

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİKAPI 29 BATIĞININ BOZULMA
DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI VE KORUMA
ÖNERİSİ

CEM AKGÜN

2501170880

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ NAMIK KILIÇ

İSTANBUL-2020

Bu tez çalışması İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: SYL-2019-34322

ÖZ

YENİKAPI 29 BATIĞININ BOZULMA DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI VE KORUMA ÖNERİSİ

Cem AKGÜN

Yenikapı (YK) 29 batığının bozulma durumunun araştırılması ve konservasyon yönteminin belirlenmesi, tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır. Konservasyon çalışmalarında kullanılacak olan emdirme kimyasalının belirlenebilmesi için batığın bozulmuşluk durumu fiziksel ve kimyasal olarak incelenmiştir. Bu incelemeler, YK 29 batığı ahşapları üzerinde yoğunluk (g/cm^3), maksimum su içeriği (%), ahşap madde kaybı (%), FTIR, SEM ve XRF analizlerinin gerçekleştirilmesiyle yapılmıştır. Ahşapların bozulma derecesini belirlemek için kullanılan maksimum su içeriği değerleri %164-1275 arasında bulunmuştur. Maksimum su içeriği değerleri, YK 29 batığı ahşaplarının bozulma derecesi olarak 1. 2. ve 3. sınıfta olduğunu göstermektedir. YK 29 batığından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen SEM incelemeleri, örneklerin hücresele seviyedeki fiziksel bozulmalarını göstermiş olup maksimum su içeriği (%) değerlerine göre tespit edilen bozulma derecelerinin örnek ile örtüşüp örtüşmediğini ortaya koymuştur. XRF analizi ile YK 29 batığından alınmış olan örneklerin elementel yapısı çıkartılmış ve batık ahşaplarına zarar vermekte olan demir ve sülfür miktarı yarı kantitatif olarak belirlenmiştir. FTIR analizleri, ahşabı oluşturan ana malzemelerde yaşanan bozulmaları spektrumlar olarak göstermiştir. Elde edilen spektrumlar, YK 29 örnekleri ile aynı cinsteki taze ahşabın spektrumlarıyla karşılaştırılarak kimyasal bozulmanın tespiti yapılmıştır. Analiz sonuçları, suya doymuş ahşap konservasyonu ile alakalı literatür taramasının sonucunda elde edilen veriler ile karşılaştırılmış ve uygun bir koruma önerisi sunulmuştur. Bu öneride YK 29 ahşaplarının konservasyonu için %35-45 konsantrasyondaki PEG 2000 ve 3350'nin sırayla emdirilmesinin gerekliliği ve nedenleri açıklanmıştır. Emdirme işleminin ardından dondurarak kurutma önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yenikapı batıkları, konservasyon, suya doymuş ahşap, SEM, FTIR, XRF.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF DEGRADATION DEGREE OF YENİKAPI 29 SHIPWRECK AND CONSERVATION PROPOSAL

Cem AKGÜN

The subject of this thesis is investigation of degradation degree of Yenikapı (YK) 29 shipwreck and determination of conservation method. In order to specify the impregnation chemical which is used in conservation studies, the degradation degree of the YK29 shipwreck was examined physically and chemically. In order to carry out these investigations, MWC (%), density (g/cm^3), loss of wood substance (%), FTIR, SEM and XRF analyses were performed on the YK29 samples. MWC values were found between 164-1275% while specifying the degradation degree of YK29. MWC values show that YK29 timbers are in Class 1, 2 and 3 as degradation degree. SEM examinations demonstrated the physical degradation of samples at the cellular level. The elemental structure of the samples taken from YK29 shipwreck was shown by XRF analysis. Furthermore, the amount of iron and sulfur damaging the timbers has been revealed semi-quantitatively in this structure. FTIR analysis showed changes in the polymers that forming the wooden structure as spectra. The obtained spectra compared with the spectra of the fresh wood of YK29 specimens and chemical deterioration has been detected. Analysis results are compared with the data obtained as a finding of the literature review related to waterlogged wood conservation. Consequently, a suitable conservation proposal has been presented. In this proposal, the necessity and reasons for the impregnation of 35-45% PEG 2000 and 3350 in order for conservation of YK29 wood are explained. It is recommended to freeze drying after impregnation process.

Keywords: Yenikapı shipwrecks, conservation, waterlogged wood, SEM, FTIR, XRF

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının konusunu oluşturan YK 29 batığı, Yenikapı alanında gerçekleştirilmiş olan kazılarda açığa çıkartılan 37 adet batık gemiden biri olup, bozulma durumunun araştırılması ve koruma önerisinin sunulması benzer durumdaki batık gemi ahşapları ile YK 29 batığının konservasyon çalışmalarına faydalı olacaktır.

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde suya doymuş ahşap konservasyonu araştırma alanında derin bilgilere ve altyapıya sahip olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ve Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç'ın bilimsel yönlendirmelerinin ve aktarmış olduğu tecrübelerinin payı çok büyüktür.

Tez çalışması sürecinde desteklerini bir an bile esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ve Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç'a teşekkürlerimi borç bilirken; bu süreç içerisinde aşağıda saymış olduğum, desteklerini esirgemeyen birçok kişi ve kuruma da teşekkürlerimi sunarım.

Üniversite hayatıma başlamış bulunduğum 2013 yılından beri bilimsel anlamda gelişmeye katkıda bulunan, yardımlarını, bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen, YK 29 batığı üzerindeki tez çalışmamı izin veren İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Başkanı Prof. Dr. Ufuk Kocabaş ve Doç. Dr. Işıl Özsait-Kocabaş'a; bilimsel çalışmalarımızı kendilerine bağlı olarak sürdürdüğümüz, İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğüne, müdür Rahmi Asal'a; tez çalışması kapsamında sunmuş olduğum YK 29 fotoğrafları ve çizimlerine erişimimi sağlayan İ.Ü. Yenikapı Batıkları Projesi ekibine; gerçekleştirmiş olduğum laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Evren Türkmenoğlu'na, Araş. Gör. Dr. Taner Güler'e ve Restoratör Hakan Kahraman'a; tez çalışmasını ekonomik olarak destekleyip gerekli analizlerin yapılmasını sağlamış olan İstanbul Üniversitesi (İÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri'ne; iş hayatımla beraber tez çalışmasını sürdürebilmem için gerekli olan kolaylıkları sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Başkanlığı'na; tez çalışması kapsamında görüşlerine başvurmuş olduğum, referans ahşap örneği sağlayan ve ahşap cinsi analizlerini gerçekleştiren İÜ-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı öğretim üyesi olarak bulunan Prof. Dr. Ünal Akkemik'e; bakteri sayımı ile alakalı bilgilerini paylaşmış olan İÜ Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Bölümü'nden Dr. Öğr. Üyesi Sibel Zeki'ye; SEM

analizindeki yardımlarından dolayı İÜ-Cerrahpaşa Kimya Fakóltesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden Araş. Gör. Dr. Vedat Sarıboğa'ya teşekkür ederim.

Son olarak bu tez çalışması sürecinde sorumluluklarımı hafifleten, her zaman her anlamda destek olan, sıkıntılı zamanlarımda motive eden Rabia Yoldaş, ağabeylerim Rıza Gürler Akgün ve Hüseyin Akgün, annem Gülnur Akgün ve babam Ali Rıza Akgün'e teşekkür ederek adıyorum.

Cem Akgün
2020, Avcılar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

YENİKAPI BATIKLARI VE AHŞABIN TANIMLANMASI

1.1. Yenikapı Batıkları ve Yenikapı 29 Batığı.....	3
1.2. Ahşabın Fiziksel Yapısı.....	7
1.3. Ahşabın Kimyasal Yapısı.....	8
1.4. Yeni Ahşaptan Suya Doymuş Ahşaba Dönüşüm ile Fiziksel ve Kimyasal Bozulma.....	13
1.5. Biyolojik Bozulma.....	16
1.5.1. Sualtı Koşullarında Ahşap Yiyeçiler.....	16
1.5.2. Bakteriler.....	19
1.5.3. Mantarlar.....	21
1.6. Suya Doymuş Ahşabın Konservasyon Yöntemleri.....	23
1.6.1. Melamin Formaldehit Yöntemi.....	24
1.6.2. Polietilen Glikol Yöntemi.....	25
1.6.3. PEG Ön-Emdirmesi Yapılan Ahşaplarda Vakumlu Dondurarak Kurutma Yöntemi.....	31

İKİNCİ BÖLÜM

YK29 BATIĞI ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN ANALİZLER

2.1. YK 29 Ahşaplarında Maksimum Su İçeriği Tespiti	36
2.2. YK 29 Ahşaplarında Yoğunluk Tespiti.....	38
2.3. YK 29 Ahşaplarında Ahşap Madde Kaybı Tespiti.....	40
2.4. YK 29 Batığından Alınan Örneklerin XRF Analizi İçin Hazırlanması.....	42

2.5.	YK 29 Batığından Alınan Örneklerin FTIR Analizi İçin Hazırlanması.....	48
2.6.	Örneklerin SEM Kullanılarak Görüntülenmesi.....	52

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YENİKAPI 29 ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN ANALİZ

SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KONSERVASYON ÖNERİSİ

3.1.	YK 29 Ahşapları Üzerinde Gerçekleştirilen Maksimum Su İçeriği, Yoğunluk ve Ahşap Madde Kaybı Tespitlerinin Değerlendirilmesi.....	57
3.2.	YK 29 Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen XRF Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	61
3.3.	YK 29 Ahşapları Üzerinde Gerçekleştirilen FTIR Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	63
3.4.	YK 29 Ahşaplarından Elde Edilen SEM Görüntüleri ve Değerlendirilmesi...	70
3.5.	YK 29 Batığı İçin Konservasyon Önerisi.....	79
SONUÇ.....		83
KAYNAKÇA.....		87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Yenikapı kazı alanı ve batıkların dağılımı.....	3
Şekil 1.2: YK 29 batığının in situ foto-mozaiik görüntüsü.....	5
Şekil 1.3: YK 29 batığının ahşap cinslerini gösteren çizim.....	6
Şekil 1.4: Odunun bölümleri.....	7
Şekil 1.5: Primer çeper (P), orta lamel (OL) ve S ₁ , S ₂ , S ₃ tabakaları.....	12
Şekil 1.6: Kuruma öncesi (üstte) ve kuruma sonrası (altta) suya doymuş ahşap örnekleri.....	15
Şekil 1.7: <i>Teredo navalis</i> görüntüsü	17
Şekil 1.8: YK 29 E1 ahşabındaki <i>Teredo navalis</i> hasarları.....	17
Şekil 1.9: <i>Limnoria</i> ve neden olduğu hasar.....	18
Şekil 2.1: YK 29 batığından alınan bir grup örnek.....	35
Şekil 2.2: 1. 2. ve 3. sınıf ahşaplarda bozulmanın şematik görünümü.....	37
Şekil 2.3: Örneklerin etüv ile kurutulma işlemi (detay).....	38
Şekil 2.4: Örneklerin etüv ile kurutulma işlemi (genel).....	38
Şekil 2.5: Islak durumdaki örneğin tartılması	40
Şekil 2.6: Yüzerlik hesaplamaları için su dolu kap içerisinde gerçekleştirilen tartma işlemi.....	40
Şekil 2.7: E1 örneğinin alındığı bölge.....	45
Şekil 2.8: E2 örneğinin alındığı bölge.....	45
Şekil 2.9: E4 örneğinin alındığı bölge.....	45
Şekil 2.10: E8 örneğinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyonsuz bölge.....	45
Şekil 2.11: İ-E5 örneğinin alındığı bölge.....	46
Şekil 2.12: İK8-1 örneklerinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyona yakın bölge.....	46
Şekil 2.13: İK12-1 örneğinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyonsuz bölge.....	46
Şekil 2.14: İK13-1 örneğinin alındığı bölge.....	46
Şekil 2.15: OM1-2 örneğinin alındığı bölge.....	47
Şekil 2.16: SK6-1 örneğinin alındığı bölge.....	47
Şekil 2.17: SK7-2 örneğinin alındığı bölge.....	47

Şekil 2.18: SK8 örneğinin alındığı bölge.....	47
Şekil 2.19: Toz haline getirilmiş bir grup örnek.....	52
Şekil 2.20: SEM görüntülemesi için örneklerden kesit alınması.....	53
Şekil 2.21: SEM görüntülemesinin gerçekleştirilmesi.....	54
Şekil 2.22: Karaağaç cinsinin enine kesit görüntüsü. (a) 200x büyütme SEM görüntüsü, (b-c) 200 mikrometre ölçekli SEM görüntüsü.....	54
Şekil 2.23: Kestane cinsinin enine kesit görüntüsü.	55
Şekil 2.24: Çam cinsinin 25x büyütme enine kesit SEM görüntüsü.....	55
Şekil 2.25: Servi cinsinin enine kesit SEM görüntüsü.....	56
Şekil 3.1: YK 29 E2 ahşabından alınmış olan örnek.....	61
Şekil 3.2: YK 29 İK12-1 ve SK7-2 ahşaplarından alınmış olan örnekler.....	62
Şekil 3.3: YK 29 İK8-1 ve E8 ahşaplarından alınmış olan örnekler.....	63
Şekil 3.4: YK 29 E4 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans çam (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	64
Şekil 3.5: YK 29 E10 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans dişbudak (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	65
Şekil 3.6: YK 29 İK12-1 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	66
Şekil 3.7: YK 29 S-E17 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans karaağaç (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	67
Şekil 3.8: YK 29 İK11-1 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	68
Şekil 3.9: YK 29 SK10 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	69
Şekil 3.10: YK 29 İ-E15 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans karaağaç (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.....	70
Şekil 3.11: YK 16 SK2-1 (çam) (a), YK 16 E80 (karaağaç) (b) ve YK 8 İK5 (kestane) örneklerinin enine kesit SEM görüntüleri.....	71
Şekil 3.12: YK 29 İK13-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütme ölçeklerindeki enine kesit SEM görüntüleri.....	72
Şekil 3.13: YK 29 SK6-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütme ölçeklerindeki enine kesit SEM görüntüleri.....	73
Şekil 3.14: YK 29 SK6-1 ahşabından alınmış korozyonlu örneğin farklı büyütme ölçeklerindeki enine kesit SEM görüntüleri.....	74

Şekil 3.15: YK 29 F6 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.....	75
Şekil 3.16: YK 29 E4 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.....	76
Şekil 3.17: YK 29 İK11-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.....	77
Şekil 3.18: YK 29 SK10 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.....	78



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardaki polisakkarit ve lignin oranları.....	9
Tablo 2.1: YK 29 batığına ait ahşap cinslerinin bozulmaya uğramadan önceki ortalama yoğunluk değerleri.....	42
Tablo 2.2: Fonksiyonel grupların IR bantları.....	50
Tablo 3.1: YK29 batığından alınmış olan örneklerin cinsi, maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı analizi sonuçları.....	58
Tablo 3.2: YK 29 batığından XRF analizi için alınan örneklerin analiz sonuçları...	62

SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde.
x	: Çarpım.
/	: Bölme.
-	: Çıkartma.
=	: Eşittir.
°	: Derece.
µm	: Mikrometre.
¹⁴ C	: Karbon 14 testi.
Al	: Alüminyum.
As	: Arsenik.
Ba	: Baryum.
C	: Celsius.
Ca	: Kalsiyum.
Ce	: Seryum.
cm	: Santimetre.
Co	: Kobalt.
Cr	: Krom.
Cs	: Sezyum.
Cu	: Bakır.
Fe	: Demir.
g	: Gram.
cm ³	: Santimetre küp.
H ₃ O ⁺	: Hidronyum iyonu.
I	: İyot.
K	: Potasyum.
La	: Lantan.
m	: Metre.
m ²	: Metrekare.
mol	: Avogadro sayısı kadar atom.
mm	: Milimetre.
Mg	: Magnezyum.
Mn	: Mangan.

Nd	: Neodimyum.
Ni	: Nikel.
P	: Fosfor.
Pa	: Pascal.
pH	: Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması.
ppm	: Part per million (milyonda bir).
Pr	: Praseodim.
S	: Sülfür.
Sb	: Antimon.
Si	: Silisyum.
Ti	: Titanyum.
V	: Vanadyum.
Zn	: Çinko.

KISALTMALAR LİSTESİ

E	: Eğri.
Ed.	: Editör.
F	: Farş.
FTIR	: Fourier transform infrared spectroscopy (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi).
İ-E	: İskele tarafı eğrisi.
İ-İçK	: İskele tarafı iç kaplama.
İK	: İskele tarafı kaplama.
İÜ	: İstanbul Üniversitesi.
MS	: Milattan sonra.
MWC	: Maximum water content (maksimum su içeriği).
OM	: Omurga.
PEG	: Polietilen glikol.
pXRF	: Portable XRF (Portatif XRF).
S-E	: Sancak tarafı eğrisi.
SEM	: Scanning electron microscope (taramalı elektron mikroskobu).
SK	: Sancak tarafı kaplama.
TEA	: Trietanol amin.
TEG	: Trietanol glikol.
TEM	: Transmission electron microscopy (geçirimli elektron mikroskobu).
vd.	: Ve diğerleri.
XRD	: X-ray diffraction (X ışınları difraksiyonu).
XRF	: X-ray fluorescence spectrometer (x-ışını floresans spektroskopisi).
YETEM	: Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi.
YK	: Yenikapı.

GİRİŞ

Ağacın, ahşaptan üretilmiş malzemelerin ve bozulmaya uğramış kuru veya suya doymuş ahşabın anatomik yapısı oldukça geniş bir konudur. Doğadaki bir ağaç ve o ağaçtan üretilen malzeme arasında bile yapısal olarak büyük farklılıklar varken, bozulmaya uğramış ahşabın yapısının halen aynı şekilde kalmış olmasını beklemek yanlış olacaktır. Bu tezin teması olan suya doymuş ahşap malzemenin korunabilmesi için temel olarak yeni ahşabın yapısının bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede, inceleme altındaki suya doymuş ahşabın, yeni ahşaptan ne gibi farklılıklara sahip olduğu, neleri kaybettiği anlaşılabilir ve buna göre bir koruma yöntemi belirlenebilir.

Tez kapsamında incelenmiş olan Yenikapı 29 (YK 29) batığı, İstanbul'un ulaşım sorununu çözmek amacıyla gerçekleştirilen Marmaray ve Metro projeleri kapsamında, Yenikapı bölgesinde İstanbul Arkeoloji Müzeleri tarafından 2004-2013 yılları arasında gerçekleştirilen arkeolojik kurtarma kazılarında bulunan 37 adet gemi kalıntısından birisidir. 5. ile 11. yüzyıllar arasına tarihlenen bu gemilerin, battıktan sonra hızlı bir şekilde kum ile kaplanması, gemi kalıntılarının günümüze ulaşmasını sağlamıştır. Bahsedilen 37 adet gemi kalıntısı dünyanın en geniş orta çağ batık gemi koleksiyonunu oluştururken bunların 31'inin konservasyonundan ve 27'sinin araziden kaldırma ile belgeleme çalışmalarından Prof. Dr. Ufuk Kocabaş'ın proje başkanlığındaki İÜ Edebiyat Fakültesi Sualtı Kültür Kalıntılarını Koruma Ana Bilim Dalı sorumlu olmuştur (Kocabaş, 2008). Ahşap malzeme ve bağlantı için kullanılan metal malzemelerden meydana gelmiş olan bu kalıntılar, sualtında geçirdikleri süre boyunca fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalara uğramaktadır (Kocabaş, 2015a: 5-8; Kılıç, 2017a: 1). Bu bozulmalara maruz kalan ahşap, yapısını oluşturan malzemeleri kaybederek bünyesine su çekmektedir ve hücre yapısı su ile dolduğunda suya doymuş ahşap olarak isimlendirilmektedir. Suya doymuş ahşap, herhangi bir koruma işlemi olmadan atmosfer şartlarına maruz bırakılırsa büyük ölçüde zarar görmeye beraber, boyutları ve şekli orijinal halinden oldukça farklı bir duruma gelmektedir. Suya doymuş ahşaba uygulanacak olan koruma yöntemlerinin belirlenmesi için hem yeni ahşabın hem de suya doymuş ahşabın yapısının bilinmesi gereklidir. Bu nedenle tez çalışmasının birinci bölümünde yeni ahşabın makroskobik ve mikroskobik yapısı, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaları, bu süreç sonucunda suya doymuş ahşap haline gelmesi ve konservasyon çalışmalarında kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, bozulmaların tespiti için

kullanılan analiz yöntemleri ve YK 29 üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları anlatılmıştır. Bu çalışmalarda maksimum su içeriği, yoğunluk, ahşap madde kaybı tespitleri ile beraber FTIR, SEM ve XRF analizlerinin kullanım amaçlarından ve nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise gerçekleştirilen analizlerden elde edilmiş olan sonuçlar değerlendirilmiştir. Tüm bu anlatılan çalışmaların gerçekleştirilebilmesi adına literatür taraması yapılmış ve karşılaşılan vakalarda yapılan çalışmalar örnek alınmıştır. Ayrıca bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve yorumları ile YK 29 ahşapları üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçları karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.



BİRİNCİ BÖLÜM

YENİKAPI BATIKLARI VE AHŞABIN TANIMLANMASI

1.1. Yenikapı Batıkları ve Yenikapı 29 Batığı

İstanbul'un toplu taşıma ve trafik sorununu çözmek için 2004 yılında başlatılan Marmaray ve Metro projeleri için proje güzergâhında bulunan Üsküdar, Sirkeci, Yenikapı ve Vezneciler bölgelerinde kurulması planlanan istasyonların kurulum çalışmaları amacıyla başlatılan inşaat çalışmaları sırasında bulunan kalıntılardan dolayı İstanbul Arkeoloji Müzeleri başkanlığında arkeolojik kurtarma kazıları gerçekleştirilmiştir (Karamani-Pekin ve Kangal, 2007; Kocabaş, 2010; Kızıltan ve Baran-Çelik, 2013).

Yenikapı bölgesi, en kapsamlı çalışmaların yürütüldüğü kentsel sit alanı alanıdır. 2013 yılına kadar, bugün Yenikapı Marmaray/Metro istasyonu ve otopark olarak kullanılan, yaklaşık 58 bin m²'lik alanda çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1). Alanda Osmanlı döneminden Neolitik döneme kadar yaklaşık 65.000 adet envanterlik eser açığa çıkartılmıştır (Kocabaş, 2015a: 5).

Şekil 1.1: Yenikapı kazı alanının günümüzdeki durumu.



Yenikapı'da gerçekleştirilen kurtarma kazıları sırasında I. Theodosius (379-395) tarafından inşa ettirilmiş olan ve *Portus Theodosiacus* olarak bilinen Theodosius limanı ortaya çıkartılmıştır. Liman bölgesi geniş bir koy şeklinde olup *Lykos* Deresi bu alana dökülmektedir (Müller-Wiener, 1998; Kocabaş ve Özsait-Kocabaş, 2010:

112). Konstantinopolis'e uzanan deniz yolları üzerine kurulmuş olan yeni ambarlar, zamanla Theodosius limanı'nın önemini kaybetmesine neden olmuştur ve bu nedenle aşama aşama terk edilerek bakımsız bırakılmıştır. *Lykos Deresi*'nin limana taşınmış olduğu alüvyonlar limanı kullanılmaz hale getirirse de kazılar sırasında bulunan batık gemilerin korunup günümüze ulaşmasını sağlamıştır ancak gemilerin neden limanda bu şekilde kaldıklarının cevabı kesin olarak söylenememektedir. Bu konuyla alakalı teorilerden birisi deprem ve tsunami sonucunda gemilerin hızlı bir şekilde gömülmüş olduğudur. Doğal afetler dışında bazı gemilerin ömrünü doldurduğu için limanda terk edildikleri veya bilerek batırıldıkları da tahminler arasındadır (Özsait-Kocabaş, 2010: 3-4).

2005 yılında kazılar sırasında ilk batığın (YK 1) bulunması ile Theodosius limanına ulaşıldığı anlaşılmıştır. Bu alanda ortaya çıkaran 37 adet batık, MS 5-11. yüzyıllar arasına tarihlendirilmektedir. Yenikapı Batıkları olarak adlandırılan bu batıklar, tek bir arkeolojik kazı alanında bulunan en fazla sayıdaki Erken Orta Çağa ait batık grubunu oluşturmaktadır. Bu batıklar, küçük balıkçı teknelerinden, farklı boyutlardaki ticaret gemilerinden ve kadirgallardan oluşmaktadır (Kocabaş, 2015b; Güler, 2019: 8).

Tez çalışmasının konusu olan YK 29 batığı, orta boy sayılabilecek bir ticaret gemisidir. Stratigrafik konumuna bağlı olarak MS 8-9. yüzyıllara tarihlenmektedir. Günümüze ulaşmış olan ölçüleri, boy olarak 8,83 m ve genişlik olarak 6,53 m'dir. Batığın günümüze ulaşmış olan ahşapları arasında omurga, iç omurga, 25 adet kaplama, 31 adet eğri, ıskaç, iç kuşak, farş, yelken yatağı, livar, çapa tahtası ve yeri belli olmayan ahşap elemanlar bulunmaktadır (Şekil 1.2). Kaplamalar demir çiviler ile eğrilere sabitlenmiştir (Kocabaş, 2015a: 21).

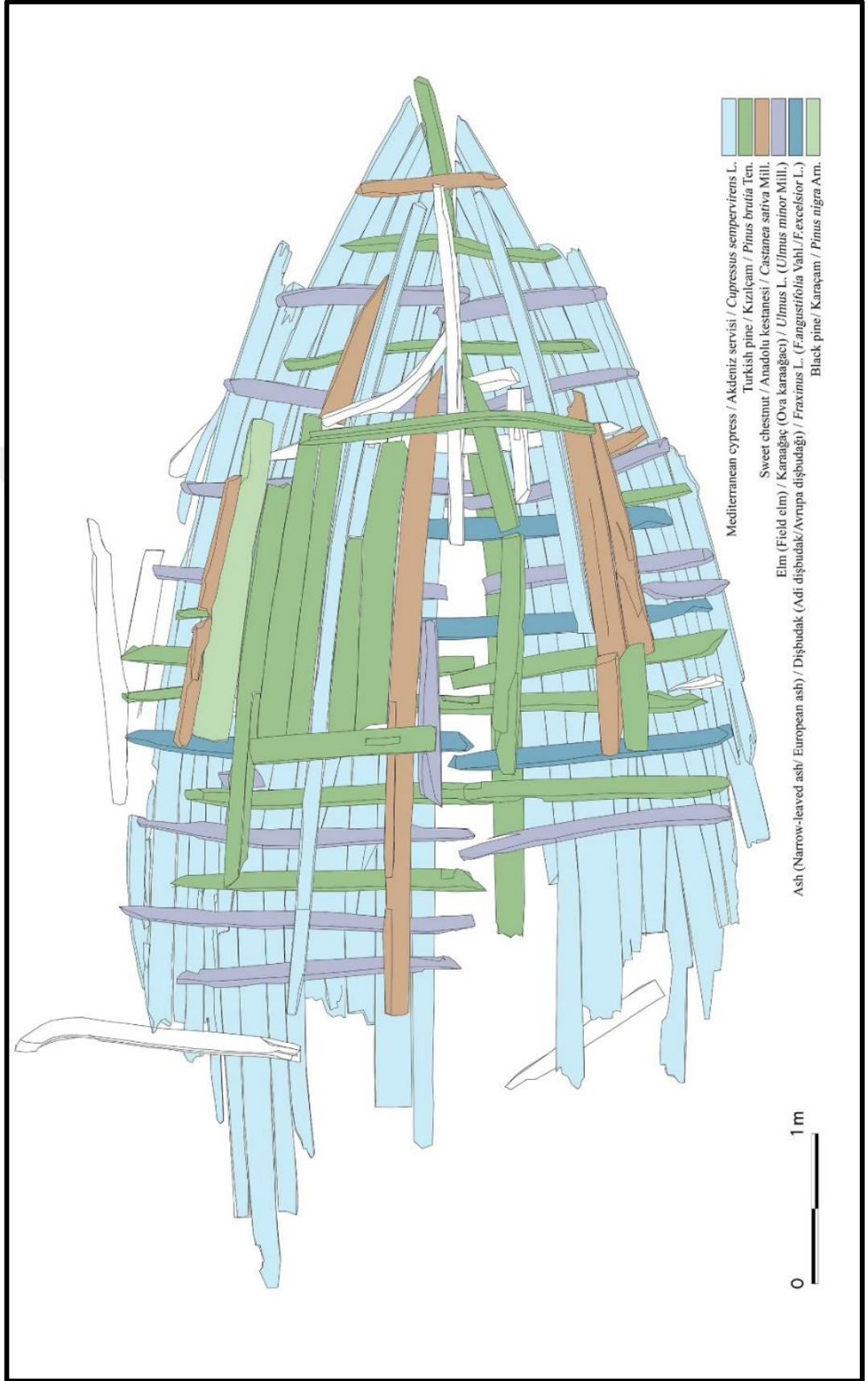
Şekil 1.2: YK 29 batığının in situ foto-mozaik görüntüsü.



Kaynak: Kocabaş, 2015b: 21

Ahşap elemanların cins analizleri İÜ-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Botaniği Ana Bilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ünal Akkemik tarafından gerçekleştirilmiştir. YK 29 batığının ahşap cinsleri arasında servi (*Cupressus Sempervirens L.*), çam (*Pinus Brutia Ten.*), kestane (*Castanea Sativa Mill.*), karaağaç (*Ulmus Minor Mill.*), dişbudak (*Fraxinus Excelsior L.*) ve karaçam (*Pinus Nigra Arn.*) bulunmaktadır (Şekil 1.3) (Akkemik ve Kocabaş, 2014; Akkemik, 2015).

Şekil 1.3: YK 29 batığının ahşap cinslerini gösteren çizim.



Kaynak: Akkemik, 2015.

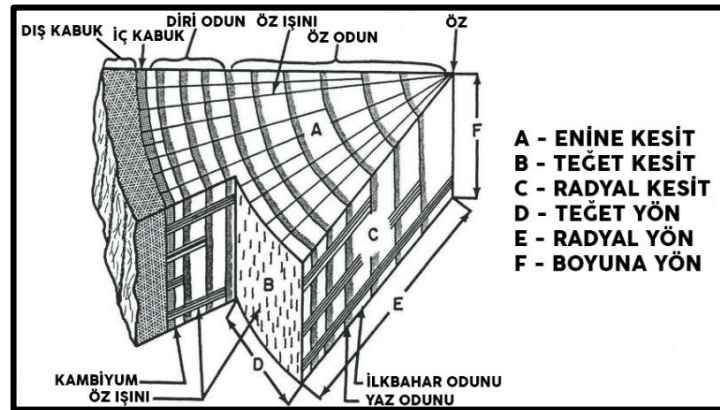
1.2. Ahşabın Fiziksel Yapısı

Birçok hücreden ve farklı maddelerden oluşan ağaçlar iki gruba ayrılmaktadır: İğne yapraklı ağaçlar ve geniş yapraklı ağaçlar. İğne yapraklılar için yumuşak ağaçlar ifadesi kullanılırken geniş yapraklılar için de sert ağaçlar denilmektedir.

Ağaçlar milyonlarca hücrenin bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Ahşap yapısında, kabuk ile odun arasında bulunan kambiyum, her yıl iç tarafa doğru bölünerek ksilemi, dış tarafa doğru bölünerek ise floemi oluşturmaktadır. Gelişen dokuların ligninleşmesinin bir sonucu olarak iç tarafta odun, dış tarafta kabuk meydana gelmektedir. Ahşap yapısını dıştan içeri doğru sıralayacak olursak dış kabuk, iç kabuk, kambiyum, diri odun, öz odun ve öz şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 1.4). Her yıl, odun bölümünde çıplak gözle fark edilebilen çeperli ve geniş lümenli ilkbahar odunu oluşmaktayken aynı zamanda da çeperi kalın ve lümeni dar yaz odunu da meydana gelmektedir. İlkbahar odunu ağacın büyüdüğü mevsimlerde oluşmaktadır. Geniş tabakalıdır ve çeperleri incedir, görev olarak ise su iletimi gerçekleştirmektedir. Kalın çepere sahip olan yaz odunu ise yoğunluk olarak ilkbahar odununa göre daha fazladır ve destekleme görevini gerçekleştirmektedir (Wiedenhoeft, 2012: 9-11; Erdin, 2009: 9; Gültekin, 2014: 3).

Öz, ağacın köklerini kullanarak içine aldığı suyu yapraklara iletmektedir. Özü çevreleyen koyu renkli bir bölge ve bu bölgenin dışında da açık renkli bir bölge bulunmaktadır. Koyu renkli bölge öz odun olarak adlandırılırken, açık renkli bölge diri odun olarak adlandırılmaktadır. Diri odun, köklerden alınan suyun yapraklara iletim görevini üstlenmektedir; ancak ileri yaşlarına gelen ağaçta iletim durmakta ve depolama görevini yerine getiremeyip dış etkenlere karşı koruma sağlamaktadır.

Şekil 1.4: Odunun bölümleri.



Kaynak: Biermann, 1996: 14.

Ağaç, odunsu hücrelerden meydana gelmiştir. Bu hücreler ahşaptaki fiziksel görevlerine göre boyut ve şekil olarak farklıdır. Bu hücrelerin dışında hücre çeperi, çeperin üzerinde, oyuk gibi görünen hücreden hücreye besin suyu akışını sağlayan çok küçük geçitler ve ortada hücre lümeni bulunmaktadır (Cote, 1968: 2; Bozkurt ve Erdin, 2013: 107, 122).

İğne yapraklı ağaçlarda mikroskobik yapıyı traheidler oluştururken geniş yapraklı ağaçlarda traheler oluşturmaktadır. Traheidler ve traheler, iletim ya da destek görevini yerine getirirken bu hücreler bazen de her iki görevi birden meydana getirebilmektedirler. Bu hücrelerin çeperlerindeki torus ve margo olarak adlandırılan kenarlı geçitlerden hücreler arası su geçişi olmaktadır. Bu geçitler ölmüş olan ilkbahar odunu hücrelerinde kapalı iken yaz odununda açık haldedir (Rodgers, 2004: 37; Kılıç, 2017a: 14).

1.3. Ahşabın Kimyasal Yapısı

Çeşitli polimerlerden oluşan ahşap hücre çeperinin kimyasal bileşimi, hücrelerin özellikleri ve yapısı üzerinde etkilidir. Polimerler odunun fiziksel, kimyasal ve mekanik yapısını da etkilemektedir. Hücre çeperinin kimyasal bileşimini oluşturan maddeler primer ve sekonder maddeler olarak isimlendirilen iki grup altında incelenmektedir.

Primer maddeler, odunun kimyasal bileşimini oluşturan üç ana maddeden oluşmaktadır. Bu maddeler selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Hücre çeperinin kalınlaşma yaşadığı sırada hücrede selüloz ve hemiselüloz sentezlenmekte ve sentezlenen bu maddeler primer çeperde birikmektedir. Lignin oluşumu, hücrenin kalınlaşma yaşadığı sırada hücre köşelerinden başlayarak primer çeper ve hücre arası katmanlar boyunca yayılması şeklinde meydana gelmektedir. Lignin, hücre ölümü gerçekleştiği zaman sekonder çepere doğru ilerlemektedir. Holoselülozlar, yani selüloz ve hemiselüloz toplamda %60-85 oranında bulunurken polisakkarit olmayan lignin oranı ise %15-25 arasındadır. Selüloz oranı %40-50 arasındayken hemiselüloz oranı ise %20-35 arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 1.1). Bu polisakkaritler hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçlarda küçük miktarlarda pektik madde ve nişasta içermektedirler. Nadiren de %0,5 üzerine çıkan oranlarda kül bulunmaktadır. Sekonder maddeler ise odun oluşumuna katkıda bulunmayan ancak odunun özelliklerini etkileyen maddelerdir. Bu maddeler biyolojik etkenlere karşı

koruma sağlarken, oduna renk ve koku vermektedirler (Erdin, 2009: 19; Cote, 1968: 55; Bozkurt ve Erdin, 2013: 83-84; Rowell vd., 2012: 34).

Tablo 1.1: İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardaki polisakkarit ve lignin oranları.

Hücre Çeperi Bileşikleri	İğne Yapraklı Ağaçlar (%)	Geniş Yapraklı Ağaçlar (%)
Selüloz	45-50	40-45
Hemiselüloz	15-20	20-35
Lignin	25-35	18-25

Kaynak: Cote, 1968: 55; Erdin, 2009: 19.

Selüloz, odunun iskelet sistemini oluşturan matriste bulunmaktadır ve hemiselüloz ile lignin tarafından sarılmıştır. Hidrojen bağlarının zincirlerle desteklediği bir polisakkarit olan selüloz, hücre çeperinin hacminde en fazla miktarda bulunan madde olmasının yanı sıra (çeperdeki maddelerin yarısı kadar) odun yapısı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Selüloz zincirlerinin bağlanmasındaki ana bağlar kovalent bağlar olup, diğer bir bağ sistemi ise hidrojen bağlarıdır. Su, bu iki bağ türünü de zayıflatıp ahşabın sertliğini azaltmaktadır. Selüloz, odun yapısına yüksek oranda gerilme dayanımı ve hücre duvarlarına kuvvet sağlamaktadır (Fors, 2008: 13; Miller, 1999: 2-3; Connors, 2015: 2).

Selüloz üzerindeki hidroksil grupları, hidrojen köprüleri yardımıyla suya ulaşabilmektedir. Su, bitişik zincirlerin arasına girerek hidroksil gruplarına bağlanmaktadır ve onları birbirlerinden ayırmaktadır. Bunun sonucunda hücre çeperinde daralma veya genişleme yaşanmaktadır.

Hücre çeperi oluşurken fibriller meydana gelmektedir. Fibril, selüloz zincir moleküllerinin yaklaşık 40 tanesinin bir araya toplanmasıyla oluşmaktadır. Çok sayıda fibril birleştiğinde mikrofibril olarak adlandırılan yapı meydana gelmektedir. Kristalin ve amorf bölgeler mikrofibrillerde varlık göstermektedirler. Selüloz mikrofibrilleri odunun çekme direncini artırırken amorf bölgelerinde bulunan hidroksil grupları da selülozun higroskopik özellik kazanmasına ve su salımı yapmasına sebebiyet vermektedir. Selüloz, sülfürik asit, hidroklorik asit ve fosforik asitlerde çözünabilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2013: 84-85).

Hemiselüloz, ahşap içerisinde en yüksek ikinci orana sahip bileşiktir. Fotosentez ile altı karbonlu mannoz, galaktoz ve glukoz ile beş karbonlu arabinoz ve ksiloz şekerleri üretilmektedir. Bu altı ve beş karbonlu şekerler hemiselülozu meydana

getirmektedirler. Hemiselülozlar sulandırılmış alkalilerde ve asitlerde hemen hidrolize olarak çözünürler ve şeker asitleri oluştururlar. Ahşap kuru ağırlığının %15-35'ini oluşturan hemiselülozlar, geniş yapraklı ağaçlarda %20-35, iğne yapraklı ağaçlarda %15-20 oranında bulunmaktadır (Rowell vd., 2012: 35-37).

Lignin, farklı monomer birimlerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş, kompleks yapıda, orta lamel, birincil hücre duvarı ve ikincil hücre duvarında dallanmış yapıda çapraz bağ yapan, aromatik bir üç boyutlu polimerdir. Lignin yapıştırıcı görevi üstlenmektedir ve polisakkaritlere bağlanarak hücre duvarlarının içerisinde ve bu duvarların arasında sabitleyici rol oynamaktadır. Böylece hücre duvarı sertlik kazanmaktadır. Ligninin mikrobiyal saldırılara karşı koruyucu olarak davranması ve hücre duvarını hidrofob hale getirdiği için şişmeyi engellemesi de özellikleri arasındadır. Suya doymuş ahşabın lignin yönünden zengin olmasının nedeni, ligninin selüloz ve hemiselüloza göre bozulmaya ve çözünmeye daha dayanıklı olmasıdır. Lignin, iğne yapraklı ağaçlarda %25-35 oranlarında bulunurken, geniş yapraklı ağaçlarda %18-25 arasında bir orana sahiptir (Abreu vd., 1999: 427; Dedic, 2013: 13; Fors, 2008: 15; Colombini vd., 2009: 62, Adler, 2013: 21).

Ekstraktif maddeler, farklı çözücülerle ahşaptan kolayca uzaklaşabilen, ahşabın yapısal maddesi olmayan maddelerdir. Bu maddeler, budakta, dallarda ve kabukta bol miktarda bulunmaktadır. İçerikleri, yapıları ve miktarları ağaç cinsine göre değişebildiği gibi aynı cinsteki ağaçlar arasında da değişmektedir. Ekstraktif maddeler, ağacı böceklerden ve diğer hastalıklardan koruyan bir görev üstlenmektedir. Ekstraktif maddelerden bazıları yağlı asitler, mumlardır. Bunlar dışındaki hidroliz olabilen ekstraktif maddeler, yani tanenler, suda çözünebilmektedir. Metal iyonları ile reaksiyona giren tanenler, selülozik malzemenin bozulmasına yol açan oksidatif reaksiyonlara neden olmaktadır (Dedic, 2013: 19).

Ahşap hücreleri, birbirlerine paralel olan içi boş tüpler halindedir. Genel olarak ligninden meydana gelmiş olan orta lamel sayesinde hücreler birbirlerine bağlanmaktadır (Adler, 2013: 15). Ahşap hücreleri, ince ancak mekanik olarak güçlü bir duvar ile çevrilmiştir. Hücre duvarı, selüloz, hemiselüloz ve ligninden meydana gelmektedir. Bunlara ek olarak kül, yapısal proteinler, enzimler, fenolik polimerler ve hücre duvarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde etkili olan diğer maddeleri de içermektedir. Mekanik dayanımın sağlanması, hücrelerin birbirine bağlanması, hücre

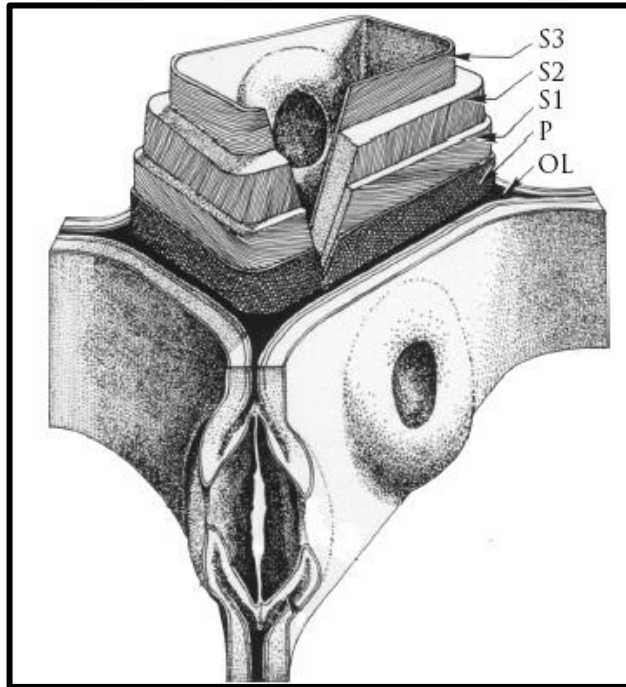
şeklinin ve hacminin belirlenmesi, hücre duvarının görevleri arasındadır. Hücre duvarları birincil hücre duvarları ve ikincil hücre duvarları olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil hücre duvarları, hücrelerin büyümesi sırasında meydana gelirken ikincil hücre duvarları hücrenin büyümesinden sonra ortaya çıkmaktadır. Hücre duvarı, belirli bir düzene sahip, farklı görevler üstlenen birkaç katmanın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Mekanik dayanımın sağlanması, hücrelerin birbirine bağlanması, hücre şeklinin ve hacminin belirlenmesi, hücre duvarının görevleri arasındadır (Taiz ve Zeiger, 2010: 314; Kohdzuma, 2005: 1).

En dıştaki ince tabaka, birincil hücre duvarı olarak adlandırılmaktadır. Bu duvarı oluşturan maddeler, esnek ve amorf yapıdaki bir matris içerisindeki sert liflerin birleşimidir. Bu lifler görev olarak betonu kuvvetlendiren çelik çubuklara benzemektedir. Liflerin uzunluk ve kalınlıklarına göre malzemenin özellikleri değişiklik göstermektedir. Birincil hücre duvarı, hücrenin stabilitesi üzerinde, içerisindeki basınç ise hücrenin büyümesi ve büyümesinin kontrolünde etkilidir. Bu duvardaki lifler, boyuna genişlemeye izin verecek şekilde, birbirlerine yakın olarak, hücre eksenine diklemesine sıralanmışlardır. Yapısı, en dış katman olması nedeniyle bakteri ve mantar saldırılarına karşı savunacak şekilde gelişmiştir. Birincil hücre duvarındaki selüloz mikrofibrilleri, ahşabın kuvvetine ve gerilimine katkıda bulunan yapılardır. Selüloz mikrofibrilleri, yüksek derecede hidratlı matris yapısı içerisinde bulunmaktadır. Bu yapı ahşaba kuvvet ve esneklik kazandırmaktadır. Birincil hücre duvarındaki matris, hemiselüloz, pektin ve ek olarak az miktarda yapısal protein içermektedir. Hemiselüloz, asidik koşullar altındayken diğer bileşenlere göre daha çabuk uzaklaşmaktadır. (Davison vd., 2013: 27). Pektinler, selüloz ağının çökmesini ve yığılmasını önleyen, hücre duvarının gözenekliliğini belirleyen su tutucu dolgu malzemesi olarak davranmaktadırlar. Hücre duvarındaki en çözünür bileşen olan pektin, sıcak su ile çözünebilmektedir. Matrisin hidrojen bağlarıyla bağlanmış polimerlerden meydana gelmesi, ahşabın nemden etkilenerek şişmesine neden olmaktadır. Su molekülleri polimerler arasındaki boşluklara dolarak hidrojen bağı yapmış alanlara yapışmaktadır ve bu durum da matrisin yumuşamasına neden olmaktadır. Matrisin ve liflerin yumuşaması, ahşapta bozulmalara neden olmaktadır. Bu matriste hemiselüloz betondaki çimento görevini üstlenmişken, lignin ise çakıl ve kum dolgusunu oluşturmaktadır. İkincil hücre duvarında bulunan matristeki yüksek

lignin miktarı ahşapta sertliğe neden olmaktadır (Adler, 2013: 15-21; Taiz ve Zeiger, 2010: 313-317; Davison vd., 2013: 27).

İkincil hücre duvarı, hücrenin son şeklini ve boyutunu almasıyla oluşmaktadır. Bu duvar, hücrenin ana kuvvet ve sertlik kaynağıdır. Bu özellikler, hücre ölse bile ahşapta bulunmaya devam etmektedir. İkincil hücre duvarı, üç katmandan meydana gelmektedir. S₁, S₂ ve S₃ olarak adlandırılan bu katmanlardan (Şekil 1.5) ilki, birincil hücre duvarına ve aslında birincil hücre duvarından ayırt edilmesi zor olan birleşik orta lamele bitişik olan S₁ tabakasıdır. İkinci katman olan S₂, en kalın katman olup kuvvet ve sertliğe en çok katkıyı yapmaktadır. Selüloz mikrofibrillerinin en yoğun bulunduğu bölge burasıdır. S₂'nin iç kısmıyla bitişik olan S₃, diğerlerine göre kısmen daha ince bir yapıdadır. Diğer ikincil hücre duvarlarından daha az miktarda lignin içermektedir. Mikrofibriller, lif eksenine paralel yönde uzanmaktadır. Lifler, uzandıkları yönde güçlü olan yapılardır ve enine kesitte zayıflardır. Aynı zamanda üç yönde çekme ve çökme hasarları da liflere bağlıdır. Teğet ve radyal yönde çekmeler en çok S₂'de yaşanırken, boyuna yönde çekmeler S₁ ve S₃'de meydana gelmektedir (Rodgers, 2004: 38; Adler, 2013: 15-21; Walker, 1993: 23; Wiedenhoef, 2010: 3-8).

Şekil 1.5: Primer çeper (P), orta lamel (OL) ve S₁, S₂, S₃ tabakaları.



Kaynak: Wiedenhoef, 2012: 18.

1.4. Yeni Ahşaptan Suyu Doymuş Ahşaba Dönüşüm ile Fiziksel Bozulma

Suya doymuş ahşap, toprak altında veya su içerisinde kaldığı sürece, ahşabın cinsi ve yaşı, çevresel koşullar ve bu koşullara maruz kalma süresi, sıcaklık, nem, pH, ahşap yiyici böcekler, mantar, bakteriler, mekanik hasarlar gibi çeşitli nedenlerle bozulmaya uğramaktadır. Bu nedenlerden ötürü ahşabın bozulma durumunu ortaya koyabilmek için üç farklı alt grupta inceleme yapılmaktadır: Fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma (Kılıç, 2013: 20). Birinci bölümde suya doymuş ahşabın kimyasal yapısı anlatıldığı için bu bölümde kimyasal bozulmadan bahsedilmemiştir.

Fiziksel bozulma, suya doymuş ahşap örneklerine yapılan maksimum su içeriği (%), yoğunluk (g/cm^3), ahşap madde kaybı (%) tespitleri ve SEM incelemelerinin sonucunun belirlenmesiyle tespit edilmektedir. Kimyasal bozulmaların tespiti XRF ve FTIR gibi analizlerle yapılabilmekte olup, çalışmada incelenen YK 29 batığından alınan örneklerde de bu analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda ahşaptaki demir ve sülfür varlığı ile selüloz, hemiselüloz ve ligninin bozulma şekilleri anlaşılmaktadır.

Ahşap, nemli veya ıslak ortamda kaldıkça su emerek en sonunda suya doymuş ahşap haline gelmektedir. Zamanla fiziksel yapıda ve kimyasal özelliklerde değişiklikler yaşanmaktadır. Bu değişiklikler ahşabın dayanımını etkiler ve mikrobiyal saldırılara karşı korunmasız bırakır. Ahşapta meydana gelen bu fiziko-kimyasal olaylar ahşabın bozulmasını hızlandırır. Bozulmanın derecesine; ahşabın cinsi, büyüme süreci, maruz kaldığı çevresel koşullar, kullanımından sonra ne kadar süre boyunca bu çevresel koşullarda bulunduğu, mekanik hasarlar, pH, nemlilik, sıcaklık ve redoks potansiyeli etki etmektedir. Bozulma aerobik ve anaerobik koşullar altında gerçekleşebilmektedir (De Jong vd., 1982: 9).

Arkeolojik ahşabın gömüldüğü çevresel koşullar ve çevresel koşulların ahşabın durumuna etkisi, ahşabı korumaya yarayacak bir bilgi olduğundan anlaşılmaya çalışılmalıdır. Ahşap, çevre koşullarının etkisine ve ahşabın bu etkilere ne kadar süre maruz kaldığına göre farklı bozulma dereceleri gösterebilmektedir. Gömülmeden önce veya gömülmenin ilk aşamalarında, bakteri ve mantarların hidrolize sebep olması nedeniyle bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bozulma bazen de lignin gibi hassas maddelerin ultraviyole soğurmasından kaynaklanabilmektedir. Gömülmeden sonra

oluşan bozulma, yeraltı sularının sızması ve bu suların asit-baz ile oksitleyici-indirgen özelliklerinden kaynaklanabilmektedir. Ahşabın yapısal özellikleri, objelerin üretim tekniği ve kullanımı da çevresel koşulların etkisini olumlu ya da olumsuz değiştiren etkenlerdir. Yıpranmış yüzeyler, açıkta kalan yüzeydeki dokunun yönelimi, çarpma veya gerilim kaynaklı mekanik hasar ve ısınmadan kaynaklı değişimler bozulma üzerinde etkiye sahiptir (Florian, 1990: 9, 14-15; Hoffmann ve Jones, 1990: 35).

Ahşabın ana bileşenleri arasında hemiselüloz en higroskopik olanıyken lignin en az higroskopik olanıdır. Çoğu arkeolojik ahşapta higroskopikliğin önemli ölçüde yeni ahşaptan farksız olduğu düşünülse de nem içeriği arkeolojik ahşaplarda, yeni ahşaptan daha fazladır. Suyu doymuş ahşabın higroskopikliğinin bazen çarpıcı biçimde arttığı, ancak artış miktarının büyük ölçüde bozulma mekanizmasına bağlı olduğu görülmektedir. Suyu doymuş ahşaplarda bozulma ilk olarak ekstraktif maddelerin uzaklaşmasıyla başlasa da ana madde olarak ilk başta hemiselülozda, ardından selülozda ve en son ligninde meydana gelmektedir ve lignin yapısının çoğu kalmaktadır.

Suyu doymuş ahşap, su altından çıkarıldığında iyi korunmuş şekilde görünse de hiçbir uygulama yapılmadan kurutulursa büyük oranda çekme, çökme, çarpılma ve çatlama gibi boyutsal değişimler ve bozulmalar yaşanacaktır (Şekil 1.6). Boyutsal değişimler ahşapta yaşanan çekme ve çökme olaylarının sonucunda gerçekleşmektedir. Çekme, hücre çeperinde meydana gelirken, çökme hücre çeperlerinin birbirlerine doğru katlanmasıyla oluşmaktadır. Çökme, lif doygunluğu noktasının üzerindeki kapiler kuruma gerilimi sebebiyle yaşanmaktadır. Ahşap, hücre çeperi kuvvetinin azalması ile kuruma gerilimine karşı direncini kaybetmektedir. Hücre duvarları, çok fazla incelendiğinde zayıflamaktadır ve hücre boşluklarındaki serbest suyun uzaklaşması ile oluşan yüzey gerilimine daha fazla dayanamayıp çökmektedirler. Bu durum en bariz şekilde teğet kesitte görülmektedir. Çekme; kuruma sırasında hücre lümenleri ile kılcal boşluklarda bulunan serbest suyun buharlaşması, dışa salım nedeniyle nem içeriğinin lif doygunluğu noktası altına düşmesi (%30 ve altı), karbonhidrat bozulmasıyla beraber kristalin azalmasının higroskopikliğe neden olması ve higroskopiklik nedeni ile selüloz mikrofibrillerinde paralel yönde çekme meydana gelmesi ile oluşmaktadır. Çekme, bağlı suyun uzaklaşmasına da sebep olmaktadır. Ahşabın su dolu halinin tamamen kuruması sonucu oluşan boyutsal değişim oranı yüzde ile ifade edilmektedir ve buna çekme

derecesi denmektedir. Yeni ahşapta teğet çekme oranı %7-8 iken suya doymuş ahşapta %60'a kadar çıkmakta ve 10 cm'lik bir suya doymuş ahşap, kontrolsüz şekilde kurutulduğunda boyu 4 cm olacak kadar çekmektedir (Kohdzuma, 2005: 4-5; Rowell, 2012: 77; Florian, 1990: 11; Schniewind, 1990: 92, 95).

Çekme derecesinin ölçümü aşağıdaki formül ile tespit edilmektedir (Kohdzuma, 2005: 4):

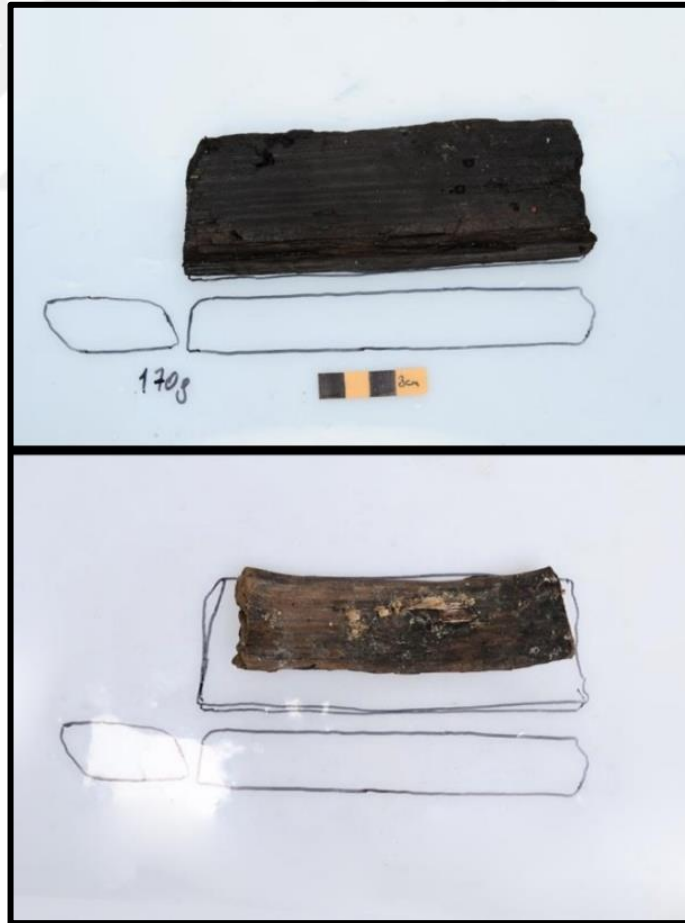
$$S = \frac{L_w - L_o}{L_w} \times 100$$

S: Maksimum Çekme

L_w: Maksimum Uzunluk

L_o: Fırın Kuru Uzunluk

Şekil 1.6: Kuruma öncesi (üstte) ve kuruma sonrası (altta) suya doymuş ahşap örnekleri.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

1.5. Biyolojik Bozulma

Ahşap, koşulların uygun olduğu ortamlarda birçok biyolojik saldırıya maruz kalarak bozulmaya uğramaktadır. Doğal ortamlarda, mikroorganizmalar hızlı bir şekilde ahşapta kolonize olarak bozulma sürecini başlatmaktadırlar. Mantar, bakteri ve böcekler, ahşaba saldırarak hücre duvarını oluşturan bileşenleri kullanarak ya da mekanik olarak bozulmaya neden olmaktadır. Yapısal polimerler aşamalar halinde değişime uğrayarak basit moleküller haline gelirler ve son olarak karbondioksit ve suya dönüşmektedirler (Blanchette vd., 1990: 141).

Ahşabın yapısında bulunan ekstraktif maddeler, ahşabı mikrobiyal saldırılara karşı korusalar da suya doymuş ahşabın bozulma sürecinde ilk çözünen madde olduklarından ahşaplar mikrobiyal saldırılara açık hale gelmektedir. Mikrobiyal bozulmanın oranı ve kapsamı büyük ölçüde lignoselülozik yapının kompozisyonundan etkilenmekte ve mikrobiyal varlıklar doğadaki karbon döngüsünün bir parçası olarak lignoselülozik yapıya hasar vermektedirler. Mikrobiyal saldırılar sonucu bozulmaya uğrayan ahşapta kimyasal ve morfolojik olarak ayırt edilebilen çürüme türleri meydana gelmektedir. Ahşapta bozulmaya yol açan mikrobiyolojik canlılar, bakteriler ve mantarlar olarak iki gruba ayrılrsa da bunların kendi sınıfları altında, farklı şekillerde hasar veren farklı türleri bulunmaktadır. Bakteriler; erozyon, tünel açıcı, kavitasyon ve çöpçü bakteriler olarak ayrı ayrı ele alınırken mantarlar; yumuşak çürüklük, beyaz çürüklük ve kahverengi çürüklük mantarı olarak incelenmektedir (Björödal, 2012: 118-119; Köse, 2013: 67).

1.5.1 Sualtı Koşullarında Ahşap Yiyiciler

Denizel ortamdaki ahşap malzemenin uğradığı bozulmalara neden olan faktörlerden biri de ahşap yiyicilerdir. Denizel ortamdaki ahşap yiyiciler Yenikapı Batıkları ile dünyadaki diğer batık ahşaplarına en çok zarar veren türler, yumuşakçalardan *Teredinidae* ailesine ait olan *Teredo navalis* (gemi kurdu) ve kabuklulardan *Limnoriidae* ailesine ait olan *Limnoria*'dır. Bu türlerin ahşaba zarar verme şekilleri birbirlerinden farklı olup, gemi kurtları ahşaba içinden zarar vermekteyken *Limnoria*'lar ahşap yüzeyinden zarar vermektedir. Ayrıca suyun sıcaklığı, tuzluluğu, oksijen miktarı gibi değişkenlere göre de yaşadıkları yerler farklılıklar göstermektedir.

Yumuşakça tipindeki *Teredo navalis* (Şekil 1.7), çok küçük hallerdeyken ahşap yüzeyinde oldukça küçük delikler oluşturarak ahşabın içerisine girmekte ve hızlı bir şekilde büyümektedirler. *Teredinidae* larvaları gelişme safhasına göre bir ay içerisinde aktif hale gelmektedirler. Düşük tuzlu sularda yaşayan türleri olsa da çoğu türü tuzlu sularda yaşamaktadır. Bahsedilen tuzluluk oranı %0,9 ile %3,5 arasındadır ve yaklaşık üç yıl yaşayabilmektedirler. Bu canlıların binlercesi ahşabın içerisini parçalamakta ve öz oduna saldırmaktadırlar. Hücre duvarlarında bulunan selüloz ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar gemi kurtları için mükemmel bir besin kaynağıdır. Gemi kurtları tarafından verilen hasarlar ahşap içerisinde olduğu için fark edilene kadar büyük boyutlara ulaşabilmektedir (Şekil 1.8). (Castagna, 1961: 7, 9; Thomas, 2002: 4; Sivrikaya, 2018: 158; Kılıç, 2013: 32).

Şekil 1.7: *Teredo navalis* görüntüsü.



Kaynak: F. Hecker.

Şekil 1.8: YK 29 E1 ahşabındaki *Teredo navalis* hasarları.



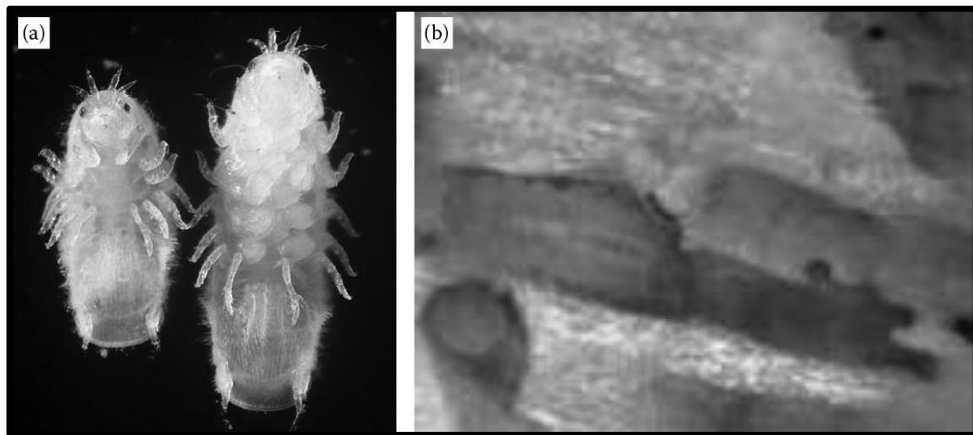
Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Gemi kurtlarının açtığı tüneller, kalsiyum karbonatlı dışkı ile kaplanmaktadır. Oyuklar genellikle ahşabın lifleri boyunca açılmaktadır. Tünellerde kazara kırılmalar olması durumunda, salgı bezleri büyük miktarlarda kalsiyum karbonat salgılayarak bozulmayı onarmaktadır (Castagna, 1961: 9; Treneman vd., 2018: 102; Grave, 1928: 262-264).

Kabuklulardan en önemli ahşap yiyici türü, *Limnoriidae* ailesine mensup olan *Limnoria*'dır (Şekil 1.9). Ortalama 0,5 mm çapında ve 3-4 mm boyunda olup erkek *limnoria*, dişi *limnoria* 'ya göre biraz daha küçüktür (Quayle, 1992: 34-35; Çetin, 2009: 4; Clausen, 2010: 14).

Limnoria'ların açtığı oyuk ahşap yüzeyindedir (Şekil 1.9). Bulundukları yeri değiştirseler de genellikle tek bir yerde oyuk açmaya devam etmektedirler. Oyuklar, ahşap yüzeyinin altında ve paralel şekilde olup; belirli aralıkla, geçemeyecekleri kadar geniş olmayan hava deliklerine sahiptir. Bu deliklerden geçen sular oyuklar boyunca sirküle edilmektedir. Çok sayıda *Limnoria* saldırısına maruz kalan ahşapta oyuklar ince ahşap duvarlar ile ayrılmaktadır. Bu ince duvarlar su hareketi veya yüzmekte olan objeler tarafından yok edilebilmektedir. Bu durum meydana geldiğinde ortalama 13 mm derinliğinde olan oyuklar, *Limnoria*'lar tarafından daha derine doğru açılmaktadır. Ahşap içerisindeki ilerlemeleri 20 mm'yi geçmemektedir. *Limnoria*'ların verdiği hasar gemi kurtlarına nazaran daha azdır (Clausen, 2010: 14; Parrish ve Bultman, 1979: 5; Ibach, 2012: 112; Çetin, 2009: 4).

Şekil 1.9: *Limnoria* ve neden olduğu hasar.



Kaynak: Ibach, 2012: 112.

Limnoria'lar ahşapta açtıkları oyukta yalnızca korunma için kalsalar da ahşabı besin olarak da kullanabilmektedirler. *Limnoria*'ların yaşam alanları genellikle %1,5

tuz oranına ve 9-10 °C sıcaklığa sahiptir (Kılıç, 2013: 34; Parrish ve Bultman, 1979: 5-6).

Yenikapı Batıkları'nda ahşaplara zarar veren diğer bir ahşap yiyici türü de *Isopod*'ların *Asellidae* ailesine mensup *Asellus sp.* türüdür. Kabuklulardan olan *Asellus sp.*, tatlı sularda yaygın olan ve Avrupa, Balkanlar, Kuzey Amerika, Akdeniz ve İskandinavya'ya kadar yayılmış bir türdür (Verovnik vd., 2009: 101).

Asellus sp. türünün neden olduğu tahribat tuzdan arındırma çalışmaları sırasında havuzlarda bekleyen ahşapların yüzeylerinde fiziksel olarak gözle görülmüştür. Kılıç'ın gerçekleştirdiği araştırmada su dolu olan bir kasaya ahşap örneği yerleştirilmiş ve ardından *Asellus sp.* kolonisi bırakılmıştır. Bir yılın sonunda kasadan çıkarılan ahşabın etiket bulunmayan kısımlarında makroskopik derecede tahribat görülmüştür (Kılıç, 2017a: 48-49). Bu tahribat, ahşap üzerinde zımpara yapılmış gibi bir iz şeklindedir.

1.5.2. Bakteriler

Işık mikroskobu ve elektron mikroskobu altında yapılan incelemelerle ahşaba düşük oksijenli veya oksijensiz karasal ve denizel ortamda en çok hasarı bakterilerin verdiği ortaya konmuştur. Bakteriler, spesifik mikromorfolojik özelliklerine göre gruplara ayrılmaktadırlar; erozyon, tünel açıcı, kavitasyon ve çöpçüler. Bakterilerin tümü çubuk şekline sahiptir. Anaerobik ortamda faaliyet gösterebilen bakteriler selüloz ve hemiselülozu bozarken lignine zarar veremeseler de lignin ile ilişkisi olan düşük molekül ağırlıklı aromatik maddeleri bozabilmektedir. Bakteri saldırıları ahşabın yoğunluğunu azaltırken geçirgenliği ve mikroporoziteyi artırmaktadır (Kirk ve Shimada, 1985: 582; Broda vd., 2015: 23).

Erozyon bakterileri, ahşabın bozulmasına yol açan en önemli ve en yaygın unsurdur. Bu bakteriler 2-8 µm uzunluğunda olup 0,5-0,9 µm çapında, çubuk şeklindeki canlılardır. Erozyon bakterilerinin ilk olarak ahşabı aşındıracak şekilde, ahşabın ışınlarından ve çukurluklardan saldırdığı ve buralardan geçerek hücre lümeninden ikincil hücre duvarına kadar oyuk açtıkları gözlemlenmiştir. Bakteriler, mikrofibriller boyunca dizilmektedirler ve hücre duvarını aşındırmaya başlamaktadırlar. Çürümenin ileri aşamalarında, selüloz açısından zengin olan ikincil hücre duvarı amorf bir malzeme haline getirilirken, lümen ve bozulmaya uğramış hücre duvarları, S₂ ve S₃ tabakalarından gelen çürüme sonucu oluşan artıklar ile

dolmaktadır. Saldırılar sonucunda S₁ tabakası ve birleşik orta lamel sağlam durumda kalmaktadır. Erozyon bakterileri hücre duvarındaki lignin açısından zengin alanları bozamamaktadır (Daniel, 2014: 48-49; Björðal, 2012: 119).

Tünel açıcı bakterilerin yarattıkları çürüme şeklinin, yumuşak çürüklük mantarlarının hifleri ve erozyon bakterisinin oluşturduğu balçığımsı artığın içerisinde kalması nedeniyle ışık mikroskobu altında çalışılması en zor olan türdür. Tünel bakterilerini incelemek için polarize ışık kullanıldığından, enine kesitte tüneller ve radyal kesitte çürüme desenleri görülebilmektedir. SEM ile inceleme yapıldığında bu bakteri türünün varlığı, ahşap içerisindeki düzgünce açılmış tünellerden kolaylıkla anlaşılabilmektedir (Ruel ve Barnaud, 1985: 463; Björðal vd., 1999: 65-66). Tünel bakterilerinin saldırı şekli kendisine hastır. Saldırı ilk olarak tek bir bakterinin hücre duvarına doğru tünel açmasıyla başlamaktadır. Sonraki aşamalarda açılmış olan tünellerin uç kısımlarında bakteriler görülebilir durumdadır. Bakteriler tünel açtıkça gruplara bölünerek başka tüneller açmaya başlamaktadırlar. Bu bakterilerin ahşabın bozulmasındaki rolünün, mantarların yarattığı çürümeye dirençli olan lignoselülozik malzemenin bozulmaya uğratılması olarak düşünülmektedir. Karbonhidratları ve az da olsa lignin tahrip eden bu tür, bakteriler S₂ tabakasının liflerinde ve orta lamelde tüneller açmaktadır. Ayrıca S₃ tabakasının bazı bölgelerinde de bozulmaya yol açmaktadırlar. Tünel bakterileri koruma uygulaması yapılmış olan ahşaplarda dahi varlık gösterip, depolama sırasında ahşaba ciddi hasarlar verebilmektedirler (Singh, 2012: 17).

Kavitasyon ya da oyuk açıcı bakteriler olarak adlandırılan bu grup adından da anlaşılacağı üzere oyuklar açarak saldırıda bulunan bir gruptur. Esas olarak S₂ tabakasına saldırmaktadırlar. Erozyon ve tünel bakterilerine benzer bir şekilde, hücre duvarında küçük bir delik açarak S₃ tabakasına giriş yaparlar ancak geniş bir alanda bozulmaya neden olmamaktadırlar. S₂ tabakasında selüloz ve hemiselülozun bozulmaya uğratılmasının ardından ince bir yapıda olan S₃ tabakası desteklenemediğinden çökmeye uğramaktadırlar. Araştırmalar kavitasyon bakterilerinin S₂ tabakasıyla sınırlı kalmayıp S₁ tabakasına da yayılabildiğini ortaya koymuştur. Bu tür bakteriler orta lameli bozamamaktadırlar (Jurgens ve Blanchette, 2006: 3).

Çöpçü bakteriler, tünel açıcı ve erozyon bakterilerinin geride bıraktığı artık malzemeyi bozmaktadırlar. Hücre duvarının sağlam olduğu yerlerde karşılaşılmayan bu tür, bozulmuş hücre duvarlarının olduğu alanlarda görülmektedir. Arda kalan malzemeleri yok ettiğinden, ahşap üzerinde gerçekleştirilen bozulma tanımlamasını zora sokmaktadır. Çöpçü bakteriler, erozyon bakterilerine benzer bir şekilde anaerobik koşullara uyum sağlayabilmektedirler (Jurgens ve Blanchette, 2006: 4).

1.5.3. Mantarlar

Ahşapları çürüten mantarlar *Basidiomycete* ve *Ascomycete* ile *Fungi Imperfecti* (*Deuteromycetes*) sınıfları altında sırasıyla beyaz, kahverengi ve yumuşak çürüklük mantarları şeklinde incelenmektedir. *Basidiomycete* mantarları yüksek seviyede oksijene ihtiyaç duyarken *Ascomycete* ile *Fungi Imperfecti* mantarları düşük oksijen seviyelerinde aktiftir. Yumuşak çürüklük mantarlarının ahşabı bozma hızı, beyaz ve kahverengi çürüklük mantarlarının hızından daha yavaştır (Köse, 2013: 67-68).

Yumuşak çürüklük, terim olarak ilk kez Savory tarafından *Ascomycete* ve *Fungi Imperfecti* mantar ailelerinin sebep olduğu çürümeyi tanımlamak için kullanılmıştır. Bu mantarlar hem karasal hem de sulu ortamlarda faaliyet gösterebilmektedirler. Büyüyebilmeleri için gerekli olan pH değer aralığı 3 ile 9 arasında olsa da ideal olarak 6 ile 8 arasında kabul görmektedir (Blanchette vd., 1990: 153, 159; Björndal, 2012: 120). Bozulmaya uğramış ahşabın rengi koyu kahverengiye veya siyaha yakın olmaktadır. Ahşabın kendisinde çatlamlar meydana gelmiş ve kurduğunda damalı/kareli bir hale dönüşmüştür. Renk değişiminin sebebi mantarlar tarafından gerçekleştirilen melanin sentezidir. Yumuşak çürüklük mantarlarının saldırısı, hücre duvarında oyuk açılan (Tip 1) ve hücre duvarını aşındırmaya uğratan (Tip 2) iki farklı tip olarak sınıflandırılmaktadır (Blanchette, 1994: 1003; Nilsson, 2009: 231).

Yumuşak çürüklüğe maruz kalmış ahşaplar üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde selüloz ve hemiselülozun yok olduğu, geriye kalan ahşapta selüloz depolimerizasyonu gerçekleşmediği ortaya konmuştur. Ligninin bozulması, mantar ve ahşap cinsine göre yüksek derecede değişkenlik göstermektedir. Yumuşak çürüklük mantarı saldırıları ahşabın dayanımında önemli ölçüde azalmaya neden olmaktadır. Lignin türü ve miktarı, yumuşak çürüklük mantarı saldırılarının oranında önemli bir etkiye sahiptir. Düşük miktarda lignine sahip olan geniş yapraklı ağaçlar, iğne yapraklı

ağaçlara göre yumuşak çürüklük mantarı saldırılarına daha açık durumdadır (Nilsson, 2009: 234).

Basidiomycete ailesi altında sınıflandırılan beyaz çürüklük mantarları hücre duvarı bileşenlerini bozma şekillerine göre kategorize edilmektedirler. Beyaz çürüklük mantarlarının gelişimi için nem, oksijen, uygun ısı ve pH değeri gerekmektedir. İdeal pH değeri 3,5 ile 5,5 arasında olsa da bu değerlerin üzerinde veya altında da mantar büyümesi gerçekleşmektedir. Beyaz çürüklük mantarlarının farklı türleri, farklı sıcaklıklara duyarlıdır. Bu nedenle uygun sıcaklık derecesi 25-40 °C arasındadır. Bu mantar türü genellikle geniş yapraklı ağaçlardan elde edilmiş ahşapları tercih etmektedirler. Lignin açısından zengin olan orta lamel dâhil olmak üzere ligninin bozulması üzerinde oldukça etkilidirler. Bunun sonucunda ligninin olmadığı beyazlaşmış bölgeler ortaya çıkmaktadır (Blanchette, 1994: 1000; Nilsson, 2009: 225-228). Son olarak, beyaz çürüklük mantarlarının neden olduğu oyuklar, 0,2 µm uzunluğundaki boyuna oyuklar şeklinde başlayıp 2,1 µm'ye kadar büyümektedirler. Beyaz çürüklük mantarı oyukları, büyük oranda dallanma yapmaktadırlar ve boyuna yöndeki dallar sıra ile ortaya çıkmaktadır (Anagnost, 1998: 147).

Basidiomycete ailesine ait bir diğer tür olan kahverengi çürüklük mantarları, ahşabın yapısını oluşturan lignoselülozik yapıya zarar vermektedir. Bu mantarların büyümesi için gerekli olan sıcaklık ve pH derecesi, beyaz çürüklük mantarlarına benzemekle beraber kahverengi çürüklük mantarları asidik durumlara daha fazla dayanıklıdır ve düşük pH değerine karşı daha az dayanıklıdır. Ahşap, çürümeyle beraber kahverengi bir görüntüye bürünürken ahşabın içerisindeki lignin hariç tüm kimyasal bileşenler değişim yaşamaktadır. Çürümeye maruz kalmış ahşaplarda çatlaklar ve damalı/kareli yüzey çatlakları meydana gelmektedir. Çürüme sürecinin başlangıcı ile selüloza saldırılar başlamaktadır. Boyuna kesit incelendiğinde ikincil hücre duvarından orta lamele uzanan, düşük mekanik dayanımın daha da azalmasına neden olan küçük çatlaklar gözlemlenmiştir. Tüm bu çürüme süreci sonunda geriye kırılğan bir yapıda olan lignin iskeleti kalmaktadır ve bu iskeletin toz halinde parçalanma ihtimali bulunmaktadır. Hücre duvarlarının sertliği yetersiz kalmaktadır ve gözeneklilik oluşmaktadır. (Erikson ve Wood, 1985: 475-476; Nilsson, 2009: 228-230; Blanchette, 1994: 1005-1007).

1.6. Suya Doymuş Ahşabın Konservasyon Yöntemleri

Suya doymuş ahşabın konservasyonundaki ilk hedef, ahşabın bulunduğu sulu ortamdan çıkarılmasıyla oluşması muhtemel çökme, çekme ve çatlama olaylarını engellemek veya en aza indirmektir. Bu nedenle suya doymuş ahşap konservasyonunun tarihi boyunca çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak suyun buharlaşması ile oluşan hücresel seviyedeki boşlukların doldurulması için çalışılmıştır. Söz konusu kimyasallar yıllar geçtikçe yerini daha etkili, daha kullanışlı, hem ahşap hem de insana zararı az olan veya hiç olmayan ve geri dönüşümü kimyasallara bırakmıştır. Bu bağlamda günümüzde dünya çapında en yaygın şekilde kullanılan kimyasal polietilen glikol (PEG)'dür. Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda, ahşaplar üzerinde gerçekleştirilecek olan konservasyon çalışmalarında PEG ön-emdirme sonrası vakumlu dondurarak kurutma ve melamin formaldehit yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Melamin formaldehit yöntemi çok yüksek derecede bozulmuş ahşaplara uygulanırken diğer bozulma derecelerindeki ahşaplara PEG yöntemi uygulanmaktadır (Kocabaş, 2012: 13; Kocabaş, 2015b: 5; Kılıç, 2017a: 70).

Suya doymuş ahşap konservasyonunda PEG ve melamin formaldehit yöntemleri dışında tercih edilebilecek yöntemler bulunmaktadır ancak bu yöntemler, dezavantajları nedeniyle tercih edilmemektedir. Söz konusu yöntemlerden biri olan sakaroz emdirme yönteminin dezavantajı, ahşapların konservasyon çalışmalarından sonra böcek ve kemirgen saldırısına maruz kalmasıdır. Bir diğer yöntem ise aseton-reçine yöntemidir. Bu yöntem, asetonun kullanımı ile ahşap bünyesindeki suyun uzaklaştırılmasının ardından reçinenin ahşaba nüfuz etmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Aseton banyosu sırasında ısıtma işlemi yapıldığı için riskli bir yöntemdir ve küçük boyutlu eserlerde tercih edilmektedir. Asetonla beraber alkol (isopropanol veya etanol) ve dimetil eterin kullanıldığı bir yöntem olan alkol-eter yöntemi, malzemelerin yanıcı özelliğinden dolayı sadece küçük boyutlu eserlerde kullanılmaktadır. Bir başka yöntem olan kafuru-alkol yöntemi, diğer yöntemlerde olduğu gibi alkol içerdiğinden, yanıcılık özelliğinden dolayı tercih edilmeyen bir diğer yöntemdir. Silikon yağı yöntemi, alkol (etanol) ve asetonun kullanıldığı bir diğer yöntemdir ancak bu yöntemde göz önünde bulundurulması gereken kısım, bu yöntemin geri dönüşümsüz olduğudur (Hamilton, 1999: 26-29). Tüm bu yöntemler dezavantajlarından dolayı sadece küçük boyutlu eserlerin konservasyonunda

kullanılmaktadır. Yenikapı Batıkları gibi büyük boyutlu ve çok sayıda suya doymuş ahşabın bulunduğu projelerde PEG ve gerektiğinde melamin formaldehit yöntemleri tercih edilmektedir. Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında yapılan lisansüstü çalışmalarda gerçekleştirilen analizlerle ortaya konulan olumlu sonuçların değerlendirilmesiyle, Yenikapı 29 batığının konservasyon çalışmaları için PEG ön-emdirmesi ve dondurarak kurutma üzerinde durulmuştur.

1.6.1. Melamin Formaldehit Yöntemi

Melamin formaldehit molekül ağırlığı 400-700 g/mol olan sıvı bir kimyasaldır. Reçine uygulandığı zaman hücrelerin hacminde genişlemeye neden olmaktadır; ancak bu değişim, bu aşamadan sonra geri alınamamaktadır. Yıllar boyunca bu şekilde kalan ahşapta mikrobiyal saldırılar gözlemlenmemektedir¹. İstenildiği zaman ahşap cinsi analizi yapılabilse de ¹⁴C testi gerçekleştirilememektedir². Ayrıca melamin formaldehit yöntemi uygulandığında ahşap üzerinde başka bir konservasyon yöntemi uygulanamamaktadır. Geri dönüşümsüz olmasının yanı sıra ahşabın renginde açılma, güneş ışığına maruz kalma durumunda çatlaklar ve hızlı kuruma sebebiyle kırıklar ve hacim değişikliği meydana gelmektedir (Unger vd., 2001: 445; Gregory vd., 2012: 144; Christensen vd., 2012: 184). Tanen içeren meşe ağacı, melamin formaldehit çözeltisi içerisine bırakıldığı zaman çözeltinin asitlik derecesinin artmasına ve bu nedenle kürlenme süresinin kısalmasına neden olmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2018: 3). Bu yöntemde kullanılan reçinelerin ahşaba etkili bir şekilde nüfuz ettiği ve ahşap cinsi fark etmeksizin stabilizasyon sağladığı düşünülse de YK 12 batığının maksimum su değeri düşük olan meşe cinsi ahşaplarında stabilizasyon sağlanamamış olup enine ve boyuna çatlaklar oluşmuştur (Kılıç, 2013: 72).

Melamin formaldehit düşük molekül ağırlığına ve düşük viskozite oranına sahip olup su bazlı bir reçinedir (Ateş, 2014: 2). Melamin formaldehit uygulandığında çözünemeyen ve geri alınamayan bir film tabakası oluşturmaktadır. Polimerleşme yaşandıktan sonra sadece oluşan film tabakası değil, ahşabın içerisindeki melamin formaldehit de geri alınamamaktadır. Bu yöntemin uygulandığı ahşaplar çok hafifleşmektedir. Küçük objeler için hızlı ve maliyeti az olan bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulamasındaki en büyük sorun süreç boyunca polimerleşme hızının

¹⁻² Conservation of Wood Artifacts, Ed. A. Unger, W. Unger, A. P. Schniewind, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

kontrolüdür ve bu kontrol için doğrudan nicel sonuç veren bir cihaz bulunmaması nedeniyle FTIR analizi ile polimerleşme takibi yapılmaktadır. Kürleşmenin başladığı fark edilmezse ahşabı kaplayan ve geri alınamayan melamin formaldehit birikintileri oluşmaktadır. Polimerleşme düşük pH değerlerinde ve yüksek sıcaklıklarda hızlanmaktadır. Polimerleşmenin başladığı birkaç damla melamin formaldehitin, saf su dolu kaba damlatıldıktan sonra bulanık şekilde görülmesi ile anlaşılmaktadır. Bulanıklık noktası olarak adlandırılan bu seviyeye ulaşıldığında ahşap çözeltiden çıkartılmaktadır. Çözeltiden çıkartılmış olan ahşap, emici havlu ile kaplanıp plastik film ile sarılmaktadır (Cesar vd., 2016: 106-107; Gregory vd., 2012: 144; Kılıç, 2016: 90). Bu şekilde hazırlanmış olan ahşapların içerisindeki melamin formaldehitin kürleşmesi, ahşap boyutuna (kalınlığına) göre dokuz ila ondört gün arasında 50-55°C'lik fırında ısıtılmasıyla sonlanmaktadır. Filmin kullanılması kürleşme bitmeden suyun buharlaşmasını engellemektedir. Yenikapı Batıkları Projesi'nde konservasyonu melamin formaldehit ile gerçekleştirilen ahşaplar için %25'lik konsantrasyon tercih edilmektedir. Saf su içerisinde hazırlanan çözelti oda sıcaklığında tutulmaktadır. Konservasyonu yapılacak olan ahşaplara esneklik kazandırmak adına %10 trietilen glikol (TEG), çözeltinin pH değerini artırmasıyla kürleşme süresinin uzaması ve çözeltiyle etkileşime girecek olan asitlerin nötrleşmesi için %0,5-1 trietanolamin (TEA) ve son olarak çözelti viskozitesinin düşürülerek penetre etme gücünün artırılması ve insan sağlığına zararlı olan serbest durumdaki formaldehitin bağlı kalması için %5 üre eklenmektedir. Ahşapların küçük olduğu durumlarda konservasyon işlemi hızlı bir şekilde tamamlanabildiği için TEA eklenmesine gerek duyulmamaktadır. TEG kullanılmaması durumunda ahşapların oldukça sert bir biçimde kaldığı ve çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir (Kılıç, 2017c: 141).

1.6.2. Polietilen Glikol Yöntemi

PEG farklı molekül ağırlıklarında üretilen bir kimyasal malzemedir. Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında gerçekleştirilen konservasyon işlemlerinde Clariant marka PEG kullanılmıştır. Bu markanın ürünlerinde molekül ağırlığı 200-35000 g/mol arasında değişmektedir. Konservasyon çalışmaları için en fazla 6000 g/mol ağırlıklı PEGler kullanılmaktadır³. Suya doymuş ahşap konservasyonu alanında dünya

³ 29 Nisan 2020 tarihinde Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ile yapılan kişisel görüşmeden edinilen bilgi.

genelinde PEG ile yapılan çalışmalar incelendiğinde molekül ağırlıkları üç gruba ayrılmaktadır: düşük (sıvı), orta (mum) ve yüksek (katı). Ortalama olarak 200-600 g/mol arasında kalanlar düşük (sıvı), 600-1500 g/mol arasında kalanlar orta (mum) ve 1500-6000 g/mol arasındakiler ise yüksek (katı) molekül ağırlıklı olarak nitelendirilmektedir (Clariant, 2015: 8-13).

Suya doymuş ahşap konservasyonu sürecinde yaşanan hücre lümenindeki serbest suyun ve hücre duvarındaki bağlı suyun uzaklaşması ile oluşan çekme, çökme ve çatlama sorunlarına karşı PEG tüm dünyada yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir (Schnell ve Jensen, 2007: 50; Björðdal ve Nilsson, 2001: 211). PEG, ahşabın yapısında bulunan su ile yer değiştirip gözenekleri dolduracağı için konservasyon sonrasında yaşanabilecek olan herhangi bir sorunun önüne geçilmiş olur ve böylece hücrelerin çökme sorunuyla beraber çekme ve çatlama sorunları da engellenmiş olmaktadır. Ayrıca PEG, ahşabın yapısında bulunan maddeler ile hidrojen bağları oluşturarak ahşaba mekanik mukavemet sağlamaktadır (Jelic, 2014: 65; Ambrose, 1990: 243).

Suya doymuş ahşap, PEG'in, su veya alkol (etanol, metanol veya izopropanol) ile bir tank içerisinde karıştırılmasıyla oluşturulan çözelti içerisine daldırılarak bazen haftalar bazen aylar ve bazen de yıllar boyunca bekletilmektedir. Bu süreçte çözeltideki PEG konsantrasyonu yavaş yavaş artırılmaktadır. PEG'in ahşap içerisinde yayılımı, çok yoğun ortamdan daha az yoğun olan ortama kendiliğinden yayılması ile yani difüzyon ile sağlanmaktadır. PEG sadece difüzyon ile hücre duvarına girebilmektedir. Çözünen maddenin konsantrasyonu difüzyonun oluşması üzerinde etkilidir. Ayrıca ahşap hücrelerinin yapısındaki besin iletimini sağlayan geçitler ve ahşabın bozulma durumu PEG'in difüzyonunu etkilemektedir. Difüzyon hızını artırmak için PEG konsantrasyonu bir anda artırılabilir ancak bu durumda ozmotik çökmeler meydana gelecektir. Çözeltiyi ısıtmak, viskoziteyi azaltarak difüzyon ve nüfuz etme hızını artıracaktır. Ancak çözeltinin ısıtılması, tercih edilmiş olan molekül ağırlığını düşürecektir. Mortensen ısıtılmış olan PEG 4000'nin (4000 g/mol) molekül ağırlığının 600 g/mol'e kadar düştüğünü belirtmiştir⁴. Ayrıca PEG'in ısıtılması formaldehit oluşumuna ve buharlaşma ile havaya karışmasına neden olup insan

⁴ **Stabilization of Polyethylene Glycol in Archaeological Wood**, Technical University of Denmark, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Danish Polymer Centre, Danimarka. Yayınlanmamış Doktora Tezi.

sağlığını tehlikeye atmaktadır. Çözeltinin hava ile temas eden yüzeyinde oluşan mikrobiyal bozulma da ısıtma sonucunda artış göstermektedir (Kılıç, 2017a: 74; Mortensen, 2009: 9; Grattan ve Clarke, 1987: 178-192).

PEG kullanılırken molekül ağırlığıyla beraber PEG'in nasıl uygulanacağına da karar verilmelidir. PEG emdirme işlemi için yapılan literatür taramasında ahşabın bozulma durumuna göre üç farklı emdirme yöntemi ile karşılaşılmıştır. Bunlar; konservasyon sürecinde tek bir PEG türünün kullanımı, farklı molekül ağırlıklarına sahip iki farklı PEG türünün karıştırılarak kullanımı ve düşük molekül ağırlıklı PEG'in emdirilmesinin ardından yüksek molekül ağırlıklı PEG'in emdirilmesi ile uygulanan iki adımlı yöntemdir.

Emdirme için tek bir PEG türü kullanılacaksa burada dikkat edilmesi gereken konu ahşabın bozulma derecesidir. Bozulma derecesi az olan ahşaplarda düşük molekül ağırlıklı olan sıvı PEG kullanımı boyutsal stabilizasyonu sağlamada başarı gösterse de oda sıcaklığından ahşaptan geri akması nedeniyle orta molekül ağırlıklı PEG kullanımı tercih edilmektedir. Yüksek bozulma derecesine sahip olan ahşaplar için yüksek molekül ağırlıklı PEG kullanımı önerilmektedir. Bu durumdaki ahşaplar için orta molekül ağırlıklı PEG ne kadar fazla konsantrasyonda kullanılırsa kullanılsın istenen etkiyi vermemektedir. İki farklı PEG türünün karıştırıldığı yöntemde düşük molekül ağırlıklı PEG ile yüksek molekül ağırlıklı PEG eşit oranlarda karıştırılmaktadır. Bu yöntem hem az bozulmuş hem de çok bozulmuş ahşaplarda stabilizasyonu sağlamakta olup %88-95 arasında çekmeyi engellemektedir. Grattan'ın yapmış olduğu çalışmalarda PEG 300 ve 1540'ın karışımı ile elde edilmiş olan PEG 540 çözeltisine daldırılan ahşapların renginin karardığı ve ağırlaştıkları gözlemlenmiştir. Bu karışımlarda konservasyonu gerçekleştirilen ahşaplar, yağlı ve yapışkan bir yapıya sahip olmaktadır⁵. Bu nedenle PEG karışımları yerine farklı molekül ağırlığındaki PEG'lerin sırayla emdirilmesi düşünülmüştür. Bozulma derecesinin farklı aşamalarını yaşayan ahşaplar için bu yöntem en uygun olanıdır. İlk adım olarak düşük molekül ağırlıklı PEG emdirilmesi gereklidir. Az miktarda bozulmaya uğramış olan hücre duvarları, PEG'in hücre duvarlarının kılcal boşluklarına nüfuz ederek su ile yer değiştirmesi sonucunda kuruma sonrasında da hacimli, şişkin bir durumda kalmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı PEG, ahşabın hem

⁵ "A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood", Studies in Conservation, 27:3, s. 131.

az hem de çok bozulmuş bölgelerindeki hücre duvarları ve hücre lümenine yerleşmektedir. İlk adımda emdirilmiş olan düşük molekül ağırlıklı sıvı PEG henüz kurutulmadığı için ahşap içerisinde hareket etmeye devam etmektedir. Hareketli durumdaki PEG hücre lümeninden ve hücre duvarındaki kılcal boşluklardan tekrar ahşap dışına çıkabilmektedir. Yaşanan bu olayın yanında bozulma derecesi az olan hücre duvarlarında veya bozulma derecesi çok olan hücre duvarlarının sağlam kılcal boşluklarında PEG kalmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı PEG emdirme işleminin tamamlanmasının ardından yüksek molekül ağırlıklı PEG'in emdirilme işlemine geçilmelidir. Bu adımdaki başlangıç seviyesi PEG konsantrasyonu, emdirilmiş olan düşük molekül ağırlıklı PEG'in final konsantrasyonu kadar olmalıdır. Böylece çözeltideki su miktarında artış yaşanmayacaktır. Yüksek molekül ağırlıklı PEG emdirilmeye başlandığında hücre lümenine ve hücre duvarındaki boşluklara dolmaktadır. Buralarda biriken PEG, emdirme işlemi sonunda, ahşap kurumaya bırakıldığında içeride bir set oluşturarak çekmeyi engellemektedir. Molekül ağırlığı yüksek olan PEG, ahşabın çekme direncine daha fazla katkı sağlamaktadır. Bu yöntemde iki farklı molekül ağırlığındaki PEG, birbirlerinin yapamadığı görevleri üstlenerek stabilizasyon sağlamaktadır. İkinci adımdaki emdirme işlemi sayesinde ilk adımda emdirilmiş olan düşük molekül ağırlıklı PEG, hücre duvarında kalmaya devam etmektedir (Grattan, 1982: 130, 133; Hoffmann, 1986: 104-112).

Alkol (etanol, metanol veya izopropanol) içerisinde çözünmüş PEG içerisinde emdirme işlemi gerçekleştirilmiş ahşaplar daha hafif ve açık renkli olmaktadır. Ayrıca çok daha hızlı bir şekilde sonuç alınmaktadır. Daha hızlı sonuç elde etmek istenilirse, ahşap emdirme çözeltisine daldırılmadan önce üç kere alkol banyosu işlemine tabi tutulup suyundan arındırılmalıdır. Alkolün biyosidal etkisi nedeni ile de herhangi bir biyolojik aktivite engelleyici kullanımına gerek kalmamaktadır. Ancak bu yöntem büyük ölçekteki kalıntılar için uygun değildir. Hem maddi olarak yük olacaktır hem de büyük miktarlarda alkolün bir arada bulunması kazalara karşı risk taşımaktadır. Alkol kullanıldığında çözelti ısıtılmak istenirse alkolün ısı karşısında yanıcı olması risklere neden olabilmektedir (Hamilton, 1999: 25).

PEG'in kullanım açısından çeşitlilik göstermesi ve geri dönüşümlü olması konservatörler tarafından tercih edilme sebebi olsa da dezavantajları bulunan bir yöntemdir. PEG yüksek viskozitesi ve düşük difüzyon oranı nedeniyle ahşaba yavaş nüfuz eder bu da emdirme sürecinin yıllarca sürmesine neden olmaktadır

(Munnikendam, 1967: 70). Bu süreç 6 aydan 10 yıla kadar; ahşabın kalınlığı, bozulma derecesi, hücre duvarı kalınlığı, lümen boyutu, yıllık halk genişliği ve yaz odunu miktarı gibi özelliklerinden de etkilenmektedir (Babinski, 2011: 1709; Christensen vd., 2006: 1175).

Çözeltinin hava ile temas ettiği en üst yüzeyinde mikrobiyal oluşumlar meydana gelmektedir. Yüzeyde mikrobiyal oluşumlar meydana gelse de PEG konsantrasyonu arttıkça çözeltinin oksijen seviyesi düşmekte ve oksijene ihtiyaç duyan mikrobiyal oluşumların çözelti içerisindeki etkinliği azalmaktadır. Mantar ve bakteri oluşumlarının ahşaba konservasyon sırasında ve sonrasında da zarar vermemesi için biyositlerin kullanılması önerilse de Björdal ve Nilsson'ın yapmış olduğu çalışmalarda mikrobiyal oluşumların hücre duvarlarında bozulmaya neden olmadığı ortaya konmuştur. Bu oluşumların ahşaplara tek olumsuz etkisi ahşap yüzeyinde bölgesel olarak meydana gelen renk değişimleridir. Biyositlerin kullanım nedenlerinden diğeri de bu oluşumların çevreye yaymış olduğu kötü kokudur. Bu oluşumları engellemek için çözeltideki PEG ağırlığının %1'i kadar biyosit kullanımı tavsiye edilmektedir (Björdal ve Nilsson, 2001: 211-217; Hamilton, 1999: 25).

Bu iki basit sorunla beraber PEG ile ahşap ve metal malzemenin bir arada bulunduğu kompozit gemi elemanlarının konservasyonu ahşap açısından tehlikelidir. PEG çözeltisi, pH aralığı 4,5-7 arasında olan asidik bir malzemedir ve gemi elemanlarının bağlantısı için kullanılmış olan metal elemanları korozyona uğratmaktadır. Metal elemanların bünyesindeki klorür iyonlarının uzaklaştırılması istendiğinde ise genellikle alkali çözeltiler kullanılmaktadır. Nemli veya ıslak ahşap ile temas halinde olan metaller, ahşabın üretmiş olduğu suda çözünen formik ve asetik asitten etkilenip korozyona uğrar ve korozyonlu metal, ahşabın selülozunu ayrıştırmaktadır. PEG'in yaratacağı korozif etkinin azaltılması için PEG çözeltisine, Hostacor KS1 gibi korozyon engelleyici kimyasalların eklenilmesi önerilmektedir (Selwyn vd., 1993: 180-181).

Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında gerçekleştirilen konservasyon çalışmalarında PEG emdirilmiş suya doymuş ahşapların kurutulması için dondurarak kurutma yöntemi tercih edilmekte olup konservasyon çalışmalarına kontrollü kurutma yönteminin dâhil edilmesi için deneyler gerçekleştirilmektedir (Kılıç, 2017a: 41). Bu

iki yöntemin uygulama şeklinde farklılıklar bulunmakta olup dezavantajları ve avantajları bulunmaktadır.

Kontrollü kurutmanın konservasyon çalışmalarını olumsuz şekilde etkilememesi için kontrollü kurutma uygulanacak olan ahşaplara %70-90 konsantrasyonda PEG emdirilmesi gerekmektedir. Yüksek konsantrasyondaki PEG'in difüzyon oranını artırmak için çözeltinin ısıtılması gerekmektedir ve ısıtma işlemi PEG'i bozmaktadır (Mortensen, 2009: 9). Bu şekilde emdirme yapıldığında ahşabın yapısındaki boşluklar dolacaktır. PEG'in tam anlamıyla ahşaba penetre ettiği anlaşıldığı zaman ahşap PEG çözeltisi içerisinde çıkartılmaktadır. Çözeltiden çıkartılan ahşaplara kontrollü kurutma işlemi başlamadan hemen önce kontrollü kurutmanın yaratacağı çekme oranını anlamak için işaretler konulmaktadır. Kontrollü kurutma işleminde tercih edilecek bağıl nem oranı kış ve yaz aylarında değişmektedir. Grattan tarafından yapılan çalışmalarda ortalama olarak %250 maksimum su içeriği olan farklı cinsteki ahşapların, emdirme yapılmadan kontrollü kurutulmasında yaz ayları için %60'lık bağıl nem tercih edilmişken kış aylarında bu oran %40'a düşürülmüştür. Kontrollü kurutma işlemi devam ederken periyodik olarak ahşabın ağırlığı ve ölçüleri kaydedilmelidir. Grattan'ın gerçekleştirdiği çalışmalarda 15 adet örneğin çekme oranı radyal olarak %1,9-5,4 arasındayken teğet çekme oranı %2,1-7,4 arasında çıkmıştır. Kontrollü kurutma yöntemi ile kurutulmuş olan ahşaplar yüksek PEG konsantrasyonu nedeniyle ağır olacaktır. Ayrıca yağlı ve koyu bir görünüme sahip olacaktır. Ahşapların ağırlaşması taşıma ve sergileme işleminde dezavantaj yaratacak olup bunların yanında yüksek konsantrasyonlu PEG emdirilen ahşaplar bulunduğu ortamda reaksiyona girerek formaldehit üretmektedirler. Formaldehitin buharlaşması insan sağlığı için olumsuz bir durum yaratmaktadır. PEG, kontrollü kurutma tercih edildiğinde yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığı için ısıtma yapmak gerekmekte olup bu ısıtma işlemi hem mikrobiyal etkinliğe hem de PEG'in molekül ağırlığının düşmesine neden olacaktır (Kılıç, 2017a: 90; Grattan, 1982: 126-127).

Vasa, PEG ile konservasyonuna başlanmış ilk batık gemidir. Ahşaplarının maksimum su içeriği %150-800 arasında değişmektedir. Vasa ahşaplarına PEG emdirme işlemi spreyleme sistemi ile yapılmış olup bu çalışmada farklı nedenlerle farklı konsantrasyonlarda PEG 600, 1500 ve 4000 kullanılmıştır. PEG'in konsantrasyonu %10'dan başlayarak %45'e kadar çıkartılmıştır ve bu artırım esnasında PEG 60°C'ye kadar ısıtılmıştır. 9 yıl boyunca yavaş bir şekilde yapılan kurutma çalışmaları

esnasında ortamında bağıl nem oranı %95'ten %57-60 arasına ve sıcaklık 17-20 °C'ye kadar düşürülmüştür. 1992 yılında yapılan hesaplamalarda yaşanan ortalama çekme oranının %6-8 arasında olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca ahşapların rengi koyulaşmış, yüzeylerinde parlak ve yağlı bir doku oluşmuştur (Hocker, vd., 2012: 175-177). Vasa ahşapları üzerinde yapılan deneylerden birinde, batıktan alınan örneklerle %80 konsantrasyona ulaşacak şekilde yavaş yavaş PEG 4000 emdirilmiştir. Deneyde PEG çözeltisi 65°C'ye kadar ısıtılmıştır. Ortamın bağıl nemi %90 seviyelerinden %55'e kadar düşürülmüştür. Kuruyan örneklerde kalan PEG oranının %40 olduğu tespit edilmiştir. Çekme oranı hesaplandığında radyal yönde %2,2, teğet yönde %5,7 ve boyuna yönde %1,1 çekme yaşandığı sonucu ortaya çıkmıştır. Vasa üzerindeki bu iki farklı çalışmadan ortaya çıkan sonuç PEG konsantrasyonunun artışı ile çekme oranının azaldığıdır (Hafors, 2010: 159-167).

1.6.3. PEG Ön-Emdirme Sonrası Vakumlu Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma yöntemindeki temel prensip ahşap içerisindeki suyun donarak katı hale gelmesi ve bu katı halden de doğrudan buharlaşarak süblimleşmesidir (Nireesha, vd., 2013: 87). Ahşabın boşluklarını dolduran su uzaklaştığında bu boşlukları doldurabilecek başka bir malzeme emdirilmemiş ise ahşapta yüksek oranda çekme, çökme ve çatlama gibi sorunlar oluşmaktadır. Bu nedenle ahşaplara PEG ön-emdirmesi yapılarak bu sorunların önüne geçilmelidir (Jensen ve Schnell, 2005: 279). Vakumlu dondurarak kurutma yönteminde buza dönüşecek olan su, PEG konsantrasyonu yüksek olduğunda süblimleşmek için yeterli alan bulamayacağı için bu yöntemde gerekli olan PEG konsantrasyonu %35-45 arasındadır (Kılıç, 2017a: 91). Su, sıvı halden gaz haline geçerken yaratmış olduğu yüzey gerilimi ve kapiler kuvvet nedeni ile ahşaba zarar vermektedir. Suyun katılaşarak buz haline ve sonradan da gaz haline geçerek uzaklaşması, yüzey geriliminin ve kapiler kuvvetin verdiği zararları ve çökmeleri önlemesi nedeniyle suya doymuş ahşap eserlerin kullanımı için oldukça faydalıdır (Grattan ve Clarke, 1987: 166-167).

Dondurarak kurutma işleminde sağlıklı sonuç alınabilmesi için dondurma işleminin ardından ahşap içerisinde meydana gelen buzun su buharı basıncından daha

düşük buhar basıncına sahip bir ortam gerekmektedir (Ambrose, 1990: 235). Bu ortamı sağlayabilmek adına dondurarak kurutma cihazları üretilmektedir. Bu cihazların kullanımı dışında Kanada'nın oldukça soğuk iklim koşullarından da dondurarak kurutma çalışmaları için yararlanılmaktadır. Soğuk iklim koşulları, dondurarak kurutma cihazları gibi kontrol edilemediğinden yani istenilen basınç ve sıcaklık değerleri ayarlanamadığından daha çok çekmeye uğramaktadır. Ayrıca bu şekilde gerçekleştirilen dondurarak kurutma işleminde ahşabın 2 cm derinliğine kadar olan bölgesi hızlı bir şekilde donmaktadır ve bu donmuş dış yüzey yalıtım malzemesi gibi davranarak süblimleşme için gerekli olan gizli ısı transferindeki ısıyı düşürmüştür. Süblimleşme için gerekli olan ısıнын düşmesi süblimleşmenin yavaşlayacağı anlamına gelmektedir ve bu nedenle dondurarak kurutma işleminin süresi uzamaktadır (Grattan ve Clarke, 1987: 194; Grattan ve McCawley, 1978: 157, 163). Kanada'daki iklim koşulları bu işlem için uygun olsa bile bahsedilen iklim koşulları her yerde yaşanmadığı için dondurarak kurutma cihazına ihtiyaç duyulmaktadır.

Suya doymuş ahşaplar üzerinde dondurarak kurutma çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi adına özel olarak cihazlar üretilmektedir. Bu cihazlarda bulunan sensörler sayesinde hem ahşapların cihaza konulduğu hazne sıcaklığının hem ahşapların iç sıcaklığının hem de ahşap içerisinde bulunan PEG'in sıcaklığının ve basıncın kontrolü sağlanabilmektedir. Hazne sıcaklığının çok soğuk veya çok sıcak olması kurutma işleminde sorunlara neden olacağı için buradaki sıcaklık, ahşaba emdirilmiş PEG türünün ötektik sıcaklığına göre belirlenmelidir. Uygun ötektik sıcaklığın ve hazne sıcaklığının tespiti için dondurarak kurutma mikroskobu kullanılmaktadır (Kılıç, 2017a: 128-141; Jones, vd., 2009: 2177). Ahşabın yerleştirildiği haznenin sıcaklığı ahşabın ulaşması gereken sıcaklıktan daha düşük olmalıdır (Hovdan, vd., 2015: 33). Ahşapların şekli dondurarak kurutma işleminde suyun süblimleşme ile uzaklaşmasına bağlı olarak değişebileceği için ahşaplar metal ve polistiren malzemeler ile desteklenerek sabitlenmektedir. Bu yöntemde, ahşabın içerisindeki serbest su donana kadar su buharlaşmaktadır ve buharlaşarak uzaklaşmasından dolayı ahşapta çatlaklar oluşmaktadır. Bu sorunu çözmek için ahşaplar dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmadan önce streç film ile sarılmaktadır. Ahşap bünyesindeki serbest su donduktan sonra bu streç filmler geri alınıp dondurarak kurutma işlemine devam edilmektedir (Kılıç, 2017a: 147-148).

Suya doymuş ahşaplar üzerindeki dondurarak kurutma çalışmalarının incelenmesinde Dr. Namık Kılıç'ın YK 1 batığı ahşapları üzerinde yaptığı deneylerin kullanılması, tezin konusu olan YK 29 batığının da aynı koşullara, aynı ortamda maruz kalmış olması ve ahşapların karakter olarak benzeşmesi yönünden daha tutarlı tahminlerin yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca söz konusu çalışmanın bulunduğu doktora tezi, suya doymuş ahşaplara PEG emdirilme sürecine ve dondurarak kurutmaya çalışmalarına odaklanmıştır. Söz konusu çalışmada günümüz teknolojisinden ve yıllarca süren çalışmaların bilgi birikimlerinden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar en güncel ve güvenilir verileri sağlamaktadır. YK 1 batığından alınmış meşe örneği üzerinde dondurarak kurutma yönteminin verdiği sonuçları ortaya koymak için denemeler yapmıştır. Bu denemelerde aynı ahşaptan kesilerek eşit ölçülerde alınmış 6 adet örnek kullanılmıştır. Bu örneklerden 1, 2 ve 3 numaralı örneklerle uygulanan emdirme ve dondurarak kurutma yönteminin, YK 29 batığının ahşaplarına uygulanması düşünülmektedir. 1, 2 ve 3 numaralı örneklerin sonuçları, uygulanan yöntemin aynı olması sebebiyle aynı çıkmıştır. 2x2x2 cm ölçülerindeki %530 oranında maksimum su içeriği değerine ve 0,17 g/cm³ yoğunluğa sahip olan 1, 2 ve 3 numaralı örneklerle %45 konsantrasyondaki PEG 2000 çözeltisi emdirilmiştir. PEG 2000 için uygun olan -22 °C sıcaklığa ve 0,15 mbar basınca ayarlanmış olan dondurarak kurutma cihazına alınmış olan örnekler, 3 ay boyunca cihazda tutularak kurutulmuştur. 1 numaralı örneğin çekme sonuçlarına bakıldığında (diğer örnekler aynı sonuçlara sahip olduğu için verilmemiştir) radyal ve boyuna yönde çekme yaşanmamış olup teğet yönde %0,05 oranında çekme tespit edilmiştir. Dr. Namık Kılıç'ın gerçekleştirmiş olduğu çalışmada dondurarak kurutma yönteminin verdiği sonuçların, diğer kurutma yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi adına farklı örnekler farklı yöntemlerle kurutulmuştur. 4 numaralı örneğe PEG emdirilmiş ve kontrolsüz bir şekilde kurutulmuştur. 5 numaralı örnekte ise herhangi bir emdirme yapılmamış olup bu örnek de kontrolsüz bir şekilde kurutulmuştur. Son olarak 6 numaralı örnek, emdirme yapılmadan dondurarak kurutulmuştur (Kılıç, 2017a: 172).

Ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında 1 numaralı örneğin (dolayısıyla 2 ve 3 numaralı örneğin de) radyal ve boyuna yönde çekme yaşamadığı, teğet yönde oldukça az çekme yaşadığı görülmüştür. 4, 5 ve 6 numaralı örneklerin sonuçlarına bakıldığında çekmenin kabul edilemeyecek düzeyde olduğu ve her yönden çekme yaşandığı görülmektedir (Kılıç, 2017a: 175).

Bu bölümde açıklanan bilgiler, üçüncü bölümde yapılacak olan YK 29 ahşaplarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle beraber ele alınacaktır ve YK 29 batığı için uygun bir konservasyon önerisinde bulunulmasını sağlayacaktır.



İKİNCİ BÖLÜM

YENİKAPI 29 BATIĞI ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN ANALİZLER

Tez çalışması kapsamında YK 29 batığından alınan örneklerle uygulanan analizler ile fiziksel ve kimyasal bozulmalar belirlenmiştir. 2018 yılında gerçekleştirilen YK 29 batığının başka bir havuza taşınma işlemi sırasında tüm gemi elemanlarından örnek alınmaya çalışılmıştır. Örnek alma işlemi sırasında gemi elemanının şeklini bozmamaya, sergileme aşamasında ahşabın görünmeyecek yerinden örnek almaya ve gereğinden büyük örnekler alınmamasına dikkat edilmiştir. Tek bir gemi elemanını oluşturan farklı ahşap parçalardan (İK11-1/A ve İK11-1/B gibi) ve tek parça halindeki gemi elemanlarının farklı bölgelerinden çok sayıda örnek alınmıştır (Şekil 2.1). Bu örnekler analiz işlemleri yapılana kadar su dolu örnek kapları içerisinde muhafaza edilmiştir. Ayrıca tek bir ahşap elemanın farklı analizleri için aynı ahşap elemandan alınan farklı örnekler kullanılmıştır.

Şekil 2.1: YK 29 batığından alınan bir grup örnek.



Alınan bu örneklerin maksimum su içeriklerinin, ahşap madde kayıplarının hesaplanması, XRF analizi ile ahşabın yapısına zaman ile nüfuz etmiş elementlerin içeriğinin ortaya konması, FTIR analizi ile kimyasal yapısını oluşturan maddelerdeki kayıpların anlaşılması ve SEM ile hücrese seviyede fiziksel bozulmaların incelenerek değerlendirilmesi planlanmıştır. Örneklerin ahşap madde kaybı değerlerinin değerlendirilebilmesi için örneklerin cinslerinin bilinmesi ve bu cinse ait yeni ahşabın yoğunluk değeri ile YK 29 örneklerinin yoğunluk değerlerinin tespit edilmesi gereklidir. Ayrıca örnek cinsinin bilinmesi ile aynı cinsteki yeni ahşapların FTIR

spektrumları elde edilecek ve YK 29 örneklerinin FTIR spektrumları ile karşılaştırılacaktır. Böylece analizlerden elde edilen sonuçlar ile ahşapların bozulma durumları hakkında değerlendirme yapılabilmektedir. SEM görüntüleri ahşaplarda meydana gelmiş olan fiziksel bozulmaların hücresele seviyede incelenmesinin yanı sıra ahşapların cins tespitinin yapılmasına da olanak sağlamaktadır.

2.1. YK 29 Ahşaplarında Maksimum Su İçeriği Tespiti

Suya doymuş ahşabın bünyesinde tutmuş olduğu su oranı, maksimum su içeriği olarak ifade edilmektedir. Ahşabın bünyesindeki su, ahşabın kaybettiği malzemelerin yerini, boşlukları ve hücreleri doldurmaktadır. Bu suyun buharlaşması, çekme ve çökme oranı ile doğrudan alakalıdır. Ayrıca maksimum su içeriğinin ve hücre duvarı gözenekliliğinin artması, ahşabı mikrobiyal bozulmalara karşı açık hale getirmektedir (De Jong vd., 1982: 9).

Aynı ahşabın farklı bölümleri farklı derecelerde su emmekte ve farklı oranlarda bozulmaya uğramaktadır. Ahşap, su miktarı yüksek olan alanlarda daha yumuşak, detayları kaybolmuş ve koyu renkli bir haldedir. Su miktarı az olan alanlar, bu durumun tam tersi olarak, sağlam, açık renkli ve yıllık halkaları görülebilecek kadar detaya sahiptir. Bozulmaya uğrayan ahşapların hücre yapısına dolan su, kurutma çalışmaları gerçekleştirilene kadar ahşabı biçimsel olarak sabit şekilde tutmaktadır. Kontrollü veya kontrolsüz kurutma çalışmaları sonucunda meydana gelen bozulmaların geri dönüşü, ahşaba su verilse de imkânsızdır. Suya doymuş ahşaplar fiziksel bozulma derecesine göre sınıflandırılırken maksimum su içeriği kullanılmaktadır ve maksimum su içeriği oranlarına göre üç sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 2.2) (McConnachie vd., 2008: 29-30):

1. sınıf ahşaplar yapısında en çok su bulunduran ahşaplardır. %400 ve üzerinde su içermektedirler. Selüloz miktarı azalan bu ahşapların özleri yok olmuş durumdadır. Dokunulduğu zaman şekli bozulan oldukça yumuşak ahşaplardır.

2. sınıf ahşapların yapısında %185 ila %400 arasında su bulunmaktadır. 2. sınıf ahşaplarda öz bulunmaktadır ve bu ahşaplar genellikle sert bir dokuya sahiptirler.

3. sınıf ahşaplarda ise %185'ten daha az su içeriği olup sadece yüzey bozulmaları görülmektedir (McConnachie vd., 2008: 30).

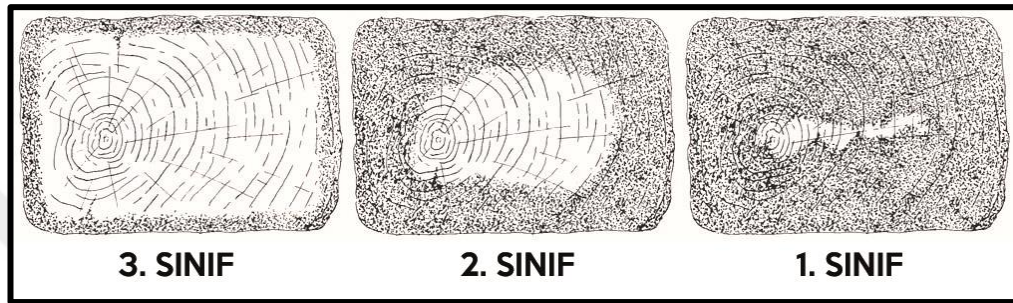
Maksimum su içeriği aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Maksimum su içeriği (\%)} = \frac{W_{\text{ıslak}} - W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}}} \times 100$$

$W_{\text{ıslak}}$: Örneğin suya doymuş haldeki ağırlığı (g),

W_{kuru} : Örneğin kuru haldeki ağırlığı (g) (Grattan, 1987: 66).

Şekil 2.2: 1. 2. ve 3. sınıf ahşaplarda bozulmanın şematik görünümü.



Kaynak: McConnachie vd., 2008: 30.

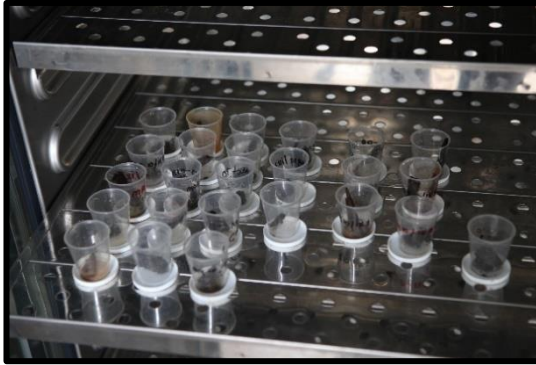
Yenikapı Batıkları Projesi dışında bozulma durumu değerlendirilmiş olan suya doymuş ahşap batıklarla ilgili diğer çalışmalar literatür taraması ile incelenmiştir. 2004 yılında Napoli, İtalya’da bulunan üç batık gemi üzerindeki farklı ahşap cinslerinde maksimum su içeriği tespitleri yapılmıştır. Söz konusu çalışmada batıklar A, B ve C olarak adlandırılmıştır. A kodlu batıktan alınan 15 adet örneğin maksimum su içeriği %222-699 arasında bulunmuştur. Bu örnekler arasında en düşük lignin oranı %39,6 olarak bulunmuşken en yüksek lignin oranı %76,5 olarak bulunmuştur. Bu oranlara karşılık holoselüloz oranı %3,9-53,9 arasında tespit edilmiştir ancak %53,9 değerine sahip olan örnek %222’lik maksimum su içeriği oranı ile örnekler arasındaki en az bozulmuş örnektir ve %53,9’luk holoselüloz oranından sonraki en yüksek oran %30 olarak bulunmuştur. Ayrıca bazı örnekler kurutulmuş ve çekme oranları incelenmiştir. Maksimum su içeriği fazla olan örneklerin daha çok çektiği gözlemlenmiştir. Benzer verilere B ve C olarak adlandırılan batıklarda da rastlanmıştır (Carpetti vd., 2008). Bu verilere bakıldığında maksimum su içeriğinin artışı ile holoselüloz miktarının azaldığı, kayıp yaşandıkça ahşabın emdiği suyun arttığı, lignin miktarında holoselülozda yaşanan değişim kadar değişim yaşanmadığı ve ahşaplara herhangi bir kimyasal emdirmesi yapmadan gerçekleştirilen kurutma işlemi sonrasında çekme oranının

arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında gerçekleştirilen diğer çalışmalarda da görülmüştür.

YK 29 ahşaplarının maksimum su içeriğinin belirlenmesi için ilk olarak örnekler ıslak halleri ile hassas terazide tartılmıştır. Bu analizde örneklerin 1 g'dan az olmamasına dikkat edilmiştir. Islak ağırlıklar tek başına yeterli olmadığı için örnekler kurutulmuştur ancak kurutma aşamasından önce yüzerlik değeri olarak adlandırılan, ahşabın su içerisinde, tüm gözenekleri dolu halinin ağırlığı tartılmıştır ve sonuçlar not alınmıştır. Bu işlem bir sonraki başlıkta açıklanmıştır. Islak ağırlıkların alınmasının ardından örnekler 48 saat boyunca 70°C'deki etüv içerisinde kurutulmuştur (Şekil 2.3 ve 2.4). 48 saatin ardından etüvden örnekler alınarak nemden etkilenmemeleri için desikatör içerisinde bekletilmiştir ve sıcaklıkları oda sıcaklığına ulaştığında tartılmıştır.

Şekil 2.3:

Örneklerin etüv ile kurutulma işlemi
(detay).



Şekil 2.4:

Örneklerin etüv ile kurutulma işlemi
(genel).



Maksimum su içeriği belirlenmiş olan ahşaplardan elde edilmiş olan sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir ve bozulma durumu açısından değerlendirilmesi üçüncü bölümde gerçekleştirilmiştir.

2.2. YK 29 Ahşaplarında Yoğunluk Tespiti

Arkeolojik ahşaplardaki yoğunluk değerleri en iyi ihtimalle yeni ahşap yoğunluğuna yakın olmaktadır. Yüksek derecede bozulma yaşayan ahşaplarda bu değerler oldukça düşüktür. Suya doymuş ahşaplardaki yoğunluk değerlerinin düşük çıkması, aynı cinsteki yeni ahşabın yoğunluk değeri ile karşılaştırıldığında bozulmanın hangi derecede yaşandığını göstermektedir. Yeni ahşabın yoğunluk değerine yakın

değerlere sahip olan arkeolojik ahşapların bulunması sıklıkla karşılaşılan bir durum değildir (Schniewind, 1990: 88).

Ahşabın bozulmasıyla beraber hücre duvarını oluşturan ahşap maddesinin kütle ve hacmi azalmaktadır. Böylece ıslak koşullar altındaki ahşabın yoğunluğu düşmekte, gözeneklilik ve maksimum su içeriği artmaktadır. Yüksek su miktarı ahşabı şişirirken, su miktarının azalması ahşabın çekmesine yol açmaktadır. Bu durumdaki suya doymuş ahşapta polisakkarit oranının lignine kıyasla azaldığı ve yoğunluğunun da yeni ahşaba göre azaldığı görülmektedir. Yoğunluk, suya doymuş ahşap örneklerinin yüzerlik, fırın kurusu ağırlık ve suya doymuş ağırlık verileri ile aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır (Babiński vd., 2014: 373-374; Henriksson vd., 2009: 37-38).

$$\rho_{\text{suya doymuş ahşap}} = W_{\text{kuru}} / V_{\text{ıslak}}$$

$\rho_{\text{suya doymuş ahşap}}$: Yoğunluk (g/cm³),

W_{kuru} : Örneğin fırın kurusu kütlesi (g),

$V_{\text{ıslak}}$: Suya doymuş örneğin hacmi (cm³).

YK 29 ahşaplarından alınan 1 gramdan hafif olmayan örneklerin yoğunluklarının hesaplanması için ilk olarak ahşapların yüzeylerinde bulunan sonucu etkileyebilecek tortular ve kirler temizlenmiştir. Temizlenmiş olan örnekler hassas terazide ıslak olarak tartılmışlardır (Şekil 2.5). Tartma işlemi gerçekleştirilmiş olan örneklerin hacimlerinin ölçülmesi için hassas terazi üzerine su dolu bir kap yerleştirilmiştir ve kabın darası alınmıştır. Örneklerin su dolu kap içerisine daldırılması için örneklere bir iğne saplanmıştır ve bu iğne su dolu kap içerisine daldırılmıştır (Şekil 2.6). Bu şekilde ahşabın tüm gözenekleri su ile dolmuştur. Daldırma sırasında örneğin kaba temas etmemesine ve sabit kalmasına dikkat edilmiştir. Örneğin kaba değmesi ve sabit bir şekilde durmaması yüzerlik değerinin yanlış çıkmasına neden olmaktadır (Kılıç, 2018b). Ölçümlerde oluşabilecek olan hata payını en aza indirmek için ölçümler iki kere gerçekleştirilmiştir. Örnek hacimlerinin elde edilmesinin ardından bir önceki başlıkta anlatılan kurutma işlemine geçilmiştir. Elde edilen veriler, yoğunluk hesapları için kullanılan formüldeki uygun yerlere yerleştirilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.5: Islak durumdaki örneğin tartılması.



Şekil 2.6: Yüzerlik hesaplamaları için su dolu kap içerisinde gerçekleştirilen tartma işlemi.



Yapılan işlemlerin sonucunda elde edilen değerler, yoğunluk hesaplaması için yukarıda verilmiş olan formül kullanılarak YK 29 örneklerinin yoğunluk sonuçlarının bulunmasında kullanılmıştır. YK 29 örneklerinden elde edilmiş olan yoğunluk sonuçları Tablo 3.1’de açıklanmıştır.

2.3. YK 29 Ahşaplarında Ahşap Madde Kaybı Tespiti

Maksimum su içeriği analizlerinin sonuçları bozulma öncesindeki kuru ahşabın yoğunluğu hakkında bilgi vermemektedir. Bozulmaya uğramış ahşaplar üzerinde gerçekleştirilen maksimum su içeriği analizlerinin sonuçları birbirlerine yakın olsa da bozulmalarından önce farklı yoğunluk değerlerine sahip oldukları için bozulma

süreçlerinin farklı evrelerinde olabilmektedirler (Kılıç, 2017b: 59). Ahşap madde kaybının yaşanması ahşabın yoğunluğunu azaltmakta, gözenekliliği ve geçirgenliği artırmaktadır. Bu bozulmaların etkisiyle ahşap yapısına daha fazla su çekerek süngerimsi bir hale gelmektedir (Broda vd., 2015: 708). Böyle ahşapların hücre yapısına tuzdan ve sedimentten kaynaklı olarak yüksek oranda inorganik malzemeler dolmaktadır (Carpetti vd., 2008: 858).

Suya doymuş ahşapta yaşanan ahşap madde kaybı, ahşabın farklı bölgelerinde, farklı derecelerde ve farklı yapı maddeleri üzerinde gerçekleşebilmektedir. 1. sınıf sayılabilecek, yüksek maksimum su içeriğine sahip olan ahşapların diri odununda oldukça yüksek oranlarda ahşap madde kaybı yaşanmaktadır ve özellikle selülozda büyük oranda kayıp meydana gelmektedir. İncelemeler daha derine indirildiğinde, ahşabın öz odununda ahşap madde kaybının daha az yaşandığı anlaşılabilmektedir. Buradan çıkartılacak olan sonuç, ahşabın dış yüzeyinden içeriye doğru bozulmaya başladığı ve ahşabın merkezinin daha az bozulmaya uğradığıdır. Diri odundan, öz oduna doğru gidildikçe bozulma derecesinin yavaş yavaş azaldığı görülmekte yani ani bir geçiş olmamaktadır. Bozulma derecesi düşük olan öz odunun dış tabakasındaki bozulma, öz odunun merkezindeki bozulma derecesinden daha yüksektir. Bu nedenle ahşap madde kaybı incelemelerinde doğru bir sonuç alabilmek adına ahşabın farklı alanlarından ve derinliklerinden alınan birkaç örnek üzerinde çalışmalar yapılmalıdır (Broda, vd., 2018: 4-5).

Yapılan hesaplamalar konservasyon işleminde kullanılacak olan emdirme kimyasalının ahşaba ne derece zorlukta emdirilebileceğinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ahşabın en dış tabakasındaki yüksek bozulma derecesi, emdirme için kullanılacak olan kimyasalı daha kolay bir şekilde kabul edecekken, bozulma derecesi düşük olan öz odun bölgesine emdirme kimyasalının nüfuz etmesi daha zor olacaktır.

YK 29 ahşapları üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk tespitlerinin ardından fiziksel durumun daha iyi anlaşılabilmesi için elde edilen veriler ile ahşap madde kaybı hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplama için YK 29 ahşaplarının yoğunlukları ile bu ahşapların cinsinin ve bu cinsteki yeni ahşapların yoğunluklarının (referans yoğunluk) bilinmesi gerekmektedir. YK 29 ahşapları üzerinde yapılacak hesaplamalar için gerekli olan referans yoğunluk değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: YK 29 batığına ait ahşap cinslerinin bozulmaya uğramadan önceki ortalama yoğunluk değerleri.

Ahşap Cinsi	Ortalama Yoğunluk (g/cm ³)
Servi	0,45
Kestane	0,47
Dişbudak	0,61
Karaağaç	0,6
Çam	0,49

Kaynak: World Agroforestry (ICRAF); Kılıç, 2017b: 59.

Referans yoğunlukların ve YK 29 ahşaplarının yoğunluk değerlerinin elde edilmesinin ardından aşağıdaki formül ile ahşap madde kaybı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Ahşap madde kaybı (\%)} = \frac{d_{\text{referans ahşap}} - d_{\text{suya doymuş ahşap}}}{d_{\text{suya doymuş ahşap}}} \times 100$$

$d_{\text{referans ahşap}}$: Referans ahşap örneğin yoğunluğu (g/cm³).

$d_{\text{suya doymuş ahşap}}$: Suya doymuş ahşap örneğin yoğunluğu (g/cm³).

Ortaya çıkan YK 29 ahşaplarının yoğunlukları ve yapılan hesaplamalar ile elde edilen ahşap madde kaybı sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir ve üçüncü bölümde değerlendirmeleri yapılmıştır.

2.4. YK 29 Batığından Alınan Örneklerin XRF Analizi İçin Hazırlanması

X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) yöntemi, H ve He dışındaki tüm elementlerin nitel ve nicel analizi için kullanılmaktadır (Mantler ve Schreiner, 2000: 3). XRF yöntemi için kullanılan cihaz, analizi yapılacak olan örneğe yüksek enerjili X-ışını vermektedir. Bu enerji uygulandığında atomların yörüngesindeki elektronlar daha yüksek bir enerji düzeyine ulaşmaktadır. Elektronlar ilk enerji düzeylerine döndükleri zaman fazla enerji, dalga boyu 0,1-50 Å olan X-ışınları şeklinde yayılmaktadır. Bu X-ışınlarının yayılmasına floresans ışıması denmektedir. Floresans ışımalarının dalga boyları her element için farklı olduğundan bu ışımlar elementlerin parmak izi olarak kabul edilmektedir. Floresans ışımalarının dalga boyu saptandığında

elementin cinsi (nitel) ve ışımanın yoğunluğu saptandığında ise elementin oranı belirlenmektedir (ODTÜ Merkezi Laboratuvar).

XRF analizi, yapısında inorganik bileşen veya birikintiler bulunduran arkeolojik malzemelerin elementel bileşiminin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir (Sandak vd., 2014: 71). Bu yöntem hızlı olması ve küçük miktarlardaki örnekler ile çalışılabilmesi nedeniyle çok kullanışlı bir analiz aracıdır (Historic England, 2018: 31). XRF analizi pXRF olarak adlandırılan portatif cihazlar ile de yapılabilmektedir. Portatif XRF cihazları teknolojinin ilerlemesi ile geçmiş yıllardaki cihazlara göre daha kesin ve küçük oranları verebilmektedir. Bu cihazlardaki fabrika çıkışlı kalibrasyon bazen arkeolojik malzemeye uygun olmamaktadır ve cihazlar ile uyumlu olan yazılımlar sayesinde kalibrasyon yeniden yapılabilmektedir (Hunt ve Speakman, 2015: 626, 630). Portatif XRF cihazlarının hafif olması, taşınabilir olması, pil ile çalışabilmesi, daha az enerji harcaması, eser miktardaki elementleri bile tespit edebilmesi ve hızlı bir şekilde sonuç vermesi nedeniyle arkeolojik malzeme üzerinde kullanımı sıklıkla tercih edilmektedir (Liritzis ve Zacharias, 2011: 109). Tahrip edici olmayan bu yöntem sayesinde ahşap boyunca yayılmış olan inorganik elementlerin dağılımı tespit edilebilmektedir. Demir ve sülfür minerallerinin varlığı ahşabın kimyasal yapısını olumsuz yönde etkilediği için ahşap örneklerinin XRF yöntemi ile incelenmesi sonucunda demir ve sülfür oranı ile ahşaptaki dağılımının ortaya konması ahşapta meydana gelen bozulmaların nedenleri arasında bağlantı kurmamızı sağlamaktadır (Fors vd., 2015: 12). Suyu doymuş ahşaplardaki demir ve sülfür minerallerinin varlığı, ahşaba bağlı olan demir çivilerden kaynaklansa da geminin batık halde beklemiş olduğu alandan da ahşaba yayılmış olabilmektedir.

Suyu doymuş ahşaplarda demir iyonlarının neden olduğu asitlik derecesinin artışı ve oksidasyon, ilerleyen zamanlarda ahşabın mekanik dayanımının azalmasına neden olmaktadır ve konservasyon çalışmalarında önüne geçilmesi bir hayli zordur (Fors, vd., 2012: 2522). Demir (II) tuzları, demir (III) hidroksitleri ve oksitleri ile pirit gibi indirgenmiş sülfür bileşiklerindeki demirler, suya doymuş ahşapta sıklıkla karşılaşılan demir bileşiği türleridir. Bu demir bileşiklerinin birçok zararı bulunmaktadır. Ahşap yüzeyinde biriken inorganik bileşikler yüzeyden uzaklaştırılmadığında, ahşabın kurutulması sırasında ahşabı kimyasal ve mekanik olarak hasara uğratmaktadır. İndirgenmiş sülfür bileşiklerinin ürettiği asitler

polisakkaritleri hidrolize uğratarak ahşabın bozulmasına neden olmaktadır. Son olarak demir bileşikler farklı kimyasal reaksiyonları meydana getirerek ahşap bileşenlerinde oksidatif bozulmaya ve PEG’de polimer parçalanmasına neden olmaktadır. Bu sorunlar sülfürik asit, oksalik asit, glikolik asit ve formik asit gibi organik asitleri oluştururarak ahşabın bozulma sürecine katkıda bulunmaktadır (Almkvist, vd., 2013: 4; Remazeilles vd., 2013: 297). Bu nedenlerden dolayı demir ve sülfür bileşiklerinin ahşaptan uzaklaştırılması gerekmektedir. Ahşaptan uzaklaştırma çalışmalarına başlamadan önce XRF yöntemi ile bu bileşiklerin ahşaptaki dağılımı ve miktarları belirlenmelidir.

Vasa batığının hem yüzeyde birikinti görülen hem de görülmeyen bölgelerinden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş olan XRF analizlerinde tüm örneklerin sülfür içerdiği ortaya konmuştur. Ahşap yüzeyinden ahşabın iç kısmına doğru 1-2 cm ilerlendiğinde bu bölgedeki sülfür oranının oldukça yüksek olduğu ve daha derine inildikçe aniden bu oranın düştüğü görülmüştür. En yüksek sülfür oranının yüzeyin birkaç mm altında olduğu saptanmıştır. Yüzeyin hemen altında yüksek sülfür oranı görülmesine rağmen yüzeyde daha az olması, PEG’in ahşaplara uzun süre spreylenerek emdirilmesine bağlanmıştır. Vasa’nın gövdesini oluşturan yaklaşık 1000 tonluk meşe cinsi ahşabın tamamında 2 tonluk sülfür varlığı tespit edilmiştir (Fors, 2008: 53, 56). Ahşapların bozulmuş olan bölgelerinde kütlece %10’luk oranda demir ve sülfür bulunduğu da analiz sonuçlarının arasında yer almaktadır. Benzer durumlara Mary Rose ve Bremen Teknesi’nde de karşılaşılmış olup söz konusu batıklarda da XRF analizi kullanılmıştır. Mary Rose batığı yaklaşık olarak 280 ton meşe cinsi ahşaptan meydana gelmektedir ve yapılan XRF analizlerinin sonucunda kütlece %1 oranında sülfür bulunduğu saptanmıştır. Bu oran yaklaşık olarak iki tona denk gelmektedir (Fors, Sandström, 2006: 402). Bremen Teknesi, nehir içerisinde bulunan bir batık olup, bu batıkta yapılan XRF çalışmalarında demir ve sülfür oranlarının kütlece %0,2’den daha az olduğu tespit edilmiştir (Sandström, vd., 2005: 14167).

XRF analizini gerçekleştirmek için Yenikapı 29 batığından alınmış olan suya doymuş ahşap örnekleri, bu analiz sonucunda elde edilecek olan sonucun daha güvenilir olmasını ve örnekler üzerinde rahatça çalışılmasını sağlamak amacıyla bistüri kullanılarak 1x1 cm’den küçük olmayacak ölçülerde alınmıştır. Örneklerin alınması sırasında ahşapların sergileme aşamasında görünmeyeceği düşünülen bölgeleri örnek almak amacıyla kullanılmıştır. Örnekler ahşap boyunca yaşanan

korozyon dağılımını ortaya koyabilmek adına korozyonlu, korozyona yakın ve korozyonsuz bölgelerden alınmıştır (Şekil 2.7-2.18).

Şekil 2.7: E1 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.8: E2 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.9: E4 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.10: E8 örneğinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyonsuz bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.11: İ-E5 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.12: İK8-1 örneklerinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyona yakın bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.13: İK12-1 örneğinin alındığı bölge. Mavi: korozyonlu bölge; kırmızı: korozyonsuz bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.14: İK13-1 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.15: OM1-2 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.16: SK6-1 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.17: SK7-2 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

Şekil 2.18: SK8 örneğinin alındığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Arşivi.

İlk aşamada tüm örnekler su moleküllerinin varlığının hatalara neden olmasını engellemek için 75°C'lik fırında kurutulmuştur. Kilitli şeffaf poşetlere konan örnekler, poşetlerin üzerlerine örnek kodları yazılarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'na analizleri yapılmak üzere gönderilmiştir. Analiz sonuçları yarı kantitatif olup, ahşap bünyesindeki demir (Fe) ve sülfür (S) elementlerinin varlığını ve yayılma durumunu belirlemek ve diğer örneklerin XRF sonuçları ile karşılaştırma yapmak için kullanılmıştır.

2.5. YK 29 Batığından Alınan Örneklerin FTIR Analizi İçin Hazırlanması

Ahşapta meydana gelen fiziksel bozulmanın tespiti sonrasında kimyasal bozulmanın değerlendirilmesi için bozulmuş olan ahşapta geriye kalan kimyasal yapının (holoselüloz ve lignin) belirlenmesinde FTIR analizi kullanılmaktadır. Holoselüloz ve lignin miktarının anlaşılması, suya doymuş ahşabın bozulma derecesini anlamaya yardımcı olmaktadır. Bu durumu anlamak için suya doymuş ahşap örneklerinin hücre duvarlarındaki kimyasal yapı belirlendikten sonra örneğin cinsindeki yeni ahşapta da aynı değerlendirmeler yapılarak karşılaştırma yapılmaktadır (Pizzo, vd., 2013: 553; Pizzo, vd., 2015: 14).

FTIR analizi, ahşabı oluşturan ana maddeler olan selüloz, hemiselüloz ve lignindeki değişimleri dalga boyu şeklinde göstererek ahşabın bozulma durumunun değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir (Tintner vd., 2016: 2). Bu yöntem hızlı, hassas, tahrip edici olmaması ve küçük miktarlardaki örnekler ile çalışılabilmesi nedeniyle ıslak kimyasal ve gravimetrik tekniklere kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Fonksiyonel grupların tanımlanması, geniş ve iğne yapraklı ağaçlar arasındaki ayrımın ortaya konması, ahşabın yarı kantitatif olarak bozulma derecesinin belirlenmesi, ahşapta meydana gelen kimyasal ve mikrobiyal bozulmaların neden olduğu değişimlerin anlaşılması ve ahşabın konservasyonu için gerçekleştirilen işlemlerin değerlendirilmesi amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lucejko vd., 2015: 14-15; Fors vd., 2011: 789-790).

Çalışma prensibi örneğin içinden geçen kızılötesi ışınlarının emilimi sırasında kimyasal bağlarda meydana gelen titreşimlerin ölçülmesi şeklindedir. Kimyasal bağlardaki titreşim değişimleri, ahşapta parmak izi bölgesi olarak kabul edilen 800-1800 cm⁻¹ arasındaki spektral bantları meydana getirmektedir. FTIR analizi sonucunda

ortaya çıkan spektrum selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları hakkında bilgi vermekte ve ahşabın kimyasal durumu hakkında gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde analiz edilecek olan suya doymuş ahşap, yeni ahşabın referans değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Bant yüksekliklerine bağlı olarak ahşabı oluşturan maddeler hakkında yarı kantitatif bilgiler elde edilebilmektedir. (Glavcheva, 2014: 167; Tamburini vd., 2017: 17-18; Traore vd., 2015: 3; Kılıç ve Kılıç, 2018: 5).

Örnek ahşaptaki selüloz, hemiselüloz ve lignin bozulmalarının anlaşılabilmesi için hangi bant pozisyonunda hangi olayın gerçekleştiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılan literatür taramalarından elde edilmiş olan veriler bir tablo haline getirilmiştir ve bu tabloda fonksiyonel grupların IR bantları açıklanmıştır (Tablo 2.2).



Tablo 2.2: Fonksiyonel grupların IR bantları.

Bant Pozisyonu (cm ⁻¹)	Fonksiyonel Gruplar
898-902	Amorf selülozda C-H deformasyonu.
1021	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1032-1035	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1052-1053	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1118	Selüloz ve hemiselülozda asimetrik C-O-C gerilmesi.
1124	Şiringil kısımlarında C-H bağ titreşimi.
1126	Ligninde bozulma.
1140	Aromatik halkalarda C-H deformasyonu.
1157	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimi.
1163	Selüloz ve hemiselülozda asimetrik C-O ve C-C gerilmesi.
1223-1230	Ligninde bozulma.
1242-1243	Lignindeki ksilan ve şiringil halkalarında ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1259	Ligninde bozulma.
1262	Ligninde C-O gerilmesi ve aromatik guasil gruplarında C-O bağlanması.
1269-1270	Ligninde bozulma.
1318	Selülozda CH ₂ dalgalanması.
1320-1321	Lignindeki şiringil halkasında C-O gerilmesi, selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi.
1366-1367	Lignindeki R ₃ C-H'da C-H esnemesi.
1374-1377	Selüloz ve hemiselülozda C-C gerilmesi, CH ve OH esnemesi.
1417	Ligninde bozulma.
1426-1427	Selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi, ligninde CH deformasyonu
1459	Ligninde bozulma.
1501, 1512	Ligninde bozulma.
1591	Ligninde C = C gerilmesi.
1725-1737	Hemiselülozda bozulma.

Kaynak: Kılıç, 2017b: 72; Carballo-Meilan, 2014; Pucetaite, 2012: 16; Traore vd, 2015; Günter vd., 2009: 57; Esteves vd., 2013: 254.

Literatür taraması ile hem fonksiyonel grupların IR bantlarının bir tablosu oluşturulmuştur hem de dünya genelinde suya doymuş ahşap üzerinde yapılmış olan FTIR çalışmalarının nasıl yürütüldüğü anlaşılmıştır. FTIR çalışmaları için genellikle ahşapta farklı bozulma derecelerinin görüldüğü, demir ve sülfür oranlarının değiştiği alanlardan örnekler alınarak toz haline getirilmiştir. Bu örneklerle yapılmış olan FTIR analizinden elde edilmiş olan spektrumlar ile aynı cinsteki referans ahşabın FTIR spektrumları karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Karşılaştırmada görülen değişimlerin spektrum üzerinde hangi bantlara denk geldiği ve bu bantlardaki değişimlerin nedeninin ahşabın hangi yapı maddesinden kaynaklandığı araştırılıp, çalışmalarda belirtilmiştir. Söz konusu spektrumlarda ahşabın parmak izi bölgesi olarak adlandırılan $1800-800\text{ cm}^{-1}$ bölgesi incelenmiştir (Pucetaite, 2012; Can ve Sivrikaya, 2017; Traore vd., 2015). İncelenen çalışmalardan elde edilen FTIR verileri Tablo 2.2'nin oluşturulmasında kullanılmış olup Tablo 2.2'den, üçüncü bölümde YK 29 ahşaplarının FTIR sonuçlarının değerlendirilmesinde yararlanılmıştır.

Literatür taramasında karşılaşılan ve Yenikapı Batıkları Projesi'nde gerçekleştirilen FTIR çalışmalarında kullanılan analiz yöntemi, YK 29 batığı için de kullanılmıştır. YK 29 batığından maksimum su içeriği ve yoğunluk analizlerini gerçekleştirmek için alınmış olan örneklerden bazıları 75°C 'lik fırında 48 saat boyunca kurutularak bünyesinde bulunan su molekülleri uzaklaştırılmıştır. Kurutulan örnekler, örnek dışında herhangi bir maddenin hazırlanan örneklerle karışmaması için agat havanı ile dövülerek toz haline getirilmiş ve kilitli şeffaf poşetlere yerleştirilmiştir (Şekil 2.19). Bu poşetlerin üzerlerine örnek adı yazılarak Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM birimine analizleri yapılmak üzere gönderilmiştir. Analizler, FTIR-KBr pellet tekniği ile gerçekleştirilmiştir. FTIR analizleri için Perkin Elmer Spektrum BX cihazında 16 tarama ile $4000-400\text{ cm}^{-1}$ orta infrared bölgesinde 4 cm^{-1} çözünürlükte spektrumlar elde edilmiştir.

Şekil 2.19: Toz haline getirilmiş bir grup örnek.



2.6. Örneklerin SEM Kullanılarak Görüntülenmesi

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılan görüntüleme çalışmaları için yüksek vakumlu (HV-SEM), düşük vakumlu (LV-SEM) ve değişken basınçlı (VP-SEM) olarak farklı türde cihazlar kullanılmaktadır (James, 2009: 115). Düşük vakum ile çalışmanın iki avantajı bulunmaktadır. Düşük vakumun avantajı, yüksek vakumda zarar görmesi mümkün olan ve iletken olmayan küçük yüzeyli ıslak örneklerin incelenebilmesidir. Suya doymuş örnekler ile çalışılacağı zaman düşük vakum inceleme yapmayı mümkün kılmaktadır. Soğutma sistemi bulunan bir SEM cihazı kullanılıyorsa örneğin içerisindeki suyun buharlaşması da gecikmektedir veya tamamen durmaktadır (Crette vd., 2013: 5). Suya doymuş ahşap örneklerinin zarar görmemesi için ve yalıtkan olması nedeniyle LV-SEM daha sık kullanılmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2018: 7). LV-SEM, örneklerin yerleştirildiği alanda 10^{-6} Pa'dan daha fazla basıncın kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde görüntüleme işlemi 0-230 Pa basınç aralığında gerçekleştirilebilmektedir. Suya doymuş ahşap konservasyonunda hem ıslak örneklerin hem de konservasyonu gerçekleştirilmiş örneklerin görüntülenmesi için LV-SEM kullanılabilir (Jensen vd., 2002: 1).

Herhangi bir konservasyon kimyasalı emdirilmemiş suya doymuş ahşap örneklerinin SEM ile gerçekleştirilen görüntülemeleri, ahşapta meydana gelen bozulmaların neden olduğu fiziksel değişimleri göstermektedir. Böylelikle ahşabın hücre duvarları, orta lamel, trahe/traheidler, damarlar, lifler, lif hücrelerindeki bozulmalar, hücrelerde yaşanan çökmeler ve çekmeler, mantarların hifleri, mantar ve

bakterilerin neden olduğu bozulmalar, bozulmalar nedeniyle meydana gelen büyük boşluklar ve ahşap içerisinde biriken inorganik maddeler görülebilmektedir (Jensen vd., 2002: 7-9; Kılıç, 2020a).

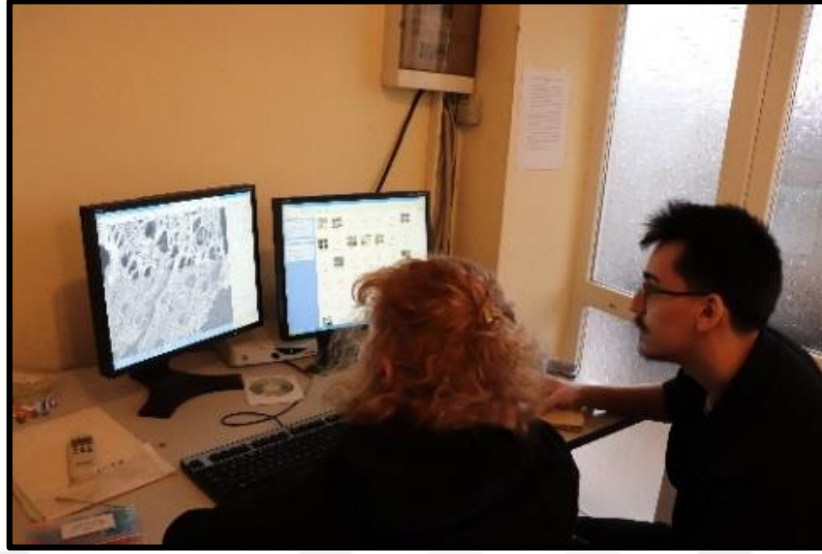
SEM görüntülemesi için kullanılacak olan ahşap örneği yüzeylerinin girintili çıkıntılı olması görüntüde çok karanlık ve çok parlak alanlar oluşturmaktadır. Bu nedenle görüntülemenin daha iyi sonuç verebilmesi için Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç'ın yardımlarıyla ıslak haldeki suya doymuş ahşap örneklerden jilet kullanılarak düzgün yüzeylere sahip enine ve boyuna kesitler elde edilmiştir (Şekil 2.20).

Şekil 2.20: SEM görüntülemeleri için örneklerden kesit alınması.



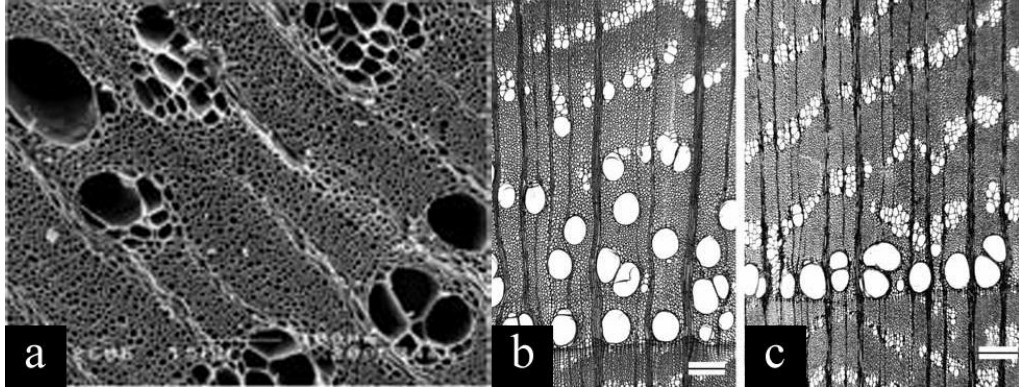
SEM çalışmalara başlamadan hemen önce örneklerden kesitler alınmıştır. Kesitler, İÜ-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ndeki FEI Quanta 450 FEG-EDS model SEM cihazı kullanılarak görüntülenmiştir. Görüntüleme işlemine geçildiği zaman örnekler bakır bantlarla cihaz içerisine yerleştirilmiştir ve bilgisayar yazılımı ile 50x büyütmeden başlayarak 8000x büyütmeye kadar görüntüler elde edilmiştir (Şekil 2.21). YK 29 batığı örneklerinden alınan görüntüler üçüncü bölümde paylaşılmıştır.

Şekil 2.21: SEM görüntülemesinin gerçekleştirilmesi.



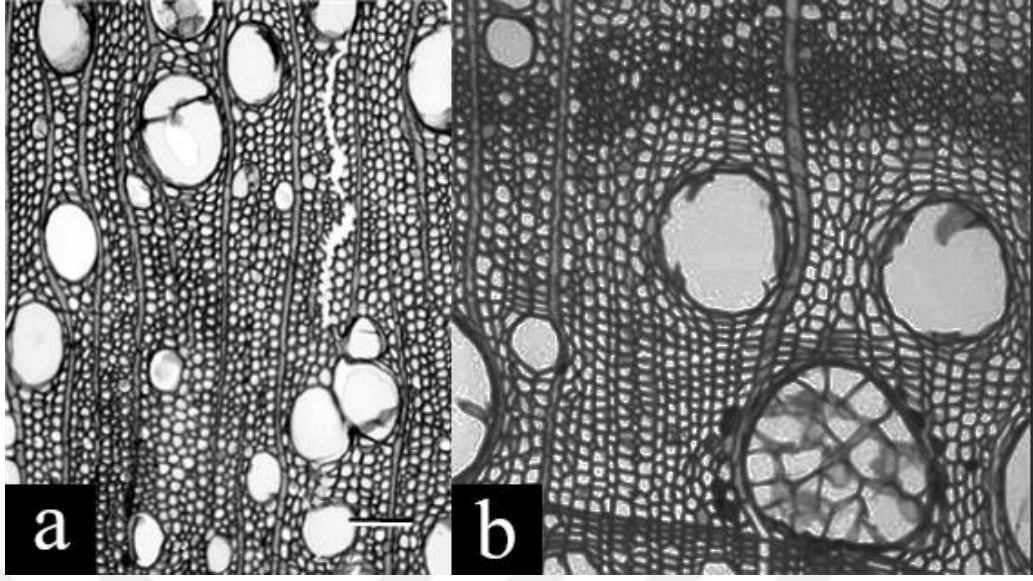
YK 29 ahşaplarında meydana gelen değişimin daha net bir biçimde anlaşılması adına örnekler ile aynı cinsteki yeni ahşapların enine kesitleri üzerinde yapılmış olan çalışmaları incelemek için literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında karşılaşılan çalışmalarda gösterilmiş olan enine kesit görüntüleri, karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 2.22, 2.23, 2.24 ve 2.25'te verilmiştir.

Şekil 2.22: Karaağaç cinsinin enine kesit görüntüsü. (a) 200x büyütme SEM görüntüsü, (b-c) 200 mikrometre ölçekli SEM görüntüsü.



Kaynak: (a) Keech, vd., 2005: 294; (b-c) Wheeler ve Manchester, 2007: 333.

Şekil 2.23: Kestane cinsinin enine kesit görüntüsü.



Kaynak: (a) Bernal vd., 2011: 172; (b) Bigio, vd., 2010: 651.

Şekil 2.24: Çam cinsinin 25x büyütme enine kesit SEM görüntüsü.



Kaynak: Biger ve Liphscitz, 1991: 159.

Şekil 2.25: Servi cinsinin enine kesit SEM görüntüsü.



Kaynak: Amoros, 2016: 4.

Dünya genelinde suya doymuş ahşap konservasyonu ve bozulma durumlarının değerlendirilmesi hakkında birçok çalışma yapılmaktadır ve SEM incelemeleri bu çalışmalarda sıklıkla kullanılan analizlerden biridir. Yapılan çalışmalarda SEM görüntülerinin hangi şekilde incelendiği, hangi değişimlere dikkat edildiği ve yöntem olarak nasıl bir yol izlendiği örnek olarak alınmıştır ve Dr. Namık Kılıç ve Dr. Aslı Gökçe Kılıç'ın tecrübelerinden faydalanılarak kendileri ile beraber YK 29'a ait SEM görüntülerin değerlendirmesi üçüncü bölümde yapılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YENİKAPI 29 ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN ANALİZ

SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE

KONSERVASYON ÖNERİSİ

Tez çalışması kapsamında YK 29 batığı üzerinde bozulma durumunun derecesini ortaya koymak için maksimum su içeriği, ahşap madde kaybı, yoğunluk, FTIR, SEM ve XRF analizleri gerçekleştirilmiş olup bu bölümde analizlerin sonuçları değerlendirilecektir. Söz konusu analizler, bazen tek bir örnek üzerinde gerçekleştirilirken bazen de aynı ahşap elemandan alınmış olan farklı örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir ve bu durum hakkında analiz sonucu değerlendirilecek olan örneklerden bahsedilirken bilgi verilmiştir.

3.1. YK 29 Ahşapları Üzerinde Gerçekleştirilen Maksimum Su İçeriği, Yoğunluk ve Ahşap Madde Kaybı Tespitlerinin Değerlendirilmesi

Ahşaplardaki fiziksel bozulmanın değerlendirilmesi için yapılan analizlerin ilk aşaması olarak gerçekleştirilen maksimum su içeriği, yoğunluk, ahşap madde kaybı analizlerinin gerçekleştirilmiş olduğu tüm örneklerin sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: YK29 batığından alınmış olan örneklerin cinsi, maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı analizi sonuçları.

Örnek No	Ahşap Cinsi	Maksimum Su İçeriği (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Ahşap Madde Kaybı (%)
E1	Kestane	467	0,19	147
E4	Çam	248	0,31	58
E5	Karaağaç	459	0,19	216
E8	Dişbudak	523	0,17	259
E8-S1	Çam	180	0,41	20
E10	Dişbudak	481	0,18	239
E10-İ1	Çam	682	0,13	277
E12	Çam	290	0,28	75
E14	Çam	410	0,21	133
E14-İ1	Karaağaç	413	0,31	186
E16	Çam	407	0,21	133
F2	Çam	342	0,25	96
F4	Çam	600	0,17	188
F5	Servi	324	0,26	73
F6	Kestane	659	0,14	236
F9	Kestane	413	0,22	114
F11	Çam	522	0,17	188
F12	Çam	306	0,29	69
F13	Çam	669	0,14	250
İ-E3	Karaağaç	222	0,38	58
İ-E5	Karaağaç	376	0,23	161
İ-E9	Karaağaç	416	0,21	186
İ-E11	Çam	224	0,34	44
İ-E13	Dişbudak	667	0,14	336
İ-E15	Karaağaç	168	0,41	46
İ-E18	Karaağaç	429	0,20	200
İ-İçK1	Çam	535	0,17	188
İ-İçK2	Çam	469	0,19	158
İ-İçK3	Servi	432	0,20	125
İK2	Servi	176	0,39	15
İK3	Servi	319	0,26	73
İK4-1	Servi	392	0,21	114
İK6-1	Servi	378	0,23	99
İK6-2	Servi	273	0,30	50
İK7-2	Servi	268	0,30	50
İK8-1	Servi	264	0,30	50
İK8-2	Servi	260	0,34	32
İK10	Servi	425	0,21	110
İK11-1*	Servi	441	0,20	125
İK11-1**	Servi	447	0,20	125
İK12-1*	Servi	109	0,64	-30
İK13-1	Servi	164	0,45	0
İK13-2	Servi	337	0,27	67
İK13-2	Servi	370	0,24	88
İK13-3	Servi	438	0,20	125
İK14	Servi	439	0,20	125
İK15	Servi	360	0,24	88
OM1-2	Çam	289	0,31	58
S-E3	Karaağaç	285	0,28	114
S-E5	Karaağaç	476	0,19	216
S-E5-S1	Çam	459	0,19	158
S-E7	Karaağaç	679	0,17	253
S-E11	Çam	541	0,18	172
S-E13	Dişbudak	1275	0,11	455
S-E17	Karaağaç	506	0,18	233
SK2	Servi	503	0,17	165
SK3	Servi	359	0,23	96
SK3*	Servi	352	0,24	88
SK3**	Servi	426	0,20	125
SK4-1	Servi	400	0,22	105
SK6-1	Servi	476	0,18	150
SK6-1*	Servi	87	0,71	-37
SK6-2	Servi	200	0,38	18
SK7-1	Servi	273	0,30	50
SK8	Servi	373	0,23	96
SK9	Servi	260	0,31	45
SK10	Servi	526	0,16	181
SK11	Servi	419	0,21	114
SK11-2	Servi	423	0,21	114
İK11-1* : İSK E2 altından çıkan parça. – İK11-1** : İSK E3 altından çıkan parça. - SK3* : E10 altından çıkan parça.				
SK3** :E19 altından çıkan parça. – İK12-1* : Korozyonlu örnek. – SK6-1* :Korozyonlu örnek.				

Sonuçlara bakıldığında örneklerin çoğunun %200-700 arasındaki maksimum su içeriği değerlerine sahip olduğu görülse de %200'den daha az değere sahip olan örnekler de bulunmaktadır; ancak %200'den daha az değerlere sahip olan İK12-1* ve SK6-1* gibi bazı örneklerin yoğunluğunun, referans yoğunluktan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da örneklerin korozyonlu olmasının bir sonucudur. Bu örnekler gibi sonuç veren diğer örneklerden Tablo 3.1'de bahsedilmemiştir. İK13-1 örneği gibi maksimum su içeriği %200 altında olan ve korozyonlu olmayan, iyi korunmuş durumdaki örnekler de bulunmaktadır. Bu durum SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Bu duruma bağlı olarak ahşapların bozulma durumları bakımından değerlendirilmesi ile ahşapların 1. 2. ve 3. sınıfta bulunduğu anlaşılmaktadır.

Servi cinsindeki örneklerden en düşük maksimum su içeriğine sahip olan İK13-1 örneği %164 değerine sahipken onu sıralamada takip eden İK2 %176 maksimum su içeriğine sahiptir. Diğer servi örneklerine bakıldığında çoğu örneğin maksimum su içeriğinin %300'ün altında olduğu görülmektedir. Servi cinsindeki SK 10 örneği, %526 değeri ile bu cinsteki örnekler arasında en yüksek maksimum su içeriğine sahip olan örnektir. Bu sonuçlara göre YK 29 batığını oluşturan ahşap cinsleri içerisinde bozulmaya karşı en dirençli cinsin servi olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3.1'de sonucu verilmiş olan korozyonlu servi örneklerine bakıldığında ise SK6-1* %87 ve İK12-1* %109 değerlerinde maksimum su içeriğine sahiptir. Bu örneklerin yoğunluklarına bakıldığında yeni servinin yoğunluğundan daha fazla değerde yoğunluğa sahip oldukları ve ahşap madde kaybının eksi değerlerde olduğu görülmektedir. Korozyon kaynaklı olarak ortaya çıkan bu sonuç, bozulma derecelerinin belirlenmesinde yanıltıcı olmaktadır.

Karaağaç ve çam cinsindeki ahşaplar genel olarak benzer ortalamada maksimum su içeriğine sahiptirler. Maksimum su içeriği değerleri birbirine yakın olan bu iki cinse ait örneklerin değerleri karaağaç için %168-679 ve çam için %180-682 arasındadır. Dişbudak cinsine ait olan dört adet örnekten biri olan S-E13'ün maksimum su içeriği %1275 olarak belirlenmiştir ve tüm örnekler arasındaki en fazla değere sahip olan örnektir. Bu cinse ait diğer örnekler için söz konusu değerler %481-667 arasındadır. Kestane cinsindeki üç adet örneğin değerleri %413-659 arasında olup değerler dişbudak örneklerine benzemektedir. Servi hariç tüm bu cinslerin yoğunlukları oldukça düşük seviyelerdedir. Servi örneklerinin yoğunlukları ise referans değere yakın olmasa bile düşük de değildir. Tüm bu değerlere bakıldığında

servi cinsindeki ahşaplar az-orta bozulmuş ve diğer cinslere ait olan örnekler çok bozulmuş olarak nitelendirilmektedir.

Dr. Namık Kılıç ve Dr. Aslı Gökçe Kılıç'ın daha önce Yenikapı Batıkları üzerinde yapmış olduğu çalışmalara baktığımızda çam örnekleri için YK 13 batığında %357-653, YK 16 batığında %519-643, YK 25 batığında %419-600 ve YK 35 batığında %340-478 arasında maksimum su içeriğine rastlanmıştır. Aynı çalışmadaki karaağaç örnekleri incelendiğinde YK 16 batığında %475-867, YK 25 batındaki tek örnekte %423, YK 35 batığında %520-697 arasında sonuçlar görülmektedir. Bahsi geçen çalışmada sadece bir adet kestane ve bir adet dişbudak cinsi örnek incelenmiştir. YK 21 batığına ait olan kestane örneğinin maksimum su içeriği %560 iken YK 22 batığına ait olan dişbudak örneğinde bu değer %494'tür. Son olarak kestane örnekleri ele alındığında YK 22 batığının örneklerinde maksimum su içeriği %148-364 arasındayken YK 35 batığının örneklerinde bu değerler %158-357 arasında bulunmuştur (Kılıç ve Kılıç, 2019b: 139-144). YK 29 batığının sonuçları ile kıyaslama yapıldığı zaman sonuçlar, tüm cinsler için benzerlikler göstermektedir. Bu durum genel olarak tüm suya doymuş ahşaplar arasında hangi ahşap cinsinin bozulmaya daha elverişli olduğunu, hangi ahşap cinsinin daha iyi korunduğunu açıklamaktadır.

İki çalışmada da elde edilen verilere bakıldığında yoğunluğun fazla olması durumunda maksimum su içeriğinin ve ahşap madde kaybının azaldığı görülmektedir. Bu durum ahşap cinsi fark etmeksizin geçerli olmaktadır. Yoğunluğun fazla, maksimum su içeriğinin ve ahşap madde kaybının az olduğu durumlarda ahşapların iyi korunduğu söylenebilmektedir. YK 29 örneklerinin sonuçlarına bakıldığında servi cinsine ait olan örneklerin bir kısmının yoğunluklarının yeni ahşaba kısmen yakın olduğu ve bunların dışında kalan örneklerin yoğunluklarında ve ahşap madde oranında büyük kayıplar yaşandığı görülmektedir. Servi cinsine ait olan örnekler dışındaki diğer örneklerin maksimum su içeriklerinin ve ahşap madde kaybı değerlerinin fazla, yoğunluklarının az olması YK 29 ahşaplarının yüksek derecede bozulmaya uğradığını göstermektedir.

3.2. YK 29 Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen XRF Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

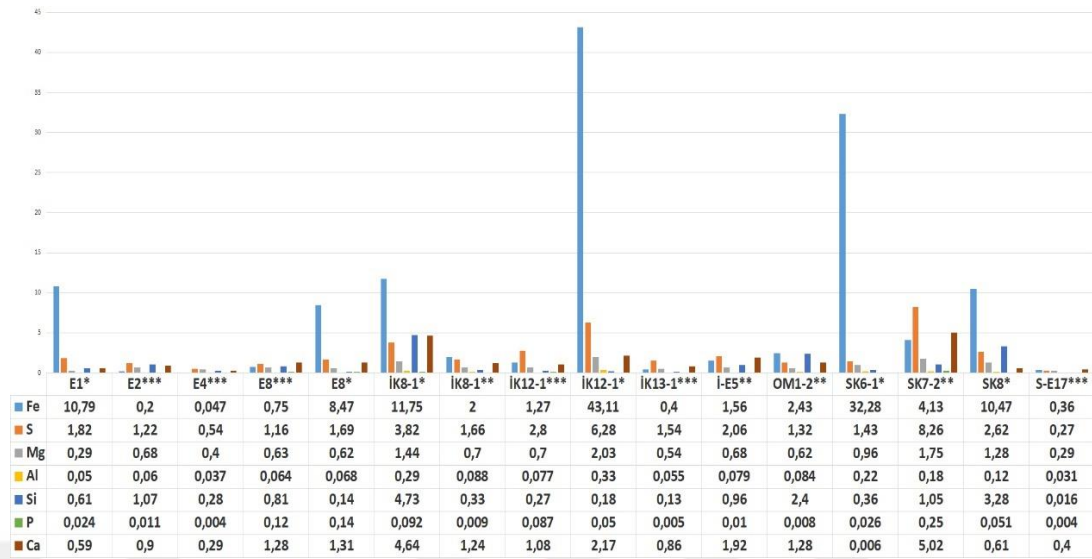
XRF analizinin yapılması ile ahşapların bünyesindeki elementler ve yarı kantitatif olarak miktarları ortaya konmuştur. Ahşaplardaki demir ve sülfür varlığı, ahşap boyunca yayılarak fiziksel ve kimyasal olarak ahşapta bozulmaya neden olduğu için ve PEG ile yapılacak olan konservasyon işlemlerinde PEG ile reaksiyona gireceği için de bilinmelidir. Genel olarak örneklerin çoğunda demir ve sülfür miktarı düşük çıkmıştır. Analizi gerçekleştirilmiş olan örneklerin sonuçlarında en fazla görülen elementler seçilmiştir ve miktarları Tablo 3.2’de verilmiştir. XRF sonuçları verilen bu örnekler, diğer analizlerde kullanılmamıştır.

En düşük demir oranına sahip olan çam cinsi ahşaptan imal edilmiş E4 örneği, %0,047 demir oranına sahiptir. En düşük ikinci sülfür oranı %0,54 ile bu örnekte bulunmaktadır. Bu örnek dışında düşük demir oranına sahip olan örnekler sırasıyla %0,2 oranı ile korozyonlu alana uzak bölgeden alınmış E2 (çam) (Şekil 3.1), %0,36 oranı ile S-E17 (karaağaç) ve %0,4 oranı ile İK13-1 (servi) örnekleridir. Tabloya bakıldığında bu örneklerden sadece S-E17 ve E4 örneklerinde sülfür oranının diğer tüm örneklere göre düşük olduğu (%0,27 ve %0,54) görülmektedir.

Şekil 3.1: YK 29 E2 ahşabından alınmış olan örnek.



Tablo 3.2: YK 29 batığından XRF analizi için alınan örneklerin analiz sonuçları.



*: Korozyonlu bölgeden alınmış örnek. - **: Korozyonlu bölgeye yakın bölgeden alınmış örnek. - ***: Korozyonsuz bölgeden alınmış örnek.

Servi cinsine ait olan İK12-1 (Şekil 3.2) örneği ahşabın korozyonlu bölgesinden alınmış olup %43,11 demir oranı ile XRF analizi yapılmış olan örnekler arasındaki en yüksek demir oranına sahiptir. Aynı ahşabın korozyona uzak bölgesinden alınan örnekte demir oranının %1,27 olduğu görülmektedir. İki örnekte de sülfür varlığı tespit edilmiştir ve korozyonlu bölgeden alınmış örnekte %6,28 oranındayken korozyona uzak bölgeden alınmış örnekte %2,8 oranındadır. Sülfür oranlarına bakıldığında en yüksek oran %8,26 ile SK7-2 (Şekil 3.2) ahşabının korozyonlu bölgesine yakın alandan alınan örneğinde tespit edilmiştir. Bu örneğin demir oranı %4,13 ile demir oranı en yüksek yedinci örnektir. Ayrıca en yüksek kalsiyum (Ca) oranı bu örnektedir.

Şekil 3.2: YK 29 İK12-1 ve SK7-2 ahşaplarından alınmış olan örnekler.



Korozyonlu bölgeye uzak E8 ve korozyonlu bölgeye yakın alandan alınmış İK8-1 örnekleri (Şekil 3.3) ile korozyonlu bölgeye uzak bölgeden alındığı düşünülen

İK12-1 (Şekil 3.2) örneğinde demir ve sülfür bulunmuştur. E8’de demir oranı %0,75, sülfür oranı %1,16 ve İK8-1’de demir oranı %2, sülfür oranı %1,66 şeklindedir. Bu durum demir ve sülfürün ahşaplar boyunca yayılabildiğinin göstergesidir.

Şekil 3.3: YK 29 İK8-1ve E8 ahşaplarından alınmış olan örnekler.



XRF analizi yapılmış olan tüm örneklerde tabloda verilmiş element dışında eser miktarda Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Pr, Ce, Cr, Cs, Sb, Ba, La, Nd, Ta, As, Mn, V ve I elementlerinin de bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bu elementlerin ahşapta bulunmasının nedeni olarak ahşapların Marmara Denizi’nin sediment tabakasında bulunması gösterilmektedir.

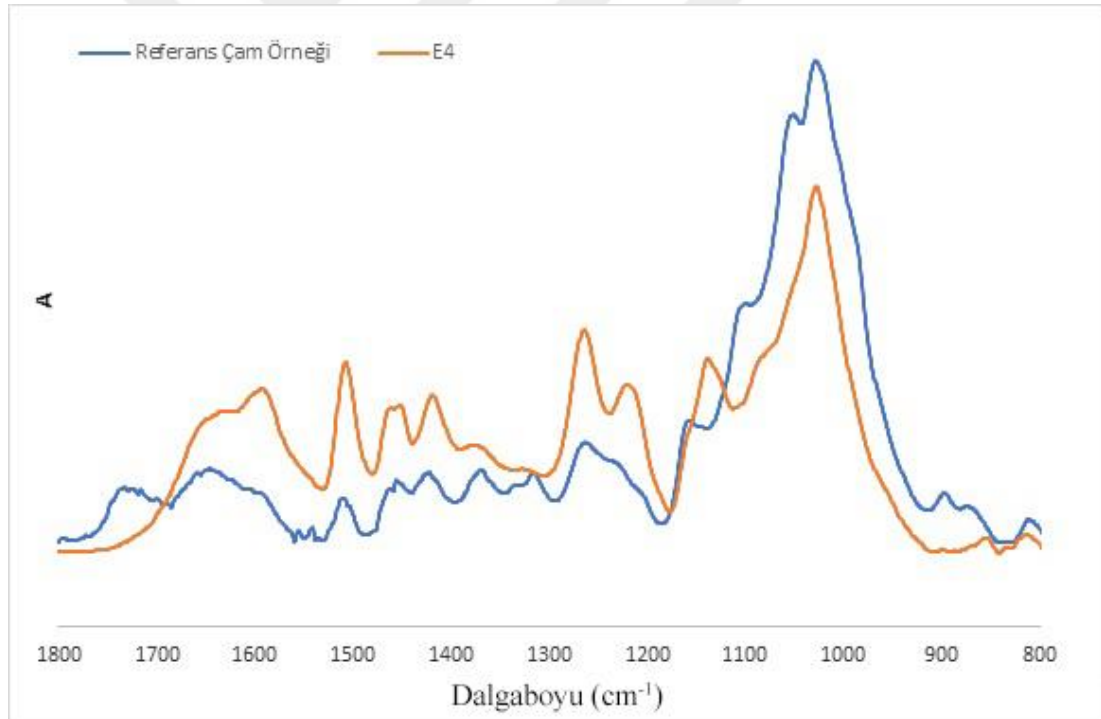
3.3. YK 29 Ahşapları Üzerinde Gerçekleştirilen FTIR Analizinin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

YK 29 batığını oluşturan ahşaplardan alınan örneklerle FTIR analizi yapılarak örneklerdeki selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşenlerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. YK 29 ahşaplarından alınan örneklerden elde edilen spektrumlar, örnekler ile aynı cinsten olan yeni ahşabın FTIR spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede YK 29 örneklerinde yaşanan bozulma sonucundaki değişim anlaşılabilmektedir. Bölüm 2.5’te FTIR analizinin çalışma mantığı ve YK 29 örneklerinin bu analiz için nasıl hazırlandığı açıklanmış olup bahsedilecek olan örnekler ile alakalı IR bantlarının pozisyonları ve YK 29 örneklerinde meydana gelen değişimde hangi olayın yaşandığı Tablo 2.2’de, kaynaklarıyla beraber verilmiştir. Bu bölümde Tablo 2.2’de verilmiş olan bilgilerden ve literatür taraması sonucunda ulaşılmış olan suya doymuş ahşapta FTIR analizi çalışmalarından yararlanılarak YK 29 örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan FTIR analizleri değerlendirilmiştir.

Şekil 3.4’te E4 kodlu ahşaptan alınan örneğin ve referans çam spektrumları verilmiştir. E4’ten alınan başka bir örneğin maksimum su içeriği %248, yoğunluk değeri 0,31 g/cm³ ve ahşap madde kaybı %58 olarak bulunmuştur. Bu örnek ilk olarak

SEM ile incelenmiştir ve ardından FTIR analizine tabi tutulmuştur. Spektrumlar arasında karşılaştırma yapıldığında E4 örneğinin 898 cm^{-1} bandında azalma görülmüştür. Bu azalma, amorf haldeki selülozda yaşanan C-H deformasyonundan kaynaklanmaktadır. 1053 cm^{-1} bandındaki kaybın nedeni selüloz ve hemiselülozda meydana gelen C-O gerilmesidir. 1140 cm^{-1} bandında görülen pik, aromatik halkalarda gerçekleşen C-H deformasyonunun bir sonucudur. Selüloz ve hemiselülozdaki C-O-C bağlarının titreşimi 1157 cm^{-1} bandında azalmaya neden olmuştur. 1318 cm^{-1} bandındaki azalmanın nedeni selülozda CH_2 dalgalanmasıdır. 1372 cm^{-1} bandındaki azalmanın nedeni selüloz ve hemiselülozdaki CH ve OH esnemesi ile C-C gerilmesidir. 1595 cm^{-1} bandındaki artış ligninde meydana gelen C=C gerilmesinden kaynaklanmıştır (Kılıç, 2020a).

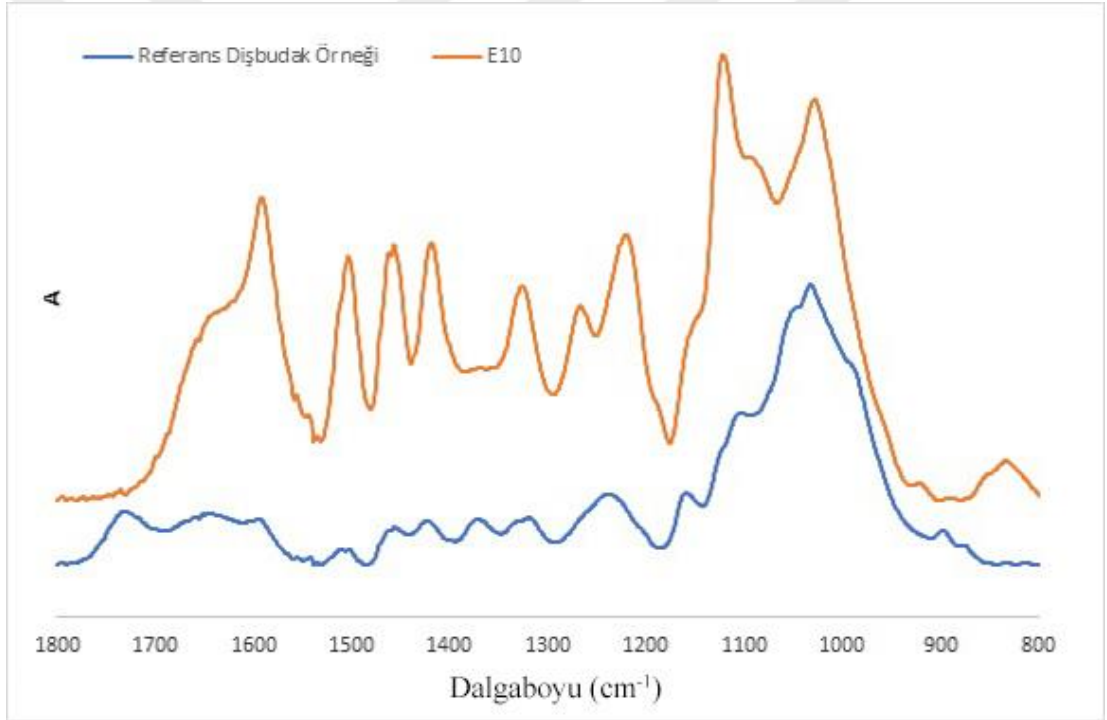
Şekil 3.4: YK 29 E4 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans çam (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



%481 maksimum su içeriği, $0,18\text{ g/cm}^3$ yoğunluk ve %239 ahşap madde kaybı değerlerine sahip olan dışbudak cinsindeki E10 kodlu ahşaptan alınan farklı bir örneğin ve referans dışbudak örneğinin FTIR spektrumları Şekil 3.5'te verilmiştir. 901 cm^{-1} bandında amorf selülozda yaşanan C-H deformasyonu pikte azalma yaşanmasına neden olmuştur. Selüloz ve hemiselülozda meydana gelen C-O gerilmesi 1052 cm^{-1} bandında pik azalması olarak görülmektedir. 1118 cm^{-1} bandındaki değişimin nedeni

selüloz ve hemiselülozda asimetrik C-O-C gerilmesi iken 1163 cm^{-1} bandındaki değişim asimetrik C-O ve C-C gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Lignindeki ksilan ve şiringil halkaları ile hemiselülozda C-O gerilmesinin yaşanması 1242 cm^{-1} bandında pik kaybına yol açmıştır. 1225 ve 1270 cm^{-1} bantlarında görülen yeni pikler, ligninde meydana gelen bozulmalar sebebiyle oluşmuştur. 1366 cm^{-1} bandındaki değişimin nedeni ligninde bulunan R_3C-H 'da C-H esnemesi yaşanmasıdır. 1417 , 1459 ve 1501 cm^{-1} bantlarında görülen pik artışları ligninde meydana gelen bozulmanın bir sonucudur. Hemiselülozda bozulma yaşanmış olması 1728 cm^{-1} bandındaki pikin kaybolması şeklinde görülmektedir (Kılıç, 2020a).

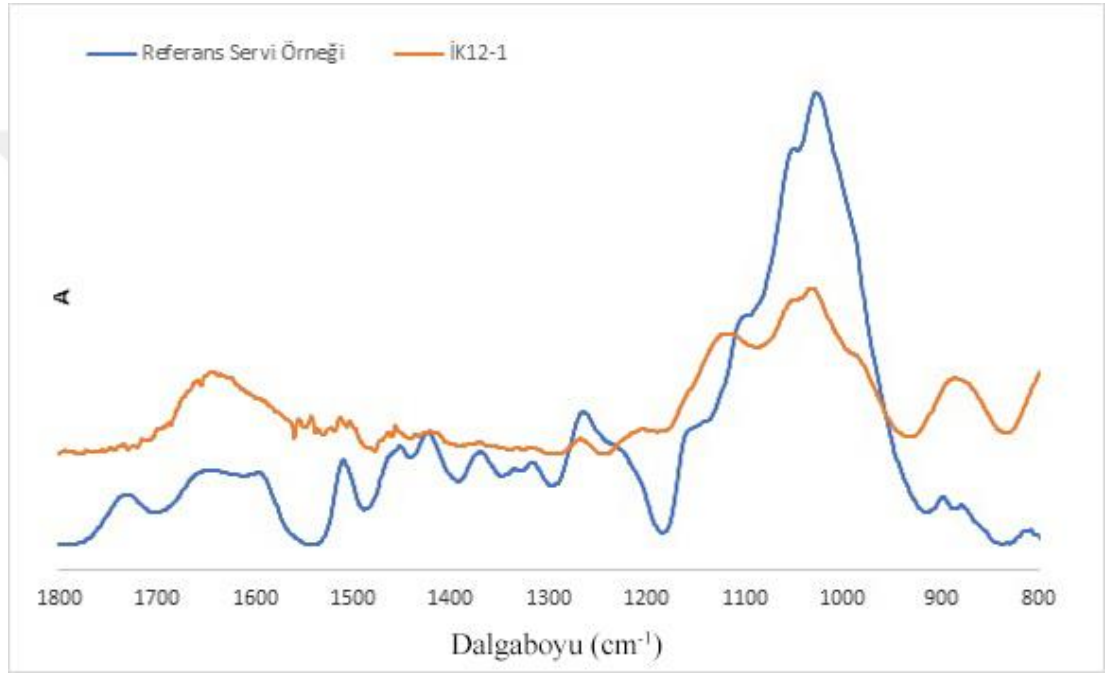
Şekil 3.5: YK 29 E10 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans dışbudak (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



İK12-1'den maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde miktarı tespiti için alınan örnekte korozyon bulunması sonuçları yanılttığı için elde edilen değerlerden bahsedilmemiştir. Şekil 3.6'da İK12-1'den alınmış olan başka bir örneğin ve referans servi spektrumları gösterilmiştir. 1035 cm^{-1} bandındaki pik azalmasının nedeni selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi ile alakalıdır. 1126 cm^{-1} bandında yeni pik oluşması ligninde meydana gelen bozulmadan kaynaklanmaktadır. 1262 cm^{-1} bandındaki pik azalmasının nedeni ligninde yaşanan C-O gerilmesi ve aromatik guasil gruplarındaki C-O bağlanmasıdır. Lignindeki şiringil halkasında C-O gerilmesi yaşanması ile

selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi yaşanması 1321 cm^{-1} bandında pik azalmasına neden olmuştur. Selüloz ve hemiselülozda meydana gelen C-C gerilmesi ile CH ve OH esnemesi 1374 cm^{-1} bandında pik azalmasının nedenidir. 1426 cm^{-1} bandında görülen pik azalması, selüloz ve hemiselülozda yaşanan CH ve OH esnemesi ile ligninde yaşanan CH deformasyonundan kaynaklanmaktadır. 1728 cm^{-1} bandında yaşanan pik kaybı hemiselülozun bozulması ile alakalıdır (Kılıç, 2020a).

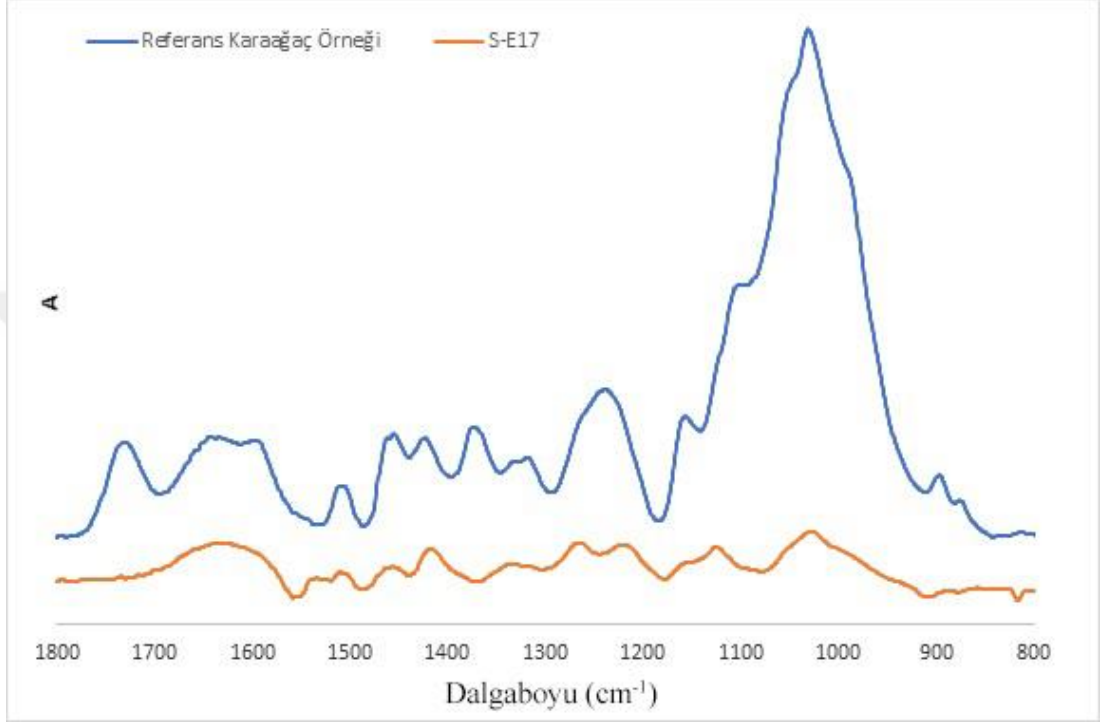
Şekil 3.6: YK 29 İK12-1 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



Bir diğer FTIR analizi gerçekleştirilen örnek S-E17 örneğidir. Bu örnek karaağaç cinsindendir ve başka bir S-E17 örneğinde %506 maksimum su içeriği, $0,18\text{ g/cm}^3$ yoğunluk ve %233 ahşap madde kaybı değerlerine ulaşılmıştır. Bu örneğin ve referans karaağaç örneğinin spektrumları Şekil 3.7’de verilmiştir. 901 cm^{-1} bandında görülen pik kaybı önceki FTIR değerlendirmelerinde de belirtildiği üzere amorf selülozdaki C-H deformasyonundan kaynaklanmaktadır. 1033 cm^{-1} bandında görülen pik azalması, selüloz ve hemiselülozda yaşanan C-O gerilmesi nedenidir. Şiringil kısımlarında C-H bağ titreşimi yaşanması 1124 cm^{-1} bandında yeni pik oluşumuna yol açmıştır. 1230 ve 1270 cm^{-1} bantlarında da yeni pik oluşmuştur ve nedenleri ligninde meydana gelen bozulmalardır. Bu bantların arasında kalan 1259 cm^{-1} bandında pik kaybı yaşandığı görülmektedir ve bu durum ligninde meydana gelen bozulmalardan kaynaklanmıştır. Selüloz ve hemiselülozda C-C gerilmesi ile CH ve OH esnemesinin

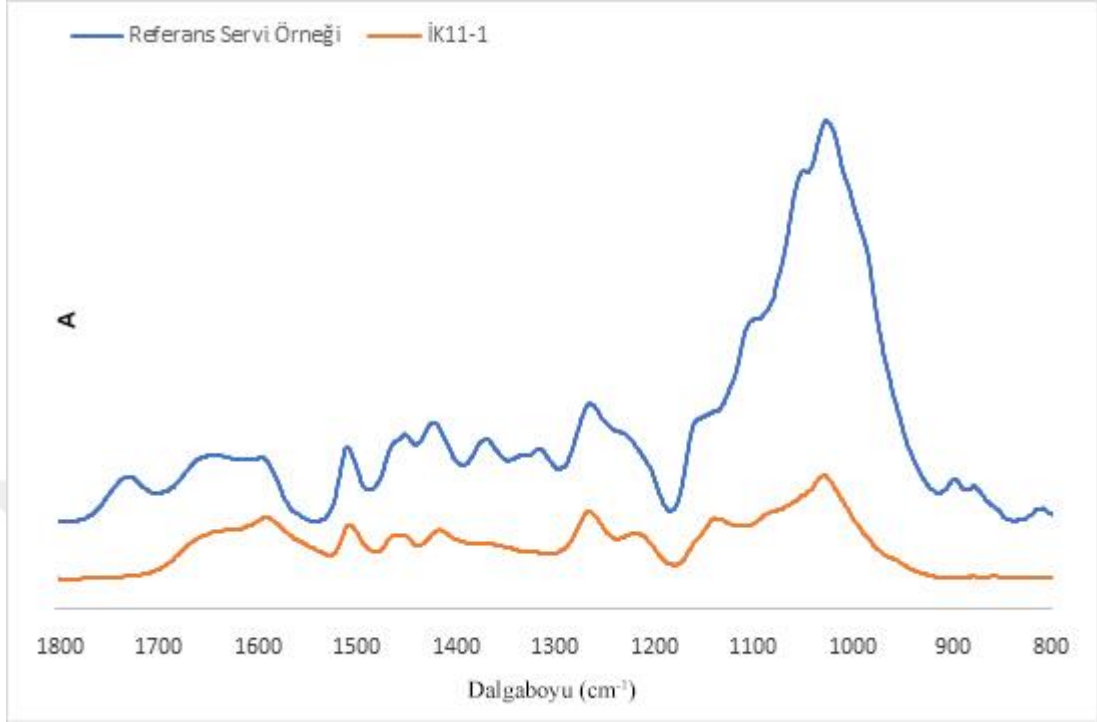
yaşanması 1377 cm^{-1} bandında pik kaybına yol açmıştır. 1512 cm^{-1} bandındaki pikte görülen azalmanın nedeni ligninde meydana gelen bozulmadır. 1735 cm^{-1} bandında görülen pik kaybı hemiselülozda yaşanan bozulma ile alakalıdır (Kılıç, 2020a).

Şekil 3.7: YK 29 S-E17 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans karaağaç (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



%441 maksimum su içeriği, $0,20\text{ g/cm}^3$ yoğunluk ve %125 ahşap madde kaybı değerlerine sahip olan, servi cinsindeki İK11-1'in FTIR analizi için kullanılan örnek, SEM incelemelerinde de kullanılmış olup SEM görüntüleri bir sonraki bölümde verilmiştir. Gerçekleştirilen FTIR analizinin sonucunda (Şekil 3.8) amorf selülozda meydana gelen C-H deformasyonu bu örnekte de görülmüştür ve 902 cm^{-1} bandında pik azalması şeklinde görülmektedir. 1021 cm^{-1} bandındaki pik azalmasının nedeni selüloz ve hemiselülozda meydana gelen C-O gerilmesidir. Lignindeki şiringil halkasındaki C-O gerilmesi ile selüloz ve hemiselülozdaki CH ve OH esnemesi 1320 cm^{-1} bandında pik azalmasına neden olmuştur. Selüloz ve hemiselülozda yaşanan C-C gerilmesi, CH ve OH esnemesi 1375 cm^{-1} bandındaki pikte azalmaya yol açmıştır. 1725 cm^{-1} bandındaki pik kaybı, daha önce açıklanan örneklerde olduğu gibi hemiselülozda meydana gelen bozulma ile alakalıdır (Kılıç, 2020a).

Şekil 3.8: YK 29 İK11-1 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



Şekil 3.9’da FTIR analizi gerçekleştirilen örnekler arasında tezde yer verilen son servi örneği olan SK10’un spektrumları gösterilmiştir. Bu örnek FTIR analizinden önce SEM incelemeleri için kullanılmıştır ve SEM görüntüleri bir sonraki başlıkta verilmiştir. SK10 kodlu ahşaptan alınan başka bir örneğin maksimum su içeriği %526 iken yoğunluğu 0,16 g/cm³ ve ahşap madde kaybı %181’dir. Amorf selülozda meydana gelen C-H deformasyonu diğer örneklerdeki gibi 901 cm⁻¹ bandında pik azalmasına neden olmuştur. 1033 cm⁻¹ bandındaki selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi yaşanmıştır ve pik azalması şeklinde görülmektedir. 1320 cm⁻¹ bandında görülen pik kaybının yaşanmış olması, lignindeki şiringil halkasında meydana gelen C-O gerilmesi ile selüloz ve hemiselülozda meydana gelen CH ve OH esnemesi ile alakalıdır. Selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi ile ligninde CH deformasyonu meydana gelmesi 1427 cm⁻¹ bandında pik azalması şeklinde görülmektedir. 1725 cm⁻¹ bandındaki pik kaybının nedeni hemiselüloz bozulmasının sonucudur (Kılıç, 2020a).

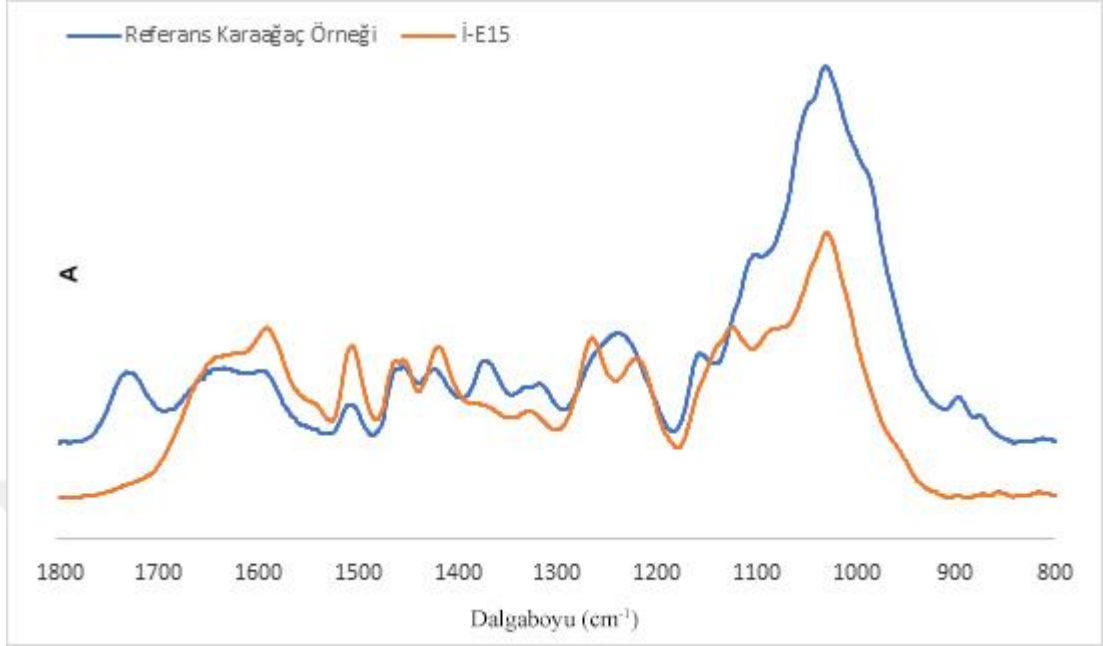
Şekil 3.9: YK 29 SK10 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans servi (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



Tezde yer verilecek olan son FTIR görüntüsü karaağaç cinsindeki İ-E15 örneğidir (Şekil 3.10). İ-E15'in maksimum su içeriği oranı %168, yoğunluk değeri 0,41 g/cm³ ve ahşap madde kaybı miktarı %46 olarak bulunmuştur. Ayrıca FTIR analizi için kullanılan bu örnek, FTIR analizinden önce SEM görüntülemesi için kullanılmıştır ve SEM sonuçları bir sonraki bölümde verilmiştir.

901 cm⁻¹ bandındaki değişimin nedeni amorf selülozda meydana gelen C-H deformasyonudur. 1130 cm⁻¹ bandında görülen yeni pik, ligninin bozulması sonucu oluşmuştur. 1150 cm⁻¹ bandında yaşanan pik kaybı, selüloz ve hemiselülozdaki bozulmayı işaret etmektedir. 1223 ve 1269 cm⁻¹ bantlarındaki değişim ligninde meydana gelen bozulmanın bir sonucu olup bu iki bant arasında kalan 1243 cm⁻¹ bandındaki pik kaybının nedeni ligninde ksilan ve şiringil halkaları ile hemiselülozda C-O gerilmesinin yaşanmış olmasıdır. 1367 cm⁻¹ bandındaki değişim, ligninde bulunan R₃C-H'da gerçekleşen C-H esnemesi ile alakalıdır. 1737 cm⁻¹ bandında görülen pik kaybı hemiselüloz bozulmasını göstermektedir (Kılıç, 2020a).

Şekil 3.10: YK 29 İ-E15 ahşabından alınmış örneğin (turuncu) ve referans karaağaç (mavi) örneğinin FTIR spektrumları.



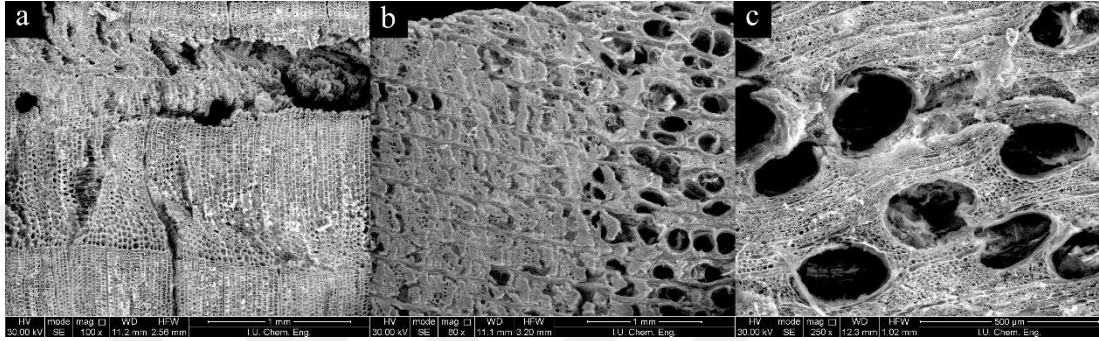
3.4. YK 29 Ahşaplarından Elde Edilen SEM Görüntüleri ve Değerlendirilmesi

YK 29 batığı örneklerinden alınan enine ve boyuna kesitler, FEI Quanta 450 FEG-EDS model SEM cihazı ile görüntülenmiştir. Görüntüler, her örnek için 50-8000x büyütme arasındaki değerlerde alınmıştır. YK 29 örnekleri üzerinde gerçekleştirilen SEM analizlerinde kullanılmış olan bazı örnekler diğer analizlerde kullanılmış olsa da bazı örnekler diğer analizlerde kullanılmamıştır ve aynı ahşaptan alınan farklı örnekler alınarak diğer analizler gerçekleştirilmiştir.

Değerlendirmelere başlamadan önce SEM görüntülemesinin gerçekleştirildiği farklı çalışmalar incelenmiştir. YK 29 batığı ahşapları arasında hem geniş yapraklı hem de iğne yapraklı ağaçlar bulunmaktadır. Bu cinslerdeki ahşapların hücresele seviyede yaşamış olduğu fiziksel bozulmaların SEM görüntülerinden anlaşılabilmesi ve değerlendirilebilmesi için YK 29’da bulunan ahşap cinslerinin suya doymuş hallerinin SEM görüntüleri ve değerlendirilmeleri araştırılmıştır. Dr. Aslı Gökçe Kılıç’ın doktora tezinde Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında çalışılmış olan farklı batıklardaki aynı cins ahşaplardan bahsedilmiştir. Şekil 3.11’de ilk olarak 100x büyütmedeki çam örneğinin görüntüsü (a) verilmiştir. Bu örneğin maksimum su içeriği %372’dir. İkinci olarak karaağaç cinsindeki örneğin 80x büyütme görüntüsü (b)

verilmiş olup maksimum su içeriği %604'tür. Şekil 3.11'deki son görüntü (c) kestane cinsindeki ve maksimum su içeriği %444 bulunmuştur. Çam örneğindeki traheid hücrelerinde bozulmalar görülmüştür. Karaağaç örneğinde ise trahelerin deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. Son olarak kestane örneğine bakıldığında, bu örnekte de trahelerin bozulmaya uğradığı anlaşılmaktadır (Kılıç, 2017b: 63-65).

Şekil 3.11: YK 16 SK2-1 (çam) (a), YK 16 E80 (karaağaç) (b) ve YK 8 İK5 (kestane) (c) örneklerinin enine kesit SEM görüntüleri.

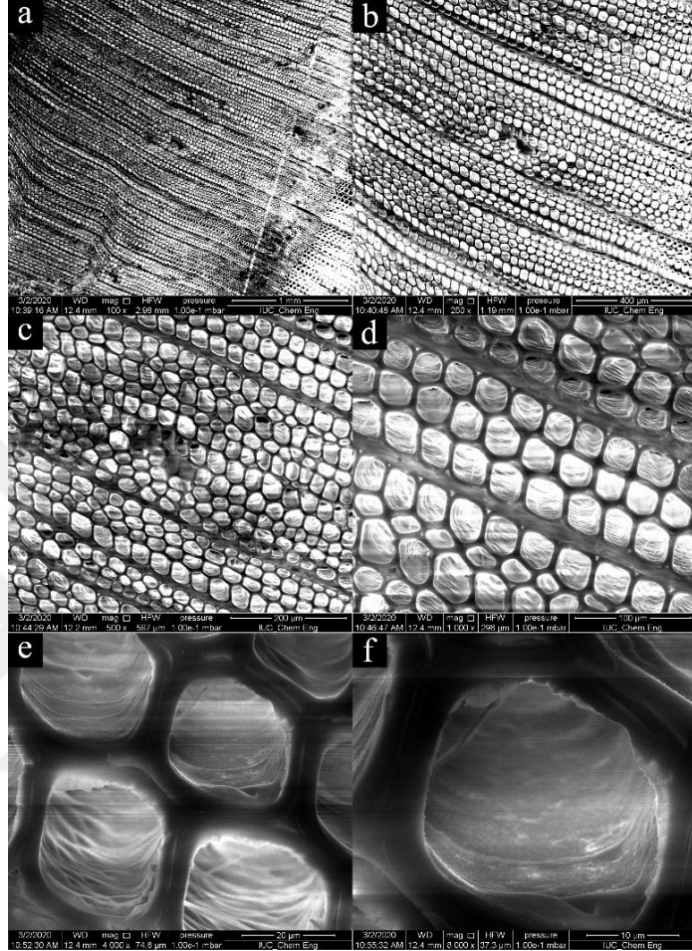


Kaynak: Kılıç, 2017b: 64-65.

YK 29 örnekleri üzerinde gerçekleştirilen SEM görüntülemesi için ilk olarak servi cinsindeki İK13-1 örneğinin enine kesiti kullanılmıştır (Şekil 3.12). İK13-1'in maksimum su içeriği %164, yoğunluk 0,45 g/cm³, ahşap madde kaybı ise %0 olarak bulunmuştur. Bu değerler tek başına İK13-1'in iyi korunmuş olduğunu gösterememektedir. Bu örnekten elde edilen SEM görüntüleri söz konusu değerleri doğrular niteliktedir.

Şekil 3.12: YK 29 İK13-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

(a): 100x, (b): 250x, (c): 500x, (d): 1000x, (e): 4000x, (f): 8000x



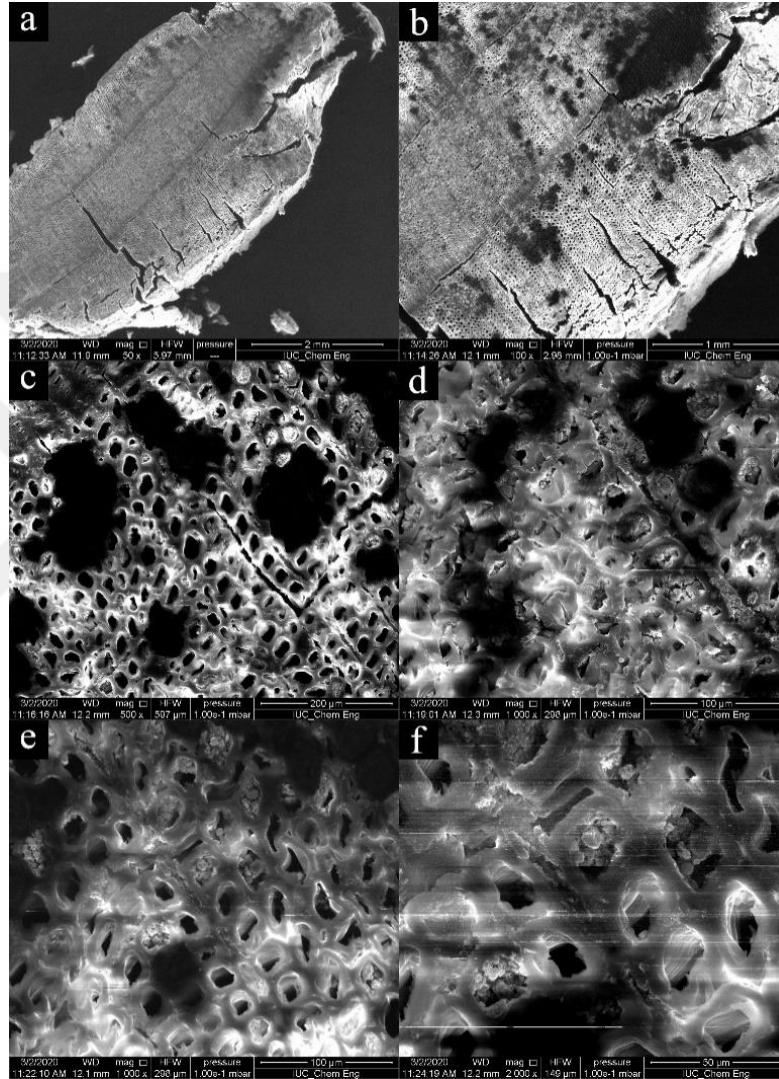
Şekil 3.12’de a harfi ile gösterilmiş olan SEM görüntüsü, hazırlanmış olan kesitin 100x büyütmedeki görüntüsüdür. Genel olarak hücrelerin sağlam bir şekilde günümüze ulaştığı görülse de yer yer bozulma sonucunda hücre duvarlarının yok olması ile oluşan boşluklar görülmektedir. Ayrıca bu görüntüde ilkbahar odunu ve yaz odunu arasındaki geçiş de gözlemlenebilmektedir. 250x büyütmedeki görüntüde (b) ise küçük bir bölge haricinde hücrelerin neredeyse yeni ahşaptaki gibi olduğu sonucuyla karşılaşılmıştır. Büyütmeye 1000x (d), 4000x (e) ve 8000x (f) şeklinde devam edildiğinde herhangi bir bozulma ile karşılaşılmamıştır (Kılıç ve Kılıç, 2020).

Şekil 3.13’te SEM görüntüleri verilmiş olan bir diğer servi cinsindeki SK6-1’in bir başka örneği üzerinde yapılan analizlerde maksimum su içeriği %476, yoğunluğu 0,18 g/cm³ ve ahşap madde kaybı %150 olarak ölçülmüştür. Bu değerler ahşabın oldukça fazla bozulmuş olduğunu göstermektedir. Şekil 3.13’te aynı ahşabın farklı bir

bölgesinden alınan örneğin enine kesit SEM görüntüleri de bu sonuçları doğrular niteliktedir.

Şekil 3.13: YK 29 SK6-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

(a): 50x, (b): 100x, (c): 500x, (d): 1000x, (e): 1000x, (f): 2000x.

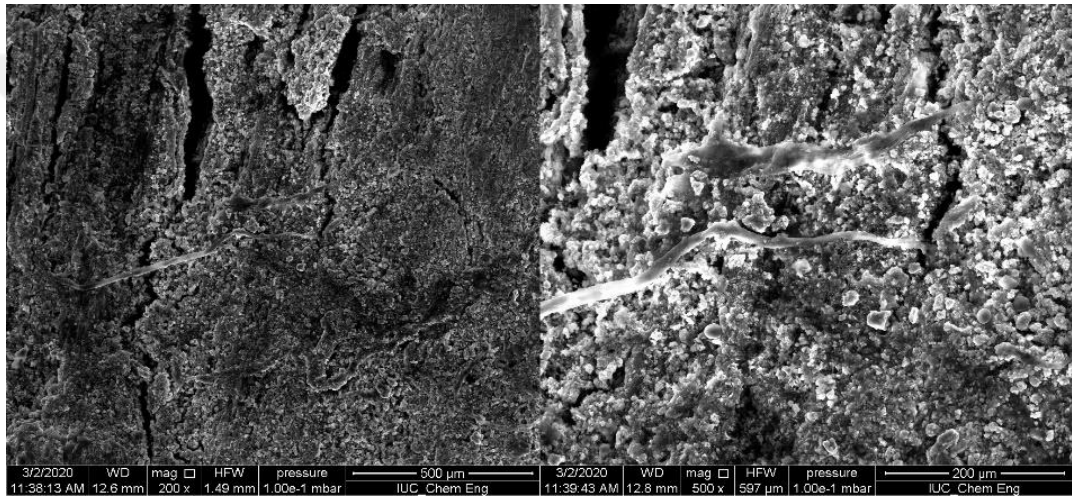


Büyütme oranı 100x olarak ayarlandığında (b) traheidlerde yaşanan bozulmalar koyu renkli alanlar olarak görülmektedir. Bu alanlara 500 ve 1000x büyütme ile bakıldığında (c-d) koyu renkli alanları hücre duvarlarının yıkılmasıyla oluşan boşlukların meydana getirdiği anlaşılmaktadır. Hücrelerin içerisinde tortu halinde görülen inorganik malzemelerin SEM-EDX yapılmaması nedeniyle içeriği tespit edilememiştir. Ayrıca bazı hücre duvarlarının tam anlamıyla yok olmadığı ve yaşanan bozulmalar nedeniyle şeklini kaybettiği de görüntülerden anlaşılmaktadır.

Traheidlerde yaşanan bozulmalar ve hücre boşluklarına dolmuş olan inorganik maddeler, 1000x ve 2000x büyütmedeki görüntülerde (e-f) daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2020).

SK6-1'den yüzeyi tamamen korozyon kaplanmış bir enine kesit alınmış ve diğer örnekler gibi aynı büyütmelerle incelenmiştir. Şekil 3.14'teki görüntülere bakıldığında (200-500x) korozyondan kaynaklı olarak ahşap hücre detayları belirlenememiştir (Kılıç ve Kılıç, 2020d).

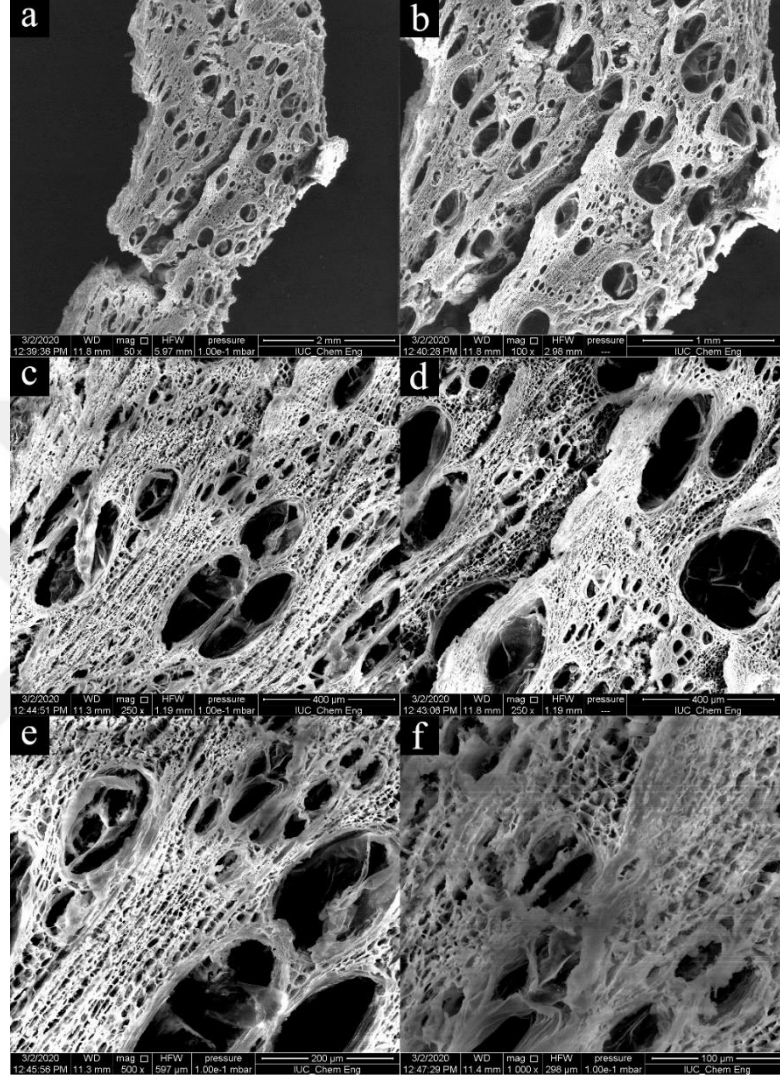
Şekil 3.14: YK 29 SK6-1 ahşabından alınmış korozyonlu örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.



YK 29 ahşapları arasında maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı oranlarına baktığımızda en çok bozulmuş ahşaplardan biri olan F6 örneğidir. %659 maksimum su içeriği, 0,14 g/cm³ yoğunluk ve %236 ahşap madde kaybı değerlerine sahip olan örneğin cinsi kestanedir ve SEM incelemeleri için aynı ahşaptan farklı bir örnek alınmıştır. SEM incelemeleri ile diğer örnekten elde edilen maksimum su miktarı değerlerinin ahşabın genelinde örtüştüğü anlaşılmıştır. Şekil 3.15'teki görüntülere bakıldığında trahe ve lif hücrelerinde büyük oranda bozulmaların yaşandığı görülmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2020).

Şekil 3.15: YK 29 F6 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

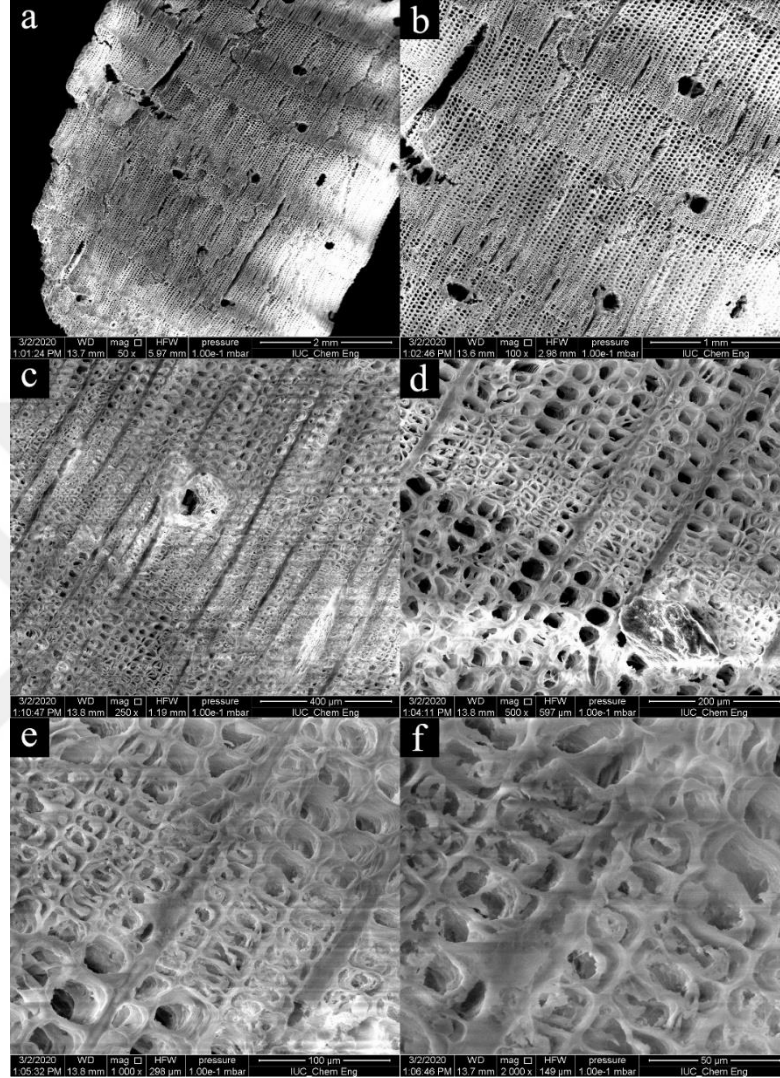
(a): 50x, (b): 100x, (c): 250x, (d): 250x, (e): 500x, (f): 1000x.



Şekil 3.16’da çam cinsindeki E4 örneğinin enine kesit SEM görüntüleri verilmiştir. E4’ten SEM görüntüleri için alınmış olan örnek, FTIR analizi için de kullanılmıştır. E4’ten alınmış olan bir başka örneğin maksimum su içeriği %248, yoğunluğu 0,31 g/cm³ iken ahşap madde kaybı değeri %56’dır. Düşük büyütmeli SEM görüntülerine bakıldığında genel olarak fiziksel bozulma derecesi az gibi görünse de büyütme arttıkça traheidlerin bozulmuş olduğu görülmektedir. Traheidler bozulmuş olsa da duvarların halen korunduğu ve ayrışma yaşanmadığı görülmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2020).

Şekil 3.16: YK 29 E4 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

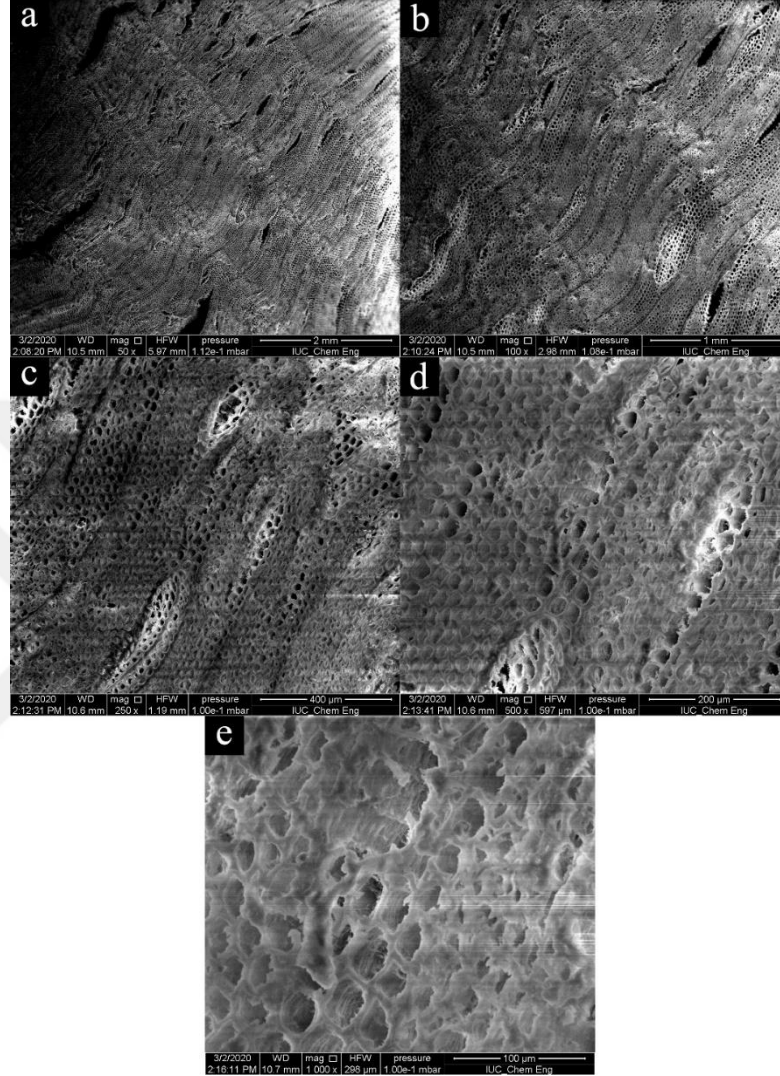
(a): 50x, (b): 100x, (c): 250x, (d): 500x, (e): 1000x, (f): 2000x.



Servi cinsindeki İK11-1 örneğinin maksimum su içeriği %441, yoğunluğu 0,20 g/cm³, ahşap madde kaybı ise %125 olarak bulunmuştur ve İK11-1'den alınan enine kesit görüntüsü Şekil 3.17'de verilmiştir. Ayrıca bu örnek FTIR analizinde de kullanılmıştır. Görüntülerin genel halinde sık bir şekilde ancak şekil olarak düzensiz görülen traheidlere daha yakından bakıldığı zaman bozulma yaşandığı, traheid duvarlarında ayrışmalar meydana geldiği görülmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2020).

Şekil 3.17: YK 29 İK11-1 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

(a): 50x, (b): 100x, (c): 250x, (d): 500x, (e): 1000x.

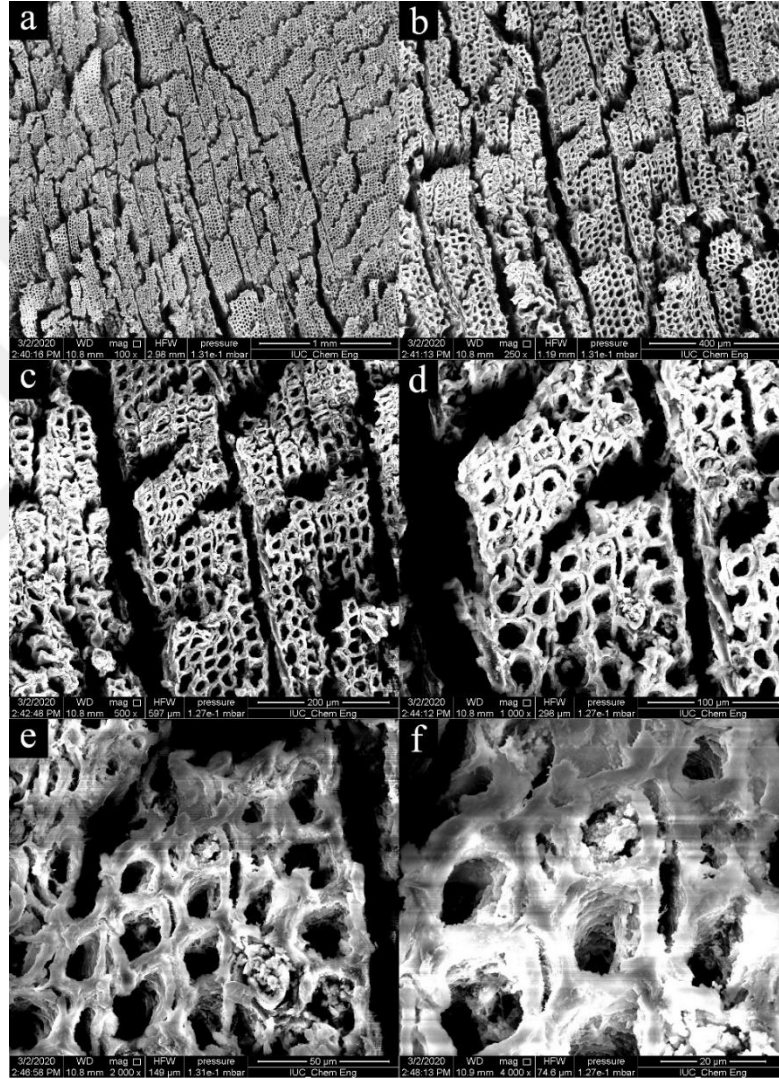


Son olarak yüzeyi tamamen korozyonlu olan SK6-1 örneğine ek olarak korozyon miktarı daha az olan servi cinsindeki SK10 örneğinin enine kesiti SEM’de incelenmiştir (Şekil 3.18). Ayrıca bu örnek üzerinde FTIR analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu ahşabın korozyonsuz olan başka bir örneğinde yapılan analizler sonucunda maksimum su içeriği %526, yoğunluğu $0,16 \text{ g/cm}^3$ ve ahşap madde kaybı %181 olarak bulunmuştur. Şekil 3.18’de verilen görüntülerde traheidlerde ayrışmalar yaşandığı görülmektedir. Bu ayrışmalar traheidleri gruplanmış gibi göstermektedir. Ayrışmaların görüldüğü alanların hemen yanında bulunan traheidlerin diğer traheidlere göre daha çok bozulmuş olduğu 500x-1000x büyütmeli görüntülerden (c-d) anlaşılmaktadır. Söz konusu bölgelerdeki traheidler daha çok

bozulmuş olsa da genel olarak tüm traheidlerin bozulmuş anlaşılmaktadır. Bu görüntülerde ek olarak lümenlere dolmuş olan inorganik maddeler de görülmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2020).

Şekil 3.18: YK 29 SK10 ahşabından alınmış örneğin farklı büyütmelerdeki enine kesit SEM görüntüleri.

(a): 100x, (b): 250x, (c): 500x, (d): 1000x, (e): 2000x, (f): 4000x.



SEM görüntülerinin değerlendirilmesi ile YK 29 ahşapları üzerinde gerçekleştirilen analizler son bulmuştur. SEM ve diğer analizlerin değerlendirmeleri birlikte incelenerek ahşapların bozulmuşluk durumları hakkında fikir elde edilmiştir. Önceki bölümlerde açıklanan, literatür taraması ile edinilmiş olan bilgilerden yola çıkılarak YK 29 ahşaplarının bozulma derecesine uygun bir konservasyon önerisi

yapılması amaçlanmıştır. YK 29 batığı için yapılan konservasyon önerisi, bir sonraki başlıkta verilmiştir.

3.5. YK 29 Batığı İçin Konservasyon Önerisi

YK 29 ahşaplarından elde edilen maksimum su içeriği sonuçlarına bakıldığında, batığı oluşturan ahşaplar arasında bozulma derecesine göre her sınıftan ahşap bulunduğu görülmektedir. Yoğunluk değerleri, referans değerlerden daha düşük bulunan ve farklı oranlarda ahşap madde kaybına uğramış olan bu ahşaplardaki fiziksel bozulma, SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Genel olarak YK 29 ahşaplarında trahe/traheid bozulması yaşandığı ve bazen de boşluklar oluştuğu anlaşılmıştır. XRF analizi ile elde edilen ahşaplardaki demir ve sülfür oranları, ahşapta demir ve sülfür bulunmasına neden olan korozyon kaynaklarından uzaklaştıkça, demir ve sülfür oranının azaldığını göstermiştir. Ahşaplardaki korozyon ürünleri, SEM görüntülerinde de ortaya çıkmıştır.

Demir ve sülfür bulunan, farklı bozulma derecelerine sahip olan YK 29 ahşaplarının konservasyon çalışmaları için ilk olarak, su dolu havuzlar içerisinde tuzdan arındırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Tuzdan arındırma çalışmaları, ahşapta bulunan metallerin korozyon hızını düşürmek ve ahşap bünyesindeki su buharlaştığında, çözünebilir tuzların tekrar kristalleşmesini engellemek amacıyla yapılmaktadır (Kılıç, 2017b: 37-38). Bu işlem havuz suyundaki tuz değerinin, 280 ppm değerine kadar düşürülmesiyle sonlanmaktadır. Havuz suyundaki tuz miktarının 280 ppm seviyesinde olması, PEG ile yapılacak olan konservasyon çalışmaları için uygun olarak kabul edilmektedir ve tuz miktarının daha fazla düşürülmesi için yapılacak olan çalışmalara gerek duyulmamaktadır (Kılıç, 2020b).

Tuzdan arındırma işlemi gerçekleştirildiği sırada, eş zamanlı olarak ahşaplardaki korozyon ürünleri, mekanik ve kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılmalıdır. Bu işlem için ilk olarak mekanik temizlik yapılmalıdır. Dişçi motorları, bistüri, dişçi aletleri gibi aletler, mekanik temizlikte kullanılan aletlerdendir. Dişçi motorları, kalın tabakalar halindeki korozyon ürünlerini kolay bir şekilde ahşaba zarar vermeden uzaklaştırırken, dişçi aletleri ile ahşaba yayılmış olan ince korozyon artıkları uzaklaştırılabilmektedir. Mekanik temizliğin tamamlanması ile kimyasal temizlik aşamasına geçilmelidir. Yenikapı Batıkları Projesi kapsamında gerçekleştirilen

kimyasal temizlik çalışmalarında, %5 disodyum EDTA ve %5 oksalik asitten meydana gelen bir çözelti, pamuk tamponlarıyla korozyonlu alanlara uygulanmaktadır. Bu işlem 45 dakikalık periyotlarla üç kez gerçekleştirilmektedir ve her tekrarda, ahşap saf su ile yıkanmaktadır (Kılıç, 2017a: 65-66). Korozyon ürünlerinin uzaklaştırılması, PEG ön-emdirmesinin ardından meydana gelebilecek olan sülfür oksidasyonunun önüne geçecektir.

Tuzdan arındırma, mekanik ve kimyasal temizlik işlemlerinin ardından ahşaplara konservasyon kimyasalı emdirme aşamasına geçilmelidir. Bu aşamada, ahşapların bozulma derecelerine göre konservasyon kimyasalının belirlenmesi gerekmektedir. YK 29 ahşaplarının bozulma derecelerine bakıldığı zaman, melamin formaldehit kullanımını gerektirecek kadar bozulmuş durumda olan tek bir ahşap olduğu (S-E13) görülmektedir. Diğer ahşaplar arasında hem oldukça az hem orta derecede hem de çok bozulmuş ahşaplar bulunmaktadır. Farklı bozulma derecelerine sahip olan ahşapların konservasyonu için farklı molekül ağırlıklı PEG'ler kullanılabildiğinden, melamin formaldehit yöntemine göre ahşapların stabilizasyonu için daha avantajlı durumdadır. Ayrıca melamin formaldehit yöntemi geri dönüşümsüz bir yöntem olmakla beraber sadece hızlı bir şekilde konservasyonu tamamlanması gereken, bozulma derecesi yüksek olan ahşaplarda kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde de suya doymuş ahşap konservasyonu için dünya genelinde yaygın olarak PEG ön-emdirme ve dondurarak kurutma yöntemi tercih edilmektedir. YK 29 batığı ahşapları arasında farklı bozulma derecelerine sahip ahşapların bulunması nedeniyle PEG ön-emdirmesinin yapılması ve ardından dondurarak kurutma işleminin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. PEG emdirilmesinin ardından ahşap bünyesinde kalan suyun buharlaşıp, çökme ve çekme gibi sorunlara yol açmaması için dondurarak kurutma yönteminin uygulanması doğru olacaktır. Dondurarak kurutma yöntemi tercih edilecekse PEG çözeltisinin konsantrasyonu, suyun buza dönüşmesini sağlayacak yeterli alanın sağlanması için %35-45 olmalıdır. YK 29 batığı için kurutma yönteminin ve konsantrasyonun belirlenmesinden sonra geriye kalan tek nokta kullanılacak olan PEG molekül ağırlığının belirlenmesidir.

Az bozulmuş olan ahşaplara veya farklı bozulma dereceleri gösteren tek bir ahşabın az bozulmuş bölümlerine penetre edebilmesi için düşük molekül ağırlıklı PEG tercih edilmelidir. Ancak düşük molekül ağırlıklı PEG kullanılsa bile YK 29 ahşaplarının hücre boşluklarında şişme etkisi yaratamayacak olmasından dolayı

ahşabın kuruma sonrasında uğrayacağı çekme, çökme ve çatlama engellenemeyecektir. Ayrıca düşük molekül ağırlıklı PEG oda sıcaklığında sıvı hale dönecektir. YK 29 batığı ahşaplarının sert olması nedeniyle örnek alımında sorun yaşanmıştır. Suya doymuş ahşaplar genellikle oldukça yumuşak durumda bulunurken YK 29 batığının çoğu ahşap elemanı sert durumdadır. YK 29 batığının bazı elemanları üzerinde yapılacak olan enine kesit incelemesi ile ahşapların farklı bozulma derecelerine sahip olup olmadığı tespit edilebilir. Eğer farklı bozulma dereceleri görülüyor ise kullanılacak olan yöntem iki aşamalı PEG emdirme yöntemi olmalıdır. Bozulma oranı yüksek olan alanlar için kullanılacak olan yüksek molekül ağırlıklı PEG, az bozulmuş alanlara giremeyecektir ancak bozulmaya uğramış olan hücre boşlukları ve lümenini doldurup yarattığı şişme etkisi ile stabilizasyonu sağlayacaktır. Böylece bozulma oranı düşük olan alanlar için düşük molekül ağırlıklı PEG kullanılarak hücre duvarında boyutsal durağanlık sağlanarak kurutma sonrasında bu alanlarda da sorun yaşanmayacaktır ve ahşabın genelinde stabilizasyon sağlanmış olacaktır. Maksimum su değeri %300'e kadar olan ahşaplar için PEG 2000, %300-600 arasında olanlara PEG 3350 ve %600 üzeri için PEG 4000 kullanılabilir. Tablo 3.1'deki sonuçlara bakıldığında YK 29 batığı için aynı emdirme tankı içerisinde PEG 2000 ile emdirme işlemine başlanıp daha sonra PEG 3350 ile devam edilmesi uygun olacaktır. YK 29 batığını oluşturan ahşaplar, 1. ve 2. sınıf bozulma derecelerine sahip oldukları için kullanılacak olan PEG 2000 ve PEG 3350'nin ahşaba ne kadar nüfuz edecekleri göz önünde bulundurulmalı ve buna göre bu PEG'lerin konsantrasyonuna kadar verilmelidir. Ahşapların bozulma dereceleri, tercih edilecek olan PEG türü ve nüfuz etme durumları ele alındığında %25 PEG 2000 ve ardından %20 PEG 3350 olarak toplamda %45 PEG emdirilmesi uygun olacaktır (Kılıç, 2020b). Molekül ağırlığının artışı ile erozyon bakterilerinin neden olduğu hasarlar da stabil hale getirilmektedir ve bu artış ile ahşaplar konservasyon sonrasında nemden etkilenmeyecektir. Emdirmenin oda sıcaklığında yapılması da PEG'in ısıtılarak emdirilmesinin getireceği molekül ağırlığının düşmesi, mikrobiyal oluşumların artışı, formaldehit salımı ve alkol (etanol, metanol veya izopropanol) içerisinde kullanılıyorsa yanma gibi sorunları önleyecektir.

Emdirme çalışmalarından sonra yapılacak olan kurutma çalışmalarına bir öneri sağlayabilmek için yapılan literatür taraması sonucunda elde edilen tüm veriler artı-eksi tablosu yapıldığında tüm eksiler kontrollü kurutmaya yazılmaktadır. Dondurarak

kurutma ile kontrollü kurutma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları karşılaştırıldığında dondurarak kurutma yöntemi üstün gelmektedir. Kontrollü kurutma ile dondurarak kurutma arasında bir karşılaştırma yapmak gerekirse ilk olarak konservasyon sonuçlarının başarısına bakılması gerekmektedir. Dondurarak kurutma sonrasındaki ahşap kondisyonu kontrollü kurutma sonrasındaki ahşap kondisyonuna göre daha iyidir. Dondurarak kurutulmuş olan ahşaplar, kontrollü kurutma yapılmış olan ahşaplara göre daha hafif, daha açık renkli olmaktadır ve kontrollü kurutma yapılan ahşaplar yağlı bir doku kazanmaktadır. Dondurarak kurutma yapılmış ahşapların daha hafif olmasının nedeni ahşaplara %35-45 konsantrasyon arasında PEG emdirilmesidir. Kontrollü kurutmada bu oran %70-90'a çıkmaktadır ve ahşabı ağırlaştırmaktadır. Bu ağırlık, konservasyonu tamamlanmış olan ahşapların sergilenmesinde sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca konsantrasyon %60'ı geçtiğinde PEG yoğun kıvamı nedeniyle ahşap içerisinde zor hareket edecek ve boşluklara tam anlamıyla nüfuz edemeyecektir. İyi bir nüfuz etme için PEG'in ısıtılması gerekmekte olup ısıtma, PEG'in molekül ağırlığının kaybedilmesine yani PEG'in bozulmasına sebep olacaktır. Kontrollü kurutmanın gerçekleştirilebilmesi için emdirilmesi gerekli olan PEG konsantrasyonu %70-90 arasındadır ve bu konsantrasyonlara ulaşmak için kullanılması gereken PEG miktarı oldukça fazla olacağından işlem maliyeti artacaktır. Dondurarak kurutma için tercih edilecek olan %35-45 arasındaki konsantrasyon ile maliyet oldukça düşmektedir. Yüksek konsantrasyondaki PEG'in ısıtılması ile biyolojik etkinlik artacak olup kullanılması gereken biyosit miktarı da artacaktır. Bu durum da yüksek olan PEG maliyetine ek maliyetler doğuracaktır (Kılıç, 2020c).

Kurutma aşamasında en önemli husus ahşapta oluşacak çekmeyi en aza indirmektir ve en düşük çekme oranı dondurarak kurutma yönteminde elde edilmektedir. PEG 2000 ve 3350 ile emdirme yapılması önerildiğinden bu PEG'lerin ötektik sıcaklığı belirlenmeli ve dondurarak kurutma cihazının ürün haznesinin sıcaklığı bu ötektik sıcaklığa göre ayarlanmalıdır. PEG 2000'in ötektik sıcaklığı yaklaşık olarak -22°C iken PEG 3350'de yaklaşık olarak -18°C'dir (Kılıç, 2017a: 144). Kurutmanın sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi için ürün haznesinin, PEG'in ötektik sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olması gerekmektedir. Dondurarak kurutma işleminin tamamlanmasıyla ahşaplar bağıl nemi %45-55 arasında olacak şekilde ayarlanmış bir ortamda, sergilenecekleri güne kadar depolanarak koruma altında tutulmalıdır (Kılıç, 2017a: 7).

SONUÇ

Tüm konservasyon çalışmalarında hedef eserin durağanlığını sağlamaktır. Eserlerin durağanlığını sağlamak için ise eserlerin fiziksel ve kimyasal durumunun tespiti sonucunda alınacak kararların bilimsel çalışmalara dayanması gerekmektedir.

Tez kapsamında YK 29 batığının ahşaplarına uygulanacak olan konservasyon yönteminin tespiti için ilk olarak aynı cins yeni ahşaplar incelenerek bozulmaya uğramamış ahşabın durumu hakkında bilgiler edinilmiştir. Bu bilgiler, YK 29 batığının ahşapları üzerinde yapılacak olan incelemeler sırasında karşılaştırma yapılmasına ve yaşanan bozulmanın anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Suya doymuş ahşabın bozulma durumunu yeni ahşap ile karşılaştırabilmek için suya doymuş ahşap üzerinde birtakım analizler gerçekleştirilmelidir. YK 29 batığının bozulma durumunun anlaşılabilmesi adına FTIR, XRF ve SEM analizleriyle beraber maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı tespitleri yapılmıştır. Bu analizlerin yapılması ve sonuçlarının elde edilmesi sadece veri toplamak olacağından dünya genelindeki suya doymuş ahşap konservasyonu çalışmaları incelenmiştir ve gerçekleştirilen analizlerin hangi yöntemle yapıldığı, sonuçlarının nasıl değerlendirildiği gibi konulara özellikle dikkat edilmiştir.

İlk olarak maksimum su içeriği tespitiyle ahşapların bozulma durumlarının sınıfları belirlenmiştir. Ayrıca bu sırada yoğunluk ve ahşap madde kaybı değerlerinin tespiti yapılmıştır. Elde edilen maksimum su içeriği değerleri %164-1275 arasındayken yoğunluk değerleri 0,11-0,45 g/cm³ ve ahşap madde kaybı değerleri %0-455 arasında bulunmuştur. Literatürde bu analizlerin yapıldığı tüm çalışmalara bakıldığında değerlerin YK 29 ahşaplarında elde edilen sonuçlar gibi ters orantılı olduğu görülmüştür. Tez çalışması kapsamında yer verilmemiş olan bazı örneklerde maksimum su içeriği ve ahşap madde kaybı değerleri eksi değerlerde bulunmuşken bu örneklerin yoğunluk değerlerinin de referans değerlerden oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu durum örneklerde korozyon ürünlerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır ve yanıltıcı sonuçlara neden olduğu için tez içerisinde bahsedilmemiştir. Ahşaplar maksimum su içeriğine göre sınıflandırıldığında, her sınıftan ahşap bulunduğu görülmektedir. İkinci bölümde anlatılan Dr. Namık Kılıç ve Dr. Aslı Gökçe Kılıç'ın çalışmaları sonucunda ulaşılan veriler ile YK 29'dan elde edilen verilere beraber bakıldığında yoğunluğun fazla olması durumunda maksimum

su içeriğinin ve ahşap madde kaybının azaldığı görülmektedir. Bu durum ahşap cinsi fark etmeksizin geçerli olmaktadır. Yoğunluğun fazla, maksimum su içeriğinin ve ahşap madde kaybının az olduğu durumlarda ahşapların iyi korunduğu söylenebilmektedir. YK 29 örneklerinin maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı sonuçlarına bakıldığında Servi cinsine ait olan örneklerin bir kısmının yoğunluklarının yeni ahşaba kısmen yakın olduğu ve bunların dışında kalan örneklerin yoğunluklarında ve ahşap madde oranında büyük kayıplar yaşandığı görülmektedir. Servi cinsine ait olan örnekler dışındaki diğer örneklerin maksimum su içeriklerinin ve ahşap madde kaybı değerlerinin fazla, yoğunluklarının az olması YK 29 ahşaplarının yüksek derecede bozulmaya uğradığını göstermektedir. Cins fark etmeksizin çok bozulmuş olan ahşapların büyük oranda selüloz ve hemiselüloz kaybettiği, ligninde küçük değişimler olduğu bilinmektedir. Ahşabın kimyasal yapı malzemelerinde yaşanan bozulma, FTIR analizlerinin sonuçları ile desteklenmişken hücresele seviyedeki fiziksel bozulma SEM görüntüleri ile kanıtlanmıştır.

FTIR analizi ile elde edilen YK 29 spektrumları, örnekler ile aynı cinsteki yeni ahşabın spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Spektrumlardaki parmak izi bölgesi olarak adlandırılan $1800-700\text{ cm}^{-1}$ bantlarına odaklanılarak bu bölgedeki YK 29 ahşaplarının spektrumlarının, yeni ahşap spektrumuna göre farklılık gösterdiği pikler tespit edilmiştir. Farklılık gösteren piklere karşılık gelen kimyasal değişimler, literatür taraması ile araştırılmıştır. Bu değişimler ahşaplarda ağırlıklı olarak selüloz ve hemiselülozdaki bozulmayı işaret etse lignin bozulmaları da FTIR analizi sonuçlarında görülmüştür. FTIR sonuçlarına göre selüloz ve hemiselülozun bozulmuş olması, maksimum su içeriği ve ahşap madde kaybı oranının yüksek çıkmasıyla paraleldir. Bu sonuçlar birbirini destekleyerek analiz sonuçlarının doğruluğunu desteklemektedir. Buradan çıkartılacak olan sonuç YK 29 ahşaplarında selüloz ve hemiselüloz kaybının büyük ölçüde yaşanmış olduğu ve lignindeki bozulmanın selüloz ve hemiselüloza göre daha az olduğudur.

Hücresele seviyedeki fiziksel bozulmanın ne şekilde gerçekleştiğini incelemek için SEM kullanılarak 50x-8000x arasındaki büyütme görüntüleri elde edilmiştir ve bu görüntüler üzerinden incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelerde ahşap hücrelerinin bozulma biçimleri görülmüştür. Genel olarak incelenen tüm örneklerde bozulma sonrasında hücre duvarlarının bozulmaya uğradığı anlaşılmıştır. Bazı örneklerin hücre duvarlarında bozulma derecesi daha düşük görülmüştür ve bu

durumdaki hücre duvarları, diğer hücre duvarları ile halen birleşik durumdadır. Bazı örneklerde ise hücre duvarlarının ayrışmaya uğrayarak bozulduğu, bazen de bozulmalar sonucunda boşlukların meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca korozyonlu örneklerde korozyonun yüzeyleri kapladığı veya hücre lümenlerine dolduğu görülmüştür. Tamamen korozyon ile kaplanmış olan örneklerin hücresel yapıları bu nedenden SEM incelemesinde görülmemiştir.

Son olarak XRF analizi ile ahşaplardaki elementel yapı ortaya konmuştur. Bu analizin esas amacı ahşapta bozulmaya neden olan demir ve sülfür elementlerinin miktarının ve ahşap boyunca dağılımlarının ortaya konmasıdır. Demir ve sülfür, ahşaba zarar vermelerinin yanında konservasyon çalışmalarında PEG tercih edildiğinde PEG ile etkileşime girerek sülfür oksidasyonu oluşturmaktadır. Ayrıca PEG iyi bir iyon taşıyıcı olduğundan demir elementinin ahşap boyunca yayılmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ahşaplardaki demir ile sülfür miktarı ve dağılımı araştırılarak gerekli önlemlerin alınması planlanmıştır. XRF analizi için alınan örnekler etiketlenirken korozyonlu bölgeye olan uzaklığına göre etiketlenmiştir. Böylece ahşaptaki demir ve sülfür dağılımı belirlenebilmiştir. Korozyonlu bölgelerden alınan örneklerde beklenildiği gibi demir ve sülfür oranı yüksek çıkmıştır. En yüksek demir ve sülfür oranı ortalaması İK12-1 örneğindedir ve %43,11 demir oranı ile %6,28 sülfür oranına sahiptir. İK12-1'in korozyon kaynağına uzak bölümünden alınan örnek incelendiğinde demir oranının %1,27'ye düştüğü belirlenmiştir. Sülfür varlığı ve miktarı da demirde olduğu gibi korozyonlu bölgede fazlayken korozyonlu bölgeye uzak alanda daha düşüktür. İK12-1, XRF analizi yapılmış olan örneklerden sadece biri olup XRF analizi yapılan diğer örneklerde de aynı durum ile karşılaşılmıştır. Korozyonlu bölgeye uzak bölgeden alınan örneklerde demir ve sülfür miktarı düşüken korozyonlu bölgeye yaklaştıkça miktarlar artmaktadır. Korozyonlu bölgelerdeki korozyon kaynağı gemi elemanlarının birleştirilmesi için kullanmış olan demir çivilerdir. Bu alanlardan, ahşabın diğer bölgelerine demir iyonları çeşitli nedenle taşınmaktadır. Ahşaplarda demir ve sülfür dışında birçok element bulunmuştur. Bu elementler Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Pr, Ce, Cr, Cs, Sb, Ba, La, Nd, Ta, As, Mn, V ve I elementleridir. Söz konusu elementlerin miktarları oldukça düşüktür. Bu düşük oranlı elementler kendi aralarında karşılaştırıldığında en yüksek değerler magnezyum, alüminyum, silisyum, fosfor ve kalsiyuma aittir. Demir ve sülfür oranlarının yüksek olduğu örneklerde kalsiyum, magnezyum ve silisyum oranlarının

da arttığı görülmektedir. Bu elementlerin Marmara Denizi'nin sedimentinden ahşaplara geçtiği düşünülmektedir.

Üçüncü bölümde yapılmış olan analiz değerlendirmelerinin sonucunda, YK 29 ahşaplarına PEG ön-emdirmesi ve ardından dondurarak kurutma işlemi gerçekleştirilmesi önerilmiştir. YK 29 batığı ahşaplarının konservasyonu için tek bir emdirme tankı içerisinde %25 konsantrasyonda PEG 2000 ile emdirme işlemine başlanması ve %20 konsantrasyonda PEG 3350 ile devam edilerek son aşamada çekme oranının en aza indirgenmesi için dondurarak kurutma ile konservasyon işleminin bitirilmesi doğru olacaktır.

Tez çalışmasının ilk bölümünden, bu noktaya kadar açıklanmış olan tüm bilgiler, YK 29 batığı üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve konservasyon önerisi, dünya genelinde suya doymuş ahşap üzerinde yapılmış olan bilimsel çalışmalardan elde edilen verilere dayanmaktadır.

KAYNAKÇA

- ABREU, H. S., "Lignin Structure and Wood Properties", **Wood and Fiber Science**, 31:4, s. 426.
NASCIMENTO, A. M.,
MARIA, M. A., 1999
- ADLER, D., 2013 **A Study of the Molecular Mechanics of Wood Cell Walls**, Massachusetts Institute Of Technology.
- AKKEMİK, Ü., 2015 **Yenikapı Batıkları Cilt II - Yenikapı Batıklarının Ahşapları / Yenikapı Shipwrecks Volume II – Woods of Yenikapı Shipwrecks**, Ege Yayınları, İstanbul.
- AKKEMİK, Ü.,
KOCABAŞ, U., 2014 "Woods of Byzantine Trade Ships of Yenikapı (Istanbul) and Changes In Wood Use From 6th to 11th Century", **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 14.2, 317–327.
- ALMKVIST, G.,
HOCKER, E.,
SAHLSTEDT, M., 2013 "Iron Removal from Waterlogged Wood (Çevrimiçi)", <https://www.vasamuseet.se/globalassets/vasamuseet/dokument/bevarande/iron-removal-from-waterlogged-wood.pdf>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- AMBROSE, W. R., 1990 "Application of Freeze-Drying to Archaeological Wood", Ed. R. J.Barbour, R. M. Rowell, Properties, **Archaeological Wood, Chemistry, and Preservation**, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, s. 235–263, Washington DC.
- AMOROS, V. A., 2016 "The History of Conifers in Egypt, Part 1: Mediterranean Cypress", Ed. Ursula Thanheiser, **News from the Past: Progress in African Archaeobotany, Proceedings of the 7th International Workshop on African Archaeobotany in Vienna 2-5 July 2012**, Barkhuis Publishing, Groningen, 2016.
- ANAGNOST, S. E., 1998 "Light Microscopic Diagnosis of Wood Decay", **IAWA Journal**, 19:2, s. 141-167
- ATEŞ, B., 2014 Sustainability of Cultural Heritage 2014, BASF Press Release, İstanbul.
- BABINSKI, L., 2007 "Influence of Pre-Treatment on Shrinkage of Freeze-Dried Archaeological Oak-Wood", **Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar**, 6:4, s.89-99
- BABINSKI, L., 2011 "Investigations on Pre-treatment Prior to Freeze-Drying of Archaeological Aine Wood with Abnormal

- Shrinkage Anisotropy”, **Journal of Archaeological Science**, 38, s. 1709-1715.
- BABINSKI, L., IZDEBSKA-MUCHA, D., WALISZEWSKA, B., 2014 “Evaluation of the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood Based on Its Physical Properties: Basic Density vs. Wood Substance Density”, **Journal of Archaeological Science**, 46, s. 372-383.
- BERNAL, R. A., VALENTE, A., PISSARA, J., 2011 “Wood Identification of 18th Century Furniture. Interpreting Wood Naming Inventaires”, **International Journal of Conservation Science**, 2:3, s. 165-178.
- BIERMANN, C. J., 1996 **Handbook of Pulping and Papermaking 2nd Edition**, Academic Press, ABD.
- BIGER, G., LIPHSCHITZ, N., 1991 “The Recent Distribution of Pinus Brutia: A Reassessment Based on Dendroarchaeological and Dendrohistorical Evidence from Israel”, **The Holocene**, 1:2, s. 157-161.
- BIGIO, E., GARTNER, H., CONEDERA, M., 2010 “Fire-Related Features Of Wood Anatomy in A Sweet Chestnut (Castanea Sativa) Coppice in Southern Switzerland”, **Trees**, 24, s. 643-655.
- BLANCHETTE, R. A., NILSSON T., DANIEL G., ABAD, A., 1990 “Biological Degradation of Wood”, Ed. R. J.Barbour, R. M. Rowell, **Properties, Archaeological Wood, Chemistry, and Preservation**, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, s. 141-174, Washington DC.
- BLANCHETTE, R. A., 1994 “Degradation of the Lignocellulose Complex in Wood”, **Canadian Journal of Botany**, 73, s. 999-1010.
- BJÖRDAL, C. G., NILSSON, T., DANIEL, G., 1999 “Microbial Decay of Waterlogged Archaeological Wood Found in Sweden”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 43, s. 63-73.
- BJÖRDAL, C. G., NILSSON, T., 2001 “Observations on Microbial Growth during Conservation Treatment of Waterlogged Archaeological Wood”, **Studies in Conservation**, 46:3, s. 211-220
- BJÖRDAL, C. G., 2012 “Microbial Degradation of Waterlogged Archaeological Wood”, **Journal of Cultural Heritage**, 13(3), s. 118-122.
- BOZKURT, Y., ERDİN, N., 2013 **Odun Anatomisi**, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

- BRODA, M., MAZELA, B., KROLIKOWSKA-PATARAJA, K., SIUDA, J., 2015 "The State of Degradation of Waterlogged Wood from Different Environments", **Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology**, 91, s. 23-27.
- BRODA, M., MAZELA, B., RADKA, K., 2018 "Methyltrimethoxysilane As A Stabilising Agent For Archaeological waterlogged Wood Differing in the Degree Of Degradation", **Journal of Cultural Heritage**, s. 1-11.
- CAN, A., SİVRİKAYA, H., 2017 "Mantar Tahribatına Uğramış Titrek Kavak Odununun FT-IR Yöntemiyle Kimyasal Analizi. Chemical Characterization of Fungal Deterioration In Populus Alba By FT-IR", **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 19:1, s. 139-147
- CAPLE, C., MURRAY, W., 1994 "Characterization of a Waterlogged Charred Wood and Development of a Conservation Treatment", **Studies in Conservation**, 39:1, s. 28-38.
- CARBALLO-MEILAN, A., GOODMAN, A. M., BARON, M.G., GONZALES-RODRIGUEZ, J., 2014 "A Specific Case in the Classification of Woods by FTIR and Chemometric: Discrimination of Fagales From Malpighiales", **Cellulose**, 21:1, s. 261-273.
- CARPETTI, C., MACCHIONI, N., PIZZO, B., 2008 "The Characterization of Waterlogged Archaeological Wood: The Three Roman Ships Found in Naples (Italy)", **Archaeometry**, 50:5, s. 855-876.
- CASTAGNA, M., 1961 **Shipworms and Other Marine Borers**, United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service Bureau of Commercial Fisheries, Fishery Leaflet 505, Washington DC.
- CESAR, T., DANEVCIC, T., KAVKLER, K., STOPAR, D., 2016 "Melamine Polymerization in Organic Solutions and Waterlogged Archaeological Wood Studied by FTIR Spectroscopy", **Journal of Cultural Heritage**, 23, s. 106-110
- CHRISTENSEN, M., FROSCH, M., JENSEN, P., SCHNELL U., SHASHOUA, Y., NIELSEN, O. F., 2006 "Waterlogged Archaeological Wood-Chemical Changes by Conservation and Degradation", **Journal of Raman Spectroscopy**, 37, s. 1171-1178
- CLARIANT INTERNATIONAL LTD., 2015 **Polymers for Industrial Applications: Polyalkylene / Polyethylene Glycols**, Switzerland.

- CLAUSEN, C. A., 2010 “Biodeterioration of Wood”, **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**, USDA Forest Service, s. 14.1-14.15, Madison.
- CHRISTENSEN, M., KUTZKE, H., HANSEN, F. K., 2012 “New Materials Used for the Consolidation of Archaeological Wood—Past Attempts, Present Struggles, and Future Requirements”, **Journal of Cultural Heritage**, 13S, s. 183-190.
- COLOMBINI, M. P., LUCEJKO, J. J., MODUGNO, F., ORLANDI, M., TOLPPA E. L., ZOIA, L., 2009 “A Multi-Analytical Study of Degradation of Lignin in Archaeological Waterlogged Wood”, **Talanta**, 80:1, s. 61-70.
- CONNERS, T., 2015 “Introduction to Wood Structure and Characteristics”, **Agriculture and Natural Resources Publications**, 104.
- COTE Jr, W. A., 1968 “The Structure of Wood and the Wood Cell Wall”, **Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood**, Springer-Verlag, s. 1-54, New York.
- COTE Jr, W. A., 1968 “Chemical Composition of Wood”, **Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood**, Springer-Verlag, s. 55-78, New York.
- CRETTE, S. A., NASANEN, L. M., GONZALEZ-PEREYRA, N. G., RENNISON, B., 2013 “Conservation of Waterlogged Archaeological Corks Using Supercritical CO₂ And Treatment Monitoring Using Structured-Light 3D Scanning”, **The Journal of Supercritical Fluids**, 79, s. 299-313.
- ÇETİN, H., 2009 **Deniz Zararlılarına Maruz Kalmış İğne Yapraklı Odunların Fiziksel ve Kimyasal Yönden İncelenmesi**, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- DANIEL, G., 2014 “Fungal and Bacterial Biodegradation: White Rots, Brown Rots, Soft Rots, and Bacterias”. Ed. T. P. Schultz, B. Goodell, D. D. Nicholas, **Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials**, ACS Symposium Series Vol. 1158, s. 23-58.
- DAVISON, B. H., PARKS, J., DAVIS M. F., DONOHOE, B. S., 2013 “Plant Cell Walls: Basics of Structure, Chemistry, Accessibility and the Influence on Conversion”, **Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals**, John Wiley & Sons, s. 23-38.

- DE JONG, J., EENKHOORN, W., WEVERS, A. J. M., 1982 "The Conservation Of Shipwrecks at The Museum of Maritime Archaeology at Ketelhaven", **Rapporten Inzake de Inrichting en Ontwikkeling Van de Ijsselmeerpolders en Andere Landaanwinningswerken**, 199, Smedinghuis.
- DEDIC, D., 2013 **The Warship Vasa: A Study of Lignin, Extractives and Acids in the Oak Wood**, KTH Royal Institute of Technology Department of Fibre and Polymer Technology, Stockholm.
- ERDİN, N., 2009 **Ahşap Konservasyonu**, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- ESTEVEZ, B., MARQUES, A. V., DOMINGOS, I., PEREIRA, H., 2013 "Chemical Changes of Heat Treated Pine and Eucalypt Wood Monitored by FTIR", **Maderas**, 15:2, s. 245-258.
- FLORIAN, M. L. E., 1990 "Scope and History of Archaeological Wood", Ed. R. J. Barbour, R. M. Rowell, Properties, **Archaeological Wood, Chemistry, and Preservation**, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, s. 3–32, Washington DC.
- FORS, Y., SANDSTÖRM, M., 2006 "Sulfur and Iron in Shipwrecks Cause Conservation Concerns", **The Royal Society of Chemistry**, 35, s. 399–415.
- FORS, Y., 2008 **Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood – The Origin, Speciation and Distribution of Accumulated Sulfur With Some Remedies for the Vasa**, Department of Physical, Inorganic and Structural Chemistry Stockholm University, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- FORS, Y., JALILEHVAND, F., SANDSTRÖM, M., 2011 "Analytical Aspects of Waterlogged Wood in Historical Shipwrecks", **Analytical Sciences**, 27, s. 785-792.
- FORS, Y., JALILEHVAND, F., RISBERG, E., BJÖRDAL, C., PHILLIPS, E., SANDSTRÖM, M., 2012 "Sulfur And Iron Analyses of Marine Archaeological Wood in Shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian Waters", **Journal of Archaeological Science**, 39, s. 2521-2532.
- FORS, Y., GRUDD, H., RINDBY, A., BORNMALM, L., 2015 "X-Ray Fluorescence For Cultural Heritage: Scanning Biochemical Fingerprints In Archaeological Shipwrecks", **Spectroscopy Europe**, 21:1, s. 11-13.

- GILLON, J., 2002 "Marine Archaeology: Acid Attack", **Nature**, 415-21, s. 847.
- GIORGI, R., "Nanoparticles of Calcium Hydroxide for Wood
CHELAZZI, D., Conservation the Deacidification of the Vasa
BAGLIONI, P., 2005 Warship", **Langmuir**, 21, s. 10743-10748.
- GLAVCHEVA, Z., "Development Of FTIR Spectra Database of Reference
VELCHEVA, E., Art and Archaeological Materials", **Bulgarian
YANCHEVA, D., Chemical Communications**, 46, s. 164-169.
STAMBOLIYSKA, B.
A, 2014
- GRATTAN, D. W., "The Potential of the Canadian Winter Climate fort he
MCCAWLEY, J. C., Freeze-Drying of Degraded Waterlogged Wood",
1978 **Studies in Conservation**, 23:4, s.157-167.
- GRATTAN, D. W., 1982 "A Practical Comparative Study of Several Treatments
for Waterlogged Wood", **Studies in Conservation**,
27:3, s. 124-136.
- GRATTAN, D. W., 1987 "Conservation of Waterlogged Wood", Ed. C. Pearson,
**Conservation of Marine Archaeological
Objects**, s.55-67, Butterworth.
- GRATTAN, D. W., "Conservation of Waterlogged Wood", Ed. C. Pearson,
CLARKE R. W., 1987 **Conservation of Marine Archaeological
Objects**, s.164-206, Butterworth.
- GRAVE, B. H., 1928 "Natural History of Shipworm, *Teredo navalis*, at
Woods Hole, Massachusetts", **Biological Bulletin**,
55:4, s. 260-282.
- GREGORY, D., "Conservation and in Situ Preservation of Wooden
JENSEN, P., Shipwrecks from Marine Environments", **Journal of
STRAEKVERN, K., Cultural Heritage**, 13:3, s. 139-148.
2012
- GÜLER, T., 2019 **Yenikapı 20 Batığının Konstrüksiyon Özellikleri ve
Yapım Tekniği Önerisi**, İstanbul Üniversitesi Sosyal
Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi.
- GÜLTEKİN, G., 2014 **Bazı Yapraklı ve İğne Yapraklı Ağaçların Diri ve Öz
Odunlarının Kimyasal, Morfolojik, Anatomik,
Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi**,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.

- GÜNTER, M., SCHÖPPER, C., HUBERT, V., KHARAZIPOUR, A., POLLE, A., 2009 "FTIR-ATR Spectroscopic Analyses of Changes in Wood Properties During Particle and Fibreboard Production of Hard and Softwood Trees", **Bioresources**, 4:1, s. 49-71.
- HAFORS, B., 2010 **Conservation of the Wood of the Swedish Warship Vasa of A.D. 1628: Evaluation of Polyethylene Glycol**, Gothenburg Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- HAMILTON, D. L., 1999 **Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites**, Conservation of Cultural Resources I, Nautical Archaeology Program, Texas A&M University.
- HECKER, F., 2011 (Çevrimiçi) <http://naturfoto-hecker.photoshelter.com/gallery/Schiffsbohrwurm-Teredo-navalis/G00004cq.4OqJiBk>, Erişim Tarihi: 15.07.2020.
- HENRIKSSON, G., BRANNVALL, E., LENNHOLM, H., 2009 "The Trees", **Pulp and Paper Chemistry and Technology Volume 1**, Ed. M. Ek, G. Gellerstedt, G. Henriksson, De Gruyter, s. 13-44, Stockholm.
- HISTORIC ENGLAND, 2018 **Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on Their Recovery, Analysis and Conservation**, Historic England.
- HOCKER, E., ALMKVIST, G., SAHLSTEDT, M., 2012 "The Vasa Experience With Polyethylene Glycol: A Conservator's Perspective", **Journal of Cultural Heritage**, 13S, s. 175-182.
- HOFFMANN, P., 1986 "On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG II Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers", **Studies in Conservation**, 31, s. 103-113.
- HOFFMANN P., JONES M. A., 1990 "Structure and Degradation Process for Waterlogged Archaeological Wood", Ed. R. J. Barbour, R. M. Rowell, **Properties, Archaeological Wood, Chemistry, and Preservation**, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, s. 35-65, Washington DC.
- HOVDAN, M., SANDVOLL, B., THOME, P., 2015 "Conservation of A 17th Century Boat, Barcode 6, for Exhibition", Ed. K. Piotrowska, P. Konieczny, **Condition 2015 Conservation and Digitalization Conference Proceeding**, s. 31-38, Gdańsk.

- HUNT, A. M. W., SPEAKMAN, R. J., 2015 “Portable XRF Analysis Of Archaeological Sediments And Ceramics”, **Journal of Archaeological Science**, 53, s. 626-638.
- IBACH, R. E., 2012 “Biological Properties of Wood”, **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, s. 99-126, ABD.
- JAMES, B., 2009 “Advances in “Wet” Electron Microscopy Techniques and Their Application to the Study of Food Structure”, **Trends in Food Science & Technology**, 20, s. 114-124.
- JURGENS, J. A., BLANCHETTE, R. A., 2006 “Characterization of Wood Destroying Microorganisms in Archaeological Woods from Marine Environments”, **International Academy of Wood Science Meeting 2005**.
- JELIC, A., 2014 “Organic Material”, Ed. L. Bekic, **Conservation of Underwater Archaeological Finds Manual**, International Centre for Underwater Archaeology in Zadar, s. 60-75.
- JENSEN, P., JORGENSEN, G., SCHNELL, U., 2002 “Dynamic LV-SEM Analyses of Freeze Drying Processes for Waterlogged Wood”, Ed. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J.A. Spriggs, D. Gregory, **Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference**, 319-334, Stockholm.
- JENSEN, P., SCHNELL, U., 2005 “The Implications of Using Low Molecular Weight PEG for Impregnation of Waterlogged Archaeological Wood Prior to Freeze Drying”, Ed. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J.A. Spriggs, D. Gregory, **Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference**: 279-307, Copenhagen.
- JONES, P.P., SLATER, N. K. H., JONES, M., WARD, K., SMITH, D. E., 2009 “Investigating the Processes Necessary for Satisfactory Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wood”, **Journal of Archaeological Science**, 36, s. 2177-2183.
- KARAMANI-PEKİN, A., KANGAL, S., 2007 **Gün Işığında İstanbul’un 8000 Yılı: Marmaray, Metro, Sultanahmet Kazıları**, Istanbul.
- KEECH, O., CARCAILLET, C., NILSSON, M. C., 2005 “Adsorption of Allelopathic Compounds by Wood-Derived Charcoal: The Role of Wood Porosity”, **Plant and Soil**, 272, s. 291-300

- KIRK, T. K., SHIMADA, M., 1985 “Lignin Biodegradation: The Microorganisms Involved and the Physiology and Biochemistry of Degradation by White-Rot Fungi”, Ed. T. Higuchi, **Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components**, Academic Press, s. 579-605.
- KILIÇ, N., 2013 **Yenikapı 12 Batığında Kullanılacak Konservasyon Yönteminin Araştırılması ve Koruma Uygulaması**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- KILIÇ, N., 2016 “Conservation of A Group of Frames From YK 16 Shipwreck”, **Art-Sanat**, 6/2016, s. 85-97.
- KILIÇ, N., 2017a **Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- KILIÇ, N., 2017c “YK 3 Batığına Ait İleri Derecede Bozulmuş Bir Grup Suya Doymuş Ahşabın Konservasyonu”, **Art-Sanat**, 8/2017, s. 139-151.
- KILIÇ, N., 2018 Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ile Yapılan Kişisel Görüşme, 1 Temmuz 2018.
- KILIÇ, N., 2020b Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ile Yapılan Kişisel Görüşme, 29 Nisan 2020.
- KILIÇ, A. G., 2017b **Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- KILIÇ, A. G., 2020a Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç ile Yapılan Kişisel Görüşme, 15 Temmuz 2020.
- KILIÇ, N., KILIÇ, A. G., 2018 “Analysis of Waterlogged Woods: Example of Yenikapı Shipwrecks”, **Art-Sanat**, 9/2018, s. 1-11.
- KILIÇ, N., KILIÇ, A. G., 2019a “An Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated with Melamine Formaldehyde”, **Vibrational Spectroscopy**, 105.
- KILIÇ, N., KILIÇ, A. G., 2019b “Physical Properties for the Characterization of Waterlogged Archaeological Woods of Eight Yenikapı

- Shipwrecks from Byzantine Period”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 19:2, s. 133-148.
- KILIÇ, N., KILIÇ, A. G., 2020 Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ve Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç ile Yapılan Kişisel Görüşme, 12.07.2020.
- KIZILTAN, Z., BARAN-ÇELİK, G., 2013 **Saklı Limandan Hikayeler Yenikapı’nın Batıkları**, İstanbul.
- KOCABAŞ, U., 2008 **Yenikapı Batıkları Cilt I – Yenikapı’nın Eski Gemileri 1 / Yenikapı Shipwrecks Volume I – The “Old Ships” of the “New Gate” 1**, Ege Yayınları, İstanbul.
- KOCABAŞ, U., 2010 **İstanbul Arkeoloji Müzeleri Marmaray-Metro Kurtarma Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 5-6 Mayıs 2008 / Istanbul Archaeological Museums Proceedings of the 1st Symposium on Marmaray-Metro Salvage Excavations 5th-6th May 2008**, İstanbul.
- KOCABAŞ, U., 2012 “The Latest Link in the Long Tradition of Maritime Archaeology in Turkey: The Yenikapı Shipwrecks”, **European Journal of Archaeology**, 15.1, s. 1–15.
- KOCABAŞ, U., 2015a “The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: A Preliminary Report and Inventory of the 27 Wrecks Studied by Istanbul University”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 44:1, s. 5-38.
- KOCABAŞ, U., 2015b **Geçmiş Açılan Kapı: Yenikapı Batıkları**, İstanbul.
- KOCABAŞ, U., ÖZSAİT-KOCABAŞ, H. I., 2010 “Shipwrecks at the Theodosian Harbour”, **Transferts Technologiques en Architecture Navale Méditerranéenne de l'Antiquité Aux Temps modernes: Identité Technique et Identité Culturelle**, Institut Français d'Études Anatoliennes-Georges Dumézil, s. 109-127.
- KOHDZUMA, Y., 2005 **Characteristics of Archaeological Waterlogged Wood**, ACCU Nara.
- KÖSE, C., 2013 “Microbial Decomposition in Waterlogged Wood: Some Examples from the Yenikapı Shipwrecks”, **Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 2013**, s. 65-74.
- LIRITZIS, I., ZACHARIAS, N., 2011 “Portable XRF of Archaeological Artifacts: Current Research, Potentials and Limitations”, Ed. M. Steven

Shackley, **X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology**, s. 109-142, Springer, New York.

- LUCEJKO, J. J., "Analytical Instrumental Techniques to Study Archaeological Wood Degradation", **Applied Spectroscopy Reviews**, 50:7, s. 584-625.
- MODUGNO, F.,
- RIBECHINI, E.,
- TAMBURINI, D.,
- COLOMBINI, M. P., 2015
- MANTLER, M., "X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology", **X-Ray Spectrom**, 29, s. 3-17.
- SCHREINER, M., 2000
- McCONNACHIE, G., "A Re-Evaluation of the Use of Maximum Moisture Content Data for Assessing the Condition of Waterlogged Archaeological Wood", **e-Preservation Science**, 5, s. 29-35.
- EATON, R., JONES, M., 2008
- MILLER, R. G., 1999 "Structure of Wood", **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**, USDA Forest Service, s. 2.1-2.4, Madison.
- MORTENSEN, M. N., 2009 **Stabilization of Polyethylene Glycol in Archaeological Wood**, Technical University of Denmark, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Danish Polymer Centre, Danimarka. Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- MÜLLER-WIENER, W., 1998 **Bizans'tan Osmanlı'ya İstanbul Limanı**, İstanbul
- NILSSON, T., 2009 "Biological Wood Degradation", **Pulp and Paper Chemistry and Technology Volume 1**, Ed. M. Ek, G. Gellerstedt, G. Henriksson, De Gruyter, s. 219-244, Stockholm.
- NIREESHA, GR., "Lyophilization/Freeze Drying-An Review", **International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences**, 3:4, s. 87-98.
- DIVYA, L., SOWMYA, C., VENKATESHAN, N., NIRAJYAN BABU, M., LAVAKUMAR, V., 2013
- ODTÜ MERKEZİ LABORATUVAR X-Işını Floresans Spektrometresi (Çevrimiçi), <https://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-floresans-spektrometresi>, Erişim Tarihi: 29.05.2020
- ÖZSAİT-KOCABAŞ, H. I., 2010 **Yenikapı 12 Batığı: Yapım Tekniği ve Rekonstrüksiyon Önerisi**, İstanbul Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.

- PARRISH, K. K., BULTMAN, J. D., 1979 **A Closed Recirculating Aquarium System for Laboratory Culture of 'Limnoria tripunctata**, Naval Research Laboratory, Washington DC.
- PIZZO, B., PECORARO, E., MACCHIONI, N., 2013 "A New Method to Quantitatively Evaluate the Chemical Composition of Waterlogged Wood by Means of Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared (ATR FT-IR) Measurements Carried Out on Wet Material", **Applied Spectroscopy**, 67:5, s. 553-562.
- PIZZO, B., PECORARO, E., ALVES, A., MACCHIONI, N., 2015 "Quantitative Evaluation by Attenuated Total Reflectance Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopy of the Chemical Composition of Decayed Wood Preserved in Waterlogged Conditions", **Talanta**, 131, s. 14-20.
- PUCETAITE, M., 2012 **Archaeological Wood from the Swedish Warship Vasa Studied by Infrared Microscopy**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Lund Üniversitesi.
- QUAYLE, D. B., 1992 **Marine Wood Borers in British Columbia**, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 115.
- REMAZEILLES, C., TRAN, K., GUILMINOT, E., CONFORTO, E., REFAIT, P., 2013 "Study of Fe(II) Sulphides in Waterlogged Archaeological Wood", **Studies in Conservation**, 58:4, s. 297-307.
- RODGERS, B. A., 2004 **The Archaeologist's Manual For Conservation - Guide to Non-Toxic, Minimal Intervention Artifact Stabilization**, Kluwer Academic/Plenum Publishers, ABD.
- ROWELL, R. M., 2012 "Moisture Properties", **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, s. 75-98, ABD.
- ROWELL, R. M., PETERSEN, R., HAN, J.S., ROWELL J. S., TSHABALALA, M. A., 2012 "Cell Wall Chemistry", **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, s. 34-72, ABD.

- RUEL, K., BARNOUD, F., 1985 "Degradation of Wood by Microorganisms", Ed. T. Higuchi, **Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components**, Academic Press, s. 441-467.
- SANDAK, A., SANDAK, J., BABINSKI, L., PAULINY, D., RIGGIO, M., 2014 "Spectral Analysis of Changes to Pine and Oak Wood Natural Polymers After Short-Term Waterlogging", **Polymer Degradation and Stability**, 99, s. 68-79.
- SANDSTRÖM, M., JALILEHVAND, F., DAMIAN, E., FORS, Y., GELIUS, U., JONES, M., SALOME, M., 2005 "Sulfur Accumulation in the Timbers of King Henry VIII's Warship Mary Rose: A Pathway in the Sulfur Cycle of Conservation Concern", **PNAS**, 102:40, s. 14165–14170.
- SCHNELL, U., JENSEN, P., 2007 "Determination of Maximum Freeze Drying Temperature for PEG-Impregnated Archaeological Wood", **Studies in Conservation**, 52:1, s. 50-58.
- SCHNIEWIND A. P., 1990 "Physical and Mechanical Properties of Archaeological Wood", Ed. R. J.Barbour, R. M. Rowell, **Properties, Archaeological Wood, Chemistry, and Preservation**, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, s. 87–109, Washington DC.
- SELWYN, S., RENNIE-BISALLION, D. A., BINNIE, N. E., 1993 "Metal Corrosion Rates in Aqueous Treatments for Waterlogged Wood-Metal Composites", **Studies in Conservation**, 38:3, s. 180-197.
- SINGH, A. P., 2012 "A Review of Microbial Decay Types Found in Wooden Objects of Cultural Heritage Recovered from Buried and Waterlogged Environments", **Journal of Cultural Heritage**, 13S, s. 16-20.
- SİVRİKAYA, H., 2018 "Investigations on Wood Destroying Marine Borers in The Turkish Coastal Waters", **Proceedings of the International Forest Products Congress**, s. 156- 163, Trabzon.
- TAIZ, L. ve ZEIGER, E., 2010 **Plant Physiology**, Sinauer Associates Inc, ABD.
- THOMAS, S. N., 2002 **Marine Biodeterioration**, Central Institute of Fisheries Technology, Matsyapuri.
- TINTNER, J., SMIDT, E., TIEBEN, J., RESCHREITER, H., "Aging of Wood Under Long-Term Storage in A Salt Environment", *Wood Sci Technol*, 50, s. 953-961.

- KOWARIK, K.,
GRABNER, M., 2016
- TRAORE, M., KAAL, J.,
CORTIZAS, A. M., 2015 “Application of FTIR Spectroscopy to the Characterization of Archaeological Wood”, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 153, s. 63-70.
- TRENEMAN, N. C.,
BORGES, L. M. S.,
SHIPWAY J. R.,
RAUPACH, M. J.,
ALTERMARK, B.,
CARLTON, J. T., 2018 “A Molecular Phylogeny of Wood-Borers (Teredinidae) from Japanese Tsunami Marine Debris”, **Aquatic Invasions**, 13:1, s. 101-112.
- UNGER, A.,
SCHNIEWIND, A. P.,
UNGER, W., 2001 **Conservation of Wood Artifacts**, Ed. A. Unger, W. Unger, A. P. Schniewind, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- VEROVNIK, R.,
PREVORCNIK, S.,
JUGOVIC, J., 2009 “Description of a Neotype for Asellus Aquaticus Linne, 1758 (Crustacea: Isopoda: Asellidae), with Description of a New Subterranean Asellus Species From Europe”, **Zoologischer Anzeiger**, 248, s. 101-118.
- WALKER, J. C. F., 1993 “Basic Wood Chemistry and Cell Wall Ultrastructure”, **Primary Wood Processing**, Chapman & Hall, s. 23-67, Londra.
- WHEELER, E.,
MANCHESTER, S. R.,
2007 “Review Of The Wood Anatomy of Extant Ulmaceae As Context For New Reports Of Late Eocene Ulmus Woods”, **Bulletin of Geosciences**, 82:4, s. 329-342.
- WIEDENHOEFT, A. C.,
2010 “Structure and Function of Wood”, **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**, USDA Forest Service, s. 3.1-3.18, Madison.
- WIEDENHOEFT, A. C.,
2012 “Structure and Function of Wood”, **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, s. 9-32, ABD.
- WORLD
AGROFORESTRY
(ICRAF) Tree Functional Attributes and Ecological Database (Çevrimiçi), <http://db.worldagroforestry.org/wd>, Erişim Tarihi: 05.04.2020
- XIA, Y., CHEN, T. Y.,
WEN, J. L., ZHAO, Y.,
QIU, J., SUN, R. C., 2018 “Multi-Analysis of Chemical Transformations of Lignin Macromolecules from Waterlogged Archaeological Wood”, **International Journal of Biological Macromolecules**, 109, s. 407-416.