DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YANDAN TARAMALI SONARLA DENİZ TABANI HARİTALAMASI VE SINIFLANDIRMASI

İbrahim ÜNALMIŞ

Eylül 2024

İZMİR

YANDAN TARAMALI SONARLA DENİZ TABANI HARİTALAMASI VE SINIFLANDIRMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı

İbrahim ÜNALMIŞ

Eylül 2024

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İBRAHİM ÜNALMIŞ tarafından **DOÇ.DR. NİLHAN KIZILDAĞ** yönetiminde hazırlanan **"YANDAN TARAMALI SONARLA DENİZ TABANI HARİTALAMASI VE SINIFLANDIRMASI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nilhan KIZILDAĞ

Danışman

Doç.Dr. Seda OKAY GÜNAYDIN

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Doğan KISACIK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Başta destekleri ile yanımda olan aileme ve yüksek lisans eğitimim sürecinde verdiği emek ve destekleri ile kendimi geliştirmeme büyük katkı sağlayan Sayın Doç. Dr. Nilhan Kızıldağ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım kapsamında kullanmış olduğum yandan taramalı sonar veri setlerinin ve sualtı görüntülerinin elde edilmesinde öncülük eden Sayın Doç. Dr. Harun Özdaş'a ve katkısı bulunan tüm proje ekibi ile gemi personeline de teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmalarımda kulanmak üzere verilerini benimle paylaşan Gm Denizcilik Kurtarma ve Sualtı Hizm. San. ve Tic. Ltd. Şti'ye şükranlarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

İbrahim ÜNALMIŞ

YANDAN TARAMALI SONARLA DENİZ TABANI HARİTALAMASI VE SINIFLANDIRMASI

ÖZ

Deniz bilimleri, sualtı arkeolojisi, çevresel izleme gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan yandan taramalı sonar, deniz tabanı üzerindeki doğal ve yapay nesneleri akustik olarak görüntülemek için kullanılan bir uzaktan algılama teknolojisidir. Antik çağdan modern zamanlara kadar batmış gemileri tespit edip haritalamak, denizel habitatı görüntüleyerek sınıflandırmak, deniz tabanının jeomorfolojik özelliklerini belirlemek, kum hareketlerini inceleyerek oşinografik bilgi elde etmek, kablo ve boru hatlarını görüntülemek gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Deniz tabanındaki küçük nesneleri bile gösteren yüksek çözünürlüklü görüntüler üretmesi, geleneksel yöntemlere kıyasla büyük alanları hızlı bir şekilde taraması, otonom sualtı araçları gibi çeşitli platformlara monte edilebilmesi ve gerçek zamanlı veri sunması açısından büyük avantaja sahiptir. Ayrıca, açık deniz enerji sektörünün büyümesi ile deniz üstü rüzgar türbini, deniz altı doğalgaz boru hatları ve telekomünikasyon-enerji kablo ağlarının genişlemesi taban yapısını haritalayabilmek için akustik yöntemleri ön planda tutmaktadır. En uygun teknikler ile hızlı ve doğru yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmesi, zamandan ve bütçeden tasarruf sağlamaktadır. Sonar cihazının hassasiyeti, sörvey tasarımı, sonar operatörünün uzmanlığı ve veri işlem tekniklerinin doğru uygulanması görüntü kalitesi ve doğru yorumlama için kilit unsurlardır. Bu çalışmada yandan taramalı sonar kullanılarak deniz tabanı özelliklerinin akustik olarak yüksek kalitede görüntülenmesi ve ayırt edilebilmesi için yöntemler tartışılmaktadır. Bu çalışmanın önemi, deniz tabanı jeomorfolojik özelliklerinden batmış gemilere kadar birçok farklı sonar görüntüsünden oluşan veri setinin derlenerek karşılaştırmalı olarak ilk defa literatüre kazandırılmasıdır. Bu veri seti, sonar görüntü kalitesini ve nesne tanımayı artıran geliştirilmiş algoritmaların, deniz tabanı unsurları arasında ayrım yapmayı sağlayan yapay zeka entegrasyonu için yapılacak ileriki çalışmalara temel teşkil edecek niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Yandan taramalı sonar, deniz tabanı haritalama, sınıflandırma, deniz jeofiziği, akustik.

SEABED MAPPING AND CLASSIFICATION USING SIDE-SCAN SONAR

ABSTRACT

Side Scan Sonar which is widely used in many fields such as marine sciences, underwater archaeology, environmental monitoring, is a remote sensing technology used to acoustically image natural and artificial objects on the seabed. It has many areas of use such as detecting and mapping sunken ships from ancient to modern times, classifying marine habitats by imaging, determining geomorphological features of the seabed, obtaining oceanographic information by examining sand movements and imaging submarine cables and pipelines. It has great advantages in terms of producing high-resolution images showing even small objects on the seabed, scanning large areas quickly compared to traditional methods, being mounted on various platforms such as autonomous underwater vehicles and providing real-time data. In addition, the growth of the offshore energy sector and the expansion of offshore wind turbines, submarine natural gas pipelines, and telecommunication-energy cable networks prioritize acoustic methods for mapping the bottom structure. Obtaining fast and accurate high-resolution data with the most appropriate techniques saves time and budget. The sensitivity of the sonar device, survey design, expertise of the sonar operator and correct application of data processing techniques are key elements for image quality and correct interpretation. This study discusses methods for acoustically imaging and distinguishing seabed features in high quality using side-scan sonar. The importance of this study is that a dataset consisting of many different sonar images ranging from seabed geomorphological features to sunken ships is compiled and introduced to the literature for the first time in a comparative manner. This dataset will form the basis for future studies to integrate improved algorithms that increase sonar image quality and object recognition with artificial intelligence that enables discrimination between seabed elements.

Keywords: Side scan sonar, seabed mapping, classification, marine geophysics, acoustic.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Amacı 2

BÖLÜM İKİ - ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4

BÖLÜM ÜÇ - YÖNTEM VE VERİ DEĞERLENDİRME 7

3.1 Yandan Taramalı Sonar ile Veri Toplama 7
3.2 Yandan Taramalı Sonar Parametreleri 14
3.2.1 Kaynak Seviyesi 14
3.2.2 Sinyal Uzunluğu 14
3.2.3 Işın Şekli ve Oluşumu 16
3.2.4 Frekans ve Erim Mesafesi 18
3.2.5 Sinyalin Kırılma Etkisi 19
3.2.6 Yandan Taramalı Sonar Sistemlerinde Ayrım (Resolution) 20
3.2.7 Geri Dönen Sinyaller 21
3.2.8 Sonar Denklemi 24
3.3 Veri İşlem 25
3.4 Görsel Doğrulama 31
3.5 Deniz Tabanı Sınıflandırması 33
3.6 Bulgular ve Veri Değerlendirme 37

BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR VE ÖNERİLER 60

KAYNAKLAR..... 62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 (a) 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) topun sualtı fotoğrafı, (c) batığın kısmi fotomozaik görüntüsü (Özdaş ve Kızıldağ, 2020) 4

Şekil 2.2 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) fotomozaik, (c) ahşap kalıntılar (Özdaş ve Kızıldağ 2020) 5

Şekil 2.3 (a-1) Batık kargosu, (a-2) ince taneli malzeme, (a-3) kayalık substratlar, (a-4) tortu substratlar ve çukur, (a-5) dip tarama izleri, (b) ve (c) yakın görüntüleri (Geraga vd., 2020) 5

Şekil 2.4 Arkeolojik araştırmalarda kayalık alan ve batık ayrımı için yandan taramalı sonar ve sığ sismik uygulaması (A-D) (Sakellariou, 2007) ve (E-F) deniz tabanı ile batığın temsili sonar görüntüleri (TUBEP arşivi) 6

Şekil 3.1 (a) Yandan taramalı sonar sualtı birimi (towfish), (b) kayıt işlem ünitesi (topside unit) ve veri kayıt bilgisayarı, (c) navigasyon (gps) (TUBEP arşivi) 8

Şekil 3.2 Yandan taramalı sonar veri toplama modeli ve yayınan kavramsal ışın modelinin şematik gösterimi (Dondurur, 2018) 9

Şekil 3.3 Yandan taramalı sonar veri akış görüntüsü (Bangyan ve Xiao 2019) 10

Şekil 3.4 Towfishin deniz yüzeyine yakın olması ve (b) deniz tabanına daha yakın olması durumlarında deniz yüzeyi yansımalarının sonar kayıtlarına girişimi (Çifçi vd., 2005'den değiştirilmiştir) 10

Şekil 3.5 900 kHz yüksek çözünürlüklü yandan taramalı sonar kesitleri (TUBEP arşivi) 11

Şekil 3.6 Aynı bulgular için 445 ve 900 kHz sonar görüntüleri (Kızıldağ, 2022) 11

Şekil 3.7 R/V K. Piri Reis araştırma gemisi üzerinden yürütülen yandan taramalı sonar operasyonu (TUBEP arşivi, 2020) 13

Şekil 3.8 STS Bodrum okul gemisi üzerinden yürütülen yandan taramalı sonar operasyonu (TUBEP arşivi, 2021) 13

Şekil 3.9 Yayılan akustik sinyalin fiziksel genişliği (Malinverno vd., 1990' dan değiştirilmiştir) 15

Şekil 3.10 Akustik sinyal yayılımında yakın alan ve uzak alan bölgeleri (Çifçi vd., 2005'den değiştirilmiştir) 16

Şekil 3.11 Sonar kaynak yüzeyinde akustik sinyalinin oluşumu (Çiftçi vd., 2005) 17

Şekil 3.12 Akustik kaynağın yatay düzlemdeki ışın şekli (Jones, 1999'dan değiştirilmiştir) 17

Şekil 3.13 Akustik kaynağın düşey düzlemdeki ışın şekli (Flemming, 1976'dan değiştirilmiştir) 18

Şekil 3.14 Sudaki ses yayılım hızının erim mesafesine etkisi (Mazel, 1985'den değiştirilmiştir) 19

Şekil 3.15 Akustik sinyalin şematik yansıma ve geri saçılımı (a) yansıma ve geri saçınım geometrisi (b) ışın-obje geliş açısı (c) deniz tabanı pürüzlülüğü yansıma geometrisi ve (d) taban yapısı ve sediman özelliklerine bağlı saçınım (Blondel ve Murton, 1997) 24

Şekil 3.16 Yandan taramalı sonar verilerinde bottom track uygulamasına ait örnek görüntü (TUBEP arşivi) 25

Şekil 3.17 Bottom track işlemi uygulanmış sonar verisi (TUBEP arşivi) 26

Şekil 3.18 AGC işlemi öncesi ve sonrası 27

Şekil 3.19 Farklı yoğunluk parametre değerleri ile uygulanan AGC işlemi 27

Şekil 3.20 TVG işlemi öncesi ve sonrası 28

Şekil 3.21 EGN işlemi öncesi ve sonrası 28

Şekil 3.22 BAC işlemi öncesi ve sonrası 29

Şekil 3.23 AGC (Automatic Gain Control) kazanç işlemi uygulanmış sonar kesiti (TUBEP arşivi) 30

Şekil 3.24 AGC (Automatic Gain Control) kazanç işlemi öncesi (a) ve sonrasına (b) ait sonar görüntüleri (TUBEP arşivi) 30

Şekil 3.25 R/V K. Piri Reis araştırma gemisi üzerinden yürütülen ROV operasyonu (TUBEP arşivi, 2020) 31

Şekil 3.26 Agisoft Photoscan yazılımı fotogrametrik görüntüleme 32

Şekil 3.27 ROV ile bulgu doğrulama (a) 445 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) optimum veri toplama parametreleri kullanılarak elde edilen 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (c) enkaz alanının fotogrametrik görüntüsü, (d) kargo arasında bir amfora (Kızıldağ, 2022) 32

Şekil 3.28 Kum dalgaları, (b) kayaçlar, (c) kumlu-silt sediman örnekleri (Caiyun vd., 2020) 33

Şekil 3.29 Deniz tabanı sınıflandırması sonucu oluşturulan bir harita (Hamouda vd., 2019) 34

Şekil 3.30 Yandan taramalı sonar veri sınıflandırma, koyu renk yüksek yoğunluğu, açık parlak alan ise düşük yoğunluğu temsil eder (Subarsyah ve Manik, 2021) 35

Şekil 3.31 Yandan taramalı sonar verilerinden kum ve kaya sediman dağılımını gösteren sınıflandırma haritası (Pillay vd., 2020) 36

Şekil 3.32 Yandan taramalı sonar verilerinin toplandığı konumlar 37

Şekil 3.33 Sonar verisinde kayalık alanlar ve sinyal frekans genlikleri 47

Şekil 3.34 Sonar verisinde sac gemi batığı ve kayaca ait sinyal frekans genlikleri 48

Şekil 3.35 Sonar verisinde gemi batığı kargosu (amfora) sinyal frekans genlikleri 48

Şekil 3.36 Sonar verisinde olası boru hattı ve döküntü alanı sinyal frekans genlikleri 49

Şekil 3.37 Sonar verisinde trol izleri sinyal frekans genlikleri 49

Şekil 3.38 Sonar verisinde deniz çayırları ve sediman birimi sinyal frekans genlikleri 50

Şekil 3.39 Yüksek frekanslı (900 kHz) yandan taramalı sonar verisinde (a), (b), (c) kayalık alan, (d) sac gemi batığı (TUBEP arşivi) 51

Şekil 3.40 Sonar verisi üzerinde sac gemi batığı model görüntüsü (TUBEP arşivi) 51

Şekil 3.41 (a-1,2,3) Eski bir gemi enkazının kargolarının yandan taramalı sonar görüntüleri, (b), (c), (d) uzaktan kumandalı araç (ROV) görüntüleri (TUBEP arşivi) 52

Şekil 3.42 400 kHz yandan taramalı sonar kaydında; (a) çapa tarama izleri (b) batık tekne (c), (d) doğal gaz boru hattı (e) kum-ince taneli tortu (GM Denizcilik sualtı araştırmaları) 52

Şekil 3.43 Yandan taramalı sonar kaydında deniz çayırları, trol izleri ve kil-çamur morfolojisi (TUBEP arşivi) 53

Şekil 3.44 Yandan taramalı sonar görüntüleri (a-1,2,3) deniz altı kablosu akustik izleri, (b) doğal gaz boru hatları, (c) batık sac tekne, (d-1,2) kayalık alan, (e) sac metal gemi enkazı, (f) eski gemi enkazı kargoları, (g) deniz çayırları 53

Şekil 3.45 Sonar verisinde sac gemi batığına ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği 54

Şekil 3.46 Sonar verisinde deniz çayırlarına ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği 54

Şekil 3.47 Sonar verisinde kum-iri taneli sediman birimi sinyal genlik ve yoğunluk grafiği 55

Şekil 3.48 Sonar verisinde kayalık alana ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği 55

Şekil 3.49 Sonar verisinde çamur-ince taneli sediman (kil) birimi sinyal genlik ve yoğunluk grafiği 56

Şekil 3.50 Yandan taramalı sonar görüntüleri (a-1,2) deniz altı kablosu akustik izleri, (b-1,2,3) kayalık alanlar, (c-1,2,3) derin tarama ve çapa-trol izleri, (d) farklı deniz tabanı tortuları, (e) döküntü veya biyolojik unsurlar (GM Denizcilik sualtı araştırmaları) 56

Şekil 3.51 Deniz tabanı sınıflandırma yorumları (TUBEP arşivi) 57

Şekil 3.52 Farklı bölgelere ait yoruma dayalı ölçekli deniz tabanı sınıflandırma haritaları 58

Şekil 3.53 (a) Sonar kesiti haritası ve (b) SonarWiz yazılımında sediman sınıflandırma haritası 59

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Klein 3000H yandan taramalı sonar teknik özellikleri 12

Tablo 3.2 Görüntü işlemeye dayalı deniz tabanı sınıflandırma parametre değerleri (Subarsyah, 2021) 34

Tablo 3.3 Sonar verilerinin toplanığı bölgeler 38

Tablo 3.4 Yandan taramalı sonar bulgu değerlendirme tablosu (TUBEP arşivi) .. 38

Tablo 3.5 Farklı deniz tabanı unsurları için saçınım yoğunluğu ve genlik parametreleri (işlenmiş veri) 56

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Denizel ortamlar ve sualtındaki tektonik, jeolojik ve biyolojik etmenler tarihler boyunca insanlığın ilgi ve merak duyduğu konulardır. Dünyanın 3/4 ünü su kütleleri ile kaplı alanların oluşturduğu bilinmekte ve bu alanların araştırılması geçmişin günümüzün ve geleceğin hedef konularını oluşturmaktadır. Günümüzde deniz üstü rüzgar enerjisi sektörünün büyümesi, deniz altı doğalgaz tesislerine ait boru hatları ve telekomünikasyon-enerji kablo hattı ağlarının genişlemesi, mühendislik yapıları, arkeolojik ve kültürel miras araştırmaları, sualtı ekolojisi, biyoçeşitlilik ve çevresel etki izleme konuları bu denizel ortamların keşfedilmesi ve haritalanması talebini arttırmıştır. Artan sualtı araştırmaları denizel ortamların taban yapısını haritalayabilmek için başta sonar sistemleri olmak üzere akustik yöntemleri ön planda tutmaktadır. Deniz tabanındaki kayalık alanların, kablo ve boru hatlarının, batıkların, objelerin, çapa ve balıkçılık aktivitesinin, genel jeolojik-jeomorfolojik yapının tespit edilerek haritalandırılmasında deniz jeofiziği akustik yöntemleri, karot alma ve sualtı robotları ile görüntüleme faaliyetleri öncesinde zaman ve maaliyet azaltma bakımından etkin rol oynamaktadır.

Sualtı akustik teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte yüksek çözünürlüklü sonar sistemleri deniz tabanındaki farklı yansıtıcı yüzey unsurlarını tespit ederek yüksek ayrımlıkta haritalandırmaya olanak sağlamaktadır. Deniz tabanının morfolojik yapısından farklı olan her bir yüzey, kimyasal ve fiziksel (maddesel yoğunluk, geometri yapısı) yapısına bağlı olarak gelen akustik sinyali farklı genlikte yansıtma karakteristiği göstermektedir. Deniz tabanında batıklar ve boru hatları gibi insan yapımı unsurlar başta olmak üzere kayalık alanlar, kabuklu canlıların biyolojik kavkıları, deniz tabanındaki yüzeysel deformasyonlar, çakıl içerikli sedimanlar, ince taneli kum-kil-silt sedimanları ve yüksek gözenekli çamur yapıları, deniz çayırları ve resif yapıları gibi habitatlar akustik sinyali farklı genliklerde yansıtma özelliği göstermektedir.

Tez çalışmaları kapsamında kullunılan veriler 2015-2020 ve 2021 yıllarında Dokuz Eylül Üniversitesi, Sualtı Kültür Mirası ve Denizcilik Tarihi Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde, Doç.Dr. Harun ÖZDAŞ başkanlığında yürütülen "Türkiye Batık

Envanteri Projesi: Mavi Miras (TUBEP)" kapsamında toplanan yüksek çözünürlüklü yandan taramalı sonar veri setleridir. Ek olarak GM Denizcilik firması deniz araştırmalarına ait yandan taramalı sonar veri setleri kullanılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Deniz endüstrisinin gelişmesi ile birlikte artan mühendislik yapıları, doğalgaz, petrol platform ve boru hatları, enerji ve telekomünikasyon kablo hatları, meteoroloji ve sismik istasyonları, sualtı arkeolojisi, deniz çiftlikleri, ekoloji, iklim ve çevresel etki değerlendirme ihtiyacı deniz tabanı ve taban altı yapısını tespit ederek haritalandırma ihtiyacını arttırmıştır.

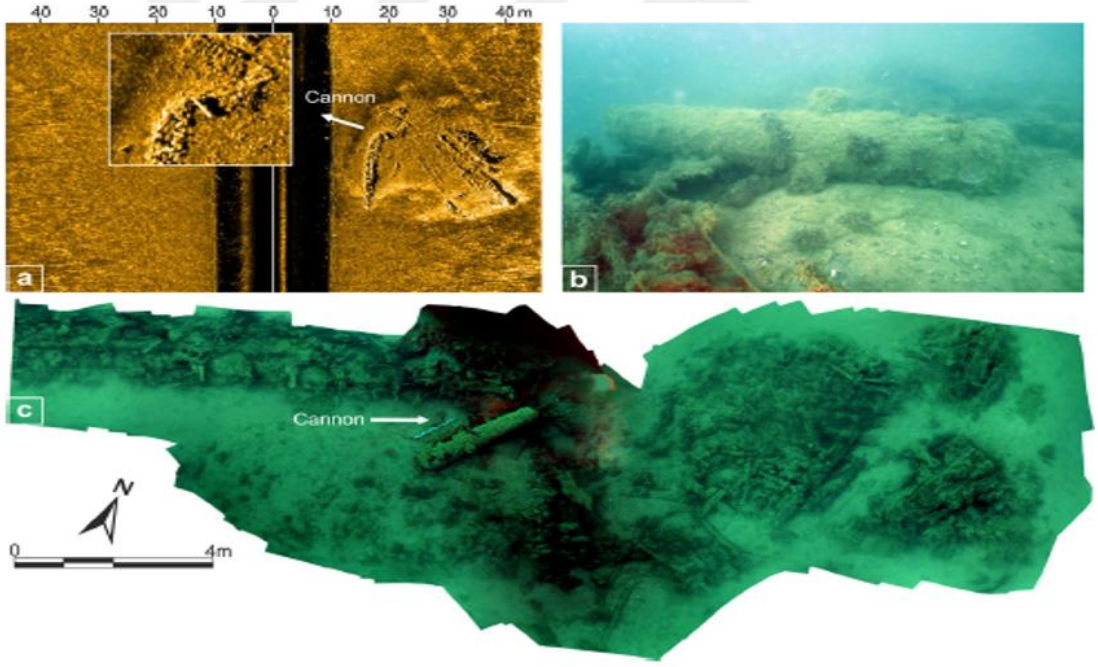
Akustik temelli jeofizik ve hidrografik yöntemler karot analiz yöntemleri ve sualtı robotları ile görüntüleme tekniklerine göre geniş alanları yüksek çözünürlükte daha hızlı ve daha az maliyet ile görüntüleyerek bu ihtiyaca karşılık vermektedir. Yandan taramalı sonar, tek ve çok ışınlı iskandil, sığ sismik yöntemler birbirleri ile entegre edilerek yapılan çalışmalarda bütünleşik ve daha kesin bir sonuca ulaşılmaktadır. Günümüz teknolojisinde üretilen yüksek frekanslı gelişmiş ışın teknolojisine sahip akustik alıcı-verici sistemleri ve veri yazılımlarına sahip yandan taramalı sonar sistemleri ile entegre USBL (Ultra Short Base Line) hassas konumlandırma sistemleri sayesinde deniz tabanı doğal ve yapay unsurları jeodezik bilgileri ile birlikte haritalanmaktadır. Çakıl bantları, kum dalgacıkları ve kil tabanları sonar kayıtlarında kendilerine özgü benzersiz görünümlere sahiptir. Yandan taramalı sonar ile boru hatları ve deniz altı kabloları, blok kayalar, batıklar, aktif fay hatları kıvrım eksenleri, deniz altı vadileri ve kanyonları, kabuklu canlılara ait biyolojik yataklar ve mercan resifleri tespit edilebilir. Ayrıca, pockmark olarak bilinen, çapları 10 ila 300 metre ve derinlikleri 1 ila 10 metre arasında değişen dairesel, oval veya düzensiz şekilli bölgesel çöküntüler kolayca tanımlanabilir (Ozturan, 2003). Bu çalışmanın amacı farklı bölgelerden elde edilen yüksek ayrımlı yandan taramalı sonar verileriyle deniz tabanı doğal ve yapay unsurlarını tespit etmek, sınıflandırmak ve akustik haritalar elde etmektir.

Tez kapsamında deniz tabanını haritalamak için optimum veri toplama teknikleri, analizi ve yorumlama ile, doğal ya da kültürel yapıların sınıflandırılması teknikleri incelenmiştir. Deniz tabanının morfolojik yapısı ve üzerinde bulunan arkeolojik yapıların (batıklar, mimari yapılar, vd.) yanı sıra biyolojik unsurların etrafındaki sediman biriminden (deniz çayırı, vd.) ayırt edilerek sınıflandırılması çalışması gerçekleştirilmiştir.

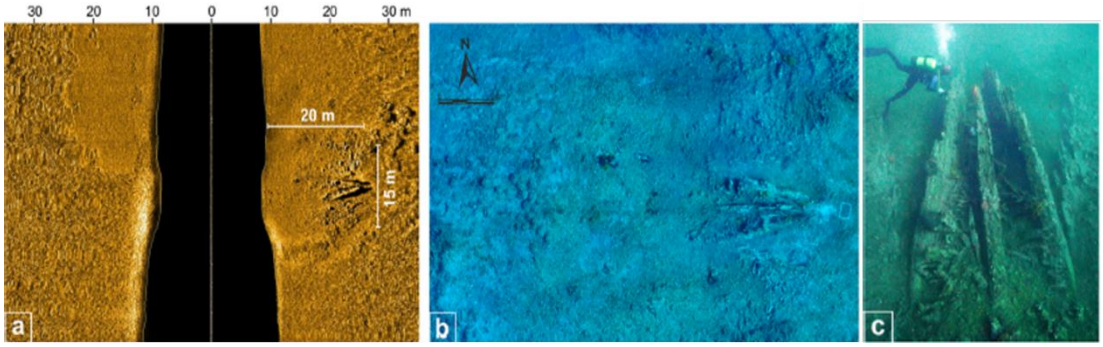
Dünyada yandan taramalı sonarla yürütülmüş çok sayıda bilimsel çalışma bulunmakla birlikte, ülkemizde bu alanda daha önce yapılmış çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmada sonarla optimum veri toplama teknikleri, yorumlama prensipleri ve farklı yapıların karşılaştırmalı görüntüleri derlenmiştir. Çalışma sonuçlarının deniz tabanı sınıflandırması için kullanılan özel yazılımlara temel oluşturması hedeflenmektedir.

BÖLÜM İKİ
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yandan taramalı sonar ve fotogrametri yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen farklı sualtı araştırmalarına ait literatürdeki mevcut çalışmalara değinilmiştir. Türkiye Batık Envanteri Projesi: Mavi Miras kapsamında Sinop ve Çeşme'de gerçekleşen Osmanlı deniz savaşlarında batmış gemileri haritalamak için bir çalışma yapılmış ve yandan taramalı sonar ile savaşta batmış gemilerin yerleri belirlenmiştir (Özdaş ve Kızıldağ, 2020). Sinop'ta batan bir Osmanlı gemisinin sonar görselinde bir demir top ile geminin ahşapları detaylı olarak belgelenmiştir (Şekil 2.1). Suda görüşün çok az olduğu bu bölgede sonar kullanarak geniş alanları görüntülemenin avantajları sunulmuştur. Çeşme'de batan Burc-u Zafer gemisinin kalıntıları ise sonar sayesinde yakın çevresi ile birlikte görüntülenmiştir (Şekil 2.2).

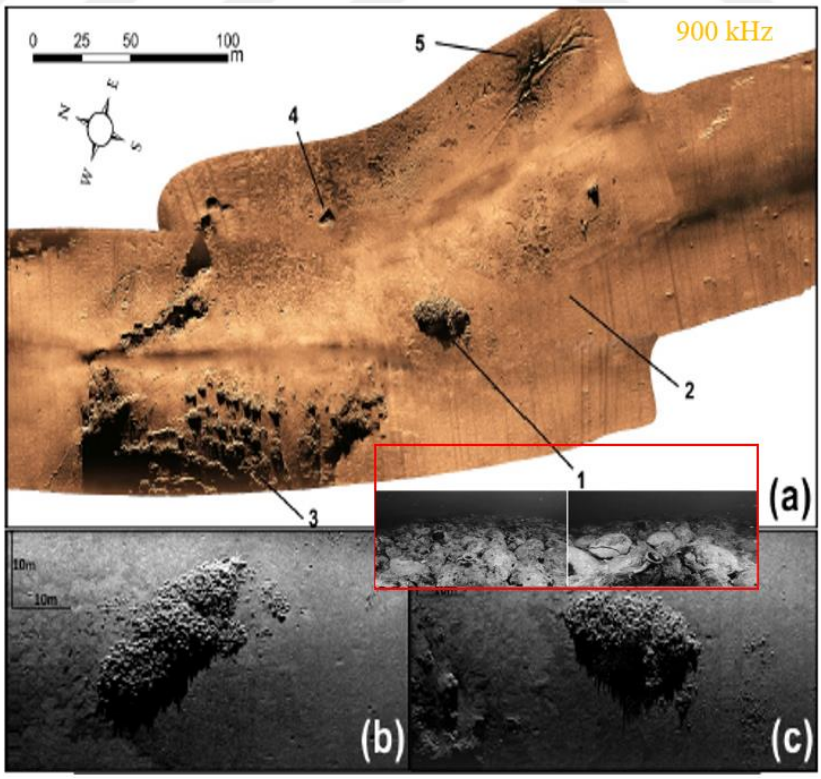


Şekil 2.1 (a) 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) topun sualtı fotoğrafı, (c) batığın kısmi fotomozaik görüntüsü (Özdaş ve Kızıldağ, 2020)



Şekil 2.2 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) fotomozaik, (c) ahşap kalıntılar (Özdaş ve Kızıldağ 2020)

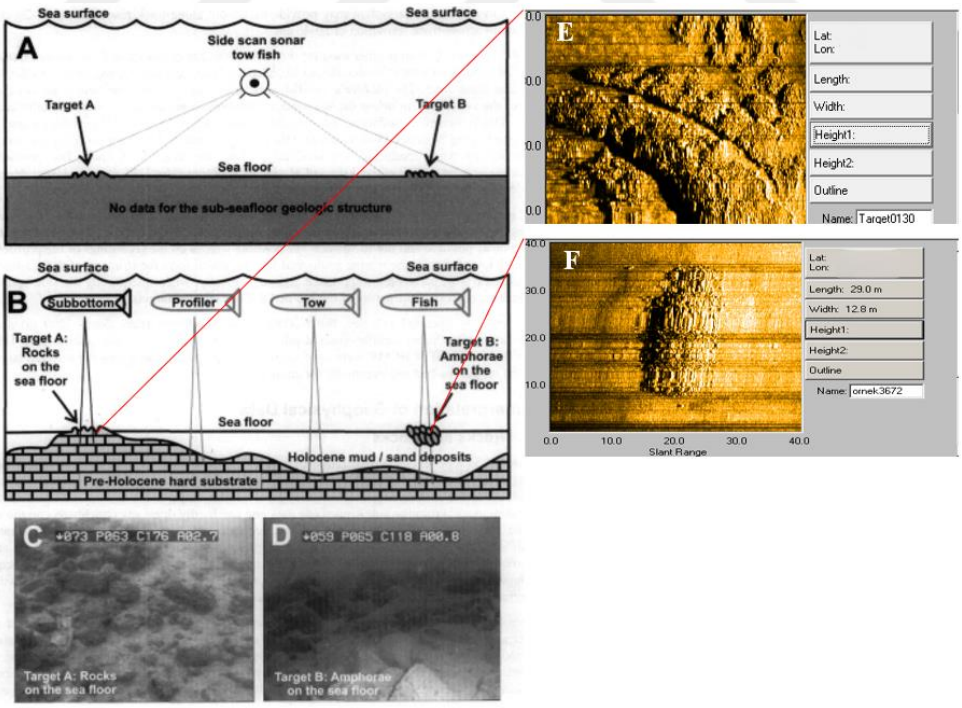
İyon Denizi Kefalonya Adası'nda, 'Fiskardo Batığı' (MÖ 1. YY – MS 1. YY) olarak adlandırılan antik dönem Roma ticaret gemisi batığı 61 m derinlikte ve yaklaşık 6000 amforayı barındıran batık 256 m² lik bir alanda yaklaşık 1 m yükseklikte oval biçimli, 30 m uzunluğunda ve 12 m genişliğindedir (Geraga vd., 2020). Fiskardo batığı ve enkazın çevresini gösteren sonar görüntüsü ile enkaza ait sualtı görüntüleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 (a-1) Batık kargosu, (a-2) ince taneli malzeme, (a-3) kayalık substratlar, (a-4) tortu substratlar ve çukur, (a-5) dip tarama izleri, (b) ve (c) yakın görüntüleri (Geraga vd., 2020)

Kayalık deniz tabanının akustik karakteri, antik gemi enkazları (amfora kargoları) ile benzerlikler gösterir ve bu nedenle bulgular için zayıf argümanlar üretir. Bunun nedeni antik gemi batıklarında gemi iskeletinin yok olmasıyla geriye enkaz olarak kargosunun kalmasıdır. Ayrıca, kayalık deniz tabanı gemilerin ahşap gövdesinde kırılmalara ve daha sonra kargo öğelerinin sürüklenmesine neden olarak, bu tür ortamlarda potansiyel arkeolojik alanın tespit fizibilitesini de azaltmaktadır (Sakellariou, 2007).

Arkeolojik araştırmalarda gemi batığı gibi arkeolojik bulguları kayalık alanlardan ayırt etmek için (A) yandan taramalı sonar ve (B) sığ sismik (Chirp) araştırmasının şematik görüntüsüdür (Şekil 2.4). Hedef A ve B deniz tabanına göre düşük morfolojik özellik ve yüksek genlikli yansıma özelliği gösteren unsurlardır. Şekil (C) ve (D), sırasıyla A ve B hedeflerinin nasıl görünebileceğini göstermektedir. Temsili olarak gerçek bir sonografta deniz tabanındaki kayalık yapı (E), ve amfora batığı (F) verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Arkeolojik araştırmalarda kayalık alan ve batık ayrımı için yandan taramalı sonar ve sığ sismik uygulaması (A-D) (Sakellariou, 2007) ve (E-F) deniz tabanı ile batığın temsili sonar görüntüleri (TUBEP arşivi)

BÖLÜM ÜÇ
YÖNTEM VE VERİ DEĞERLENDİRME

Tez çalışmasında kullanılan yöntem, yandan taramalı sonar deniz tabanı akustik görüntüleme sistemi ile veri toplama tekniklerinin incelenmesi ve optimum parametrelerin belirlenmesi; sonar veri toplama ve yorumlama yazılımı kullanılarak verilerin koordinatlarıyla haritalanması; belirlenen anomalilerin detaylı incelenmesi; deniz tabanı sınıflandırma yazılımı kullanılarak jeolojik, arkeolojik ve biyolojik verilerin sınıflandırılması ve bölgesel haritalar üretilmesi aşamalarını kapsamaktadır.

Tez çalışması kapsamında kullanılan verilerin toplandığı Klein 3000H yandan taramalı sonar, Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Sualtı Arkeolojisi Yüksek Lisans Programı bünyesinde yer alan yüksek çözünürlüklü, çift frekanslı bir Arama ve Kurtarma (SAR) sınıfı yandan tarama sonarıdır. Sonar üzerinde bulunan gelişmiş alıcı-verici üniteler (transdüser) sayesinde çok yüksek çözünürlükte görüntü elde edilebilmektedir.

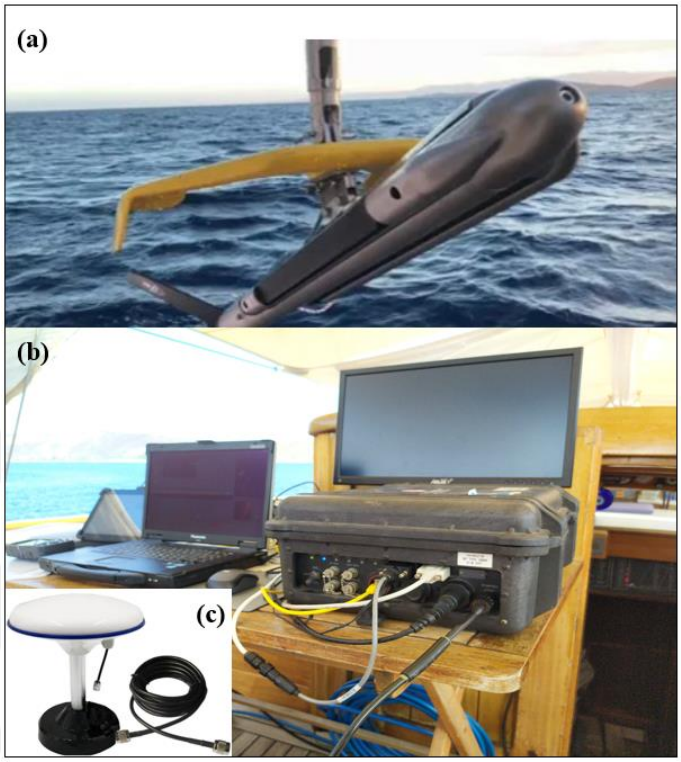
Yandan taramalı sonarda elde edilen akustik anomalilerin görsel doğrulaması Uzaktan Kumandalı Sualtı Robotu (Remotely Operated Vehicle, ROV) ile gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, 0-30 m arası derinliklerde tespit edilen arkeolojik bulgular üzerinde tüplü dalışlar gerçekleştirilerek detaylı görüntü alınmıştır. Görüntüleme çalışmalarında ROV veya tüplü dalışlar ile bulguların 3 boyutlu fotogrametrik yöntem kullanılarak detaylı belgeleme çalışmaları yürütülmüştür.

Yandan taramalı sonar verileri SonarWiz yazılımına aktarılarak veri işlem aşamalarına tabi tutulmuştur. Tespit edilen bulgular konum bilgileri ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Veri toplama hatları ve anomaliler bu yazılımda haritalanmış, deniz tabanı sınıflandırmaları yapılmıştır.

3.1 Yandan Taramalı Sonar ile Veri Toplama

Yandan taramalı sonarlar, kaynaktan (transdüser) gönderilen akustik sinyalin deniz tabanından ve yüzeysel nesnelerden farklı yansıma genlikleri ile geri yansıyarak alıcıya (transdüser) gelen akustik sinyal yoğunluğunu kullanarak deniz tabanının iki boyutlu görüntüsünü sağlayan akustik cihazlardır. İskandile benzer şekilde yalnızca

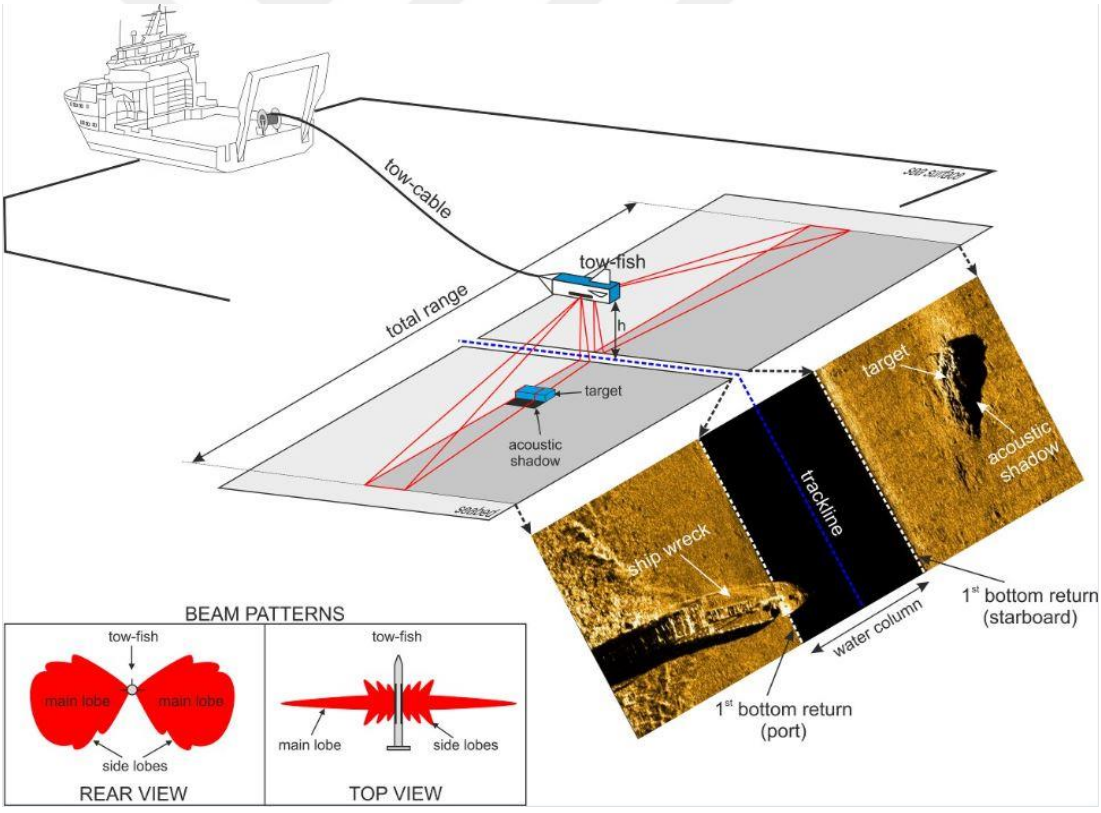
deniz tabanı ve üzerindeki yapılara ait akustik özellikleri gösterirler. Yandan taramalı sonar sistemi, bir kablo ile terminal kayıt ünitesine bağlanan ve kaynak-alıcı (transdüser) içeren sualtı biriminden (towfish) oluşur.



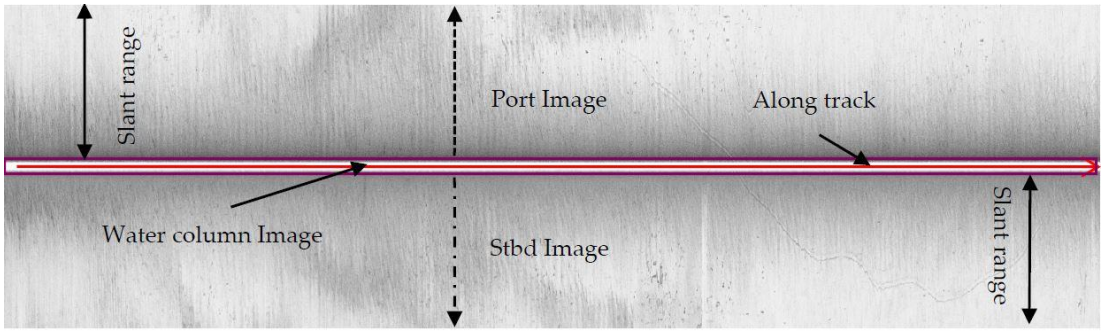
Şekil 3.1 (a) Yandan taramalı sonar sualtı birimi (towfish), (b) kayıt işlem ünitesi (topside unit) ve veri kayıt bilgisayarı, (c) navigasyon (gps) (TUBEP arşivi)

Yandan taramalı sonar sualtı birimi (towfish) sabit bir rotada, sabit bir hızda ve derinlikte rota boyunca çekilerek yüksek frekanslarda ses darbeleri yayar. Daha yüksek bir frekansta çalışmak daha iyi çözünürlük sağlar ancak sonar sinyallerinin erim menzili kısalır. Yüksek frekanslı modern sonar sistemleri 20 cm veya daha küçük nesneleri tespit yeteneğine sahiptir. Akustik darbeler, yandan taramalı sonarın her iki tarafından da belli bir açı ile deniz tabanına yönlendirilen iki ayrı yelpaze şeklinde gönderilir. Geri dönüş sinyallerinin dijitalleştirilip kayıt edilmesi ile elde edilen akustik görüntüye 'Sonograf' adı verilir ve deniz tabanının morfolojisi ile yüzey tortularının dokusunu gösterir (Papatheodorou ve Geraga, 2011). Yandan taramalı sonarlar deniz tabanı doğal ve yapay unsurlarını yüksek çözünürlükte görüntüleyen hatta uygun koşullar ve parametreler ile çalışıldığında fotoğraf netliğinde sonuçlar

veren sistemlerdir. Yandan taramalı sonar sistemleri dijital sinyal işleme kartına sahip kayıt ünitesi ve bu üniteden koaxial kablo ile data ve enerji transferi gerçekleşen, istenilen ışın hüzne açısı ile sabitlenmiş bir çift iskele sancak transdüseri bulunan sualtı birimi (towfish) ve entegre gps sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Towfish içerisindeki kapasitörler kayıtçı birimden koaxial kablo ile gelen akım ile şarj olur. Üst ünitesindeki tetikleyici sayesinde iletilen enerji ses sinyali olarak her iki transdüserden de deniz tabanına doğru kayıt paremetrelerine bağlı olarak değişen bir ışın hüznesi ile deşarj olur. Deniz tabanından ve nesnelerden yansıyan ekolar, kısa periyotlarda alıcı transdüser tarafından algılanır, zamana bağlı kazanç (TVG) eğrisi ile genlikleri büyütülür ve kayıt ünitesinde yansıyan ekolar işlenerek kaydedilir. Şekil 3.2'de yandan taramalı sonar veri toplama modeli, Şekil 3.3'de yandan taramalı sonar veri akış kesiti gösterilmiştir.

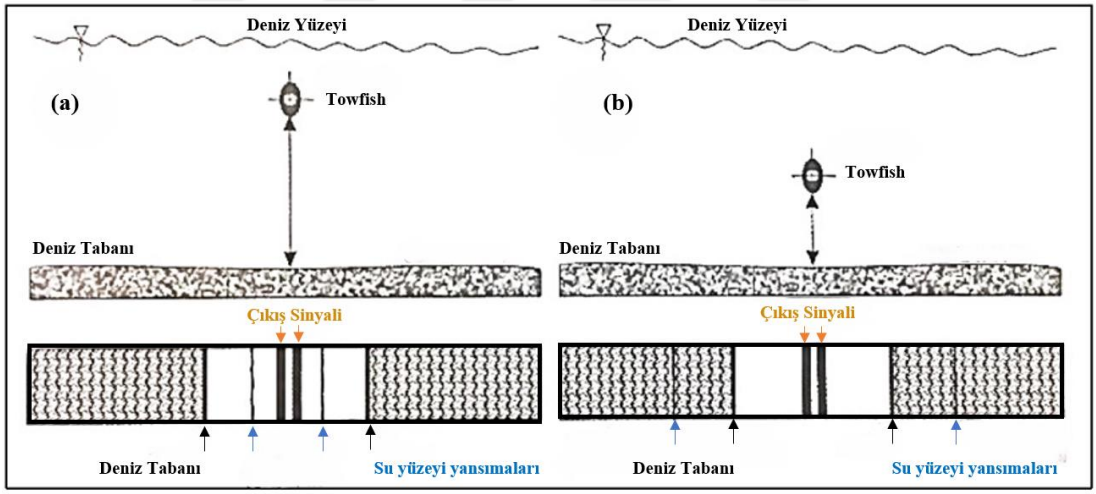


Şekil 3.2 Yandan taramalı sonar veri toplama modeli ve yayınan kavramsal ışın modelinin şematik gösterimi (Dondurur, 2018)



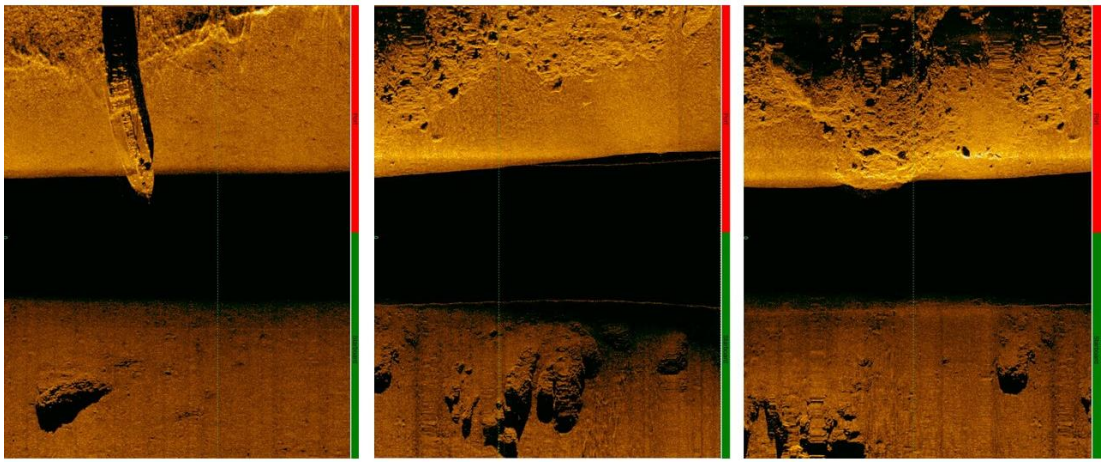
Şekil 3.3 Yandan taramalı sonar veri akış görüntüsü (Bangyan ve Xiao 2019)

Yandan taramalı sonar sualtı biriminin veri toplama sırasında su kolonu içerisinde çekilirken deniz yüzeyi ve deniz tabanına olan düşey mesafesine bağlı olarak verilere deniz yüzeyi yansımaları girişim yapabilir (Şekil 3.4). Özellikle sığ su çalışmalarında daha fazla rastlanan deniz yüzeyi yansımalarını engellemek için towfish seçilen menzil (range) mesafesinin %10 ila %20 si kadar deniz tabanından yüksekte ve sabit olarak çekilmelidir.

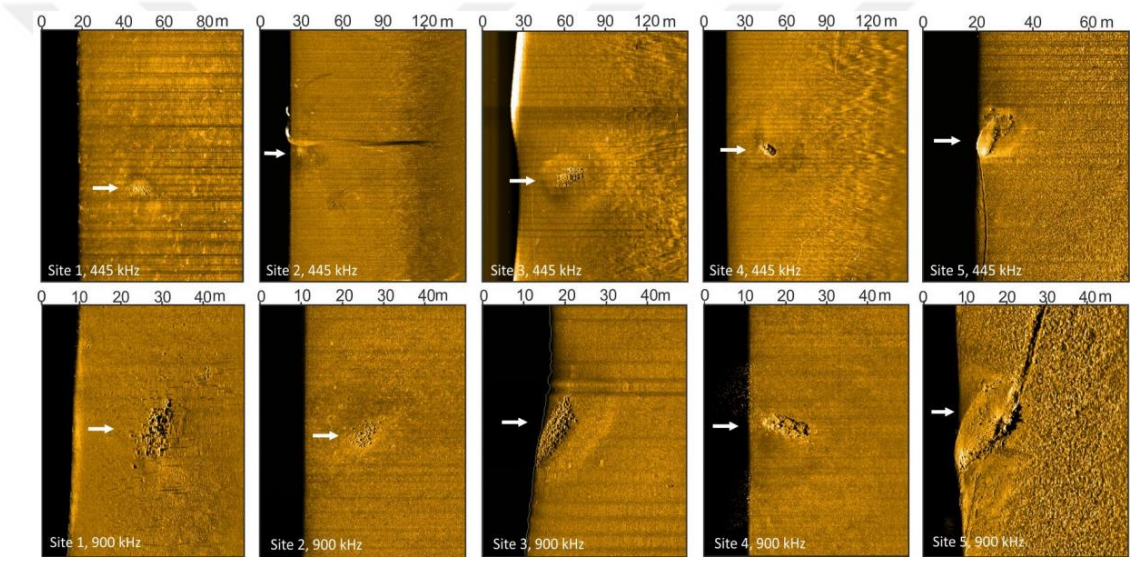


Şekil 3.4 Towfishin deniz yüzeyine yakın olması ve (b) deniz tabanına daha yakın olması durumlarında deniz yüzeyi yansımalarının sonar kayıtlarına girişimi (Çifçi vd., 2005'den değiştirilmiştir)

Şekil 3.5'de menzil mesafesinin %10 ila %20 si arasında deniz tabanından yüksekte çekilerek uygun parametreler ile kayıt edilmiş 900 kHz frekansında yüksek çözünürlüklü yandan taramalı sonar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.5 900 kHz yüksek çözünürlüklü yandan taramalı sonar kesitleri (TUBEP arşivi)



Şekil 3.6 Aynı bulgular için 445 ve 900 kHz sonar görüntüleri (Kızıldağ, 2022)

Tez çalışması kapsamında kullanılan verilerin toplandığı sonar, yüksek çözünürlüklü, çift frekanslı bir Arama ve Kurtarma (SAR) yandan tarama sonarıdır. 200 m derinliğe kadar çalışabilen, optimum tarama alanı ve görüntü performansı için yüksek frekanslı 445/900 kHz bir cihazdır (Şekil 3.6). Kolay kullanım için tasarlanmış, tek kişiyle taşınabilir, küçük bir tekneden dahi çalıştırılabilir özelliğe sahiptir (Tablo 3.1).

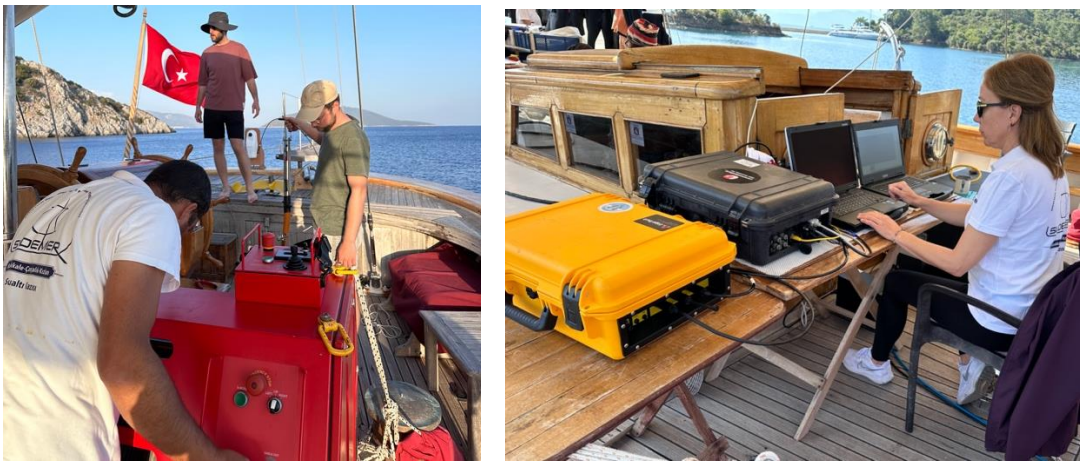
Tablo 3.1 Klein 3000H yandan taramalı sonar teknik özellikleri

Klein 3000H Yandan Taramalı Sonar	
Frekans	445 kHz - 900 kHz
Transmisyon Darbesi	25 ila 400 µsn; Her frekans için bağımsız darbe
Işınlar	Yatay: 0,21° 445 kHz - 900 kHz, Dikey: 40°
Işın Açısı	5°, 10°, 15°, 20°, 25° ayarlanabilir
Mesafe (Range)	25 ila 1.000 metre ayarlanabilir (15 kademe)
Maksimum Menzil	150 m 445 kHz
Derinlik	200 m
Malzeme	Paslanmaz çelik
Gövde Uzunluğu	122 cm (48 inç)
Gövde Çapı	8,9 cm (3,5 inç)
Ağırlık havada	29 kg (63,9 lbs)
Standart Sensörler	Roll, Pitch, Heading
Ek Sensörler	Manyetometre, basınç sensörü

Su üstü birimleri, taşınabilir, serpintiye ve darbeye dayanıklı alıcı-verici işlem ünitesi (TPU); Klein SonarPro yazılımına sahip dizüstü bilgisayar ve hassas konum belirleme sistemi (DGPS) sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.7). Veri aktarımı 100 m hafif koaksiyel kablonun yanı sıra, elektronik vinç üzerine sarılı 600 m çelik zırhlandırılmış kablo ile gerçekleşmektedir (Şekil 3.8). Bluetooth ile bağlantı kurulan kablo sayacı bir makara ile çalışmaktadır.



Şekil 3.7 R/V K. Piri Reis araştırma gemisi üzerinden yürütülen yandan taramalı sonar operasyonu (TUBEP arşivi, 2020)



Şekil 3.8 STS Bodrum okul gemisi üzerinden yürütülen yandan taramalı sonar operasyonu (TUBEP arşivi, 2021)

3.2 Yandan Taramalı Sonar Parametreleri

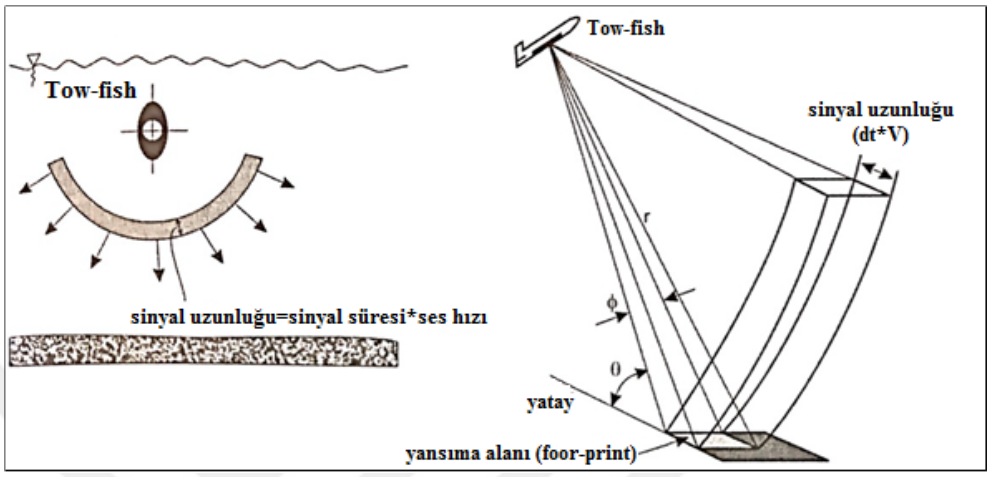
3.2.1 Kaynak Seviyesi

Akustik kaynaktan çıkan sinyal suda iletilmeye başladığında transdüserin yüzeyindeki titreşim suda değişen basınç seviyelerini meydana getirir. Kaynaktan çıkan ve suda iletilen enerji "akustik kaynak seviyesi" olarak adlandırılır. Akustik sinyalin daha uzaklara iletimini sağlamak için iletilen enerji seviyesini arttırmak mümkündür ancak su içerisinde mesafeye de bağlı olarak enerjiyi sınırlandıran birçok etmen vardır. İlk neden boşluk vakumudur. Akustik sinyal kaynağının (transdüser) su içerisindeki hareketine ve çekim hızına bağlı pozitif ve negatif basınç bölgeleri oluşur (Çifçi vd., 2005). Negatif basınç boşluk vakumu sınırını geçerken su içerisinde zıt yönde hareketler oluşur ve bu durum boşluk vakumu kabarcıklarının meydana gelmesine neden olur. Bu kabarcıklar, su içerisindeki pozitif ve negatif basınç dalgalarının etkileşimi sonucu oluşan küçük boşluklardır. Bu boşluklar, oluştuğunda su içerisinde hızlı bir şekilde genişleyip patlayabilirler. Patlamalar, sinyalin gücünü sönümleyebilir ve sinyalin bozulmasına yol açabilir. Optimum kaynak seviyesinin belirlenmesi, sinyalin uzak mesafelere ulaşmasını sağlarken, boşluk vakumu nedeniyle oluşabilecek bozulmaları önlemede kritik bir rol oynar. (Blondel, 2010).

3.2.2 Sinyal Uzunluğu

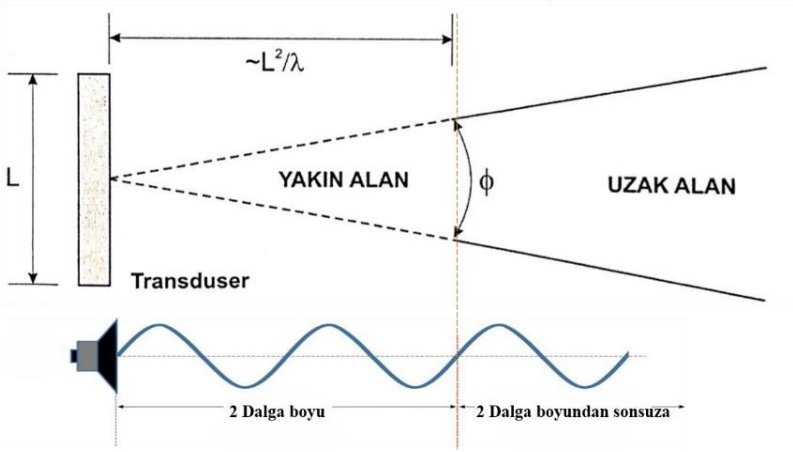
Sinyal uzunluğu ile erim mesafesi ve ayrım arasında bir ilişki vardır. Kısa bir sinyal, genellikle daha geniş bir frekans bant genişliği içerir ve bu da sinyalin farklı hedefleri daha net bir şekilde ayırt etmesine olanak tanıyarak daha yüksek ayrım sağlar. Daha kısa sinyaller, daha iyi çözünürlük sağlar ancak ortamda bulunan gürültülere daha duyarlıdırlar. Uzun sinyallerin dar bir bant genişliği vardır, bu da onları çevresel gürültüden daha az etkilenir hale getirir ve daha uzun erim mesafesi sağlar, ancak uzun sinyallerin ayrım kapasitesi genellikle daha düşüktür (Çifçi vd., 2005). Genel olarak, sonar sistemlerinde kullanılan sinyal uzunluğu, frekansa bağlı olarak değişir. Örneğin, 100 kHz frekans bandında çalışan bir sistemde, sinyal uzunluğu yaklaşık 0.1 ms (milisaniye) civarındadır. Bu sinyallerin fiziksel genişliği, su içerisindeki ses hızına bağlı olarak belirlenir. Sonar sinyalinin genişliği sinyalin fiziksel genişliği ve sinyalin su içinde yayılma hızının etkisiyle belirlenir. Yani, sinyalin başladığı andan itibaren,

sinyalin son kısmı transdüser yüzeyinden ayrılana kadar, sinyalin başlangıç kısmı su içerisinde belli bir mesafe kat etmiş olacaktır. Bu mesafe, sinyal uzunluğu ile sudaki ses hızının çarpımına eşittir (Şekil 3.9). Sinyal uzunluğu, sonar sisteminin erim ayrımı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Çifçi vd., 2005).



Şekil 3.9 Yayılan akustik sinyalin fiziksel genişliği (Malinverno vd., 1990' dan değiştirilmiştir)

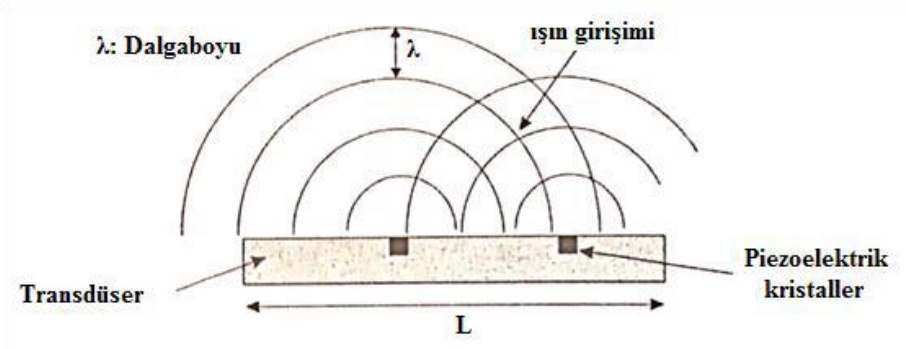
Işın ise uzun mesafelere yayılır ve ışın davranışı, yakın alan ve uzak alan bölgelerinde incelenebilir (Şekil 3.10). Bu iki bölge arasındaki geçiş, ışının fiziksel ve akustik özelliklerinin nasıl değiştiğini belirler. Yakın alan ışının kaynaktan belirli bir mesafeye kadar yayıldığı bölgedir. Bu alanda ışının yayılmasını, kaynağın fiziksel özellikleri (dizilim boyutu ve şekli) etkiler. Yakın alan bölgesinde ışının şekli genellikle daha karmaşıktır ve kaynağın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişir. Yakın alan bölgesinden sonra yayılan sinyal uzak alan davranışı gösterir. Uzak alanda ışın daha öngörülebilir ve daha düzgün bir şekilde yayılarak kaynağın boyutundan bağımsız hale gelir. Uzak alanda ışının teorik ışın açısı ile yayıldığı dikkate alınmalıdır. Yakın alan ile uzak alan arasındaki geçiş mesafesi, dizilimin uzunluğuna (L) ve sinyalin dalga boyuna (λ) bağlıdır. Bu mesafe, yaklaşık olarak L^2/λ olarak hesaplanır.



Şekil 3.10 Akustik sinyal yayılımında yakın alan ve uzak alan bölgeleri (Çifçi vd., 2005'den değiştirilmiştir)

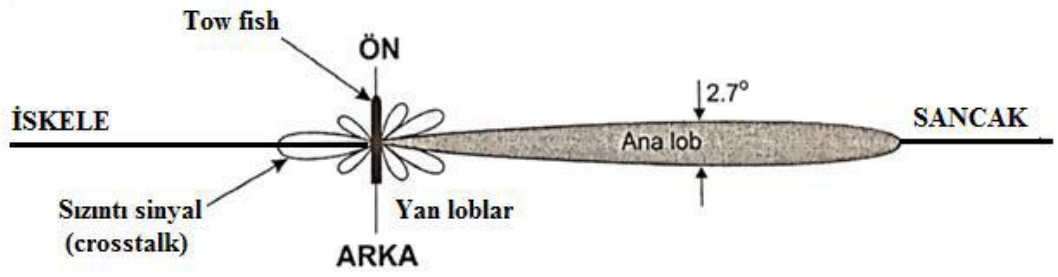
3.2.3 Işın Şekli ve Oluşumu

Kaynakta üretilen akustik ışın şekli, transdüser tasarımına bağlıdır (Chang vd., 2005). Yandan taramalı sonar sistemlerinde akustik sinyal kaynakları (transdüser) piezoelektrik kristal birimler dizisinden oluşur. Transdüser yüzeyindeki her kristal birim, her yönde akustik enerji yayan bir kaynak gibi davranır. (Çiftçi vd., 2005). Her yöne akustik enerji yayan birimlerden iki tanesi dikkate alındığında (Şekil 3.11) kaynaktan belirli bir uzaklıkta, bu her noktadan oluşan basınç bozulmaları eklenirler, faz etkileşimlerine göre birleşerek veya birbirlerini yok ederek ışın şeklini oluştururlar. Işın şeklini oluşturan bu etkiye "interferans" denir. Kaynaktan çıkan ışının yayılım ekseni boyunca basınç katkıları birbirlerini pozitif etkilerken yayılım ekseninin sonlarına doğru birbirlerini yok ederek yatay düzlemde dar bir ışın demeti üretilmiş olur. Akustik kaynaktaki bir kristal dizisi için ışın genişliği dalga boyunun kristal dizi uzunluğuna oranı olarak (λ/L) ifade edilir. (λ dalga boyu, L ise dizinin uzunluğudur).



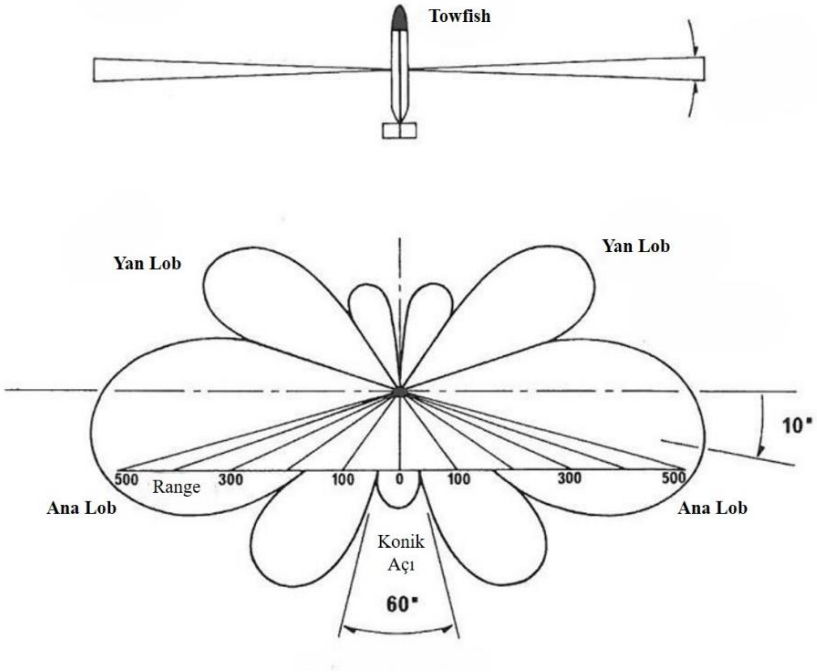
Şekil 3.11 Sonar kaynak yüzeyinde akustik sinyalinin oluşumu (Çiftçi vd., 2005)

Sonar sistemleri genellikle yatay düzlemde dar bir ışın kullanır. Bu, hedeflerin net bir şekilde belirlenmesini ve ayrımını sağlar. Standart bir sonar sisteminde, yatay düzlemdeki ışın genişliği yaklaşık 1° civarındadır. Düşey düzlemde ise ışın daha geniş bir açıya sahiptir ve bu açı yaklaşık 40° civarındadır. Geniş düşey ışın açısı, sonar sisteminin daha geniş bir alanda tarama yapabilmesini sağlar, ancak hedeflerin düşey konumlarındaki hassasiyet azalır. Sonar sistemlerinde yayılan akustik sinyal merkez ekseninde genellikle yüksek genlikli ve keskin bir profile sahiptir. Bu, sinyalin merkezi doğrultuda güçlü ve net bir şekilde yayılmasını sağlar, böylece bu bölgedeki hedefler daha kolay tespit edilir. Merkezden uzaklaştıkça ışının yanlarda genliği düşer ve zayıf loblar oluşur (Jones, 1999). Bu loblar, sinyalin yan bölgelerde daha zayıf bir şekilde yayıldığını gösterir ve hedeflerin bu bölgelerde algılanma hassasiyetini azaltabilir. Kaynaktan çıkan akustik sinyal öne ve arkaya doğru yayılır. Transducer tasarımları ile arkaya yayılan sinyal önlenmeye çalışılsa da arka tarafa enerji sızıntısı olabilir buna ‘’sızıntı sinyali’’ denir. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Akustik kaynağın yatay düzlemdeki ışın şekli (Jones, 1999’dan değiştirilmiştir)

Yandan taramalı sonar sistemlerinin yatay ve düşey ışın genişlikleri, sistemin algılama ve tarama yeteneklerini etkileyen önemli faktörlerdir ve birbirinden farklıdır (Flemming, 1976). Kaynaktan çıkan akustik sinyal aşağıya ve yukarıya doğru hemen hemen eşit şiddette gönderilir ve bu nedenle su yüzeyinden de alıcılara yansımalar ulaşır. Işının ana ekseni yataydan 10° eğimlidir ve akustik enerjinin büyük kısmı deniz tabanına yönlenmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Akustik kaynağın düşey düzlemdeki ışın şekli (Flemming, 1976'dan değiştirilmiştir)

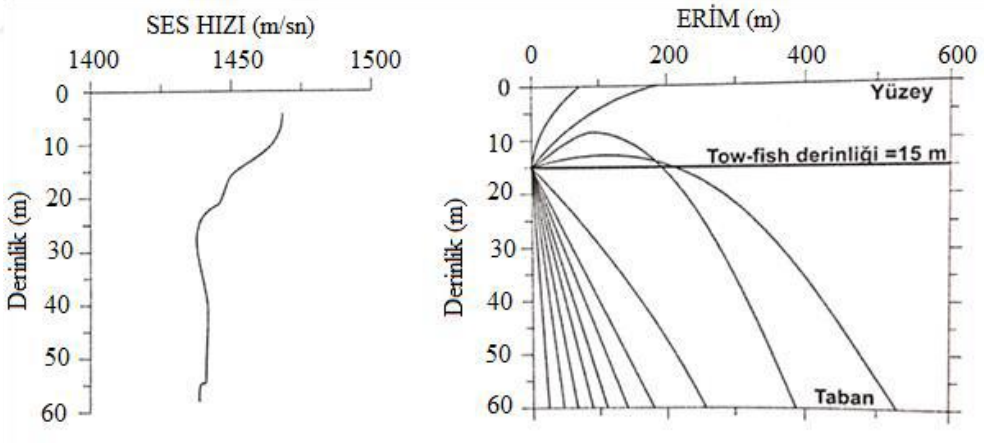
3.2.4 Frekans ve Erim Mesafesi

Sonar sistemlerinin çalışma frekansının belirlenmesinde çözünürlük ile menzil arasında bir denge kurmak gerekir. Yüksek frekansta çalışan sonar sistemleri daha kısa dalga boylarına sahiptir. Bu, sinyalin daha dar bir ışın oluşturmasına ve dolayısıyla daha yüksek çözünürlük (ayrım) sağlamasına olanak tanır. Yüksek frekanslı sistemler küçük detayları daha iyi ayırt edebilir ancak yüksek frekanstaki sinyal, deniz suyu tarafından daha fazla soğurulur ve dolayısıyla erim mesafesi (range) kısıtlanır. Düşük frekansta çalışan sonar sistemleri daha uzun dalga boylarına sahiptir, bu nedenle sinyal daha geniş bir alanı tarayabilir ancak çözünürlük daha düşük olur. Kaynaktan çıkan ışın açısı ve towfishin deniz tabanından olan yüksekliği sabit frekansta çalışan sonar

sistemlerinin erim mesafesini belirleyen etmenlerdir. Daha düşük çözünürlük ancak uzun erim sağlayan sistemlerde sonar deniz yüzeyine yakın çekilirken, daha yüksek çözünürlük istenen durumlarda kısa erim mesafesi ile sonar deniz tabanına yakın çekilir.

3.2.5 Sinyalin Kırılma Etkisi

Akustik kaynaktan yayılan ses sinyali farklı yoğunluk ve hızlara sahip katmanlardan geçerken kırılır. Sinyalin yayıldığı ortamın ses hızı bilindiğinde, kaynaktan çıkan sinyalin yayılarak geri alıcılara ulaştığı yol hesaplanabilir. Yandan taramalı sonar veri toplama çalışmalarında kısa bir erim mesafesinde çalışılır ve towfish deniz tabanına yakın çekilir. Deniz tabanından alıcılara yüksek yoğunlukta ses sinyali ulaşması, sonar kaydında bu erim bölgesinde koyu bir bant oluşturur. Towfishin deniz tabanına olan uzaklığını değiştirerek, bu bandın görünümünü değiştirmek veya tamamen yok etmek mümkündür. Towfishin yüksekliği değiştirildiğinde, ses dalgalarının deniz tabanındaki farklı bölgelerle etkileşimi değişir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Sudaki ses yayılım hızının erim mesafesine etkisi (Mazel, 1985'den değiştirilmiştir)

Yandan taramalı sonar sistemlerinde özellikle derin bölgelerde ve uzun mesafelerde çalışırken ses dalgalarının kırılması önemli bir etki olabilir. Bu kırılma, sonar verilerinin doğruluğunu ve kalitesini etkilemektedir. Su kolonunda yüzey ve daha derin noktalar arasında sıcaklık değişimleri vardır ve su kolonundaki sıcaklık değişimleri sonucu yatay hız tabakaları oluşur. Oluşan yatay hız tabakaları su

kolonunda yayılan sinyalde kırılmaya neden olur ancak kırılmanın tek kaynağı yatay hız tabakaları değildir. Deniz suyu kolonu boyunca hız değişiminin olduğu her yerde sinyalde kırılma etkisi oluşabilir. Denizlere su girdisi olan bölgelerde, akustik sinyalin suda yayılım hızındaki değişim daha çok düşey yönlüdür ve sinyalde kırılma etkisi sonarın sadece bir tarafındaki kayıtta ortaya çıkabilir.

3.2.6 Yandan Taramalı Sonar Sistemlerinde Ayrım (Resolution)

Yandan taramalı sonar sistemlerinde çözünürlük yani ayrım, akustik ışınının genişliği, sinyal uzunluğu ve sinyal kaydına bağlıdır ve bu faktörlerin her biri sonar sisteminin performansını ve elde edilen verilerin kalitesini etkiler. Sinyal ışınının genişliği, sonar sisteminin ayrım kapasitesini doğrudan etkiler. Yüksek frekansta dar bir ışın genişliği daha yüksek çözünürlük sağlar ancak menzil kapasitesi kısıtlanır ve küçük alanlar daha net bir şekilde ayırt edebilir. Sinyalin uzunluğu, sonar sisteminin ayrım yeteneğini etkiler. Kısa bir sinyal uzunluğu, daha iyi ayrım sağlar çünkü daha kısa sinyaller hedefler arasında daha keskin bir ayrım yapılmasını mümkün kılar. Uzun sinyaller ise genellikle daha fazla menzil sağlar ancak ayrım kapasitesini azaltabilir. Sinyal uzunluğu genellikle sinyalin frekansına bağlıdır; yüksek frekansta kısa dalga boyları, düşük frekansta ise uzun dalga boyları kullanılır. Genellikle düşük frekansta ve uzun dalga boyunda çalışan sonar sistemleri ile çalışıldığında, sinyallerin deniz tabanındaki üst tortul katmanlara etkileşimi önemli bir faktör olabilir. Bu etki, sonar verilerinde deniz tabanı sediman yorumlanmasını ve doğruluğunu etkiler. Düşük frekanslı sistemlerin ürettiği akustik sinyallerin, deniz tabanında yumuşak ve ince taneli üst sediman katmanına etkiyerek, bu üst katmanın içerisinden yansıması, sonar kayıtlarının deniz tabanı görüntüsü yerine üst tortul birimlerinin görüntüsünü vermesine neden olabilir (Trabant, 1984). Ayrıma etki eden diğer etmenler ise, sinyalin tekrarlanma aralığı ve gemi hızıdır. Yandan taramalı sonarda ayrım, erim ayrımı ve boyuna ayrım olarak değerlendirilir.

3.2.6.1 Erim Ayrımı

Akustik sinyalin geliş açısına bağlı olarak geri yansıyan sinyaller üst üste binebilir ve deniz tabanında birbirine yakın olan iki obje sonar kayıtlarında tek bir bulgu gibi görünebilir. Erim ayrımı, veri kayıt doğrultusunda paralel şekilde uzanan farklı iki bulgunun sonar kaydında ayrı objeler olarak görülebildiği en küçük uzaklıktır.

3.2.6.2 Boyuna Ayrım

Towfishin çekilme yönünde deniz tabanında birbirine yakın duran iki objenin sonar kayıtlarında birbirinden ayırt edilebilmesi ‘’Boyuna Ayrım’’ olarak tanımlanabilir ve boyuna ayrım sonarın yatay ışın genişliğine bağlıdır. Herhangi bir tarama sırasında, iki nesne arasında sonar ışının genişliğinden daha küçük bir mesafe varsa, bu nesneler birbirinden ayrılamaz ve iki nesne boyutu büyük tek bir nesne gibi görünür. Daha yakın erim mesafelerinde ışın daha dardır ve boyuna ayrım daha yüksektir. Boyuna ayrım towfishin çekilme hızına ve ardışık ışınlar arasındaki zamana da bağlıdır.

3.2.7 Geri Dönen Sinyaller

Sonar sistemlerinde akustik sinyalinin sonara geri dönerek algılanması, yansıma ve geri saçınım (back-scattering) parametreleri olarak iki özellik üzerinden gerçekleşir (Quinn vd., 2005). Yansıma, ses sinyalinin deniz tabanındaki veya sualtındaki nesnelerin yüzeyinden doğrudan geri dönmesi durumudur. Yani, sinyal, nesnenin yüzeyine çarptığında, yüzeyden geri yansır ve yansıyan sinyal sonar sistemi tarafından algılanır. Bu mekanizma, hedefin yerini, büyüklüğünü ve yüzey özelliklerini belirlemekte kullanılır. Ses sinyali, deniz tabanındaki küçük partiküller, tortul tabakalar veya düzensiz yüzeylerle etkileşime girdiğinde, sinyalin bir kısmı farklı açılardan geri dağılır ve bu da geri saçınım olarak algılanır (Flemming, 1976). Bu sinyaller, genellikle zayıf genlikte olup geniş bir alana yayılmış olarak geri döner.

3.2.7.1 Yansıma

Kaynaktan yayılan akustik sinyal, deniz tabanı ve üzerindeki unsurlardan, su yüzeyi veya su kolonundaki canlılar gibi bir yansıtıcı yüzey ile karşılaştığında, sinyalin bir kısmı bu yüzeylerden geriye yansır. Soğrulma ve küresel açılım etkisi kaynaktan çıkan ve yüzeyden yansıyan sinyalin ne kadarının alıcılara geri döneceğini önemli ölçüde,

etkiler. Bunların yanı sıra sinyali yansıtan yüzeyin sinyalin geldiği yöne göre açılanması, yansıyan akustik enerjinin alıcıya doğru mu yoksa ondan uzağa doğru mu yayılacağını belirleyen en önemli etmendir. Yansıtıcı yüzeyin açısal yönelimi sonara doğru bakıyorsa güçlü bir yansıma alınır, yatay duran bir yüzey ise ayna gibi davranarak enerjinin büyük kısmının sonardan uzağa doğru gitmesine neden olur. Yansıyan sinyalin enerji miktarını belirleyen ikinci bir etmen ise, akustik sinyalin etkileşimine girdiği yüzeyin maddesel türüdür. Gelen sinyal ile bu yeni ortam içerisine iletilen sinyalin genlikleri ortamları ayıran ara yüzeyin yansıma katsayısı ile belirlenir.

3.2.7.2 Geri saçınım (Back-scattering)

Sonar sistemlerinde alıcılara sadece yüzeylerden yansıyan sinyaller değil geri saçınan sinyallerde ulaşır. Yatay ve düz deniz tabanlarında, sinyalin büyük kısmı sonardan uzağa doğru yansır ve geri dönen sinyal miktarı azalabilir. Ancak, deniz tabanında sedimanların (kum, silt, kil, çamur, çakıl vb.) tanecik boyutu nedeniyle yansıtıcı yüzey pürüzlüdür ve sedimanlar her zaman geri saçınım sağlar. Bu geri saçınım, deniz tabanının özelliklerini ve sedimentlerin tespit edilmesinde kritik bir rol oynar. Deniz tabanındaki bu pürüzlülük gelen sinyali her yönde saçan bir saçıcı doğal kaynak gibi davranır. Deniz tabanından olan saçınım yüzey saçınımı, taban altındaki tortulların içerisinden olan saçınım ise hacim saçınımı olarak isimlendirilir (Quinn vd., 2005). Yüzey saçınımı, ses sinyalinin deniz tabanındaki yüzey pürüzlülükleri ve düzensizliklerle etkileşime girmesi sonucunda meydana gelen saçınımdır. Bu, deniz tabanının yüzeyindeki özelliklerden kaynaklanır ve genellikle yüzeyin sertlik ve düzensizliklerinden etkilenir. Hacim saçınımı ise, ses sinyalinin deniz tabanındaki tortul malzemelerin (kum, silt, kil, çamur, çakıl vb.) içerisinden geçerken meydana gelen saçınımdır. Bu, sinyalin tabanın altındaki tortul tabakalarla etkileşime girmesiyle oluşur ve genellikle tortul tabakaların heterojenliği ve tanecik boyutları tarafından etkilenir. Sonar görüntüleri, boyutsuz rakamlardan meydana gelen ve bu yüzeyler ile etkileşim sonucu geri saçınım katsayılarını ifade eden gri tonlamalardan oluşurlar.

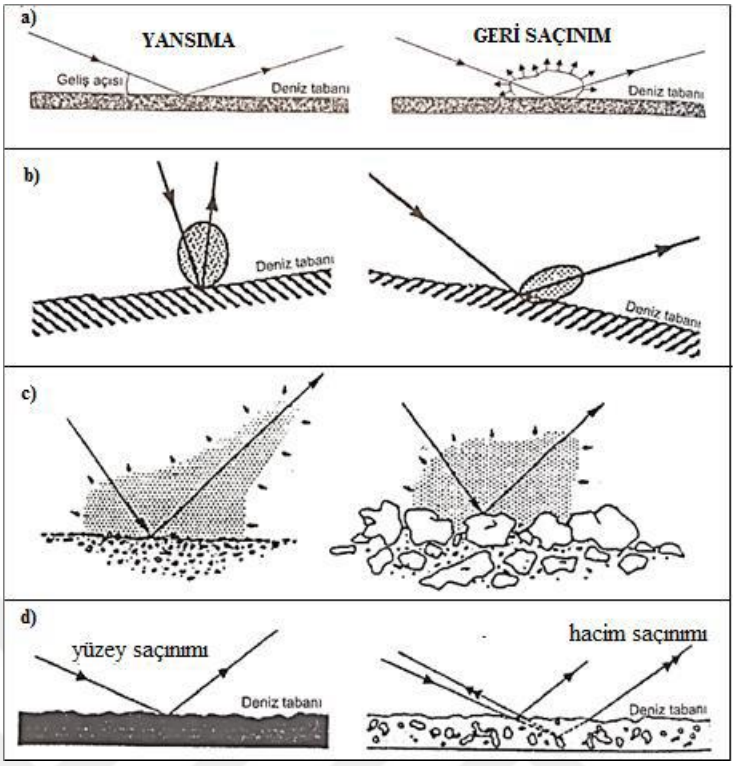
Deniz tabanından sonar alıcılarına doğru geri saçılan sinyalin şiddeti, sonar-hedef sisteminin geometrisi (her sinyalin geliş açısı, yansıtıcı yüzey eğimi), tabanın morfolojik karakteri (deniz tabanı yüzey pürüzlülüğü) ve deniz tabanının jeolojik birim özellikleri (sediman tipi, yoğunluk, gözeneklilik) olmak üzere üç ana unsur

tarafından belirlenir. Deniz tabanı ne kadar pürüzlü yüzeye sahipse geri saçınan sinyal o kadar güçlü, sinyalin geliş açısı ne kadar küçük ise saçılma o kadar zayıf olacaktır.

Gözeneklilik ve tane boyutuna göre, kum siltten, silt de kilden daha kaba ve pürüzlüdür. Kum, kil, çamur, silt, çakıl malzemenin her biri farklı miktarda enerjiyi geri saçacaklar ve görüntüde farklı koyuluk göreceli renk tonlamasının oluşmasını sağlayacaktır. Kullanılan sonar frekansları için herhangi iki deniz tabanı morfolojisi sonograflarda oldukça farklı olacaktır.

Su kolonu içerisinde oluşan saçılmalar sürekli bir akustik enerjinin ortamda var olmasına neden olur ve sonar sistemlerinin performansını ve algılama yeteneğini doğrudan etkileyebilir. Bu durumda gürültü, sinyalin kalitesini etkileyebilir ve sinyalin doğru bir şekilde algılanmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle, sinyalin gürültü seviyesini aşabilmesi, yani sinyalin gürültüden daha güçlü olması gerekmektedir. Bu durum genellikle sinyal/gürültü oranı olarak ifade edilir. Su kolonunun içerisinde su hacminden dolayı oluşan saçılmalara "hacim saçınımı", su yüzeyinden yansıyan ve saçılan akustik enerjiye ise "yüzey saçınımı" denir. Hacim saçınımı su kolonunun içerisindeki çeşitli düzensizlikler ve heterojenlikler nedeniyle oluşmaktadır, hacim ve yüzey saçınımı istenmeyen enerjidir (Şekil 3.17). Taban saçınımı deniz tabanındaki tortul türlerin ve diğer özelliklerin ayrımını yapabilmek için kullanılabilir ve ''geri saçılım'' (backscatterig) olarak isimlendirilir.

Akustik sinyal geliş açısı ne kadar büyükse sonar doğrultusunda geri saçılan sinyal oranı o kadar yüksek olacaktır. Sinyalin geliş açısı azaldıkça geri saçılım da azalmaktadır (Quinn vd., 2005). Sonar sisteminin geometrisine bağlı olarak, hedefe olan mesafe arttıkça geliş açısının azalması tipik bir durumdur. Bu durum, küresel açılım ve soğrulma etkilerine ek olarak, erim mesafesi arttıkça geri dönen sinyal şiddetinin azalmasına neden olan başka bir etmendir. Ses dalgalarının yayılması sırasında küresel açılım ve soğrulma etkileri sinyal şiddetini etkiler. Küresel açılım, ses dalgalarının yayılma yolunda genişlemesi ve enerji kaybını ifade ederken, soğrulma ses dalgalarının su tarafından emilmesini ifade eder. Bu etkiler akustik sinyali mesafeye bağlı olarak zayıflatır.



Şekil 3.15 Akustik sinyalin şematik yansıma ve geri saçılımı (a) yansıma ve geri saçınım geometrisi (b) ışın-obje geliş açısı (c) deniz tabanı pürüzlülüğü yansıma geometrisi ve (d) taban yapısı ve sediman özelliklerine bağlı saçınım (Blondel ve Murton, 1997)

3.2.8 Sonar Denklemi

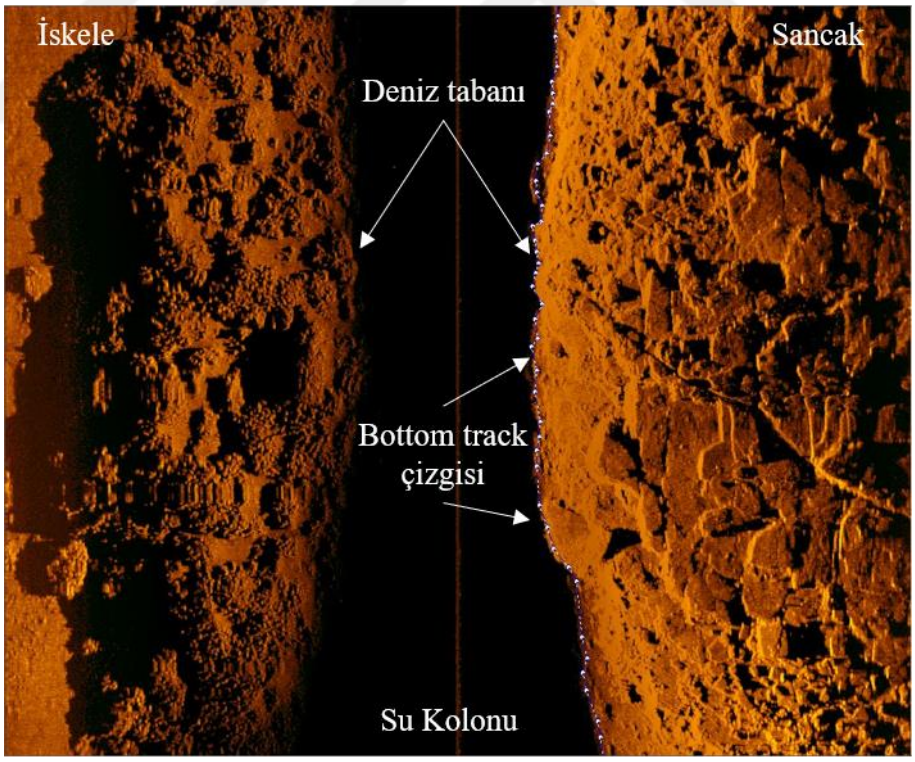
Sonar sistemlerinin etkinliğini-performansını değerlendirmek ve çeşitli koşullarda nasıl çalıştığını anlamak için kullanılan sonar denklemi, sonar sinyallerinin hedeflere ulaşma ve geri dönme sürecindeki faktörleri matematiksel olarak modelleyen bir denklemdir. Kaynak seviyesi, iletim kaybı, hedef gücü ve gürültü seviyeleri gibi faktörleri dikkate alarak, sonar verilerinin kalitesi ve hedeflerin algılanabilirliği hakkında bilgi sağlar.

$$RL = SL - TL + TS - NL \tag{3.1}$$

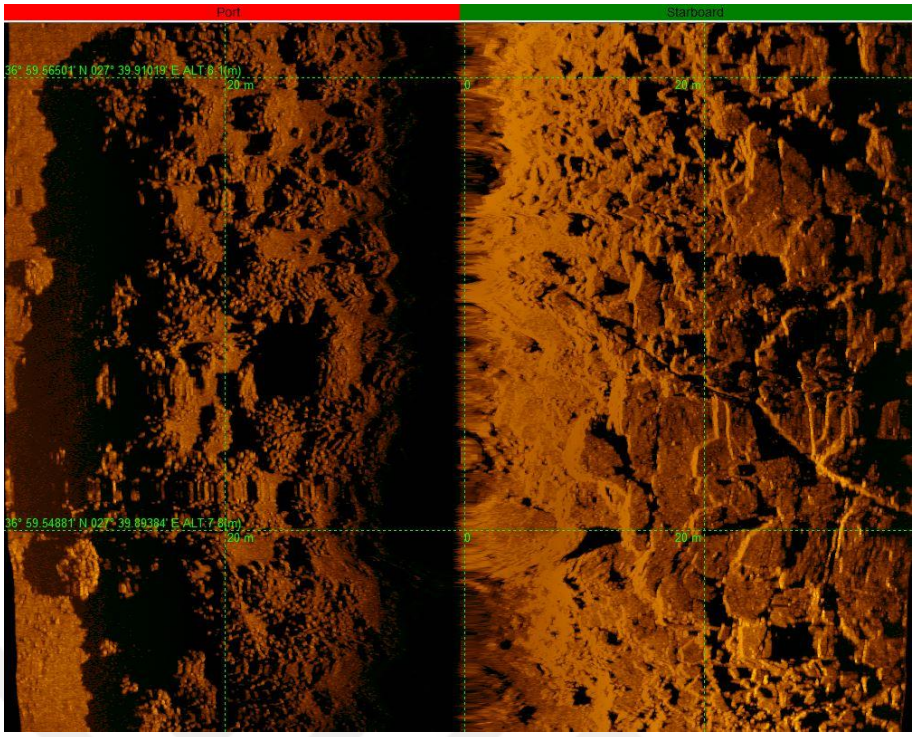
- SL (Kaynak Seviyesi/Source Level): Sonar vericisinden yayılan sinyal gücü.
- TL (İletim Kaybı/Transmission Loss): Akustik sinyalin hedefe giderken yaşadığı kayıp.
- TS (Hedef Gücü/Target Strength): Hedefin akustik sinyali yansıtma gücü.
- NL (Gürültü Seviyeleri/Noise Level): Arka plan gürültü seviyesi.
- RL (Geri Yansıma/Received Level): Sonara geri dönen sinyal gücü.

3.3 Veri İşlem

Klein 3000H (445 & 900 kHz) yandan taramalı sonar çalışmaları ile elde edilen *XTF formatlı sonar veri setleri Chesapeake SonarWIZ yazılımına aktarılmış ve her bir hat için deniz tabanından ilk yansımalar işaretlenerek (Şekil 3.16) bottom track düzeltmesi uygulanmıştır (Şekil 3.17). Akustik sinyalin su içerisinde deniz tabanına gidiş geliş süresi, towfishin deniz tabanından olan yüksekliğine bağlı olarak değişir. Bu zamana göre çıkış sinyali ve deniz tabanı yansıması arasında boş bir bölge olacaktır. Bu süre, sonar sinyalinin su kolonu boyunca deniz tabanına gitmesi ve oradan towfishe geri dönmesi için geçen süreye karşılık gelir. Bu boş bölge su kolonunu ifade etmektedir ve düzgün bir mozaik elde etmek için bottom track işlemi ile bu su kolonu bölgesi veriden kaldırılır. Taban yapısı kayalık alan gibi rölyefi yüksek birimlerden oluşuyorsa ilk varışların işaretlenmesi daha güç olacaktır. Deniz tabanı sediman birimi ne kadar düz ve rölyefi az ise bottom track işlemi daha etkin sonuçlar verecektir.



Şekil 3.16 Yandan taramalı sonar verilerinde bottom track uygulamasına ait örnek görüntü (TUBEP arşivi)



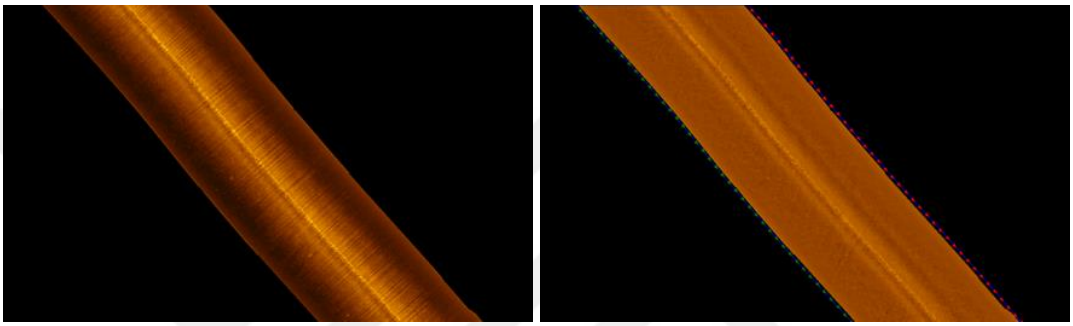
Şekil 3.17 Bottom track işlemi uygulanmış sonar verisi (TUBEP arşivi)

Bottom track işleminden sonra verilerde yoğunluk ve çözünürlüğü ön plana çıkarmak için AGC (Automatic Gain Control) kazanç işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.23 ve 3.24). AGC kazanç işlemi temelinde sinyal genliklerini geri dönüş zamanlarına göre operatör tarafından belirlenen matematiksel bir katsayı ile çarparak düzenleyen işlemdir. AGC işlemi yeterli görüldüğü için verilere EGN (Empirical Gain Normalization), TVG (Time Varying Gain) ve BAC (Beam Angle Correction) gibi diğer sinyal kazanç işlemleri uygulanmamıştır.

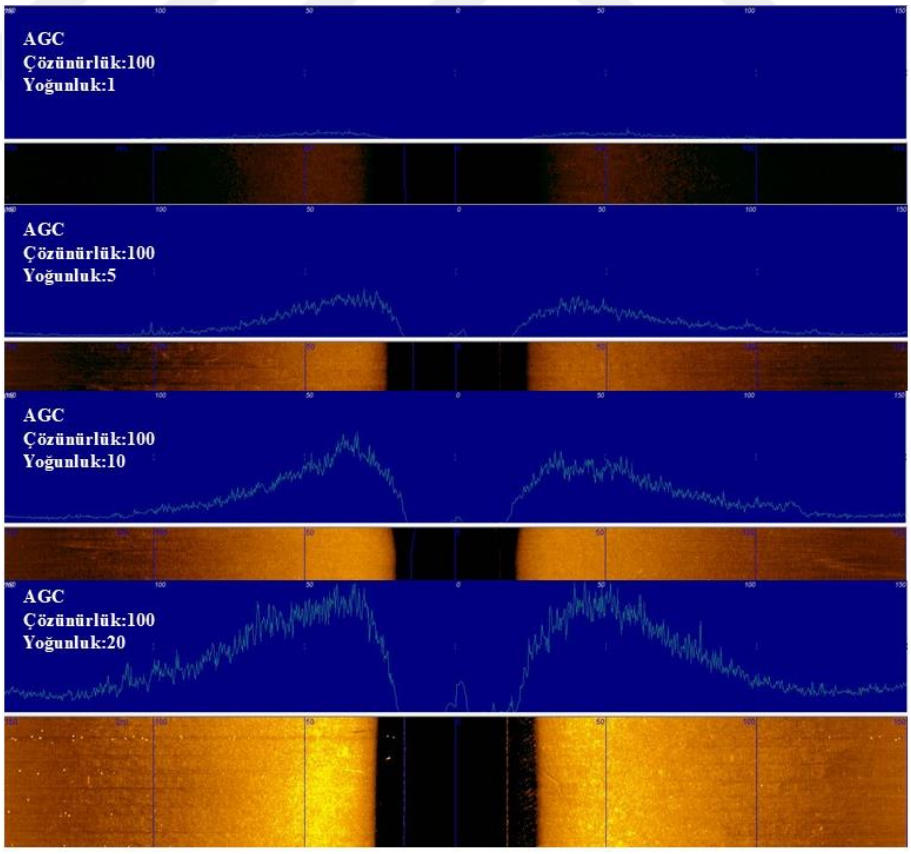
***AGC (Automatic Gain Control)**

Yandan taramalı sonar verilerinde yansıyan sinyalin genliği deniz tabanındaki kayalık alanlar, sırtlar ve insan yapımı unsurlar gibi küçük ölçekli rölyefler tarafından etkilenir. Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC) geri dönüş açısının ve sinyal yayılma mesafesinin bir sinyalin yansıma genliği üzerindeki büyük ölçekli etkilerini ortadan kaldırmayı hedefler. AGC işlemi spesifik olarak, belirli bir ordinattaki sinyal gücü yerel ortalamasını yani bu ordinatın solunda ve sağında belirli sayıda örneğin (genliğin) ortalamasını alarak küresel ortalamayı hesaplar. Bu ortalamada kullanılan

yakın örneklerin sayısı ile örnekleme penceresi değiştirilebilir. Her bir ordinatta yerel bir ortalama hesaplandıktan sonra veriler yeniden ölçeklendirilir, böylece yerel ortalama seçilen bazı küresel ortalamaya kaydırılır. Ek olarak, yeniden ölçeklendirme fonksiyonu gürültüsüz sinyalleri (sıfır genlik) ve aralığın izin verdiği kadar yüksek olan sinyalleri sabitleyerek bu verilerin kontrastını korur, böylece aşırı düşük ve aşırı yüksek genlikli yansımalar böyle kalır. AGC işleminde yoğunluk ve çözünürlük parametreleri veri işlemci tarafından belirlenir (AGC Çözünürlük:100 ve Yoğunluk:10 kullanılmıştır).



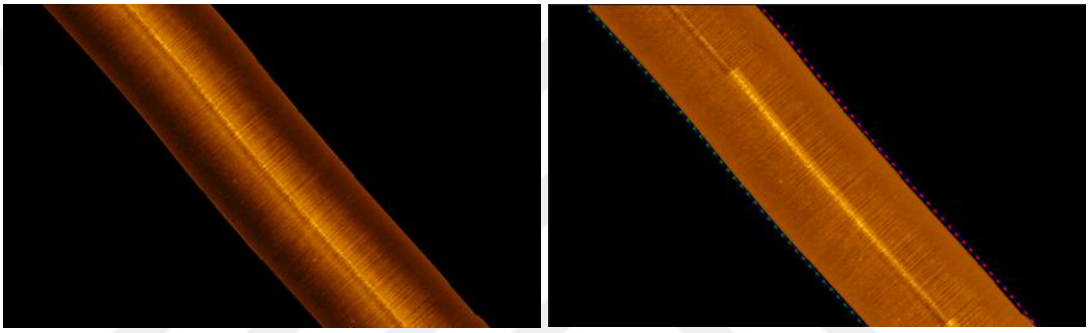
Şekil 3.18 AGC işlemi öncesi ve sonrası



Şekil 3.19 Farklı yoğunluk parametre değerleri ile uygulanan AGC işlemi

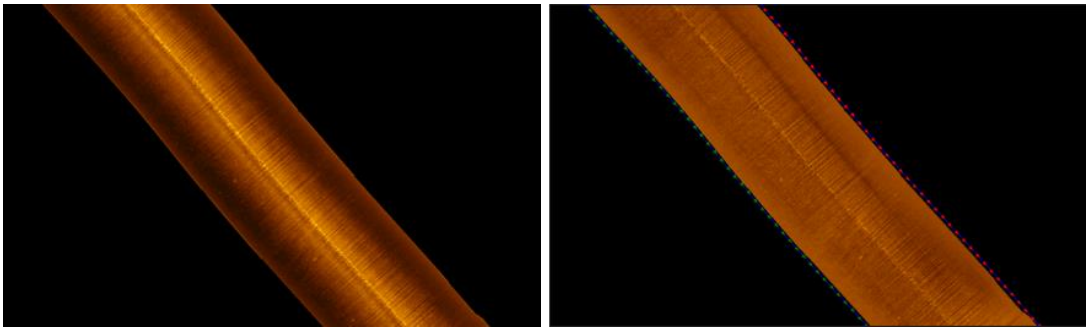
***TVG (Time Varying Gain)**

TVG işlevi veriyi birçok paralel şeride bölerek her şeridin geri saçılım genliğini eşitlemeye çalışır. Her şeridin Karekök Ortalama (RMS) gücü, istenen bir güç seviyesiyle karşılaştırılır. İskele ve sancak kazanç/zayıflatma değerleri birbirinden önemli ölçüde farklı olan iki kanalı dengelemek için bağımsız olarak kullanılabilir. Operatör parametresi -100 ila +100 arasında çalışır: Negatif değerlerde (0 ila -100), Otomatik TVG sonucunu sırasıyla (1,0 ila 0,1) ile çarparak genlikte zayıflatma üretir. Pozitif değerler (0 ila +100) Otomatik TVG işlevinin sonucunu sırasıyla 1,0 ila 2,0 arasında çarpar.



Şekil 3.20 TVG işlemi öncesi ve sonrası

***EGN (Empirical Gain Normalization)**



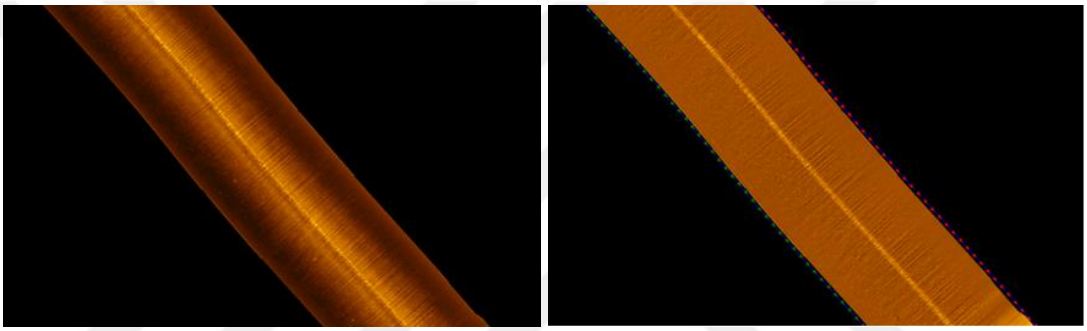
Şekil 3.21 EGN işlemi öncesi ve sonrası

Ampirik Kazanç Normalizasyonu (EGN) bir dizi sonar dosyasındaki tüm pinglerdeki tüm sonar genliklerini yükseklik ve menzile göre toplayan ve ortalamasını alan bir fonksiyondur. Genlik değerleri dönüştürücü (iskele ve sancak transdüser) tarafından toplanır ve ortalaması alınır. EGN, belirli bir sonardan gelen tüm veriler birlikte işlendiğinde en iyi şekilde çalışır. EGN tablosuna ne kadar çok veri kümesi

girilirse sonarın istatistiksel modeli o kadar iyi olur. EGN işleminin etkin sonucu için oluşturulan veri tablosunda yer alan tüm veri kümeleri aynı sonar sisteminden, aynı frekansta, darbe genişliğinde ve güçte toplanmalıdır.

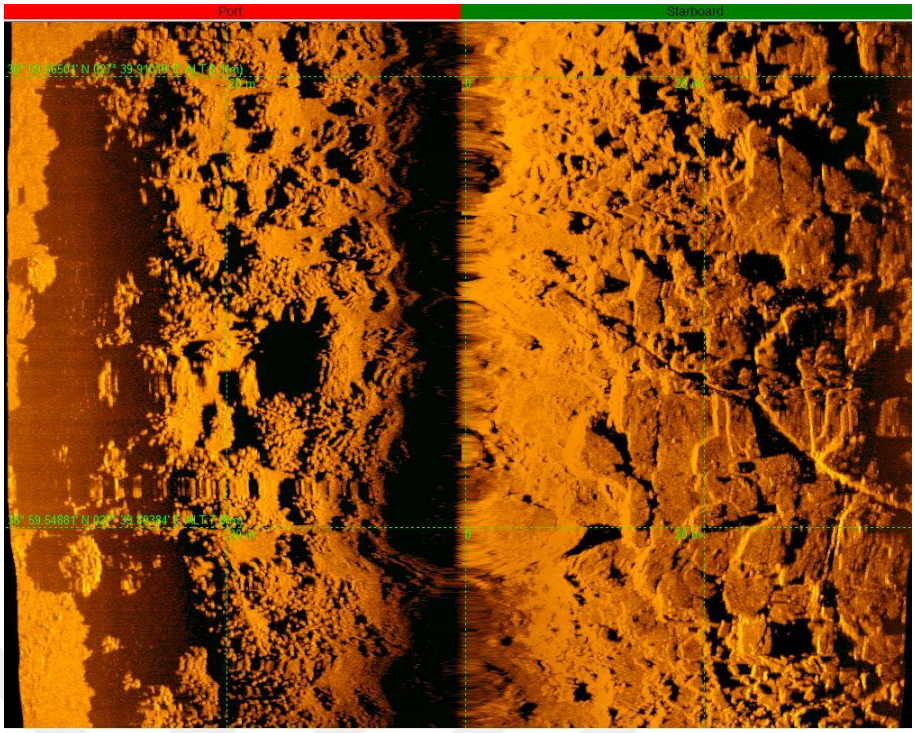
*** BAC (Beam Angle Correction)**

Beam Angle Correction fonksiyonu (BAC), sonar veri toplama sırasında towfishin doğrusal olmayan yalpa tepki özelliklerini telafi etmeye çalışır. Bu tepkiler veri kaydında daha koyu veya daha açık olabilecek alanlarla sonuçlanır. Ortalama için sonar ping sayısı parametresi belirlenir ve işlem ortalama blokları arasında yumuşatma sağlar.

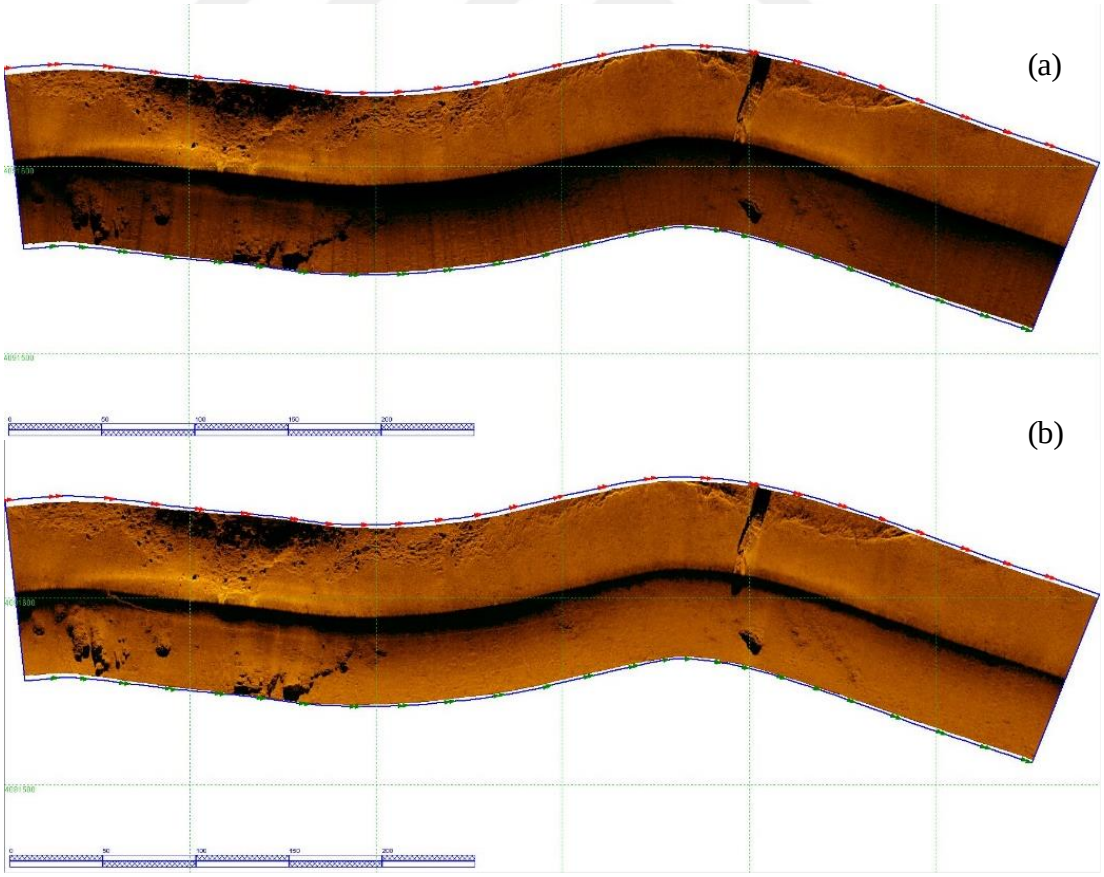


Şekil 3.22 BAC işlemi öncesi ve sonrası

Yandan taramalı sonar kayıtlarında tüm navigasyon verileri kontrol edilerek navigasyon bilgisinde atlama yapan noktalar önceki ve sonraki noktalara göre düzenlenmiştir. Şekil 3.24'te kazanç işlemi öncesi ve sonrası sonar görüntüleri gösterilmektedir.



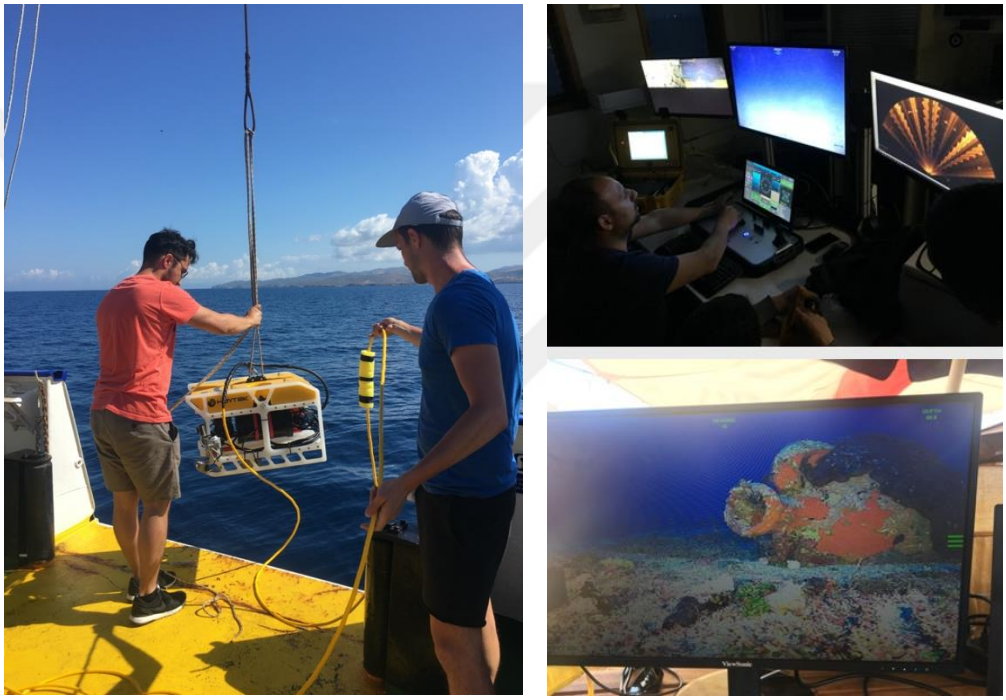
Şekil 3.23 AGC (Automatic Gain Control) kazanç işlemi uygulanmış sonar kesiti (TUBEP arşivi)



Şekil 3.24 AGC (Automatic Gain Control) kazanç işlemi öncesi (a) ve sonrasına (b) ait sonar görüntüleri (TUBEP arşivi)

3.4 Görsel Doğrulama

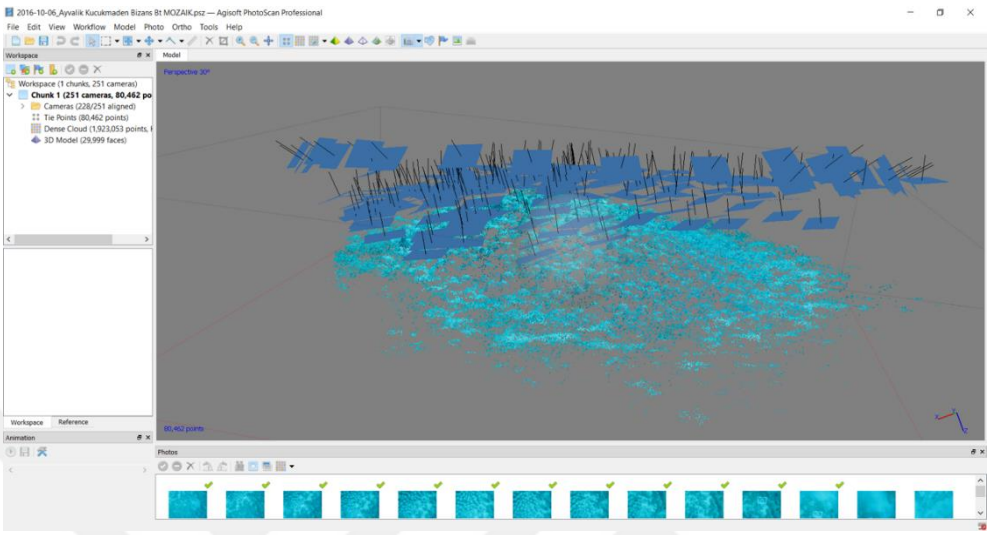
Yandan taramalı sonar verilerinden belirlenen bulguların konum ve görsel doğrulamaları ROV görüntüleri ve dalışa uygun derinliklerde tüplü dalış çalışmaları ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalarda yandan taramalı sonar ile tespit edilen bulguların görsel doğrulaması ROV ile yapılmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Sualtı Arkeolojisi Yüksek Lisans Programı bünyesinde yer alan Hoytek Demre model 200 m derinliğe inebilen ROV kullanılmıştır (Şekil 3.25).



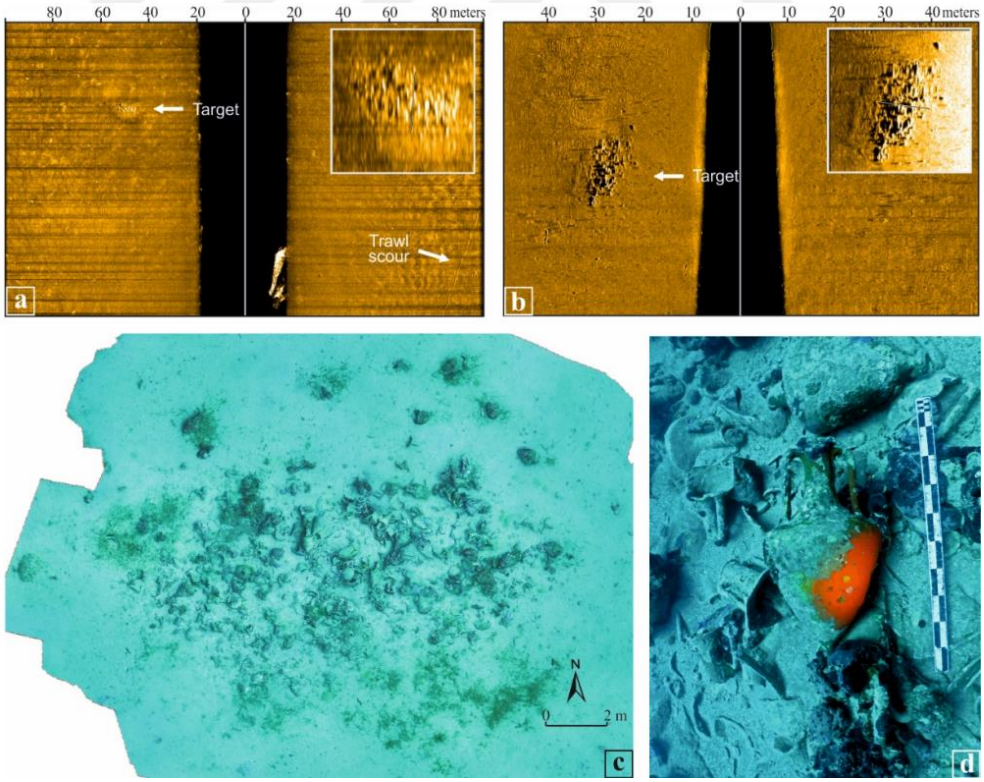
Şekil 3.25 R/V K. Piri Reis araştırma gemisi üzerinden yürütülen ROV operasyonu (TUBEP arşivi, 2020)

ROV ile görsel doğrulaması yapılan bulgulara ait optik görüntülerden fotogrametri tekniklerini kullanarak doğru bir saha haritası oluşturulabilir ve maksimum bilgi elde edilebilir (Drap vd., 2015). Yeterli sualtı aydınlatma donanımına sahip ROV teknolojisi, enkaz alanlarında zamandan ve derinlikten bağımsız olarak binlerce fotoğraf çekerek alana ait fotomozaik üretme fırsatı sağlamaktadır (Şekil 3.26). Fotogrametri teknikleri özellikle batık enkaz alanlarının 3B görünümlerine sahip 1:1 ölçekli fotogrametri modelleri üretmeyi ve arkeolojik malzemenin dağılım alanını

belirlemeyi sağlar (Şekil 3.27). Fotogrametrinin bir diğer faydası da, öncesi ve sonrası koşulları karşılaştırarak enkaz alanlarını hasar açısından değerlendirebilmektir. (Drap vd., 2015).



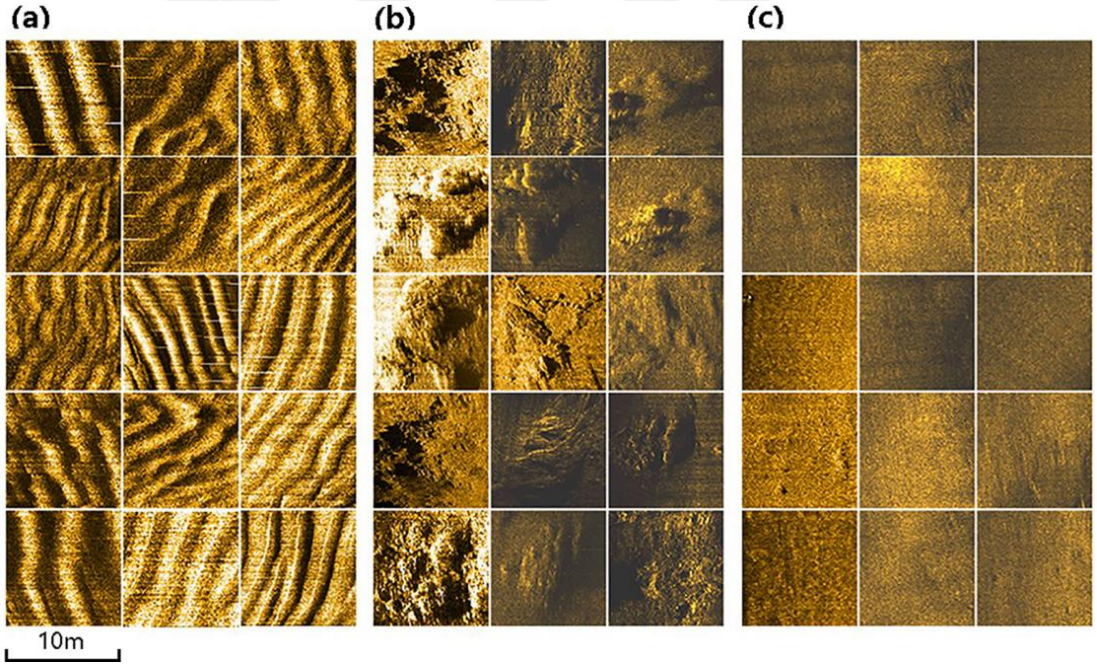
Şekil 3.26 Agisoft Photoscan yazılımı fotogrametrik görüntüleme



Şekil 3.27 ROV ile bulgu doğrulama (a) 445 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (b) optimum veri toplama parametreleri kullanılarak elde edilen 900 kHz yandan taramalı sonar görüntüsü, (c) enkaz alanının fotogrametrik görüntüsü, (d) kargo arasında bir amfora (Kızıldağ, 2022)

3.5 Deniz Tabanı Sınıflandırması

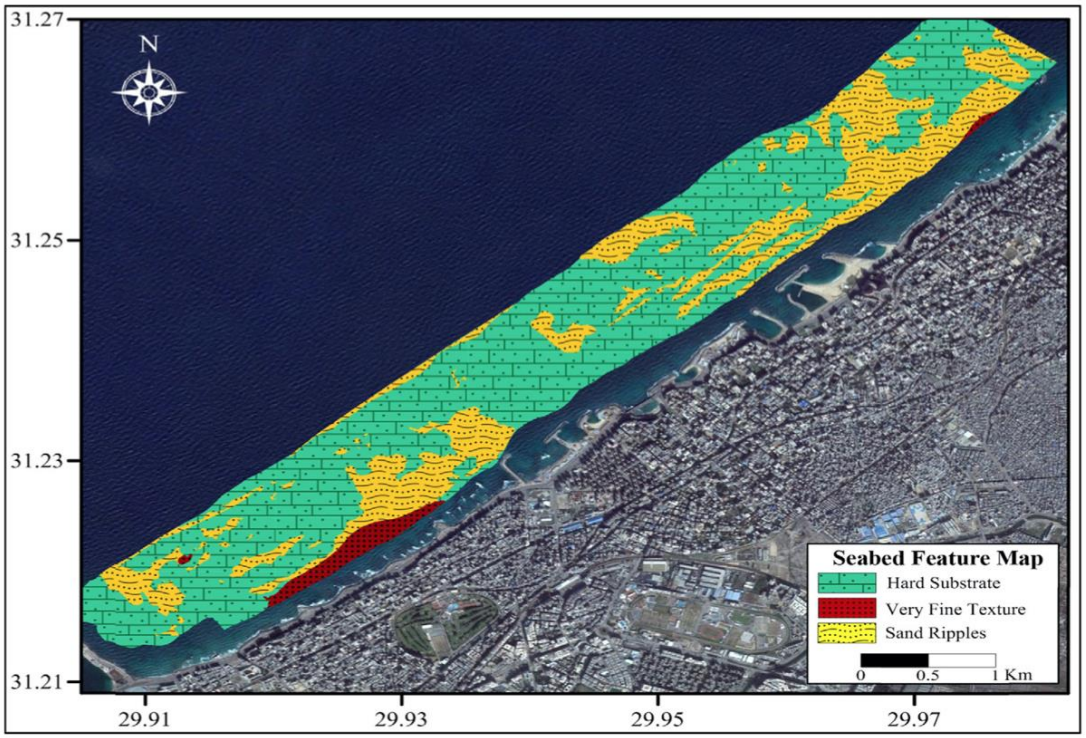
Deniz tabanının doğal jeolojik ve jeomorlolojik yapısını kum-kil-silt gibi ince taneli sedimanlar, çakıl, kayalık alanlar, çamur ve biyolojik kökenli deniz çayırları, kestaneler, resifler, kabuklu canlı toplulukları oluşturmaktadır. Yandan taramalı sonar verilerinde farklı sediman yapılarının ve biyolojik unsurların kendilerine özgü akustik yansıtma karakteristiğine bağlı görüntüleri vardır (Greene vd., 2018) (Şekil 3.28). Genel olarak, daha kaba tortular, (daha pürüzlü yüzey) ince taneli sedimanlardan (daha pürüzsüz yüzey) daha fazla enerjiyi geri saçar (Hamouda vd., 2021). Deniz tabanı sınıflandırması, görüntü işlemeye dayalı olarak, yoğunluk, entropi ve standart sapma olmak üzere üç parametreyi kullanır (Subarsyah ve Manik, 2021) (Tablo 3.2). Yandan taramalı sonar veri sınıflandırmada, koyu renk yüksek yoğunluğu, açık parlak alan ise düşük yoğunluğu temsil etmektedir. Bentik habitatların haritalanmasına ait farklı çalışmalardan sınıflandırma haritaları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.29, 3.30 ve 3.31).



Şekil 3.28 Kum dalgaları, (b) kayaçlar, (c) kumlu-silt sediman örnekleri (Caiyun vd., 2020)

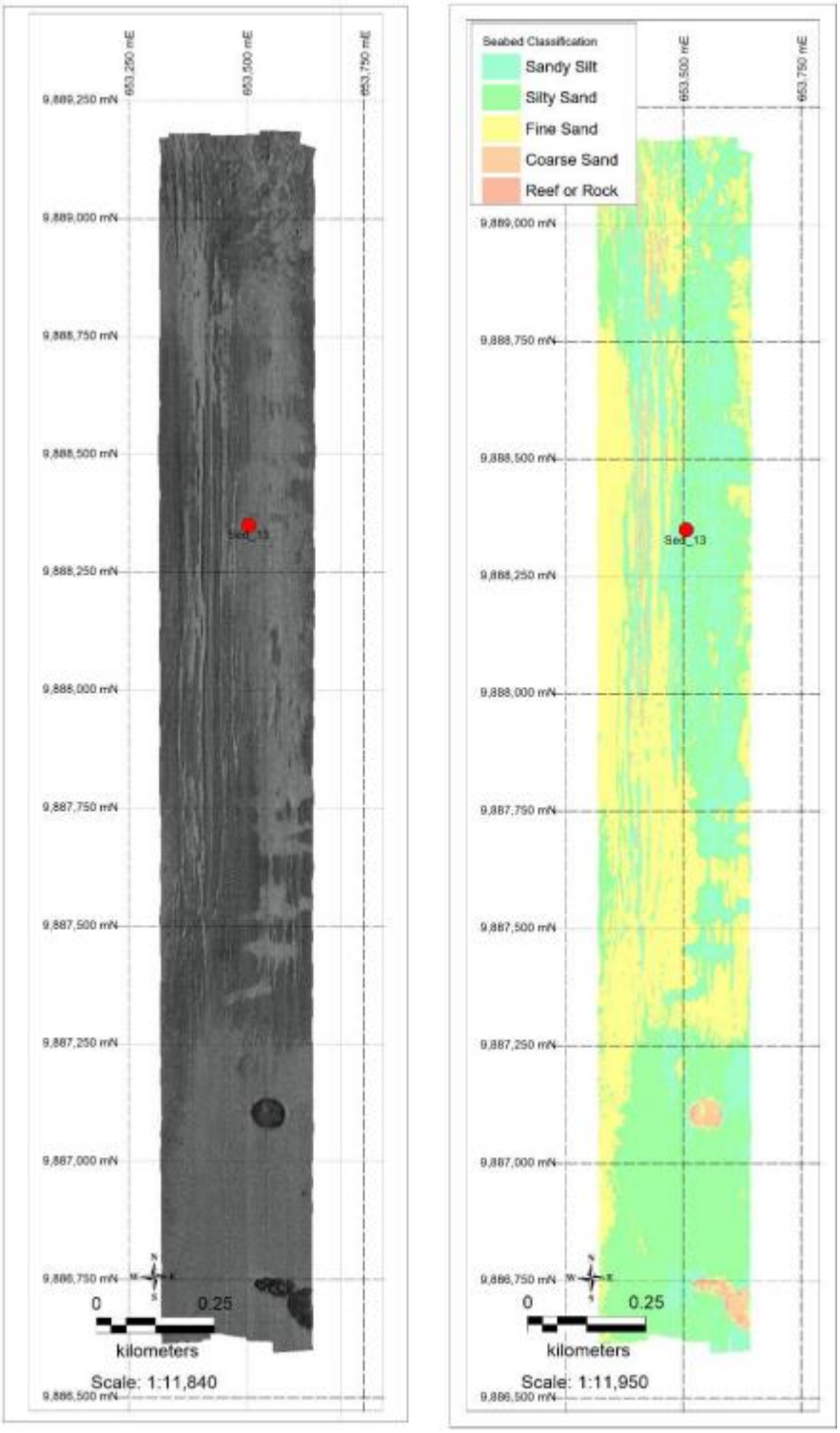
Tablo 3.2 Görüntü işlemeye dayalı deniz tabanı sınıflandırma parametre değerleri (Subarsyah, 2021)

Sediman Birimi	Saçınım Yoğunluğu	Entropi	Standart Sampa
Kumlu silt	2-118	167-255	1-209
Siltli kum	87-143	183-234	1-115
İnce taneli kum	114-181	137-207	1-131
Kaba taneli kum	161-206	96-152	2-153
Kayalar	193-254	1-105	5-134



Şekil 3.29 Deniz tabanı sınıflandırması sonucu oluşturulan bir harita (Hamouda vd., 2019)

Tez çalışmaları kapsamında farklı deniz sahalarından elde edilen yandan taramalı sonar verileri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucu elde edilen akustik bulgular yorumlanmış ve deniz tabanı sınıflandırma haritası üretilmiştir. (Bölüm 3.6)



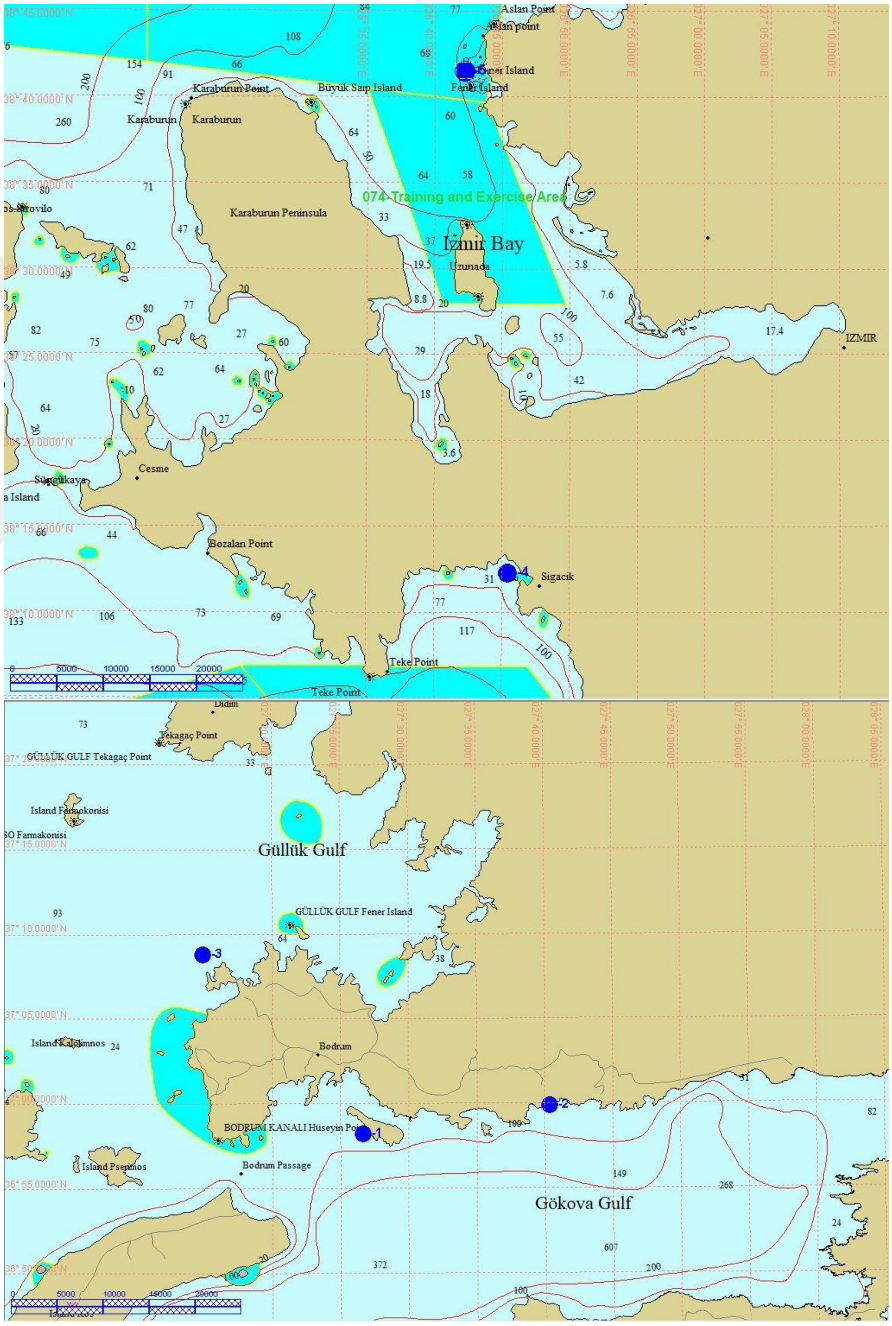
Şekil 3.30 Yandan taramalı sonar veri sınıflandırma, koyu renk yüksek yoğunluğu, açık parlak alan ise düşük yoğunluğu temsil eder (Subarsyah ve Manik, 2021)



Şekil 3.31 Yandan taramalı sonar verilerinden kum ve kaya sediman dağılımını gösteren sınıflandırma haritası (Pillay vd., 2020)

3.6 Bulgular ve Veri Değerlendirme

Tez kapsamında kullanılan yandan taramalı sonar verileri Doç. Dr. Harun Özdaş başkanlığında yürütülen ve Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenen ‘’2014H040080’’ no.lu “Sualtı Arkeolojik Miras Araştırma Projesi” kapsamında alınmıştır. Yandan taramalı sonar veri setlerinin toplandığı çalışma alanları şekil 3.32’de ve tablo 3.3’de verilmiştir.



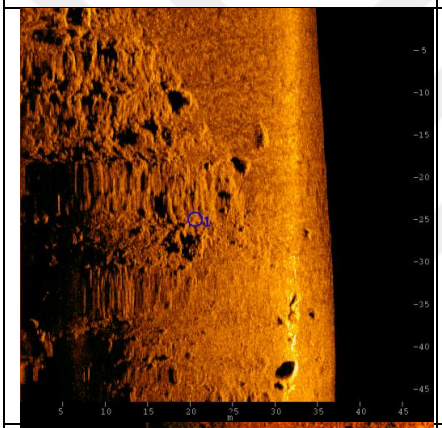
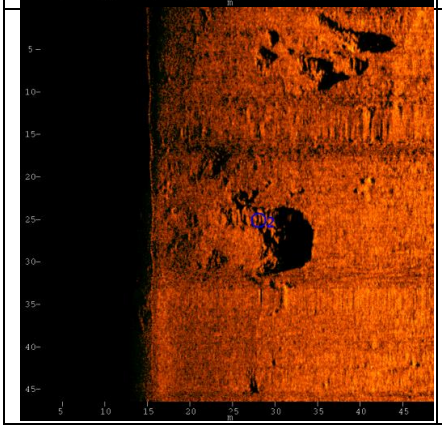
Şekil 3.32 Yandan taramalı sonar verilerinin toplandığı konumlar

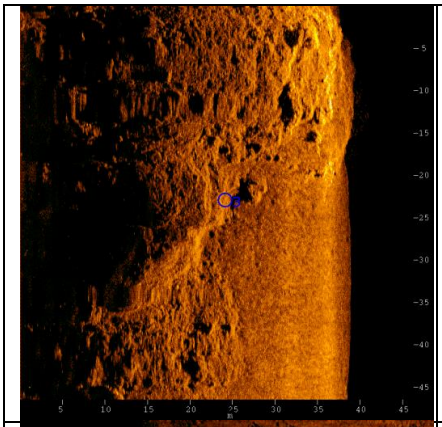
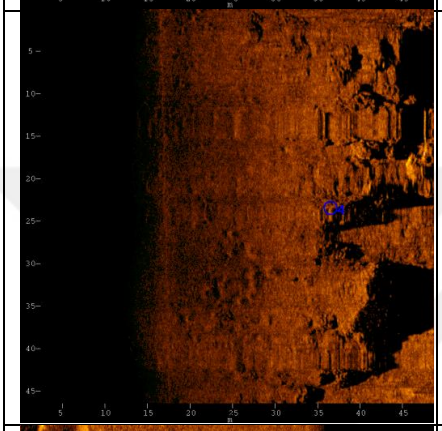
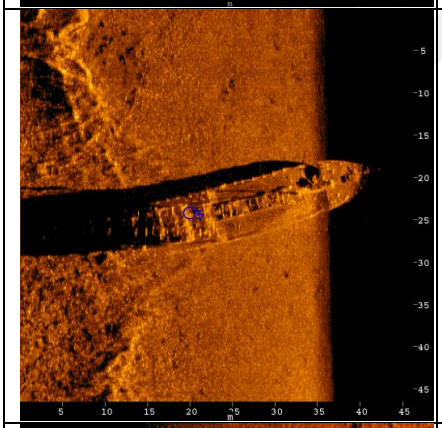
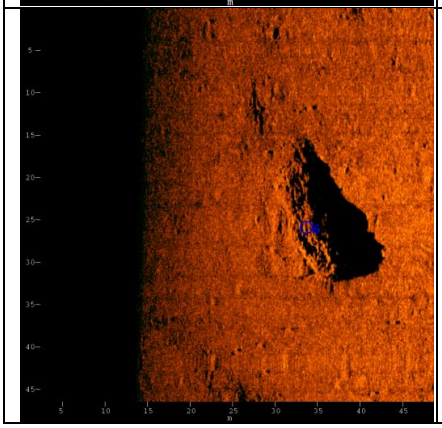
Tablo 3.3 Sonar verilerinin toplanığı bölgeler

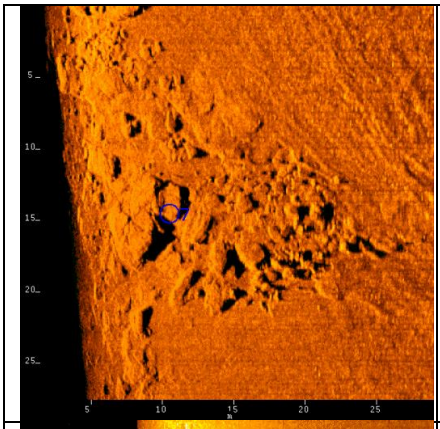
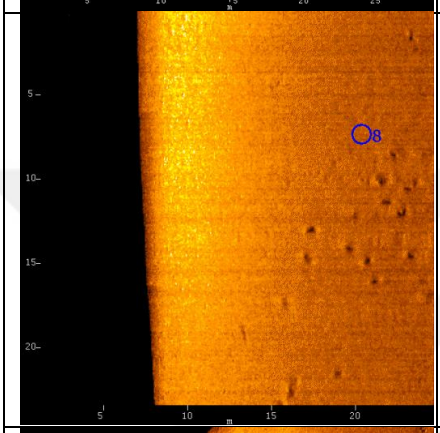
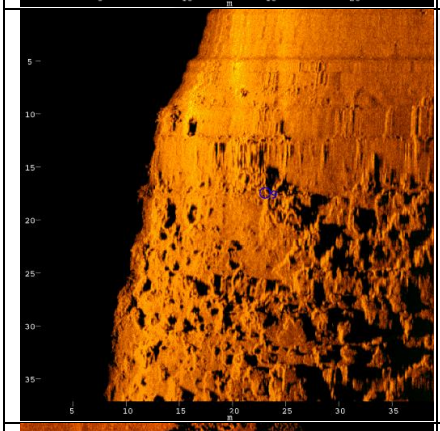
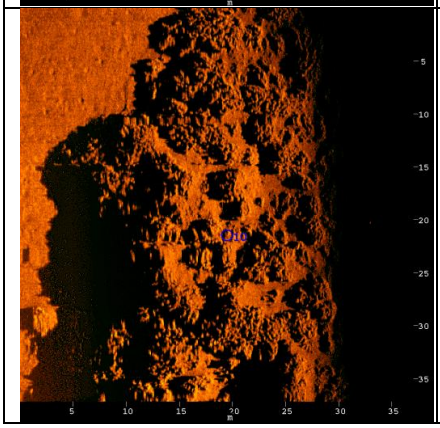
No	Çalışma Bölgesi	Derinlik(m)
1	Bodrum Karaada Bölgesi	10-45m
2	Bodrum Tekere Koyu Bölgesi	20-60m
3	Bodrum Yalıkavak Bölgesi	60-80m
4	İzmir Sığacık Bölgesi	10-30m
5	İzmir Foça Bölgesi	20-50m

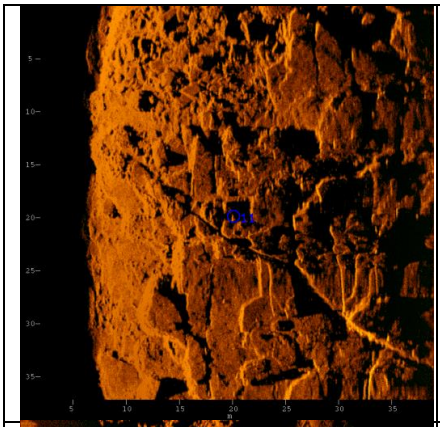
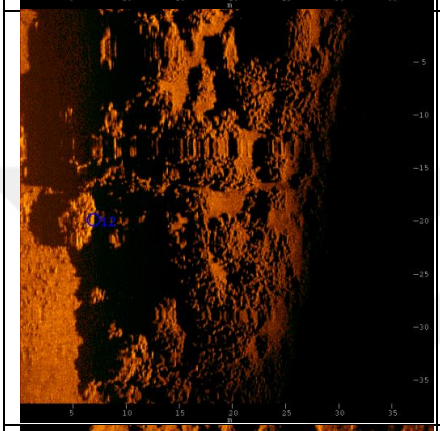
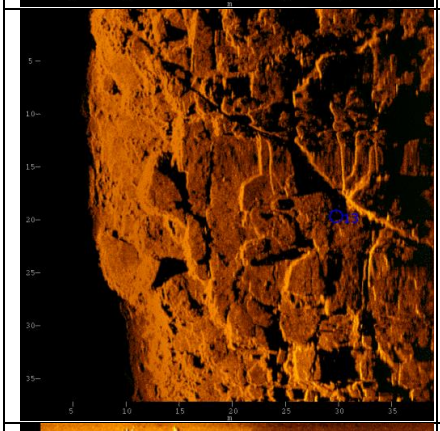
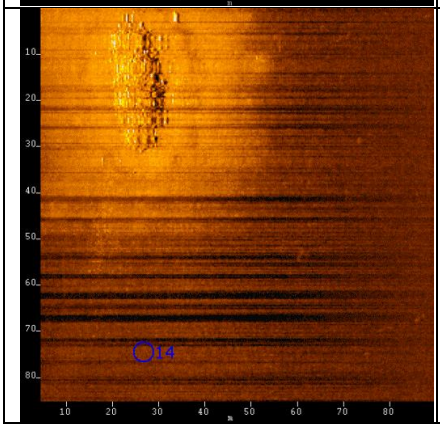
SonarWiz yazılımında veri işlem uygulanan yandan taramalı sonar verilerinde elde edilen bulgular tablo 3.4'de değerlendirilmiştir

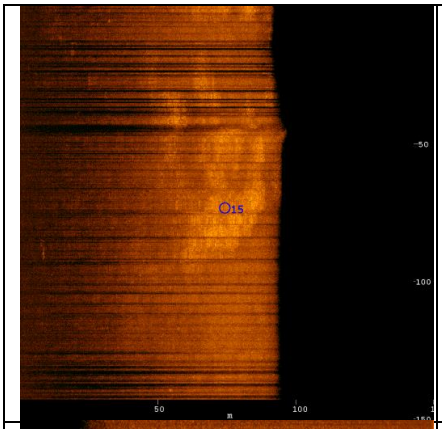
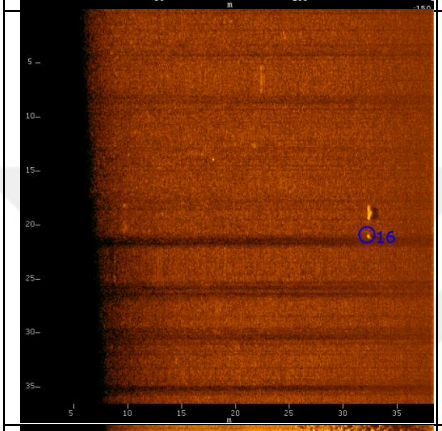
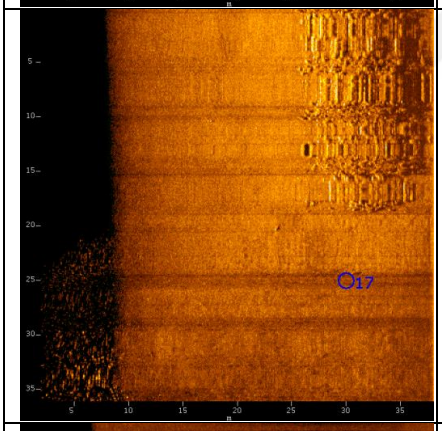
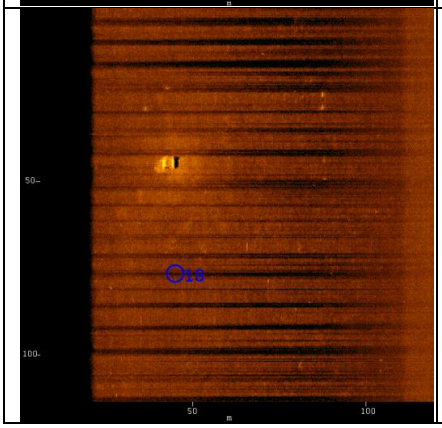
Tablo 3.4 Yandan taramalı sonar bulgu değerlendirme tablosu (TUBEP arşivi)

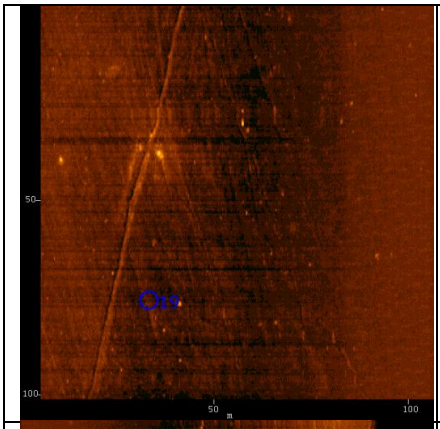
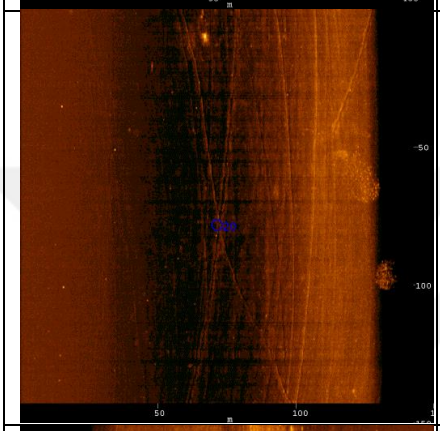
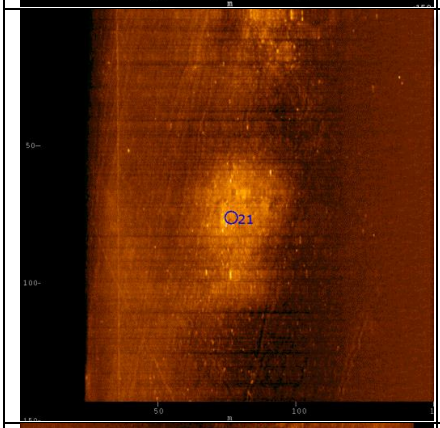
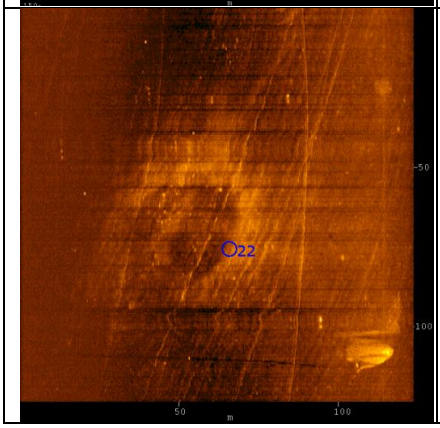
Bulgu Görüntüsü	Bulguya İlişkin Bilgi	Tanımlama
	**1** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:42:24 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 58.19411' N 027° 26.68388' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 48937 • Hedef Mesafesi: 24.91 Meters • Towfish Yüksekliği: 12.91 Meters • Heading: 92.700 ° • Bölge-1	**Kayalık Alan**
	**2** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:42:26 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 58.16707' N 027° 26.68201' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 48968 • Hedef Mesafesi: 25.02 Meters • Towfish Yüksekliği: 12.71 Meters • Heading: 95.300 ° • Bölge-1	**Kayaçlar**

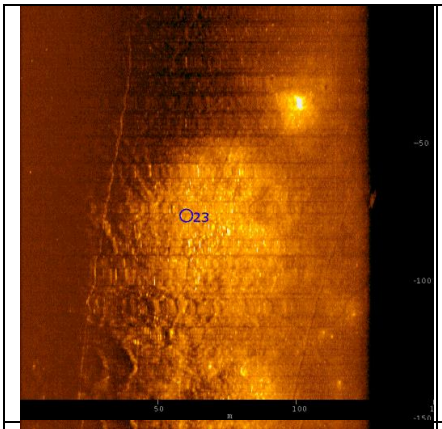
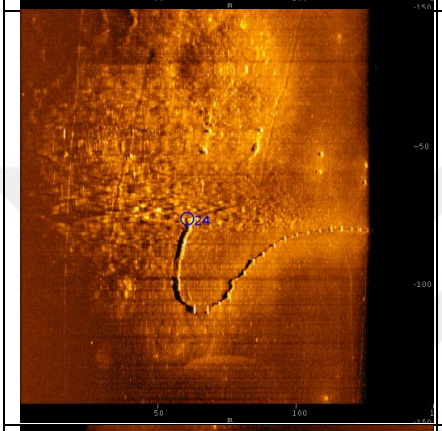
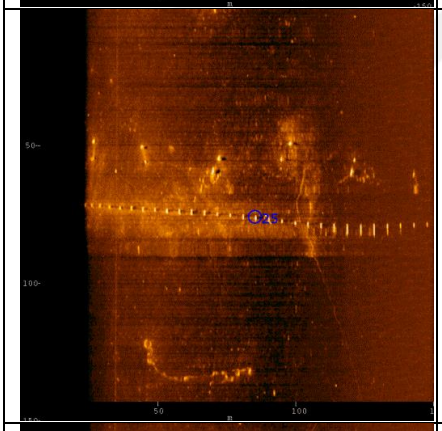
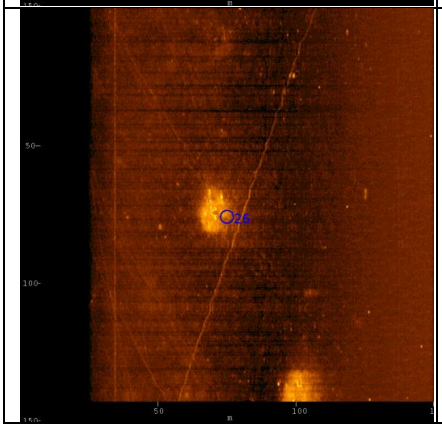
	**3** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:42:57 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 58.18939' N 027° 26.72085' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 49413 • Hedef Mesafesi: 22.10 Meters • Towfish Yüksekliği: 10.66 Meters • Heading: 93.200 ° • Bölge-1	**Kayalık Alan**
	**4** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:43:04 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 58.15795' N 027° 26.72327' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 49522 • Hedef Mesafesi: 35.00 Meters • Towfish Yüksekliği: 10.46 Meters • Heading: 92.900 ° • Bölge-1	**Kayalık Alan**
	**5** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:45:49 • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 51921 • Hedef Mesafesi: 25.78 Meters • Towfish Yüksekliği: 12.66 Meters • Heading: 108.800 °	**Sac Gemi Batığı**
	**6** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 10:45:59 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 58.16830' N 027° 26.89694' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 52058 • Hedef Mesafesi: 31.21 Meters • Towfish Yüksekliği: 12.65 Meters • Heading: 111.900 ° • Bölge-1	**Kayaç**

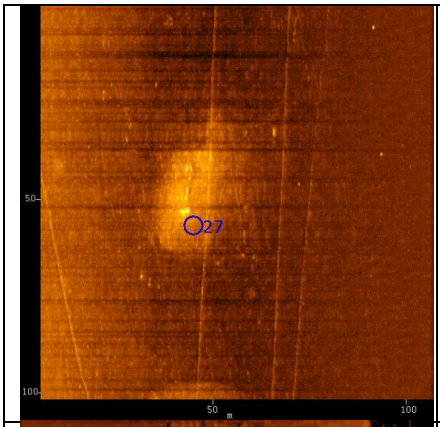
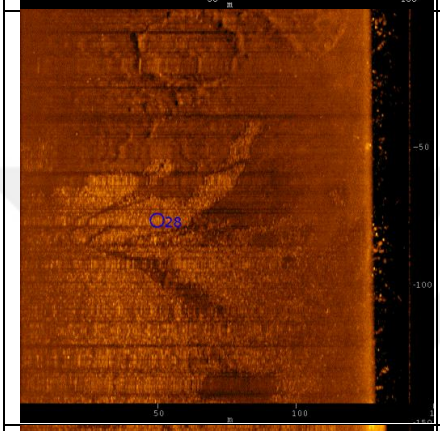
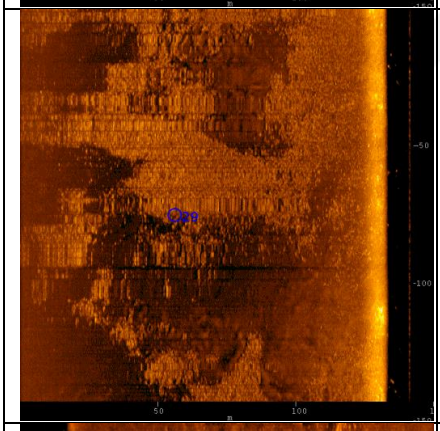
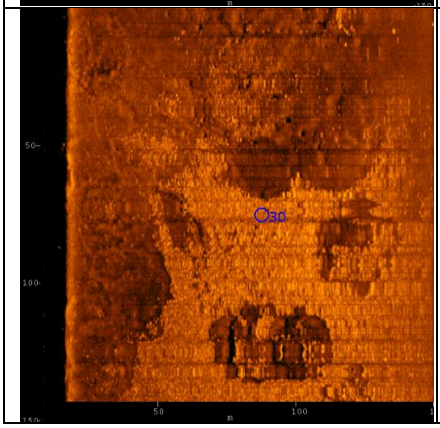
	**7** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:41:56 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.83917' N 027° 40.37795' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 49890 • Hedef Mesafesi: 15.06 Meters • Towfish Yüksekliği: 13.75 Meters • Heading: 218.000 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**
	**8** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:49:18 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.64721' N 027° 39.95348' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 57869 • Hedef Mesafesi: 26.71 Meters • Towfish Yüksekliği: 22.03 Meters • Heading: 205.200 ° • Bölge-2	**Deniz Tabanında Küçük Ölçekli Çukurlar**
	**9** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:50:45 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.58074' N 027° 39.90630' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 59443 • Hedef Mesafesi: 19.81 Meters • Towfish Yüksekliği: 11.79 Meters • Heading: 219.700 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**
	**10** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:51:11 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.55603' N 027° 39.91696' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 59923 • Hedef Mesafesi: 17.80 Meters • Towfish Yüksekliği: 6.70 Meters • Heading: 224.100 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**

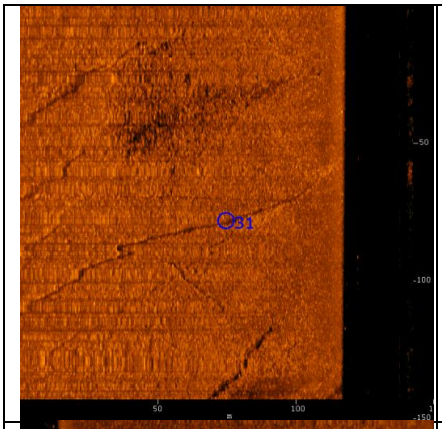
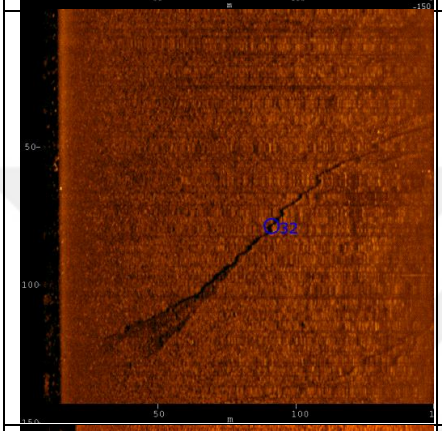
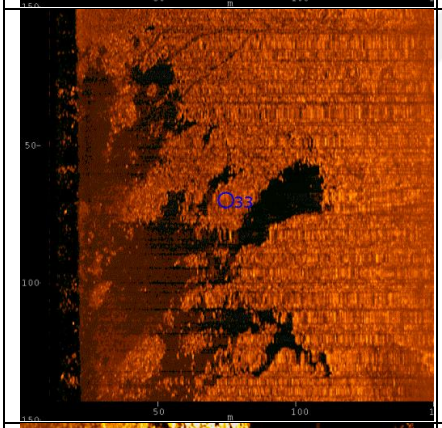
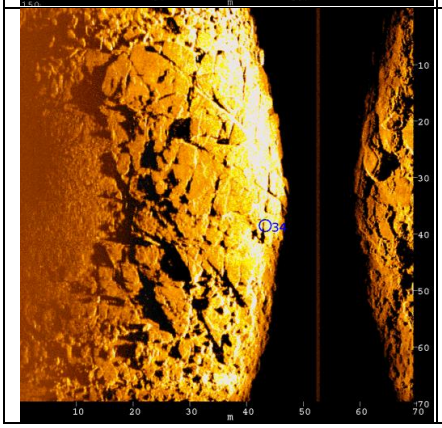
	**11** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:51:22 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.56177' N 027° 39.89105' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 60119 • Hedef Mesafesi: 19.01 Meters • Towfish Yüksekliği: 6.49 Meters • Heading: 222.600 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**
	**12** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:51:35 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.53608' N 027° 39.90720' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 60359 • Hedef Mesafesi: 30.58 Meters • Towfish Yüksekliği: 9.55 Meters • Heading: 222.400 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**
	**13** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 13:51:30 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.56105' N 027° 39.88137' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 60265 • Hedef Mesafesi: 28.95 Meters • Towfish Yüksekliği: 6.88 Meters • Heading: 221.800 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**
	**14** • Bulgu Tarihi: 07/20/2020 08:31:13 • Harita Proj: UTM84-35N • Hedef Mesafesi: 55.86 Meters • Towfish Yüksekliği: 33.88 Meters • Heading: 270.900 °	**Antik Dönem Gemi Enkazı**

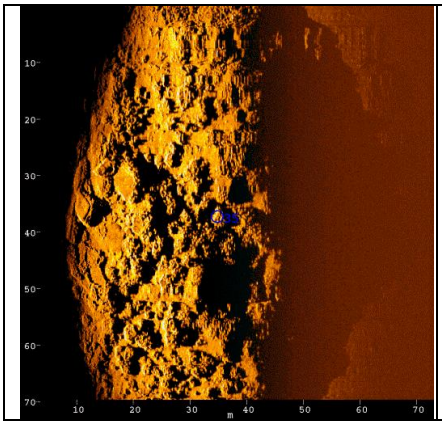
	**15** • Bulgu Tarihi: 07/20/2020 08:21:16 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 37° 09.03553' N 027° 15.42212' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 2793 • Hedef Mesafesi: 38.19 Meters • Towfish Yüksekliği: 30.11 Meters • Heading: 256.700 ° • Bölge-3	**Deniz Tabanı Morfoloji Değişimi (Kum-İnce Taneli Birim)**
	**16** • Bulgu Tarihi: 07/20/2020 08:55:31 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 37° 08.83790' N 027° 15.03492' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Hedef Mesafesi: 39.94 Meters • Towfish Yüksekliği: 17.87 Meters • Heading: 269.100 ° • Bölge-3	**Geometrik Olmayan Obje veya Kayaç**
	**17** • Bulgu Tarihi: 07/20/2020 08:56:47 • Harita Proj: UTM84-35N • Hedef Mesafesi: 36.21 Meters • Towfish Yüksekliği: 21.08 Meters • Heading: 270.000 °	**Antik Dönem Gemi Enkazı (Gemi Kargosu Yakın Görünüm)**
	**18** • Bulgu Tarihi: 07/20/2020 09:24:15 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 37° 07.48945' N 027° 14.84788' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 28281 • Hedef Mesafesi: 42.62 Meters • Towfish Yüksekliği: 28.50 Meters • Heading: 236.700 ° • Bölge-3	**Deniz Tabanında Geometrik Obje**

	**19** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:10:55 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 39.92210' N 026° 42.46309' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 4137 • Hedef Mesafesi: 60.06 Meters • Towfish Yüksekliği: 29.91 Meters • Heading: 295.400 ° • Bölge-5	**Derin Dip Tarama İzi**
	**20** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:14:30 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.01970' N 026° 42.25941' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 5202 • Hedef Mesafesi: 75.50 Meters • Towfish Yüksekliği: 21.53 Meters • Heading: 304.900 ° • Bölge-5	**Yoğun Trol Aktivitesi İzleri**
	**21** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:20:16 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.33641' N 026° 42.27816' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 6915 • Hedef Mesafesi: 71.88 Meters • Towfish Yüksekliği: 26.07 Meters • Heading: 309.100 ° • Bölge-5	**Deniz Tabanı Morfoloji Değişimi (Döküntü-İnce taneli birim)**
	**22** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:23:40 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.49581' N 026° 42.14427' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 7923 • Hedef Mesafesi: 79.84 Meters • Towfish Yüksekliği: 26.37 Meters • Heading: 312.300 ° • Bölge-5	**Yoğun Trol Aktivitesi İzleri ve Morfoloji Değişimi**

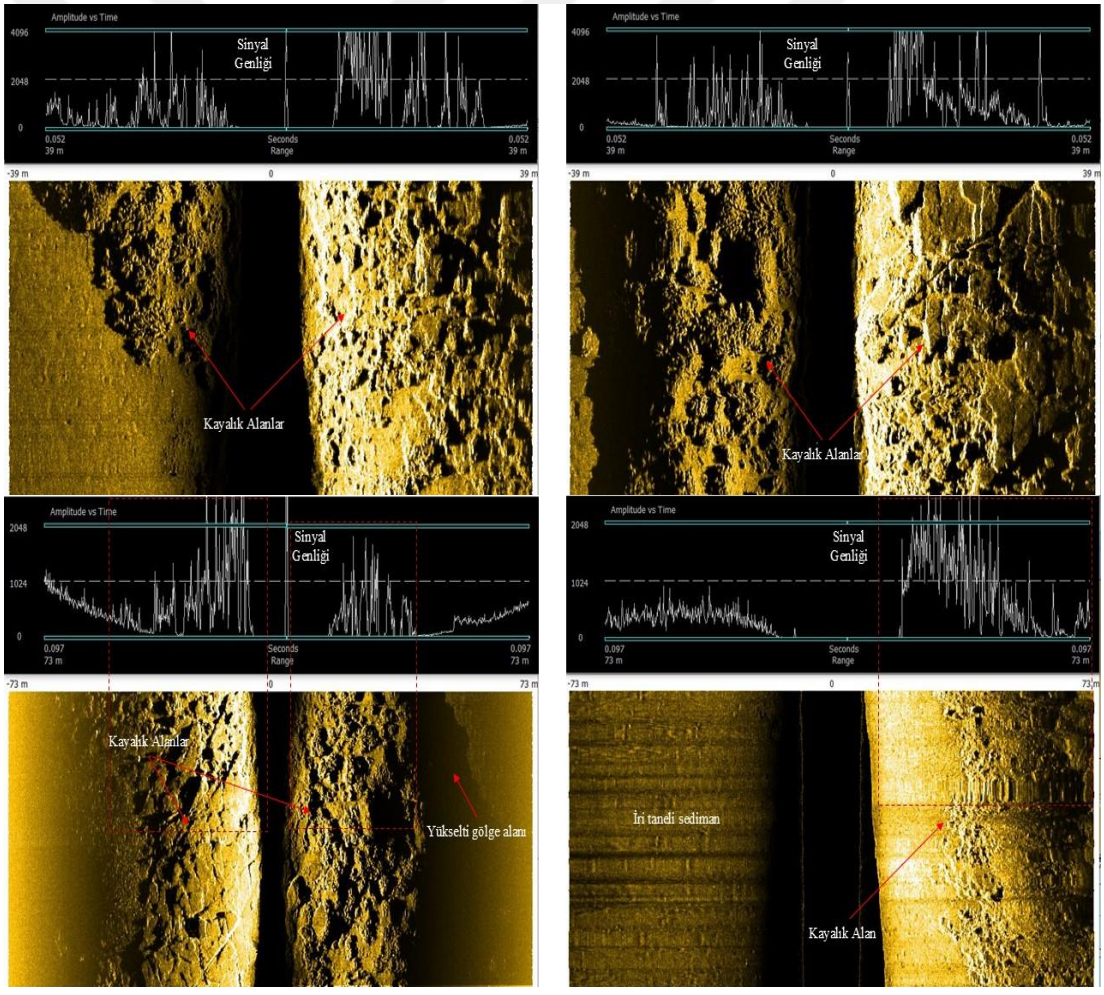
	**23** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:27:21 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.68268' N 026° 42.16169' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 9018 • Hedef Mesafesi: 86.15 Meters • Towfish Yüksekliği: 24.82 Meters • Heading: 316.500 ° • Bölge-5	**Deniz Tabanı Morfoloji Değişimi (İnce taneli birim)**
	**24** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:28:42 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.74631' N 026° 42.16735' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 9419 • Hedef Mesafesi: 85.90 Meters • Towfish Yüksekliği: 24.61 Meters • Heading: 312.300 ° • Bölge-5	**Döküntü Alanı ve Olası Boru Hattı**
	**25** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:28:48 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 40.75077' N 026° 42.28271' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 9447 • Hedef Mesafesi: 81.31 Meters • Towfish Yüksekliği: 24.65 Meters • Heading: 313.100 ° • Bölge-5	**Olası Boru Hattı**
	**26** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:36:45 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 41.16351' N 026° 42.24953' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 11809 • Hedef Mesafesi: 69.93 Meters • Towfish Yüksekliği: 27.11 Meters • Heading: 308.800 ° • Bölge-5	**Trol Aktivitesi İzi**

	**27** • Bulgu Tarihi: 06/03/2021 06:42:20 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 41.45612' N 026° 42.21031' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 13467 • Hedef Mesafesi: 83.06 Meters • Towfish Yüksekliği: 27.83 Meters • Heading: 307.200 ° • Bölge-5	**Yoğun Trol Aktivitesi İzleri ve Morfoloji Değişimi**
	**28** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 14:57:04 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.24998' N 026° 45.49262' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 90088 • Hedef Mesafesi: 97.34 Meters • Towfish Yüksekliği: 23.77 Meters • Heading: 336.000 ° • Bölge-4	**Deniz Çayırları**
	**29** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 15:03:10 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.31682' N 026° 45.89968' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 91903 • Hedef Mesafesi: 91.76 Meters • Towfish Yüksekliği: 19.19 Meters • Heading: 332.000 ° • Bölge-4	**Deniz Çayırları**
	**30** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 15:12:33 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.60620' N 026° 46.00758' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 94689 • Hedef Mesafesi: 85.72 Meters • Towfish Yüksekliği: 18.04 Meters • Heading: 297.400 ° • Bölge-4	**Deniz Çayırları**

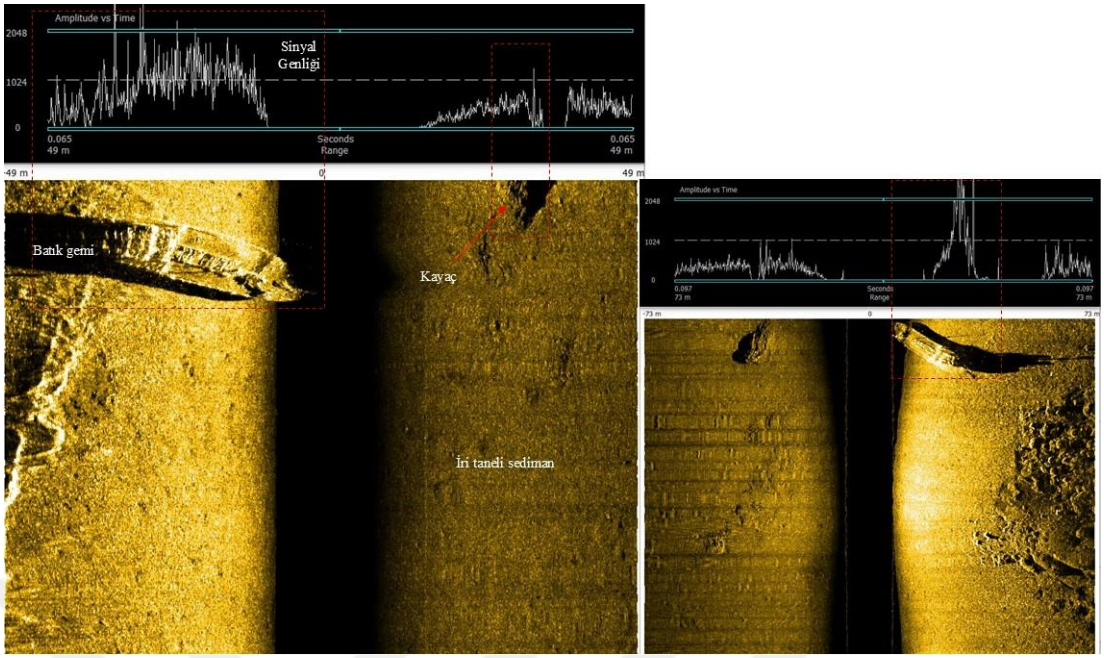
	**31** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 15:23:53 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.71852' N 026° 45.29032' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 98057 • Hedef Mesafesi: 54.51 Meters • Towfish Yüksekliği: 17.09 Meters • Heading: 261.100 ° • Bölge-4	**Deniz Çayırları ve Trol Aktivitesi İzleri**
	**32** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 15:23:13 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.80763' N 026° 45.29176' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 97856 • Hedef Mesafesi: 89.69 Meters • Towfish Yüksekliği: 16.06 Meters • Heading: 260.300 ° • Bölge-4	**Trol Aktivitesi İzi**
	**33** • Bulgu Tarihi: 10/26/2021 15:24:54 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 38° 12.73884' N 026° 45.17577' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N • Ping No: 98357 • Hedef Mesafesi: 67.37 Meters • Towfish Yüksekliği: 17.98 Meters • Heading: 259.800 ° • Bölge-4	**Deniz Çayırları**
	**34** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 14:03:20 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.48688' N 027° 39.78134' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N kayalik2.xtf • Ping No: 67604 • Hedef Mesafesi: 5.96 Meters • Towfish Yüksekliği: 7.11 Meters • Heading: 61.300 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**

	**35** • Bulgu Tarihi: 05/16/2015 14:03:13 • Bulgu Konumu (Lat/Lon Coordinates) 36° 59.46830' N 027° 39.79433' E (WGS84) • Harita Proj: UTM84-35N kayalik2.xtf • Ping No: 67537 • Hedef Mesafesi: 32.43 Meters • Towfish Yüksekliği: 6.62 Meters • Heading: 61.800 ° • Bölge-2	**Kayalık Alan**

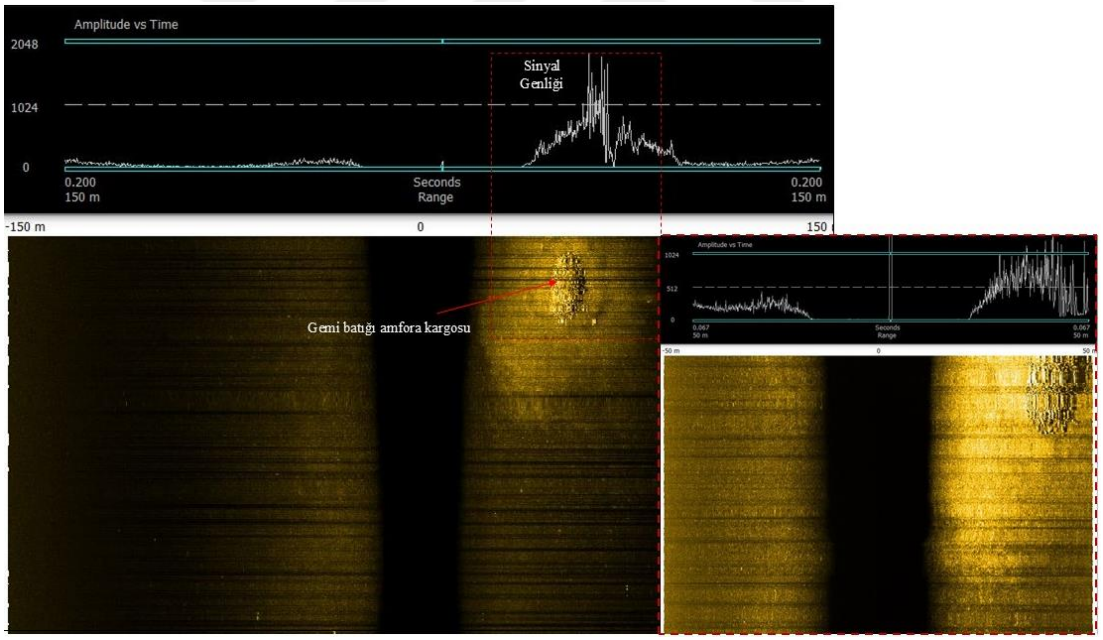
Elde edilen yandan taramalı sonar verilerinde farklı bulgular için sinyal frekans genliği-zaman grafikleri incelenmiştir (Şekil 3.33'den Şekil 3.38'e kadar).



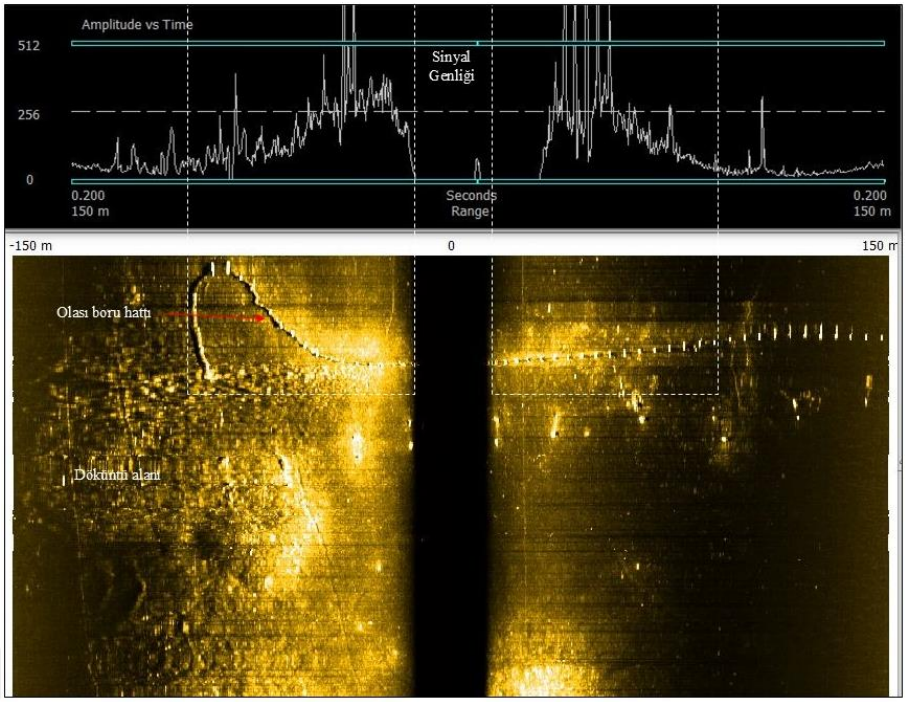
Şekil 3.33 Sonar verisinde kayalık alanlar ve sinyal frekans genlikleri



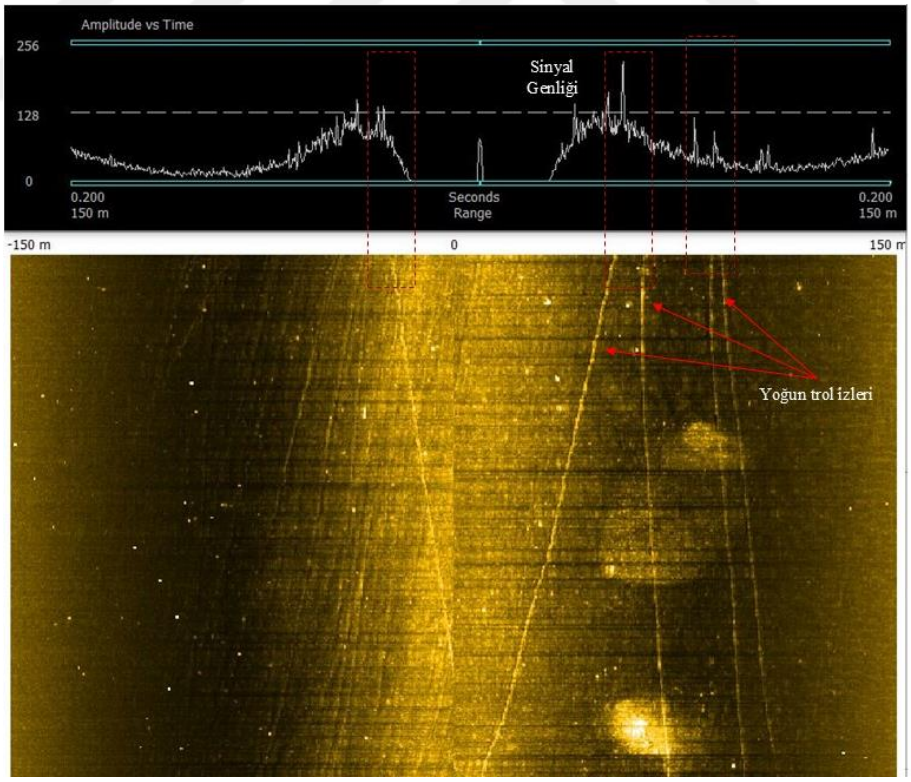
Şekil 3.34 Sonar verisinde sac gemi batığı ve kayaca ait sinyal frekans genlikleri



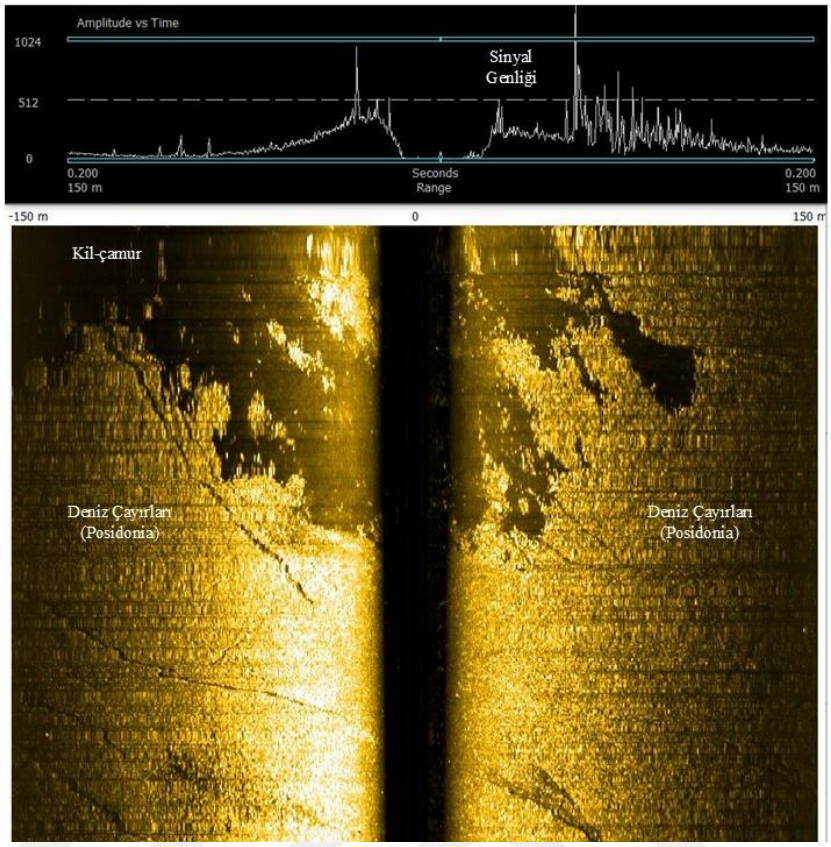
Şekil 3.35 Sonar verisinde gemi batığı kargosu (amfora) sinyal frekans genlikleri



Şekil 3.36 Sonar verisinde olası boru hattı ve döküntü alanı sinyal frekans genlikleri

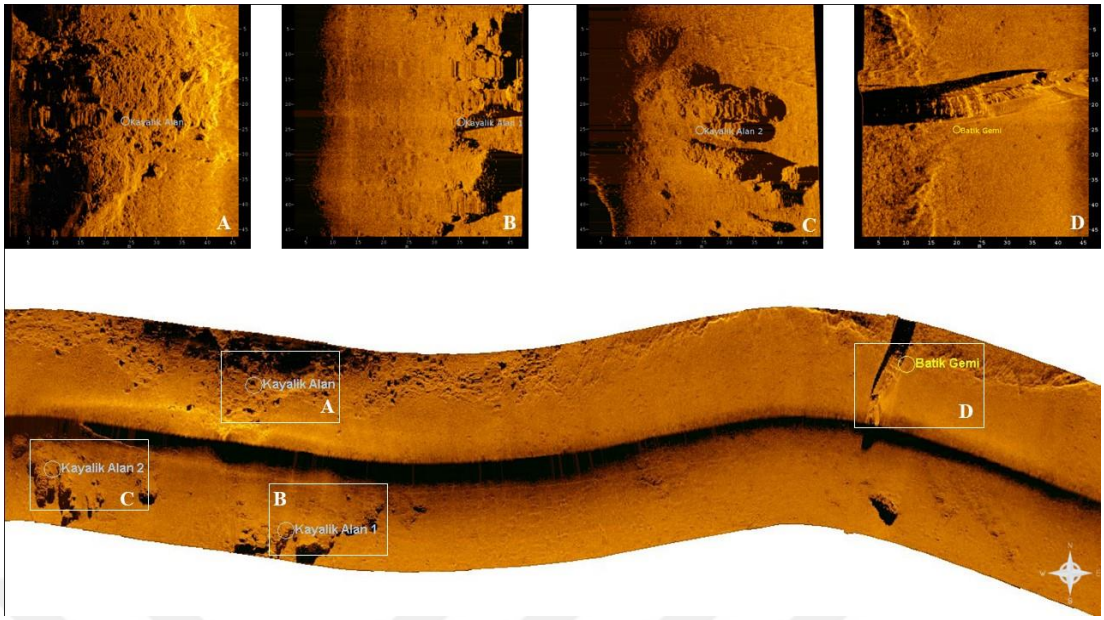


Şekil 3.37 Sonar verisinde trol izleri sinyal frekans genlikleri

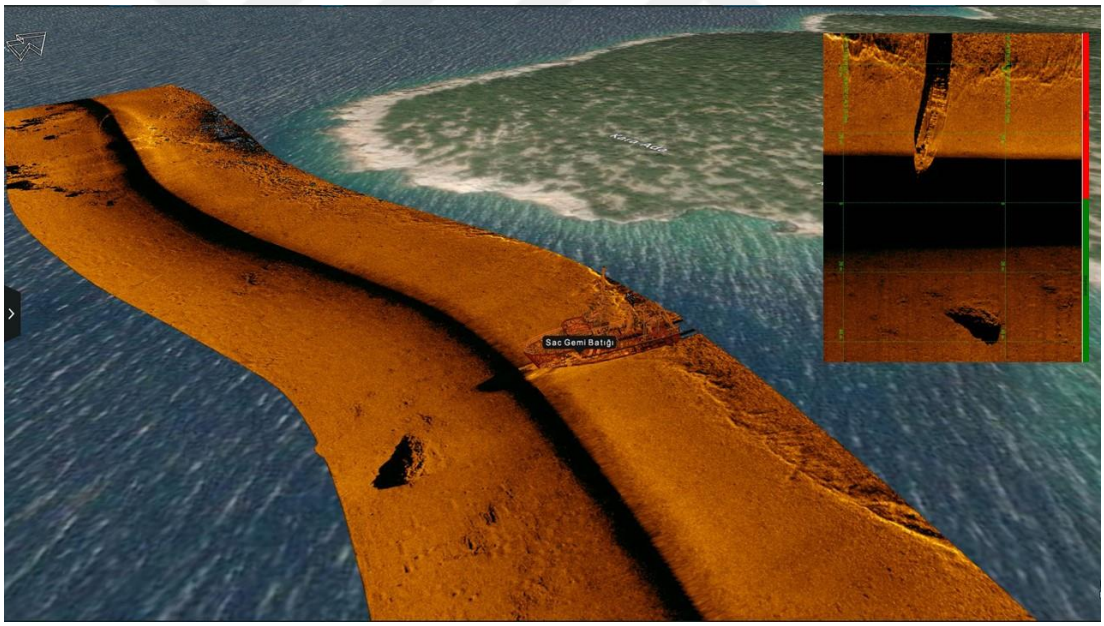


Şekil 3.38 Sonar verisinde deniz çayırları ve sediman birimi sinyal frekans genlikleri

Deniz uzaktan algılama teknikleri, hızlı, hassas ve tahribatsız teknikler olmaları nedeniyle sualtı kültürel varlıklarının tespiti, haritalanması ve yönetimi için dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır (Geraga vd., 2020), (Kızıldağ, 2022). Yandan taramalı sonarlar menzil (range) ve frekans parametreleri çalışma amacına uygun seçildiğinde ve deniz tabanından optimal seviyede (range değerinin %10-20 si kadar) çekildiğinde deniz tabanının yüksek ayrımlı akustik kesitlerini sunmaktadır. Elde edilen sonar verilerinde deniz tabanı sınıflandırması ve nesnelerin doğru yorumlanması uygun parametre değerleri ile uygulanacak genlik kazancı sayesinde daha kesin olacaktır. Aşağıda uygun parametreler ile genlik kazancı uygulanmış 900 kHz yandan taramalı sonar verisinden elde edilen akustik kesitlerde sac malzemeden yapılmış batık gemi bulgusu ve kayalık alanlar yorumlanmıştır (Şekil 3.39 ve Şekil 3.40). Kayalık alanlar ve batıklar yoğunluk ve fiziksel yapılarından dolayı gelen akustik sinyali güçlü yansıtıcı özellik gösterirler ve sonar görüntülerinde deniz tabanını oluşturan sediman biriminden farklı genliklerle ifade edilirler.

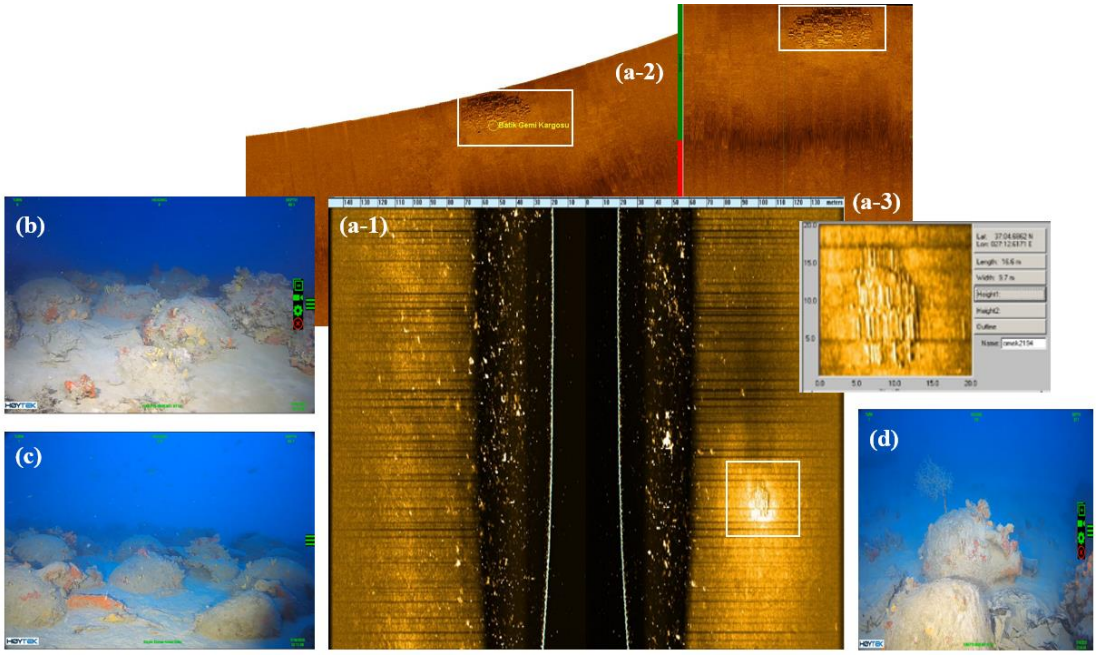


Şekil 3.39 Yüksek frekanslı (900 kHz) yandan taramalı sonar verisinde (a), (b), (c) kayalık alan, (d) sac gemi batığı (TUBEP arşivi)



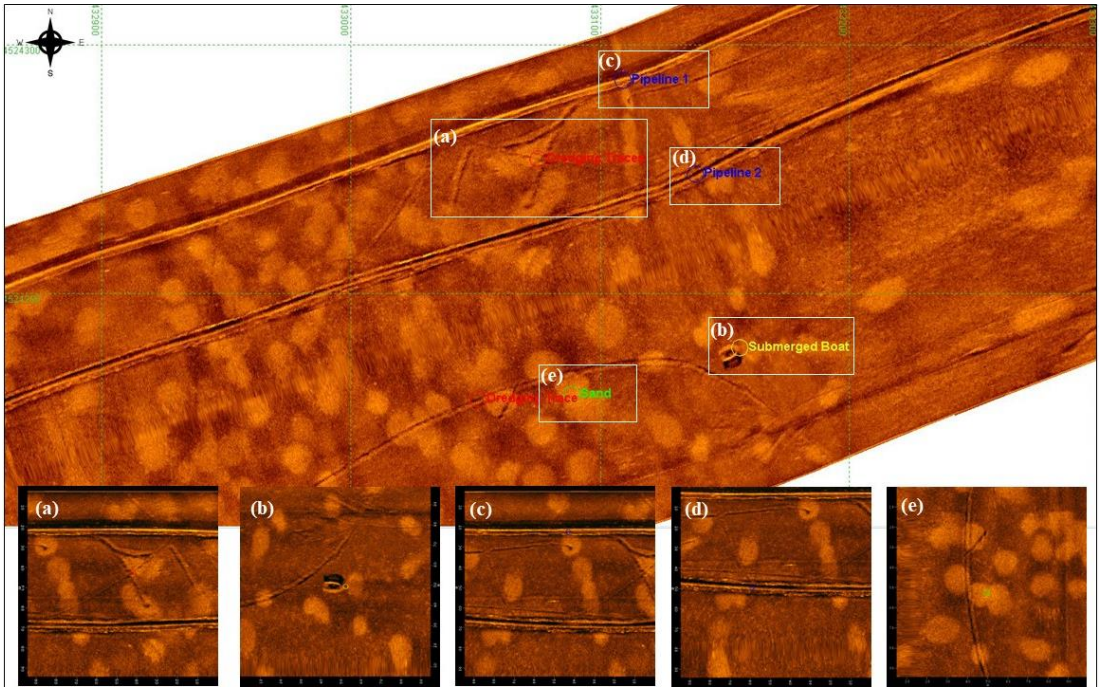
Şekil 3.40 Sonar verisi üzerinde sac gemi batığı model görüntüsü (TUBEP arşivi)

Antik dönem gemilerinin yapı malzemesini ahşap elemanlar oluşturmaktadır, bu nedenle antik dönem gemi batıklarında geminin ahşap gövdesi oksijen ile kimyasal reaksiyona girerek zamanla çürür ve gemi enkazından geriye yalnızca geminin kargosu kalır (Şekil 3.41).

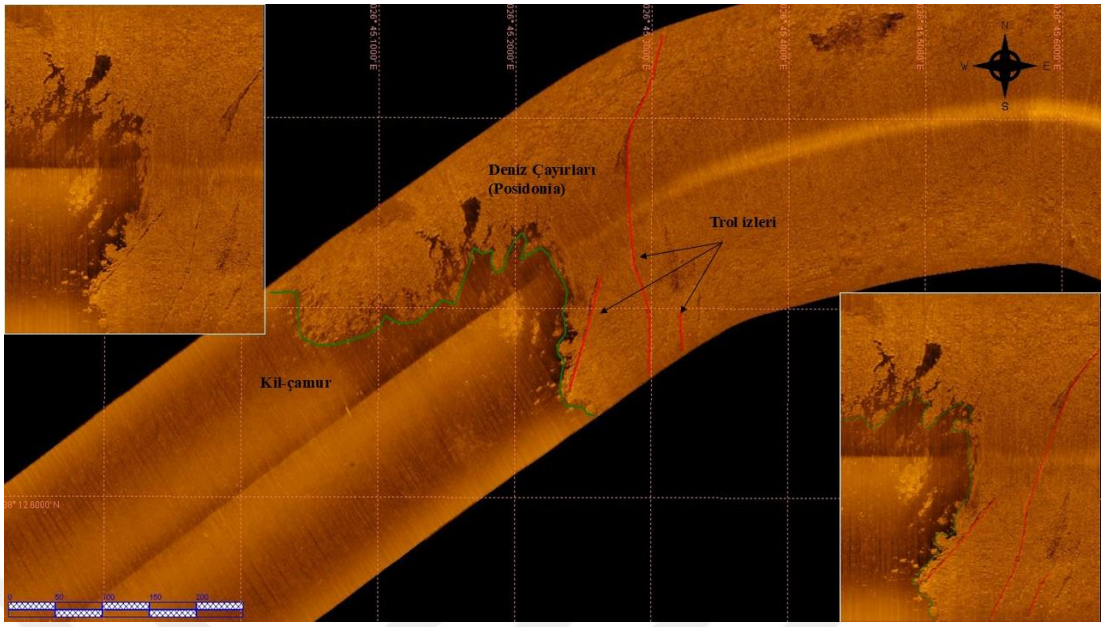


Şekil 3.41 (a-1,2,3) Eski bir gemi enkazının kargolarının yandan taramalı sonar görüntüleri, (b), (c), (d) uzaktan kumandalı araç (ROV) görüntüleri (TUBEP arşivi)

Batıklar, boru ve kablo hatları gibi akustik sinyali yüksek genlikte yansıtma karakteristiğine sahip nesneler yandan taramalı sonar kesitlerinde bulundukları ortama göre çok yüksek ekolu yansımalarla ifade edilirler (Şekil 3.42).

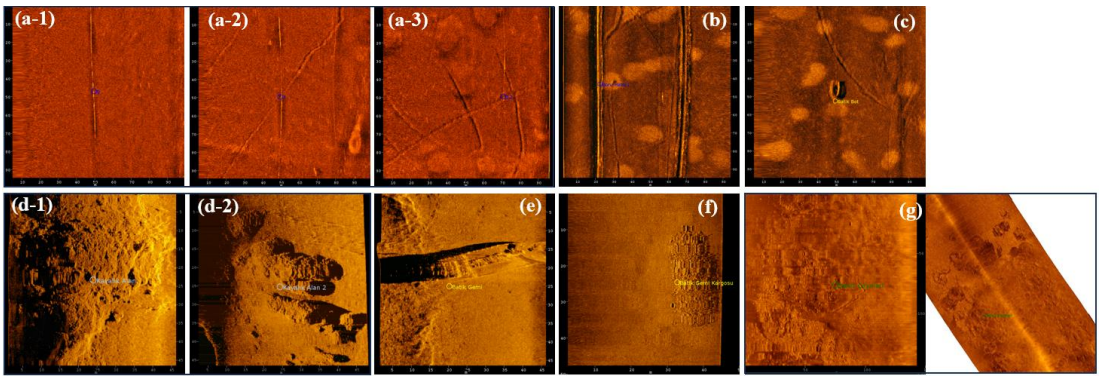


Şekil 3.42 400 kHz yandan taramalı sonar kaydında; (a) çapa tarama izleri (b) batık tekne (c), (d) doğal gaz boru hattı (e) kum-ince taneli tortu (GM Denizcilik sualtı araştırmaları)



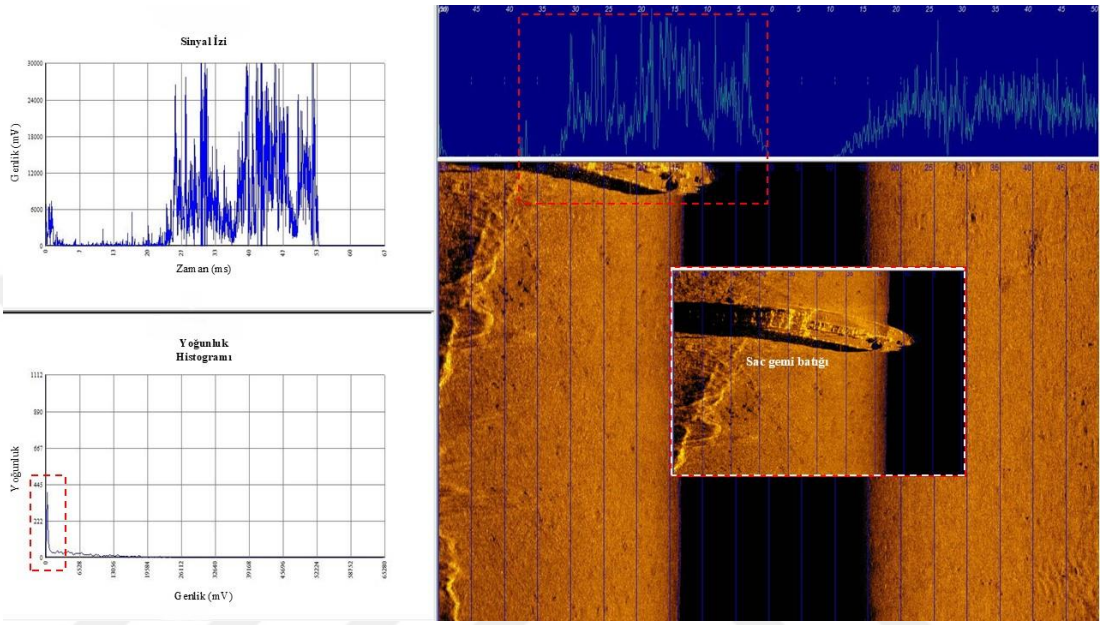
Şekil 3.43 Yandan taramalı sonar kaydında deniz çayırları, trol izleri ve kil-çamur morfolojisi (TUBEP arşivi)

Deniz tabanının ince taneli sediman yapısı, deniz çayırları gibi biyolojik unsurlar ve çapa aktivitesine bağlı tabandaki deformasyonlar yandan taramalı sonar kesitlerinde etrafına göre faklı genlikli ekolar ile ifade edilecektir (Şekil 3.43)

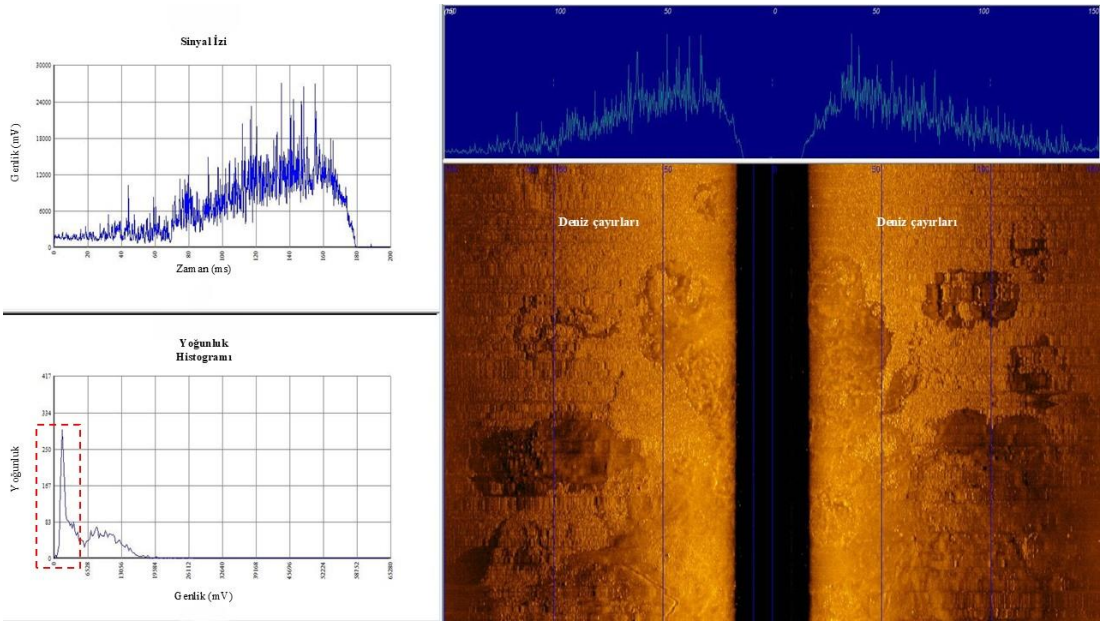


Şekil 3.44 Yandan taramalı sonar görüntüleri (a-1,2,3) deniz altı kablosu akustik izleri, (b) doğal gaz boru hatları, (c) batık sac tekne, (d-1,2) kayalık alan, (e) sac metal gemi enkazı, (f) eski gemi enkazı kargoları, (g) deniz çayırları

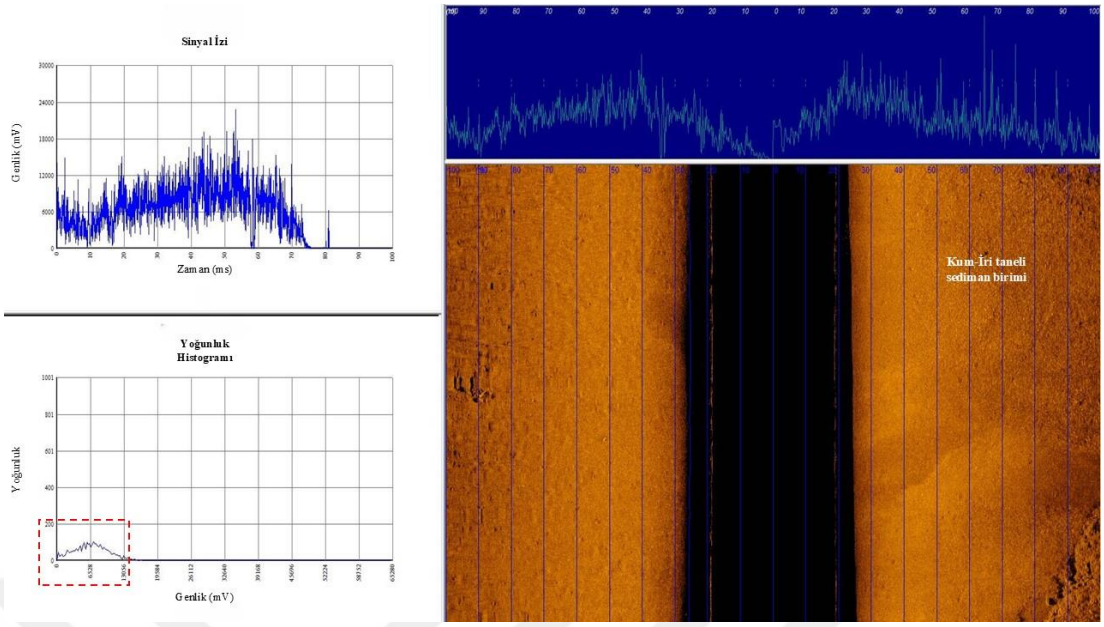
Sonar kayıtlarında bulguların kendilerine has yoğunluk, entropi, fiziksel (tane boyutu) ve geometrik özelliklerine bağlı frekans yansıma ve saçınım genlikleri onları etrafındaki jeomorfolojik sediman biriminden farklı kılar (Salsabila, 2023). Şekil 3.45'dan 3.49'a kadar farklı unsurlarının sinyal analizi ile frekans genlikleri ve yoğunluk parametreleri incelenmiştir.



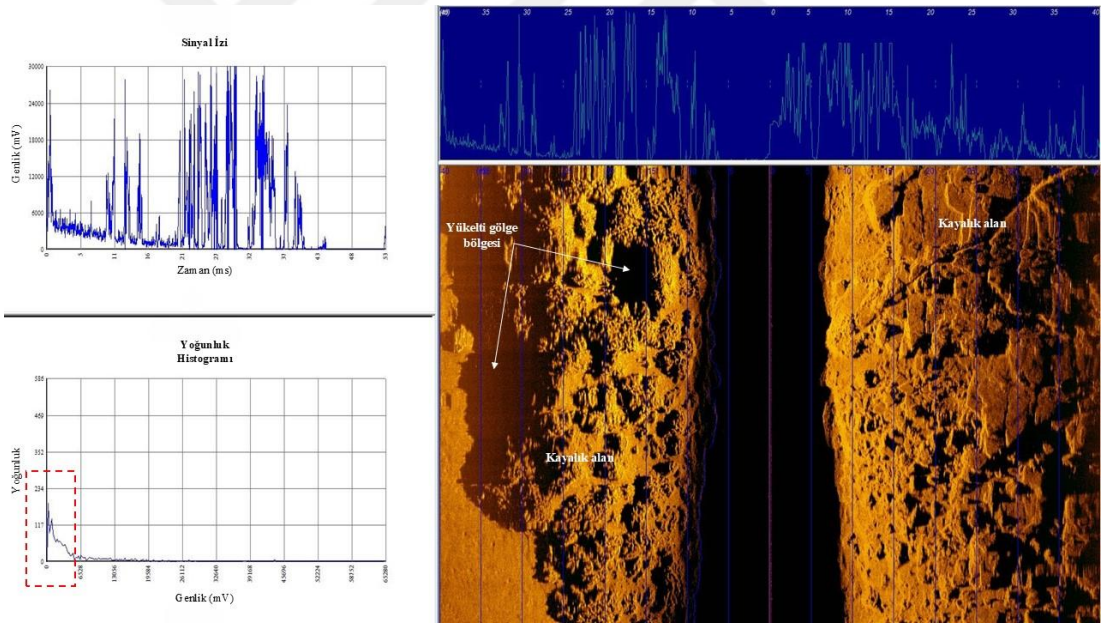
Şekil 3.45 Sonar verisinde saç gemi batığına ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği



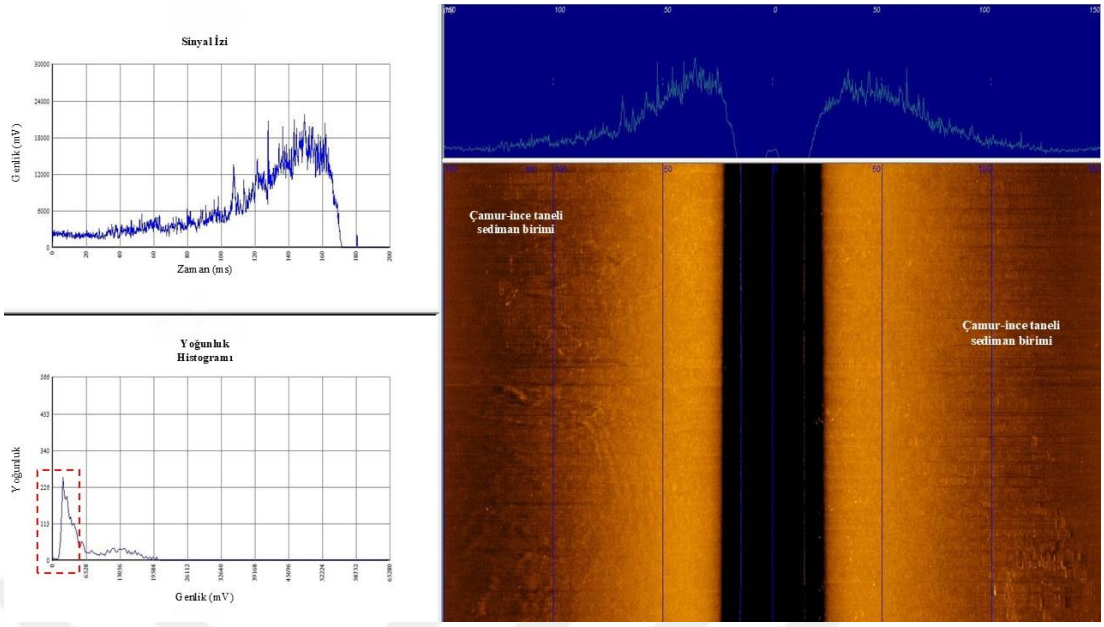
Şekil 3.46 Sonar verisinde deniz çayırlarına ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği



Şekil 3.47 Sonar verisinde kum-iri taneli sediman birimi sinyal genlik ve yoğunluk grafiği



Şekil 3.48 Sonar verisinde kayalık alana ait sinyal genlik ve yoğunluk grafiği

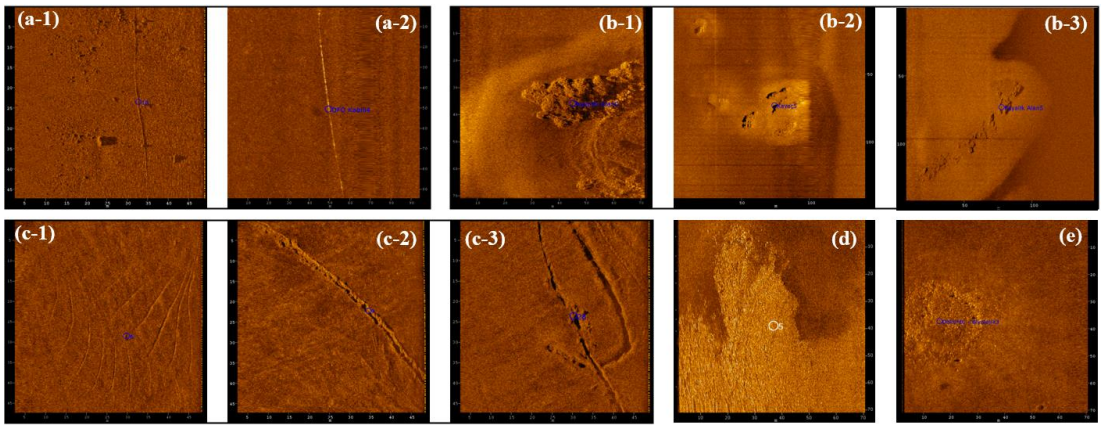


Şekil 3.49 Sonar verisinde çamur-ince taneli sediman (kil) birimi sinyal genlik ve yoğunluk grafiği

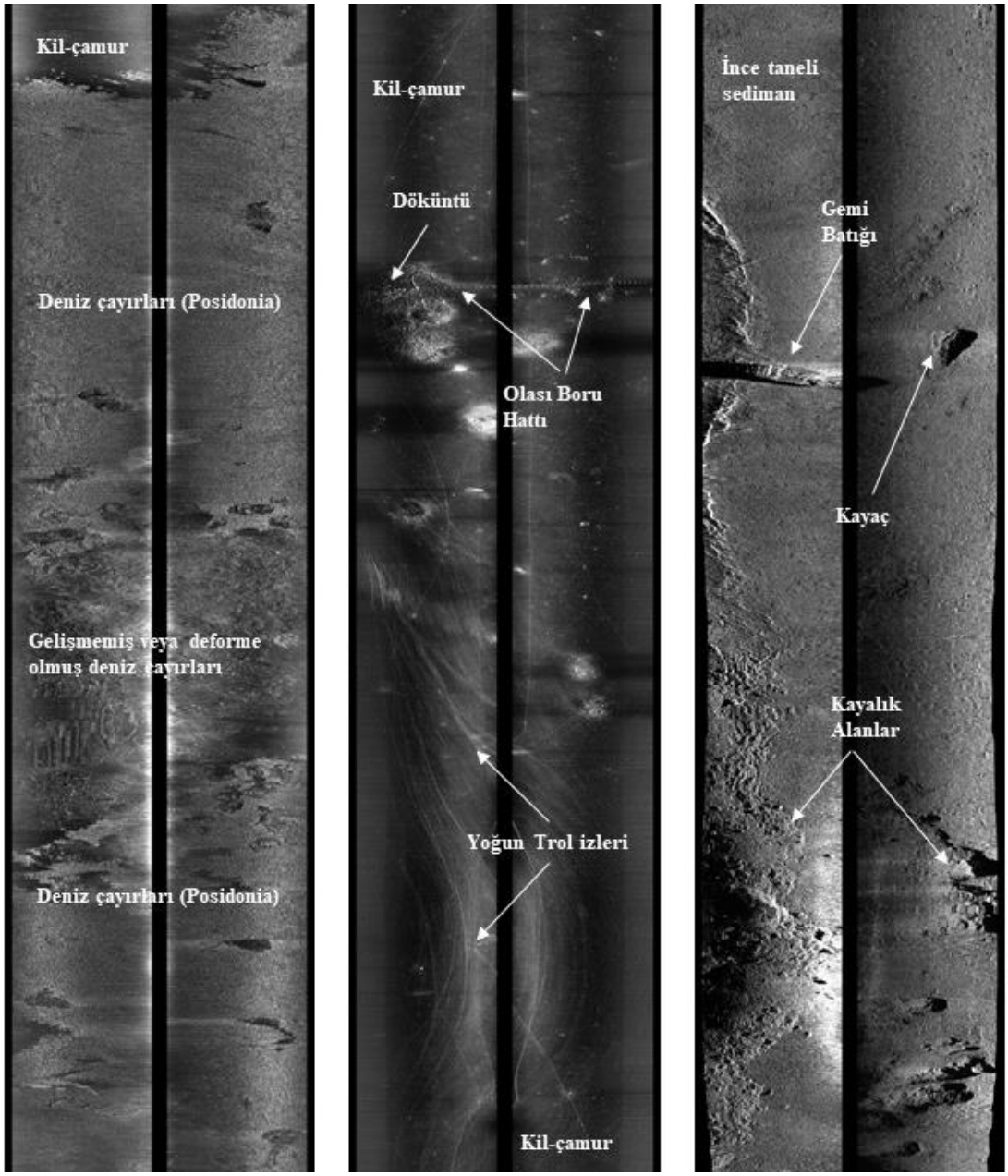
Tablo 3.5 Farklı deniz tabanı unsurları için saçınım yoğunluğu ve genlik parametreleri (işlenmiş veri)

Sonar	Sediman Birimi	Saçınım Yoğunluğu	Genlik (mV)
Klein 3000H 445 – 900 kHz	Kil-çamur	210-230	<18000
	Kayalık alan	170-200	<26000
	Deniz çayırları	220-290	<20000
	Sac batık	280-410	<30000

Şekil 3.50'de yandan taramalı sonar verilerinde deniz tabanındaki farklı doğal ve yapay bulgulara ait kesitler gösterilmiştir.



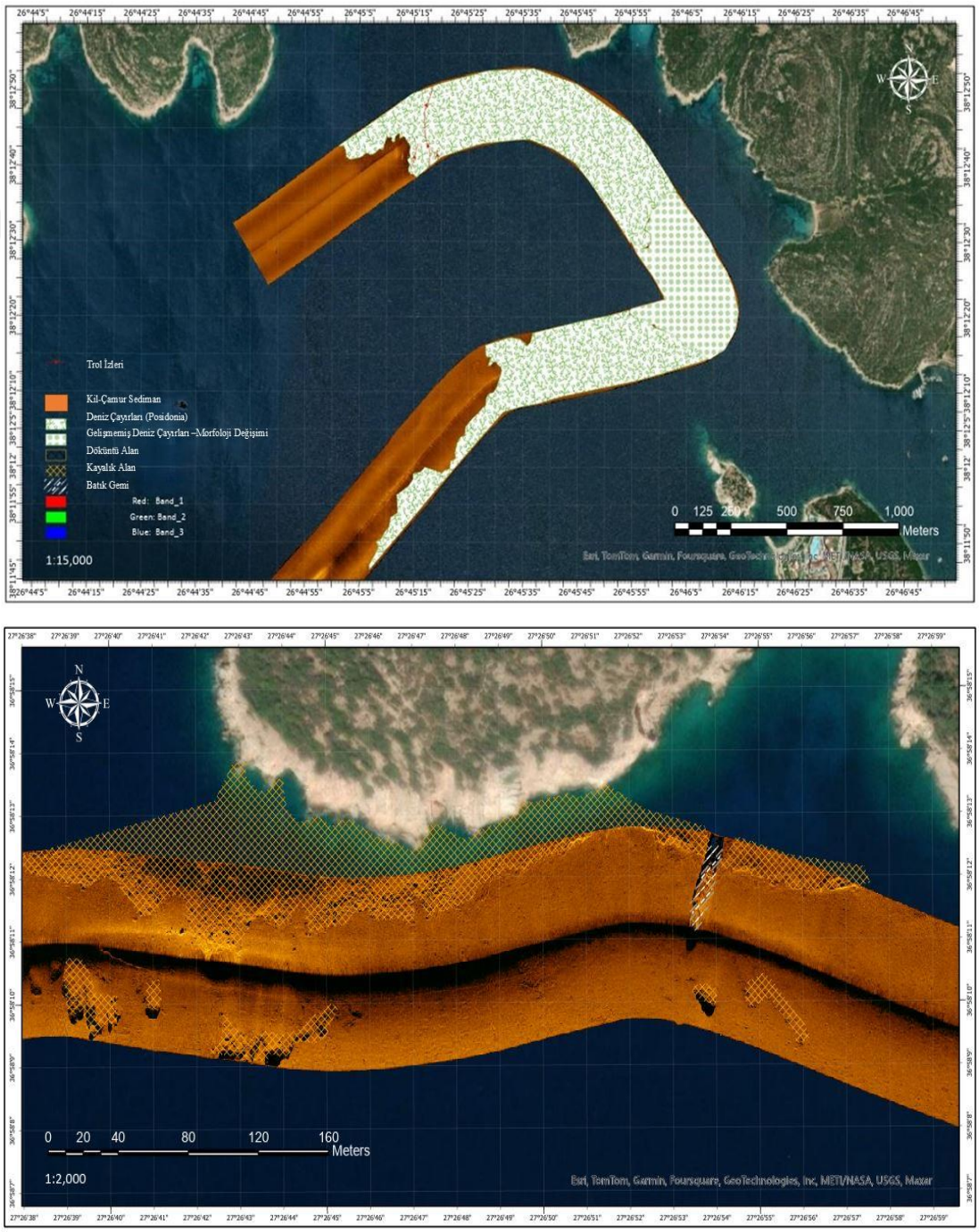
Şekil 3.50 Yandan taramalı sonar görüntüleri (a-1,2) deniz altı kablosu akustik izleri, (b-1,2,3) kayalık alanlar, (c-1,2,3) derin tarama ve çapa-trol izleri, (d) farklı deniz tabanı tortuları, (e) döküntü veya biyolojik unsurlar (GM Denizcilik sualtı araştırmaları)



Şekil 3.51 Deniz tabanı sınıflandırma yorumları (TUBEP arşivi)

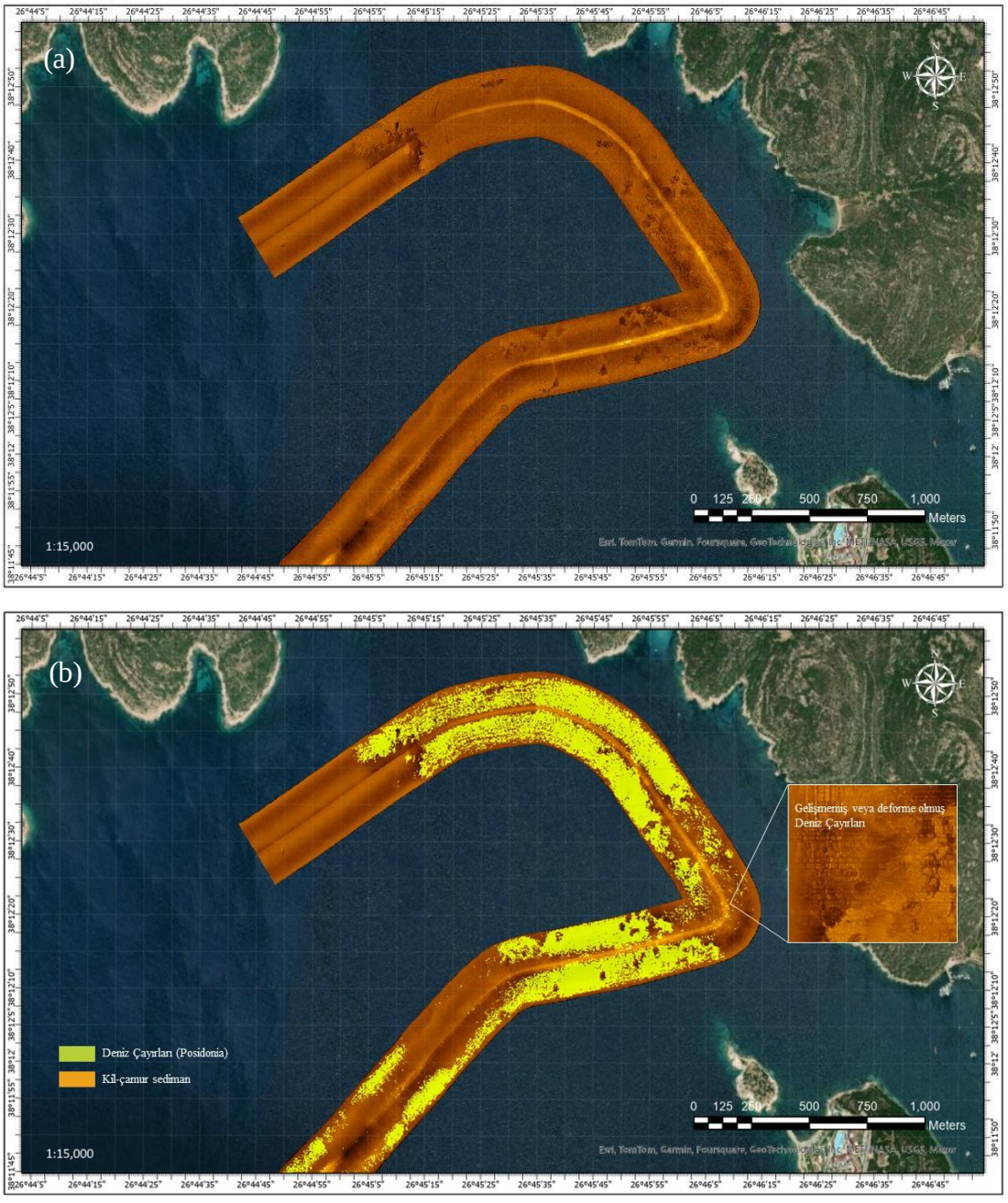
Deniz tabanında farklı yoğunluk, entropi ve fiziksel özelliklere sahip bulguların yandan taramalı sonar görüntülerinde grinin tonları şeklinde akustik imajları Şekil 3.51'de verilmiştir. Sonar kayıtlarındaki sediman birimlerinde koyu tonlamalar maddesel yoğunluğu daha yüksek birimleri ifade etmektedir.

Kayalık alanlar ve biyolojik unsurlar bulundukları alandaki deniz tabanı sedimanlarından kolayca ayırt edilebilmektedir. Özellikle deniz çayırları gibi biyolojik kökenli birimler ve bu alanlardaki çapa ve balıkçılık aktivitelerine bağlı tahribatlar yandan taramalı sonar yönteminin etkinliğini ön plan çıkaran araştırma konularıdır (Şekil 3.37).



Şekil 3.52 Farklı bölgelere ait yoruma dayalı ölçekli deniz tabanı sınıflandırma haritaları

Geliştirilen deniz tabanı sediman sınıflandırma algoritmaları, görüntü işlemeye dayalı olarak, yoğunluk, entropi ve standart sapma parametrelerini kullanır. Şekil 3.52'de verilen yoruma dayalı deniztabanı sınıflandırma haritasının SonarWiz yazılım algoritmasında deniz tabanı sediman yoğunluk parametresine bağlı olarak görüntü kontrast, enerji ve homojenliğinin sınanması ile yapılan sediman sınıflandırma haritası şekil 3.53' de verilmiştir.



Şekil 3.53 (a) Sonar kesiti haritası ve (b) SonarWiz yazılımında sediman sınıflandırma haritası

BÖLÜM DÖRT
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deniz uzaktan algılama teknikleri, hızlı, hassas ve tahribatsız teknikler olmaları nedeniyle deniz tabanı ve sualtı kültürel varlıklarının tespiti, haritalanması ve yönetimi için dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır (Geraga vd., 2020 ve Kızıldağ, 2022). Büyük ölçekli deniz tabanı alanlarını hızlı bir şekilde araştırmaya olanak sağlayan ve yüksek çözünürlüklü bir uzaktan algılama teknolojisi olan yandan taramalı sonar sistemleri deniz tabanı akustik görüntüleme çalışmalarında en temel yöntemdir. En uygun veri toplama teknikleri kullanılarak yüksek çözünürlüklü araştırma yapılması, hızlı ve doğru sonuçlar alınmasını ve sualtı robotları ile görüntüleme ve karot alma faaliyetlerinden önce geniş alanların taranarak haritalanmasını dolayısıyla zamandan ve bütçeden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Deniz tabanındaki küçük nesneleri bile gösteren yüksek çözünürlüklü görüntüler üretmesi, geleneksel yöntemlere kıyasla büyük alanları hızlı bir şekilde taraması, otonom sualtı araçları gibi çeşitli platformlara monte edilebilmesi ve gerçek zamanlı veri sunması açısından büyük avantaja sahiptir Antik çağdan modern zamanlara kadar batmış gemileri tespit edip haritalamak, deniz çayırları ve mercan resifleri gibi denizel habitatı görüntüleyerek sınıflandırmak, deniz tabanının jeomorfolojik özelliklerini belirlemek, kum hareketlerini inceleyerek oşinografik bilgi elde etmek, kablo ve boru hatlarını görüntülemek gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır.

Deniz tabanının doğal jeolojik ve jeomorlolojik yapısını kum-kil-silt gibi ince taneli sedimanlar, çakıl, kayalık alanlar, çamur ve biyolojik kökenli deniz çayırları, kestaneler, resifler, kabuklu canlı toplulukları gibi habitatlar oluşturmaktadır. Deniz tabanında batıklar ve boru hatları gibi insan yapımı unsurlar başta olmak üzere kayalık alanlar, kabuklu canlıların biyolojik birikimleri, deniz tabanındaki yüzeysel deformasyonlar, çakıl içerikli sedimanlar, ince taneli kum-kil-silt sedimanları ve yüksek gözenekli çamur yapıları, deniz çayırları ve resif yapıları akustik sinyali farklı genliklerde yansıtma özelliği göstermektedir. Veri işlem sürecinden geçmiş sonar verilerinde görüntü ve akustik sinyalin yoğunluk-genlik analizi ile farklı deniz tabanı unsurları değerlendirilmiştir. Yoğunluk, entropi, tane boyutu gibi başlıca özellikleri

farklı olan sediman birimleri ve yapay maddeler farklı saçınım yoğunluğu ve frekans genlikleri ile sonograflarda yer bulmaktadır (Tablo 3.5).

Deniz endüstrisinin gelişmesi ile birlikte artan mühendislik yapıları, rüzgar türbinleri, doğalgaz, petrol platform ve boru hatları, enerji ve telekomünikasyon kablo hatları, meteoroloji ve sismik istasyonları, sualtı arkeolojisi kültürel mirası, deniz çiftlikleri, ekoloji, iklim ve çevresel etki değerlendirme ihtiyacı deniz tabanı ve taban altı yapısını tespit ederek haritalandırma ihtiyacını arttırmıştır. Ek olarak uluslararası deniz tabanı haritalama planlamaları, (Seabed 2030) özel çevre koruma bölgeleri, deniz çayırı ve biyolojik alanlar ile sualtı kültür mirasının araştırılması ve haritalanmasında sonar sistemlerinin yetkinliği nedeniyle sualtı araştırmalarında sonarların etkin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Yaygınlığı artan sonar çalışmaları bu alanda gelişmeleri hızlandırmış ve verilerin daha hızlı değerlendirilmesi ve sınıflandırılması üzerine yazılımlar geliştirilmiştir. Derin öğrenmenin bilgisayar görüşü ve ilgili alanlardaki başarılarından esinlenerek, sualtı görüntüleme uygulamalarına yönelik araştırmalar başlamıştır (Qin vd., 2021). Deniz tabanı sediment sınıflandırmasında sonar akustik görüntülerine dayanan istatiksel yapay zeka tabanlı algoritmalar geliştirilmekte ve bu konuda çalışmalar literatürde devam etmektedir. Deniz tabanı araştırmaları için optik fotoğrafik görüntüler ve akustik görüntüler olmak üzere iki veri türü vardır. Akustik görüntülerde farklı bulguların sinyal analizleri ile bu tür makine öğrenmesine bağlı algoritma çalışmalarında doğruluğu arttırmak için yüksek ölçekte veri kümeleri sağlanmalıdır ve akustik veri sınıflandırmasında fotogrametri görüntüleri ile bütünleşik çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada deniz tabanı jeomorfolojik özelliklerinden batmış gemilere kadar birçok farklı yüksek çözünürlüklü sonar görüntüsünden oluşan veri seti derlenerek karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Veri işlem teknikleri uygulanan veri setlerinde sonografları oluşturan sinyallerin frekans-genlik ve yoğunluk-genlik analizleri yapılmıştır. Bu veri setleri, sonar görüntü kalitesini ve nesne tanımayı artıran geliştirilmiş algoritmalara, deniz tabanı unsurları arasında ayrım yapmayı sağlayan görüntü ve sinyal analizi tabanlı yapay zeka entegrasyonu için daha sonra yapılacak olan çalışmalara temel teşkil edecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

Bangyan, Z., Xiao, W. (2019). Active learning for recognition of shipwreck target in side-scan sonar image. NanJing Research Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation, Co. Ltd., School of Geomatics and Marine Information, Huaihai Institute of Technology.

Blondel, P., Murton, B. J. (1997). Handbook of Seafloor Imagery. England: John Wiley & Sons

Blondel, P. (2010). The handbook of sidescan sonar. Springer Science & Business Media.

Caiyun Sun, Yi Hu, Peng Shi. (2020). Probabilistic neural network based seabed sediment recognition method for side-scan sonar imagery. National Center for Materials Service Safety, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

Chang, Y. S., Keh, J. E., Jo, H. G., & Lee, M. H. (2005). Development of the Side Scan Sonar Using the Multi-Beam Sensors: Sensor Design. The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers D, 54(10), 581-586.

Çiftçi, G., Dondurur, D., Okay, S. (2005). Yüksek Ayrımlı Deniz Jeofiziği Yöntemleri. İstanbul: Jeofizik Mühendisleri Odası.

Dondurur, D., 2018. Acquisition and Processing of Marine Seismic Data, Elsevier Science Publishing Co., 608 pages, ISBN 9780128114902.

Drap, P., Merad, D., Hijazi, B., Gaoua, L., Nawaf, M. M., Saccone, M., Chemisky, B.Seinturier, J., Sourisseau, J. - C., Gambin, T., & Castro, F. (2015). Underwater photogrammetry and object modeling: A case study of Xlendi Wreck in Malta. Sensors, 15(12), 30351-30384.

Flemming, P.W (1976). Side scan sonar A pratical guide, The Intern. Hydrog. Rev., 53(1), 20-26.

Geraga, M., Christodoulou, D., Eleftherakis, D., Papatheodorou, G., Fakiris, E., Dimas, X., Ferentinos, G. (2020). Atlas of Shipwrecks in Inner Ionian Sea (Greece): A Remote Sensing Approach. Heritage, 3(4), 1210–1236.

Greene, A., Rahman, A. F., Kline, R., & Rahman, M. S. (2018). Side scan sonar: A cost-efficient alternative method for measuring seagrass cover in shallow environments. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 207, 250-258.

Hamouda, A., Soliman, K., El-Gharabawy, S., & Nassar, M. (2019). Comparative study between acoustic signals and images for detecting seabed features. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 45(2), 145-151.

Hamouda, A. Z., Nassar, M. A., & El-Gharabawy, S. M. (2021). Distinguish seabed objects utilizing different marine acoustic techniques. Egyptian Journal of Petroleum, 30(3), 45-51.

Jones, E. J. W. (1999). Marine Geophysics. West Sussex: John Wiley and Sons.

Kızıldağ, N. (2022). Mapping and recording of ancient shipwrecks by using marine remote sensing techniques: Case studies from Turkish coasts. Marine science and technology bulletin, 11, 331-342.

Malinverno, A., Edwards, M. H., Ryan, W. B. F. (1990). Processing of seamarc swath sonar data. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 15, 14–23.

Manik, H. M., & Albab, A. (2021,). Side-scan sonar image processing: Seabed classification based on acoustic backscattering. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 944, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

Mazel, C. (1985). Side scan sonar training manual, New Hampshire: Klein Associates

Özdaş, H., Kızıldağ, N. (2020). Archeological Assessment of Two Naval Battlefields in Çeşme and Sinop, Turkey. Journal of Maritime Archaeology, 15(4), 365–392

Özturan, M. (2003). XTF formatlı yandan taramalı sonar verilerinin matlab yazılımları ile analizi ve deniz tabanı sınıflandırması. Phd Thesis. Istanbul University · Institute of Marine Sciences and Management.

Papatheodorou, G., Gerega, M. (2011). Remote sensing for underwater archaelogy: case studies from Greece and Eastern Mediterranean Sea.

Pillay, T., Cawthra, H.C., Lombard, A.T. (2020). Characterisation of seafloor substrate using advanced processing of multibeam bathymetry, backscatter, and sidescan sonar in Table Bay, South Africa. Department of Oceanography, Institute for Coastal and Marine Research, Nelson Mandela University.

Qin, X., Luo, X., Wu, Z., & Shang, J. (2021). Optimizing the Sediment Classification of Small Side-Scan Sonar Images Based on Deep Learning. IEEE Access, 9, 29416-29428.

Quinn, R., Dean, M., Lawrence, M., Liscoe, S., & Boland, D. (2005). Backscatter responses and resolution considerations in archaeological side-scan sonar surveys: a control experiment. Journal of archaeological science, 32(8), 1252-1264.

Salsabila, A.S., Manik, H.M., Mulyadi, D.S (2023). Side scan sonar data quantification for seabed classification in Yos Sudarso Bay, Jayapura, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Department of Marine Science and Technology, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

Sakellariou, D., Georgiou, P., Mallios, A., Kapsimalis, V., Kourkoumelis, D., Micha, P., Theodoulou, T., Dellaporta, K. (2007). Searching for ancient shipwrecks in the Aegean Sea: The discovery of Chios and Kythnos Hellenistic wrecks with the use of marine geological-geophysical methods International Journal of Nautical Archaeology36 (2), pp. 365-381

Subarsyah, H.M Manik, A.Albab. (2021). Side-scan sonar image processing: Seabed classification based on acoustic backscattering. Marine Geological Institute, Ministry of Energy and Mineral Resources, Bandung, Indonesia.

Trabant, P. K. (1984). Applied high-resolution geophysical methods: Offshore Geoengineering Hazard. Boston: International Human Resources Development Corporation Publication]