olarak, sızıntıları kilometrelerce öteden oldukça düşük ortalama konum hatalarıyla konumlandığı gösterilmiştir.
- SDBH ile ilgili parametrelerden bazılarının (gaz akış hızı vb.) anlık olarak değiştiği ve bu nedenle sızıntı deliğindeki sinyal gücünün hesaplanamadığı durumda, SDBH'lerdeki sızıntıların konumlandırılması için kaynak gücü bilgisine ihtiyaç duymayan ASGF tekniği tabanlı bir pasif akustik konum tespiti yöntemi önerilmiştir. Sualtı akustik kanal modeli olarak tek yöllü kanalın kullanıldığı benzetim çalışmalarında önerilen yöntemin farklı sualtı ortam gürültüleri, alıcı sayıları ve sızıntı delik çaplarına bağlı olarak, sızıntıları kilometrelerce öteden oldukça düşük ortalama konum hatalarıyla konumlandığı gösterilmiştir.

- ASG tekniğinin farklı sualtı ortam gürültüsü ve sızıntı delik çapı durumları için ASGF tekniğinden yaklaşık %78 daha iyi başarımlar gösterdiği görülmüştür. Farklı alıcı sayısı durumu için ise ASG tekniğinin, ASGF tekniğinden yaklaşık olarak %76–%86 arasında değişen oranlarda daha iyi başarımlar gösterdiği görülmüştür.
- Direk yol sinyaline ek olarak deniz tabanından ve yüzeyinden yansıyan sinyallerin de olduğu zamanla değişmeyen çok yollu bir sualtı akustik kanalında, SDBH’lerdeki sızıntıların konumlandırılması için parmak izi yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar, (farklı alıcı sayıları ve sualtı ortam gürültüleri için) zamanla değişmeyen çok yollu kanalda sızıntıların düşük hatalarla konumlandırılabilceğini göstermiştir.
- Zamanla değişen (hareketli deniz yüzeyi, sualtı akıntıları vb. nedenlerle) çok yollu bir sualtı akustik kanalında, SDBH’lerdeki sızıntıların konumlandırılması için alınan sinyal güçleri tabanlı eğri uydurma yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde DEKK, ADEKK, DOEKK ve PSO algoritmaları kullanılarak konum tespiti yapılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, farklı deniz dalga yükseklikleri ve ortam gürültülerine bağlı olarak sızıntıların belirli konum hatalarıyla konumlandırıldığı gösterilmiştir. Farklı deniz dalga yüksekliği ve ortam gürültüsü durumları için PSO algoritmasının sırasıyla DEKK, ADEKK ve DOEKK algoritmalarından %67–%69, %24.5–%33.4 ve %1.1–%5.7 arasında değişen oranlarda daha iyi başarımlar gösterdiği görülmüştür.
- Zamanla değişen (hareketli deniz yüzeyi, sualtı akıntıları vb. nedenlerle) çok yollu bir sualtı akustik kanalında, SDBH’lerdeki sızıntıların konumlandırılması için parmak izi yöntemi önerilmiştir. Benzetim çalışmalarında farklı deniz dalga yükseklikleri, alıcı sayıları ve ortam gürültülerine bağlı olarak, sızıntıların düşük konum hatalarıyla konumlandırıldığı gösterilmiştir.
- Sinyal güçleri tabanlı eğri uydurma yöntemi (PSO algoritmalı) ve parmak izi yönteminin konum tespit başarımları karşılaştırıldığında, parmak izi yönteminin farklı deniz dalga yüksekliği ve ortam gürültüsü durumları için PSO algoritması tabanlı eğri uydurma yönteminden %62–%82 arasında değişen oranlarda daha iyi başarımlar gösterdiği görülmüştür.

4. ÖNERİLER

Bu doktora tezinde, SDBH'lerdeki sızıntıları konumlandırmak için pasif akustik tabanlı yöntemler sunulmuştur. Çalışmaları daha da ileriye taşımak ve bu alanda çalışanlara ışık tutmak amacıyla takip eden öneriler yapılmıştır.

- Bu alanda yapılmış deneysel bir çalışma veya sızıntı tabanlı akustik basınç sinyali ile ilgili herhangi bir ölçüm verisi bulunmamaktadır. En doğru sonuçların deneysel olarak elde edilebileceği açıktır. Ancak sistemin deneysel olarak incelenmesi oldukça yüksek bir maliyet gerektirmektedir.
- Bir delikten sızan gaz baloncukları arasındaki zaman gecikmesiyle ilgili olarak literatürde çok sınırlı bir bilgi vardır. Bu nedenle baloncuklar arasındaki zaman gecikmesi bilgisini elde etmek için kapsamlı bir deneysel çalışma yapılabilir.
- Kullanılması ayrı bir uzmanlık gerektiren akış modellemesi yapan yazılımlar yardımıyla boru hattındaki gazın delikten çıkıp sualtı ortamına baloncuklar halinde sızması modellenabilir ve bu şekilde akustik basınç sinyali hesabı yapılabilir.
- Sızıntı deliğinin tam önünde sürekli bir engel (kaya vb.) olduğu ve bu nedenle bir veya daha fazla alıcıya direk yol sinyal bileşeninin ulaşmadığı yani doğrudan görüşün olmadığı durum göz önüne alınarak sızıntı konum tespiti için çalışmalar yapılabilir.
- SDBH'nin düz bir hat boyunca değil de yön değiştirerek gittiği göz önüne alınarak sızıntı konumlandırma için çalışmalar yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Zekavat, R. ve Buehrer, R. M., Handbook of Position Location Theory Practice and Advances, First Edition, Wiley-IEEE Press, Singapore, 2011.
2. Liang, Q., Zhang, B., Zhao, C. ve Pi, Y., TDoA for Passive Localization: Underwater versus Terrestrial Environment, IEEE Transactions On Parallel and Distributed Systems, 24, 10 (2013) 2100-2108.
3. Caffery, J. J., Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems, First Edition, Kluwer Academic Publishers, New York, 1999.
4. Thaeler, A., iTPS: an improved location discovery scheme for sensor networks with long-range beacons, Journal of Parallel and Distributed Computing, 65 (2005) 98-106.
5. Lee, J., Kim, Y. ve Kim, S., An Efficient Three-Dimensional Localization Scheme Using Trilateration in Wireless Sensor Networks, IEEE Communications Letters, 18, 9 (2014) 1591-1594.
6. Damarla, T., Kaplan, L. M. ve Whipps, G. T., Sniper Localization Using Acoustic Asynchronous Sensors, IEEE Sensors Journal, 10, 9 (2010) 1469-1478.
7. Danicki, E., The shock wave-based acoustic sniper localization, Nonlinear Analysis, 65, 5 (2006) 956-962.
8. Talha, M. T. ve Akan, O. B., A Three Dimensional Localization Algorithm for Underwater Acoustic Sensor Networks, IEEE Transactions On Wireless Communications, 8, 9 (2009) 4457-4463.
9. Tiemann, C. O., Martin, S. W. ve Mobley, J. R., Aerial and Acoustic Marine Mammal Detection and Localization on Navy Ranges, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 31, 1 (2009) 107-119.
10. Lohrasbipeydeh, H., Zielinski, A. ve Gulliver, T. A., A New Acoustic Method For Passive Sperm Whale Depth Tracking, TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference, Nov. 2012, Cebu, Philippines, 1-5.
11. Paull, L., Saeedi, S., Seto, M. ve Li, H., AUV Navigation and Localization: A Review, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 39, 1 (2014) 131-149.
12. Zhou, S. ve Willett, P., Submarine Location Estimation Via a Network of Detection-Only Sensors, IEEE Transactions On Signal Processing, 55, 6 (2007) 3104-3115.

13. United Nations, *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*, First Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2017.
14. Wang, Q. ve Wang, X., Underwater Natural Gas Pipeline Leakage Detection based on Interferometric Fiber Optic Sensor in Experiment-scale, 2010 Chinese Control and Decision Conference, May. 2010, Xuzhou, China, 257-260.
15. Mao, D., Chu, G., Yanga, L. ve Li, Z., Deepwater Pipeline Damage and Research on Countermeasure, *Aquatic Procedia*, 3 (2015) 180-190.
16. Thodi, P., Paulin, M., DeGeer, D. ve Lanan, G., Offshore pipeline leak detection technologies for arctic applications, Subsea and Arctic Leak Detection Symposium, Dec. 2012, Houston, USA, 1-4.
17. Zhang, J., Designing a Cost Effective and Reliable Pipeline Leak Detection System, Pipeline Reliability Conference, Nov. 1996, Houston, USA, 1-11.
18. Murvay, P. ve Silea, I., A survey on gas leak detection and localization techniques, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25, 6 (2012) 966-973.
19. Det Norske Veritas, Selection And Use of Subsea Leak Detection Systems, Recommended Practice Det Norske Veritas DNV-RP-F302, Veritasveien, Norway, 2010.
20. Barbagelata, A. ve Barbagelata, L., New acoustic leak system saves money offshore, *Pipeline Gas Journal*, 231, 11 (2004) 42-44.
21. Shatara, S. ve Tan, X., An Efficient, Time-of-Flight-Based Underwater Acoustic Ranging System for Small Robotic Fish, *IEEE Journal Of Oceanic Engineering*, 35, 4 (2010) 837-846.
22. Yan, Y., Wang, H., Shen, X. ve Yang, F., Efficient convex optimization method for underwater passive source localization based on RSS with WSN, 2012 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing (ICSPCC 2012), Aug. 2012, Hong Kong, China, 171-174.
23. Li, T. ve Nehorai, A., Maximum Likelihood Direction-of-Arrival Estimation of Underwater Acoustic Signals Containing Sinusoidal and Random Components, *IEEE Transactions On Signal Processing*, 59, 11 (2011) 5302-5314.
24. Tuna, G. ve Gungor V. C., A survey on deployment techniques, localization algorithms, and research challenges for underwater acoustic sensor networks, *International Journal of Communication Systems*, 30 (2017) 1-21.
25. Zhang, B., Hu Y., Wang, H. ve Zhuang, Z., Underwater Source Localization Using TDOA and FDOA Measurements with Unknown Propagation Speed and Sensor Parameter Errors, *IEEE Access*, 6 (2018) 36645-36661.

26. Lin, L., So, H. C. ve Chan, Y. T., Accurate and simple source localization using differential received signal strength, Digital Signal Processing, 23, 13 (2013) 736-743.
27. Lohrasbipeydeh, H., Gulliver, T. A. ve Amindavar, H., Blind Received Signal Strength Difference Based Source Localization With System Parameter Errors, IEEE Transactions On Signal Processing, 62, 17 (2014) 4516-4531.
28. Han, G., Aihua, Q., Zhang, C., Wang, Y. ve Rodrigues, J., Localization Algorithms in Large-Scale Underwater Acoustic Sensor Networks: A Quantitative Comparison, International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014 (2014) 1-11.
29. Jiahui, X., Keyu, C. ve Cheng, E., An improved APIT localization algorithm for underwater acoustic sensor networks, 2017 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), Oct. 2017, Xiamen, China, 1-5.
30. Dubrovinskaya, E., Diamant, R. ve Casari, P., Anchorless underwater acoustic localization, 2017 14th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC), Oct. 2017, Bremen, Germany, 1-6.
31. Lee, K. C., Ou, J. S. ve Wang, L. T., Underwater acoustic localization by probabilistic fingerprinting in eigenspace, Oceans 2009, Oct. 2009, Biloxi, USA, 1-4.
32. Niculescu, D. ve Nath, B., Ad-hoc Positioning System, IEEE Global Telecommunications Conference, Nov. 2001, TX, USA, 2926-2931.
33. Bulusu, N., Heidemann, J. ve Estrin, D., GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices, IEEE Personal Communications, 7, 5 (2000) 28-34.
34. Chen, H., Huang, P., Martins, M., So, H. C. ve Sezaki, K., Novel Centroid Localization Algorithm for Three-Dimensional Wireless Sensor Networks, 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Nov. 2008, Dalian, China, 1-4.
35. Riba, J. ve Urruela, A., A non-line-of-sight mitigation technique based on ML-detection, Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), May 2004, Quebec, Canada, 153-156.
36. Caffery, J. J. ve Stuber, G. L., Overview of radiolocation in CDMA cellular systems, IEEE Communications Magazine, 36, 4 (1998) 38-45.
37. Guvenc, I., Chong, C. C. ve Watanabe, F., NLOS identification and mitigation for UWB localization systems, Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Commun. Networking (WCNC), Mar. 2007, Hong Kong, China, 1571-1576.

38. Guvenc, I., Chong. C. C., Watanabe, F. ve Inamura, H., NLOS identification and weighted least squares localization for UWB systems using multipath channel statistics, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, 1 (2007) 1-14.
39. Chen, P. C., A non-line-of-sight error mitigation algorithm in location estimation, Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Commun. Networking (WCNC), Sept. 1999, New Orleans, USA, 316-320.
40. Li, X., An iterative NLOS mitigation algorithm for location estimation in sensor networks, Proc. IST Mobile and Wireless Commun. Summit, June 2006, Myconos, Greece, 1-5.
41. Li, Z., Trappe, W., Zhang, Y. ve Nath, B., Robust statistical methods for securing wireless localization in sensor networks, Proc. IEEE Int. Symp. Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Apr. 2005, Los Angeles, USA, 91-98.
42. Casas, A., Marco, A., Guerrero, J. J. ve Falco, J., Robust estimator for non-line-of-sight error mitigation in indoor localization, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2006, 1 (2006) 1-8.
43. Chen, C. L. ve Feng, K. T., An efficient geometry-constrained location estimation algorithm for NLOS environments, Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Networks, Commun., Mobile Computing, June 2005, Hawaii, USA, 244-249.
44. Mao, G. ve Fidan, B., Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks, First Edition, Information Science Reference, New York, 2009.
45. Bhuiyan, M. Z. H. ve Lohan, E. S., Advanced Multipath Mitigation Techniques for Satellite-Based Positioning Applications, International Journal of Navigation and Observation, 2010 (2010) 1-15.
46. Tamazin, M., Noureldin, A., Korenberg, M. J. ve Kamel, A. M., A New High-Resolution GPS Multipath Mitigation Technique Using Fast Orthogonal Search, The Journal of Navigation, 69 (2016) 794-814.
47. Marx, M., Kokozinski, R. ve Müller, H. C., Time Synchronization for Real Time Localization Systems with Multi Path Mitigation, IEEE MTT-S International Microwave Workshop on Wireless Sensing, Local Positioning, and RFID, June 2009, Cavtat, Croatia, 1-4.
48. Aram, M., El-Rabbany, A., Krishnan, S. J. ve Anpalagan, A., Single Frequency Multipath Mitigation Based On Wavelet Analysis, The Journal of Navigation, 60 (2007) 281-290.
49. Lazaro, A., Girbau, D., Moravek, P. ve Villarino, R., A Study on Localization in Wireless Sensor Networks using Frequency Diversity for Mitigating Multipath Effects, ELEKTRONIKA IR ELEKTROTEHNIKA, 19, 13 (2013) 82-87.

50. Ladha, C., Sharif, B. S. ve Tsimenidis, C. C., Mitigating propagation errors for indoor positioning in wireless sensor networks, In IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), Oct. 2007, Pisa, Italy, 1-6.
51. Moschitta, A., Macii, D., Trenti, F., Dalpez, F. ve Bozzoli, A., Characterization of a Geometrical Wireless Signal Propagation Model for Indoor Ranging Techniques, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), May. 2012, Pisa, Italy, 2598-2603.
52. Zhang, C., Qi, W., Liu, P. ve Wei, L., Multipath cancellation by frequency diversity: a training-free and analytical approach to accurate RSS ranging in ground-deployed wireless sensor networks, Electronics Letters, 50, 6 (2014) 471-473.
53. Pu, C. C. ve Chung, W. Y., Mitigation of Multipath Fading Effects to Improve Indoor RSSI Performance, IEEE Sensors Journal, 8, 11 (2008) 1884-1886.
54. Li-Jun, C., Xiang, G. ve Liang, A., Multipath passive localization in shallow water channel, Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 48, 5 (2012) 609-615.
55. Koenig, S., Schmidt, M. T. ve Hoene, C., Multipath Mitigation for Indoor Localization Based on IEEE 802.11 Time-of-Flight Measurements, 2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, June 2011, Lucca, Italy, 1-8.
56. Jaffe, A. ve Wax, M., Single-site localization via maximum discrimination multipath fingerprinting, IEEE Transactions on Signal Processing, 62, 7 (2014), 1718-1728.
57. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Remote leak detection for underwater natural gas pipelines, 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), May 2017, Antalya, Turkey, 1-4
58. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Remote leak hole localization for underwater natural gas pipelines, 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 2017, Barcelona, Spain, 528-531.
59. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., A passive acoustic based system to locate leak hole in underwater natural gas pipelines, Digital Signal Processing, 76 (2018), 59-65.
60. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Localization of leakages in underwater natural gas pipelines for multipath propagation, 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), May 2018, Izmir, Turkey, 1-4.
61. Qarabaqi, P. ve Stojanovic, M., Statistical Characterization and Computationally Efficient Modeling of a Class of Underwater Acoustic Communication Channels, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 38, 4 (2013), 701-717.

62. Moffat, C., Emmerson, R., Weiss, A., Symon, C., ve Dicks, L., Quality Status Report 2010, Ospar Commission http://qsr2010.ospar.org/en/ch07_01.html. 10 Ocak 2019.
63. <https://www.offshore-technology.com/features/featureunderwater-arteries-the-worlds-longest-offshore-pipelines-4365616/> Underwater Arteries. 10 Ocak 2019.
64. <https://www.nord-stream2.com/en/pdf/document/95/> Nord Stream 2 Pipeline. 10 Ocak 2019.
65. FACTS, Pipelines and onshore facilities, Yayın no:15, Stavanger, Norway, 2009.
66. <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/blue-stream/> Blue Stream Pipeline. 10 Ocak 2019.
67. Pirani, R., White stream; A Priority Project of the EU and integral component of the Southern Gas Corridor, Ashgabat 2010 <https://www.osce.org/ashgabat/67922?download=truev>. 10 Ocak 2019.
68. <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/> Turkish Stream Pipeline. 10 Ocak 2019.
69. <https://www.jpost.com/Business-and-Innovation/Energy-ministers-eye-2025-for-completion-of-Israel-Europe-gas-pipeline-485953> Israel-Cyprus Pipeline. 10 Ocak 2019.
70. Hopkins, P., PIPELINES: Past, Present, and Future, The 5th Asian Pacific IIW International Congress, Mar. 2007, Sydney, Australia, 1-28.
71. <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=7aa4535ca4364efe86da66e0cbc376ab> Oil and gas platforms in Gulf of Mexico. 10 Ocak 2019.
72. https://www.globaldata.com/store/report/gdge0243mar--q1-2018-global-oil-and-gas-discoveries-review-europe-leads-with-highest-number-of-discoveries/?utm_source=email&utm_medium=eshot&utm_campaign=GD_oil&gas_global_discoveries&utm_nooverride=1 Q1 2018 Global Oil and Gas Discoveries Review – Europe Leads with Highest Number of Discoveries, Report Code:GDGE0243MAR. 10 Ocak 2019.
73. <https://www.cbsnews.com/news/not-one-drop-of-oil-spilled-not-quite/> Hurricanes Katrina and Rita hit the oil infrastructure in the Gulf of Mexico. 10 Ocak 2019.
74. Li, X., Chen, G. ve Zhu, H., Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network, Process Safety and Environmental Protection, 103 (2016) 163-173.
75. <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/pipeline-incident-flagged-files> PHMSA Pipeline Safety-Flagged Incidents for 2002-2009. 10 Ocak 2019.

76. http://www.china.org.cn/environment/2011-12/30/content_24290685.htm Natural gas pipeline leak caused by sand dredging. 10 Ocak 2019.
77. <https://www.pressherald.com/2017/02/16/natural-gas-leaks-from-offshore-pipeline-in-alaska/> Natural gas leaks from offshore pipeline in Alaska. 10 Ocak 2019.
78. <https://www.ecowatch.com/pipeline-leak-alaska-cook-inlet-2318088552.html> Pipeline Leaks Natural Gas Into Alaska's Cook Inlet. 10 Ocak 2019.
79. Liou, J., Leak detection by mass balance effective for Norman wells line, Oil and Gas Journal, 94, 17 (1996) 69-74.
80. Farmer, E., Wallis, D., Edwards, G., ve Kennedy, T., Long-term field tests completed on pipe leak detector program, Offshore, Incorporating the Oilman, 51 (1991) 86-90.
81. Silva, R., Buiatti, C., Cruz, S., ve Pereira, J., Pressure wave behaviour and leak detection in pipelines, Computers & Chemical Engineering, 20 (1996) S491-S496.
82. El-Shiekh, T., Leak detection methods in transmission pipelines, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 32, 8 (2010) 715-726.
83. Zhang, X., Statistical leak detection in gas and liquid pipelines, Pipes & Pipelines International, 38, 4 (1993) 26-29.
84. Zhang, J. ve Di Mauro, E., In Implementing a reliable leak detection system on a crude oil pipeline, UAE: Advances in Pipeline Technology, 1998, Dubai, AE, 1-12.
85. Miah, K. ve Potter, D. K., A Review of Hybrid Fiber-Optic Distributed Simultaneous Vibration and Temperature Sensing Technology and Its Geophysical Applications, Sensors, 17, 2511 (2017) 1-25.
86. Taylor, R. C., Received Signal Strength-Based Localization of Non-Collaborative Emitters in the Presence of Correlated Shadowing, Master of Science Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2013.
87. Gharghan, S. K., Nordin, R. ve Mahamod, I., A Wireless Sensor Network with Soft Computing Localization Techniques for Track Cycling Applications, Sensors, 16, 8 (2016) 1-23.
88. Elkamchouchi, M. ve Mofeed, M. A. E., Direction-Of-Arrival Methods (DOA) and Time Difference of Arrival (TDOA) Position Location Technique, Twenty Second National Radio Science Conference (NWC 2005), Mar. 2005, Cairo, Egypt, 1-10.
89. Zour, T., Lin, S. ve Li, S., Blind RSSD-Based Indoor Localization with Confidence Calibration and Energy Control, Sensors, 16, 788 (2016) 1-24.

90. Gustafsson, F. ve Gunnarsson, F., Mobile positioning using wireless network, IEEE Signal Processing Magazine, 22, 4 (2005) 41-53.
91. Kanmaz, M., Etkin Kullanıcı Hareketliliği ile Kesin Konumlandırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2016.
92. Wang, Z., Gou, X. ve Liu, Y., The Study of the Weighted Centroid Localization Algorithm based on RSSI, 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, Dec. 2014, Wuhan, China, 276-279.
93. Liang, X. ve Zheng, Y., Fingerprint-based location positioning using improved KNN, Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), Sep. 2014, Beijing, China, 57-61.
94. Li, B., Salter, A., Dempster, A. ve Rizos, C., Indoor positioning techniques based on wireless LAN, Proceedings of First IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, Mar. 2006, Sydney, Australia, 13-16.
95. Stojanovic, M., On the Relationship Between Capacity and Distance in an Underwater Acoustic Communication Channel, Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks (WUWNet'06), Sep. 2006, Los Angeles, USA, 41-47.
96. Randall, R., Development In Offshore Engineering, John B. Herbich (editör), First Edition, Gulf Publishing Company, Texas, 1999.
97. Brekhovskikh, L. M., Fundamentals of Ocean Acoustics, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH Publications, New York, 1991.
98. Stefanov, A. ve Stojanovic, M., Design and Performance Analysis of Underwater Acoustic Networks, IEEE Journal On Selected Areas In Communications, 29, 10 (2011) 2012-2021.
99. Francois, R. E. ve Garrison, G. R., Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption, The Journal of the Acoustical Society of America, 72, 6 (1982) 1879-1890.
100. Wenz, G. M., Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources, The Journal of the Acoustical Society of America, 34, 12 (1962) 1936-1956.
101. Sherman, C. H., Transducers and Arrays for Underwater Sound, First Edition, Springer, New York, 2007.
102. Stojanovic, M. ve Preisig, J., Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization, IEEE Communications Magazine, 47, 1 (2009) 84-89.

103. Urick, R. J., Ambient Noise in the Sea, Naval Sea Systems Command, Department of the Navy, Washington, 1984.
104. Mandar, A. C., Potter, J. R. ve Ong, S. H., Optimal and Near-Optimal Signal Detection in Snapping Shrimp Dominated Ambient Noise , IEEE Journal of Oceanic Engineering, 31, 2 (2006) 497-503.
105. Burrowes, G. ve Khan, J. Y., Autonomous Underwater Vehicles , Nuno A. Cruz (editör), First Edition, IntechOpen, Rijeka, 2011.
106. Mandar, C., A high-frequency warm shallow water acoustic communications channel model and measurements, The Journal of the Acoustical Society of America, 122, 5 (2007) 2580-2586.
107. Hovem, J. M., Modeling and Measurement Methods for Acoustic Waves and for Acoustic Microdevices, Marco G. Beghi (editör), First Edition, IntechOpen, Rijeka, 2013.
108. Zielinski, A. ve Yoon, Y., Performance analysis of digital acoustic communication in a shallow water channel, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 20 (1995) 293-299.
109. Costa, E. S. ve Medeiros, E. B., Numerical Modeling And Simulation Of Acoustic Propagation In Shallow Water, Mecánica Computacional Vol XXIX, Nov. 2010, Buenos Aires, Argentina, 2215-2228.
110. Katsnelson, B. G. ve Petnikov, V. G., Shallow-water Acoustics, First edition, Springer & Praxis, London, 2002.
111. Coates, A., An Empirical Formula for Computing the Beckmann-Spizzichino Surface Reflection Loss Coefficient, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 35, 4 (1988) 522-523.
112. Porter, M. B. ve Bucker, H. P., Gaussian Beam Tracing for Computing Ocean Acoustic Fields, Journal of Acoustical Society of America, 82, 4 (1987) 1348-1359.
113. Heitsenrether, R. M. ve Badiy, M., Modeling acoustic signal fluctuations induced by sea surface roughness, Proceedings of High Frequency Ocean Acoustics Conference, Mar. 2004, La Jolla, USA, 214-221.
114. Peterson, J. C. ve Porter, M. B., Ray/beam tracing for modeling the effects of ocean and platform dynamics, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 38, 4 (2013) 655-665.
115. Qarabaqi, P. ve Stojanovic, M., Statistical modeling of a shallow water acoustic communication channel, Proceedings of Underwater Acoust. Meas. Conf., Jun. 2009, Nafplion, Greece, 1341-1350.

116. Radosevic, A., Proakis, J. ve Stojanovic, M., Statistical characterization and capacity of shallow water acoustic channels, Proceedings of IEEE OCEANS Eur. Conf., May. 2009, Bremen, Germany, 1-8.
117. Socheleau, F., Passerieux, J. ve Laot, C., Characterisation of timevarying underwater acoustic communication channel with application to channel capacity, Proceedings of Underwater Acoust. Meas. Conf., Jun. 2009, Nafplion, Greece, 1-8.
118. Galvin, R. ve Coats, R. E. W., A stochastic underwater acoustic channel model, Proceedings of MTS/IEEE OCEANS Conf., Sep. 1996, Florida, USA, 203-210.
119. Qarabaqi, P. ve Stojanovic, M., Modeling the large scale transmission loss in underwater acoustic channels, Proceedings of 49th Annu. Allerton Conf. Commun. Control Comput., Sep. 2011, Illinois, USA, 445-452.
120. Tomasi, B., Casari, P., Badia, L. ve Zorzi, M., A study of incremental redundancy hybrid ARQ over Markov channel models derived from experimental data, Proceedings of 5th ACM Int. Workshop UnderWater Netw., Woods Hole, Sep. 2010, MA, USA, 1-8.
121. Yang, W. B. ve Yang, T. V., High-frequency channel characterization for -ary frequency-shift-keying underwater acoustic communications, The Journal of the Acoustical Society of America, 120, 5 (2006) 2615-2626.
122. Zhang, J., Cross, J. ve Zheng, Y. R., Statistical channel modeling of wireless shallow water acoustic communications from experiment data, Proceedings of Military Commun. Conf., Jan. 2011, CA, USA, 2412-2416.
123. Ballal, T., Al-Naffouri, T. Y. ve Ahmed, S. F., Low-Complexity Bayesian Estimation of Cluster-Sparse Channels, IEEE Transcation On Communications, 63, 11 (2015) 4159-4173.
124. Kari, D., Marivani, I., Sayin, M. O. ve Kozat S. S., Robust adaptive algorithms for underwater acoustic channel estimation and their performance analysis, Digital Signal Processing, 68 (2017) 57-68.
125. Kari, D., Vanli, N. D., ve Kozat S. S., Adaptive and efficient nonlinear channel equalization for underwater acoustic communication, Physical Communication, 24 (2017) 83-93.
126. Bouabdallah, F., Zidi, C., ve Boutaba, R., Joint Routing and Energy Management in UnderWater Acoustic Sensor Networks, IEEE Transcation On Network and Service Management, 14, 2 (2017) 456-471.
127. Zhao, X., Pompili, D. ve Alves, J., Underwater Acoustic Carrier Aggregation: Achievable Rate and Energy-Efficiency Evaluation, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 42, 4 (2017) 1035-1048.

128. Ruan, Y., Sheng, X., Fan, L., Shi, Y. ve Lu, D., The design of adaptive SIMO equalizer in the time-varying channel, 2016 IEEE/OES China Ocean Acoustics (COA), Aug. 2016, Harbin, China, 1-6.
129. Qarabaqi, P. ve Stojanovic, M., Acoustic Channel Simulator, <http://millitsa.coe.neu.edu/?q=projects>. 10 Ocak 2019.
130. Wang, Y., Linear least squares localization in sensor network, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015, 51 (2013) 1-7.
131. Yang, J. ve Chen, Y., Indoor Localization Using Improved RSS-Based Lateration Methods, GLOBECOM'09 Proceedings of the 28th IEEE conference on Global telecommunications, Nov. 2009, Hawaii, USA, 4506-4511.
132. Kennedy, J. ve Eberhart, R. C., Particle swarm optimization, Proc. IEEE Intel. Conf. On Neural Networks, Nov. 1995, Perth, Australia, 1942-1948.
133. Mahmutoglu, Y., Turk, K. ve Tugcu, E., Particle swarm optimization algorithm based decision feedback equalizer for underwater acoustic communication, 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), June 2016, Vienna, Austria, 153-156.
134. Shi, Y. ve Eberhart, R. C., A Modified Particle Swarm Optimizer, Proceedings of the Evolutionary Computation, May 1998, Anchorage, USA, 69-73.
135. Bansal, J. C., Singh, P. K., Saraswat, S., Verma, A., Jadon, S. ve Abraham, A., Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization, Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, Oct. 2011, Salamanca, Spain, 634-640.
136. Kandiyoti, R., Under the sea, Engineering & Technology, 4, 14 (2009) 26-28.
137. Strasberg, M., Gas Bubbles as Sources of Sound in Liquids, The Journal of The Acoustical Society of America, 28, 1 (1956) 20-26.
138. Minnaert, M., On musical air-bubbles and the sound of running water, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 16, 104 (1933) 235-248.
139. Lamb, H., Hydrodynamics, First Edition, Dover Publications, New York, 1945.
140. Sano, M., Mori, K. ve Sato, T., Bubble formation at single nozzles immersed in molten iron, Tetsu-to-Hagané, 63, 14 (1977) 2308-2315.
141. Okumura, K., Komarov, S. V. ve Sano, M., Gas Injection from Slot Nozzles with Various Shapes in Water, ISIJ International, 40, 6 (2000) 544-548.

142. Leighton, T. G., Fagan, K. J. ve Field, J. E., Acoustic and photographic studies of injected bubbles, European Journal of Physics, 12, 2 (1991) 77-85.
143. Ren, Q. Y., Chen, G. J., Yan, W. ve Guo, T. M., Interfacial Tension of (CO₂+CH₄)+Water from 298K to 373K and Pressures up to 30MPa, Journal of Chemical Engineering & Data, 45, 4 (2000) 610-612.
144. Bernasconi, G., Del Giudice, S., Giunta, G., Dionigi, F., Schiavon, R. ve Zanon, F., Advanced Pipeline Monitoring Using Multipoint Acoustic Data, Eleventh Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Mar. 2013, Ravenna, Italy, 1-9.
145. Pedrosa, P., Dinis, R. ve Nunes, F., Joint Equalization and Phase Drift Estimation for Underwater Acoustic Communications, 2014 IEEE Global Communications Conference, Dec. 2014, Austin, USA, 1-6.



ÖZGEÇMİŞ

Yiğit MAHMUTOĞLU, 30.11.1987 tarihinde Rize’de doğdu. 2004 yılında Rize Lisesinden mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden, Elektrik-Elektronik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünden Elektronik Yüksek Mühendisi unvanıyla mezun olup, yüksek lisans eğitiminin bir kısmını İsveç’teki Halmstad Üniversitesinde sürdürdü. 2010-2013 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2013 yılından beri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. TÜBİTAK 2211-A Genel Yurtiçi Doktora Burs Programı kapsamında burs almıştır. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler (SCI/SCI-E)

1. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Positioning of Leakages In Underwater Natural Gas Pipelines For Time-Varying Multipath Environment, Ocean Engineering, 2018 (Değerlendirme aşamasında).
2. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Received signal strength difference based leakage localization for the underwater natural gas pipelines, Applied Acoustics, 2018 (Değerlendirme aşamasında).
3. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., A passive acoustic based system to locate leak hole in underwater natural gas pipelines, Digital Signal Processing, 76, (2018), 59-65.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. Mahmutoğlu, Y. ve Türk, K., Sualtı doğalgaz boru hatlarındaki sızıntıların konumlandırılmasının zaman ve frekans seçici akustik kanalda incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2018 (Değerlendirme aşamasında).

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. Mahmutoglu Y. ve Turk, K., Localization of leakages in underwater natural gas pipelines for multipath propagation, 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), May 2018, İzmir, Turkey, 1-4.

2. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Remote leak hole localization for underwater natural gas pipelines, 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 2017, Barcelona, Spain, 528-531.
3. Mahmutoglu, Y. ve Turk, K., Remote leak detection for underwater natural gas pipelines, 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), May 2017, Antalya, Turkey, 1-4.
4. Mahmutoglu, Y., Turk, K. ve Tugcu, E., Particle swarm optimization algorithm based decision feedback equalizer for underwater acoustic communication, 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), June 2016, Vienna, Austria, 153–156.
5. Mahmutoglu, Y., Yazgan, A., Tugcu, E. ve Cavdar, I. H., The effects of sea environmental conditions on the underwater acoustic communication systems, 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 2013, Rome, Italy, 133–137.

Ulusal Patentler

1. Mahmutoğlu, Y. ve Törk, K., (2017). "Sualtı Doğalgaz Boru Hatları İçin Sızıntı Tespit Sistemi". (Değerlendirme aşamasında).