

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TAŞINABİLİR KÜLTÜR VARLIKLARINI
KORUMA VE ONARIM ANABİLİM DALI
SUALTI KÜLTÜR KALINTILARINI KORUMA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ *IN SITU*
KORUMA YÖNTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

HİRANUR GÜLTEKİN

2501180860

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. NAMIK KILIÇ
İSTANBUL 2022

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TAŞINABİLİR KÜLTÜR VARLIKLARINI
KORUMA VE ONARIM ANABİLİM DALI
SUALTI KÜLTÜR KALINTILARINI KORUMA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ *IN SITU*
KORUMA YÖNTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

HİRANUR GÜLTEKİN

2501180860

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. NAMIK KILIÇ

İSTANBUL 2022

ÖZ

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ *IN SITU* KORUMA YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hiranur GÜLTEKİN

Sualtı kültür mirasının *in situ* koruması, 2001 yılında kabul edilen UNESCO 'Sualtı Kültür Mirasının Korunmasına İlişkin Sözleşme'de planlanan ilk faaliyet olarak kabul edilmiştir. Yerinde koruma Türkiye gibi yoğun sualtı kültürel mirasa sahip ülkelerde; koruma ve onarım uygulamalarının uzun sürmesi, kazı ve konservasyon çalışmalarının yüksek maaliyeti gibi nedenlerle tercih edilmektedir.

Kültür varlığı barındıran bir sualtı alanında, *in situ* korumaya karar verebilmek için öncelikle korunması amaçlanan alanın belgelenmesi gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerin yanı sıra modern yöntemlerin de kullanıldığı belgeleme sırasında; kültür varlıklarını çevreleyen deniz suyu ve sedimentin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri kayıt altına alınmaktadır. Bölgenin jeolojik yapısı, kültür varlıklarının korunma düzeyi ve alanı etkileyen insani risk faktörleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece; alanda uygulanacak en etkili koruma yöntemi belirlenmektedir. Kullanılan yöntemler, farklı çevre koşullarında farklı malzeme türlerinde daha uzun süreli koruma sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada; sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması için risk faktörleri, bu risk faktörlerinin kültür varlıkları üzerindeki etkileri, bugüne kadar yürütülen uluslararası projeler ile örneklendirilerek irdelenmiştir. Koruma projeleri; uygulama teknikleri ve güncel veriler, alan yazının betimsel tarama yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İncelemeler yapılırken; tuzlu suda bulunan kültür varlıkları üzerinde çalışmalar yürütülmüş, tatlı su ve acı suda bulunan kültür varlıkları tez kapsamına dahil edilmemiştir.

Barajlar gibi insan etkisiyle sualtında kalan kültür varlıkları değil, doğal nedenlerle sualtında kalmış kültür varlıkları incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Sualtı kültür varlıkları, *in situ* koruma, yeniden gömme, bozulma faktörleri, bozulma türleri.



ABSTRACT

EVALUATION OF *IN SITU* PRESERVATION METHODS OF UNDERWATER CULTURAL HERITAGE

Hiranur GÜLTEKİN

The UNESCO Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage, adopted in 2001, presents in situ preservation of the underwater cultural heritage as the first planned activity. In situ preservation is preferred by the countries with an extensive underwater heritage like Turkey due to the reasons such as the long duration of conservation practices and the high cost of excavation and conservation process.

The underwater area containing cultural heritage must firstly be documented in order to decide whether it is appropriate for in situ preservation or not. During the documentation process in which both modern and traditional methods are used, physical, chemical, and biological properties of the seawater and the sediment surrounding cultural heritage are recorded. Also, the geological structure of the region, the deterioration level of the cultural heritage, and human risk factors affecting the area should be considered during the documentation process. In this way, the most effective protection method to be applied in the area is determined. It is important since the methods used can provide longer-term protection for different types of materials under different environmental conditions.

In this study, the risk factors for in situ preservation of underwater cultural heritage and the effects of these risk factors on cultural properties are examined by exemplifying international projects carried out between 2000 and 2022. Application techniques and current data of the projects were examined by using the descriptive survey method. During the examinations, studies were carried out on cultural heritage found in seawater. Cultural

heritage found in fresh water and brackish water was not included in the scope of the thesis. A cultural heritage that remained underwater for natural reasons, and not a cultural heritage that has remained underwater due to human influence, such as dams, have been studied.

KEYWORDS: Underwater cultural heritage, *in situ* preservation, reburial, deterioration factors, deterioration types.



ÖNSÖZ

Bu çalışmada amacım, sualtı arkeolojik kültür varlıklarının *in situ* koruması üzerine yapılan uluslararası projeler ve Türkiye’de yürütülen çalışma örnekleriyle, modern koruma yaklaşımlarının önemini vurgulamaktır. Tüm bu süreçte birçok zorluk yaşayarak başladığım yolculuğu sonlandırmış bulunmaktayım. Sualtı Kültür Varlıklarını Koruma Yüksek Lisans Programı eğitim süreci olmanın ötesinde, akademik anlamda da kendimi geliştirmeme olanak sunmuştur. Bu süreçte her zaman bana destek olan sevgili annem Nejla Gültekin’e ve babam Ahmet Gültekin’e teşekkürü borç bilirim. Tez sürecinde verdikleri sonsuz emekten dolayı başta tez danışmanım Doç. Dr. Namık KILIÇ olmak üzere değerli hocalarım Prof. Dr. Ufuk KOCABAŞ’a ve Doç. Dr. Ayşem YANAR’a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca; Ankara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü bölüm başkanı Dr. Öğr. Üyesi Feryal SÖYLEMEZOĞLU ve diğer öğretim elemanlarına, bu çalışma sırasında benden hem bilimsel hem de manevi desteklerini esirgemedikleri için teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
RESİMLER LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvi
TABLolar LİSTESİ.....	xviii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xx
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xxii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ

IN SITU KORUMASINDA TEMEL KAVRAMLAR

1.1 Sualtı Kültür Varlıklarının Tanımı.....	3
1.2 Sualtı Kültür Varlıklarında <i>in situ</i> Korunma Yönteminin Tanımlanması.....	6
1.3 Sualtı Kültür Varlıklarının Belgelenmesinde Kullanılan Araçlar.....	12
1.4. Sualtı Kültür Varlıklarının Belgelenmesinde Kullanılan Yöntemler.....	17
1.4.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	17
1.4.2 Çizim ile Belgeleme.....	19
1.4.3 Tarama Yöntemleri ve Üç Boyutlu Görüntüleme.....	24

1.5 Sualtı Kültür Varlıklarını <i>in situ</i> Korunmasında Kullanılan Analizler.....	25
1.5.1 Sualtı Çevre Koşullarının Analizi.....	25
1.5.2 Kültür Varlıklarının Analizi.....	31
1.6 <i>In situ</i> Koruma Yöntemleri.....	34
1.6.1 <i>In situ</i> Onarım (<i>In situ Conservation</i>).....	35
1.6.2 <i>In situ</i> Koruma (<i>In situ Preservation</i>).....	39
1.6.2.1 Fiziksel Bariyer Oluşturma.....	39
1.6.2.2 Yeniden Gömme.....	45
1.6.2.3 Katodik koruma.....	48
1.6.2.4 Yerinde Koruma (<i>In situ Protection</i>) ve Sergi.....	50

İKİNCİ BÖLÜM

SUALTI ÇEVRE KOŞULLARININ ÖZELLİKLERİ

2.1 Dünya'nın Su Kütlesini İnceleyen Bilim Dalları.....	53
2.2 Su Döngüsü (Hidrolojik Döngü).....	57
2.3 Deniz Suyunun Özellikleri.....	59
2.3.1 Deniz Suyunun Kimyasal Özellikleri.....	60
2.3.1.1 Çözülmüş Gazlar.....	61
2.3.1.2 pH.....	63
2.3.1.3 Redox Potansiyeli (Eh): Deniz Suyunda Oksidasyon ve İndirgenme.....	65
2.3.2 Deniz Suyunun Fiziksel Özellikler.....	68
2.3.2.1 Tuzluluk.....	68
2.3.2.2 Işık.....	70

2.3.2.3 Deniz Suyunun Sıcaklığı.....	72
2.3.2.4 Bulanıklılık- Türbidite (<i>Turbidity</i>)	73
2.3.2.5 Akıntılar.....	74
2.4 Sediment Tabakasının Özellikleri.....	75
2.4.1 Sediment Tabakasının Kimyasal Yapısı.....	76
2.4.2 Sediment Tabakasının Fiziksel Yapısı.....	80
2.5 Sualtı Ortamının Ekolojik Özellikleri.....	83
2.6 <i>In situ</i> Korumada Önemli Olan Denizel Ekosistemin Biyolojik Unsurları...86	
2.6.1 <i>Teredo Navalis</i>	87
2.6.2 <i>Limnoria</i>	89
2.6.3 <i>Asellus (Isopod Crustacea)</i>	90
2.6.4 <i>Posidonia Oceanica</i>	92
2.6.5 Mikro Biyolojik Organizmalar.....	93
2.6.5.1 Bakteriler.....	93
2.6.5.1.1 Erozyon Bakterisi.....	93
2.6.5.1.2 Tünel Bakterisi.....	95
2.6.5.1.3 Anaerobik Bakteriler.....	96
2.6.5.2 Mantarlar.....	96
2.6.5.2.1 Yumuşak Çürüklük Mantarı.....	97
2.6.5.2.2 Esmer (Kahverengi) Çürüklük Mantarı.....	98
2.6.5.2.3 Beyaz Çürüklük Mantarı.....	98

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SUALTI ÇEVRE KOŞULLARININ

KÜLTÜR VARLIKLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1 <i>In situ</i> Korumada Sualtı Kültür Varlıkları için Risk Faktörleri.....	100
3.1.1 Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Bağlı Risk Faktörleri.....	100
3.1.2 Sediment Tabakasının Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Bağlı Risk Faktörleri.....	104
3.1.3. İnsan Etkisine Bağlı Risk Faktörleri.....	108
3.2. Sualtı Çevre Koşullarının Organik Kültür Varlıkları Üzerindeki Etkileri.....	112
3.2.1 Fiziksel Bozulmalar.....	115
3.2.2 Kimyasal Bozulmalar.....	120
3.2.3 Biyolojik Bozulmalar.....	125
3. 3 Sualtı Çevre Koşullarının İnorganik Kültür Varlıkları Üzerindeki Etkileri.....	132
3.3.1 Fiziksel Bozulmalar.....	135
3.3.2 Kimyasal Bozulmalar.....	140
3.3.3 Biyolojik Bozulmalar.....	144

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ

IN SITU KORUMASI KONUSUNDA PLANLANMIŞ PROJELER

4.1 Sualtı Kültür Varlıklarının <i>in situ</i> Belgelenmesi ve 3D Taranmasına Yönelik Projeler.....	152
4.1.1 MUSAS Projesi.....	153

4.1.2 VENUS Projesi.....	154
4.1.3 H2020 i-MARECULTURE Projesi.....	156
4.1.4 Mazatos Batığı Kazısı.....	157
4.1.5 VISAS Projesi.....	159
4.1.6 Sinop D Batığı.....	161
4.1.7 MARS Projesi.....	162
4.1.8 Türkiye Sualtı Kültür Mirası Sanal Müzesi: Kaş ARKEOPARK Pilot Projesi.....	163
4.2 Fiziksel Bariyer Oluşturma ve Yeniden Gömme Yöntemi ile Korumaya Yönelik Projeler.....	164
4.2.1 RAAR Projesi.....	165
4.2.2 Marstrand Projesi.....	170
4.2.3 MoSS Projesi.....	170
4.2.4 Avusturalya Batık Koruma Projesi (<i>The Clarence</i> Batığı.....	179
4.2.5 <i>The Anaxum</i> Projesi.....	183
4.2.6 <i>Avondster</i> Batığı.....	183
4.2.7 <i>James Matthews</i> Batığı.....	185
4.2.8 <i>William Salthouse</i> Batığı.....	189
4.2.9 <i>Nydam Mose</i> Sit Alanı.....	190
4.2.10 <i>HMS Colossus</i> Batığı.....	193
4.2.11 <i>The MERMAID</i> Projesi.....	195
4.2.12 <i>Baiae</i> Antik Kenti Mozaikleri.....	196
4.2.13 <i>Wreck</i> Projesi.....	197
4.2.14 <i>BACPOLES</i> Projesi.....	199

4.3 Sualtı Kültür Varlıklarının <i>in situ</i> Koruması Sırasında Kullanılan Ekipmanların Geliştirilmesine ve Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırmasına Yönelik Projeler.....	200
4.3.1 SASMAP Projesi.....	200
4.3.2 MaTaCos Projesi.....	201
4.3.3 CoMAS Projesi.....	202
SONUÇ.....	205
KAYNAKÇA.....	212

RESİMLER LİSTESİ

	Sayfa
Resim 1.1: AUV örneği.....	12
Resim 1.2: ROV Örneği.....	12
Resim 1.3: SSS kullanılarak belgelenmesi yapılmış <i>Anna-Maria</i> Batığının görüntüsü.....	14
Resim 1.4: (A) sualtında çizim ile belgeleme yapan bir dalgıç, (B) <i>Mary Rose</i> Batığının sualtında yapılan belgeleme örneği.....	19
Resim 1.5: SASMAP Projesi kapsamında üretilen <i>Unisense in situ</i> kayıt cihazı.....	27
Resim 1.6: Kayıt cihazının kurulumu.....	28
Resim 1.7: <i>Drass Cog</i> sualtı sit alanında kullanılan <i>in situ</i> su kayıt cihazının görüntüsü.....	30
Resim 1.8: <i>BZN 10</i> Batığının su analizi için kullanılan kayıt cihazının görüntüsü.....	31
Resim 1.9: <i>In situ</i> korozyon potansiyeli analizi.....	32
Resim 1.10: Sualtında RTI ile belgelenen ahşap gemi kaburgası...	33
Resim 1.11: Veratraldehitin sualtında boncuk dizisinin kaldırılması için yapılmış bir geçici sağlamlaştırma denemesinin görüntüleri...	38
Resim 1.12: <i>James Matthews</i> Batığının <i>in situ</i> koruması sırasında kullanılan yapay deniz çimi matın farklı uygulama görüntüleri	43
Resim 1.13: <i>Vlaska Mala</i> sit alanında bulunan batık üzerinde uygulanan kafes ile koruma yönteminden bir görüntü.....	45
Resim 1.14: <i>San Pedro</i> Batığına ait bir metal top için oluşturulmuş katodik koruma sistemi.....	49
Resim 2.1: Saf suya eklenen bentik kilin farklı oranlarda yarattığı türbidite	74
Resim 2.2: Okyanus ve denizlerin ekolojik katmanları.....	83
Resim 2.3: <i>Asellus Aquaticus</i> 'un bir görüntüsü.....	90
Resim 2.4: Erozyon bakterisinin SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i> -Taramalı elektron mikroskobu) ile alınmış bir görüntüsü.....	93

Resim 2.5:	Yumuşak çürüklük mantarının ahşap hücre çeperlerinde oluşturduğu bozulmadan	97
Resim 3.1:	Balıkçılık faaliyetlerine bağlı olarak, Ereğli batık alanında oluşan fiziksel tahribat.....	108
Resim 3.2:	Suya doymuş deri bir ayakkabıda oluşan fiziksel bozulmalar...	116
Resim 3.3:	Boynuzdan üretilmiş bir arkeolojik obje	117
Resim 3.4:	<i>La Dauphine</i> Batığında bulunan halatların <i>In situ</i> belgelemesi	118
Resim 3.5:	Mineralize olmuş bir yün tekstil parçasının mikroskopik görüntüsü.....	124
Resim 3.6:	Yenikapı Batıkları Projesinde, YK12 ahşaplarında <i>Teredo Navalis</i> 'in neden olduğu fiziksel bozulmalar.....	125
Resim 3.7:	Suya doymuş bir meşenin SEM görüntüsü.....	126
Resim 3.8:	Sicilya'da demir çağına tarihlenen bir sit alanında bulunmuş kemik üzerinde tünel bakterilerinin neden olduğu bozulma.....	129
Resim 3.9:	Kemik dokusu içinde birikmiş olan pirit görüntüsü.....	129
Resim 3.10:	Pamuk lifindeki mikrobiyolojik bozulmaların mikroskopik görüntü.....	130
Resim 3.11:	YK 12 Batığının <i>in situ</i> halinin görüntüsü.....	134
Resim 3.12:	Seramik yüzeyinde sualtında birikmiş olan kalsiyum karbonat ve biyolojik kabuk tabakasının görüntüsü.....	135
Resim 3.13:	Serçelimanı Batığında bulunan cam kültür varlıklarından örnekler.....	137
Resim 3.14:	Cam kültür varlıklarında sualtında oluşan kalsiyum karbonat içerikli kabuk tabakasından örnekler.....	138
Resim 3.15:	Batavya Jakarta'da bulunan bir batık alanındaki demir top güllerinin fiziksel bozulmaları.....	139
Resim 3.16:	Seramik üzerinde birikim oluşturan alg ve denizel canlı kalıntıları.....	144
Resim 3.17:	Kabuklu deniz canlılarının, taş mimari yapı elemanlarında oluşturduğu bozulmalar.....	145

Resim 3.18:	<i>Tantura F</i> Batığında bulunmuş, ahşap gövdeye hala bağlı olan demir çapanın <i>İn situ</i> görüntüsü.....	147
Resim 3.19:	Bakır bir heykel büstü üzerindeki biyolojik birikimin, koruma onarım çalışmaları sırasında aşamalı olarak temizlenmesi.....	148
Resim 3.20:	<i>Baiae</i> batık kentinden bir mozaik üzerindeki biyofilm.....	149
Resim 3.21:	<i>Aspidosiphon Muelleri</i> 'nin mozaik parçası üzerinde yarattığı tahribat.....	150
Resim 4.1:	<i>Baiae</i> Antik Kentinde, mimari kalıntıların 3D tarama yöntemi kullanılarak oluşturulan sanal gerçeklik ve modelleme uygulamaları.....	153
Resim 4.2:	<i>VENUS</i> Projesi kapsamında oluşturulmuş sanal gerçeklik uygulaması.....	154
Resim 4.3:	<i>VENUS</i> Projesi kapsamında belgelemesi yapılmış iki batığın görüntüleri.....	154
Resim 4.4:	<i>H2020 i-MARECULTURE</i> Projesi kapsamında oluşturulan VR uygulama görüntüsü.....	156
Resim 4.5:	<i>Baiae</i> Antik Kentindeki bir villanın reproduksiyonu ile oluşturulmuş sanal gerçeklik görüntüleri.....	156
Resim 4.6:	<i>Mazatos</i> Batığı seramiklerinin LS Projesi kapsamında yapılan 3D belgelenme örneği.....	158
Resim 4.7:	<i>Cala Minolla</i> Batığının, çevresindeki sediment tabakasının 3D taraması.....	160
Resim 4.8:	<i>MARS</i> Batığının fotomozaik görüntüsü.....	162
Resim 4.9:	Kaş Arkeopark Projesi kapsamında bozulma süreçleri kayıt altına alınan Uluburun Batığı reproduksiyonunun yıllar içindeki değişimi.....	163
Resim 4.10:	<i>Vrouw Maria</i> Batığının deniz suyu ölçümleri için kullanılan kayıt cihazları.....	172
Resim 4.11:	(A) <i>Drass Cog</i> Batığının çevresel risk faktörlerinin değerlendirilmesi için alana bırakılan modern ve orijinal	

	örnekler, (B) Batığın üzerine sentetik ağ ile fiziksel bariyer oluşturulması için yerleştirilen sistem.....	177
Resim 4.12:	<i>The Clarence</i> Batığının yeniden gömme uygulama görüntüsü.....	180
Resim 4.13:	<i>The Clarence</i> Batığında yeniden gömme uygulaması için kullanılan PVC tank örneği.....	181
Resim 4.14:	Avondster Batığında bulunan ahşap bir varilin paketlenmesi...	183
Resim 4.15:	Avondster Batığında bulunan ahşap bir varilin paketlenmesi...	185
Resim 4.16:	(A) <i>James Matthews</i> Batığında kullanılan konferdamların uygulamadan 3 ay sonraki durumu, (B) alanı çevreleyen konferdamların kuş bakışı görüntüsü.....	186
Resim 4.17:	<i>James Matthews</i> Batık alanında kullanılan sentetik deniz çiminin uygulama sonrası ve 2 yıl sonraki durumu.....	188
Resim 4.18:	<i>William Salthouse</i> Batığı üzerinde geçici korumada kullanılan kum torbaları.....	189
Resim 4.19:	<i>Nydam Mose</i> sit alanında kullanılan jeotekstil ile yeniden gömme uygulamaları.....	190
Resim 4.20:	Yunanistan İyon Denizindeki batıkta jeotekstil ile koruma örneği.....	195
Resim 4.21:	<i>Wreck</i> Proje kitabı.....	198
Resim 4.22:	<i>SASMAP</i> Projesi rehber kitapları.....	200
Resim 4.23:	<i>MaTaCos</i> Projesi kapsamında üretilen, <i>İn situ</i> temizlik ve sağlamlaştırmada kullanılan araçlar. (A) Şarjlı fırça, (B) değiştirilebilir başlıklı temizleyici, (C) Şarjlı darbeli matkap, (D) Ucu değiştirilebilir temizlik aracı, (E) Enjeksiyon aracı.....	201
Resim 4.24:	<i>CoMAS</i> Projesi kapsamında üretilen taşlama cihazı.....	202

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Muckelroy'un sualtı arkeolojisinin alt dallarını sınıflandırma çalışması.....	5
Şekil 1.2: SBP kullanılarak keşfedilmiş Haithabu Batığının görüntüsü.....	15
Şekil 1.3: <i>Scheurraak SO1</i> Batığının <i>In situ</i> görüntülenmesi.....	16
Şekil 1.4: Vektor ve raster görüntünün farkı.....	17
Şekil 1.5: Üç noktalı çizim yönteminin aşamaları.....	22
Şekil 2.1: Dünya'daki tatlı suyun dağılımı.....	53
Şekil 2.2: Su molekülünün atomik yapısı ve hidrojen bağı.....	60
Şekil 2.3: (A) <i>Pourbaix</i> Diyagramı'nın basitleştirilmiş hali. (B) Çeliğin, klorit içermeyen sudaki korozyonu için hazırlanmış <i>Pourbaix</i> Diyagramı.....	66
Şekil 2.4: Deniz sularında Eh- pH ilişkisi.....	67
Şekil 2.5: Sedimentteki organizmaların Eh-pH ilişkisine göre aktiviteleri.....	78
Şekil 2.6: Sediment tabakasının fiziksel yapı taşları.....	80
Şekil 2.7: Tortuların tanecik boyutu cetveli.....	81
Şekil 2.8: <i>Teredo Navalis</i> 'in morfolojisi.....	88
Şekil 2.9: <i>Teredo Navalis</i> 'in büyüme döngüsü.....	88
Şekil 2.10: (A) Dişi <i>Limnoria</i> 'nın kısımları (B) <i>Limnoria</i> 'nın görüntüsü.....	89
Şekil 2.11: <i>Posidonia Ocenica</i> 'nın deniz tabanındaki oluşumu.....	91
Şekil 2.12: Tünel bakterisinin ahşap hücresinde oluşturduğu bozulmalar.....	94
Şekil 3.1: Sualtı kültür varlıklarının deniz tabanındaki konumlarına göre ortam koşulları.....	100
Şekil 3.2: Sedimentin derinliği ve içeriğine göre redox potansiyeli.....	105
Şekil 3.3: Akıntılara bağlı olarak, batık alanları çevresinde sediment tabakasında oluşan erozyon türleri.....	106
Şekil 3.4: Standart bir halatın yapı birimleri.....	114
Şekil 3.5: Cam kültür varlıklarının sualtında bulunma ortamlarına göre bozulmaları.....	136

Şekil 3.6:	Camın kimyasal içeriğine göre bozulmaya neden olan çevresel faktörler ve bozulma türleri.....	140
Şekil 3.7:	Sualtında metal kültür varlıklarında meydana gelen korozyon.....	142
Şekil 3.8:	Sülfat indirgeyici bakterilerin metal yüzeyinde yarattığı korozyon.....	146
Şekil 4.1:	<i>BZN 10</i> Batığı üzerinde uygulanan polipropilen ağ örtüsünün çizimi.....	171
Şekil 4.2:	<i>Colossus</i> Batığı üzerinde test edilen koruma yöntemleri, (A) jeotekstil, (B) sentetik ağ, (C) yapay deniz çimi uygulaması.....	193

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1: <i>In-situ</i> koruma planlamasına karar verme aşamaları.....	11
Tablo 1.2: Fiziksel bariyer oluşturma yönteminde kullanılan farklı malzemelerin avantaj ve dezavantajları.....	41
Tablo 1.3: Ortam şartları ve batık alanının durumuna göre koruma uygulamalarının etkinlik düzeyi. (+) yeterli koruma sağlayan, (++) uzun süreli daha iyi koruma sağlayan, (-) yeterli koruma sağlamayan ve (0) söz konusu durumda koruma sağlamadığı gibi zararlı da olabilen uygulamaları belirtmektedir.....	47
Tablo 2.1: Hidroloji biliminin alt dalları.....	54
Tablo 2.2: Atmosferden denize geçen gazlar ve oranları.....	62
Tablo 2.3: Gömü ortamının asiditesine göre organik malzemenin korunma durumu.....	64
Tablo 2.4: Deniz suyunda bulunan tuzların sınıflandırması.....	68
Tablo 2.5: Denizel sedimentlerin orijinlerine göre sınıflandırılması.....	76
Tablo 2.6: Sedimentin kimyasal bileşenleri. % olarak gösterilmiştir.....	77
Tablo 2.7: Eh-pH'a bağlı iyon çözünürlüğü. "0" söz konusu etmene bağlı olarak değişmeyen iyonlar için kullanılmıştır. "X" ise söz konusu parametrelere göre değişen iyon çözünürlüğünü belirtmektedir.....	79
Tablo 2.8: Tortu taneciklerinin boyutuna göre su tutma kapasitesi.....	81
Tablo 2.9: Deniz ve okyanusların ekolojik katmanları sınıflandırması.....	84
Tablo 2.10: Göllerin dikey düzlemdeki ekolojik katmanları.....	85
Tablo 3.1: Ortam şartındaki değişime bağlı olarak, kültür varlıklarının malzeme türlerine göre bozulmalar. Ortam bozulma riski oluşuyorsa "X" ile belirtilmiştir.....	102
Tablo 3.2: İklim değişikliği ve çevre kirliliğinin sualtı çevresel koşullarında meydana getirdiği değişimler ve sonuçları.....	109
Tablo 3.3: Organik kültür varlıkları için koruyucu etki gösteren asidite türleri.....	119

KISALTMALAR LİSTESİ

2D	: 2 Dimention- 2 boyut
3D	: 3 Dimention- 3 boyut
AUV	: Autonomous Underwater Vehicles- Otonom Sualtı Araçları
Bkz.	: Bakınız
CBS	: Geographic Information Systems (GIS)- Coğrafi Bilgi Sistemleri
Çev.	: Çeviren
Ed	: Editör
MBS	: Multi Beam Sonar- Çoklu ışınli sonar
Mg/l	: Mili gram/ Litre
MÖ	: Milattan önce
MS	: Milattan sonra
ROV	: Remotely Operated Vehicles- Uzaktan Kumandalı Araçlar
s.y	: Sayfa yok
SBP	: Sub Bottom Profiler- Alt profil oluşturuu
SEM	: Scanning Electron Microscope- Taramalı elektron mikroskobu
SEM-EDS	: Energy dispersive spectrometry- Taramalı elektron mikroskobu-Enerji dağılımı spektrometresi.
SSS	: Side Scan Sonar- Yandan Taramalı Sonar
UV	: Ultra viyole- Mor ötesi ışınlar
vb.	: ve benzeri
v.d.	: ve diğlerleri
VR	: Virtual Reality- Sanal gerçeklik
XRD	: X-ray diffraction spectroscopy- X-ışını difraktometresi.
X-Ray	: Röntgen radiation- Röntgen radyasyonu
XRF	: X-ray fluorescence spectroscopy- X-ışını floresans spektrometresi.
YK	: Yenikapı
yy	: Yüz yıl

UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization- Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
ICOMOS	: International Council on Monuments and Sites- Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi
PVC	: Polivinil klorür
RAAR	: Reburial and Analysis of Archaeological Remains- Arkeolojik Kalıntıların Yerinde Korunması ve Analizi
SASMAP	: Survey, Assess, Stabilise, Monitor and Preserve Underwater Archaeological Sites- Sualtı Arkeolojik Alanlarının Araştırılması, Değerlendirilmesi, Sabitlenmesi, İzlenmesi ve Korunması
MoSS	: Monitoring, Safeguarding And Visualizing North-European Shipwreck Sites- Kuzey Avrupa Batık Alanlarının İzlenmesi, Korunması ve Görselleştirilmesi
RTI	: Reflectance Transformation Imaging- Yansıtma dönüşümlü görüntüleme
LIBS	: Laser-Included Breakdown Spectroscopy- Lazer Kaynaklı Arıza Spektroskopisi
MaTaCos	: Advanced Materials And Technologies Applied To The Conservation Of Underwater Cultural Heritage- Sualtı Kültür Mirasının Korunması için Uygulanan İleri Malzeme ve Teknolojiler
CoMaS	: Construction Management Solutions- İnşaat Yönetimi Çözümleri
PEG	: Poli Etilen Glikol
NAS	: Nautical Archaeology Society- Deniz Arkeolojisi Derneği
VENUS	: Virtual Exploration of Underwater Sites- Sualtının Sanal Keşfi
MUSAS	: MUsei di Archaeologi Subacquea Tutela- Sualtı Arkeolojisi ve Koruma Müzesi

H2020	i-	: Advanced VR, iMmersive Serious Games and Augmented Reality as Tools to Raise Awareness and Access to European Underwater CULTURAL Heritage- Avrupa Sualtı Kültürel Mirasına Erişimi ve Farkındalığı Artırma Araçları Olarak Gelişmiş VR, Sürükleyici Ciddi Oyunlar ve Artırılmış Gerçeklik
MARECULTURE		
VISAS		: Virtual and Augmented Exploitation of Submerged Archaeological Sites- Batık Arkeolojik Alanların Sanal ve Arttırılmış Görüntüsü
MoSS		Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage- Challenges for Cultural Resource Management- Kuzey Avrupa Batık Alanlarını İzleme, Koruma ve Görselleştirme: Ortak Avrupa Kültürel Mirası- Kültürel Kaynak Yönetimi için Zorluklar
MERMAID		: Saving Wooden Shipwrecks in the Mediterranean Marine Ecosystem: Research, Development and Application of Innovative Methods of <i>in situ</i> Protection- Akdeniz Deniz Ekosisteminde Ahşap Batıkların Korunması: Yerinde Korumanın Yenilikçi Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Uygulanması
BACPOLES		: Preserving Cultural Heritage by Preventing Bacterial Decay of Wood in Foundationpiles and Archaeological Sites'tır- Temel Kazıklarında ve Arkeolojik Sitlerde Ahşabın Bakteriyel Bozulmasının Önlenecek Kültürel Mirasın Korunması

SEMBOLLER LİSTESİ

‰	: Binde
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
μ	: mikron
z_{sd}	: Seki derinliği (seki diskinin gözle görülemediği nokta)
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
mV	: Mili volt
mm	: Mili metre
V	: Volt
m	: Metre
Eh	: Redox Potansiyeli
pH	: Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması
km²	: Kilo metre kare
cm	: Santi metre
ppm	: Milyonda bir (parts per million)
mg	: Mili gram
l	: Litre
m²	: Metre kare
Ø	: Pi
dm³	: Desimetre küp

GİRİŞ

Sualtı kültür varlıklarının bulundukları bölgede yerinde, yani *in situ* korunması; 2001 yılında kabul edilmiş olan UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*)’nun uluslararası ‘Sualtı Kültür Mirasının Korunması Sözleşmesi’nde tercih edilmesi gereken ilk seçenek olarak belirtilmektedir (UNESCO, 2001). Türkiye’de; kıta sahanlığı konusundaki siyasi tutumu nedeniyle resmi olarak onaylanmasa da kültürel miras uzmanları tarafından öncelikli seçenek olarak kabul edilmektedir. Sualtı kültür varlıklarının hem nicel hem de nitel olarak yoğunluğu, maddi imkânların ve koruma uzmanlarının yetersizliği Türkiye’de de diğer ülkelerde olduğu gibi *in situ* koruma uygulamalarının önem kazanmasına neden olmuştur.

Bir sualtı alanında *in situ* koruma yapılmaya karar verilebilmesi için öncelikle bölgenin taşıdığı değer belirlenmektedir. Korunması gerektiğine kanaat getirilen somut kültür varlıklarının varlığında, alandaki risk faktörleri ve objelerin mevcut durumları değerlendirilmektedir. Böylece; söz konusu objelerin kazı ile *ex situ* korunması ya da *in situ* korunması konusunda karar verilmektedir.

Bu tez çalışmasında; bir sualtı sit alanında *in situ* koruma uygulaması yapılabilmesi için incelenmekte olan kültür varlıklarının sualtındaki bozulmaları, korumayı etkileyen risk faktörleri ve koruma yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri incelenmiştir. Bu incelemenin yapılabilmesi için Birinci Bölümde öncelikle; ulusal ve uluslararası anlaşmalar, sözleşmeler, yönetmeliklerce yapılan kültür miras tanımlamaları incelenmiştir. Dünya’da ve Türkiye’de sualtı kültür varlıklarının korunmasına ilişkin yapılan kamusal çalışmalar ve koruma yaklaşımlarının tarihsel gelişimi incelenmiştir.

İkinci Bölümde; sualtı kültür mirasının korunması sırasında incelenen ve kültür varlıklarını çevreleyerek hem koruma sağlayan hem de bozulma yaratması nedeniyle risk faktörleri ortaya çıkartan denizel ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri incelenmiştir. Ortam koşullarının birbiri ile ilişkisi ve denizel ortamın ekolojik özellikleri kültür varlıklarında ortaya çıkarttıkları bozulmalar bağlamında değerlendirilmiştir.

Üçüncü Bölümde; İkinci Bölümde incelenmiş olan ortam koşullarının organik ve inorganik kültür varlıkları üzerinde yarattığı bozulmalar ve koruma için risk faktörleri belirtilmiştir. Bölümde ayrıca; kültür varlıklarını *in situ* koruma konusunda yapılmış bazı uygulamalara da yer verilmiştir.

Dördüncü Bölümde ise sualtı çevre koşulları ve kültür varlıklarının bozulmaları doğrultusunda *in situ* korumada uygulanan yöntemler, bunların olumlu ve olumsuz yönleri, Dünya’da yapılan örnek uygulamalar ve projeler çerçevesinde incelenmiştir. Koruma konusunda yapılan ve örnek teşkil eden bazı önemli olduğu düşünülen projeler de bu bölüm içerisinde incelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ

IN SITU KORUMASINDA TEMEL KAVRAMLAR

1.1 Sualtı Kültür Varlıklarının Tanımlanması

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması ile ilgili bilimsel çalışmalar incelendiğinde ilk olarak bu çalışmalarda örneklem grubunu oluşturan objelerin tanımlandığı saptanmıştır. Bu tanımlamalar uluslararası yasa ve yönetmeliklere göre yapılmaktadır. 1990 yılında Arkeolojik Mirasın Korunması ve Yönetimi konulu tüzük yayımlanmıştır ve bu tüzüğe ek olarak 1996 yılında ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*-Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi) Sualtı Kültür Mirasının Korunması ve Yönetimi ile İlgili Tüzük yürürlüğe girmiştir. Tüzüğün ilk kısmında sualtı kültür varlıklarının uluslararası bir kaynak olduğundan ve koruma onarım çalışmalarının da küresel iş birliği ile yürütülmesi gerekliliğinden bahsedilmektedir. Özellikle insanlığın ortak geçmişi hakkında veri içeren arkeolojik alanlar; modern insan etkinlikleri ile tahribata uğrayabildiklerinden ortak koruma yaklaşımı gerektirmektedir. Metinde, sualtı kültür varlıkları “*sualtında kalmış yerleşme ve yapılar, batık alanları, batıklar ve bunların arkeolojik içerikleri*” olarak tanımlanmaktadır. Tüzükte temel ilkelere ilki *In situ* koruma ile ilgilidir. Kazı yapılacak alanın tespiti, amaçlar, kaynak sağlama, projelendirme, kazı ekibine yönelik iş sağlığı kuralları gibi pek çok madde içeren metin; sualtı kültür varlıklarının korunması için ortak yaklaşım sağlayan önemli uluslararası belgelerdendir (ICOMOS, 1996).

Türkiye’nin taraf olmadığı UNESCO Sualtı Kültürel Mirasının Korunması Sözleşmesi’nde; sualtı kültür mirası şu şekilde tanımlanmaktadır:

“En az yüz yıldır kısmen ya da tamamen, periyodik ya da sürekli olarak su altında bulunan; kültürel, tarihi ya da arkeolojik mahiyeti olan insan kalıntıları anlamına gelmektedir. Arkeolojik ve doğal çevreleri ile birlikte ören yerleri, yapılar,

binalar, eserler ve insan eliyle yapılmış kalıntılar; arkeolojik ve doğal çevreleri ile birlikte deniz araçları, hava araçları, diğer araçlar ya da bunların yüklerinin veya diğer muhteviyatının herhangi bir kısmı ve tarih öncesi özellikler taşıyan nesneler sualtı kültür varlığı sayılmaktadır”.

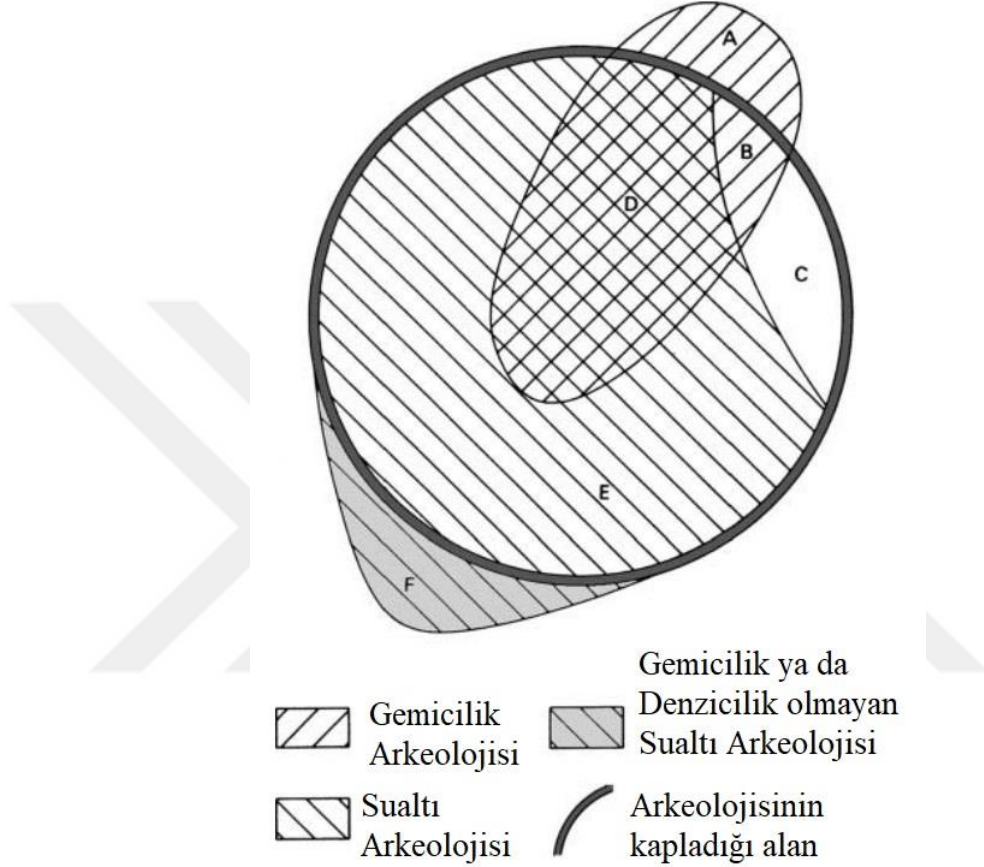
Terimin hangi kültür mirasını kapsadığı hakkında yargıya varmak için öncelikle sualtı arkeolojisinin inceleme alanları ve alt dalları belirlenmelidir (UNESCO, 2001). Bu alt dallardan bu tez kapsamında irdelenecek olanlar; sualtı arkeolojisi, gemicilik arkeolojisi, deniz arkeolojisi ve derin deniz arkeolojisidir.

Sualtı arkeolojisi (*Underwater Archaeology*); batıklar, mimari yapılar gibi çeşitli nedenlerle su altında kalmış kültür varlıkları üzerine yürütülen çalışmaları tanımlamaktadır. Eserlerin bulunduğu ortama ve türlerine göre farklı alt dallara ayrılmaktadır. Türkçeye denizcilik arkeolojisi olarak çevrilmiş olan ‘*Maritime Archaeology*’ terimi hem tatlı hem tuzlu su ortamlarında bulunabilen, denizcilik uygulamalarıyla ilgili bütün kültür varlıkları üzerine yapılan incelemeleri kapsamaktadır. Denizcilik arkeolojisi, sadece su altındaki değil günümüzde kara içinde kalmış denizcilik faaliyetleri ile ilgili çalışmaları da kapsamaktadır. Örneğin; Antik Dönemde bir liman iken günümüzde kara içinde kalmış Yenikapı Batıkları kazısı, bir denizcilik arkeolojisi çalışmasıdır (Gölbaş, 2019: 48-49). George Bass, sualtı arkeolojisi teriminin hatalı olduğunu savunmaktadır. Ona göre; bu terimin tanımladığı arkeoloji etkinliklerinin ve kazı yöntem-tekniklerinin karada yapılandan bir farkı yoktur. Sadece ortam farklılığı nedeniyle söz konusu çalışmalar yapılırken kullanılan materyaller farklılık göstermektedir (Bass, 2003).

Gemicilik arkeolojisi (*Nautical Archaeology*) terimi; gemi, tekne, basit sallar ve kanolar gibi deniz ulaşımı ve ticaretinde kullanılmış olan kültür varlıklarının; yapım teknolojisi, mürettebatın eşyaları ve gemini kargosu gibi unsurlar üzerine incelemeler yürüten çalışmalar için kullanılmaktadır. *Nautical Archaeology* terimini Türkçeleştirmek için ‘batık arkeolojisi’ terimi de kullanılmaktadır. Gemicilik arkeolojisi, sadece batık gemiler değil hiç suya indirilmemiş mezar hediyesi olarak bulunabilen gemiler ve tekneler ile de ilgilenmektedir (Gölbaş, 2019: 54-55). Kieth Muckelroy, 1978 yılında yayınladığı çalışmasında sualtı kültür varlıkları üzerinde

yapılan arkeoloji çalışmalarını sınıflandırmıştır. Söz konusu çalışma Şekil 1.1’de incelenebilmektedir.

Şekil 1.1: Muckelroy’un sualtı arkeolojisinin alt dallarını sınıflandırma çalışması.



Kaynak: Benjamin, 2010: 254.

Bir başka sualtı inceleme alanı olan derin deniz arkeolojisi (*Deepwater Archaeology*); tüplü dalış yöntemi ile insan dalışları ile çalışılamayacak derinlikte bulunan sualtı kültür varlıkları üzerindeki çalışmaları tanımlamaktadır. 50 m’den daha derindeki alanlarda insan basınç nedeniyle çalışamayacağından, bu bölgede bulunan kültür varlıkları üzerindeki incelemeler ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*- Uzaktan kumandalı cihazlar) kullanılarak yapılmaktadır. Derin deniz arkeolojisi, arkeoloji ve hidroloji gibi bilimlerin birleşimi sayılmaktadır. Örneğin; deniz tabanının görüntülenmesi ve analizi üzerine yapılan çalışmalar arkeolojik oşinografi biliminin çalışma alanındadır (Søreide, 2011: 6-7).

1.2 Sualtı Kùltür Varlıklarında *In situ* Koruma Yönteminin Tanımlanması

In situ terimi; yerinde, sabit olan anlamına gelmektedir. Eski konumunda ele geçen buluntular için kullanılmaktadır (Saltuk, 1990: 84). *In situ* koruma ise alanın daha önce incelenmiş veya kazılmış olmasına bakılmaksızın, eserlerin orijinal bağlamını korumak, ömürlerini uzatmak ve bozulma unsurlarını denetim altında tutmak için *in situ* halde yapılan faaliyetlerin bütünüdür (Ortman, 2010: 31).

Kùltür varlıklarının *in situ* koruması konusu, kazı ve taşıma gibi pek çok seçenekten biri olarak gör÷lmektedir. Günümüzde öncelikli tercih olarak kabul edilmiş olan bu yöntem; pahalı, çevresel unsurlar ve insani risk faktörünün yaratacağı bozulmanın tahmin edilemez olması, yapılan koruma uygulamalarının kùltür varlıklarında değışime neden olabilmesi nedenleriyle dikkatli yaklaşılması gerekmektedir. *In situ* korumanın öncelikli yaklaşım olarak dikkat çekmeye başladığı 2001 yılından itibaren yapılan araştırmalar, yöntemin olumlu ve olumsuz yönlerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmalarla birlikte yöntemin uygulanmasındaki ve kùltür varlıklarına etkileri hakkındaki belirsizlikler azalmaktadır. Bu bağlamda üretilen akademik yayınların bu yöntemin sonuçlarının tahmin edilebilir ve güvenilir olmasını sağladığı söylenebilir (Williams, 2015).

Sualtı kùltür varlıklarında *in situ* koruma, tam kazı ya da kaldırmaya kıyasla bilimsel çalışmalarda ilk seçenek olarak kabul edilmektedir. *In situ* korumanın tam kazıya tercih edilmesinin nedenlerinden biri, sualtı kùltür varlıklarının gelecek kuşakların araştırması için saklanmasıdır. Arkeolojik analiz yöntemlerinin gelişmesiyle daha fazla veriye ulaşılmaktadır. Bilginin birikerek ilerlemesi de zamanla daha önce koruma konusunda göz önünde bulundurulmamış yeni soruların tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle sualtı kùltür varlıklarından özgün değere sahip olanlarının, kazı ile tahrip edilmesinden *in situ* koruması tercih edilmektedir. Su altında kazı yapmanın kara kazılarından daha fazla zaman alması, özel ekipmanlar ve dalış konusunda deneyimli kazı çalışanları gerektirmesi, tam kaldırma kazılarının yapılmasında maliyetin artmasına neden olmaktadır. Kazı faaliyetlerinde dalgıçların eserlerle doğrudan temas etmesi, insani risk faktörlerinin oluşmasına neden

olmaktadır. Sualtı kültür varlığı içeren bölgelerde kazı yapılmasına karar verilirken; alanın özgünlüğü yani diğer alanlardan ayrılan özellikleri ve bilime katkısının ne olacağı sorgulanmaktadır (Manders, 2008).

In situ korumanın olumlu yanlarından biri de hem bilim insanlarına hem de ziyaretçilere kültür varlıklarını ait oldukları ortamda gözlemleme şansı sunmasıdır. Arkeolojik eserlerin bulundukları yerde korunması, depolandıkları ya da kullanıldıkları yerde gözlemlenebilmesi anlamına gelmektedir. Bazı durumlarda eserlerin üretim teknolojisi ya da bozulma seviyeleri nedeniyle *in situ* korumalarına karar verilse dahi alan ziyaretçilere kapalı olmaktadır. Örneğin Lascaux'daki tarih öncesi duvar resimleri mağara içindeki insan etkinliklerinin eserlere zarar verdiğinin gözlenmesi ile ziyarete kapatılmıştır (Caple, 2008). Sualtı arkeolojisi tarihinde, tam olarak bilinen bir zaman dilimine işaret eden batık alanları keşfedilmiştir. Bunların eşsizliği düşünüldüğünde, uzun süreli korumanın sağlanabilmesi için *in situ* koruma yeterli görülmemektedir. Önemli sualtı kültür varlıklarının kaçak kazılarla tahrip edilmesi, alandan elde edilecek bilginin de risk altına girmesine neden olmaktadır. Bu nedenle insan etkisine açık alanlarda korumanın sağlanabilmesi için kazı tercih edilmektedir (UNESCO, 2013: 20-33).

In situ koruma uygulamasının yapılmasına karar verilen alanlar genellikle, önemli arkeolojik verilerin bulunduğu sitlerdir. Bu sitlerde önceden yapılmış bir kazı ve inceleme olsa ve ilgi başka bir alana kaysa da koruma yapılması gerekmektedir. Seçilen tekniğe göre süreç; uygulama sonrasında bitmemekte, düzenli inceleme ve analizleri içeren devamlılık arz eden bir planlama gerektirmektedir. Bir *in situ* koruma planlaması yapılacaksa, alan için sorulması gereken sorular şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Planlamadan kim sorumlu?
- Planlamaya kimler dâhil olmalı?
- Koruma için herhangi bir fiziksel müdahale gerekli mi?
- Maddi imkânlar yeterli mi?
- Hangi teknik uygulanmalı?
- Alanın ne kadar süre *in situ* koruma ile korunacağı hakkında bilgi var mı?

- Engellenmesi gereken potansiyel riskler nelerdir?
- Uygulama sonrası gözlemlene için bütün veriler toplandı mı?
- Ne sıklıkla gözlem yapılmalı?
- Edinilen sonuçlardan kimler haberdar edilmeli? (Gregory ve Manders (ed), 2015: 38)

Söz konusu sorulara cevap aranırken, planlamada ilk aşama alandaki kalıntıların değerinin belirlenmesidir. Sualtı kültürel mirasının; UNESCO Sualtı Kültür Mirasının Korunması Sözleşmesi ile tanımlanması, bazı özel durumlarda söz konusu kültür mirasının değerinin belirlenmesinde tezatlar ortaya çıkmasına da neden olmaktadır. Örneğin; *Titanic* gemisinde görevli müzisyenlerden biri olan Wallace Hartley'e ait olan keman, gemi battıktan on gün sonra sahibiyile birlikte denizden kurtarılmıştır. Hartley'in nişanlısı tarafından kendisine hediye edilen bu kemanın, önceleri müzisyenin kişisel eşyası olması nedeniyle definsel ve bireysel değeri bulunmaktadır. Zamanla kazadan canlı kurtulan insanların kaza anına ait anılarını paylaşımlarıyla birlikte, toplumsal ve tarihi bir değer kazanarak kültürel mirasın bir parçası olarak kabul edilmiştir. Buna rağmen *Titanic*'den kurtarılmış pek çok obje gibi kemanın; yasal boşluklar ve geminin batıştan on gün sonra okyanustan kurtarılmış olması, bir sualtı kültür mirası olarak tanımlanmasını engellemektedir. Çünkü UNESCO Sualtı Kültür Mirasının Korunması Sözleşmesi'ne göre bir objenin sualtı kültür mirası sayılması için en az 100 yıl sualtında kalmış olması gerekmektedir (Perez-Alvoro, 2019: 45-67).

Sualtı kültür mirası; belirli bir zaman aralığında üretilmiş, kanıtlarla aralarında ilişki kurulabilen, sanatsal, sosyal ve sembolik öneme sahip olan, somut ve çoğunlukla taşınabilir nesnelerden oluşmaktadır. Bu nesneler bilimsel, estetik ve sosyal değerlerinin yanı sıra; ait oldukları ülkenin ve kültürün uluslararası tanıtımını yapabilecek potansiyele de sahiptir. Arkeolojik kültür varlığı açısından çok zengin kaynaklara sahip olan bölgelerde kazılar; bilginin kaybolma riski, maliyet, zaman, işgücü ihtiyacı ve benzeri nedenlerle sınırlı tutulabilmektedir. Böyle alanlarda, korunmaya değer görülen arkeolojik veri *In situ* koruma yöntemleri kullanılarak gelecek nesillere aktarılmaktadır. Ayrıca bu tür kültür varlıkları kamu bilincinin oluşturulabilmesi için de reklamların bir parçası olmaktadır (Willems, 2012).

Sualtı kültür varlığı kalıntısı içerdği düşünölen alanlarda koruma planlamasına karar vermenin birbirini takip eden aşamaları bulunmaktadır (Tablo 1.1). Potansiyel arkeolojik veri barındıran alanlarda, daha detaylı incelemeler yapılması gerekmektedir. Suallı araştırma ve görüntöleme yöntemleri ile inceleme yapılan alandaki verilerin niteliğı ayrıntılı bir şekilde tespit edilmelidir. Belgeleme aşaması; alanda sadece arkeolojik bilgi potansiyelinin değıl çevre şartlarının da incelendiğı aşamadır. Böylece *in situ* korumanın gerekli olduğuna karar verilirse, kullanılacak yöntemin seçilmesi için gereken verilere de ulaşılabilir. Suallı kültür varlıklarının *in situ* korumasına karar verilmesi durumunda, ayrıntılı bir plana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu planlama yapılırken; koruma alanının sınırları, tehdit unsuru oluşturan fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler, alanda korunacak olan malzemenin türleri ve bunların bozulma durumları, alanı stabilize etmek için kullanılacak uygun yöntemin belirlenmesi için gözlem ve analiz teknikleri üzerine düşünölmesi gerekmektedir (Gregory, 2010: 2). *In situ* koruma uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken bu durumlar genel olarak beş başlık altında incelenmektedir. Bunlar:

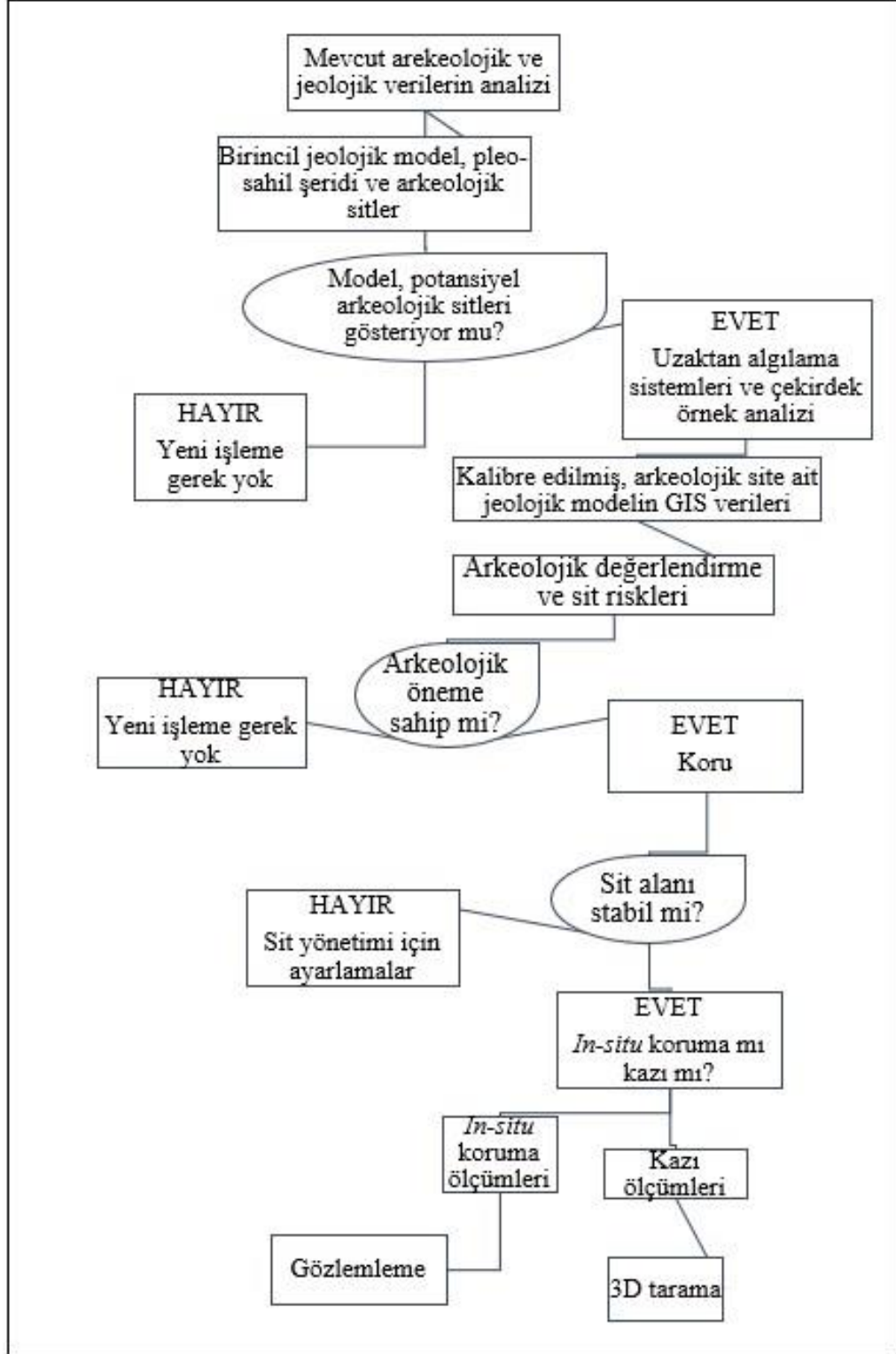
- Korunması planlanan alanın sınırları,
- Alanda etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik risk faktörleri,
- Alandaki malzemelerin türleri ve korunma durumlarının tespiti,
- Alandaki doğal risk faktörlerinin etkisinin azaltılması ya da alanın stabilizasyonu için yapılması gerekenlerin tespiti,
- Alanın ve uygulamaların etkinliğinin düzenli olarak gözlenmesi (Gregory v.d., 2012: 145).

Planlama için cevaplanması gereken tüm bu sorular, temelde sit alanının; çevresel faktörleri, kültür varlıklarının bozulma durumlarının analizi ve belgelenmesini içeren ön hazırlık gerektirmektedir. Alanın çevresel faktörlerinin belirlenmesi, hangi *in situ* koruma tekniğinin seçilmesi gerektiğine ilişkin bilgi sağlamaktadır. Örneğın; sediment erozyonunun yüksek olduğü bölgelerde, sadece yeni sediment ile yeniden gömme yöntemi uzun süreli koruma sağlayamamaktadır. Bu durumda alanın jeotekstil ile de desteklenmesi gerekmektedir. Alandaki arkeolojik kalıntıların bozulma durumlarının tespiti ise yine tekniğın belirlenmesinde önemli rol

oynamaktadır. Örneğin; biyolojik saldırılara fazla maruz kalmamış objelerin bulunduğu bölgelerde, anoksik ortam koşulları yaratmak, gelecekteki biyolojik bozulmaların önüne geçmek için önem arz etmektedir (Gregory v.d., 2012: 146). Bu bağlamda *in situ* koruma yöntemlerinden hangisinin seçileceğine karar vermek için öncelikle söz konusu alanda bulunan kültür varlıklarının korunma durumları ve bozulma süreçlerini etkileyebilecek risk faktörleri incelenmelidir. Sualtı çevre koşullarının özellikleri ve bunların kültür varlıkları üzerindeki etkisi İkinci ve Üçüncü Bölümlerde incelenecektir.



Tablo 1.1: *In situ* koruma planlamasına karar verme aşamaları.



Kaynak: Gregory ve Manders (ed), 2015: 8.

1.3 Sualtı Kültür Varlıklarının Belgelenmesinde Kullanılan Araçlar

Sualtı araştırmalarında deniz tabanının görüntülenmesi, bir deniz altı inceleme aracına eklenen sensörler yardımıyla yapılmaktadır. Kamera ile birleştirilmiş bu sensörler, deniz tabanındaki düzenli biçimleri tespit edebilmektedir. Bu düzenli biçimlerin genellikle insan yapımı malzemelere işaret ettiği kabul edilmektedir. Araştırmalarda kullanılan cihazlar genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; insan olmadan su altı araştırmalar yapmak için tasarlanmış olan AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*- Otonom Sualtı Araçları) ve insan yönetimi ile kullanılan ROV'dur (Resim 1.1) (Resim 1.2) (Reggiannini ve Salvetti, 2016: 147-149).

Resim 1.1: AUV rneği.



Kaynaklar: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/a27-m-auv-autonomous-underwater-vehicle>, 22/05/2022.

Resim 1.2: ROV rneği.



Kaynaklar: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/h800-rov-remotely-operated-vehicle>, 22/05/2022.

ROV ve AUV arasındaki temel farklılıklar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- ROV; rntleme ve temel ölçümler için kullanılan, yapılacak eklemelerle geliştirilerek daha karmaşık işlemler için de işlevsel hale getirilebilen

cihazlardır. ROV'un, uzaktan kumanda kullanımı kablo bağlantısı gerektirmekte ve hareketlerinin sınırlanmasına neden olmaktadır. İnsanların çalışmadığı derin sularda kullanılabilir olmaları nedeniyle *in situ* koruma uygulamalarında tercih edilmektedir. ROV'un su içinde ve dışında hareketi vinç sistemleri ile sağlanmaktadır,

- AUV; kendi güç üniteleri ve seyir sistemleri ile tamamen bağımsız araçlardır. Bu özellikleri sayesinde, bağlantı kopukluğu olsa dahi daha önceden planlanmış işlemleri yapmayı sürdürmektedir. Cihaz; hafif olması ve hareketinin kanatlar yardımıyla sağlanması nedeniyle, bilinmeyen bir problem ile karşılaşıldığında kendiliğinden su yüzüne çıkabilmektedir (Canlı v.d., 2015: 43-44).

Avrupa Birliği Projelerinden biri olan *The ARROWS* Projesi, AUV araçlarının arkeolojik amaçlarla geliştirilmesi üzerine kurgulanmıştır. Açılımı '*Archaeological Robot Systems for the World Seas*' olan proje, 2012- 2015 yılları arasında yürütülmüş ve *MARTHA* ve *U-CAT* isimli iki özel AUV cihazının geliştirilmesini sağlamıştır. *U-CAT*; özellikle insan hayatının riske girdiği batık alanlarında, ROV'ların hareket sınırlılığına bir çözüm olarak üretilmiştir. Proje kapsamında; başarılı sonuçlar veren Akdeniz ve Baltık Denizi'ndeki arkeolojik batık alanlarında yapılan denemeler, üç boyutlu taramalar ve ayrıntılı fotomozaik çalışmaları yapılmıştır (Alotta v.d., 2018).

AUV ve ROV cihazlarının *in situ* korumada kullanımına Karadeniz'de bulunan 365 m derinlikteki Sinop D¹ adlı 5.yy Batığında yapılan çalışmalar örnek gösterilebilmektedir. Mühendis, arkeolog ve konservatörlerden oluşan bir ekip ile yürütülen çalışmalar sırasında; deniz tabanının taranması, sediment örneklerinin alınması, foto mozaik çalışmaları, su analizi, seçilen örnek grubu üzerinde bozulmaların tespiti gibi konularda ROV kullanılmıştır (Piechota v.d., 2010).

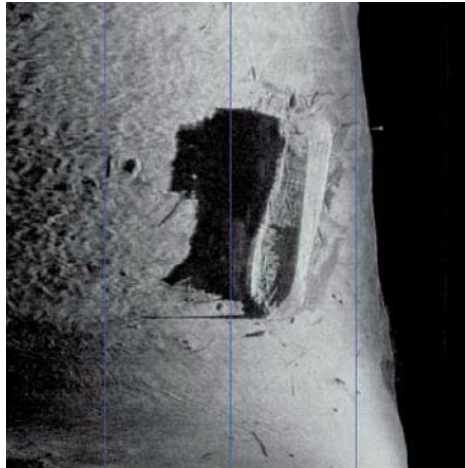
Yandan Taramalı Sonar (Yandan Taramalı Sonar- SSS *Side Scan Sonar*) ve Çoklu Işınli Sonar (Çoklu Işınli Sonar: MBS *Multibeam Sonar*), AUV ve ROV eklenerek inceleme yapılan alanın görüntülenmesini sağlayan aksam sensördür. Gemi

¹ Ayrıntılı bilgi için bkz: 4.1.6 Sinop D Batığı.

ya da teknelere eklenerek daha geniş alanlarda taramalar yapma olanağı sağlayan bu cihazlar; deniz tabanı üzerine inşa edilecek petrol platformlarının kurulumunda, sivil ya da askeri tesislerin inşası sırasında risk analizinde kullanılmaktadır (Özturan, 2003: 8). MBS cihazları, bilinmeyen sualtı kültür varlıkları içeren alanın hızlı bir şekilde tespitini ve gözlemlenmesini sağlamaktadır. Arkeolojik alanın fiziksel durumunun incelenemediği bu cihazlar sayesinde, kültür varlıklarının korunma durumları hakkında bilgiye ulaşmak mümkün olmaktadır. Düzenli olarak gözlem yapılması gereken alanlarda düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilmektedir. Derinlik ölçümü de yapabiliyor olması sayesinde analizlerde bölgedeki sediment birikimi/ erozyonu hakkında da veri sağlamaktadır (Manders, 2000).

SSS; deniz tabanına ses dalgaları yayarak yansıyan dalgaların ölçümü ile inceleme imkânı sağlamaktadır (Resim 1.3). Cihazın yaydığı ses dalgaları ayarlanabilmektedir. Böylece; çok geniş alanlarda ve derin deniz araştırmalarında, bir batık gibi büyük bir objeden amfora kadar küçük bir objeye kadar farklı boyuttaki pek çok kültür varlığı tespit edilebilmektedir. İnceleme yapılan alanda çok ayrıntı varsa ‘gürültü’ adı verilen bir bozulma oluşmakta ve objenin ayrıntılarının belirlenmesi zorlaşmaktadır. Yapılacak taramalar düzenli bir şekilde planlandığında alınan görüntülerin bir araya getirilmesi ile alanın ayrıntılı ve geniş tam taraması da elde edilmektedir (Singh v.d., 2000).

Resim 1.3: SSS kullanılarak belgelenmesi yapılmış *Anna-Maria* Batığının görüntüsü.

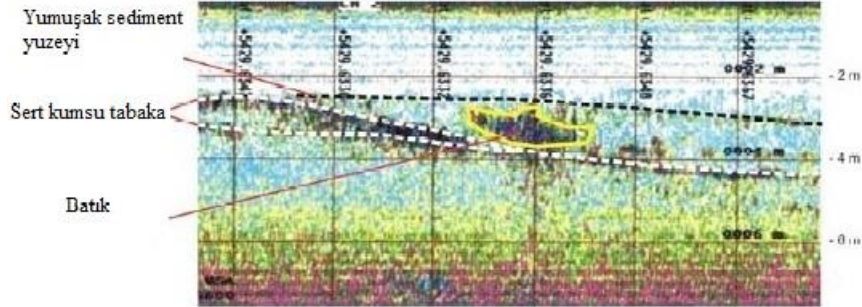


Kaynak: Ekberg, 2000:89.

Brezilya'nın Canneneia kenti kıyı bölgelerinde yapılmış araştırmalar SSS'in sualtında kullanımına örnek gösterilebilir. 19. yy'ın başında yapılan çalışmada, alanda bırakılmış 3 top örnek grubu olarak seçilmiştir. Alanın daha önce arkeologlar tarafından tahrip edilmiş olması ve etkili olan güçlü akıntılar nedeniyle oluşan deniz tabanı değişimleri, SSS taramaları ile gözlenebilmiştir. Bununla birlikte inceleme sırasında, deneyimsiz arkeologlarca Batığın kalıntısı olarak düşünülen pek çok sinyalin, aslında çakıllı deniz tabanına ait olduğu tespit edilmiştir. Bu durum SSS verilerin deneyimsiz kullanıcılar tarafından yanlış anlaşılabilceğini göstermektedir (Bava-de-Camargo, 2015).

Alt Profil Oluşturucu (Alt Profil Oluşturucu-SBP *Sub-bottom Profiler*) konik şeklinde akustik dalgalar yayarak, sismik reflektörler yardımıyla, deniz tabanının katmanlı görüntüsünü oluşturmaktadır. Arazinin jeolojik katmanları ve bunların altına gömülü olan arkeolojik varlıkların belgelenmesi için SBP stratigrafik görüntü sunmaktadır. Görüntüler genellikle iki boyutlu ve siyah-beyazdır. Geniş alanlarda tarama imkânı sağlamaktadır (Şekil 1.2) (Gregory ve Manders (ed), 2015: 32).

Şekil 1.2: SBP kullanılarak keşfedilmiş *Haithabu* Batığının görüntüsü.



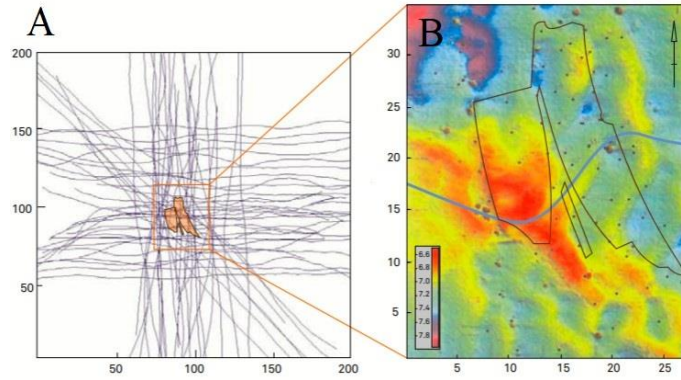
Kaynak: Gregory ve Manders (ed), 2015: 33.

Gron ve Boldreel, Danimarka'da Sualtı Arkeolojisi Araştırma Merkezinin projesi kapsamında, SBP'yi geniş alanlarda görüntüleme için kullanmış ve bu yöntemin kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı durumlar olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin; sensör bir botun arkasında çekildiğinde oluşan kabarcıklar görüntüyü bozmakta ya da tamamen engellemektedir. Doğru taramalar yapılabilmesi için en ideal konumun, botun yanında olması gerektiğini tespit etmişlerdir. Böylece cihazın geminin ilerleyişi sırasında oluşan titreşimlerden etkilenmemesi için izole

edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca sediment tabakasında bulunan özellikle organik kalıntıların bozulma durumlarının görüntünün kalitesini de etkilediğini ortaya çıkartmışlardır (Grøn ve Boldreel, 2015).

Sismik görüntüleme yöntemleri sedimente gömülü olan ahşap gibi organik kültür varlıklarını bile tespit edebilmeleri nedeniyle, ahşap gemi batıklarının *in situ* belgelenmesinde kullanılmaktadır. Yöntem; gemiye bağlanarak çekilen, sismik dalga yayan bir kaynak ve alıcı kullanılarak deniz tabanının taranmasıyla uygulanmaktadır. Genellikle, gemiye sabit olarak yerleştirilmiş hem kaynak hem alıcı işlevi olan bir cihaz bulunmaktadır. İncelemeler sırasında kaliteli görüntülerin alınması; sediment altındaki ahşabın türüne, bozulma türlerine, ahşabın ve sedimentin yoğunluğuna ve Batığın derinliğine göre değişmektedir. Sabit olan cihaz geminin hareketi doğrultusunda tarama yaparken, çekilen kaynak daha geniş alanların incelenmesini mümkün kılmaktadır. Belçika’da Vlakte van the Raan sit alanında yapılan çalışmada bu yöntem kullanılmıştır. *Scheurrak SO1* adı verilen batık hem MBS hem de sismik analizlerle incelenmiştir (Şekil 1.3). Sismik analizlerde Batığın gövdesinin ikiye ayrılmış hali görülebilmektedir. Şekil 1.3’ de (A)’da görülen ince mavi çizgi, analiz sırasında geminin izlediği yolu belirtmektedir (Missiaen, 2000: 219-223).

Şekil 1.3: *Scheurrak SO1* Batığının *in situ* görüntülenmesi.



Kaynak: Missiaen, 2000: 222.

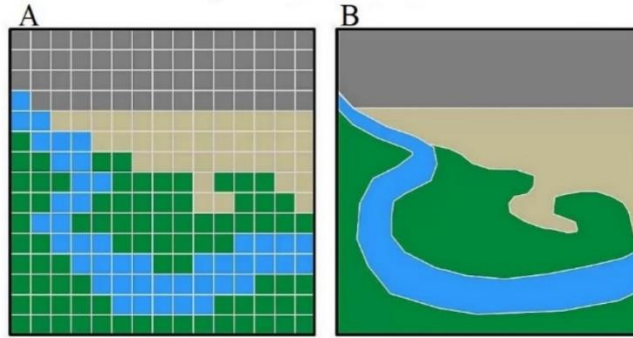
Şekil 1.3’de; (A)’da sismik, (B)’de ise MBS ile görüntülemenin çıktıları incelenebilmektedir. Derinlik ölçümü metre cinsinden alınmıştır.

1.4 Sualtı Kültür Varlıklarının Belgelenmesinde Kullanılan Yöntemler

1.4.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi bilgi sistemleri (Coğrafi bilgi sistemleri: CBS *Geographic Information Systems* [GIS]); analog ve dijital verilerin kaydedilerek, gerektiğinde düzenlenmesi ve değiştirilmesini sağlayan depolama sistemleridir. Küresel konumlama cihazlarından (GPS) kullanılarak yerinde tarama ile elde edilen veriler, harici bellek gibi cihazlarla taşınabilir olmaktadır. Elde edilen bu verilerin değiştirilebilmesi ve analizi için hazırlanmış yazılımlar gerekmektedir. Yazılımlar farklı formatta ve farklı bilgisayar donanımı ihtiyacında olabilmektedir. CBS verileri ile renkler, dokular, yükseklikler, sediment türleri gibi farklı özellikleri barındıran katmanlı yapıda oluşturulabilmektedir. Böylece araştırmacıya, bir arkeolojik sit alanı ile ilgili ihtiyaç duyabileceği her türlü bilgiyi bir arada sunabilmektedir. Araştırmacının CBS'yi ihtiyacı doğrultusunda şekillendirmesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken iki ana unsur; gerçeğe uygunluk ve kalitedir. Raster ve vektör sistemler (Şekil 1.4) verilerin görselleştirilmesi için kullanılmaktadır. Vektör sistemler daha çok inceleme yapılan alanın topografik yapısını belirtmek için kullanılmakta ve haritalar ile ilişkilendirilmektedir. Raster sistemlerle, küçük boyutlu sonuçlar elde edildiğinden, vektör sistemlere kıyasla daha fazla veri depolanabilmektedir. Bununla birlikte; görüntüleme hücresel olduğundan, inceleme yapılan bölgenin daha az gerçekçi olması yani veri kaybı oluşabilmektedir (Maschner, 1996: 2-4).

Şekil 1.4: Vektör ve raster görüntünün farkı.



Kaynak: <https://vimeo.com/53016715>, 22/05/2022.

Şekil 1.4.'de (A)'da raster, (B)'de ise vektor görüntüleme yöntemleri belirtilmiştir.

CBS'de görüntüleme için kullanılan veriler; jeodezik, fotogrametrik, uzaktan algılama ve lazer tarayıcılar ile yapılan ölçümler kullanılarak oluşturulmaktadır. Bunlardan jeodezik ölçüm; uydular sayesinde doğrulama, fotogrametrik ölçüm ise nesnelerin birbiri ile bağlantısını görme imkânı sağlamaktadır. İki ölçüm birbirini doğrulamak amacıyla birlikte kullanılmaktadır. Uzaktan algılama geniş arkeolojik alanlarda kazı ve koruma planlaması yapılması için tercih edilirken, hızlı bir tarama ve doğrulama imkânı da sunmaktadır. Lazer ölçüm teknikleri diğerlerine göre nispeten yeni bir ölçüm yöntemidir. 3D (3 Dimention- 3 boyut) koordinat elde edilmesi ve diğer tekniklerle birleştirilerek; mimari kalıntıların ayrıntılı belgelenmesini sağlamaktadır (Uslu Koçyiğit, 2020: 26-32).

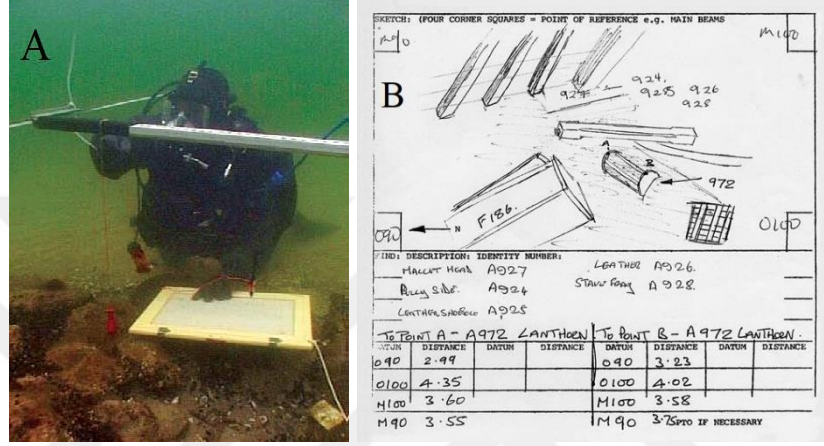
Sualtı kültür mirasının korunmasında GIS; yerinde koruma uygulamalarında, kültür varlıklarının yerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin; Endülüs'ün Cádiz Burnunda yapılan GIS incelemeleriyle 15-19. yy'lara tarihlenen 870'ten fazla batık belgelenmiştir. Bir sit alanındaki bilgilerin depolanmasını sağlaması nedeniyle sistemde gerekli düzenlemeler yapılırsa, akıntılar, dalgalar, rüzgârlar ve sediment erozyonu gibi pek çok veri ve bunların zamanla oluşan değişimleri gözlenebilmektedir. Bu da araştırmacılara alanda *in situ* koruma için gerekli olan jeofizik bilgilerini sağlamaktadır (Figueiredo ve Benardes, 2010).

1.4.2 Çizim ile Belgeleme

Alan çalışanlarının uygun ortam bulamadıklarında sualtı kültür varlıklarını belgeleme süreci zor olabilmektedir. Bu nedenle, genellikle önceden hazırlanmış belgeleme formları kullanılmakta, böylece kültür varlıklarının sınıflandırılması kolaylaşmaktadır. *In situ* çizim ile belgelemede önemli olan noktalardan biri; objelerin tam konumlarının ve birbirleriyle bağlantılarının kesin olarak belirtilmesidir (Resim 1.4). Böylece hem sit alanının hem de bozulmaların oluşum sürecinin anlaşılması kolaylaşmaktadır. Örneğin; bir obje üzerindeki renk değişimi, tamamen yok olmuş bir metal ile temasta olduğu anlamına gelebilmektedir. *In situ* belgelemede sadece kültür varlıklarının ve konumlarının çizimleri yeterli olmamaktadır. Kültür varlığının

bulunduğu bölgenin ortam şartları, yani sediment stratigrafisi, sedimentteki biyolojik kalıntılar, akıntıların ne yönde olduğu gibi bilgiler de önem taşımaktadır (Bowens (ed), 2009: 54-60).

Resim 1.4: (A) sualtında çizim ile belgeleme yapan bir dalgıç, (B) *Mary Rose* Batığının sualtında yapılan belgeleme örneği.



Kaynak: (A) Belasus, 2000: 97; (B) Bowens (ed), 2009: 56.

Sualtı kültür varlıkları üzerinde yapılan çalışmaları sistemli hale getiren Gelidonya Burnu ve Yassıada Batıkları, sualtı arkeolojisinde önemlidir. 1960 ve 70'li yıllarda kazı çalışmaları yapılan bu iki batıkta da dalgıçların elle yaptıkları çizimler kullanılmıştır. Bu belgeleme çalışmalarından ilk yayınlanana, ayrıntılı bir belgeleme çalışmasından çok kültür varlıklarının alan üzerindeki yerleşimini gösteren taslakları içeren Gelidonya Burnu Batığı'nın ilk raporudur. Tunç Çağına tarihlenen Gelidonya Burnu'nda; batığın konumu ve çevresel şartları nedeniyle fotoğraf ile belgeleme istenilen sonuçları vermemiştir. Raporda ekibin çalışmaları sırasında günlük ortalama 50 fotoğraf çektiği belirtilmiştir. Bununla birlikte batığa ait kültür varlıklarının büyük kaya parçaları arasında yayılmış olması, bu parçaların fotoğraflarının açıklayıcı olmasını engellemiştir. Bu nedenle; belgeleme yapılacak alan üzerine çekilen ipler kullanılarak, plastik kağıtlar üzerine çizimler yapılmıştır. Çizimler; kalıntıların birbirleri ile bağlantılarını, geminin yapı elemanlarından kalan parçaları ve metal eserlerin ayrıntılı belgelenmelerini içermektedir (Bass, 1967). Yassı Ada ise bir 4. yy'a tarihlenen bir Bizans batığıdır. In situ belgeleme çalışmaları sırasında, belgelenmesi yapılacak alan üzerine kurulan karelej sistemleriyle, eserlerin alanda doğru

konumlandırılması sağlanmıştır. Yassı Ada Batığı'nın ahşap kalıntıları, Gelidonya Burnu Batığına kıyasla daha iyi korunmuş olduğundan, çalışma ekibinin gemi gövdesinin inceleyerek, kaplamaların bağlantı şekilleri gibi ayrıntılı, yapım teknolojilerine ilişkin bilgileri belgelemesi mümkün olmuştur (Bass, 1971).

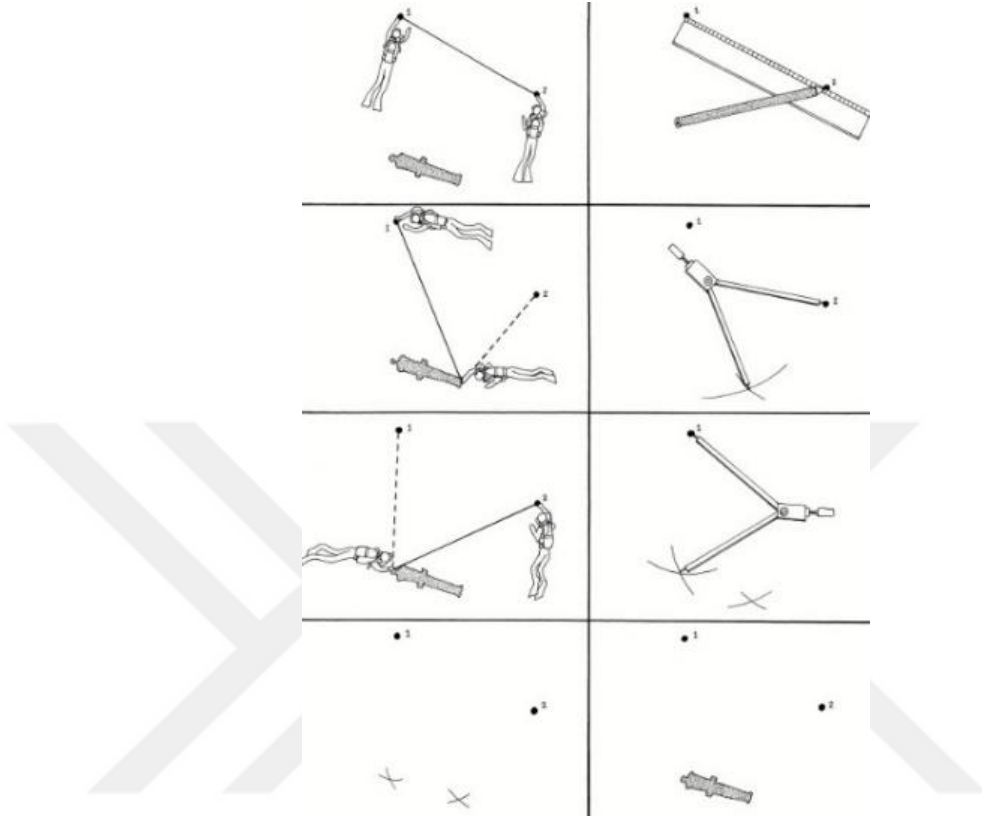
Kültür varlıklarının çizim ile belgelenmesine ilişkin güncel bir örnek; 1625 yılında Stockholm Limanı açıklarında demirleyen ve demirlediği yerde batan *Vasa* Gemisidir. 1950'lerde bir mühendisin gemi ile ilgili yeniden araştırmalar yapmaya başlamasıyla, günümüzde denizcilik müzelerinin önemli bir örneği olan *Vasa* Müzesi'nin kurulmasıyla sonuçlanan, geniş çaplı bir inceleme, koruma ve onarım projesi başlamıştır. Çalışmalar sırasında, günümüzde %98'i korunmuş olan geminin üretim tekniğinin ve batma nedeninin anlaşılması için incelenmeler yapılmıştır. Özellikle gövdedeki ahşapların birbirine bağlanma şeklinin tespiti üzerine çalışılmıştır. Çizim aşamasında, gemi bir bütün olarak kaldırıldığı için bağlantıların belgelenmesinde ahşaplar sökülememiştir. Bu da ahşapların bağlantılarının belgelenmesinde zorluklar ortaya çıkartmıştır. Belgelemenin doğru yapılabilmesi için koruma ve onarım uzmanları; gemi yapımcıların üretimde, döşeme tahtalarının omurga ile birleştiği, hava akışı için açık bıraktığı iki alanda, haritalandırma yöntemi ile *in situ* çizim yapmışlardır. Ölçümlerin yapıldığı noktalar, sarı bayraklar ile işaretlenmiş ve üzerlerine alfa numerik sistem içeren bilgi kodları yazılmıştır. İşaretlemede kullanılan bayraklar, çizimlerin yapıldığı ortam karanlık olduğundan; sarı elektrik bandı üzerine *Sharpie* kalem ile veriler yazıp, bantların bambu çubuğa sarılmasıyla hazırlanmıştır. Oluşturulan bu sistem, hem alan dışı ziyaretçilerin gemiyi anlamasını hem de araştırmacıların doğru ölçümler yapmasını kolaylaştırmıştır (Batchvarov, 2020: 65-69).

Türkiye'de ise Yenikapı Batıkları Projesinin ayrıntılı belgeleme çalışmaları suya doymuş kültür varlıklarının belgelenmesine örnektir. Projede kullanılan belgeleme uygulamaları; detaylı temizlik ve etiketleme, total Station cihazı ile 3D belgeleme, plan, görünüş ve kesit çizimleri, asetat üzerine 1:1 ölçekli çizim ve fotoğraf ve video ile belgelemedir (Kocabaş, 2015: 143). Bununla birlikte; çalışmaların yürütüldüğü alandaki ortam şartları ekibin çalışmalarını sınırlandırmıştır. Kısıtlı zamanda doğru belgeleme yapılabilmesi için bir iş akışı oluşturulmuştur. Elde yapılan

izimler *Total Station* cihazı ile yapılan ölçümlerle birleştirilmiştir. Böylece yüksek doğrulukta belgeleme çizimleri elde edilmiştir. Kaplamaların 1:1 lekli çizimler ile hem onarım sırasında hem de parçaların yeniden birleştirmesi gerektiğinde ihtiyaç duyulacak; ekleme noktaları, çivi delikleri, bozulmalar gibi ayrıntıların kayıt altına alınması mümkün olmuştur (zsait Kocabaş, 2012).

Sualtında *in situ* izim ile belgelemede kullanılan birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden üç noktalı çizim ve kafes sistemi ile çizim, kara kazılarında da kullanılmaktadır. Üç noktalı çizim yönteminde; önceden belirlenmiş, koordinatları bilinen sabitler ile çizimi yapılacak objenin üzerindeki noktalar arasındaki mesafeler ölçülmektedir (şekil 1.5). Kâğıda aktarım yapılırken; cetvel, gönye gibi basit çizim aletleri yeterli olmaktadır. Obje üzerinde alınan nokta sayısı ne kadar fazla olursa, yapılan çizimin o kadar gerçeğe uygun olacağı söylenebilir. Kafes sistemi kullanılarak yapılan çizimlerde ise hızlı ve 1/1 ölçekli çizimler yapmak için kullanılmaktadır. Küçük alanda ayrıntıları belirtmek için tercih edilmektedir. Alternatif olarak, şeffaf akrilik ya da PVC (Polivinil klorür), obje üzerine temas ettirilerek de yapılabilmektedir. Yöntem daha büyük alanlarda çizim yapılması gerektiğinde, çerçeveler yan yana eklenerek ve çizim yapılan alan üzerinde bindirme yapılarak kullanılmaktadır. Bu yöntem; türbiditenin yüksek olduğu sularda, görüş mesafesi kısıtlı olduğundan daha yavaş çizimlerde kullanılabilir (Bowens (ed), 2009: 120-127).

Şekil 1.5: Üç noktalı çizim yönteminin aşamaları.



Kaynak: Bowens (ed), 2009: 122.

Çizim ile belgelemede ya da koruma uygulaması yapılmış alanlarda kullanılan etiketler ve yazılar, sualtı çevre şartlarına dirençli olmalıdır. *İn situ* koruma uygulamaları sonrasında bölgedeki kültür varlıklarının bozulma derecelerinin artıp artmadığı düzenli zamanlarda yapılan gözlem yoluyla incelenmektedir. Gözlem çalışmaları sırasında, kültür varlıklarının bulunduğu sabit ortam koşullarının değiştirilmemesi için alanın üzeri hiç açılmadan belgeleme yapılmaktadır. Bu nedenle; alanda bulunan kültür varlıklarına daha önceden verilmiş kodlar, uygulama tarihleri ve benzeri bilgilerin kolay okunması gerekmektedir. *In situ* belgeleme için kullanılan paketlenme ve etiketleme malzemelerini sualtı çevre koşullarına dayanıklı olması gerekmektedir. Sualtında etiket malzemesinin kolay çözünmesi, yüzeyinde biyofilm oluşması ve kalem mürekkebinin dağılması, araştırmacıların ihtiyaç duyduğu bilgiye ulaşmasını zorlaştırmaktadır.

RAAR projesi (*Reburial and Analysis of Archaeological Remains*- Arkeolojik Kalıntıların Yerinde Korunması ve Analizi) kapsamında; sualtında *in situ* korumada kullanılan paketleme, etiketleme ve yazı malzemelerinin bozulmaları üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda test için seçilen materyaller üç yıl süre ile sediment altında bırakılmış, sürenin sonunda çıkartılan malzemeler hem görsel hem de kronometrik analizler ile incelenmiştir. Etiketlemede kullanılan poliüretan ya da polieter etiketler, sualtında kısa sürede gözle görülebilir bozulmalara uğramamıştır. Bununla birlikte; poliüretan ve polieter sualtında daha esnek bir yapı kazanmaktadır. Bu tür etiketlerde sualtı çevre koşullarına maruz kalmanın ilk altı ay sonrası yüzeyde biyofilm tabakası oluşumu gözlenirse de üzerine işlenen yazılar kolaylıkla okunabilmektedir. Polietilen poşetlere üretim sırasında uygulanan pigment ile renklendirmelerde belirgin solmalar oluşmaktadır. Etiket basım cihazları ile kullanılan paslanmaz çelik etiketlerde; bir yıl kadar sualtında kaldıktan sonra üst katmanlarında bulunan vernik katmanında bozulmalar gözlenmektedir. Bu durum üzerlerine işlenmiş yazıların okunmasını zorlaştırmaktadır. Etiket yüzeylerinde yazı malzemesi olarak kullanılan *Sharpie* gibi kalıcı mürekkepli kalemler, renk değiştirmektedir. Damga ya da kaligrafi mürekkepleri, en yoğun bozulmaya uğrayan mürekkeplerdir. Sualtı arkeoloji kazılarında sıklıkla kullanılan kurşun ve tükenmez kalem, yazılar hala okunabilir olsa da kromatiklik² analizlerinde çıplak gözle anlaşılamayan renk kaybı gözlenmektedir. İncelenen etiket ve yazı malzemelerinde bozulmaların temel nedeni biyolojiktir. Yüzeyde oluşan biyofilm; yazılı bilgilerin okunmasını zorlaştırmaktadır. Biyofilmin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlar da yazı mürekkebinin ve paketlerde kullanılan pigmentlerin bozulmasına neden olmaktadır. Bununla beraber, proje kapsamında çalışmalar kısa süreli yeniden gömme uygulamasının sonucudur (Nyström Godfrey, 2006). Bölgesel çevre koşullarına göre etiket ve yazı malzemelerinde bozulmalar değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle; farklı çevre koşullarında, daha uzun süre denizel çevreye maruz bırakılan örneklerde analiz yapılması etiket malzemelerinin *In situ* koruma sonrasında da bozulmalarının incelenmesi gerekmektedir.

² Kromatiklik: Bir rengin saflık derecesini belirtmektedir. Renk kavramı; parlaklık ve kromatiklik olarak iki unsurdan incelenir. Örneğin; beyaz ve gri renklerin kromatikliği aynı, parlaklığı farklıdır. Beyaz rengin daha parlak hali kabul edilir (Öztürk, 2014: 12).

1.4.3 Tarama Yöntemleri ve Üç Boyutlu Görüntüleme

Son zamanlarda kültür varlıklarının tespiti ve düzenli gözlemine dayalı yerinde koruma ve sergi yöntemi ile korunan sualtı kültür varlıklarında, dijital görüntüleme ile çizim ve fotogrametrik tarama çalışmaları önem kazanmıştır. El ile yapılan çizimler; daha fazla zaman alması, derin denizde bulunan kültür varlıklarında kullanılamaması, çizim sırasında alanın yapısında değişiklik oluşturma riski gibi nedenlerle günümüzde tercih edilmemektedir. Fotogrametrik yöntemler; alanın 3D anlaşılmasını kolaylaştırdığı ve hızlı uygulama imkânı sağladığı için tercih edilmektedir. Yine de sualtında derinliğe bağlı olarak ışığın azalması, fotoğraflarda renklerin değişmesine bağlı olarak yanlış belgelenmeler yapılmasına neden olabilmektedir. Işığın etkinliği ayrıca suyun türbiditesine, dalgalara, ışığın geliş açısına, fotoğrafın çekildiği saate göre değişmektedir (Kaya v.d., 2019).

Fotografik taramalar ile yapılan belgelenmede temel sorun, eğimli alanlara yerleşmiş kültür varlıklarında, alan üzerinde belirlenmiş düz bir hat üzerinden çekilen fotoğraflarda, daha derinde kalan objelerin bulanık görüntülenmesidir. Bu nedenle, kameraların farklı derinliklerdeki objeleri net görüntülemesi için çekimlerden önce kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon için birden fazla yöntem olsa da iki yöntem yaygın olarak tercih edilmektedir. Bunlardan ilki; kamera merceğinin yüzeyi su ya da başka bir sıvı ile kaplı iken yapılan kalibrasyondur. Bu yöntem; kalibrasyonda kullanılan bölge düzenli bir dokuya sahip ve ölçüleri kesin olarak bilindiği sürece olumlu sonuçlar vermektedir. Diğer yöntem ise tamamen matematiksel modellemelere dayanmaktadır (Diamanti v.d., 2013: 39-41).

3D tarama, günümüzde arkeolojide en çok tercih edilen belgeleme yöntemidir. Bunun temel sebebi; çizim ile belgelenmede insan kaynaklı oluşan hataların 3D taramada en aza indirilmiş olmasıdır. 3D taramada kullanılan donanım ve yazılımlar, doğru kalibre edildiği durumda, kültür varlıkları üzerindeki pek çok detayı gösterebilmektedir. Ayrıca bir geminin kaburgaları gibi eğimli kültür varlıklarında, 2D (2 Dimention- 2 boyut) çizimlerde oluşan boyut değişimi, parçanın farklı kenarlarından çizim yapıldığında eğimin doğru verilememesi gibi objelerin 3 boyutlu olmasından kaynaklanan hataların da önüne geçilmektedir (Van Damme v.d., 2020).

1972 yılından günümüze kadar araştırma konusu olan ve 2009 yılından itibaren 3D tarama ile belgeleme; özellikle dalgıçların uzun süre çalışmadıkları derin deniz batıklarında yoğun olarak tercih edilmektedir. Zaman ve iş gücünden tasarruf sağlayan bu teknik, el ile çizim yöntemleriyle birlikte de kullanılmaktadır. Sonar tarama ve fotogrametrik tekniklerin bir arada kullanılmasıyla ortaya çıkan 3D görüntüleme, yandan taramalı sonar daha net ve ayrıntılı tarama imkânı sağlamaktadır (McCharty v.d., 2019: 1-3). 3D görüntüleme, denizel ortama ve kazı alanının strüktürel yapısına zarar verebilecek insani risk faktörünü engellediği için de *In situ* korumada tercih edilmektedir. Deniz tabanının görüntülenmesinde kullanılan akustik sensörler, türbiditesi yüksek sularda net görüntü sağlamaktadır. Fakat elde edilen görüntünün renksiz olması nedeniyle düşük doğrulukta sayılmaktadır. Türbiditesi daha düşük sularda, fotogrametri gibi optik görüntüleme teknikleri tercih edilmektedir. Fotogrametri gibi optik tekniklerin uygulanması sırasında, suyun özellikleri nedeniyle oluşan ışık emilimi farklılığı renklerin değişimine; hareket edebilen mikroorganizmalar ise görüntünün bulanık olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, gerçeğe en yakın doğru belgeleme sonuçlarının alınabilmesi için inceleme yapılan ortamın şartlarına göre farklı görüntüleme teknikleri birleştirilerek, 3D görüntüler ve taramalar yapılmaktadır (Bruno v.d., 2015: 41).

1.5 Sualtı Kültür Varlıklarının *In situ* Korumasında Kullanılan Analizler

1.5.1 Sualtı Çevre Koşullarının Analizi

Sediment tabakasının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, kültür varlıklarının sualtındaki bozulmalarında risk faktörleri oluşturmaktadır. *In situ* koruma uygulamalarının planlanmasında, bu özelliklerin birbirleri ile ilişkisinin tespit edilmesi gerekmektedir. Örneğin; genç sedimentler, diyajenez aşaması henüz bitmediğinden organik içerik bakımından zengindir. Bu durum da organik kültür varlıklarının biyolojik bozulmalarını hızlandırmaktadır. Sediment analizinde düzenli gözlem yapılması gerektiğinde, *in situ* kayıt cihazları kullanılmaktadır fakat bu ölçümler hatalı olabilmektedir. Dolayısıyla tabakanın tüm özelliklerinin belirlenebilmesi için

sedimentten çekirdek örneklerin alındığı *ex situ* analizleri de yapılmaktadır (Bergstrand ve Nyström Godfrey (ed), 2007: 26-28).

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* korumasında önemli olan sediment özellikleri; pH, Eh, çözülmüş oksijen oranı, tortulların tanecik boyutu, sertliği ve gözenekliliği (su içeriği), organik madde, sülfid ve sülfat içerikleridir (Gregory, 2020: 840-841). Sedimentin bu özellikleri, alanda bulunan kültür varlıklarının bozulma süreçlerine etkileri ikinci ve üçüncü bölümlerde açıklanacaktır. Koruma uygulamalarının planlanmasının ilk aşaması; sualtı çevre koşullarının ve alandaki kültür varlıklarının bozulma durumlarının tespiti ve belgelenmesidir. Ayrıca sedimentin tanecik boyutu ve gözenekliliği gibi fiziksel özelliklerinin ölçülmesi, koruma yönteminin seçilmesi ve etkinliğinin tespitinde de önem taşımaktadır. Örneğin; ince taneli ve suyun hareketleri ile kolaylıkla biriken ya da erozyona uğrayan sedimentlerde, sediment kapanı olarak işlev gören yapay deniz çimi gibi koruma yöntemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Bu malzemelerin uygulama sonrası yeterlilikleri de sediment erozyonu modellemesi ile önceden tahmin edilebilmektedir (Baeye, 2000).

Sediment analizleri; deniz tabanından örnekler alınarak *ex situ* yapılabilmektedir. *Ex situ* analizler, sedimentin fiziksel özelliklerin yanı sıra kimyasal içeriği ile de ilgili bilgiler sağladığından önem taşımaktadır. Bazı durumlarda alınan örnek içerisinden kültür varlığı kalıntıları çıkmaktadır. Böylece alandaki kültür katmanının derinliği tahmin edilebilmektedir. *Ex situ* sediment analizlerinde; hangi katmanda organik kalıntı yoğunluğu olduğu, kültür varlığı birikiminin derinliği, tortul tabakasının fiziksel özelliklerinin katmanlardaki değişimi gibi bilgilere ulaşılabilmektedir (Gregory, 2020: 846).

Kimyasal analizler sedimentin; organik depozit içeriği, çözülmüş sülfid, sülfat, oksijen ve benzeri gazların oranını ortaya çıkartabilmektedir. Sedimentin bu özellikleri, kültür varlıklarının bozulmalarını arttırıcı ya da yavaşlatıcı özellik göstermesini sağlamaktadır. Örneğin; sedimentteki çözülmüş oksijen oranının yüksekliği, ahşap kültür varlıklarının mikrobiyolojik organizma etkinliğine bağlı olarak, ileri derecede bozulmasına neden olmaktadır (Gregory, 2020).

In situ ölçüm yapabilen kayıt cihazları (Kayıt cihazları- *data logger*) hem koruma yönteminin uygulanması öncesinde alanın özelliklerinin ayrıntılı belgelenebilmesi hem de uygulama sonrasındaki düzenli kontrollerin yapılabilmesinde kullanılmaktadır (Resim 1.5). Alandan örnek alınarak yapılan *ex situ* sediment analizleri, kirlenmeye bağlı hata riski taşımakta, pahalı ve uzun süre almaktadır. Bu nedenle *ex situ* analizler, düzenli gözlemde kullanışlı bulunmamaktadır. *In situ* analiz cihazları, alanda incelenmesi istenilen ortam koşullarına göre farklı verileri ölçebilmektedir. Örneğin; bir Batığın bulunduğu alanlarda *in situ* koruma yapılacak ise sedimentteki sülfid oranı, pH, Eh ve çözülmüş oksijen oranını belirleyen bir cihaz gerekmektedir. SASMAP³ projesi (*Survey, Assess, Stabilise, Monitor and Preserve Underwater Archaeological Sites*- Sualtı Arkeolojik Alanlarının Araştırılması, Değerlendirilmesi, Sabitlenmesi, İzlenmesi ve Korunması) kapsamında üretilmiş olan *Unisense* adlı kayıt cihazı analiz için kullanılmaktadır. Cihazın 50 cm sediment içine giren iğne uçları hangi veri ölçülmek isteniyorsa cihaz üzerindeki kısma bir dalgiç tarafından yerleştirilmektedir (Resim 1.6). *Ex situ* sediment analizi yani sedimentten örnek alınarak yapılan analizler ise tortunun mineralojik birleşimi, tortulların kimyasal içeriği ve tanecik boyutu gibi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Gregory, 2020: 839-844).

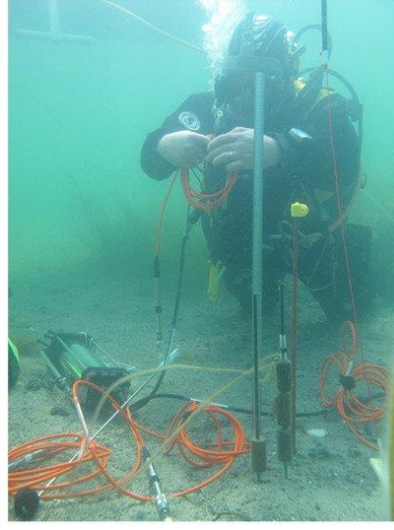
Resim 1.5: SASMAP Projesi kapsamında üretilen *Unisense In situ* kayıt cihazı.



Kaynak: Gregory, 2020: 841.

³ Proje için bkz: 4.4.1 SASMAP Projesi

Resim 1.6: Kayıt cihazının kurulumu.



Kaynak: Gregory, 2020: 841.

Ecosounder kayıt cihazları ile ölçümü yapılabilen tortu yoğunluğu, sediment tabakasının fiziksel özelliklerinden olan sertlik hakkında bilgi vermektedir. Düşük yoğunluktaki tabakalar düşük sinyaller yayarken, yüksek yoğunluktakiler yüksek sinyal yaymaktadır. Sediment tabakasının hacminin, dolayısıyla sertliğinin doğru belirlenmesi için sediment ıslak ve kuru iken ölçülmesi gerekmektedir (Endler, 2009).

Sediment için yapılan bir diğer analiz, erozyon modellemesidir. Sit alanının oluşum sürecinin de anlaşılmasına yardımcı olan bu analiz, özel bilgisayar/laboratuvar ekipmanları ve uzmanları ile çalışılmasını gerektirmektedir. Uzun süreli planlanacak koruma uygulamalarında, sediment tabakasının hareket düzeninin tespiti ve doğru koruma yönteminin seçilmesi için önemli rol oynamaktadır. Planlamada bütçe oluşturulabilmesi için seçilen yöntemin uygulanması sırasında ne kadar malzeme gerekeceği, yine sedimentin hareket düzenine göre değişmektedir. Sediment hareket modellemesi; akıntı ve dalga modellemeleri ile eş zamanlı yapıldığından çok geniş alanlarda birden çok bozulma faktörünün tespitini sağlamaktadır (Dix v.d.,2000: 48-50). Sedimentin deniz tabanındaki hareketi sırasında oluşan birikim ve erozyon, yüzeyden incelenebileceği gibi deniz tabanına yerleştirilen cihazlarla da ölçülebilmektedir. *BZN 10* Batığının *in situ* koruma uygulamaları sırasında

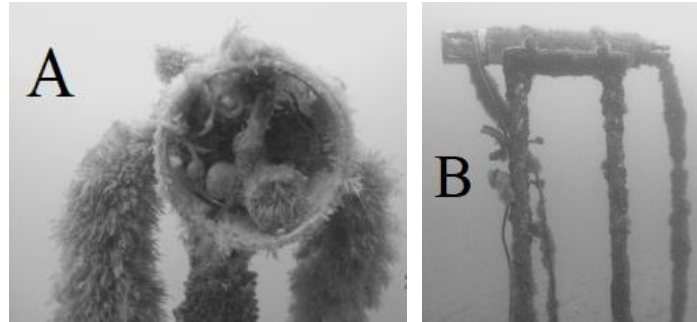
yerleştirilen cihaz ile Batığın üzerine biriken tabaka kalınlığını ölçülmesi sediment birikimi modellemesine örnek gösterilebilir (Gregory, 2000: 40).

Sedimentin fiziksel özelliklerinden olan tane boyutu analizi, pahalı ve zaman alan bir analizdir. Tane boyutu analizi geleneksel olarak deniz tabanından örnek alınarak laboratuvar da *ex situ* olarak yapılmaktadır. Günümüzde ise lazer ile *In situ* analizler üzerinde de çalışmalar sürdürülmektedir. Lazer ile yapılan analizler; deniz tabanının dışında asılı kalan sedimentin analizinde kullanıldığından, türbiditenin yüksek olduğu bölgelerde başarılı sonuçlar vermektedir. Bir başka sediment analizi olan dijital görüntüleme yöntemi ise sadece yüzey kısmının incelemesini yapması ve laboratuvara örnek taşınmasına gerek olmaması nedeniyle tercih edilmektedir. Dijital görüntüleme yönteminde; çekilen fotoğraflar üzerinden incelenen tortu taneciklerinin tespiti için bir algoritma kullanılmaktadır. Dijital görüntüleme yönteminin dezavantajı ise tortu taneciklerinin birbirinin önünü kapatarak boyutun tam ölçülmesini engellemesi ve aynı renkteki tabakaların bütün olarak ölçülmesidir. Bu durum hatalı ölçüm yapılmasına neden olmaktadır. Ayrıca; analiz öncesi kalibrasyon için kullanılan fotoğrafın net olmaması, fotoğrafların deniz tabanına farklı yüksekliklerden çekilmesi, eğik açıyla fotoğraf çekme ve taneciklerin üç boyutlu olması, hesaplamaların hatalı olma riskini ortaya çıkartmaktadır (Rubin, 2004). Dijital görüntülemede kullanılan mikroskop ya da kamera, el ile deniz tabanına yerleştirilebilir veya su yüzeyinden sarkıtılabilir. Böylece sabit noktalardan ölçüm alma sağlandığından hata riski düşürülmektedir (Rubin v.d., 2007).

Kültür varlıklarını çevreleyen suyun analizi, sürekli değişim halinde ve bölgesel olarak farklı özelliklere sahip olması nedeniyle, koruma uygulamasına karar verme aşamasında önem taşımaktadır. *In situ* analizlerde suyun; pH'ı, Eh'ı, tuzluluğu, sıcaklığı, türbiditesi, çözünmüş gaz oranı ve akıntıları analiz edilmektedir. İçlerindeki sensörler ile anlık ölçüm yapabilen cihazlar, koruması yapılan alanın farklı bölgelerinde ve farklı derinliklerde olacak şekilde deniz tabanına sabitlenmektedir. Ölçümler istenilen aralıklarla kayıt altına alınıp kıyaslanmakta, böylece alandaki deniz suyunun mevsimsel değişimleri de incelenmektedir. Bir grafik haline getirildiğinde; normalden farklı olan ölçümler dikkat çekmektedir. Bu da alana etki eden ve öngörülemedi risk faktörlerinin tespitini sağlamaktadır (Beaubien v.d., 2014).

Deniz suyun analizi için kullanılan kayıt cihazları; deniz tabanına sabitlenebildikleri gibi tabandan yükseltilerek de yerleştirilebilmektedir (Resim 1.7 ve Resim 1.8). Tabana sabitlenen kayıt cihazları; deniz çimi matının sediment biriktirme hızını da belirleyebilmektedir. Açık su ölçümünde kullanılan kayıt cihazlarıyla ilgili temel problem; bu cihazların sensör kısımları da dâhil olmak üzere üzerlerinin çok hızlı bir şekilde denizel organizmalar tarafından kaplanmasıdır. Oluşan bu biyofilm, yapılan ölçümlerin hatalı olmasına neden olmaktadır. *BZN 10* Batığını çevreleyen suyun analizi için kullanılan kayıt cihazı böyle bir biyofilm ile kaplanmış. Cihaz alana yerleştirilmesinden iki ay sonra uğradığı yoğun korozyon ve üzerindeki denizel birikim nedeniyle kullanılamaz hale gelmiştir. Bu sorunların düzeltilebilmesi için *MoSS*⁴ projesi (*Monitoring, Safeguarding And Visualizing North-European Shipwreck Sites*- Kuzey Avrupa Batık Alanlarının İzlenmesi, Korunması ve Görselleştirilmesi) kapsamında, cihaz epoksi ile kaplanmış, sediment sensörü değiştirilmiştir. Yapılan bu değişim cihazın daha uzun süre doğru ölçümler yapmasını sağlamıştır. Fakat proje kapsamında alınan ilk verilerin hatalı olması, proje çıktılarının da hatalı olmasına eden olmuştur (Gregory, 2012; Vroom ve Koppen, 2003). Suyun analizi sırasında kullanılan küçük ve taşınabilir cihazlar, ayrıntılı ölçümler için deniz tabanına sabitlenenlere kıyasla daha elverişli olmaktadır. Örneğin; Marmara Denizi'nde bulunan *HMAS AE2* Gemisinin koruma uygulamaları için analizler yapılırken, *Unisense Microsensor Multimeter* tercih edilmiştir. 0.3 mm çapındaki bir kabloya sahip bu cihaz ile pH, Eh ve çözünmüş oksijen oranının analizi yapılabilmektedir (MacLeod, 2019: 869).

Resim 1.7: *Drass Cog* sualtı sit alanında kullanılan *In situ* su kayıt cihazının görüntüsü.

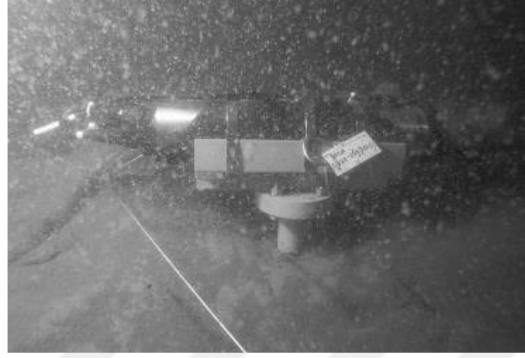


Kaynak: (A) Gregory, 2012: 42; (B) Vroom, Koppen, 2003: 12.

⁴ Proje için bkz: 4.2.12 *MoSS* Projesi

Resim 1.7’de; (A)’da kayıt cihazının sensör kısmı üzerinde oluşan biyofilm, (B)’de ise kayıt cihazının deniz tabanında yerleştirilmesi için kullanılan sistemin *In situ* görüntüsü belirtilmiştir.

Resim 1.8: BZN 10 Batığının su analizi için kullanılan kayıt cihazının görüntüsü.



Kaynak: Gregory, 2012: 42.

1.5.2 Kültür Varlıklarının Analizi

Seçilen *in situ* koruma yönteminin uygulaması öncesi ve sonrasında da yöntemin başarısını ölçebilmek amacıyla alandaki kültür varlıklarından analizler yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda bu analizlerin yapılması alanın denge durumunun bozulmasına neden olacağından farklı yöntemler denenmektedir. Örneğin; yeniden gömme yönteminde ahşap malzemelerde gözlem yapılması oldukça zordur. Bunun nedeni yeniden gömme öncesi zaten bozulmaya uğramış olan ahşabın ne kadar değiştiğinin görsel analizlerle anlaşılamamasıdır. Kültür varlıklarından sıklıkla örnek alınamayacağı durumlarda orijinal objenin yanına modern bir ahşap parçası konulması ve bu parçanın ışık mikroskobu analizi ile bozulma türü ve derecesinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Arkeolojik ahşap ve modern ahşap arasında yıllarca sualtı ortamına maruz kalmanın getirmiş olduğu kimyasal farklılıklar olsa da yöntemin basit ve ucuz olması ve de orijinal ahşaptan sürekli örnek alınmasını engellenmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Björddal ve Nilsson, 2007: 870; Komorowicz, v.d., 2018).

In situ kültür varlıkları analizlerinde, metal kültür varlıkları için önemli olan korozyon potansiyeli ölçümü orijinal kültür varlıkları üzerinde yapılabilmektedir (Resim 1.9). Tahribatsız analiz yöntemleri objenin birden çok bölgesinde inceleme yapılmasını mümkün kılmaktadır. Metal kültür varlıklarının sualtındaki korozyon

süreci üçüncü bölümde açıklanacaktır. Analiz sırasında eğer obje yüzeyindeki kabuk tabakası temizlenemiyorsa, kabuk tabakasının çözünmüş oksijen oranının ve pH'nın ölçülmesiyle de analiz yapılabilir. Korozyon oranı; suyun sıcaklığı, çözünmüş oksijen oranı, pH'ı, akıntılar ve insan aktiviteleri gibi pek çok faktöre bağlı olarak değiştiğinden, metal kültür varlıklarının korozyon oranının düzenli olarak gözlenmesi önemlidir. Böylece hem objedeki kabuk oluşumu hem de çevresel faktörlere karşı korozyon oranındaki değişimler gözlenebilmektedir. Düzenli gözlem ayrıca; objenin gelecekteki korozyon oranının ve benzer çevrelerde bulunan başka metal kültür varlıklarının korozyon oranlarını tahmin etme imkânı sağlayabilmektedir (MacLeod, 2013b).

Resim 1.9: *In situ* korozyon potansiyeli analizi.

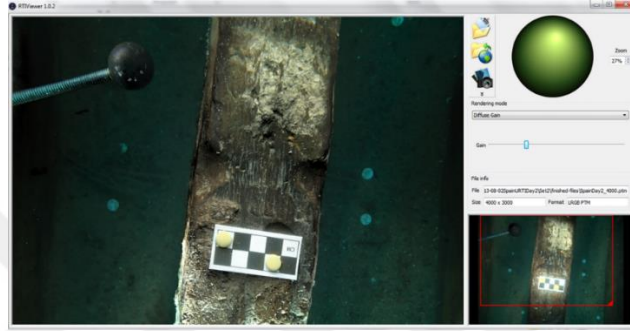


Kaynak: Bartuli v.d., 2008: 3.

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* analizleri görsel belgelemeye dayalı yöntemler ile yapılabilir. Bazı durumlarda inceleme yapılacak kültür varlıklarından örnek alınamamaktadır. Kültür varlıklarının dalgıçların uzun sürelerde çalışamayacakları kadar derinde olmaları durumunda görsel analizler, objenin fiziksel durumu ve çevre şartları ile ilgili veri sağlamaktadır. Yansıtma dönüşümlü görüntüleme (*Reflectance Transformation Imaging*- Yansıtma dönüşümlü görüntüleme [RTI]) bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. RTI ile yüksek türbiditede bile görüntüleme sırasında kullanılan ışığın farklı açılardan yönlendirilmesi yapılmaktadır. Böylece; gerçeğe yakın ve ayrıntılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Uygulamadan yüksek verim alınabilmesi için kameranın, belgelemesi yapılacak bölgede eşit mesafeden tarama yapması gerekmektedir. Kamera açısı değişse de

objeye uzaklığının değişmemesi için genellikle dairesel bir düzenek kullanılmaktadır. RTI ile alınan görüntüler bilgisayar yazılımında bir araya getirilmektedir. Elde edilen tarama görüntüsü bilgisayar ortamında 3D olarak hareket ettirilebildiği için taranan objenin üzerindeki en küçük detayların bile görülebildiği bir belgeleme sağlanmaktadır (Resim 1.10) (Selmo v.d., 2017).

Resim 1.10: Sualtında RTI ile belgelenen ahşap gemi kaburgası.



Kaynak: Selmo v.d., 2017: 11.

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* analizlerinde, kimyasal bozulmalar incelenmek istendiğinde lazer temelli analiz yöntemleri de kullanılmaktadır. Lazer Kaynaklı Arıza Spektroskopisi (*Laser-Included Breakdown Spectroscopy*- Lazer Kaynaklı Arıza Spektroskopisi [LIBS]) cihazı kullanılarak yapılan analiz, bu yöntemlerden biridir. Analiz sırasında kullanılan cihaz, sıvı ile temas ettiğinde, cihaza temas eden sıvı ısıyarak gaz baloncukları yani plazma ortaya çıkmaktadır. Kısa süreli bir ölçüm sağlayan bu plazma, süreç ile eş zamanlı olarak LIBS ile incelenmektedir. LIBS, İspanya'nın Malaga Koyunda bulunan sualtı kültür varlıkları üzerinde denenmiştir. Uygulama sırasında 30 m derinlikte olan bir dalgıç, 45 m derinlikte olan alanda analiz yapmıştır. Alanda bulunan organik ve inorganik kültür varlıkları dalgıcın yönlendirmesi ile tespit edilmiştir. Analiz, elementel düzeyde tespit imkânı sağladığından alanda bulunan metal kültür varlıklarının bronz olduğu anlaşılmıştır (Guirado v.d., 2012).

1.6 *In situ* Koruma Yöntemleri

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması; bir kısmının bulundukları alandan uzaklaştırılmış ve/veya kazılmış olmasına bakılmaksızın, orijinal bağlamın

korunabilmesi için planlanan yöntemlerdendir. Kültür varlıkları üzerinde temas edilmeden yapılan belgeleme çalışmaları ve ortam şartlarının değişimleri düzenli aralıklarla gözlemlenmektedir. Türkiye gibi çok fazla sualtı kültür varlığına sahip olan ülkelerde; arkeolojik veri içeren alanların tamamının kazılması, kültür varlıklarının çıkartılması, sergilenmesi ya da depolanması hem çok uzun yıllar süreceği hem de maliyeti yüksek olacağı için *in situ* koruma yöntemi tercih edilmektedir. Alanın yasalarla korunması; insan kaynaklı bozulmaların önüne geçilmesi için önem taşımaktadır. *In situ* belgeleme teknikleri kullanılarak, sit alanındaki kültür varlıklarının; bozulma durumlarının, ortam şartlarının, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ayrıntılı şekilde kayıt altına alınması gerekmektedir. 2001 yılında yayınlanan UNESCO Sualtı Kültürel Mirasının Korunması Sözleşmesi'nde sualtı kültür varlıklarının koruma planlamalarında tercih edilmesi gereken ilk seçeneğin *in situ* koruma yöntemi olması yönündeki maddesi ile son yıllarda bu yöntemin daha çok tercih edilmesine neden olmuştur (Bathencourt v.d., 2018: 99-100).

In situ koruma planlaması yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurlar şu şekilde sıralanmaktadır:

- Koruma yapılacak alanın kapsamı,
- Alandaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaya neden olabilecek etkenler,
- Alanda korunması gereken malzemelerin türleri, bozulmaları ile stabilize edilmeleri için ihtiyaç duydukları ortam koşullarının belirlenmesi,
- Alanın sonradan izlenip yeni planlar oluşturulabilmesi için gerekli olan gözlem sisteminin kurulmasıdır (Gregory v.d., 2012).

Kültür varlıkları; sualtına batma aşaması sonrası belirli seviyelerde bozulmalara uğrayarak yeni ortama uyum sağlamakta ve denge durumuna ulaşmaktadır. Böyle alanlarda yapılan arkeolojik çalışmalar kültür varlıklarının incelenebilmesi için üzerini kapatan ve stabilizasyon sağlayan sediment tabakasının uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Sedimentin alandan uzaklaşması sadece insan etkisiyle değil dalga gibi doğal etkilerle sediment erozyonuna bağlı olarak da olabilmektedir. İnsan etkisine bağlı olarak koruyucu sediment tabakasının alandan uzaklaştırılması kültür varlıklarının stabil halini bozmaktadır. Modern koruma ve

arkeoloji çalışmalarında taramalı sonar gibi yöntemler kazı çalışmalarına kıyasla daha çok tercih edilmektedir (Gregory v.d., 2012).

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma yöntemleri; yeniden gömme, katodik koruma gibi koruma ve sağlamlaştırma, temizlik gibi onarım uygulamalarını kapsamaktadır. *In situ* koruma aynı zamanda ziyaretçi açısından da önemlidir. Çünkü kullanılan bazı koruma uygulamaları sualtı kültür varlıklarının üzerini tamamen kapatarak, dalgıçların ziyaretini engellemektedir. Bölgedeki kültür varlıklarının kamunun dikkatini çektiği bölgelerde, fiziksel ziyaretlerde insan kaynaklı risk faktörleri engellenmelidir. Örneğin, Girit'teki kafes ile yeniden gömme uygulamasında olduğu gibi bazen uygulama sonrasında ziyaretçilerin alanı ziyaret edebilmesi mümkün olmaktadır (Khakzad ve Van Balen, 2012: 472). *James Matthews* Batığı gibi alanın üzerinin tamamen kapatıldığı durumlarda ise ziyaretçilerin alanı gezmesi mümkün olmamakta fakat kültür varlıklarının ortam şartlarının iyileştirilmesi ile daha kapsamlı bir koruma sağlanmaktadır. Bu nedenle; sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması için yöntemler seçilirken, sadece kültür varlıklarının korunma durumları değil, bölge için planlanan tanıtım ve turizm faaliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bölümde; sualtı kültür varlıklarının koruma ve onarım uygulamalarının özellikleri, avantajları ve dezavantajları açısından örnek incelenecektir.

1.6.1 *In situ* Onarım (*In situ* Conservation)

In situ koruma uygulamaları; bazen sadece belgeleme ve gözleme dayalı pasif müdahale yöntemlerinin bazen de alandaki kültür varlıkları üzerinde biriken biyofilmin temizlenmesi gibi onarım yöntemlerinin seçilmesini gerektirmektedir. *MaTaCos* projesi⁵ (Advanced Materials And Technologies Applied To The Conservation Of Underwater Cultural Heritage- Sualtı Kültür Mirasının Korunması İçin Uygulanan İleri Malzeme ve Teknolojiler) kapsamında tasarlanmış olan araç-gereçler; İtalya Briatica'daki *Peschiere di Sant'Irene* Antik Kentinde bulunan taş mimari yapı elemanları üzerindeki biyofilmin temizlenmesinde denenmiştir. Konservatörlerin kara kazılarında kullandığı bisturi, iğne, fırça ve ultrasonik cihazlar

⁵ Bilgi için bkz: 4.4.3 *MaTaCos* Projesi

gibi kolay erişilebilir mekanik temizlik araç-gereçlerinin, sualtı kazılarında kullanılamıyor olması bu proje fikrinin çıkış noktasıdır (Scalercio v.d., 2021).

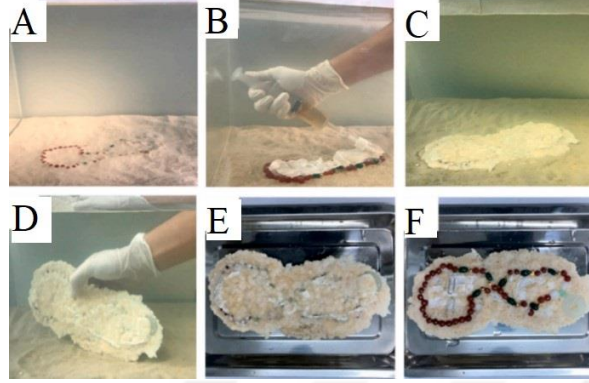
Temizlik uygulamaları sadece mimari taş kültür varlıkları üzerinde değil mozaik gibi kompozit yapıdaki kültür varlıkları için de kullanılmaktadır. Mozağin yapısal olarak taşlardan daha hassas olması, kullanımı ve yönlendirmesi daha kolay aletlerin tercih edilmesini gerektirmektedir. Böyle bir uygulama *Baiae* Antik Kentinde bulunan *Poruts Iulius* mozağında denenmiştir. Güç kaynağını kendi içinde barındıran ve sensörlü taşlama ucuna bağlı bulunan bir hortum taşıyan, *The CoMAS* projesi (*Construction Management Solutions- İnşaat Yönetimi Çözümleri*) kapsamında üretilmiş bir alet denenmiştir. Aletin uç kısmının değiştirilebilecek biçimde tasarlanmıştır. Böylece; kontrollü temizlik uygulamasının yapılabilmesi için kültür varlığının malzeme özelliklerine ve yüzeydeki birikimin sertliğine göre farklı şekil ve sertlikte uçlar seçilebilmektedir. Bu tür değiştirilebilir uçlu temizlik aletleri ROV'a bağlanarak derin deniz çalışmalarında da kullanılabilmektedir (Bruno v.d., 2016a: 113).

Sualtında kültür varlıklarını biyolojik bozulmalardan korumak için son yıllarda nanoteknoloji kullanılmaya ve test edilmeye başlanmıştır. Çinko oksit ya da titanyum dioksit partikülleri bu amaçla kullanılmaktadır. Bu kimyasallar, sualtında kullanılabilmesi için asitsiz balmumu benzeri maddeler ile karıştırılmakta ve yüzeye uygulanmaktadır. Nanoteknolojinin sualtı kültür varlıklarının korunmasında yüzey koruyucu olarak kullanımı ile ilgili yapılan araştırmalar; uygulama yapılan bölgelerde oluşan biyofilmin, yapılmayan bölgelere kıyasla %30 daha düşük kalınlıkta olduğu göstermektedir (Ricca ve La Russa, 2020). Uygulama yapılan alanlarda oluşan biyofilm, yoğun gözenekli örneklerde bile yapı içerisine çok fazla ilerleyememektedir. Bununla birlikte; biyofilm katmanı oluşumu çinko oksit ile kaplanan yüzeylerde titanyum dioksit+gümüş ile kaplanana kıyasla daha fazla olmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilmiş yüzey koruyucuların, uygulama sonrası 20 ay sonra denizel ortamın fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle etkinliğini kaybettiği bilinmektedir. Bu nedenle, nanoteknoloji kullanılarak yapılan yüzey koruma uygulamalarının, düzenli olarak gözlem yapılamayan bölgelerde kullanılması tercih edilmemelidir (Ruffolo v.d., 2017).

Kültür varlıklarının kaldırılarak taşınması gerektiği durumlarda, kara kazılarında kullanılan yöntemler çoğunlukla kullanılmaz. Örneğin; kültür varlığının alttan sert kartonlar ile desteklenerek etrafındaki toprak ile kaldırıldığı uygulamalar sualtında kullanılmamaktadır. Sualtı kazıları için seçilen malzemelerin; suda çözünmeyen, kolay tutulabilen ve karaya çıkartıldığında su sızdırmayan malzemelerden seçilmesi gerekmektedir. Suyu doymuş büyük ahşapların kaldırılmasında microfoam, sert straforlar, fiberglass taşıyıcılar, sert plastikten kapaklar kullanılmaktadır. Hassas küçük eserlerin yerinden kaldırılmasında ise su emdirilmiş selülozik ya da suni ipek kumaşlar, plastik sargı plakaları, polietilen paketler gibi malzemeler tercih edilmektedir (Lescard, 1987: 117-121).

Son yıllarda sualtı kültür varlıklarının üzerine uygulandığında su ile reaksiyona girerek sertleşen ve bütün halde kaldırma imkânı veren kimyasal malzemelerin geliştirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Yoğun bozulmaya uğramış hassas sualtı kültür varlıklarında, geçici sağlamlaştırma ile bütün olarak kaldırma yapılabilmesi için katı haldeki maddelerle karıştırılabilen kimyasallar tercih edilmektedir. Kullanılacak kimyasal maddelerde aranan özellikler: suda çözünebilir olmaması, sudan daha yüksek yoğunlukta ve düşük erime noktasına sahip olması, kolaylıkla süblimleşebilmesidir. Bu amaçla kullanılan kimyasal maddelerden en çok bilinenleri; veratraldehit, benzofenon ve fenoldür. Benzofenon ve fenol suda çok çabuk kristalleşmekte, uygulama için yeterli çalışma süresi sağlamamaktadır (Chen ve Zhang, 2019). Veratraldehit ise en hassas kültür varlıklarında da uygulanabilir ve geri alınabilir bir malzeme olması nedeniyle tercih edilmektedir. Veratraldehit hidroscopik olduğu için tek başına kullanıldığında sualtında uygulandığı bölgeye tutunamamaktadır. PEG (Poli Etilen Glikol) ve polipropilen lifler ile karıştırılarak yoğunlaştırılmakta, böylece uygulama yapılan malzeme yüzeyinde tutunabilmesi sağlanmaktadır. (Resim 1.11) (Chen v.d., 2021).

Resim 1.11: Veratraldehitin sualtında boncuk dizisinin kaldırılması için yapılmış bir geçici sağlamlaştırma denemesinin görüntüleri.



Kaynak: Chen v.d., 2021: 3.

Resim 1.11’de; (A)’da uygulama öncesinde, (B,C,D,E,F)’de ise uygulama aşamaları sırasında çekilen görseller belirtilmiştir.

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* korunmasında kaldırma yöntemleri de İn situ konservasyon uygulamaları arasında sayılmaktadır. Suyu doymuş ahşap parçalardan oluşan gemi batıkları; bütün olarak ya da parçalar tek tek sökülerek kaldırılabilir. Gemi elemanlarının tek tek kaldırılması; koruma onarım işlemlerinde PEG emdirme ve dondurarak kurutma işlemlerinin daha doğru yapılmasını sağlamakta, gemi elemanlarının birbirine bağlanma yöntemi ile ilgili veriler sağlamakta ve geminin altında bulunması muhtemel kültür varlıklarına zarar verilmesi riskini önlemektedir. Kaldırma sırasında yapılan ayrıntılı belgeleme çalışmaları; geminin üretimi sırasında bırakılmış orijinal işkilik izlerine ulaşılmasını mümkün kılmaktadır. Geminin inşa yöntemiyle ilgili elde edilen veriler, antik çağda gemi yapım teknolojisinin gelişimiyle ilgili de önemli kaynakları oluşturmaktadır (White, 2018; Kocabaş, 2015:75-95; Özsaıt Kocabaş, 2022: 30).

Sualtı kültür varlıklarının yerinden kaldırılmasında; suyla temas ettiğinde çözünmeyen, kültür varlıklarının ihtiyaç duyduğu fiziksel desteği sağlayabilen ve kültür varlığının üretildiği madde ile uyumlu esneme payı, sertlik gibi özelliklere sahip malzemeler tercih edilmektedir. Bu maddeler seçilirken, kültür varlığının mevcut durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin; suya doymuş ahşap kültür varlıklarının kaldırılması sırasında, seçilen dolgu malzemesi kullanılmadan önce

ahşabın polietilen parçalar ile sarılması önerilmektedir. Böylece, dolgu malzemesinin ahşap ile teması engellenmektedir (Pearson, 1987: 118-121). Yenikapı batıkları projesinde; ahşap parçalarının kaldırılması için birden fazla yöntem kullanılmıştır. Bunlar; kaplamaların kaldırılmasında negatif kopya, “L” formlu taşıyıcılar ile kaldırma, epoksi ile destekleme, kütle olarak kaldırma ve hamburger yöntemleridir. Bu yöntemler; gemi parçalarının, mevcut eğimlerinin korunması ve kaldırma sırasında fiziksel bozulmalara uğramaması için özel olarak üretilmiştir. Gemiye oluşturan parçaların boyutları ve korunma durumları farklı olduğundan, gemi parçalarının kesilmesine gerek duyulmadan kaldırılabilmesi için bu yöntemler farklı gemi parçalarında kullanılmıştır. Örneğin; YK 6 numaralı geminin omurga ve omurgaya bağlı altı eğrisinin kaldırılması için kütle olarak kaldırma, YK 3 numaralı geminin ileri derecede bozulmuş eğrileri için hamburger yöntemi tercih edilmiştir (Kocabaş, 2015: 79-95).

1.6.2 *In situ* Koruma (*In situ* Preservation)

1.6.2.1 Fiziksel Bariyer Oluşturma

Sediment tabakasının kültür varlıklarının bozulma süreçlerini yavaşlatıcı etkisi göz önünde bulundurularak, yapay bir fiziksel bariyer oluşturarak yapılan koruma yöntemidir. İkinci ve üçüncü bölümlerde, sualtı çevre koşullarının özellikleri ve bunların malzeme türleri üzerindeki etkileri irdelenmektedir. Sediment tabakası; yarattığı stabil ortam koşulları ile biyolojik bozulmalara karşı koruma sağlamaktadır. Kültür varlıklarının dalga ve akıntılar nedeniyle mekanik olarak bozulmaları ve insan etkisine bağlı risklere karşı da sediment tabakasının bir koruma etkisi bulunmaktadır. Fiziksel bariyer oluşturmak için farklı malzemeler kullanılabilir (Tablo 1.2) verilmektedir.

Üzerindeki sediment tabakası erozyona uğramış arkeolojik alanlarda, biyolojik ve fiziksel bozulma faktörlerinin etkinliğini azaltmanın ucuz ve basit yolu; kum torbaları ile yeniden gömme yöntemidir. Kum torbaları anaerobik ortam yaratarak denizel canlıların alandaki kültür varlıkları üzerinde bozulma yaratma riskini azaltmaktadır. Denizin sığ kesiminde bulunan kültür varlıklarının, dalga ve akıntılarının etkisiyle fiziksel bozulmalarına karşı da koruma sağlamaktadır. Yapay olarak

oluşturulan kum torbası katmanı zamanla sediment tuzağı halini almakta ve alanın yüzeyinin yeniden kapanmasına yardımcı olmaktadır. Alandaki sedimentler akıntı ve su hareketlerine bağlı olarak kum torbalarının aralarında ve yüzeylerinde birirmektedir (Coroneos, 2006). Fiziksel bariyer oluşturmak için kullanılan kum torbaları; pamuk malzemedен üretildiklerinde, pamuk liflerinin sualtında kısa sürede çözünmesi dolayısıyla torbaların parçalanması riski bulunmaktadır. Doğal lifler kullanılarak üretilen kum torbaları parçalandığında alanın üzeri sadece torbaların içindeki kum ile kaplanmaktadır. Özellikle dalga etkisinin yüksek olduğu karaya yakın sığ sularda, oluşan bu ince kum tabakası erozyona uğramaktadır. Erozyonun sonucu olarak koruma yapılan alanda kısa sürede tekrar denizel ortama maruz kalmaktadır. Bu durumun engellenmesi için polietilen ile desteklenmiş kum torbalarının kullanılması tavsiye edilmektedir (Richards, 2012: 173).

Tablo 1.2: Fiziksel bariyer oluşturma yönteminde kullanılan farklı malzemelerin avantaj ve dezavantajları.

Koruma Yöntemi	Avantajlar	Dezavantajlar
Kum torbaları	-Kaçakçılara karşı koruma sağlar. -Anaerobik ortam yaratabilir. -Uzun süreli koruma sağlar. -Ulaşımı kolay bir malzemedir.	-Yüksek işçilik maliyeti gerektirir. -Altında kalan kültür varlıklarını görüntülemeye zorluk ortaya çıkartır. -Sit alanında fazladan ağırlık yaratır. -Keten gibi doğal içerikli torbalar, sualtı çevre koşullarında kolay bozulmaktadır.
Propilen ağlar	-Anoksik ortamı kolaylıkla yaratabilir. -Maliyeti düşüktür. -Yerleştirildikten sonra üstü akıntılarla kolay kapanmaktadır. -Materyalin alana yerleştirilmesi kolaydır. -Alandan kaldırılması kolaydır. -Çevrenin bir parçası olabilmektedir.	-Sadece belli ortam koşullarında kullanılabilir. -Sadece deniz tabanında çok fazla çıkıntı yapmayan alanlarda kullanılabilir. -Yerleştirildikten sonra kolay zarar gördüğünde yenilenmesi gerekmektedir. -Belirli bir teknik ile uygulanması gerekmektedir. -Kenarlarda güvenlik sorunu vardır. Bağlantı noktalarında zayıftır.
Jeotekstil+ kum+ kum torbaları	-Bütün yöntemlerin avantajlarından yararlanılabilir. -Güçlü bir koruma sağlar. -Anaerobik ortam yaratır. -Arkeolojik katman ve yeni sediment tabakasını birbirinden ayırır. -Katmanlar arasında organik transfer olmaz. -Gözlemlemek kolaydır.	-Belirli alanlar için üretildiğinden birden fazla bölgede kullanılamaz. -Uygulama maliyeti yüksektir. -Uygulama alanının çevresinde erozyon şiddetli olabilir.
Kum sediment ile kapatma (Yeniden gömme uygulaması olarak da sınıflandırılabilir)	-Düşük maliyetlidir. -Uygulama ve üretim kolaydır. -Birden fazla malzeme ile birleştirilerek kullanılabilir. -Doğal bir malzemedir.	-Ortamın fiziksel özellikleri aynı kaldığından sediment erozyonu tekrarlanmaktadır. Kısa süreli koruma sağlamaktadır. -Kum, istenmeyen bir bölgede birikebilir. -Başka bir bölgeden alınan analiz edilmemiş kum, alandaki kültür varlıklarında istenmeyen bozulmalar meydana getirebilmektedir.
Bariyer (Konferdam)	-Güçlü bir yapıdır. -Anaerobik-anoksik ortam yaratma ihtimali vardır. -Ağırlık farklılıklarını düzenlemek kolaydır.	-Pahalıdır. -Uygulaması ve yönetimi zordur. -Kum torbaları kullanılarak oluşturulursa daha etkili olabilir. -Deniz tabanında sediment katmanında aşınma yaratabilir.
Yapay deniz çimi	-Kullanıldığında anaerobik ortam yaratmak kolaydır. -Doğal renkler kullanıldığı için doğal görünür. -Uygulama sonrası üzeri kum ile kolay kaplanır. -Uygulaması kolaydır.	-Hazır olarak satın alınırsa çok pahalıdır. -Özel olarak üretilecekse zaman ve emek ister. -Çok hassastır. Yüzeyinde kolaylıkla biyolojik bozulma başlayabilir. -Ağırlık farklılıklarını düzenlemek zordur. -Matın altında, sediment katmanında aşınma olabilir.
Jeotekstil	-Ulaşımı kolaydır. -Birden farklı çeşit bulunabilir. -<i>Teredo Navalis</i>'e karşı koruma sağlar. -Aşınmaya karşı koruma sağlar. -Bazı türleri alanı mühürleyebilir. Yani, sediment akışını engeller.	-Pahalıdır. -Farklı ortamlarda farklı türleri kullanılması gerektiğinden, uzmanlığa ihtiyaç duyulmaktadır. -Dalga ve su hareketleri yoğunsa uygulanması zordur.

Kaynak: Manders, 2012: 20-27.

Tablo 1.2’de görüldüğü gibi fiziksel bariyer oluşturma yönteminde kullanılan malzemelerden kum torbaları; ucun ve kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmekte fakat üretildiği malzemenin niteliğine göre uzun sürelerde istenilen düzeyde korumada başarısız olabilmektedir. Sentetik ağlar ve yapay deniz çimi; kısa sürede etkinliğini yitirmekte, bu nedenle de düzenli aralıklarla yenilenmeleri gerekmektedir. Jeotekstil; pahalı ve kontrolü zor bir teknik olsa da koruma açısından diğerlerinden daha uygun bir malzemedir.

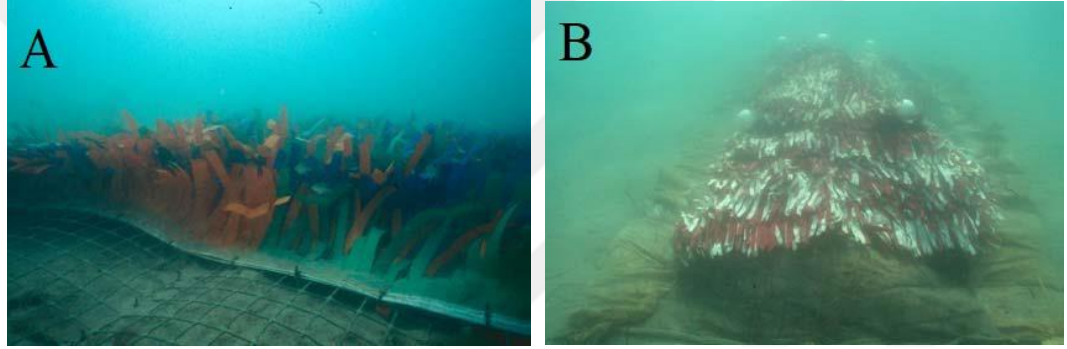
Fiziksel bariyerin jeotekstil kullanılarak yapıldığı durumlarda; alanın üzeri çok geniş bir şekilde tek parça tekstil kullanılarak kapatılmaktadır. Jeotekstilin akıntılardan etkilenecek yerinden kalkmasını engellemek amacıyla, tekstil alanın çevresinde ağır malzemelerle desteklenmektedir. Jeotekstil suda yüzen bir malzeme olduğundan hem koruma yapılan alanın üzerinde hem de çevresinde bu ağırlıkların bulunması gerekmektedir. İçine kum torbaları doldurulmuş koferdamlar⁶ jeotekstilin hareketlerinin kısıtlanması amacıyla kullanılmaktadır (Richards, 2012: 173-174).

Sediment tuzağı olarak kullanılan yapay deniz çimi ile kapatma, fiziksel bariyer oluşturma yönteminde uygulanan tekniklerden biridir. Tekniğin olumlu yönleri; anaerobik ortamı kolaylıkla oluşturması, uygulama kolaylığı, kurulumundan sonra insan müdahalesine gerek kalmadan işlevini yerine getirmesi ve doğal rengi sayesinde yapay bir görüntü oluşturmamasıdır. Alandaki kültür varlıklarında biyolojik risk faktörlerinin, özellikle de *Teredo Navalis*’in etkinliğini engellemektedir. Olumsuz yönleri ise hazır satın alındığında pahalı olması, zamanla yüzeyinde oluşan biyofilm nedeniyle deniz tabanına çökerek işlevini kaybetmesi, üzerine binen ağırlık farklarına karşı dirençli olmaması ve kaldırılmasının kolay olmasıdır. Kolay kaldırılabilir olduğu için yapay deniz çimi, insan etkisine karşı istenilen korumayı sağlayamamaktadır. Jeotekstil ile birleştirilerek de kullanılan yapay deniz çiminin sualtında kurulmasını kolaylaştırmak için ağır demir borular uygulama yapılacak alanın çevresine yerleştirilmektedir (Resim 1.12) (Manders, 2012: 25). Tekniğin uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Yapay deniz çiminin akıntılar ile taşınan sedimenti toplayabilmesi için akıntılar ve sedimentin

⁶Konferdam: Sualtı inşaatlarında kullanılan, genellikle ahşaplardan üretilen içi boş kasalardır.

doğal birikim yolu ile paralel olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Alana kurulum sırasında; dalgıçların akıntı yönünde ve nispeten daha az akıntının olduğu bir zaman diliminde çalışması gerekmektedir. Kurulum sonrası yapay çimin sedimenti tutabilmesi için doğal denizel bitki tabakalarıyla kaplı olmaması ve birbirlerine karışmamış olması gerekmektedir. Alana 50 cm'ye kadar inen çiviler kullanılarak sabitlenmesi gerektiğinden, kültür varlığı bulunabilecek muhtemel bölge sınırının doğru hesaplanmış olması önemlidir (Manders, 2011: 31).

Resim 1.12: *James Matthews* Batığının *in situ* koruması sırasında kullanılan yapay deniz çimi matın farklı uygulama görüntüleri.



Kaynak: Richards v.d., 2009: sy.

Resim 1.12'de (A)'da deniz çimi matının tek başına kullanımı, (B)'de ise deniz çimi matının jeotekstil üzerinde kullanımı belirtilmiştir.

Yapay deniz çimi ile fiziksel bariyer oluşturma tekniği; 1993 yılında *William Salthouse* Batığının *in situ* onarımında, kum torbalarıyla birlikte kullanılmıştır. 2008 yılında batık alanına inen ekip; yapay çim matında bazı bölgelerde yırtılmalar olduğunu, matın tamamen sedimente gömülerek yüzeyinde yoğun bir biyolojik tabaka birikimi oluştuğunu gözlemlemiştir. Bazı bölgelerde mat; üzerindeki sedimentin tamamen erozyona uğramasıyla açığa çıkmış, çelik borulara kadar görülebilir hale gelmiştir. Teknik; koruma için gerekli olan stabil ortam koşullarını sağlamakta yeterli görülse de kısa süreli depolamalarda tercih edilmesi önerilmektedir. Uzun süreli depolamalarda ise belirli aralıklarla analizlerle, bozulma ve ortam koşullarının tespiti sonrası yenilenmesi gerekmektedir (Steyne, 2010: 43-48).

Sualtı kültür varlıklarının fiziksel bariyer oluşturmak amacıyla üzerinin kaplanması sırasında kullanılan bir diğer malzeme ise polipropilen ağlardır. Propilen ağ gölge bezi olarak da bilinmektedir. Yapay deniz çiminden farklı olarak bu ağlar, akıntılarla birlikte hareket edebilecek şekilde gevşekçe uygulanmaktadır. Ağların örgü sıklığına bağlı olarak içeriye geçebilen sediment boyutu değişmektedir. Bu nedenle sadece koruyucu ince sediment tortullarının geçebileceği örgü sıklığında ağların tercih edilmesi önerilmektedir (Manders, 2017: 123-125).

Fiziksel bariyer oluşturmak için kullanılan bir diğer malzeme ise metal kafeslerdir (Resim 1.13). Ucuz ve basit bir yöntem olması nedeniyle, özellikle insan etkisine açık, daha önce tarihi eser kaçakçıları tarafından tahrip edilmiş bölgelerdeki batıklar üzerinde uygulanmaktadır. Türkiye gibi çok fazla sualtı kültür varlığına sahip ülkelerde, arkeolojik önemi olan fakat *in situ* koruma için projelendirme yapılamayan bölgelerde tercih edilebilir bir uygulamadır (Khakzad v.d., 2021: 471). Yöntem ayrıca yeniden gömme gibi uygulamaların aksine alanın ziyaret edilmesine engel teşkil etmediği için de kullanılmaktadır. Kafes ile kapatma yönteminin olumsuz özelliği ise kültür varlıklarını; biyolojik bozulmalar, akıntılar, sıcaklık değişimleri gibi çevresel risk faktörlerinden koruyamamasıdır (Di Laurea, 2013/2014: 158-159). Yöntemin olumsuz yönlerden diğeri; kullanılan metalin korozyona uğraması ve üzerinin biyofilm ile kaplanması nedeniyle sıklıkla değiştirilmesi gerekmesidir. Kafes sıklıkla değiştirilse de biyofilm ve korozyonun önüne geçilememektedir. Ayrıca tüm alanı kaplayacak kadar büyük paslanmaz çelik kafes sistemleri pahalı olduklarından tercih edilmemektedir. Bununla birlikte; kafes ile koruma yönteminde, kültür varlıklarının dalgıçlar tarafından gözlenebildiği açık alanlar yaratılmaktadır. Bu bölgelerin turizm için bir cazibe merkezi haline getirilebilir olması, toplum bilinci oluşturarak koruma sağlaması açısından yararlı olabilmektedir. Hırvatistan kafes ile koruma yöntemi ile uygulama yapmış ülkelerden biridir (Dorušić ve Čvrlić, 2019).

Resim 1.13: *Vlaska Mala* sit alanında bulunan batık üzerinde uygulanan kafes ile koruma yönteminden bir görüntü.



Kaynak: Di Laurea, 2013/2014: 159.

1.6.2.2 Yeniden Gömme

Yeniden gömme yöntemi literatürde '*rapid reburial*' olarak geçmektedir. Yöntem; fiziksel bariyer oluşturma yönteminden farklı olarak alan üzerinin doğal malzemeler kullanılarak tekrar kapatılmasıdır. Arkeolojik kazı yapılarak ya da suyun hareketleri ile açığa çıkan alanlarda bulunan sediment tabakasının ya da başka malzemelerin kullanılmasıyla kültür varlıklarının tekrar gömülmesi olarak tanımlanmaktadır. Yeniden gömme uygulaması; değişken ortam şartları nedeniyle kültür varlıklarını *In situ* korumada ihtiyaç duyulan sabit değerlere ulaşılamaması, alanın düzenli olarak gözlem yapılabilen kıyıya yakın kesimlerden uzak olması durumlarında kullanılmaktadır. Ayrıca; alandaki kültür varlıklarının ileri derecede bozulmaya maruz kalmaları nedeniyle acil müdahale ihtiyacı, hali hazırda uygulanan koruma planının yeterli olmaması gibi durumlarda da tercih edilmektedir (Shefi ve Veth, 2015: 1-3).

Yeniden gömme uygulaması yapılacağı zaman sediment tabakasının özellikleri incelenmesi gerekmektedir. Yüksek çözünmüş tuz içeren sediment kullanıldığında, kültür varlıklarında tuz birikimi olmakta ya da metallerin korozyon oranı yükselmektedir. Düşük ya da yüksek pH'a sahip sedimentler; kemik ve harçların kimyasal yapısının bozulmasına ve çözünmelere neden olmaktadır. Düşük Eh, metallerin daha iyi korunmasını sağlarken; organik madde içeriği, sediment tortullarını

birbirine bağlayarak çözünmüş oksijen oranını azaltmaktadır. Bu nedenlerle yeniden gömme yapılacaksa kullanılacak sediment şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Erozyon ya da kazı önceki sediment tabakasıyla aynı kimyasal özelliklere sahip olmalıdır. Böylece kültür varlıklarının alışkın oldukları ortam koşulları yeniden yaratılır.
- Kapatmada en üstte kullanılacak tabaka, yüzeyde oluşacak koruyucu bitki örtüsünün oluşabilmesini destekleyecek kadar organik içeriğe sahip olmalıdır. Böylece hızlı oluşan bitki örtüsü sediment erozyonunun engelleyebilir.
- Sediment demir oksitler gibi çözünmüş tuzları içermemelidir.
- Ekstrem pH seviyesi, kültür varlıklarının bozulma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu nedenle; sediment bir sabitleyici gibi davranan organik içerik ve kil boyutunda tortul tanelerine sahip olmalı.
- Yoğun kil içeren sedimentler; düşük çözünmüş oksijen, su, pH ve Eh içereceğinden stabil ortam koşullarını sağlayabilmektedir. Bununla birlikte bu sedimentlerin, yüksek erozyon riski taşıdıkları ve bazen üst katmanlarda çatlamlar oluşturarak suyun iç kısımlara geçişini kolaylaştırdığı unutulmamalı (Caple, 2004: 162-163).

Yeniden gömme ve fiziksel bariyer oluşturma yöntemlerinden hangisinin uygulanacağına, Tablo 1.2’de bahsedilen sınırlılıklar dikkate alınarak ve ortam şartları göz önünde bulundurularak karar verilmelidir. Her yöntem her ortam koşulunda istenilen düzeyde koruma sağlayamamaktadır. Örneğin; kum ile yeniden gömme yöntemi, 10 m’den daha derin, akıntılardan etkilenmeyen durgun sularda uzun süreli koruma sağlamaktadır. Propilen ağlar ve yapay deniz çimi ise kum ile yeniden gömmenin aksine, sediment tuzağı olarak işlev gördüklerinden, akıntılı ve dalgalı sularda etkili olmaktadır. Dolayısıyla propilen ağ ve deniz çimi; sediment hareketlerini sağlayacak su hareketlerinin eksikliğinde, örneğin göl sularında, istenilen düzeyde koruma sağlayamamaktadır (Tablo 1.3) (Manders, 2011: 37-38).

Tablo 1.3: Ortam şartları ve batık alanının durumuna göre koruma uygulamalarının etkinlik düzeyi. (+) yeterli koruma sağlayan, (++) uzun süreli daha iyi koruma sağlayan, (-) yeterli koruma sağlamayan ve (0) söz konusu durumda koruma sağlamadığı gibi zararlı da olabilen uygulamaları belirtmektedir.

Ortam Şartları ve Batık Alanının Durumu	Kum torbaları	Polipropilen ağlar	Jeotekstil	Kum ile yeniden gömme	Taş ile yeniden gömme	Kafes	Yapay - deniz çimi
Kumlu Sediment	+	++	++	++	+	+	++
Taşlı Sediment	++	-	++	+	+	+	-
Çakıl taşları	++	-	++	+	+	+	-
Kil içeren sediment	+	+	+	+	+	+	+
Silt içeren sediment	+	++	+	+	+	+	+
Gelgit hareketleri	+	++	+	-	+	+	++
Akıntılar	+	+	+	-	+	+	++
Durgun su	+	-	+	+	+	+	-
Dalgalı su	+	+	+	-	+	+	+
Acı su	++	++	++	+	+	+	+
Tatlı su	++	++	++	+	+	+	+
Tuzlu su	++	++	++	+	+	+	++
Sığ su (0-10 m)	++	++	++	+	+	+	++
Yarı yarıya batmış	+	-	+	+	+	-	-
Geçici olarak batmış	+	+	+	+	+	-	-
10-50 m arası derinlik	+	++	++	+	+	+	+
Derin deniz (50 m'den fazla)	+	+	+	+	+	0	0
Düz deniz tabanı	++	++	+	+	+	+	+
Engelibeli deniz tabanı	++	+	+	+	+	-	+
Deniz tabanında kısmen açığa çıkmış objeler	+	++	+	+	+	+	+
Deniz tabanında çoğunlukla açığa çıkmış objeler	-	-	++	-	-	++	-
Buzul oluşumu	+	0	0	0	0	0	-

Kaynak: Manders, 2011: 37.

Tablo 1.3’de de görüldüğü üzere; az engebeli deniz tabanında, akıntılardan fazla etkilenmeyen bölgelerde, 10m’ye kadar olan derinlikte, kum torbaları, proplen ağlar ve jeotekstil ileri düzeyde koruma sağlamaktadır. Kum ile yeniden yömme gelgit ve akıntılardan etkilenen, yapay deniz çimi çakıllı deniz tortullarında, kafes tekniği ise engebeli deniz tabanında kullanılmamalıdır.

1.6.2.3 Katodik koruma

Katodik koruma; sualtındaki metal objelerin *in situ* koruması için oluşturulmuş bir yöntemdir. Yöntem; galvanik piller adı verilen, birbirinden farklı korozyon potansiyeline sahip iki metalin birbirine bağlanması, bu sayede korozyon potansiyeli yüksek olan bozulurken, diğerinin stabil kalması prensibi ile oluşturulmuştur. Feda edilen anot (*sacrificial anot*) olarak, genellikle alüminyum ya da çinkodan üretilen modern metal plakalar kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanmasından sonra gözlem yapılabilmesi ve anotun objeye sabitlenebilmesi için paslanmaz çelikten üretilen ‘U’ biçimli kenetler kullanılmaktadır. Oluşturulan bu kenetlere sabitlenen kayıt cihazları ile metal kültür varlığının; pH, Eh, çözünmüş oksijen oranları kayıt altına alınmaktadır (Bartuli v.d., 2008: 1-7). Bununla birlikte, sadece katodik koruma yapılan kültür varlıkları hem katodik koruma hem de yeniden gömme uygulaması yapılanlara kıyasla daha fazla risk altındadır. Bunun nedeni; metal kültür varlıklarının ortamın pH, Eh, çözünmüş oksijen seviyesi, klorit içeriği gibi özelliklerindeki değişimlere, organik kültür varlıklarına kıyasla daha kısa sürede tepki vermesidir. Katodik koruma bu değişimlere karşı bir mikro ortam yaratsa da yeniden gömme ile birlikte kullanıldığında yöntemin etkinliğinin artacağı düşünülmektedir (MacLeod, 2013a: 386-390).

Resim 1.14’te, 2000 yılında İspanya’da koruması yapılmış *San Pedro* Batığına ait bir metal top için oluşturulmuş katodik koruma sistemi görülmektedir (Bartuli v.d., 2008: 1-7). 2017-2018 yıllarını kaplayan bir proje ile *San Pedro* Batığına ait topların yeniden incelenmesi ve koruma ve onarımı planlanmıştır. Projede suyun analizi ve topların korozyon potansiyellerinin tespiti yapılmıştır. Bilinmeyen bir malzeme ile yapılan vandalizm faaliyeti sonucu, ilk projede alınan bilginin

kaybolduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, kullanılan katodik koruma sisteminin istenilen koruma düzeyini sağlayıp sağlayamadığı tespit edilememiştir (Puoti v.d., 2019).

Resim 1.14: *San Pedro* Batığına ait bir metal top için oluşturulmuş katodik koruma sistemi.



Kaynak: Bartuli v.d., 2008: 7.

Türkiye'nin Marmara Denizinde bulunan *HMAS AE2* Batığı, katodik koruma yapılmış bir örnektir. Avusturalya yapımı olan gemi; 1915 yılında batmış, 1995 yılında yeniden keşfedilmiş, 1998 yılında Türkiye-Avusturalya ortak çalışmaları ile tarihlendirmesi yapılmıştır. Orijinal konumu 55 m olan batık, *in situ* koruma uygulamaları ve arkeolojik incelemeler için 20-25 m derinliğe çekilmesi planlanmış fakat gemide bulunan torpidoların patlama riski nedeniyle bu plan uygulanmamıştır. 2004 yılında yapılan araştırmalarda; geminin tuzluluk ve çözünmüş oksijen seviyeleri ile sedimentin; oksijen, pH ve Eh'ı ölçülmüştür. Geminin yerinin tekrar değiştirilmesi sırasında torpidolarının patlama riski olması nedeniyle, *in situ* korumaya karar verilmiştir. 5-10 yıl süreli olması planlanan proje, demir gemi Batığı üzerinde yapılan en kapsamlı uygulama olarak dikkat çekmektedir. Katodik koruma için 17 adet anot, 660 m²'lik gemi alanına yayılmıştır. Anotların kablolarını gemiye sabitlemek için bazı bölgelerde kabuk tabakası temizlenmiş ve gemi gövdesinin E_{corr} ölçümleri yapılmıştır. Yapılan son ölçümlerde, katodik koruma ile korozyon oranında %42 düşüş sağlandığı gözlenmiştir (MacLeod, 2019).

1.6.2.4 Yerinde Koruma (*In situ Protection*) ve Sergi

Yerinde koruma ve sergi; Türkiye gibi çok fazla kültür varlığına sahip olan, bu nedenle de maliyetli koruma uygulamalarının tercih edilemediği ülkelerde; sualtı kültür varlıklarının tespitinin yapılması, düzenli gözlem altında tutularak kamu bilincinin oluşturulması gerekmektedir. Sualtı kültür varlıklarının *in situ* onarımı ve sergilenmesi ile ortaya çıkan sualtı müzeleri iki farklı biçimde planlanmaktadır. Bunlar; dalgıçların fiziki olarak alana ziyaret düzenleyebildikleri arkeoparklar gibi dalışa açık müzeler ve ziyaretçilerin kültür varlıklarının 3D modellemelerini *ex situ* inceledikleri, dalışa kapalı müzelerdir. Dalgıçların alana inebildiği arkeoparklarda hem ziyaretçiler hem de çalışanların sağlığı için dalış kurallarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Alanda bulunan kültür varlıklarının; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve insan etkisinden kaynaklı bozulmalara karşı korunması sağlanmalıdır. Dalgıçların etkisiyle, bilimsel bilginin bütünlüğünün bozulmamasına özen gösterilmelidir (Davidde Petriaggi, 2004: 149.)

Dünyada sualtı arkeopark alanlarına en bilinen örnek *Baiae* Antik Kentidir. Kent; barındırdığı mimari kalıntıları, mozaikler ve duvar dekorasyonları ile dikkat çekmektedir. Parkın bulunduğu kıyı şeridinde, halen işlevsel olan modern bir liman olması nedeniyle pek çok arkeolojik kalıntı tahrip olmuştur. Bölgede bulunan dalış kulüplerinin düzenlediği sportif amaçlı dalışlar, alanın korunması konusunda kamu bilinci oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu turistik faaliyetler ile mali kazanç sağlayan yerel halkın, kent kalıntılarının korunması konusunda daha dikkatli davrandığı gözlenmiştir. *Baiae* Antik Kentinin önemli özelliklerinden biri de alanda uzmanlarca yürütülen koruma ve onarım çalışmalarıdır. *Baiae* Antik kentinde çalışan ekibin yapmış olduğu deneyler ve uygulamalar; sualtı kültür varlıklarının *İn situ* korumasında yeni yöntemler oluşturulmasına katkı sağlamıştır (Davidde, 2002).

Endonezya'nın Merkez Cava bölgesinde bulunan *Karimunjava* Adasındaki arkeolojik kalıntılar da dalışa açık müze oluşturularak koruma altına alınmıştır. Kargoları tarihi eser kaçakçıları tarafından tamamen taşınan batıklar, gemi gövdelerinin de tahribata uğramaya başladığından müzeye dönüştürülerek koruma altına alınmıştır. Alana yapılan ziyaretler ile kültür varlıklarının eğitim faaliyetlerine

dâhil edilmesi ve toplum bilinci oluşturulması aynı zamanda dalış turizmi ile de ekonomik fayda sağlanmıştır. Kaçakçılık faaliyetlerinin alandaki kültür varlıkları ve çevresel koşullar üzerinde yarattığı değişimlerin tespit edilmemesi ve müze ziyaretçilerinin sebep olabileceği riskler müze oluşturulmadan önce tespit edilmemiştir. Bu nedenle; bölgenin sürekli gözlem altında tutulması gerekmektedir (Putranto ve Munandar, 2016).

Türkiye’de Kaş Arkeoparkı, sualtı kültür varlıklarının yerinde korunması ve sergisine bir örnektir. Arkeoparkın oluşturulması için modern Kaş Limanı’nın 2,5 km uzağında bulunan Hidayet Burnunda, MÖ 14. yy Batığı olan Uluburun Gemisinin bir replikası, 14-21 m derinlikte kalacak şekilde batırılmıştır. Replika, Uluburun Gemisinin orijinal kargosunun replikaları ile doldurulmuştur. Replika geminin batırılmasıyla birlikte, batık alanının oluşumu ve taşınabilir kültür varlıklarının sualtında bozulma süreçleri incelenebilmiştir. Geminin batırılışından itibaren dört ayda bir gözlem dalışları ve yılda iki kere kazı çalışmaları yapılmıştır. Farklı bilimsel geçmişe sahip 88 dalgıcın katılımı ile 2007 yılında yapılan üç boyutlu taramalar ile batık alanı kullanılarak sanal sergi oluşturulmuştur. Alan ayrıca; 2012 yılında, NAS’ın (*Nautical Archaeology Society*- Deniz Arkeolojisi Derneği) verdiği sualtı arkeoloji araştırmaları eğitimine çalışma alanı olarak seçilmiştir (Varinlioğlu, 2020).

Mısır’ın Alexandria kentindeki, 2. yy’dan kalma katakompların⁷ korunması, mimari eserlerin sualtında yerinde korunmasına bir örnektir. 1906 yılında keşfedilmiş olan katakomplardan bir tanesi tamamen sualtındayken, bir kısmı da mevsimsel olarak su ile dolmaktadır. Mısır’da yazın artan yüksek sıcaklık oranına bağlı olarak, bağıl nem %65-70’e kadar çıkabilmektedir. Bölgenin yağış oranları da Mısır’ın diğer bölgelerine göre daha yüksektir. Taban suyunun yüksek tuzluluğa sahip olması, deniz seviyesinden daha aşağıda olan pek çok katakomp için yüksek risk taşımaktadır. İnsan etkilerine bağlı olarak değişen iklim; su seviyelerinde yükselme ve hava kirliliği yaratarak bu alanlar için risk ortaya çıkartmaktadır. Çalışma ekibi mevsimsel olarak su ile dolan alanlarda alglerden oluşan biyofilmin oldukça kalın olduğunu belirlemiştir. Kireçtaşıdan yapılma katakompların yüzeyinde biriken alglerin,

⁷ Katakomp: İlk Hristiyanların, Roma Döneminde toplanarak ibadet ettikleri ve defin yaptıkları yeraltı mezarlarına verilen addır (Saltuk; 1989: 93).

Çözünebilir tuzlar ile birleşerek organik asitler ortaya çıkarttığı ve bunların kireçtaşındaki kalsiyum karbonat ile tepkimeye girdiğı tespit edilmiştir. Bu tepkime dizisi taşların yüzeylerinin yapraklaşarak dökölmesine neden olmuştur (Abdel Kader v.d., 2017). Mısır katakomplarındaki henüz sonuçları yayınlanmamıştır ancak kültür varlıklarının iklim değişikliğine bağlı olarak oluşan bozulmaları ve bunların *in situ* korumaya etkileri konularında önemli sonuçlar ortaya çıkartabileceği düşünölmektedir.



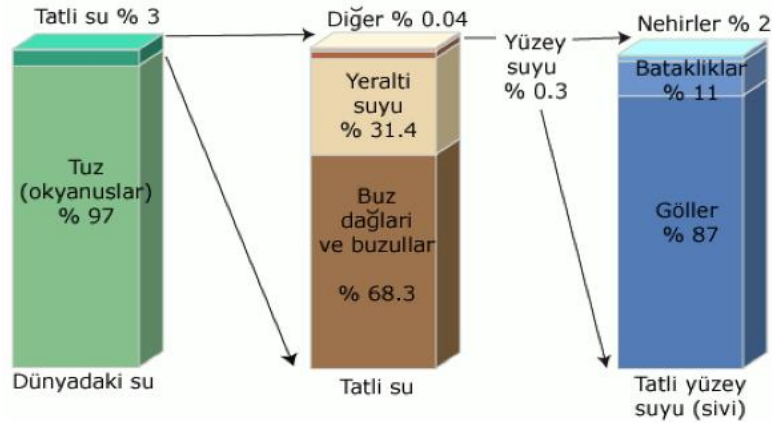
İKİNCİ BÖLÜM

SUALTI ÇEVRE KOŞULLARININ ÖZELLİKLERİ

2.1 Dünya'nın Su Kütlesini İnceleyen Bilim Dalları

Dünya üzerindeki en yaygın madde, toplam kütlenin %70'ini kaplayan sudur. Dünya'nın iklimsel özelliklerine bağlı olarak su; sıvı, katı ve gaz hallerinin üçünde de bulunabilen nadir maddelerden biridir. Su kütlesinin büyük çoğunluğunu okyanuslar yani tuzlu su kaynakları oluşturmaktadır. Yüzeyde yer alan tatlı suların %20'si Rusya'daki Baykal Gölü'nde bulunmaktadır. Volkanik ve tektonik hareketler sonucu oluşan göller, bir araya toplanarak tatlı su göllerini oluşturmaktadır. İnsanların taşımacılık, ticaret gibi ekonomik faaliyetleri sırasında enerji verimi yüksek olan sıg ve yoğun sediment içeren tatlı su kaynaklarını tercih ettikleri bilinmektedir (Wetzel, 2017: 15). Dünya'nın su kaynaklarının dağılımı Şekil 2.1'de verilmektedir.

Şekil 2.1: Dünya'daki tatlı suyun dağılımı.



Kaynak: Regan, 2012.

Tarih boyunca yaşam kaynağı olarak sosyal ve ekonomik faaliyetlerinin odak noktasını oluşturan su; hidroloji biliminin inceleme alanına girmektedir. Etimolojik kökeni Antik Yunanca'da su ve bilim kelimelerinin birleşiminden meydana gelen Hidroloji; su bilimi anlamına gelmesine rağmen, suyun tüm özelliklerini

incelememektedir. Genel olarak suyun dünyadaki dağılımı, özellikleri ve çevresine etkisini inceleyen Hidroloji bilimi, Uluslararası Hidroloji Birliği tarafından Potamoloji, Limnoloji, Akarsular hidrolojisi ve Yeraltı suları hidrolojisi olmak üzere dört alt dalda sınıflandırılmıştır. Son zamanlarda, dolu yağmur gibi tarım açısından önemli yağışları inceleyen Hidrometeoroloji bilimi yeni alt dallar arasında yerini almıştır (Tablo 2.1) (Okman, 2012: 1-2).

Tablo 2.1: Hidroloji biliminin alt dalları.

HİDROLOJİ	
Hidrojeoloji	Yeraltı sularının oluşumu, değişimi, çevre ile etkisini inceler
Potamoloji	Akarsuların özelliklerini inceler
Limnoloji	Göller özelliklerini inceler
Oşinografi	Deniz özelliklerini inceler
Jeolojik Oşinografi	
Fiziksel Oşinografi	
Dinamik Oşinografi	
Kimyasal Oşinografi	
Biyolojik Oşinografi	
Hidrometri	Su analiz ve ölçüm bilimidir
Hydrografi	Suların yeryüzündeki dağılımını ve oluşumunu inceler
Hidrometeoroloji	Dolu, yağmur, kar gibi yağış olaylarını inceler

Kaynak: Okman, 2012: 1-2.

Potamoloji yani akarsu bilimi; akarsuların oluşumunu, bu süreçteki biçimlerini, geçtiği bölgelere göre değişimini ve bıraktığı izleri aynı zamanda akarsu içinde yaşayan biyolojik etmenleri de incelemektedir. Kara içlerinde birleşerek göllerin oluşumunu sağlayan akarsular; içme suyu olarak, tarımda, taşımacılıkta ve balıkçılıkta kullanılmaktadır. Memba adı verilen doğuş noktalarından sonra küçük bir havuz oluşturarak hareket edebilmekte ya da birden çok noktadan çıkarak

birleşebilmektedir. Çoğunlukla dere ile başlayan akarsular sırasıyla çaylar, ırmaklar ve nehirleri meydana getirmektedir. Bir akarsu kaynağı olduğu yerden döküldüğü yere kadar farklı jeolojik yapılara temas ederek ilerlediği için farklı özellikler kazanabilmektedir (Sönmez v.d., 2007: 29-30).

Limnoloji bilimi hem tatlı hem tuzlu iç suların yani göllerin içinde yaşayan organizmaların birbirleri ile ilişkileri ve bu ilişkiler üzerine etki eden çevreyi inceleyen bir bilimdir. İnsanların ekonomik faaliyetlerinin yürüttüğü bir kaynak olan göller; yenilenme süresi uzun olduğundan sınırlı kaynakları oluşturmaktadır. İnsanların kullanabildiği tatlı su kaynakları toplam potansiyelin küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu da tarımsal etkinlikler ya da günlük tüketim sırasında bu kaynakların taşınmasını zorunlu kılmaktadır. İnsanların aktiviteleri sonucunda tatlı su kaynaklarında kirlenme olmaktadır. Bu durum bilinçli bazı toplumlar tarafından engellenmeye çalışılmıştır. Ancak, 21.yy'da nüfus artışı ve ekonomik faaliyetlerin kontrol edilemez boyuta erişmesiyle, kirlilik seviyesi her geçen gün artmaktadır. Bu kaynaklar dolaylı yoldan deniz kirliliğine de sebep olmaktadır. Özellikle arındırma ve geri dönüşüm sırasında maliyetin yüksek olması nedeniyle söz konusu kirlilik giderilememektedir (Wetzel, 2017: 1-4).

Hidrojeoloji bilimi; yeraltı sularının yeraltına geliş süreci, yeraltındaki hareketleri ve bu hareketlerin suyu çevreleyen sedimente etkilerini incelemektedir. Bu bilim alanı fizik, kimya ve matematik bilimleri ile doğrudan bağlantılıdır (Nonner, 2002: 2). Yeraltı suları, su döngüsünün bir parçasını oluşturmaktadır. Döngüde atmosfere dâhil olan su; yağış yoluyla tekrar yeryüzüne dönmekte, uygun koşullar oluştuğunda da yer altına sızmaktadır. Bu sular geçirimli tabakalara denk geldiklerinde gözenekler ve çatlaklar yardımıyla daha derinlere sızarken, geçirimsiz tabakada yer altı taban sularını oluşturmaktadır (Sönmez v.d., 2007: 25).

Denizleri, okyanusları ve de onlarla ilişkili olan karasal ve denizel ekosistemleri inceleyen bilim alanı Oşinografi olarak adlandırılmaktadır. Oşinografi; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere dört alt başlıkta incelenmektedir. Türkiye'de 1909 yılında kurulan Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından yapılan özellikle deniz haritaları elde etmek amacıyla bilimsel çalışmalar yürütülmüştür.

Oşinografi, endüstrinin gelişimine bağlı olarak son yıllarda deniz altı madenciliğinde de kullanılan bir bilimdir (Ehsani ve Sivrikaya, 2017). Denizlere kıyasla derinlikleri ve genişlikleri daha fazla olan okyanuslar dünya su rezervinin %96,54'ünü oluşturmaktadır. Çoğunluğu güney yarımkürede bulunan Arktik, Hint, Atlantik ve Pasifik Okyanusu içerisinde alan, hacim ve derinlik bakımından en geniş olan Pasifik Okyanusu'dur (Sönmez v.d., 2007: 56).

Hidroloji bilimi, yeryüzü ve yeraltı su kaynakları hakkında ayrıntılı veriler sağladığından sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma sürecinde de ayrı bir öneme sahiptir. Suyun pH, Eh ve benzeri kimyasal özellikleri, suyun sıcaklığı, tuzluluğu gibi fiziksel özellikleri; yağış rejimlerinden, yeraltı sularının ve akarsuların hareketlerinden etkilenerek değişime uğramaktadır. Kaynak noktası olan ana kayalardan parçalanarak hidrolojik rejimler ile deniz ve okyanuslara taşınan sediment tabakasının hem kimyasal hem de biyolojik özellikleri yine hidrolojik olaylardan etkilenmektedir. Suyun hareketleri ve atmosfer ile teması sonucu oksik ve anoksik özellik kazanan sedimentler sualtı kültür varlıklarının bozulma hızını değiştirmektedir. Sedimentin içine taşınma sürecinde katılan organik malzemeler, mikrobiyolojik organizmaların aktivasyonunu arttırmaktadır bu durum da organik malzemenin bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan asit yağmurları özellikle daha sık sularda bulunan sualtı kültür varlıklarını çevreleyen suyun asiditesini değiştirmektedir. Değişken asidite *in situ* koruma sırasında hem organik hem inorganik kültür varlıklarının oksidasyon ve hidroliz süreçlerini hızlandırmaktadır (Holden v.d., 2009: 3197-3198). Hidrolojik olaylar sonucu suda oluşan değişim uzun süreye yayılan, bu nedenle kısa süreli analizlerle kolay fark edilemeyen değişimler yaratmaktadır.

Hidrolojik analizlerin sualtı kültür mirasını *In situ* koruma amacıyla yapılan incelemelerine; Norveç'in Bergen Antik Şehir kalıntılarının üzerinde yapılan analizler örnek olarak gösterilebilmektedir. Kentin tarihi 11.yy'a kadar uzansa da inceleme alanını oluşturan binalar 18.yy'a tarihlendirilmektedir. Batık şehirdeki kültür varlıkları; çalışmaya konu olan alanın geniş olması ve de modern limandan gelen akıntılardan etkilenmesi sebebiyle; malzeme türlerine ve de suyun özelliklerine gösterdikleri tepkilere göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma doğrultusunda; alanda bulunan kültür varlıklarının bozulma süreçlerini etkileyebilecek; suyun ve sedimentin

çözünmüş oksijen seviyesi, Eh'ı, pH'ı, modern limandan gelen akıntılar incelenerek durum tespiti yapılmıştır. Tespit sonucu alandaki kültür varlıkları içerisinde su hareketlerine maruz kalanların, kalmayan kültür varlıklarına oranla daha çok bozulmaya uğradığı belirlenmiştir (Beer v.d., 2013).

Bu çalışmada görüldüğü üzere hidroloji biliminin sualtı kültür varlıklarının insitu korunması sırasında önemli veriler sağladığı düşünülmektedir. Bu analizler sonu elde edilen veriler incelediğinde kültür varlıklarının mevcut duruma göre koruma yöntemi belirlenmektedir.

2.2 Su Döngüsü (Hidrolojik Döngü)

Okyanuslar, denizler, göller, nehirler ve yeraltı suları; Hidrolojik döngü adı verilen bir sistem ile buharlaşma, yağış ve fazla suyun yer altına sızması çevresinde şekillenen bir sistem ile dengededir. Kara içlerindeki su dağılımı Hidrolojik döngüye bağlıdır ve bu sistem insanlar tarafından bozulabilmektedir. Hidrolojik döngü üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar: yağış, buharlaşma, yüzey ile yeraltı su hareketleridir. Dünyadaki su kütlelerinde buharlaşma ve bitkilerin terleme olayı ile atmosfere karışan su buharının; tekrar yağış olarak su kaynaklarına katılmadan önce ortalama sekiz gün atmosferde nem olarak depolandığı bilinmektedir. Yağışlar, bitkiler tarafından tutulabilir ya da uygun şartlar sağlandığında yeraltına sızabilir. Yeraltına sızan su, nihai toplanma noktası olan okyanuslara ulaşmadan önce ortalama 280 gün toprak nemi olarak depolanabilmektedir. Kara içlerindeki yağış okyanuslardaki buharlaşma oranlarına bağlıdır. Güney Amerika'daki yağış oranları diğer bölgelerden daha fazla olduğundan küresel su dengesizliği ortaya çıkmaktadır. Yüzey sularında oluşan değişimler, iklim değişikliğinin de getirdiği sonuçlar ile karmaşık bir hal alarak, hidrolojik döngüde geri dönüşü olmayan bozulmalar ortaya çıkartmaktadır (Wetzel, 2017: 43-46).

Dünya toplam su rezervinin %3'ü tatlı su olarak tüketime uygundur (Şekil 2.1). Yüzey tatlı su kaynaklarının %11'ini bataklık alanları, geri kalan kısmını da göller ve nehirler oluşturmaktadır. Dünya yüzey tatlı su rezervinin kullanımı sırasında tüketimin %73'ü tarım için geri kalanı ise içme suyu olarak kullanılmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak tarımsal faaliyetler için sulamada kullanılan tatlı su kaynaklarında

artış yaşanmaktadır. İnsanların sulama, balıkçılık, enerji üretimi gibi amaçlarla; göl ve akarsuların doğal akışlarını değiştirmesi sonucunda hidrolojik döngü zarar görmektedir. Yine ekonomik faaliyetler sonucunda atmosfere salınan gaz miktarının artması sonucu ortaya çıkan küresel ısınma; yağış, sıcaklık ve nem değerlerinde dalgalanmalar yaratarak bölgesel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Küresel ısınmayla oluşan bölgesel kuraklıklar ve yangınlar, tatlı su rezervinin %68,3'lük kısmını oluşturan buzulların erimesine, buharlaşma artışına bağlı olarak da yağış rejiminin değişmesi sonucu sel gibi doğa olaylarına neden olmaktadır. Buzullardaki erimenin bir sonucu olarak özellikle kıyı bölgelerinde deniz seviyesi yükselerek tatlı ve tuzlu su kaynakları birbirine karışmaktadır (Karaman ve Gökalp, 2010). Orman yangınları sonucunda toprak tabakasında oluşacak kaygan yüzey, erozyonunun hızlanmasına neden olabilmektedir. Isının toprağın kimyasal yapısında, yükselen pH, azot ve kalsiyumda azalma ile infiltrasyon yani suyun yeraltına sızma özelliğinde düşme görülebilmektedir. Suyu tutan bitki örtüsünün yok olması ve toprağın da nem tutma kapasitesinin azalmasıyla, suyun karadaki hareketi sırasında akıntıya dâhil olan su miktarında da artma gözlemlenebilmektedir. Tahrip olmuş topraktan akan sudaki kirlenmenin yüksek olması da kaçınılmaz bir durumdur (Aydın v.d., 2017).

Küresel ısınma, iklim değişikliğine neden olmakta, bu durum ise suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinde hızlı değişimler meydana getirmektedir. Bu değişimler sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçlerini hızlandırmaktadır bu bağlamda iklim değişikliği *in situ* korumada önemli rol oynamaktadır.

Sualtı kültür varlıkları iklim değişikliği nedeiyle bazı risk faktörleri ile karşı karşı kalmaktadır. Bu faktörlerden biri buzulların erimesine bağlı olarak oluşan deniz seviyesindeki yükselme sonucu kültür varlıklarına etki eden basınç miktarının da artmasıdır. Bir diğer faktör, tatlı ve tuzlu su kaynaklarının birbirine karışması sonucu deniz suyunun pH'ının değişmesidir. Ayrıca su seviyesinin artışı, akıntılar sırasında yer değiştiren su miktarının da artması anlamına gelmektedir. Bu durum da kültür varlıklarının üzerini kapatarak koruyucu özellik gösteren sediment tabakasında erozyon oluşma riskini ortaya çıkartmaktadır (Perez-Alvaro, 2016: 844).

Okyanusa kıyısı olan bölgelerde; gelgit, fırtına ve tsunami oluşumu sualtı kültür varlıklarının üzerinde fiziksel baskı yaratmakta ve sediment erozyonuna neden olmaktadır. Kültür varlıklarının kırılma, yüzey kaybı gibi fiziksel bozulmaları sediment erozyonu sırasında meydana gelebilmektedir. Doğa olayları ekosistemin fitobentos grubundan olan *Posedonia Oceanica* gibi deniz yosunlarının yok olmasına neden olarak, kültür varlıklarını koruyucu olan bir diğer tabakadan mahrum bırakmaktadır. Deniz suyunun sıcaklığının yükselmesi; biyolojik aktivasyon ve korozyon gibi kültür varlıklarının bozulmasına neden olan kimyasal reaksiyonların hızlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle; sualtı kültür varlıklarının bulundukları ortamın su döngüsünün hidrolojik analizler ile gözlem altında tutulması gerekmektedir (Wright, 2016).

2.3 Deniz Suyunun Özellikleri

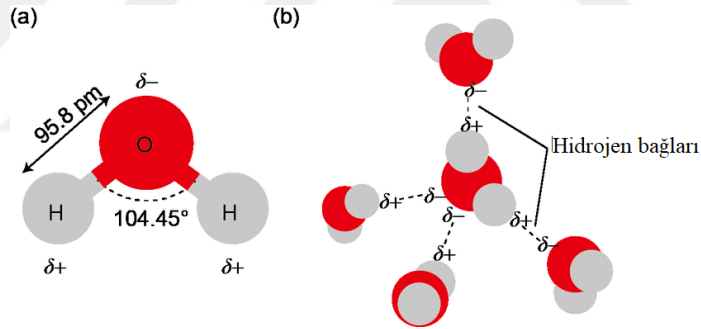
Suyun özellikleri denildiğinde aslında saf suyun özelliklerinden bahsedilmektedir. Kullanımda olan ve kültür varlıklarının da içlerinde bulunduğu sıvı haldeki su, doğal su olduğundan bazı safsızlıklara sahiptir. Günümüzde çevre kirliliği ve iklim değişikliği sonucu değişse de doğal suya en yakın olan tür; kar veya yağmur suyudur. Bu suların sualtı kültür varlıkları üzerindeki etkileri göz ardı edilebilecek düzeydedir. Sıvı suyun özellikleri; kaynağına, geçtiği bölgedeki jeolojik koşullara, arazideki biyolojik varlıklara, iklim bölgelerine, rakımlarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Sönmez v.d., 2008: 71-73). Su döngüsü başlığında da bahsedildiği gibi suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri; yağışlar, akıntılar, çevre kirliliği gibi pek çok etmene bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimlerin sualtı kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için suyun özellikleri ve birbirleriyle ilişkilerinin saptanması gerekmektedir.

2.3.1 Deniz Suyunun Kimyasal Özellikleri

Su molekülü; bir oksijen atomuna kovalent bağ ile bağlanmış iki hidrojen atomundan oluşmaktadır. Sadece moleküllerin sıralanış biçimi değişmektedir. Kovalent bağ, her atomdan bir elektron paylaşımı sayesinde stabil bir yapı meydana getirmektedir. Suyun çok güçlü bir çözücü olmasının nedeni de kovalent bağın, oksijen ve hidrojen atomlarının bağlanması sırasında oluşan güçlü bir bağa sahip olmasıdır.

Kovalent bağı parçalamak için gereken enerjinin atmosferde karşılanamaması molekülün atmosferde parçalanmamasına neden olabilmektedir. Hidrojen atomları birbirini iten pozitif yüklüken, oksijen atomu da hidrojen atomlarını itmektedir. Hem pozitif hem de negatif yük barındırabilen su molekülüne dipolar denilmektedir. Polarizasyon molekülleri birbirine bağlayan hidrojen bağının önemli bir parçasıdır. Su molekülleri birbirlerine bağlanırken; hidrojen olan pozitif kısmı oksijene yani negatif kısmına bağlandığında, zayıf olan hidrojen bağı oluşturmuş olur. Hidrojen bağının zayıflığı nedeniyle molekülün kolaylıkla parçalanabilmesi; suyun gaz haline geçişini sağlamakta ve sıvı haldeki suyun düşük viskozitesi⁸ ile güçlü bir çözücü olması özelliğini ortaya çıkartmaktadır. Viskozitenin düşük olması; elektronların bir güce maruz kaldıklarında parçalanmayacak kadar yakın olmalarından kaynaklanmakta olup suyu çok etkili bir iletken haline getirmektedir (Davie, 2002: 1-5).

Şekil 2.2: Su molekülünün atomik yapısı ve hidrojen bağı.



Kaynak: Peng, Guo, JIang, 2019, 2.

Bir çözücünün, içine konulan maddeleri çözebilmesi için bu maddeleri iyonlarına ayırması gerekmektedir. Saf su parçalanarak pozitif yüklü hidrojen ve negatif yüklü hidroksil iyonlarına ayrılabilir. Kendi içinde gereken şartlar oluştuğunda iyonlara ayrılabilen su; içine konulan tuzları da parçalayarak iyon haline getirebilmektedir. Saf suyun hallerine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir. Örneğin; sıvı suyun maddeleri çözündürmesi ısı ile doğru orantılıyken, gaz halindeki suyun bu özelliği basınç ile doğru orantılıdır (Geldiay ve Koçataş, 2014: 39-40).

⁸ Viskozite: Bir maddenin yüzey gerilimi altında akmaya karşı gösterdiği direnç. Kaynak: Marek Studziński, Agnieszka Ewa Wiącek, t.y., "Viscosity Measurement-Mean Molecular Mass Determination", Çevrimiçi erişime açık kaynak: <http://www.katedrachf.umcs.lublin.pl/cwiczenia/Ang/PhysChem/Cw-11.pdf>, Erişim tarihi: 22/05/2022

Deniz suyu; çözünmüş inorganik maddeler, çözünmüş atmosferik gazlar, çözünmüş organik maddeler ve asılı halde bulunan parçacıkların toplamı olan karmaşık bir sistemdir. Çözünmüş halde bulunan ya da asılı kalan bu maddeler atmosfer, karalar ve okyanuslar arasında oluşan su döngüsünden kaynaklanmaktadır. Deniz suyunda bulunan bu maddeler; ışık Emilimi, çözünmüş oksijen, ısı gibi pek çok fiziksel özelliği de etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, deniz suyunun %96,5'lik bölümü saf sudan, yani H₂O moleküllerinden oluştuğunu ve çözünmüş halde bulunan 80 den fazla element oranlarının yaklaşık %3,5 olduğunu göstermektedir (Geldiay ve Kocataş, 2014: 39-41). Suyun kültür varlıklarını *in situ* korumada önemli olan kimyasal özellikleri: çözünmüş gazlar, asidite (pH) ve redox potansiyelidir (Eh).

2.3.1.1 Çözünmüş Gazlar

Sular; atmosferde bulunan oranında gazı çözünmüş olarak bünyelerine alabilmektedir. Bu gazların suda bulunma oranı havadaki gazın nispeti ile ilgilidir. Bir su kütlesindeki çözünmüş gaz miktarının ölçülebilmesi için kullanılan formül: Beklenen Miktar=Havadaki Nispet X Çözünürlük olarak belirtilmektedir (Sönmez v.d., 2008: 8-9).

Atmosferden suya çözünerek eklenen gazlar, suyun hareketleri sonucunda derin tabakalara yayılmaktadır. Hareketli olmayan bataklık alanları gibi bölgelerdeki sularda oksijen; organik malzemenin çürümesi sırasında kullanılıp, yerini metan gibi gazlara bırakabilmektedir. Çözünmüş oksijen, planktonların tüketimiyle ve su içindeki organik maddelerin çürümesiyle azalabilmektedir. Denizel bitkiler fotosentez yoluyla oksijen oranının artmasına neden olmaktadır. Yani sudaki çözünmüş gazların oranı organizmaların yaşamsal faaliyetleriyle ilişkilidir. Sularda en sık rastlanan çözünmüş gazlar Tablo 2.2'de verilmektedir (Geldiay ve Kocataş, 2014: 55; Kocabaş, 1997: 7).

Tablo 2.2: Atmosferden denize geçen gazlar ve oranları.

Çözünmüş Gazlar	Atmosferde	Denizlerde
Azot	%78,98	%62,1
Oksijen	%20,95	%34,4
Argon	%0,93	%1,7
Karbondioksit	%0,03	%1,8

Kaynak: Koçtaş, 1999.

Sudaki çözünmüş gazlardan olan karbondioksit; tıpkı oksijen gibi atmosferden suya karışmakta, sucul bitkilerin fotosentezi sonucunda ve akıntılara bağlı olarak değişmekte, böylece suyun pH dengesini değiştirerek alkaliliği düzenlemektedir. Karbondioksit oranı mevsimsel, günlük ya da derinliğe bağlı olarak değişebilmektedir. Sudaki yoğunluğu anoksik bir ortam yaratarak mikrobiyolojik organizmaların faaliyetlerini engellemekte, böylece organik kültür varlıklarının bozulma süreçlerini yavaşlatmaktadır (Florian, 1987: 6).

Çözünmüş gazlardan *in situ* koruma için en çok önem taşıyan element oksijendir. Bunun nedeni; oksijenin kültür varlıklarında oksidasyon adı verilen kimyasal bozulmalara neden olmasıdır. Bir atomun elektron kaybederek pozitif yüklenmesi oksidasyon olarak adlandırılmaktadır. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı arttıkça oksidasyon da hızlanmaktadır. Sualtı ekosistemi başlığında *in situ* korumada önem taşıyan bentik organizmaların anatomik özellikleri, yaşam döngüleri ve üreme yöntemleri açıklanacaktır. Bu organizmaların üreme hızları, çözünmüş oksijen miktarı ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla çözünmüş oksijen oranı arttığında, organik malzeme ile beslenme hızları da artmaktadır. Örneğin, sediment tabakasına gömülü olmayan ahşap malzeme, bu bentik organizmaların faaliyetleri sonucunda hızla bozulmakta ve yok olmaktadır. Metal kültür varlıkları, metallerle temasta olan kültür varlıkları ve metal iyonları içeren malzemeler kullanılan kültür varlıkları da oksidasyon ile korozyona uğramaktadır. Suda serbest halde bulunan oksijen ve su iyonları, metal elektronlarını alarak hidroksil iyonları meydana getirmektedir. Elektrokimyasal

korozyonun bir türü olan bu reaksiyon, metal malzeme tamamen yok olana kadar devam eden bir süreçtir. Bu süreçte, demir iyonları içeren seramik gibi kültür varlıklarında da fiziksel ve kimyasal bozulmalar oluşmaktadır. Dolayısıyla *in situ* koruma uygulaması ve bu sürecin planlaması sırasında sudaki çözünmüş oksijenin ölçülmesi, suyun hidrolojik analizleri kapsamında yapılmaktadır (Gregory, 1998: 344-345; Crony, 1990: 166-168).

2.3.1.2 pH

Latince '*Potentia Hydrogenii*' kelimesinin baş harfleriyle oluşturulmuş olan pH; bir çözeltideki hidrojen iyonu miktarını göstermektedir. Nötr suyun pH'ı 7 iken, 1-7 arasındaki değerler asidik, 7-14 arasındaki değerler bazik çözeltileri göstermektedir. Yani bir çözeltideki hidroksil iyonundaki artış çözeltinin bazik olmasını sağlamaktadır. Su kütlelerindeki pH çözünmüş gazlardan etkilenmekte, bu da sualtı ekosistemlerinde değişimler meydana getirmektedir (Ölmez ve Saraç, 2009: 12-14). Göllerde asiditenin yükselmesi, çevre kirliliğinin ve gölü besleyen akarsuların havzalarındaki karbonatlı kayaçların sonucu olabilmektedir. İç sularda maden işletmeleri gibi tesislerin atıklarını göl havzalarına boşaltması da pH değerinin yükselmesine neden olmaktadır (Boztuğ v.d., 2012: 99; Şener v.d., 2010: 76).

Sualtında; humus ve kil tanecikleri, hidrojen iyonları ile parçalanarak pH'ı düşürmektedir. Organik maddelerin çözünmesiyle oluşan organik asitler sayesinde ortam anoksik hale gelmektedir. Organik asitlerin akıntılarla yıkanamadığı bölgelerde pH seviyesi hızla düşmektedir. Yine de deniz suyunun yüksek asidik özellik göstermesi oldukça nadir bir durumdur. Denizlerde pH ortalaması 8.2'dir. Fakat deniz tabanında kalkerli tortuların bulunduğu alanlarda bu oran 7-8.5 pH arasında değişmektedir. Kalkerli sediment denizel organizmaların iskeletlerinden kaynaklanabileceği gibi kireçtaşı kayaçların çözünmesinden de kaynaklanabilir. Sualtı kültür varlıklarının korunma durumları pH'ın stabil olmasına bağlıdır (Crony, 1990: 19-20). Örneğin; kültür varlıklarının bozulmasında rol oynayan kimyasal reaksiyonlardan biri olan asit hidrolizi düşük pH'da, yani asidik ortamlarda hızlanmaktadır. Hidroklorik asit (HCl) suda çözündüğünde; hidrojen ve klorit iyonlarına ayrışmaktadır. Hidrojen iyonları su molekülleriyle reaksiyona girerek,

hidroliz adı verilen bozulma sürecini meydana getirmektedir. Suyu doymuş derilerde düşük pH'da, hidroliz sonucu deri içindeki kolajen zarar görmekte ve jelatine dönüşmektedir. Bu da derinin yumuşak jöle gibi bir yapıda olmasına neden olmaktadır. Suyun ısısı yükselip pH'ı düştükçe bu süreç hızlanmaktadır (Florian, 2006: 38). Gömü ortamının asiditesine göre iyi korunmuş olarak bulunan organik kültür varlıklarının türleri Tablo 2.3'te sunulmaktadır.

Tablo 2.3: Gömü ortamının asiditesine göre organik malzemenin korunma durumu.

Koruyucu özellik taşıyan gömü ortamı	Malzeme türü
Nötrden alkaliye	Kemik
Asidikten nötre	Boynuz
Asidikten alkaliye	Deri
Asidik	Hayvansal lif: ipek, yün
Alkali	Bitkisel lif: keten
Asidikten alkaliye	Ahşap

Kaynak: English Heritage, 2012a: 7

İnorganik kültür varlıkları, pH değişimlerine karşı organik kültür varlıklarına kıyasla daha dayanıklıdır. Asiditenin değişimi, inorganik kültür varlıklarını dolaylı yoldan etkilemektedir. Örneğin; kültür varlıklarının bozulma unsurlarından biri olan mantarlar, asidik ortamlarda daha kolay biyofilm oluşturmaktadır. Mermer gibi silika içeren kayaçlar; sualtı ortamında suyun etkilerinden doğrudan etkilenmese bile, soğuk ve alkalın sularda uzun süreçlerde çözünmektedir (Björddal, 2012: 122; Crony, 1996: 105). Kültür varlıklarında suyun kimyasal özelliklerine bağlı olarak oluşan bozulmalar Üçüncü bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

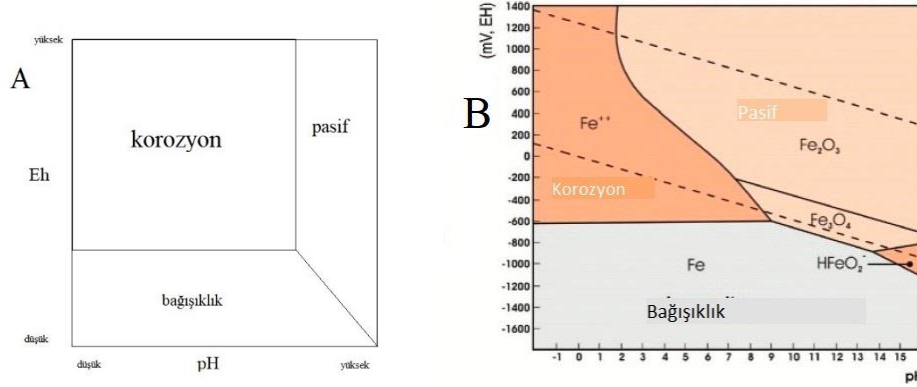
2.3.1.3 Redox Potansiyeli (Eh): Deniz Suyunda Oksidasyon ve İndirgenme

Redox potansiyeli kavramının anlaşılabilmesi için oksidasyon ve yükseltgenme reaksiyonlarının çalışma mekanizması bilinmelidir. Bir atom grubu elektron kaybederek iyonik bağ ya da kovalent bağ ile birbirlerine bağlandıklarında

oluşan reaksiyona oksidasyon denmektedir. Elektron kabul eden atomlar yükseltgenmiş olmaktadır. Örneğin; demir, oksijen ile temas ettiğinde oksidasyon geçirerek demir okside dönüşmektedir ve korozyona uğramaktadır. Oksidasyon için oksijen atomlarıyla her zaman elektron alışverişi olması gerekmez. Örneğin; gümüş, sülfür ile temas ettiğinde okside olarak gümüş sülfite dönüşmektedir. Yükseltgenme, oksidasyonun tam tersi gibi görünmektedir. Bunun nedeni reaksiyon sırasında elektron kaybı değil artması olmaktadır. Bu reaksiyon ağırlık ölçme yöntemi olarak 18.yy'da kimyagerler tarafından maddelerin ağırlığının hesaplanmasında kullanılmıştır (Moncrieff, Weaver, 1984: 111-112). Malzemedeki oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarının oluşabilmesi yani elektron alışverişi için gereken enerji, redox potansiyeli olarak adlandırılmakta ve Eh ile belirtilmektedir. Eh metreler ile ölçümü yapılabilmekte ve temelde çözeltideki enerji miktarını ölçtüğünden, ölçümler V(voltaj) ile belirtilmektedir. Redox potansiyeli deniz suyunda genel olarak 0 ila +0,25 mV arasında değişmektedir (Florian, 1987: 7).

Oksidasyon; sualtı kültür varlıklarının bozulmalarına neden olan unsurlardandır. Örneğin; metal eserler açık denize maruz kaldıklarında, hızlı bir şekilde oksidasyona uğramaktadır. Çözünmüş oksijenin yüksek olduğu sularda ya da oksijence zengin tortullarda metaller; elektron vererek anot olan metal korozyona uğrarken, sudaki oksijen atomları elektron alarak katot olmaktadır. Oksijen oranının düşük olduğu ya da sedimente tamamen gömülmüş alanlarda ise metal eserlerin sualtındaki korozyonları pH ve Eh ile doğrudan bağlantılıdır. Eh'in düşük olduğu ortamlarda metal stabildir ve korozyon oluşmamaktadır. Bu durumda metalde korozyon oluşmadığından ya da stabilizasyon noktasına hiç gelmediğinden metalin bağışıklık noktasında olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.3) (Crony, 1996: 168-169). Metal kültür varlıklarının sualtındaki bozulmaları, üçüncü bölümde incelenecektir.

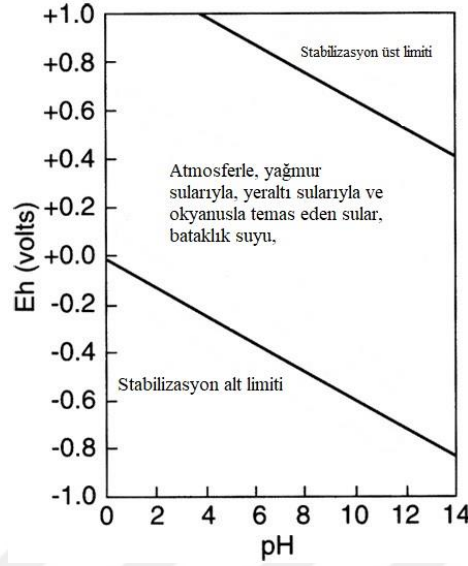
Şekil 2.3: (A) *Pourbaix* Diyagramı'nın basitleştirilmiş hali. (B) Çeliğin, klorit içermeyen sudaki korozyonu için hazırlanmış *Pourbaix* Diyagramı.



Kaynak: (A) Crony; 1996: 169; (B) Sousa Rivetti, Jose da Silva, Amorim Junior, 2018: 40.

Oksijen oranının düşük olduğu sedimentlerde, mikrobiyolojik organizmalar gibi oksitleyici ikincil ajanlar, redox potansiyelinin yükselmesinde önem kazanmaktadır. Bu ajanların sudaki miktarının tespiti ve analizi zor olduğu için sedimentler ortamın redox potansiyeline, yani elektron miktarının mili volt cinsinden ölçümüne göre sınıflandırılmışlardır. Yapılan bu sınıflandırma, bir kültür varlığının türüne göre belirli bir değerde nasıl tepki vereceğinin öngörülebilmesini sağlamaktadır. Örneğin; potansiyelin 200 mili volttan daha yüksek olduğu bölgelerde demir kültür varlıkları stabil olsa da sedimentlerde kirlilik yaratmakta ve Fe (II) olarak bulunmaktadır. Kimya alanında ortaya konulan sınıflandırma esas alınarak, *In situ* koruma yapılacak alanın redox potansiyeli yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir (Crony, 1990: 21). Sudaki elementlerin oksidasyona uğrama ve kayaçların suda çözünme potansiyelleri; suyun Eh-pH özelliklerine göre değişmektedir. Suyun stabil kalabildiği alt ve üst limitler hem organizmalar hem de sudaki elementler ile düzenlendiğinden; ortamın atmosferle teması, yağmurun yeraltı sularına ya da doğrudan deniz suyuna karışması gibi dış faktörler redox potansiyelini yükseltmektedir. Redox potansiyeli ve asidite arasındaki bu ilişkiye bağlı olarak stabilizasyon için gereken alt ve üst limitler Şekil 2.4'te görülebilmektedir (Macpherson ve Townsend, 1998: 121).

Şekil 2.4: Deniz sularında Eh- pH ilişkisi.



Kaynak: Machpherson ve Townsend, 1998: 121.

Kültür varlıkları ile temas halinde olan suyun kimyasal özellikleri, *In situ* koruma uygulamalarının hidrolojik analizlerinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Açık denize maruz kalan sualtı kültür varlıkları, kimyasal bozulmalardan sediment altında gömülü olanlara kıyasla daha çok etkilenmektedir. Bu nedenle; üzeri açık olan ya da yerinde koruma yöntemi ile korunması planlanmış alanlarda, bu özelliklerin ve kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin düzenli aralıklarla incelenmesi gerekmektedir. Suyun kimyasal özelliklerindeki değişimler ve bunların eserler üzerine etkisi, *in situ* koruma uygulamalarının başarılı olup olmadığının anlaşılması için de analiz edilmektedir. Örneğin; yeniden gömme yönteminde, yapılan uygulamanın gerekli korumayı sağlayıp sağlamadığının belirlenmesi için yine düzenli aralıklarla analiz yapılmaktadır. Bu tür çalışmaya Hollanda'daki 17.yy'a ait bir ticaret gemisi örnek gösterilebilir⁹ (Manders, 2006).

⁹ Söz konusu proje için bkz: 4.2.3 BZN 10 Projesi

2.3.2 Deniz Suyunun Fiziksel Özellikleri

2.3.2.1 Tuzluluk

Sadece denizlerde değil aynı zamanda tuzlu göllerde de suyun tuzluluk özelliği önemlidir, ancak alan yazınında tuzluluk ifadesi deniz suyunu belirtmektedir. Suyun içinde çözülmüş halde bulunan tuzların bindelik (‰) oranı tuzluluk olarak adlandırılmaktadır. Tuzluluk oranı nehir kaynak noktalarında sıfıra yakinken, kurak alanlarda ‰40'a kadar çıkabilmektedir. Suda 100 ppm'den daha yüksek konsantrasyona sahip olan elementlere esas (*majör*) elementler denilmektedir. 1-100 ppm arasında bulunan; arsenik, alüminyum, bakır gibi elementler yan (*minör*) elementler olarak adlandırılmaktadır. 1 ppm'den daha düşük konsantrasyonda olan; kadmiyum, cıva gibi elementlere ise iz (*trace*) elementler denilmektedir. Element olan bu tuzlar suda çözüldüklerinde pozitif ve negatif yüklü iyonların suya karışmasına neden olmaktadır. Deniz suyunda en sık bulunan birincil iyonlar: klorit, sodyum, sülfat, magnezyum kalsiyum, potasyum ve bikarbonattır. İkincil iyonlar ise: bromür, borat, stronsiyum, florit, silikattır (Morrissey ve Sumich, 2012: 67-69; Geldiay ve Kocataş, 2014: 50-51). Çözülmüş olarak bulunan 75'ten fazla elementten 11 tanesi tuzluluk özelliğini meydana getirmektedir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: Deniz suyunda bulunan tuzların sınıflandırması.

%35 Tuzlu Deniz Suyunda Bulunan Katyon ve Anyonlar	
Katyonlar (pozitif iyonlar)	Anyonlar (negatif iyonlar)
Sodyum	Klor
Magnezyum	Sülfat
Kalsiyum	Bikarbonat
Potasyum	Brom
Stronsiyum	Flor

Kaynak: Stowe, 1979.

Su yüzeyinin donması tuzluluğun artmasına neden olurken, akarsulardan denize katkı olması, tuzluluğun düşmesine neden olmaktadır. Suyun diğer

özelliklerinden ısının tuzluluk üzerinde çok fazla etkisi olmamaktadır. Yani; sıcaklık arttığında tuzluluğun artması ya da tersi bir durum çoğunlukla geçerli değildir. Suların tuzluluk miktarını arttıran unsurlar; buharlaşma ve daha tuzlu olan sularla karışımlardır. Tuzluluğun azalması ise yağış ve buzulların erimesine bağlıdır. Yüzey sularında tuzluluk; yağış az buharlaşma fazla ise yüksek, buharlaşma az yağış fazla ise düşüktür (Geldiay ve Kocataş, 2014: 53). Türkiye’yi çevreleyen denizlerde de tuzluluk oranları değişim göstermektedir. Akdeniz, Karadeniz’e kıyasla daha tuzludur. İki denizin kesişme noktası olan Marmara Denizi’nde Karadeniz’den gelen az tuzlu sular yüzeyde kalırken, Akdeniz’den gelen tuzlu sular deniz tabanına yaklaşmaktadır (Yılmaz, 2002: 220-221). Bu durum da deniz tabanında farklı seviyelerde konumlanmış olan kültür varlıklarında farklı oranda tuz birikimine neden olabilmektedir. Suda bulunabilecek metal tuzları da organik kültür varlıkları için koruma unsurudur. Örneğin; bakır tuzları organik malzemenin bozulmasına neden olan organizmalar için zehirlidir. Suda bulunabilecek tuzların koruyuculuk özelliği için en nadir bulunan örnek; kireç yoğunluğu çok fazla olan sedimentlerde, kemik malzemenin fosilleşmesidir. Buna rağmen tuzların varlığı metal kültür varlıklarında; metalden suya elektron alışverişini kolaylaştırdığı ya da kendileri metal ile elektron alışverişi yaptıkları için korozyonun hızlanmasına neden olmaktadır (Crony, 1990: 28). Kültür varlıklarının bünyesinde biriken tuz miktarı, söz konusu kültür varlığının fiziksel ve kimyasal özellikleriyle de ilişkilidir.

Tatlı sularda karşılaşılan temel iyonlar ise kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve klorürdür. Bu iyonlar; göllere kaynak sağlayan akarsuların drenaj havzasındaki toprak ve kayalardan süzülebilir ya da kurak iklim bölgelerinde atmosferik yağışlar ile birikebilmektedir. Atmosferik tuzluluğun kaynağı endüstriyel ve evsel hava kirliliği olduğundan; sadece endüstriyel üretime yakın bölgelerdeki su kaynaklarını etkilememektedir. Örneğin; İskandinav ülkelerindeki kirlilik sonucu oluşan tuzluluk ve asiditenin yükselişi, İngiltere’nin yüksek oranda sanayileşmiş bölgelerinden yayılan kirlilikten kaynaklanmaktadır. İç sularda iklim değişikliği tuzluluk oranlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Kapalı drenaj havzalarında bulunan sulardaki tuzluluk, beslendiği kaynaklardan bağımsız olarak yağış ve buharlaşmadan etkilenmektedir. Aral denizinde olduğu gibi kuraklık sonucu açığa çıkan sediment

tabakasındaki tuzlar, rüzgâr tarafından taşınabilmekte bu da tuz kaybına neden olmaktadır (Wetzel, 2017: 173-180).

2.3.2.2 Işık

Işık; hayvanların ve bitkilerin biyolojik faaliyetleri sırasında enerji üretimi için kullanılmaktadır. Işık enerjisi biyokimyasal reaksiyonlarla ısıya dönüştürüldüğünden hidrobiyolojide önemli yer kaplamaktadır. Bu enerjinin denizler, okyanuslar, göller ve akarsularda kullanımı farklıdır. Işığın emiliminin yüksek olduğu berrak ve sığ sularda biyolojik aktivasyon da artmaktadır. Bu başlıkta kendinden başka bir forma dönerek iş yapabilme kapasitesine sahip olan, yani bir enerji olan ışığın suda emilimi ve kültür varlıklarına etkisi incelenmektedir.

Denizlerden suya giren ışık enerjisinin emilimi; deniz suyunun optik özelliklerine ve ışığın yayılım özelliğine göre değişmektedir. Deniz suyunun optik özelliğini anlayabilmek için dik açıyla bakmak gerekmektedir. Gözle algılanabilen renklerden kırmızı, turuncu, sarı ve mor ışığın su tarafından emilimi sonucu oluşmaktadır. Yani uzun dalga boyundaki ışınlar deniz suyu tarafından emilirken, kısa dalga boyundakiler su içinde yayılmaktadır. Suyun biyolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri de ışık enerjisinin emilim miktarını değiştirebilmektedir. Örneğin; planktonlar gibi organizmalar, su renginin kahverengi ya da yeşil gibi görünmesine neden olabilirken, suda asılı halde bulunan parçacıklar ışığın derinlere inmesini engellemektedir. Bu da biyolojik organizmaların derin denizlerdeki aktivasyonunu yavaşlatmaktadır (Geldiay ve Kocataş, 2014: 66-70). Suda oluşan bu renk değişimi ve bulanıklık, suyun türbiditesi olarak adlandırılmaktadır ¹⁰.

Göl ve akarsular gibi tatlı su kaynaklarında ekosistemin devamlılığını sağlayan enerjinin neredeyse tamamı; güneş enerjisi ile fotosentez sonucu doğrudan sentezlenen ya da bir havzadan yayılan ışık sayesinde sağlanmaktadır. Buna rağmen enerji dönüşümünde ışığın kullanımı sırasında, enerjinin çok büyük bir kısmı ısıya dönüşerek kaybedilmektedir. Su tabakasının üzerine ulaşan ışık miktarı mevsimlere ve alanın bulunduğu enlemlere göre değişim göstermektedir. Ekvatorda bulunan bir su

¹⁰ Söz konusu özellik için bkz: 2.3.2.4 Deniz Suyunun Bulanıklılığı- Türbidite (*Turbidity*)

kütlesine düşen enerji miktarı yıl boyunca sabitken, ılıman bölgelerde bu oran mevsimlere göre değişmektedir. Su yüzeyine ulaşan ışık enerjisinin miktarı ve türü ekosistem açısından önem taşımaktadır. Atmosferdeki ozon artışına bağlı olarak gelişen ultraviyole ışınının artması, organizmalara zarar vermesine neden olmaktadır. Su yüzeyine çarpan ışığın yansım oranı; ışınların geliş açısı, su yüzeyinin özellikleri ve arazinin topografyasına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; yaz aylarında açık denizde su yüzeyine çarpan ışığın %5-6'sı yansırken kış aylarında bu ortalama %10'a kadar çıkabilmektedir. Göllerde ise bu oran %50'dir (Wetzel, 2017: 49-55).

Işığın suya etkileri incelenirken ölçümler klorofil pigmenti üzerinden yapılmaktadır. Bu durum da canlıların en yüksek üreme ve büyüme potansiyelinde oldukları seviyeyi, yani ışığın emiliminin olduğu seviyeyi göstermektedir. Türkiye'deki denizlerin ışığa karşı verdiği tepkiler incelendiğinde öfotik derinliğin¹¹ mevsimlerde değişiklik gösterdiği bilinsede en yüksek Akdeniz'de en düşük ise Marmara'nın batısındır. Ayrıca kış aylarında bu derinlik genel olarak düşmektedir. Marmara denizindeki asılı kalan parçacıkların büyük çoğunluğu karasal kaynaklıdır. Fotosentez için kullanılan aktif ışığın sönümlenmesi ise en yüksek Karadeniz'de olmaktadır (Bengil ve Mavruk, 2019). Öfotik derinlik; *in situ* koruma sırasında yapılan belgeleme uygulamalarında; ölçümlerin doğru yapılabilmesi ve doğru kayıtlar oluşturulabilmesi için önemlidir.

Su altındaki kültür varlıklarına ışığın etkisi *in situ* korumada doğrudan değil dolaylı yoldan olmaktadır. Işık; kazı sonrası özellikle doğal ışıkla doğrudan temaslarda ani kurumalara, renk değişimlerine ve bezeme pigmentlerinde solmalara neden olmaktadır. Su altında meydana gelen bozulmalar ışık kaynaklı değildir fakat ışık bir enerji kaynağı olarak sualtı ekosisteminde özellikle biyolojik bozulma unsurlarının aktivasyonunu hızlandırmaktadır.

2.3.2.3 Deniz Suyunun Sıcaklığı

Sıcaklık; bir cismin içerisindeki moleküllerin ortalama enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Özgül ısı ise bir maddenin bir gramının sıcaklığını 1 °C değiştirmek

¹¹ Öfotik derinlik: Işığın dikey olarak su içine nüfuz edebileceği derinlik.

için alınması ve verilmesi gereken ısı miktarıdır. Suyun özgül ısısı 1 olarak kabul edilmektedir (Atkins, 1999: 180-182). Okyanus ve denizler; güneş ışınlarının emilimi, volkanik faaliyetler ve sualtındaki jeolojik katmanın sıcaklığı iletimi nedeniyle ısınırken, soğuk dönemlerde sudan atmosfere ısı hareketi nedeniyle soğumaktadırlar. Isı farklılıkları coğrafi bölgelere ve iklime göre değişmektedir. Kutuplarda sıcaklık ortalaması -2 °C iken Ekvator'da 27 °C'dir. Termik Ekvator olarak adlandırılan su sıcaklığı ortalamasının en yüksek olduğu bölge okyanusların kuzeyidir. Güney Yarımküre'de Arktik suları ile etkileşimin bir sonucu olarak sular, Kuzey Yarımküre'den daha soğuktur (Geldiay ve Kocataş, 2014: 70).

Akarsu ve göllere ısı enerjisinin girişi; güneş ve atmosferik ışıma, yoğunlaşma ve yağış kaynaklı ışıma ile daha sıcak sular ile birleşme sayesinde olmaktadır. Isı enerjisinin kaybı ise güneş ışınlarının geri yansımaları, buharlaşma ve soğuk bölgelere su akıntısı ile olmaktadır. Akarsularda sıcaklık nadiren sıfırın altına düşmektedir. Hava sıcaklığı ile doğrudan bir bağlantı bulursa da buzulların erimesiyle karışan soğuk su; akarsu ısısının havadan daha düşük olmasına neden olabilmektedir. Sıcaklık dağılımı genel olarak kaynaktan denize dökülen noktaya doğru olmaktadır. Göllerde ise ısıya en önemli kaynağı güneş ışımasıdır fakat kaynağını yeraltından alan ya da volkanik kökenli olan göllerde tabandan da ısınma olabilmektedir. Işık kısmında bahsedildiği gibi göl yüzeyine çarpan ışığın yansımaları nedeniyle soğurulan ışık derinlere inmemektedir. Buharlaşma ile ısı kaybının yaşanması göllerde ısı değişimlerinin daha çok yüzeyde oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca içerisinde çözünmüş madde oranı yüksek olan göllerin ışığı emme kapasitesi daha fazla olduğundan ortalama sıcaklıkta yüksek olmaktadır (Wetzel, 2017: 70-76).

Deniz suyunun sıcaklığı; kimyasal reaksiyonları hızlandırması ve biyolojik bozulma unsurlarının aktivasyonunu artırması nedeniyle, *in situ* korumada önemlidir. Suyun diğer özelliklerinden olan çözünmüş gazlar ve sıcaklık doğru orantılıdır; deniz suyunun sıcaklığı arttıkça gazların suda çözünme oranları da artmaktadır. Birbirinden bağımsız iki fiziksel özellik olan sıcaklık ve tuzluluğun bir arada bulunması, sularda yoğunluk bakımından eşit akıntı tiplerinin oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin; ılık ve tuzlu su daha az yoğun olduğundan yüzeyde kalırken, ılık ve az tuzlu su daha yoğun olarak deniz tabanına çökmektedir. Bu durum da dalgaların etkili olmadığı derin

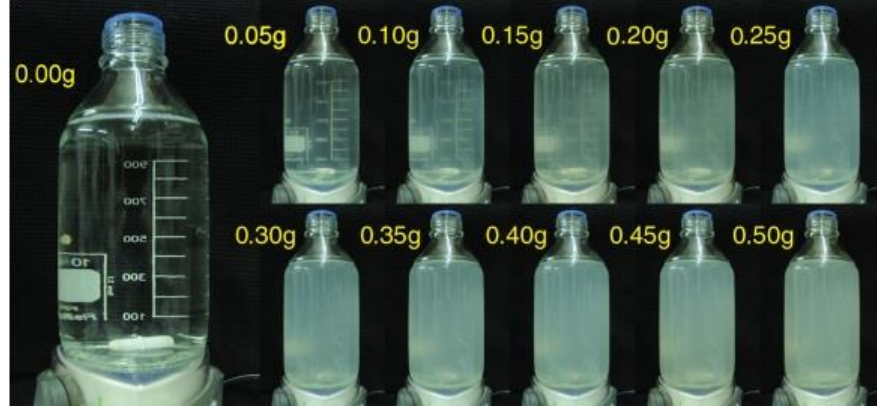
sularda bile yoğunluğa bağılı olarak su hareketlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Sönmez v.d., 2008: 67). Deniz suyunun biyolojik aktivasyona etkisi konusunda; ahşap kültür varlıkları ile beslenerek yaşayan *Teredo Navalis* örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu canlılar, Akdeniz gibi sıcak ve tuzlu sularda, Baltık Denizi gibi nispeten soğuk sulara kıyasla daha hızlı üremektedir (Silva, 1972: 11).

2.3.2.4 Deniz Suyunun Bulanıklılığı- Türbidite (*Turbidity*)

Deniz suyunun türbiditesinin sualtı kültür varlıklarını *in situ* korumadaki etkisi, belgeleme işlemlerine engel olmasıdır. *In situ* koruma yöntemlerinden yerinde koruma (*In situ preservation*); Türkiye gibi sualtı kültür varlıklarının çok fazla olduğu ülkelerde, bu kültür varlıklarının korunma durumlarının ve çevresel faktörlerinin belgelenmesi esasına dayanmaktadır. Türbidite belgeleme işlemlerinde hatalara neden olduğundan önem taşımaktadır.

Asılı halde parçalar içeren sular bulanıktır ve bu duruma suyun bulanıklığı-türbidite denmektedir. Türbidite; humus, mil, organik parçacıklar, bitkiler ve hayvanlardan kaynaklı olarak oluşabilmektedir. Suyun türbiditesi en basit olarak seki diski adı verilen yöntem ile ölçülmektedir. Yöntem; ucuna ağırlık bağlanmış bir seki diskinin, metrik işaretler içeren bir ip yardımıyla suya daldırılmasıdır. Seki diskinin gözle görülemediği noktaya (z_{sd} noktası), seki diski derinliği denmektedir (MEGEP, 2006: 10-12). Suyun türbiditesi; asılı kalan parçacıkların boyutuna, miktarına ve rengine göre değişmektedir. Bazı durumlarda türbiditenin z_{sd} noktası, yüzeyden 0 m'ye kadar çıkabilmektedir. Türbiditeye neden olan tanecik boyutları çok küçük olduğunda, sudaki görüntü bulutumsu olmaktadır. Tanecik boyutu büyüdükçe, özellikle fotoğraf ile belgelemelerde, suda asılı kalan tanecikler görülmekte ve düşük kalitede fotoğraf çekilmiş izlenim yaratmaktadır. Saf suya eklenen bentik ince tanecikli kilin oluşturduğu türbiditenin değişimi Resim 2.1'de görülebilmektedir (Selmo v.d., 2017).

Resim 2.1: Saf suya eklenen bentik kilin farklı oranlarda yarattığı türbidite.



Kaynak: Selmo v.d., 2017: s.y.

2.3.2.5 Akıntılar

Sediment tortullarının fiziksel özelliklerine bağlı olarak farklı oranlarda etkili olan akıntı ve dalgalar, deniz tabanını şekillendirmektedir. Sualtı kültür varlıklarını sediment erozyonu ya da birikimi yolu ile etkileyen akıntılar, genellikle rüzgâr kaynaklıdır. Bir bölgede etkili olan akıntı ve rüzgârların tespiti uzun süreli çalışmalar gerektirmektedir. Bu nedenle *in situ* koruma planlamasında bölgeyi etkileyen su seviyesi değişimleri, akıntı ve dalgalar 3D olarak modellenenbilmektedir. Bu modellemeler ile sualtı kültür varlıklarının çevresinde etki edecek, deniz tabanının değişme süresi önceden tahmin edilebilmektedir. Deniz tabanının modellenmesi SSS, SBP gibi görüntüleme sensörleri kullanılarak yapılmaktadır (Fernández-Montblanc v.d., 2016: 487-492).

Güçlü akıntılar; ahşap gibi hassas kültür varlıklarını fiziksel olarak parçalamaktadır. Sediment tortullarının sürekli hareket halinde olması; çözünmüş oksijen ısı, pH seviyelerinde değişimlere neden olarak kültür varlıklarının kimyasal bozulma hızlarını arttırmaktadır. Çözünmüş oksijen oranındaki artış, biyolojik bozulma unsurlarının da üreme hızlarını arttırarak biyolojik bozulmalar hızlanmaktadır. Akıntıların ölçümü; sualtında deniz tabanına yerleştirilen kayıt cihazlarıyla yapılmaktadır. *BZN 10* Batığının *in situ* korunması sırasında alana yerleştirilen akustik akıntı profil oluşturucusu ile akıntının yönü ve hızı belirlenmiştir. Akıntının hızı ve sediment tortullarının boyutu bilindiğinde; alandaki sediment

taşınmasının hızı tahmin edilmektedir. Böylece, *in situ* korumada yapay deniz çimi yöntemi gibi sediment kapanı olarak görev yapan uygulamaların ne kadar süreyle etkili olacağı tahmin edilmektedir (Gregory ve Manders (eds): 54-56).

İskoçya'nın *Kinlochbervie* bölgesinde bulunan, çakıl büyüklüğünde sediment tortulları içeren bölgedeki sualtı kültür varlıklarının korunması için, akıntı analizi yapılmıştır. Alanda farklı derinlikte bulunan bütün kültür varlıkları 2002 yılında NAS eğitimi kapsamında belgelenmiştir. Alandaki kültür varlıklarının dağılımının nasıl oluştuğunu anlamak için araştırmacılar dikkat çeken bir yöntem kullanmışlardır. Seramik kültür varlıklarının maruz kaldığı bozulmaların modellenebilmesi için zeytin kavanozları alana bırakılmıştır. Akıntıların etkisiyle kavanozların büyük kısmı parçalanmış, bir kısmı karaya savrulmuştur. Kırılan parçalar birbirlerine en az 1.8 m aralıklarla bulunmuşlardır. Bu da bölgedeki akıntı şiddeti ve büyük taneli tortul yapısının kültür varlıkları üzerinde yaratacağı fiziksel bozulmalar için bir rol model oluşturmuştur (Robertson v.d., 2004: 15-17).

2.4 Sediment Tabakasının Özellikleri

Sualtı kültür varlıklarının bozulması ve korunmasında önemli rol oynayan unsurlardan biri, kültür varlıklarının üzerini kaplayan sediment tabakasının özellikleridir. Sedimentin; tanecik büyüklüğü, yoğunluğu, su doygunluğu kimyasal tepkimelerin oluşumunu belirlemektedir (Kocabaş, 1997: 10). Bu nedenle sualtı kültür varlıklarını *in situ* korumada sediment tabakasının özelliklerinin tespiti önemlidir.

2.4.1 Sediment Tabakasının Kimyasal Yapısı

Sedimentler; karadan rüzgâr aşındırması, nehirler ve buzullar ile deniz ve okyanuslara taşınmaktadır. Okyanuslarda ayrıca; organik, biyojenik karbonat, biyojenik silika ve sudan çöken mineralleri içeren matlar bulunmaktadır. Denizel sedimentler orijinleri dikkate alınarak 4 grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; demirli bileşikler içeren *kozmojenler*, denize karadan taşınan ya da volkanik etkiyle oluşan *litojenler*, organik malzemelerin çözünmesiyle oluşan *biyojenler* ve inorganik çökelme ile oluşan hidrojenlerdir (Tablo 2.5). Derin deniz sedimentini oluşturan *palejik*

sedimentler, okyanuslara göre değişen oranlarda kil mineralleri içermektedir (Li ve Schoonmaker, 2003:1-5).

Tablo 2.5: Denizel sedimentlerin orijinlerine göre sınıflandırılması.

Kozmojenler	Biyojenler	Litojenler	Hidrojenler
Demir	Kalsit	Kuvars	Frankolit
Olivin	Aragonit	Kil mineralleri	Barit
Pyroxene	Opal	Volkanik cam	Selesttit
	Frankolit	Amfibol	Montromillonit
	Barit	Pyroxene	Nontronit
	Selesttit	Olivin	Glausonit
		Plajiyoklaz	Sepiolit
			Götüt

Kaynak: Li ve Schoonmaker, 2003: 2.

Deniz ve göllerin sediment tabakalarının kimyasal özellikleri birçok etmene bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak, tortunun anorganik bileşenleri kalsiyum ve karbonattır. Bu tabaka; kabuklu deniz canlılarının organik kalıntılarının çözünmesi ile meydana gelerek, dibe çökmektedir (Kocabaş, 1996: 11). Sediment tortulları; karasal ortamdaki kayaların parçalanması sonucu akarsular ile taşınmaktadır. Bu nedenle denizel sedimentler karasal kayalardaki mineralleri de barındırmaktadır. İnsan faaliyetleri nedeniyle oluşan kirlilik, sediment tabakasının kimyasal yapısını değiştirmektedir. Organik bileşiklerse, sualtı ortamında yaşayan bitkilerin üretim ve tüketim faaliyetlerinin bir sonucu olarak dipte birikmektedir. Dolayısıyla sediment tabakasının kimyasal yapısı bölgesel olarak değişmektedir. Sediment tabakasının *in situ* ya da *ex situ* analizlerinden elde edilen verilerle mineraller ve diğer inorganik maddelerin oranı saptanmaktadır (Sunlu v.d., 2005).

Tablo 2.6: Sedimentin kimyasal bileşenleri (%) .

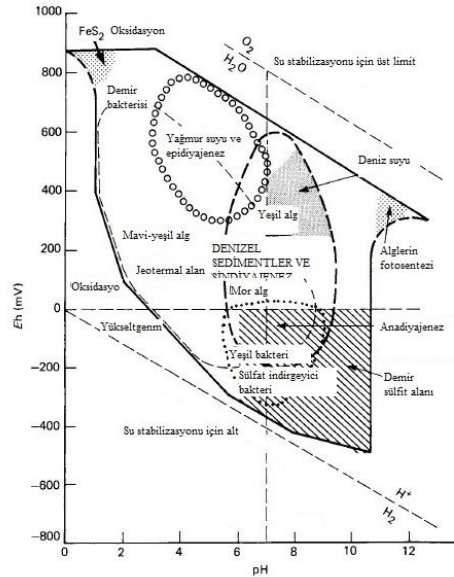
İyonlar	Kırmızı Kil	Kalkerli Sızıntı	Silikatlı Sızıntı
SiO ₂	53.93	24.23	67.36
TiO ₂	0.96	0.25	0.59
Al ₂ O ₃	17.46	6.60	11.33
Fe ₂ O ₃	8.53	2.43	3.40
FeO	0.45	0.64	1.42
MnO	0.78	0.31	0.19
CaO	1.34	0.20	0.89
MgO	4.35	1.07	1.71
Na ₂ O	1.27	0.75	1.64
K ₂ O	3.65	1.40	2.15
P ₂ O ₅	0.09	0.10	0.10
H ₂ O	6.30	3.31	6.33
MgCO ₃	0.39	56.73	1.52
CaCO ₃	0.44	1.78	1.21
Mevcut O	0.11	0.050	ND
Organik C	0.13	0.30	0.26
Organik N	0.016	0.017	-
Toplam	100.20	100.17	100.10

Kaynak: Florian, 1987: 9 (Orijinal kaynak: Wakeel, Riley, 1961, Pergamon Press).

Sedimentin kimyasal bileşimi; oluşum süreci olan diyajenez sırasında ortaya çıkmaktadır. Sedimentoloji literatüründe diyajenez; taneciklerin deniz tabanına çöktükten sonra, aralarındaki boşlukların yok olmasıyla taşlaşmalarını sağlayan fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlerin tamamını kapsayan süreçtir. Diyajenezin ilk aşaması olan sin diyajenez evresi, batık alanlarında oksidasyona bağlı bozulmalara neden olmaktadır. Çünkü bu aşamada, tortullar tabana oturmaya başlamaktadır. Tortul taneleri arasındaki boşlukta su hala bulunmaktadır. Sürecin tamamlanması ve tortulların tamamen çökmesi, 1000 ila 10000 yıl arasında sürebilmektedir. Bu süreç sırasında tortullarda; fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenlerde değişimler meydana gelmektedir. Diyajenezi kontrol eden, basınç gibi fiziksel faktörler ile tortulların üzerine yük binmeye başlanmasıyla; tanelerin düzeni değişmekte, aralarındaki boşluklar azalmaktadır. Bu etki ile silikastik sedimentlerde gözeneklilik %20-60

arasında azalarak çamurtaşına, kalker içerikli sedimentlerde ise gözeneklilik %20-40 oranında azalarak kumtaşına dönüşmektedir. Kimyasal süreçlerden otijenez sırasında; feldspatlar kil minerallerine, demirce zengin mineraller pirit oluşumlarına ($Eh < 0$) ve hematite ($Eh > 0$) dönüşmektedir. Biyolojik faktörler, sedimentteki yaşam faaliyetleri tortu içindeki boşlukların değişmesine neden olmaktadır. Tamamen sertleşmemiş tortularda bakteri ve alglerin faaliyetleri daha etkilidir. Sualtı kültür varlıklarının bulunduğu sediment tabakaları; sin diyajenezin henüz tamamlanmadığı, tortulların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısının sürekli değiştiği evrede bulunmaktadır. Sediment tabakasının oluşumundaki tüm bu süreçler, kültür varlıkları sedimente gömülü olsa da bozulma meydana getirmektedir. Bu aşamada deniz suyunun Eh ve pH'ı da sediment tabakasının kimyasal yapısının değişmesinde rol oynamaktadır. Deniz suyunun Eh ve pH'ı ise organizmaların faaliyetleriyle doğrudan ilişkilidir (Şekil 2.5). Organizmaların aktivasyonu, diyajenez süresini ve türünü etkilemektedir (Florian, 1987: 9-10).

Şekil 2.5: Sedimentteki organizmaların Eh-pH ilişkisine göre aktiviteleri.



Kaynak: Florian, 1987: 10 (Orijinal kaynak: R.W. Fairbridge;1997, *Diagenesis in Sediments*).

Sedimentin Eh-pH'ı; tortunun içinde bulunan mineral iyonlarının çözünürlüğü değiştirmektedir. Örneğin; Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mn^{+2} ve Mn^{+3} iyonları, Eh-pH'ın yükselmesiyle birlikte çözünebilir hale gelmekte ve suya karışmaktadır. Bu iyonlar,

deniz tabanlarında sedimentlerin oluşumu sırasında birikmektedir. İyonların suya karışması ise oksidasyonu tetiklediğinden, sualtı kültür varlıklarının bozulmasında aktif rol oynamaktadır. Tablo 2.7 mineral iyonlarının Eh-pH'a bağlı olarak çözünürlüğünde oluşan değişimi göstermektedir (Florian, 1987: 11).

Tablo 2.7: Eh-pH'a bağlı iyon çözünürlüğü. "0" söz konusu etmene bağlı olarak değişmeyen iyonlar için kullanılmıştır. "X" ise söz konusu parametrelere göre değişen iyon çözünürlüğünü belirtmektedir.

İyon	Eh'a Bağlı Değişim	pH'a Bağlı Değişim
Na ⁺	0	0
K ⁺	0	0
Ca ²⁺	0	0
Mg ²⁺	0	0
Br ⁺	0	0
I ⁻	0	0
CO ₃ ⁻	0	X
PO ₄ ³⁻	0	X
OH ⁻	0	X
Fe ²⁺	X	0
Fe ³⁺	X	0
Mn ³⁺	X	0
Mn ⁴⁺	X	0
S ⁻	X	X

Kaynak: Florian, 1987: 11 (Orijinal kaynak: Krunbein W.C, Garrels R.M., 1952, University of Chicago Press).

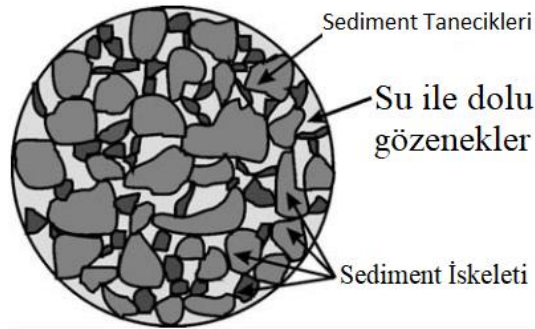
İnsan etkisi sedimentin kimyasal yapısını değiştirmektedir. Nehirlerde oluşan kirliliğin başlıca nedenleri; sanayii, madencilik, tarım ürünlerinden gelen pestisitler ve gübrelerdir. Çin ve Hindistan gibi insan yoğunluğunun fazla olduğu ülkelerde evsel atıklar da kirlletici unsurlar arasında yer almaktadır. Nehirlerden, okyanus ve denizlere taşınan mineraller birincil ve ikincil olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Birincil gruptakiler; suda çözünerek sedimente karışabilen, taşınması kolay sodyum, kalsiyum gibi minerallerdir. İkincil grup mineraller çözünme oranları daha düşük olan alüminyum ve demir gibi mineraller ve kaolinit gibi kil türleridir. Sediment

tabakasının stabilizasyonu ikincil gruptaki minerallerin kimyasal erozyon ve fiziksel taşınmalarına bağlıdır. Taşınma hızı ise nehrin bulunduğu bölgedeki rejime ve jeolojik oluşumlara göre değişim gösterebilmektedir. Sedimentin kimyasal yapı taşı oluşturan diğer kaynak ise yer altı sularıdır. Yer altı suları, sedimentin redox potansiyelini yükselten mineralleri doğrudan akıntıyla deniz ve okyanuslara karıştırmaktadır (Viers v.d., 2018: 854-856).

2.4.2 Sediment Tabakasının Fiziksel Yapısı

Sediment tabakalarını oluşturan tortuların fiziksel özelliklerine bakıldığında üç temel yapı birimi kullanılmaktadır. Bunlar; tortu tanecikleri, bu tanecikler arasındaki genellikle deniz suyu ile dolu olan gözenekler ve tortu tanecikleri ile boşlukları birbirine bağlayan deniz tabanında bulunan parçacıkların belirli sistemlerle dizilmesiyle oluşmuş sediment iskeletidir (Şekil 2.6). Sedimentin gözenekliliği ile sedimenti oluşturan tortunun gözenekliliğinin birbiri ile karıştırılmaması gerekir. Sediment tabakasının tanecik boyutu, gözenekliliği ve sertlik yapısındaki değişimler elastikiyeti ve stabilizasyonunu etkilemektedir (Breitzke, 2006: 27-28).

Şekil 2.6: Sediment tabakasının fiziksel yapı taşları.

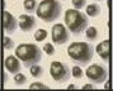
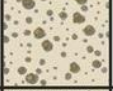


Kaynak: Breitzke, 2006: 28.

Tortu tanecikleri, boyutlarına göre çakıl, kum ve kil olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır. Ölçüm; taneciklerin yatay kesiti ile milimetre (mm), mikrometre (μm) ve pi ($\emptyset$) cinsinden yapılmaktadır (Şekil 2.7). Tanecik boyutunda kullanılan, en yaygın ölçek; *Wenworth* ya da *Udden-Wenworth* Cetveli'dir. Sedimentlerin tanecik boyutu analizi *ex situ* analizlerin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu analizler laboratuvarlarda elekler kullanılarak yapılabildiği gibi günümüzde lazer kullanımına dayalı daha kısa

sürelî analizler de bulunmaktadır (López, 2016). Tanecik boyutuna bağılı olarak su tutma hacimleri değişmektedir. Tortunun boyutuna bağılı olarak gerçekleşen su tutma kapasiteleri tablo 2.8’de verilmiştir (Kocabaş, 1996: 11).

Şekil 2.7: Tortuların tanecik boyutu cetveli.

	mm		phi
Kaba çakıl	256 to 4		-8 to -2
Çakıl	4 to 2		-2 to -1
Çok kaba ve kaba kum	2 to 0.5		-1 to 1
Orta kum	0.5 to 0.25		1 to 2
İnce ve çok ince kum	0.25 to 0.06		2 to 4
	0.06 to 0.004		4 to 8
Alüvyon	< 0.004		> 8.00

Kaynak: López, 2016.

Tablo 2.8: Tortu taneciklerinin boyutuna göre su tutma kapasitesi

Tane büyüklüğü (µ cinsinden)	Su miktarı (%hacim)
250-500	45,0
125-250	45,4
64-125	46,9
16-64	51,6
4-16	66,2
1-4	85,8
<1	98,2

Kaynak: Kocabaş, 1996: 11

Sedimentin gözeneklilik ve sertliği ise tortuyu oluşturan tanecikler ve bunların arasındaki boşluklarla ilişkilidir. Gözeneklilik, belirli bir alandaki boşlukların hacmini ifade etmektedir. Sualtı sedimentlerinde gözenekliliğin hesaplanması için kullanılan formül, aşağıda ilk sırada verilmiştir. Bu hesaplamada gözenekler içerisindeki su miktarı hesaba katılmamış ve oran % cinsinden verilmiştir. Gözeneklerin tuttuğu su hacminin hesaplanması için ise aşağıda ikinci sıradaki formül kullanılmaktadır. Gözeneklilik arttıkça sedimentin yoğunluğu azalmaktadır (Breitzke, 2006: 30).

$$\phi = \frac{\text{Tanecikler Arasındaki Boşluğun Hacmi}}{\text{Örneğin Toplam Hacmi}} = \frac{V_f}{V}$$

$$\rho = \frac{\text{Islak Örneğin Kütle}}{\text{Örneğin Toplam Hacmi}} = \frac{m}{V}$$

Denizel sedimentin fiziksel özellikleri, taban yapısını akıntılar ile taban yapısını değiştirmektedir. Akıntılar, tortudaki boşlukların yeniden şekillendirerek katılaşmamış tortuların erozyonuna neden olmaktadır. Sediment tabakasında tortuların erozyonu taneciklerin kültür varlıkları üzerinde mekanik aşınmaya ve kültür varlığının çevresindeki sedimentte oyuklar oluşturmaktadır. Birikim, *in situ* korumada olumlu bir etki yaratırken; erozyon kültür varlıklarının açık denize maruz kalmasına neden olmaktadır. Akıntıların şiddeti hidrodinamik enerji ile alakalıdır ve bu enerji; fırtınalar, hortumlar gibi doğal felaketler nedeniyle artmaktadır. Sualtı kültür varlıklarından özellikle batık alanları yoğun şekilde etkilenmektedir (Di Laurea, 2013/2014: 41-43).

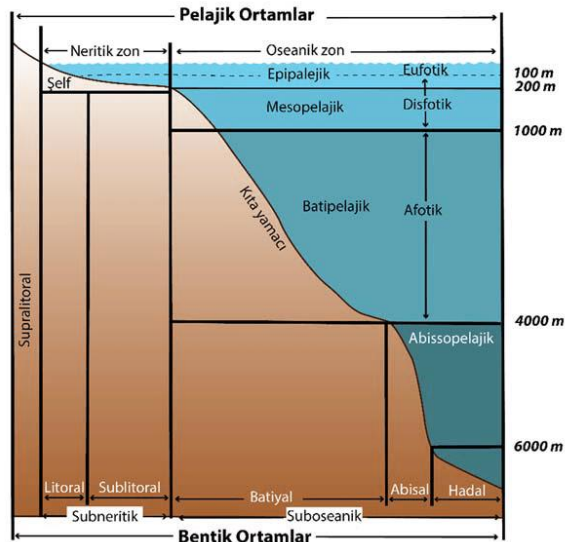
Sediment tabakasının akıntılar ile oluşan erozyonu, yukarıda bahsedildiği gibi kültür varlıklarını korunmasız bırakmakla birlikte, mekanik bozulmalar da yaratmaktadır. Büyük ve sert tanecik yapısına sahip olan sedimentlerin hareketleri kültür varlıklarının yüzeylerindeki boya ve bezemeleri aşındırabilmektedir. Organik malzemenin biyolojik bozulmalarla birlikte yumuşayan yüzey kısmı da yine bu hareketler sonucu aşınmaktadır. Sediment tabakasındaki çözünmüş oksijen oranı; derin denizlerde düşükken ve anoksik bir ortam sağlarken, limanlar gibi karaya daha yakın bölgelerde, dalgalara ve atmosfer ile temasa bağlı olarak artmaktadır. Sediment tabakasının gözenekliliği ile suda çözünen oksijenin depolama potansiyeli doğru orantılıdır. Bu durum sedimente gömülü olan kültür varlıklarında biyolojik bozulma

sürecinin ve de korozyonun ve oksidasyonun devam etmesine neden olmaktadır. Buna rağmen sediment tabakası ile kaplı olmayan sualtı kültür varlıklarında kabuklu deniz canlıları gibi makroorganizmalardan bakteriler gibi mikrobiyolojik organizmalara kadar yoğun biyolojik kolonizasyon görülmektedir. Sediment tabakasının kimyasal bileşimi ise, kültür varlıklarının bozulmalarını hızlandırabilmektedir. Örneğin; klorit yoğunluğu yüksek olan sedimentlere gömülü olan metal eserlerde aktif korozyonun oluşması ve hızla yayılması mümkündür (Perez-Alvaro, 2016: 843-845).

2.5 Sualtı Ortamının Ekolojik Özellikleri

Sualtı kültür varlıklarının da içinde bulunduğu sediment tabakası bentik bölgede bulunmaktadır. Sediment tabakası analizlerinde, deniz bitkileri ve hayvanlarının bulunduğu taban yapısıyla birlikte kum ve çamur tabakası da incelenmektedir. 1872-1876 yılları arasında *HMS Challenger* adlı İngiliz donanmasına ait geminin bilimsel amaçlarla deniz tabanından sediment örneği alması ile ilk kez sistematik denizel sediment incelemeleri yani ilk ekolojik araştırmalar başlamıştır. Ekoloji bilimi; 1890'larda ortaya çıkışından 1950'lere kadar deniz biyolojisinin geliştirilmesi amacıyla denizel canlılar ile çevre ilişkisi hakkında çalışmalar yürütmüştür (Gray ve Elliot, 2009: 1-3).

Resim 2.2: Okyanus ve denizlerin ekolojik katmanları.



Kaynak: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/19_20_Guz/ekosistem_cografyasi/13/index.html, 22/05/2022.

Denizler ve okyanuslar; su kütlesi (*Pelajik*) ve zemin (*Bentik*) olmak üzere 2 ayrı kısma ayrılarak incelenmektedir (Resim 2.13). Karadan deniz tabanına ilerleyen kara kütesine *Bentik* bölge denilmektedir. *Pelajik* bölge ise dikey düzlemde ilerleyen su katmadır. *Pelajik* bölge derinliğine göre şu şekilde sıralanmaktadır (Sönmez v.d., 2008: 92):

- *Epipelajik*: 0-50 m arası
- *Mezopelajik*: 50-200 m arası
- *İnfrapelajik*: 200-600 m arası
- *Batipelajik*: 600-2500 m arası
- *Hadopelajik*: 2500-7000 m arası

Bentik bölge ise kendi içinde: *littoral*, *supralittoral* olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır. Bu katmanlardan *littoral* bölge: ışık emiliminin olması ve fotosentez yapabilen sualtı bitkilerinin bulunması sayesinde canlıların üremesi ve yaşaması için gerekli ortamın sağlandığı katmandır. *Littoral* ve *Sublittoral* bölgelerin yatay düzlemdeki kısımları tablo 2.9'da verilmiştir (Geldiay ve Kocataş, 2014: 99-101). Sualtı kültür varlıklarının çoğu bentik bölgede bulunmaktadır. Günümüzde derin deniz arkeolojisi sayesinde pelajik bölgedeki kültür varlıkları da *in situ* koruma bağlamında değerlendirilse de bu bölgelerde aktif koruma uygulamaları yapılmamakta, gözleme ve analize dayalı önleyici koruma yöntemleri tercih edilmektedir.

Tablo 2.9: Deniz ve okyanusların ekolojik katmanları sınıflandırması.

Deniz ve Okyanusların Ekolojik Katmanları				
Bentik (Zemin)				Pelajik (Su kütlesi)
Littoral		Sublittoral		Epipelajik, Mezopelajik,
Littoral	Sublittoral	İnfralittoral	Sirkalittoral	Betipelajik, Abissopelajik, Hadopelajik

Kaynak: Geldiay ve Kocataş, 2014: 99-101.

Sualtı kültür varlıklarını *in situ* korumada bentik bölgede yaşayan makro ve mikroorganizmalar biyolojik bozulmaları tetiklemektedir. Deniz ekosisteminde

yaşayan canlılar ikiye ayrılmaktadır. Bunlar: *pelajik* bölgede yaşayan canlılar olan *Pelagos* ve *bentik* bölgede yaşayan *Bentos*'lardır. *Bentik* bölgelerde yaşayan canlılar *Fitobentos* ve *Zoobentos* olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bunlardan ilkini; alger ve fanerogamlar, ikicisini ise zeminde yaşayan canlılar oluşturmaktadır (Geldiay ve Kocataş, 2014: 107). *Zoobentos* grubunda bulunan canlılar: halkalı kurtlar, yassı solucanlar, yuvarlak kurtlar, eklembacaklılar, küçük kabuklulardan oluşan *Crustacea* sınıfı canlılar, midye ve istiridye gibi balta ayaklılar, kafadan bacaklılar ve derisi dikenlilerdir. Balık ve solucanlar gibi canlılar da bu sınıfta yer almaktadır (Başçınar, 2009).

Göllerde tıpkı denizler gibi su kütlesi (*Pelajel Limnatik*) ve zemin (*Bentik*) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu katmanlar, göllere göre değişmekle birlikte benzer özellikler de göstermektedir. *Pelajel limnatik* bölge, yani su kütlesi ise kendi içinde; ışıklı (*Fotik*) ve ışısız (*Afotik*) bölge olarak ayrılmaktadır. *Fotik* bölge; 80-100 m'ye kadar olan çok ışıklı, *Efotik bölge* 100-300 m'ye kadar olan az ışıklı, *Disfotik* bölge ise göl yüzeyinden 300 m derinliğe kadar olan katmandır. Işığın aktifliği sayesinde bu katmanda; alger, *fitoplanktonlar* ve ekonomik değeri olan balıklar bulunmaktadır. *Afotik* bölge ise ışık şiddeti fotosenteze imkân verecek seviyede olmadığından besin üretiminin sağlanamadığı, ışığa ihtiyaç duyan canlıların yaşayamadığı göl tabanına inen katmandır. Hazar, Baykal, *Victoria Gölü* gibi büyük göller haricindeki göllerde bu katman bulunmamaktadır (Tablo 2.10) (Sönmez v.d., 2008: 39)

Tablo 2.10: Göllerin dikey düzlemdeki ekolojik katmanları.

Göllerin Ekolojik Katmanları					
Bentik (Su kütlesi)			Limnetik (Pelajel) (Zemin)		
Litoral	Sublitoral	Profundal	Abissial	Fotik	Afotik

Kaynak: Geldiay ve Kocataş, 2014: 99-101.

Göllerin en önemli besin üreticileri *seston* grubundan olan algler ve *planktonik* gruplardır. Besin zincirinin ikinci ve üçüncü basamağı olan *zooplankton* ve *fitoplanktonlar* zemin bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Göl ortamının en önemli ayrıştırıcısı olan bakteriler tarafından ayrıştırılarak ekosistemin ihtiyaç duyduğu *abiyotik* unsurların temelini oluşturmaktadır. Planktonlar suda yoğun olarak bulunduklarında ışığın emilimini engelledikleri için; yeşil, kahverengi renkler ortaya çıkarak suyun bulanıklaşmasına yani türbiditeye neden olmaktadır. Birden fazla fitoplankton tür genellikle bir arada yaşayabilmektedir. Bu türlerin sudaki besini tüketme ve üretme hızları farklı ortam koşullarına bağlı olduğu için birlikte yaşayabilmektedir. Örneğin; ılıman iklimlerde fitoplankton grubundaki değişimler sudaki fosfor, azot ve silis oranına bağlıdır. Besleyici elementlerin kullanılabilirliği de mevsimlere bağlı olarak ve gün içinde değişmektedir (Wetzel, 2017: 524-525).

2.6 *In situ* Korumada Önemli Olan Denizel Ekosistemin Biyolojik Unsurları

Denizel ekosistemin biyolojik unsurları bölgelere bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir. Bu çalışmada Türkiye'yi çevreleyen sularda, sualtı arkeolojik kültür varlıklarının bozulmasında etkili olan, *zoobentos* grubunun unsurlarından olan; *Teredo Navalis*, *Assellus*, *Limnoria* ile mikroorganizmaların ve *fitobentos* grubundan *Posidonia Ocenica* biyolojik özellikleri ve yaşam döngüleri irdelenmektedir.

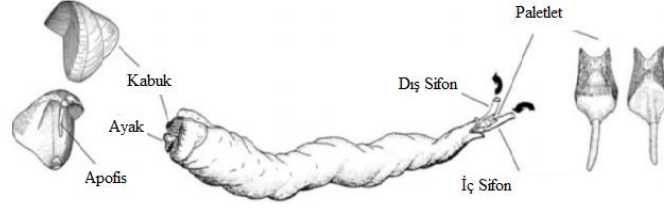
Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma sırasında kültür varlıklarının biyolojik bozulmalarına yol açan makroorganizmalar, Türkiye karasularında geniş bir yayılım göstermektedir. *Posidonia Ocenica*, Ege ve Akdeniz kıyılarındaki sit alanlarında sıklıkla karşılaşılan türdür. *Teredo Navalis*, *Assellus*, *Limnoria* ise farklı yaşama alanlarına sahiptir. *Teredo Navalis*; Hatay'dan Trabzon'a Türkiye'nin her kıyı bölgesinde karşılaşılan bir türdür. Canlının yaşamsal faaliyetlerini üst düzeyde devam ettirebilmek için tuzlu ve sıcak sulara ihtiyaç duyması nedeniyle, Ege ve Akdeniz'deki etkinliği, Marmara ve Karadeniz'deki etkinliğine kıyasla daha fazladır. *Asellus*; bir tatlı su canlısı olduğu halde, yapılan bazı çalışmalarda Akdeniz kıyılarında da varlığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda Yunanistan ve Türkiye'nin Ege kıyılarında da

görülmektedir. *Limnoria* 'ya ise nispeten daha sıcak ve su hareketlerinin fazla olduğu Akdeniz kıyılarında, Fenike ve Hatay arasındaki bölgelerde karşılaşılmaktadır (Kırkım v.d., 2006: 363; Kırkım v.d., 2017: 248; Can ve Sivrikaya, 2020).

2.6.1 *Teredo Navalis*

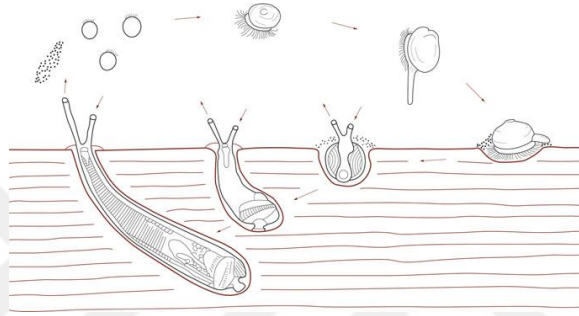
Teredo Navalis; çift kabuklu yumuşakçalar ailesinden *Teredinidae* grubunun en yaygın karşılaşılan türüdür. Bu canlıların üremek ve yaşamlarını devam ettirmek için kullandıkları malzeme ahşaptır. Antik dönemlerden itibaren ahşap gemilerde bozulmalara neden olduğu bilinen bu canlılar, deniz termiti olarak da adlandırılmaktadır. Bu türün oluşturduğu bozulmalar onarılamamaktadır. *Teredo Navalis*; sıcak ve oksijen bakımından zengin ortamlarda yaşayabildiği için *palejik* katmanda üreyebilmektedir. Yetişkin iken 11 °C'den yüksek sıcaklığa, 8 PSU'dan yüksek tuzluluğa ve 4 mg/O₂/l seviyesinde oksijene ihtiyaç duymaktadır. Baltık Denizi'nde bulunan batıkların bu canlılardan etkilenmemesinin en önemli nedeni su sıcaklığının canlıların yaşaması gerekenden daha düşük olmasıdır. Kabuklarında büyüme halkaları gözlenebilen bu canlılar uzunluk olarak 40 cm ve çap olarak da 1 cm'ye kadar büyüyebilir. Gençken 35 mm'den küçük olan ahşap gözeneklerinin içine sığabildikleri için gözle ayırt edilmeleri zordur. Dişli yapısıyla ahşaba tutunmalarını ve tüneller açarak derine inmelerini sağlayan ağız kısmı, asimetrik 2 kabuk tarafından korunmaktadır. Canlının vücudunun gerisi yumuşaktır. Uç kısmında; malzemede ki ilerleyiş sırasında, kalker içerikli kabuğumsu bir atık bırakan sifon adı verilen 2 parçalı kısım ve hareketi sağlayan iki palet bulunmaktadır (Şekil 2.8). *Teredinidae* grubunun üyeleri hermafrodit yani çift cinsiyetlidir. Üreme hem vücut içinde hem de dışında olabilmektedir. *Teredo Navalis* 'de görülen dış üremede sifonlar sperm ve yumurtanın bırakılması için kullanılmaktadır. Ahşaba yapışıp içine ilerlemeden önce 4-10 hafta arasında büyüme süresi açık denizde geçmektedir (Şekil 2.9). Suyun tuzluluğu *Teredo Navalis* 'in gelişimi ve yaşaması için önemli bir faktördür. Canlının tuzluluk toleransı 5-30 ‰ olsa da Baltık Denizi gibi Akdeniz'e kıyasla daha düşük seviyede tuzluluğa sahip olan bölgelerde görülebilmektedir. Ortam koşullarına uyum sağlama konusunda başarılı olan bu canlının nispeten ılıman ve tuzlu sularda daha hızlı yaşayıp çoğaldığı bilinmektedir (Pournou, 2020: 261-268; Grave, 1928: 260-262).

Şekil 2.8: *Teredo Navalis* 'in morfolojisi.



Kaynak: Porunou, 2020: 266.

Şekil 2.9: *Teredo Navalis* 'in büyüme döngüsü.



Kaynak: Porunou, 2020: 267.

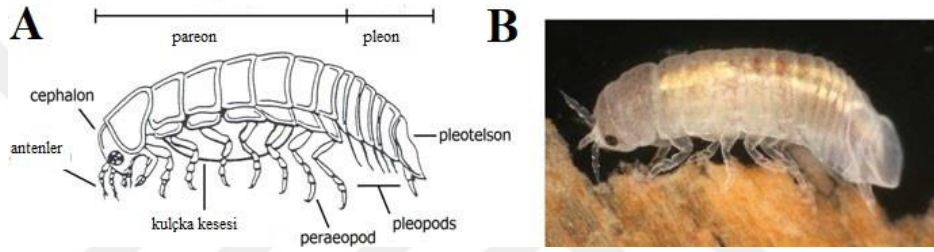
Teredo Navalis 'in yaşayabilmek ve üremek için ihtiyaç duyduğu temel unsur oksijendir. Bu nedenle ahşap kültür varlıklarının sediment tabakasına gömülü olduğu ya da diğer kültür varlıklarının altında kalmaları nedeniyle açık deniz ile temasının kesildiği durumlarda aktif değildir. Bazen açık denize maruz kalsa bile *Teredo Navalis* saldırısına uğramayan kültür varlıkları gözlenebilmektedir. Yapılan araştırmalar bu durumun ahşaptaki selüloz oranına yani kültür varlıklarının korunma durumuna bağlı olduğunu ortaya çıkartmıştır. Ağacın büyüyen kısmı olan diri odun ile merkez kısmını oluşturan öz odun katmanları arasındaki selüloz farklılığı yoğunluk farkına neden olmakta ve bu oran diri odundan öz oduna doğru azalmaktadır. Yoğunluğa ve selülozun eksikliğine bağlı olarak *Teredo Navalis*, ahşaplarda gömülü olmasa bile yaşayamamaktadır (Eriksen v.d., 2015).

2.6.2 Limnoria

Limnoriidae deniz canlısı ailesi; *Limnoria*, *Lynseia* ve *Paralimnoria* olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bu ailenin üyeleri ahşaplar, deniz yosunları gibi bitkisel yapılarla beslenmektedir. *Limnoria* 'nın tanımlanmış 59 türü bulunmaktadır. Bunlardan 31'i ahşap bozulmalarında önemli rol oynamaktadır. Boyutları 2- 4 mm

arasında değişen bu canlılar; anatomik olarak baş, göğüs ve karın olmak üzere üç kısma ayrılmıştır (Şekil 2.10). Antenleri haricinde tutunmayı ve rahatça hareket etmeyi sağlayan, uçları kanca şeklinde kıvrılmış, gövdenin iki yanında yedişer adet ayağa sahiptirler. Bu canlılarda üreme dışının kesesi içinde kuluçkalama ile olmaktadır. Türler gere göre tek seferde yumurtlama sayısı 6 ile 35 arasında değişmektedir. *Limnoria* 'lar su sıcaklığına bağı olarak yılda 3 kere kuluçkaya yatabilmektedir. Besin yetersizliği ve hızlı çoğalmaları nedeniyle yetişkinler yeni besin kaynakları bulabilmek için göç etmektedir (Pornou, 2020: 299-301).

Şekil 2.10: (A) Dişi *Limnoria* 'nın kısımları (B) *Limnoria* 'nın görüntüsü.



Kaynak: Pornou, 2020: 300.

Limnoria 'nın sadece iki türü düşük sıcaklığı tolere edebilmekte geri kalanları ise yaşam döngüsü için 20- 25 °C sıcaklıkta sulara ihtiyaç duymaktadır. Yine iki tür düşük tuzlulukta yaşayabilse de genel olarak yaklaşık 30 PSU tuzluluk seviyesinde aktif olmaktadır. Avrupa denizlerinde farkı türler görülmekle birlikte, yayılımının ticaret yoluyla olduğu düşünülmektedir. *Limnoria*; ihtiyaç duyduğu ortam koşulları yeterli olmaz ise yiyecek aramak için uzun mesafelerde hareket edemez. Canlının çevresel şartlara karşı en zayıf olduğu dönem, yeni besin kaynağı bulmak için açık denize maruz kaldığı göçebe dönemidir. Bu nedenle batık alanlarında besin yetersiz olduğunda yayılması, yakınlarda başka besin kaynağı yok ise mümkün değildir (Borges v.d., 2014)

2.6.3 Asellus (Isopod Crustacea)

Asellus; halk arasında tespih böceği olarak da bilinen, bilimsel adı *Isopod Crustacea* canlıdır (Resim 2.3). *Asellus aquaticus* isimli türü tatlı suda yaşamakta ve boyu 12 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Bölümlenmiş karın, eklemlili bacaklar ve ince dış kabuk bu türün ayırt edici özelliğidir. Gri- kahve renklilerdir, dört çene yapısına,

altı karın kısmına ve iki antene sahiptir. Mantar ve algler gibi mikroskopik canlılarla beslenmektedir (Baert, 2016/2017).

Resim 2.3: *Asellus Aquaticus*'un görüntüsü.



Kaynak: <https://www.flickr.com/photos/ricosz/16847126739>, 22/05/2022.

Asellus; kafadan kuyruğa kadar düz gövde yapısıyla karakteristiktir. Çıplak gözle kolaylıkla görülebilmektedir. Deniz tabanında yürüyerek ya da tırmanarak hareket etmektedir. Rengi genellikle gri-kahve olsa da bazen tamamen beyaz ya da çok koyu renkli pigmente de sahip olabilmektedir. Üreme yumurtlayarak olmaktadır. Dişi *Asellus*'lar, Mayıs ve Nisan aylarında yumurtaları taşımakta ve kafaya yakın bölgedeki büyük beyaz şişlikler sayesinde erkeklerden ayırt edilebilmektedir. Genç hallerindeyken vücutlarındaki pigment eksik olduğundan tamamen saydam olmakta, böylece kan akışı, organlar gözlenebilmektedir (Mellanby, 1963: 109-112).

Asellus, pH değişimlerine karşı oldukça dirençlidir. Yine de nötr pH'da yaşamsal faaliyetleri daha düzenli devam etmektedir. Sudaki çözünmüş oksijen oranı düştükçe, canlının faaliyetleri de yavaşlamaktadır. Yaşamsal faaliyetlerinin devam edebilmesi için *Asellus*, yüksek çözünmüş oksijen oranına ihtiyaç duymaktadır (Simçic ve Brancelj, 2006: 688-692).

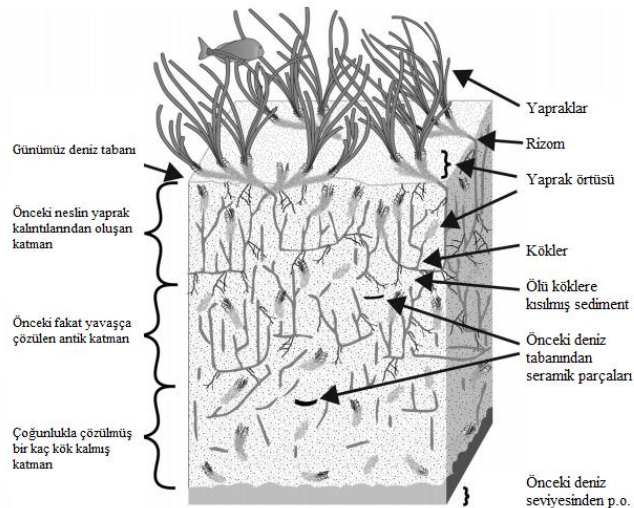
Asellus sadece geniş tatlı su kaynaklarında değil, suya doymuş ahşapların tuzdan arındırma süreçlerinin yürütüldüğü havuzlarda da görülebilmektedir. Organizmanın koruma onarım uygulamaları sırasında oluşturduğu gözle görülebilir tahribata bir örnek olarak, Yenikapı Batıkları gösterilebilir. Bu canlının suya doymuş ahşaba verdiği zararın anlaşılabilmesi için yapılan deney çalışmasında; suya doymuş bir ahşap parçası ve *Asellu* kolonisi bir araya konulmuştur. Bir yıllık deney süreci

sonunda, ahşabın büyük oranda bozulmaya uğradığı belirlenmiştir (Kılıç, 2017: 48-49).

2.6.4 *Posidonia Oceanica*

Fitobentos grubundan olan *Posidonia Oceanica*; deniz tabanında 90 m'ye kadar baskın olan deniz yosunları sınıfının, Akdeniz'deki en yaygın türüdür. Organik ya da inorganik kültür varlıkları; üzeri sediment ve deniz yosunları ile kaplandıklarında bir zaman kapsülü oluşturmaktadır. Deniz yosunları, kültür varlıklarının üzerinin hızlı bir şekilde kapanması için bir sediment kapanı gibi hareket ederek dalgaların fiziksel zararını önlemektedir. *Posidonia Oceanica*'nın önemli özelliklerinden biri bitkinin kendisi ölse de kök ve ölü bitkilerin sediment içinde kalması ile anoksik ortam yaratmasıdır. Ölü katman yeni nesil için besin sağlamakta, böylece katmanlaşma oluşmaktadır. Çok güçlü lifli yapıları nedeniyle, kazılar sırasında tabandan koparılmaları zordur. Doğal deniz yosunu tabakasının yayılım alanı, 20.yy'da insan aktivitelerine bağlı olarak, denizlerde kirliliğin artması ve iklim değişikliğinin bir sonucu olarak azalmaktadır (Karuse-Jensen v.d., 2018; Votruba v.d., 2016).

Şekil 2.11: *Posidonia Ocenica* 'nın deniz tabanındaki oluşumu.



Kaynak: Votruba ve Artzy, 2016: 4.

Posidonia Oceanica 'nın *In situ* korumadaki önemi; sualtı kültür varlıklarının korunabilmesi için fiziksel bir bariyer görevi görmesidir. Fotosentez yaparak ortamdaki çözünmüş oksijen miktarını arttıran bu canlılar, yukarıda bahsedilen kök yapıları ile katmanlaştıklarında anoksik bir ortam yaratmakta ve organik kültür varlıklarının bozulma süreçlerini yavaşlatmaktadır. Canlının yaprak kısmı bir sediment kapanı gibi hareket ettiğinden katmanlaşma hızlı bir şekilde olmakta ve kültür varlıkları doğal koruyucu mat ile kaplanmaktadır. Bu özelliğinin keşfedilmesiyle birlikte yapay olarak üretilmiş yapay deniz çimleri, yeniden gömme yönteminde kullanılmaktadır (Di Laurea, 2013/2014: 155-156).

2.6.5 Mikrobiyolojik Organizmalar

Sualtı kültür varlıklarının bozulma nedenlerinden biri mikrobiyolojik organizmalardır. Bu organizmalardan mantarlar ve bakteriler, en sık rastlanılan bozulma türüdür. *In situ* koruma sırasında seçilecek yöntemin belirlenmesi için mikro biyolojik organizmaların kültür varlıklarına verdiği zararın ölçülmesi gerekmektedir. Yeniden gömme uygulamaları mikrobiyolojik organizmaların aktivasyonunu yavaşlatsa da kültür varlıkları üzerindeki zararlarının farklı bir müdahale gerektirecek seviyeye gelip gelmediğinin anlaşılması için genellikle alana modern bir parça eklenmektedir. Bu canlılar sediment altında bile bozulma süreçlerini devam ettirebilmeleri nedeniyle, *in situ* korumada önem taşımaktadır.

2.6.5.1 Bakteriler

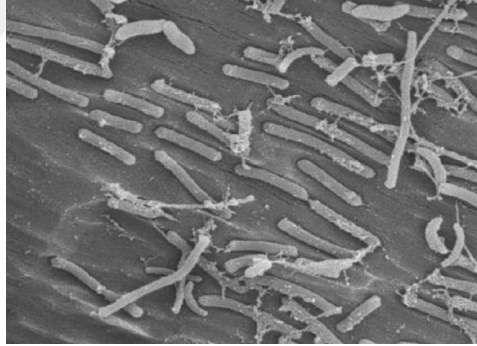
2.6.5.1.1 Erozyon Bakterisi

Erozyon bakterisi, özellikle ahşap kültür varlıklarında bozulmalara neden olmaktadır. Bu mikroorganizmaların etkinliği ahşaba göre değişmektedir. Değişim ahşabın yoğunluğuna, büyüme halkalarının sayısına bağlıdır. Bakteriler, genellikle ahşaptaki ligninin bulunduğu yüksek oranlı çözünmüş oksijen içeren bölgelerde kültür varlıklarının yüzeyine tutunarak merkeze doğru ilerlemektedir (Björðdal v.d., 2000). Bakterilerin aktivasyonu için gerekli ortam şartları incelendiğinde; sedimente 40 cm gömülü olan kültür varlıklarında, 10 cm gömülü olana kıyasla daha az aktivasyon olduğu gözlemlenebilir. Bu durumun nedeni sediment kalınlığı arttıkça çözünmüş oksijen

seviyelerinin düşmesidir. Bakteriler düşük oksijen seviyelerinde yaşayabilseler de bozulma sürecinin hızlanması yüksek oksijene bağlıdır. Sualtı kültür varlıklarının *in situ* konumları incelendiğinde, çoğunun yarı yarıya açıkta kaldığı ya da kalın sediment tabakası ile örtülü olmadığı, dolayısıyla bakteri aktivasyonunun yüksek olduğu gözlenmektedir (Björðal, 2012b: 134-136).

Erozyon bakterileri çok düşük oksijen seviyelerinde bile faaliyetlerini sürdürebilmektedir (Resim 2.4). Tuzluluk ve sıcaklığın bu bakteri türü üzerindeki etkileri kesinleşmemiştir. Bu bakterilerin bin yıldan fazla süre gömülü olma durumunda bile ahşap dokusunda aktif kalabileceği yapılan bazı çalışmalar ile belirlenmiştir. Erozyon bakterileri; selülozun yoğun bulunduğu bölgeleri yumuşatır, ligninin yoğun olduğu alanlar da ise etkisizdir (Björðal, 2012a: 119-120).

Resim 2.4: Erozyon bakterisinin SEM (Scanning Electron Microscope- Taramalı elektron mikroskobu) ile alınmış bir görüntüsü.



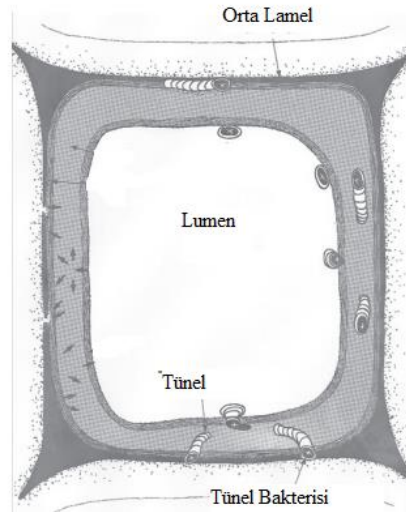
Kaynak: Björðal C., 2012a: 119.

Erozyon bakterisinin aktivasyonu ahşap içinde bazı minerallerin oluşmasına neden olmaktadır. Ahşabın hacminin büyümesine neden olan bu birikim ürünlerinden birisi pirittir. Demir ve sülfatların bulunduğu indirgeyici ortamlarda; erozyon bakterisi bu minerallerle reaksiyona girerek sülfür iyonlarını oluşturmaktadır. Tatlı sularda sedimentte demir bulursa da sülfat bulunamayacağından bu reaksiyon gözlenmemektedir. Piritin oksijen ile temasında sülfirik asit ortaya çıkarması ahşabın bozulmasını hızlandırmaktadır (Huisman v.d., 2008: 42).

2.6.5.1.2 Tünel Bakterisi

Tünel bakterisi hem karasal hem sualtı ortamda kültür varlıklarında bozulmalar yaratabilmektedir. Farklı sıcaklık ve nem düzeylerinde etkili olabilmektedir. Genellikle yumuşak çürüklük mantarı gibi mantarlarla birlikte bulunmaktadır. pH'ın 4,5'ten daha düşük olduğu asidik ortamlarda aktiftir. Ahşap hücrelerine lümeninden saldırarak parçalamakta ve burada çoğalmaktadır. Bakterinin hücre duvarlarına tutunabilmek için kullandığı yapışkan sıvı enzimlerle doludur ve hücre çeperlerinin çözünmesini sağlamaktadır. Hücre çeperlerinde bıraktığı iz tünel şeklinde olduğu için bu adı almaktadır. Şekil 2.12'de bakterinin hücre içindeki hareketi oklar ile belirtilmiştir. İlerleyişi sırasında yapıdaki lignin oranının değişmesine neden olduğunda, geride bıraktığı iz tünelden çok halter şeklini almaktadır. Bu değişim bakterinin salgıladığı enzimlerin daha geniş alana yayılabilmesine, dolayısıyla da bozulmanın ilerlemesine neden olmaktadır. Hareket etmek ve hücre duvarlarına yapışmak için kullanılan sıvı; ağır metallerle bağlanabilme özelliğine sahiptir. Bu özellik metal birikimi olan sular ya da karasal ortamda, ahşabı zehirli metal zararından koruyabilmektedir (Singh v.d., 2016: 172-176).

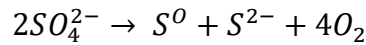
Şekil 2.12: Tünel bakterisinin ahşap hücrelerinde oluşturduğu bozulmalar.



Kaynak: Singh v.d., 2015: 173.

2.6.5.1.3 Anaerobik Bakteriler

Anaerobik bakteriler; sediment tabakasının organik içeriğini oluşturan mikro organizmalardandır. Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma uygulamalarından olan yeniden gömme; biyolojik bozulmaların yavaşlatılması ya da durdurulması için kültür varlıklarının denge durumuna geldikleri sediment tabakasının kullanılması fikri ile oluşmuştur. Buna rağmen, sediment içinde bulunabilecek olan anaerobik bakteriler, sedimente 50 cm ve daha çok gömülü olan kültür varlıklarında bile bozulmaları tetikleyebilmektedir. Bunlardan en önemlisi sülfat indirgeyici bakteridir. Bu bakteriler; metabolik faaliyetleri için ortamdaki ve deniz suyunda doğal olarak bulunan sülfatı tüketmektedir. Bakterinin oluşturduğu kimyasal reaksiyon aşağıda belirtilen formül ile ifade edilmektedir. Canlının faaliyetleri sonucu; çürümüş yumurta gibi olan kokusundan da anlaşılabilen hidrojen sülfid açığa çıkmaktadır. Bu organizmanın en önemli özelliği ortama yükseltgeyici özellik eklemesi, yani redox potansiyelini arttırmasıdır. Örneğin; organizmanın aktivasyonu sonucunda Fe^{3+} iyonları, Fe^{2+} iyonlarına yükseltgenmektedir (Florian, 1987: 15).



Sülfat indirgeyici bakteriler; doğrudan metallerin korozyonuna neden oldukları gibi Fe^{2+} iyonları ile birleştiğinde de pirit meydana getirmektedir. Buna alternatif olarak da fosfat oranı yüksekken parlak mavi bir korozyon ürünü olan vivianitin oluşumuna neden olmaktadır (Turner-Walker, 2008: 58). Demir iyonlarının indirgenmiş ürünleri olan; pirit, pirotin ve demir tuzları, suya doymuş ahşap kültür varlıklarında hem estetik olarak kötü bir görüntü yaratmakta hem de koruma onarım çalışmalarını olumsuz yönde etkilemektedir. İnorganik malzeme, ahşap yüzeyinde birikim yaratarak yüzeye yakın bölgelerin zarar görmesine neden olmaktadır. Bu indirgenmiş demir ürünleri ayrıca ahşabın bünyesindeki pH seviyesinin değiştirerek kimyasal bozulmalara da yol açmaktadır. Sülfat indirgeyici bakterilerin faaliyetleri sonucu ortaya çıkan bu ürünler, suya doymuş ahşabın onarımı öncesinde bünyeden uzaklaştırılmalıdır (Kılıç, 2017: 62-63).

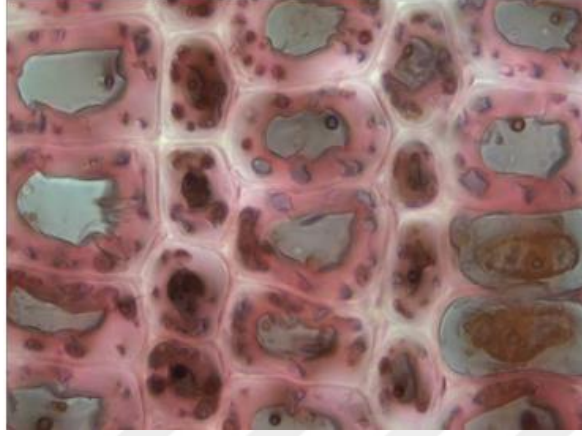
2.6.5.2 Mantarlar

Denizel ortamda bulunan mantarlar tüm mantar türlerinin %1'ini oluşturmaktadır ve genellikle 2 mm'den daha küçük boyutta olan mikroorganizmalardır. Çoğu çürükçül olan bu mantarlar; organik malzemenin ayrıştırılmasında birincil etkindir. Mantarlar; 25 °C civarında aktif olsalar da 10- 40 °C arasındaki sıcaklıklarda ahşabın bozulmasına neden olabilmektedir. 0 °C'nin altında aktivasyon çok yavaş olsa da yine de bulunabilmektedir. Tuzluluğun alt ve üst sınırları mantar aktivasyonu için kesin olarak bilinmemektedir. Tuzlu suda olduğu kadar tatlı suda da aktif olan türler bulunmaktadır. Ortamın oksijen seviyesi çok düşük olduğunda ahşap içindeki oksijen oranı yüksek olabileceğinden, derin denizde bulunan kültür varlıklarında bile mantarlar etkili olabilmektedir. Denizel ekosistemin diğer biyolojik unsurlarına kıyasla mikroorganizmalar düşük nitrojen ihtiyacı duymaktadır. Mantar türlerinin çok küçük bir kısmı nitrojen artışı ile doğru orantılı olarak aktivasyon göstermektedir. Asidite seviyesi 3,2- 9,1 pH arasında iken mantar yoğunluğu hızlı olsa da genel olarak 6- 8 pH arasında bir seviyede yüksek verimlilik göstermektedir. (Björðdal, 2012b: 134).

2.6.5.2.1 Yumuşak Çürüklük Mantarı

Yumuşak çürüklük mantarı hem sualtında hem de toprakaltı ortamda ahşap malzemede bozulmalara neden olan mikrobiyolojik unsurlardandır (Resim 2.5). Düşük oksijen ihtiyacı sayesinde sedimente gömülü ortamda bile aktif olabilmektedir. Tatlı suya kıyasla tuzlu suda daha aktiftir. Bilinen 400'den fazla türü, farklı derinliklerde ve ısılarda yaşayabildiğinden çok geniş alanlara yayılabilmektedir. Bazı türleri sadece tuzlu suda, bazıları türleri ise sadece tatlı suda aktif olabilmektedir. Deniz suyunun tuzluluğu ve sıcaklığındaki değişimlere karşı toleransı yüksek olduğundan, Dünya'daki hemen her deniz ortamında sualtı kültür varlıkları üzerinde kolonizasyon oluşturabilmektedir (Björðdal, 2012a: 122). Yumuşak çürüklük mantarlarının kültür varlıkları üzerinde etkisi olan iki türü; esmer ve beyaz çürüklük mantarlarıdır.

Resim 2.5: Yumuşak çürüklük mantarının ahşap hücre çeperlerinde oluşturduğu bozulma.



Kaynak: Björndal, 2012a: 121.

2.6.5.2.2 Esmer (Kahverengi) Çürüklük Mantarı

Kahverengi çürüklük mantarı; sualtı ortamda ahşap yüzeyinde karşılaşılan en yaygın türdür. Ahşabın kimyasal yapı taşlarından olan hemiselüloz ile beslenmektedir. Yüzeyin yumuşak olmasına neden olmaktadır. Bu mantarın ahşap içine kadar işlemesi için nemli fakat suya doymuş durumda olmaması gerekmektedir. Çürüklük mantarı barındıran bir ahşap kurduğunda yüzeyde çatlamlar oluşmakta ve ahşap kahverengi görünmektedir (Blanchett, 2000: 192).

Kahverengi çürüklük mantarının etkinliği ahşabın yoğunluğuna bağlıdır. Mantarın aktivasyonu uzun süre devam ettiğinde, ahşap yumuşak çürüklük mantarında olduğu gibi kahverengi ve kırılgan bir görüntü almaktadır. Ahşap üzerindeki kolonizasyonun erken dönemlerinde, renk suya doymuş bir ahşaptan çok ıslak bir ahşap görüntüsü almaktadır. Mantar, ilerleyişi için hücreler arasındaki boşlukları kullansa da hücre çeperlerinde oluşturduğu deliklerle de fark edilebilmektedir (Goodell v.d., 2008: 16-17)

2.6.5.2.3 Beyaz Çürüklük Mantarı

Beyaz çürüklük mantarları, lignin de dâhil olmak üzere ahşaptaki tüm yapı taşlarını parçalayabilmektedir. Binden fazla türü olan bu mantar, heterojen bir grup

oluşturduysa çok hızlı bozulmalara neden olmaktadır. Ahşapta renk değişikliğine yol açarak renginin beyazlaşmış gibi görünmesine neden olmaktadır. Mantarların aktivasyonu çok uzun sürdüyse, hücre çeperlerinde de parçalanmalar görülebilmektedir. Bu da hücre duvarlarında güç kaybına dolayısıyla çökmelere neden olmaktadır. Bazı türleri ahşabı bozduğunda hücreleri beyaz renkli, tamamı selülozdan oluşan bir yapı olarak bırakabilmektedir (Blanchett, 2000: 191). Biyolojik aktivasyonun kültür varlıklarının üzerindeki etkilerinin bilinmesi, *in situ* koruma ya da *ex situ* ortamda sualtında depolanmada önem taşımaktadır. İki durumda da kültür varlıklarının bir müdahaleye ihtiyaç duyup duymadığının anlaşılabilmesi ve biyolojik bozulmanın derecesinin belirlenmesi için düzenli analiz ve gözlem yapılması gerekir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SUALTI ÇEVRE KOŞULLARININ

KÜLTÜR VARLIKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

3.1 *In situ* Korumada Sualtı Kültür Varlıklarına Etki Eden Risk Faktörleri

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* korunması sırasında kültür varlıklarının bozulma süreçlerini etkileyen fiziksel, kimyasal, biyolojik bozulma faktörleri ve de insan etkisi dikkat edilmesi gereken unsurlardır (Manders, 2012: 6).

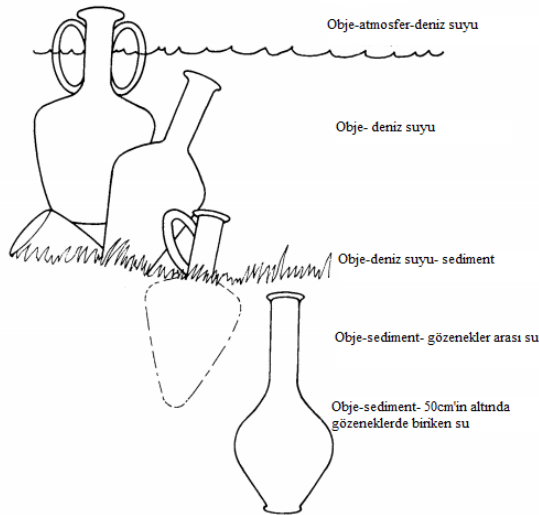
Değişimlere açık olan bölgelerde, suyun ve sediment tabakasının ayrıntılı olarak incelenmesi; *in situ* koruma uygulamaları sırasında, kültür varlıklarının bozulma süreçlerinin anlaşılması, bozulmaların yavaşlatılması için önem taşımaktadır. Türkiye; genç bir kara parçasıdır ve coğrafi konumu nedeniyle denizleri birden fazla iklimden etkilenmektedir. Tarih boyunca antik kentlerin ve de limanların ticarete kullanılması sualtı kültür varlığı çeşitliliğini artırmıştır. Bu çalışmada özellikle yurtdışında yürütülen sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçlerini inceleyen projeler irdelenmiştir. Bu bozulma süreçlerinin Türkiye karasularında da incelenmesi, hem *in situ* hem de *ex situ* koruma ve onarım uygulamalarında uygun koruma yönteminin seçilebilmesi için önemli rol oynamaktadır. Türkiye’de denizel çevre şartlarının sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçlerine etkisi konusundaki çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu nedenle; bu bölümde sualtında kültür varlıklarının bozulma süreçlerini etkileyen risk faktörleri incelenmektedir.

3.1.1 Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Bağlı Risk Faktörleri

Sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçleri, sualtındaki konumlarına göre değişmektedir (Şekil 3.1). Örneğin; organik malzemenin hızlı bir şekilde bozulup yok olmasına neden olan tünel bakterisi, erozyon bakterisi ve çürüklük mantarı, sedimente

50 cm'den daha derine gömülü olan bölgelerde daha az faaliyet göstermektedir. İnorganik kültür varlıklarından olan metal, çözünmüş oksijen oranının daha yüksek olduğu deniz tabanı seviyesinde daha hızlı bozulmaktadır. Çözünmüş oksijen oranı, su yüzeyinde atmosfer ile dengedeysen, deniz tabanında sualtı bitkilerinin fotosentezine bağlı olarak değişmektedir. Sediment tabakasının altına en az 50 cm gömülü olan kültür varlıkları; akıntılar, ısı, Eh-pH değişimleri ve biyolojik saldırılardan korunabilmektedir. Buna rağmen; sedimentin kimyasal içeriği, tanecik boyutu, gözenekliliği, su emme kapasitesi ve içeriğinde bulunan organizma miktarı kültür varlıklarının bozulma süreçlerinin etkilemektedir. Derin denizde bulunan arkeolojik alanlarda; deniz suyunun ısısı, tuzluluğu, türbiditesi, çözünmüş oksijen oranı, Eh ve pH'ı daha stabil olmaktadır. Stabil ortam da kültür varlıklarının daha iyi korunmasını sağlamaktadır (Florian, 1987: 16-19). Suyun hareketi, dalgalar ve sediment erozyonuna bağlı olarak oluşan mekanik bozulmalar; sualtı kültür varlıkları için tehdit oluşturan unsurlardandır. Sediment tabakasının erozyonu; bölgede bulunan kültür varlıklarını denizel etkiye karşı açık ve korunmasız bırakmaktadır (Pringle, 2013).

Şekil 3.1: Sualtı kültür varlıklarının deniz tabanındaki konumlarına göre ortam koşulları.



Kaynak: Florian, 1987: 16.

Sualtı kültür varlıkları; malzeme türlerine göre ortam koşullarının değişmesi sonucu farklı bozulmalara uğrayabilmektedir. Denizel ortamdaki su ile sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde oluşan değişimler, kültür varlıklarının *in situ*

korumasında, planlamada göz önünde bulundurulması gereken risk faktörlerindendir. Söz konusu ortamdaki değişimler, denizel ortamın kendi yapısından kaynaklanabileceği gibi insan etkisine bağlı olarak, iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin sonucunda da oluşabilmektedir. Sualtı arkeolojik sit alanlarında bulunan kültür varlıklarının, malzeme türlerine göre ortam şartlarında oluşan değişimlerden nasıl etkilendiği tablo 3.1’de belirtilmiştir (Perez-Alvoro, 2019:100 101).



Tablo 3.1: Ortam şartlarındaki değişimlere bağlı olarak, kültür varlıklarının malzeme türlerine göre bozulma durumları (Bozulma riski oluşuyorsa “X” ile belirtilmiştir).

	Bozulmaya Neden Olan Temel Problem	Su Sıcaklığının Artışı	Deniz Seviyesinde Yükselme (Daha Fazla Basınç)	Okyanus Akıntıları (Erozyon)	Kimyasal Değişimler	
					Tuzluluk Artışı	Asidite Değişimi (Düşük pH)
1. Ahşap						
Suya doymuş ahşap	Suya doyma sonrası suyun buharlaşması, organizmalar	X		X		
2. Ahşap harici selülozik malzemeler						
Bitkisel malzeme	Mikroorganizmalar	X		X		X
Hayvansal malzeme	Terleme ve gerilme	X		X	X	
Tekstil	Işık, böcekler, hava kirliliği, mikroorganizmalar	X	X	X	X	X
Diş ve fildişi	Isı ve tuz	X		X	X	X
Kemik	Isı ve su	X		X	X	X
Deri	Birden fazla bozulma bir aradadır	X		X		X
3. Metaller						
Demir	Yoğun kabuk oluşumu ve organizmalar			X	X	X
Bakır	Yüzeyin kaplanmaması ve ısı	X	X	X		X
Pirinç ve bronz	Temel sorun alaşımdır	X				X
Kalay ve kurşun	Nötr pH'a ihtiyaç duyar	X			X	X
Gümüş	Stabil					
Altın	Stabil					
Alüminyum	Isı değişimlerinde stabil değil	X	X			
4. Diğerleri						
Seramik	Kırılma, çatlama vb.		X	X		
Cam	Kırılma, çatlama vb.	X	X	X		X
Taş	Kimyasal değişimler çözülmelere neden olabilir		X	X		X

Kaynak: Perez-Alvoro, 2019: 101.

Tablo 3.1’de görüldüğü üzere; denizin kültür varlıkları üzerinde yarattığı basıncın artması, cam ve tekstil gibi kırılabilir objelerde fiziksel bozulma riski ortaya çıkartmaktadır. Organik maddelerde üretilen kültür varlıkları; deniz suyunun kimyasal yapısının değişmesiyle kimyasal risk faktörleri artmaktadır. İnorganik maddelerden taş; seramik ve cama kıyasla suyun kimyasal yapısındaki değişimlerde kimyasal bozulmalardan etkilenmektedir. Demir ve bakır; sualtında kimyasal reaksiyonlar sonucu hızlı bir şekilde korozyona uğramakta ve deniz suyunun Eh-pH değişimlerinden etkilenmektedir.

3.1.2 Sediment Tabakasının Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Bağlı Risk Faktörleri

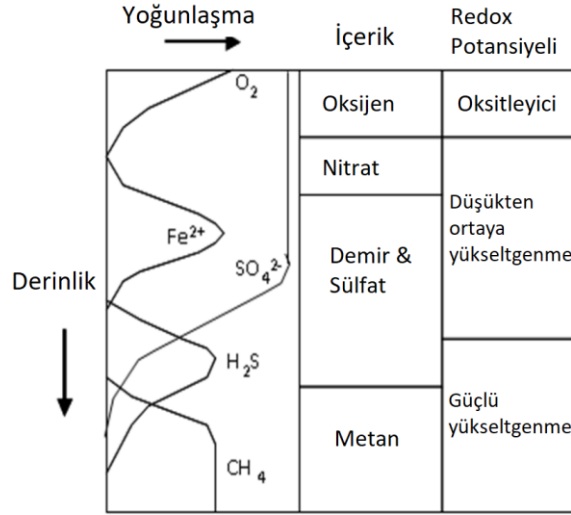
Sualtı kültür varlıkları ile temas halinde olan sediment tortullarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile içerdiği organik madde miktarı, bozulma süreçlerini hızlandırabilir ya da yavaşlatabilir. Örneğin; sedimentin kimyasal içeriği ve tanecik boyutu gibi fiziksel özelliklerinin metal kültür varlıkları üzerinde korozyonu tetikleme ya da hızlandırma riski bulunmaktadır. Metalin bulunduğu ortamdaki korozyona uğrama potansiyeli, redox potansiyeli olarak adlandırılmakta ve Eh ile belirtilmektedir. Deniz tabanından alınan sediment örneklerinde Eh ölçümü, yeniden gömme yapılacak alandaki metaller için korozyon riskinin tespitini sağlamaktadır. *Ex situ* sediment analizleri ile metal kültür varlıkları için risk oluşturabilecek; çözünmüş oksijen seviyesi, pH, sülfid içeriği, redox potansiyeli ve sülfat içeriği incelenebilmektedir. *In situ* koruma uygulamalarından sonra, düzenli aralıklarla ölçüm yapılması gerekmektedir. Koruma planlaması yapılan bölgede, dalgıçların fiziki olarak bulunmadan inceleme yapabilmeleri için bırakılan *in situ* kayıt cihazları; bu özelliklerden pH, sülfid içeriği ve redox potansiyeli üzerine analizler yapabilmektedir (Gregory, 2020: 840).

Sedimentin kültür varlıklarının bozulma süreçlerini etkileyen fiziksel ve kimyasal özellikler; bölgenin jeolojik, hidrolojik ve atmosferik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, sedimentin organik içeriği derinlik arttıkça farklılık gösterebilmektedir. Derinliğe bağlı olarak, sedimentin yükseltgenme, yani redox potansiyeli artmaktadır (Şekil 3.2) (Gregory, 2009: 10-11). Deniz suyunun stabil bir

ortam sağlayabilmesi için üst limitler; asidik ortamlarda 900 mV Eh, bazik ortamlarda 600 mV Eh olarak kabul edilmektedir. Çözünmüş oksijen oranının 0,01 mg dm⁻³'den düşük olduğu ortamlar anoksik, 0,01 mg dm⁻³'den yüksek olduğu ortamlar suboksik adlandırılmaktadır (Gregory, 2009: 11; DeLaune ve Reddy, 2005: 367). Sedimentin gözenekliliği ise tanecik boyutuna göre değişmektedir¹². Tanecik boyutu; 256 ve 4 mm arası çaptaki tortullar kaba çakıl, 0.004 mm'den küçük çaptaki tortul tanecikleri alüvyon kabul edilmektedir. Tanecik boyutu küçüldükçe; sedimentin çözünmüş oksijen ve su tutma kapasitesi de azalmakta, kültür varlıkları için koruyuculuk özelliği ise artmaktadır (López, 2016). Organik maddenin bozulmasıyla artan ve sülfat indirgeyici bakterinin faaliyetleriyle azalan sülfat oranı, kg/m² cinsinden ölçülmektedir. Balıkçılık, turizm hareketliliği, arkeolojik kazılar gibi insan etkisine bağlı olarak değişmemiş sedimentlerde sülfat oranı daha yüksektir. Sülfatın sedimentte ne kadar derine kadar yayılabileceği; sediment tortullarının tanecik boyutu ve gözenekliliği ile mevsimlere göre değişmektedir. Örneğin; *Tudse Hage* sit alanında sülfatların en son bulunduğu derinlik deniz tabanından 70- 80 m'dir. *Marstrand*'daki sit alanında bu seviye -50-60 m arasındadır. Sülfat oranı nötr olan sedimentler, yeniden gömme yöntemi için tercih edilmektedir (Gregory, 2020). Sedimentin organik içeriği; % cinsinden ifade edilmektedir. Yeniden gömme uygulamasında, %5' den daha düşük oranda organik içerik bulunan sedimentler tercih edilmektedir (Gregory v.d., 2007: 21).

¹² Ayrıntılı bilgi için bkz: 2.4.2 Sediment Tabakasının Fiziksel Yapısı

Şekil 3.2: Sedimentin; derinliği ve içeriğine göre redox potansiyeli.

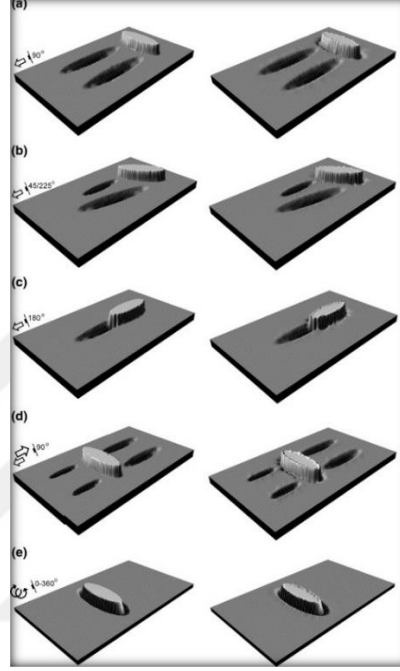


Kaynak: Gregory, 2009: 11.

Sualtı sit alanlarının oluşum süreci; sediment, deniz suyu, organik-inorganik kültür varlıklarının birbiriyle etkileşimini içeren değişken bir süreçtir. Bu süreç; sualtı çevre koşullarında, akıntıların ve dalgaların oluşturduğu enerjiyi de kapsamaktadır. Akıntılar deniz tabanını şekillendirerek; sediment tabakasının fiziksel özelliklerini oluşturmakta, tortudaki boşlukların yeniden şekillenmesine neden olmakta ve tamamen katılaşmamış tortuların hareketlerini, yani sediment erozyonunu meydana getirmektedir. Akıntıların şiddeti hidrodinamik enerji ile alakalıdır ve bu enerji; fırtınalar, hortumlar gibi doğal felaketler nedeniyle artmaktadır. Batık alanının oluşması sırasında, sediment tabakasının erozyonu ve birikimi ile deniz tabanının batık alanı etrafında şekillenmesi, *in situ* koruma uygulamalarında önem taşımaktadır. Akıntıların meydana getirdiği sediment birikimi *in situ* korumada olumlu bir etki yaratırken, sediment erozyonu olumsuz etki yaratmaktadır. Bunun nedeni; üzeri sediment ile kaplanan alanlarda, kültür varlıklarının bozulma süreçlerinin yavaşlamasıdır. Üzeri sediment ile kaplı olan alanlar, denizin dalga ve akıntıları nedeniyle, zamanla sediment erozyonuna maruz kalabilmektedir. Böyle bir durumda sualtı kültür varlıkları biyolojik saldırılara da açık hale gelmektedir. Sediment tabakasında büyük ve sert tanecikli tortuların erozyonu; kültür varlıkları üzerinde mekanik aşınmaya ve kültür varlığının deniz tabanında yer değiştirerek, alanın

anlaşılmasını zorlaştıracak oyuklar oluşmasına da neden olmaktadır (Quinn, 2006: 1420-1424; Di Laurea, 2013/2014: 41-43) (Şekil 3.3).

Şekil 3.3: Akıntılara bağlı olarak, batık alanları çevresinde sediment tabakasında oluşan erozyon türleri.



Kaynak: Quinn, 2006: 1423.

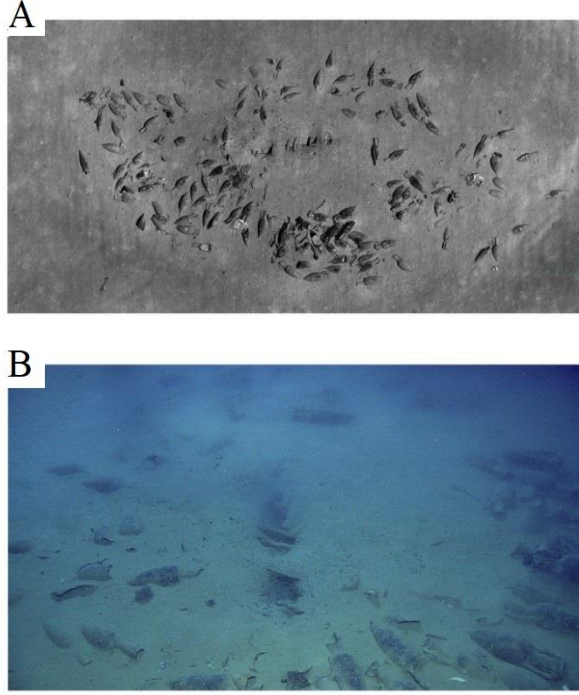
Sedimentin organik içeriği ve kimyasal özellikleri de *in situ* koruma uygulamalarında bozulma riski oluşturabilecek durumlardandır. Sediment altında gömülü olan kültür varlıkları; *Teredo Navalis* ve *Limnoria* gibi makro organizmaların saldırılarından korunsa bile yapılan araştırmalar; çürüklük mantarları, anaerobik bakteriler gibi mikroorganizmaların, suya doymuş ahşap üzerindeki etkinliklerini belirli derinliklere kadar sürdürdüklerini göstermiştir (Björðdal v.d., 2000). Yeniden gömme yönteminde; sualtı kültür varlıklarının yüzyıllar boyu alışkın oldukları ortam şartlarının değişmemesi için alan çevresindeki sedimentin kullanılması tercih edilmektedir. Sedimentin organik içeriğinde mikroorganizmaların bulunması durumunda, kültür varlıklarının açık deniz etkisinden korunsalar dahi biyolojik bozulma sürecinin devam etmesi söz konusudur. Bu nedenle; *İn situ* koruma yapılacak

alandaki sedimentin analizi, uygulama sırasındaki risk faktörlerinin değerlendirilmesi için önem taşımaktadır (Shefi ve Veth, 2015).

3.1.3. İnsan Etkisine Bağlı Risk Faktörleri

İnsanların sualtı kültür varlıkları üzerindeki etkisi; vandalizm, tarihi eser kaçakçılığı ya da ekonomik faaliyetler sırasında kültür varlıklarıyla doğrudan temasıdır. Dalış ekipmanlarının nispeten ucuz ve kolay ulaşılabilir olması tarihi eser kaçakçılığının artmasına neden olmuştur. Uluslararası karasularında bulunan sualtı kültür varlıklarının korunması, yasal boşluklar ve ülkelerin devlet politikaları nedeniyle zorlaşmaktadır. Kültür varlıklarının fiziksel bozulmaları; insan faaliyetleri sonucunda oluşabilmektedir. Dalışa yasak olmayan bölgelerde; sportif dalış faaliyetleri yürüten dalgıçlar, kültür varlıklarının yerini değiştirirken kırılmalarına neden olmaktadır (Pringle, 2013). Balıkçılıkta kullanılan troller ve gemilerin çapaları; sualtı sit alanlarındaki sedimentin yüzeyinde kalan kültür varlıklarını parçalamaktadır. Türkiye’de kıyıya yakınlık ya da derinliğe bağlı olmaksızın incelenen alanlarda; balıkçılık faaliyetlerinin batık alanlarındaki nesnelerin yer değiştirmesine neden olduğu gözlenmiştir. Kayıt altına alınarak gözlenen bölgelerden biri de Ereğli’de bulunan batık alanıdır (Resim 3.1). Batık alanında bulunan insan kemiklerini de içeren eser grubunun, balıkçılık faaliyetlerine bağlı olarak her yıl biraz daha dağıldığı ve alanın korunmasının bölgedeki insan faaliyetlerin durdurulmasına bağlı olduğu düşünülmektedir (Brennan v.d., 2016).

Resim 3.1: Balıkçılık faaliyetlerine bağı olarak, Ereğli batık alanında oluşun fiziksel tahribat.



Kaynak: Brennan v.d., 2016: 85.

Resim 3.1’de; (A)’da batık alanının kuş bakışı görüntüsü, (B)’de ise batık alanında balıkçılık faaliyetleri sırasında oluşmuş tahribatın görüntüsü belirtilmiştir.

İnsanların ekonomik faaliyetlerine bağı olarak oluşun iklim değışikliğı ve su kirliliğı; sualtı kültür varlıklarının *in situ* korunmasında önemli bir risk faktörüdür. İklim değışikliğı sualtı çevresel koşullarını değıştirdiğı için kültür varlıklarının korunmasını dolaylı olarak etkilemektedir (Tablo 3.2) (Ferentinos, 2010). İklim değışikliğinin sualtı kültür mirası üzerinde yaratacağı riskler; deniz suyunun ısısının ve akıntı şiddetinin artması, tuzluluk ve asiditedeki değışimler, deniz seviyesinin yükselmesidir. Yapılan araştırmalara göre; Akdeniz’e kıyısı olan bölgelerde bulunan ve UNESCO tarafından sit alanı kabul edilen 136 arkeolojik sit alanı, 2100 yılına kadar sualtında kalma riski ile karşı karşıyadır (Marzeion ve Levermann, 2014). Türkiye’de bulunan; Efes, Samos, Letoon Antik Kentleri ile İstanbul’un tarihi yarımadasının da 1,6 ila 2 m arasında değışecek olan deniz seviyesinden etkilenmesi beklenmektedir (Reimann v.d., 2018). Deniz seviyesinin yükselmesiyle, sualtı kültür varlıkları

üzerindeki suyun hacminden kaynaklanan fiziksel basınç ve dalgaların yarattığı sediment erozyonu ile fiziksel bozulmaya maruz kalmaktadır. Bununla birlikte; kıta sahanlığı değişiminden kaynaklı olarak, ülkelerin sualtı kültür varlıkları üzerindeki yasal hakları ve sorumluluklarında da değişeceği düşünülmektedir. Ayrıca; kıyı bölgelerindeki alanlarda su seviyesinin yükselmesiyle yeni sualtı kültür mirası alanları oluşacaktır. Sadece arkeolojik veri barındıran alanlar değil Londra ve New York gibi modern şehirlerinde bu yeni miras alanlarına katılması beklenmektedir (Perez-Alvoro, 2019: 91-104).

Tablo 3.2: İklim değişikliği ve çevre kirliliğinin sualtı çevresel koşullarında meydana getirdiği değişimler ve sonuçları.

AKTİVİTENİN TÜRÜ	ETKİ	SEBEP	DENİZEL ÇEVREDE YARATTIĞI DEĞİŞİMLER
Limanların yeniden yapılandırılması	Kıyı şeridi erozyonu ya da yükselmesi	Akıntı ve dalgalarda değişim.	Sedimentin dokusu değişir. Erozyon ve birikim oranları değişir. Dalga ve akıntı rejimi değişir.
Liman ve kanal girişlerindeki atık dökülmeleri Kanalizasyon atıkları Endüstriyel atıklar Denizel madencilik faaliyetleri	Sediment tortusunda ve suda; fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler yaratır.	Kaba ya da ince tanecikli tortullar eklenir. Ağır metal kirlenmesi yaşanır. Radyoaktif atıkları suya karışır.	Sedimentin tortullarının tanecik boyutu, kimyasal birleşimi ve yoğunluğu değişir.
Su ürünleri yetiştiriciliği	Sediment tortusunda ve suda; fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler yaratır.	Denize biyolojik aktivasyon için serbest besin bırakılmış olur.	Sedimentin tortullarının tanecik boyutu, kimyasal birleşimi ve yoğunluğu değişir.
Barajlar ve rezervuarlar	Kıyı erozyonu Sediment tortusunda ve suda; fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler yaratır.	Sediment birikim kaynaklarında azalma olmaktadır.	Akıntı ve dalga rejimi, Sedimentin fiziksel ve mekanik özellikleri, Sedimentin biyolojik içeriği değişir.

Kaynak: Ferentinos, 2010: 177-178.

Tablo 3.2’de görüldüğü üzere; limanların yapılandırılması, balıkçılık faaliyetleri, barajlar, evsel ve endüstriyel atıkların denizlere bırakılması, denizel

çevrenin kimyasal ve biyolojik içeriğinde değişimler meydana getirmektedir. Bu değişimler; denizel sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve su hareketlerinin değiştirerek, sualtı kültür varlıklarının denge durumunun bozulmasına neden olmaktadır.

Porto Rico’da bir araştırmada iklim değişikliğinin kültür varlıkları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda; suyun asiditesinde her on yılda %3’lük artış olduğu gözlenmiştir. Deniz suyunun asiditesindeki bu artış, karbon emilimi ve ağır metal birikimi nedeniyle oluşmaktadır. Ayrıca; deniz suyunun sıcaklığı da geçen yüzyıla kıyasla 1,5 °C artmıştır. Bu artışa gelecek 50 yılda 1 °C daha ekleneceği düşünülmektedir. Porto Rico’nun sualtı kültür mirasının 1185 tanesi, su seviyesinden 0- 20 m derinlikte bulunmaktadır. Araştırmalar, bu alanlardan 27 tanesinin son yüz yılda yaşanan değişimlerden hali hazırda etkilendiğini göstermiştir (Ezcurra v.d., 2018). Türkiye kıyıları özelinde, iklim değişikliğinin sualtı kültür varlıkları üzerindeki etkisi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Türkiye’de planlanan *in situ* koruma uygulamalarının uzun süreli olması nedeniyle, iklim değişikliğinin deniz suyunda yarattığı değişimlerin tespiti için incelemeler yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Ekonomik faaliyetler sonucunda oluşan su kirliliği de sualtı ortam şartlarını değiştirerek kültür varlıkları için risk oluşturmaktadır. Su kirliliğine bağlı olarak oluşan; pH ve Eh değişimleri, türbidite, deniz suyunun sıcaklığındaki değişim gibi ortamın ekolojik dengesinin bozulması; sualtı kültür varlıklarının denge durumunu değiştirmekte, kimyasal ve biyolojik bozulmalarını tetiklemektedir. Örneğin; kültür varlıklarının bozulmalarını yavaşlatan, koruyucu bir tabaka olan *Posidonia Oceanica* matının deniz kirliliğine bağlı olarak azalması, sedimentteki anoksik ortamı değiştirerek, biyolojik bozulma unsurlarının objeler üzerindeki aktivasyonunu hızlandırmaktadır. Ekolojik dengenin değişmesi; kimyasal ve biyolojik bozulmaları da tetiklemektedir. Örneğin; *Teredo Navalis*, çözünmüş tuz ve oksijen oranı yüksek, sıcak bölgelerde hızlı üreyen bir canlıdır. Açık denize maruz kalan sualtı sit alanlarında, suya doymuş ahşap kültür varlıklarının hızla yok olmasına neden olmaktadır. Deniz suyu sıcaklığının artması; *Teredo Navalis*’in daha önce yaşayamadığı soğuk denizlerde de aktif olmasına neden olabilmektedir (Perez-Alvoro, 2016).

3.2 Sualtı Çevre Koşullarının Organik Kültür Varlıkları Üzerindeki Etkileri

Sualtı arkeolojik kazılarında karşılaşılan organik kültür varlıkları; ahşap, deri, kemik ve boynuz gibi iskeletsel malzemeler ve tekstil olarak sıralanabilir. Antik çağda deniz ticaretinin önemli aracı olan ahşap gemiler, yolculukları sırasında batmakta ve böylece bir ahşap geminin yapı elemanları; geminin kargosu ve mürettebata ait olan objeler sualtı kültür mirasının bir parçası olan batık alanlarını oluşturmaktadır (Renfrew ve Bahn, 2017: 143-144).

Antik çağda gemilerin temel üretim malzemesi olan ahşabın sualtındaki bozulması ve toprak altına kıyasla daha sağlam şekilde bulunmasının temel nedeni, suya doyma olarak tabir edilen durumun oluşum sürecidir. Suyu doymuş ahşap terimi; hücrelerin ve aralarındaki boşluğun tamamen su ile dolduğu, mikrobiyolojik bozulmaların gözlemlendiği ahşaplar için kullanılmaktadır. Bu iki etkinin bir sonucu olarak; hücresel yapı parçalanmakta, ahşap hacimsel olarak büyüyerek yumuşamakta, yani fiziksel olarak da değişime uğramaktadır (Grattan, 1987: 55). *In situ* koruma için önem taşıyan, ahşabın fiziksel özellikleri; gözeneklilik, hücrelerde biriken su miktarı, ıslak ve kuru kütle yoğunluğu ve hücre çeperlerinin yoğunluğudur. Bunlardan gözeneklilik diğer iki özelliği de etkilemektedir. Ahşabın gözenekliliği ile yoğunluğu arasında ters orantı bulunmaktadır. Gözenekliliğin ıslak ve kuru kütle yoğunluğuna etkisi değişebilmektedir. Ahşabın kimyasal yapısını oluşturan ve hücre çeperlerini ayakta tutan lignin ve selülozun sualtında biyolojik ve kimyasal süreçlerle parçalanmasıyla birlikte, hücre çeperlerinin yoğunluğu azalmakta ve hacim büyümektedir. *In situ* koruma uygulamalarında incelenmesi gereken bir diğer ahşap özelliği, yoğunluktur. Sedimente gömülü olsun ya da olmasın, yoğunluk azaldıkça fiziksel direncin de azalması, suya doymuş ahşabın fiziksel bütünlüğünün korunmasını zorlaştırmaktadır (Jensen ve Gregory, 2006: 551-555).

Sualtında bulunabilecek olan bir diğer organik malzeme deridir. Hayvansal kökenli bir malzeme olan deri; tarih öncesi dönemlerden beri insanların giyim, silahlanma ve barınma gibi pek çok ihtiyacını karşılamak amacıyla kullandığı bir malzemedir. En erken dericilik faaliyetlerine ilişkin kanıtlar *Paleolitik* dönemden

kalma duvar resimleri ve mağaralarda bulunan kemik deri işleme aletleridir. Geçmişte deriden üretilen günlük kullanım ürünleri; giyim eşyaları, ev eşyaları, kaplar, savaş araçları, ev araçları, çadırlar, at koşum takımları, tarım alanında kullanılan deriler, ulaşım araçlarının üretiminde kullanılan yapı birimleri, müzik aletleri, spor ve oyunlar için üretilen objeler, cezalandırmada kullanılan deri araçlar, öküz derisi biçiminde madeni külçeler, parşömenlerdir (Yıldız, 1973). Hayvansal derinin kimyasal yapısını oluşturan; keratin, kolajen ve proteinler, malzemenin kullanım için üretimi sırasında tabaklama adı verilen işlem ile değiştirilmektedir. Tabaklama işlemi sırasında derinin fizisel yapısı kullanım ihtiyacına göre değiştirilebilmektedir. Örneğin; bir tabaklama yöntemi olan ve 19. yy'dan itibaren ortaya çıkan krom tabaklama yöntemi ile bitkisel tabaklama yöntemlerine göre daha sert deriler elde edilmiştir. Böylece giysi ve günlük eşya yapımında yumuşak ve esnek deriler kullanılırken, ayakkabı tabanı gibi ürünlerde daha sert ve dayanıklı olan deriler kullanılmıştır (Thomson, 2007-1-3; MEGEP, 2007: 4-8).

İskeletsel malzemeler olarak tanımlanan; kemik, diş, boynuz, fildişi, deniz kabuğu, tüy ise erişim kolaylığı nedeniyle insanlar tarafından Alt Paleolitik Dönemden beri kullanılmıştır. Avlanma ile taşınabilen ya da yerleşim yerinde bulunan hayvanlardan elde edilen, kullanım amacına göre farklı boyutlarda şekillendirilen ve ait oldukları türün anatomik özelliklerine taşıyan bu aletler, bız gibi ince alet yapımında dayanıklı olmaları nedeniyle insanlar tarafından tercih edilmiştir. Bu nedenle yerleşim alanlarında sık rastlanılan bir malzeme türüdür. Kemikler dışında yerleşim yerlerinde boynuzlara da rastlanmaktadır. Geyiklere özgü ve aslen kemik olan yapıya *antler*, inek, sığır, keçi gibi hayvanlardan edilen, keratinden oluşan yapıya ise *horn* denilmektedir; ancak Türkçede her iki tip için de boynuz terimi kullanılmaktadır (Özdoğan, 2019: 199-204).

İnsanların günlük ihtiyaçlarında kullandıkları bir diğer organik malzeme ise tekstildir. Tekstil üretiminde kullanılan lifler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar: doğal ve kimyasal liflerdir. Doğal lifler ise bitkisel, hayvansal ve madensel olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Geçmişte en yaygın kullanılan bitkisel lifler keten, pamuk; hayvansal lifler ise yün ve ipek lifleridir. Bu lifler kendi içlerinde de sınıflandırılmaktadır. Bitkisel lifler, lifin bulunduğu bölgeye göre sınıflandırılırken

hayvansal lifler deri ürünü ve salgı ürünü olmak üzere gruplandırılmaktadır. Bilinen en eski tekstil; 1912-1913 yıllarında, Mısır'ın Kahire kentinin 50 km güneyinde yapılan kazılarda bulunmuş olan Tarkhan elbisesidir. Aslen bir gömlek olan bu tekstil; mezar alanında tuğla-çamur karışımı tortul içinde diğer objelerle birlikte bulunmuştur. Gömlek; 1977 yılında Victoria ve Albert Müzesi'ndeki (*Victoria & Albert Museum*) koruma ve onarım uygulaması sonrası yapılan karbon analizi ile MÖ 3. yy'a tarihlendirilmiştir. Hammaddesi keten olan gömlek, çevresel koşulların uygun olması sayesinde iyi korunduğundan önemli tekstil kültür varlıklarından biridir (Stevenson ve Dee, 2016). Liflerin özellikleri fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Liflerin bazı fiziksel özellikleri; incelik, uzunluk, mukavemet (dayanıklılık), esneklik, uzama katsayısı, elastikiyet'tir. Kimyasal özellikleri ise; renk, biçim, kıvrım, yoğunluk, çap kalınlığıdır (Collier v.d., 2009: 39-48). Bitkisel lifler; bitkilerden alındıkları organlara göre tohum, sak, yaprak ve meyve lifleri olarak dört gruba ayrılmaktadır (Harmancıoğlu ve Yazıcıoğlu, 1979: 4). Lifler; su ile temasları halinde çevre ile denge kurabilmek için nemi emme ya da bünyeden uzaklaştırma eğilimindedir. Su liflere gözenekleri yolu ile girmektedir. Ortamdaki suyun emilimi, lifler kuru ise başta hızlıdır fakat denge durumu oluştuktan sonra yavaşlamaktadır (Tîmâr-Balâzsy ve Eastop, 2007: 15). Bitkisel lifler hidroskopik özelliğinden dolayı suya oldukça dayanıklıdır. Özellikle keten, kenevir ve jüt gibi lifler günümüzde de bu özelliğinde dolayı yelken bezi yapımında kullanılmaktadır. Geçmişte de suya dayanıklılığı nedeniyle halat, ip, urgan ve sicim yapımında kullanıldığı belirlenmiştir.

Gemilerin önemli bir parçası olan halatlar; sualtı kazılarında karşılaşılan organik malzemelerdendir. Halat terimi; genel olarak bitkisel liflerin 25 mm'den daha büyük çapta olacak şekilde bükülmesiyle, şerit halde üretilmiş tekstiller için kullanılmaktadır. Standart bir halat; S yönlü büküm lif, Z yönlü büküm lif, flaşa ve koldan oluşmaktadır. Kolların büküm türüne göre de S büküm ya da Z büküm halat adını almaktadır (Şekil 3.4) (Sanders, 2010: 8). Halatlar genellikle kenevir lifi ile üretilmektedir. Kenevir, keten ve pamuğa göre daha az esnektir ve higroskopik olma özelliği sayesinde suya maruz kaldığında sertleşmektedir. Bitkisel bir malzeme olan kenevirin kimyasal yapı taşı; ahşapta olduğu gibi lignin, selüloz ve hemizelülozdur.

Dolayısıyla sualtında tıpkı ahşap kültür varlıkları gibi biyolojik bozulmalardan etkilenmektedir (McCaskill, 2009: 1-23).

Şekil 3.4: Standart bir halatın yapı birimleri.



Kaynak: McCaskill, 2009: 22 (Şekil, J. McCaskill tarafından çizilmiştir).

Şekil 3.4'te; (A)'da 'S' büküm lif, (B)'de 'Z' büküm iplik, (C)'de flaşa, (D)'de kol, (E)'de ise 'S' büküm halat belirtilmiştir.

In situ koruma uygulamaları sırasında; sualtı kültür varlıklarında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaların analizi ve belgelenmesi, koruma için uygun yöntemlerin tespit edilmesinde önem taşımaktadır. Bu bölümde; organik kültür varlıklarının sualtında maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma türleri irdelenmektedir.

3.2.1 Fiziksel Bozulmalar

Denizel ortamın bir unsuru olan, akıntılar ile oluşan sediment erozyonu, kültür varlıklarını biyolojik saldırılara karşı korunmasız bırakmakla birlikte, mekanik bozulmalar da yaratmaktadır. Büyük ve sert tanecik yapısına sahip olan sedimentlerin hareketleri kültür varlıklarının yüzeylerindeki boya ve bezemeleri aşındırabilmektedir. Organik malzemenin biyolojik bozulmalarla birlikte yumuşayan yüzey kısmı da yine bu hareketler sonucu aşınmaktadır (Perez-Alvaro, 2016: 843-845).

Sualtı sit alanlarında fiziksel bozulmalar, sadece sediment erozyonunun yarattığı mekanik etkiyle değil denizel çevrede bulunan biyolojik risk faktörlerinin etkisiyle de oluşabilmektedir. Örneğin; suya doymuş ahşap kültür varlıkları, mikrobiyolojik saldırılara maruz kaldığında maksimum su tutma kapasitesi artmaktadır. Maksimum su tutma kapasitesi %150'yi geçtiğinde, ahşap bozulmuş

kabul edilmektedir. Bu oran ağacın türüne göre değişiklik göstermektedir. Bozulma seviyesinin tespiti, *ex situ* onarımlarda hücrelerin çökme seviyesinin tespiti için kullanılmaktadır. Bu tespit sırasında ahşabın tamamen sualtında bekletilmesi gerekmektedir (Broda ve Callum Hill, 2021: 10). *In situ* koruma uygulamalarında, gözenekliliğin ve yoğunluğun seviyesini bilmek, ahşabın yeniden gömme uygulaması sırasında sedimentin oluşturacağı basınca bağlı çökmeye ne kadar dirençli olduğunun da tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bu iki fiziksel özellik de analizi kolay parametreler olduklarından, yapılan *in situ* koruma uygulamasının yeterliliğinin ve etkinliğinin belirlenmesinde, uygulama sonrası düzenli aralıklarla yapılan analizlere dahil edilmektedir (Jensen ve Gregory, 2006: 551-552).

Kültür varlıklarının darbe etkisine bağlı olarak oluşan çatlak ve kırık gibi fiziksel bozulmalar, malzemenin sualtı ortamında kimyasal yapısının değişmesine bağlı olarak mekanik direncinin azalması sonucunda oluşabilmektedir. Suya doymuş deri kültür varlıklarındaki şişme, böyle bir bozulmaya örnek olarak gösterilebilir (Resim 3.2). Organik bir malzeme olan deri, doğal olarak yapısında su içermektedir. Bu suyun oranı; derinin hangi hayvandan alındığına, hayvanın yaşına ve derinin alındığı bölgeye bağlı olarak değişmekle birlikte, ortalama olarak kuru ağırlığın %62-80'i kadardır. Suya doymuş durumdayken bu oran %200-300'e kadar çıkmaktadır. Derinin işlenmesi sırasındaki tabaklama uygulamasıyla, yapıdaki suyun büyük kısmı uzaklaştırılmaktadır. İşlenmesi sırasında kurutularak küçülmüş olan deri; sualtı ortamında su ile temas geçtiğinde, kısalmış lifler düzleşmekte ve uzamaktadır. Liflere yeniden eklenen su; şişme adı verilen bozulmanın ortaya çıkmasıyla birlikte, hücrelerde bulunan kolajenin kimyasal yapısı değişmektedir. Şişme; ozmotik¹³ ve liyotropik¹⁴ olmak üzere iki farklı türde olmaktadır. Bunlardan ilki; çok düşük ya da çok yüksek pH seviyesinde gerçekleşmektedir. pH 4-8 arasında iken ozmotik şişme görülmemektedir. İkincisi ise herhangi bir pH değerinde, çözünebilir tuzların

¹³ Ozmotik şişme: Çözünmeyen tuzların varlığı ve asidik ortamda; deri hücresindeki ve dışındaki basıncın eşitlenmesi için su deri içine nüfuz etmektedir. Bu olayın sonucunda deri hücreleri, saydam ve birbirine yapışık bir hal almaktadır (Florian, 1987: 41).

¹⁴ Liyotropik şişme: Herhangi bir pH değerinde çözünebilir tuzların varlığında oluşmaktadır. İyonların ve moleküllerin; protein hücrelerindeki iyonik olmayan bağları koparmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu olay sonucunda kolajen liflerinin çaplarında değişim olurken uzunluklarında olmaz. Bozulma sonucunda deri doğal opak bir görünüm kazanmaktadır (Florian, 1987: 41)

varlığında oluşmaktadır. Sualtı ortamındaki çözünmüş tuz varlığına bağlı olarak liyotropik şişme; derinin lif uzunluğunda bir değişime neden olmasa da rengini koyulaştırmaktadır (Florian, 1987: 39-42).

Resim 3.2: Suya doymuş deri bir ayakkabıda oluşan fiziksel bozulmalar.



Kaynak: <https://wwmt.com/news/offbeat/bronze-age-sandal-lost-2000-years-ago-in-a-bog-uneearthed-by-archeologists>, 22/05/2022

Resim 3.2’de ayakkabıdaki kıvrılmalar, çatlaklar ve eksik kısımlar görülebilmektedir. Bir bataklık alanından bulunan bu ayakkabıda, kimyasal hidrolizin sonucu olarak oluşan kıvrılmalar ve yüzde kırışmalar incelenebilmektedir.

Sabit olmayan ortam koşulları doğal ışık, çözünebilir tuzlar, üretim ve kullanımdan kaynaklı hatalar ve suya doyma süreci organik kültür varlıklarında fiziksel bozulmalara neden olmaktadır. Örneğin; kemik ve fildişi hem hidroskopik hem de anizotropiktir. İskeletsel malzemeler ortamdaki nemi emme özelliğine sahiptirler ve malzemenin özellikleri hücresel olarak farklı bölgelerde değişiklik göstermektedir. Nem ve çözünmüş tuz birikimleri de tıpkı ahşapta olduğu gibi kemik ve fildişi hücresi içinde strese neden olarak çatlama ve kırık yaratabilmektedir (Resim 3.3). Doğrudan güneş ışığına maruz kalan kemiklerde yüzeyin rengi açılmaktadır (Tiley-Nel ve Antonites, 2015: 16-18). Sualtı kazılarında bulunan iskeletsel malzemelerde bozulma; ortam koşullarına ve bu koşullara maruz kalma süresine bağlıdır. Suyun ve sedimentin; pH’ı, redox potansiyeli, sıcaklığı ve organik içeriği iskeletsel malzemenin bozulma hızını etkilemektedir. İnsan kalıntılarının yüksek protein ve sülfat içermesi, biyolojik saldırılara maruz kalarak daha hızlı bozulmalarına neden olmaktadır. Sualtında; iskeletsel malzemelerin temel yapı taşı olan

kolajen ve mineraller, diğer organik malzemelere kıyasla iskelet yapısının daha sağlam kalmasını sağlayabilmektedir. Buna rağmen; çözülmüş oksijen oranı yüksek olan sularda, kemiğin gözenekliliğinin artması ile deniz tabanındaki sediment ve su hareketleri ile biyolojik saldırılar, iskeletsel malzemenin mekanik olarak bozulmasına neden olmaktadır (Turner-Walker, 2007: 659-662).

Resim 3.3: Boynuzdan üretilmiş bir arkeolojik obje.



Kaynak: Karsten v.d. (ed), 2018: 22.

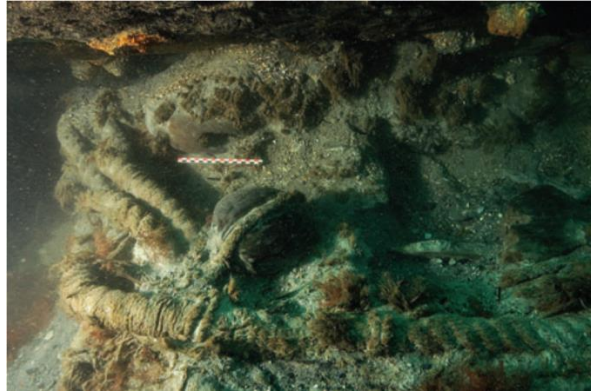
Resim 3.3'te verilen obje bataklık alanında bulunmuştur. Objeye üzerinde çatlaklar kırıklar ve opaklaşma görülmektedir.

Kültür varlığı olarak arkeolojik kazılarda bulunan tekstiller suya karşı farklı fiziksel ve kimyasal tepkiler vermektedir. Genel olarak; ince hücre çeperine sahip bitkisel liflerin daha hızlı bozulduğu söylenebilir. Hayvansal liflerde ise bozulma, keratinin hücresel bağının kopmasıyla meydana gelmektedir. Keratin; %100 suya doyma sonrası kurumada orijinal boyuta dönme eğilimindedir. Bununla birlikte; liflerin esnekliği ve dayanıklılığı, yapıdaki sülfürün oranına bağlıdır. %2,7'den daha az sülfüre sahip olan hayvansal lifler, suya doyma süreci sonrası kırılmanlaşmaktadır (Florian, 1987b: 32-35). Yün lifleri ıslatıldığında dayanıklılığının bir kısmını kaybeder, ancak gerilme kabiliyetinde artma görülmektedir. Bunun nedeni; su moleküllerinin liflerin polimer zincirleri arasına girip, zincirler arasındaki bağlantı noktalarında kuvveti azaltmasıdır. Yün, sıcak ve soğuk su içinde bekletilirse ağırlığının %10'na kadar şişebilmektedir. Bunun sonucu olarak yün liflerin çapı %18–20, boyu ise %1–2 kadar artmaktadır. Kurduğunda eski biçimine geri dönmektedir. Ham yün, alındığı hayvanın yağı ve ter bezi kalıntılarını bulundurduğundan suyu, yıkanmış ve temizlenmiş yünlere oranla daha fazla tutmaktadır. Buna yün yağlılığı

denilmektedir, bu kalıntılar yünün higroskopik özelliğinin yüksek olmasını sağlar. Bu maddeler kendi ağırlığının %80'ine kadar su tutma özelliğine sahiptir. (Harmancıoğlu, 1973: 133-134).

Sualtında halatların nasıl bozulduğuna ya da sağlam kaldığına ilişkin ayrıntılı çalışmalar bulunmamaktadır. *Vasa* gibi Baltık Denizinde bulunan çoğu batık; iyi korunmuş halatlara sahiptir. Genellikle kenevir gibi yumuşak bitkilerden üretildikleri için biyolojik saldırılara karşı savunmasız olsalar da üzeri sediment tabakasıyla kaplı alanlarda, halatların sağlam bulunma ihtimali yüksektir. Bununla birlikte; batış sırasında ya da sonrasında oluşabilecek parçalanmalar ile renk değişimleri gözlemlenmektedir (Resim 3.4). Halatın sualtındaki bozulmalarının anlaşılabilmesi için koruma ve onarım uygulamaları öncesi örnekler alınarak analizler yapılması önerilmektedir. Koruma onarım uygulamaları ve *in situ* koruma sırasında; halatın bükümünün açılmasının engellenmesi gerekmektedir. Ayrıca; halat liflerinin arasına girmiş sediment parçalarının zamanla bükümlerin açılmasına, dolayısıyla fiziksel bütünlüğün bozularak parçalanmalara neden olduğu da bilinmektedir (Sanders, 2010: 12-18).

Resim 3.4: *La Dauphine* Batığında bulunan halatların *In situ* belgelemesi.



Kaynak: Sanders, 2010: 21.

Resim 3.4'te *La Dauphine* Batığına ait halatlardaki fiziksel bozulmalar ve renk değişimleri görülmektedir.

3.2.2 Kimyasal Bozulmalar

Sualtında bulunan organik kültür varlıkları; suyun kimyasal özelliklerinden farklı biçimlerde etkilenmektedir. Örneğin; bazı kültür varlıkları asidik sularda daha iyi korunurken bazıları alkali sularda daha iyi korunmaktadır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Organik kültür varlıkları için koruyucu etki gösteren asidite türleri.

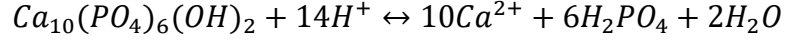
Koruyucu sediment tipi (pH içeriğine göre)	Malzemenin türü
Nötrden alkaliye	Kemik
Asidikten nötre	Boynuz
Asidikten alkaliye	Deri
Asidik	Hayvansal lifler
Alkali	Bitkisel lifler
Asidikten alkaliye	Ahşap

Kaynak: Karsten v.d. (ed), 2018: 10.

Organik malzemelerin sualtındaki kimyasal bozulmalarına neden olan, büyük moleküllerin kimyasal reaksiyonlar ile küçük parçalara bölünmesine hidroliz adı verilmektedir. Depolimarizasyon olarak da adlandırılan bu reaksiyon; suyun kimyasal yapıtaşları olan hidrojenin, kültür varlıklarını oluşturan hammaddenin moleküllerindeki hidrojen bağı kırılmasıyla meydana gelmektedir. Mikroorganizmaların ya da *Teredo Navalis* gibi makroskopik canlıların salgılarıyla enzimatik reaksiyon da gözlemlenmektedir. Enzimatik hidroliz, malzemelerdeki belirli yapıtaşlarında parçalanmalar yarattığı için kültür varlığı çıplak gözle bakıldığında sağlam gibi görünse de fiziksel olarak daha hassas hale gelmektedir (Florian, 1987: 22).

Organik kültür varlıklarının hidrolizi; çevre şartlarına ve malzemenin türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; hammaddesi kemik olan kültür varlıklarının kimyasal yapıtaşlarından olan kalsiyum fosfatın kimyasal hidrolizi; ortamdaki pH, suyun ısı ve çözünmüş oksijen oranına göre değişmektedir. Genel olarak, kemik dokusundaki kalsiyum fosfatın kimyasal hidrolizinin pH ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Bu reaksiyon ile; kemik daha gözenekli bir hal almakta, ağırlığı

azalmakta, fiziksel bozulmalara karşı daha dayanıksız olmaktadır. Kalsiyum fosfatın kimyasal hidroliz reaksiyonu aşağıda belirtilen formülle verilmektedir (Turner – Walker, 2007: 661).



Sediment tabakasındaki çözünmüş oksijen oranı, derin denizlerde düşüktür ve anoksik bir ortam sağlamaktadır. Limanlar gibi karaya daha yakın bölgelerde, dalgalara ve atmosfer ile temasa bağlı olarak sudaki çözünmüş oksijen oranı yükselmektedir. Sediment tabakasının gözenekliliği ile suda çözünen oksijenin depolama potansiyeli doğru orantılıdır. Bu durum, sedimente gömülü olan kültür varlıklarında da biyolojik bozulma süreçlerinin, korozyonun ve oksidasyonun devam etmesine neden olmaktadır. Buna rağmen, sediment tabakası ile kaplı olmayan sualtı kültür varlıklarında; kabuklu deniz canlıları gibi makroorganizmalardan, bakteriler gibi mikrobiyolojik organizmalara kadar yoğun biyolojik kolonizasyon görülebilmektedir. Sediment tabakasının kimyasal bileşimi de kültür varlıklarının bozulmalarını hızlandırabilmektedir. Örneğin; klorit yoğunluğu yüksek olan sedimentlere gömülü olan metal eserlerde, aktif korozyonun oluşması ve hızla yayılması mümkündür (Perez-Alvaro, 2016: 843-845).

Sualtında sıklıkla karşılaşılan ahşabın kimyasal yapı taşları; selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Selüloz; ahşabın kuru ağırlığının %40-50'sini, hemiselüloz ise %25-40'ını oluşturmaktadır. Lignin ise yüksek yoğunlukta fenilpropen içeren son derece karışık bir moleküldür. Bu karmaşık yapısı nedeniyle, ligninin detaylı bileşimi günümüzde hala kesin olarak bilinmemektedir (Desch ve Dinwoodie, 1996: 37-40). Suyu doymuş ahşabın kimyasal yapısını oluşturan lignin, selüloz ve hemiselülozun kimyasal olarak bozulması, fiziksel bozulmalarını da ortaya çıkartmaktadır. Sualtı koşullarına maruz kalma süresine göre ahşap bünyesindeki selüloz yok olmaktadır. Böylece; hücre duvarlarını sadece lignin desteklemekte, zamanla lignin de tamamen yok olabilmektedir. Bu bozulmanın sonucunda hücreler ve moleküller arasındaki boşluklar genişlemekte, ahşap daha gözenekli ve su geçirgenliği yüksek bir hal almaktadır. Ahşabın fiziksel bütünlüğünün korunmasını sağlayan, hücrelerde kalan lignin ve hücrelerin arasındaki boşlukları dolduran sudur. Ahşap ıslak olduğu sürece

fiziksel formunu korumakta, kurudukça küçülmektedir. Bu bağlamda, suya doymuş ahşaptaki kimyasal bozulmaların fiziksel bozulmalara da neden olduğu söylenebilir (Broda v.d., 2021: 9-11).

Sualtı kültür varlıkları hammaddelerinden olan derinin yapısını oluşturan kolajenin su ile reaksiyonu sonucunda, kolajenin yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Kolajen, bütün proteinler gibi daha küçük yapı taşları olan amino asitlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Kolajeni oluşturan zincirler, ana ve yan zincirler olarak ikiye ayrılmakta ve birbirlerine hidrojen bağı ile bağlanmaktadır. Isıya ve alkali ortamlara maruz kaldığında yan zincirler parçalanmakta, buna balı olarak da kolajen lifleri küçülmektedir. Küçülme; derinin hangi hayvandan alındığına, hangi bölgesinde üretildiğine ve tabaklama türüne göre değişmektedir (Haines, 2006: 4-9). Derinin sualtındaki bozulmaları tıpkı ahşapta olduğu gibi suya doyma sürecinden kaynaklanmaktadır. Bu süreçte kolajenin sağlam kalma ihtimali yüksektir ancak tabaklama malzemeleri deriden uzaklaşmakta ve malzemeyi biyolojik saldırılara karşı savunmasız bırakmaktadır. Özellikle bitkisel tabaklanmış derilerin sualtındaki fiziksel bozulmaları, diğerlerine kıyasla daha yoğun olmaktadır. Deri kültür varlıklarının bozulma durumunu etkileyen unsurlar; derinin cinsi, üretimin kalitesi, tarihi, kullanımı, gömü ortamı, kazı ile onarım müdahaleleri arasında geçen süre olarak sıralanmaktadır (Watts, 2013: 9). Bu kültür varlıklarında görülen bozulmalar; yoğun ve gözle görülebilir klorid birikimi, su emmiş yapı, gözenekli yapı, çatlaklar, kırılmalar, eksik alanlar, metal lekeleri ve korozyon birikimleri, anormal küçülme, sertleşme ve esnekliğini yitirme, üretim teknolojisine ait izlerin kapanması ya da yok olmasıdır (Lafrance, 2010: 611). Deniz suyunda çözünebilen ya da sedimentte bulunabilen metal iyonları ile derinin tabaklanması sırasında kullanılan demir formları, mineralleşmiş deri adı verilen durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Mineralleşmiş derinin ilk aşamasında; metal iyonları yapısında kolajen olan liflerin yüzeyine tutunabilmekte ancak hücre içine nüfuz edememektedir. İkinci aşamada, deri lifleri ve metal iyonları yer değiştirmekte, liflerde bulunan proteinin hidrolizi ve çözünmesiyle deri kimyasal olarak bozulmaktadır. Bazı durumlarda derinin üzerinde sadece kısmi mineralleşme de görülebilmektedir. Bozulma sonucu kırılğanlaşan deri;

mekanik olarak basınca, dalgaların yarattığı strese ve kazı sırasında olabilecek yanlış müdahalelere karşı açık hale gelmektedir (Cameron v.d., 2006: 258-259).

İskeletsel malzemeler; pH'a farklı tepkiler veren bileşenler içerdiğinden kazı alanlarından çoğunlukla sağlam halde ele geçseler de bu durum hızla değişebilmektedir. Örneğin; fildişinin yapı taşlarından hidroksiapatit, asidik ortamlarda çözünürken, kolajen sağlam olarak kalmaktadır. Bu da fildişinin yumuşak bir yüzeye sahip olmasına neden olmaktadır. Yüksek kalsiyum karbonat oranına sahip sediment tortullarında, pH değişimleri daha az olduğundan iskeletsel malzemenin iyi korunmuş olarak bulunma ihtimali daha yüksektir. Kalkerli sedimentlerin bulunduğu alanlarda fosilleşme olsa da bu süreç çok uzundur (Crony, 1990: 298).

Kemik dokusunun gücü, kalsiyum içerikli bioapatit adı verilen mineral yapıların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu mineraller kolajen ile sarmalanarak kristal bir yapı meydana getirir ve bu yapılanmaya da mineral aşaması denmektedir. Sualtı ortamında ya da yoğun su barındıran tortullarda; bu kristal yapı parçalanarak kumlanma benzeri bir bozulmanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Suyun çözme potansiyeli, pH ve sudaki çözünmüş iyonik maddelerle doğrudan ilişkilidir. Asidik sularda ise metal iyonlarının transferi ve humik asit nedeniyle kemik, kahverengi bir renge dönme eğilimindedir. Alkali sularda kemik dokusu daha sağlam kalmaktadır. Yüksek çözünmüş karbondioksit içeren alkali sularda Ca^{2+} , biokarbonat ya da karbonat olarak çözünebilmektedir. Alkali sularda; metal iyonları, oksihidroksit ve karbonatlar çözünemediğinden, kemik beyaz ya da krem renkli görünmektedir. Arkeolojik kemiğin yeni kemiğe kıyasla daha az protein içermesi de kimyasal bozulmaları tetiklemektedir. Bataklık alanları gibi bölgelerde, kemikteki mineralize olmuş kolajen %85'e kadar sağlam kalabilmektedir. pH'ın 3- 7,5 arasında olduğu durumlarda kolajen hidrolize karşı daha stabildir. pH 1'de iken hidroliz nötr sulara kıyasla 10 kat daha fazla olmaktadır. Hidroliz; kolajen moleküllerini parçalayarak uzun lifleri kısa peptit birimlerine ayırdığından, yapının kırılganlaşmasına neden olmaktadır (Turner-Walker, 2008b: 11-15)

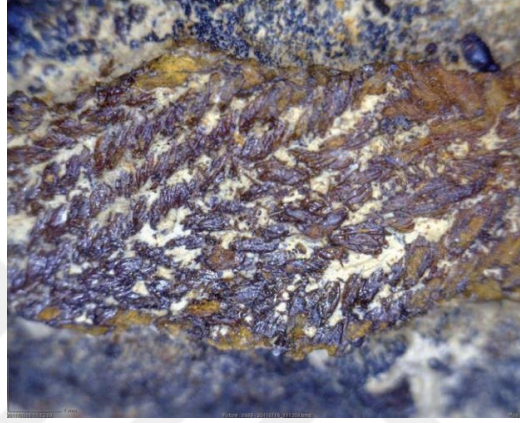
İskeletsel malzemelerin *in situ* koruması sırasında etik sorular da ortaya çıkabilmektedir. Örneğin; iskeletsel malzemenin insan kalıntıları olması durumunda,

sualtında yeniden gömme gibi uygulamalardan ziyade, bu parçaların karaya çıkartılarak gömülmelerinin tercih edilmesidir. Toplumun sosyolojik yapısının bir parçası olarak bu tür malzemeler, eski nesne ya da ulusal kahramanlara saygı gösterisi olarak planlanmaktadır. *H.L. Hunley* denizaltısı mürettebatının askeri bir tören ile gömülmesi, bu duruma örnek olarak verilebilmektedir. İkinci sorun ise açık denize maruz kalan iskeletsel malzemenin biyolojik bozulmasının hızlanması ve bu durumda uzun süreli *in situ* koruma uygulamalarının, kültür varlıklarının bozulma süreçlerini yavaşlatmak için yetersiz kalmasıdır. İskeletsel malzemenin *in situ* korunması planlanacaksa; tuz, sediment ve su geçirmeyecek sargı malzemeleri ve jeotekstil ile oluşturulan bir yeniden gömme uygulamasının kullanılması önerilmektedir (Turner-Walker, 2006: 29; Yanar ve Gültekin, 2021: 261-263).

Tekstil liflerinin bir grubunu oluşturan bitkisel lifler, içerdiği selüloz oranına göre farklı derecede bozulmaktadır. Saf selüloz higroskopik bir maddedir. Yani, ağırlığının %6-12 oranında su emebilmektedir. Ancak; selüloz normal basınç altında çözünmemekte, suda alkali ya da asitli çözeltilerle şişmektedir. Deniz suyunda ise çözünmeden önce fazla miktarda tuz emerek şişmekte, hacmi büyümekte, daha sonra yavaş yavaş jelatinsi bir yapı kazanmaktadır. Suyu emme oranı lif türüne göre değişmektedir. Örneğin; pamuk lifi, yün ve ipek gibi hayvansal liflere kıyasla daha fazla nem çekmektedir. Tekstil malzemeleri içinde pamuktan sonra en sık kullanılan ve selüloz içeren lif, ketendir. Ketenin selüloz oranı ortalama %70-80'dir. Asit, alkali, oksidan ve madensel tuzların etkileri hemen hemen pamuk lif ile aynıdır. Tekstil liflerinde metal iyonlarının hücre içine girmesi sonucu olan mineralleşme (Resim 3.5), liflerin stabil ortam şartlarında daha iyi korunmasını sağlamaktadır (Harmancıoğlu ve Yazıcıoğlu, 1979: 4). *RAAR* projesi kapsamında deri eserlerin sualtındaki bozulmaları; *In situ* koruma sırasında bozulma süreçlerinin yavaşlatılabilmesi kapsamında incelenmiştir. Araştırma için bitkisel tabaklanmış deri örnekleri deniz sedimentine gömülmüştür. Üç yıllık bir gömü sonrasında görsel olarak büyük değişimler olmasa da renkte koyulaşma gözlenmiştir. Ağırlık üzerine yapılan analizler ise bir yıldan sonra derinin ağırlığının %12'sini kaybettiğini, gömü süresi uzadıkça bu oran yavaşla da ağırlık kaybının devam ettiği tespit edilmiştir. Derinin kıl kökleri bulunan yüzünde de sediment parçacıklarının birikimi gözlenmiştir. Deriyi çevreleyen sedimentin pH'ı 4-

6 arasında tutulsa da bu durumun deri gözeneklerinde pH'nın 8,3 seviyesine çıkmasına neden olabileceği belirlenmiştir. Alkali ortam şartlarında, alkalın hidrolizine bağlı olarak kimyasal değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle hem ortam hem de derinin pH'nın bilinmesi *in situ* koruma uygulamalarında incelenmelidir (Turner-Walker, 2006: 16-18).

Resim 3.5: Mineralize olmuş bir yün tekstil parçasının mikroskopik görüntüsü.



Kaynak: Gleba, 2014: 151

3.2.3 Biyolojik Bozulmalar

Ahşap kültür varlıklarının sualtında bozulmalarına yol açan temel unsur biyolojik kaynaklıdır. Ahşap kurdu olarak da bilinen *Teredo Navalis*, sıcak ve tuzlu sularda hızla çoğalabilen, ahşaptaki selülozu kullanarak yaşayan ve besin kaynağı tamamen tükendiğinde yeni kaynaklara geçerek yaşam döngüsünü tekrarlayan bir canlıdır. Yaşamsal faaliyetlerinin bir sonucu olarak, ahşap malzeme tamamen yok olana kadar varlığını sürdürmekte ve geride kalsiyum içerikli, tüp formu yapılar bırakmaktadır. Ahşap yüzeyindeki çatlaklar ve delikleri kullanarak ahşabın içine nüfuz eden bu canlı, üzeri sediment tabakası ile kapatılmayan ahşap kültür varlıklarının çok hızlı bir şekilde yok olmasına neden olmaktadır. *Teredo Navalis*'in oluşturduğu tahribat hem fiziksel hem kimyasal olabilmektedir. Bunun nedeni canlının ahşap hücresindeki selülozu parçalamak için enzimler kullanmasıdır. Parçalanmış selüloz ile beslenerek yapı içinde ilerleyişi ile kimyasal, ahşabın üzerinde oluşturduğu tüneller ile fiziksel bozulmalar yaratmaktadır (Resim 3.6) (Pournou, 2020: 272-276).

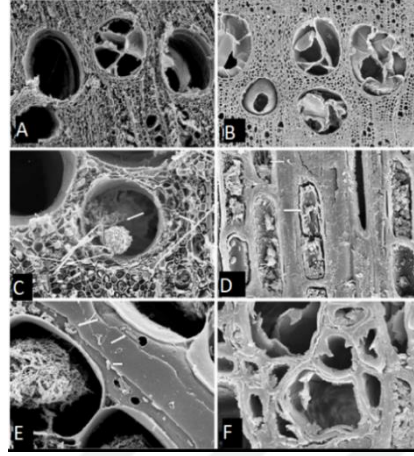
Resim 3.6: Yenikapı Batıkları Projesinde, YK12 ahşaplarında *Teredo Navalis*'in neden olduğu fiziksel bozulmalar.



Kaynak: Kılıç, 2013: 33. (Orijinal fotoğraf Yenikapı Batıkları Projesi Arşivleri'ne aittir)

Suya doymuş ahşap kültür varlıkları, sediment tabakasının altında yaşayabilmeleri ve hücre yapısında bozulmalara neden olmaları sebebiyle mikrobiyolojik organizmalardan etkilenmektedir. Bu bozulmalar mikroskopik analizlerle tespit edilebilmektedir (Resim 3.6). Özellikle; erozyon bakterileri, tünel bakterileri ve çürüklük mantarları, ahşabın biyolojik bozulmalarında etkili olmaktadır. Bunlardan erozyon bakterileri; en sık karşılaşılan ve hücre çeperlerinde sekonder çepere kadar yayılabilen organizmalardır (Resim 3.7). Ahşabın kambiyum tabakasından öz oduna doğru ilerlemektedir. İleri derecede erozyon bakterisine maruz kalmış ahşaplarda, sekonder çeper tamamen yok olmaktadır. Organizmanın biyolojik hareketleri neticesinde, hücrelerde bakterinin kendisi ve ligninin kalan kısmının karışımından oluşan bir depozit birikim meydana gelmektedir. Tünel bakterilerinin hareketleri ise hücreler arasında kolaylıkla görülebilse de ileri derecede bozulmuş ahşaplarda tespit edilmeleri zordur. Tünel bakterileri, erozyon bakterileri kadar sık rastlanılan bir tür değildir. Çürüklük mantarları; selüloz mikrofibrilleri arasında hızla yayılmakta ve ilk olarak sekonder çepere saldırılmaktadır. İleri derecede bozulmuş ahşapların hemen hepsinde kahverengi çürüklük mantarı bulunmaktadır. Erozyon ve tünel bakterilerinin ahşabın rengine etki etmemekte; kahverengi çürüklük mantarları rengin koyulaşmasına ve siyahlaşmasına neden olmaktadır (Björddal v.d., 1998; Björddal, 2012).

Resim 3.7: Suyu doymuş bir meşenin SEM görüntüsü.



Kaynak: Broda v.d., 2019: 713.

Resim 3.7’de A, C ve E görüntülerinde sadece orta lamelin geride kalmasına neden olan erozyon bakterisinin hücreye verdiği zarar görülmektedir. B ve D dikey kesitte, F ise yatay kesitte mikrobiyolojik birikim ve hücre çeperlerinde erozyonu göstermektedir.

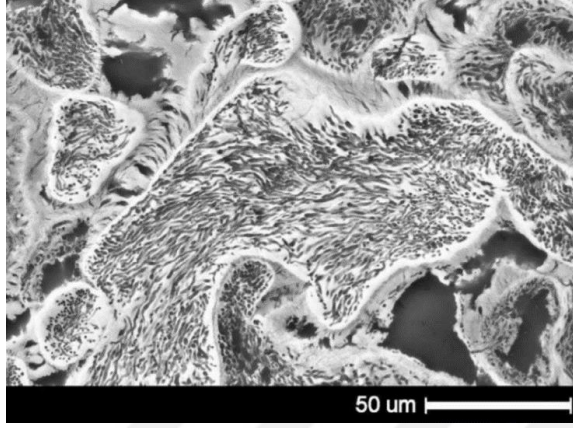
Mikrobiyolojik bir canlı olan kahverengi çürüklük mantarı; ahşap kültür varlıklarında biyolojik bozulmalara neden olmaktadır. Bu canlıların etkinliği, ahşabın yoğunluğuna bağlıdır. Mantarın aktivasyonu uzun süre devam ettiğinde ahşap, yumuşak çürüklük mantarında olduğu gibi kahverengi ve kırılgan bir görüntü almaktadır. Ahşap üzerindeki kolonizasyonun erken dönemlerinde renk, suya doymuş bir ahşaptan çok, ıslak bir görüntü almaktadır. Kahverengi çürüklük mantarının gözle tespit edilmesi zor olduğundan, ahşapla temas ettiği erken aşamada gerekli önlemler alınmazsa mantar; hücredeki selülozu parçalayarak hücre çeperlerinin bozulmasına neden olmaktadır; çünkü mantar, ahşaba nüfuz edebilmek için hücreler arasındaki boşlukları kullanmaktadır. İleri kolonizasyonda ise basit şekerlerden olan hemiselüloz da bu mantar tarafından parçalanmaktadır. Analizlerde, hücre çeperlerinde oluşturduğu deliklerle de fark edilebilmektedir (Goodell v.d., 2008: 16-17). Ahşapların anatomik bölgelerinin, beyaz ve kahverengi çürüklük mantarlarına karşı dayanımları ahşabın türüne göre değişmektedir. Örneğin; ladin ve sarıçam ağaçlarının öz odun kısmı, mantar saldırısına karşı diri odundan daha güçlüdür. Kolonizasyon sonrasında ağacın özgül ağırlığında da değişim meydana gelmektedir. Beyaz çürüklük mantarı; meşe, kayın gibi sert ağaçlarda daha aktifken, kahverengi çürüklük mantarı ise kestane,

sedir gibi yumuşak ağaçlarda daha aktiftir (Çetin v.d., 2010: 1646). Bu mantar türlerinin ahşabın farklı kimyasal bileşimlerine saldırması hücre yapısının gücünün azalmasına neden olduğundan, mantar kolonizasyonuna uzun süre maruz kalan ahşaplarda fiziksel direnç de zamanla azalmaktadır. Ahşap kurutulduğunda ani boyut değişimleri, çatlaklar ve derin yarıklar gözlenebilmektedir. Fakat sualtında hücreler su ile dolu iken, hücresel yapı desteklendiği için ahşabın boyutunda değişim olmamaktadır. Ahşabın sudan çıkartılmasından sonra, PEG gibi kimyasalların emdirilmesiyle, fiziksel bozulmalar engellenmektedir (Broda ve Mazela, 2017).

Sualtı araştırmalarında sıklıkla karşılaşılan ahşap; antik dönemde gemi yapım teknikleri ile ilgili önemli bilgiler taşıyan bir malzeme olması nedeniyle, *İn situ* korumada önem taşımaktadır. *İn situ* koruma sırasında suya doymuş ahşap için en büyük risk faktörü; organizmalara bağlı oluşan biyolojik bozulmalardır. Açık denizde; *Teredo Navalis*, *Limnoria* gibi makroskobik canlılar ve mantarlar, bakteriler gibi mikroskobik canlılar, ahşabın çok hızlı bir şekilde yok olmasına neden olmaktadır. Çünkü batık alanlarında; ahşabın su ile temasından Batığın yüzeyi tamamen sediment ile kaplanana kadar geçen süreç içerisinde ahşap bozulmalara maruz kalmaktadır. Sualtı ahşap kültür varlıkları; doğal yollarla oluşan sediment erozyonundan etkilendikleri kadar, arkeolojik kazılar sırasında sedimentin kaldırılmasından da etkilenmektedir. Sediment tabakasının yarattığı anoksik ortam, özellikle biyolojik bozulma süreçlerinin oluşmasını engellemekte ve ahşap denge durumuna geçmektedir. Yapılan kazı çalışmaları, sediment tabakasını değiştirdiğinden, ahşaplar sudan hiç çıkarılmasalar bile bu denge durumunu bozmaktadır. Kültür varlıklarının sualtından tam kaldırma yöntemi ile kazı sonucu çıkartılmasıyla orijinal sit alanı da tamamen yok olmaktadır. Buna rağmen; ahşaplar gibi organik kültür varlıklarının depolanma sorunu nedeniyle, orijinal ortamlarına geri dönüşlerinin olumsuz sonuçlar yaratmayacağı düşüncesiyle, *ex situ* onarımı yapılmış suya doymuş ahşap kültür varlıklarının da yeniden gömmesi yapılabilmektedir. Böyle bir uygulamanın sualtı kültür varlıkları üzerindeki etkisi, RAAR projesi ile incelenmiştir. Yapılan araştırmalar, yeniden gömmenin suya doymuş ahşapları, erozyon ve tarihi eser kaçakçılığından koruduğunu fakat ahşapta etkili olmaya başlayan aktif biyolojik bozulmaları durduramadığını göstermiştir (Manders, 2006: 72; Shefi ve Veth, 2015: 8-10; Gregory v.d., 2012: 7).

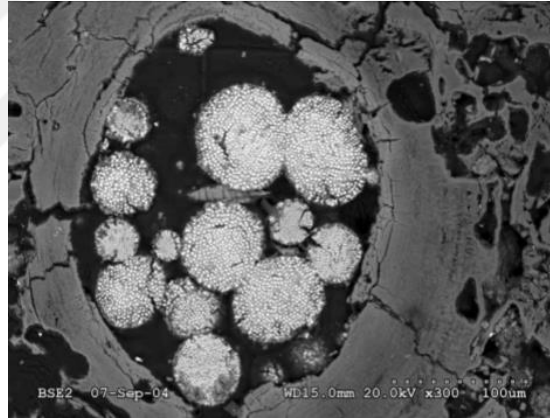
İnsan kemiği ve hayvan kemiğinin sualtındaki bozulmalarındaki farklılık, bu malzemelerin yapısal farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Daha gözenekli olması nedeniyle; insan kemiği, bakteriyel saldırılardan hayvan kemiklerine kıyasla daha fazla etkilenmektedir. İnsan kemiklerinin mikrobiyolojik bozulmaları; doğrusal/uzunlamasına ve tomurcuklu tünel bakterileri nedeniyle olmaktadır. Bununla birlikte tünel bakterileri (Resim 3.8); hayvan kemiklerinde en sık karşılaşılan biyolojik bozulma unsurlarındandır (Jans v.d., 2004). Araştırmalar, kemikteki biyolojik bozulmaların, yumuşak doku kalıntılarının mevcut olduğu durumlarda daha hızlı olduğunu göstermiştir. Karada kemiklerde bozulma yaratan mantarlar; ıslak, yüksek çözülmüş oksijen oranına sahip ve 7-14 pH aralığında görülmektedir. Bununla birlikte, sualtı kemiklerinde mantarlar bakteriler kadar etkili olamamaktadır (Huisman v.d., 2017: 114-16). Çözülmüş oksijen oranının yüksek olduğu ortamlarda kemiklerin biyolojik bozulması, sülfat indirgeyici bakteriler tarafından meydana gelmektedir. İlkel organizmalar olduklarından kemik dokusunu tek başlarına parçalayamayan bakteriler kemiğin gözenekleri içinde birden fazla sülfid türünün birikmesine neden olarak malzemenin suda çözünmesini hızlandırmaktadır. Sülfat indirgeyici bakterinin yaşamsal faaliyeti ile çevreye hidrojen salınımı artmakta ve yerel pH'da değişimler olmaktadır. Kemik kültür varlığının temas ettiği metaller varsa, demir iyonları sülfat ile birleşerek demir sülfidi meydana getirmektedir. Özellikle derin deniz sedimentlerinde karşılaşılan sülfat indirgeyici bakterilerin yarattığı bu reaksiyon ile gözenekler içinde pirit birikimi olabilmektedir (Resim 3.9) (Turner-Walker, 2009: 666-669).

Resim 3.8: Sicilya’da demir çağına tarihlenen bir sit alanında bulunmuş kemik üzerinde tünel bakterilerinin neden olduğu bozulma.



Kaynak: Turner-Walker, 2009: 663.

Resim 3.9: Kemik dokusu içinde birikmiş olan pirit görüntüsü.



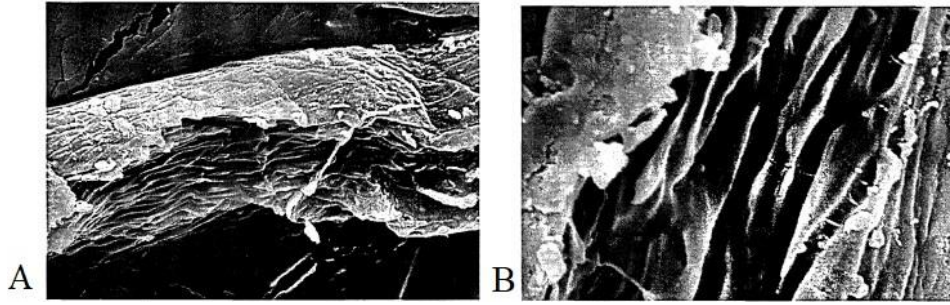
Kaynak: Turner-Walker, 2009: 667.

Sulatı kültür varlıklarından olan deride biyolojik bozulmalar nadir gözlenmektedir. Bununla birlikte, kimyasal olarak bozulan ve hassaslaşan deri malzeme kazı çalışmaları sırasında mekanik olarak zarar görebilmektedir. Ayrıca, koruma onarım uygulamaları için sudan çıkartılan deri kültür varlıklarında biyolojik bozulmaların engellenmesi için kullanılan biyositlerin ve depolama ortamının uygun olmaması durumunda yeni bozulmalar oluşabilir (Florian, 1987: 45). Derinin işlenmesi sırasında kullanılan tabaklama yöntemi; biyolojik bozulmayı tetikleyen enzimlerin etkinliğini azaltarak bakterilere karşı koruma sağlamaktadır. Derinin ıslanması durumunda, tabaklama malzemesi bünyeden uzaklaşmaktadır. Bu da deriyi biyolojik saldırılara karşı daha dayanıksız hale getirmektedir. İşlenme sırasında deri

liflerinin arasından uzaklaştırılamayan yağlar da mikrobiyolojik bozulmalara karşı koruma sağlamaktadır. Çoğunlukla yağ ile tabaklanmış derilerle karşılaştırılan, yağların denizel canlılar tarafından sağlandığı derilerde, söz konusu yağlar aktif olmadıklarından kimyasal değişimlere ve biyolojik saldırılara karşı dayanıklıdır (Thomson, 2006: 1-2).

Tekstil ürünlerini oluşturan liflerden selüloz içerikli olan bitkisel lifler; sıcak ve çözünmüş oksijen oranının yüksek olduğu sularda, mantarlar ve bakteriler tarafından bozulmaktadır (Resim 3.10). Mikrobiyolojik canlıların aktivasyonu, çözünmüş oksijen oranına bağlı olduğundan, 60 cm'den daha derin sedimente gömülü tekstillerde biyolojik bozulmalar etkili değildir. Tekstil ürünlerindeki mikrobiyolojik bozulma unsurlarının gelişimi için en uygun ortam değerleri; 45-70 °C sıcaklık ve 7-8 pH'dır. Bazı bakterilerin karanlıkta daha hızlı üremesi nedeniyle, mikrobiyolojik bozulma derin denizde bulunan batıklarda da etkili olabilmektedir. Boyanmış tekstiller, boyasız tekstil liflerine kıyasla mikrobiyolojik bozulmalardan daha az etkilenmektedir (Chen ve Jakes, 2013).

Resim 3.10: Pamuk lifindeki mikrobiyolojik bozulmaların mikroskopik görüntüsü.



Kaynak: Chen ve Jakes, 2013: 99.

Resim 3.10'da (A) Lokal bozulma, (B)'de ise mikrobiyolojik bozulma sonucu oluşan birikim görülmektedir.

Biyolojik aktivasyonun kültür varlıklarının üzerindeki etkilerinin bilinmesi, *in situ* koruma ya da *ex situ* ortamda sualtında depolanmada önem taşımaktadır. İki durumda da kültür varlıklarının bir müdahaleye ihtiyaç duyup duymadığının anlaşılabilmesi ve biyolojik bozulmanın derecesinin belirlenmesi için düzenli analiz ve gözlem gerekmektedir. Gelbrich ve Poelmans (2013); ahşap kültür varlıklarının

kazı sonrası, *ex situ* olarak sualtında depolanmasında biyolojik kolonizasyonun gelişme hızı ve ahşaba etkileri üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Yürüttükleri araştırmada; su dolu tanklar kullanılarak ve de hiçbir hava kontrol mekanizması bulunmayan depo binalarında mikro biyolojik kolonizasyonun ilk 4 ayda başladığını tespit etmişlerdir. Bu aşamada, ahşaplarda hücrel bir bozulma görülmezken, 6. aydan itibaren ahşapların selüloz yapısında bozulmaları gözlemlemeye başlamışlardır. İlk 10 ayda kolonizasyonun tamamen erozyon bakterilerinden oluştuğunu, sonrasında ise sadece yüzeyde yumuşak çürüklük mantarının etkili olmaya başladığını saptamışlardır. Bu nedenle; *ex situ* koruma uygulamaları yapılması planlanan suya doymuş ahşap kültür varlıklarında, koruma onarım sürecinin uzun depolama süreleri olmadan başlaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

3.4 Sualtı Çevre Koşullarının İnorganik Kültür Varlıkları Üzerindeki Etkileri

Sualtı arkeolojik sit alanlarında bulunabilecek taşınabilir inorganik kültür varlıkları; seramik, cam, metal, taş malzemelerdir. Antik liman yerleşimlerinin denize yakın olan kısımları da çeşitli etkilerle sualtında kalabilmekte ve taşınmaz mimari yapılar sualtı kültür mirasının bir parçasıdır. Bu mimari yapıları oluşturan; harç, sıva, mozaik gibi yapı unsurları da sualtında *in situ* koruma planlamalarına dâhil olabilmektedir.

Arkeolojik kazılarda en sık karşılaşılan malzeme olan seramik, antik dönemlerden beri günlük yaşamda kullanılmaktadır. Seramikler, çoğunlukla montmorillonit ve kaolinit minerallerinden oluşan killerin su ile karıştırılarak şekillendirilmesi ve de son olarak seramik fırınlarında pişirilmesiyle üretilmektedir. Seramiğin son formu; kullanılan karışımın içeriğinden ve pişirme koşullarından etkilenmektedir. Seramik üretiminde kullanılan kil ham halinde saf değildir, kuvars, feldspat, kalsit ve demir bileşikleri gibi mineraller içerebilmektedir. Killer ayrıca, hayvan ve bitki kalıntıları da içerebilir. Kil; içeriğindeki mineralin pişme ısısından daha düşük bir ısıda pişirilirse ayrışma eğilimi göstermektedir. Örneğin; 450 °C’de montmorillonit içeren bir objede; kaolin, sıvılaşarak parçadan ayrılma eğilimi göstermekte, meta-kaolin ve su olarak ayrışmaktadır. Kilin içersindeki mineralin erime

ısısı pişme ısısından fazla olmadığı durumda ve soğutulduğunda sertleşmiş gibi görünsede obje su ile temas ettiğinde parçalanabilmektedir (Crony, 1990: 140-141).

Geçmişte hammadde olarak camın, tek başına obje amaçlı kullanılmaya başlanmadan önce, sır olarak seramik yüzeylerine uygulandığı bilinmektedir. Bağımsız bir malzeme olarak kullanımına ilişkin en erken örnekler, MÖ 3000'e tarihlendirilen Mezopotamya ve Mısır'da bulunan cam boncuklardır. Camın kimyasal birleşiminin ana malzemeleri; silis, potas, kalsiyum karbonat (soda) ve kireçtaşıdır (Baykan, 2014:17-18; Özgümüş, 2013:2). Camın şekillendirilebilmesi için bahsedilen kimyasallar istenilen oranlarda bir pota içerisinde karıştırılarak eritilmekte ve çeşitli teknikler ile şekillendirilmektedir. İç kalıp ve çubuk kalıp yöntemleri ile üretilen farklı renklerdeki küçük kaplar arkeolojik kazılardan sıklıkla ele geçirilen objelerdendir (Özgümüş, 2013:7-16).

Madencilik işleri başlamadan önce, metaller mineral halinde boncuk ya da süs eşyası olarak kullanılmıştır. Metalin tek başına kullanım eşyası olarak; MÖ 6000'de altın, MÖ 5000'de saf bakır, MÖ 4000'de gümüşün kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Antik Mısır'da meteoroidlerden elde edilen demir ile hançer gibi objeler üretilmiştir. MÖ 3600'de eritilmiş bakırdan objeler ortaya çıkmaya başlamıştır. En eski işlenmiş metal, MÖ 3200'e tarihlenmiştir ve Mezopotamya'da bulunmuştur (*English Heritage*, 2012: 17-22).

Mimari yapı unsurları; taş malzemelerden üretilmiş bloklar, harç, sıva, mozaikler, sütunlar, rölyefler ve benzeri süsleme unsurları gibi pek çok alt sınıfa ayrılabilir. Antik dönemde mimari yapıların birincil unsurunu taş malzeme oluşturmaktadır. Duvar örgüsünde, kaplama olarak, süslemede heykel ve sütun olarak, mozaiklerde tessera olarak pek çok kullanım alanı olan mermer, en çok kullanılan taş türlerindendir. Heykel yapımında mermer ne kadar küçük tane boyutu, az gözenek ve az damara sahipse o kadar kaliteli kabul edilmektedir. Mermerler antik dönemde, renklerine ve çıkartıldıkları bölgelere göre isimlendirilmiştir. Örneğin; *Eretria* kırmızısı, *Naxos* mermeri, *Epirus* pembesi, *Khios* siyahı gibi pek çok tür ticarete yerini almıştır (Çördük, 2006: 10-16).

Mimari yapı elemanlarının ikincil unsuru; toprak/kilden yapılan harç, sıva, tuğla ve benzeri ürünlerdir. Tuğlalar; elde ya da kalıplarda şekillendirilmiş nispeten kaba yapılı ürünlerdir. Vitruvius (2005: 29-30); *'De Architectura'* (Mimarlık Üzerine 10 Kitap) adlı eserinde, antik dönemde topraktan elde edilen yapı malzemelerin nasıl seçildiği ve işlendiği ile ilgili bilgiler vermektedir. Vitruvius'a göre kumlu veya çakıllı kilden yapılan tuğlalar ıslandığı zaman kolay ufalanmaktadır. İyi bir tuğlanın beyaz kalkerli ya da iri çakıllı kilden yapılmasını ve iyi kuruması için baharda ya da yaz aylarında üretim yapılmasını önermektedir. Tam kurutulmamış tuğlanın, üzerine uygulanan sıvayı tutmayacağı ve duvarın yapısında kaymalar olabileceğini ifade etmiştir. Yapıda kullanılacak tuğlanın en az beş yıl kurumaya bırakılmış olması gerektiğini vurgulamaktadır. Harç ve sıva; mezolitik dönemden itibaren barınak yapımında kullanılan malzemelerdir. İlk başta sıva, kaba yapılı, içine bitkisel katkılar katılarak ıslatılmış ham topraktan üretilmiştir. Klasik dönemde ise sönmüş kireç üretim tekniklerinin geliştirilmesiyle birlikte, daha ince yapılı ve duvar resimleri gibi süslemelerin yer aldığı sıvalar kullanılmıştır. İkincil yapı unsuru olan sıvalar, süsleme unsuru olarak ve de yapının dayanıklılığını artırma ve yalıtım gibi amaçlarla da kullanılmıştır (Wright, 2005: 92-95).

Mimari yapılarda duvar örüntüsünde kullanılan malzemeler; tuğla, kum, kireç, pozzolana ve taştır. Bunlardan pozzolana; Vitruvius tarafından, *Baiae* Kentinin yakınlarındaki Vezüv Dağının eteklerinden çıkartılan, diğer malzemeler ile karıştırıldığında dayanıklılık katan ve sualtında sertleşen bir malzeme olarak açıklanmaktadır (Vitruvius, 2005: 32). Kireç ve kum; harç ve sıvaların temel malzemesidir. Tuğla, duvar örgülerinde ve çatılarda kullanılmıştır. Kerpiç ise yoğun kil içeren ince kumun, saman ve su ile karıştırılarak kalıplarda şekillendirilmesi ve güneşte kurutulması ile ortaya çıkan bir duvar örgü malzemesidir. Anadolu'da kerpiç evler, neolitik dönemden itibaren kullanılmıştır. Bu yapılar; temelsiz, taş temelli ya da taş duvar döşekli olarak üretilmişlerdir. Troya 1 döneminde yapılar; çubuk ve değneklerle şekillendirilmiş, kafeslerinin üzeri kerpiç ile sıvanarak üretilmiştir. Çatalhöyük ile Hacılar'ın neolitik evreleri ile Can Hasan ve Alishar Höyük'lerin kalkolitik evrelerinde hiç taş temel olmadan üretilmiş yapılar bulunmuştur (Naumann, 2019: 45). Kerpiç; pişirim olmadan üretilen bir malzeme olduğundan, atmosferik ve

sualtı ortam koşullarında hızla bozulmaktadır. Yangına maruz kalarak pişmiş yapılarda bazı kalıntılara rastlansa da sualtındaki yapılarda böyle bir katmana rastlanmamıştır.

3.4.1 Fiziksel Bozulmalar

Sualtı arkeolojik alanlarında sıklıkla rastlanılan seramik kültür varlıkları; antik dönemde ticarete kullanıldıkları için özellikle batık alanlarının tespitinde önemli rol oynamaktadır. Seramikler, organik malzeme ya da metal kültür varlıklarına kıyasla, sualtında daha iyi korunmuş halde bulunmaktadır. Seramik kültür varlıklarının sualtındaki ilk bozulma nedeni fizikseldir. Geminin batışı sırasında, insan aktiviteleri sonucu ya da sualtında dalgalar ve sediment hareketleri ile birbirine çarpan seramikler, kırılmakta ve akıntıların etkisiyle deniz tabanında dağılmaktadır (Resim 3.11). İkinci bozulma nedeni ise, sudaki çözünabilir tuzlardır. Sualtıdan çıkartılan kültür varlıklarında, tuzdan arındırma yeterli seviyede yapılmazsa; seramik gözenekleri içinde ya da yüzeyinde biriken tuz kristalleri, gözeneklere baskı yaparak çatlama, kırılma ve yüzeyin katmanlı dökülmelerine neden olmaktadır. Seramik gözeneklerinin içine işleyebilen tuz oranları ile pişirim derecesi birbiri ile bağlantılıdır. 900 °C'den yüksek ısıda pişirilmiş seramiklerde, 800 °C'nin altında pişmiş seramiklere göre daha az tuz birikimi gözlenmektedir. Pişirim ısısı seramik kültür varlıklarının gözenek yapısını da etkilediğinden daha yüksek ısıda pişirilen seramikler, çözünabilir tuzlardan kaynaklı bozulmalara daha dirençli olmaktadır (López-Arce v.d., 2013).

Resim 3.11: YK 12 Batığının *in situ* halinin görüntüsü.



Kaynak: <http://yenikapibatiklari.com/batiklar/yk12-tam-olcekli-replikasi>, 22/05/2022.

Resim 3.11’de görülen batıkta seramik kargonun fiziksel bozulmalar haricinde iyi korunmuş olduğu görülmektedir.

Sualtı arkeolojik sit alanlarındaki seramiklerde karşılaşılan diğer fiziksel bozulma türleri; beyaz/gri kabuklanma ve renk değişimidir. Kalsiyum karbonat içerikli depozitler, deniz kabukluları ve canlıların iskelet kalıntıları, seramiklerin yüzeyindeki gözeneklere tutunarak yüzeyde birirmektedir (Resim 3.12). Böyle bir birikim, bütün yüzeyi kaplayabilmektedir. Bunun sonucunda, yüzeyde bulunan sır ve bezeme tabakası tamamen yok olabilmektedir. Renk değişimleri ise özellikle sırlanmamış seramiklerde kolaylıkla fark edilmektedir. Yüzeyin kalsiyum karbonat kabuk tabakası ile kaplandığı seramiklerde; ortam pH’ı yüksek ise demir oksit lekelenmeleri gözlenmektedir. Demir oksit, kültür varlıkları sediment tabakasına gömülü olsa da bozulmalara neden olabilmektedir. Kurşun ya da kalay içerikli sırlar, anaerobik sülfat indirgeyici bakterilerin varlığında, sülfatların açığa çıkmasıyla siyahlaşabilmekte ve yüzeyde renk değişimi yaratabilmektedir (Crony, 1990: 146).

Resim 3.12: Seramik yüzeyinde sualtında birikmiş olan kalsiyum karbonat ve biyolojik kabuk tabakasının görüntüsü.

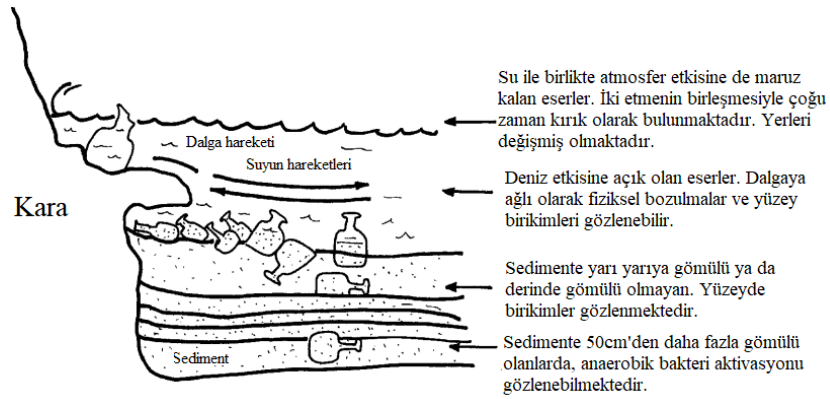


Kaynak: Kemer Sualtı Arkeolojisi Araştırmaları Merkezi arşivi, Canan Kaptanoğlu koleksiyonu.
Fotoğraf: Ahmet Aydemir.

Cam kültür varlıkları; silis, potas, kalsiyum karbonat (soda), kireçtaşı ve metal oksitlerden elde edilen pigmentlerin çeşitli kombinasyonları ile üretilmektedir. Bu malzemelerin farklı oranlarda birleştirilmesi ile cam, işlenmesi sırasında farklı özellikler kazanmaktadır. Örneğin; normal cam %72 silis, %15 soda, %13 kireç içerirken, kristal cam %48 silis, %24 potas + soda, %28 kurşun oksit içermektedir.

Ayrıca; işlenecek camın rengi, parlaklığı, saydamlığı, plastik özelliğinin artırılması da başka katkı malzemeleri ile sağlanmıştır. Örneğin; soda, camın ergime ısını düşürmek, kireçtaşı suda çözünmesini engellemek, kalay oksit camı opaklaştırmak, manganez renksiz cam üretmek için kullanılmıştır (Baykan, 2014: 17-18; Özgümüş, 2013: 2). Sualtında suyun kirliliğine ve saflığına bağlı olarak, kullanılan bu malzemeler fiziksel ve kimyasal bozulmalara maruz kalabilmektedir (Şekil 3.5). Deniz suyu ve tabanında, seramik objelerde olduğu gibi cam objeler de dalga, su hareketleri ve sediment erozyonu gibi fiziksel bozulmalara maruz kalarak yapısal bütünlükleri bozulmaktadır (Resim 3.13). Hassas yapıları nedeniyle camlar; sualtındaki ortam koşullarından, yani suyun ve sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yoğun şekilde etkilenmektedir. Yüzeyde oluşan biyofilm, camın yüzeyinin sık dokulu ve kaygan oluşu nedeniyle kalınlaşmamaktadır. Bu tabaka, camın bünyesindeki iyonların difüzyonunu yavaşlatarak, suyun kimyasal özellikleri nedeniyle oluşan bozulmalara karşı koruyucu etki sağlamaktadır (Resim 3.14) (Davidson, 2003: 185-187).

Şekil 3.5: Cam kültür varlıklarının sualtında bulunma ortamlarına göre bozulmaları.



Kaynak: Davidson, 2003: 187.

Resim 3.13: Serçelimanı Batığında bulunan cam kültür varlıklarından örnekler.



Kaynak: <https://nauticalarch.org/projects/serce-limani-shipwreck-excavation>, 22/05/2022

Resim 3.14: Cam kültür varlıklarında sualtında oluşan kalsiyum karbonat içerikli kabuk tabakasından örnekler.



Kaynak: Davidson, 2003: 188.

Metal kültür varlıkları; sualtında oluşan kimyasal bozulma reaksiyonları sonucu, hacimsel olarak büyümektedir. Korozyon ve metal arasında oluşan gerilim farkı nedeniyle, metalde derin yarıklar oluşmaktadır (Resim 3.15). Bu yarıklar, suyun metal içinde daha fazla ilerlemesi için bir yol oluşturarak, metal özü yok olana kadar

korozyonun devam etmesine neden olmaktadır. Batık alanının üzerindeki dalgalar ve akıntılar da metal yüzeyindeki koruyucu tabakanın parçalanmasına neden olabilmektedir. Bunun sonucunda, metal denizdeki çözünmüş oksijene maruz kaldığından korozyon reaksiyonu devam etmektedir. Çok güçlü akıntılar, metal kültür varlıklarının deniz tabanında yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu hareket sırasında oluşan mekanik basınçla hassas metallerin kırılabilir. Daha düşük güçteki akıntılar, sediment tabakasının metal üzerinde birikimiyle birlikte koruyucu tabakanın erozyonu oluşabilmektedir. Bu tür bir mekanik etki, metalin yüzeyinde demire kıyasla daha ince korozyon tabakaları biriken bakırlarda daha fazla etkili olmaktadır. Korozyon oranının; yüzeydeki korozyon ürünlerinin birikimi ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla dalga hareketlerine bağlı olarak metal yüzeyinde oluşan erozyon, su altında hızla bozulmaya neden olmaktadır (North ve MacLeod, 1987: 74-75).

Resim 3.15: Batavya Jakarta’da bulunan bir batık alanındaki demir top güllerinin fiziksel bozulmaları.



Kaynak: Riyanto v.d., 2020: 17.

Mimari yapı elamanlarının bir parçası olan arkeolojik taban mozaiklerinde görülen fiziksel bozulmalar; lakuna, yapım tabakaları arasında ayrılma, çatlak-kırık, kabarma-şişme, çökme-çöküntüler, taşıyıcı harç katmanında bozulmalar, boşluk oluşumları, tabaka oluşumları, renk değişimleri, tessera malzemelerinin bozulmaları olarak sıralanabilmektedir. Sualtındaki mozaiklerde bu bozulmalar, su altında kalma öncesinde de meydana gelebilmektedir. Mozaiklerin yapısal katmanlarında oluşan fiziksel bozulmalar, mozaiği su ve sediment erozyonuna karşı hassas hale

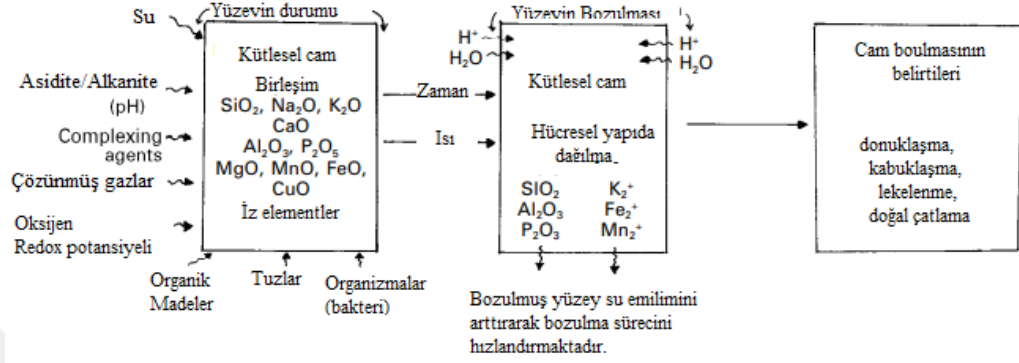
getirmektedir. Boşluklar ve kayıplar, yani lakunalar, doldurulup desteklenmediğinde mozaiklerde daha büyük parça kayıpları gözlenmektedir. Lakunaları olan mozaiklerin, sadece *in situ* koruma değil, kültür varlığına aktif müdahaleyi gerektiren, sağlamlaştırma, bordür harcı uygulanması gibi onarım çalışmalarında yürütülmesi gerekmektedir (Şener, 2012).

3.4.2 Kimyasal Bozulmalar

Seramik kültür varlıkları iyi pişirilerek kimyasal bozulmalara karşı dirençli hale getirilsede yüzeyinde bulunabilen sır tabakaları; yoğun silika içerikleri nedeniyle, cam kültür varlıklarında da görülen bozulmalara maruz kalabilmektedir. Cam, sadece sır olarak değil kendi başına bir grup olarak da sualtı araştırmalarında karşılaşılabilen bir malzemedir. Deniz suyunun cam kültür varlıklarına etki ettiği birincil bozulma türü içeriğindeki silikayı çözmesidir. Bu süreç, suyun pH'ı ile doğrudan bağlantılıdır. Örneğin; alkali sulara yapıdaki oksijen bağının kopmasına bağlı olarak silikanın çözünmesi daha kolaydır. Ancak bu durum her zaman geçerli değildir. Örneğin; soda+kireç+silika birleşiminden oluşturulan camlarda; %10'dan fazla kireç bulunduğu ve pH'ın 3'ten düşük olduğu ortamlarda kireç hızla çözünmektedir. Soda ve silikanın çözünmesi ise aynı ortam şartlarında daha yavaş olmaktadır (Davidson, 2003: 177-176).

Camın kimyasal yapısında bulunan sodyum ve potasyum, su ile temas ettiğinde yapı içinde çözünerek yüzeye taşınıp burada birikebilmektedir. Bu maddelerin su ile reaksiyonları sonucu oluşan sodyum ve potasyum hidroksitler, yapı içerisine daha fazla sızarak aynı reaksiyonu devam ettirmektedir. Bu bozulma süreci; yüzeydeki sodyum ve potasyum hidroksitler onarım müdahaleleriyle kaldırılana kadar devam etmektedir. Sualtında; söz konusu katmanlar temizlenmediğinde, yüzey opaklaşmakta ve yapraklaşma şeklinde bozulmalar oluşmaktadır. Yüzeydeki bu birikim ve bozulmalar; dalgalara, sediment erozyonuna ve suyun hareketlerine bağlı olarak yüzeyden uzaklaşabilmektedir. Camın sualtındaki kimyasal bozulmaları, ortam koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir (Şekil 3.6) (Pearson, 1987: 101-102).

Şekil 3.6: Camın kimyasal içeriğine göre bozulmaya neden olan çevresel faktörler ve bozulma türleri.



Kaynak: Davidson, 2003: 174.

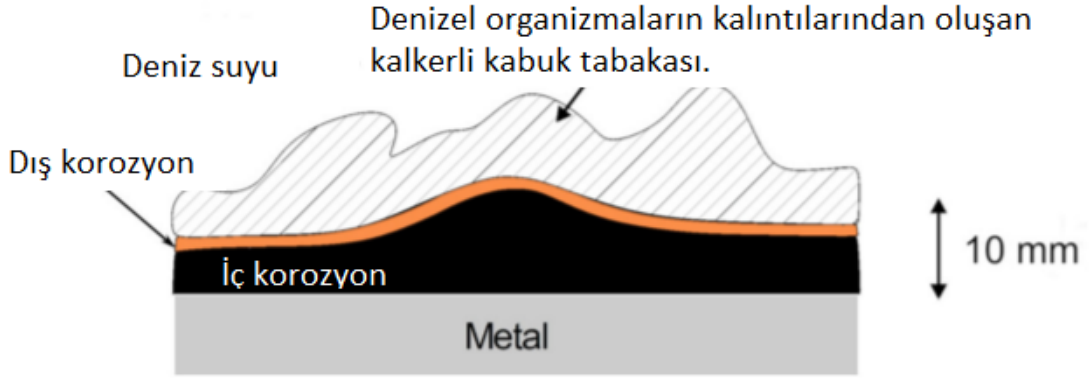
İnorganik kültür varlıklarından olan metal eserler; su ile temasta elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu, hızlı bir şekilde korozyona uğramaktadır. Sualtında, özellikle birbirinden farklı türde metaller arasında oluşan galvanik korozyon, bozulma sürecinin hızlanmasına neden olmaktadır. Tek bir metal türünden üretilmiş obje yüzeyinde de anot ve katot alanlarının farklılaşmasıyla bölgesel galvanik korozyon oluşabilmektedir. Metal kültür varlıklarının üretimi sırasında kullanılan yöntemler de korozyon potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Örneğin; bir çivinin baş ve sap kısmının birbirine sonradan tutturulması, çakılırken oluşan stres farkı gibi etmenlerle bölgesel galvanik korozyon oluşabilmektedir. Metal tamamen oksidasyona uğrayana kadar devam eden bu süreç uzun ve yavaştır (Brown v.d., 1988).

Denizel ortama doğrudan maruz kalan, üzeri sediment ile kaplanmamış demir kültür varlıklarının sualtındaki korozyonu, derinlikle ilişkili olarak da değişmektedir. Deniz yüzeyinden 10 m'den daha az derinlikteki bölgelerde; dalgalara bağlı olarak sediment ve deniz suyundaki çözünmüş oksijen oranı daha fazla olduğundan, metal yüzeyi daha aktiftir ve korozyon süreçleri sürekli tekrarlanmaktadır. Sediment erozyonu sırasında oluşan mekanik etkiyle metal yüzeyindeki korozyon tabakasının temizlenmesi, kalan metal özünün de yeniden aynı korozyon sürecine maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu süreç, elektrokimyasal olarak aktif olan metal özü

tamamen yok olana kadar devam etmektedir. Deniz yüzeyinden 10 m'den daha derinde olan demir kültür varlıkları; dalgalardan ve sediment erozyonundan etkilenmemektedir. Bu sayede korozyon ürünleri obje yüzeyinde büyüyerek zamanla çekirdeğin dengeye ulaşmasını sağlamaktadır. Bu durumda metaldeki korozyon ürününün manyetit olduğu bilinmektedir (Dillmann v.d. (ed), 2007: 163).

Demir kültür varlıklarının sualtındaki bozulma reaksiyonları 4 aşamada incelenmektedir. Bunlardan ilki; ilk batış anından, metal yüzeyi kabuk tabakasıyla kaplanana kadar olan süreçtir. Bu aşamada; demir, tuzlu suyla doğrudan temas ettiği için obje yüzeyinin pH'ı deniz suyuna eşittir ve elektrokimyasal korozyon potansiyeli düşüktür. Elektrokimyasal korozyon potansiyeli yükseldikçe, Fe^{3+} iyonları oksidasyona maruz kalarak yüzeyden uzaklaşmakta ve Fe^{2+} iyonlarını meydana getirmektedir. Fe^{3+} iyonlarının deniz suyundaki çözünürlüğü Fe^{2+} iyonlarından daha düşüktür. Bu da Fe (III) oksit ve hidroksitlerini oluşmasına neden olmaktadır. İkinci aşama; demirin yoğun korozyona uğradığı ve yüzeyinin kabuk tabakasıyla kaplanmaya başladığı süreçtir. Bu süreçte, demirin metalik özü hala bulunmaktadır ve korozyon süreci devam etmektedir. Sualtı arkeolojik kazılarında ele geçirilen demir kültür varlıkları genellikle bu aşamadadır (Şekil 3.7). Korozyon ürünleri, demirin orijinal yüzeyinden uzaklaşarak kabuk tabakasıyla birleşmeye başladığı için bu aşamada iki katmanı birbirinden ayırmak zordur. Yüzeyi kaplayan korozyon+kabuk tabakası karışımının altında, asidik ve oksitleyici ortam devam etmektedir. Üçüncü aşama; kabuk tabakasının altında pH ve Eh değerlerinin eşitlenmeye başladığı denge sürecidir. Demirde bu aşamada artık tamamen grafitleşme oluşmakta ve pH denizel ortamın seviyesine yaklaşmaktadır. Dördüncü ve son aşama ise demirin bu denge halinin bozulduğu arkeolojik kazı sırasındaki süreçtir. Kazı ile üzerindeki sediment tabakası kaldırılan demir, ilk anda siyah- gri renkli görünmektedir. Kazı süreci devam ederken, deniz suyuna ve doğal olarak da çözünmüş oksijene maruz kalmanın bir sonucu olarak demir, oksidasyona uğramakta ve rengi kısa sürede kızıl- kahveye dönmektedir (North, 1982).

Şekil 3.7: Sualtında metal kültür varlıklarında meydana gelen korozyon.



Kaynak: Refait v.d., 2020: 198.

Bakır kültür varlıkları, sualtından demir kültür varlıklarına kıyasla daha iyi korunmuş şekilde ele geçmektedir. Bunun bakırın yüzeyinde oluşan koruyucu ve stabil küprit tabakası sayesinde olduğu düşünülmektedir. Sualtında bakır kültür varlıklarının temel bozulma nedeni; Cu(I)'in oksidasyon ile Cu(II)'ye dönüşmesidir. Kirli sularda oluşan korozyon reaksiyonu, temiz sulara kıyasla katodiktir. Yani, patinanın parçalanmasıyla birlikte katot alanlarda yoğunlaşmaktadır. Çözünmüş oksijen oranının yüksek olduğu sularda bakır, her yıl 0,02 mm korozyon tabakasıyla kaplanabilmektedir. Bu oran; ısıнын artmasına ve objenin yanında farklı türden metallerin bulunmasına bağlı olarak galvanik etki ile artmaktadır. Deniz suyundaki çözünmüş oksijen oranının biyolojik aktivasyona bağlı olarak artması, bakırın korozyon oranını da arttırmaktadır. Çözünmüş oksijenin azalmasıyla birlikte hidrojen oluşma potansiyeli de yükselmektedir (Scott, 2007: 67-70).

Sualtı kültür varlıklarından olan mimari yapı elemanları (taş, harç ve sıvalar) sit alanlarında karşılaşılabilen inorganik kültür varlıklarındandır. Bunlardan taş kültür varlıklarının sualtında bozulması; gözeneklilik, su emilimi kapasitesi, sertlik derecesi, termal genleşme-büzüşme oranı ve kayacın kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Yumuşak kayalar, sediment hareketine bağlı olarak oluşan erozyon ile mekanik olarak bozulmakta, işlenmiş yüzeyleri aşınmaktadır. Kimyasal bozulmalar ise kayacın mineral birleşimine göre değişmektedir. Örneğin; çözünmüş tuz oranı yüksek olan alkali sular, çoğu kayaç türü için koroziftir. Sedimenter kayaçların bağlayıcısı, yüksek sülfat ve klorit varlığında çözünmekte ve kayacı fiziksel

bozulmalara karşı korumasız hale getirmektedir. Mermer gibi karbonat temelli çoğu kayaç, deniz suyundan çok fazla etkilenmese de çevre kirliliğine bağlı olarak oluşan asidite bileşenlerin suda çözünmelerine neden olabilmektedir. Bu tür kayaçlar yüzeye ya da insan etkisine açık, günümüzde hala kullanılan limanlarda bulunduklarında, su kirliliğinden etkilenmiş olduğu görülmektedir (Pearson, 1987:103).

3.4.3 Biyolojik Bozulmalar

İnorganik kültür varlıklarında biyolojik bozulmalar; kültür varlığının üzerinde birden fazla türün bir araya gelmesi ile oluşan biyofilmler ile gerçekleşmektedir. Malzemenin; gözenekliliği, sertliği, dokusu ve kimyasal birleşimi; biyofilm oluşumu için olumlu ya da olumsuz etmenler ortaya çıkartabilmektedir. Örneğin; amforalar gibi gözenekliliği yüksek, yüzeyinde çatlaklar içeren, nispeten yumuşak dokulu yüzeylerde biyofilm oluşması kolayken, mermer gibi gözenekliliği düşük, kaygan ve sert yüzeylerde biyofilm oluşması daha zordur. Yüksek gözenek içeren malzemeler, yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle de biyofilm oluşumuna daha uygundur. Oluşan biyofilm, seramik yüzeydeki gözenekleri ve su emilimini arttırdığından, bozulmalar hızlı bir şekilde ilerlemekte ve malzemenin kimyasal yapısında değişimler oluşturmaktadır (Pinna, 2021: 2-9). Seramik kültür varlıklarının biyolojik bozulmalarına neden olan unsurlar; algler, salyangoz, midye gibi deniz kabukluları, süngerler ve solucanlardır (Resim 3.16). Bu canlılar, seramik kültür varlıklarının yüzeyine tutunurken, objenin üst tabakasını kazıyarak yok olmasına neden olmaktadır. Gözeneklere nüfus ederek burada büyüyen sünger türleri ise temizlendikten sonra bile kalıntı bırakmaktadır. Kalkerli kabuklar içeren deniz canlıları, seramik kültür varlıklarının yüzeyinde koloni oluşturdıklarında; yine gözenekli yapıyı kullanarak kültür varlıklarının içlerine kadar ilerlemekte ve üst tabakanın tahribatına neden olmaktadır. Sediment altında sülfat indirgeyici bakterilerin varlığında seramik yüzeyinde lekelenmeler oluşabilmektedir. Eğer seramik sırlı bozulmuşsa, hiç yoksa ya da seramik düşük ısıda pişirildiyse, bu lekeler derinlere ilerlemektedir. Sırlı seramiklerde bozulma, cam kültür varlıklarında olduğu gibi iyon değişimine bağlıdır. Ayrıca, dolaylı bir etki olarak insanların üretim aktiviteleri ile birlikte oluşan; asit yağmurları ve iklim değişikliği gibi faktörler suyun kimyasal yapısını değiştirdiğinden, korunma durumunu da etkilemektedir. Yine de

insanların sualtı seramik kültür varlıkları üzerine olan dolaylı etkileri, henüz net olarak bilinmemekte, bu alanda araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Martina, 2014: 28-29).

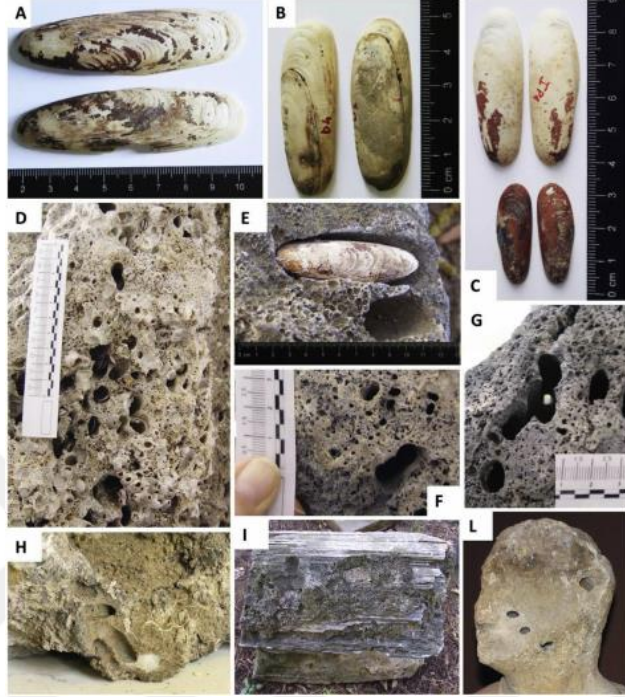
Resim 3.16: Seramik üzerinde birikim oluşturan alg ve denizel canlı kalıntıları.



Kaynak: Bekič, 2011: 29.

Makro ve mikroorganizmalar, malzemenin üzerinde tutunmaya çalışırken yüzeyi parçalayıp, tüneller açarak ilerlemektedir. Biyolojik faaliyetleri sırasında salgıladıkları enzimler, özellikle kalkerli kayaçların çözünmesine neden olmaktadır. Taş yüzeyinde biyolojik aktivasyon nedeniyle oluşan bozulmalar, yüzeydeki işleme izi, bezemeler gibi bilgilerin yok olmasına neden olmaktadır (Ricca ve La Russa, 2020). Sualtındaki taş kültür varlıklarında, yüzeyi kaplayan biyofilm; estetik sorunlar ortaya çıkartmakta ve zamanla kültür varlığının orijinal formunu yok etmektedir. Buna rağmen biyofilm; mikrobiyolojik bozulma unsurlarının yüzeye tutunmasına da engel olarak koruyucu bir katman oluşturabilmektedir (Resim 3.17). Biyofilmin koruyuculuk özelliğinin oluşması için objenin sediment altına gömülü olması gerekmektedir. Açık denize maruz kalan taş kültür varlıklarında biyofilmin koruyuculuk özelliği oluşmamaktadır (Cámara v.d., 2017).

Resim 3.17: Kabuklu deniz canlılarının, taş mimari yapı elemanlarında oluşturduğu bozulmalar.



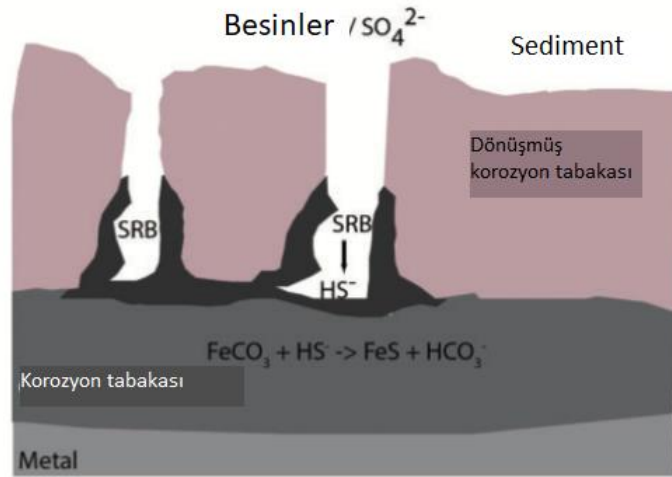
Kaynak: Ricci v.d., 2015: 92.

Resim 3.17’de (A), (B) ve (C)’de kabuklu deniz canlılarından örnekler görülmektedir. (D), (E), (F), (G), (H)’de ise kabuklu deniz canlılarının taşta yarattığı bozulmalar verilmektedir. Görsellerde gözenekli doku dikkat çekmektedir. (I)’da mimari yapı bloğu, (L)’de ise heykel büstünde biyolojik bozulma örneği sunulmaktadır.

Metal kültür varlıklarının yüzeyinde biriken kalkerli kabuk tabakaları da taşlarda olduğu gibi metal ve su arasında bir koruma katmanı oluşturarak korozyonun ilerlemesini engellemektedir. Bazı durumlarda, kabuk tabakası altında korozyon devam etse de bu tabakanın, obje yüzeyindeki asidik ve bazik bölgeleri birbirinden ayırması sayesinde korozyon yavaşlamaktadır. Bu tür kültür varlıklarında korozyonun devam etmesinin nedeni çoğunlukla sülfat indirgeyici bakterilerdir (Şekil 3.8) (Bathencourt v.d., 2018: 110-112). Sülfat indirgeyici bakterilerin metalde etkili olabilmesi için metalin; anaerobik bir ortamda bulunması ve metal yüzeyinin kalın bir denizel biyofilm ile kaplı olması gerekmektedir. Anaerobik sülfat indirgeyici

bakterilerin varlığı; suda çözünmüş oksijen oranının düşük ve besin olarak kullanılabilir organik kaynağın varlığına bağlıdır. Normal şartlarda, sülfat indirgeyici bakterilerin besin kaynakları, akıntılar ile taşınmaktadır. Bu nedenle sülfat indirgeyici bakteriler tarafından oluşturulan korozyon; sedimentin altına daha az gömülmüş, denizel etkiye yakın metallerde görülmektedir. 50 cm'den daha derine gömülmüş metallerde, besin kaynağı olmayacağından canlıların aktivasyonu da sınırlanmaktadır. Batık alanlarında derine gömülme olsa da bakterinin ihtiyaç duyduğu besin, batık gövdesini oluşturan ahşaptan sağlanmaktadır. Böyle bir ortamda, yeniden gömme gibi *In situ* koruma uygulamalarında bile sülfat indirgeyici bakteriler metalin korozyonunda etkili olabilmektedir (Florian, 1987: 75-76). Batık alanında, metal ile ahşap kültür varlıklarının temas halinde olduğu durumlarda (Resim 3.18), sülfat bakterilerinin korozyonda etkili olup olmadığının belirlenmesi için analizlerin yapılması önem taşımaktadır.

Şekil 3.8: Sülfat indirgeyici bakterilerin metal yüzeyinde yarattığı korozyon.



Kaynak: Dillmann v.d., 2014: 570.

Resim 3.18: *Tantura F* Batığında bulunmuş, ahşap gövdeye hala bağlı olan demir çapanın *In situ* görüntüsü.



Kaynak: Eliyahu v.d., 2011: 235.

Bakır kültür varlıkları, demir kültür varlıklarına göre korozyon sırasında hacimsel olarak büyük değişimlere uğramamaktadır. Bu nedenle de bakır alaşımı kültür varlıklarında, metal ileri derecede korozyona uğramış olsa dahi obje tanımlanabilir. Objeye yüzeyinde denizel mikroorganizmaların birikimi ile oluşan kalıntılar; bakır ile deniz arasında demirde olduğu gibi fiziksel bir koruma tabakası ortaya çıkartmaktadır. Bu tabakalar genellikle düşük pH ve yüksek miktarda Cl^- içeriğine sahiptir. Onarım sırasında yüzeyden kaldırılan kabuk tabakası, çoğunlukla bakır alaşımı objelerde, orijinal patina katmanının korunmasını da sağlamaktadır (Resim 3.19) (North ve MacLeod, 2007: 76).

Resim 3.19: Bakır bir heykel büstü üzerindeki biyolojik birikimin, koruma onarım çalışmaları sırasında aşamalı olarak temizlenmesi.



Kaynak: Bekič, 2011: 54.

Mimari yapı elamanlarının bir parçası olan mozaikler, sualtında en fazla biyolojik bozulmalara maruz kalmaktadır. Tessellatumu oluşturan tesseralar farklı malzemelerden üretilmektedir. Bu nedenle de mozaik yüzeyinde oluşan biyofilm, bölgesel olarak farklı kalınlıkta olmaktadır. Örneğin; kalker içeren mermerden üretilmiş tesseralarda, makro ve mikroorganizmalar daha kolay yerleşmekte ve heterojen bir biyofilm oluşturmaktadır. Yeşil algler, mantarlar ve likenler, üzeri sediment ile kapalı olmayan mozaiklerde en sık karşılaşılan mikrobiyolojik bozulma unsurlarıdır. Mozaik tesseraları üzerinde oluşan bu biyofilm, tesseranın malzemesine göre yukarıda bahsedilmiş olan bozulmaları ortaya çıkartmaktadır (Resim 3.20) (Ricci v.d., 2016: 418-421).

Resim 3.20: *Baiae* batık kentinden bir mozaik üzerindeki biyofilm.



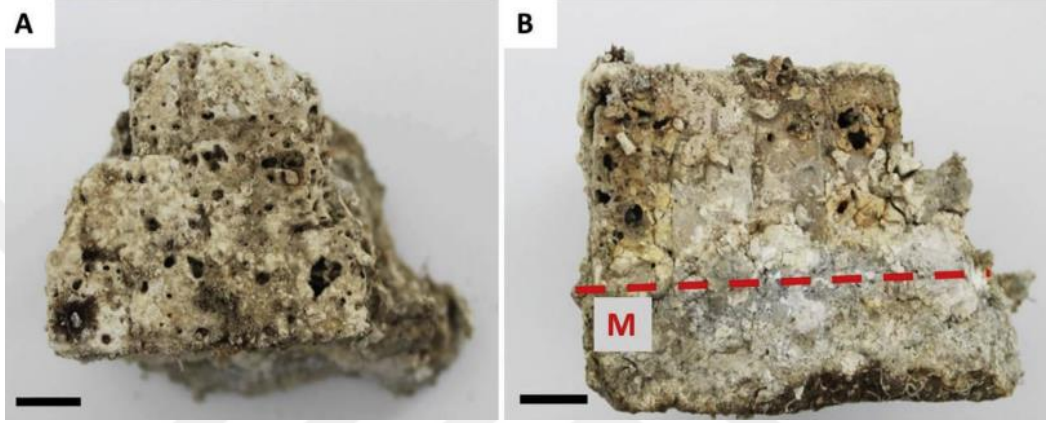
Kaynak: Ricci v.d., 2016: 421.

Baiae Antik Kenti mozaik kalıntıları üzerinde 2015 yılında yapılan bir çalışmada sualtında bulunan tesseralar üzerinde etkili olan yeni bir canlı türü tespit edilmiştir. Bentik¹⁵ bir deniz solucanı türü olan *Aspidosiphon Muelleri*, kireçtaşından tesseraların gözeneklerine yerleşerek, çıplak gözle kolaylıkla görülebilen bozulmalar yaratmaktadır (Resim 3.21). Canlının tesseraların içerisine kadar girebilmiş olması, iki farklı biçimde açıklanmıştır. Bunlardan birincisi; canlının taşlarda doğal olarak var olan boşluklara yerleşmesi, ikincisi ise kolonizasyon sırasında kireç taşı

¹⁵ Ayrıntılı bilgi için bkz: 2.5 Sualtı Ortamının Ekolojik Özellikleri ve 2.6 *İn situ* Korumada Önemli Olan Denizel Ekosistemin Biyolojik Unsurları

biyoerozyona maruz bırakarak yeni boşluklar oluşturmaktadır. *Aspidosiphon Muelleri*'nin daha önce onarımı yapılmış ve *in situ* koruma altında bulunan bir mozaik parçasında varlığının tespit edilmesi; *in situ* koruma uygulamalarında düzenli gözlem ve analizin önemini ortaya koymaktadır (Antonelli v.d., 2015).

Resim 3.21: *Aspidosiphon Muelleri*'nin mozaik parçası üzerinde yarattığı tahribat.



Kaynak: Antonelli v.d., 2015: 135.

Resim 3.21'de (A)'da tesseraların yukarıdan görünüşü, (B)'de mozaik katmanının kesit görüntüsü verilmektedir. Kırmızı çizgi harç tabakasının başladığı bölgeyi işaret etmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SUALTI KÜLTÜR VARLIKLARININ *IN SITU*

KORUMASI KONUSUNDA PLANLANMIŞ PROJELER

4.1 Sualtı Kültür Varlıklarının *In situ* Belgelenmesi ve 3D Taranmasına Yönelik Projeler

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* korumasında, kültür varlıklarının çokluğu nedeniyle bazen doğrudan müdahale olmadan da koruma çalışmaları yapılabilmektedir. Yerinde koruma (*In situ Preservation*) yöntemi; sualtı kültür varlıklarının üzerinde herhangi bir etkin koruma yöntemi olmaksızın, belgeleme uygulamaları ile gözlenmeleri esasına dayanmaktadır. Bu yöntem; sualtı sit alanının çevresel faktörlere bağlı olarak dalışın mümkün olmadığı, kazı çalışmalarının çok maliyetli ve uzun zaman gerektirdiği ve de bölgeki kalıntıların geniş alanlara yayıldığı durumlarda tercih edilmektedir. Yöntemde; sualtı kültür varlıklarının ayrıntılı çizimleri, 3D taramaları ve sanal modellemelerini içeren belgeleme yapılmaktadır. Oluşturulan modellemeler, genellikle müzelerle paylaşmakta ya da internet erişimine açık hale getirilmektedir. Böylece; kamu bilincinin arttırılması ve ziyaretçilerin, belgeleme yapılan bölgenin antik dönemde nasıl olduğunu anlaması sağlanmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte VR (*Virtual Reality*) gibi uygulamaların kullanılması yoluyla ziyaretçilere farklı deneyimler sunulmaktadır.

Bu bölümde, sualtı kültür varlıklarının dijitalleştirilmesi amacıyla yürütülmüş uluslararası projeler incelenmiştir. Örnek olay olarak sunulan projeler, kullandıkları yöntemlerin farklı çevresel şartlara uygun olması, maliyet açısından ucuz olması ve Türkiye’de sualtı kazılarına uyarlanabilir olması nedenleriyle belirlenmiştir. Seçilen örnek olayların bir tanesi Türkiye’de, beş tanesi ise yurtdışında yürütülmüştür (Tablo 4.1).

4.1.1 MUSAS Projesi

Projenin isim açılımı ‘*MUsei di Archaeologi Subacquea Tutela*’ dır (Sualtı Arkeolojisi ve Koruma Müzesi). 2017 yılından itibaren aktif olan projede; İtalya’nın güneyindeki sualtında kalan antik kentlerde bulunan sualtı kültür varlıkları modern teknolojiler kullanılarak belgelenmektedir. Başkanlığını Barbara Davidde’nin üstlendiği projenin ana amaçlarından biri; sualtı kültür varlıklarının sergilendiği sanal müzeler yaratmaktır. Projede; *Baiae* Antik Kenti, *Egnatia* Limanı ve Kaulonia_Antik Kenti’nin mimari kalıntıları 3D olarak taranmıştır. *Baiae*’deki İmparator *Cladius* Sarayının mimari kalıntıları ve içindeki heykeller, *Egnatia* Roma Dönemi liman kalıntısı ve Kaulonia’daki Dorik tapınak kalıntısı, üzerinde çalışılan ilk alanlardır (Resim 4.1). Seçilen bölgelerin 3D taramalarıyla elde edilen modellemeler, sanal gerçeklik programları ile ziyaretçilerle paylaşılmaktadır. Sanal gerçeklik deneyiminden daha fazla verim alınabilmesi için alandaki sütunlar, heykeller ve yapı kalıntılarının bilgilerini içeren tanıtım kartları oluşturulmuştur. Bu tanıtım kartları ile ziyaretçilerin hem müzede fiziki olarak hem de kişisel elektronik cihazlarından, sanal gerçeklik deneyimi sırasında gözlemledikleri kültür varlıkları ile ilgili arkeolojik bilgilere ulaşması sağlanmıştır. *MUSAS* Projesinin sualtı kültür varlıklarının yerinde korunması için planlanmış diğer projelerden ayrılan yönü; seçilen sit alanında yapılan 3D taramaların ve tanıtım kartlarının, internet üzerinden erişime açılmasıdır. Proje çıktıları ‘www.progettomusas.eu’ adresinden takip edilebilmektedir. (Davidde Petriaggi v.d., 2019).

MUSAS Projesinde tarama yapılan bölgeye yerleştirilen ve düzenli olarak görüntü kaydeden sensörler ile kültür varlıkları sürekli gözlem altında tutulmuştur. Bölgenin kayıt altına alınması, sportif amaçlı dalış faaliyetleri sırasında oluşan insani risk faktörlerinin engellenmesi için bir önlem olarak kullanılmıştır. Böylece, alanın tümünün dalış turizmine açılması mümkün olmuştur (Davidde Petriaggi v.d., 2020).

3D modellemeler ve taramalar yapılırken, daha net ve doğru verilerin elde edilebilmesi için *in situ* çekilen fotoğraflar üzerinde bazı düzeltmeler yapılmıştır. Örneğin; suyun türbiditesinin yüksek olmasından kaynaklanan renk hataları ve veri kayıpları, fotoğraflar üzerinde yapılan değişikliklerle düzeltilmiştir. 3D modelleme

yapılırken öncelikle; heykeller, sütun kaideleri gibi ayrıntılı belgeleme isteyen kültür varlıkları tek başlarına fotogrametri ile modellenmiştir. Sonra da alanın jeolojik yapısının taranması ile elde edilen görüntülerle, kültür varlıklarının taramaları birleştirilmiştir. Böylece, çok fazla ayrıntı içeren kültür varlıklarının doğru konumlandırılması sağlanmıştır (Bruno v.d., 2019).

Resim 4.1: *Baiae* Antik Kentinde, mimari kalıntıların 3D tarama yöntemi kullanılarak oluşturulan sanal gerçeklik ve modelleme uygulamaları.



Kaynak: Davidde Petriaggi v.d., 2020: 1206.

4.1.2 VENUS Projesi

İsim açılımı; ‘*Virtual Exploration of Underwater Sites*’ (Sualtının Sanal Keşfi) olan VENUS projesinin amacı; sualtı kültürel mirasının 3D taranması için yeni teknikler ve teknolojik aletler geliştirilmesidir. Ayrıca, çalışma sahalarında yapılan 3D taramalar kullanılarak bir arşiv oluşturulması da hedeflenmiştir. Projenin bir diğer amacı; sualtı arkeolojik sit alanlarının, sanal gerçeklik uygulamaları ile kamu erişimine açılmasını sağlamaktır. AUV ve ROV kullanılarak elde edilen görüntüler, internet üzerinden paylaşılmış ve seçilmiş müzelerde de ziyaretçilere sunulmuştur (Resim 4.2). Projenin diğer *in situ* belgeleme çalışmalarından farkı; deniz tabanının da alanın bir parçası olarak kabul edilerek taranmış olmasıdır. Böylece; sualtı kültür mirası, içinde bulunduğu çevresel faktörlerle birlikte değerlendirilmiştir. Projenin çalışma sahası olarak; Akdeniz’in İspanya, Mısır, Yunanistan gibi pek çok kıyısında bulunan sualtı kültür varlıkları seçilmiştir (Haydar v.d., 2008).

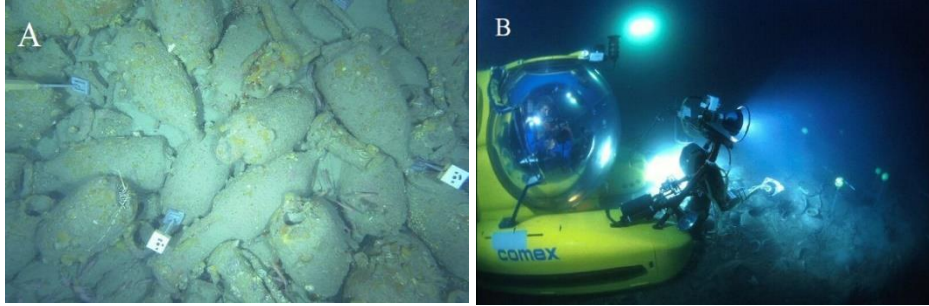
Resim 4.2: VENUS Projesi kapsamında oluşturulmuş sanal gerçeklik uygulaması.



Kaynak: Haydar v.d., 2008: s.y.

Projede, batık alanlarının belgelenmesinde, özellikle derin deniz dalışlarında insansız cihazlar kullanılmıştır. VENUS Projesinde; derin denizdeki kültür varlıklarının belgelenme taramaları AUV ve ROV kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlara bağlanan SSS gibi sensörlerin taramalarıyla elde edilen görüntüler, GIS gibi yer tespiti sağlayan cihazların verileri ile birleştirilmiştir (Resim 4.3) (Chapman v.d., 2006).

Resim 4.3: VENUS Projesi kapsamında belgelenmesi yapılmış iki Batığın görüntüleri.



Kaynak: Chapman v.d., 2006: s.y.

Resim 4.3'te, (A) Marsilya'daki *Calanque de Port Miou* Batığı seramiklerinin ROV ile çekilmiş fotoğrafı, (B)'de İspanya'daki *Grand Ribaud F* Batığının ROV ile yapılan inceleme çalışmaları sırasında çekilmiş fotoğrafı sunulmaktadır.

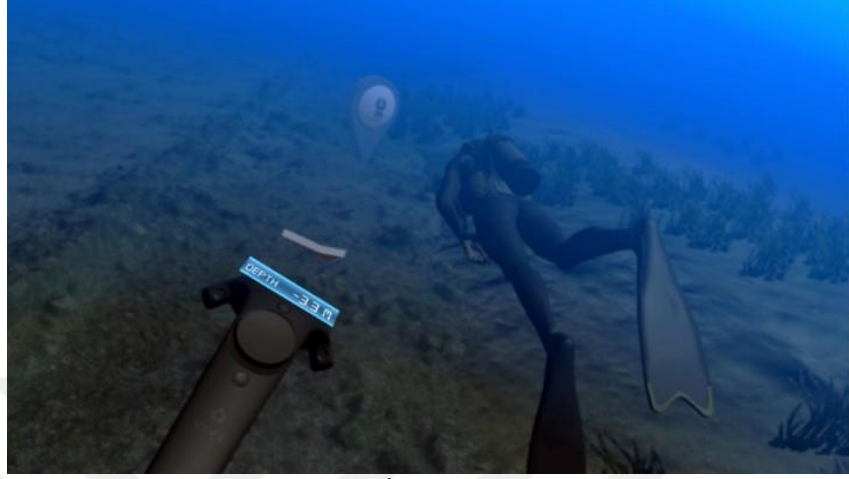
4.1.3 H2020 i-MARECULTURE Projesi

İsim açılımı '*Advanced VR, iMmersive Serious Games and Augmented Reality as Tools to Raise Awareness and Access to European Underwater CULTURAL Heritage*' (Avrupa Sualtı KÜLTÜREL Mirasına Erişimi ve Farkındalığı Artırma

Araçları Olarak Gelişmiş VR, Sürükleyici Ciddi Oyunlar ve Artırılmış Gerçeklik) olan projenin amaçları; Avrupa'nın sualtı kültür varlıkları konusunda kamu bilinci oluşturmak, farklı alanlardaki uzmanların deneyimlerini birbirleriyle paylaşmalarını sağlamak ve koruma uygulamalarındaki teknolojik gelişmeleri teşvik etmektir. *H2020 i-MARECULTURE* Projesi; sualtı kültür varlıklarının 3D modellenmesi ve sanal ortamda yeniden yapılandırılması için planlanan *VENUS* Projesinin bir sonraki adımudur. *Baiae* Antik Kenti ve *Mazatos* Batığı, proje için uygulama alanı olarak seçilmiştir. Seçilen alanların 1766 km²'lik bir kısmı ROV, AUV, SBP ve SSS kullanılarak taranmıştır. Bu taramalar kullanılarak, ziyaretçinin gemi kaptanı rolünü üstlenebileceği sanal gerçeklik oyunu yaratılmıştır. Yaratılan bu oyun sayesinde ziyaretçilerin; Roma ve Helenistik Dönemlerinde, İtalya ve Türkiye arasında kalan Akdeniz kıyılarında, deniz ticareti yollarını izlemesi sağlanmıştır (Bruno v.d., 2017). Projede ayrıca; sualtı kültür varlıklarının belgeleme ya da tarama uygulamaları sırasında, türbidite ve derinliğe bağlı ışık eksikliği gibi yanlış belgelemeye neden olan sorunların nötrlenmesi için de yöntemler geliştirilmiştir (Mangeruga v.d., 2018).

H2020 i-MARECULTURE Projesinin *VENUS* Projesinden farkı; oluşturulan sanal gerçeklik görüntülerinin, önceden belirlenmiş bir hikâyenin anlatılabilmesi için kurgulanmış olmasıdır. Oluşturulan kurgulardan biri; ziyaretçinin bir dalgıcın gözünden sualtındaki kalıntıları incelemesidir (Resim 4.4). Görüntülerin olabildiğince gerçeğe yakın olması için alandaki kültür varlıklarının 3D taramaları kullanılmıştır. Kullanıcının deneyimi sırasında; alanda gezinirken hızı ayarlayabilmesi, 360 ° gözlem yapabilmesi, kendi önünde hareket eden bir dalgıcı izlemesi gibi eklentiler deneyimin gerçekçi olması sağlamıştır. Proje kapsamında oluşturulan bir başka kurgu; *Baiae* Antik Kentinin kalıntılarından olan bir villanın taranması ve modellenmesi ile oluşturulmuş, şehrin reproduksiyonudur. Ziyaretçilerin kentin antik çağdaki halini; sokaklarını, dükkânlarını, mimari yapılarıdaki mozaikler, duvar resimleri gibi sanatsal yapı öğelerini inceleyerek gözlemlemesi, sanal gerçekliğe eklenen reproduksiyon ile mümkün olmuştur (Resim 4.5) (Scola v.d. 2020).

Resim 4.4: H2020 i-MARECULTURE Projesi kapsamında oluşturulan VR uygulama görüntüsü.



Kaynak: Šcola v.d. 2020: 6.

Resim 4.5: *Baiae* Antik Kentindeki bir villanın reproduksiyonu ile oluşturulmuş sanal gerçeklik görüntüleri.



Kaynak: Šcola v.d. 2020: 7.

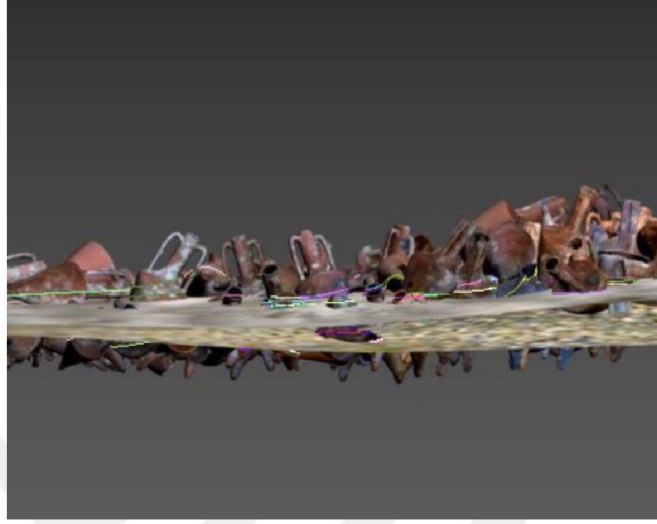
4.1.4 Mazatos Batığı Kazısı

Güney Kıbrıs'ta bulunan *Mazotos* Batığı; 2007 yılından itibaren Kıbrıs Üniversitesi Denizel Arkeoloji Araştırma Laboratuvarı (*Maritime Archaeological Research Laboratory [MARELab]*) ekibi tarafından incelenmektedir. Kazı çalışmaları günümüzde devam etmektedir. 3D taramalar ve foto mozaik, Batığın *İn situ* belgelenmesi amacıyla kazı sırasında kullanılmıştır. Kazı sırasında; batığa ait seramiklerin yüzeyinde, makro alg tabakası, yeşil algler, süngerler, kalker birikimleri

gözlenmiştir. Batıktan çıkartılıp kargonun modellenmesi için kullanılan bir amfora, Kıbrıs'taki Larnaka Arkeoloji Müzesi'nde (*Archaeological Museum in Larnaca*) sergilenmektedir. Batık alanının modellenmesinde, seramiklerin sualtındaki konumları da dikkate alınmıştır. Gemilerin kargolarını oluşturan amforalar; deniz tabanında sedimentin farklı konumlarda bulunmaktadır. Örneğin; amforaların sediment tabakası altında kalan kısımları anoksik ortamda iken sediment üstünde kalan kısımları oksik ortama maruz kalmaktadır. Bu nedenle; bu iki kısımda oluşan bozulmalar farklılık göstermektedir. Amforalar; deniz tabanındaki konumuna göre dikey düzlemde farklı çevresel faktörlere maruz kaldığından, deniz tabanındaki konumlarının incelenmesi ile gelecekte oluşacak bozulmalar tahmin edilebilmektedir. Bu da koruma uzmanlarına *in situ* koruma yönteminin seçmesi için önem taşıyan veriler sağlamaktadır. *Mazatos* Batığından çıkartılarak modellenmiş tek amfora kullanılarak, kargonun deniz tabanına yerleştirilmesiyle; alandaki etkili olan çevresel faktörlerin, amforalar üzerindeki muhtemel etkisi tahmin edilmiştir (Secci v.d., 2021).

Mazatos Batığı üzerinde etkili olan; fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler ile bunların kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin incelenmesi için “*The LS Project*” (LS Projesi) adlı bir alt proje planlanmıştır. Projenin temel amacı; alanda etkili olan bozulma faktörlerinin belgelenmesidir. Belgeleme için deniz tabanının taraması ile alandaki kültür varlıklarının 3D taramaları birleştirilmiştir. Bu sayede koruma uzmanının; batık alanında fiziksel olarak bulunamasa da Batığı bir bütün olarak algılaması kolaylaşmıştır (Resim 4.6). Amforaların yüzeyinde biriken biyofilmin belgelenmesi; çevre şartlarının kültür varlıkları üzerindeki etkisinin somut bir kanıtı olduğu için bu katman 3D modellemeler ile ayrıntılı belgelenmiştir. Projenin diğer projelerden farkı ise batık üzerinde etkili olan ortam şartlarının belgelemedeki hata payını minimuma indirmiş olmasıdır. Örneğin; yarı yarıya gömülü olan kültür varlıklarındaki oksik/anoksik/redox bölgelerinin değişimi, akıntılara bağlı olarak oluşan sediment hareketleri, biyolojik aktivasyonun yoğun olduğu bölgeler gibi farklı parametreler belgelenebilmiştir (Secci v.d., 2021).

Resim 4.6: *Mazatos* Batığı seramiklerinin LS Projesi kapsamında yapılan 3D belgelenme örneği.



Kaynak: Secci v.d., 2021: 9.

Resim 4.6’da LS Projesi kapsamında yapılan 3D belgelenme yöntemi ile amforaların sediment tabakası üzerinde ve altında kalan kısımları ve aynı zamanda birbirleriyle bağlantıları gözlemlenebilmektedir.

4.1.5 VISAS Projesi

İsim açılımı ‘*Virtual and Augmented Exploitation of Submerged Archaeological Sites*’ (Batık Arkeolojik Alanların Sanal ve Arttırılmış Görüntüsü) olan proje; 2014 ve 2016 yılları arasında, İtalya Eğitim, Üniversite ve Araştırma Bakanlığının mali desteği ile yürütülmüştür. Projenin amacı; sualtı arkeolojik sit alanlarında ziyaretçilerin alana dalmalarına gerek kalmadan deneyim kazanmalarını sağlamaktır. Projenin çalışma planı; sualtında bulunan arkeolojik verilerin, dalgıçların ve insansız araçların, görsel ve akustik taramaları ile 3D modellenmesi ve VR gözlükler ile ziyaretçilere sunulmasıdır. Uygulama alanı olarak; İtalya Calabria’nın doğu kıyısında bulunan *Punta Scifo D* Batığı kullanılmıştır. 1986 yılında bulunan bu batık, 7 m derinliktedir. Batığın ahşap gövdesi sediment erozyonu sonucu biyolojik risk faktörlerinin etkinliği nedeniyle tamamen yok olmuştur. Geminin kargosundan kalanlar üzerinde yapılan analizler ile kalıntıların; Marmara Denizi kıyılarından yola

çıkılmış gemiye ait olduğu tespit edilmiştir (Bruno v.d., 2016b). Projenin uygulanışı ve çıktılarıyla ilgili verilere; "<http://visas-project.eu/en/>" adresinden ulaşılabilmektedir.

VISAS Projesi kapsamında *Cala Minolla* ticaret gemisi amforalarının 3D olarak taramaları; yasal olarak koruma altında olmayan, sportif amaçlı dalışların yapılabildiği insan etkisine açık bölgelerdeki sualtı kültür varlıklarının, yerinde koruma yöntemi (*in situ protection*) ile korunmasına örnek olarak gösterilebilmektedir. Seramik kültür varlıkları; organik ya da metal kültür varlıklarına kıyasla sualtında daha iyi korunmuş bulunmaktadır. Bu malzemeler, arkeologlar tarafından batık alanlarının tespiti için kullanıldıkları ve *ex situ* onarım sonrası depolamada çok fazla yer kapladıklarından yerinde koruma yöntemi tercih edilmektedir. 1970'li yıllarda keşfedilen *Cala Minolla* Batığı üzerinde koruyucu özellik oluşturan doğal deniz çimi matı bulunmuştur. Batık alanında yasal koruma planlamaları yapılmadığından, üzerindeki deniz çimi matı açılan bölgelerdeki amforalar; yıllar içerisinde tarihi eser kaçakçıları tarafından tahrip edilmiştir. Bu durumun engellenebilmesi için 2006 yılında alanda video kayıtları da alınmaya başlanmıştır. Alanın; dalışa yasak bölgede bulunmaması ve sertifikalı sportif dalgıçlar tarafından sıklıkla ziyaret edilmesi, çalışma ekibinin zorlanmasına neden olan unsurlardandır. Belgeleme sırasında; çözümlenmesi gereken bir diğer sorun ise Batığın geniş alana yayılmasından kaynaklı olarak, bölgesel olarak değişen türbidite ve parlaklıktır. Bu farklılık; taramada tek seferde geniş alanlar üzerinde çalışılmasını zorlaştırmaktadır. Gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesi için batık üzerinde bölgesel olarak farklı teknikler kullanılarak belgeleme yapılması gerektiğinden çalışma uzun sürmüştür. VISAS Projesinde; belgelenmesi olabildiğince gerçeğe yakın ve hızlı yapılabilmesi için alanın 3D taramasında akustik ve optik tarama yöntemlerini kullanmıştır (Resim 4.7). Ayrıca, alanın renklendirilmiş ve üç yönlü hareket ile incelenebilen bir modeli oluşturularak, sanal gerçeklik çalışması da gerçekleştirilmiştir. Söz konusu taramalar, '*Mirabilia Maris: Treasures from the seas of Sicily*' (Mirabilia Maris: Sicilya Denizlerinde Bir Hazine) isimli sergi ile uluslararası müzelerde izleyiciye tanıtılmıştır (Bruno v.d., 2017).

Resim 4.7: *Cala Minolla* Batığının, çevresindeki sediment tabakasının 3D taraması.



Kaynak: Bruno v.d., 2017: 124.

4.1.6 Sinop D Batığı

Türkiye karasularında bulunan Sinop D Batığı; 2007 yılında COEAO (*Center for Ocean Exploration and Archaeological Oceanography at the University of Rhode Island- Rhode Island Üniversitesi'nde Okyanus Keşif ve Arkeolojik Oşinografi Merkezi*), IFE (*Institute for Exploration- Keşif Enstitüsü*), T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Ukrayna Kültür Bakanlıkları ortaklığıyla, Sinop yakınlarında tespit edilmiş, 2000'den fazla olduğu düşünülen, derin deniz batıklarından biridir. Derin deniz seviyesinde bulunan batıklarda; yüksek basınç nedeniyle insan dalışları mümkün olmadığından uzaktan kontrol edilebilen sualtı cihazları kullanılmaktadır. Sinop D Batığı Projesinin amacı; derin denizde bulunan ahşap gövdeli batıklarda *İn situ* koruma uygulamalarının nasıl olması gerektiğinin irdelenmesidir. Sinop D Batığı 325 m derinliktedir. Bu batığa ulaşmadan önce, 200 m derinlikte olan ve kil boyutundaki sedimentin üzerinde duran batıklara ait ahşaplarının, pelajik organizmalar¹⁶ tarafından neredeyse tamamen yok edildiği tespit edilmiştir. Biyolojik bozulmaların; derin denizde ışık, akıntı ve çözünmüş oksijen oranına bağlı olarak, gelişmiş biyolojik organizmalardan çok tek hücreli bakteriler tarafından oluşturulduğu belirlenmiştir. Projede Batığın, *in situ* koruması sırasında yapılan belgelemelerle deniz müzesi oluşturulması da hedeflemiştir. Bu amaçla; batığa ait bazı kültür varlıkları, reklam

¹⁶ Ayrıntılı bilgi için bkz: 2.5 Sualtı Ortamının Ekolojik Özellikleri ve 2.6 *İn situ* Korumada Önemli Olan Denizel Ekosistemin Biyolojik Unsurları

amacıyla batıktan çıkartılarak koruma onarım uygulamaları yapılmıştır. Bunun dışındaki tüm kültür varlıkları *in situ* bırakılmıştır. Batığı çevreleyen ortam şartlarının sürekli gözlenebilmesi için ise düzenli ölçüm yapabilen kayıt cihazları kullanılmıştır. Batığın çevresine ayrıca, görsel veri sağlayan kameralar da eklenerek hem batıktaki bozulmaların görsel tespiti hem de müze için veriler sağlanmıştır (Piechota v.d., 2010: 5-9).

4.1.5 MARS Projesi

Adını Antik Roma savaş tanrısından alan *Mars Gemisi*; 1564 yılında içindeki altın ve gümüş sikkeler, İsveç-Alman mürettebatıyla birlikte, bir savaş sırasında batmıştır. 2011 yılında keşfedilen batık, Avrupa'nın önemli kültür miraslarından birisi olarak kabul edilmektedir. *MARS Projesi*; gönüllü olarak çalışan bir ekip tarafından yürütülmektedir. Projenin amaçları; geminin üretim teknolojisinin tespiti için belgeleme çalışmaları yapılması, batışına neden olan savaşın incelenmesi, kayıp olan parçaların tespit edilmesi, tarihi öneminin belirlenmesi, bulunan kültür varlıklarının sergilenmesi ve *In situ* analizlerin yapılabilmesi için yeni tahribatsız analiz ve arkeoloji yöntemlerinin geliştirilmesidir. Batığın ahşap gövdesi; düşük çözünmüş oksijen ve tuzluluk sayesinde iyi korunmuştur. Buna rağmen 75 m'de olan batık alanında çalışmak, tabandaki alg birikimi nedeniyle arkeologlar için zor olmuştur. Batıktan çıkartılarak analizi yapılan kültür varlıkları ve sedimentin *ex situ* analizi ile alanda yoğun galvanik korozyon olduğu tespit edilmiştir (<https://www.mars-project.org/the-project>, 22/05/2022).

Projenin *in situ* koruma açısından önemli çıktıları; yapılan ayrıntılı 3D görüntüleme ve foto mozaik çalışmalarıdır (Resim 4.8). Bölgede etkili olan yoğun alg birikimi ve Batığın deniz tabanındaki konumu itibarıyla karanlıkta kaldığı için fotogrametrik çalışmalarda net görüntüler elde edilememiştir. Batığın korunma durumunun, gerçeğe en yakın görüntülerle incelenebilmesi için 2011 yılında ROV kullanılarak video kayıtları alınmıştır. Yine ROV'a bağlanan akustik tarama sensörleri, deniz tabanının yapısını incelemek için kullanılmıştır. Batık alanında ulaşılabilen; geminin seren direği, omurgası, gemiye hala bağlı olan topları, kaplamaların birleştirme yöntemleri gibi geminin yapım teknolojisine ilişkin ayrıntılı

bilgiler Niklas Eriksson tarafından yapılan çizimler ile belgelenmiştir (Erikson ve Rönnby, 2017).

Resim 4.8: Mars Batığının fotomozaik görüntüsü.



Kaynak: Rönnby, 2019: 16 (Fotoğraf orijinali Tomaz Stachura: *Ocean Discovery*).

4.1.6 Türkiye Sualtı Kültür Mirası Sanal Müzesi: Kaş ARKEOPARK Pilot Projesi

TÜBİTAK 1001 destek programıyla desteklenen 107K133 numaralı proje, Başkent Üniversitesi, Kültür ve Sanat Araştırmaları Merkezi (BÜKSAM), Sualtı Araştırmaları Derneği (SAD) ve bazı kurum ve kuruluşlar tarafından yürütülmüştür. Projenin saha çalışmaları, 2007-2008 yıllarında Kaş-Kalkan bölgesinde yürütülmüştür. Proje sırasında; MÖ 14.yy Batığı olan Uluburun Gemisinin panoramik ve fotomozaik görüntüler ile oluşturulmuş modellemesi, sanal ortamda ziyarete sunulmuştur. Saha çalışmalarında bölgede bulunan diğer sualtı kültür varlıklarının da SSS ile taraması yapılmıştır. Böylece sadece Uluburun Batığının bulunduğu bölge değil Likya yolunun önemli bazı limanları etrafında bulunan sualtı kültür varlıklarının da yerinde korunması sağlanmıştır (Tekkök v.d., 2011).

Proje kapsamında inşa edilen, Uluburun Batığı rekonstrüksiyonunun sualtında bozulma süreçlerinin incelenmesi de projenin önemli çıktılarından (Resim 4.9). Orijinal batık gibi sedir ağacı kullanılarak yapılan rekonstrüksiyon, yılda iki kere

dalışlarla incelenmiştir. 2007 yılının yaz aylarında, geminin batırılışından bir yıl sonra yapılan ilk dalışta; gemide gözle görülür bir bozulma tespit edilmemiştir. 2008 yılında; özellikle *Teredo Navalis* saldırılarından kaynaklanan yoğun bozulmalar gözlenmiştir. 2010 yılında yapılan son dalışlarda; geminin kargosunu oluşturan ingotlar ve amforaların batış sırasında oldukları konumda bulundukları ve gözle görülür bozulmaların oluşmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; Batığın ahşapları neredeyse tamamen yok olmuştur. Bozulmaya neden olan temel faktörün *Teredo Navalis* olduğu da belirlenmiştir (Varinlioğlu, 2020).

Resim 4.9: Kaş Arkeopark Projesi kapsamında bozulma süreçleri kayıt altına alınan Uluburun Batığı reproduksiyonunun yıllar içindeki değişimi.



Kaynak: Varinlioğlu, 2020: 81.

Kaş Arkeopark Projesi boyunca; Uluburun replikasının üretimi, batırılması ve kültür varlıklarının sualtında bozulma süreçlerinin incelenmesi amacıyla 3D belgeleme ve tarama yöntemleri kullanılmıştır. Bu nedenle de bu proje, orijinal kültür varlıklarının korunması üzerine çalışılmasa da sualtında belgeleme yöntemleri ve sergileme ile ilgili Türkiye örneği sunması nedeniyle önem taşımaktadır. Projede kullanılan yöntemlerin, arkeolojik veriye sahip alanlarda da denenerek, Türkiye’de

belgeleme çalışmalarının hızlı ve doğru yürütülebilmesi için tercih edilebileceği düşünülmektedir.

4.2 Fiziksel Bariyer Oluşturma ve Yeniden Gömme Yöntemi ile Korumaya Yönelik Projeler

Yeniden gömme ve fiziksel bariyer oluşturma yöntemleri; çevresel risk faktörlerine ve insan etkisine açık bölgelerde sualtı kültür varlıklarının korunmasına yönelik yürütülen projelerde kullanılmıştır. Bu projeler, sualtı kültür varlıklarını çevreleyen denizel ortamın yarattığı risk faktörlerini engellemek amacıyla planlanmıştır. Ayrıca bu yöntem ile sediment erozyonu nedeniyle açığa çıkarak insan etkisine maruz kalan bölgelerde, tarihi eser kaçakçılığı, sportif dalışlar ve balıkçılık etkinliklerinin yarattığı risk faktörleri engellenmektedir. Sediment tabakasını oluşturan tortulların; fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri çoğunlukla kültür varlıklarının bozulma süreçlerini yavaşlatmaktadır. Sediment tabakasının özellikle biyolojik risk faktörleri üzerindeki koruyuculuk özelliklerinin anlaşılmasıyla birlikte, sediment erozyonuna maruz kalarak üzeri açılan sualtı kültür varlıklarında yeniden gömme ve yapay bir fiziksel bariyer oluşturma yöntemleri projelerde kullanılmıştır. Görece yeni bir uygulama olan yöntemin, farklı iklim bölgeleri ve sediment yapısında, kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin anlaşılması için projeler planlanmıştır. Bu başlıkta; sualtı kültür varlıklarının, yeniden gömme ve fiziksel bariyer oluşturma yöntemi ile *in situ* koruması konusunda yapılmış projeler incelenmiştir.

4.2.1 RAAR Projesi

İsim açılımı '*Reburial and Analysis of Archaeological Remains*' (Arkeolojik Kalıntıların Analizi ve Yeniden Gömme) olan proje; sualtı kültür varlıklarının *in situ* korumasında kullanılan yeniden gömme yönteminin, farklı malzeme türünden kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için planlanmıştır. 1988-1989 yılları arasındaki *Mastrand* Projesi kapsamında belgelenen sualtı kültür varlıkları üzerine çalışılmıştır. Uluslararası bir ekip ile 50 yıl boyunca sürmesi planlanan bu proje, 2001 yılında aktif hale getirilmiştir. Projenin 2006 ve 2009 yıllarında yayınlanmış, uygulanma ve elde edilen verileri içeren ayrıntılı Faz 1 ve Faz 2 raporları da bulunmaktadır. Ayrıca 2012 yılında, 10 yıllık çalışmayı kapsayan ilk sonuç raporu

yayınlanmıştır. Projenin amacı; farklı malzeme türlerinde hem modern hem de arkeolojik objeler üzerinde yapılan analizlerle, bu malzemelerin sualtındaki bozulma nedenleri ve süreçlerinin incelenmesidir. Yeniden gömmenin bir acil durum uygulaması değil, uzun süreli depolamalarda etkin olup olmayacağı da cevap aranan sorulardandır (Godfrey v.d., 2012: 361-362; Bergstrand ve Nyström Godfrey (ed), 2006: 10-16).

Proje kapsamında öncelikle; bölgedeki su ve sediment, farklı malzeme türlerinden kültür varlıkları üzerindeki etkilerinin incelenmesi için analiz edilerek belgelenmiştir. 2012 yılından itibaren, projenin ikinci aşaması başlamıştır. Bu kapsamda; alana bırakılan modern malzemelerin bozulma süreçleri incelenmiştir. Böylece; önceden analiz edilerek belgelenmiş sualtı çevre koşullarının kültür varlıkları üzerindeki muhtemel etkisi gözlenebilmiştir. Projenin yayınlanmış raporlarında her malzeme türü ayrı ayrı ele alınmıştır. İlk malzeme; sualtı çevre şartların nedeniyle hızlı değişimler geçiren metaldir. Modern örnekler kullanılarak yapılan incelemelerde; bakır örnekte anoksik ortamda oluşan korozyon ürünü küprit olduğu belirlenmiştir. Oluşumu diğer korozyon ürünlerine göre daha uzun süre alan küprit tabakası; su ve sedimentte bulunan sülfat indirgeyici bakteriler ile birleşerek kimyasal reaksiyonlar oluşturmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda oluşan temel korozyon ürünü de kalkosittir. Döküm demirlerde; patina tabakasında bozulmalar olduğunda çukurlaşma korozyonu meydana gelmektedir. Bu korozyon da yine sülfat indirgeyici bakterilerin varlığında ortaya çıkmaktadır. Metallerde; 50 m'ye kadar olan yeniden gömme uygulamalarında korozyon, aerobik ortama bağlı olarak oksijen, su ve çözünmüş tuzlar nedeniyle oluşmaktadır. 50 m'den derin bölgelerde; sediment tabakasının oluşturduğu anaerobik ortam ile korozyon oranı hızla düşmektedir. Bakır kültür varlıklarında, daha çok koruyucu korozyon ürünleri (patina) ortaya çıkartırken; demir malzeme aktif korozyon ürünleri oluşturmaktadır. Sediment; oluşturduğu anoksik ortam ile korozyon hızında azalma yaratsa da organik içeriğine bağlı olarak sülfat indirgeyici bakterilerin varlığıyla korozyon hızını arttırmaktadır. Metalin sualtındaki bu karmaşık korozyon mekanizmasının anlaşılabilmesi için proje kapsamında; modern bakır, çinko, bronz, döküm demir, dövme demir ve çelik metal kuponlar örnek grubu olarak oluşturulmuştur. Bu örnekler; sedimente 50- 65 cm gömülü, sediment yüzeyinde ve

sedimentten 15- 30 cm yüksekte olacak şekilde deniz tabanına yerleştirilmiştir. Üç yıl süren gömü süresi boyunca metaller, fiziksel bozulma süreçlerinin gözlenebilmesi için sürekli fotoğraflanarak belgelenmiştir. Alana yerleştirilmelerinden bir yıl sonra metallerde; açık denize maruz kalanlarda, deniz suyunun Eh ve pH'ının yüksek olması nedeniyle, korozyonun daha yoğun olduğu belirlenmiştir. Bakır kuponlarda; oksidasyon başlamış ve yüzey hidroksiklorit patina ile kaplanmıştır. Bakır kupon örneklerde biyolojik bozulmalar da gözlenmiştir. Sedimente gömülü olanlarda ise anoksik korozyon süreci başlamıştır. Oluşan patina nantokit olarak tespit edilmiştir. Sedimente gömülü olan örneklerin, açık denize maruz kalanlara kıyasla daha dengede olduğu da belirtilmiştir. Sediment tabakasının hemen üstünde bulunanlarda ise birden fazla elektrokimyasal aktivasyon ve reaksiyona bağlı olarak, yoğun korozyon oluşumuna rastlanmıştır. Demir ürünlerinden oluşan örnekler; yoğun aktif korozyona maruz kalmıştır. Bu örneklerde; yüzeyde katmanlaşma şeklinde aktif korozyon tabakaları, hacim değişimi ve metalin içeriğinde yüksek sülfid birikimi tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; korozyonun bu kadar hızlı ilerlemiş olmasının nedeninin örneklerin alana yerleştirilmesinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Çünkü demir kuponlar, bakır teller ile sabitlenmiştir. Bu da galvanik korozyon oluşumunu destekleyerek demir örneklerin korozyon hızını arttırmıştır. Proje raporunda bu durum bir uygulama hatası olarak nitelendirilmiştir. Yine de arkeolojik alanlarda birden fazla tür metalin temas halinde olabileceği, dolayısıyla bu metaller arasındaki galvanik korozyona neden olan iyon alışverişinin, jeotekstil gibi malzemeler kullanılarak yavaşlatılması gerektiği belirtilmektedir. Metal kültür varlıklarının sualtındaki korozyonu; su ve sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, metalin türü ve yapım tekniğine, objelerin suya maruz kalma süresine göre değişmektedir. Bu nedenle; koruması planlanan alanın özelliklerinin doğru tespit edilmesi, metal kültür varlıklarının korozyon hızını düşürecek uygun koruma yönteminin seçimi açısından önem taşımaktadır. Yeniden gömme gibi bir yöntem seçilecekse; sedimentin organik içeriğinin tespiti mikrobiyolojik bozulmaların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Proje raporunda ayrıca; yapılan bu deneyin modern metaller kullanılarak planlandığı ve arkeolojik metallerin korozyon süreçlerinin daha karmaşık olduğu belirtilmektedir (Richards v.d., 2012)

Proje kapsamında incelenen diğ er malzeme grubu olan ahşap kültür varlıklarının yeniden gömme uygulamalarında; 50 m'den daha derin sedimentlerde çözünmüş oksijen, pH ve Eh 'ın düzenli olarak azalmasına bağlı olarak, ahşabın iyi korunduğu anlaşılmıştır. Anoksik ortam koşulları oluşması sağlanabilirse, 50 m'den daha derin sedimentlerde, mikrobiyolojik saldırılara bağlı olarak oluşan ağırlık kaybında da yavaşlama gözlenmektedir. Yumuşak   r kl k mantarı, tünel bakterisi ve erozyon bakterisi sedimente gömülü olan bütün ahşap türlerinde etkindir. 50 m'den daha derin sedimentlerde sadece erozyon bakterisinin aktivasyonu oluşmaktadır. Batık alanlarında modern ah aplar kullanılarak yapılan deneyler sonucunda; kum ve kil boyundaki tortul tabakaları ile yapılan yeniden gömmenin, çözünmüş oksijen ve su içeriği oranındaki azalmalara bağlı olarak iyi koruma sağladığı belirlenmi tır. Düşük   z nm   nitrojen içeren sedimentler, 50 m'ye kadar olan gömme uygulamalarında, yumuşak   r kl k mantarının ah aptaki etkinliğini azaltmaktadır (Curci, 2006: 24-25).

Ahşap harici organik kültür varlıklarından; keten, halat ve deri malzemeden üretilenler kısa süreli yeniden gömme yöntemiyle iyi korunmaktadır. Deri örneklerde; bitkisel tabaklanmış derilerde daha az bozulma görülmektedir. Fakat tüm örneklerde düzenli ağırlık kaybı g zlenmi tır. Bu durum, özellikle sedimente gömülü olmayan örneklerde daha yoğundur. Sert hayvan dokularından olan kemiğin, yeniden gömme uygulamasından sonra, görsel incelemede çok az değişim geçirdiği belirlenmi tır. Bununla birlikte kemik; çok yoğun kırılmalara maruz kalmış, boyutu k   lm   ve gözenekliliği artmıştır.  zeri jeotekstil ile kaplı olsun ya da olmasın, tüm iskeletsel malzemelerde ve deride, 82,8'den- %104,4'e varan oranlarda ağırlık kaybı meydana gelmi tır.     yıl süren yeniden gömme uygulaması sonrasında iskeletsel malzemede çıplak gözle bile ayırt edilebilen değişimler g zlenmi tır. Boynuz, yüksek kolajen içeriği ve gözenekliliği nedeniyle diğer örneklerden fazla bozulmaya uğramıştır. Özellikle  zeri örtülü olmayan boynuzlar; koyu bir renk, yüzeyinde kırıklar ve küçülme nedeniyle meydana gelmiş çatlaklar olu mu  bir şekilde bulunmuştur. Bazı örneklerde mikrobiyolojik bozulmalar nedeniyle nitrojen seviyesinde artış g r lm  tur.  zeri jeotekstil ile örtülü örneklerde bile yapıda gözeneklerinin artması

ve küçülme gözlemlendiğinden, bozulmanın mikrobiyolojik değil kimyasal hidroliz kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Turner-Walker, 2006b).

Uygulamadan bir yıl sonra incelenen tekstil örneklerinden yünün renginde ve yoğunluğunda değişimler olduğu belirlenmiştir. İki yıl sonra yapılan mikroskopik incelemelerde, sedimente gömülü olmayan ipek örneklerinin fibril yapısının bozulduğu, ağırlık kaybının çok az olduğu ve gömülü olan örneklerin daha sağlam kaldığı tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan ketenin diğer hammaddelere oranla daha yoğun bozulmaya maruz kaldığı saptanmıştır. Hem gömülü hem de gömülü olmayan örnekler bütünlüklerini kaybetmişlerdir. *In situ* korumada kullanılan ağ malzemeleri; uygulama sonrası üç yıl içinde biyofilm ile kaplanmış. Sedimente gömülü olmayan ağ örneklerde parça kayıpları olmuştur. Halat örneklerinde; bir yıl sonraki incelemelerde, halatın bükümünün açıldığı görülmüştür. Jeotekstil ile sarılan halatlarda, biyolojik bozulmalar daha az etkili olmuştur. Jeotekstilin ayrıca, halat lifleri arasına sediment tortullarının girmesini engellediği de tespit edilmiştir. Tekstil eserlerin bir yıl denizel sedimentte yeniden gömme sonrasında yoğun fiziksel değişimlere maruz kaldığı gözlenmiştir. Liflerin dayanıklılığının ve yoğunluğunun azalmasıyla, örneklerdeki dokuma parçalanmıştır. Bitkisel liflerden üretilen halatlarda ise üç yılın sonunda sağlam kalan lif ağırlığı %9,3 ile %13,1 arasındadır. Özellikle pamuk lifiyle üretilmiş halatlarda bükümlerin açılmasıyla, bir yıl içerisinde malzemenin %52'sinin tamamen yok olduğu görülmüştür. Bu incelemelerde; yeniden gömme uygulamalarının iskeletsel malzemeler, deri, tekstil, halat gibi organik malzemelerde önemli riskler ortaya çıkarttığı ve uzun süreli korumada bu risklerin istenilen düzeyde engellenemediği belirlenmiştir (Turner-Walker, 2006b).

Cam ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalarda, inceleme için hem modern örnekler hem de daha önce arkeolojik kazılardan çıkartılarak ıslak halde depolanan orijinal objeler kullanılmıştır. Örnekler; yeniden gömme uygulamasından önce, tahribatsız analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Kullanılacak olan 36 örnek; önce kilitli poşetler, ardından jeotekstil ile sarılarak, polietilen kasalara yerleştirilmiştir. Kasaların üstü de 50 cm sediment ile kapatılmıştır. Her yıl, örneklerden biri alandan alınıp musluk suyu ile üzerindeki sedimentten arındırılmıştır. Yeniden gömme uygulamasının cam üzerindeki etkilerini görmek amacıyla, bu örnekler tekrar analiz edilmiştir. Projenin

üç yıl süren test süreci sonunda; potas içeren camların çok yoğun bozulmaya maruz kaldığı belirlenmiştir. Paketleme malzemesi hem modern hem de orijinal cam örneklerde renk değişimine neden olmuştur. SEM ile bütün cam örneklerin yüzeyinde mikroorganizma aktivasyonunun başladığı tespit edilmiştir. Daha önceden bozulmuş ve yüzeyinde korozyon tabakası olan orijinal camlar, yüzeyi temiz olan camlara kıyasla daha sağlam durumdadır. Soda içeren camlarda, üç yıllık süreçteki bozulma; potas içeren camlara kıyasla çok daha büyük boyuttadır. Potaslı camın içeriğindeki sodyum oranının üç yıl içerisinde %25 azaldığı belirlenmiştir. Yeniden gömme sırasında kullanılan paketleme malzemesindeki farklılığa göre modern camlarda sodyum oranının azalmasında önemli bir değişim görülmemiştir. *Marstrand Quay* sit alanından alınmış olan arkeolojik renksiz camlar; üç yıllık süreçte mekanik etkilerle küçük parçalara ayrılmıştır. Camların yüzeyinde alkali bileşenlerin varlığına bağlı olarak değişebilen, bazı bölgelerde %50 ve daha fazla olabilen potasyum birikimi gözlenmiştir. Proje ekibi bu tepkiyi, camın yeniden gömme sırasında açıkça strese maruz kalması olarak betimlemektedir. Hem modern hem orijinal örneklerde camın kimyasal içeriği daha stabil olsa da yüzeydeki bozulma gözle görülebilir düzeydedir (Bohm v.d., 2006). Analizlerin sonucu; cam kültür varlıklarının *in situ* koruması için planlanan yeniden gömme yönteminin, cam örneklerde kısa sürede gözle görülür bozulmalar yaratması nedeniyle, etkili bir yöntem olmadığını ortaya koymaktadır.

RAAR projesi günümüzde hala aktiftir. Yeniden gömme uygulamasının uzun süreçlerde kültür varlıkları üzerindeki etkisi, projenin tamamlanması ile öğrenilebilecektir. Bununla birlikte; Türkiye karasuları gibi daha ılıman ve yoğun akıntılara maruz kalan bölgelerde yeniden gömme uygulamasının etkilerinin anlaşılabilmesi için benzer projelerin planlanması gerektiği düşünülmektedir.

4.2.2 Marstrand Projesi

Marstrand Projesi, İsveç'in batı kıyılarında bulunan geniş sualtı kültür varlığı kalıntıları üzerinde yoğunlaşmıştır. 1988-1989 yılları arasında limandaki kültür varlıklarının %85'ine yakın kısmı kazı çalışmaları ile çıkartılmış olsa da geride kalan arkeolojik verinin nicel çokluğu bir *in situ* koruma projesinin planlanması ihtiyacını doğurmuştur. Çalışmanın ana örnek grubunu 18. yy'a ait bir fırkateyn oluşturmuştur.

Batıktan geriye kalan kültür varlıkları, kazı sonrası bölgede yeniden gömme uygulaması ile korunmuştur. 2001 yılında uygulamanın sonuçlarının gözlenebilmesi için alandan bazı kültür varlıkları çıkartılarak incelenmiştir. Bu proje RAAR Projesi ile bağlantılı olarak planlanmış ve alandan elde edilen veriler söz konusu projenin sonuç raporunda kullanılmıştır¹⁷ (Gregory v.d., 2005: 9-10).

4.2.3 MoSS Projesi

MoSS projesinin kurucusu; Finlandiya Deniz Müzesi (*The Maritime Museum of Finland*)’dir. Proje; 2000 yılı Avrupa Kültür Komitesi (*European Community Culture*) tarafından desteklenmiştir. Projenin isim açılımı; ‘*Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage - Challenges for Cultural Resource Management*’ (Kuzey Avrupa Batık Alanlarını İzleme, Koruma ve Görselleştirme: Ortak Avrupa Kültürel Mirası - Kültürel Kaynak Yönetimi için Zorluklar) dır Projenin örnek grubu olarak seçilen; Hollanda, Almanya, İsviçre ve Finlandiya’da bulunan, tarihi öneme ve farklı üretim teknolojilerine sahip dört gemi Batığının en eski olanı MS 13.yy’a aittir. Batıklar; tatlı su (göl), tuzlu su (deniz) ve hafif tuzlu suda bulunmaktadır. Bu nedenle; her birinin çevresel şartları birbirinden farklıdır. Batıkların farklı çevre şartlarına maruz kalması hem stabil hem de stabil olmayan ortamlarda sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçlerinin incelenmesini mümkün kılmıştır. Batıkların insan etkisiyle değiştirilmemesi sayesinde, müdahale öncesi kültür varlıklarının bozulma seviyeleri ve nedenleri belgelenebilmiştir. Projenin üç ana hedefi bulunmaktadır. Bunlar; batıkların gözlenmesi, modellenmesi ve *in situ* korumasıdır¹⁸. Projenin koruma kısmında; özellikle batıklara ait ahşap gemi gövdesi kalıntıları üzerinde çalışılmıştır. (Tikkanen ve Alvik, 2004). Projenin uygulaması sırasında; sualtı kültür varlıklarının korumasında yapılan *in situ* analizlerde bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunlardan biri; denizel faktörlerin düzenli analizi için özel olarak üretilen kayıt cihazının, sualtı çevre koşullarında çok kısa sürede denizel organizmalar ile kaplanmasıdır. Buna bağlı olarak, kayıt cihazı ile alınan ilk ölçümler hatalı sonuç vermiştir. Ölçümlerin hatalı olduğu anlaşıldığında; cihaz sensörlerinin üzeri epoksi ile sarılmıştır. Böylece

¹⁷ Projenin çıktıları için bkz: 4.3.1 RAAR Projesi

¹⁸ Çalışma ekibi ‘*in situ* koruma’ terimi yerine ‘*safeguarding*’ terimini kullanmaktadır.

sensörlerin yüzeyinde denizel birikimin oluşması engellenmiştir. Bu düzeltmeye rağmen alınan ilk ölçümlerin hatalı olduğu, dolayısıyla yapılan ortalama hesabının da yanlış olabileceği göz önünde bulundurulmuştur¹⁹ (Gregory, 2004: 40-42).

MoSS Projesi kapsamında, fiziksel bariyer oluşturma yöntemi ile *in situ* koruması yapılmış batıklardan ilki; 17. yy'da işlevsel olan, Doğu Hindistan Şirketi tarafından kullanılan, *BZN 10 (Burgzand Noord 10)* Batığıdır. Kargo olarak ayrıca; ahşap kutular, üzüm ve küçük balık kalıntıları bulunmuştur. Batığın üzeri, batış sonrasında ince tanecikli tortullardan oluşan sediment ile kaplanmıştır. Sedimentin oluşturduğu anoksik ortam sayesinde *BZN 10*, alandaki diğer batıklar gibi iyi korunmuş durumdadır. Batığın üzeri, MoSS Projesinden önce, 6000 kadar üzeri sentetik ağ ile kapatılan kum torbaları kullanılmış ve geçici *in situ* koruma yapılmıştır. Daha sonra kum torbaları kaldırılarak sadece sentetik ağ ile koruma sürdürülmüştür. Alan üzerinde geçici koruma yapılmış olmasına rağmen, Batığın 6-9 m arasındaki derinliğe yayılmış olması ve alandaki sediment erozyonunun fazlalığı; Batığın üzerinin açılmasına ve sit alanında kontrolün zorlaşmasına neden olmuştur. Bu durum da deniz suyunun ve sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin batık üzerinde doğrudan etkili olmasına neden olmaktadır (Manders, 2002).

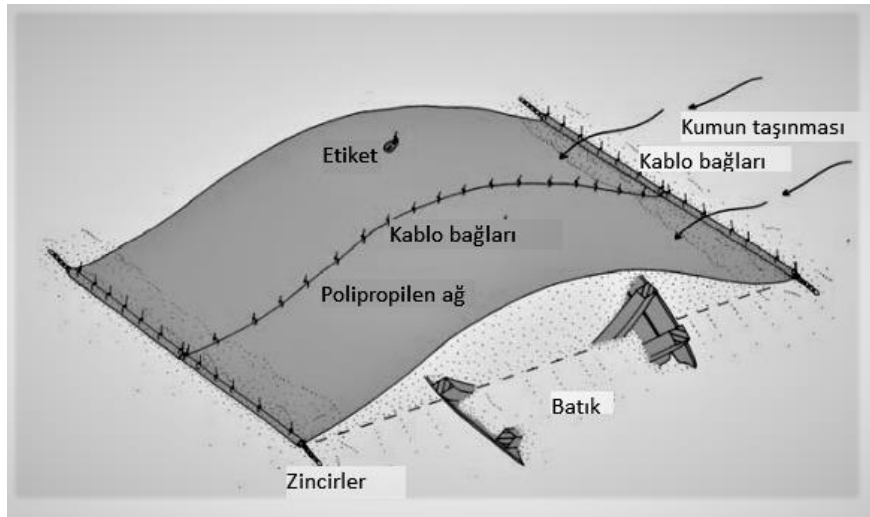
BZN 10 Batığı üzerindeki bozulmalara etki eden bir diğer unsur insan etkileridir. İnsani risk faktörünün engellenebilmesi, koruma planlamasının amaçlarından biridir. Koruma sırasında; sedimente gömülü ahşap kültür varlıklarındaki bozulmaların oluşum sürecinin tespiti için alana modern çam ağacı örnekler bırakılmıştır. MoSS Projesi kapsamında *BZN 10* Batığında %50 yoğunluktaki, rüzgâr siperi olarak bilinen polipropilen ağ ile yeniden gömme yöntemi uygulanmıştır (Resim 4.10). Ağ boyutu 5x2 mm olan hazır bulunabilen polipropilen ağlar, genellikle 2-3 m genişlik 50 m uzunluktaki rulolar olarak pazarlanmaktadır. Ağların sualtında sabitlenebilmesi için uygulama yapılacak alan üzerinde paslanmaz çelikten ızgara sistemleri kurulmuştur. Korunacak bölgenin çok geniş alana yayılması nedeniyle, iki ya da daha fazla sentetik ağ rulusunun birlikte kullanılması gereken

¹⁹ Söz konusu konu için bkz: 1.5.1 Sualtı Çevre Koşullarının Analizi

durumlarda birleşme; sentetik ağ parçalarının üst üste bindirilmesiyle sağlanmıştır. Üst üste gelen sentetik ağda geniş bir pay bırakılması ve kablo bağları ile önceden alana yerleştirilmiş ızgara sistemlerine sabitlenmiştir. Ayrıca; sentetik ağın sediment tuzağı olarak işlev görebilmesi için akıntıların etkisiyle alanın üzerinde serbest bir şekilde dalgalanmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle, yeterli miktarda sentetik ağ satın alınabilmesi için koruma uygulaması yapılacak alanın tam sınırlarında değil biraz dışarısında sabitlenmesi önerilmektedir (Manders, 2017: 123-125).

BZN 10 Batığında sentetik ağ, bütün alanı kapatacak fakat üzerinde gergin olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece; hareket eden sediment tabakaları ağ içerisine girerek çökelmiş ve batık üzerinde, koruyucu kalın bir tabaka oluşturmuştur. 2002 yılında alana yerleştirilen kayıt cihazı, düzenli olarak; redox potansiyeli, çözünmüş oksijen seviyesi, tuzluluk ve iletkenlik ölçümü yapmaktadır. Düzenli analizler sonucunda, uygulanan koruma yönteminin başarılı olduğu ve uygulama öncesine kıyasla bozulmalarda ilerleme olmadığı tespit edilmiştir (Manders, 2006).

Şekil 4.1: BZN 10 Batığı üzerinde uygulanan polipropilen ağ örtüsünün çizimi.



Kaynak: Manders, 2017: 122.

MoSS Projesi kapsamında *in situ* koruması yapılmış batıklardan bir diğeri, hafif tuzlu su kaynağında bulunan *Vrouw Maria* Batığıdır. 1771 yılında batan geminin kargosu, büyük ölçüde korunmuştur. Batık, 1999 yılında SSS kullanarak sualtı araştırmaları yapan bir grup dalgıç tarafından keşfedilmiştir. 41 m derinlikte bulunan

batık, hemen hemen bütün halde bulunduğu için bölgedeki diğer sit alanlarına kıyasla daha fazla arkeolojik öneme sahiptir. Batık derinde bulunması sayesinde insan etkisinden korunmuştur. 2001 yılında başlayan çalışmanın amaçları; Batığın ve çevre şartlarının gözlenmesi ile koruma ve onarım planlamalarının yapılmasıdır. 2002 yılındaki incelemelerde; deniz suyunun sıcaklığı, iletkenliği, tuzluluğu, çözülmüş oksijen seviyesi, pH'ı, türbiditesi ve Eh'ı ölçülmüştür. Yıl boyunca ölçüm alınacak şekilde Batığın çevresine yerleştirilen kayıt cihazları ile alınan ölçümler, yıl boyu göreceli olarak stabil ortam şartlarının sağlandığını göstermiştir (Resim 4.10). Aynı yıl bölgeye organik kültür varlıklarındaki bozulmaların incelenebilmesi için modern ahşap ve tekstil örnekleri de alana yerleştirilmiştir (Leino, Klemelä, 2003). *In situ* koruma öncesi yapılan bu analizlerde; Batığı çevreleyen bölgedeki deniz suyunun sıcaklığı en az -0,7 °C, en fazla 13 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca; koruma uygulaması öncesi alınan örneklerin analizlerinde, Batığın ahşaplarında herhangi bir mikrobiyolojik bozulmaya rastlanmamıştır (Alvik, 2004).

Resim 4.10: *Vrouw Maria* Batığının deniz suyu ölçümleri için kullanılan kayıt cihazları.



Kaynak: Leino ve Klemelä, 2003: 6.

MoSS Projesinin final raporunda; *Vrouw Maria* Batığının çevresine bırakılan modern ahşap örneklerin son durumları incelenmiştir. Örneklerin analizleri için X-Ray (Röntgen radiation- Röntgen radyasyonu), SEM ve ışık mikroskobu ile görüntüleme yöntemleri kullanılmıştır. İncelemeler, örnekler alana bırakıldıktan sonra üçüncü ay ve on ikinci ayda yapılmıştır. Modern örnekler, anaerobik ve aerobik bölgelere

bırakıldığından farklı bozularla karşılaşmıştır. Aerobik bölgede; modern ahşap örneklerde, üçüncü ayın sonunda mantar kolonizasyonu başladığı tespit edilmiştir. Kolonizasyonun yavaşlatılması için örnekler *Terram*²⁰ ile kaplanmıştır. 12 ay sonunda aynı örnekler üzerinde, çıplak gözle yapılan incelemelerde, mantar kolonizasyonunun yavaşladığı gözlenmiştir. Bununla birlikte SEM ve ışık mikroskobu ile on iki ayın sonunda yapılan analizlerde jeotekstil ile kaplanan örneklerde mantar aktivasyonunun devam ettiği görülmüştür. Örneklerin; su içeriği ve yoğunluk gibi fiziksel özelliklerinde ise büyük boyutlu değişim meydana gelmemiştir. Anaerobik ortamdaki örneklerde ise bakteri kolonizasyonu gözlenmiştir. Ahşapların yoğunluklarında beklenenin üzerinde bir azalma olmuştur. Proje ekibi; bu durumun temel nedeninin, *Vrouw Maria* sit alanındaki sediment tortullarının sert taneli olması ve örneklerin dikey yerleştirilememesi olduğunu belirtmektedir. Örneklerin deniz tabanına yerleştirilme pozisyonu, tümüyle anaerobik ortam oluşmasını engellemiştir (Palma, 2004: 13-15).

Vrouw Maria Batığının insan etkisine açık olmayan derinliktedir. Deniz suyunun ve sedimentin özellikleri sit alanının kısmen stabil olmasını sağlamıştır. Bu nedenle; *MoSS* Projesi kapsamında Batığın, yeniden gömme ile değil belgeleme ve düzenli gözlem yöntemleri ile korunmasına karar verilmiştir. Bu amaçla, batık üzerinde bazı deneysel belgeleme çalışmaları yürütülmüştür. Bunlardan biri; *AQUA-METRE D100* adı verilen, bir tür akustik yer belirleme sisteminin denenmesidir. Sistemin; kullanılabilir olması için deniz yüzeyinden en az 2,5 m derinlikte kurulmuş olması gerekmektedir. Cihazın üzerinde yeteri kadar su kütlesi olmadığında, akustik sinyallerin yansması ve ayrıntılı görüntüler elde edilmesi zorlaşmaktadır. Eğer çalışılan alan 5 m'den daha derinde değilse; sinyal yayıcı ve işaretleyici arasındaki mesafe 30 m'den daha fazla olmamalıdır. Sistemin karışık yapısı nedeniyle, 2001 yılında yapılan testlerde istenildiği kadar başarılı sonuçlar elde edilememiştir (Leino, 2003).

13. yy batığı olan *Drass Cog*; *MoSS* Projesi kapsamında koruması yapılmış batıklardan bir diğeridir. Batık; Baltık Denzinin güneyinde 750'den fazla sualtı kültür

²⁰ *Terram*: Bir jeotekstil markasıdır.

varlığı sit alanlarından birinde yer almaktadır. Geminin üretim tekniğindeki değişimler, dönemin sosyal ve kültürel yaşamını da ifade ettiğinden, tarihi önem taşımaktadır (Jöns, 2003). Batığın kazı öncesi belgelenebilmesi için yapılan; SSS, jeoradar ve sediment sonar taramaları ile çevresinde iki tane daha batık olduğu ve gövdenin çevresinde kargoya ait olduğu düşünülen kalıntılar bulunduğu tespit edilmiştir (Förster, 2003a). *Drass Cog* Batığı, Prerowstrom Nehri'nin, Baltık Denizi ile birleşen kısmında oluşmuş, küçük bir göl benzeri alanda bulunmaktadır. Bu nedenle akıntılara yoğun olarak maruz kalmaktadır. Yoğun akıntılar; sediment birikimi ve erozyonun bölgede sürekli bir değişim halinde olmasına neden olmaktadır (Jöns, 2003a). İnce taneli kum sediment ile kaplanmış olan batık, modern dönemde sportif amaçlı dalış ve balıkçılık faaliyetleri, bölgede etkili olan güçlü akıntılar ve su hareketleri nedeniyle koruyucu sediment örtüsünü kaybetmiştir. Sediment erozyonu nedeniyle Batığın üzerinin açılması; geminin ahşap gövdesi için bölgede etkili olan *Teredo Navalis* aktivasyonundan kaynaklı biyolojik bozulma riski ortaya çıkartmaktadır (Jöns, 2003b).

2001 yılında yapılan kazı ve belgeleme çalışmaları sonrasında; *Dras Cog* Batığı, *MoSS* Projesine dahil edilmiştir. Sit alanına bırakılan kayıt cihazları ile deniz suyunun özellikleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca; bölgedeki çevre şartlarının, geminin ahşap gövdesinin bozulma süreçlerine etkisinin incelenebilmesi için *Vrouw Maria* ve *BZN 10*'da olduğu gibi alana modern örnekler bırakılmıştır (Förster, 2003). Batık alanında, Aralık 2002- Ağustos 2003 arasında yapılan ölçümlerde; deniz suyunun sıcaklığı 2,8 °C ile 20,8 °C arasında ölçülmüştür. Bölgedeki çözünmüş tuz değerleri; hava sıcaklığının yüksek olduğu dönemlerde daha düşük ölçülmüştür. Yıl bazında çözünmüş tuz; ortalaması, ‰7- 23 arasındadır. Çözünmüş oksijen oranı ise 6-7 Mg/l olarak belirlenmiştir. Ortalama pH 5,5; Eh ise -250 mV ile -300 mV arasında değişmektedir (Gregory, 2004: 45-46.).

Dras Cog Batığında; *Vrouw Maria* Batığında olduğu gibi anaerobik ve aerobik ortam şartlarına yerleştirilen modern ahşap örnekler; X-Ray, SEM ve ışık mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Aerobik ortamda; beş ay sonra incelenen ahşap örneklerin tamamının; yosun, kabuklular ve midyeler tarafından biyolojik bozulmaya maruz kaldığı gözlenmiştir. Bu durumun engellenmesi için *Terram 500* ve *Terram*

4000 kullanılarak örnekler sarılarak kapatılmıştır. 12. ayın sonundaki incelemeler; *Terram 4000*'in; sadece ince kum tanelerini içerisine geçirerek, iyi koruma sağladığını ortaya çıkartmıştır. Yine de 12 ay sonunda SEM ile yapılan analizlerde; jeotekstil ile kaplanmış ya da kaplanmamış olsun, tüm ahşap örneklerde yakın seviyelerde bakteri kolonizasyonu gözlenmiştir. Bu durum; aerobik ortamda jeotekstilin mikrobiyolojik bozulmalara karşı yeterli koruma sağlayamadığını göstermektedir. Anaerobik ortamda ise örneklerin tamamında bakteri ve mantar kolonizasyonu gözlenmiştir. İki ortam koşulunda da örneklerin su içeriği ve yoğunluğu beklenenden daha düşük seviyelerde ölçülmüştür. Dolayısıyla jeotekstil ile yeniden gömme yönteminin, *Dras Cog* Batığı için uygun *In situ* koruma yöntemi olmadığı söylenebilmektedir (Palma, 2004: 16-22).

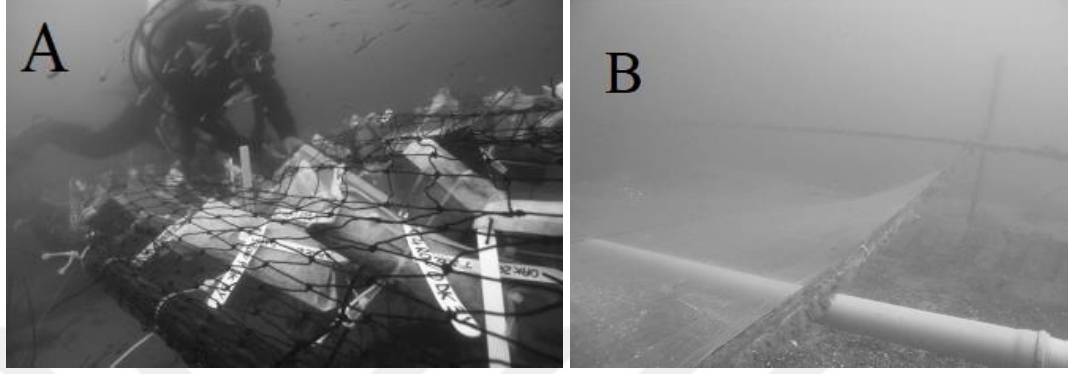
Dras Cog Batık alanındaki çevresel koşulların ölçümünde *BZN 10* Batığında da kullanılan, özel üretilen *EauxSys* kayıt cihazı tercih edilmiştir. Bu cihazın sensörlerinin, kısa sürede denizel canlıların kalıntılarıyla kaplanması nedeniyle, alınan ilk ölçümler hatalıdır. Bu nedenle; ortalama hesabının da yanlış olabileceği göz önünde bulundurulmuştur²¹. Alınan yıllık verilere göre alandaki deniz suyunun sıcaklığı; 2,8 °C ile 20,8 °C arasında değişmektedir. Çözünmüş tuz oranı, %7 ile 23 arasındadır. Çözünmüş oksijen oranı ortalama ise 12 mg/l'dir. Batık alanını çevreleyen sedimentin pH'ı 7,8 ila 8,1 arasındayken Eh'ı -250 ila -300 mV arasında olduğu belirlenmiştir. Bu da bölgedeki sedimentin güçlü yükseltgeyici özellik taşıdığını göstermektedir (Gregory, 2004: 44-46). Batığın üzerine bırakılan modern ve orijinal kültür varlıklarından alınan örneklerin tamamında, bakteri ve mantar aktivasyonu tespit edilmiştir. Anaerobik ortama bırakılan ahşap örneklerde, literatürde yayınlanmış olan diğer örneklerle kıyaslandığında daha az yoğunluk kaybı olduğu belirlenmiştir. 12 aylık test sürecinin sonunda, X-ray ile yapılan incelemelerde, jeotekstil ile sarılan örneklerde, *Teredo Navalis*'e ilişkin bir kalıntıya rastlanmamıştır. Sadece *Terram 500* ile kaplanan çam ağacı örneklerde gözle görülebilir beyaz noktalar tespit edilmiştir. Bu noktaların *Teredo Navalis*'e ait olup olmadığı kesinleşmemiştir fakat jeotekstilin bu kalıntıların örnek içine geçmesini engellediği söylenebilmektedir. Bununla birlikte; SEM analizlerinde, modern örneklerde *Teredo Navalis*'in larva aşamasındaki kolonizasyonu gözlenmiştir. Modern örnekler ile orijinal örnekler arasında oluşan bu

²¹ Ayrıntılı bilgi için bkz: 1.5.1 Sualtı Çevre Koşullarının Analizi

farklılığın nedeni; X-ray analizinde, gelişmemiş canlıların biyolojik saldırılarının ayırt edilememesidir. *Teredo Navalis*'in larva aşamasındaki hali ahşap örneklerde SEM analizi ile tanımlanamamıştır. Aerobik ortamda bırakılan modern örneklerde; deniz kabukluları ve algler gibi denizel organizmaların kolonizasyonu, çıplak gözle tespit edilebilmektedir. Beşinci ayın sonunda yapılan X-ray incelemelerinde; aerobik ortamdaki örneklerde de anaerobik ortamda olduğu kaynağı belirlenemeyen beyaz noktalar tespit edilmiştir. SEM analizlerinde ise ahşapların hücre yapısı sağlam kaldığı halde tüm örneklerde bakteri saldırılarının başladığı gözlenmiştir. Yumuşak çürüklük mantarı olduğu belirlenen mantar saldırıları ise ışık mikroskopu analizi ile belirlenmiştir (Palma, 2004: 16-21).

Dras Cog Batığının koruması için hem batık alanına bırakılan örneklerin durumu hem de bölgedeki sediment hareketliliği göz önünde bulundurularak, sentetik ağ ile yeniden gömme yöntemi tercih edilmiştir (Resim 4.11). Batık alanındaki sediment yapısının, *BZN 10* Batığındakine kıyasla daha ince taneli olması, sedimentin koruyuculuk özelliğini güçlendirmektedir. Sentetik ağ ile yeniden gömme uygulaması sonrasında; üç gün içinde batık alanındaki Eh seviyesinin, 400 mV'dan 36 mV'a düştüğü gözlenmiştir. Bu da bölgenin uygulama sonrasında kısa sürede aerobikten anaerobiğe geçiş yaptığını göstermektedir. Bölgede insan etkisine bağlı sediment erozyonu yoğun yaşanmaktadır. Sediment erozyonu, kullanılan fiziksel bariyer oluşturma yönteminin kısa sürede işlevini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle; Batığın sürekli gözlem altında tutulması ve gerekirse uygulamanın yenilenmesi gerekmektedir (Manders ve Lüth, 2004: 67-68).

Resim 4.11: (A) *Drass Cog* Batığının çevresel risk faktörlerinin değerlendirilmesi için alana bırakılan modern ve orijinal örnekler, (B) Batığın üzerine sentetik ağ ile fiziksel bariyer oluşturulması için yerleştirilen sistem.



Kaynak: (A) Förster, 2003b: 16; (B) Manders ve Lüth, 2004: 68.

MoSS Projesi kapsamında *in situ* koruması yapılmış son batık ise *Eric Nordevall* Batığıdır. Bu Batığın diğer batıklardan farkı; gövdesi ahşap kullanılarak üretilmiş, metal bir kazana sahip, buharla çalışan bir gemi olmasıdır. Batık; açık denizde değil, denizin karaya bağlandığı dar kanallarda, insan taşımacılığı için kullanılmıştır. Batık, İsveç endüstri devriminin önemli bir simgesi olarak kabul edilmektedir. 1856 yılında *Vättern* Gölünde batan gemi, bir tatlı su kaynağı içinde olduğundan, MoSS Projesi örneklerinden biri olarak seçilmiştir. 1976 yılında keşfedilmiş olan Batığın ilk arkeolojik kazı çalışmaları, 1985-1989 yılları arasında yürütülmüştür. Kazı sonrasında yapılan tartışmalar sonrasında, Batığın bölgede korunmasının mümkün olamayacağı bu nedenle de karaya çıkartılarak müzede sergilenmesi gerektiğine karar verilmiştir. 1996'da geminin karaya çıkartılmasına hazırlık için ölçümler yapılırsa da bu planlar gerçekleştirilememiştir. 2000 yılından itibaren Batığın *in situ* korumasına, önceden çıkartılmış taşınabilir kültür varlıklarının ise *ex situ* olarak müzede sergilenmesi için çalışmalara başlanmıştır. 2003 yılından itibaren, kazı ve sonrasında yapılan belgeleme çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak, geminin 1/1 ölçekli bir reproduksiyonu üretilmiştir. Geminin gövdesinin *in situ* korumasına karar verildiği için koruma planlaması öncesi alanda yapılan analizler; geminin ahşap kısımlarının bozulma seviyelerinde olası artışlar tahmin edilebilmektedir. *Eric Nordevall* Batığından bozulmalara bağlı olarak ayrılan ve kaybolma riski olan parçaların, gövdenin yakınlarında depolanması ve metalik

parçaların da katodik koruma yöntemi ile *in situ* koruma yapılmıştır (Cederlund (ed), 2003). Batık alanına bir kayıt cihazı bırakılmadığından, Batığın çevre koşullarındaki değişim bilinmemektedir. Batığın üzerinin koruyucu bir örtü ile kaplanmasının, balıkçı ağları gibi insan etkisine karşı koruma sayılabileceği fakat metalin korozyon sürecini yavaşlatmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle batık alanı üzerinde herhangi bir fiziksel bariyer oluşturma yöntemi uygulanmamıştır (Cederlund, 2004).

4.2.4 Avusturalya Batık Koruma Projesi (*The Clarence Batığı*)

The Clarence Batığı; 1881 yılında William Lowe tarafından inşa edilmiş ve 1950 yılında batmıştır. 1982 yılında yeniden bulunan gemide 5 yıl süreyle arkeolojik çalışmalar yürütülmüş ve kargosunun tamamı denizden çıkartılmıştır. Batığın ahşap gövdesinin bulunduğu bölge, 1995 yılında koruma alanı ilan edilmiş, sportif amaçlı dalışlara ve bot ile açılmalara yasaklanmıştır. Geminin ahşap gövdesi çok hassas olduğu için yeniden gömme tekniği kullanılarak *in situ* koruma altına alınmıştır. Ayrıca çıkarılan kültür varlıklarının depolanması ve sergilenmesi için yeterli maddi imkânlar oluşturulamadığından bunların, onarım işlemleri sonrası Batığın yanındaki bir alana yeniden gömülmesine karar verilmiştir. Yeniden gömülecek kültür varlıklarında oluşan yeni bozulmaların incelenebilmesi için depolama öncesi *X-ray* ile belgelenmeler yapılmıştır. Batık; GIS, 3D görüntüleme gibi yöntemlerle düzenli gözlem altında tutulmaktadır (<https://www.ahspp.org.au/>, 22/05/2022).

*The Clarence Batığı*nda bulunun inorganik kültür varlıkları; 50 m derinlikte, organik kültür varlıkları ise 10 m derinlikte yeniden gömülmüştür. Batığa ait, taşınabilir organik kültür varlıklarında bozulmaların önüne geçebilmek için yeniden gömme polietilen silindirik kasalar içinde yapılmıştır. Kazı sırasında açığa çıkan gemi gövdesini desteklemek için kullanılan kum torbaları da alanda bırakılmıştır. Yeniden gömme uygulaması için 2012 yılında tüm çalışmaların bitmesiyle; polipropilen ağlar alanı kaplayacak şekilde batık üzerine serilmiştir. Polipropilen ağ, akıntılarla batık üzerinden kalkmaması için akordeon şeklinde katlanmış ve batık çevresinde 250 adet kum torbası ile deniz tabanına sabitlenmiştir. Batığın üzerine de 1800 adet kum torbası yerleştirilmiştir. Böylece; polipropilen ağ üzerinde biriken sediment erozyona uğrasa bile Batığın üzerine konulan kum torbalarının, batıkta bulunan kültür varlıklarını

Çevresel Şartlara karşı koruması sağlanmıştır. Propilen ağın sabitlenmesi için kullanılan kum torbalarının da üzerine gelecek Şekilde, tüm Batığın zeri PVC brandalar ile kapatılmıştır (Resim 4.12). Bu brandalar birbirine kablo bağları ile sabitlenmiŐtır. PVC brandalar üzerine de alanda modern gemilerin demirlemesiyle ve akıntılar nedeniyle oluşabilecek bozulmaların önüne geçebilmek için en st tabaka olarak 1300 adet kum torbası daha eklenmiŐtır. 2014 yılında yapılan uygulamanın etkinliği incelenebilmiŐtır. İncelemeler sırasında; suyun ve sediment tabakasının fiziksel ve kimyasal özellikleri de analiz edilmiŐtır. Alana uygulama sırasında bırakılmış modern malzemeler analiz edilerek; evresel Şartların kültür varlıkları üzerindeki olası etkisi de gzlenmiŐtır. İncelemeler sonucunda; sedimente 0- 10 m arasında gömülmüş olan parçaların, daha derinde olanlara kıyasla daha fazla bozulduğu tespit edilmiŐtır. Bu durumun, alandan alınarak yeniden gömme sırasında kullanılan sediment tortullarının, yüksek gözenekli ve iri taneli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek gözenekli sediment; içerdiği yoğun çözünmüş oksijen nedeniyle, yeniden gömme yönteminde istenilen anaerobik ortamı sağlayamamıştır. alıŐmalar sonunda; kullanılan yeniden gömme yönteminin kısa süreli korumada yeterli olduğu fakat uzun süreli koruma planlamalarında, mevsimsel incelemenin gerekli olduğu belirtilmiŐtır (Richards v.d., 2016).

Resim 4.12: *The Clarence* Batığının yeniden gömme uygulama görüntüsü.



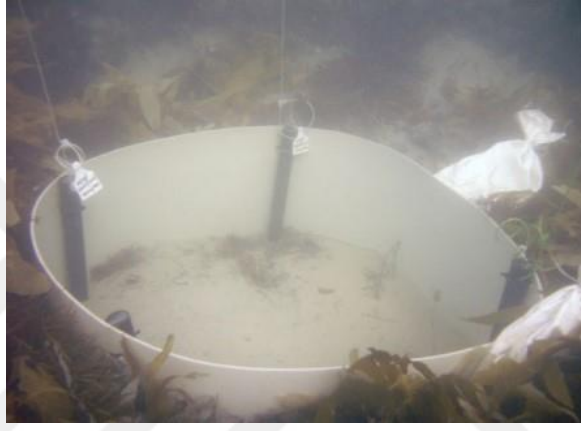
Kaynak: Shefi ve Veth, 2015: 378.

The Clarence Batığında yapılan mevsimsel gözlem sonrasında; yukarıda bahsedilen uygulama ile kısa süreli depolamada, ahşapların koruma durumlarında değişim yaşanmamıştır. Yeniden gömme sırasında kullanılacak sedimentin, kültür varlıklarının orijinal alanından seçilmesinin nedeni; pH, Eh, sedimentteki metal ve biyolojik madde içeriği gibi bozulma yaratabilecek unsurların, ahşabın alıştığı ortam koşullarıyla aynı ve stabil olmasını sağlamaktır. Bununla birlikte; yeniden gömme için kullanılan sedimentin içeriğinde, kazı çalışmaları sırasında da değişimler meydana gelmiştir. Sedimentteki çözünmüş oksijen oranı artmış, pH ve Eh gibi diğer unsurlar da değişmiştir. Bu nedenle; yeniden gömme sonrası, kültür varlıklarının tekrar denge durumuna geçene kadar sürecin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir (Richards v.d., 2016).

Clarence Batığından çıkartılmış olan bazı kültür varlıkları; *ex situ* analizler, temizlik ve koruma onarım işlemleri sonrasında yeniden gömülmüştür. Bu kültür varlıklarının, yukarıda bahsedilen sualtından hiç çıkartılmadan yeniden gömülen diğer kültür varlıklarından farkı; atmosfer şartlarına ve koruma onarım uygulamalarına maruz kalarak kimyasal olarak farklı reaksiyonlar geçirmiş olmalarıdır. Burada amaç; *in situ* korumadan çok, işlemleri tamamlanmış kültür varlıklarının orijinal bağlamlarına geri bırakılması ve burada depolanmasıdır. Yeniden gömme uygulaması için kültür varlıkları tek tek; polietilen ağ, jeotekstil ve son kat olarak sentetik ağ ile sarılmıştır. Sualtında bu eserler doğrudan sedimente gömülmemiş, bunun yerine proje için üretilen silindirik üzeri de 5 m kalınlıkta sediment ile kapatılan PVC tanklar içine konulmuştur (Resim 4.13). Bu sayede, organik kültür varlıklarının sualtı ortam şartlarına bağlı bozulmaları en aza indirilmeye çalışılmıştır. İnorganik kültür varlıkları ise organik kültür varlıklarıyla aynı şekilde sarılarak, PVC tank kullanılmadan, Batığın omurgası etrafında 5 m derinlikte gömülmüştür. Farklı malzeme türlerinin birbirleriyle temas edip bozulmalar yaratmaması için 2 m mesafe ile yerleştirilmiştir. 2012 yılına kadar alan bu şekilde bırakılmıştır. Çünkü kazının başlamasından, koruma projesinin planlanmasına kadar aradan geçen sürede batıktan çıkartılan tüm kültür varlıklarının onarımı tamamlanmamıştır. 2012 yılında, batıktan çıkarılan kültür varlıklarının onarım süreci tamamlanınca, uzun süreli yeniden gömme uygulaması yapılmıştır.

Bunun için alanın üzeri alandan toplanan sediment ile kaplanan PVC brandalarla örtülmüştür. Kullanılan sedimentin kültür varlıkları üzerinde bırakacağı muhtemel etkilerin tespiti için Batığin etrafından sediment örnekleri alınmıştır (Shefi ve Veth, 2015: 5-10). Son dönemde, yapılan uygulama hakkında bir yayın yapılmadığından, uygulamanın sonuçları henüz bilinmemektedir.

Resim 4.13: *The Clarence* Batığında yeniden gömme uygulaması için kullanılan PVC tank örneği.



Kaynak: Shefi ve Veth, 2015: 376.

4.2.5 *The Anaxum* Projesi

İtalya'nın Udine şehrinde bulunan ve sularını Adriyatik Denizi'ne döken Stella Nehri'nde bulunan *Stella 1* Batığı, *Via Annia* Köprüsü ve *Precenico* Batığı projede çalışılmıştır. Projenin amacı; nehirler gibi değişken alanlarda *In situ* koruma yöntemlerinin geliştirilmesidir. *Stella* Nehri, Neolitik dönemden itibaren ticarete kullanılmıştır. Nehrin içinden hem Roma Dönemi hem de Orta Çağda kültür varlıklarından bazı parçaların, özellikle ingotların çıkartıldığı bilinmektedir. Proje 2011 yılında Udine Üniversitesi, Padua Üniversitesi Jeoloji Bölümü, Trieste Üniversitesi Matematik ve Yerbilimleri Bölümü, INA ve Texas A&M Üniversitesi iş birliğiyle yürütülmüştür. MS 1.yy'a ait olan *Stella 1* Batığı, 90'lı yıllarda çalışılmış ve üzeri jeotekstil ile kapatılmıştır. Daha sonra yapılan belgeleme çalışmaları ile eserlerin bozulma durumlarında herhangi bir ilerleme tespit edilememiştir (Capulli, 2020).

4.2.6 Avondster Batığı

Fiziksel bariyer oluşturma yöntemi ile *in situ* koruması yapılmış sualtı kültür varlıklarından biri de Sri Lanka'da bulunan *Avondster* Batığıdır. Doğu Hindistan Ticaret Şirketinde, ticaret amacıyla 1659 yılındaki batışına kadar kullanılmış olan batık, aslen İngiliz savaş gemisidir. Kumlu deniz tabanına demirlemiş olan gemi, dalgalar nedeniyle batmış ve üzeri ince tortul tanelerinden oluşan sediment ile kaplanmıştır. Sedimentin ince taneli yapısı ve üstünün hızla kapanması sayesinde, Batığın ahşap gövdesi iyi korunmuştur. Modern dönemde, Batığın bulunduğu bölgede yürütülen inşaat faaliyetleri ve ticaret nedeniyle, alanın stabil ortam koşulları bozulmuştur. 2006 yılında Sri Lanka'da yaşanan tsunami sırasında limanda onarımı yapılmış kültür varlıklarının büyük kısmı tekrar sular altında kalmıştır (Bandula Mandawala, 2017: 59-64). *Avondster* Batığı projesinin amaçlarından biri de tsunami nedeniyle oluşan acil müdahale ihtiyacı sonucu; yerel arkeolog ve konservatörlerin sualtı kültür varlıklarının koruması üzerinde bir dizi eğitim almasını sağlamaktır. Böylece, Sri Lanka'da bilimsel temellere dayalı çalışmaların gelecekte de devam etmesi hedeflenmiştir. Amaçlardan bir diğeri de deniz müzesinin oluşturulmasıdır. Proje kapsamında NAS ile seçilen uzmanlara eğitimler verilmiştir. Proje süresinde; kazı öncesi belgeleme çalışmaları, kazı sırasında eğitimler ve çıkarılan 3000'den fazla kültür varlığının koruma ve onarım çalışmaları yapılmıştır. Resim 4.14'te batıktan kaldırılan bir ahşap varilin, proje kapsamında verilen eğitimlerde nasıl paketlenmesi gerektiği gösterilmiştir (Parthesius, 2011).

Resim 4.14: *Avondster* Batığında bulunan ahşap bir varilin paketlenmesi.



Kaynak: Parthesius, 2011: 644.

İleri derecede bozulmaya uğramadığı tespit edilen *Avondster* Batığından arkeolojik öneme sahip taşınabilir kültür varlıklarının kazı ile çıkarılmasına, Batığın ahşap gövdesinin ve diğer taşınabilir objelerin ise *in situ* korumasına karar verilmiştir. İncelemeler sırasında; Batığın ahşaplarının denizel organizmalar tarafından tahrip edildiği, kargosu ile mürettebata ait diğer küçük objelerin bölgede etkili olan şiddetli dalgalar ve akıntılar ile dağıldığı belirlenmiştir. Bu da arkeolojik verinin kaybolduğu anlamına gelmektedir. Alanda fiziksel bariyer oluşturmak için *in situ* korumada ilk yöntem olarak propilen ağlar kullanılmıştır. Uygulama sonrası iki hafta içerisinde, propilen ağların üzerinin 15 cm kadar ince kum ile kaplandığı görülmüştür. Bu da bölgede akıntılara bağlı olarak sediment birikiminin hızlı olduğunu göstermektedir. Kullanılan ikinci yöntemde, yine propilen ağlar tercih edilmiş fakat ilkinde kıyasla daha düşük yoğunlukta bir ağ seçilmiştir. Ağlar alanın etrafında üzerinde kum torbaları ile sabitlenmiştir. Batığın kazı çalışmaları günümüzde hala devam ettiğinden, kalıcı bir koruma yöntemi uygulanamamıştır (Manders v.d. 2004). Bununa birlikte, oldukça yüksek oranlarda bozulmaya maruz kalmış batık alanında, söz edilen koruma yöntemleri ile yeterli geçici koruma sağlandığı söylenebilir.

4.2.7 James Matthews Batığı

18. yy'ın sonlarında inşa edilmiş bir Fransız köle gemisi olan *James Matthews* Batığı, 1973 yılında keşfedilmiştir. Batıkta 1973 ve 1977 yılları arasında kazı çalışmaları yapılmıştır. Kazı öncesi; 2- 3 m derinlikte olan batık, üzeri yoğun deniz çimi matı ile kaplı, ince kum sediment zeminde ve %5'lik kısmı sediment

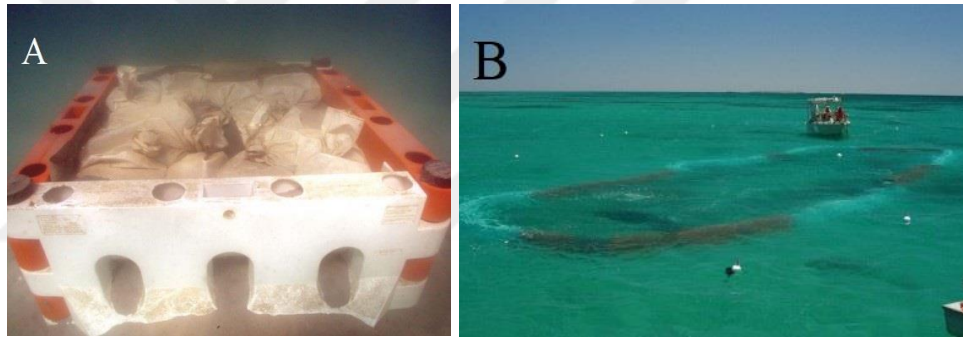
erozyonu nedeniyle görülebilir durumda bulunmuştur. Kazı çalışmaları sonrası Batığın üzeri alandan daha önce kaldırılan sediment ile kapatılmıştır. Batık üzerinde yapılan bu yeniden gömme uygulaması sonrası herhangi bir analiz çalışması yapılmamıştır. Dolayısıyla 1973 yılında yapılan sediment ile yeniden gömme uygulamasının sonuçlarına ilişkin bir veri bulunmamaktadır (Baker, Handerson, 1979).

2000 yılında alanda yapılan incelemelerde; kazı sonrası yeniden gömme için kullanılan sediment katmanının, yoğun akıntılara bağlı olarak erozyona uğradığı anlaşılmıştır. Batığın deniz taban derinliği, ilk araştırma çalışmaları sonrasında 30 m'ye kadar inmiştir. 2000 yılında Batığın ahşap gövdesinin sudan çıkartılması ve sergilenmesi için planlama yapılmıştır. Bu amaçla batık alanında; *in situ* korozyon ölçümleri ve ahşaplardan alınan örnekler incelenmiştir. Ölçüm ve analizlerin sonucunda ahşapların uğradığı yoğun biyolojik bozulmalar nedeniyle kaldırma yapılamayacağı ve Batığın *in situ* koruması gerektiğine karar verilmiştir. *In situ* koruma uygulaması olarak, yeniden gömmenin seçilmesiyle; deniz suyunun, sedimentin ve kültür varlıklarının analizi yapılmıştır. Bu bağlamda; batık üzerindeki deniz suyunun pH'ı ortalama 8,24; Eh'ı 0,234 mV ve çözünmüş oksijen oranı 7,88 ppm olarak belirlenmiştir. Sedimentten 30 m'ye kadar alınan ölçümlerde ise pH 8,01 ve Eh -0,001 mV olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler, sedimentin deniz suyuna kıyasla biraz daha asidik olduğunu göstermektedir. Deniz suyunun sıcaklık ortalaması yaz aylarında 15 °C, kış aylarında ise 25 °C olarak saptanmıştır. Bu da batık alanında biyolojik aktivasyonun oldukça yoğun olmasına neden olmaktadır (Richards, 2011: 36; Richards v.d., 2009:113-115).

James Matthews Batığı; sualtı kültür varlıklarının *in situ* korumasında yeniden gömme yönteminde kullanılan farklı tekniklerin test edilmesinde de örnek alanı olarak seçilmiştir. Test edilen ilk teknik kum torbaları ile yeniden gömme yapılmıştır. Kum torbalarının tekstillerinin çok kısa sürede bozulup dağıldığı için alanın üzeri yeterli kalınlıkta sediment ile kaplanamadan yeniden açığa çıkmıştır. 2005 yılında aynı yöntem bu sefer, UV (*Ultra Viole-* Mor Ötesi Işımlar) ile stabilize edilerek güçlendirilmiş polimerik kumaş torbalar ile uygulanmıştır. Bu kum torbalarının hareketini engellemek için konferdam adı verilen PVC kasalar ile destek oluşturulmuştur (Resim 4.15). Daha sonraki uygulamalarda alanda kullanılan

jeotekstilin hareketlerinin kısıtlanması için de yine konferdamlardan yararlanılmıştır. Böylece daha uzun süreli koruma sağlanabilmektedir. Konferdamların ahşaptan üretilmesi malzemenin sualtında bozulmasını tetiklediği için belirli aralıklarla gözlenmelidir. Polietilenden üretilen konferdamlar, Vicki Richards tarafından, alan etrafında bir ‘çarpma bariyeri’ oluşturabildiği ve daha uzun süre değiştirilmeden kullanılabildiği için önerilmiştir. 2005 yılında *James Matthews* Batığında test edilen konferdamlar ile desteklenmiş fiziksel bariyer oluşturma yönteminin altı yıl sonra yapılan incelemede kum torbalarının hala stabil olduğu görülmüştür (Richards, 2012: 173-174; Richards v.d., 2009: 113-115).

Resim 4.15: (A) *James Matthews* Batığında kullanılan konferdamların uygulamadan 3 ay sonraki durumu, (B) alanı çevreleyen konferdamların kuş bakışı görüntüsü.



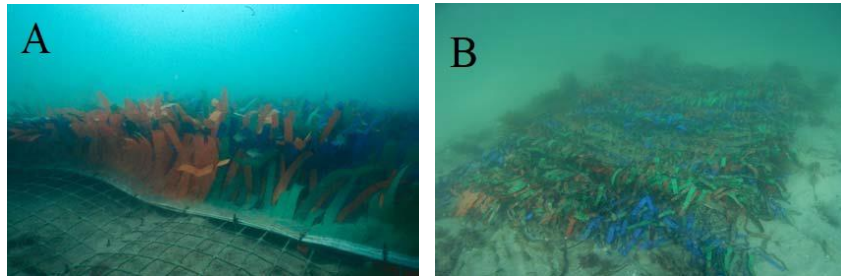
Kaynak: (A) Richards, 2012: 174; (B) Richards v.d., 2016: 250.

Kum torbaları ve konferdamlar kullanılarak uygulanan yeniden gömme haricinde hem batık üzerinde hem de alanda kültür varlığı kalıntısı içermeyen başka bir yerde farklı yöntemler uygulanmıştır. Kullanılan malzemeler; %50 yoğunlukta polietilen sentetik ağlar (gölge bezi) ve yapay deniz çimidir. Sentetik ağ ve yapay deniz çimi hem tek başına hem de birlikte kullanılarak, sediment birikiminin hangi uygulamada daha hızlı olduğu test edilmiştir. Tek başına kullanılan yapay deniz çiminde; mat üzerinde bir ay sonra oluşan alg kolonizasyonu nedeniyle çim, deniz tabanına çökerek işlevini yitirmiştir (Resim 4.16). Tek başına kullanılan sentetik ağ ise bir yıl sonra 1,5 m birikim yaparak en üst sediment birikimi kapasitesine ulaşmış ve işlevini yitirmiştir. Sediment kapanı olarak kullanılan bu yöntemlerde, alan üzerinde biriken sedimentin; pH, sülfat, sülfat, nitrojen gibi çözülmüş gaz ve organik madde içeriği analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda; bölgedeki sedimentin düşük

silika-yüksek kalker içerikli, biriken tortulların orta boyutlu yani 250-500 μ çaplı olduğu anlaşılmıştır. Her iki yeniden gömme yönteminde; Batığın organik kalıntıları, mantar ve bakteri kolonizasyonunun engellenebildiği görülmüştür. Yeniden gömme uygulaması sonrası alanda biriken sedimentin ve bölgede Batığın bulunduğu temel katman olan sedimentin özellikleri kıyaslandığında:

- Kum torbaları kullanılan alanlarda, yöntemin etkinliğinin denenmesi için bırakılan modern ahşaplar gibi test malzemelerinin tamamında, beş yıl içerisinde yüksek düzeyde bozulmalar oluşmuştur.
- Yapay deniz çimi; kısa sürede etkinliğini yitirse de üzerinde koruma için yeterli sediment birikimini sağlayabilmiştir.
- Sentetik ağ altında biriken modern sediment katmanı, alanı çevreleyen deniz suyuna kıyasla biraz daha asidik olsa da stabil ortam sağlamıştır.
- Modern sediment tabakasında; sülfat, sülfat ve sülfür gibi kalıntılar, Batığın bulunduğu sedimente kıyasla daha fazla birikmiştir. Bu durum, *in situ* koruması yapılan kültür varlıklarının biyolojik bozulma riskini arttırmaktadır.
- Modern sediment tabakası ile Batığın bulunduğu orijinal sediment tabakası arasında organik içerik bakımından benzerdir.
- Mantar ve bakteri gibi mikroorganizmalar, modern katmanda 0-10 m'den itibaren gözlemlenmiştir (Richards, 2011).

Resim 4.16: *James Matthews* Batık alanında kullanılan sentetik deniz çiminin uygulama sonrası ve iki yıl sonraki durumu.



Kaynak: (A) Richards, 2011: 35; (B) Richards v.d., 2009: 131.

Resim 4.16’da, (A)’da sentetik deniz çimi matının deniz tabanına yerleştirilme sonrası görüntüsü, (B)’de sentetik deniz çimi matının 6 ay sonraki durumu, (C)’de ise sentetik deniz çimi matının 12 ay sonraki durumu gösterilmektedir.

James Matthews Batık alanında uygulanan farklı koruma yöntemlerinin; uzun süreli *In situ* korumada, istenilen stabil ortamı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bölgede biriken modern sediment katmanı ile Batığın bulunduğu sediment katmanı arasında büyük farklar olmaması nedeniyle uygulama sonrası 60 m’ye kadar birikim ile stabil ortam yaratılabilmektedir. Yine de modern sediment katmanının, istenilenden daha fazla asidik ve organik madde bakımından zengin olduğu unutulmamalıdır. Proje kapsamında denenilen yöntemlerin bölgede gereken korumayı sağlayıp sağlayamadığının anlaşılabilmesi için çalışma ekibinin son yıllarda yapacağı yeni bir gözlem ve analiz çalışması verilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Son dönemde yayınlanmış bir veri bulunmadığından modern sediment katmanının alandaki orijinal kültür varlıkları üzerindeki etkisi henüz bilinmemektedir.

4.2.8 William Salthouse Batığı

İngiltere’de bulunan ve 1841 yılında batan *William Salthouse* Batığı; 1982 yılında keşfedilmiştir. Batık; koruyucu etkiye sahip, küçük taneli sediment tabakasında bulunmaktadır. Ancak alan üzerinde etkili olan güçlü akıntılar nedeniyle, sediment erozyonuna maruz kalmaktadır. Alan koruma çalışmaları öncesinde, tarihi eser kaçakçıları tarafından tahrip edilmiştir. Bu durumun önüne geçebilmek için 1983 yılında yapılan araştırma kazılarında sonra, bölgede kısa süreli koruma planlamaları uygulanmıştır. Kısa süreli korumada; metal ağlar ile yapılan uygulama, alandaki sediment erozyonu fazla olduğundan istenilen korumayı sağlayamamıştır. Kum torbaları ile koruma yönteminde ise kum torbaları hem Batığın yapısal bütünlüğünü desteklemiş hem de kültür varlıkları üzerinde etkili olan biyolojik bozulma unsurlarını engellemekte başarılı sonuçlar vermiştir (Resim 4.17). Bununla birlikte; 1989 yılında yapılan incelemelerde kum torbalarının da erozyon ile dağılmaya başladığı belirlenmiştir. Bu nedenle, alanda daha uzun süreli koruma sağlayan bir uygulama planlanmasına ihtiyaç duyulmuştur (Steyne, 2009: 41-42).

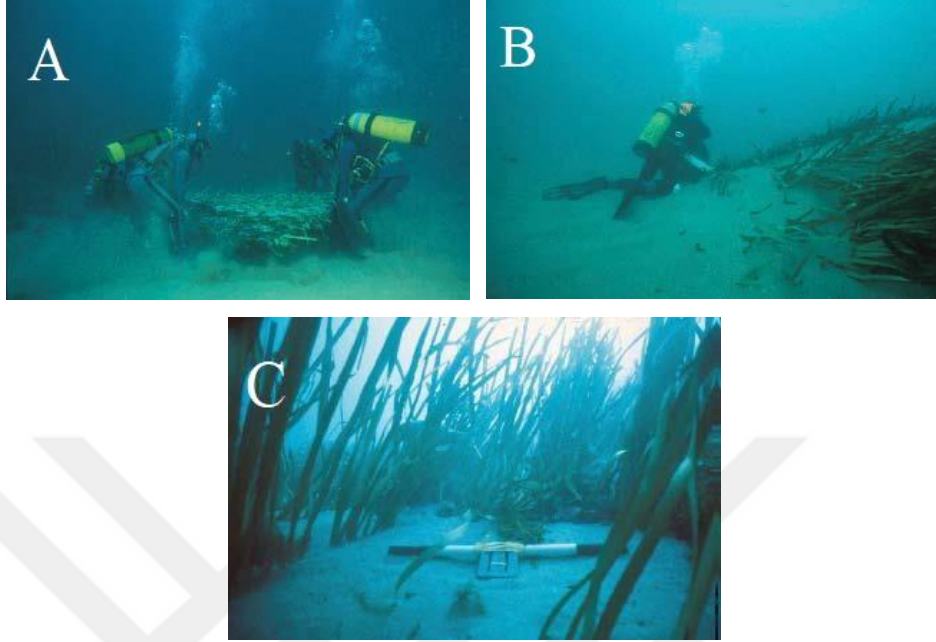
Resim 4.17: *William Salthouse* Batığı üzerinde geçici korumada kullanılan kum torbaları.



Kaynak: Steyne, 2009: 42.

Batığın yerinin kamu tarafından biliniyor olması ve sportif dalgıçların alanı ziyaret etme isteği nedeniyle insani risk faktörleri etkilidir. Acemi dalgıçların denge kurma çalışmaları sırasında sediment tabakasında yarattığı hareketlilik, yüzeyin stabil halini bozmakta ve Batığın üzerindeki sediment tabakasının gittikçe daha fazla açılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda; Batığın gövdesi ve kargosunun açık denize maruz kalmaya başladığı tespit edilmiştir. Kum torbaları ile yeniden gömmenin, batık üzerinde yeterli korumayı sağlayamadığının anlaşılması üzerine, 1990 yılında yeni bir koruma planlaması yapılmıştır. Yeni koruma yönteminde seçilen uygulama; yapay deniz çimi matı ile yeniden gömmedir. Batık, deniz çiminin doğal olarak gelişmeyeceği bir ortamda bulunduğundan, yapay deniz çimi kullanılmıştır. Uygulama sonrası batık üzerindeki sediment birikimini hızlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir (Resim 4.18). Yapay deniz çimi matı; yoğun eser kalıntısı barındıran ve akıntılar nedeniyle sediment hareketliliğinin en fazla görüldüğü kısımlarda bölgesel olarak uygulanmıştır. Batığın tamamının üzeri örtülmemiştir (Stainforth, 2006).

Resim 4.18: William Salthouse Batığında kullanılan yapay deniz çimi uygulaması.



Kaynak: Stainforth, 2006: 53.

Resim 4.19’da (A)’da yapay deniz çiminin uygulanması, (B)’de uygulama sonrası sediment birikimi, (C)’de ise yapay deniz çiminin sabitlenmesi için kullanılan metal aksanların yakın görüntüsü belirtilmiştir.

4.2.9 Nydam Mose Sit Alanı

Nydam Mose sit alanı; demir devrinden itibaren silah çöplük alanı olarak kullanılmış, günümüzde bataklık halini almış, taban suyu seviyesi değişken, küçük bir göldür. 1859 yılından itibaren bölgede arkeolojik kazılar yapılmıştır. 1997’de yapılan kazıda 16 binden fazla küçük obje bulunmuş ve objelerin koruma ve onarımı için projeler planlanmıştır. Danimarka Milli Müzesi (*National Museum of Denmark*) tarafından yürütülen son çalışmalarda ise kazıların durdurulması ve alanda *in situ* koruma yapılmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda sit alanı, *İn situ* koruma uygulamalarının test edilmesi için bir araştırma alanı haline gelmiştir. Sit alanındaki silahlar üzerinde yapılan analizler, kültür varlıklarının sualtındaki bozulma süreçlerinin anlaşılmasında kullanılmıştır. Son 15 yılda yapılan bilimsel çalışmaların yanı sıra yerel radyolar ve gazetelerle yayınlanan röportajlarla, kamu bilincinin

oluşturulması da sağlanabilmiştir. Alanda metal kalkanlar, kılıçlar, ahşap ok uçları ve mızraklar gibi pek çok arkeolojik kalıntıya ulaşılmıştır. Demir ve ahşap kalıntılarının korunması; diğer malzeme türlerine göre daha yoğun bulundukları için *Nydam Mose* projesinin öncelikli hedefi olarak seçilmiştir. Çevre şartlarına bağlı olarak oluşan bozulma, her katmanda farklılık göstermektedir. Örneğin; demir devrinde göle atılan mızraklarda oksik ortama ve biyolojik risk faktörlerine bağlı olarak oluşan bozulmalar gözlenmiştir. Daha geç katmanlarda bulunan metallerde ise anoksik korozyon oluşumları tespit edilmiştir. *In situ* analizlerle genel olarak anoksik bir ortam ve 6,2 ila 6,8 arasında pH ölçülmüştür. Ortam şartları koruma için elverişli görünse de özellikle mantarlar biyolojik bozulmaya neden olmaktadır. Alanda koruma için seçilen yöntem, jeotekstil ile yeniden gömmedir. Sit alanının jeotekstil kullanılmadan önceki ve sonraki durumu, Resim 4.19’da verilmektedir (Gerory ve Mathiensen, 2012).

Resim 4.19: *Nydam Mose* sit alanında kullanılan jeotekstil ile yeniden gömme uygulamaları.



Kaynak: Gregory ve Matthiesen, 2012: 484.

Resim 4.20’de, (A)’da 2001 yılında jeotekstil ile kapatmadan önceki durumu, (B)’de 2002’de uygulama sonrası durumu, (C)’de ise 2007’de alanın üzerini kapatan bitki örtüsü tabakası görülmektedir.

Nydam Mose sit alanındaki çevresel özellikler incelendiğinde; gölün bataklığa dönüşmesi sonucu farklı derinliklerde farklı kimyasal değerler olduğu gözlenmiştir. pH analizi hem *in situ* hem de 100 cm’ye kadar inen derinlikten sonra sedimentten çekirdek örneği alınarak *ex situ* yapılmıştır. *Ex situ* analizler için alandan taşınan örnekler, analiz zamanına kadar -20 °C’de depolanmıştır. Başka bir analiz

teknğinde ise PVC tüpler kullanılarak oluşturulan 40-140 cm derinlikteki kuyular, alanın etrafında birden çok noktaya yerleştirilmiştir. Böylece kuyular içinde biriken taban suyunun pH ölçümü yapılabilmektedir. İncelemelerde; *in situ* ve *ex situ* analiz sonuçlarında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ıslak örnekler ile kuru örnekler arasında da pH farkı bulunmaktadır. Bu farklılığın, tabandaki karbondioksit birikimi ya da alana koruma amaçlı uygulanan jeotekstilden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Matthiesen, 2004).

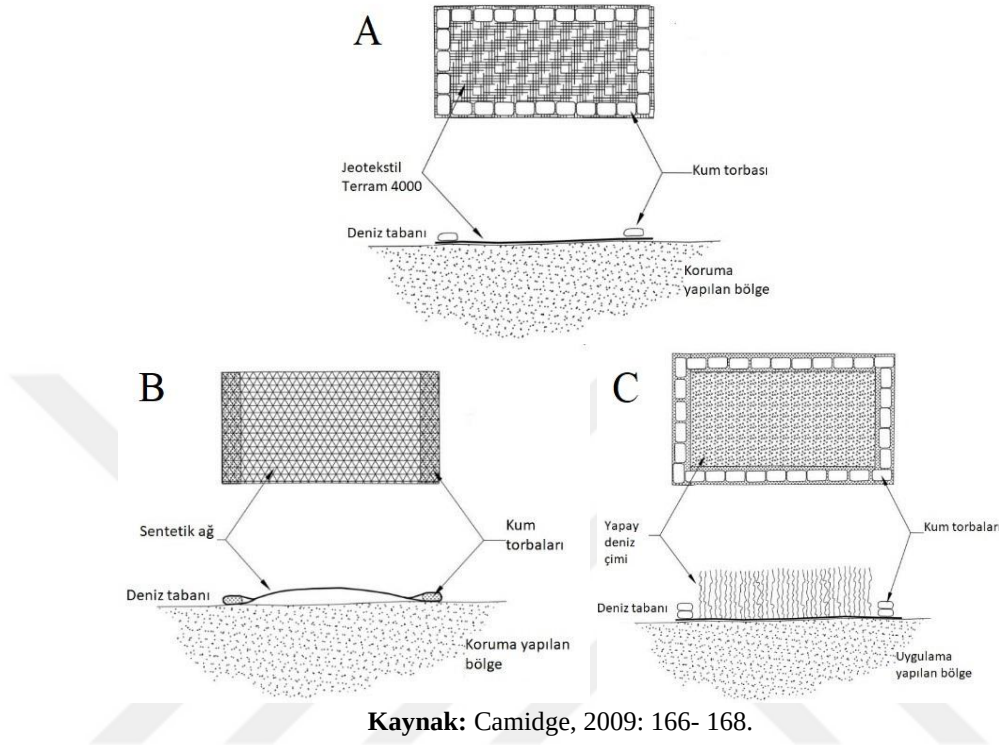
Nydam Mose sit alanının geniş alana yayılmış olması ve mevsimlere bağlı olarak değişen taban suyu seviyesi, *in situ* koruma sırasında düzenli ölçümler yapılmasını gerekli kılmıştır. Ölçülen kimyasal faktörler; sit alanındaki sedimentin pH'ı, çözülmüş oksijen oranı, Eh'ı, demir, manganez, potasyum, nitrat, nitrit, sülfat, sülfat ve amonyum içeriğidir. Tüm bu parametreler, alanda bulunan kültür varlıklarının bozulma süreçlerini doğrudan etkilediğinden önem taşımaktadır. pH analizi için kullanılan yöntemlerden, alana yerleştirilen PVC kuyunun tabanındaki birikimin analizinde, stabil olmayan sonuçlar alındığından başka yöntemlerin denenmesine karar verilmiştir. Stabil olmayan Eh ve çözülmüş oksijen seviyesi ölçümlerinin, alana daha önceden yerleştirilmiş silikon tüpler ve atmosferden geçen oksijen nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Bu nedenle, doğrudan tabandaki tortu tabakası kullanılarak yapılan ölçüm teknikleri tercih edilmiştir (Matthiesen v.d., 2013).

4.2.10 HMS Colossus Batığı

1798 yılında Sicilya kıyılarında batmış olan gemi; barındırdığı 74 adet demir top, Antik Yunan medeniyetine ait kültür varlıkları ve mürettebata ait insan kalıntıları nedeniyle önem taşımaktadır. 15 m derinlikte bulunan batık, kaba tanecikli bir kum tabakası üzerinde bulunmaktadır. Batışından sonra kaçakçılık nedeniyle sit alanı tahrip edilmiştir. 1974 yılında, yeri yeniden tespit edilen batıktan objeler çıkartılarak sergilenmeye başlanmıştır. Demir toplara ait kalıntılar içeren bölge ise 2001 yılında, sportif amaçlı dalışlar yapan dalgıçlar tarafından keşfedilmiştir. Batığın ahşapları işleme izleri görünecek kadar iyi korunmuştur. Bu durum, tortullar kaba tanecikli olsa da geminin üzerinin batışından sonra hızla sediment tabakasıyla örtülmüş olmasına bağlıdır. Alandaki sediment erozyonu, sediment hareketi sırasında oluşan mekanik

etkiye bağlı olarak, batık alanındaki kültür varlıklarının fiziksel bozulma riskini ortaya ıkarttığından alanda uzun süreli koruma sağlayabilecek *in situ* koruma planlamasının yapılması gerekmektedir. Ayrıca, ahşap kültür varlıklarının bölgede etkili olan çevresel faktörlere bağlı bozulma süreçlerinin incelenebilmesi için modern ahşap bloklar da bırakılmıştır. İncelemeler sonucunda; en çok etkili olan bozulmanın *Teredo Navalis* ve *Limnoria*’lardan kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Alanın *in situ* koruması için farklı yöntemler denenmiştir. Bunlar; *Terram 4000* (jeotekstil), sentetik ağlar ve yapay deniz imi kullanılarak yapılan yeniden gömme uygulamalarıdır (Şekil 4.2). Bu üç koruma yönteminden en başarılı sonuç veren jeotekstil ile yeniden gömmedir. Jeotekstil; en yüksek koruma sağlayan küçük taneli sedimentlerin batık üzerinde ve kum torbalarının etrafında birikmesini sağlamıştır. Bu da 12 ay sonra yapılan incelemelerde modern ahşaplarda *Teredo Navalis* ya da *Limnoria* kolonizasyonu görülmemesinin ve mikroorganizmalara bağlı bozulmalar oluşmamasının sebebi olarak görülebilmektedir. *HMS Colossus* Batığında uygulanan sentetik ağ sistemi, *MoSS* Projesi kapsamında üretilmiş ve başarılı sonuçlar vermiştir. Diğer batıklardan farklı olarak, sentetik ağın deniz tabanına sabitlenmesinde, kum torbaları yerine demir çiviler tercih edilmiştir. Zamanla; sentetik ağ üzerinde akıntılara bağlı olarak oluşan yırtıklar ya da denizel bitki örtüsü birikimi nedeniyle işlev kaybı olduğunda, yeni bir ağ katmanının, eskisi üzerine eklenmesi önerilmiştir. Sentetik ağ uygulamasının yanında analiz için bırakılan modern ahşap örnekleri incelendiğinde; yoğun bakteri kolonizasyonu gözlenmiştir. Yapay deniz imi ise istenilen korumayı sağlayamamıştır. Bunun nedeni; yapay çim üzerinde biriken denizel organizmaların, parçaları birbirine dolaştırarak deniz tabanına çökmelerine neden olması ve biriken sediment tortullarının değişken olması nedeniyle stabil bir ortam yaratılamamasıdır (Camidge, 2009).

Şekil 4.2: *Colossus* Batığı üzerinde test edilen koruma yöntemleri, (A) jeotekstil, (B) sentetik ağ, (C) yapay deniz çimi uygulaması.



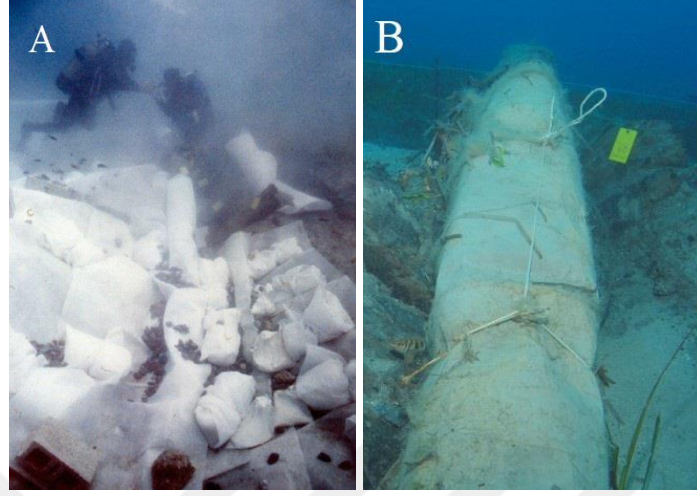
4.2.11 The MERMAID Projesi

‘Saving Wooden Shipwrecks in the Mediterranean Marine Ecosystem: Research, Development and Application of Innovative Methods of *In situ* Protection’ (Akdeniz Deniz Ekosisteminde Ahşap Batıkların Korunması: Yerinde Korumanın Yenilikçi Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Uygulanması) isimli projede; Doğu Akdeniz’de bulunan ahşap batıklar üzerinde çalışılmıştır. Projenin ortakları; Atina Teknolojik Eğitim Enstitüsü, Antikite ve Sanat Eserlerinin Konservasyonu Birimi, Denizel Araştırmalar için Helenistik Merkez (HCMR), Oşinografi ve Deniz Biyolojisi Enstitüleri ve Tarih, Arkeoloji ve Kültürel Kaynaklar Bakanlığı’dır. 2012-2015 yılları arasında süren projenin çalışma alanlarını ise *Zakynthos* ve *Rhodes* batıkları oluşturmaktadır. Projenin amaçları: ahşap batıkların *in situ* korumasında jeotekstilin etkinliğinin belirlenmesi, *Zakynthos* ve *Rhodes* batıklarının sualtında kazı ve belgeleme çalışmalarının yürütülmesi, Rodos Limanı’nın *pelajik* ve *bentik*

unsurlarının ahşap kültür varlıkları üzerindeki bozulma etkilerinin tespiti, batıklardan çıkartılan kültür varlıklarının onarım işlemlerinin planlanması ve onarım uygulamalarının sonuçlarının belirlenmesidir (Pournou, 2013: 9; Pournou, 2018).

Yunanistan'ın İon Denizi'nde bulunan; *Zacynthos* ve *Rhodes* Batıklarının ahşapları, bu proje kapsamında *Terram* T2000 ve T4000 jeotekstil ile sarılarak korunmuştur. Uygulama sırasında; açıkta olan ahşaplar tek tek jeotekstil ile sarılmıştır. Daha sonra batıklarının üzerini tamamen kapatacak bir katman daha eklenmiştir. Üst katmanın akıntılara hareketi, kum torbaları kullanılarak engellenmiştir (Resim 4.20). Karşılaştırma amacıyla yerleştirilen modern ahşap örnekleri 12 yıl sonra hem koruma malzemesinde oluşan değişimlerin gözlenmesi hem de uygulamanın yeterliliğinin tespiti için incelenmiştir. Bu incelemelerde doğru sonuçlar elde edebilmesi için batıklara ait bazı ahşap yapı parçaları su üstüne çıkartılmıştır. Böylece hem jeotekstilin yapısında oluşan değişim hem de ahşaplarda muhtemel yeni bozulmaların tespiti sağlanmıştır. Analizler sonucunda; modern ahşapların yoğun bozulmalara uğradığı fakat orijinal suya doymuş ahşapların, uygulama öncesine kıyasla değişim geçirmediği belirlenmiştir. Ahşapların sarıldığı jeotekstillere alınan örneklerde; eskimeye bağlı olarak kumaş dokusunda çözümler olduğu ve kumaş fibrillerinde mikroorganizma birikimlerinin başladığı gözlenmiştir. *Terram* T4000'in sık dokulu yapısı; büyük tanecikli sedimentlerin içeri geçmesine izin vermemiştir. Çok küçük boyutlu tortul tanecikler ahşaplar üzerinde birikerek, koruyuculuk sağlamıştır. Alanda jeotekstil üzerine eklenen ikinci katman jeotekstil üzerinde biriken sediment tabakası sayesinde, *Teredo Navalis* gibi yumuşakçaların etkinliği engellenmiştir. İncelemeler sonucunda ahşaplarda önemli bir bozulma oluşmadığı, yöntemin koruma açısından yeterli olduğu fakat jeotekstilin eskimesine bağlı olarak uygulanmanın aralıklarla yenilenmesi gerektiğine karar verilmiştir (Pournou, 2018; Pournou, 2013).

Resim 4.20: Yunanistan İyon Denizindeki batıkta jeotekstil ile koruma örneği.



Kaynak: Pournou, 2018: 3; Pournou, 2013: 11

Resim 4.20’de (A)’da ahşapların tek tek sarılması sonrası alanın tamamına jeotekstil uygulama görüntüsü, (B)’de ise alanda uygulama yapılmış jeotekstilin 12 yıl sonraki durumunun görüntüsü verilmiştir.

4.2.12 Baiae Antik Kenti Mozaik Projesi

Mimari yapı unsurlarının *in situ* korumanın başarılı örneklerinden biri; UNESCO tarafından da örnek olarak gösterilen *Baiae* Antik Kenti’nin kalıntıları üzerinde yapılan uygulamalardır. Yaklaşık 176 hektarlık bir alana yayılmış olan Roma kenti, İtalya’nın Nepal şehrindeki *Iulius* Limanı’nın altında kalmıştır. Kentteki, binalar, heykeller ve mozaikler; malzeme bozulmalarının tespiti, belgelenmesi, 3D taramalar yapılarak sanal müze oluşturulması ve yerinde koruma uygulamalarıyla projenin amaçlarını oluşturmaktadır. Kentteki kalıntıların 3D taranması ve belgelenmesine ilişkin projeler; *MUSAS* ve *H2020 i-MARECULTURE* Projeleridir. 2001 yılında başlayan *The NIAS* projesi ile antik kentteki mozaiklerde; harçlarda sağlamlaştırma sonrası jeotekstil ile yeniden gömme uygulanmıştır. 2009 yılında yapılan incelemeler sırasında jeotekstil altında, biyofilm tabakası oluşumu gözlenmiş ve koruyucu jeotekstil tabakasının yenilenmesine karar verilmiştir. Mozaiklerden alınan örnekler üzerinde yapılan analizler sonucunda, biyolojik bozulmaların beklendiği gibi jeotekstil üzerinde değil, mozaik üzerinde tespit edilmiştir. Yani

mozaik üzerindeki jeotekstil örtünün biyofilm oluşmasını engellemek açısından yeterli düzeyde etkisi olmamıştır. 2014 yılında; mozaikler üzerindeki biyofilm, fırçalar ve bisturi ile mekanik olarak temizlenmiş ve yeni jeotekstil ile kapatılmıştır (Ricci v.d., 2017). 2014 yılından sonra, yapılan yeni uygulama ile ilgili bir yayın bulunmadığından, yeniden gömme uygulamasının sonuçları henüz bilinmemektedir.

4.2.13 Wreck Projesi

Baltık Denizi'nde bulunan ahşap gemi batıklarının *in situ* koruması için oluşturulmuş bir Avrupa Birliği projesidir. 1000'den fazla batığa sahip olan bu alanda gemilerin 6000'den fazlası arkeolojik olarak öneme sahiptir. 2009 ve 2011 yılları arasında süren bu projenin ana amacı ahşap kültür varlıklarında görülen biyolojik bir bozulma türü olan *Teredo Navalis*'ten korumak için yöntemler geliştirmektir. Ayrıca sualtı kültür varlıklarında bozulmaların önlenmesi için düzenli gözlem ve belgeleme yapılması için bir de el kitabı oluşturulmuştur. *Teredo Navalis* türünün larvadan erişkinliğe kadar olan süreçte çevresel faktörlerden nasıl etkilendiği ve *in situ* korumada bozulmaların nasıl önlenebileceği üzerinde çalışılmıştır (Björddal v.d., 2012).

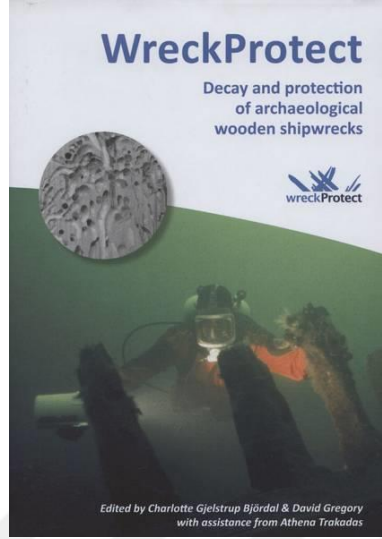
2011 yılında M.R. Manders'ın editörlüğünde yayınlanan, '*Guidelines for Protection of Submerged Wooden Cultural Heritage, including cost-benefit analysis*' (Batık Ahşap Kültür Varlıklarının Korunmasında Maliyet-Yarar Analizi İçeren Rehber) adlı rehber kitapta; sualtı kültür varlıklarının bozulmalarında risk faktörlerinden olan *Teredo Navalis*'in Baltık Denizindeki etkinliği incelenmiştir (Resim 4.21). Baltık Denizinde etkili olan biyolojik bozulmalara ek olarak akıntılar, dalgalar ve buzul hareketleri de incelenmiştir. İncelemelerde bu unsurların; 20 m'ye kadar olan derinlikte bulunan kültür varlıkları üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Buzul hareketi; sediment erozyonu sırasında oluşan mekanik bozulmalara benzer riskler ortaya çıkartmaktadır. Hareket eden buzulun kütlesine göre sualtı sit alanı yoğun tahribata uğrayabilmektedir. Rehber kitapta *Teredo Navalis* ile ilgili; makroorganizmanın ahşap kültür varlıklarında yarattığı bozulmanın, diğer kabuklu deniz canlılarına kıyasla koruyucu bir etkisinin de bulunabilmesidir. *Teredo*

Navalis 'in yaşamsal faaliyetleri sırasında²² ahşap ile beslenirken arkasında bıraktığı kalsiyum içerikli tüp formlar, ahşap yoğun bozulmalara uğrasa da tanımlanabilir formların kalmasını sağlayabilmektedir. Ahşap tamamen yok olsa da *Teredo Navalis* 'in yoğun olarak bulunduğu bölgelerden yola çıkılarak bir bölgede ahşap kültür varlığı kalıntısı bulunduğu yorumu yapılabilmektedir. Diğer kabuklu deniz canlılarının birikimi ise ahşabın tamamen yok olmasına neden olmaktadır. Bu birikimin bölgesel olması durumunda ahşabın daha kırılğan olduğu da ayrıca belirtilmiştir. Proje kapsamında *in situ* korumada fiziksel bariyer ile koruma yöntemleri denenmiştir. Bunlar; kum torbaları, jeotekstil, yapay deniz çimi ile fiziksel bariyer oluşturma yöntemleri ve sediment ile yeniden gömmedir. Her bir malzeme, kullanımı sırasında kolaylık sağlayacak ipuçları ile rehberde yer almıştır. Örneğin; jeotekstil suda yüzen bir malzeme olduğundan, kumaşın metal bir boru etrafında sarılarak alana eklenmesi önerilmektedir. Rulo açıldıkça, jeotekstil kablo bağları kullanılarak, alana önceden yerleştirilmiş metal kafes sistemine sabitlenmelidir. Böylece; jeotekstilin uygulama sırasında, akıntılarla hareket etmesi engellenebilmektedir. Rehber kitapta; bahsedilen koruma uygulamalarının, hangi tür deniz tabanında etkin olduğu ve yöntemlerin avantajları ile dezavantajları ayrıntılarıyla açıklanmıştır²³. Proje sonucunda; Baltık Denizi gibi yoğun akıntılara maruz kalan ve hafif acı su olan bölgelerde, ahşap sualtı kültür varlıklarını *Teredo Navalis* saldırılarından korumak için kullanılabilecek en uygun yöntemin, propilen ağ kullanılarak fiziksel bariyer oluşturma yöntemi olduğu belirtilmektedir (Manders (ed), 2011).

²² Ayrıntılı bilgi için bkz: 2.6.1 *Teredo Navalis*

²³ Ayrıntılı bilgi için bkz: Tablo 1.2: Fiziksel bariyer oluşturma yönteminde kullanılan farklı malzemelerin avantaj ve dezavantajları. Tablo 1.3: Ortam şartları ve batık alanının durumuna göre koruma uygulamalarının etkinlik düzeyini belirten tablo. (+) yeterli koruma sağlayan, (++) uzun süreli daha iyi koruma sağlayan, (-) yeterli koruma sağlamayan ve (0) söz konusu durumda koruma sağlamadığı gibi zararlı da olabilen uygulamaları belirtmektedir.

Resim 4.21: Wreck Proje kitabı.



Kaynak: <http://wreckprotect.org/index.php?id=12679>, 22/05/2022.

4.2.14 BACPOLES Projesi

2002-2005 yılları arasında Avrupa Komisyonu tarafından fonlanmış olan projenin başlığı '*Preserving Cultural Heritage by Preventing Bacterial Decay of Wood in Foundationpiles and Archaeological Sites*' tır (Temel Kazıklarında ve Arkeolojik Sitlerde Ahşabın Bakteriyel Bozulmasının Önlenerek Kültürel Mirasın Korunması). Sualtında *In situ* koruma ya da depolama sırasında risk faktörlerinden biri olan mikrobiyolojik bozulmaların incelenmesi amacıyla planlanmıştır. Suyu doymuş ahşabın bozulmasına neden olan bakterilerin tespiti ve bu bilginin bilinen koruma yöntemlerine uyarlanması da projenin amaçlarındandır. Beş farklı ülkedeki 27 sit alanında, *in situ* depolanan suya doymuş ahşap kültür varlıkları üzerinde çalışılmıştır. Mevsimsel hava değişimlerinin bozulmalardaki etkisinin incelenebilmesi için 12 aya yayılan uzun süreli analizler yapılmıştır. Proje sonucunda; düşük oksijen ve nitrojen seviyesinde hayatta kalabilen, bozulma şiddetinin ağaç türüne göre değiştiği, inceleme yapılan farklı iklim bölgelerinin tamamında aynı bakteri türleri tespit edilmiştir (Klaasen, 2005).

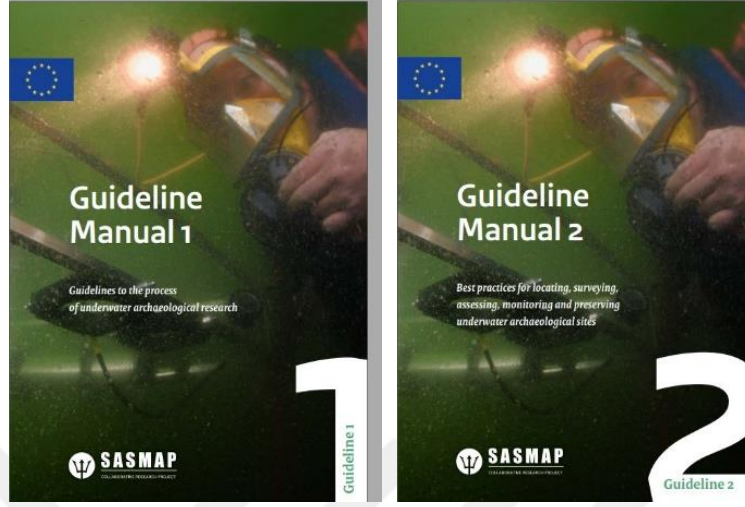
4.3 Sualtı Kültür Varlıklarının *In situ* Koruması Sırasinda Kullanılan Ekipmanların Geliştirilmesine ve Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırmasına Yönelik Projeler

4.3.1 SASMAP Projesi

SASMAP projesi, 2012-2015 yılları arasında David Gregory başkanlığına yürütülmüştür. Yedi Avrupa ülkesinden kuruluşlarla ortak çalışılmıştır. Projenin önemli çıktılarından birisi; sualtı kültür varlıklarını koruma uzmanları, arkeologlar ve diğ r uzmanların kullanabilmesi için hazırlanan iki kitaptır (Resim 4.22) (Gregory, 2013). Seçilen bölgede çalışmalar altı aşamada yürütülmüştür. Bunlar;

- Kültür varlıklarının yer tespiti için jeolojik modellemeler yapılması,
- Sualtı kültür varlıklarının tespiti ve gözlenmesi için yeni cihazların  retilmesi,
- G m  ortamının analizi ve organik kültür varlıklarının bozulmalarının tespiti,
- Suya doymuş sualtı kültür varlıklarının korunma durumunun tespiti,
- Suya doymuş organik kültür varlıklarının kazı ve kurtarma çalışmalarında kullanılabilecek yeni yöntemlerin test edilmesi,
- Arkeolojik veri barındıran sit alanlarının stabilizasyonu için *in situ* koruma yöntemlerinin uygulanması ve test edilmesidir (Manders ve Gregory (ed), 2015: 9).

Resim 4.22: SASMAP Projesi rehber kitapları.



Kaynak: <https://slidetodoc.com/development-of-tools-and-techniques-to-survey-assess/>, 22/05/2022

4.3.2 MaTaCos Projesi

‘MaTaCos projesi; İtalya Ekonomik Gelişim Bakanlığı’nın mali desteği ile planlanmıştır. Projenin amacı; sualtında bulunan doğal ya da arkeolojik öneme sahip taş kültür varlıklarının yüzeyinde biriken biyolojik bozulma unsurlarının temizlenmesi ve sağlamlaştırılması sırasında kullanılabilecek araç-gereçlerin geliştirilmesidir. Proje sırasında geliştirilen araç-gereçler, İtalya’nın *Briatica* kentinde bulunan *Peschiere di Sant’Irene* antik kentindeki arkeolojik kalıntılar üzerinde test edilmiştir. Planlamada; uygulama öncesi analizler, mekanik temizlik, harç ile sağlamlaştırma ve *in situ* analizler ile çevresel faktörlerin uygulama alanı üzerindeki etkinliğinin denetlenmiştir. Üretilen araç gereçler orijinal malzeme üzerinde kullanılmadan önce, laboratuvar ortamında modern taşlar üzerinde test edilmiştir (<https://en.matacosproject.com>, 22/05/2022).

Projede; şarjlı ve güç kaynaklarına bağlanan, uçları değiştirilebilir matkaplar, fırçalar ve bir de sağlamlaştırmak için enjeksiyonda kullanılabilir el aleti üretilmiştir (Resim 4.23). Saha çalışmaları sonunda; üretilen bu malzemelerin taş kültür varlıkları yüzeyindeki kaba tortulların ve biyolojik bozulma unsurlarının temizlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte; çalışma ekibi üretilen cihazların uzman bir konservatör tarafından kullanılmasının, orijinal yüzey

tabakasının yanlışlıkla kaldırılmasının engellenmesi için gerekli olduğunu da vurgulamıştır (Scalercio v.d., 2021). Proje uygulamaları sırasında çekilmiş olan video ve görsellere: <https://www.matacosproject.com/> adresinden ulaşılabilir.

Resim 4.23: *MaTaCos* Projesi kapsamında üretilen, *in situ* temizlik ve sağlamlaştırmada kullanılan araçlar. (A) Şarjlı fırça, (B) değiştirilebilir başlıklı temizleyici, (C) Şarjlı darbeli matkap, (D) Ucu değiştirilebilir temizlik aracı, (E) Enjeksiyon aracı.



Kaynak: Scalercio v.d., 2021: 6-12.

4.3.3 CoMAS Projesi

2011-2015 yılları arasında yürütülen olan proje; sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma ve onarımında yeni teknikler ve araçların üretilmesi ve denenmesi amacıyla yürütülmüştür. İtalya'nın ISCR (*Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro*- Yüksek Koruma ve Restorasyon Enstitüsü) kurumunun 3D görüntüleme ve DIMEG (*Department of Mechanical, Energy, and Management Engineering*- Makine, Enerji ve İşletme Mühendisliği Birimi) kurumunun sualtı araştırma araç desteği verdiği projeye; <http://www.comasproject.eu> adresinden ulaşılabilir. Sualtı kültür varlıklarından, sedimente gömülü olmayanlarda ana bozulma faktörünün

biyolojik kökenli olduğu bilinmektedir. Mozaikler ve mimari kalıntılar gibi taş malzemeden üretilen kültür varlıklarında bu bozulmaların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, biyolojik bozulma faktörlerinin büyümesini önleyecek malzemeler ve üç farklı elektrokimyasal temizlik yöntemi mozaikler üzerinde test edilmiştir. ROV kullanılarak bu aletlerin insan faktörü olmadan nasıl sonuç vereceği gözlenmiştir (Bruno v.d., 2016a).

CoMAS Projesi kapsamında; MaTaCos Projesinde olduğu gibi kültür varlıklarının üzerinde biriken kabuk tabakasının temizlenebilmesi için yeni ekipmanlar üretilmiştir. Bu ekipmanlar *Baiae* antik kentindeki taş kültür varlıkları ve mozaikler üzerinde test edilmiştir. Denizel canlıların kalkerli kalıntıları bazı durumlarda taş yüzeyinden orijinal parça kaybı olmadan kaldırılamadığı için yüzeydeki kabuk tabakasını inceleyecek ek parçalar geliştirilmiştir. Üretilen cihazlar, kendi güç haznelerine bağlanmakta ve hassas çalışmalar için uçları ihtiyaca göre değiştirilebilmektedir (Resim 4.24). 3D belgeleme çalışmaları için referans noktalarını ve kültür varlıkları taramalarını doğru yapılabilmesi için üretilen cihazlarla yüzey temizlenmektedir (Bruno vd, 2015a).

Resim 4.24: CoMAS Projesi kapsamında üretilen taşlama cihazı.



Kaynak: Biaberi ve Galati, 2015: sy.

Resim 4.24'te, (A)'da yüzeydeki denizel organizma kalıntılarını temizlemesi, (B)'de ise yüzeydeki kalkerli kabuk birikiminin inceltilmesi görülmektedir.

Yüzeydeki denizel organizma kalıntıları ve kabuk tabakaları, proje kapsamında üretilen cihazlarla temizlenen taş kültür varlıklarında, yüzey koruyucular da CoMAS Projesi kapsamında test edilmiştir. Test edilen yüzey koruyucular; TiO₂,

ZnO ve Ag içerikli nanotozlardır. Tozlar; sualtında *İn situ* taş yüzeyine yapışabilmeleri için siloksan mumlar ile karıştırılmıştır. Yüzey koruyucuların test edilebilmesi için denizel ortamda bekletilerek üzerinde biyofilm oluşturulmuş modern taş plakalar kullanılmıştır. Yüzey koruyucular; 4, 12, 20 ve 24 ay sonunda örneklerden parçalar alınarak SEM-EDS (Energy dispersive spectrometry- Taramalı elektron mikroskobu- Enerji dağılımı spektrometresi) ile incelenmiştir. İncelemeler sonucunda; gümüş içerikli nanotozun yüzeyde biyofilm oluşumunu yavaşlattığı fakat yüzeyin siyahımsı bir renk almasına neden olduğu tespit edilmiştir. 20. ayın sonunda yapılan analizlerde, taş yüzeyindeki tabakanın hemen hemen tamamen koruyuculuk özelliğini kaybettiği de belirlenmiştir. Bu nedenle; nanotuzlar kullanılarak yapılan yüzey koruma uygulamaları, düzenli aralıklarla tekrarlanması gereken bir yöntemdir (Ruffolo v.d., 2017).

SONUÇ

1990 yılında ‘Arkeolojik Mirasın Korunması ve Yönetimi Konulu Tüzük’ ve bu tüzüğe ek olarak 1996’da ICOMOS ‘Sualtı Kültür Mirasının Korunması ve Yönetimi ile İlgili Tüzük’ yürürlüğe girmiştir. Sualtı kültür varlıkları, sualtında kalmış yerleşme ve yapılar, batık alanları, batıklar ve bunların arkeolojik içerikleri olarak tanımlanmaktadır. Bu kültür varlıklarının *in situ* koruması; 2001 yılında UNESCO’nun ‘Sualtı Kültür Mirasının Korunması Sözleşmesi’nde uygulanması gereken ilk yöntem olarak kabul edilmiştir. Sualtı arkeolojisi ise batıklar ve mimari yapılar gibi çeşitli nedenlerle sualtında kalmış kültür varlıkları üzerinde yürütülen çalışmaları kapsamaktadır. *In situ* terimi; yerinde ve sabit olan anlamına gelmektedir. *In situ* koruma ise alanın daha önce incelenmiş veya kazılmış olmasına bakılmaksızın objelerin ömürlerini uzatmak ve bozulma türlerini saptamak için yürütülen faaliyetlerin bütünüdür. Öncelikli tercih olarak kabul edilen bu yöntem; pahalı, çevresel unsurlar ve insani risk faktörlerinin yaratacağı bozulmaların engellenmesi adına yapılan çalışmalardır. Sualtı kazılarının kara kazılarından daha fazla zaman alması, özel ekipmanlar ve dalış konusunda deneyimli kazı çalışanları gerektirmesi maliyetin artmasına neden olmaktadır. Arkeolojik objelerin bulundukları yerde korunması orijinal bağlamalarının korunması açısından önemlidir.

Sualtı kültür mirası; belirli bir zaman aralığında üretilen, kanıtlarla aralarında ilişki kurulabilen, sanatsal, sosyal ve sembolik öneme sahip olan, somut ve çoğunlukla taşınabilen objelerden oluşmaktadır. Korumaya değer görülen arkeolojik veri, *in situ* koruma yöntemleri kullanılarak gelecek nesillere aktarılmaktadır. *In situ* koruma yöntemlerinde hangisinin seçileceğine karar vermek için kültür varlıklarının korunma durumları ve bozulma süreçlerini etkileyen risk faktörleri incelenmektedir. *In situ* koruma yöntemiyle risk faktörlerini azaltmak adına sismik görüntüleme yöntemleri, özellikle batıkların belgelenmesinde kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri gibi analog ve dijital verilerin kaydedilmesi, gerektiğinde düzeltilmesi ve verilerin analizleri için çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Analizler için jeodezik, fotogrametrik, uzaktan algılama ve lazer tarayıcıları ile ölçümler yapılmaktadır. 3D belgeleme ile özellikle batık ve mimari kalıntılar ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir. *In situ* çizim ile objelerin tam konumları, birbiriyle bağlantıları kesin olarak

belgelenebilmektedir. Bununla birlikte; kültür varlığının bulunduğu bölgenin ortam şartları, sedimentteki biyolojik kalıntılar ve akıntılar hakkında edinilen bilgiler de önem taşımaktadır.

Son zamanlarda kültür varlıklarının tespiti ve gözlemine dayalı yerinde koruma, sergileme yöntemi, dijital görüntüleme ile çizim ve fotogrametrik tarama çalışmaları yaygınlaşmıştır. Özellikle fotogrametrik yöntemler, alanın 3D ile kolay anlaşılması ve hızlı uygulama imkânı sunması nedeniyle önemli tercih sebebidir. 3D tarama sualtı arkeolojisinde insan kaynaklı oluşan hataları aza indirmektedir. Bu durum derin deniz batıklarında avantaj sağlamaktadır. Sediment tabakasının; fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, sualtı kültür varlıkları için sualtında risk faktörleri oluşturmaktadır. *In situ* korumada önemli olan sediment özellikleri; pH, Eh, çözülmüş oksijen oranı, tortulların tanecik boyutu, sertliği, gözenekliliği, organik içeriği, sülfid ve sülfat içeriğidir. Sediment analizleri deniz tabanından örnek alınarak *ex situ* yapılabilmekte, *ex situ* analizler sedimentin fiziksel özelliklerinin yanısıra kimyasal içerik hakkında da bilgiler sunduğundan önemlidir. Sediment için yapılan bir diğer analiz; erozyon modellemesidir. Sediment hareket modellemesi; akıntı ve dalga modellemeleriyle eş zamanlı yapıldığında çok geniş alanlarda birden çok bozulma faktörünün tespitini sağlamaktadır. Kültür varlıklarını çevreleyen suyun analizi; sürekli değişim halinde ve bölgesel olarak farklı özelliklere sahip olması nedeniyle koruma yönteminin seçiminde önem taşımaktadır.

Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma yöntemleri; yeniden gömme ve katodik koruma gibi sağlamlaştırma, temizlik ve onarım uygulamalarını da kapsamaktadır. *In situ* koruma; bazen sadece belgeleme ve gözleme dayalı pasif koruma yöntemlerinin, bazen de alandaki kültür varlıkları üzerinde biriken biyofilmin temizlenmesi gibi onarım yöntemlerinin seçilmesini gerektirmektedir. Sediment tabakasının kültür varlıklarının bozulma süreçleri üzerindeki yavaşlatıcı etkisi göz önünde bulundurularak, doğal bir fiziksel bariyer ile koruma sağladığı bilinmektedir. Sediment tabakası erozyona uğramış arkeolojik alanlarda; biyolojik ve fiziksel bozulma faktörlerinin etkinliğini azaltmanın ucuz ve basit yolu kum torbaları ile yeniden gömme yöntemidir. Yapay olarak oluşturulan kum torbası katmanı, zamanla sediment tuzağı halini almakta ve alanın yüzeyinin yeniden kapanmasına yardımcı

olmaktadır. Sediment tuzağı olarak kullanılan bir başka fiziksel bariyer oluşturma yöntemi; yapay deniz çimi kullanımıdır. Bu yöntem özellikle *Teredo Navalis* gibi makroorganizma etkinliğini engellemektedir. Diğer bir yöntem aynı zamanda gölge bezi olarak bilinen propilen ağ kullanımıdır. Bir diğer malzeme ise metal kafeslerdir. Katodik koruma sualtındaki metal objelerin *In situ* koruması için oluşturulmuş bir yöntemdir.

In situ korumada yapılan hidrolojik analizler; kültür varlıklarının ortam şartlarının, bozulma durumlarının gözlenmesi ve gerektiğinde alana müdahale edilebilmesi için önem taşımaktadır. Deniz suyu çözünmüş inorganik maddeler, atmosferik gazlar, organik maddeler ve asılı halde bulunan parçacıkların karışımı olan karmaşık bir sistemdir. Suyun kültür varlıklarını *in situ* korumada önemli olan kimyasal özellikleri; çözünmüş gazlar, asidite ve redox potansiyelidir. İnorganik kültür varlıkları pH değişimlerine karşı organik kültür varlıklarına kıyasla daha dayanıklıdır. Asiditenin değişimi, inorganik kültür varlıklarını dolaylı yoldan etkilemektedir. Kültür varlıklarının bozulma unsurlarından biri olan mantarlar, asidik ortamlarda daha kolay biyofilm oluşturmaktadır. Kültür varlıkları ile temas halinde olan suyun kimyasal özelliklerinin analizi, hidrolojik analizlerin bir parçasıdır. Açık denize maruz kalan kültür varlıkları, sediment altına gömülü olanlara kıyasla, kimyasal bozulmalardan daha çok etkilenmektedir.

Denizel ekosistemin biyolojik unsurlarından olan; *Teredo Navalis*, *Limnoria* ve *Asellus* organik kültür varlıklarının bozulmalarını hızlandırırken; *Posedonia Ocenia* yarattığı anoksik ortam ile bozulma süreçlerini yavaşlatmaktadır. Sualtı kazılarında sıklıkla karşılaşılan suya doymuş ahşap kültür varlıkları üzerinde mikroorganizmalar, makroorganizmalar kadar ileri derecede bozulmalara yol açabilmektedir. Ancak, mikroorganizmaların 50 cm'den daha derin sediment tabakası ile kaplı bölgelerde, çözünmüş oksijen azlığı nedeniyle aktif olmadıkları bilinmektedir.

Sualtı kültür varlıkları, malzeme türlerine göre, ortam şartlarının değişmesi sonucu farklı bozulmalara uğrayabilmektedir. Denizel ortamdaki su ile sedimentin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde yaşanan değişimler, denizel ortamın kendi yapısından kaynaklanabileceği gibi iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin sonucu

olarak da oluşabilmektedir. Aynı zamanda sediment tortullarının; fiziksel ve kimyasal özellikleri ile içerdği organik madde miktarı da bozulma süreçlerini hızlandırabilir ya da yavaşlatabilir.

Sualtı arkolojik kazılarında; metal, taş, seramik, cam gibi inorganik kültür varlıkları dışında ahşap, deri, kemik, boynuz gibi iskeletsel malzemeler ve tekstil gibi organik kültür varlıklarıyla da karşılaşmaktadır. Bu kültür varlıkları çevre şartlarına ve malzemenin türüne göre farklı bozulmalara maruz kalmaktadır. Örneğin, ahşap kültür varlıklarında sualtında bozulmalara yol açan temel unsur biyolojik kaynaklıdır. Bu bozulmalar ağacın cinsine göre de değişiklik göstermektedir. Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruma yöntemleri seçilirken; objelerin bozulma durumları, çevresel faktörler ve koruma planlamasının süresi dikkate alınmaktadır.

Sualtı kültür varlıklarının korunması adına çeşitli projeler yürütülmektedir. Bu projelerin bazıları ar-ge çalışmaları niteliğinde olup yeni yöntemleri kısa ve uzun sürede deneyerek alan çalışanlarına yol gösteren yöntemleri önermektedir. Sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması konusunda yapılan projeler, 2001 yılı ve sonrasında yoğunlaşmıştır. Bu projeler; genel olarak, sualtı kültür varlıklarının bozulma süreçlerinin anlaşılması ve bu süreçlerin yavaşlatılması amacıyla planlanmıştır. Bu projelerin ortaya konulan çıktıları dikkat çekicidir. Örneğin, Avrupa'daki farklı sualtı sit alanlarında yapılmış olan *in situ* koruma projelerinin genel sonucu; ince taneli sediment tabakasına en az 50 cm derinde kalacak şekilde gömülmüş olan kültür varlıklarında, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma faktörlerinin etkinliğinde yavaşlamaya neden olmasıdır. Birbirinden farklı malzemelerden üretilmiş kültür varlıkları barındıran, denizin jeolojik özellikleri ve deniz tabanındaki konumdan farklı boyutlarda etkilenen, gemi batıkları gibi karmaşık sit alanlarında bile jeotekstil+sentetik ağ+kum torbası+sediment ile gömme yöntemi ile yapılan koruma uygulamaları bozulma unsurlarının etkinliğini yavaşlatabilmiştir. Deniz tabanından en az 50 cm derinlikte yapılan yeniden gömme; sit alanını insan etkisinden de korumayı başarmaktadır. Yine de sualtından çıkartılarak *ex situ* onarımı yapılmış, tekrar sualtına görürülerek burada depolanması planlanan suya doymuş kültür varlıklarının bu uygulamaya verdiği tepkilerin değiştiği tespit edilmiştir. Yeniden gömmenin

depolama amacıyla yapılması üzerine kurgulanmış olan RAAR Projesi sonlandığında, bu yöntemin etkinliği ile ilgili ayrıntılı bilgiler edinmek mümkün olacaktır.

Bununla birlikte; şimdiye kadar yapılmış projeler, nispeten stabil ortamlarda planlanmıştır. Türkiye gibi genç sedimentlere, yoğun akıntılara, biyolojik aktivasyona ve insan etkisine açık bölgelerde *in situ* korumanın uzun süreli bir uygulama olarak ne seviyede etkili olacağı bilinmemektedir. Bu nedenle; Türkiye’de de sualtı kültür varlıklarının *in situ* koruması konusunda ayrıntılı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Böylece; Türkiye karasularında bulunan kültür varlıklarının bozulma süreçleri, literatürde bulunan diğer projeler ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- ABDEL KADER R.R., EL-SAYED S.S.M., EL-GHAREEB S., 2017 “Marine Environment’s Effect on the Deterioration of Archaeological Buildings in the Mediterranean Sea Coast (Alexandria- Egypt as An Example)”, **International Journal of Archaeology**, 5 (2), s. 14-18.
- ALOTTA B. COSTANZI R., RIDOLFI A., SALVETTI O., REGIANNINI M, KRUUSMAA M., SALUME T., LANE D. M., FROST G., TSIOGKAS N., COCCO M., GUALDESI L., LACAVA G., ROIG D., GUNDOGDU H. T., DEDE M.I.C., TUSA S., LATTI P., SCARADOZZI D., 2018 “The ARROWS Project: Robotic Technologies for Underwater Archaeology”, **Material Science and Engineering**, Vol. 364 (1), s. 1-8.
- ALVIK R., 2004 “Safeguarding the Wreck of *Vrouw Maria*”, **MoSS Newsletter**, 3/2004, s. 11-13.
- ANTONELLI, F., PERASSO, C. S., RICCI, S., PETRIAGGI, B. D. 2015 “Impact of the Sipunculan Aspidosiphon Muelleri Diesing, 1851 on Calcareous Underwater Cultural Heritage”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 100, s. 133-139.
- AYDIN M., UĞIŞ A., AKKUZZU E., ÜNAL S., 2017 “Orman Yangınlarının Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri”, **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 17 (4), s. 554-564.
- BAERT K., 2016/2017 **The Role of *Asellus Aquaticus* on Organic Matter Degradation on Constructed Wetlands**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,

- Universiteit Gent, Faculty of Bioscience Engineering.
- BAEYE M., DEMERRE I., 2000 “Sedimentation-Erosion Study and Future Modelling”, **MACHU Final Report**, s. 56-58.
- BAKER P. HENDERSON G., 1979 “James Matthews Excavation. A Second Interim Report”, **the International Journal of Archaeology**, Vol. 8, s. 225-244.
- BANDULA MANDAWALA P., 2017 “Protection of the Underwater Cultural Heritage of Sri Lanka Through International Cooperation”, **Proceedings of the ICLAFI – ICUCH Symposium the UNESCO Convention on the Protection of Underwater Cultural Heritage: How Do We Make it Work?**, 29th June – 1st July 2017, Cultural Heritage Agency Of The Netherlands, s. 50-80.
- BARTULI C., PETRIAGGI R., DAVIDDE B., PALMISANO E., LINO G., 2008, “*In situ* Conservation By Cathodic Protection Of Cast Iron Findings In Marine Environment”, **9th International Conference on Non-Destructive Investigations and Micro Analysis for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Heritage of Art 2008** Jerusalem, 25–30 May 2008, Jerusalem.
- BAŞÇINAR S.N., 2009 “Bentik Canlılar ve Biyoindikatör Tür”, **SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni**, 9:1, s. 5-8.
- BASS G. F., 1967 “Cape Gelidonya: A Bronze Age Shipwreck”, **Transactions of the American Philosophical Society**, Vol. 57/ No. 8, s. 1-177.

- BASS G. F., 1971 "A Fourth-Century Shipwreck at Yassi Ada", **American Journal of Archaeology**, Vol. 75 /No. 1, s. 27-37.
- BASS G. F., 2003 "The Ethics of Shipwreck Archaeology", **Ethical Issues in Archaeology**, Ed: Larry J. ZIMMERMAN, Karen D. VITELLI, Julia J. HOLLOWELL, Altamira Press, New York, s. 57-69.
- BATCHVAROV K., 2020 "A Method for Documenting Hidden Structures on Shipwrecks: The Case of Vasa and Warwick", **The International Journal of Nautical Archaeology**, 49.1, s. 65-73.
- BATHENCOURT M., "Study of the Influence of Physical, Chemical and Biological Conditions that Influence the Deterioration and Protection of Underwater Cultural Heritage", **Science of the Total Environment**, 613-614, s. 98-114.
- FERNÁNDEZ-MONTBLANC T., IZQUIERDO A., GONZÁLEZ-DUARTE M.M., MUÑOZ-MAS C., 2018
- BAVA-DE-CAMARGO P.F., 2015 "The Use of Side Scan Sonar in Brazilian Underwater Archaeology", **RIO Acoustics 2015, IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium Cprm**, Urca, Rio De Janeiro, Brazil | July 29 - 31, 2015.
- BAYKAN C., 2014 **Toprak Altı Cam Buluntularının Koruma ve Onarımı**, Homer Kitapevi, İstanbul.
- BEAUBIEN S.E., GRAZIANI S., ANNUNZIATELLIS A., BIGI S., RUGGIERO L., TARTARELLO M.C., LOMBARDI S., 2014 "Spatial-Temporal Water Column Monitoring Using Multiple, Low-Cost Gaspro-Pco2 Sensors: Implications for Monitoring, Modelling, And Potential Impact", **Energy Procedia**, Vol 63, s. 3840 – 3847.

- BEER J., MATTHIESEN H., CHRISTENSSON A., 2013 “Quantification and Visualization of *in situ* Degradation at the World Heritage Site Bryggen in Bergen, Norway”, **Conservation and MGMT of ARCH Sites**, Vol 14, Nos 1-4, s. 215-227.
- BEKIČ, L. (ed.). 2011 **Conservation of Underwater Archaeological Finds: Manual**, International Centre For Underwater Archaeology in Zadar.
- BELASUS M., 2000 “An Example of The Impact of Infrastructural Works on the Management of Our Cultural Heritage Underwater Russian Gas and A Swedish Ship Barrier of 1715”, **MACHU Final Report**, s. 93-98.
- BENGİL F., MAVRUK S., 2019 “Türkiye Denizleri Işık Etkileşimleri”, **Acta Aquatica Turcica**, 15 (2), s. 171-180.
- BENJAMIN J., 2010 “Submerged Prehistoric Landscapes And Underwater Site Discovery: Reevaluating The ‘Danish Model’ for International Practice”, **Journal of Island & Coastal Archaeology**, 5, s.253–270.
- BERGSTRAND T., NYSTRÖM GODFREY I. (Ed), 2006 **Reburial And Analyses of Archaeological Remains Studies on the Effect of Reburial on Archaeological Materials Performed in Marstrand, Sweden 2002-2005 The RAAR Project**, Kulturhistoriska Dokumentationer Nr 20, Bohusläns Museum Och Författarn.
- BERGSTRAND T., NYSTRÖM GODFREY I. (Ed), 2006 **Reburial And Analyses of Archaeological Remains Studies on the Effect of Reburial on Archaeological Materials Performed in Marstrand, Sweden 2002-2005 The RAAR**

- Project**, Kulturhistoriska Dokumentationer Nr 20, Bohusläns Museum Och Författarn.
- BJÖRDAL C.G., 2012a “Microbial Degradation of Waterlogged Archaeological Wood”, *Journal of Cultural Heritage*, 135, s. 118-122.
- BJÖRDAL C.G., 2012b “Evaluation of Microbial Degradation of Shipwrecks in The Baltic Sea”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 70, s. 126-140.
- BJÖRDAL C.G., DANIEL G., NILSSON T., 2000 “Depth of Burial, An Important Factor in Controlling Bacterial Decay of Waterlogged Archaeological Poles”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 45, s. 15-26.
- BJÖRDAL C.G., NILSSON T., 2007 “Reburial of Shipwrecks in Marine Sediments: A Long-Term Study on Wood Degradation”, **Journal of Archaeological Science**, 35, s. 862-872.
- BJÖRDAL G. C., GREGORY D., MANDERS M., AL-HAMDANI Z., APPELQVIST C., HAVERHAND J., DENCKER J., 2012 “Strategies for Protection of Wooden Underwater Cultural Heritage in The Baltic Sea Against Marine Borers. The EU Project ‘Wreck Protect’”, **Conservation and MGMT of ARCH: Sites**, Vol 14, No 1-4, s. 201-214.
- BJÖRDAL, C. G., NILSSON, T., DANIEL, G. 1999 “Microbial Decay of Waterlogged Archaeological Wood Found in Sweden Applicable to Archaeology and Conservation”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 43(1-2), s. 63-73.

- BOHM C., CHRISTENSSON E., NORD A., TRONNER K., 2006 “Investigation into the Effects of Reburial on Artefacts Made of Ceramics and Glass”, **Reburial and Analysis of Archaeological Remains (RAAR) Final Report**, Appendix 3
- BORGES L., MARCKELBACH L., CRAGG S.M., 2014 “Biogeography of Wood-Boring Crustaceans (*Isopoda: Limnoriidae*) Established in European Coastal Waters”, **PLOS ONE**, Vol 9, Issue 10, s. 1-9.
- BOWENS A. (ed), 2009 **Underwater Archaeology: the NAS Guide to Principles and Practice**, Second Edition, The Nautical Archaeology Society, Blackwell Publishing.
- BOZTUĞ D., DERE T., TAYHAN N., YILDIRIM N., DANABAŞ D., CİCİKOĞLU YILDIRIM N., ÖZTÜFEKÇİ ÖNAL A., DANABAŞ S., ERGİN C., USLU G., ÜNLÜ E., 2012 “Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi”, **Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 2 (29, s. 93- 106.
- BREITZKE M., 2006 “Physical Properties of Marine Sediments”, in Book: **Marine Geochemistry Edition: 2nd Revised, Updated and Extended Edition**, Chapter: 2 Publisher: Springer, Berlin, DOI: 10.1007/3-540-32144-6_2
- BRENNAN M.L., DAVIS D., BALLARD R.D., TREMBANIS A.C., VAUGHN J.I., KRUMHOLZ J.S., DELGADO J.P., ROMAN C.N., SMART C., “Quantification of Bottom Trawl Fishing Damage to Ancient Shipwreck Sites”, **Marine Geology**, Vol 371, s. 82-88.

- BELL K.L.C., DUMAN M.,
DUVAL C., 2016
- BRODA M. MAZELA B., 2017 “Application of Methyltrimethoxysilane to Increase Dimensional Stability of Waterlogged Wood”, **Journal of Cultural Heritage**, 25, s. 149-156.
- BRODA M., CALLUM HILL A.S., 2021 “Conservation of Waterlogged Wood—Past, Present and Future Perspectives”, **Forests**, Vol 12, Issue 1193.
<https://doi.org/10.3390/f12091193>
- BRODA M., CURLING S.F., SPEAR M.J., CALLUM HILL A.S., 2019, “Effect of Methyltrimethoxysilane Impregnation on the Cell Wall Porosity and Water Vapour Sorption of Archaeological Waterlogged Oak”, **World Science and Technology**, 53, s. 713.
- BROWN R., BUMP H., MUNCHER D.A., 1988 “An *In situ* Method for Determining Decomposition Rates of Shipwrecks”, **the International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration**, 17:2, s. 143-145
- BRUNO F., LAGUDI A., BARBIERI L., MUZZUPAPPA M., MANGERUGA M., PUPO F., COZZA M., COZZA A., RITACCO G., PELUSO R., TUSA S., 2017 “Virtual Diving in the Underwater Archaeological Site of *Cala Minnola*”, **the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Vol: XLII-2/W3, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece.
- BRUNO F., LAGUDI A., COLLINA M., MEDAGLIA S., DAVIDDE PETRIAGGI B., “Documentation and Monitoring of Underwater Archaeological Sites Using 3D Imaging Techniques: The Case Study of the

- PETRIAGGI R., RICCI S., “Nymphaeum of Punta Epitaffio” (*Baiae*, Naples)”, **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-2/W10, 2019 Underwater 3D Recording and Modelling “**a Tool for Modern Applications and CH Recording**”, 2–3 May 2019, Limassol, Cyprus
- BRUNO F., LAGUDI A., “3D Documentation of Archeological Remains GALLO A., MUZZUPAPPA M., in The Underwater Park of *Baiae*”, **the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XL-5/W5, 2015 Underwater 3D Recording and Modeling, Italy
- PETRIAGGI DAVIDDE B., **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XL-5/W5, 2015 Underwater 3D Recording and Modeling, Italy
- BRUNO F., LAGUDI A., “The *Comas* Project: New Materials and Tools GALLO A., MUZZUPAPPA M., for Improving the *In situ* Documentation, PETRIAGGI DAVIDDE B., Restoration, and Conservation of Underwater PASSARO S., 2015BRUNO F., Archaeological Remains”, **Marine Technology GALLO A., BARBIERI L., Society Journal**, 50 (4), s. 108-118 (11).
- MUZZUPAPPA M., RITACCO G., LAGUDI A., 2016a
- BRUNO F., LAGUDI A., “Project VISAS: Virtual and Augmented MUZZUPAPPA M., LUPIA M., Exploitation of Submerged Archaeological CARIO L., PASSARO S., Sites–Overview and First Results”, **Marine Technology Society Journal**, Vol 50 No 4, s. 119-129.
- SAGGIOMO R., 2016
- BRUNO F., LAGUDI A., “Development and Integration of Digital RITACCO G., AGRAFIOTIS P., Technologies Addressed to Raise Awareness SKARLATOS D., ČEJKA, J., And Access to European Underwater Cultural KOUŘIL P., LIAROKAPIS F., Heritage. An Overview of the *H2020 I-*

- PHILPIN-BRISCOE O., POULLIS C., 2017 "Mareculture Project", **Oceans 2017-Aberdeen, Ieee**, s. 1-10.
- CÁMARA B., ALVAREZ DE BUERGO M., BETHENCOURT M., FERNANDEZ-MONTBLANC T., LA RUSSA M.F., RÍCCA M., FORT R., 2017 "Biodeterioration of Marble in an Underwater Environment", **Science of the Total Environment**, 609, s. 109-122.
- CAMERON E., SPRIGGS J., WILLS B., 2006 "The Conservation of Archaeological Leather", **Kitap İçinde Bölüm, Conservation of Archaeological Leather and Related Materials**, Ed: Marion Kite, Roy Thomson, Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology, s. 244-260.
- CAMIDGE K., 2009 "HMS Colossus, An Experimental Site Stabilization", **Conservation and MGMT of Arch. Sites**, Vol. 11 No. 2, s. 161–88.
- CAN A., SİVRİKAYA H., 2020 "Evaluation of Marine Wood Boring Organism's Attack on Wood Materials in the Black Sea Coastal Region", **Bioresources**, 15(2), s. 4271-4281.
- CANLI A.G., KURTOĞLU İ., CANLI O.M., TUNA S.Ö., 2015 "Dünyada ve Ülkemizde İnsansız Sualtı Araçları (İSAA-AUV& ROV) Tasarım ve Uygulamaları", **GİDB Dergi**, Sayı 4, s. 43-75.
- CAPLE C., 2008 "Preservation *In situ* the Future for Archaeological Conservators?", **Studies at Conservation**, Vol. 53, s. 214-217.
- CAPULLI M., 2020 "Fluval Archaeology in Italy. Methods and First Results for the Study of a Roman Shipwreck Area", **The Journal of Fasti Online**, Published

- by the Associazione Internazionale Di Archeologia Classica.
- CEDERLUND C. O. (ed), 2003 MoSS Newsletter 2003: III Theme: The Eric Nordevall June 2003.
- CEDERLUND C. O., 2004 “The Safeguarding of The Paddle Steamer E. Nordevall”, **Moss Newsletter 2004: III Theme: The Safeguarding Theme** May 2004.
- CHAPMAN, P., CONTE G., “Venus, Virtual Exploration of Underwater Sites”, **Proceeding of Joint Event CIPA/VAST/EG/Euro-Med.**
- DRAP P., GAMBOGI P., GAUCH, F., HANKE K., LONG L., LOUREIRO V., PAPINI O., PASCOAL A., RICHARDS J., ROUSSEL D., 2006
- CHEN R., JAKES K.A., 2013 “Cellulolytic Biodegradation of Cotton Fibres from A Deep-Ocean Environment”, **Journal of American Institute for Conservation**, Vol 40, s. 91-103.
- CHEN X Q., ZHANG B., ZANG A., 2021 “A Novel Method of Temporary Solidification and Extraction of Underwater Fragile Relics in Their Original State”, **International Journal of Adhesion**, Vol 104, s. 1-6.
- CHEN X. Q., ZHANG B., 2019 “Application of Veratraldehyde as a Temporary Consolidant for Relics at Underwater Cultural Heritage Sites”, **Archaeometry**, 61(6), s. 1417-1429.
- COLLIER B.J., BIDE M., TORTORA P.G., 2009 **Understanding Textiles**, Seventh Edition, Pearson International Edition, Ed: Vernon Anthony, New Jersey.
- ÇÖRDÜK A., 2006 **Yunan ve Roma Mimarisinde Yapı Teknikleri**, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi,

- Danışman: Gül Gültekin Demir, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Klasik Arkeoloji Anabilim Dalı.
- CORONEOS C., 2006 A Cheap and Effective Method of Protecting Underwater Cultural Heritage, **Heritage at Risk Spatial** Edition: Underwater Cultural Heritage at Risk: Managing Natural and Human Impacts, Ed: Robert Grenier, David NUTLEY, Ian COCHRAN, ICOMOS, Paris, France, s. 55-57.
- CRONY J.M., 1990 **The Elements of Archaeological Conservation**, Contributions on Marine Material by W. S. Robinson, Published By: Routledge, London.
- CURCI J., 2006 “The Reburial of Waterlogged Archaeological Wood in Wet Environments”, **Technical Briefs in Historical Archaeology**, 1, s. 21-25.
- DAVIDDE B., 2002 “Underwater Archaeological Parks: A New Perspective and a Challenge for Conservation-The Italian Panorama”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 31.1, s. 83-88.
- DAVIDDE PETRIAGGI B., “Reconstructing a Submerged Villa Maritima: STEFANILE M., PETRIAGGI The Case of The Villa Dei Pisoni in Baiae”, **Heritage**, 3, s. 1199-1209.
- CUIA P., 2020
- DAVIDDE PETRIAGGI B., “MUSAS: an Innovative Project for the STEFANILE M., RICCI S., Enhancement of the Underwater Cultural SACCO PRESSO C., 2019 Heritage”, **International Conference in Management of Accessible Underwater, Cultural and Natural Heritage Sites: “Dive in**

- Blue Growth**", Athens, Greece, 16-18 October 2019.
- DAVIDDE PETRIAGI B., 2004 "Methods and Strategies for the Conservation and Museum Display *In situ* of Underwater Cultural Heritage" **Archaeologia Maritima Mediterranea** 1, s. 137-150.
- DAVIDSON S., 2003 **Conservation and Restoration of Glass**, Second Edition, Butterworth-Heinmann Series In Conservation And Museology, Series Ed: Arts and Archaeology, Andrew Oddy, Copyright. Elsevier Ltd.
- DAVIE T., 2002 **Fundamentals of Hydrology**, Second Edition, Routledge Fundamentals of Physical Geography Series, Series Ed: John Gerrard, Routledge Taylor and Francis Group, London And New York
- DELAUNNE R. D., REDDY K. R., 2005 **"Redox Potential"**, Çevrimiçi Erişime Açık Kaynak. Erişim Adresi: <https://Reader.Elsevier.Com/Reader/Sd/Pii/B0123485304002125?Token=06886C8773A5B265ADF12F9A179B502455DD9FC4CE4634BBEA252E642FE9ABBBDA979D5A119E19099F2D4BD6A686B5BD&Originregion=Eu-West1&Origincreation=20211110110222>, Erişim Tarihi: 10.11.2021
- DI LAUREA T., 2013/2014 ***In situ* Conservation of the Shipwrecks in the Mediterranean Sea**, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Università Ca'Foscari Venezia, Scienze Dell'antichità Letterature, Storia E Archaeologia, 2013/2014.

- DIAMANTI E., "Geometric Documentation of Underwater
GEORGOPOULOS A., Archaeological Sites", **Geoinformatics FCE**
VLACHAKI F., 2013 **CTU**, Vol 11, s. 37-48.
- DILLMANN P., BÊRANGER **Corrosion of Metallic Heritage Artefacts:**
G., PICCARDO P., **Investigation, Conservation and Prediction**
MATTHIESEN H., 2007 **of Long Term Behaviour**, European
Federation Of Corrosion (EFC) Series, Volume
48.
- DILLMANN P., NEFF D., "Archaeological Analogues and Corrosion
FÊRON D., 2014 Prediction: from Past to Future. a Review",
Corrosion Engineering, Science and
Technology, 49:6,567-576,
DOI:10.1179/1743278214Y.0000000214
- DIX J., CAZENAVE P., "Sedimentation-Erosion Modelling as a Tool
LAMBKIN D., RANGE CROFT For Underwater Cultural Heritage
T., PATER C., OXLEY I., 2000 Management", **MACHU Final Report**, s. 48-
53.
- DORUŠIĆ V., ČVRLJAK M., "Technological Protection of an Underwater
2019 Archeological Site; a Newly Discovered Roman
Shipwreck From The 1st Century BC, on the
Island of Pag, Croatia", **International**
Conference in Management of Accessible
Underwater, Cultural And Natural Heritage
Sites: "Dive in Blue Growth", Athens, Greece,
16-18 October 2019.
- EKBERG G., 2000 "Questionnaire on Recreational Diving in
Sweden", **MACHU Final Report**, s. 88-89.
- ELIYAHU M., BARKAI O., "The Iron Anchors from the Tantura F
GOREN Y., ELIAZ N., Shipwreck: Typological and Metallurgical

- KAHANOV Y., ASHKENAZI D., 2011 "Analyses", **Journal of Archaeological Science**, Vol 38, s. 235.
- ENDLER R., 2009 "Sediment Physical Properties of the DYNAS Study Area", **Journal of Marine Systems**, 75, s. 317-329.
- ERIKSEN A. M., GREGORY D., SHASHOUA Y., 2015 "Selective Attack of Waterlogged Archaeological Wood by *Teredo Navalis* and Its Implications for *In situ* Preservation", **Journal of Archaeological Science**, Vol: 55, s. 9-15.
- FERENTINOS G., 2010 "The Contribution of Marine Geology to the Socio-Economic Development of Greece: Marine Resources, Infrastructure, Environment Sustainability, Cultural Heritage", **Bulletin of the Geological Society of Greece**, Proceedings of the 12th International Congress, Patras, May 2010.
- FERNÂNDEZ-MONTBLANC T., QUINN R., IZQUIERDO A., BETHENCOURT M., 2016 "Evolution of a Shallow Water Wave-Dominated Shipwreck Site: *Fougueux* (1805), Gulf of Cadiz", **Geoarchaeology: An International Journal**, Vol 31, s. 487–505.
- FIGUEIREDO A., BERNARDES I., 2010 "The Importance of GIS In Underwater Archaeology", **Conference: UISPP, At: Arqueopress** Vol: 5, s. 29-32
- FLORIAN, M.L.E., 1987 **Conservation of Leather and Related Materials**, Ed: M. KITE, R. THOMSON, Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology, s. 36-54.

- FÖRSTER T., 2003 “New Methods in Monitoring Shipwreck-Sites”, **Moss Newsletter**, Newsletter 2003: II Theme: The *Darss Cog*, June 2003, S. 16-17.
- FÖRSTER T., 2003a “Aerial Photography And Geophysical Survey”, **Moss Newsletter**, Newsletter 2003 II Theme: The *Darss Cog*, June 2003, s. 5-7.
- FÖRSTER T., 2003b “New Methods in Monitoring Shipwreck-Sites”, **Moss Newsletter**, Newsletter 2003 II Theme: The *Darss Cog*, June 2003.
- GELBRICH J., POELMANS L., 2013 “Post-Excavation Storage of Large Waterlogged Wooden Objects: Pilot Project in Monitoring of Degradation Activity”, **12th ICOM-CC WOAM (Wet Archaeological Material) Conference**, İstanbul.
- GELDİAY R., KOCATAŞ A., 2014 **Deniz Biyolojisi**, 9. Basım, Dora Basım Yayın Ltd. Şirketi, Osmangazi, Bursa.
- GLEBA, M. 2014 **Italian Textiles From Prehistory to Late Antique Times**. Gothenburg University.
- GODFREY, I. N., “The RAAR Project—Heritage Management Aspects On Reburial After Ten Years of Work”, BERGSTRAND, T., **Conservation and Management of Archaeological Sites**, 14(1-4), s. 360-371.
- PETERSSON, H., BOHM, C., BJÖRDAL, C. G., ... & CHRISTENSSON, E., RICHARDS, V., 2012
- GÖLBAŞ A., 2019 “Sualtı Arkeolojisinin Terminoloji Sorunları”, The **Journal Of MCRI**, Vol. 7, s. 589-605
- GOODELL, B., QIAN, Y., “Fungal Decay of Wood: Soft Rot—Brown Rot—White Rot”, **ACS Symposium Series**, s. 9-31.
- JELLISON, J. 2008

- GRATTAN, D. W., CLARKE, R. W., 1987. "Conservation of Waterlogged Wood", **Conservation of Marine Archaeological Objects**, s. 164-206. Butterworth-Heinemann.
- GRAVE B.H., 1928 "Natural History of Shipworm, *Teredo Navalis*, At Woods Hole, Massachusetts", **Biological Bulletin**, Vol: 55, No: 4, s. 260-282.
- GREGORY D., 2004 "Monitoring Wooden Shipwrecks: Monitoring the Burgzand Noord 10 and Darss Cog Using the Eauxsys Data Logger", **Final Report of Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage - Challenges for Cultural Resource Management Project**, s. 39-48.
- GREGORY D., 2004 "Monitoring Wooden Shipwrecks: Monitoring the Burgzand Noord 10 And Darss Cog Using the Eauxsys Data Logger", **Moss Newsletter**, Final Report, s. 38-48.
- GREGORY D., 2010 "*In situ* Preservation of Marine Archaeological Sites: Out of Sight but Not Out of Mind", ***In situ* Conservation of Cultural Heritage: Public, Professionals and Preservation**, Ed: Vicki RICHARDS, Jennifer Mckinnon, 2009 © Flinders University Program In Maritime Archaeology.
- GREGORY D., 2012 "Monitoring Wooden Shipwrecks: Monitoring the Burgzand Noord 10 And Darss Cog Using the Eauxsys Data Logger", **Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common**

European Cultural Heritage - Challenges for Cultural Resource Management Final Report, s. 39-49.

GREGORY D., 2013

“Development of Tools and Techniques to Survey, Assess, Stabilize, Monitor and Preserve Underwater Archaeological Sites: SASMAP”, **Heritage for A Museum or to Be Preserved *In situ* Conference Paper**, September 2013, s. 74-81.

GREGORY D., 2020

“Characterizing The Preservation Potential of Buried Marine Archaeological Sites”, **Heritage**, 3(3), s. 838-857.

GREGORY D., BERGSTRAND T., BJÖRDAL C.G., NILSSON T., BOHM C., CHRISTENSON, NYSTRÖM I., PEACOCK E., RICHARDS V., MACLEOD I., 2005

“Reburial as a Method of Preserving Archaeological Remains: A Presentation of The Marstrand Project”, **Environmental Archaeology and Materials Science**, Proceedings of: the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference - Copenhagen, Denmark Duration: 7 Jun 2004, s. 9-39.

GREGORY D., JENSEN P., STRÆTKVERN K., 2012

“Conservation And *In situ* Preservation of Wooden Shipwrecks from Marine Environments”, **Journal of Heritage**, Vol 13, Issue 3, s. 139-148.

GREGORY D., MANDERS M. (ed), 2015

Guidelines to the Process of Underwater Archaeological Research, SASMAP Guideline Manual 1, Copyright: SASMAP project, October 2015, Amersfoort, The Netherlands.

GREGORY D., MANDERS M. (Eds), 2015

Best Practices for Locating, Surveying, Assessing, Monitoring and Preserving

- Underwater Archaeological Sites, SASMAP Guideline Manual 2**, Copyright SASMAP project, October 2015, Amersfoort, The Netherlands.
- GREGORY D., MATTHIESEN H., 2012 “Nydam Mose: *In situ* Preservation A Work”, **Conservation And Management of Archaeological Sites**, 14:1-4, s. 479-486.
- GREGORY, D., JENSEN, P., & STRÆTKVERN, K., 2012. “Conservation and *In situ* Preservation of Wooden Shipwrecks from Marine Environments.” **Journal of Cultural Heritage**, 13(3), s. 139-S148.
- GRØN, O., BOLDREEL, L. O. 2013 “Sub-Bottom Profiling for Large-Scale Maritime Archaeological Survey an Experience-Based Approach” **2013 MTS/IEEE OCEANS-Bergen** (Pp. 1-8). IEEE.
- GUIRADO S., FORTES F. J., LAZIC V., LASERNA J. J., 2012 “Chemical Analysis of Archeological Materials in Submarine Environments Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. On-Site Trials in The Mediterranean Sea”, **Spectrochimica Acta**, Part B 74-75, s. 137-143.
- HAINES B.M., 2006 Collagen: The Leather Making Protein, Book Chapter In: **Conservation of Leather and Related Materials**, Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology, London, s. 4-10.
- HARMANCIOĞLU M., YAZICIOĞLU G., 1979 **Bitkisel Lifler**, Ege Üniversitesi Tekstil Fakültesi Yayınları No: 3, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir.

- HAYDAR M., MAIDI M., ROUSSEL D., MALLEM M., DRAP P., CHAPMAN P., 2008 "Virtual Exploration of Underwater Archaeological Sites: Visualization and Interaction in Mixed Reality Environments", **The 9th International Symposium On Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST** (2008), M. Ashley, S. Hermon, A. Proenca, And K. Rodriguez-Echavarria (Eds).
- HOLDEN J., HOWARD A. J., WEST L.J., MAXFIELD E., PANTER I., OXLEY J., 2009 "A Critical Review of Hydrological Data Collection for Assessing Preservation Risk for Urban Waterlogged Archaeology: A Case Study From The City of York, UK", **Journal of Environmental Management**, 90, s. 3197-3204.
- HUISMAN D.J., MANDERS M.R., KRETSCHMAR E.I., KLAASSEN R.K.W.M., LAMERSDORF N., 2008 "Burial Conditions and Wood Degradation at Archaeological Sites in the Netherlands", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 61, s. 33-44.
- ICOMOS, 1996 "Sualtı Kültür Mirasının Korunması ve Yönetimi ile İlgili Tüzük", **ICOMOS Türkiye Tüzükleri**, Çevrimiçi Kaynak. Erişim Tarihi: 04.02.2021.http://www.icomos.org.tr/dosyalar/ICOMOSTR_Tr0882066001536913778.Pdf
- JENSEN P., GREGORY D.J., 2006 "Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for Their Determination", **Journal of Archaeological Science**, 33, s. 551-559.
- JÖNS H., 2003a "Late Medieval Shipwreck-Sites of The South-Western Baltic", **Moss Newsletter**, Newsletter 2003: II Theme: the Darss Cog, June 2003, s. 3.

- JÖNS H., 2003b “The Darss Cog-Site And İts Research History”, **Moss Newsletter**, Newsletter 2003: II Theme: The Darss Cog, June 2003, s. 4.
- KARAMAN S., GÖKALP Z., 2010 “Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri”, **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, 3 (1), s. 59-66.
- KARSTEN A., GRAHAM K., MOUD Q., WALTON-ROGERS P., (Ed), 2018 **Waterlogged Organic Artefacts Guidelines on Their Recovery, Analysis and Conservation**, Historic England, İnternet Erişimine Açık Kaynak. Erişim Adresi: <https://Historicengland.Org.Uk/Images-Books/Publications/Waterlogged-Organic-Artefacts/>, Erişim Tarihi: 04.02.2022
- KARSTEN, A., GRAHAM, K., JONES, J., MOULD, Q., & WALTON ROGERS, P. (2012). **Waterlogged Organic Artefacts. Guidelines On Their Recovery, Analysis and Conservation**, Ed: David M Jones) English Heritage [Http://Www.English-Heritage.Org.Uk/Publications/Waterlogged-Organic-Artefacts/](http://Www.English-Heritage.Org.Uk/Publications/Waterlogged-Organic-Artefacts/) (2013.10. 02.).
- KAYA F. Z., AKÇAY Ö., AVŞARE Ö., AYDAR U., 2019 “Sualtı Fotogrametrik Belgelemede Güncel Uygulamalar”, **TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı**, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- KHAKZAD S., VAN BALEN K., 2012 “Complications and Effectiveness of *In situ* Preservation Methods for Underwater Cultural Heritage Sites”, **Conservation and MGMT of Arch. Sites**, Vol: 14, Nos: 1-4, s. 469-478.
- KILIÇ N., 2013 **Yenikapı 12 Batığında Kullanılacak Konservasyon Yönteminin Araştırılması ve**

- KORUMA UYGULAMASI / A RESEARCH FOR THE CONSERVATION TREATMENT TO BE USED ON YENİKAPI 12 SHIPWRECK, AND THE CONSERVATION APPLICATION FOR THE SHIPWRECK, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Doç. Ufuk KOCABAŞ, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- KILIÇ N., 2017 **Yenikapi Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi- Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi**, Yayınlanmış Doktora Tezi, T.C. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma Ve Onarım Anabilim Dalı Koruma, Yenileme Ve Restorasyon Bilim Dalı, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ufuk Kocabaş, İstanbul.
- KIRKIM F., KOCATAŞ A., KATAĞAN T., SEZGİN M., 2006 “Contribution to the Knowledge of the Free-Living Isopods of the Aegean Sea Coast of Turkey”, **Turk J Zool**, 30, s. 361-372.
- KIRKIM F., ÖZCAN T., BAKR K., KATAĞAN T., 2017 “The Isopod Crustacea of Fethiye Bay, Levant Sea, Turkey”, **North-Western Journal of Zoology**, 13(2), s. 244-250.
- KLAASEN R.K.W.M., 2005 **Final Report EU Projects BACPOLES**, Final Report of EU Project, Number: EVK4-CT-2001-00043, Ed: Dr. René KLAASSEN, Wageningen 2005, s. 3-5.
- KOCABAŞ U., 1997 **Arkeolojik Sualtı Kalıntılarının Konservasyonu**, Norm Ajans, İstanbul
- KOCABAŞ U., 2015 **Geçmişe Açılan Kapı: Yenikapi Batıkları**, Ege Yayınları, İstanbul.

- KOÇTAŞ A., 1999 **Oseonoloji**, Ege Üniversitesi Ders Kitapları Serisi, Bornova, İzmir.
- KOMOROWICZ M., “The Impact of 5 Years Underwater Exposure in
WROBLEWSKA H., the Baltic Sea (Puck Bay) on Selected Properties
FOJUTOWSKI A., KROPACZ of English Oak Wood Samples”, **International
A., NOSKOWIAK A., POMIAN Biodeterioration**, Vol 131, s. 40-50.
I., 2018
- KRAUSE JENSEN D., “Seagrass Sedimentary Deposits as Security
SERRANO O., APOSTOLAKI Vaults and Time Capsules of the Human Past”,
E.T., GREGORY A.J., **Ambio**, 48, s. 325-335.
DUARTE C.M., 2019
- LAFRANCE, J., 2012 “Efficiency And Quality In a Batch Treatment:
The Conservation of Over a Hundred Leather
Shoes And Fragments”, **Proceedings of the
11th ICOM Group on Wet Organic
Archaeological Materials Conference**,
Greenville, 2010, USA, April 1, 2012, s. 611-
621.
- LEINO M., 2003 “Experiences Of The Underwater Positioning
System AQUA-METRE D100”, **Moss
Newsletter**, 1/2003, s. 8-12.
- LEINO M., KLEMELÄ U., 2003 “The Field Research of the Maritime Museum
Of Finland at the Wreck Site of Vrouw Maria In
2001 – 2002”, **Moss Newsletter**, 1/2003, s. 5-7.
- LESCARD M., 1987 “The Packing and Transportation of Marine
Archaeological Objects”, **Conservation on
Marine Archaeological Objects**, Ed: Colin
Pearson, Butterworths &Co Publishers.

- LI YUAN-HUI, “**Chemical Composition and Mineralogy of Marine Sediments**”, s. 1-35, na.
- SCHOONMAKER J.E., 2003
- LÓPEZ I., 2016 Grain Size Analysis. In: Gilbert A.S. (Eds) **Encyclopedia of Geoarchaeology**. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4409-0_18
- LÓPEZ-ARCE P., ZORNOZA-INDART A.A., GOMEZ-VILLALBA L., PÉREZ-MONSERRAT E.M., ALVAREZ DE BUERGO M., VÍVAR “Archaeological Ceramic Amphorae from Underwater Marine Environments: Influence of Firing Temperature on Salt Crystallization Decay”, **Journal of European Ceramic Society**, 33, s. 2013-2042.
- MACLEOD I., 2013a “The Mechanism and Kinetics of *In situ* Conservation of Iron Cannon on Shipwreck Sites”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 42. 2, s. 382-391.
- MACLEOD I., 2013b “Monitoring, Modelling and Prediction of Corrosion Rates of Historical Iron Shipwrecks”, **Project *In situ* Conservation of Shipwrecks in Port Phillip Bay**, Victoria, Australia, Published By: Woodhead Publishing Limited. İnternet Erişimine Açık Kaynak. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/289604225_Monitoring_Modelling_And_Prediction_Of_Corrosion_Rates_Of_Historical_Iron_Shipwrecks, Erişim Tarihi: 11.12.2021.
- MACLEOD I., 2019 “Corrosion and Conservation Management of the Submarine HMAS AE2 (1915) In the Sea of

- Marmara, Turkey”, **Heritage**, Vol: 2, s. 868–883.
- MACPHERSON G.I., “Water Chemistry and Sustainable Yield”,
TOWNSEND M.A., 1998 Chapter 5 In **KGS Bulletin** No: 239, Ed: Marios Sophocleous, Kansas Geological Survey.
- MANDERS M., 2000 “Multibeam Recording as a Way to Monitor Shipwreck Sites”, **MACHU Final Report**, s. 59-66.
- MANDERS M., 2002 “The BZN 10-Wreck, Threatened by Nature?”,
Bulletin of The Australasian Institute for Maritime Archaeology, Vol 26, S. 99-104.
- MANDERS M., 2006 “The *In situ* Preservation of a 17 Th Century Trading Vessel in The Netherlands”,
Underwater Cultural Heritage at Risk, In situ Protection in The Netherlands, s. 70-72
- MANDERS M., 2011 **Guidelines for Protection of Submerged Wooden Cultural Heritage, Including Cost-Benefit Analysis**, Wreck Project, Seventh Framework Programme.
- MANDERS M., 2012 **Unit 9: *In situ* Preservation**, Published By UNESCO, Çevrimiçi Erişime Açık Kaynak. ErişimLinki:<http://Www.Unesco.Org/New/Fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CLT/Images/630X300/UNIT9.Pdf> , Erişim Tarihi: 19.04.2021.
- MANDERS M., 2017 “How Do We Physically Protect Underwater Heritage Sites *In situ*”, **Preserving A Layered History of the Western Wadden Sea: Managing an Underwater Cultural Heritage Resource**, Universiteit Leiden, s. 116-141.

- MANDERS M., “The Physical Protection of A 17th Century VOC Shipwreck in Sri Lanka”, **Current Science**, Vol. 86, No. 9, s. 1251-1255.
- CHANDRARATNE W.M.,
- DAYANANDA A.M.A.,
- MUTHCUMARANA R.,
- WEERASENA K.B.C.,
- WEERASINGHA K.D.P., 2004
- MANDERS M., LÜTH F., 2004 “Safeguarding”, **Final Report of Monitoring, Safeguarding And Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage- Challenges For Cultural Resource Management Project**, s. 63-73.
- MANDERS, M. 2008 “*In situ* Preservation: The Preferred Option”. **Museum International**, 60(4), s. 31-41.
- MANGERUGA M., COZZA M., “Evaluation of Underwater Image Enhancement Algorithms Under Different Environmental Conditions”, **Journal of Marine Science And Engineering**, 6, 10, s. 1-13.
- BRUNO F., 2018
- MARTIN B., WOOD C., 2012 **Practical Building Conservation: Metals**, English Heritage Series, Volume Ed: Sophie Godfraind, Robyn Pender, Bill Martin, London
- MARTINA C., 2014 **Conservation of Underwater Archaeological Finds Manual**, International Centre for Underwater Archaeology in Zadar, 2th Edition, Ed: BEKIC LUCA, Zadar Croatia, s. 26-39.
- MARZEION B., LEVERMANN A., 2014 “Loss of Cultural World Heritage and Currently Inhabited Places to Sea-Level Rise”, **Environmental Research Letters**, 9, s. 1-7.
- MASCHNER H.D.G., 1996 **Geographic Information System in Archaeology**, Center for Archaeological Investigations Press, New Methods, Old

- Problems: Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research, Ed: HERBERT D. G. Maschner. Center For Archaeological Investigations, Occasional Paper No. 23.
- MATTHIESEN H., 2004 “*In situ* Measurement of Soil Ph”, **Journal of Archaeological Science**, Vol 31, s. 1373–1381.
- MATTHIESEN H., GREGORY D., JENSEN P., SØRENSEN B., 2013 “Environmental Monitoring at Nydam, a Waterlogged Site With Weapon Sacrifices From The Danish Iron Age. I: a Comparison of Methods Used And Results From Undisturbed Conditions”, **Journal of Wetland Archaeology**, 4:1, s. 55-74.
- MCCARTHY, J., BENJAMİN, J., WINTON, T., VAN DUİVENVOORDE, W., 2019 “The Rise of 3D in Maritime Archaeology.” **3D Recording and Interpretation For Maritime Archaeology**, s. 1-10, Springer, Cham.
- McCASKILL J.R., 2009 **Conserving Waterlogged Rope: A Review of Traditional Methods and Experimental Research with Polyethylene Glycol**, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Chair of Advisory Committee: Dc. C. Wayne Smith, Major Subject: Antropology.
- MEGEP (MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİMİN GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ), 2006 **Denizcilik: Fiziksel Oşinografi**, Millî Eğitim Bakanlığı, Çevrimiçi Erişime Açık Kaynak. Erişim Adresi: [Http://Sualtigazetesi.Com/Download/Osinografi.Pdf](http://Sualtigazetesi.Com/Download/Osinografi.Pdf), Erişim Tarihi: 28.04.2021.
- MEGEP (MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİMİN GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ), 2006 **Giyim Üretim Teknolojisi: Derinin Yapısı**, Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, Çevrimiçi Erişime Açık Kaynak. Erişim Linki:

- GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ), 2007 Http://Megep.Meb.Gov.Tr/Mte_Program_Modul/Moduller_Pdf/Malzeme%20Kontrol%C3%B C.Pdf, Erişim Tarihi: 08.04.2021.
- MELLANBY H., 1963 **Animal Life in Fresh Water: A Guide to Fresh-Water Invertebrates**, Sixth Edition, Chapman and Hall Publishing, London.
- MEMET, J. B. 2007 “The Corrosion of Metallic Artefacts in Seawater: Descriptive Analysis”, **Corrosion Of Metallic Heritage Artefacts** (S. 152-169). Woodhead Publishing.
- MISSIAEN T., 2010 **Animal Life in Fresh Water: A Guide to Fresh-Water Invertebrates**, Sixth Edition, Chapman and Hall Publishing, London.
- MONCRIEFF A., WEAVER G., 1984 **Science For Conservators Volume 2: Cleaning**, Museum & Galleries Commission, Conservation Science Teaching Series, Editor in Chief: Andrew WHEATCRFT, London And New York.
- MORRISSEY, J. F., SUMICH, J. L. 2012. **Introduction to the Biology of Marine Life**, 10 e.
- MUCKELROY K., 1978 **Maritime archaeology**, Cambridge University Press.
- NAUMANN R., 2019 **Eski Anadolu Mimarlığı**, Çev: Beral Madra, Türk Tarih Kurumu Yayınları, 6. Baskı, Ankara.
- NONNER J.C., 2002 **Introduction to Hydrogeology**, A.A. Balkema Publishers, Library of Congress Cataloging-In-Publication Data, ISBN: 9026518706.
- NORTH N. A., MACLEOD I. D., 1987 “Corrosion of Metals”, **Conservation of Marine Archaeological objects**, Ed: Colin

- PEARSON, Butterworth Series in Conservation and Museology, London, s. 68-99.
- NORTH N.A., 1982 “Corrosion Products on Marine Iron”, **Studies in Conservation**, Vol: 27, No: 2, S. 75-83.
- NYSTRÖM GODFREY I., 2006 “Investigation of The Effects of Burial on Materials Used at Archaeological Excavations to Separate and Mark Objects”, **Reburial and Analyses of Archaeological Remains (RAAR), Final Report, Phase 1**, Appendix 6, With Contribution From: Ignacy Jakubowicz, Nazdaneh Yarahmadi, Susanne Ekendahl, s. 4-48.
- OKMAN C., 2012 **Hidroloji**, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ders Kitabı: 549, Yayın No: 1597, Beşevler, Ankara
- ÖLMEZ M., SARAÇ D., 2009 “Su Ürünleri İçin Ph’ın Önemi”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Dergisi**, Sayı: 353, Temmuz- Aralık, s. 12-17.
- ORTMANN N., 2010 “Developing Methodology for Understanding *In situ* Preservation and Storage from A Practitioner Perspective”, **In situ Conservation of Cultural Heritage: Public, Professionals And Preservation**, Ed: Vicki Richards And Jennifer Mckinnon, 2009 © Flinders University Program In Maritime Archaeology.
- ÖZDOĞAN M., 2019 **Hammaddeden Ustalara: Tarihöncesi Arkeolojisinde Malzeme, Yontmataş, Sürtmataş, Kemik, Boynuz, Diş, Kil, Çanak**

- ÖZGÜMÜŞ Ü.C., 2013 **Çömlek**, Ed: Özgür Yılmaz, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- ÖZSAİT KOCABAŞ I., 2012 **Çağlar Boyu Cam Tasarımı**, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- ÖZSAİT KOCABAŞ I., 2012 “Belgeleme: Ahşabı Okumak”, Kitap İçinde Bölüm: **Yenikapı’nın Eski Gemileri Vol 1**, Ed: Ufuk KOCABAŞ, Gözden geçirilmiş 2. Baskı, Ege Yayınları, İstanbul, s. 37-67.
- ÖZSAİT KOCABAŞ I., 2022 **Yenikapı 12: Erken Orta Çağ Ticaret Teknesi (1), Kazı, Belgeleme, Konstrüksiyon ve Teknoloji**, Seri Editörü: Ufuk KOCABAŞ, Ege Yayınları, İstanbul.
- ÖZTÜRK N., 2014 **Görüntü İşleme Teknikleri ile Beyaz Yumurtalar Üzerindeki Yumurta Kabuğu Kusurlarının Algılanması**, Yayınlanmış yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- PALMA P., 2004 “Final Report for the Monitoring Theme of The Moss Project”, **Final Report on Monitoring, Safeguarding And Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage Challenges for Cultural Resource Management Project**, s. 8-37.
- PARTHESIUS R., 2011 “Shared Heritage? Shared Responsibility: Reflections on The Role Of ‘Shared’colonial Heritage Within Capacity Building Programmes in the Post-Colonial World” **in: Proceedings of**

- the Inaugural Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage. Asian Academy for Heritage Management. Manila, Philippines. 2011. s. 641-651.
- PEACOCK E.E., 1996 “Characterization And Simulation of Water-Degraded Archaeological Textiles: A Review”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, s. 35-47.
- PEACOCK E.E., 2003 “The Biodeterioration of Textile Fibres in Wet Archaeological Contexts With Implications For Conservation Choices”, Conference Paper: **Intrecci Vegetali E Fibre Tessili Da Ambientn Umido. Analisi Conservazione E Restauro** At Trento, Italy Volume: Incontri Di Restauro 4.
- PENG J., GUO J., JIANG Y., 2019 “Probing Surface Water at Submolecular Level with Scanning Probe Microscopy”, **Scientia Sinica Chimica**, 49(3), s. 536-555.
- PEREZ-ALVORO E., 2016 “Climate Change and Underwater Cultural Heritage: Impacts and Challenges”, **Journal of Cultural Heritage**, Vol: 21, s. 842–848.
- PEREZ-ALVORO E., 2019 **Underwater Cultural Heritage: Ethical Concepts and Practical Challenges**, Published by Routledge, New York.
- PIECHOTA D., BALLARD R.D., BUXTON B., BRENNAN M., 2010 “*In situ* Preservation of a Deep-Sea Wreck Site: Sinop D In Black Sea”, **Studies in Conservation**, Vol. 55. s. 6-11.
- PINNA D., 2021 “Microbial Growth and Its Effects on Inorganic Heritage Materials”, **Chapter in:**

- Microorganisms in The Deterioration and Preservation of Cultural Heritage**, s. 3-35.
- POURNOU A., 2013 “The MERMAID Project: Saving Wooden Shipwrecks in The Mediterranean Marine Ecosystem: Research, Development and Application of Innovative Methods of *In situ* Protection”, **Proceedings of the 12th ICOM-CC WOAM Conference**, İstanbul 2013, s. 7-14.
- POURNOU A., 2018 “Assessing The Long-Term Efficacy of Geotextiles in Preserving Archaeological Wooden Shipwrecks in the Marine Environment”, **J Mari Arch.**, 13:1, s. 1-14.
- POURNOU A., 2020 **Biodeterioration of Wooden Cultural Heritage: Organisms and Decay Mechanisms in Aquatic and Terrestrial Ecosystems**, Springer E-Books.
- PRINGLE H., 2013 “Troubled Waters for Ancient Shipwrecks”, **Science**, Vol.340, No.6134, s. 802-807.
- PUOTI F., DAVIDDE B., CIABATTONI M., DI FRANCO C., 2019 “*In situ* Conservation of Cannons in Marine Environment: Cathodic Protection, Cleaning Treatment and Coverage with Geotextiles”, International Conference In Management Of Accessible Underwater, Cultural And Natural Heritage Sites: **Dive In Blue Growth**, Athens, Greece, 16-18 October 2019.
- PUTRANTO P. D., MUNANDAR A. A., 2016 “Underwater Archaeological Museum: Utilization of Karimunjawa Sites”, **Proceedings of the 2nd International Conference on Science, Technology, And Humanity**, S. 28-37.

- QUINN R., 2006 “The Role of Scour in Shipwreck Site Formation Processes and the Preservation of Wreck-Associated Scour Signatures in The Sedimentary Record E Evidence from Seabed and Sub-Surface Data”. **Journal of Archaeological Science**, Vol: 33, s. 1419-1432.
- REFAIT P., GROLLEAU A.M., JEANNIN M., RÉMAZEILLES C., SABOT R., 2020 “Corrosion of Carbon Steel in Marine Environments: Role of The Corrosion Product Layer”, **Corrosion and Materials Degradation**, 1, s. 198-218.
- REGAN P., 2012 “Call to Stewardship”, Conference Paper: USSD 2012, New Orleans, Louisiana.
- REGGIANNINI M. VE SALVETTI O., 2016 “Seafloor Analysis and Understanding for Underwater Archaeology”, **Journal of Heritage**, Vol 24, s. 147-156.
- REINMANN L., ATHANASIOS VAFEIDIS T., BROWN S., HINKEL J., TOL R.S.J., 2018 “Mediterranean UNESCO World Heritage At Risk From Coastal Flooding And Erosion Due To Sea-Level Rise”, **Nature Communications**, Article Number: 4161, DOI:10.1038/S41467-018-06645-G.
- RENFREW C., BAHN P., 2017 **Arkeoloji: Kuramlar, Yöntemler ve Uygulama**, Homer Kitapevi, Çev: Gürkan Ergin, Türkçe 1. Basım, İstanbul.
- RICCA M., LA RUSSA M.F., 2020 “Challenges For the Protection of Underwater Cultural Heritage (UCH), From Waterlogged and Weathered Stone Materials to Conservation Strategies: An Overview”, **Heritage**, 3(2), s. 402-411.
- RICCA, M., ALEXANDRAKIS, G., BONAZZA, A., BRUNO, F., DAVIDDE PETRIAGGI, B., “A Sustainable Approach For The Management And Valorization of Underwater Cultural Heritage: New Perspectives from The

- ELKIN, D., FRANCESCO LA TECTONIC Project” **Sustainability**, 12(12),
RUSSA, M. 2020 5000.
- RICCI S., DAVIDDE “*In situ* Conservation And Preservation of
PETRIAGGI B., PRIORI G. F., Submerged Mosaic Pavements Located In The
SACO PERASSO C., LUCCI F., Underwater Archaeological Park of *Baiae*
GOMEZ DE AYALA G., 2017 (Naples)”, **The Conservation And
Presentation of Mosaics: At What Cost?,
Proceedings of the 12th Conference of the
International Committee for the
Conservation of Mosaics**, Sardinia, October
27-31, 2014, Ed: Jeanne Marie TEUTONICA,
Lesilie Friedman, Aicha Ben Abed, Roberto
Nardi, Published By: The Getty Conservation
Institute.
- RICHARDS V., 2011 “*In situ* Preservation and Reburial of The Ex-
Slave Ship James Matthews”, **AICCM
Bulletin**, 32:1, s. 33-43.
- RICHARDS V., 2012 “*In situ* Preservation and Monitoring of the
James Matthews Shipwreck Site”,
Conservation and MGMT of ARCH Sites,
Vol 14, Nos 1-4, s. 169-181.
- RICHARDS V., GREGORY D., “Reburial and Analyses of Archaeological
MACLEOD I., MATTHIESEN Remains in the Marine Environment-
H., 2012 Investigations into the Effects on Metals”,
Conservation and MGMT of ARCH Sites,
Vol: 14, Nos: 1-4, s. 35-47.
- RICHARDS V., MACLEOD I., “The Australian Historic Shipwreck
VETH P., 2016 Preservation Project: *In situ* Preservation and
Long-Term Monitoring of the Clarence (1850)
And James Matthews (1841) Shipwreck Sites”,

- Conservation and MNGMT of ARC Sites**, 18: 1-3, s. 240-253.
- RICHARDS, V., GODFREY, I., BLANCHETTE, R., HELD, B., GREGORY, D., REED, E., 2009, “*In situ* Monitoring and Stabilisation of The James Matthews Site” **Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference**, Amsterdam, 10–15 September 2007, Ed: K. Straetkvern & D.J. Huisman, Rijksdienst Voor Archeologie, Cultuurlandschap En Monumenten (RACM), Amersfoort, s. 113–160.
- RIYANTO R., SAHRONI I., JAZULI M.M., MUSAWWA M.M., CAHYANDARU N., WAHYUNI E. T., 2020 “Conservation of Underwater Cannonball Heritagen Obtained from a Shipwreck in the Sea of Batavia, Jakarta, Indonesia”, Çevrimiçi Erişime Açık Kaynak. Erişim Tarihi: 26.11.2021. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/341502586_Conservation_Of_Underwater_Cannonball_Heritage_Obtained_From_A_Shipwreck_In_The_Sea_Of_Batavia_Jakarta_Indonesia.
- ROBERTSON P., COOK J., KAYE B., 2004 “A Shipwreck Near Kinlochbervie, Sutherland, Scotland, UK”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 33.1, s. 14–28.
- RÖNNBY J., 2019 **On War on Board: Archaeological and Historical Perspectives on Early Modern Maritime Violence and Warfare**, Printed By Elanders, Stockholm 2019 Södertörn Archaeological Studies 15 ISSN 1652-2559.

- RUBIN D.M., 2004 “A Shipwreck Near Kinlochbervie, Sutherland, Scotland, UK”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 33.1, s. 14–28.
- RUBIN D.M., CHEZAR H., HARNEY J.N., TOPPING D.J., MELIS T.S., SHERWOOD C.R., 2007 “Underwater Microscope for Measuring Spital and Temporal Changes in Bed-Sediment Grain Size”, **Sediment Geology**, 2002, s. 402-408.
- RUFFOLO S., RICCA M., MACCHIA A., LA RUSSA M. F., 2017 “Antifouling Coatings for Underwater Archaeological Stone Materials”, **Progress in Organic Coatings**, Vol 104, s. 64-71.
- SALTUK S., 1990 **Arkeoloji Sözlüğü**, İnkılap Yayınevi, İstanbul
- SANDERS, D., 2010 “Knowing The Ropes: The Need To Record Ropes And Rigging On Wreck-Sites And Some Techniques for Doing So”. **International Journal of Nautical Archaeology**, 39(1), s. 2-26.
- SCALERCIO E., SANGIOVANNI F., GALLO A., BARBIERI L., 2021 “Underwater Power Tools for *In situ* Preservation, Cleaning And Consolidation of Submerged Archaeological Remains”, **Journal of Marine Science And Engineering**, 9(6), 676.
- SCOTT D.A., 2007 **Coper And Bronze in Art Corrosion, Colorants, Conservation**, Getty Conservation Institute Publications, London.
- SECCI, M., DEMESTICHA, S., JIMENEZ, C., PAPADOPOULOU, C., KATSOURI, I., 2021 “A Living Shipwreck: an Integrated Three-Dimensional Analysis for the Understanding Of Site Formation Processes in Archaeological Shipwreck Sites”, **Journal of Archaeological Science: Reports**, 35, 102731.

- SELMO D., STURT F., MILES J., BASFORD P., MALZBENDER T., MARTINEZ K., THOMPSON C., EARL G., BEVAN G., 2017 “Underwater Reflectance Transformation Imaging: A Technology for *In situ* Underwater Cultural Heritage Objects Level Recording”, **Journal of Electronic Imaging**, Vol 26(1), s.y.
- ŞENER Ş., ŞENER E., DAVRAZ A., KARAGÜZEL R., BULUT C., 2010 “Eğirdir Gölü Su Kalitesine Yönelik Bulgular: Yerinde Ölçümlerin Değerlendirilmesi”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 14-1, s. 72-83.
- ŞENER Y.S., 2012 “Arkeolojik Alanda Taban Mozaiklerinde Karşılaşılan Bozulmalar”, Kitap İçinde Bölüm: **Türkiye’de Arkeometrinin Ulu Çınarları: Prof. Dr. Ay Melek Özer ve Prof. Dr. Şahinde Demirci’ye Armağan**, Ed: Ali Akın AKYOL, Kameray ÖZDEMİR, Homer Kitapevi, İstanbul.
- SHEFI D., VETH P., 2015 “A Critical Analysis and Philosophical Review Of ‘Rapid Reburial’: The *Clarence* Project”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 00.00, s. 1–11.
- SILVA M. E., 1972 **Where the Sea Meets the Land**, Water Research Laboratory, University of New South Wales, Sidney, Austuralia.
- SIMČIĆ T., BRANCELJ A., 2006 “Effects of pH on Electron Transport System (ETS) Activity and Oxygen Consumption in *Gammarus Fossarum*, *Asellus Aquaticus* and *Niphargus Sphagnicolus*” **Freshwater Biology**, 51, s. 686-694.
- SINGH H., ADAMS J., MINDELL D., FOLEY B., 2000 “Imaging Underwater Archaeology”, **Journal of Field Archaeology**, 27: 3, s. 319-328.

- ŠKOLA F, RIZVIĆ S, COZZA M, BARBIERI L., BRUNO F, SKARLATOS D, LIAROKAPIS F., 2020 “Virtual Reality With 360°C Video Storytelling in Cultural Heritage: Study of Presence, Engagement, And Immersion”, **Sensors**, 20,5852, s. 1-17.
- SÖNMEZ ADEM Y., HİSAR O., KARATAŞ M., ARSLAN G., ARAS SITKI M., 2008 **Sular Bilgisi**, Nobel Yayın Dağıtım Ltd, Yayın No: 1258, Fen Bilimleri: 64, Ostim, Ankara.
- SØREDE F., 2011 **Ships from the Depths: Deepwater Archaeology**. Texas A&M University Press.
- SOUSA RIVETTI M. L., JOSE DA SİLVA A. N, AMORIM JUNIOR N, 2018 “Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete”, In Book: **Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications**, s. 35-58.
- STANIFORTH, M, 2006 “*In situ* Site Stabilization: the William Salthouse Case Study”, **Heritage at Risk**, s. 52-54.
- STEVENSON A., DEE M. W., 2016 “Confirmation of the World’s Oldest Woven Garment: the Tarkhan Dress”, **ANTIQUITY**, Vol 90, Issue 349.
- STEYNE H., 2009 Cegrass™, Sand and Marine Habitats: a Sustainable Future for the William Salthouse Wreck, ***In situ* Conservation of Cultural Heritage, Public, Professionals and Preservation**, Ed: Vicki RICHARDS, Jennifer MCKINNON, Flinders University Program in Maritime Archaeology, s. 40-49.
- STOWE K.S., 1979 **Ocean Science**, Wiley And Sons, New York.
- SUNLU U., AYDIN A., EĞRİHANCI ÖZÇETİN N.E., 2005 “Kuzey Ege Denizi Sedimentlerinde Karbon ve Yanabilen Madde Düzeylerinin Araştırılması”, **E.Ü. Su Ürünleri Dergisi**, Cilt: 22, Sayı: 3-4, s. 263-268.

- TEKKÖK B., Internet Erişimine Açık Kaynak. Erişim Adresi: KARAMÜFTÜOĞLU H. M., <https://app.trdizin.gov.tr/proje/tvrnm5usxk/turkiye-sualti-kultur-mirasi-sanal-muzesi-kas-arkeopark-pilot-projesi>, Erişim Tarihi: 13.12.2021.
- ÖZAYGEN A., 2011
- THOMSON R., 2007 **Conservation of Leather and Related Materials**, Ed: M. Kite, R. Thomson, Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology, s.1-3.
- TIKKANEN S., ALVIK R., 2004 “*What Is Moss*”, **Moss Newsletter**, 3/2004, S. 2.
- TILEY-LEY S., ANTONITES A.R., 2015 **Archeological Worked Bone and Ivory, a Guide to Best Practice in Preservation, Research and Curation, a Museum Conservation Research Case Study from The K2 Mapungubwe Collection**, University of Pretoria Technical Bullitein.
- TIMAR-BALAZSY, A., **Chemical Principles of Textile Conservation**. London Butterworths.
- EASTOP D., 1998
- TURNER-WALKER G H. **The RAAR Project: Reburial and Analyses of Archaeological Remains, Investigation into the Effects of Burial on Organic Materials Other Than Wood (Textile, Leather, Antler, Horn and Bone)**, Final Report Appendix 5, Co-Ordinator: Elizabeth E. Peacock, Norwegian University of Science and Technology.
- 2006a
- TURNER-WALKER G.H, 2009 “Degradation Pathways and Conservation Strategies for Ancient Bone from Wet Anoxic Sites”, **The 10th Triennial Meeting of the ICOM-CC Working Group for Wet Organic**

- Archaeological Materials**, 10-15th September 2007.
- TURNER-WALKER G.H., 2006 “Subproject Investigation of the Effects of Burial on Organic Materials Other Than Wood (Textile, Leather, Antler, Horn and Bone) Final Report”, **Reburial and Analysis Of Archaeological Remains (RAAR)**, Co-Ordinator: Elizabeth E. Peacock, Vitenskapsmuseet, Appendix 5, s. 2-31.
- TURNER-WALKER G.H., 2007 “Degradation Pathways & Conservation Strategies for Ancient Bone on Wet Anoxic Sites”, **The 10th Triennial Meeting of the ICOM-CC Working Group for Wet Organic Archaeological Materials**, 10-15th September 2007, Conference Paper.
- TURNER-WALKER G.H., 2008b “Degradation of Bones and Teeth”, **Advances in Human Palaeopathology**, Ed: Ron Pinhasi And Simon Mays, John Wiley & Sons, Ltd.
- UNESCO, 2001 **Sualtı Kültür Mirasının Korunması Sözleşmesi**, Paris.
- UNESCO, 2013 **Manual for Activities Directed at Underwater Cultural Heritage Guideline to the Annex of the UNESCO 2001 Convention**, Ed: Thijs J. Maarleveld, Ulrike Gu rin and Barbara Egger, Spain.
- USLU KO Y   T F., 2020 **Arkeolojik Alanlarda  nsansız Hava Aracı ( HA) Kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)   in Veri Tabanı Oluşturma: Anemurium Antik Kent  rne i**, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

VAN DAMME T., AUER J., DITTA M., GRABOWSKI M., COUWENBERG M., 2020 “The 3D Annotated Scans Method: A New Approach to Ship Timber Recording.”, **Heritage Science**, 8, Article Number: 75.

VARİNLİOĞLU G., 2020 “Assesing a Decade of Kaş Underwater Archaeopark”, **International Journal of Nautical Archaeology**, 49:1, s. 74-86.

VIERS J., DUPRE B., GAÏLLERDET J., 2008 “Chemical Composition of Suspended Sediments in World Rivers: New Insights from A New Database”, **Science of the Total Environment**, Volume 47, Issue 2, s. 863-868.

VITRUVIUS, 2005 **Mimarlık Üzerine 10 Kitap**, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, Mimarlığın Uluslararası Kaynakları: 1, Çev: Suna Güven, Dördüncü Baskı.

VOTRUBA G.F., ARTZY M., ERKANAL H., 2016 “A Set Archaic Anchor Arm Exposed Within P. Oceanica Matte at Klazomenai/Liman Tepe, Turkey: A Contribution for Understanding Marine Stratigraphy”, **Journal of Field Archeology**, 41:6, s. 671-683.

VROOM L., KOPPEN F., 2003 “On the Use of the Data Logger System Waterwatch 2681 At Marine Archaeological Site BZN”, **Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites: Common European Cultural Heritage - Challenges for Cultural Resource Management Newsletter IV**, Theme: The Burgzand Noord 10, s. 12-14.

- WHITE A.R., 2018 “An Evaluation of the Recovery, Conservation and Display of the Mary Rose”, OSF Preprints, Çevrimiçi erişime açık kaynak. Erişim tarihi: 05/05/2022, Erişim linki: <https://osf.io/7avsu>
- WETZEL ROBERT G., 2017 **Limnoloji: Göl ve Nehir Ekosistemleri**, 3. Bakıdan Çeviri, Çeviri Ed: Mehmet B. Ergönül, Academic Press An Imprint Of Elsevier, Nobel Yayın Evi, Kızılay, Ankara.
- WILLEMS W.J.H., 2012 “Problems With Preservation *In situ*”, **Analecta Praehistorica Leidensia 43/44**, Publication of the Faculty of Archaeology, Leiden University, the End of Our Fifth Decade, Ed: Corrie Bakels And Hans Kamermans.
- WILLIAMS T., 2015 “Preservation *In situ*: Not an Ethical Principle, But Rather an Option Amongst Many”, in Book: **Crossing Borders and Connecting People in Archaeological Heritage Management. Essays in Honor of Prof. Willem J.H. Willems** Publisher: Sidestone Press Ed: Monique Van Den Dries, Sjoerd Van Der Linde, A Strecker, s. 38-41.
- WRIGHT G.R.H., 2005 **Ancient Building Technology Volume 2: Materials**, Technology and Change in History, Volume 7/1, Brill Leiden, Boston.
- WRIGHT J., 2016 “Maritime Archaeology and Climate Change: An Invitation”, **J Mari Arch**, Vol 11, s. 255-270.
- YANAR A., GÜLTEKİN H., 2021 “Arkeolojik Tekstillerde Koruma Yaklaşımları ve Etik”, **İdil**, 78, s. 260–273.

YILMAZ, A., 2002

“Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler”. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 26, s. 219-235.

