

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞRUSAL DİZİN ALICILARDA HUZME
ŞEĞİLLENDİRİCİLER İLE KAYNAKLARIN
YÖNLERİNİN KESTİRİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Y. Müh. Şeyhmus DİREK**

Anabilim Dalı: ELEKTRONİK VE HABERLEŞME

Programı : TELEKOMÜNİKASYON MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**DOĞRUSAL DİZİN ALICILARDA HUZME
ŞEKİLLENDİRİCİLER İLE KAYNAKLARIN
YÖNLERİNİN KESTİRİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Y. Müh. Şeyhmus DİREK
(504041324)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tayfun AKGÜL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Serhat ŞEKER
Doç.Dr. Işın ERER**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

İstanbul Boğazi'nda yapılacak sualtı ortam gürültüsü sistemi ile toplanacak verilere geleneksel ve uyarlamalı huzme şekillendirme yordamları uygulanarak suda bulunan kaynakların yönleri kestirilmeye çalışılacaktır. Bu tez kapsamında sentetik üretilen verilere bahse konu yordamlar uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir.

Yüksek lisansım boyunca bana daima destek olan şube müdürüm Dr.Yük.Müh.Albay Erhan GEZGİN'e, iş arkadaşlarım Yük.Müh.Bnb. Mustafa ÖZYALVAÇ, Yük.Müh.Bnb. Ahmet ÜNLÜ ve Yük.Müh.Yzb Murat ELGE'ye, bana her zaman destek olan proje ekibi arkadaşlarım Yük.Müh. Süleyman BAYKUT, Yük.Müh. Ali Serdar DEMİROĞLU, Müh. Cengiz GEZER ve Müh.Ufuk ULUĞ'a çok teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana daima pozitif enerji depolayan ve bizi daima yeni açılımlara yönlendiren sevgili hocam Prof.Dr. Tayfun AKGÜL'e şükranlarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana daima destek olan sevgili aileme en derin şükranlarımı sunuyorum. Daima onlara layık bir evlat olmaya çalıştım. Umarım daima onları sevindirebilirim. Ve en son olarak da teşekkürden daha fazlasını hak eden ve bana daima destek olan sevgili eşime şükranlarımı sunarım. Bu tez çalışmasını bana her zaman destek olan ve beni her konuda destekleyen, her türlü fedakârlığı gösteren sevgili eşime ve yeni hayata merhaba diyen sevgili oğluma adıyorum.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. SUALTI ORTAM ŞARTLARI	8
2.1. Ortam Gürültüsü	8
2.2. İzotropik Gürültü	11
2.3. Akustik Ortam Şartları	11
2.4. Temel Akustik Yayılım Yolları	13
2.5. Ses Yayılım Modelleri	13
2.6. Dalga Denklemi ve Sınır Koşulları	14
2.7. Normal Mode Modeli	15
2.8. İdeal Dalga Kılavuzu	16
2.9. Pekeris Dalga Kılavuzu	17
2.10. İstanbul Boğazı'nın Ortam Şartları	18
3. KAYNAK YÖNLERİNİN KESTİRİMİNDE KULLANILACAK YORDAMLAR	22
3.1. Doğrusal Dizi Alıcılar	22
3.2 Frekans Ortamında Huzme Şekillendirme	23
3.3 Zaman Ortamında Huzme Şekillendirme	25
3.4 Geleneksel Huzme Şekillendirici	26
3.5 Uyarlamalı İşleme	27
3.2 Uyumlu Alan İşleme	29
4. İSTANBUL BOĞAZI'NIN BENZETİMİ	32
4.1. Ortamın Benzetimi	32
4.2. Frekans Ortamında Huzme Şekillendirme Benzetimi	33
4.2.1. Veri Setinin Oluşturulması	33
4.2.2. Verinin İşlenmesi	34
4.3. Zaman Ortamında Huzme Şekillendirme Benzetimi	37
4.3.1. Veri Setinin Oluşturulması	37
4.3.2. Verinin İşlenmesi	38
4.4. Uyumlu Alan İşleme Benzetimi	41
4.4.1. Ortamın Tanımlanması	41
4.4.2. Veri Setinin Oluşturma	41
4.2.2. Veri İşleme	41

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	46
KAYNAKLAR	49
EKLER	51
ÖZGEÇMİŞ	54

KISALTMALAR

CBF	: Conventional Beamformer
ABF	: Adaptive Beamformer
MVDP	: Minimum Variance Distortionless Processor
UAİ	: Uyumlu Alan İşleme
MFP	: Matched Field Processor
STFT	: Short Time Fourier Transforms
DOA	: Directional of Arrival
AOA	: Angle of Arrival
SNR	: Signal Noise Ratio
AG	: Array Gain
ÇİYM	: Çapraz İzgesel Yoğunluk Matrisi
CSDM	: Cross Spektral Density Matrix
MV	: Minimum Variance
OG	: Ortam Gürültüsü
DSH	: Denizaltı Savunma Harbi
FFP	: Fast-Field Program
PE	: Parabolic Equation
NM	: Normal Mode
TL	: Transmission Loss
DIFAR	: Directional Frequency and Ranging

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Alıcı dizi	2
Şekil 1.2 : Sistemin Blok Diyagramı	3
Şekil 1.3 : Sistemin Blok Şeması.....	3
Şekil 1.4 : Dizi alıcıya gelen düzlemsel dalga.....	5
Şekil 1.5 : Düzlemsel dalga bir işaretin yatay konumdaki bir alıcıda algılanması.....	6
Şekil 1.6 : UAİ işaret işleme tekniği.....	7
Şekil 2.1 : Ortam Gürültüsü Kaynaklarının kapsadığı frekans bantları (Wenz).....	9
Şekil 2.2 : Gürültü Kaynaklarına göre gürültü spektrumu.....	10
Şekil 2.3 : Ses hızı profili	12
Şekil 2.4 : Sığ su yayılımı.....	13
Şekil 2.5 : Normal Mode modeli ile sesin su içerisinde yayılımı.....	16
Şekil 2.6 : İdeal dalga kılavuzu	16
Şekil 2.7 : Pekeris dalga kılavuzu.....	17
Şekil 2.8 : Pekeris dalga kılavuzunda 35 Hz frekansta 3 adet derinlik-bağımlı mod gösterimi.....	18
Şekil 2.9 : İstanbul Boğazı Çubuklu – İstinye arası akıntı örüntüsü....	
Şekil 2.10 : İstanbul Boğazı Ocak, Nisan, Haziran ve Eylül ayları ortalama Ses hızı, sıcaklık, tuzluluk ve sigma-t profilleri.....	19
Şekil 3.1 : Yatay yerleştirilmiş dizi alıcı.....	22
Şekil 3.2 : Dizi alıcıya gelen verinin snapshotlere bölünerek kestirim yapılması.....	25
Şekil 3.3 : Geleneksel Huzme Şekillendirme (N=21 elemanlı doğrusal dizi alıcı).....	27
Şekil 3.4 : UAİ işleme ile kaynak yerinin belirlenmesi.....	31
Şekil 4.1 : 400 Hz frekanslı verinin frekans ortamında gösterimi.....	34
Şekil 4.2.a : N=1 için durumu için huzme şekillendirme.....	35
Şekil 4.2.b : N=100 durumu için huzme şekillendirme.....	35
Şekil 4.3.a : Dizi elemanları arası mesafe $d = \lambda / 2$ durumu için huzme şekillendirme.....	36
Şekil 4.3.b : Dizi elemanları arası mesafe $d = \lambda$ durumu için huzme şekillendirme.....	36
Şekil 4.4.a : Alıcı Dizi Eleman Sayısı M= 33 ile huzme şekillendirme...	36
Şekil 4.4.b : Alıcı Dizi Eleman Sayısı M=64 ile huzme şekillendirme...	36

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.5.a : Zaman ortamında verinin gösterimi.....	38
Şekil 4.5.b : Zaman ortamında verinin gösterimi.....	38
Şekil 4.6.a : Dizi alıcı tarafından toplanmış gürültülü veri.....	38
Şekil 4.6.b : Verinin zaman ortamında huzme şekillendirici ile işlenmesi ve kaynak geliş yönlerinin kestirimi.....	38
Şekil 4.7.a : Zaman ortamında huzme şekillendirme,.....	39
Şekil 4.7.b : Frekans ortamında huzme şekillendirme.....	39
Şekil 4.8.a : M=16 elemanlı dizi alıcı ile toplanmış veri.....	39
Şekil 4.8.b : Toplanmış veriye zaman ortamında huzme şekillendirme uygulanarak kaynak geliş yönlerinin kestirimi.....	39
Şekil 4.9.a : M=16 elemanlı dizi alıcı ile zaman ortamında huzme şekillendirme.....	40
Şekil 4.9.b : Frekans ortamında huzme şekillendirme.....	40
Şekil 4.10.a : M=33 elemanlı dizi alıcı ile zaman ortamında huzme şekillendirme.....	40
Şekil 4.10.b : Frekans ortamında huzme şekillendirme.....	40
Şekil 4.11 : Pekeris dalga kılavuzunda $f=100$ Hz de Normal Mode yayılımı.....	42
Şekil 4.12.a : $f=100$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ	43
Şekil 4.12.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	43
Şekil 4.13.a : $f=150$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ	43
Şekil 4.13.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	43
Şekil 4.14.a : $f=200$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ	44
Şekil 4.14.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	44
Şekil 4.15.a : $r=75$ metre, $f=300$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	44
Şekil 4.15.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	44
Şekil 4.16.a : $r=75$ metre, $f=500$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	45
Şekil 4.16.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	45
Şekil 4.17.a : $r=75$ metre, $f=150:10:200$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ	45
Şekil 4.17.b : Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ.....	45
Şekil A1 : Şekil A1: İstanbul Boğazı Ocak-Nisan Ayları Oşinografik Özellikleri.....	51
Şekil A2 : Şekil A2: İstanbul Boğazı Mayıs-Ağustos Ayları Oşinografik Özellikleri.....	52
Şekil A3 : Şekil A3: İstanbul Boğazı Eylül-Aralık Ayları Oşinografik Özellikleri.....	53

SEMBOL LİSTESİ

b,B	: Hüzme Şekillendirme
K	: İlinti matrisi
s	: İşaret
n	: Gürültü
w	: Ağırlık vektörü
x	: Kısa-zaman foriur dönüşümü veri vektörü
ω	: Açısal frekans
d	: Dizi alıcı elemanları arası mesafe
k	: Dalga sayısı
θ	: Geliş açısı
φ	: Faz farkı
k_z, k_r	: Yatay ve dikey dalga sayısı
M	: Dizi alıcı eleman sayısı
N	: Snapshot sayısı
p	: Basınç
λ	: Dalga boyu
c	: ses hızı
f	: Frekans
T	: Sıcaklık
S	: Tuzluluk
z	: Derinlik
t	: Zaman
z_s	: Kaynak derinliği
z_r	: Alıcı derinliği
ρ	: Yoğunluk
σ_t	: Sigma t
τ	: Zaman gecikmesi
∇	: Gradyen
F_s	: Örnekleme Frekansı

Üniversitesi	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Enstitüsü	: Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	: Elektrik – Elektronik Fakültesi
Programı	: Telekomünikasyon Mühendisliği
Tez Danışmanı	: Prof. Dr. Tayfun AKGÜL
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Aralık 2006

ÖZET

DOĞRUSAL DİZİN ALICILARDA HÜZME ŞEKİLLENDİRİCİLER İLE KAYNAKLARIN YÖNLERİNİN KESTİRİMİ

Şeyhmus DİREK

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik\ Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği tarafından “İstanbul Boğazı’nın Sualtı Ortam Gürültüsünün (OG) Ölçümü, Arşivlenmesi ve Modellenmesi” konulu 106Y090 Nolu TÜBİTAK projesi yürütülmektedir. Bu proje kapsamında İstanbul Boğazı’na sabit bir sualtı dinleme sistemi kurulacak ve sürekli olarak ortamın gürültü verisi toplanacaktır. Bu tez kapsamında İstanbul Boğazı’nın benzetimi yapılarak MATLAB ortamında oluşturulan sentetik verilere frekans ve zaman tabanlarında Bartlett ve Uyarlamalı (Adaptive) Hüzme Şekillendirme (Beamforming) yöntemleri uygulanmıştır. Bu hüzme şekillendiriciler ile su içerisinde bulunan kaynakların geliş açıları (Directional of Arrival DOA) dikey doğrusal bir dizin alıcı (Vertical Linear Array) ile elde edilmiştir. Su ortamında alıcı dizinden belli bir mesafe ve derinlikte bulunan bir kaynağın derinlik ve mesafe bilgileri Uyumlu Alan İşleme (UAI) (Matched Filter processing) işaret işleme tekniği ile kestirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bartlett Hüzme Şekillendirici, Uyarlamalı Hüzme Şekillendirici, Sualtı Ortam Gürültüsü, Doğrusal Dizin alıcı, Uyumlu Alan İşleme

Bilim Dalı Sayısal Kodu: 609.02.08

University : İstanbul Technical University
Institute : Institute of Science and Technology
Science Programme : Electrical Engineering
Programme : Telecommunication Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Tayfun AKGÜL
Degree Awarded and Date : Ms – December 2006

ABSTRACT

DIRECTIONAL OF ARRIVING ESTIMATION VIA BEAMFORMERS ON LINEAR ARRAY

Şeyhmus DİREK

Istanbul Technical University (ITU) Department of Electronics and Telecommunication Engineering carries out a TUBITAK project “Modeling and Data Acquisition of Underwater Ambient Noise in the Strait of Istanbul”. There will be a stationary linear array system to measure ambient noise data of the Strait. In this study, Strait of Istanbul has been simulated and related data generated with MATLAB. In frequency and time domain, conventional (Bartlett) beamformer and Adaptive (Minimum Variance Distortionless Processor) beamformer applies to generated data to estimate Directional of Arrival. The depth and range of a source is estimated via Matched Field Processor.

Keywords: Bartlett Beamformer, Adaptive Beamformer, Ambient Noise, Linear array, Matched Field Processing

Science Code: 609.02.08

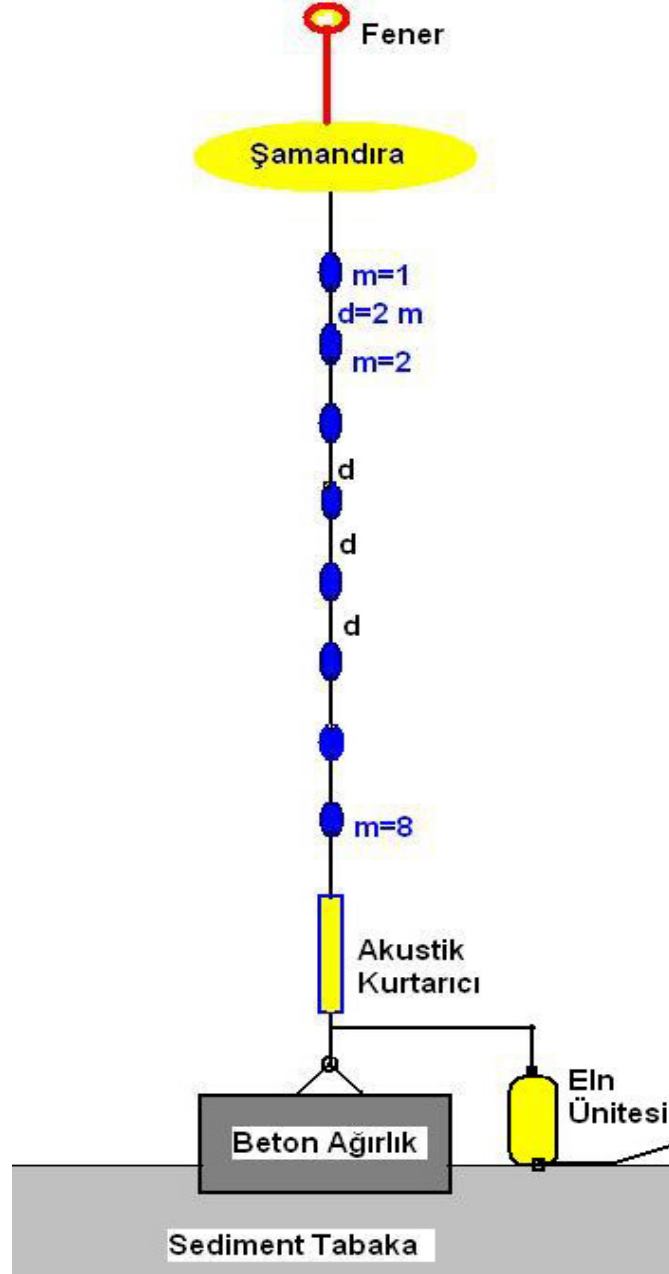
1. GİRİŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü tarafından “**İstanbul Boğazı’nın Ortam Gürültüsünün Ölçümü, Arşivlenmesi ve Modellenmesi**” konusunda 2005 yılında bir proje ile TÜBİTAK’a başvurulmuştur. TÜBİTAK tarafından yapılan değerlendirme sonucunda proje uygun bulunmuş ve Eylül 2006 yılında bütçelendirilmiştir. 106Y090 no’lu TÜBİTAK projesinin yürütücülüğünü Prof.Dr. Tayfun AKGÜL yapmaktadır. Bu projenin genel koordinatörü olarak proje içerisinde görev almaktayım.

Bu proje kapsamında İstanbul Boğazı’nda sürekli olarak ölçüm yapacak bir adet sualtı ortam gürültüsü ölçme sistemi tasarlanacaktır. Bu sistem bir adet doğrusal dizi alıcıya sahip olup suya dikey olarak atılacaktır. Doğrusal dizi alıcı sistemi sekiz adet alıcı sensörden oluşmaktadır. Dizi alıcının her eleman arası mesafesi $d=2$ metre olacaktır. Tasarlanan dizi alıcı ile 0.010 – 50 kHz frekans bandında ölçüm yapmak mümkün olmaktadır (Şekil 1.1).

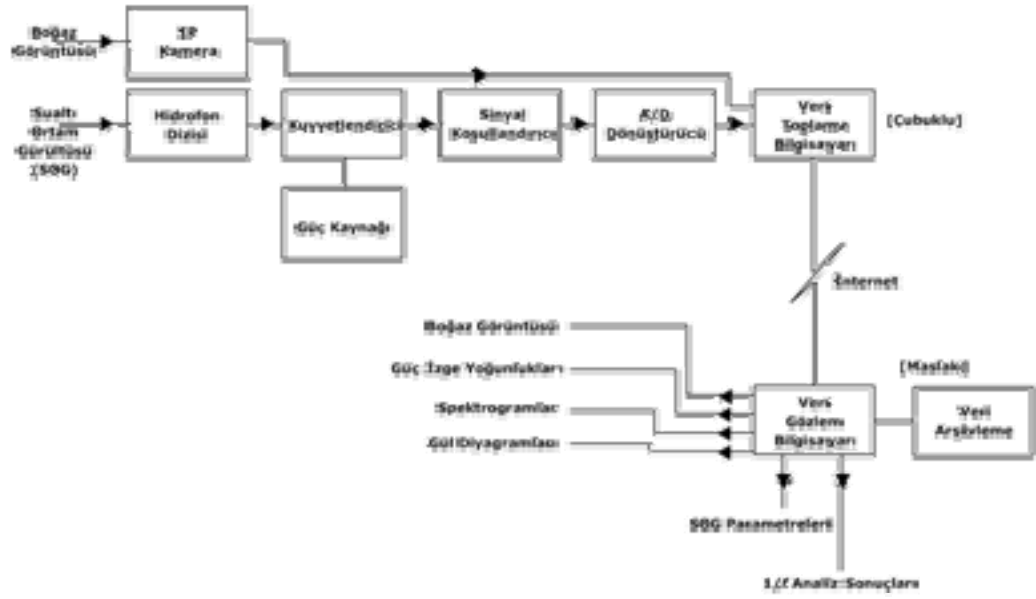
Sistem yukarıdan bir adet yüzdürücü şamandıra ile yüzdürülmektedir. Dizi alıcının alt kısmında su içerisinde dizi sensörlerin topladığı veriyi sayısal forma çevirecek A/D kartlar ile verileri koaksiyel kablo üzerinden Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı’nda (SHODB) konuşlu veri toplama birimine aktaracak modemi içeren basınca dayanıklı su geçirmeyen elektronik ünitesi bulunacaktır. Elektronik ünitesi bir adet akustik kurtarıcı ile dipte bulunan ağırlığa monte edilecektir. Sistemin sudan çıkarılması işleminde beton ağırlık akustik kurtarıcı ile sistemden ayrılmakta ve sistem su yüzeyine çıkmaktadır.

Elektronik ünitenin alt kısmına bir adet konnektör ile bağlı koaksiyel kablo vasıtası ile toplanan veriler SHODB de konuşlu veri toplama ünitesine aktarılacaktır. Bu veriler kısa paketler halinde depolanacaktır. Toplanan veriler internet üzerinden İTÜ sinyal işleme laboratuvarına aktarılacaktır. Aktarılan veriler İTÜ sinyal işleme laboratuvarında işlendikten sonra arşivlenecektir. Sistemin genel blok diyagramı şekil 1.2’de verilmiştir.



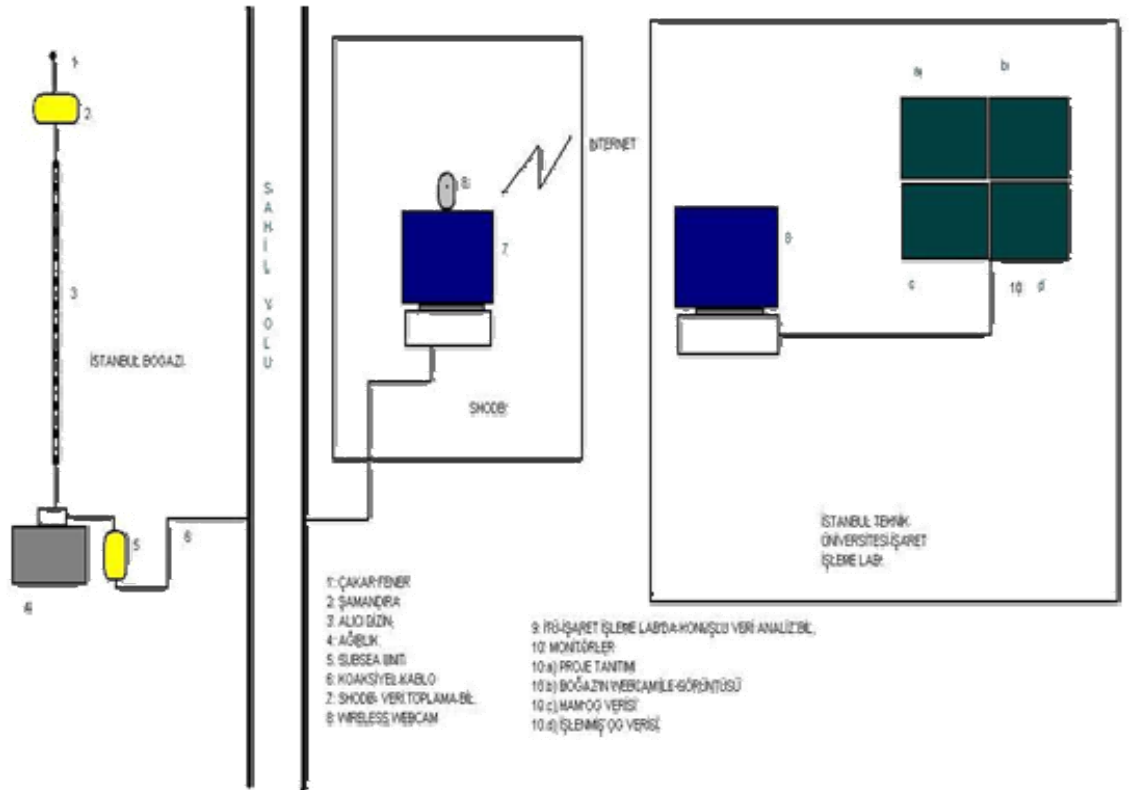
Şekil 1.1: Alıcı dizi

Toplanan verilere, İTÜ sinyal işleme laboratuvarında klasik işaret işleme teknikleri olan gül diyagramı, izge analizi, dikey değişim eğrileri ile zaman ve frekans tabanlı analizler yapılacaktır. Bu işaret işleme yordamlarının yanı sıra modern alternatif yordamlar da toplanan verilere uygulanacaktır. Uzun süreli veri toplama işlemi sonunda toplanan veriler ışığında İstanbul Boğazı'nın ortam gürültü yapısı modellenecektir.



Şekil 1.2: Sistemin Blok Diyagramı.

İstanbul Boğazı'nda toplanan verilere zaman ve frekans ortamlarında huzme şekillendirme yordamları uygulanacak ve su içerisinde bulunan kaynakların yönlerinin kestirimi yapılacaktır. Bu çalışma kapsamında İstanbul Boğazı'nın benzetimi yapılacak ve üretilen sentetik verilere bu yordamlar uygulanacaktır.



Şekil 1.3: Sistemin Blok Şeması

Bu çalışmada, aksi söylenmedikçe bütün küçük harfli kalın karakterler vektörleri, bütün kalın büyük harfli karakterler de matrisleri temsil etmektedir.

Doğrusal dizi alıcılar (Linear array hydrophone) ile akustik kaynakların tespitlerinde işareti maskeleyemeye çalışan ortam gürültüsünün kestirimi gerekmektedir. Dizi hidrofونun her elemanı kendisine ulaşan ses seviyesini (işaret) ölçer. Ölçülen bu işaretler, belirli bir konumda yayın yapan gürültü kaynaklarının dinlenilmesi olarak düşünülebilir. Bu işleme konumsal filtreleme (spatial filtering) veya huzme şekillendirme (beamforming) denir [1,2,3,4,5].

Huzme şekillendirme, bir zaman gecikmesi uygulanarak zaman ortamında veya bir faz kayması eklenerek frekans ortamında uygulanabilir. M alıcı dizi eleman sayısı olmak üzere $m=1, \dots, M$ elemanlı dizi alıcı ile zaman ortamında huzme şekillendirme

$$b(n, t) = \sum_{m=1}^M s(m, t - \Delta(n, m)) \quad (1.1)$$

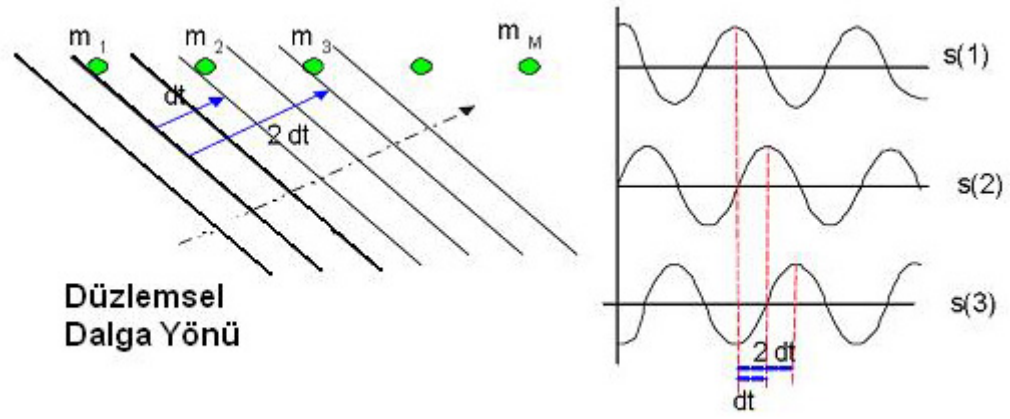
denklemleri ile gösterilir. Burada Δ , zaman gecikmesi ve $s(m, t)$ alıcı elemanlarında ölçülen işarettir. Frekans ortamında huzme şekillendirme ise

$$\mathbf{b} = \mathbf{w}^* \mathbf{x} \quad (1.2)$$

denklemleri ile verilir. Bu denklemde, $\mathbf{w}$ konumsal filtre katsayıları veya ağırlık vektörü, $\mathbf{x}$ ise ayrık frekans binlerine bölünmüş eleman işaretlerinin kısa-zaman fourier dönüşümü olan veri vektörüdür.

Düzlemsel dalgalar, alıcı dizi elemanlarına farklı zaman aralıklarında ve faz gecikmeleri ile ulaşırlar (Şekil 1.4). Huzme şekillendirme veya konumsal filtreleme yordamı, işaretlere uygun bir zaman gecikmesi veya faz kayması ekleyerek dizi alıcı elemanlarının belirli bir konuma odaklanmalarını ve o konumu dinlemelerini sağlar.

Huzme şekillendirme, dizi alıcı çalışmalarında çok önemli bir yer tutmakta ve birçok uygulama alanı bulmaktadır. Huzme şekillendirme, sualtı akustiği uygulamalarında genel olarak su içerisinde bulunan kaynakların (denizaltı, beacon gibi) yönünü ve sayısını bulmada kullanılır. Dizi alıcılarda, frekans ortamında faz gölgeleme (phase shading), zaman ortamında zaman-gecikme (time-delay veya sum-delay) gibi huzme şekillendirme yöntemleri kullanılarak işaretin geldiği yön (Direction of Arrival (DOA) veya Angle of Arrival (AOA)) kestirilmeye çalışılır.



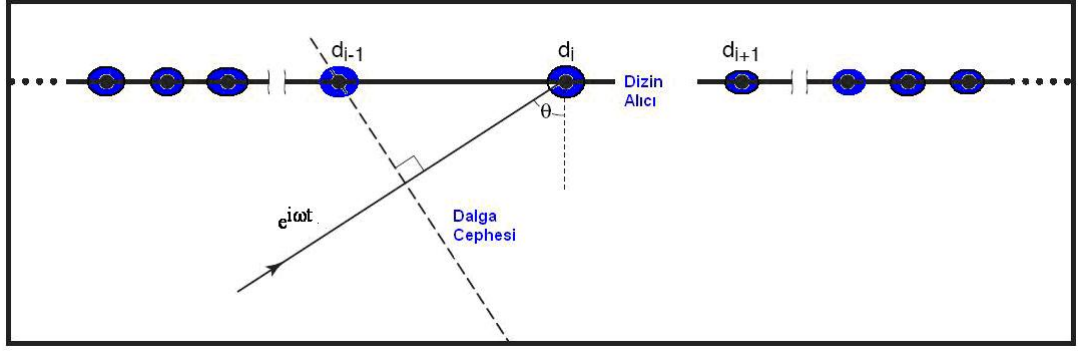
Şekil 1.4: Dizi alıcıya gelen düzlemsel dalga [14].

Su içerisinde dikey veya yatay konumda bulunan dizi alıcının her elemanına işaretler faz farkı ve zaman gecikmeleri ile gelmektedir. İşaretin geliş yönüne ve dizi alıcının suda yerleştirilme geometrisine bağlı olarak her bir dizi elemanına gelen işaretin faz farkı veya zaman gecikmesi ölçülür. Doğrusal dizi alıcılar her yönden dinleme yaptığından dolayı işaret kaynağının yeri hakkında bilgi veremez. Sadece kendisine hangi yönden daha şiddetli veri geldiğini belirleyebilir.

Doğrusal dizi alıcılarda, alıcının elemanları arasındaki d mesafesi genel olarak eşit alınır. Elemanların eşit mesafe ile yerleştirilmesi sayesinde alıcının dalga boyu ya da frekansı rahatlıkla hesaplanabilir. Elemanlar arası mesafe sabit ve eşit olduğundan her bir eleman tarafından alınan işaretlerin birbirlerine göre olan faz kaymaları kullanılarak gelen işaretin AOA değeri hesaplanabilir. Dizi elemanları arasındaki faz değişimleri, d mesafesi, gelen işaretin frekansına yani dalga boyuna ve geliş açısına bağlıdır. Elemanlar arası mesafe d ile işaretin dalga boyu ya da frekansı sabit ve tespit edilebilir olduğundan AOA değeri kolayca elde edilebilir. Şekil 1.5 de görüldüğü üzere θ açısı ile gelen bir düzlemsel dalga işareti alıcının ilk elemanında $e^{j\omega t}$ karmaşık işaretini oluşturmaktadır. Bu düzlemsel dalga $d \sin(\theta)$ kadar mesafe gittikten sonra ikinci elemanda $e^{j(\omega t - \phi)}$ işaretini oluşturur. Buradaki faz kayması

$$\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(\theta) \quad (1.3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Denklemden θ geliş açısını, ϕ ise alıcının elemanlarında oluşan faz kaymasını göstermektedir. Bu işlemi alıcının diğer M elemanları için tekrarlayabiliriz. Alıcı elemanları arası mesafe olan d ile işaret dalga boyu λ bilindiğinden gelen işaretlerden elde edilen faz kayması ϕ değeri kullanılarak geliş açısı θ hesaplanır[5].



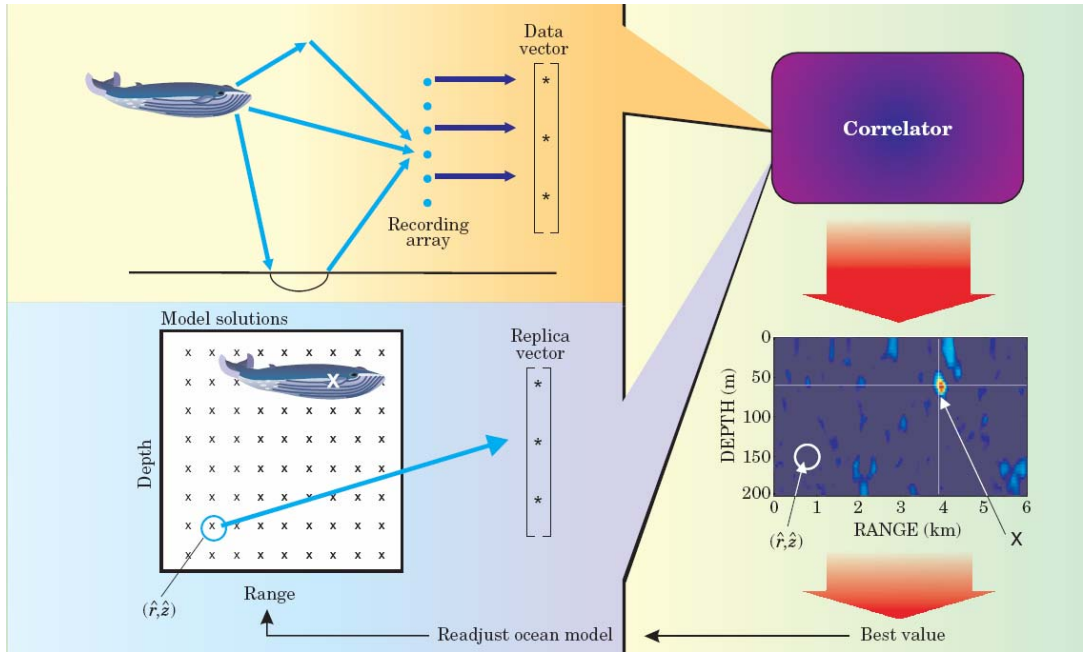
Şekil 1.5: Düzlemsel dalga bir işaretin yatay konumdaki bir alıcıda algılanması[2].

Faz gölgeleme veya gecikme ve toplama huzme şekillendirme ile işaretin geliş açısı bulunur. Kaynağın hangi derinlikte ve ne mesafede olduğu hakkında herhangi bir bilgi elde edilmez. Ayrıca sıg sularda kaynaktan yayılan işaret dipten ve yüzeyden çoklu yansımalar (multi-path) uğrar. Bu durumda işaretin geliş yönünü sağlıklı olarak bulmakta güçlükler çekilir. Çoklu yansıma olan ortamlarda bir kaynaktan çıkan işaretler farklı sistemlere farklı yönlerden geldiklerinden dolayı konum belirlemede hatalar oluşmaktadır. Aynı kaynaktan çıkan işaretler birbiri ile yüksek ilintili, farklı kaynaklardan gelen işaretler ise birbirleriyle ilintisizdir. Birden fazla dizi alıcı kullanılması durumunda çoklu yansımadan kaynaklanan hatalı konumlandırma işlemi azaltılabilir [20].

Kaynağın mesafe ve derinlik bilgisini tespit etmek üzere son yıllarda en çok kullanılan yöntemlerden biri Uyumlu Alan İşleme (UAI) tekniğidir[9]. Son yıllarda sualtı akustiği camiası yüksek bir ilgi ile UAI işaret işleme tekniğine ilgi duymaya başladı. Bunun başlıca nedeni, bu işaret işleme tekniğinin pasif sualtı kaynaklarının yerini mesafe ve derinlik olarak yüksek doğrulukla bulması ve hassas bir akustik yayılım kestirimi için gereken ortam şartlarını belirleyebilmesidir[9]. UAI, günümüzde sualtı akustiğinde en çok kullanılan işaret işleme tekniğidir. Bu tekniğin günümüzdeki bu başarısının altındaki en büyük faktör, bu tekniğin izotropik ve düzlemsel olmayan sualtı akustiği alanlarına yüksek doğrulukla uygulanabilir olmasıdır. Bununla beraber frekans veya gürültü seviyeleri çok yüksek değerlere çıktığında veya ortam şartları kestirilemeyecek kadar karmaşık olmaya başladığında bu işaret işleme tekniği başarısız olabilmektedir.

UAI tekniğinin altında yatan ana prensip çok basittir. Bunu en anlaşılır biçimde bir örnek üzerinde açıklayalım. Suda bilinmeyen bir mesafe ve derinlikte bulunan bir kaynağın bir işaret ürettiğini varsayalım. Bu durumda bu kaynağın yeri şu şekilde bulunabilir:

1. $M \geq 1$ elemanlı alıcılar ile ortamın verisi toplanır.
2. Ses hızı profili gibi giriş parametreleri bilinen ışın veya normal mod gibi yayılım modeli seçerek bir akustik alan modellenir. Yani ölçüm değerlerinin ilintilendirileceği bir replika matrisi oluşturulur.
3. UAİ işaret işleme tekniğini kullanarak ölçülen ile modellenen alanların çapraz ilintisi alınır. Seçilen mesafe ve derinlikteki yüksek ilinti değeri, kaynağın bulunduğu gerçek mesafe ve derinliğine karşılık gelir (Şekil 1.3) [9].



Şekil 1.6: UAİ işaret işleme tekniği[2].

Bu çalışmanın ikinci bölümünde sualtı akustiği ve İstanbul Boğazı'nın oşinografik ve akustik özellikleri hakkında temel bilgiler verilecektir. Üçüncü bölümde, proje kapsamında toplanacak verilere uygulanacak huzme şekillendirme yordamları, dördüncü bölümde ise bu yordamlar kullanılarak İstanbul Boğazı'nın benzetimi yapılacaktır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar ile gelecekte yapılması beklenen çalışmalar aktarılacaktır.

2. SUALTI ORTAM ŞARTLARI

2.1 Ortam Gürültüsü

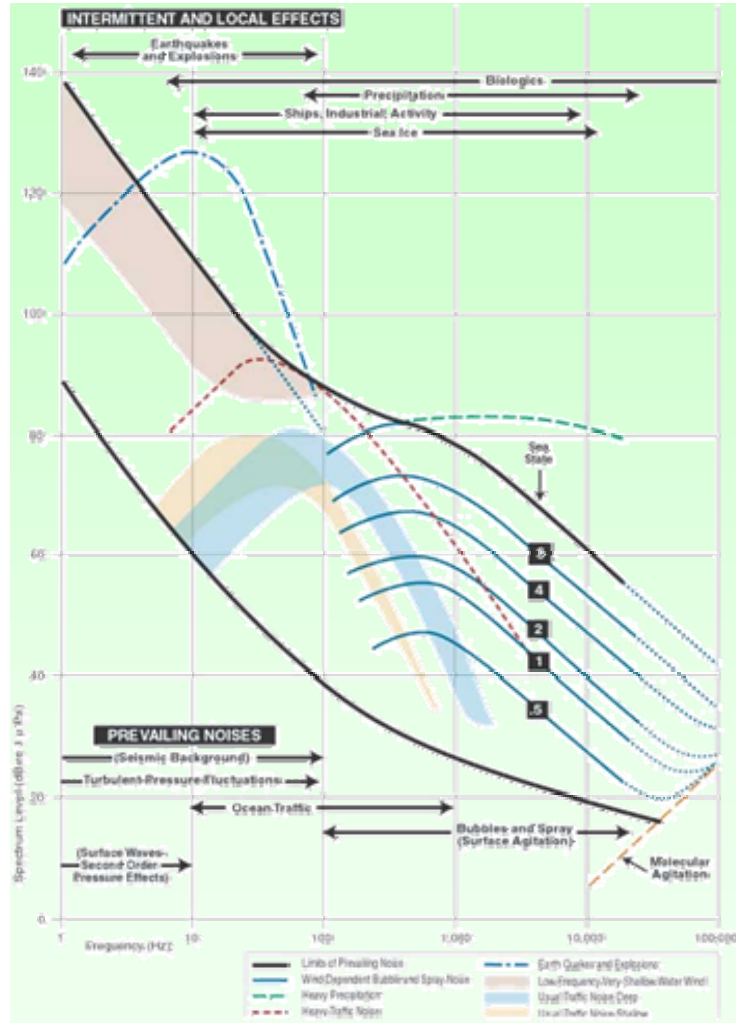
Ortam gürültüsü değişik tipteki birçok kaynaktan sürekli olarak yayılan kesintisiz gürültülerin toplamıdır. Gürültü seviyesi ile izgenin şekli değişik durumlardan etkilenen kaynaklar tarafından tanımlanır. Gürültü kaynakları sürekli veya periyodik olup yer ve zamana bağlılık gösterirler. Belirli bir yer ve zamandaki ortam gürültüsünün izgesini ve seviyesini birçok değişik kaynak ve mekanizma belirler.

Derin sularda gürültü kaynağı genel olarak hidro-meteorolojik (rüzgar, dalgalar, yağmur akıntı) şartlara bağlıdır. Derin sularda yüksek doğrulukta gürültü seviyesini tespit etmek mümkün olabilmektedir. Sığ sularda ise özellikle kıyı şeridinde yakın yerlerde veya limanlarda gemi trafiği ve endüstriyel kaynaklar ortam gürültüsü üzerinde etkili olmaktadır. Genel olarak ortam gürültüsü kaynaklarını,

- a) Yağmur, rüzgar, dalgalar ve türbülans kaynaklanan hidrodinamik kaynaklar,
- b) Değişik deniz canlılarından kaynaklanan biyolojik kaynaklar,
- c) Denizde veya karada insanlar tarafından meydana getirilen teknik gürültü kaynakları,
- d) Tektonik ve volkanik hareketlerin sonucu oluşan sismik gürültü kaynakları,
- e) Su moleküllerinin düzensiz hareketlerinden meydana gelen ısısal (termal) kaynaklar,

olarak ifade edebiliriz [10]. Sualtı Ortam Gürültüsü (OG) parametresi özellikle sonar performansının belirlenmesinde, gemilerin yaydıkları izlerin/gürültülerin geri plan OG parametresinin belirlenmesi ile denizlerdeki biyolojik yaşama tehdit olabilecek sorunların saptanmasında ve Denizaltı Savunma Harbinde (DSH) önemli bir yer tutmaktadır. OG'un saptanması ile suüstü ve sualtı platformlarındaki pasif sonar

sistemleri ile gürültü kaynakları tespit edilebilmekte, örneğin gemilerin akustik parmak izleri sınıflandırılabilir.

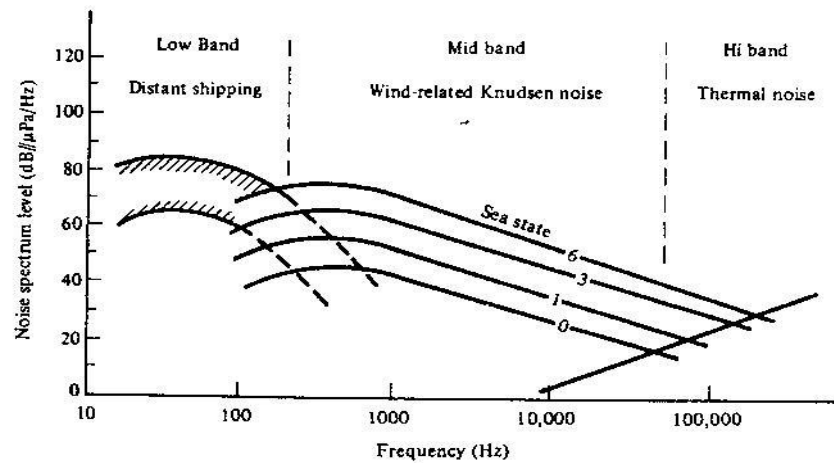


Şekil 2.1: Ortam Gürültüsü Kaynaklarının kapsadığı frekans bantları (Wenz).

Denizdeki ortam gürültüsü, alıcı kaynaklara her yönden gelen ve yönü tespit edilemeyen arka plan gürültünün bir parçasıdır. Düşük frekanslı ses sinyalleri su içerisinde az bir kayba uğradığından çok uzak mesafede bulunan düşük frekanslı ses sinyalleri de ortamın gürültüsü olarak alıcı kaynağa belirebilir. Genel olarak, ortam gürültüsü izotropik değildir ama sığ sulara nazaran derin sularda açık bir yön bilgisine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Düşük frekanslarda uzak mesafedeki gemi trafiğinin genellikle yatay anizotropik gürültülere neden olduğu yapılan gözlemlerle tamamen uyusmaktadır.

Son yıllarda ortam gürültüsü (OG) ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen OG frekansı 1 Hz – 100 kHz aralığındadır (Şekil 2.2). Çalışmaların sonuçları göstermiştir ki ortam gürültüsü değişik frekanslarda birçok kaynak ve karakteristikten meydana gelmiştir. Ortam gürültüsü birçok doğal olaydan etkilendiği gibi aynı zamanda insan kaynaklı aktivitelerden de büyük oranda etkilenmektedir. Olası gürültü kaynaklarına göre ortam gürültüsü için beş adet frekans bölgesi tanımlanabilmektedir.

1. Çok Düşük Frekans Bölgesi: 0.1-5 Hz arasındaki bölgede sismik aktiviteler ile doğrusal olmayan yüzey dalgalarının etkileşimi gürültü kaynağı olarak belirirler.
2. Düşük Frekans Bölgesi: 5-20 Hz frekans aralığında olup dalga türbülansından meydana gelmektedir.
3. Gemi Gürültüsü Bölgesi: 20 – 200 Hz frekans aralığında olup uzak mesafede bulunan gemi trafiğinden alıcıya gelen gürültülerdir.
4. Atmosferik Etkileşim Bölgesi: 200 Hz – 100 kHz frekans aralığında meydana gelmekte olup rüzgar ve dalga hareketlerinin sonucunda oluşmaktadır.
5. Isısal (Termal) Gürültü Bölgesi: 100 kHz ve üstü frekanslarda oluşmakta ve suyun moleküller yapısının hareketinden meydana gelmektedir [8].



Şekil 2.2: Gürültü Kaynaklarına göre gürültü spektrumu[8].

2.2 İzotropik Gürültü

İzotropik gürültü, ortam gürültüsünün derinliğe ve mesafeye bağlı olarak değişkenlik göstermemesi, tüm derinliklerde aynı olması demektir. Gemi gürültüsü ile yüzey dalgalarının meydana getirdiği gürültünün hâkim olduğu durumlarda ortam açısıl dağılım olarak izotropik yapıya yakındır. 50 kHz ve üstü olan gürültü alanları genellikle izotropiktir. Bunun dışında kalan frekanslarda ortamda mutlaka izotropik bir bileşen vardır [6].

2.3 Akustik Ortam Şartları

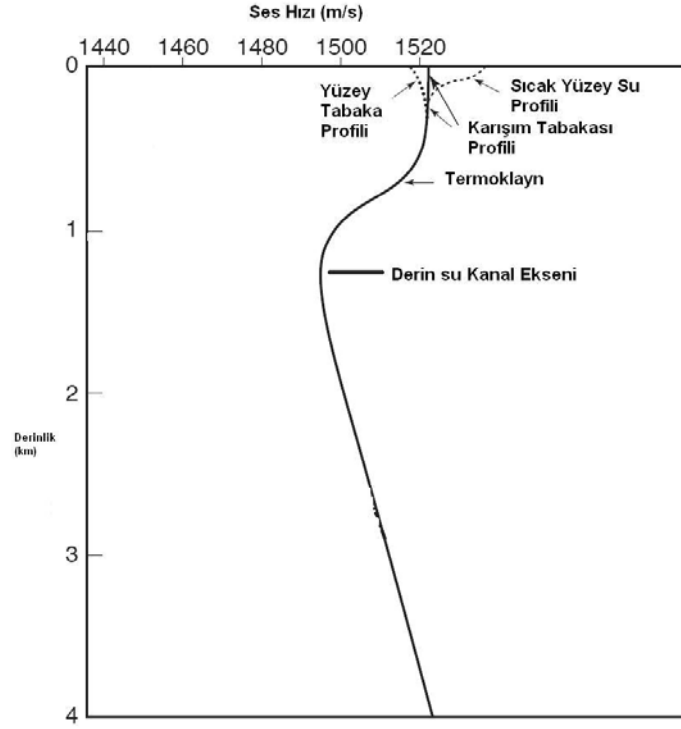
Su içerisinde bulunan bir kaynaktan yayılan sesin akustik özelliklerini etkileyen faktörler, suyun oşinografik parametreleridir. Suyun sıcaklık, tuzluluk ve basınç gibi parametreleri ile dip tabiatı yapısı, sesin suda yayılımını etkileyen temel faktörlerdir. Ses hızı profili, sıcaklık, tuzluluk ve derinlik parametreleri kullanılarak hesaplanır. Bu konuda birçok denklem kullanılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan ses hızı hesaplama denklemi Chen-Miller ses hızı denklemidir. Bu denklem ile çok hassas olarak ses hızını hesaplamak mümkündür. Wilson tarafından verilen aşağıdaki denklem ile ses hızını çok kolay ve pratik bir şekilde hesaplamak mümkündür.

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde c , m/s cinsinden sesin sudaki hızını, T , santigrat derece cinsinden sıcaklığı, S , psu (practical salinity unit) cinsinden tuzluluğu ve z metre cinsinden derinliği ifade etmektedir.

Şekil 3.3’de özellikle yüzeye yakın bölgelerde büyük değişkenlik gösteren bir ses hızı profili verilmiştir. Sıcak mevsimlerde (veya günün daha sıcak saatlerinde) yüzey ve yüzeye yakın sular ısındığından dolayı bu bölgelerde ses hızı derin bölgelere göre daha daha yüksek değerlerde olacaktır. Rüzgar ve dalga durumunda yüzey sularında bir etkileşim olacağından yüzey ile 10-20 metre arası bölgede karışım tabakası oluşur. Karışım tabakası olan bölgede sıcaklık eşit değerde (izotermal tabaka) olacaktır. Bu nedenle karışım tabakasında ses hızını etkileyen faktör sadece derinlik değeri olacaktır. Derinlik arttıkça ses hızı değeri artış gösterir. Karışım tabakasının altında, derinliğin artması ile beraber sıcaklık ve ses hızında azalma görülen termoklayn tabaka bulunur. Termoklayn tabakasının alt tarafında kalan bölgelerde sıcaklık ve tuzluluk sabit bir değere yaklaştığından ses hızına etki eden en önemli parametre derinlik olmaktadır. Derin sularda ses hızı profilinin en düşük değer gösterdiği derinlik ses kanalı eksenini olarak adlandırılır. Kutup gibi soğuk bölgelerde

yüzey suları daima daha soğuk olduğundan en düşük ses hızı değeri yüzeyde oluşmaktadır.



Şekil 2.3: Ses hızı profili[1].

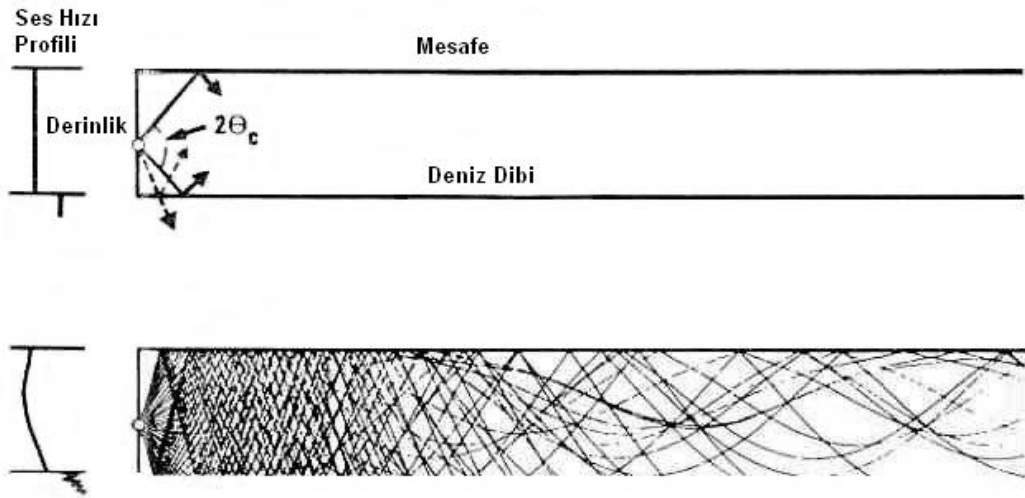
Sıcaklık, yüzeyden 150 metre derinliğe kadar olan bölgede ses hızına etki eden ana faktördür. 400 – 500 metre derinlikten sonra etkin olan faktör ise derinliktir. Bu nedenle kıyı ve kıta sahanlığı gibi sığ sularda derinlik parametresinin ses hızına etkisi fazla değildir.

Ses hızı yapısı, sesin sınırlar ile olan temasını düzenler. Su, yüzeyde mükemmel yansıtıcı olan hava ve dipte yapısına bağlı olarak kayıplara neden olan sediment tabakası ile sınırlandırılmıştır. Yüzey yapısı düzgün ise ses yüzeyden mükemmel yansır, dalgalı ise gelişigüzel olarak her yöne saçılabilir. Ses dipten yansırken dip tabiatının yapısına bağlı olarak kayba uğrar. Yumuşak zeminlerde yansıma kaybı fazla olurken sert zeminlerde ise daha az olmaktadır. Su/hava ve su/dip etkileşimleri, kırılma indeksi, ses hızı denkleminde verilen oşinografik ortam parametreleri ile belirlenen bir akustik dalga kılavuzunun (waveguide) sınırları olarak ele alınabilir.

2.4 Temel Akustik Yayılım Yolları

Sesin su içerisinde yayılımı temel olarak, derin su ve sıg su yayılımı olarak sınıflandırılabilir. Derin su yayılımında kaynaktan çıkan ses dip ile temas etmediğinden (özellikle yüzeye yakın kaynaklar için) dip kayıpları olmayacaktır. Bu sayede ses ışını sadece yüzey ile yaptığı yansımalar ve suyun içerisinde yayılmadan olan kayıplara uğrayacaktır. Ses kanalı oluşması durumunda ses derin suda çok uzak mesafelere kadar iletilebilir.

Sıg su yayılımında ses ışını dipten ve yüzeyden yansımalarla uğrayacağından büyük kayıplara uğrayacaktır (Şekil 2.5). Bu nedenle ses ışını kısa mesafelere iletilebilir. Çok kuvvetli ses kaynağı kullanılması yüksek oranda yankılaşımına neden olacaktır. Sıg su yayılımını dalga kılavuzu olarak da tanımlamak mümkündür.



Şekil 2.4: Sıg su yayılımı[2].

2.5 Ses Yayılım Modelleri

Sesin yayılımını tanımlayan dalga denklemi, hidrodinamik denklemlerden türetilmiştir ve katsayıları ile sınır koşulları ortamın parametreleri ile betimlenmiştir. Sesin suda yayılımını tanımlayan temel dört adet model mevcuttur: ışın (ray) teorisi, İzgesel Yordam veya Hızlı Alan Programı (Fast Field Program – FFP), Normal mode (NM) ve parabolik denklem (Parabolic Equation – PE). Tüm modeller ortamın derinlik ile değişimini kapsamaktadır. Ortamın yatay değişimlerini de kapsayan model mesafe bağımlı (range dependent) olarak adlandırılır. Birkaç kHz üstü frekanslarda ışın teorisi en çok tercih edilen modeldir. Diğer üç model 1 kHz altı frekanslarda tercih edilen ve kullanışlı olan modellerdir. Bahsedilen dört modelin

kırılma indeksi yatay mesafeden ziyade derinlik bağımlı olduğundan, tüm bu modeller iki boyutludur.

2.6 Dalga Denklemi ve Sınır Şartları

Silindirik koordinat sisteminde verilen dalga denklemi

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, z, t) - \frac{1}{c^2(\mathbf{r}, z)} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, z, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.2)$$

Burada $\mathbf{r}=(x,y)$ mesafe, z derinlik, p basınç ve $c(\mathbf{r},z)$ de derinlik ve mesafeye bağlı olarak ses hızını vermektedir. Frekans ortamında $\exp(-i\omega t)$ ın frekans bağımlı çözümünü varsayarak Helmholtz denklemini elde etmek mümkündür.

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, z) + K^2 p(\mathbf{r}, z) = 0 \quad (2.3)$$

$K \equiv \omega/c$ yi derinlik ve mesafe bağımlı ifade edecek olursak

$$K^2(\mathbf{r}, z) = \frac{\omega^2}{c^2(\mathbf{r}, z)} \quad (2.4)$$

Sualtı akustiğinde en çok kullanılan ve kabul gören düzlemsel sınır koşulu yüzeyde basıncın olmaması yani $p=0$ olmasıdır. Dip/su sınırında basıncın devamlılığı şartınca $p_1 = p_2$, dikey partikül hızı ise

$$\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial z} = \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial z}, \quad (2.5)$$

ρ_i , iki ortama ait yoğunluktur. Bu sınır koşullarının dalga denkleminde uygulanması ile nokta bir kaynak için elde edilen Helmholtz denklemi

$$\nabla^2 G(\mathbf{r}, z) + K^2(\mathbf{r}, z)G(\mathbf{r}, z) = -\delta^2(\mathbf{r} - \mathbf{r}_s)\delta(z - z_s), \quad (2.6)$$

“s” alt indisi kaynağın derinlik ve mesafesini ifade etmektedir[1].

2.7 Normal Mode Modeli

Çalışmalarımızda ele alınacak kaynakların düşük frekanslı ($< 1\text{kHz}$) olacağı, sıg suda olacağı ve mesafe bağımsız olacağı kabul edildiğinde en uygun yayılım modeli olarak NM modeli seçilmiştir.

NM çözümleri, dalga denkleminin integral gösteriminden türetilmiştir. Normal mode ile dalga denkleminin çözümü için 2-D boyutlu Helmholtz dalga denklemi

$$\frac{1}{\mathbf{r}} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \left(\mathbf{r} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{r}} \right) + \frac{\partial^2 \mathbf{p}}{\partial \mathbf{z}^2} + \frac{w^2}{c^2(\mathbf{z})} \mathbf{p} = -\frac{\delta(\mathbf{r})\delta(\mathbf{z} - z_s)}{2\pi\mathbf{r}} \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Denklemden $\mathbf{r}$ yatay mesafe vektörünü, z , derinlik değişim vektörünü, z_s kaynağın bulunduğu derinliği ve $\mathbf{p}$ de basınç değerlerini ifade etmektedir. (2.7) nolu denklem değişkenlerin ayrıştırılması ile çözüldüğünde

$$\mathbf{p}(\mathbf{r}, \mathbf{z}) = \frac{i}{4} \sum_{m=1}^{\infty} \psi_m(z_s) \psi_m(\mathbf{z}) H_0^{(1)}(\mathbf{k}_m \mathbf{r}) \quad (2.8)$$

Denklemini elde edilir. Henkel fonksiyonuna asimptotik yaklaşım uygulanırsa

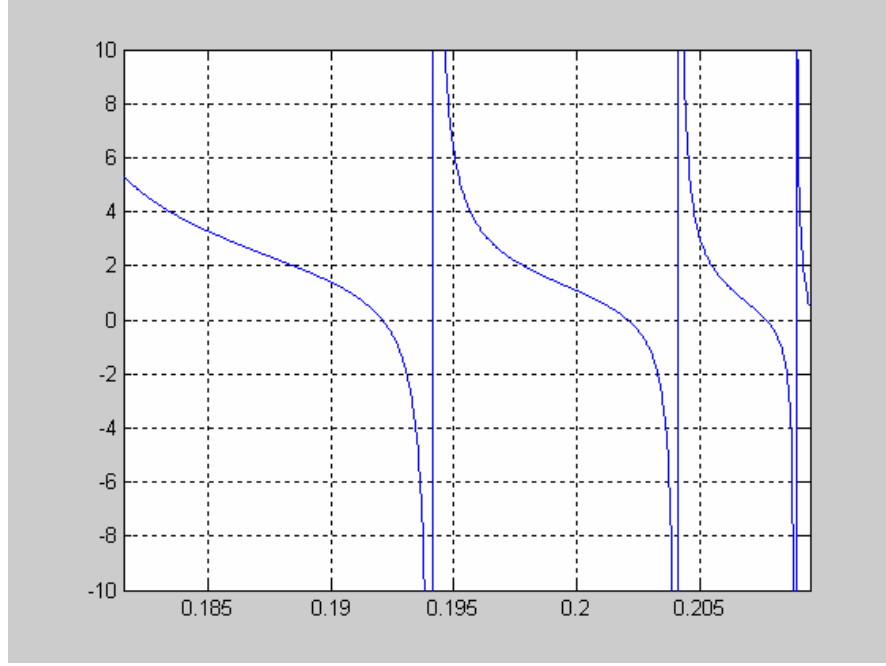
$$\mathbf{p}(\mathbf{r}, \mathbf{z}) \approx \frac{i}{\sqrt{8\pi\mathbf{r}}} e^{-i\frac{\pi}{4}} \sum_{m=1}^{\infty} \psi_m(z_s) \psi_m(\mathbf{z}) \frac{e^{ik_m \mathbf{r}}}{\sqrt{\mathbf{k}_m}} \quad (2.9)$$

sonucu elde edilir. Ortamda oluşan yayılım kaybı (Transmission Loss – TL)

$$TL(\mathbf{r}, \mathbf{z}) \approx -20 \log \left| \sqrt{\frac{2\pi}{\mathbf{r}}} \sum_{m=1}^{\infty} \psi_m(z_s) \psi_m(\mathbf{z}) \frac{e^{ik_m \mathbf{r}}}{\sqrt{\mathbf{k}_m}} \right| \quad (2.9)$$

denklemini ile bulunur[1].

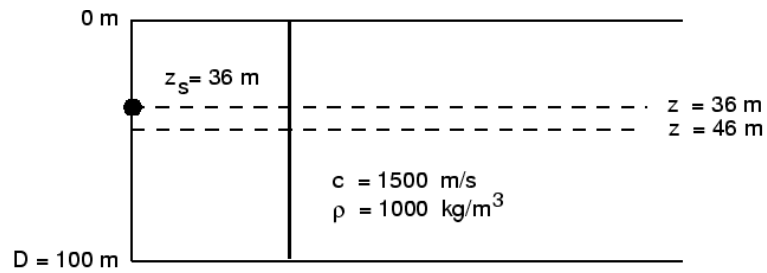
Normal mode modeli kullanmanın en büyük avantajı, özdeğerlerin bulunması problemi çözüldükten sonra modelin tüm kaynak/ alıcı dizilim geometrilerine uygulanabilmesidir. Adiyabatik (ısının değişmediği durum) varsayımları kullanarak mesafe bağımlı (range-dependent) duruma uyarlamak basite indirgenmiş olur.



Şekil 2.5: Normal Mode modeli ile sesin su içerisinde yayılımı[2].

2.8 İdeal Dalga Kılavuzu

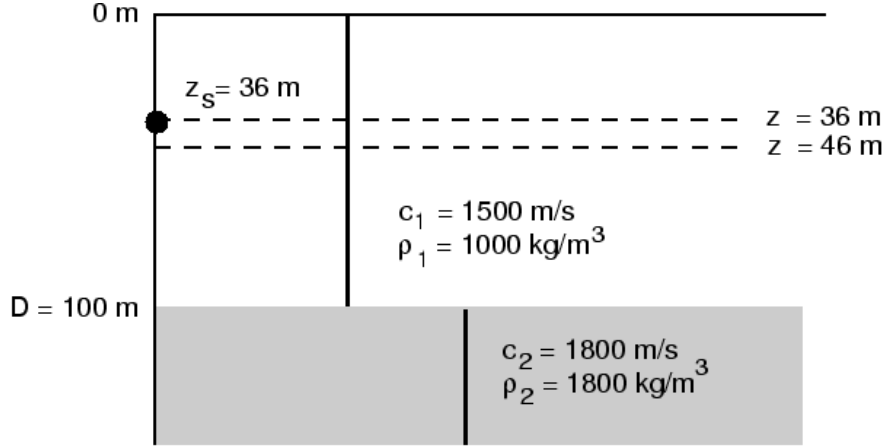
Genel olarak, sualtı akustik uygulamalarında ses suda yayılırken dip ile yüzey olmak üzere iki sınır ile sınırlandırılır. Denizde tanımlanabilecek en basit dalga kılavuzu ideal dalga kılavuzudur. İdeal dalga kılavuzu hem yüzeyden hem de dipten kaybın olmadığı basıncın sıfır (pressure release) kabul edildiği, tüm su kolonunda sıcaklığın eşit (isovelocity) kabul edildiği mesafe bağımsız bir dalga kılavuzudur (Şekil 2.6). Bu model denizin en basite indirgenmiş halidir. Normal şartlarda dip yapısına bağlı olarak ses sinyali dip temasında Kayıtlara uğrayacaktır. Sualtı akustiğinde temel belli başlı bazı kavramları açıklamak düşüncesi ile dalga kılavuzunun ideal olma durumu ele alınır.



Şekil 2.6: İdeal dalga kılavuzu[2].

2.9 Pekeris Dalga Kılavuzu

İdeal dalga kılavuzundan farklı olarak Pekeris dalga kılavuzunda kanalın dip kısmı gerçek ortam şartlarına yakın alınmaktadır. Yani dip yapısına göre dipile temas yapan ses ışını burada yansımaya, kırılmaya ve emilmeye uğrar.



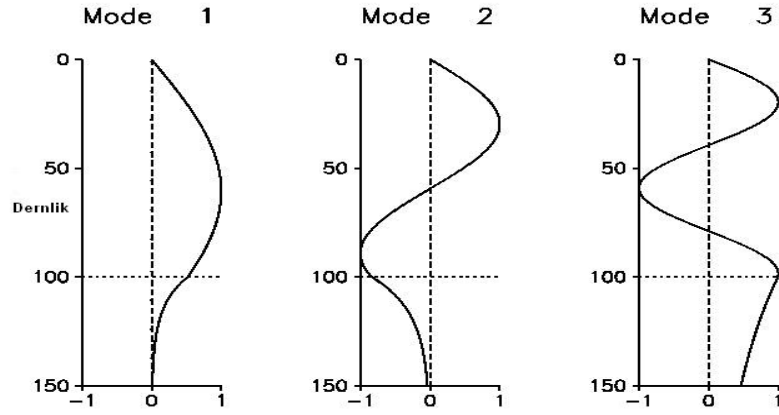
Şekil 2.7: Pekeris dalga kılavuzu[2].

Pekeris dalga kılavuzunda da yüzeyin ve dibin düzlemsel olduğu kabul edilir, böylece integral dönüşüm çözümü burada da uygulanabilir. Şekil 2.7’de c_1 ve c_2 parametreleri su ve dipteki ses hızını ρ_1 ve ρ_2 de yoğunluk değerlerini belirtmektedir.

Pekeris dalga kılavuzu için yaklaşık mod çözümü

$$\psi(\mathbf{r}, \mathbf{z}) \cong -\frac{iS_w}{2D} \sum_{m=1}^M a_m(\mathbf{k}_m) \sin(\mathbf{k}_m \mathbf{z}) \sin(\mathbf{k}_m z_s) H_0^{(1)}(\mathbf{k}_m \mathbf{r}) \quad (2.10)$$

olarak bulunmuştur[1]. Normal mode çözümünün Pekeris dalga kılavuzunda mode yapısı şekil 2.8’de verilmiştir. İdeal dalga kılavuzunda modlar dipten kayıpsız olarak yansırken, Pekeris dalga kılavuzunda modlar dib yapısının özelliklerine bağlı olarak dibe geçiş yaparlar.



Şekil 2.8: Pekeris dalga kılavuzunda 35 Hz frekansta 3 adet derinlik-bağımlı mod gösterimi[1].

2.10 İstanbul Boğazı'nın Ortam Şartları

İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan ve iki ayrı su kütlelerini içeren bir özelliğe sahiptir. Karadeniz'in az tuzlu suyu ile Akdeniz'in daha tuzlu suyu yoğunluk farkından dolayı birbirine karışmadan alt-üst tabaka olarak ortamda bulunur. Genel olarak Karadeniz suyu Marmara Denizi'ne doğru yukarıdan akarken Akdeniz suyu ise aşağıdan Karadeniz'e doğru akar.

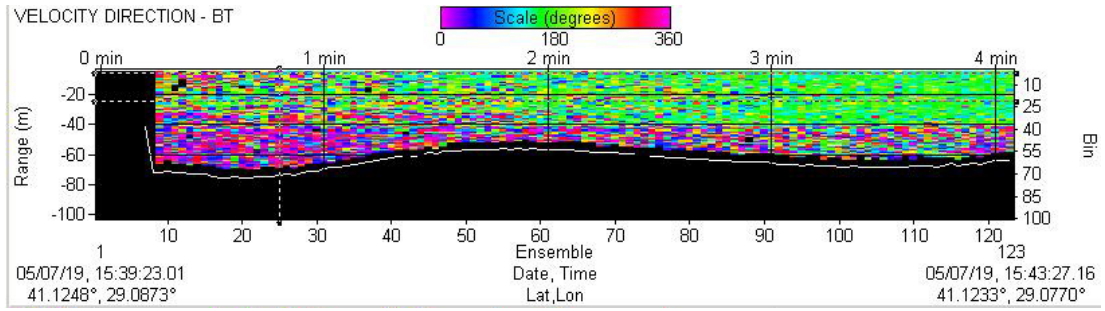
İstanbul Boğazı, 31 km uzunluğunda 700 - 3500 m arasında değişkenlik gösteren genişliğinde sıg bir kanaldır. Boğaz'ın ortalama genişliği yüzeyde 1300 metre iken derine indikçe bu genişlik azalmaktadır. 50 metre derinlikteki ortalama genişlik 500 metre civarındadır. Boğaz'ın derinliği 30 – 100 metre arasında değişkenlik gösterir. Boğaz'ın karmaşık dip yapısından dolayı ortalama bir derinlik değerini hesaplamak çok zordur. Boğaz'ın orta hattı için kabul edilen ortalama derinlik değeri 50 metredir.

İstanbul Boğazı dip yapısı sürekli akıntı nedeni ile sert bir yapıya sahiptir. Genel olarak, dip sediment yapısı çakıllı kumdur. Dip sediment yapısı incelendiğinde hakim yapının çakıl, kumlu çakıl ve kumdan oluştuğu görülecektir. Özellikle akıntı şiddetinin yüksek olduğu alanların dip sediment yapısının çakıllı olduğu görülmektedir. Proje kapsamında suya yerleştirilecek sistemin bulunduğu mevkiinin dip yapısı kumlu çakıllı olup, sediment yoğunluk değeri 2070 kg/m^3 ve ses hızı değeri 1500 m/s dir.

İstanbul Boğazı, iki tabakalı su kütlelerine sahip olup iki yönlü bir akıntı örüntüsüne sahiptir. Boğaz'ın iki ucu arasındaki su seviyesindeki yükseklik farkından oluşan ve kuzeyden güneye doğru akış gösteren barotropik akıntı, boğazdaki üst akıntıyı

meydana getirmektedir. Boğaz'ın iki ucu arasındaki su yükseklik farkı 20 – 40 cm arasındadır. Kuzeye doğru olan baroklinik akıntı ise Marmara Denizi ile Karadeniz suyunun yoğunluk farkından meydana gelmektedir. İki su kütlesi arasındaki yoğunluk farkından oluşan baroklinik akıntı, boğazdaki alt akıntıyı oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı'nda Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından mevsimsel bazda akıntı ölçümleri yapılmaktadır. Akustik doppler akıntı ölçer (ADCP) cihazı ile tüm boğazın akıntı örüntüsü derinliğe bağlı olarak ölçülmektedir. ADCP sistemi ile Çubuklu önlerinde ölçülmüş akıntı grafiği Şekil 2.10 da verilmiştir. Şekil 2.10 da görüldüğü üzere yüzeyden 40 metre derinliğe kadar olan kısımda üstten akan daha az yoğunluğa sahip Karadeniz suyu Marmara Denizi'ne doğru akış gösterirken, dipte bulunan daha yoğun Akdeniz kökenli su tabakası ise Karadeniz'e doğru akış göstermektedir.



Şekil 2.9: İstanbul Boğazı Çubuklu – İstinye arası akıntı örüntüsü.

İstanbul Boğazı'na ait aylık bazda toplanmış Ocak, Nisan, Haziran ve Eylül aylarına ait ortalama sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk ve ses hızı profilleri şekil 2.11'de verilmiştir. Tüm on iki ayı kapsayan veri profilleri EK-A verilmiştir. Genel kullanımda yoğunluk profili yerine Sigma-t profili kullanıldığından bu çalışmada yoğunluk değerleri sigma-t cinsinden verilmiştir. Sigma-t ile yoğunluk arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

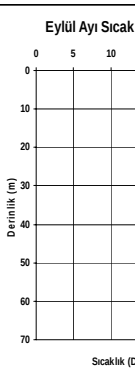
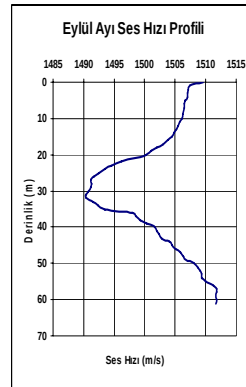
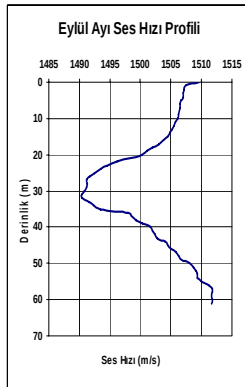
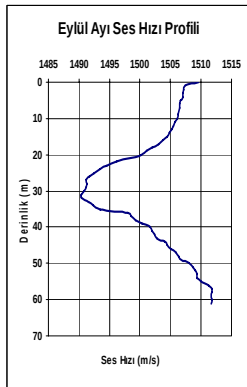
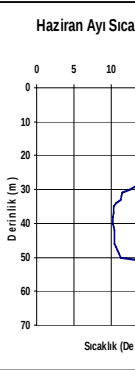
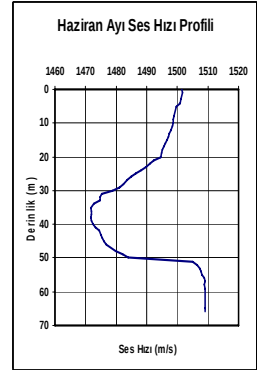
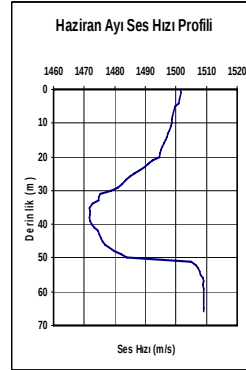
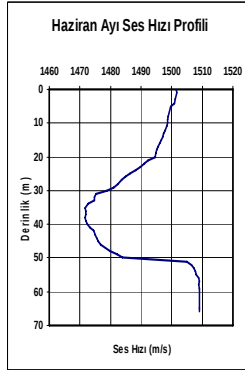
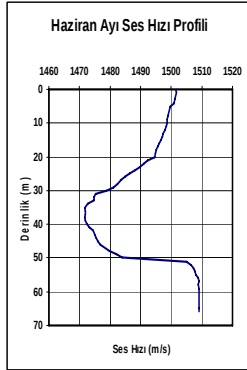
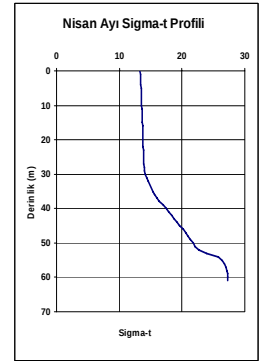
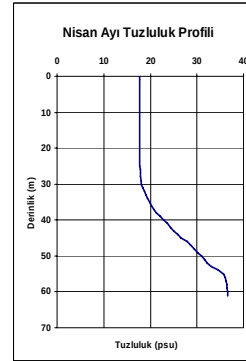
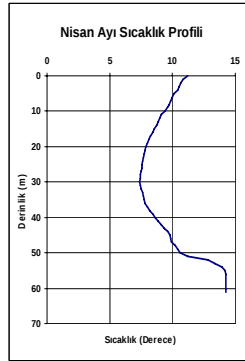
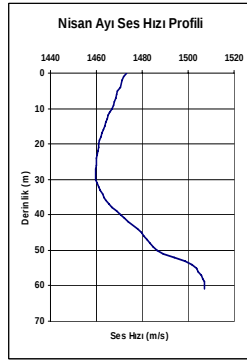
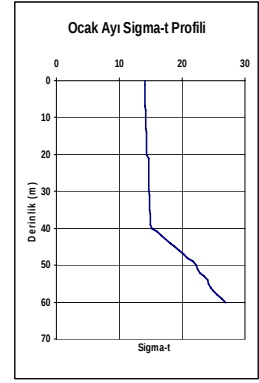
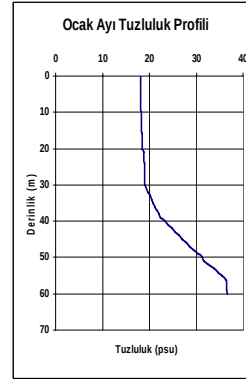
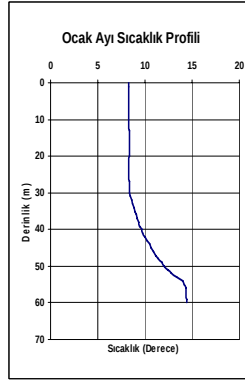
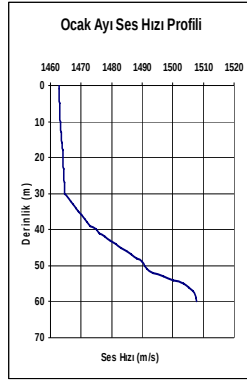
$$\text{Sigma-t } (\sigma_t) = \text{Yoğunluk } (\rho, \text{ kg / m}^3) - 1000 \quad (2.11)$$

Oşinografik verilerden de görüldüğü üzere İstanbul Boğazı, yüzeyde daha az tuzlu Karadeniz suyuna, dipte ise daha tuzlu Akdeniz suyuna sahiptir. İstanbul Boğazı'nda 30 metre civarında bir tabakalaşma oluşmaktadır. Bu tabaka, az yoğun Karadeniz suyu ile daha yoğun Akdeniz suyunun birbirine karışmadan ortamda bulunmasını sağlar.

İstanbul Boğazı'nda Nisan – Eylül tarihleri arasında yüzeyde daima azalan (negatif gradyen) bir sıcaklık ve ses hızı profili oluşmakta iken Ekim – Mart ayları arasında ise daima artan (pozitif gradyen) bir sıcaklık ve ses hızı profili oluşmaktadır. Pozitif gradyen ses dalgalarını daima yukarı itip uzak mesafelere iletirken negatif gradyen ise ses dalgalarını aşağı bükür.

Birbirine karışmadan ortamda kendilerini koruyan iki su kütlesinin yoğunluklarını tuzluluk faktörü belirlemektedir. Sıcaklık değişiminin etkisi ihmal edilebilecek kadar düşük seviyededir. Kış mevsiminde 4–5° derece civarındaki Karadeniz suyu üstte, 14–15° derece sıcaklıklarındaki daha sıcak Akdeniz suyu ise dipte bulunmaktadır. Yaz aylarında ise yüzeyde sıcak Karadeniz kökenli su kütlesi bulunurken dipte daha soğuk Akdeniz kökenli su kütlesi bulunmaktadır.

Boğaz'ın kuzeyindeki yüzey tabakası tuzluluk oranları 16.5-18.5 ppt (parts per thousand) arasında değişim gösterirken dipte bulunan su kütlesi 38.5 ppt değerine kadar yükselmektedir.



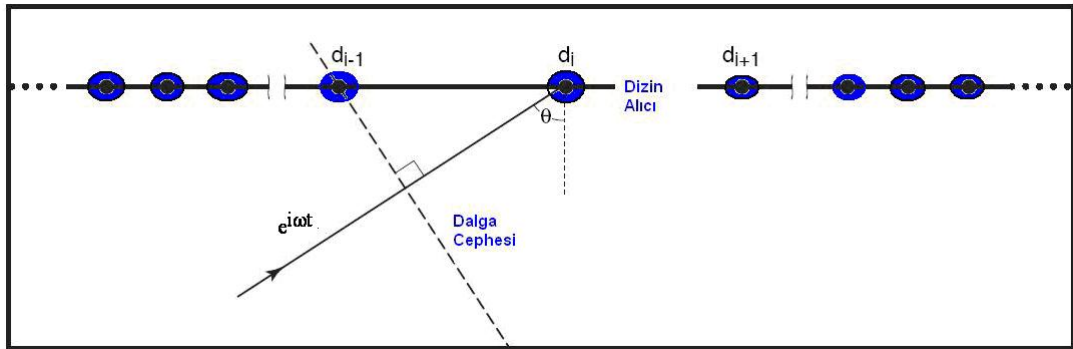
Şekil 2.10: İstanbul Boğazı Ocak, Nisan, Haziran ve Eylül ayları ortalama Ses hızı, sıcaklık, tuzluluk ve sigma-t profilleri.

3. KAYNAK YÖNLERİNİN KESTİRİMİNDE KULLANILACAK YORDAMLAR

3.1 Doğrusal Dizi Alıcılar

Sualtı akustiğinde su içerisinde veri toplama amaçlı olarak doğrusal dizi alıcılar (Linear Array Hydrophones) kullanılmaktadır. Bu dizi alıcılar, kullanım amacına uygun olarak tasarlanırlar. Ölçüm yapılmak istenen bant genişliğine bağlı olarak M tane elemanı eşit aralıklı olarak yerleştirilir. Alıcının elemanları arasındaki mesafe d ve alıcının eleman sayısı M bilindiğinde sistemin dalga boyu yani frekansı bulunabilir.

Doğrusal dizi alıcılar, su içerisinde yatay veya dikey olmak üzere iki şekilde konumlandırılır. Yatay diziler genelde bir gemi tarafından belli bir mesafe arkada bırakılarak çekilirler. Bu tür alıcılar ile ortam gürültüsü ölçümü, sismik veri ölçümü gibi ölçümler yapılır. Yatay olarak deniz tabanına yerleştirilen diziler ile gemilerin pervane sesleri hassas olarak ölçülebilir. Bu alıcılara genel olarak yüzeyden yansıyan sinyaller gelir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Yatay yerleştirilmiş dizi alıcı [2].

Dikey olarak kullanılan dizi alıcılar derinliğe bağlı olarak yerleştirilirler. Su derinliğine bağlı olarak tüm su kolonunu ölçebilirler veya istenilen derinlikler arasına üstte yüzdürücü şamandıra dipte ise dizi dikey konumda tutacak ağırlık ile askıda tutulurlar. Bu tür alıcılara işaretler yansımaya uğramadan direk veya dipten ya da

yüzeyden yansıyarak gelirler. Bu tip alıcılar ile derinliğe bağlı olarak tüm su kolonunda ölçüm yapma olanağı doğar.

Sualtı ölçümlerinde dizi alıcı kullanmanın çok avantajları vardır. Öncelikle dizi alıcının bir kazancı vardır ve bu kazanç işareti algılamada etkin rol oynar. Dizi alıcılar ile işaretler toplanarak ortamın gürültüsünden daha kuvvetli hale getirilir. Dizi alıcı sistemleri ile ortamda yönlendirme yapılabilir. Yönlendirme yapılarak yapılan ölçümlerde dizi alıcıları sadece dinleme yapılan yönden gelen işaretleri almaktadır. Bu sayede dinlenen yönün dışında kalan yönlerden gelen gürültülerin etkisi ortadan kaldırılmış olur. Diğer yönlerden gelen gürültülerin etkisinin azaltılması ile ana huzme üzerindeki yan kulak etkisi azaltılmış olur. Alıcı dizilerin başka bir avantajlı durumu da uyarlamalı uygulamalarda yüksek çözünürlükte veri kullanılabilmesidir. Yüksek çözünürlük verisinin kullanımı yan kulakların etkisini en aza indirger.

Dizi alıcı kazancı, alıcının eleman sayısı ile orantılıdır. Dizi kazancı genel olarak işaretin gürültüye oranı olarak (SNR) tanımlanır. Dizi alıcı kazancı izotropik ortamlar için en genel anlamı ile aşağıda verilen denklem ile tanımlanmaktadır[1].

$$AG = 10 \log(M) \quad (3.1)$$

Denklemde AG alıcının dB cinsinden kazancını, M ise alıcının eleman sayısını göstermektedir. Eleman sayısı arttıkça dizi kazancı artacağından işareti daha hassas ve kuvvetli elde etmek mümkün olmaktadır. Alıcı dizi eleman sayısının artması ile yan kulakların etkisi de azalmaktadır.

M eleman sayısı dizi alıcının çözünürlüğünü direk etkileyen faktördür. Az elemana sahip dizi alıcılar ile birbirine yakın bulunan kaynaklar tek kaynak gibi algılanır. Az elemanlı dizi alıcılar ile huzme şekillendiricilerin ana huzmesi geniş olacağından kaynak ayrıştırılması geleneksel huzme şekillendiriciler ile zor olmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılacak dizi alıcının eleman sayısı çalışmanın öngördüğü özellikleri kapsayacak şekilde seçilmelidir.

3.2 Frekans Ortamında Huzme Şekillendirme

Zaman ortamında tanımlanan $e^{i\omega t}$ düzlemsel dalga denklemi, $k = |\mathbf{k}| = \frac{\omega}{c}$ eşitliği kullanılarak frekans ortamında

$$s(\theta) = e^{ikr} \quad (3.2)$$

şeklinde gösterilir (Şekil 3.1). Eğer $\mathbf{d}_i$ konumundaki alıcı elemanlarının girişleri düzlemsel dalga faz faktörünün karmaşık eşleniği ile çarpılırsa, bu akustik alanın faz bazında toplandığını gösterir[2].

$$\mathbf{w}_i^* = e^{i\mathbf{k}_s \cdot \mathbf{d}_i} = e^{-id(k \sin \theta_s)} \quad (3.3)$$

Denklemde θ_s tarama açısını ifade etmektedir. Tarama açısı işaretin geliş açısına eşit olduğunda denklem en büyük değeri verir. Bu huzme şekillendirmenin çıkışı $B(\theta_s)$ olarak ifade edilir. $B(\theta_s)$, genel olarak ilgi duyulan huzme şekillendiricinin çıkış gücünü gösterir.

$$B(\theta_s) = \left| \sum_{i=1}^m \mathbf{w}_i^*(\theta_s) [s_i(\theta) + n_i] \right|^2 = \sum_{i,j=1}^m \mathbf{w}_i^*(\theta_s) (s_{ij} + n_{ij}) \mathbf{w}_j(\theta_s) \quad (3.4)$$

Denklemde s_i ve n_i alıcının i.nci elemanındaki işaret ve gürültü, $s_{ij} + n_{ij}$ ise veriden elde edilen çapraz-izgesel yoğunluk matrisinin (ÇİYM) elemanlarıdır. Denklemde eşitliğin sağında verilen işaret ile gürültü alanları birbirlerinden tamamen bağımsızdırlar.

Yukarıda verilen denklemi matris formunda ifade edebiliriz. Bir $\mathbf{K}$ çapraz-izgesel yoğunluk matrisi tanımlayalım. Bu matrisin elemanlarını oluşturan işaret ve gürültü birbirlerinden bağımsız olup $\mathbf{w}$ yönlendirme vektörüne sahip olsun. (3.4) nolu denklemi yeniden düzenlersek,

$$B(\theta_s) = \mathbf{w}^H(\theta_s) \mathbf{K}(\theta_{\text{true}}) \mathbf{w}(\theta_s) \equiv \mathbf{w}^H \mathbf{K} \mathbf{w} \quad (3.5)$$

Denklemini elde ederiz. Alanın çapraz-izgesel yoğunluk matrisi $\mathbf{K}$, işaret ve gürültünün ortak değişimlerinden oluşmuştur[1].

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_s + \mathbf{K}_n. \quad (3.6)$$

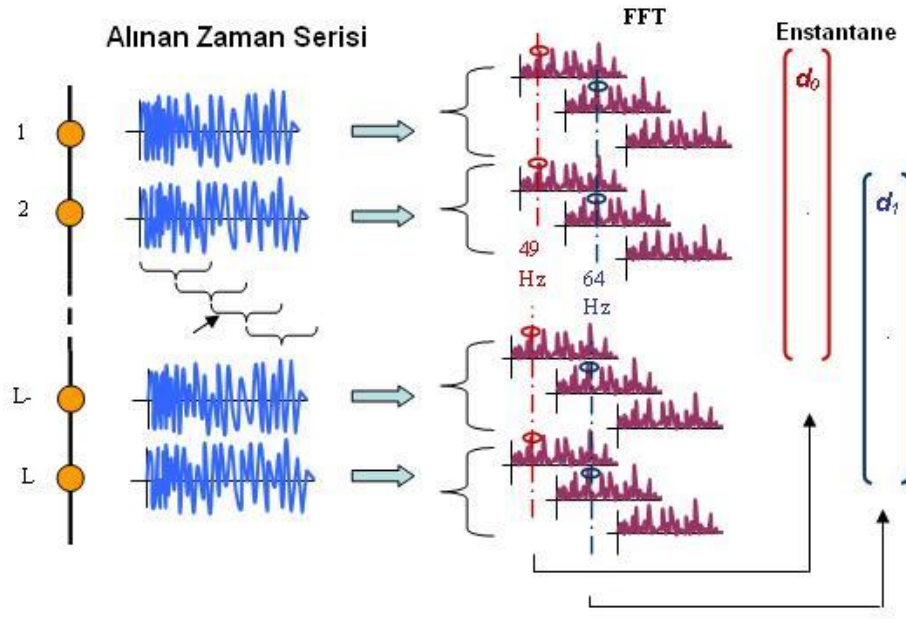
$\mathbf{K}$ matrisi ile elde edilen ve dizi içerisinde bulunan veri, kaynağın θ_{true} yönünde olduğu bilgisini taşır. Bazen $\mathbf{w}(\theta_s)$ kopya veri (replika) olarak tanımlanır ve yukarıdaki huzme şekillendirme işlemi dizideki verinin replika ile uyumu olarak görünür. (3.5) de verilen denklem “Doğrusal Huzme Şekillendirme (Linear Beamforming) veya **Bartlett** Huzme Şekillendirme” olarak adlandırılır.

Örneklenmiş ortak değişinti kestirimi için $\mathbf{d}_i, i=1, \dots, M$ de konumlanmış M elemandan oluşan bir dizi ve dar bant model varsayalım (Şekil 3.3). Bu ortak değişimler, $[0, T_w]$ aralığındaki $W(t)$ örnekleme penceresini kullanarak dizi alıcıda beliren $r_i(t)$ verisini snapshotlere bölerek kestirimler yapar.

$$R_i^l(f) = \int_{T_l}^{T_l+T_w} r_i(t)W(t-T_l)e^{-j2\pi ft}dt \quad (3.7)$$

Huzme şekillendirme algoritmalarının birçoğunda örneklenmiş ortak değişinti matrisinin oluşturulmasında veri vektörlerinin ortalaması alınır. N, snapshot sayısı olmak üzere

$$K_{opt}(f) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L R^l(f) R^{lH}(f) \quad (3.8)$$



Şekil 3. 2: Dizi alıcıya gelen verinin snapshotlere bölünerek kestirim yapılması[2].

3.3 Zaman Ortamında Huzme Şekillendirme

Zaman ortamında bir işarete zaman gecikmesi uygulamak, frekans ortamında işarete faz gecikmesi uygulamak ile benzerlik taşır. Frekans ortamında elde edilen huzme şekillendirme denkleminin ters Fourier dönüşümü alınarak zaman ortamında huzme şekillendirmenin denklemi elde edilebilir.

$$\begin{aligned}
b(\theta, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} B(\theta, \omega) e^{i\omega t} d\omega \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_i R_i(\omega) e^{-i\frac{\omega}{c_i} d_i \sin \theta} e^{i\omega t} d\omega \\
&= \sum_i r_i(t - \frac{d_i}{c_i} \sin \theta)
\end{aligned} \tag{3.9}$$

$r_i(t)$ zaman tabanlı veri, d_i ve c_i i.nci konumdaki alıcı sensörün konumu ve ses hızını ifade etmektedir. Zaman ortamında $\tau_i = \frac{d_i}{c_i} \sin \theta$ zaman gecikmesi, frekans ortamında faz kaymasına karşılık gelmektedir. Ses hızı profilinin derinliğe bağlı değişiminde gecikme aşağıda verilen denklem ile ifade edilir.

$$\tau_i = \int_0^{d_i} \sqrt{\frac{1}{c^2(z)} - \frac{\cos^2(\theta)}{c^2(d_0)}} dz \tag{3.10}$$

Yukarıdaki denklemde d_0 dizideki bir referans sensörüne ait derinliktir[2]. Eğer dizi boyunca düzgün dağılıma sahip bir ses hızı profili mevcut ise bu durumda yukarıdaki işlemler düzlemsel dalga huzme şekillendirmeye eş olur.

3.4 Geleneksel Huzme Şekillendirici

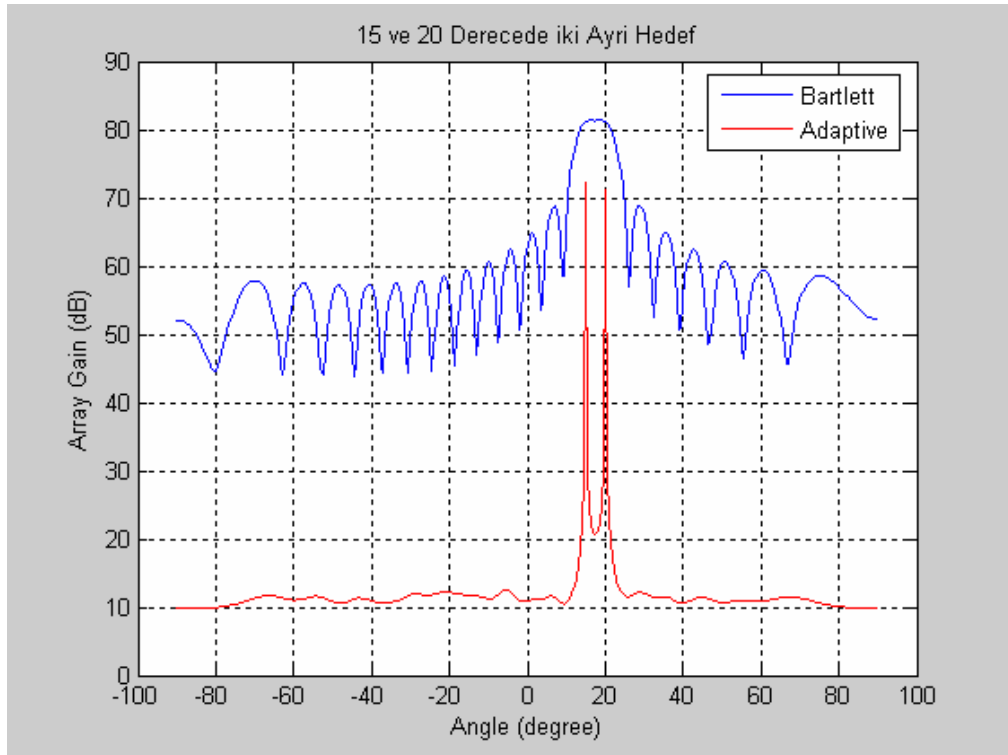
Geleneksel Huzme Şekillendirme (GHS) teknikleri sabit, değişkenlik göstermeyen huzme örüntüleri tanımlar. Bu huzme şekillendirme yöntemleri işaret ve gürültü özelliklerinden bağımsız olduklarından hesaplama açısından kolaylık sağlarlar [13].

Örnek vermek gerekirse, klasik sonar sistemleri bindirmeli huzme setleri meydana getirerek 360 derece tarama yaparlar. Bu işlemi, dizi alıcısının elemanlarında arzu edilen azimuttan gelen işaretlerin uyumlu olarak birbirine eklendiğini sağlamak için alıcı elemanlarına zaman gecikmeleri uygulayarak sonar huzmelerini belli bir yöne sabit bir azimut açısı ile yönlendirerek sağlarlar. Doğrusal, d eşit mesafesi ile elemanları konumlandırılmış M elemanlı bir dizinin zaman gecikmesi kümesi (τ_i , $i=1,2,3,\dots,M$) huzmeyi θ_0 yönüne yönlendirmek ister. Bu durumda zaman gecikmesi

$$\tau_i = \frac{(i-1)d}{v} \sin \theta_0 \tag{3.11}$$

olarak bulunur. Denklemde v , işaretin yayılım hızıdır. Geleneksel huzme şekillendiricinin iki sakıncalı durumu söz konusudur. Birincisi, ana huzmenin genişliği olup dizinin uzamsal çözünürlük kabiliyetini sınırlandırmaktadır. Şekil 3.3 te görülen huzmenin genişliği yaklaşık 10° olduğundan, GHŞ 5° açı ile birbirinden ayrılmış olan 2 adet kaynağı tek bir kaynak olarak algılar. GHŞ tekniklerinde bu sakıncalı durum, dizinin boyunun büyütülmesi ile giderilebilir ancak sonar sistemlerinde var olan bir dizinin boyunu değiştirmek pratikte pek uygulanan bir yöntem değildir.

Yan kulakların seviyeleri bu tekniğin ikinci sakıncalı durumunu oluşturmaktadır. Diğer yönlerden gelen işaretler, θ yönüne yönlendirilmiş huzmenin çökmesine olanak sağlarlar. Örneğin, huzmesi 30° ye yönlendirilmiş her yöne yayım yapan (omnidirectional) bir aktif sonar dizini varsayalım. 42° de karıştırıcı bir işaret (ilk yan kulak), sonarın ping frekansında merkezli bir orta ölçek genişliğinde bir işareti sürekli olarak yayarak kaynağı maskeleyebilir. Dizi gölgeleme ağırlıkları kullanarak yan kulakların etkisi azaltılabilir ama bu durumda da çözünürlük yeteneği azalır [13].



Şekil 3.3: Geleneksel Huzme Şekillendirme (N=21 elemanlı doğrusal dizi alıcı).

3.5 Uyarlamalı İşleme

Yan kulakları bastırmada kullanılan yüksek çözünürlüklü teknikler vardır. İşaret işleme yöntemleri, alınan verinin kendisine bağımlı ağırlık vektörleri meydana getirdiğinden bu tür tekniklere uyarlamalı (adaptif) teknikler adı verilir. Bu çalışmada yönsel izge kestirim prosedürü olan En az Ortak Değişinti Bozunumsuz İşlemci (EDBİ) tekniği incelenecektir.

Huzme şekillendirmeden amacımız, θ_{true} yönünden gelen işareti elde ederken diğer yönlerden gelen işaretleri (gürültüleri) bastırmaktır.

Geleneksel Huzme Şekillendirme denkleminde yer alan $\mathbf{K}$ ilinti matrisine uygulandığında işareti elde etmeye çalıştığımız yönün haricinde gelen işaretlerin etkilerini en aza indirgeyen bir $\mathbf{w}_{MV}$ ağırlık vektörü bulmaya çalışıyoruz. Bu nedenle, ağırlık vektörü aşağıda verilen F fonksiyon değerini en aza indirgeyecek şekilde seçilir.

$$F = \mathbf{w}_{MV}^H \mathbf{K} \mathbf{w}_{MV} + \alpha (\mathbf{w}_{MV}^H \mathbf{w} - 1). \quad (3.12)$$

F fonksiyonunun ilk terimi dizi çıkışının ortalama-karesi, ikinci terim ise Lagrange çarpanı α ile kısıtlanmış birim kazancını içerir. Lagrange Çarpanları metodu kullanılarak MV ağırlık vektörü aşağıdaki şekilde hesaplanır. F fonksiyonunu en aza indirmek için, ∇ , fonksiyonun gradyeni olmak üzere,

$$\nabla_{\mathbf{w}} F = \mathbf{0} \quad (3.13)$$

ve

$$\nabla_{\alpha} F = \mathbf{0} \quad (3.14)$$

şartlarını sağlamalıdır. Bu şartların sağlanması durumunda,

$$\mathbf{K} \mathbf{w} = \alpha \mathbf{w} \quad (3.15)$$

ve

$$\mathbf{w}^H \mathbf{w} = 1 \quad (3.16)$$

sonucu elde edilir[12]. (3.15) denklemi, $\mathbf{K}$ ilinti matrisinin özdeğerinin α , özvektörünün ise $\mathbf{w}$ olduğunu gösterir. Bu eşitlikleri kullanarak ağırlık vektörünü aşağıdaki şekilde elde ederiz.

$$\mathbf{w}_{MV} = \frac{\mathbf{K}^{-1}\mathbf{w}}{\mathbf{w}^T \mathbf{K}^{-1}\mathbf{w}}. \quad (3.17)$$

MV ağırlık vektörü $\mathbf{w}_{MV}$ sadece ilinti matrisi $\mathbf{K}$ ya bağlı değildir, aynı zamanda tarama açısına da bağlıdır. Tarama yönü değiştikçe ağırlık vektörü de değişecek ve ortamdaki işaret ile gürültüye uyarlanır bir uzamsal filtre uygulanmış olacaktır. Bu ağırlık vektörü, çapraz-izgesel yoğunluk matrisi ile ifade edilen veriye bağlı olduğundan bu teknik adaptiftir. (3.17) nolu denklemde elde edilen ağırlık vektörü (3.5) nolu denklemde yer alan ağırlık vektörü ile yer değiştirirse uyarlamalı MV işlemci elde edilir.

$$B_{MV}(\theta_s) = [\mathbf{w}(\theta_s)^T \mathbf{K}^{-1}(\theta_{true}) \mathbf{w}(\theta_s)]^{-1}. \quad (3.18)$$

(3.18) nolu MV işlemci ile (3.5) nolu Bartlett huzme şekillendirici, θ_{true} yönünde aynı pik değere sahiptir ancak MV işlemcinin ana huzmesi daha dar ve yan kulakları daha iyi bastırılmıştır (Şekil 3.5).

3.6 Uyumlu Alan İşleme (Matched Field Processing)

Uyumlu Alan İşleme (UAI), doğrusal dizi alıcı ile ölçümü yapılan bir veri ile bilgisayar tarafından üretilen ve kaynağın $\hat{r}, \hat{z}$ aday yerini kapsayan bir kopya (replika) verinin ilintilendirilme işlemidir. Bu işlem düzlemsel dalga huzme şekillendirmenin genelleştirilmiş bir ifadesidir. UAI huzme şekillendirici, ortama dikey konumlandırılmış alıcı dizi ile ölçülmüş alanın verisini, kaynak mevkilerinin tümü için alanın replikası ile eşleştirir. Bu replika değerler yayılım modellerinden türetilir. Alanın belirgin uzamsal yapısı, ortam şartlarının karmaşıklığına ve dizinin yerleştirme geometrisine bağlı olarak mesafe, derinlik ve azimut cinsinden kaynağın yerinin belirlenmesine olanak sağlar. Akustik alanın engelleme örüntüsü, kaynağın mevkisinin bir fonksiyonudur. Bu engelleme örüntüsü eşlenebilir. Işın yayılımı cinsinden ifade etmek gerekirse, dalga kılavuzunun kırılma özellikleri eşlenebilen bir varış açısı örüntüsü oluşturur (Şekil 3.6). UAI işlemci, arama gridinin bir noktasına bir test noktası yerleştirir, tüm dizi elemanlarındaki akustik alanı (replika) hesaplar ve daha sonra bu hesaplanmış model değerlerini yeri bilinmeyen gerçek kaynağın ölçülmüş verisi ile ilintilendirir. Test noktası gerçek kaynak mevkisi ile çakıştığında ilinti değeri en büyük olur[1].

Kaynağın yerinin tespiti, modelin yapısı ve işaret gürültü oranı SNR ile tutarlı bir çözünürlük ile elde edilmektedir. UAI tekniğinde karşılaşılan en temel zorluk, sığ su yayılımı için akustik dalga denkleminin sınır şartları ile katsayıların belirlemektir[2].

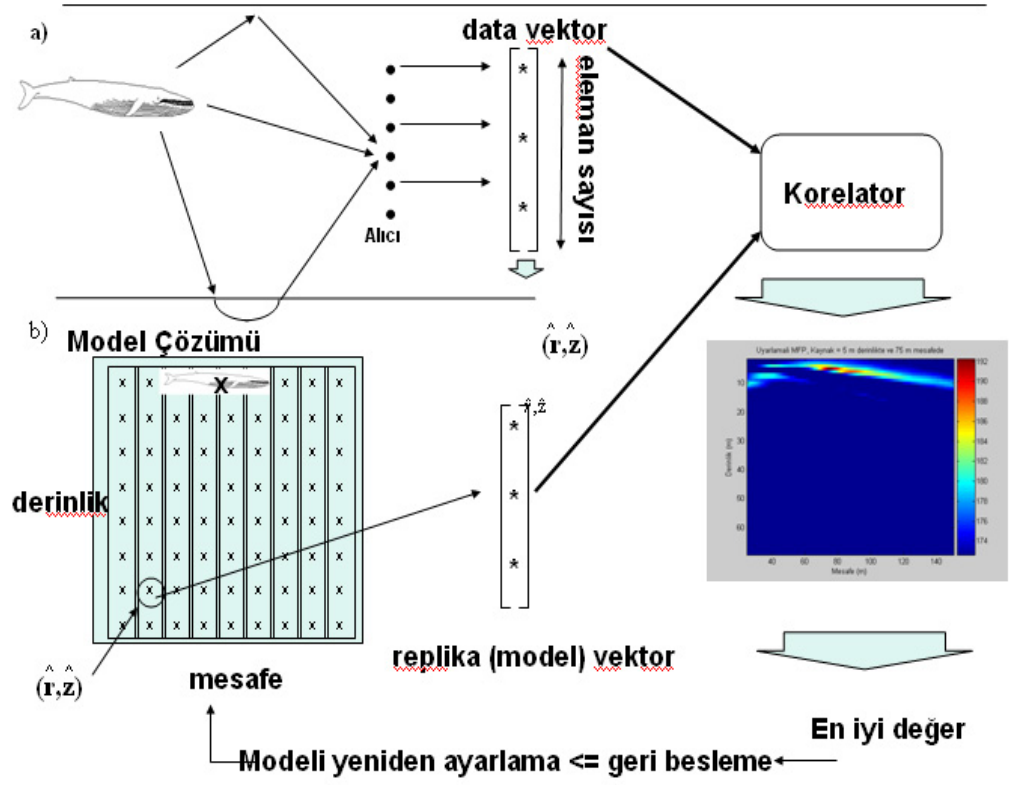
Akustik dalga denkleminin herhangi bir nümerik çözümünden (ray, normal mode gibi) $\mathbf{w}$ ağırlık vektörünü oluştururuz. Belirli bir ortam şartı ve gelişigüzel bir $\mathbf{a}$ kaynak mevkisi için $\mathbf{w}$, dizinin her elemanındaki replika alanı temsil eder. Dizi alıcıdan kaynağın sadece yönünü tespit etme yerine, dalga denkleminin çözümüne karşı gerçek kaynak mevkisinden alınan $\mathbf{K}(\mathbf{a}_{true})$ verisini eşleyerek kaynağın gerçek konumunu araştırabiliriz. $B_{Bart}(\mathbf{a})$ ile ifade edilen UAI işlemci çıktısı, her $\mathbf{a}$ noktasında düzlemsel dalga huzme şekillendirmenin ötesinde genelleme yapar.

$$B_{Bart}(\mathbf{a}) = \mathbf{w}^H(\mathbf{a})\mathbf{K}(\mathbf{a}_{true})\mathbf{w}(\mathbf{a}) \quad (3.19)$$

$B_{Bart}(\mathbf{a})$ huzme şekillendiricinin çıkış pik değeri $\mathbf{a}_{true}$ konumundadır. $B_{Bart}(\mathbf{a})$ aynı zamanda UAI işleyicinin “Belirsizlik Fonksiyonu (Ambiguity function)” veya yüzeyi olarak da adlandırılır. Çünkü UAI, geleneksel huzme şekillendiricilerde var olan yan kulakların benzeri olan belirsiz pik değerleri içerir. MV (Minimum Varyans) huzme şekillendiriciler gibi doğrusal olmayan huzme şekillendiriciler ile yan kulaklar bastırılabilir[1].

$$B_{MV}(\mathbf{a}) = [\mathbf{w}^H(\mathbf{a})\mathbf{K}^{-1}(\mathbf{a}_{true})\mathbf{w}(\mathbf{a})]^{-1} \quad (3.20)$$

$\mathbf{a}$, açı veya uzamsal koordinatlar gibi problemin bilinmeyen ve kestirilecek olan parametrelerini göstermektedir. Denklem (3.20) ile verilen huzme şekillendirici Uyarlamalı Huzme Şekillendirici (UHS) olup ilk zamanlarda düzlemsel dalga huzme şekillendirme için türetilmişti. Bu huzme şekillendirici gerçek kaynağın konumu için, Bartlett Huzme şekillendiricinin verdiği aynı çıkış seviyesinde pik değeri vermektedir [1].



Şekil 3.4: UAİ işleme ile kaynak yerinin belirlenmesi[2].

4. İSTANBUL BOĞAZININ BENZETİMİ

4.1 Ortamın Benzetimi

Dizi alıcılar ile yapılan sualtı ölçümlerinde toplanan gerçek veri elimizde mevcut olmadığından MATLAB ortamında oluşturulacak dizi alıcı ile veri toplandığı varsayılacak ve sentetik veri oluşturulacaktır. Bu kapsamda M dizi alıcının eleman sayısı olmak üzere, M elemanlı dizi alıcı için işaret ve gürültü üretilecek, bunlar aynı ortamda toplanmış gibi toplanarak veri seti oluşturulacaktır. Kaynaktan yayılan işaret ile gürültü birbirinden bağımsız, ilintisiz ve aynı dağılımlı süreçtir. İşaret dar bantlı olacaktır. Bu sayede işaret sayısal ortama aktarılırken yeterli örnekleme hızı kullanıldığında herhangi bir bilgi kaybı olmayacaktır. Bu nedenle, kaynaktan yayılan işaret tekrar elde edilebilir olacaktır. Değişik frekanslar, dizi eleman sayıları, dizi eleman aralıkları d ve dalga boyları λ için veri setleri oluşturulacak, bu verilere frekans ve zaman ortamında faz ve zaman gecikme teknikleri uygulanarak huzme şekillendirme işlemi yapılacaktır. Bu uygulamalar ışığında, M , d , f , ve λ ’nın uygulanan tekniklere etkileri araştırılacaktır.

Ortamdan kaynaklanacak çoklu yansımalar ihmal edilmeyecek, bu etkilerden kaynaklanacak konumlandırma hataları dikkate alınacaktır. Bir kaynaktan çıkıp çoklu yansımaya uğrayarak dizi alıcı sisteme farklı yollardan ulaşacak bütün işaretler birbirleriyle tam veya kısmi ilintili olarak varsayılacaktır.

Gürültü dizi alıcı ve ortam gürültüsü olarak iki sınıfta kabul edilebilir. Dizi alıcıdan kaynaklanan gürültü ortam gürültüsü içerisinde kabul edilerek ihmal edilecektir. Ortam gürültüsünün izotropik bir yapıya sahip olduğu yani beyaz gürültü özelliği taşıdığı varsayılacaktır.

Eleman sayısı M olan bir doğrusal dizi alıcı sistemi şekil 3.1’de verilmektedir. Dizi alıcı elemanları $i=1, \dots, M$ indeksleri ile bir düzlem üzerinde sıralanmaktadır. Tek frekanslı birim genlikli bir işaretin ortamda bulunduğunu varsayalım. Dizi alıcının elemanlarında ölçülen zaman gecikmesi τ_i , ve işaretin frekansı f olmak üzere işaret,

$$s(i, t) = \cos(2\pi f(t - \tau_i)) \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Dizi elemanlar arası mesafe d , ses hızı c olarak alınırsa zaman gecikmesi

$$\tau_i = i \frac{d}{c} \sin(\theta) \quad (4.2)$$

olarak elde edilir. Denklem (4.1)'deki eksi işaret i .nci elemana gelen işaretin referans antenden τ_i kadar daha geç işareti algılaması demektir. Denklem (4.2)'de elde edilen zaman gecikmesi değeri (4.1)'de yerine konursa işaret

$$s(i, t) = \cos(2\pi f(t - i \frac{d}{c} \sin(\theta))) \quad (4.3)$$

olarak bulunur.

Huzme şekillendirme uygulamalarında ortam, Pekeris dalga kılavuzu özellikleri taşımaktadır. Değişik dalga kılavuzu derinlikleri (D) ve frekanslarda benzetimler yapılacaktır. Bu benzetimler esnasında seçilen ortam sıg su ve düşük frekans bölgesinde olduğundan ışın yayılım modeli olarak Normal Mode Modeli kullanılacaktır. UAİ tekniği uygulamalarında işaret işleme için “Pekeris” dalga kılavuzlarında tek ve çoklu frekans benzetimleri yapılacaktır.

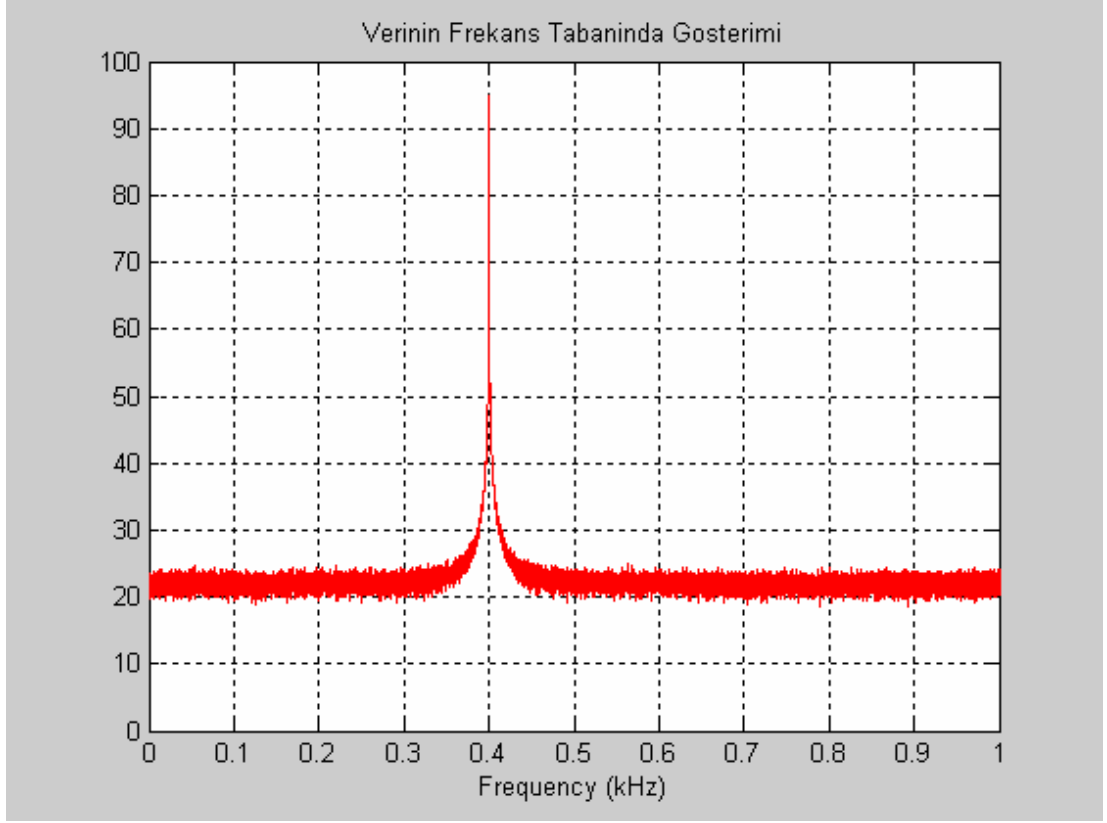
4.2 Frekans Ortamında Huzme Şekillendirme Benzetimi

Bölüm (3.2) de teorisi verilen frekans tabanında huzme şekillendirme konusunda GHŞ ve UHŞ ile benzetimler yapılacaktır. Oluşturulacak sentetik veri setlerine bahse konu teknikler uygulanarak sonuçları gözlenecektir.

4.2.1 Veri Setinin Oluşturulması

MATLAB de yazılan *data_gen* programı ile veri seti oluşturulmaktadır. Veri seti oluşturma esnasında programa girdi olarak frekans, ses hızı, dizi eleman sayısı, dizi elemanları arası mesafe, örnekleme frekansı, ölçüm zamanı, işaret geliş yönleri ve gecikme zamanları girilmektedir.

Eleman sayısı M , 33 olan bir dizi alıcı ile $T=20$ saniye süre ile İstanbul Boğazı'nda bir veri toplanmış olsun. Bu veri hem işaret hem de gürültüyü kapsamaktadır. Verinin örnekleme frekansı $F_s = 2000$ Hz, dizi, alıcı eleman aralığı d , dalga boyunun yarısıdır. Benzetimlerde ses hızı 1500 m/s olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.1: 400 Hz frekanslı verinin frekans ortamında gösterimi.

4.2.2 Verinin İşlenmesi

Veri hakkında sadece dizi eleman sayısı M , T zaman dilimi, d eleman aralığı ile f frekans değerlerinin bilindiğini varsayıyoruz.

Bu durumda işaretin dalga boyu

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1500}{400} = 3.75 \text{ m}$$

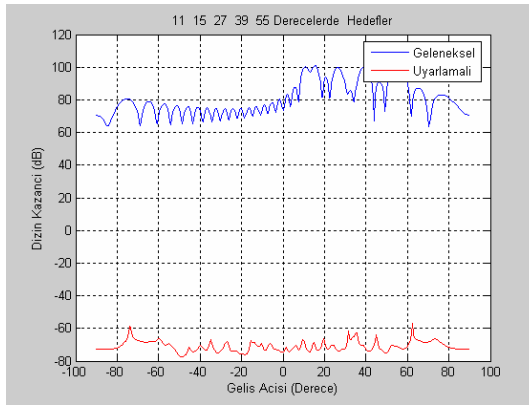
İzotropik bir ortamda, $d = \lambda / 2$ de işaret – gürültü birbiri ile ilintisizdir. İzotropik gürültünün ilintisi,

$$n_{ij} = \frac{\sin(kd)}{kd}, \quad k \frac{2\pi}{\lambda} \text{ ve } d = \lambda / 2 \text{ ise}$$

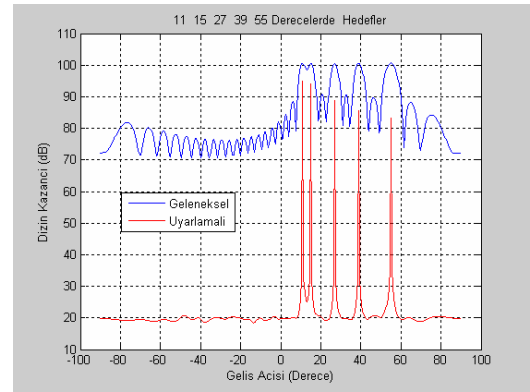
$$n_{ij} = \frac{\sin(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2})}{\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2}} = \sin \pi = 0, \text{ olduğundan izotropik ortamda } d=\lambda/2 \text{ de işaret ile}$$

gürültünün ilintili olmadığı görülmüştür, yani $\lambda/2$ de ortam gürültüsü, beyaz gürültü gibi davranış göstermektedir.

Verinin işlenmesinde snapshot sayısını $N=1$ alırsak tek bir veri paketi olacak ve bu paket kendisi ile ilintili olacağından iki farklı kaynağı ayırt edemeyeceğiz (Şekil 4.2.a). Bu nedenle snapshot sayısını birden büyük alarak verinin ilintisiz olması sağlanır (Şekil 4.2.b). Kabul edilen en düşük snapshot sayısı, dizi eleman sayısının 2 katıdır ($N=2M$).



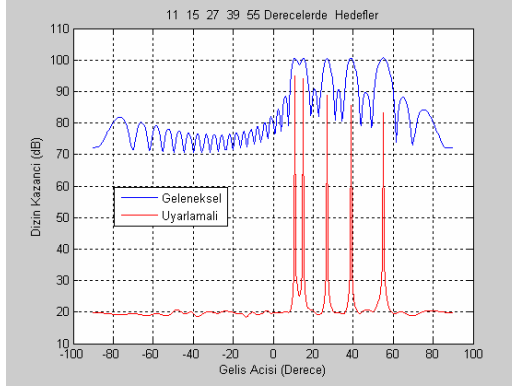
(a)



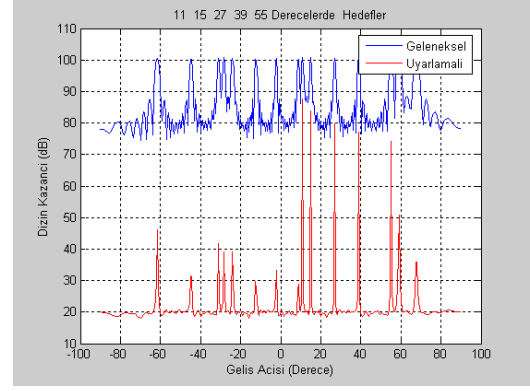
(b)

Şekil 4.2.a) $N=1$ ve **b)** $N=100$ durumları için huzme şekillendirme.

Dizi elemanları arası mesafe d yi $\lambda/2$ den büyük seçersek dizi alıcıda işaretlerin tekrarlandığını görürüz (Şekil4.3.b). Dizi alıcının çözünürlülüğü azalacağından alınan sinyalin hassasiyeti azalmış olacaktır.



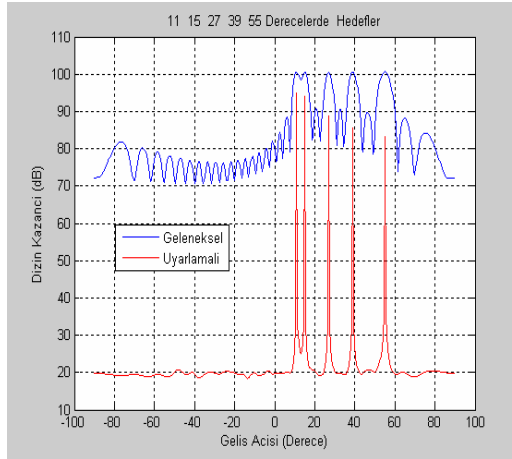
(a)



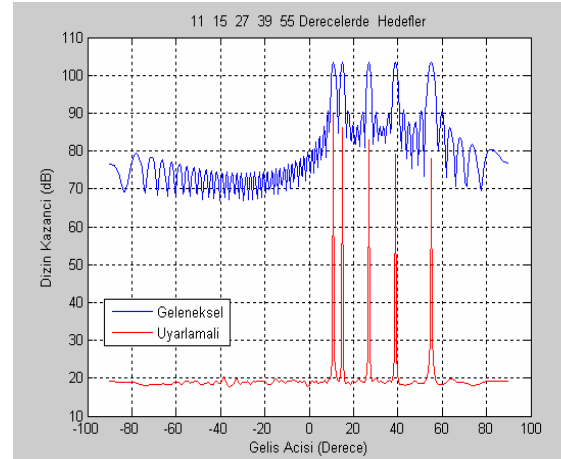
(b)

Şekil 4.3.a) Dizi elemanları arası mesafe $d = \lambda/2$ **b)** $d = \lambda$ durumları için huzme şekillendirme.

Dizi alıcı eleman sayısı arttıkça dizinin çözünürlüğü artacaktır. Bu durumda alınan işaretlerin çözünürlüğü artış gösterecek, daha sağlıklı olarak işaretin geliş açısı hesaplanabilecektir. Dizi eleman sayısı arttıkça huzme şekillendiricilerin huzmeleri daralmaktadır. Ortamda birbirine yakın bulunan kaynakların ayrıştırılması daha sağlıklı olmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.4.a) Alıcı Dizi Eleman Sayısı $M=33$ ve **b)** $M=64$ ile huzme şekillendirme. Alıcı dizi eleman sayısı arttıkça sistemin çözünürlüğü arttığından küçük açılar ile birbirine yakın duran cisimler ayrı kaynaklar olarak ayrıştırılmaktadır.

Şekil 4.4.a’da dört derece fark ile birbirine yakın bulunan iki kaynak (11 ve 15 derecelerde bulunan iki kaynak) geleneksel huzme şekillendiricide tek hedef olarak algılanırken alıcı dizi eleman sayısı 64 olan sistemde ayrı kaynaklar olarak algılanabilmektedir (Şekil 4.4.b).

Dizi eleman sayısı az olduğunda, ortamda birbirine yakın duran kaynakların Bartlett huzme şekillendirici ile ayrıştırılması güçleşmektedir. Huzme şekillendiricinin huzmesi genişlediğinden (çözünürlük azalır) kaynaklar aynı huzme içerisinde kalır. Aralarında 5 derece gibi küçük açılar bulunan kaynaklar Bartlett Huzme Şekillendiriciler ile tek kaynakmış gibi algılanırlar. Uyarlamalı Huzme Şekillendiricilerin huzmeleri dar olduğundan 5 derece açı farkı ile ortamda bulunan kaynaklar iki farklı kaynak olarak algılanabilmektedir.

4.3 Zaman Ortamında Huzme Şekillendirme Benzetimi

Frekans ortamında huzme şekillendirme işlemlerinde faz kayması işlemi uygulanırken, zaman ortamında huzme şekillendirme uygulamalarında zaman gecikmesi işlemi uygulanmaktadır. Yatay veya dikey konumda bulunan bir dizinin elemanlarına gelen düzlemsel dalgalar dizinin her elemanına farklı zamanlarda ulaşacaktır. Her dizi elemanındaki bu gecikme zamanları kullanılarak zaman ortamında huzme şekillendirme algoritmaları uygulanabilir.

Doğrusal dizi ile suda toplanmış tüm verilere daima frekans ortamında veya zaman ortamında işlem uygulanamaz. Bazen bir tabanda uygulama diğer tabandaki uygulamaya göre daha avantajlı ve anlaşılır olmaktadır. Örneğin chirp (modüleli) yapıdaki bir işarete frekans ortamında huzme şekillendirici uygulamak çok da anlam ifade etmemektedir. Zaman tabanlı huzme şekillendirme uygulamasında chirp işaret içeren bir veri seti *data_gen_chirp* ile oluşturulmaktadır.

4.3.1 Veri Setinin Oluşturulması

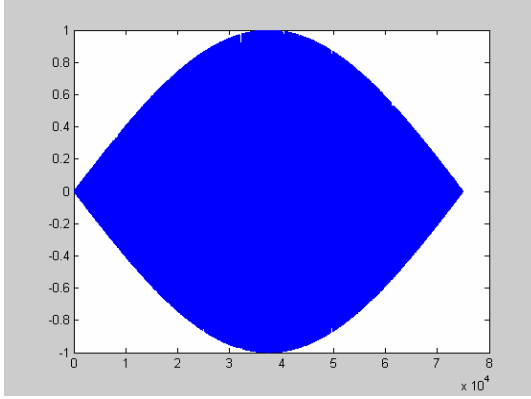
İstanbul Boğazı’na yerleştirilen ve eleman sayısı $M=8$ olan bir doğrusal dizi alıcı ile 5 saniye uzunluğunda [500, 1000] Hz aralığında bir sentetik chirp işareti ölçülmüştür. Bu verinin örnekleme frekansı $F_s=10$ kHz dir.

Bu veriyi MATLAB ortamında *data_gen_chirp* programı ile oluşturuyoruz. Oluşturduğumuz bu veri setini kullanarak zaman ortamında “zaman gecikmesi ve

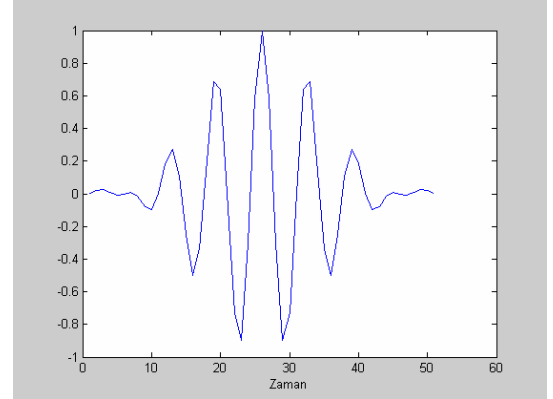
toplama” (Delay and Sum) tekniği ile huzme şekillendirme uygulamaları uygulanmıştır. Aynı veri seti frekans ortamında da incelenecek ve zaman ortamında huzme şekillendirme ile kıyaslanması yapılacaktır.

4.3.2 Verinin İşlenmesi

Verinin toplandığı ortam izotropik bir yapıya sahip olup ses hızı değeri 1500 m/s dir. Veri setinde [500-1000] Hz frekanslı chirp işaret bulunmaktadır. Dizi elemanları arası mesafe $d=0.75$ metre olup dalga boyundan küçüktür. Bu durumda alıcı dizide verinin tekrarlanması önlenmiş olur. Şekil 4.5.a da sentetik chirp işareti, şekil 4.5.b’de de bu işaretin örneklenmiş chirp işareti görülmektedir.

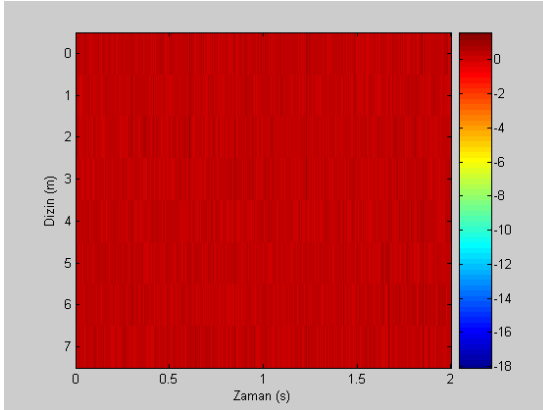


(a)

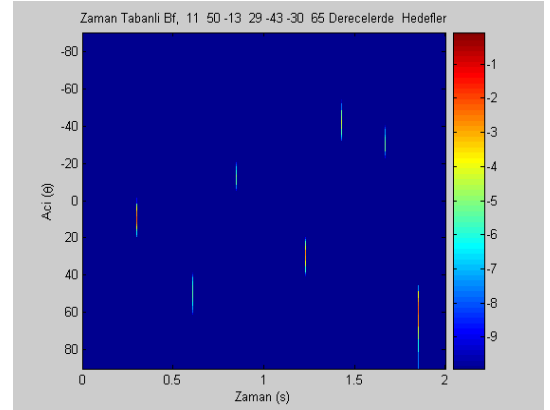


(b)

Şekil 4.5.a,b) Zaman ortamında verinin gösterimi.

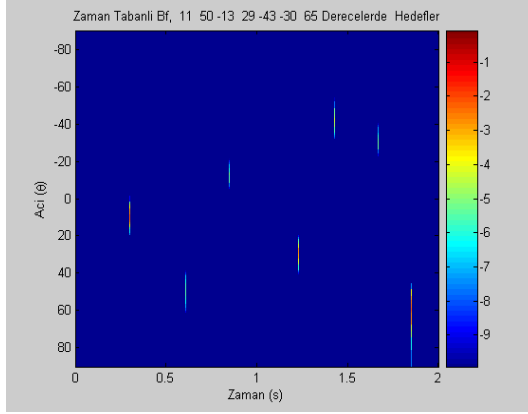


(a)

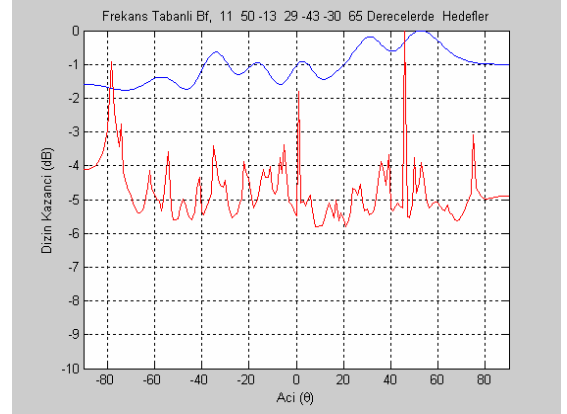


(b)

Şekil 4.6.a) Dizi alıcı tarafından toplanmış gürültülü veri, b) Verinin zaman ortamında huzme şekillendirici ile işlenmesi ve kaynak geliş yönlerinin kestirimi.



(a)

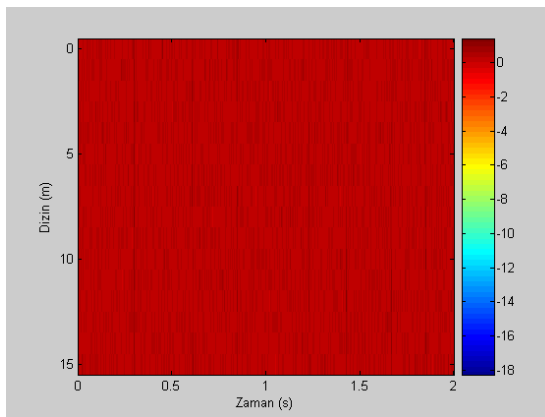


(b)

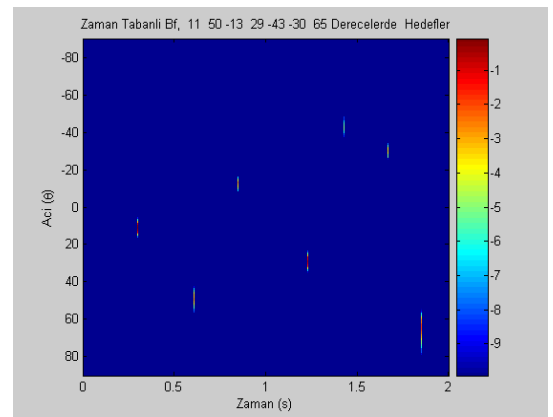
Şekil 4.7.a) Zaman ortamında huzme şekillendirme, **b)** Frekans ortamında huzme şekillendirme.

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere chirp işareti ile zaman ortamında huzme şekillendirmede kaynakların yeri iyi derecede kestirilebilirken frekans ortamında huzme şekillendirmede aynı verimi elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle huzme şekillendirme uygulamalarında verinin yapısına bağlı olarak taban seçimi yapmak uygun olacaktır.

İkinci benzetimde, eleman sayısı $M=16$ olan bir doğrusal dizi alıcı ile 5 saniye uzunluğunda [500, 1000] Hz aralığında bir chirp işareti ölçülmüş olup bu verinin örnekleme frekansı $F_s=10$ kHz dir.

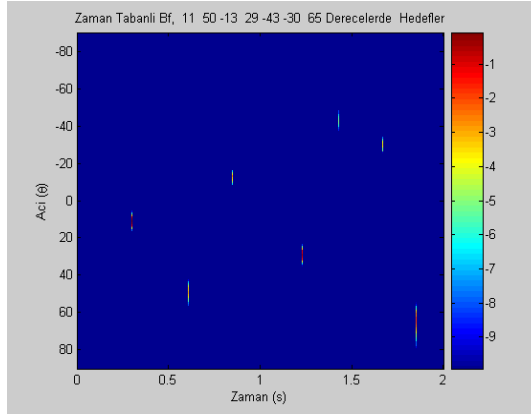


(a)

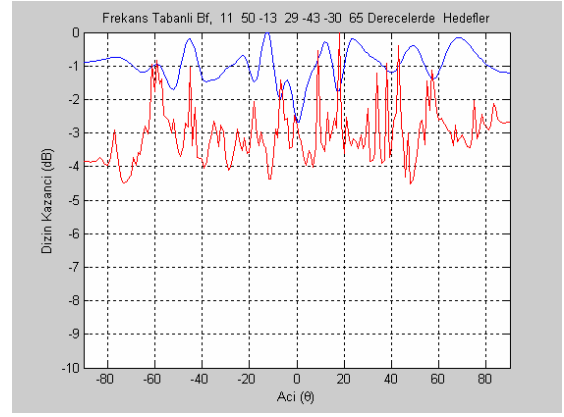


(b)

Şekil 4.8.a) $M=16$ elemanlı dizi alıcı ile toplanmış veri ve **b)** Toplanmış veriye zaman ortamında huzme şekillendirme uygulanarak kaynak geliş yönlerinin kestirimi.



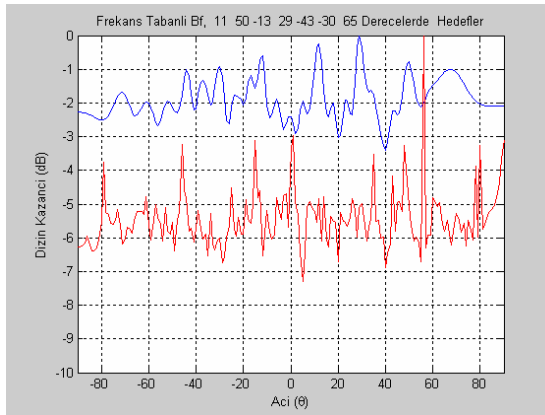
(a)



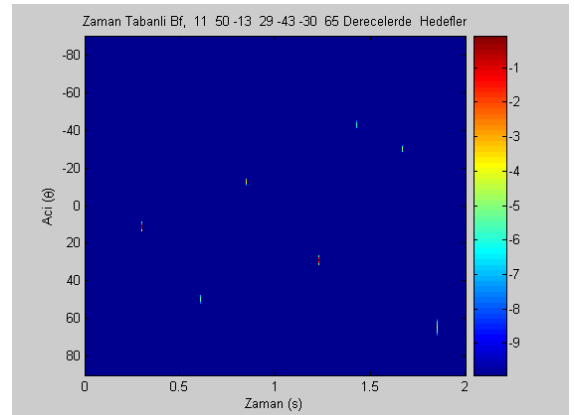
(b)

Şekil 4.9.a) $M=16$ elemanlı dizi alıcı ile zaman ortamında huzme şekillendirme, **b)** Frekans ortamında huzme şekillendirme.

Üçüncü benzetimde, eleman sayısı $M=42$ olan bir dizi alıcıda toplanan veri dizi alıcının yüksek çözünürlüğü nedeni ile daha çok bilgi taşıyacaktır. Bu şekilde toplanmış veri ile yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Dizi alıcı eleman sayısı artınca işaret kaynaklarının yönlerinin kestirimi daha net olarak yapılmaktadır. Frekans ortamında geliş yönleri ile ilgili sağlıklı bilgi elde edilememektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.10.a) $M=33$ elemanlı dizi alıcı ile zaman ortamında huzme şekillendirme, **b)** Frekans ortamında huzme şekillendirme.

4.4 Uyumlu Alan İşleme Benzetimi

4.4.1 Ortamın Tanımlanması

Elemaları $d=2$ metre mesafe ile dizilmiş bir dizi alıcıyı dikey olarak ortama yerleştirdik. Ortamın sığ ve uzun bir kanal olduğunu varsayıyoruz. Ölçüm ortamı Pekeris dalga kılavuzu özelliklerini taşımaktadır. İstanbul Boğazı'nda bulunan sistemin ortamın derinliği $D=70$ metre, sudaki ses hızı değeri $c_1 = 1500$ m/s, suyun yoğunluğu $\rho_1 = 1025 \text{ kg/m}^3$, tabanının yoğunluğu $\rho_2 = 2070 \text{ kg/m}^3$, taban sediment ses hızı $c_2 = 1730$ m/s olarak tanımlanmıştır.

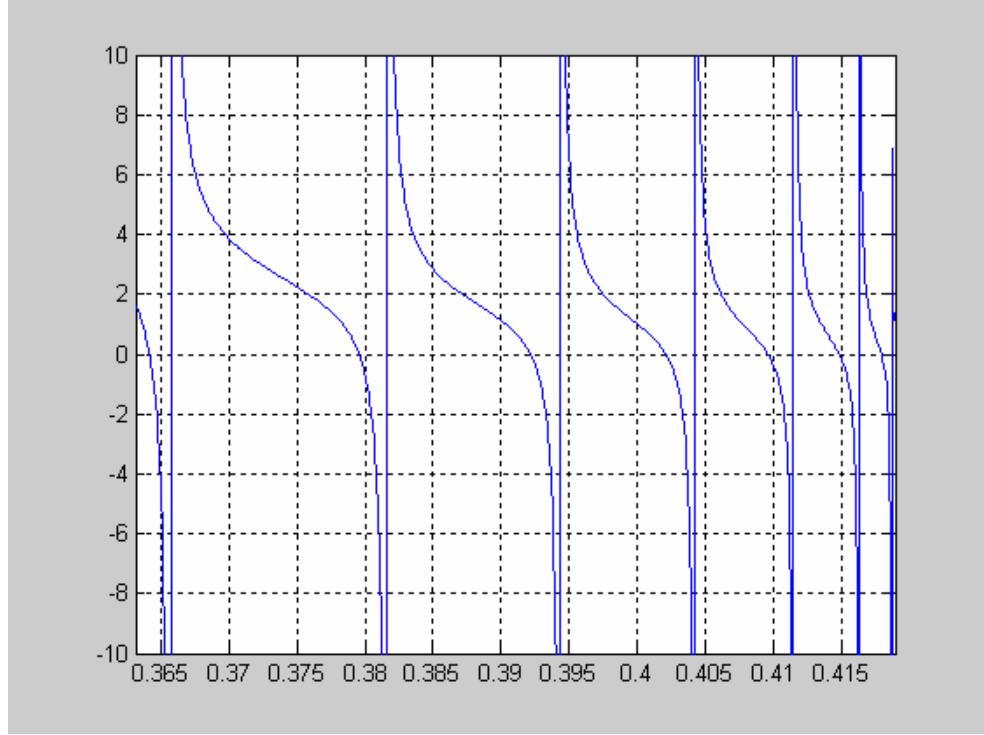
Kaynağımızın alıcıdan bulunduğu mesafe $r=75$ m, kaynağın su içerisindeki derinliği $z=5$ metredir. Kestirimler $f=100$ Hz frekansında yapılmıştır. Bir sonraki benzetimde değişik frekans aralıklarında yapılan kestirimler toplanarak uygulama yapılacaktır.

4.4.2 Veri Seti Oluşturma

Alıcı dizinin tüm su kolonu boyunca $d=2$ m aralıklar ile dikey olarak yerleştirilmiştir. Kaynak derinliği $z_s=5$ m, kaynak mesafesi $r_s=70$ m ve kaynak seviyesi $SL=140$ dB seçildi. Ortamın 85 dB seviyesinde izotropik gürültüye sahip olduğu bilinmektedir.

4.4.3 Veri İşleme

Uygulamanın ilk adımında Pekeris dalga kılavuzunda kaç adet NM oluştuğunu hesaplıyoruz. Mod sayısı seçilen frekansa bağlı olarak değişir. Frekans arttıkça mod sayısı artış gösterir. Uygulamada kullandığımız $f=100$ Hz frekansı için yedi adet mod oluşmuştur.

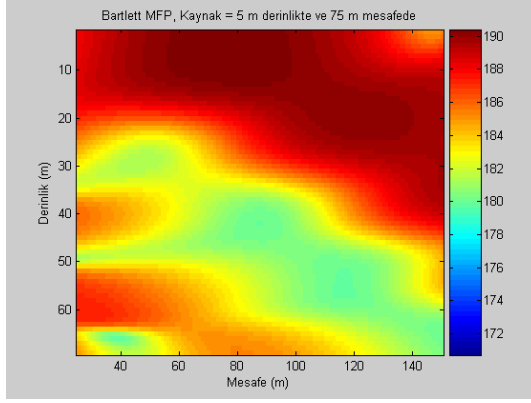


Şekil 4.11: Pekeris dalga kılavuzunda $f=100$ Hz de Normal Mode yayılımı.

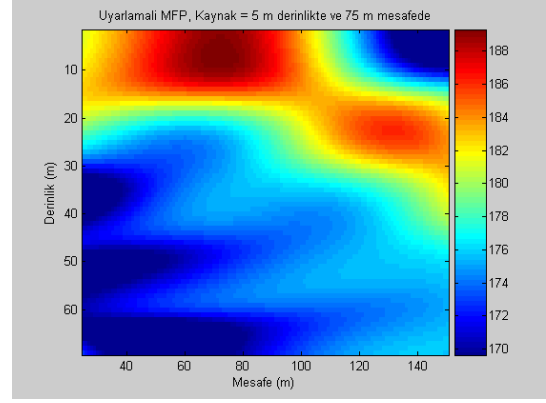
Pekeris dalga kılavuzunda NM yayılım hesabı su kolonu ve sediment tabaka için yapıldıktan sonra üretilen gürültülü ortam için UAI işaret işleme tekniğini uygulamaya başlıyoruz. Bu aşamada üretilen veri seti ile replika veri seti ilindirilmektedir. İlinti değeri yüksek olan nokta veri kaynağının bulunduğu noktadır.

UAI işaret işleme tekniği ile işlenen veriye Geleneksel (Bartlett) ve Uyarlamalı huzme şekillendirici algoritmaları uygulanmaktadır. Bartlett huzme şekillendiricide yan kulakların etkisi çok fazla iken bu etki Uyarlamalı huzme şekillendiricide düşük seviyededir.

UAI işaret işleme tekniğinde frekans arttıkça kaynağın yerinin tespiti netleşmektedir. Frekans artırımı ile yan kulakların etkisi iki yöntemde de azalma göstermektedir.



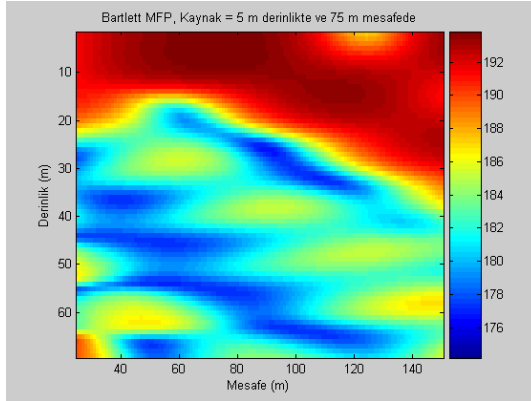
(a)



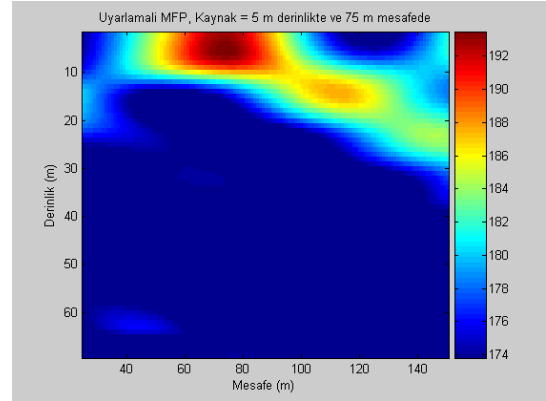
(b)

Şekil 4.12.a) $f=100$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ **b)** Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ. Bartlett Huzme Şekillendiricide yan kulak etkisi çok yüksek düzeyde iken Uyarlamalı Huzme Şekillendiricide bu etki daha düşük seviyededir.

İstanbul Boğazı'nda dikey olarak yerleştirilen alıcı diziden 75 metre mesafede bulunan bir kaynağın 150 Hz frekansında analizinde kaynak, uyarlamalı huzme şekillendirici ile daha iyi tespit edilmektedir. Bartlett Huzme Şekillendiricide kaynak tespit edilmesine karşın yan kulakların ana huzme üzerinde etkili olduğu görülmektedir.



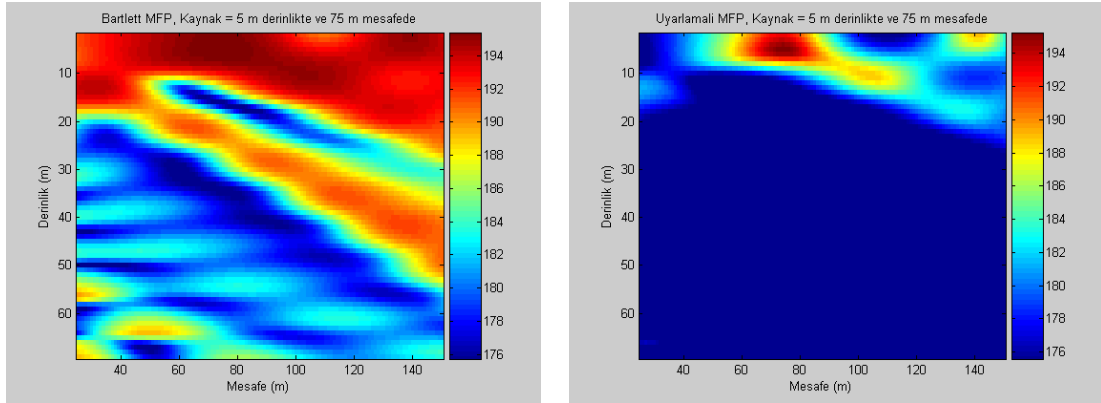
(a)



(b)

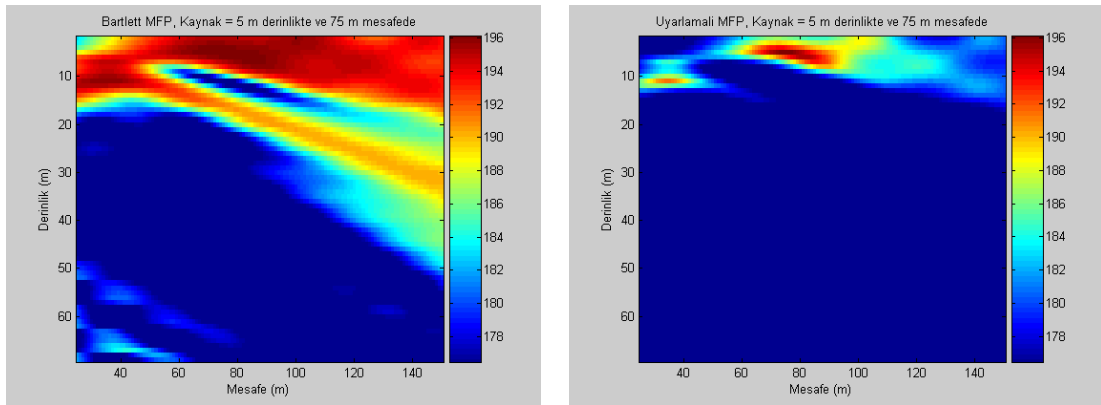
Şekil 4.13.a) $f=150$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAİ **b)** Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAİ. Bartlett Huzme Şekillendiricide yan kulak etkisi çok yüksek düzeyde iken Uyarlamalı Huzme Şekillendiricide bu etki daha düşük seviyededir.

Aynı kaynak için 200 Hz frekansında yapılan analizde yan kulakların etkisinin azalma gösterdiği Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14.a) $f=200$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAI **b)** Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAI. Frekans artırımında Bartlett Huzme Şekillendiricide yan kulak etkisi yüksek düzeyde iken Uyarlamalı Huzme Şekillendiricide bu etki daha düşük seviyededir.

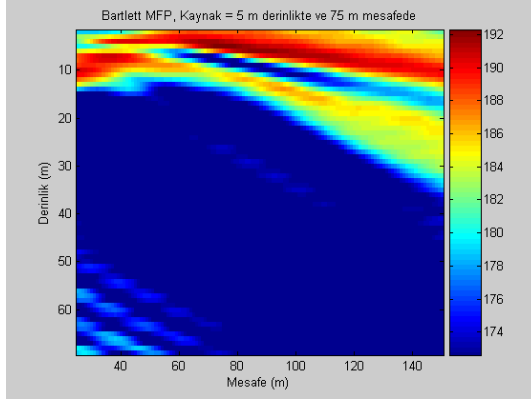
Kaynak derinliği ve mesafesi aynı kalmak üzere 300 ve 500 Hz frekanslarda yapılan analizlerde yan kulak etkisinde azalma olduğu görülür. Frekans artırımı ile yan kulak etkisi Uyarlamalı Huzme Şekillendiricide çok düşük seviyeye inerken Bartlett Huzme Şekillendiricide bu etki hala yüksek seviyelerdedir.



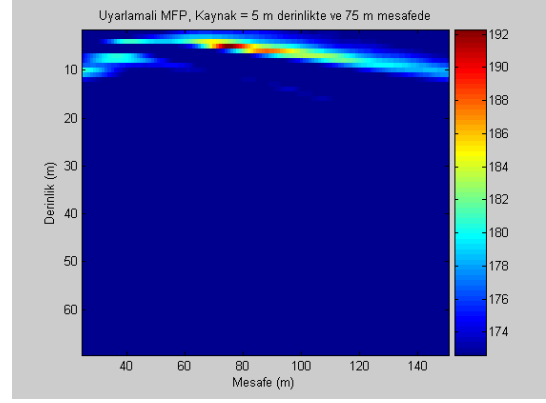
(a)

(b)

Şekil 4.15.a) $r=75$ metre, $f=300$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAI **b)** Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAI.



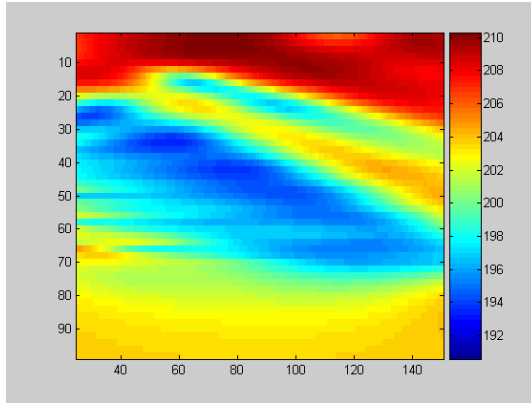
(a)



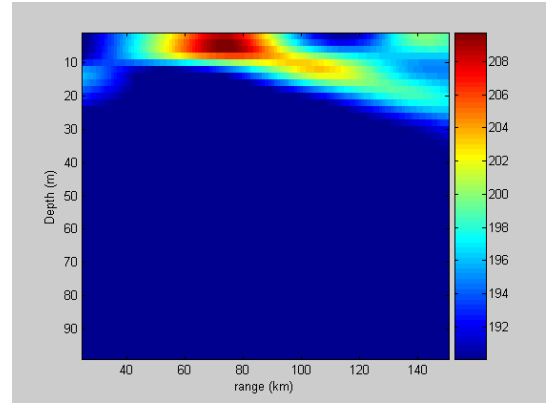
(b)

Şekil 4.16.a) $r=75$ metre, $f=500$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAI
b) Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAI.

UAI işaret işlemede yan kulakların etkisini azaltmak maksadı ile belli frekans değerlerinde analizler yapılır ve elde edilen sonuçlar üst üste bindirilir. Şekil 4.17’de 150 – 200 Hz frekansları arasında 10 Hz artırım ile elde edilmiş analiz sonucu verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.17.a) $r=75$ metre, $f=150:10:200$ Hz de Bartlett Huzme Şekillendirici ile UAI
b) Uyarlamalı Huzme Şekillendirici ile UAI.

150 – 200 Hz frekanslarında yapılan analizlerde yan kulak etkisinde azalma olduğu görülmüştür. Bu tür analizlerde her frekansta elde edilen değer bir sonraki frekansta elde edilen değer ile ilintilendirilmektedir. Bu sayede yan kulak etkileri belirli bir seviyede azaltılmakta ve kaynağın daha belirgin olarak kestirimi mümkün olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Doğrusal dizin alıcılar sualtı uygulamalarında ortamın gürültüsü ile ortamda bulunan kaynakların yaydıkları gürültüleri ölçme konularında çok yaygın olarak kullanılırlar. Doğrusal dizin alıcılarda dizin elemanları eşit aralıklar ile dizin içerisinde konumlandırılarak verilerinin işlenmesini kolaylaştırmaktadır. Dizin alıcı kullanmak veri toplamada dizin kazancı (AG) kadar bir kazanç sağladığından zayıf sinyallerin bile tespiti mümkün olmaktadır. Doğrusal dizin alıcı elemanları belirli mesafe ve geometri ile yerleştirildiğinden bu tür alıcıların dinleme frekansları rahatlıkla hesaplanabilmektedir.

Frekans ve zaman ortamlarında geleneksel ve uyarlamalı huzme şekillendirme uygulamaları yapılmış ve bunların etkinliği araştırılmıştır. Her iki ortamda yapılan analizlerde, uyarlamalı huzme şekillendiricilerin daha dar bir huzme yapısına sahip oldukları görülmüştür. Uyarlamalı Huzme Şekillendiricilerin huzmeleri dar olduğundan birbirine yakın bulunan kaynakları ayrıştırabilmektedir. Uyarlamalı Huzme Şekillendiricilerde yan kulakların etkisi çok iyi bastırılabilir. Bu sayede gürültülü bir ortamda bulunan kaynakların yönleri yüksek doğrulukla tespit edilebilmektedir.

Geleneksel huzme şekillendiriciler daha geniş huzme yapılarına sahiptirler. Bu nedenle beş derece gibi yakın açılar ile birbirine yakın duran kaynaklar Geleneksel Huzme Şekillendiriciler ile tek kaynak gibi algılanmaktadır. Ayrıca Geleneksel Huzme Şekillendiricilerde yan kulak etkisi çok fazladır. Bu nedenle gürültü seviyesi arttıkça kaynağın tespiti ve ortamdan ayrıştırılması güçleşmektedir.

Huzme şekillendiricilerin performansları üzerinde dizin alıcı elemanlarının arasındaki mesafe büyük önem arz etmektedir. Elemanlar arası mesafenin dalga boyunun yarısından küçük olması beklenir. Bahse konu değer dalga boyunun yarısından fazla olduğunda yanıltıcı kaynaklar elde edilmektedir.

Huzme şekillendiricilerin performansını etkileyen diğer bir faktör ise dizin eleman sayısıdır. Dizin eleman sayısı dizin alıcının çözünürlüğü ile direk bağlantılıdır. Az elemana sahip doğrusal dizin alıcılar ile yapılan huzme şekillendirme uygulamalarında huzme geniş bir yapıya sahip iken eleman sayısının artışına bağlı

olarak huzme genişliği daralmaktadır. Özellikle çok kaynaklı ortamlarda birbirine yakın bulunan kaynakların ayrıştırılması için yeterli elemana sahip dizin alıcılara gereksinim duyulmaktadır.

İstanbul Boğazı'nda suya dikey olarak yerleştirilecek dizin alıcı sekiz elemanlı olacaktır. Bir önceki bölümde yapılan analizlerde sekiz elemanlı dizin alıcının 50 – 400 Hz frekanslarda iyi bir çözünürlükte yön tespiti yaptığı görülmüştür.

Alıcı dizinin bulunduğu ortamın gürültü değerleri ile oşinografik, akustik ve jeolojik yapısı kaynakların sayı ve yerinin tespiti üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Bu nedenle İstanbul Boğazı'na ait gerçek akustik, oşinografik ve jeolojik veriler kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizlerde ortamın izotropik bir yapıya sahip olduğu, gürültünün ve ses hızının tüm su kolonunda aynı olduğu varsayılmıştır. Gerçek zamanlı yapılacak ölçümlerde bahse konu değerler derinliğe bağlı olarak değişecek ve bu değerler ölçülerek analizlerde kullanılacaktır.

Yapılan analizlerde, zaman ortamında huzme şekillendirme algoritmalarının chirp işaretlerinde daha uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Chirp işaretli kaynaklar frekans ortamında yapılan analizlerde istenen verimi sergilememiştir. MATLAB ortamında oluşturulan diğer tür sentetik verilerde frekans ortamında huzme şekillendirme algoritmaları çok iyi sonuçlar sergilemiştir. Bu nedenle elde edilen verilerin işlenmesinde hangi ortamda uygulama ile daha iyi sonuç alınacağı yapılacak analizler ile belirlenebilmektedir.

Ortamda dizin alıcıdan belirli bir mesafe uzaklıkta ve derinlikte bulunan bir kaynağa UAI işaret işleme tekniği uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda İstanbul Boğazı gibi dar bir ortamda alıcıdan yaklaşık 75 metre uzaklıkta ve yüzeyden beş metre derinlikte bulunan bir kaynak tespit edilebilmiştir. Bu çalışmada Geleneksel Huzme Şekillendiricilerde yüksek yan kulak etkisi görülmüştür. Uyarlamalı Huzme Şekillendiricide yan kulak etkisi, iyi bastırıldığından fazla değildir. Uyarlamalı Huzme Şekillendirici daha iyi sonuç üretmektedir.

UAI işaret işleme uygulamalarında karşılaşılan yan kulak etkisini azaltmak amacı ile analizler belirli bir frekans bandında yapılmıştır. Her bir frekans değeri için elde edilen değer diğer değerler ile ilintirilendirilmiştir. Bu sayede yan kulak etkisi daha düşük seviyelere çekilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda MV Uyarlamalı huzme şekillendiricinin geleneksel huzme şekillendiriciden daima daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Geleneksel huzme şekillendiriciler, pratik uygulama alanlarına sahip olmasına karşın

özellikle birbirine yakın bulunan kaynakları algılamada güçlük çekmektedir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda Uyarlamalı huzme şekillendiricilerin kullanımının uygun olduğu değerlendirilmektedir. Geleneksel huzme şekillendiriciler kullanım kolaylığı göz önüne alındığında genel yaklaşımlı analizlerde fikir edinmek maksadı ile kullanılabilir.

UAİ işaret işleme tekniğinin, günümüzde sualtı akustiğinde en çok kullanılan teknik olması ve yüksek doğrulukla sonuç üretmesi nedeni ile projede kullanımı tercih edilecektir. Özellikle su altında çalıştırılan sabit kaynakların mesafe ve derinlik bilgilerinin kestirilmesi işlemi için çok yararlı sonuçlar üretecektir.

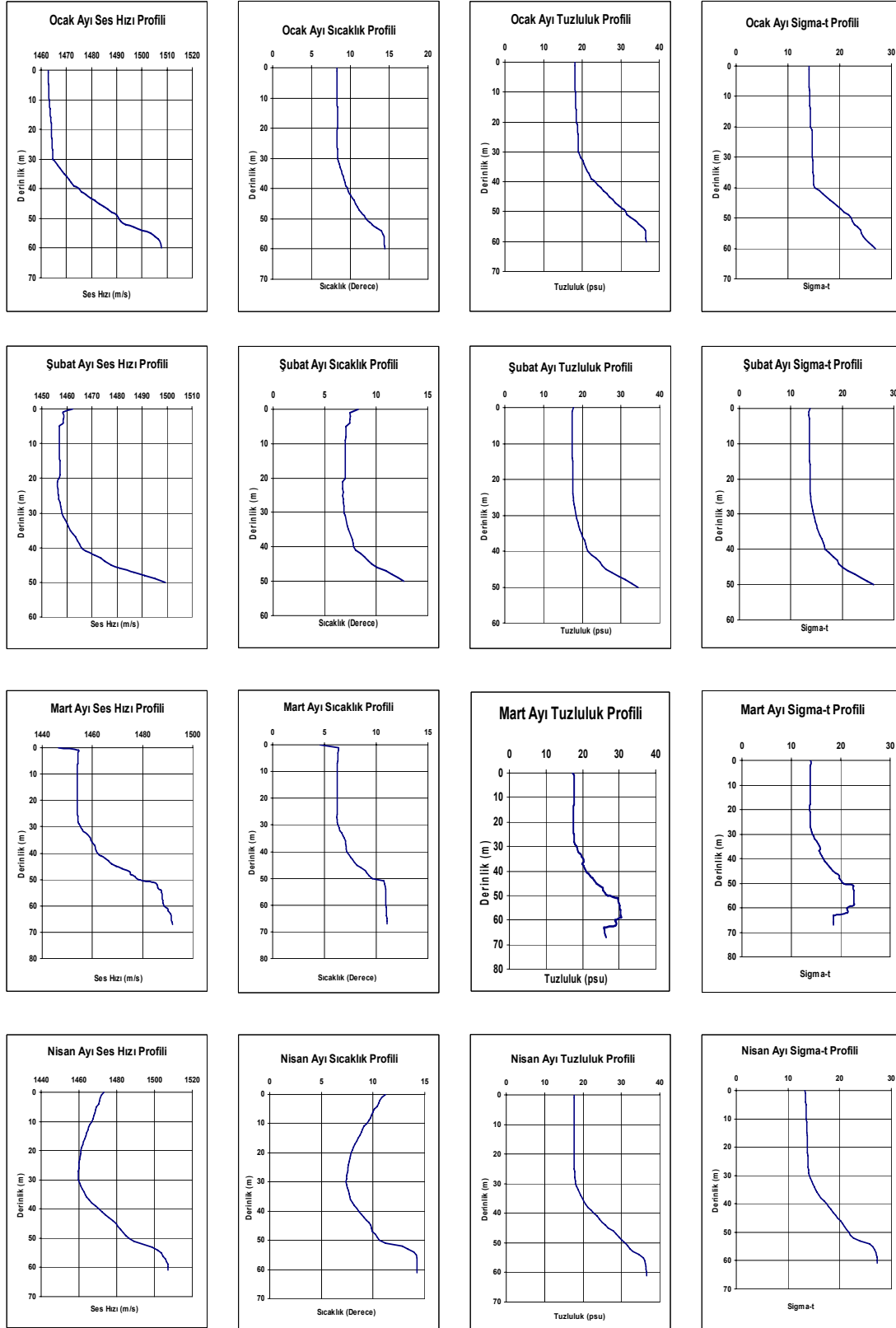
Bu çalışma kapsamında sabit kaynak ve sabit alıcı durumlarına göre analizler yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda bu tekniklerin hareketli kaynak-sabit alıcı dizin, sabit kaynak-hareketli alıcı dizin ve hareketli kaynak ile hareketli alıcı dizin durumları için incelenmesi öngörülmektedir. Bir veya iki parametrenin de hareketli olması ile doppler etkisinin analizi de yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

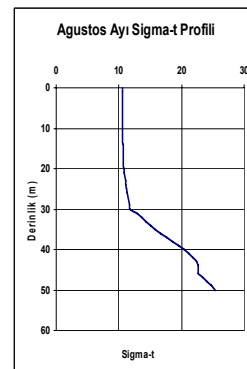
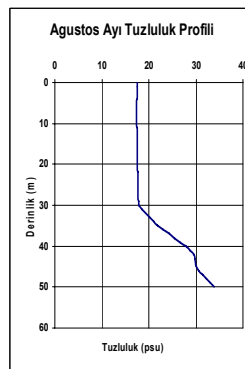
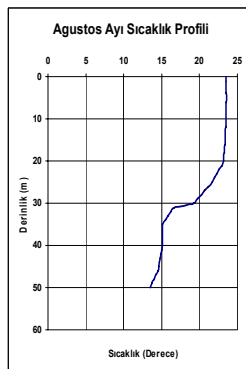
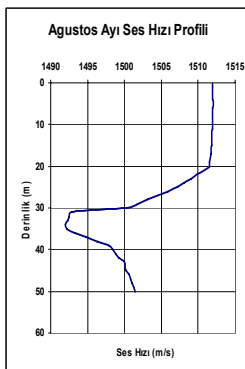
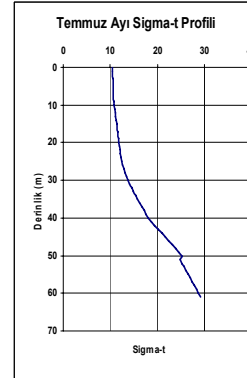
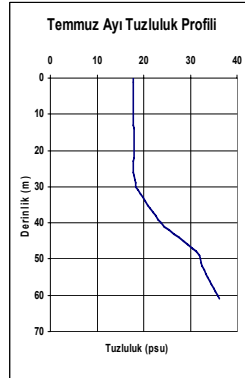
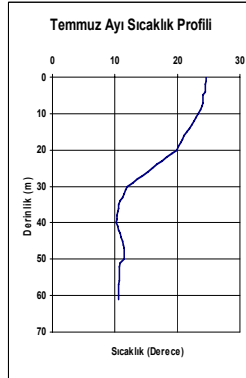
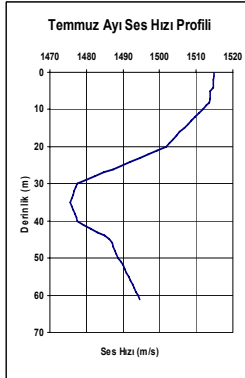
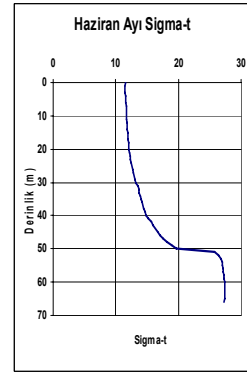
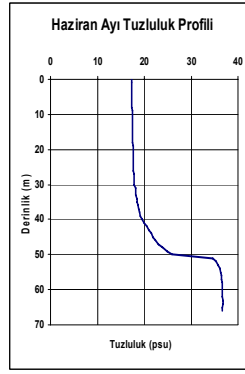
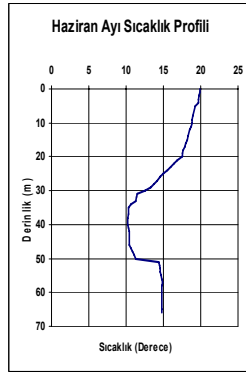
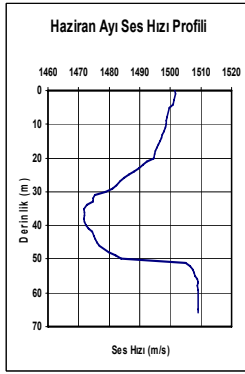
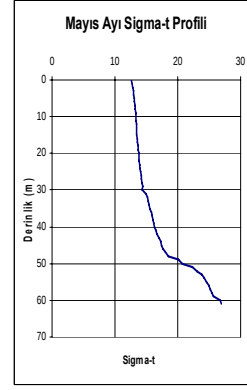
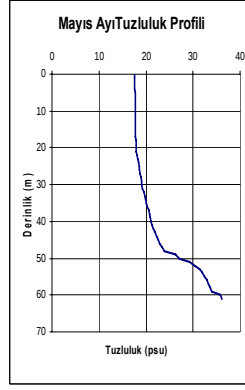
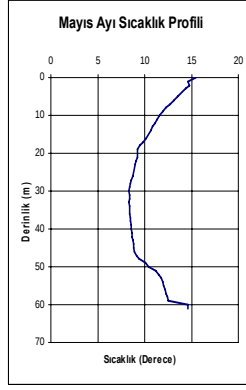
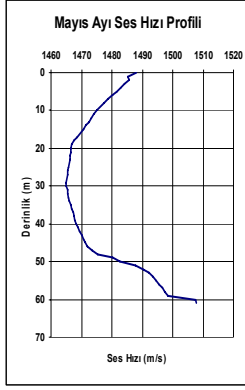
- [1] **Jensen F.B., Kuperman W.A., Porter M.B. and Schmidt H.,** 2000. Computational Ocean Acoustics, Sheridan Boks, Inc., Ann Arbor, MI, USA.
- [2] **Kuperman W.A., Roux, P.,** 2006, Introduction to Underwater Acoustics.
- [3] **Clay, C.S. and Medwin, H.,** 1998. Fundamentals of Acoustical Oceanography. AP Pres, 525 B Street, Chestnut Hill, MA 02167, USA.
- [4] **Ziomek, L.,** 1995. Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing, CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., Florida.
- [5] **Jonhson, H.D. and Dudgeon E.D.,** 1993. Array Signal Processing Consept and Techniques, Prentice Hall, Upper Saddle River NJ, 07458 USA.
- [6] **Urban, H.G.,** 2002. Handbook of Underwater Acoustic Engineering, STN ATLAS Elektronik GmbH Bremen.
- [7] **Etter, P.C.,** 2001. Underwater Acoustic Modeling Principles, Techniques and Applications, E& FN SPON, New York
- [8] **Burdic, W.S.,** 2003. Underwater Acoustic System Analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [9] **Tolstoy, A.,** 1993. Matched Field Processing for Underwater Acoustics, World Scientific NJ.
- [10] **Orlic, M.,** 2001. "Marine Hydrodynamics and Vehicle Conrtol" The Ocean Engineering Handbook pp 34-52, CRC Press LLC Ed. Ferial El-Hawary Boca Raton.
- [11] **Kay, S.M.,** 2003, Modern Spectral Estimation: Theory and Application, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [12] **Akgül, T.,** 1994. Multi-Scale Deconvolution of Sensor Array Signals: Time and Sum-of-Cumulants Domain Solutions, PhD *Thesis*, University of Pittsburgh.
- [13] **Thorner, J.E.,** 1990, Approaches to Sonar Beamforming, IEEE 90TH0313-7, 69-78.

- [14] **Hampson, G, and Paplinski, A.,** 1995. Simulation of Beamforming Techniques for the Linear Array of Transducers, MONASH Australia's International University Technical Report 93-3, 1-31.
- [15] **Bono, M.V.,** 2000, Broadband Detection of Acoustic Sources on a Linear Array, EE 381K Multidimensional Signal Processing, 1-9.
- [16] **Michalopoulou, Z.H. and Porter M.B.,** 1996. Matched-Field Processing for Broad-Band Source Localization, IEEE Journal of Oceanic Engineering **V-21 NO 4**, 384-392.
- [17] Booth, N.O., Baxley, P.A., Rice, J.A., Schey, P.W., Hodgkiss, W.S., D'Spain, G.L., and Murray, J.J., 1996, Source Localization with Broad-Band Matched-Field Processing in Shallow Water, IEEE Journal of Oceanic Engineering **V-21, NO 4**, 402-412.
- [18] **Suppappola, S.B. and Harrison, B.F.,** 2004, Experimental Matched-Field Localization Results Using a Short Vertical Array and Mid—Frequency Signals in Shallow Water, IEEE Journal of Oceanic Engineering **V-29 NO 2**, 511-523.
- [19] Booth, N.O., Abawi, A.T., Schey, P.W. and Hodgkiss, W.S., 2000, Detectability of Low-Level Broad-Band Signals Using Adaptive Matched-Field Processing with Vertical Aperture Arrays, IEEE Journal of Oceanic Engineering **V-25 NO 3**, 296-313.
- [20] Yong, G., Xian, X.C. and Zhong, Z.Z., 2001, Erasing False-Location of two Stations Direction-Finding Cross Location in Multi-path and Multiple Sources Environments, CIE International Conference on Processdings, pp. 864-868.
- [21] **Kuperman, W.A.,** 2006. Kişisel görüşme.
- [22] **Roux, P.,** 2006. Kişisel görüşme.

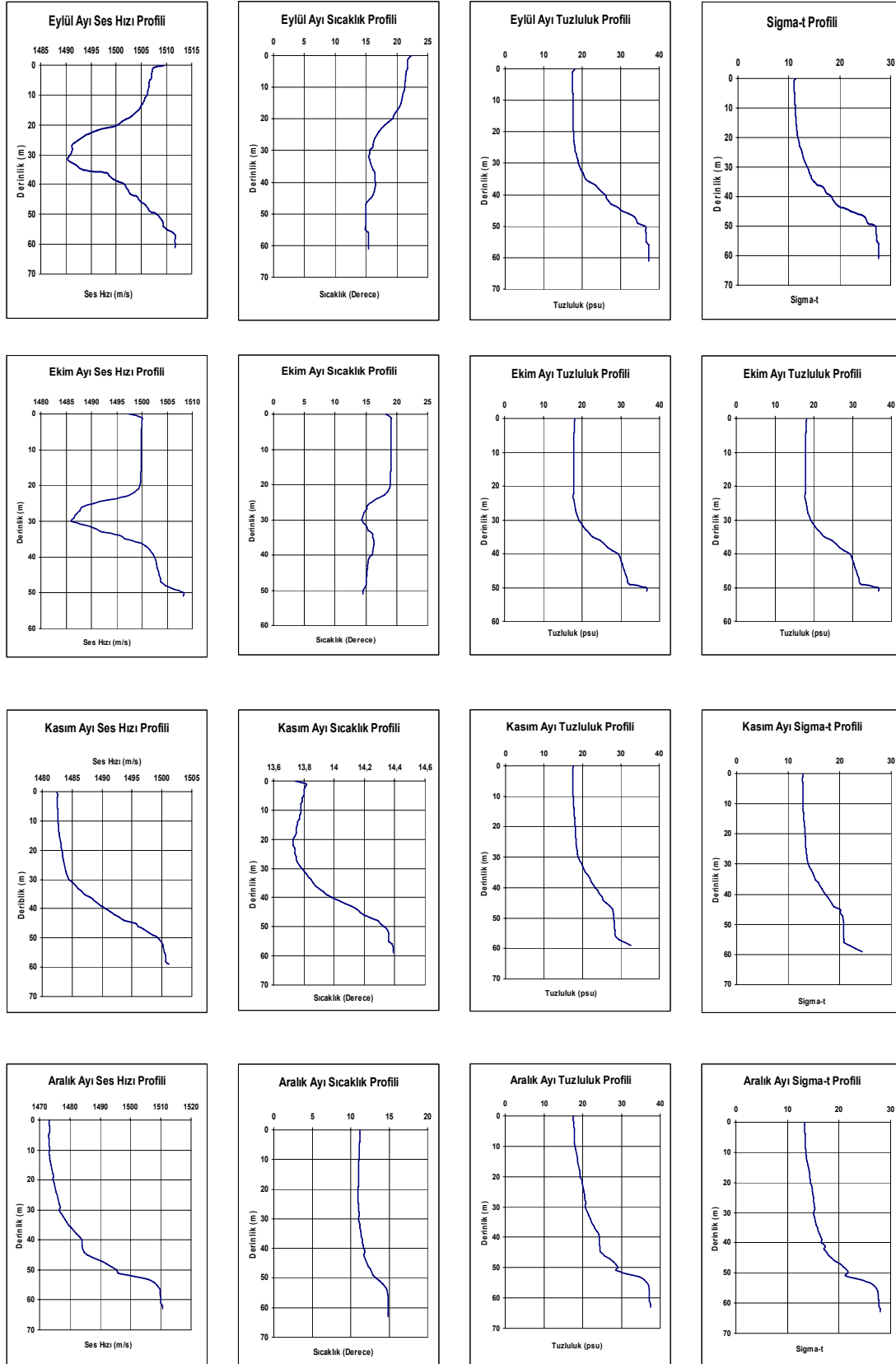
EK-A



Şekil A1: İstanbul Boğazı Ocak-Nisan Ayları Oşinografik Özellikleri.



Şekil A2: İstanbul Boğazı Mayıs-Ağustos Ayları Oşinografik Özellikleri.



Şekil A3: İstanbul Boğazı Eylül-Aralık Ayları Oşinografik Özellikleri.

ÖZGEÇMİŞ

Şeyhmus DİREK 1972 yılında Şanlıurfa'nın Viranşehir ilçesinde dünyaya geldi. İlköğrenimini Dumlupınar ilkokulunda, orta öğreniminin ilk iki yılını Viranşehir Lisesinde, son yılını ise Bakırköy Ortaokulu'nda yaptı. 1987-1991 yılları arasında Deniz Lisesini okudu. 1991 yılında başladığı Deniz Harp Okulu'ndan 1995 yılında Elektrik\Elektronik Mühendisi diploması ile mezun oldu. 1999 yılının başlarına kadar Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı gemilerde değişik görevlerde çalıştıktan sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde Yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında Naval Postgraduate School'dan "Engineering of Acoustics" dalında mezun oldu. 2001 yılından beri Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nda çalışmaktadır.