

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİKAPI 16 BATIĞININ FİZİKSEL,
KİMYASAL VE BİYOLOJİK BOZULMALARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ VE KORUMA ÖNERİSİ

Sedef ÖZTÜRK

2501180854

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Namık KILIÇ

İSTANBUL-2021

Bu tez çalışması İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: SYL-2020-3551

ÖZ

YENİKAPI 16 BATIĞININ FİZİKSEL, KİMYASAL VE BİYOLOJİK BOZULMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KORUMA ÖNERİSİ

Sedef ÖZTÜRK

Yenikapı Batıkları, 2004-2013 yılları arasında İstanbul Arkeoloji Müzeleri tarafından gerçekleştirilen kurtarma kazılarıyla gün yüzüne çıkartılmıştır. Kazılarda ele geçen 37 batıktan 27 adedinin belgeleme çalışmaları ile 31 adedinin konservasyon ve analiz çalışmaları İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sualtı Kültür Kalıntıların Koruma Anabilim Dalı tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasının konusunu oluşturan Yenikapı (YK) 16 batığı, Bizans donanmasında kullanılan kürekli bir savaş gemisi olduğundan batık grubu içerisinde ayrı bir öneme sahiptir. MS 8-9. yy'a tarihlendirilen YK 16 batığının ortaya çıkarıldığında bozulmaya uğradığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında, yaşanan bozulmanın boyutunu ve nedenlerini incelemek amacıyla çeşitli analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple, batığın ahşap elemanlarından alınan örnekler üzerinde fiziksel bozulma derecesini tanımlayabilmek için maksimum su içeriği (U_{max}), yoğunluk ve ahşap madde kaybı analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda batığa ait ahşap elemanların maksimum su içeriği %336-1467 arasında; yoğunluk değerleri 0,07-0,25 g/cm³ arasında; ahşap madde kaybı ise %84-842,85 arasında bulunmuştur. Bunun dışında örnekler üzerinde SEM ile görüntüleme yapılarak ahşabın hücre yapısında meydana gelen deformasyon ve fiziksel hasarlar belirlenmiştir. Alınan örnekler üzerinde FT-IR analizi ile ahşabın kimyasal yapısını oluşturan selüloz, hemiselüloz ve lignin yapılarının degradasyona uğradığı tespit edilmiştir. Yaşanan kimyasal bozulmayı anlamak amacıyla uygulanan XRF analizi ile ahşabın bünyesindeki demir, sülfür, kalsiyum vd. elementlerin varlığı ortaya çıkarılmıştır. Uygulanan tüm bu enstrümental analizler sonucunda batığa ait ahşap

elemanların geçirmiş olduğu değişimlerin kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Ayrıca kimyasal yapıyı daha detaylı kavramak amacıyla düzenli pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda YK 16 batığına ait ileri derecede bozulmaya uğramış ahşap elemanlar için melamin formaldehit; nispeten daha iyi durumda olan ahşap elemanlar için ise PEG öndirmeli vakumlu dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak konservasyonun tamamlanması önerilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Yenikapı Batıkları, Yenikapı 16, suya doymuş ahşap, fiziksel bozulma, kimyasal bozulma, biyolojik bozulma, konservasyon.

ABSTRACT

EVALUATION OF PHYSICAL, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL DEGRADATION OF YENİKAPI 16 SHIPWRECK AND THE CONSERVATION PROPOSAL

Sedef ÖZTÜRK

The Yenikapı Shipwrecks were unearthed during salvage excavations between 2004-2013 by the Istanbul Archeological Museums. Documentation of 27 shipwrecks and conservation and analyses of 31 shipwrecks have been carried out in Istanbul University, Division of Conservation of Marine Archaeological Objects.

The Yenikapı (YK) 16 shipwreck, which is the subject of this thesis study, has a special significance in the shipwrecks group since it is a galley that is thought to be used in the Byzantine navy. When the waterlogged woods of the YK 16 shipwreck dated to the 8-9th century AD were uncovered, it was found that they were degraded and not to be in good condition. Within the scope of the study, various analyses were carried out to investigate the extent and causes of the degradation. For this reason, maximum water content (U_{max}), density, and wood substance loss calculations were performed to determine the degree of physical degradation of the samples taken from the shipwreck. In the calculations, the maximum water content of the samples were found to be between %336-1467; density values were between 0.07-0.25 g/cm³; values of the wood substance loss were between %84-842.85. In addition, deformations occurring in the cell structure of wood and physical damages were determined by imaging on the samples with the SEM analysis. It was determined that the cellulose, hemicellulose, and lignin sections, constituting the chemical structure of the wood, were degraded by FT-IR analysis on the samples. Furthermore, the presence of iron, sulfur, calcium, etc. elements in the wood was detected with the XRF analysis in order to determine the chemical degradation. As a result of all these instrumental analyses, a comprehensive

examination of the changes in the waterlogged woods of the shipwreck was carried out. In addition, pH measurements were performed regularly to understand the chemical structure better. As a result of the evaluation of the data obtained, it has been decided to complete the conservation by using melamine formaldehyde for the highly degraded woods and the PEG pre-impregnated vacuum freeze-drying method for those woods which are relatively in better condition.

KEYWORDS: Yenikapı shipwrecks, Yenikapı 16, waterlogged wood, physical degradation, chemical degradation, biological degradation, conservation.



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Yenikapı batıkları kadirga grubu içerisinde bulunan YK 16 batığına ait ahşap elemanlar değerlendirilmiştir. Batık ahşaplarından alınan örnekler üzerinde bir dizi analiz çalışması uygulanarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan yaşanan bozulma süreci ve nedenleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen tüm bilgiler ışığında uygulanacak olan uygun konservasyon yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Tez konumun belirlenmesinde bilgi ve birikimi ile yardımlarını esirgemeyen, bu konuyu çalışmam için beni yönlendiren ve lisans hayatımdan itibaren İÜ Yenikapı Batıkları Projesi ekibi içerisinde yer almamı sağlayan değerli hocam proje başkanı Prof. Dr. Ufuk Kocabaş'a, tez çalışmamın başarılı bir şekilde tamamlanmasında desteğini esirgemeyen, yardım eden ve sabırla yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Namık Kılıç'a, bilimsel çalışmalarımızı kendilerine bağlı olarak sürdürdüğümüz İstanbul Arkeoloji Müzeleri Müdürlüğü'ne ve müze müdürü Rahmi Asal'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Analiz çalışmalarımın gerçekleştirilmesi ve yorumlanması olmak üzere tezimin her aşamasında büyük yardımlar sağlayan ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç'a, biyolojik bozulma bölümü içerisinde böcek türlerinin tespiti konusunda yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Oya Özuluğ'a, yardımlarıyla tezime katkıda bulunan ve ahşap cins-tür analizlerini gerçekleştiren değerli hocam Prof. Dr. Ünal Akkemik'e, Yenikapı Batıkları ile ilgili çalışmalarda yardımları ve destekleriyle yanımda olan değerli hocalarım Doç. Dr. Işıl Özsait-Kocabaş, Dr. Öğr. Üyesi Evren Türkmenoğlu, Arş. Gör. Dr. Taner Güler ve Restoratör- Konservatör Hakan Kahraman'a teşekkür ederim.

Çalışmamın tamamlanması için gerekli olan örneklerin alımında yardımcı olan ve destek sağlayan arkadaşlarım Hilal Güler, Osman Haktan Uygun, Çişil Şanlıgençler'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın başarılı bir şekilde tamamlanmasında finansal destek sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: SYL-2020-35513) teşekkür ederim.

Lisans hayatım boyunca bana yol gösteren, zorlandığım her konuda yardımlarını esirgemeyen ve destek olan Prof. Dr. Gülgün Köroğlu ve tezimin içeriğini inceleyip, değerlendirmelerini benimle paylaşan Prof. Dr. Kemalettin Köroğlu'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen, metni sabırla redakte eden ve büyük fedakârlık sergileyerek her alanda yanımda olan babam Süleyman Öztürk, annem Ebru Öztürk'e içtenlikle şükranlarımı sunar; tüm bu süreç boyunca sabırla yanımda olan erkek arkadaşım Ozan Hetto'ya teşekkür ederim.

Sedef Öztürk
2021, İstanbul

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENEL KAVRAMLAR

1.1. Yenikapı Kazıları ve YK 16 Batığı	5
1.2. Ahşap ve Suya Doymuş Ahşap	8
1.2.1. Makroskobik ve Mikroskobik Yapı.....	9
1.2.2. Kimyasal Değerlendirme	16
1.3. Suya Doymuş Ahşapta Bozulma.....	20
1.3.1. Fiziksel Bozulma	20
1.3.2. Kimyasal Bozulma.....	22
1.3.3. Biyolojik Bozulma.....	23

İKİNCİ BÖLÜM YK 16 BATIĞININ SUYA DOYMUŞ AHŞAP ELEMENLARINDAN ÖRNEK ALIMI VE ANALİZ UYGULAMALARI

2.1. Kısa Süreli Depolama	26
2.2. Materyal ve Metot.....	30

2.2.1. Ahşap Elemanların Maksimum Su İçeriğinin Hesaplanması	37
2.2.2. Ahşap Elemanların Yoğunluklarının Hesaplanması.....	39
2.2.3. Ahşap Elemanların Madde Kaybının Hesaplanması	40
2.2.4. Ahşap Elemanlarda SEM Analizi	41
2.2.5. Ahşap Elemanlarda FTIR Analizi.....	45
2.2.6. Ahşap Elemanlarda XRF Analizi	48
2.2.7. Ahşap Elemanlarda pH Ölçümü	49

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YK 16 BATIĞININ BOZULMA DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE KORUMA ÖNERİSİ

3.1. Fiziksel Bozulma.....	51
3.2. Kimyasal Bozulma.....	65
3.3. Biyolojik Bozulma	84
3.4. Koruma Önerisi.....	96
SONUÇ	100
KAYNAKÇA	105

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kazı alanı ve batıkların genel görünümü.	6
Şekil 1.2: YK 16 batığının kazı alanındaki genel görünümü.	7
Şekil 1.3:YK 16 batığının eğrilerinin epoksi destek yardımıyla yerinden kaldırma çalışması.	8
Şekil 1.4: Ağaç gövdesinin enine kesit halindeki yapısal bölümleri.	11
Şekil 1.5: Ağacın hücre yapısının üç boyutlu şematik görünümü (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).	12
Şekil 1.6: YK 16'ya ait çınar ağacından elde edilmiş omurganın enine kesit görünümü.	13
Şekil 1.7: YK 16 batığının çam ağacına ait SK2-1 numaralı parçasının enine kesitinin SEM görüntüsü.	14
Şekil 1.8: Hücre çeperinin şematik olarak canlandırması.	15
Şekil 1.9: Odunun ana ve diğer bileşenlerinin şablon halinde gösterimi.	16
Şekil 1.10:Selüloz polimerin kısmi yapısı.	17
Şekil 1.11: Hemiselülozu meydana getiren altı ve beş karbonlu şekerlerin yapısı.	18
Şekil 1.12: Lignini oluşturan üç farklı fenilpropan birimin yapısı.	19
Şekil 1.13: Suyu doymuş ahşabın maksimum su içeriği ve yoğunluk arasındaki ilişkinin bir grafik üzerinden gösterimi.	21
Şekil 1.14: Sualtı ortamında mikroskobik ve makroskobik canlıların etkileşiminin şematik gösterimi.	24
Şekil 2.1 YK 16 batığı ahşap elemanlarının depolandığı havuzlar.	27
Şekil 2.2: YK 16 batığının ahşap elemanlarının bulunduğu havuzların tuz ölçümler.	28
Şekil 2.3: YK 16 batığının eğrileri üzerinde gerçekleştirilen mekanik temizlik çalışması.	29
Şekil 2.4: Omurga üzerinde daldırma (sol) ve tampon (sağ) yöntemi ile gerçekleştirilen kimyasal temizlik çalışması.	30
Şekil 2.5: Alınan örneklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma durumunun tespitinde uygulanan analiz metotları	31

Şekil 2.6: YK 16'dan alınan örneklerin çizim üzerinde gösterimi.....	32
Şekil 2.7: YK 16 batığı ahşap elemanlarının cins ve tür özelliklerinin çizim üzerinde gösterimi.....	32
Şekil 2.8: Artım burgusu ile YK 16 batığının omurgası üzerinde örnek alımı.	33
Şekil 2.9: Parçalardan örnek alımı	34
Şekil 2.10: İ-E41 numaralı ahşap eleman üzerinde örnek alımının yapıldığı bölge	35
Şekil 2.11: İ-E115 numaralı ahşap eleman üzerinde örnek alımının yapıldığı bölge...	35
Şekil 2.12: Konservasyon uygulamaları öncesinde eser üzerinde dikkate alınması ve izlenmesi gereken adımların şematik biçimde gösterimi	36
Şekil 2.13: Batıktan alınan örneklerin ıslak ağırlığının ölçümü.	37
Şekil 2.14: Farklı maksimum su içeriği değerlerine sahip suya doymuş ahşapların enine kesit görünüşleri.	38
Şekil 2.15: Batıktan alınan örneklerin yüzerliliklerinin ölçümü.....	39
Şekil 2.16: Batıklardan alınan örneklerin fırın kurusu ağırlıklarının ölçümü.....	40
Şekil 2.17: SEM için örnek yüzeyinden kesit alımı.....	42
Şekil 2.18: Çınar cinsi ahşabın kesit görünüşleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).....	43
Şekil 2.19: Karaağaç cinsi ahşabın kesit görünüşleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).....	43
Şekil 2.20: Çam cinsi ahşabın kesit görünüşleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).....	44
Şekil 2.21: Gökmar cinsi ahşabın kesit görünüşleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).....	44
Şekil 2.22: SEM cihazı ile YK 16 batığı üzerinde gerçekleştirilen incelemeler.....	45
Şekil 2.23: İndikatör şeritler ile batığa ait örneklerin pH ölçümü.....	49
Şekil 2.24: Toz haline getirilen örneklerin saf su içerisinde bekletilmesi ve pH ölçümü.....	50
Şekil 3.1: Örneklere ait maksimum su içeriği ve yoğunluk değerlerinin grafik üzerinden gösterimi.....	53
Şekil 3.2: E120 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü.....	56

Şekil 3.3: E67 numaralı karaağaçtan elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.....	57
Şekil 3.4: İ- E65 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.....	58
Şekil 3.5: SÇT 1-1 numaralı göknar ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü	59
Şekil 3.6: SÇT 1-1 numaralı göknar ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüleri.....	60
Şekil 3.7: SK 1-3 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.....	61
Şekil 3.8: SK 1-3 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri.....	62
Şekil 3.9: İ-E41 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.....	62
Şekil 3.10: İ-E41 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri.....	63
Şekil 3.11: SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü.	64
Şekil 3.12: SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 3.13: E67 numaralı ahşabın (mavi) ve referans karaağaç (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	67
Şekil 3.14: E120 numaralı ahşabın (mavi) ve referans çınar (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	69
Şekil 3.15: İ-E41 numaralı ahşabın (mavi) ve referans çınar (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	72
Şekil 3.16: İ-E65 numaralı ahşabın (mavi) ve referans çınar (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	74
Şekil 3.17: SÇT 1-1 numaralı ahşabın (mavi) ve referans göknar (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.	76
Şekil 3.18: SK 1-3 numaralı ahşabın (mavi) ve referans çam (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	78

Şekil 3.19: SK 3-2 numaralı ahşabın (mavi) ve referans çam (kırmızı) örneklerinin FTIR spektrumları.....	81
Şekil 3.20: pH ölçümü (20.03.2020) sonucu indikatör şeritlerin genel görünümü....	83
Şekil 3.21: Bakterilerin arız olma şekillerine göre şematik görünümü.....	86
Şekil 3.22: <i>Teredo navalis</i> yumuşakçasının görünümü.	88
Şekil 3.23: <i>Teredo navalis</i> canlısının ahşaba verdiği hasarın çizim üzerinde gösterimi.....	89
Şekil 3.24: OM-3 parçasında bulunmuş kalsiyum karbonat tünel kalıntısı.....	89
Şekil 3.25: Teğet (A), Radyal (B) ve Enine (C) yönde kesilmiş ahşap düzlemler üzerinde <i>Teredo navalis</i> canlısının açtığı tünellerin yönleri ve sıklığının illüstrasyonu.....	90
Şekil 3.26: <i>Teredo navalis</i> canlısının ahşap yüzeyinde oluşturduğu hasar.....	91
Şekil 3.27: <i>Limnoria</i> 'ların ahşap içerisindeki görünümü.....	92
Şekil 3.28: <i>Limnoria</i> 'ların suya doymuş ahşap üzerinde yarattığı tahribat.....	92
Şekil 3.29: <i>Asellus sp. 'nin</i> genel görünümü.....	93
Şekil 3.30: <i>Asellus sp.</i> canlısının suya doymuş ahşap üzerindeki görüntüsü.....	93
Şekil 3.31: Kısa süreli depolama sırasında eğri yüzeyinde <i>Asellus sp.</i> hasarı.	93
Şekil 3.32: <i>Xylota sylvarum</i> canlısının suya doymuş ahşap üzerindeki görünümü ...	94
Şekil 3.33: <i>Xylota sylvarum</i> larvasının genel görünümü.....	94
Şekil 3.34: <i>Myathropa florea</i> larvasının çizimi	95
Şekil 3.35: Havuzlarda tespit edilen <i>Myathropa florea</i> canlısının gelişim evreleri..	96
Şekil 3.36: YK16 batığının bazı eğrilerinin konservasyon öncesi (üst) ve sonrası (alt).....	98

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Mantar ve bakteri gibi mikroorganizmaların gelişim göstermeleri için gerekli olan faktörler.....	23
Tablo 2.1: Taze ahşap cinslerinin ortalama yoğunluk değerleri.	41
Tablo 2.2: FTIR analizi sonucu ahşaptaki bant pozisyonları ve fonksiyonel grupları.	47
Tablo 3.1: Alınan örneklerden bazılarının fiziksel durumları.....	54-55
Tablo 3.2: YK 16 batığı ahşap elemanlarının XRF analizi sonucu yarı kantitatif element miktarları (%).	82
Tablo 3.3: pH ölçümü sonucu elde edilen ortalama değerler.....	84

SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde.
°	: Derece.
C	: Celsius.
C	: Karbon.
Ca	: Kalsiyum.
Cl	: Klor.
cm	: Santimetre.
g	: Gram.
H	: Hidrojen.
H₂O	: Su.
K	: Potasyum.
m	: Metre.
m²	: Metrekare.
Mg	: Magnezyum.
Mn	: Mangan.
N	: Azot.
Na	: Sodyum.
O	: Oksijen.
pH	: Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması.
Ppm	: Milyonda bir.

KISALTMALAR LİSTESİ

Bkz.	: Bakınız.
Çev.	: Çeviren.
E	: Eğri.
E-S	: Eğrinin sancak postası.
Ed.	: Editör.
FTIR	: Fourier-transform infrared spectroscopy/Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi.
İB	: İskele burma.
İ- E	: İskele yönü eğri.
İçOm	: İç omurga.
İÇT	: İskele çapa tahtası.
İK	: İskele kaplama.
İÜ	: İstanbul Üniversitesi.
MS	: Milattan sonra.
NMR	: Nuclear magnetic resonance spectroscopy/Nükleer manyetik rezonans spektroskopisi.
Om	: Omurga.
py-GC	: Pyrolysis-gas chromatography/Pyrolysis-gaz kromatografisi.
s.	: sayfa/sayfalar.
SB	: Sancak burma.
S-E	: Sancak yönü eğri.
SEM	: Scanning electron microscope/Taramalı elektron mikroskobu.
SEM-EDX	: Scanning electron microscope-Energy dispersive spectrometry/Taramalı elektron mikroskobu-Enerji dağılımı spektrometresi.
SK	: Sancak kaplama.
UV	: Ultraviyole.
vb.	: Ve benzeri.
vd.	: Ve devamı ve diğerleri.
XPS	: X-ray photoelectron spectroscopy/X-ışını fotoelektron spektroskopisi.

XRD	: X-ray diffraction spectroscopy/X-ışını difraktometresi.
XRF	: X-ray fluorescence spectroscopy/X-ışını floresans spektrometresi.
YBO	: Yeri belli olmayan.
YK	: Yenikapı.
yy.	: Yüzyıl.



GİRİŞ

Yenikapı kurtarma kazıları ile ortaya çıkarılan 37 batık 2004 yılından günümüze kadar çok sayıda bilimsel çalışmanın konusunu oluşturmuş, çeşitli sempozyumlarda tartışılmış, kitap ve makale olarak yayınlanmıştır. Bu batıklar birçok bakımdan dikkat çekici özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden en önemlisi dünyanın en geniş Ortaçağ batık gemi koleksiyonunu oluşturmasıdır (Kocabaş, 2015b: 5-7; Kocabaş, 2015a: 7). İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sualtı Kültür Kalıntılarını Koruma Anabilim Dalı tarafından 27 adet batığın belgeleme ve 31 adet batığın ise konservasyon çalışmaları üstlenilmiştir (Kocabaş, 2015b: 6; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 39).

Bu batıklardan biri olan Yenikapı 16, 8. yüzyıla ait kadırgalardan biri olması nedeniyle de ayrı bir öneme sahiptir (Kocabaş, 2015a: 95-97; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37-38; Kocabaş, 2012: 33-36; Kocabaş, Kızıltan 2015: 116-117).

Yenikapı Kazıları ve bu batığa ilişkin ilk veriler 2008 yılında basılmış olan “The ‘Old Ships’ of the ‘New Gate’ 1, Yenikapı Shipwrecks, Vol. I/ Yenikapı’nın Eski Gemileri 1, Yenikapı Batıkları, Cilt I” kitabı ile bilim dünyasına tanıtılmıştır. Ardından YK 16 batığına ilişkin daha detaylı verilere 2015 yılında Prof. Dr. Ufuk Kocabaş tarafından hazırlanmış olan “Geçmişe Açılan Kapı: Yenikapı Batıkları” kitabında ve “The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, İstanbul, Turkey: A Preliminary Report and Inventory of the 27 Wrecks Studied by Istanbul University” makalesinde ulaşılmaktadır.

Bu batığın suya doymuş ahşap elemanlarının belgeleme ve konservasyon işlemlerini tamamlayarak müzede sergilenebilir ya da depolanabilir hale getirilmesi İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Projesinin nihai hedefleri arasındadır. Batığın ahşap elemanlarının stabilizasyonu ve konsolidasyonunu sağlayabilmek için öncelikle gözeneklerinde bulunan suyun uzaklaştırılması ve yerine uygun bir konservasyon kimyasalının emdirilmesi gerekmektedir (Florian, 1990: 20; Kılıç, 2017b: 28-33; Kılıç, 2017a: 19; Kılıç, 2013: 37-38; Gregory, vd., 2012: 5140-5141; Werz, Seeman, 1993: 38-40).

Doğru konservasyon yönteminin belirlenememesi ya da sürecin kontrol edilememesi durumunda yaşanan buharlaşma sonucu yüzey tansiyonu oluşarak çarpılma, çatlama, çekme ve çökme gibi birtakım fiziksel deformasyonlar meydana gelir (Erdin, Bozkurt, 2013: 228-232; Schniewind, 1990: 89; Florian, 1990: 20; Kılıç, 2017b: 22; Kılıç, 2017a: 17; Anita, 2014: 62-63). Yaşanacak olan deformasyonun boyutu ahşabın gözeneklerinde var olan su miktarı ile doğru orantılıdır. Su oranı arttıkça yaşanacak olan deformasyonun boyutu da artmaktadır (Kılıç, 2017a: 14; Schniewind, 1990: 87-109; Florian, 1990: 5-6; Fix, 2015: 75; Björddal, 2012b: 118; Grattan, 1982: 124; Colombini, vd., 2009: 61- 62; McConnachie, vd., 2008: 29-30; Capretti, vd., 2008: 856-864; Hamilton, 1999: 24; Anita, 2014: 61-62; Köse, 2013: 90).

Kullanılacak olan en doğru konservasyon malzemesinin seçilebilmesi için ahşabın gömülü kaldığı süreç içerisindeki değişiminin detaylıca anlaşılması önemlidir (Hofmann, 1986: 103; Anita, 2011: 57; Kılıç, 2017a: 19; Kılıç, 2013: 37-38; Schindelholz, vd., 2007: 18-20).

Batığa ait ahşap elemanların kazı alanında yerinden kaldırma çalışmaları sırasında özellikle eğri sisteminin ileri derecede bozulmaya uğradığı tespit edilmiştir. Epoksi destekler yardımıyla laboratuvara taşınan bu ahşap elemanların yok olmadan koruma altına alınması amacıyla melamin formaldehit yöntemi ile konservasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya ilişkin veriler Doç. Dr. Namık Kılıç tarafından 2016 yılında yayınlanmış olan “Conservation of a Group of Frames from YK 16 Shipwreck (Yenikapı 16 Batığına Ait Bir Grup Eğrinin Konservasyonu)” makalesinde detaylıca aktarılmıştır. Ayrıca Doç. Dr. Namık Kılıç ve Dr. Öğretim Üyesi Aslı Gökçe Kılıç tarafından 2019 yılında yayınlanmış olan “An Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated With Malemine Formaldehyde” ve “Physical Properties for the Characterization of Waterlogged Archaeological Woods of Eight Yenikapı Shipwrecks from Byzantine Period” makalelerinde de YK 16 batığına yer verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında batığa ait hiçbir uygulama yapılmamış ahşap elemanlardan örnekler alınarak bir dizi analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler dâhilinde bozulma nedenleri, bozulmaya neden olan etkenler ve bozulma durumu gibi daha kapsamlı sorulara ilişkin cevaplar aranmış, böylece YK 16 batığının daha iyi şartlar altında korunabilmesi hedeflenmiştir. Bu sürecin iyi yönetilmesi analiz sonuçlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesine bağlı olup, batık ahşaplarının konservasyonunun yapılabilmesine katkı sağlamıştır (Schniewind, 1990: 88-89; Kılıç, Kılıç, 2018: 1- 10; Kılıç, 2013; 25; Kılıç, 2015: 204; Babinski, vd., 2014: 374- 375; Hamilton, 1999: 24). Tüm verilerin değerlendirilmesi suya doymuş ahşap üzerinde gerçekleştirilecek çalışmalarla bilgi alışverişinde bulunulması ve konservasyon alanına katkıda sağlaması hedeflenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümü içerisinde ilk olarak genel kavramlar başlığı altında Yenikapı Kazılarına ve tez çalışmasının konusunu oluşturan YK 16 batığına değinilmiştir. Ardından bu çalışmanın ana konusunu oluşturan ahşap ve suya doymuş ahşabı tanımlayarak; makroskobik ve mikroskobik yapısı ile kimyasal yapısı karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu bölüm sonrasında suya doymuş ahşabın gömülü kaldığı süreçte yaşadığı değişim, kimyasal bozulma, fiziksel bozulma ve biyolojik bozulma bölümünde detaylıca irdelenerek aktarılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise YK 16 batığının suya doymuş ahşap elemanlarından örnek alımı ve analiz uygulamaları başlığı altında demonte halde sökülen batığa ait ahşap elemanların aktif konservasyon işlemleri gerçekleştirilene kadarki depolama, tuzdan arındırma, biyolojik aktivasyonu önleme, metal ve bileşiklerinin arındırılması gibi gerçekleştirilen bir dizi çalışmaya değinilmiştir. Batık ahşap elemanlarından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen hesaplamalar ve analiz yöntemleri materyal ve metot bölümü altında ele alınarak detaylıca verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümde YK 16 batığının bozulma durumunun değerlendirilmesi ve koruma önerisi altında, analiz çalışmaları sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Fiziksel anlamda yaşanan değişimi anlamak için yoğunluk, maksimum su içeriği (%), ahşap madde kaybı (%) hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca Scanning electron microscope, SEM/Taramalı elektron

mikroskobu ile yapılan incelemelerde batığın hücre yapısı içerisinde yaşanan bozulma görüntülenmiştir. Bu analiz uygulamaları sonucu elde edilen veriler fiziksel bozulma bölümünde değerlendirilerek aktarılmıştır.

Ahşabın kimyasal yapısında yaşanan değişimi anlamak için örneklerin pH değerleri ölçülmüştür. Bunun dışında Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR/Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi ile ölçümler yapılarak selüloz, hemiselüloz ve lignin değerlerinde meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. Ahşapların elementel yapısını belirlemek amacıyla X-ray fluorescence spectroscopy, XRF/X-Işını floresans spektrometresi ile incelemeler yapılmış, bu analiz uygulamaları sonucu elde edilen veriler kimyasal bozulma bölümünde değerlendirilerek aktarılmıştır.

Ahşapta yaşanan biyolojik bozulmayı anlamak için görsel incelemeler gerçekleştirilmiş, yapılan incelemeler sonucu elde edilen veriler ve görüntüler biyolojik bozulma bölümünde değerlendirilerek aktarılmıştır.

Yapılan tüm analiz çalışmaları sonucu elde edilen veriler dâhilinde sergileme ve depolama sürecinde batık için en doğru olan konservasyon yöntemi üzerine bir öneri sunulmuş ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR

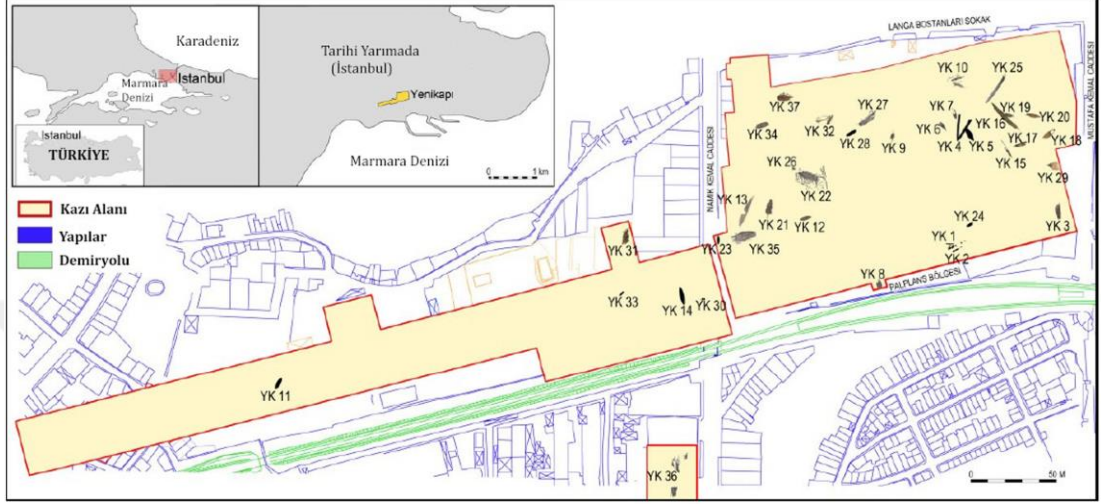
1.1. Yenikapı Kazıları ve YK 16 Batığı

Yenikapı'daki Marmaray-Metro projesi kapsamında sürdürülen çalışmalarda Theodosius Limanına ait kalıntılara rastlanılmasının ardından İstanbul Arkeoloji Müzeleri Başkanlığında kurtarma kazıları başlatılmıştır (Kocabaş, 2015a: 29; Kocabaş, 2015b: 5-7; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37; Başaran, 2012: 19). Arkeolojik kazılar 2004-2013 yılları arasında 58.000 m² bir alanda sürdürülmüştür. Bu alanda Geç Osmanlı Döneminden Neolitik Döneme kadar yüz binlerce organik-inorganik eser ve mimari buluntunun yanı sıra 37 adet batık ortaya çıkarılmıştır (Kocabaş, 2015a: 37-40; Kocabaş, 2015b: 5-7; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37). Batıklar ve diğer organik malzemeler Lykos (Bayrampaşa) deresinin taşıdığı alüvyon, kil ve dolgu ile örtüldüğü için göreceli olarak korunmuş halde bulunmuştur. Buradaki buluntu grubu Ortaçağa ait en geniş koleksiyon olarak nitelendirilmektedir (Kocabaş, 2015a: 7; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37; Kocabaş, 2012: 33-36; Özsait-Kocabaş, 2012: 39). Bizim konumuzu oluşturan Yenikapı batıkları, bu koleksiyonun en dikkat çekici buluntuları arasındadır.

Batıklar, genel olarak 5-11. yüzyıllar arasına tarihlendirilmektedir. Ortaya çıkarılması, belgeleme, yerinden kaldırma ve konservasyon gibi bir dizi çalışma İstanbul Üniversitesi Sualtı Kültür Kalıntılarını Koruma Anabilim Dalı ile Sualtı Arkeoloji Enstitüsü (INA) tarafından gerçekleştirilmiştir (Pulak, vd., 2014). Toplam 37 batıktan 27 tanesinin belgeleme ve yerinden kaldırma çalışması Prof. Dr. Ufuk Kocabaş ve ekibi tarafından yapılmıştır (Kocabaş, 2015a: 7; Kocabaş, 2015b: 6; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37). Ön çalışmaların tamamlanmasının ardından her bir batık parçalar halinde yerinden kaldırılarak İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Projesi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında bulunan paslanmaz çelik havuzlar içerisine yerleştirilmiştir (Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 39). Ayrıca INA ekibi tarafından kaldırılan 4 batığa ait ahşap elemanlar bu laboratuvara getirilmiştir. İstanbul Üniversitesinin laboratuvarına taşınan toplam 31 gemi kalıntısının

konservasyonu ile 27 geminin rekonstrüksiyon çalışmaları halen devam etmektedir (Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2013: 37; Kocabaş, 2012: 99).

Şekil 1.1: Kazı alanı ve batıkların genel görünümü.



Kaynak: Kocabaş, 2015b: 10.

Yenikapı’da çıkartılan 37 batığın çoğunluğunu oluşturan 31 adeti kıyı denizciliğinde kullanılan ticaret gemisi; 6 adeti de donanmada kullanılan ince uzun yapılı kürekli kadirga olarak tanımlanmaktadır (Kocabaş, 2015a: 48-55; Kocabaş, 2015b: 10-11; Kocabaş, 2012: 99). Bizans donanmasında kullanılmış olabileceği düşünülen kadirga grubu daha önceki çalışmalarda az belgelenmiş olması bakımından ayrı bir öneme sahiptir. Tezin konusunu oluşturan YK 16, yapılan

radıyokarbon analizleri sonucunda 720-742 yılları arasına tarihlendirilmiştir. Bu batığın korunan uzunluğu 22,50 m ve genişliği ise 2,40 m'dir (Kocabaş, 2015a: 95; Kocabaş, 2015b: 26- 27; Kocabaş, 2012: 176).

Batığın belgelenerek İstanbul Üniversitesi laboratuvarına taşınan toplam 239 adet ahşap elemanı bulunmaktadır. Bu ahşap elemanlar arasında omurga, iç omurga, baş bodoslama parçası, eğri sisteminin büyük bir çoğunluğu, 2 adet iç kuşak, 2 adet çapa tahtası ve dış kaplamalar tanımlanmıştır (Kocabaş, 2015a: 95; Kocabaş, 2015b: 27; Kocabaş, 2012: 176-180).

Şekil 1.2: YK 16 batığının kazı alanındaki genel görünümü.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Bu parçaların yerinden kaldırılma çalışmaları sırasında ileri derecede bozulmaya uğradığı tespit edilmiştir (Kılıç, 2016). Bu bozulmada ağaç cinslerinin de etkili olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle eğri sisteminde kullanılan karaağaç (*Ulmus L.*) ve çınardan (*Platanus Orientalis L.*) yapılmış döşeklerin ortamdan daha fazla

etkilendiği tespit edilmiştir¹ (Akkemik, 2015: 56-63; Kocabaş, 2015a: 96). Bu nedenle bazı bölümler epoksi destekler yardımıyla kaldırılabilmiştir (Kılıç, 2016: 87).

Şekil 1.3:YK 16 batığının eğrilerinin epoksi destek yardımıyla yerinden kaldırma çalışması.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Yerinden kaldırılarak laboratuvara taşınan bir grup eğrinin melamin formaldehit yöntemi kullanılarak konservasyonu tamamlanmış, böylece bu parçaların boyutsal anlamda stabilizasyonu ve konsolidasyonu sağlanmıştır (Kılıç, 2016).

1.2. Ahşap ve Suya Doymuş Ahşap

Odunsu hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşan ahşap, iğne yapraklı (*gymnosperm*) ve geniş yapraklı (*angiosperm*) olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Genel olarak geniş yapraklı ağaçlar² iğne yapraklı ağaçlardan³ daha yoğun ve

¹ Fiziksel bozulma durumunun tespiti amacıyla gerçekleştirilen hesaplamalar sonucu elde edilen veriler bu görüşü destekler nitelikte olmuştur. Karaağaç cinsi ahşap elemanların maksimum su içeriği %600-1233; yoğunluk değerleri 0,08-0,19 olarak hesaplanmıştır. Çınar cinsi ahşap elemanların ise maksimum su içeriği %510-1467; yoğunluk değerleri 0,07-0,18 olarak belirlenmiştir.

² Çınar, karaağaç, akçaağaç, dişbudak, ıhlamur, kestane, kızılğaç, kayın huş, gürgen, kavak gibi ağaçlar başlıca geniş yapraklı ağaçlar arasında yer almaktadır (Erdin, Bozkurt, 2013: 340-373).

³ Göknar, çam, ardıç, servi, sedir, ladin, porsuk gibi ağaçlar başlıca iğne yapraklı ağaçlar arasında yer almaktadır (Erdin, Bozkurt, 2013: 318-338).

karmaşık bir yapıya sahiptir (Rodgers, 2004: 36). Her iki cins için makroskobik ve mikroskobik yapı büyük ölçüde değişiklik göstermesine karşın, odunsu hücreleri oluşturan üç ana bileşen mevcuttur. Bunlar selüloz, hemiselüloz ve lignindir (Mortensen, 2009: 2-4; Grattan, 1987: 56; Erdin, Bozkurt, 2013: 21; Hedges, 1990: 112; Cronyn, 1990: 246; Fors, 2008:8; Anita, 2011: 60; Hamilton, 1999: 22; Blanchette, 2000: 189-190; Babinski, vd., 2014: 373; Christensen, vd., 2006: 1173-1174).

Ahşap uzun süre ıslak ve nemli bir ortamda kaldığında suyu bünyesine alarak zaman içerisinde suya doymuş ahşap niteliği kazanır. Suyu doymuş ahşap, bu süreç içerisinde fiziksel ve kimyasal açıdan değişim yaşar (Hoffmann, Jones, 1990: 35; Florian, 1990: 5; Mortensen, 2009: 5-6; Grattan, 1987: 55; Kılıç, 2013: 20; Kılıç, 2017a: 14-15; Anita, 2011: 61). Yaşanan değişimlerin tümü biyotik⁴ ve abiyotik⁵ açıdan yaşanan bozulmalara katkıda bulunur (Blanchette, 2000; Palla, vd., 2014: 247). Değişimin boyutu; ahşabın özellikleri (cinsi, yaşı, kullanım şekli vd.) ve ortam şartlarına (sıcaklık, nem, pH, Redoks potansiyeli, tuzluluk, makroskobik ve mikroskobik canlılar vd.) bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Hedges, 1990: 111-140; Florian, 1987a: 1-20; Blanchette, 2000; Palla, vd., 2014: 247; Broda, vd., 2015; Caple, Dungworth, 1998: 15-36).

YK 16 batığında kullanılan ahşap malzemenin geçirdiği değişimi daha iyi anlatabilmek için ahşabın suya doymadan önceki hali hakkında bilgi vermek ve önceki hali ile son halini karşılaştırmak yerinde olacaktır.

1.2.1. Makroskobik ve Mikroskobik Yapı

Yukarıda değinildiği gibi iki ana gruba ayrılan ağaçlar makroskobik yapı⁶ ve mikroskobik yapı⁷ bakımından büyük değişiklikler göstermektedir.

⁴ Biyotik Bozulma: Canlı organizmalarla ilişkili faktörler sebebiyle meydana gelen bozulma olarak tanımlanabilir (Palla, vd., 2014: 247).

⁵ Abiyotik Bozulma: Canlı organizmaların etkili olmadığı faktörler ile meydana gelen bozulma olarak tanımlanabilir (Palla, vd., 2014: 247).

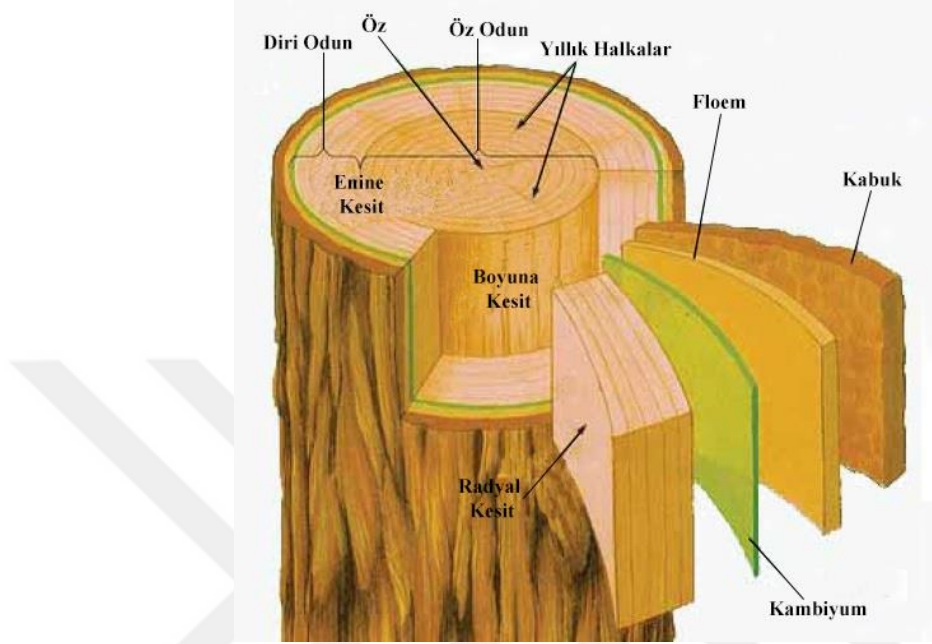
⁶ Makroskobik yapı: Odun dokusunun çıplak gözle ya da 10x lup altında incelenmesi sonucu tespit edilebilen yapısına denir (Erdin, Bozkurt, 2013: 39).

Yaşayan bir ağacın en dış kısmında, “kabuk” adı verilen koruyucu bir doku bulunmaktadır. Bu doku kendi içerisinde dış kabuk ve iç kabuk (floem) olarak ikiye ayrılır. Floem tabakasının iç kısımlarına ksilem adı verilir. Bu kısmın görevi ağaca destek ve iletim yapmaktır. Kambiyum ismi verilen üreyimli kısım özellikle ilkbahar ve yaz aylarında aktif olup, ağacın çap artırımında etkilidir (Erdin, Bozkurt, 2013: 54- 61; Fors, 2014: 9; Unger, vd., 2001: 11-13; Rodgers, 2004: 36). Bu tabakanın altında bulunan kısma “diri odun” adı verilir. Diri odun kısmı köklerden aldığı suyu yapraklara iletir ve gövdeye mekanik anlamda direnç sağlar. Her yıl ağacın diri odun kısmına yıllık halka eklenir. Bu halkalar değişen iklim koşullarına ve köklerin aldığı su miktarına bağlı olarak farklı kalınlıkta oluşur (Erdin, Bozkurt, 2013: 39-46; Unger, vd., 2001: 11-13).

Halkalardan koyu renkli olanlar yaz odunu, açık renkli olanlar ise ilkbahar odunu olarak adlandırılır. İlkbahar odununun temel görevi köklerden aldığı suyu yapraklara iletmektir (Erdin, Bozkurt, 2013: 53-61; Fors, 2014: 9-10; Unger, vd., 2001: 11-13). Ağaç gövde kalınlığını arttırdıkça öz odun olarak tanımlanan iç kısımdaki halkalarda bu iletim durur (Şekil 1.4) (Erdin, Bozkurt, 2013: 42; Wiedenhoeft, 2005: 16-17).

⁷ Mikroskobik yapı: Odun dokusun çeşitli mikroskoplar yardımı ile incelenmesi sonucu tespit edilebilen yapısına denir (Erdin, Bozkurt, 2013: 107).

Şekil 1.4: Ağaç gövdesinin enine kesit halindeki yapısal bölümleri.



Kaynak: Li, 2011: 231.

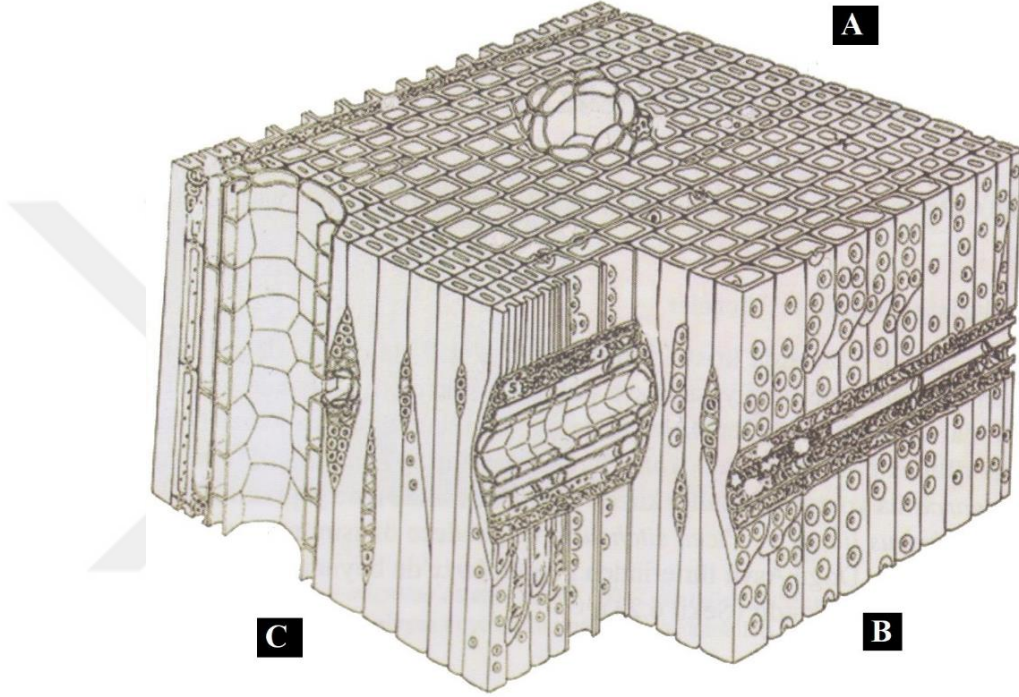
Ahşap hücreleri arasında lümen adı verilen boşluklar bulunur (Fors, 2014: 9-11; Grattan, 1987: 56; Anita, 2011: 61; Erdin, Bozkurt, 2013: 107; Rodgers, 2004: 36).

Ahşap; nemli ve ıslak bir ortamda gömülü kaldığı süreçte hücre yapısı içerisinde bulunan tüm boşluklar su ile dolar. Hücre içerisine giren su, bağlı ve serbest su olarak iki şekilde tanımlanır. Bağlı su, hücre duvarları arasında yer alırken, serbest su lümen adı verilen boşluk kısmında bulunur. Yaşanacak kontrolsüz kuruma sonucu suya doymuş ahşabın hücre yapısından önce serbest su sonra bağlı su uzaklaşır (Stamm, Hansen, 1937; Fors, 2014: 5; Jensen, Gregory, 2006; Kim, 2012: 12; Kılıç, 2017b: 30; Kılıç, 2017c: 18-19; Rodgers, 2004: 38).

Suyun kontrolsüz olarak uzaklaşması sırasında ahşabın hücre yapısı içerisinde birtakım değişimler meydana gelir. Yaşanan buharlaşma yüzey tansiyonunu artırarak hücre duvarlarında kapiler gerilim oluşturur. Çürümüş bir yapıya sahip olan hücre duvarlarında oluşan bu gerilim, ahşapta geri dönüşümü olmayan çatlama, çökme ve büzülme gibi fiziksel değişimlere neden olur (Jong, vd., 1982: 9; Grattan, 1987: 60-

61; Rodgers, 2004: 39; Unger, vd., 2001: 31; Jensen, Gregory, 2006; Giachi, vd., 2010: 91).

Şekil 1.5: Ağacın hücre yapısının üç boyutlu şematik görünümü (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).



Kaynak: Erdin, Bozkurt, 2013:144.

Yenikapı batıklarına ait suya doymuş ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen görsel analizlerde, ahşabın şekillendirilerek kullanılması sebebiyle genellikle kabuk kısmının olmadığı tespit edilmiştir (Kılıç, 2017b: 12-13). YK 16 batığına ait çınar ağacından yapılmış omurganın enine kesiti incelendiğinde, bozulmaya uğramamış bir ahşaptan çok farklı bir görünüme sahip olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1.6). Bu örnekte öz odun ve diri odun kısmı birbirinden ayırt edilemeyecek durumdadır. Yıllık halkalar makroskobik olarak çok zor görülebilmektedir. Meydana gelen bozulma sonrası omurganın homojen bir görünüm aldığı anlaşılmıştır.

Şekil 1.6: YK 16'ya ait çınar ağacından elde edilmiş omurganın enine kesit görünümü.



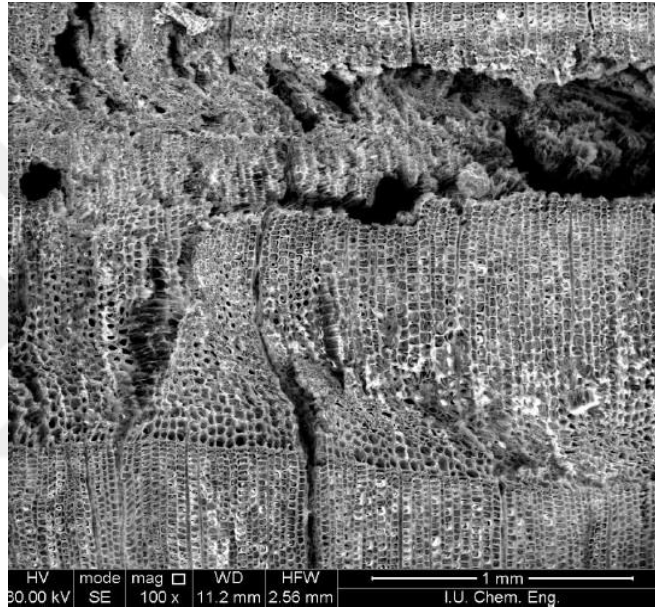
Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Bozulmayı daha detaylı tanımlayabilmek için bozulmamış bir ahşapta yapılan mikroskopik gözlem sonuçları şöyle özetlenebilir; odun yapısındaki farklı karakteristik bileşenleri incelemek için enine, radyal ve teğet yönde oluşturulmuş kesitlerden yararlanılır (Cronyn, 1990: 247; Erdin, Bozkurt, 2013: 39-42; Kılıç, 2013: 4; Anita, 2011: 61-62; Hamilton, 1999: 23). Mikroskop altında yapılan incelemelerde traheler, parانشim hücreleri ve lifler kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Trahe, boyuna yönde uzanan içi boş, ince ve uzun yapılı hücrelerdir. Geniş yapraklı (*angiosperm*) ağaçlarda uçlarını açık ve küçük boyutluyken, iğne yapraklı (*gymnosperm*) ağaçlarda uçları kapalı ve büyük boyutludur. İğne yapraklı ağaçların trahelerinde margo ve torus adı verilen elemanlar bulunmakta olup, hücreler arası su geçirgenliğini etkilemektedir (Erdin, Bozkurt, 2013: 109; Rodgers, 2004: 36). Parانشim hücrelerinin bir araya gelmesi ile oluşan öz ışınları depolama yapar. Diri odun bölümünde canlı olmalarına karşın öz odun bölümünde ölüdürler (Erdin, Bozkurt, 2013: 130-132; Hamilton, 1999: 22-23; Blanchette, 2000: 190; Unger, vd., 2001: 11-13; Rodgers, 2004: 36-37).

YK 16 batığına ait çam ağacından yapılmış SK2-1 numaralı parça üzerinden elde edilen SEM görüntülerinde traheler, öz ışınları ve liflerde yaşanan değişim kolaylıkla anlaşılabilmektedir (Şekil 1.7). Özellikle ilkbahar ve yaz trahelerinde bozulmaya bağlı olarak ayrılmalar yaşanmış ve hücre yapısında deformasyon oluşmuştur (Kılıç, Kılıç, 2019a: 137; Kılıç, 2017a: 63).

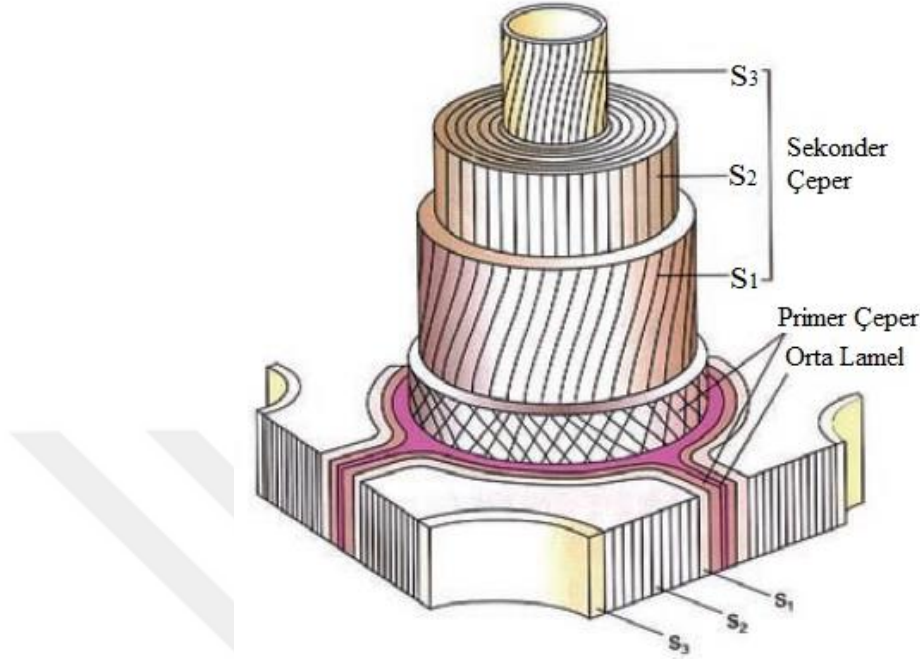
Şekil 1.7: YK 16 batığının çam ağacına ait SK2-1 numaralı parçasının enine kesitinin SEM görüntüsü.



Kaynak: Kılıç, 2017a: 64.

Ahşabın dokusuna mikroskop altında daha ayrıntılı baktığımızda hücre duvarlarının yapısal olarak farklı birkaç bölgeden oluştuğu görülür. Bunlar genel olarak orta lamel, primer çeper ve sekonder çeper (S_1 , S_2 , S_3) olarak tanımlanır (Erdin, Bozkurt, 2013: 101; Mortensen, 2009: 2; Unger, vd., 2001: 13-14; Wiedenhoeft, 2005: 18-19; Rodgers, 2004: 37).

Şekil 1.8: Hücre çeperinin şematik olarak canlandırması.



Kaynak: Kim, 2012: 11.

Şekil 1.8 de şematik olarak gösterilen hücre duvarının mikrofibril adı verilen uzun iplikçiklerden oluştuğu ve bu iplikçiklerin farklı yönlerde dizilimi ile birbirlerinden ayrıldığı anlaşılmaktadır. Çoğunlukla lignin ve pektinden oluşan orta lamel, hücreleri birbirine bağlamakla görevlidir. Polisakkarit ve lignin sarılı proteinlerin biraraya geldiği primer çeperin mikrofibrilleri gevşek yapılı ve düzensizdir (Fors, 2014: 16; Grattan, 1987: 59; Erdin, Bozkurt, 2013: 97-103; Mortensen, 2009: 2; Unger, vd., 2001: 13-14; Rodgers, 2004: 37-38; Florian, 1987b: 23-24).

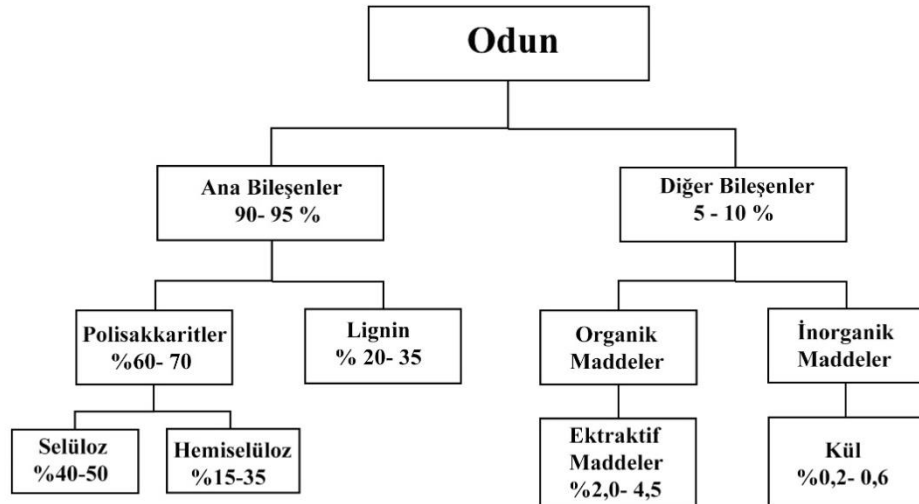
Sekonder çeper ise kendi içersinde S_1 , S_2 , S_3 olarak üç bölüme ayrılmaktadır. Her bir bölümün kimyasal bileşik oranları değişiklik göstermesine karşın ağırlıklı olarak polisakkarit ve ligninden meydana gelmektedir. Özellikle S_2 tabakası sekonder çeper içersindeki en yoğun bölüm olup, ahşabın mekanik ve kimyasal özelliklerinde en etkili bölümdür. Suya doymuş ahşapta kontrolsüz kuruma sonucu yaşanan çekme ve çökmelerde sekonder çeperi oluşturan S_1 , S_2 , S_3 bölümlerindeki lif yönleri etkilidir (Fors, 2014: 16; Grattan, 1987: 59; Erdin, Bozkurt, 2013: 97-103; Mortensen, 2009: 2; Unger, vd., 2001: 13-14; Rodgers, 2004: 37-38).

Mikrofibrillerin dizim yönlerine bağlı olarak S_2 tabakasında meydana gelen bir hasar sonucu teğet ve radyal yönde çekmeler yaşanırken; S_1 ve S_3 tabakasında yaşanacak olan bir hasar sonucu enine yönde çekmeler meydana gelir (Rodgers, 2004: 38).

1.2.2. Kimyasal Değerlendirme

Yukarıda da değinildiği gibi kompozit yapıli ahşabın kimyasal yapısı ağırlıklı olarak polisakkarit olarak bilinen holoselüloz (selüloz ve hemiselüloz) ve ligninden oluşmaktadır. Bunun dışında yapısında az miktarda da olsa nişasta, pektin ve ekstraktif maddeler de bulunur. Bu maddelerin oranları ahşabın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Suya doymuş ahşapta yaşanan değişimi daha iyi kavrayabilmek için bozulmamış bir ahşabın temel bileşenlerinin kimyasal yapısını bilmek gerekir. Bozulmaya uğramamış kuru bir ahşabın içerisinde yaklaşık %40-45 oranında selüloz, %15-20 oranında hemiselüloz ve %15-25 oranında lignin bulunur (Rowell, vd., 2005: 35; Hedges, 1990: 113-116; Erdin, Bozkurt, 2013: 83; Anita, 2011: 60-61; Blanchette, 2000: 189-190; Cronyn, 1990: 246; Unger, vd., 2001: 16-17).

Şekil 1.9: Odunun ana ve diğer bileşenlerinin şablon halinde gösterimi.



Kaynak: Unger, vd., 2001: 16.

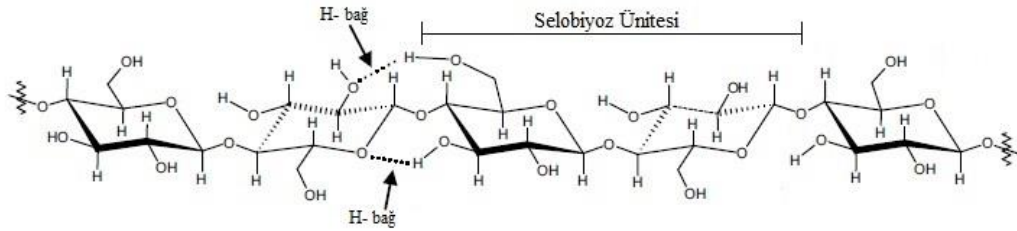
Ahşabın hücre çeper yapısının elementel kompozisyonu yüzdeler halinde incelendiğinde %49-51 oranında Karbon (C), %43-44 oranında Oksijen (O), %6-7

oranında Hidrojen (H), %0,1-0,3 oranında Azot (N) ve %0,2-0,6 oranında Kül (Ca, K, Mg, Mn vb.) içerdği belirlenmiştir (Unger vd., 2001: 16).

Selüloz, hücre yapısında en fazla etkiye sahip olan polisakkarittir. Ahşabın hücre yapısı içerisindeki selüloz miktarı iğne yapraklı ağaçlarda %45-50 oranında, geniş yapraklı ağaçlarda ise %40-45 oranında bulunmaktadır (Rowell, vd., 2005: 35; Mortensen, 2009: 3; Erdin, Bozkurt, 2013: 84; Hedges, 1990: 113; Florian, 1987b: 25-27). Selüloz, odun dokusunun büyük bir bölümünü oluşturması sebebiyle ahşapta yaşanacak dirençler (çekme, çökme, çarpılma vd.) üzerinde etkilidir (Kılıç, 2017b: 19).

D-glukoz birimlerinden oluşan selüloz, anhidrit bir yapıdadır. Yapısından 1 mol çıkarılmış her bir glukoz birimi 180° dönerek, diğeri ile bağlanıp, uzun selüloz ($C_6H_{10}O_5$) zincirleri oluşturur (Şekil 1.10). Hücre çeper tabakasında farklılık göstermesine karşın zincir yaklaşık 7.000-12.000 molekülden meydana gelir (Rowell, vd., 2005: 35; Hedges, 1990: 113; Mortensen, 2009: 3; Erdin, Bozkurt, 2013: 84).

Şekil 1.10: Selüloz polimerin kısmi yapısı.

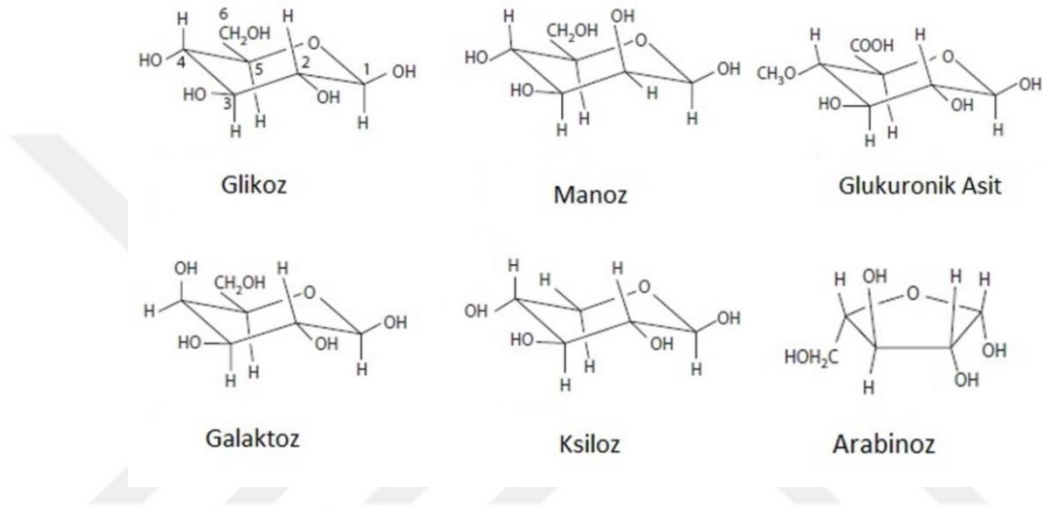


Kaynak: Mortensen, 2009: 3.

Hemiselüloz, hücre yapısı içerisinde ikincil öneme sahip selülozik olmayan bir polisakkarittir (Hedges, 1990: 113; Erdin, Bozkurt, 2009: 85; Rowell, vd., 2005: 37). Yapısı ve formülüyle selüloza benzeyen çeşitli şeker birimlerinden meydana gelir (Şekil 1.11). Selülozdan farklı olarak daha kısa yani yaklaşık 100-200 glukoz biriminin bir araya gelmesiyle oluşur (Mortensen, 2009: 3; Hedges, 1990: 113; Erdin, Bozkurt, 2009: 85; Unger, vd., 2001: 17). Ayrıca zincir gruplarının dallanması ve daha heterojen yapıda olması sebebiyle de yapısal olarak selülozdan farklıdır

(Erdin, Bozkurt, 2013: 85; Hedges, 1990: 113-114). Ahşabın hücre yapısı içerisinde iğne yapraklı ağaçlarda %15-20 oranında, geniş yapraklı ağaçlarda ise yaklaşık %20-30 oranında bulunmaktadır (Hedges, 1990: 113-144; Erdin, Bozkurt, 2009: 86; Florian, 1987b: 25-26).

Şekil 1.11: Hemiselülozu meydana getiren altı ve beş karbonlu şekerlerin yapısı.



Kaynak: Rowell, vd., 2005: 38.

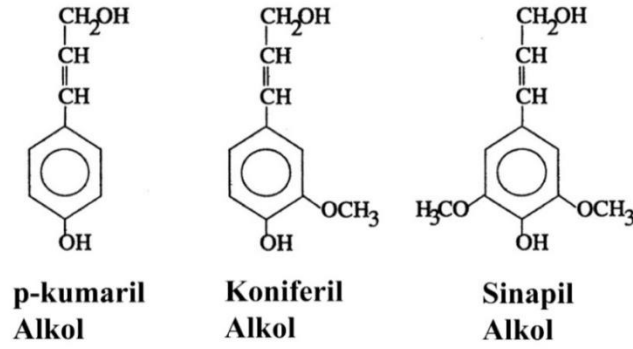
Selüloz ve hemiselüloz polimerleri, üzerinde yer alan hidroksil gruplarına hidrojen köprüleri kurarak ortamda var olan su ile bağ kurar. Bunun sonucu su, bitişik halde olan zincir grupları arasına girerek onları birbirinden ayırır. Bu da ahşabın hücre çeperinde genişleme ve daralmaların yaşanmasına sebep olur (Hedges, 1990: 113; Mortensen, 2009: 3; Erdin, Bozkurt, 2013: 84; Rowell, vd., 2005: 36).

Lignin, fenilpropan birimlerin bir araya gelmesi ile oluşur. Çeşitli formları bulunmasına karşın kesin formülü bilinmemektedir. Kompleks, organik ve üç boyutlu bir polimer olan lignin p-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkolden oluşmaktadır. Karbon- karbon (C---O – C ve C--- C) bağ yapan lignin genel olarak hücre aralarında ve hücre çeperinde bulunur. Yapısında bulunan hidroksil gruplarının tümü su ile bağ oluşturmaz (Hedges, 1990: 116; Mortensen, 2009: 3-4; Erdin, Bozkurt, 2013: 86-87; Unger, vd., 2001: 17-18; Nilsson, Rowell, 2012: S5-S6).

Lignin odun dokusu içerisinde renksiz bir madde olmasına karşın özellikle güneş ışığına (UV ışınları) maruz kaldığında sararıp renk değişimine uğrar (Erdin, Bozkurt, 2013: 87).

Lignin ahşap içerisinde basıncı stabilize etmede, rutubete karşı şişmeyi engellemede ve boyut değişikliğini azaltmada etkilidir (Erdin, Bozkurt, 2013: 86-87; Rowell, vd., 2005: 41; Hedges, 1990: 115-116). Genel olarak hücreler arasında bağlayıcı etkisi olup, hücrede basınç direncini arttırma, hücre çeperine sertlik verme gibi özellikleri de vardır (Erdin, Bozkurt, 2013: 87; Hedges, 1990: 116; Mortensen, 2009: 4; Florian, 1987b: 27).

Şekil 1.12: Lignini oluşturan üç farklı fenilpropan birimin yapısı.



Kaynak: Hedges, 1990: 115.

Lignin hücre yapısı içerisinde iğne yapraklı ağaçlarda %25-35 oranında, geniş yapraklı ağaçlarda ise %18-25 oranında bulunur (Erdin, Bozkurt, 2013: 87; Hedges, 1990: 115; Mortensen, 2009: 3; Florian, 1987b: 27).

Ahşap, gömülü kaldığı süreçte ortamda var olan nem ve suyu bünyesine çeker. Bunun sonucunda ahşabın kimyasal yapısında birtakım değişimler yaşanır. Selüloz ve hemiselüloz, hidrofilik uçlara sahip olduğundan dolayı su içerisinde daha kolay bozulmaya uğrarken; lignin hidrofobik uçlara sahip olması sebebiyle su içerisinde daha az bozulmaya uğrar (Florian, 1990: 5-6).

Bu tez çalışmasının konusunu oluşturan YK 16 batığına ait suya doymuş ahşap elemanlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan bozulmaya uğramıştır. Yaşanan değişimler üçüncü bölümde detaylıca ele alınacaktır.

1.3. Suyu Doymuş Ahşapta Bozulma

Organik eserlerin günümüze bütün halde ulaşmaları çoğu zaman mümkün değildir. Fakat bu süreçte iyi bir gömülme sağlanabilirse eserin bütünlüğü bozulmadan günümüze ulaşabildiği bilinmektedir (Florian, 1990: 5). Organik bir eserin korunabilmesi için gömülü kaldığı süreçte uygun ortam şartları oluşsa dahi yapısında fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan değişim yaşanması kaçınılmazdır (Florian, 1990: 5; Hedges, 1990: 119-130).

Ahşap, yapısında meydana gelen bozulma sonucu suya doymuş ahşap niteliği kazanır. Yaşanacak olan bozulmanın derecesi ağacın yaşı, cins ve tür özellikleri, hangi amaçla kullanıldığı, gömülü kaldığı ortamın pH, sıcaklık, oksijen miktarı, bağıl nem, redoks potansiyeli, su hareketleri gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Hedges, 1990: 119-130; Jong, vd., 1982: 9; Nilsson, Rowell, 2012: S6).

Zaman içerisinde meydana gelen bu değişimlerin belirlenmesi ve anlaşılması uygulanacak olan konservasyon yönteminin belirlenmesi için çok önemlidir (Grattan, Clarke, 1987: 164; Erdin, Bozkurt, 2013: 228-232; Schniewind, 1990: 89; Florian, 1990: 20; Anita, 2014: 62-63; Fix, 2015: 66; Werz, Seeman, 1993: 38).

Bu çalışma kapsamında ele alınan YK 16 batığına ait ahşap elemanlar, gün yüzüne çıkarıldıklarında bütünlüğü bozulmadan korunup günümüze ulaştıkları tespit edilmiştir. Ancak yerinden kaldırma çalışmaları sırasında batığa ait eğrilerin bazılarında el değdirmenin dahi mümkün olmadığı ve dağılabildiği görülmüş, bu sebeple uygun kaldırma yöntemleri ile kaldırılarak laboratuvara taşınmıştır (Fix, 2015: 75; Kılıç, 2016: 87).

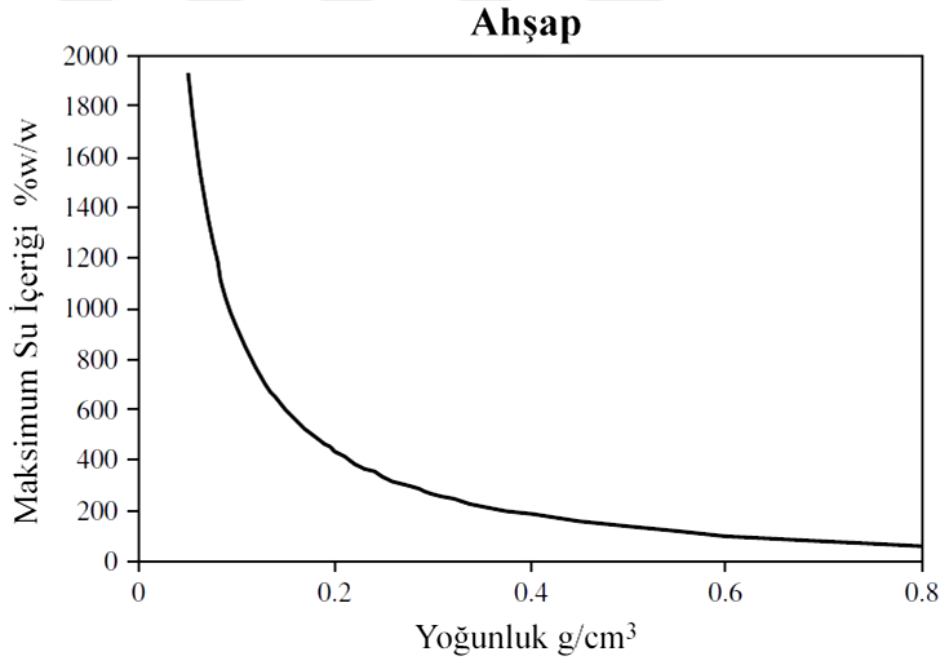
1.3.1. Fiziksel Bozulma

Bozulmuş bir yapıya sahip olan suya doymuş ahşap gömülü kaldığı süreçte fiziksel açıdan bazı değişimlere uğrar. Ahşapta öncelikle bozulma dış kısımdan başlayarak ahşabın içine doğru devam etmektedir. Bu aşamada ahşabın yapısında

kimyasal açıdan değişim yaşanmakta ve bu süreç fiziksel bozulmayı da etkilemektedir (Kılıç, 2017a: 15).

Suya doymuş ahşapta yaşanan fiziksel bozulma oranını belirlemek için yoğunluk ve maksimum su içeriği ölçümleri gerçekleştirilir (Florian, 1990: 8-9; McConnachie, vd., 2008; Schniewind, 1990: 88; Kılıç, 2017a: 127; Grattan, 1987: 65; Jensen, Gregory, 2006: 552). Yapılan ölçümlerde, yaşanan bozulmanın derecesi arttıkça yoğunluğun azaldığı ve maksimum su miktarının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 1.13) (Grattan, 1987: 65; Schniewind, 1990: 87-109; McConnachie, vd., 2008: 34-35; Rodgers, 2004: 38).

Şekil 1.13: Suya doymuş ahşabın maksimum su içeriği ve yoğunluk arasındaki ilişkinin bir grafik üzerinden gösterimi.



Kaynak: Jensen, Gregory, 2006: 558.

YK 16 batığına ait eğriler ilk bulunduğu anda sağlam ve mevcut hacmini koruyor gibi görünmesine karşın oldukça hassas ve dağılmaya meyilli oldukları belirlenmiştir. Yoğunluğu düşük, su içeriği fazla olan bu eğriler üzerinde el ile kuvvet uygulandığında kolaylıkla dağılabilir durumdadırlar. Buna karşın YK 16 batığının kaplamalarının eğrilerine göre yoğunluğu yüksek ve su içeriği düşük

olduğundan dolayı el ile hafifçe uygulanan kuvvetlerde daha dayanıklı oldukları anlaşılmıştır (Kılıç, 2016: 86; Kılıç, 2017b: 17).

Ahşabın hücre yapısı içerisindeki fiziksel değişimi görüntüleyebilmek için SEM ile inceleme yapılmalıdır. Yapılan incelemelerde hücre içerisindeki lif yapısı, trahe vd. bölümlerinde yaşanan değişim belirlenebilir (Kılıç, 2017a: 63; Kılıç, Kılıç, 2019a: 136-137).

YK 16 batığına ait ahşap elemanların fiziksel açıdan geçirmiş oldukları değişimi anlamak amacıyla yoğunluk, maksimum su içeriği, ahşap madde kaybı ve SEM analiz çalışmaları gerçekleştirilmiş, yapılan analiz uygulamaları sonucu elde edilen veriler çalışmanın üçüncü bölümünde değerlendirilmiştir.

1.3.2. Kimyasal Bozulma

Bozulmaya uğramamış bir ahşap ile suya doymuş ahşap arasında yapılan karşılaştırmalarda toplam hacim içerisinde selüloz ve hemiselüloz oranı azalırken, ligninin oranında bir artmanın olduğu tespit edilmiştir (Hedges, 1990: 131). Yaşanan bu değişim sonucunda hücre içerisinde boşluklar oluşmakta ve bu boşluklar su ile dolmaktadır. Böylece geriye sadece ahşaba mekanik anlamda dayanım sağlayan lignin ağı kalır. (Capretti, vd., 2008: 856; Björdal, Nilsson, 2001:211).

Suya doymuş ahşabın bünyesinde var olan su, büyük oranda holoselülozun (selüloz ve hemiselüloz) yerini alarak ahşabın mevcut şeklini ve hacmini koruyor izlenimi vermektedir (Schniewind, 1990: 87-109; Florian, 1990: 5-6; Fix, 2015: 75; Björdal, 2012b: 118; Grattan, 1982: 124; Colombini, vd., 2009: 61-62). Suya doymuş ahşap, zaman içerisinde gözenekli yapısının artması sonucu ortamda var olan suyu bünyesine alarak eksilen hacmini tamamlar. Böylece ahşabın mevcut şeklinde herhangi bir değişim yaşanmaz (Schniewind, 1990: 87-109; Hoffmann, Jones, 1990: 35).

Suya doymuş ahşap içerisinde selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarında yaşanan değişim FTIR analizi ile anlaşılabilmektedir (Bunning, Watson, 2010: 28; Gelbrich, vd., 2012; Kılıç, Kılıç, 2019b: 2). Ayrıca XRD analizi de uygulanarak

bozulma daha detaylı değerlendirilebilmelidir. Ahşapta kimyasal bozulma sonucu elementel olarak da değişim yaşanmaktadır. Bu değişimi detaylıca anlamak için XRF yönteminden yararlanılır (Kılıç, 2017a: 129).

YK 16 batığına ait ahşap elemanların kimyasal açıdan geçirmiş oldukları değişimi anlamak amacıyla FTIR, XRF analizleri ve pH ölçümleri analiz çalışmaları gerçekleştirilmiş, yapılan analiz uygulamaları sonucu elde edilen veriler çalışmanın üçüncü bölümünde değerlendirilmiştir.

1.3.3. Biyolojik Bozulma

Suya doymuş ahşap gömülü kaldığı süreçte makroskobik ve mikroskobik boyutlardaki birçok canlı tarafından besin olarak değerlendirildiği için saldırıya uğrar. Yaşanacak olan biyolojik saldırının boyutu ahşabın cinsi, kullanım amacı ve şekli, gömülme durumu, sıcaklık, oksijen miktarı, nem, deniz tuzu, ortamın basıncı gibi pek çok faktöre göre değişiklik gösterir (Tablo 1.1) (Björđal, Nilsson, 2008: 863 Björđal, 2012a: 133-134; Köse, 2000: 3; Huisman, vd., 2008: 34; Powell, vd., 20012: 172; Landy, vd., 2008: 106).

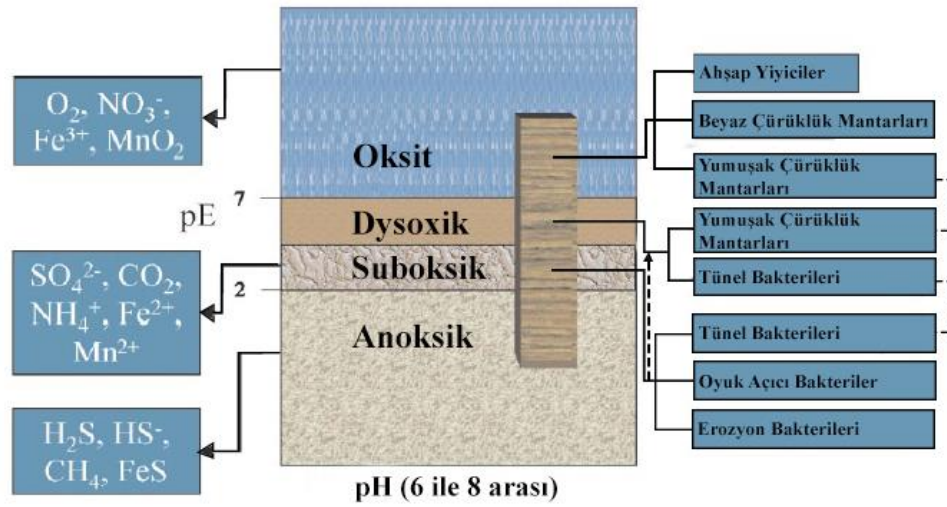
Tablo 1.1: Mantar ve bakteri gibi mikroorganizmaların gelişim göstermeleri için gerekli olan faktörler.

Faktör	Etkisi
Su	Ahşabın hücre lümeninde bulunan serbest su.
Oksijen	Birçok mantar ve bakterinin gelişim göstermesi için oksijene ihtiyaç duymaktadır. Ancak bazıları anaerobik ortamda dahi yaşayabilmektedir.
Sıcaklık	Mikroorganizmalar için en ideal ortam 15-45 °C arasındadır.
pH	En az 3-6 arasında olması mikroorganizma gelişimi için optimize değerlerdir.
Işık	Mikroorganizmaların fizyolojik fonksiyonları için yüksek seviyede olmayan ultraviyole ışınlar gerekmektedir.
Besin Maddesi	Canlıya enerji ve metabolizma sentezi sağlamak için tüketebileceği azot bileşikleri, vitaminler ve gerekli elementler bulunmalıdır.

Kaynak: Köse, 2000: 3.

İyi bir gömülmenin yaşandığı durumda suya doymuş ahşap elemanlar daha az biyolojik bozulmaya maruz kalarak fiziksel bütünlüğünü korurken, gömülmenin iyi olmadığı durumlarda hızlı bir şekilde biyolojik bozulmaya maruz kalarak yok olabilmektedir (Blanchette, vd., 1990: 142; Björdal, 2012b: 118; Ejechi, 2003: 115; Macchioni, vd., 2013: 63; Broda, vd., 2015: 23). Suyu doymuş ahşap üzerinde yaşanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma birbiri ile ilişkilidir. Yaşanan biyolojik saldırılar, kimyasal yapıyı etkileyerek ahşabın yoğunluğu ve mekanik dayanımını etkiler (Schniewind, 1990: 89-90; Björdal vd., 1999). Bu canlılar sadece ahşabı tüketerek değil, tüketim sonucu ortamdaki asidite ve pH dengesini değiştirerek de zarar vermektedir (Unger, vd., 2001: 45).

Şekil 1.14: Sualtı ortamında mikroskobik ve makroskobik canlıların etkileşiminin şematik gösterimi.



Kaynak: Jordan, 2001: 49.

Sualtında ele geçen suya doymuş ahşap örnekler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar gömü ortamının ve su hareketlerinin biyolojik bozulmada etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Sualtında ahşap iyi bir gömülme yaşayıp, su hareketlerinin etkilerine daha az maruz kaldığı durumlarda daha az biyolojik bozulmaya maruz kalmaktadır (Klaasen, 2014).

YK 16 batığına ait ahşap elemanların mikroyapısal ve morfolojik özelliklerini anlamak amacıyla SEM ile incelemeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca görsel analizler

ile makroskobik canlıların saldırıları da tespit edilmiş, yapılan incelemeler sonucu elde edilen veriler çalışmanın üçüncü bölümünde değerlendirilmiştir.



İKİNCİ BÖLÜM

YK 16 BATIĞININ SUYA DOYMUŞ AHŞAP ELEMENLARINDAN ÖRNEK ALIMI VE ANALİZ UYGULAMALARI

Bu tez konusunu oluşturan YK 16 batığı aynı alanda bulunan 37 batıktan biri olup, kadirga türünün nadir örnekleri arasındadır (Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2012: 176; Kocabaş, 2015a: 95). İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü Orman Botaniği Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ünal Akkemik tarafından gerçekleştirilen cins/tür analizleri sonucu batığa ait eğrilerin birçoğunun çınar ve karaağaç olduğu tespit edilmiştir. Kadirgalarda sıklıkla kullanımı tercih edilen çınar hafif bir malzeme olmasına karşın oldukça dayanıksızdır (Akkemik, Kocabaş, 2012; Akkemik, 2015: 57). Epoksi destekler yardımıyla yerinden kaldırma çalışmaları gerçekleştirilen bu eğrilerin daha fazla bozulmalarını engellemek için konservasyon uygulamalarına başlanmıştır (Kılıç, 2016: 87).

Konservasyon sürecine geçmeden önce batığa ait ahşap elemanların maksimum su içeriği konusunda belirli analizler yapmak gerekir (Babiński, vd., 2014: 373). Kazı sürecinde YK 16 batığına ait eğrilerden alınan bazı örnekler üzerinde maksimum su içeriği ve yoğunluk analizleri gerçekleştirilmiş, böylece bu konuda ön değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde özellikle eğrilerinin maksimum su içeriği değerleri %963 ila %1467 arasında olduğu; yoğunluk değerlerinin ise 0,07 ila 0,10 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu analiz çalışmaları sonucunda görsel açıdan kötü durumda olan ahşapların ileri derecede bozulmaya uğradıkları doğrulanmıştır. Bu eğrilerin boyutsal anlamda stabilizasyonunu sağlamak amacıyla melamin formaldehit yöntemi kullanılmıştır (Kılıç, 2016).

2.1. Kısa Süreli Depolama

Kazı çalışmalarının tamamlanmasının ardından demonte halde kasalara yerleştirilen YK 16 batığına ait parçalar İÜ Yenikapı Batıkları Projesi Araştırma ve

Uygulama Merkezi laboratuvarında taşınmıştır. Konservasyon çalışmaları öncesi parçalar paslanmaz çelik havuzlar içerisine yerleştirilmiştir (Kılıç, 2013: 24).

Şekil 2.1: YK 16 batığı ahşap elemanlarının depolandığı havuzlar.



Bu havuzlarda yer alan parçalar üzerinde konservasyon öncesinde bir dizi uygulama yapılmıştır. Bunlardan ilki çözünabilir tuzların ahşaptan uzaklaştırılmasıdır (Smith, 2003: 22; Kılıç, 2017b: 46). Eğer bu işlem uygulanmadan konservasyon çalışmaları gerçekleştirilirse, tuz ahşapta tahribata sebep olmaktadır. Bundan dolayı tatlı su veya tuzlu su ortamında bulunmuş tüm eserler için tuzdan arındırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde tuz kristalize olup, genleşmeye uğrayacaktır. Bu genleşme ahşabın hücre duvarlarında çatlama, çökme ve kopma gibi hasarlara sebep olmaktadır. Ayrıca tuz nem çeken bir malzeme olduğu için kuruma sonrasında ortamdaki nemi ahşap bünyesine alır (Smith, 2003: 23; Rodgers, 2004: 42-43).

YK 16 batığının tuzdan arındırma sürecine 40 ton hacme sahip olan paslanmaz çelik havuzlar içerisinde çeşme suyu ile başlanmıştır. Batığa ait ahşap elemanların tuz miktarı ilk olarak 1000 ppm üzerinde ölçülmüştür. Periyodik olarak yapılan su değiştirme ve ölçümler sonucu PEG ile konservasyonu gerçekleştirilecek ahşap elemanların içeriğindeki tuz miktarı yaklaşık 390 ppm'e kadar düşürülmüştür.

Bundan sonraki süreçte melamin formaldehit ile konservasyonu gerçekleştirilecek ahşap elemanların tuzdan arındırma uygulamasına saf su ile devam edilmiş ve değerin yaklaşık olarak 40 ppm'e düşmesi sağlanmıştır. Bu değer bir sonraki adım için yeterli kabul edilmektedir (Kılıç, 2017b: 46-47; Kılıç, 2015: 204). Yapılan ölçümlerde kondüktometre cihazı kullanılmakta olup, ppm değeri üzerinden ölçüm yapılmıştır.

Şekil 2.2: YK 16 batığının ahşap elemanlarının bulunduğu havuzların tuz ölçümleri.



Ahşapların koyulduğu havuzlardaki suyun durgun olması ve dış ortam koşullarına açık olması sebebiyle özellikle yaz aylarında makroskobik ve mikroskobik canlıların arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan incelemelerde mantar, bakteri, *Asellus sp.* ve canlılarının varlığı tespit edilmiştir. Havuzlarda meydana gelen tüm biyolojik aktivasyonları önlemek amacıyla su içerisine belli oranda İzotiazolin içerikli biyositler eklenmiştir (Smith, 2003: 23; Kılıç, 2013: 52-54). Yapılan deneysel çalışmalar da kısa süreli depolama için biyositin 1000/1 oranında ilave edilmesinin yaklaşık 8 haftaya kadar biyolojik aktivasyon üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Kılıç, 2013: 54-55).

Tuzdan arındırma süreci devam ederken batığa ait ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen bir çalışma mekanik ve kimyasal temizlik uygulamaları ile metal ve bileşiklerin uzaklaştırılmasıdır. Yenikapı batıklarının ahşap elemanlarında birleştirilmesinde ağırlıklı olarak metal çiviler kullanılmış, bu çiviler zaman içerisinde korozyona uğrayarak özünü kaybetmiş ve dağılmıştır (Kılıç, 2017b: 63; Kılıç, 2017a: 2). Metal ve bileşiklerinin uzaklaştırılmadan konservasyon işlemlerinin tamamlanması ahşapta fiziksel ve kimyasal açıdan bozulmaların yaşanmasına yol açar. Ayrıca konservasyon kimyasalları ile reaksiyona girerek ahşapta oksidatif bozulmaya sebep olur. Bu da çözeltiyi depolimerize etmekte ve formik, oksalik asit gibi organik asitler üreterek ahşaba zarar vermektedir (Almkvist, 2008: 61-62; Almkvist, 2013: 4-5).

Mekanik temizlik uygulaması sırasında çeşitli dişçi aletleri ve dişçi motoru kullanmıştır. Genel olarak metal çivi deliklerinin etrafı yoğun olarak korozyona uğradığından dolayı bu alanlar hassas bir şekilde mekanik temizlik çalışmalarına tabi tutulmuştur (Şekil 2.3).

Şekil 2.3: YK 16 batığının eğrileri üzerinde gerçekleştirilen mekanik temizlik çalışması.



Ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen mekanik temizlik çalışmalarının tamamlanmasının ardından kimyasal temizlik çalışmalarına geçilmiştir. Kimyasal temizlik çalışmaları hazırlanan %5'lik disodyum EDTA (w/v) çözeltisi ile yapılmıştır

(Kılıç, 2017a: 109; Kılıç, 2017b: 66). Hazırlanan çözelti pamuk yardımıyla metal çivi delikleri ve etrafına tampon yapılarak uygulanmıştır. İşlemin üç defa tekrarlanması ardından nötrale etmek amacıyla ahşap elemanlar su dolu kasalar içerisinde bekletilmiştir. Böylece çözeltinin ahşabın gözeneklerinden uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Şekil 2.4: Omurga üzerinde daldırma (sol) ve tampon (sağ) yöntemi ile gerçekleştirilen kimyasal temizlik çalışması.



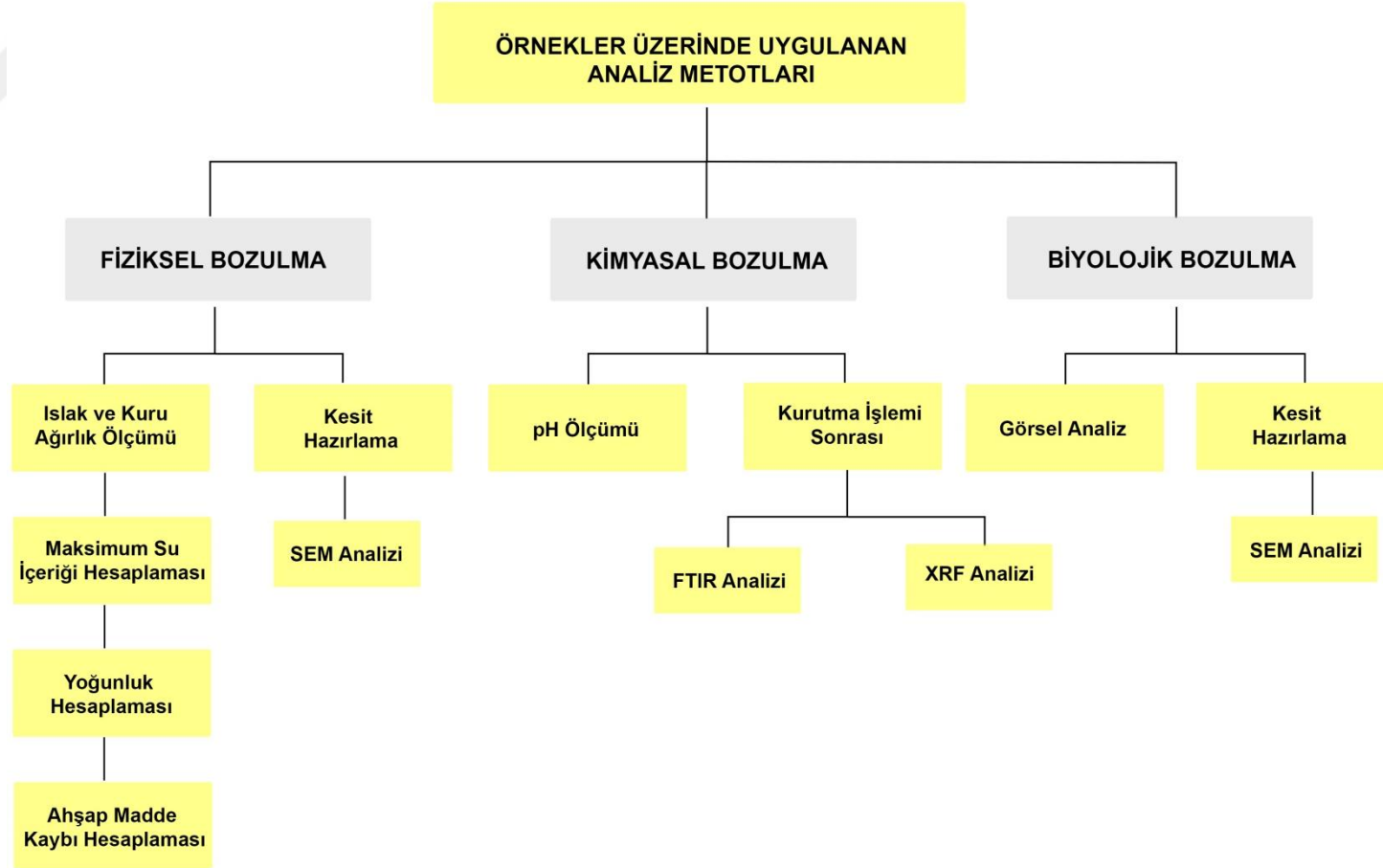
2.2. Materyal ve Metot

Suya doymuş ahşabın fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan geçirdiği değişimi anlayabilmek için SEM, FTIR, XRF, yoğunluk, maksimum su içeriği ve ahşap madde kaybı gibi bir dizi analiz çalışması gerçekleştirilmelidir (Şekil 2.5) (Kılıç, Kılıç, 2018: 3).

Analiz çalışmaları için gerekli olan örnekler, tuzdan arındırma işlemi tamamlanmış ancak herhangi bir konservasyon kimyasalı emdirilmemiş ahşaplardan alınmıştır. Çalışma kapsamında YK 16 batığının 110 adet ahşap eleman üzerinden örnek alınmıştır (Şekil 2.6).

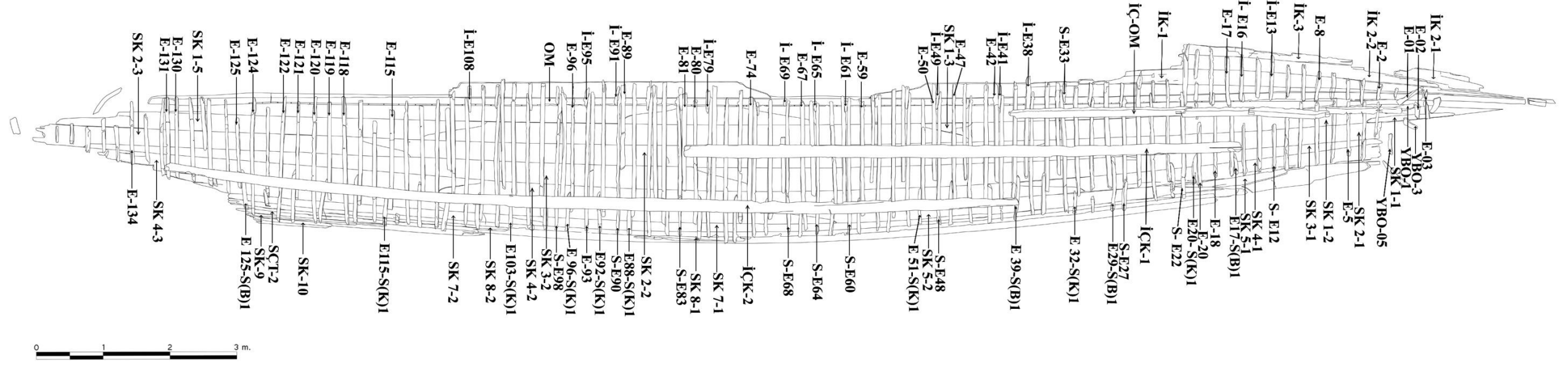
Alınan örneklerin 45 tanesi çınar, 28 tanesi karaağaç, 31 tanesi çam, 6 tanesi göknar ağacından elde edilmiştir. Kadırgaların hızlı hareket edebilir ve hafif olması göz önünde bulundurularak bu duruma uygun ağaç cinslerinin tercih edildiği anlaşılmıştır. Bundan dolayı YK 16 batığının eğrileri çınar ve karaağaç, kaplamaları göknar ve çam, omurgası ise çınar ağacından yapılmıştır (Şekil 2.7) (Akkemik, 2015: 56-63).

Şekil 2.5: Alınan örneklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma durumunun tespitinde uygulanan analiz metotları.



Kaynak: Kılıç, 2017a: 56.

Şekil 2.6: YK 16'dan alınan örneklerin çizim üzerinde gösterimi.



Kaynak: Kocabaş, 2015a: 94.

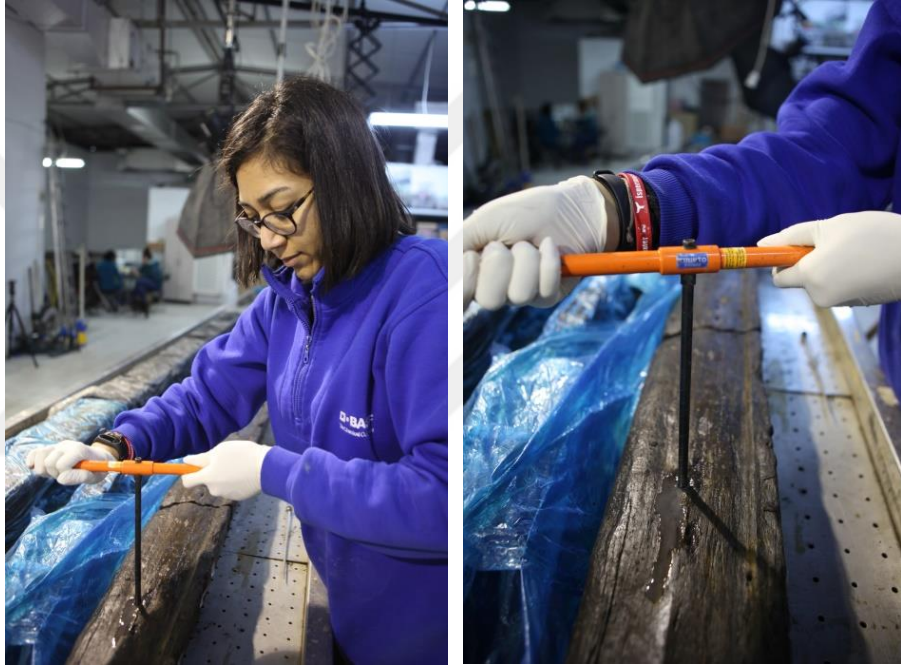
Şekil 2.7: YK 16 batığı ahşap elemanlarının cins ve tür özelliklerinin çizim üzerinde gösterimi.



Kaynak: Akkemik, 2015: 56.

Parçalar üzerinden örnekler artım burgusu ve jilet yardımıyla alınmıştır. Artım burgusu ile örnek alımı suya doymuş ahşap konusunda uzman olan kişiler tarafından uygulanan standart bir uygulamadır. Artım burgusu ahşabın dışından koruna doğru bir kesit şeklinde örnek alımına olanak tanımaktadır. Bu da bir kesit üzerinden ahşabın farklı bölümlerini değerlendirme imkânı sağlar (Kılıç, 2017b: 184).

Şekil 2.8: Artım burgusu ile YK 16 batığının omurgası üzerinde örnek alımı.



Batığa ait ahşap elemanlardan bazıları oldukça yumuşak ve hassas bir yapıya sahip olduğu için özellikle çınar ve karaağaç cinsi ahşaplardan ağırlıklı olarak jilet yardımı ile örnekler alınmış, artım burgusu kullanılmamıştır. Ölçüm sonuçlarının doğruluğu için alınan örneğin 1 gramdan az olmaması gerekmektedir (Kılıç, 2017b: 53; Kılıç, 2017a: 56-57).

Şekil 2.9: Parçalardan örnek alımı.



Örnek alımı sırasında ahşap içerisindeki su miktarı ve yoğunluk her noktada aynı olmayacağından dolayı örnek alımlarının ahşabın değişik bölümlerinden olmasına ayrıca dikkat edilmiştir (Kılıç, 2018: 19). Analiz işlemlerinde sapma yaşanmaması için alınan örneğin demir korozyon ürünlerine yakın olmaması da göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 2.10, Şekil 2.11). Bunun sebebi demir korozyon ürünlerinin bulunduğu kısımların korunarak diğer bölümlere nazaran daha az bozulmaya uğramasıdır (Kılıç, 2017a: 127-128). Ayrıca alınan örnekler, ahşap elemanların genel formuna zarar vermemeli ve genel anlamda bütünselliği bozmamalıdır (Kılıç, 2017b: 53; Kılıç, 2017a: 56-57).

YK 16 batığından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucunda elde edilen veriler tez çalışmasının danışmanlığını üstlenen Doç. Dr. Namık Kılıç ve Kimya Mühendisi Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç tarafından yorumlanmıştır. Yapılan yorumlamaların ardından suya doymuş ahşapta meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Örnekler üzerinde analiz çalışmaları gerçekleştirmeden önce yüzeyde bulunan tüm kirler çeşitli dişçi aletleriyle uzaklaştırılmış, böylece ölçümler sırasında meydana gelebilecek olan sapmalar önlenmiştir (Kılıç, 2017a: 57).

Şekil 2.10: İ-E41 numaralı ahşap eleman üzerinde örnek alımının yapıldığı bölge.



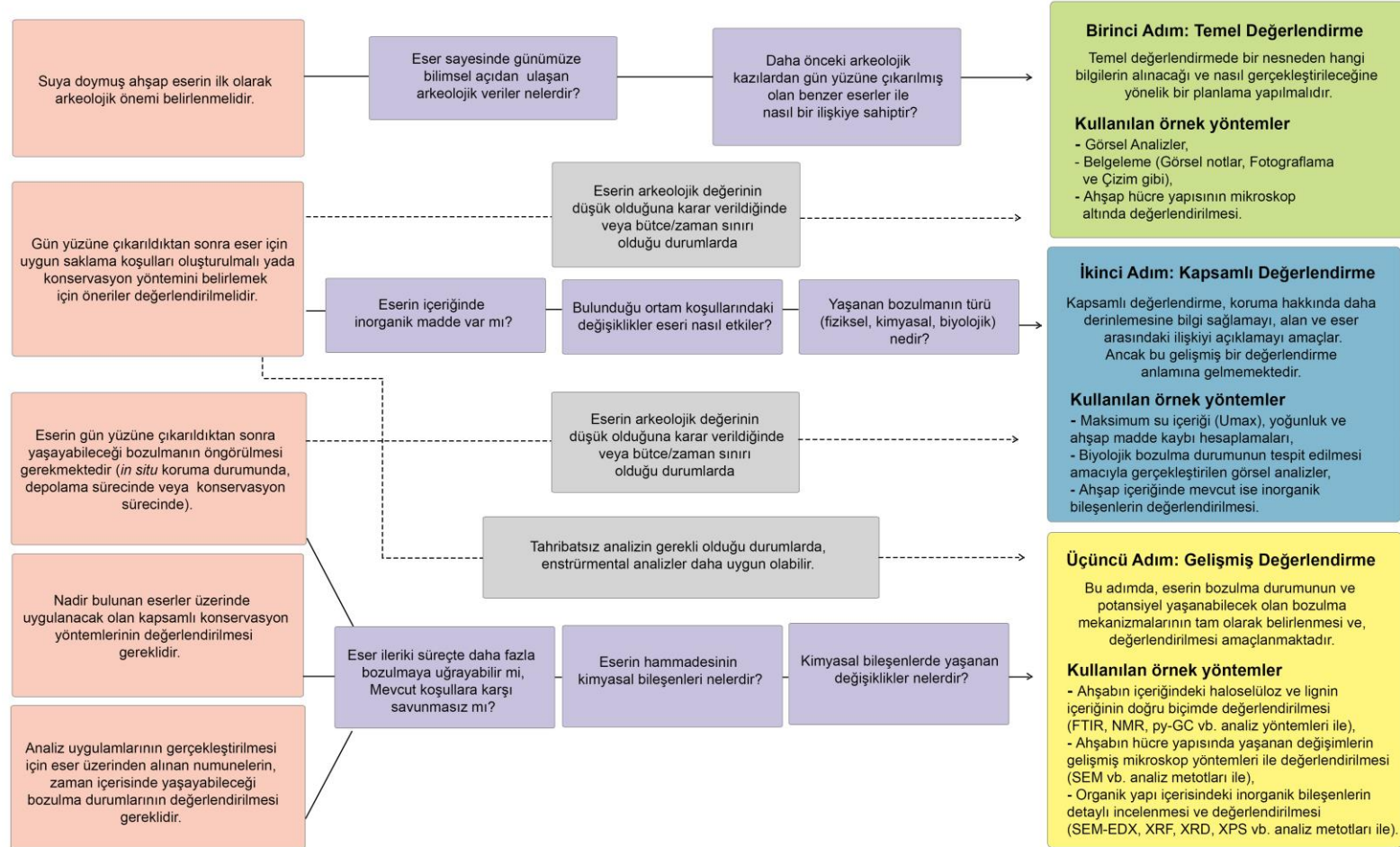
Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Şekil 2.11: E-115 numaralı ahşap eleman üzerinde örnek alımının yapıldığı bölge.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Şekil 2.12: Konservasyon uygulamaları öncesinde eser üzerinde dikkate alınması ve izlenmesi gereken adımların şematik biçimde gösterimi.



Kaynak: High, Penkman, 2020: 27.

2.2.1. Ahşap Elemanların Maksimum Su İçeriğinin Hesaplanması

Maksimum su içeriği hesaplaması, suya doymuş ahşap elemanların fiziksel durumlarının belirlenmesi için kullanılan basit ve temel ölçüm yöntemlerinden biridir (McConnachie, vd., 2008: 29-30). Bu sebeple YK 16 batığına ait suya doymuş ahşap elemanların fiziksel açıdan geçirdiği değişimi belirlemek amacıyla bu ölçüm yöntemi kullanılmış. Ölçümler İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle alınan örneklerin hassas terazi ile ıslak ağırlıkları ölçülmüş, ardından örnekler 48 saat boyunca 70 °C de fırın içerisinde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası hassas terazi yardımıyla ölçülerek kuru ağırlıkları elde edilmiştir (Schniewind, 1990; Babiński, vd., 2014: 374; McConnachie, vd., 2008: 29-30; Brunning, Watson, 2010: 28; Jordan, vd., 2002: 6).

Şekil 2.13: Batıktan alınan örneklerin ıslak ağırlığının ölçümü.



Tüm ölçümlerin tamamlanmasının ardından formül (1)'deki veriler yardımıyla maksimum su içeriği tespit edilmiştir (Schniewind, 1990; Babiński, vd., 2014: 374; McConnachie, vd., 2008: 29-30; Brunning, Watson, 2010: 28; Jordan, vd., 2002: 6; Unger, vd., 2001: 23).

$$U_{max} (\%) = \frac{\text{Suya doymuş ahşabın ıslak ağırlığı (g)} - \text{Fırın kurusu ağırlık (g)}}{\text{Fırın kurusu ağırlık (g)}} \times 100 \quad (1)$$

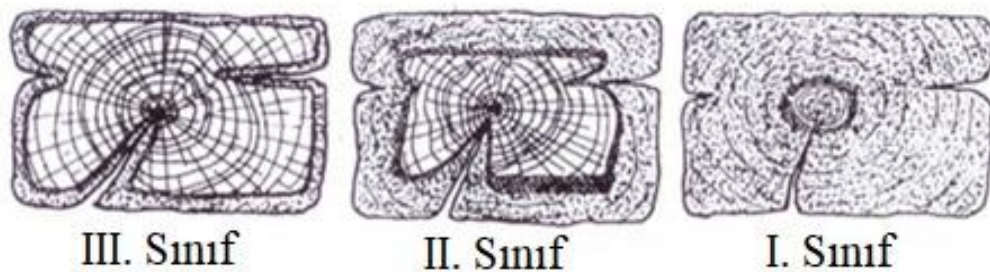
Yapılan hesaplama sonucunda ahşaplar, içeriğindeki su miktarına göre üç sınıfa ayrılmaktadır (Hamilton, 1999: 24; Grattan, 1987; 66-67).

I. Sınıf (İçeriğindeki maksimum su içeriği %400' ün üzeri olan ahşap): Bu sınıfa ait ahşapların kimyasal yapısı büyük çaplı bir hasara uğramış olup, genel yapı itibariyle oldukça yumuşaktır. Yapısında selüloz miktarı oldukça azdır, sadece ahşabın en korunda çok az miktarda sağlam odun dokusu bulunur. Bundan dolayı ahşabın permeabilitesi artmış ve kimyasal yapısından sadece genel formunu korumasına yardımcı olan lignin ağı kalmıştır (Şekil 2.14).

II. Sınıf (İçeriğindeki maksimum su içeriği %185-400 olan ahşap): Bu sınıfa ait ahşapların dış kısmında holoselüloz (hemiselüloz ve selüloz) miktarı azalmış olup, bozulmaya uğramıştır. Bozulmaya uğrayan dış kısmın altında ise geniş, sert ve sağlam yapıda bir odun dokusu bulunmaktadır (Şekil 2.14).

III. Sınıf (İçeriğindeki maksimum su içeriği %185'den aşağı olan ahşap): Bu sınıfa ait ahşaplar genel yapı itibariyle az bozulmaya uğramıştır. Ahşabın üst yüzeyinde ince bir tabaka bozulmaya uğramış olup, bu tabakanın altında sağlam bir odun dokusu mevcuttur. Bundan dolayı geçirgenliği oldukça azdır (Şekil 2.14).

Şekil 2.14: Farklı maksimum su içeriği değerlerine sahip suya doymuş ahşapların enine kesit görünüşleri.



Kaynak: Grattan, 1987: 67.

2.2.2. Ahşap Elemanların Yoğunluklarının Hesaplanması

Yoğunluk hesaplaması, konservasyon uygulamaları sırasında ahşapta yaşanabilecek olan çökme eğilimi gösteren bir ölçüm metodudur (Jensen, Gregory, 2006: 551). YK 16 batığından alınan örnekler üzerinde yoğunluk hesaplamaları gerçekleştirebilmek için yaklaşık 1-1,5 gram boyutunda olan örnekler kullanılmıştır. Alınan örneklerin önce ıslak ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür. Ardından örnek bir iğnenin ucuna takılarak tüm gözenekleri su ile doluyken hassas terazi ile ölçümü tekrar yapılmıştır. Tüm örnekler için işlemin tamamlanmasının ardından 48 saat boyunca 70 °C de fırın içerisinde kurutulmuş, kurutma işleminden sonra örnekler tekrar hassas terazi ile ölçülerek kuru ağırlıkları elde edilmiştir (Babiński, vd., 2014: 374; Brunning, Watson, 2010: 28).

Şekil 2.15: Batıktan alınan örneklerin yüzerliliklerinin ölçümü.



Gereken tüm ölçümlerin yapılmasının ardından formül (2)'deki veriler yardımıyla yoğunluk miktarı hesaplanmıştır⁸ (Jensen, Gregory, 2006: 555-557; Babiński, vd., 2014: 374; Brunning, Watson, 2010: 28).

⁸ Yoğunluk hesaplamaları, Danimarka Ulusal Müzesi suya doymuş ahşap laboratuvarı baş konservatörü Dr. Paul Jensen'in "Suya Doymuş Ahşap Konservasyon Çalıştayı'nda (20-24 Temmuz 2009)" paylaştığı matematiksel algoritmaya uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

$$BD = m_d / V_w \quad (2)$$

BD: yoğunluk (g/cm³).

m_d: Örneğin fırın kurusu kütlesi (g).

V_w: Suyu doymuş örneğin mevcut hacmi (cm³).

Şekil 2.16: Batıklardan alınan örneklerin fırın kurusu ağırlıklarının ölçümü.



2.2.3. Ahşap Elemanların Madde Kaybının Hesaplanması

Yapılan maksimum su içeriği ve yoğunluk analizleri genel olarak ahşabın yaşadığı bozulma sonrasındaki durum hakkında bilgi vermektedir. Ancak maksimum su içeriği hesaplamaları sonucu değerleri aynı olan ahşaplar farklı bozulma aşamalarında olabilmektedir. Bunun sebebi her ahşap cinslerinin farklı yoğunluk değerlerine sahip olmasıdır. Gerçekleştirilen ahşap madde kaybı hesaplamalarında ahşabın bozulmaya uğramadan önceki kuru ağırlıklarının da formüle dâhil edilmesi sonucu ahşabın geçirdiği bozulmaya ilişkin daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir (Schniewind, 1990: 89-90; Jensen, Gregory, 2006: 556). Bu hesaplamanın yapılması için batığın elemanlarında kullanılan ahşap cinsleri ve yoğunluk değerleri bilinmelidir. Böylece yapılan hesaplamalarda suya doymuş ahşabın yoğunluğu ile referans alınan ahşabın cinsinin yoğunluğunun karşılaştırması yapılabilmektedir (Brunning, Watson, 2010: 28).

Tablo 2.1: Taze ahşap cinslerinin ortalama yoğunluk değerleri.

Ahşap Cinsi	Ortalama Yoğunluk (g/cm ³)
Çınar	0,66
Karaağaç	0,57
Çam	0,42
Gökmar	0,46

Kaynak: Babinski, vd., 2014: 376; Erdin, Bozkurt, 2013: 318.

Alınan örnekler üzerinde yoğunluk hesaplamalarının yapılmasının ardından ahşap madde kaybı hesaplaması formül (3) yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Schniewind, 1990: 89-90; Brunning, Watson, 2010: 28).

$$\text{Ahşabın madde kaybı (\%)} = \frac{d_{\text{referans ahşap}} - d_{\text{suya doymuş ahşap}}}{d_{\text{suya doymuş ahşap}}} \times 100 \quad (3)$$

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

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

2.2.4. Ahşap Elemanlarda SEM Analizi

YK 16 batığına ait suya doymuş ahşap örneklerin fiziksel ve biyolojik açıdan yaşadıkları bozulma sonucu hücre yapısındaki değişimleri detaylandırabilmek için SEM cihazı ile görüntüleme yapılmıştır. Düzgün görüntü elde edebilmek için analiz öncesi batıktan alınan örnekler üzerinden jilet yardımıyla enine, radyal ve teğet yönde kesitler alınmıştır (Kılıç, 2017b: 102-103; Kılıç, 2017a: 63).

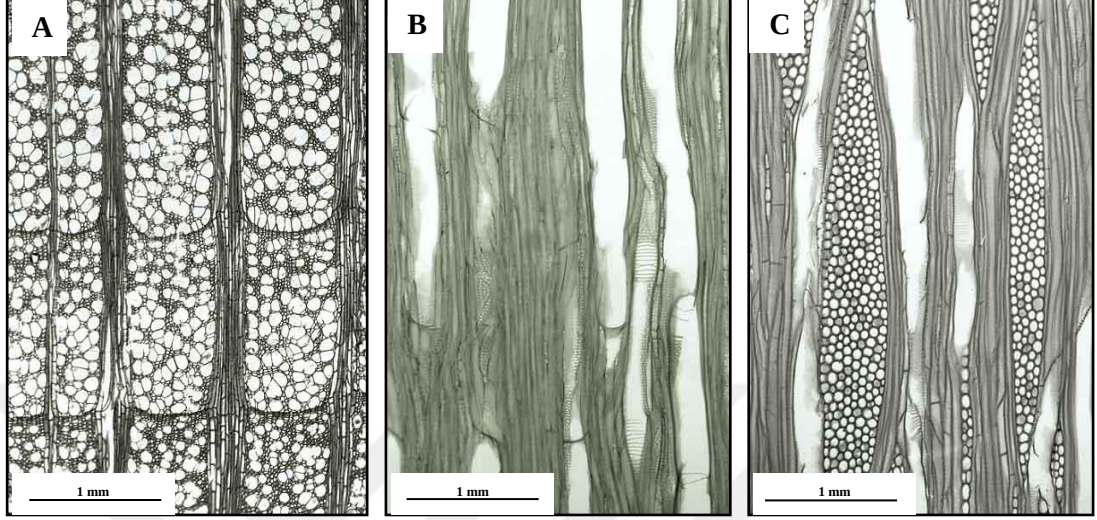
Şekil 2.17: SEM için örnek yüzeyinden kesit alımı.



Analiz çalışmaları İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Kesitlerde yapılan görüntüleme işlemi FEI Quanta 450 FEG-EDS model SEM ile yapılmıştır. Kesiti hazırlanan örnekler üzerine kaplama yapılması mümkün olmadığı için iletken bant üzerine yerleştirilmiştir. Deformasyona uğramaması, yalıtkan olması gibi sebeplerden dolayı yüksek vakum modu yerine düşük vakum modu kullanılarak görüntüleme gerçekleştirilmiştir (Kılıç, 2017a: 63).

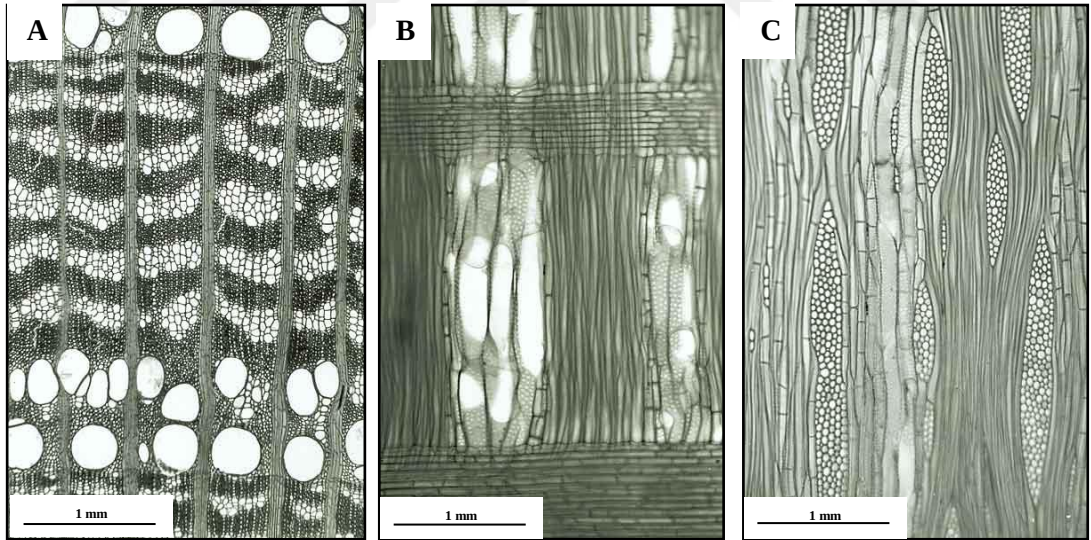
Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu YK 16 batığına ait ahşap elemanların hücre yapılarında yaşanan fiziksel bozulma durumunun tespit edilebilmesi amacıyla farklı büyütme oranlarında görüntüler alınmıştır. Elde edilen görüntüler üzerinde yaşanan değişimin oranının tespit edilebilmesi için aynı cins ve bozulmaya uğramamış ahşap elemanlara kesit görüntüleri ile ait karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 2.18: Çınar cinsi ahşabın kesit görünümleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).



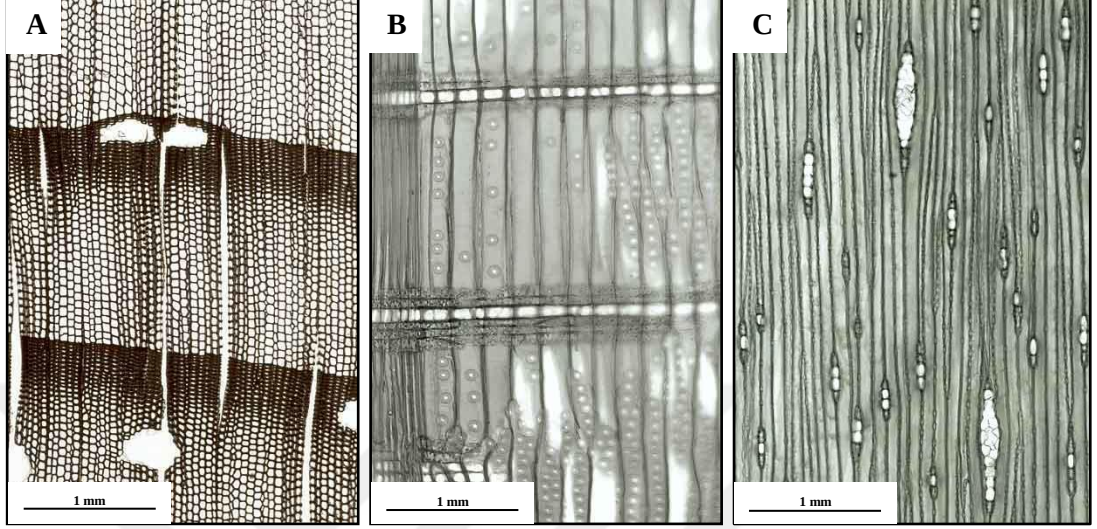
Kaynak: Erdin, Bozkurt, 2013: 358.

Şekil 2.19: Karaağaç cinsi ahşabın kesit görünümleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).



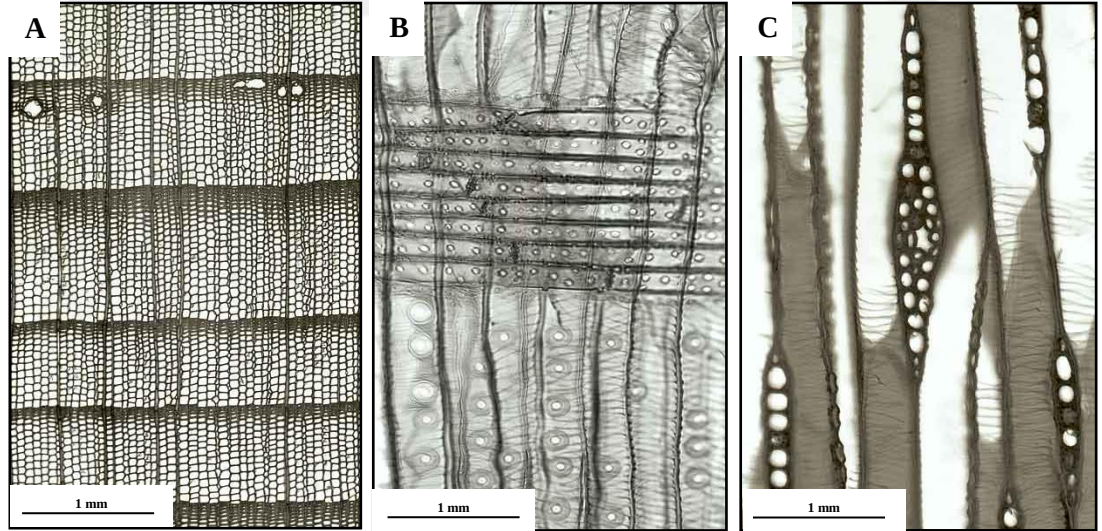
Kaynak: Erdin, Bozkurt, 2013:373, <<http://www.woodanatomy.ch>> (Erişim Tarihi: 13. 3. 2021).

Şekil 2.20: Çam cinsi ahşabın kesit görünümleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).



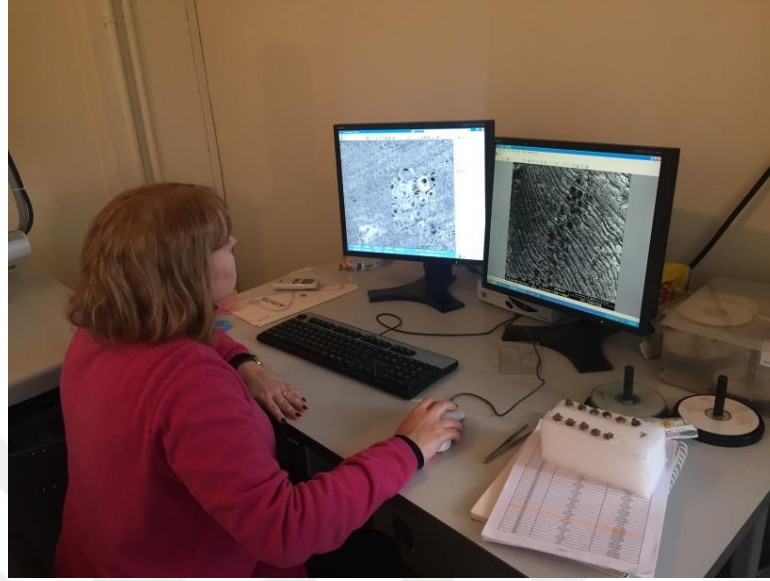
Kaynak: <<http://www.woodanatomy.ch>> (Erişim Tarihi: 13. 3. 2021).

Şekil 2.21: Gökmar cinsi ahşabın kesit görünümleri (A: Enine Kesit, B: Radyal Kesit, C: Teğet Kesit).



Kaynak: Erdin, Bozkurt, 2013:333, <<http://www.woodanatomy.ch>> (Erişim Tarihi: 13. 3. 2021).

Şekil 2.22: SEM cihazı ile YK 16 batığı üzerinde gerçekleştirilen incelemeler.



2.2.5. Ahşap Elemanlarda FTIR Analizi

FTIR analiz metodu oldukça küçük boyutlu örnek üzerinden kimyasal bileşenlerin analizine olanak sağlamaktadır (Fors, vd., 2011: 789-790). FTIR cihazında bulunan ATR modu toz örneklerden veya küçük ahşap parçalardan doğrudan analiz yapabilme imkânı sağlar (Bunning, Watson, 2010: 28; Fors, vd., 2011: 789-790). Ahşabın temel kimyasalları olan selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarındaki değişimi tanımlayabilmek için ahşap örneklerden elde edilen spektrumlardaki “parmak izi” bölgesinde olan (1800 ile 800 cm^{-1} arasındaki dalga boyu) farklılıklar incelenmektedir (Fors, Richard, 2010: 44). Batığa ait suya doymuş ahşaplardan ve referans ahşaplardan elde edilen spektrumların karşılaştırılması sonucunda kimyasal bozulma, biyodegradasyon⁹ durumu ve konservasyon sonrası yöntemin başarısı belirlenebilmektedir (Pandey, 1999; Bunning, Watson, 2010: 28 Troré, vd., 2016: 63; Tejedor, 2010: 110-116). Suya doymuş ahşapta yaşanan kimyasal bozulma durumuna ilişkin daha önce gerçekleştirilen FTIR analiz çalışmaları ve IR bant pozisyonları hakkında bilgi edinmek amacıyla uluslararası yayınlar taranarak literatür incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda YK 16

⁹ Son dönemde gerçekleştirilmiş olan çalışmalar ahşapta yaşanan biyolojik kaynaklı bozulmanın FTIR analizi ile belirlenebileceğini göstermektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu artan bakteriyel bozulma dereceleri, ligninde yaşanan bozulma durumunu yansıtan piklerle kalitatif olarak açıklanabileceğini ifade etmiştir (Gelbrich, 2012; Pandey, 2003; Pozo, vd., 2016: 2882).

batığına ait ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu elde edilen spektrumlar ile referans aynı cinsteki ahşap örneğe ait spektrumları karşılaştırılmıştır. Böylece hangi bant pozisyonlarında değişim yaşandığı ve yaşanan değişim sonucu selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarındaki farklılıklar detaylıca araştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar ve Yenikapı batıklarına ait ahşap elemanlar üzerinde daha önce gerçekleştirilmiş olan FTIR analiz sonuçları incelenerek bant pozisyonları, bant tayini ve etkilediği fonksiyonel grupları içeren genel bir tablo oluşturulmuştur (Kılıç, 2017a: 72; Pozo, vd., 2016: 2880; Troré, vd., 2016: 65; Pucetaite, 2012: 16; Tamburini, vd., 2017: 39; Viet, vd., 2017; Müller, vd., 2009; 57-62; Esteves, vd., 2013: 248-254). Belirlenen FTIR bant pozisyonları ve tayini tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: FTIR analizi sonucu ahşaptaki bant pozisyonları ve fonksiyonel grupları.

Bant Pozisyonu (cm ⁻¹)	Bant Tayini ve Fonksiyon Grupları
1732	Hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi.
1654	Ligninde konjuge C=O gerilmesi.
1592	Ligninde C=C gerilmesi.
1502	Ligninde C=C gerilmesi.
1460	Ligninde C-H deformasyonu ve aromatik zincir gruplarında gerilme titreşimi.
1456	Ligninde CH deformasyonu.
1420	Selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi, ligninde CH deformasyonu.
1412	Ligninde CH deformasyonu.
1367	Selülozda R ₃ C-H'da C-H esnemesi.
1326	C-O gerilmesi (lignindeki şiringil halkası), selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi.
1316	Selülozda CH ₂ dalgalanması.
1265	C-O gerilmesi (lignindeki şiringil halkası) ve aromatik guasil gruplarında C-O gerilme titreşimi.
1235	Lignindeki şiringil halkası ve ksilande ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1216	Selüloz ve hemiselülozda CH ve OH esnemesi.
1164	Selüloz ve hemiselülozda asimetrik C-O ve C-C gerilmesi.
1155	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimi.
1140	Aromatik halkalarda C-H deformasyonu.
1126	Lignin degradasyonu.
1105	Selüloz ve hemiselülozda C-O ve C-C gerilmesi ve CH ₂ dalgalanması.
1086	Lignin degradasyonu.
1044	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
1030	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi.
896-898	Amorf selülozda CH deformasyonu.
825	Ligninde CH deformasyonu.

Kaynak: Kılıç, 2017a: 72; Pozo, vd., 2016: 2880; Troré, vd., 2016: 65; Pucetaite, 2012: 16; Tamburini, vd., 2017: 39; Viet, vd., 2017; Müller, vd., 2009: 57-62; Esteves, vd., 2013: 248-254; Kılıç, Kılıç, 2021: 93-105.

YK 16 batığından alınmış suya doymuş ahşap örnekler ve referans ahşap örnekleri analiz çalışması öncesi etüv içerisinde 48 saat boyunca 75 °C'ye kadar kurutulmuştur. Analizi gerçekleştirilecek olan örnekler bu şekilde hazırlandıktan sonra nem almasını önlemek için analiz uygulamasına kadar desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir (Kılıç, 2017a: 72). Analizler, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Merkez Araştırma Laboratuvarı'nda (MERLAB) gerçekleştirilmiştir. Batığa ait örneklerin Perkin Elmer Spectrum One FTIR spektrometresi ile analizi gerçekleştirilmiştir.

2.2.6. Ahşap Elemanlarda XRF Analizi

Suya doymuş ahşapta yaşanan kimyasal değişimi anlayabilmek için X-ışınlarının kullanıldığı analiz metotları kullanılmaktadır. XRF analiz yöntemi, elementlerin yüzdelik (%) ve ppm cinsinden kantitatif olarak analiz edilmesine olanak tanır. Bu yöntem hızlı ve tahribatsız olduğu için suya doymuş ahşap eserlerde sıklıkla tercih edilmekte, bir ahşabın temel elementleri olan Karbon (C), Oksijen (O), Azot (N), Hidrojen (H) gibi çeşitli elementlerin miktarı belirlenebilmektedir. Elde edilen veriler dâhilinde yeni ahşap ile karşılaştırma yapılarak suya doymuş ahşapta yaşanan bozulma süreci detaylıca kavranmıştır. Bunun dışında ahşabın içeriğinde bulunan demir ve sülfür varlığı da ayrıca araştırılmıştır (Fors, vd., 2011: 786-787).

YK 16 batığından alınmış örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRF analizi ile ahşapların içeriğindeki elementler tespit edilmiştir. Örneklerden elde edilen oranlar yarı kantitatif değerler olup, elementlerin genel olarak oranların karşılaştırılmasını sağlamıştır.

Batıktan alınan örnekler üzerinde uygulanan analizler, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Spectro xSort model el tipi XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Batıktan alınan örneklerin XRF analizi için aynı boyutlarda olmasına özen gösterilmiştir. Analiz çalışması sırasında nem kaynaklı sapmaların yaşanmaması için örnekler Yenikapı Batıkları Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'nda etüv içerisinde 75 °C'ye kadar kurutulmuş, ardından Çanakkale'ye gönderilmiştir.

2.2.7. Ahşap Elemanlarda pH Ölçümü

Suya doymuş ahşabın pH değerlerinin çok yüksek ya da düşük olması ahşapların maruz kalacağı kimyasal bozulma sürecini etkilemektedir (Gronyn, 1990: 20-21; Jordan, 2001: 50; Kılıç, 2017a). Ayrıca pH değerlerinde yaşanan değişimler biyolojik bozulma sürecini de etkilemektedir. Örneğin, selülozu tüketen bakteriler pH değeri 3'ün altında olduğu durumlarda, sülfatı indirgeyen bakteriler ise pH değerinin 5,5' in altına indiği durumlarda faaliyetlerini sürdürmezler (Gronyn, 1990: 24). Ayrıca tünel bakterilerinin geniş bir pH aralığını tolere edebilmesi suya doymuş ahşap üzerindeki etkinliğini artırmaktadır (Daniel, Nilsson, 1998).

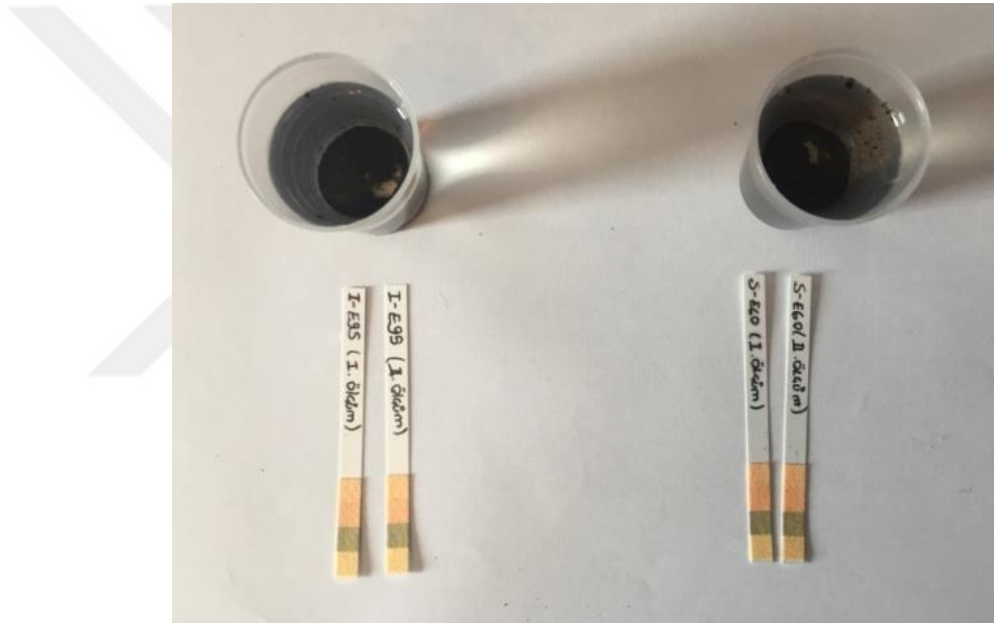
Şekil 2.23: İndikatör şeritler ile batığa ait örneklerin pH ölçümü.



Batığın geçirmiş olduğu kimyasal bozulmanın anlaşılması amacıyla örnekler üzerinde periyodik olarak pH ölçümleri iki yöntem ile gerçekleştirilmiştir (Kılıç, 2017a: 67-68). Günümüzde pH ölçümü için pek çok yöntem olmasına karşın ilk yöntem olarak ahşap yüzeyinden ölçümü sağlayan pH indikatör şeritlerinin kullanımına karar verilmiştir (Şekil 2.23). Tahribatsız bir yöntem olan bu ölçüm yönteminde indikatör şeritleri suya doymuş ahşap yüzeyine temas ettirilerek yaklaşık değerler tespit edilmiştir.

Ölçümlerin sonuçlarını doğrulamak ve teyit etmek amacıyla ikinci bir ölçüm yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntemde batığa ait belirlenen suya doymuş ahşaplardan yaklaşık 50-100 mg değerinde örnekler alınmış ve kurutulmuştur. Kurutulan örnekler agat havan içerisinde toz haline getirildikten sonra yaklaşık 20 °C’ de 2-3 gün boyunca saf su içerisinde periyodik olarak karıştırılarak bekletilmiştir. Ardından pH indikatör şeritleri ile ölçümleri yapılarak değerler kontrol edilmiştir (Alkmist, 2008: 35; Kılıç, 2017a: 68-69).

Şekil 2.24: Toz haline getirilen örneklerin saf su içerisinde bekletilmesi ve pH ölçümü.



YK 16 batığının suya doymuş ahşap elemanları üzerinde uygulanan analiz çalışmaları sonucunda bozulma durumu, bozulma nedenleri ve sonuçları gibi pek çok soru cevaplanmıştır (Şekil 2.12). Yapılan hesaplamalar ve analiz çalışmaları sonucu elde edilen verilerin tümü üçüncü bölüm içerisinde değerlendirilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YENİKAPI 16 BATIĞINDA BOZULMA DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE KORUMA ÖNERİSİ

YK 16 batığının ahşap elemanları için doğru tedavi yöntemi belirlenmeden önce mevcut durumunun değerlendirilmesi amacıyla alınan örnekler üzerinde bir dizi analiz metodu kullanılmıştır (bkz. s. 31). Böylece ahşap elemanların mikroyapısı, mevcut fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri incelenmiş ve açığa çıkarılmıştır. Yapılan ölçüm ve analiz çalışmaları sonucu elde edilen veriler, ahşap elemanlar içerisinde yaşanan nicel bozulma durumunun değerlendirilmesini ve farklı ahşap cinsleri içerisinde karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlar (Jensen, Gregory, 2006: 551).

3.1. Fiziksel Bozulma

Suya doymuş ahşabın gömülü kaldığı süreç içerisinde fiziksel açıdan geçirdiği değişimi ve boyutunu belirlemek, uygulanacak olan konservasyon metodunun belirlenmesi için esastır (Florian, 1990; Jensen, Gregory, 2006: 552). Gömülü kaldığı süreçte porozitesi artan ahşap bünyesine ortamdaki suyu alarak hacmini tamamladığı için içeriğindeki su miktarının hesaplanması yaşanan değişimin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Stamm, Hansen, 1937; Jensen, Gregory, 2006: 551; Kılıç, 2018: 17-20; Köse, 2013: 90).

YK 16 batığının fiziksel durumunun belirlenmesi amacıyla maksimum su içeriği, yoğunluk, ahşap madde kaybı ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Depolama sürecinde olan batığa ait toplam 110 adet ahşap elemandan örnekler alınmıştır. Her ahşap cinsi gömülü kaldığı süreç içerisinde fiziksel açıdan aynı oranda bozulmaya maruz kalmadığından dolayı tümünden örnek alınmaya çalışılmıştır. Böylece elde edilen veriler dâhilinde farklı ahşap cinslerinin bozulma durumunu karşılaştırma imkânı doğmuştur.

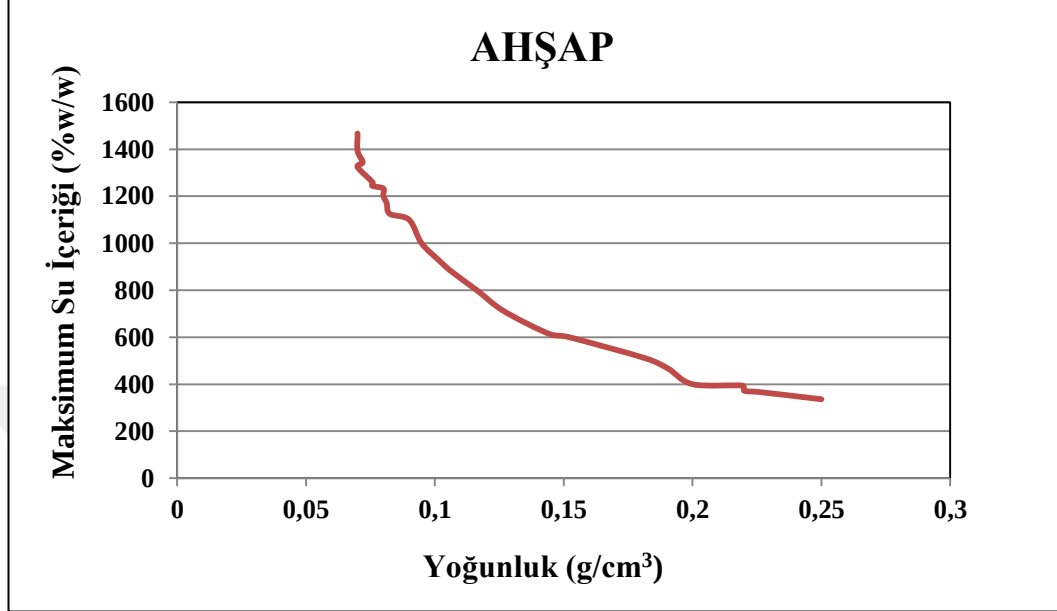
Maksimum su içeriği ve yoğunluk analizi, suya doymuş ahşapta yaşanacak olan kontrolsüz kuruma sonucu hücre duvarlarında görülen çekme, çökme vb. gibi

geri dönüşümü olmayan fiziksel değişimin tespitine olanak sağlar (Jensen, Gregory, 2006: 256).

Yapılan hesaplamalar sonucu çınar ağacından elde edilmiş ahşap elemanların maksimum su içeriğinin % 510-1467; karaağaçtan elde edilen ahşap elemanların maksimum su içeriği %600-1233; çam cinsi ahşap elemanların maksimum su içeriği % 372-643; göknar cinsi ahşap elemanların maksimum su içeriği % 336-840 arasında hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar genel olarak değerlendirildiğinde, çınar ve karaağaçtan elde edilmiş ahşap elemanların çam ve göknar cinsine oranla daha fazla bozulmaya uğradığı tespit edilmiştir. Genel olarak batığın ahşap elemanları değerlendirildiğinde ileri derecede bozulmaya sahip oldukları saptanmıştır. Yoğunluk hesaplamaları sonucu elde edilen değerler bu sonucu doğrulamaktadır. Çınar ağacından elde edilmiş ahşap elemanların yoğunluk değerleri 0,07-0,18; karaağaç cinsi ahşap elemanların yoğunluk değerleri 0,08-0,19; çam cinsi ahşap elemanların yoğunluk değerleri 0,13-0,23; göknar cinsi ahşap elemanların yoğunluk değerleri 0,11-0,25 arasında hesaplanmıştır.

YK 16 batığından alınan tüm örnekler üzerinde gerçekleştirilen maksimum su içeriği ve yoğunluk hesaplamaları sonucunda arasında ters bir orantı olduğu belirlenmiş ve şekil 3.1’de yer alan grafik ile verilmiştir. Grafik üzerinde maksimum su içeriği yüksek yani çok bozulmuş ahşap elemanların yoğunluğu azalırken, maksimum su içeriği düşük nispeten daha az bozulmuş ahşap elemanların yoğunluğunun arttığı görülmektedir.

Şekil 3.1: Örneklere ait maksimum su içeriği ve yoğunluk değerlerinin grafik üzerinden gösterimi.



Batık ahşaplarından alınmış örnekler üzerinde ayrıca ahşap madde kaybı hesaplamaları da yapılarak yaşanan değişim öncesindeki yoğunluğa ilişkin veriler elde edilmiştir (Schniewind, 1990: 89-90). Bu hesaplamalarda her ahşap cinsinin kendi yoğunluk değerleri referans alındığı için karşılaştırma yapılabilme imkânı olmuştur (Bunning, Watson, 2010: 28). YK 16 batığına ait örnekler üzerinde yapılan hesaplamalarda genel olarak ahşap madde kaybı %84-842,85 arasında bulunmuştur. Yenikapı batıkları üzerine gerçekleştirilmiş daha önceki çalışmalarda örnekler benzer maksimum su içeriği ve yoğunluğa sahip olmasına rağmen ahşap cinslerine bağlı olarak ahşap madde kayıplarının değiştiği belirlenmiştir (Kılıç, Kılıç, 2019a: 145). Çınar ağacından elde edilmiş İ-E91 numaralı örnek ile karaağaç cinsinden elde edilmiş E03 numaralı örneğin maksimum su içeriği ve yoğunluk değerleri benzer bulunmuştur (Tablo 3.1). Ancak referans çınar örneği ile E03 numaralı örnek arasındaki yoğunluk farkının daha fazla olması sebebiyle ahşap madde kaybı daha yüksek bulunmuştur.

Alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı hesaplamaları tablo 3.1’de verilmiştir.

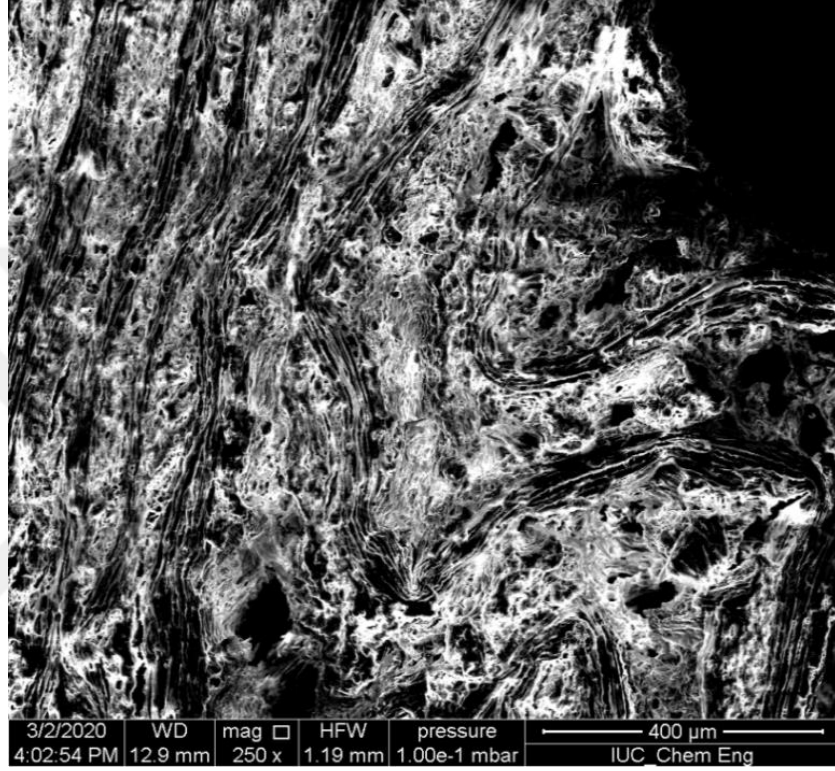
Tablo 3.1: Alınan örneklerden bazılarının fiziksel durumları.

ÖRNEK NO	CİNS/TÜR	U _{max} (%)	YOĞUNLUK (g/cm ³)	AHŞAP MADDE KAYBI (%)
E 01	Çınar	1063	0,09	633,33
E 02	Çınar	733	0,13	407,69
E 03	Karaağaç	1125	0,08	612,5
E 2	Çınar	831	0,11	500
E 5	Çınar	1324	0,07	842,85
E 8	Çınar	869	0,11	500
E 16	Çınar	963	0,10	560
E 17	Karaağaç	1233	0,08	612,5
E 17-S1	Karaağaç	1000	0,09	533,33
E 18	Çınar	1392	0,07	842,85
E 20	Çınar	1467	0,07	842,85
E 20-S(K)1	Çınar	827	0,11	500
E 29-S1	Çınar	847	0,11	500
E 32-S(K)1	Çınar	833	0,11	500
E 33	Çınar	1110	0,09	633,33
E 39-S1	Çınar	817	0,11	500
E 42	Karaağaç	871	0,11	418,18
E 50	Karaağaç	1246	0,08	612,5
E 51-S1	Çınar	1244	0,08	725
E 67	Karaağaç	616	0,15	280
E 74	Karaağaç	600	0,17	235,29
E 80	Karaağaç	604	0,15	280
E 88-S1	Karaağaç	1117	0,08	612,5
E 89	Karaağaç	695	0,13	338,46
E96-S1	Karaağaç	648	0,14	307,14
E 115-S(K)1	Karaağaç	862	0,11	418,18
E 118	Çınar	727	0,12	450
E 120	Çınar	1344	0,07	842,85
E 121	Çınar	564	0,16	312,5
E 124	Karaağaç	850	0,11	418,18
E 125	Çınar	1000	0,10	560
E 125-S1	Karaağaç	800	0,12	375
E 130	Karaağaç	867	0,11	418,18
E 131	Çınar	963	0,10	560
İÇ OM	Çınar	614	0,14	371,42
İÇK 1	Gökmar	477	0,18	155,55

İÇK- 2(B)	Gökmar	840	0,11	318,18
İ-E 13	Çınar	1118	0,08	725
İ-E 38	Karaağaç	667	0,14	307,14
İ-E 41	Çınar	880	0,11	500
İ-E 49	Karaağaç	1064	0,09	533,33
İ-E 61	Çınar	510	0,18	266,66
İ-E65	Çınar	929	0,10	560
İ-E 69	Çınar	900	0,10	560
İ-E 91	Çınar	1123	0,08	725
İ-E 95	Karaağaç	1078	0,09	533,33
İ-E 108	Karaağaç	705	0,13	338,46
İK 1	Çam	521	0,17	147,05
İK 1-2	Çam	643	0,14	200
İK 3	Çam	525	0,17	147,05
OM 2	Çınar	786	0,12	450
OM 3	Çınar	625	0,15	340
SÇT 1-1	Gökmar	467	0,19	142,1
SÇT-2	Gökmar	721	0,13	253,84
S-E 12	Çınar	831	0,11	500
S-E 22	Karaağaç	711	0,13	338,46
S-E 48	Karaağaç	970	0,10	470
S-E 60	Çınar	871	0,11	500
S-E 64	Çınar	711	0,13	407,69
S-E 83	Çınar	1083	0,09	633,33
S-E 90	Çınar	1044	0,09	633,33
S-E 98	Çınar	1260	0,08	725
SK 1-1	Çam	508	0,17	147,05
SK 1-2	Çam	575	0,16	162,5
SK 1-3	Çam	567	0,16	162,5
SK 1-5	Çam	494	0,18	133,33
SK 2-1	Çam	372	0,22	90,9
SK 2-2	Çam	413	0,21	100
SK 3-2	Çam	473	0,18	133,33
SK 4-2	Çam	418	0,21	100
SK 4-3	Çam	456	0,19	121,05
SK 5-1	Çam	589	0,15	180
SK 7-1	Gökmar	336	0,25	84
SK 8-2	Çam	458	0,19	121,05

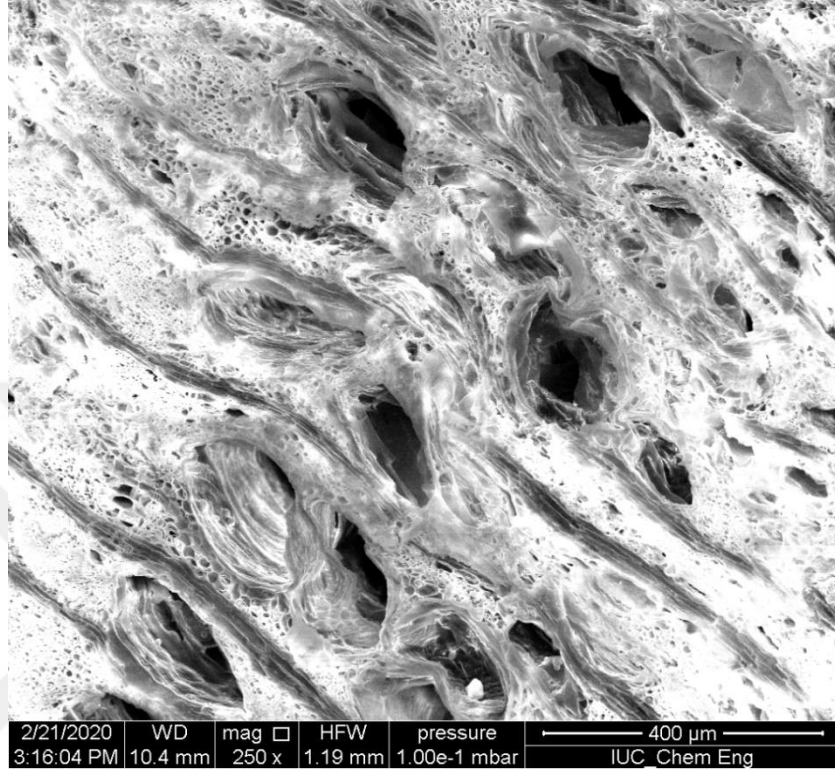
Ayrıca alınan örnekler üzerinde SEM analizi gerçekleştirilerek ahşap hücre yapısı içerisinde yaşanan fiziksel değişim ve boyutu görüntülenmiştir.

Şekil 3.2: E120 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü.



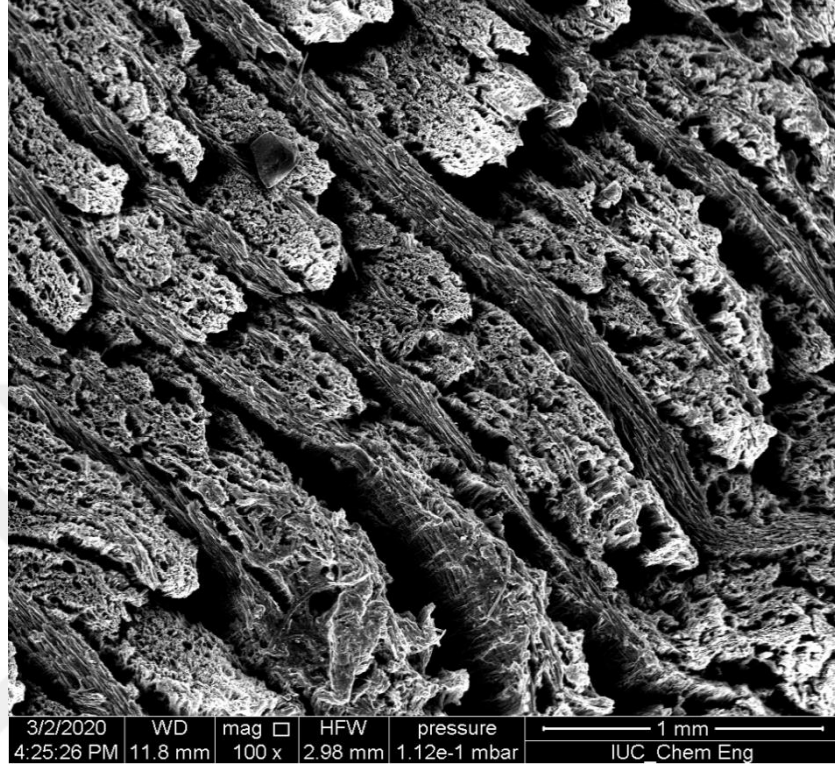
Şekil 3.2’de E120 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde trahe hücrelerinin yoğun bir şekilde deformasyona uğradığı belirlenmiştir (Kılıç, Kılıç, 2020; Grattan, 1987: 56-57; Erdin, Bozkurt, 2013: 108-113). Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %1344; yoğunluğu $0,07 \text{ g/cm}^3$; ahşap madde kaybı %842,85 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde ileri derecede bozulmaya uğradığı belirlenen örneğin, kimyasal ve fiziksel açıdan yaşadığı değişim ile ilişkili olarak ahşap hücre yapısının formunu kaybettiği tespit edilmiştir (Florian, 1990: 12-14).

Şekil 3.3: E67 numaralı karaağaçtan elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.



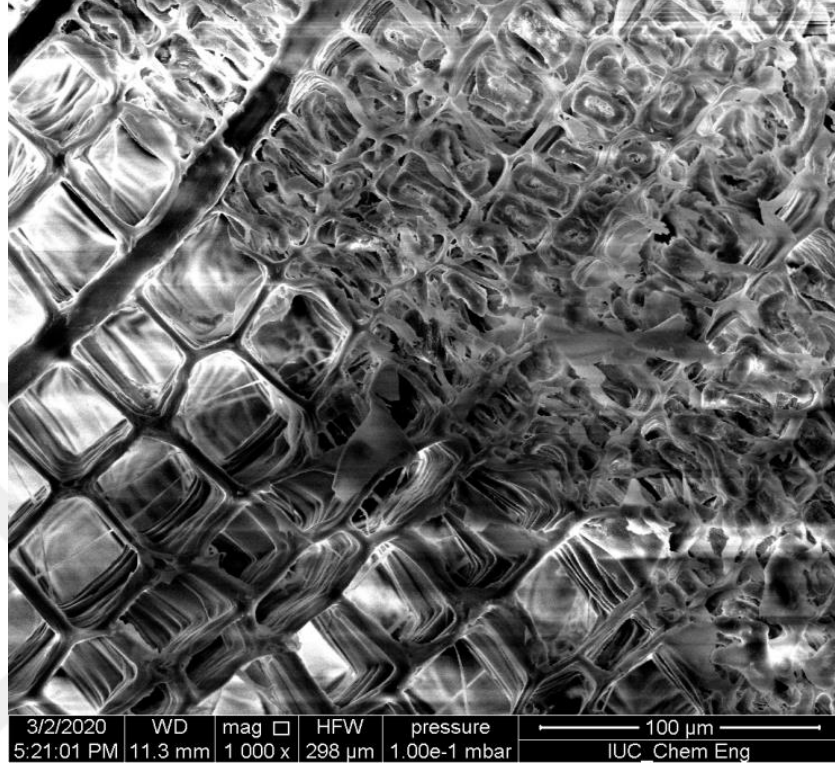
Şekil 3.3’de E67 numaralı karaağaçtan elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde trahe ve lif hücrelerinde fiziksel açıdan bozulma yaşandığı tespit edilmiştir. Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda maksimum su içeriği %616; yoğunluğu $0,15 \text{ g/cm}^3$; ahşap madde kaybı %280 olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda göz önüne alındığında kimyasal bozulma ile ilişkili olarak hücre çeper tabakalarının selüloz bakımından zengin olan bölümleri ayrışmaya uğramış ve mekanik dayanımını kaybetmiştir. Lignin açısından zengin olan orta lamel tabakası ise yaşanan bozulma sonucu ahşabın hücre yapısını bir arada tutan bir iskelet görevi görmektedir (Kılıç, Kılıç, 2020; Hoffmann, Jones, 1990: 53-56; Florian, 1990: 12-14).

Şekil 3.4: İ- E65 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.



Şekil 3.4’de İ-E65 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde ilkbahar ve yaz trahe hücrelerinde değişim yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2017a: 63). Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %929; yoğunluğu 0,10 g/cm³; ahşap madde kaybı %560 olarak hesaplanmıştır. Yeni çınar ağacına ait SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında lignin bakımından zengin olan orta lamel tabakasının da yaşanan bozulma ile ilişkili olarak hücre yapısının doku bütünlüğünü kaybettiği tespit edilmiştir (Kılıç, Kılıç, 2020; Florian, 1990: 14).

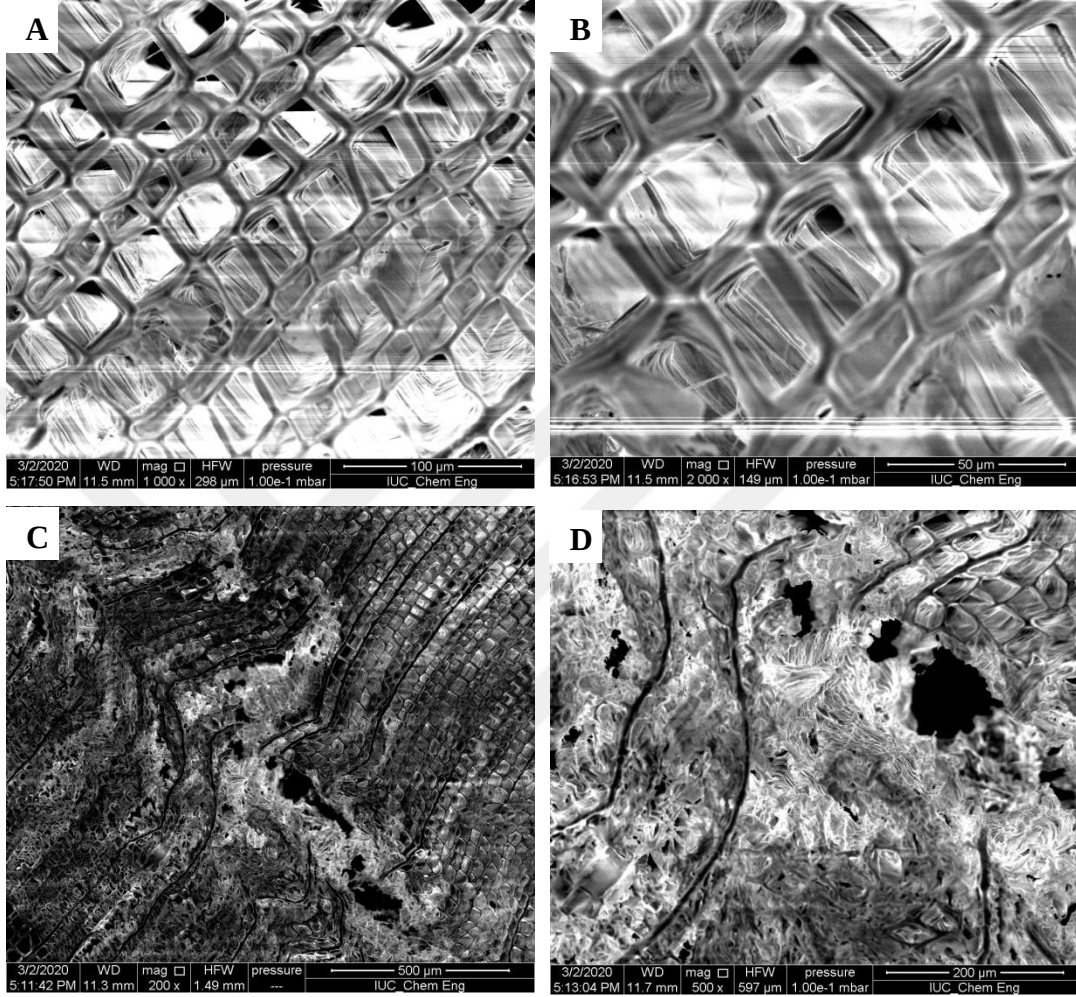
Şekil 3.5: SÇT 1-1 numaralı göknar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.



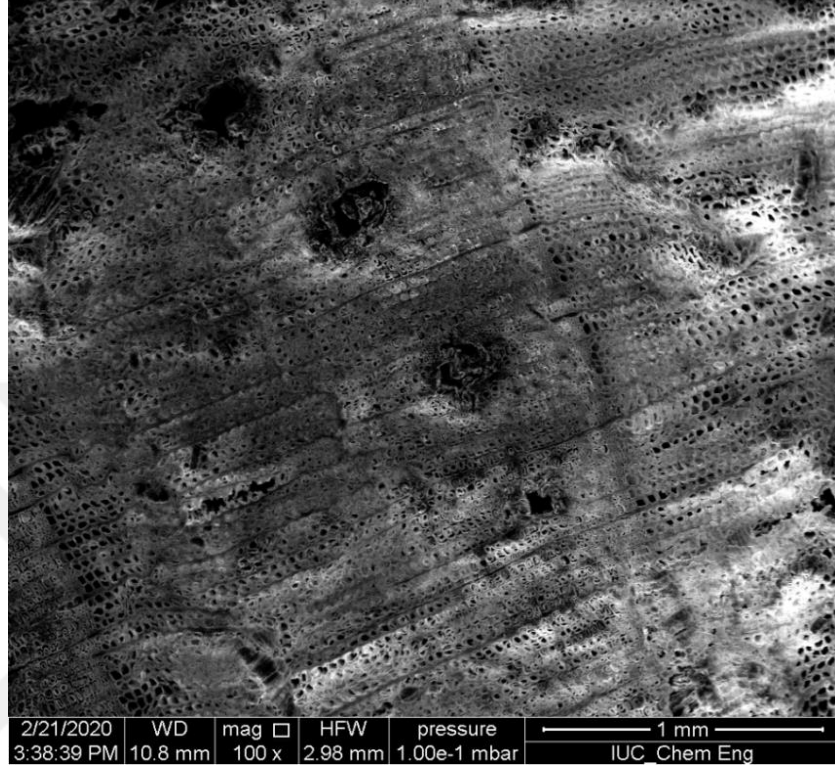
Şekil 3.5’de SÇT 1-1 numaralı göknar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde korunmuş ve deformasyona uğrayan kısımlar belirlenmiştir. Görüntünün sol tarafında korunmuş hücre yapısı, sağ tarafında ise deformasyona uğramış hücre yapısı tespit edilmiştir. Örnek üzerinde daha yüksek büyütmeler yapılarak hücre yapısında yaşanan bu değişim detaylandırılmıştır (Şekil 3.6). A (1000x büyütme) ve B (2000x büyütme) görüntülerindeki hücre çeper tabakalarının diğer bölümlere oranla daha az bozulmaya maruz kaldığı anlaşılmaktadır. C (200x büyütme) ve D (500x büyütme) görüntülerinde ise fiziksel ve kimyasal açıdan yaşanan değişim ile ilişkili olarak hücre yapısının deformasyona uğradığı tespit edilmiştir (Kılıç, Kılıç, 2020).

Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %467; yoğunluğu 0,19 g/cm³; ahşap madde kaybı %142,10 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.6: SÇT 1-1 numaralı göknar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri.



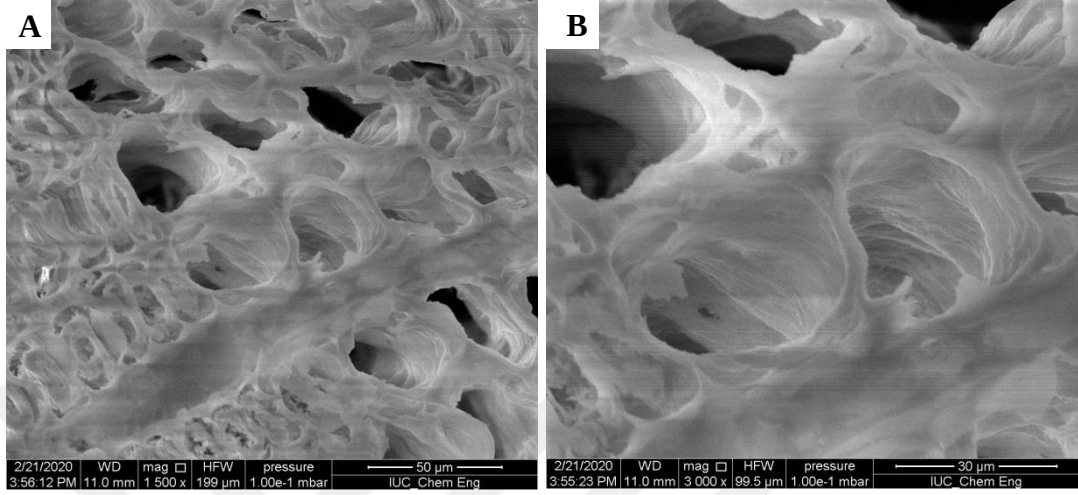
Şekil 3.7: SK 1-3 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.



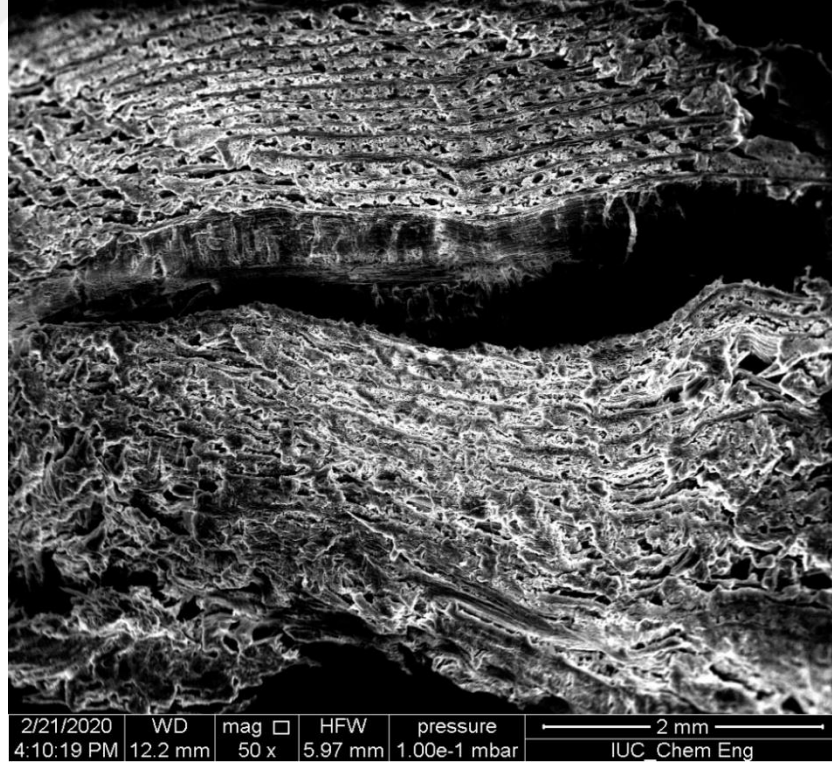
Şekil 3.7’de SK 1-3 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsünde ilkbahar ve yaz odununda bulunan traheid hücrelerindeki bozulma belirlenmiştir. Örnek üzerinde 1500x ve 3000x büyütme yapılarak hücre yapısında yaşanan bu değişim detaylandırılmıştır (Şekil 3.8) (Kılıç, Kılıç, 2019a: 136-137; Kılıç, Kılıç, 2020; Hoffmann, Jones, 1990: 45-62).

Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %567; yoğunluğu 0,16 g/cm³; ahşap madde kaybı %162,5 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.8: SK 1-3 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri.

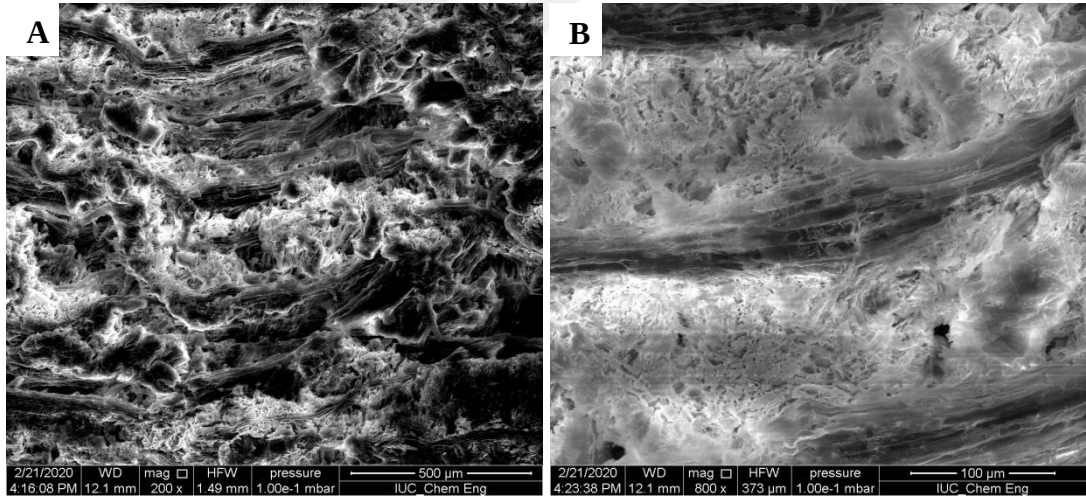


Şekil 3.9: İ-E41 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.

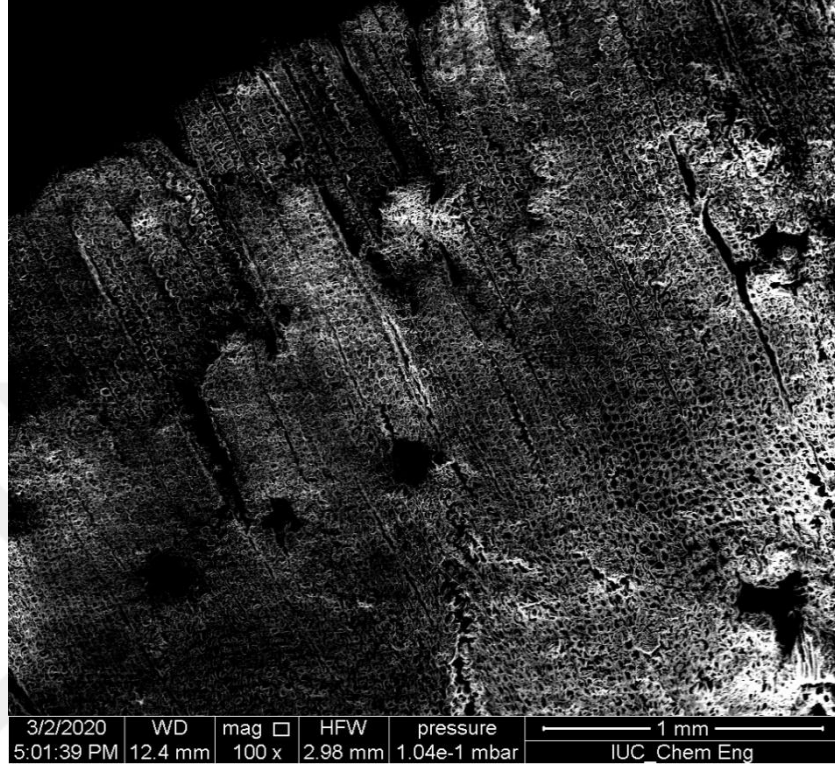


Şekil 3.9’da İ-E41 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde lif hücrelerinde yaşanan deformasyon ve ayrılmalar tespit edilmiştir. Örnek üzerinde 200x ve 800x büyütme yapılarak hücre yapısında yaşanan bu değişim detaylandırılmıştır. Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %880; yoğunluğu 0,11 g/cm³; ahşap madde kaybı %500 olarak hesaplanmıştır. Genellikle ahşabın gözeneklerinde yer alan su, zamanla kimyasal bileşenlerin ayrışmasına sebep olur. Böylece mekanik dayanımı azalmış olan hücre çeperleri çekme, çökme gibi fiziksel değişimlere maruz kalır (Florian, 1990: 12-14). Yapılan hesaplamalar sonucu ileri derecede bozulmaya uğradığı belirlenen örneğin mekanik dayanımının azaldığı ve belirli bölümlerde yüzey tansiyonu sebebiyle çökme, çekme gibi fiziksel deformasyona uğradığı tespit edilmiştir (Şekil 3.10) (Kılıç, Kılıç, 2020).

Şekil 3.10: İ-E41 numaralı çınar ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri.

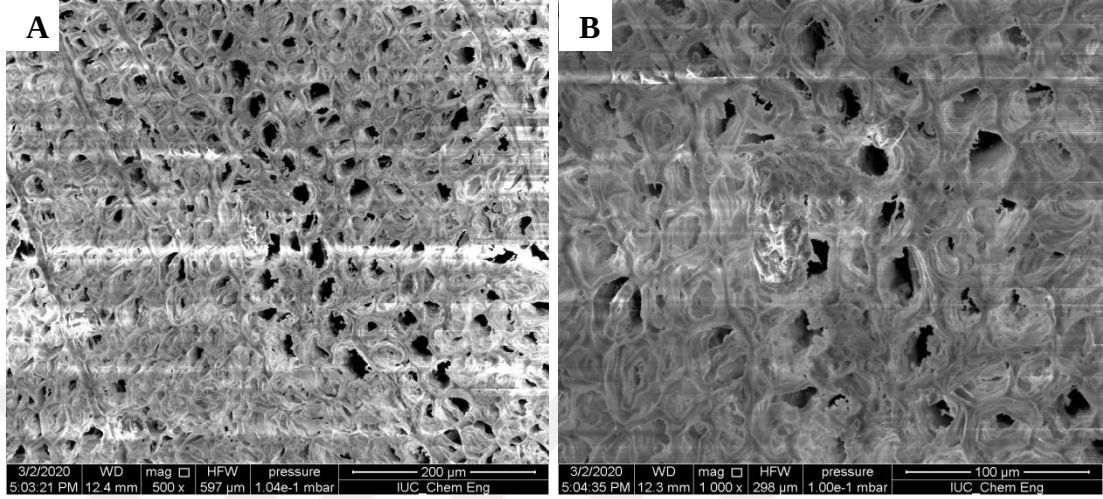


Şekil 3.11: SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüsü.



Şekil 3.11’de SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin boyuna kesitinin SEM görüntüsü incelendiğinde traheid hücrelerinde ayrılmalar ve fiziksel deformasyonlar tespit edilmiştir (Kılıç, Kılıç, 2019a: 136-147; Kılıç, Kılıç, 2020; Hoffmann, Jones, 1990: 45-62). Ahşap örnek üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu maksimum su içeriği %473; yoğunluğu $0,18 \text{ g/cm}^3$; ahşap madde kaybı %133,33 olarak hesaplanmıştır. Örnek üzerinde daha yüksek büyütme yapılarak hücre yapısında yaşanan bu değişim detaylandırılmıştır (Şekil 3.12).

Şekil 3.12: SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş örneğin enine kesitinin SEM görüntüleri (sol: 500x büyütme ve sağ: 1000x büyütme).



3.2. Kimyasal Bozulma

Suya doymuş ahşap eserin kimyasal bozulma durumunun günümüzde modern analiz yöntemleri ile araştırılması uygulanacak olan konservasyon yönteminin başarısını etkilemektedir. Her eserin bozulma durumu birbirinden farklı olduğu için konservasyon yöntemi belirlenmeden önce geçirdiği değişim tespit edilmelidir (Fors, vd., 2011: 786).

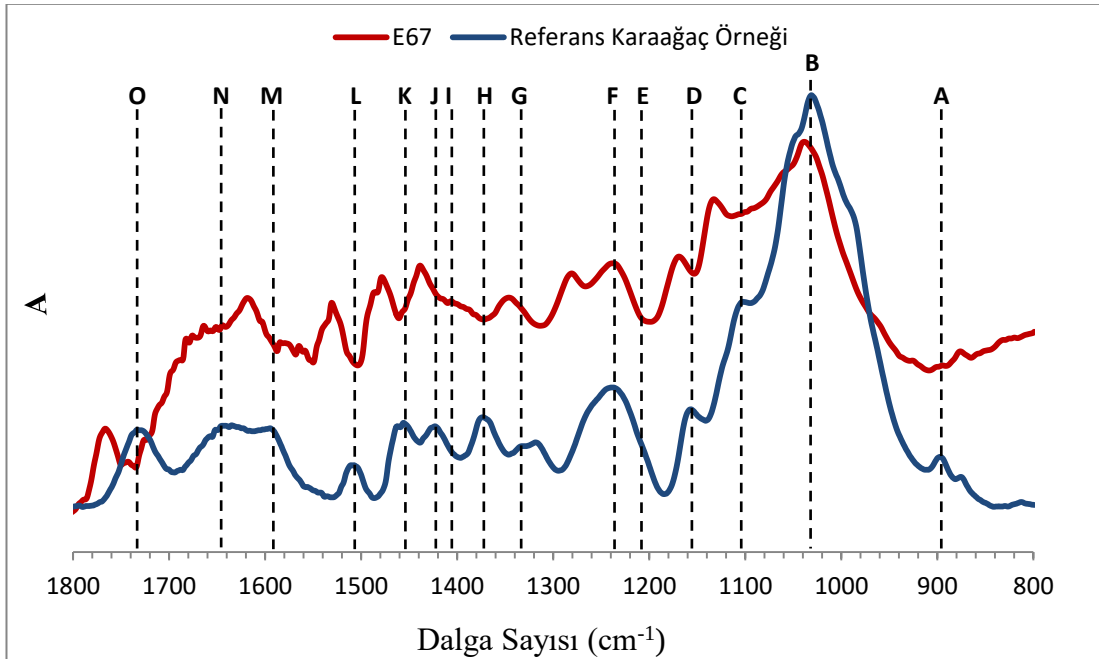
Ahşabın kimyasal bileşimlerinde yaşanan değişiminin belirlenmesinde kullanılan FTIR tahribatsız bir analiz metodudur (Pandey, 1999: 1969; Traoré, vd., 2016: 63). YK 16 batığından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen FTIR analizi çalışmaları sonucu elde edilen spektrumlar tablo 2.2 doğrultusunda incelenmiş ve değerlendirilmiştir (bkz. s. 47).

Şekil 3.13’de FTIR analizi sonucu E67 numaralı örnekten elde edilen spektrum ile referans karaağaç örneğine ait spektrumlar karşılaştırılmıştır. $\sim 898\text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik

noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1155 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselülozda C-O titreşimi kaynaklıdır. Bu pik noktası referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde mevcuttur. Fakat suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğu azalmıştır. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1326 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1412 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası C-H deformasyonu kaynaklıdır. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik yoktur. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1456 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) lignin ile

ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde de tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1654 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle O olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş karaağaç örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 100-102).

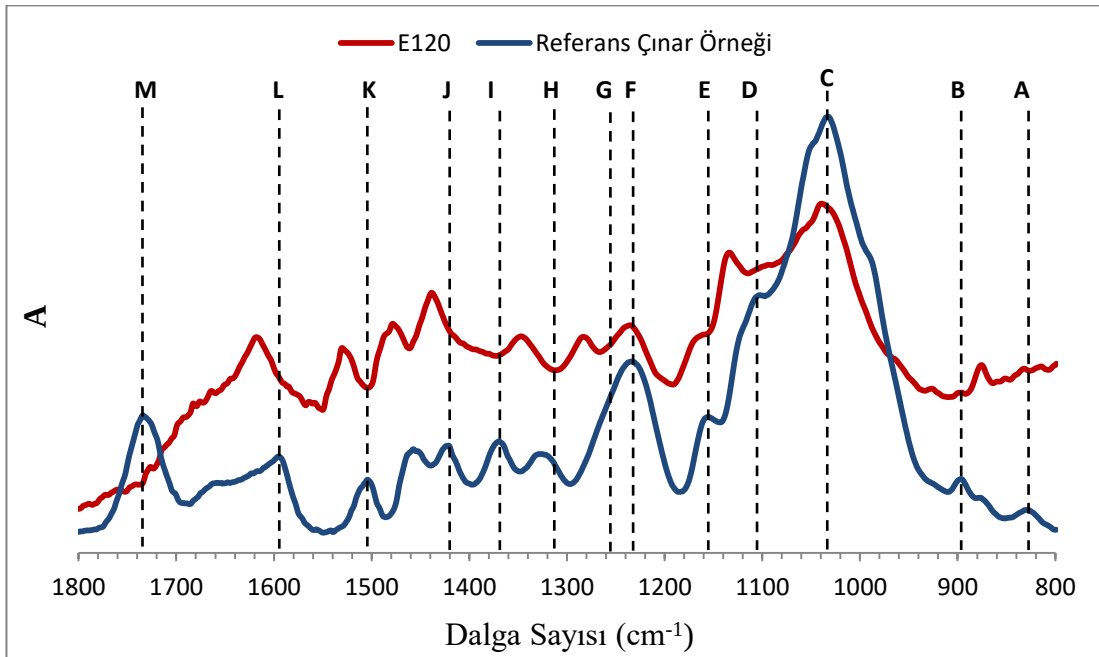
Şekil 3.13: E67 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans karaağaç (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.



Şekil 3.14’de gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu E120 numaralı örnek ile referans çınar örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. $\sim 825 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 898 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1030 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1155 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselülozda C-O titreşimi kaynaklıdır. Bu pik noktası referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde mevcuttur. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğu azalmıştır. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1316 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.)

selüloz ile ilişkilidir. Referans çınar örneğine ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğine ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans çınar örneğine ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğine ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğine ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğine ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 97-99).

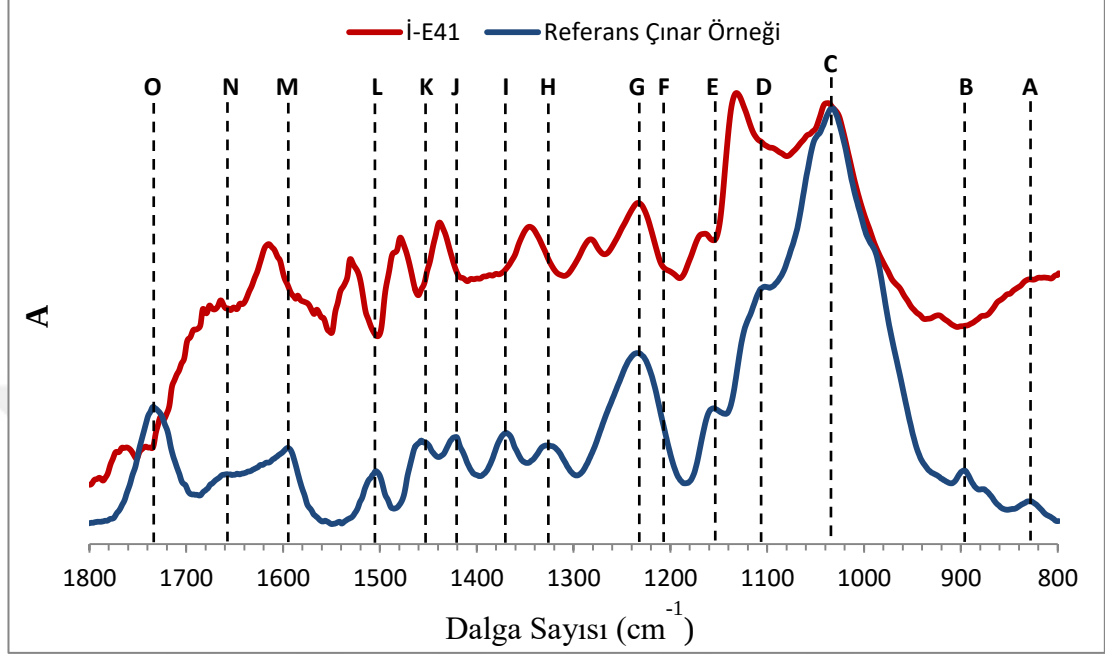
Şekil 3.14: E120 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans çınar (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.



Şekil 3.15’de gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu İ-E41 numaralı örnek ile referans çınar örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. $\sim 825 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 896 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) selülozun moleküler bağlarının esneme ve bükülme titreşimi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1030 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1126 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) lignin degradasyonu ile bağlantılıdır. Bu pik noktası, suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenmiştir. Ancak referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1326 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans çınar örneğe

ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1456 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde de tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1654 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle O olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 97-99).

Şekil 3.15: İ-E41 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans çınar (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.

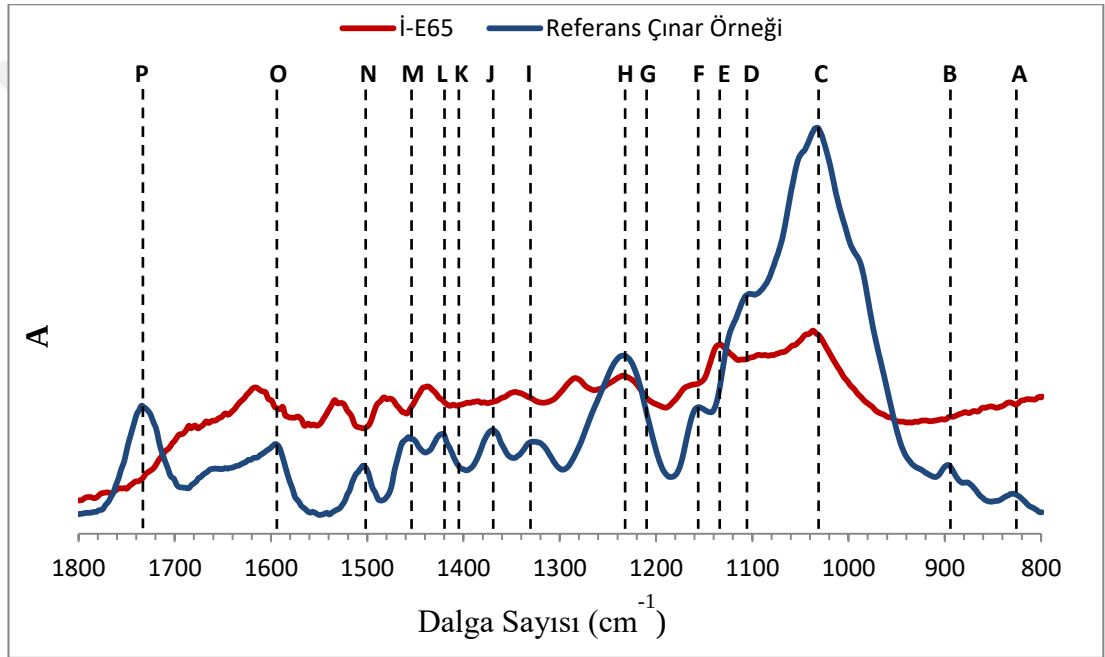


Şekil 3.16'da gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu İ-E65 numaralı örnek ile referans çınar örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. $\sim 825 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 898 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1030 \text{ cm}^{-1}$ (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) bandında tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1126 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) lignin degradasyonu ile bağlantılıdır. Bu pik noktası, suya doymuş çınar örneğe ait

spektrum üzerinde belirlenmiştir. Ancak referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1155 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselülozda C-O titreşimi kaynaklıdır. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde mevcuttur. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğu azalmıştır. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1326 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1412 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerine tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1456 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde de tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle O olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle P olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil

gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çınar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çınar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 97-99).

Şekil 3.16: İ-E65 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans çınar (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.

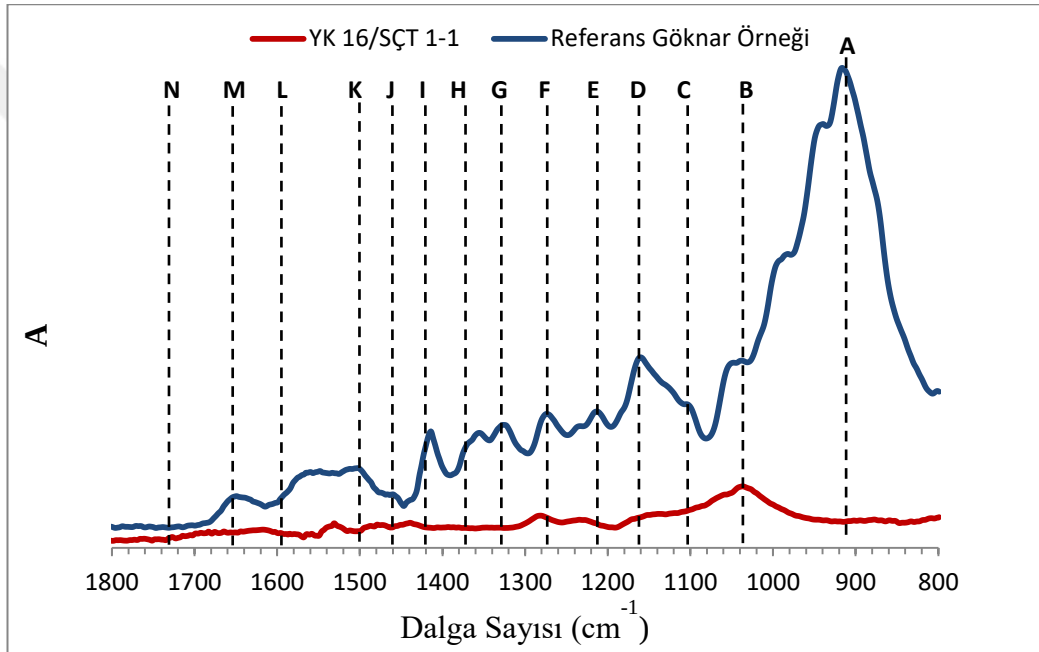


Şekil 3.17’de gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu SÇT 1-1 numaralı örnek ile referans göknar örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. ~898 cm^{-1} ’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. ~1030 cm^{-1} bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. ~1105 cm^{-1} bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve

hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1164 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) polisakkaritler ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1265 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) ligninde şiringil halkası ve C-O gerilme titreşimi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1326 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1460 \text{ cm}^{-1}$ bandındaki (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) pik noktası lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1654 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası,

referans göknar örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş göknar örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 97-102).

Şekil 3.17: SÇT 1-1 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans göknar (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.

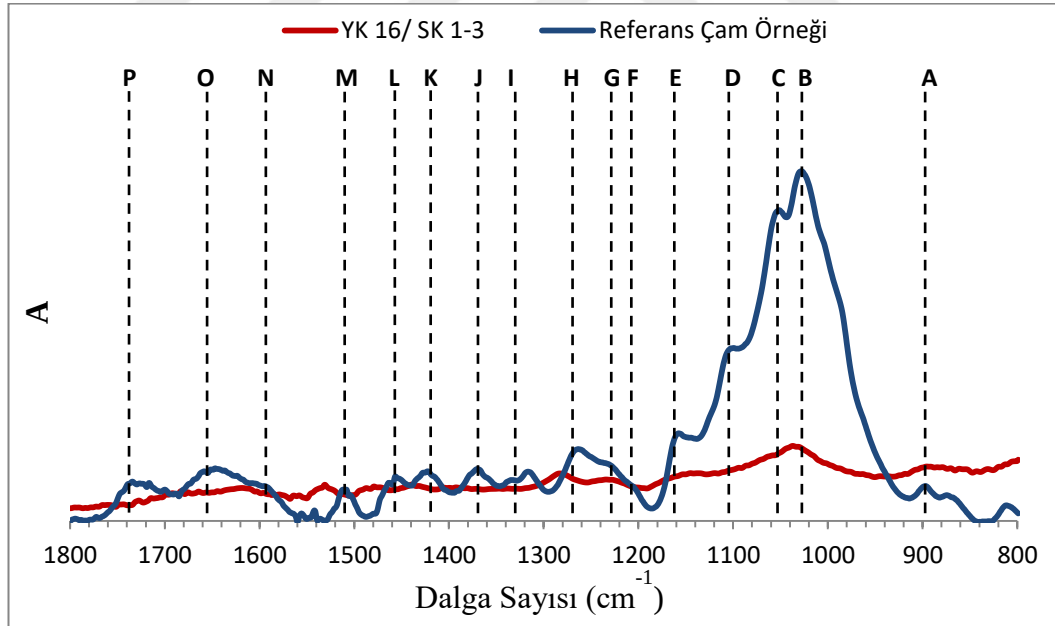


Şekil 3.18’de gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu SK 1-3 numaralı örnek ile referans çam örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. ~898 cm⁻¹’deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilidir. Bu pik noktası referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. ~1030 cm⁻¹ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. ~1044 cm⁻¹ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans

çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1164 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) polisakkaritler ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1216 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1265 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) ligninde şiringil halkası ve C-O gerilme titreşimi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1326 \text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1460 \text{ cm}^{-1}$ bandındaki (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) pik noktası lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) liginin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak

gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1654 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle O olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle P olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 99-100).

Şekil 3.18: SK 1-3 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans çam (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.

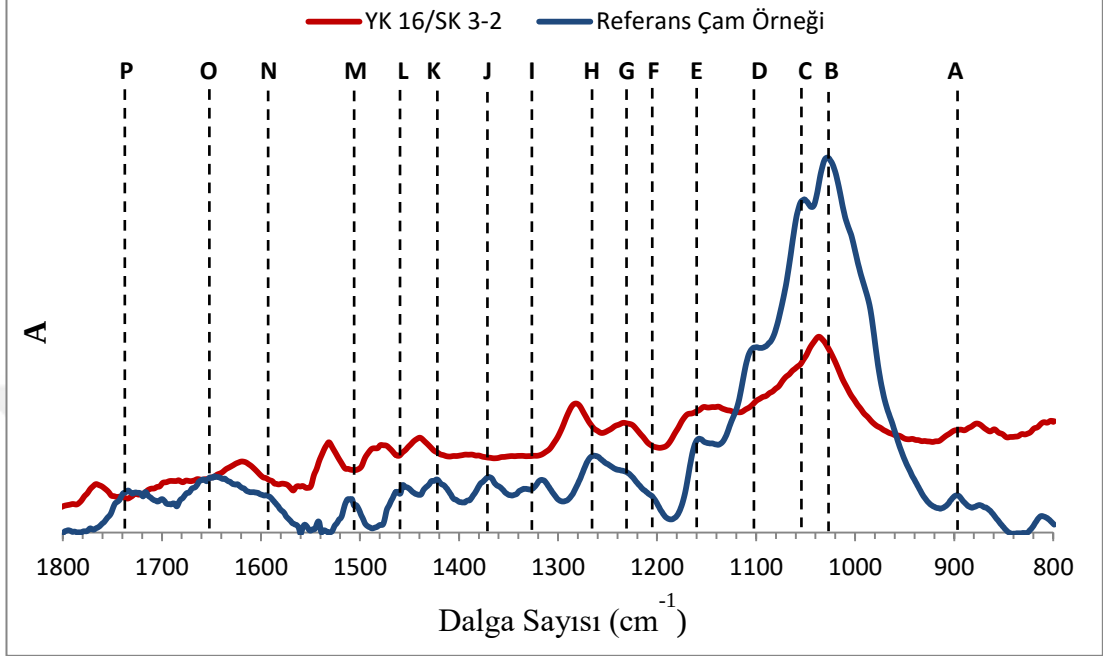


Şekil 3.19'da gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu SK 3-2 numaralı örnek ile referans çam örneğinden elde edilmiş olan spektrumlar karşılaştırılmıştır. $\sim 896 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle A olarak gösterilmiştir.) selülozun moleküler bağlarının esneme ve bükülme titreşimi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya

doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle B olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1044\text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle C olarak gösterilmiştir.) tespit edilen pik noktası selüloz ve hemiselülozdaki C-O gerilmesi kaynaklıdır. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1105\text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle D olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası selüloz ve hemiselüloz ile ilişkilendirilir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1164\text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle E olarak gösterilmiştir.) polisakkaritler ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası yoktur. $\sim 1216\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle F olarak gösterilmiştir.) ahşabın esterleşmesini gösterir. Bu pik noktası, suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmiştir. Fakat referans çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1235\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle G olarak gösterilmiştir.) şiringil halkası, ksilan ve lignindeki C= gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Ancak suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktası mevcut değildir. $\sim 1265\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle H olarak gösterilmiştir.) ligninde şiringil halkası ve C-O gerilme titreşimi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1326\text{ cm}^{-1}$ bandında (spektrumlarda noktalı çizgilerle I olarak gösterilmiştir.) belirlenen pik noktası şiringil halkalarda C-O titreşimi ve selülozda C-H bağları ile ilişkilendirilmiştir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1367\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle J olarak gösterilmiştir.) selüloz ile ilişkilidir. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde mevcut değildir. $\sim 1420\text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle K olarak gösterilmiştir.) selülozda kristalin

yapının miktarı ile ilişkilidir. Referans çam örneğe ait spektrum üzerinde belirlenen bu pik noktası suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmemektedir. $\sim 1460 \text{ cm}^{-1}$ bandındaki (spektrumlarda noktalı çizgilerle L olarak gösterilmiştir.) pik noktası lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1502 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle M olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilendirilmektedir. Bu pik noktası, her iki spektrum üzerinde mevcuttur. $\sim 1592 \text{ cm}^{-1}$ bandı (spektrumlarda noktalı çizgilerle N olarak gösterilmiştir.) lignine aittir. Bu pik noktası, tüm spektrumlar üzerinde tespit edilmektedir. $\sim 1654 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle O olarak gösterilmiştir.) lignin ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. $\sim 1732 \text{ cm}^{-1}$ 'deki bant (spektrumlarda noktalı çizgilerle P olarak gösterilmiştir.) hemiselülozda konjuge olmayan karbonil gerilmesi ile ilişkilidir. Bu pik noktası, referans çam örneğe ait spektrum üzerinde tespit edilmektedir. Fakat suya doymuş çam örneğe ait spektrum üzerinde bu pik noktasının yoğunluğunda azalma yaşanmıştır. Gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu ahşap içeriğinde holoselüloz ve lignin degradasyonu yaşandığı belirlenmiştir (Kılıç, 2021; Kılıç, Kılıç, 2021: 99-100).

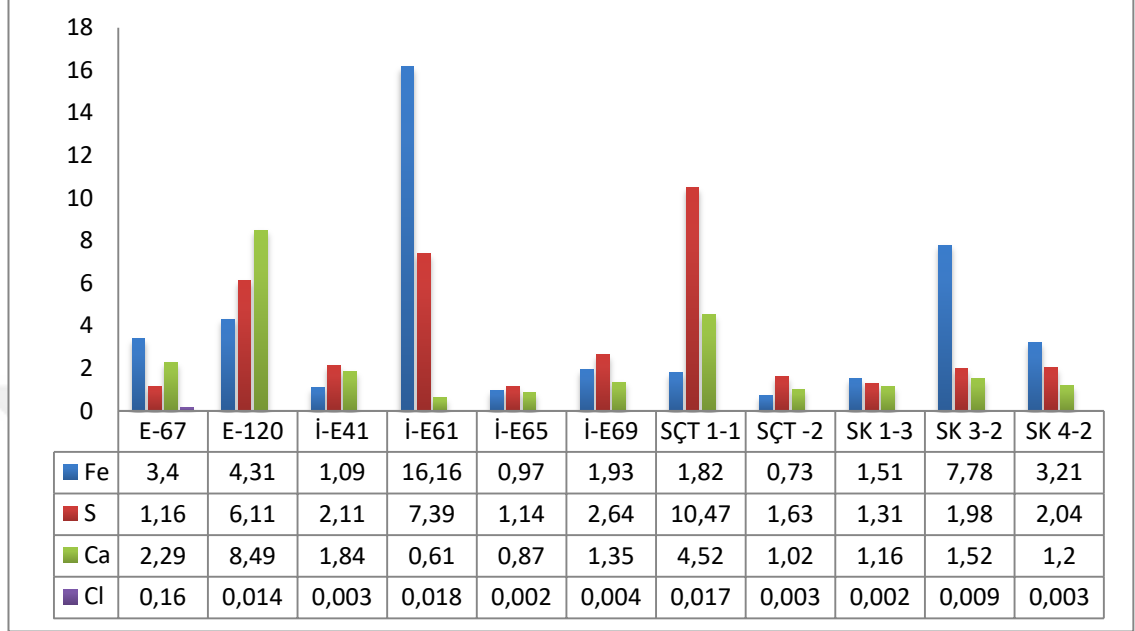
Şekil 3.19: SK 3-2 numaralı ahşabın (kırmızı) ve referans çam (mavi) örneklerinin FTIR spektrumları.



Ahşabın kimyasal yapısında yaşanan değişimi tespit etmek amacıyla ayrıca XRF analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analiz elementler, demir ve diğer bileşikler hakkında kantitatif bilgi sağlanması açısından önemli olup, tedavi yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynar (Fors, vd., 2011: 786). Bu konuda daha önce yapılmış olan çalışmalar, batık ahşapları üzerinde gerçekleştirilen XRF analizinde belirlenen %Fe ve %S oranlarının ahşaptaki demir korozyon ürünlerine olan yakınlığı ile doğru orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır (Fors, vd., 2014; Fors, vd., 2011: 786; Kılıç, 2017a: 129). Ayrıca çalışmalarda örneklerin içeriğinde yüksek oranlarda %Ca elementi tespit edilmiş (McQuenn, vd., 2015: 45-46; Fors, 2008: 64; Fors, vd., 2011: 786). Yenikapı batıklarına ait ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen XRF analiz çalışmalarında ppm seviyesinde belirlenen Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Co vd. elementlerin Marmara Denizi'nde var olan sediment tabakasından kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir (Kılıç, 2017a: 90; Kılıç, 2020).

Tablo 3.2'de YK 16 batığının ahşap elemanlarında gerçekleştirilen XRF analizi sonucu yarı kantitatif element miktarları verilmiştir.

Tablo 3.2: YK 16 batığı ahşap elemanlarının XRF analizi sonucu yarı kantitatif element miktarları (%).



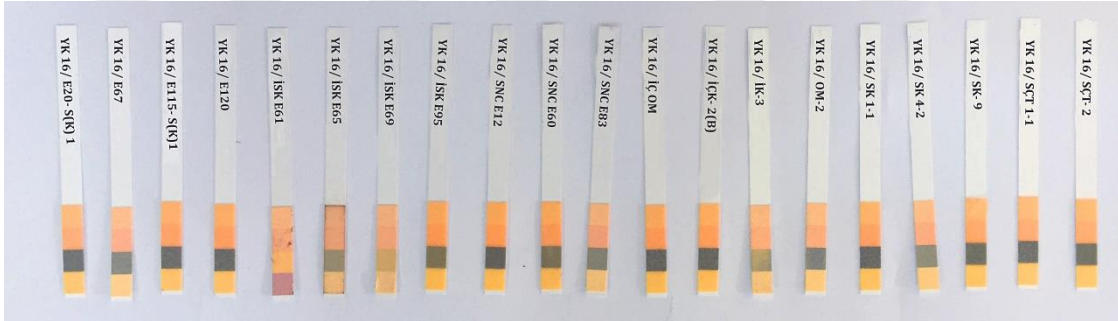
* Gerçekleştirilen analiz çalışması sonucunda Zn, K, Mn, Pb, Co, Cr, Cu, Ag vd. elementlerin yarı kantitatif oranları ppm seviyesinde bulunmuş ve bu sebeple değerler tablo içerisinde verilmemiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde örneklerin tümünde Fe ve S elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Özellikle İ-E61, SK 3-2 ve SK 4-2 numaralı ahşap elemanların içeriğinde yarı kantitatif %Fe ve %S oranlarının diğer örneklerle göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu da diğer örneklerden farklı olarak, İ-E61, SK 3-2 ve SK 4-2 numaralı ahşap elemanlara ait olan örneklerin muhtemelen demir korozyon ürünlerine daha yakın bir bölgeden alınmış olmasındandır (Fors, vd., 2014; Fors, vd., 2011: 786; Kılıç, 2017a: 129). Ayrıca yapılan analiz çalışmaları sonucunda örneklerin içeriğindeki Ca elementinin varlığı ortaya çıkmıştır. Özellikle E120, SÇT 1-1 ve E67 numaralı ahşap elemanların içeriğindeki yarı kantitatif %Ca oranlarının nispeten diğer örneklerle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda ahşap hücre çeper tabakalarının elementel yapısında Ca varlığı tespit edilmiş ve doğal kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır (Unger vd., 2001: 16; MuQuenn, vd., 2015: 45-46; Kılıç, 2017a: 90). Bunun dışında ölçümlerde ppm seviyesinde Cl, Zn, K, Mn, Pb, Co, Cr, Ag elementlerinin varlığı da bulunmuştur. Bu elementlerin tüm örneklerin içeriğinde var olması ahşapların

gömülü kaldığı süreçte temasta bulunduğu sediment tabakası kaynaklı olabileceği fikrini destekler niteliktedir (Kılıç, 2017a: 90).

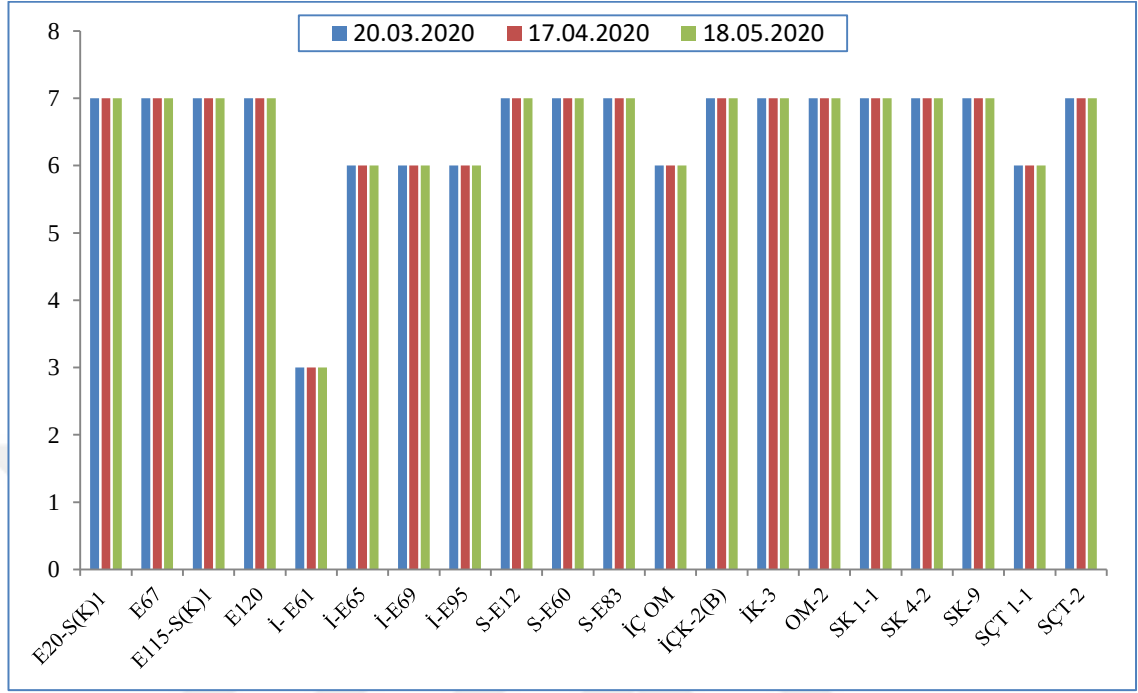
Ahşabın gömülü kaldığı süreç içerisinde kimyasal bileşenlerinde meydana gelen bozulmada asit hidrolizi önemli bir etkindir. Ortam içerisindeki oksijen miktarı, ışık, ısı, bağıl nem, pH, demir ve bileşikler ile olan yakınlık gibi etkenler ahşapta depolimerizasyon yaşanmasını tetikleyen faktörlerdir (Hedges, 1990: 127; Florian, 1990: 15-16; Tamburini, vd., 2017: 430; Kılıç, 2017a). YK 16 batığının yaşadığı kimyasal bozulma sürecini anlayabilmek amacıyla düzenli olarak pH ölçümleri gerçekleştirilmiş ve böylece örneklerin asitlik seviyeleri belirlenmiştir. Toplamda 20 adet örnek üzerinde iki yöntem kullanılarak düzenli pH ölçümleri yapılmıştır. pH indikatörü ile yapılan ölçümler belli aralıklarla toplamda 3 kere düzenlenmiştir. Ardından toz haline getirilip saf su içerisinde bekletilerek ölçüm yapılan ikinci yöntem belirlenen 20 adet örnek üzerinde uygulanmıştır.

Şekil 3.20: pH ölçümü (20.03.2020) sonucu indikatör şeritlerin genel görünümü.



Yapılan her iki ölçüm yöntemi sonuçlarına göre örneklerin çoğunun pH değerleri nötre yakın, 6-7 arasında bulunmuştur. Özellikle batıklara ait ahşap elemanların birleştirilmesinde kullanılan demir çivilerin zamanla oksitlenmesi asit oluşumuna sebep olmaktadır. pH değerinin düşük olduğu asidik ortam koşullarından kaynaklı holoselüloz hidrolizi yaşanmakta, böylece ahşap kimyasal bozulmaya uğramaktadır (Almkvist, 2008: 20-23; Almkvist, vd., 2013: 3-4; Hedges, 1990: 136; Kılıç, 2017a: 24-30). Yapılan ölçümlerde demir korozyon ürünlerine yakın bölgeden alınmış olan İ-E61'in pH değeri 3 (asidik) olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin tümü tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: pH ölçümü sonucu elde edilen ortalama değerler.



3.3. Biyolojik Bozulma

Ahşap gömülü kaldığı süreçte yaşadığı fiziksel ve kimyasal değişim ile bağlantılı olarak biyolojik açıdan bozulmaya maruz kalır. Bu süreçte mikroskobik ve makroskobik canlılar önemli bir rol oynar. Bu canlıların tespitinin ve zararlarının belirlenmesi uygulanacak konservasyon metodunun seçiminde kolaylık sağlayacaktır (Köse, 2013: 95).

Suya doymuş ahşap eserlere zarar veren mikroskobik canlılar arasında öncelikle aerobik ve anaerobik ortamlarda yaşayabilen mantar ve bakteriler olduğu bilinmektedir (Blanchette, 2000: 191). 1960'lı yıllara kadar suya doymuş ahşap üzerine çalışan uzmanlar hücre duvarlarında oluşan tahribatın bakteri saldırısı kaynaklı olduğunu ileri sürmüştür. Ancak 1980'li yıllarda gelişen analiz yöntemleri ile mantarların suya doymuş ahşaba arız olmalarının bakterilerin gelişimi için uygun şartlar oluşturduğu tespit edilmiştir (Björddal, 2012b: 119).

Ahşap hücre çeperinde meydana gelen erozyon ve/veya 2 μm 'den büyük oyuklar, çürüklük yapan mikroorganizmalar olarak tanımlanan mantarların yarattığı

en belirgin tahribat biçimidir (Kurtuluş, Köse, 2015: 259). Özellikle basidiomiset grubuna ait beyaz ve esmer çürüklük mantarları, askomiset grubuna ait yumuşak çürüklük mantarları suya doymuş ahşap üzerinde etkilidir (Blanchette, 2000: 191; Mortensen, 2009: 5; Kim, Singh, 2000: 143).

Beyaz ve esmer çürüklük mantarları oksijen seviyesinin yüksek olduğu yerlerde yaşamlarını sürdürürler. Oksijen miktarının deniz içerisinde düşük olması suya doymuş ahşap eserlerin gömülü kaldıkları süreçte beyaz ve esmer çürüklük mantarları tarafından tahrip edilmesini engeller (Blanchette, vd. 1990: 142; Mortensen, 2009: 5; Kim, Singh, 2000: 143). Genellikle geniş yapraklı ağaçlarda beyaz çürüklük mantarları, iğne yapraklı ağaçlarda ise esmer çürüklük mantarları hızlı bir şekilde tahribata sebep olurlar (Blanchette, vd., 1990: 142).

Beyaz çürüklük mantarları üzerinde yapılan incelemeler holoselüloz ve lignin üzerinde iki farklı formda tahribata sebep olduklarını göstermektedir. Biri hemiselüloz ve lignin üzerinde, diğeri ise tüm bileşenler üzerinde eşit derecede etkili olur (Blanchette, vd., 1990: 143-151; Blanchette, 2000: 191; Kurtuluş, Köse, 2015: 259-261).

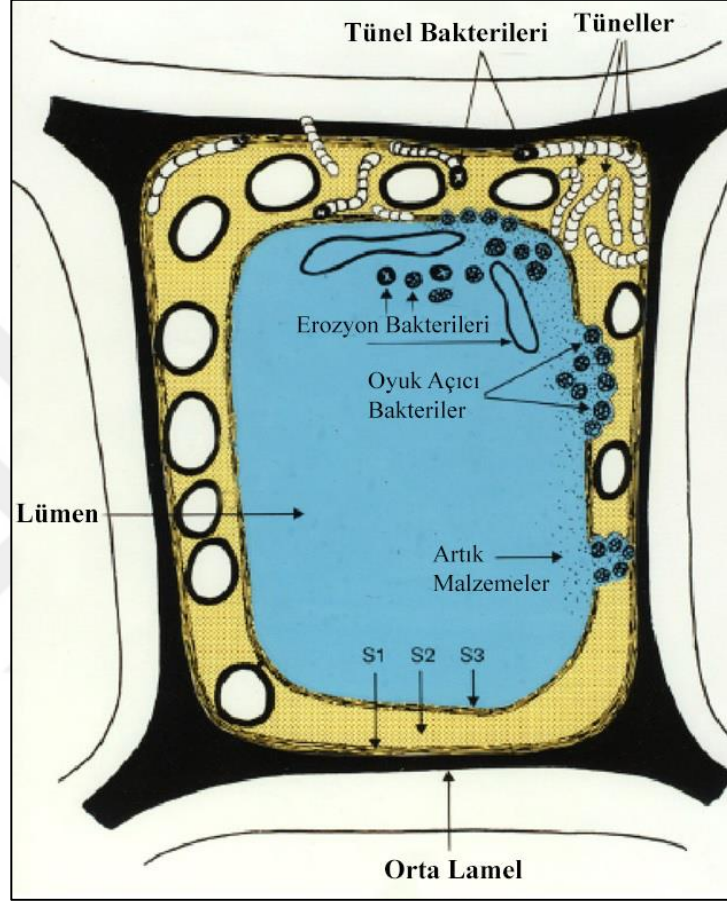
Askomiset grubuna ait yumuşak çürüklük mantarları ise oksijen seviyesinin düşük olduğu ortamlarda dahi varlığını sürdürebildiği için suya doymuş ahşap üzerinde tahribata sebep olur. Bu mantar türü ahşabı diğerlerine oranla daha yavaş degrade eder ve hücre duvarının S₂ tabakasındaki mikrofibriller üzerinde etkilidir (Mortensen, 2009: 5; Björda, 2012a: 128-130; Björda, 2012b: 120; Daniel, Nilsson, 1998: 37; Kim, Singh, 2000: 141-142; Huisman vd., 2008: 42).

Suya doymuş ahşap üzerinde etkili olan bir diğerk mikroorganizma grubu ise bakterilerdir. Bakteriler, oluşturdıkları tahribat şekillerine göre erozyon, tünel ve oyuk açıcı (kavitasyon) olarak üç gruba ayrılmaktadır (Mortensen, 2009: 5; Blanchette, 2000: 193).

Yumuşak çürüklük mantarları gibi bakteriler de suya doymuş ahşabın hücre duvarlarında bulunan S₂ tabakasındaki mikrofibriller üzerinde etkilidir. Suya doymuş

ahşap gömülü kaldığı süreçte bakteriler tarafından yoğun bir şekilde tahribata uğrar (Blanchette, 2000: 193).

Şekil 3.21: Bakterilerin arız olma şekillerine göre şematik görünümü.



Kaynak: Singh, 2012: S17.

Tünel bakterileri genel olarak holoselüloz bakımından zengin olan S_1 ve S_2 tabakalarında oluşturdukları tüneller nedeniyle tahribata yol açar. Tahribatın ilerleyen süreçlerinde lignin açısından zengin olan orta lamel tabakası da dahil olmak üzere tüm alanlar üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir (Singh, 1997; Björdal, vd., 1999: 63-68; Unger, vd., 2001: 135; Singh, 2012: s17-s18; Singh, vd., 2016). Oyuk açıcı bakteriler ise holoselüloz üzerinde etkili olup, hücre çeperi içerisindeki S_2 tabakasında oyuklar meydana getirirler (Blanchette, 2000: 192). Adını oluşturduğu tahribat sebebiyle alan erozyon bakterileri genellikle ahşabın hücre çeperi içerisinde önce S_2 tabakasına, ardından S_3 tabakasına saldırır (Nilsson, 1999: 72; Björdal, vd., 1999: 65; Singh, 2012: s18). Bakteriler ilk olarak lümen yüzeyinde tahribata

başlayıp, ahşap hücre duvarlarının birleşik orta lamel kısmına doğru hareket ederler (Singh, 1997: 1101; Björdal, vd., 1999; Landy, vd., 2008: 107). Tahribat sonucunda geriye sadece lignin ve artık ürünlerden oluşan jelsi tabaka (biyofilm) kalır (Kim, vd., 1996; Björdal, Nilsson, 2002: 19; Björdal, Fors, 2019: 38; Huisman, vd., 2008: 42-43).

Yapılan deneysel bir çalışma sonucunda erozyon bakterilerinin anaerobik koşullarda dahi aktivasyonunu sürdürdüğü ve hidrojen sülfüre karşı toleranslı oldukları belirlenmiştir (Nilsson, Björdal, 2008: 8). Bu durum sülfat indirgeyen bakterilerin gelişimine uygun ortam sağlar (Palla, vd., 2013: 248; Fors, vd., 2014: 1). Sülfatı indirgeyen bakteriler, anoksik koşullarda faaliyetlerini sürdürebildiklerinden dolayı hem ahşabın yapısında bulunan sülfürle hem de deniz suyunda bulunan sülfat iyonlarıyla hidrojen sülfür oluşturmaktadır (Fors, 2008; Rémazeilles, vd., 2013; North, Macleod, 1987: 75-76).

Daha önceki çalışmalar, ahşabın gömülü kaldığı süreçte yaşadığı mikrobiyal saldırı sonucu kükürt ve demir bileşiklerinin birikimi için uygun koşullar oluşturduğunu belirlemiştir. Özellikle erozyon bakterileri ve sülfatı indirgeyen bakteriler tarafından tahrip edilen kısımlar birikim için uygun alanları oluşturur. Ayrıca oluşan kükürt ve demir bileşiklerinin birikiminin, mikrobiyal bozulmanın derecesi, boyutu ve ahşap cinsi ile ilişkili olduğu da tespit edilmiştir (Björdal, Fors, 2019).

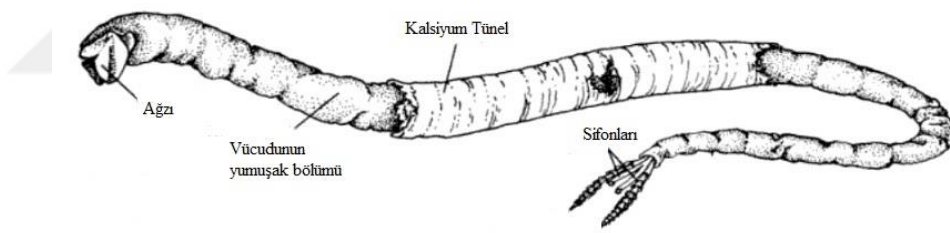
Yenikapı batıkları üzerinde yapılan çalışmalar suya doymuş ahşap elemanlar üzerinde erozyon bakterileri ve yumuşak çürüklük mantarlarının biyolojik bozulma açısından daha etkili olduklarını ortaya çıkarmıştır (Köse, Taylor, 2013; Wada, Köse, Igarashi, 2014).

Suya doymuş ahşaba en çok zarar veren diğer bir grubu da ahşap yiyiciler oluşturur. Özellikle sıcak sularda yaşayan ahşap yiyiciler için ahşap önemli bir besin kaynağıdır (Eriksen, vd., 2017: 75). Ahşap yiyiciler kendi içerisinde yumuşakçalar ve kabuklular olarak ikiye ayrılır. Yumuşakçaların suya doymuş ahşap üzerinde yarattığı tahribata ilişkin yapılan çalışmalar mantar ve bakteriler tarafından zarar görmüş ahşapların bu canlı türleri tarafından tahrip edilmesi için uygun zemin

hazırlar. Ayrıca ahşabın yoğunluğu ve içerisindeki selüloz miktarı saldırının boyutunu belirlemede etkilidir (Eriksen, vd., 2017; Southwell, Bultman, 1971).

Yumuşakçaların bir türü olan *Teredo navalis*'in (gemi kurdu), Şekil 3.22'de görüldüğü gibi baş kısmında iki adet dairesel çıkıntısı mevcuttur. Bu çıkıntılardan biri ile ahşabı tüketirken, diğeri ile açtığı tüneli kalsiyum karbonat ile kaplar. Beyazımsı bir gövdeye sahip olan *Teredo navalis*'in arka bölümünde sifon adı verilen çıkıntılar ile atıkları dışarı atar (Unger, 2001: 134-135; Waterbury, vd., 1983: 1401-1403). Bu canlı türü genel olarak deniz suyu sıcaklığı ve tuz miktarının yüksek olduğu sularda yaşam sürmesine karşın, son yapılan çalışmalar yaşamları için elverişsiz ortam koşullarına kolaylıkla uyum sağlayabildiklerini ortaya koymaktadır. *Teredo navalis* canlısının yaşamı için ideal koşullar %5-30 oranında tuzluluk ve 11-25 °C deniz suyu sıcaklığıdır (Matricola, 2014: 49; Borges, 2014).

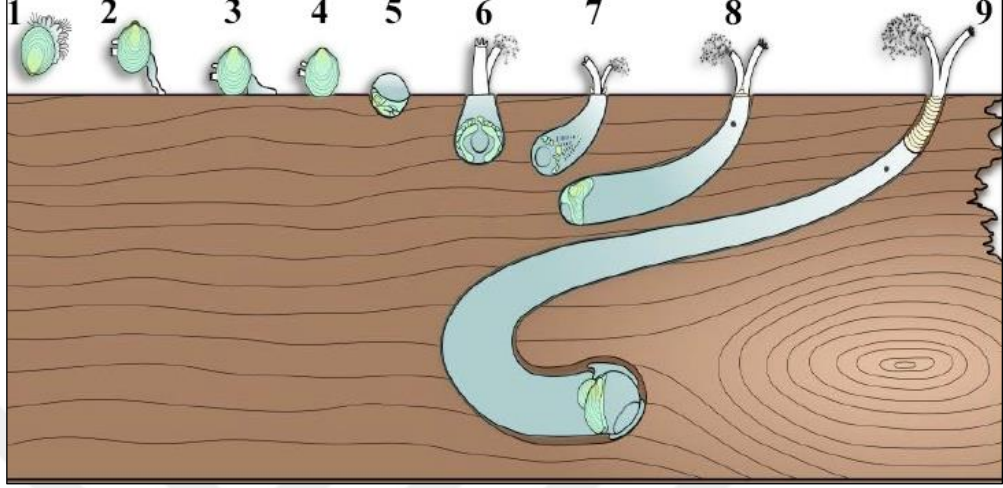
Şekil 3.22: *Teredo navalis* yumuşakçasının görünümü.



Kaynak: Lippson, Lippson, 2006: 114.

Bu canlı türü ahşap içerisinde yaklaşık 6-8 mm çapında kalsiyum karbonat kaplı tüneller açarak ağacın öz odun bölümünü tahribat etmekte, açmış oldukları tüneller yardımıyla ahşabı tüketerek mekanik dayanımına zarar vermektedir (Unger, vd., 2001: 134-135; Eriksen, vd., 2016; Waterbury vd., 1983: 1401-1403).

Şekil 3.23: *Teredo navalis* canlısının ahşaba verdiği hasarın çizim üzerinde gösterimi (Süreç 1-9 arasındaki rakamlar ile verilmiştir).



Kaynak: Matricola, 2014: 48.

Çevresel koşullara bağlı olarak iki ya da üç hafta içerisinde ahşaba yerleşen bu larvalar olgunlaşıp ahşabı tüketerek tahrip etmeye başlamaktadır (Eriksen, vd., 2016: 117; Matricola, 2014: 47). Larva döneminde sadece ahşaba nüfus ettikleri yerde milimetre genişliğinde küçük delikler oluştururken, *Teredo* canlısı büyüdükçe oluşturduğu kanalın genişliği artmaktadır (Şekil 3.23) (Matricola, 2014: 48). YK 16 batığına ait ahşap elemanlar üzerinde yapılan incelemelerde kalsiyum karbonat tünellerinin 0,1 cm kalınlığında ve 0,5-0,7 cm çapında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.24: OM-3 parçasında bulunmuş kalsiyum karbonat tünel kalıntısı.

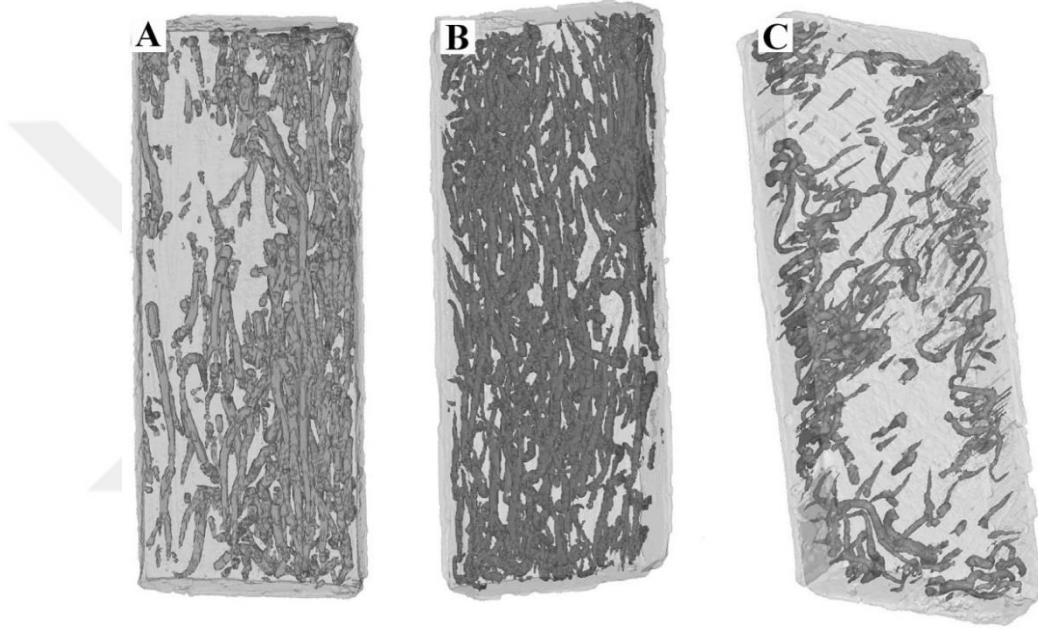


Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Larvaların ahşap üzerine yerleştikten sonra yol açtıkları tahribata ilişkin çalışmalarda ahşabın kesilme yönlerinin etkili olduğu anlaşılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu radyal yönde kesilmiş olan ahşap elemanların enine ve teğet yönde kesilmiş olanlardan daha fazla *Teredo navalis* tahribatına uğradığı

belirlenmiştir. Ayrıca enine ve teğet yönde ahşap içerisinde tünel açan larvaların zaman içerisinde yön değiştirerek radyal yönde tünel açarak ahşabı tahrip etme eğiliminin daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Eriksen, vd., 2016).

Şekil 3.25:Teğet (A), Radyal (B) ve Enine (C) yönde kesilmiş ahşap düzlemler üzerinde *Teredo navalis* canlısının açtığı tünellerin yönleri ve sıklığının illüstrasyonu.



Kaynak: Eriksen, vd., 2016: 121.

Şen vd. (2010) tarafından Marmara Denizi'ndeki biyolojik çeşitliliğe ilişkin gerçekleştirilen çalışmalarda *Teredo navalis* canlısını varlığı belirlenmiş ve ahşap elemanlar üzerinde yarattıkları yıkıcı etkinlikler deneysel uygulamalar neticesinde açığa çıkarılmıştır.

YK 16 batığının ahşapları üzerinde yapılan görsel analiz çalışmaları sonucu *Teredo navalis* canlısının yol açtığı zararlar tespit edilmiştir. Özellikle batık ahşapları içerisinde iyi bir gömülme sağlanamamış kısımların *Teredo navalis* canlısı tarafından daha fazla tahrip edildiği belirlenmiştir. Yaşanan tahribat sonucu canlının ahşap içerisinde oluşturduğu kalsiyum karbonat tüneline ait bir parça şekil 3.24'de ayrıntılı bir biçimde görülmektedir.

Şekil 3.26: *Teredo navalis* canlısının omurga üzerinde oluşturduğu hasarlardan bazıları.

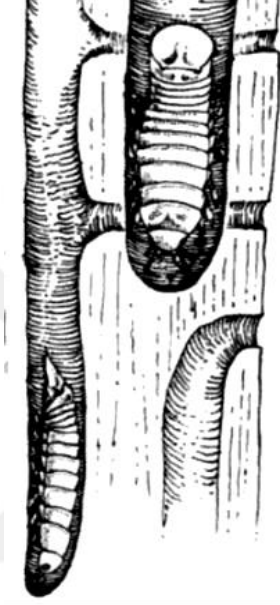


Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Kabuklular grubuna ait olan *Limnoridae*, su sıcaklığının düşük olduğu Kuzey Denizi kıyıları, Kuzey Amerika kıyıları ve Orta Avrupa’da yoğun olarak yaşamlarını sürdürürler (Unger, vd., 2001: 135; Borges, 2014). *Limnoria*’ların faaliyet gösterebilmesi için su sıcaklığı 9-10 °C, tuz miktarı %1,5 olması idealdir. Ağırlıklı olarak iğne yapraklı ağaçların ilkbahar odunu üzerinde tahribat yaratır ve böylece mekanik anlamda ahşabın dayanımını düşür. Ahşabın dış yüzeyinde yoğun olarak faaliyet gösteren bu canlı türü en fazla 20 mm’ye kadar tahribata sebep olur. Bu sebeple genellikle ahşabın dış yüzeyine zarar vererek 1 yıl içerisinde 6-12 mm’ye kadar pul pul dökülmelere sebep olmaktadırlar (Ray, 1959: 46-60; Grattan, 1987; Unger, vd., 2001: 135-136; Lippson, Lippson, 2006: 115-116; Sleeter, vd., 1978).

Limnoria'lar genel olarak *Teredo* canlısının tahribat oluşturduğu bölgelerde faaliyet göstermesinden dolayı, zararlarının etkilerini belirlemek oldukça zor ve sınırlıdır (Björddal, Nilsson, 2003: 3).

Şekil 3.27: *Limnoria*'ların ahşap içerisindeki görünümü.



Şekil 3.28: *Limnoria*'ların suya doymuş ahşap üzerinde yarattığı tahribat.

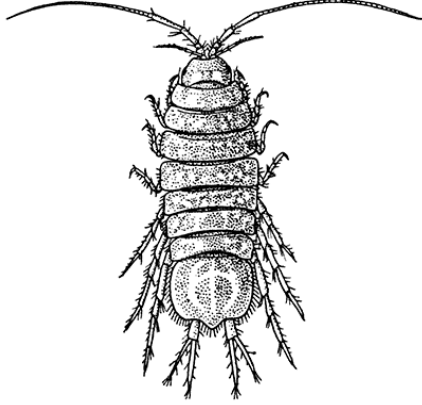


Kaynak: Lippson, Lippson, 2006: 116. **Kaynak:** Nilsson, Rowell, 2012: S9.

Yapılan görsel analiz çalışmaları sonucu YK 16 batığının ahşap elemanları üzerinde *Limnoria*'ların sebep olduğu tahribata ilişkin bir veri elde edilememiştir.

Isopod'lar grubunun bir üyesi olan *Asellus sp.* de suya doymuş ahşap üzerinde etkili olan bir diğer canlı türüdür. Bu canlı türü ahşabın gömülü olduğu süreçte değil, daha çok konservasyon öncesi depolama sürecinde tahribata sebep olmaktadır. Ölü bitkileri tüketerek yaşamını sürdürdüğü bilinen *Asellus sp.* canlısının genel olarak tatlı su ortamında varlığını sürdürdüğü bilinmektedir (Mellanby, 1963). Bu açıdan *Asellus sp.*, suya doymuş ahşabı besin olarak kabul edip yüzeyde yoğun bir tahribata sebep olmaktadır (Kılıç, 2017b: 48).

Şekil 3.29: *Asellus sp.*'nin genel görünümü.



Kaynak: Calman, 2012: 173.

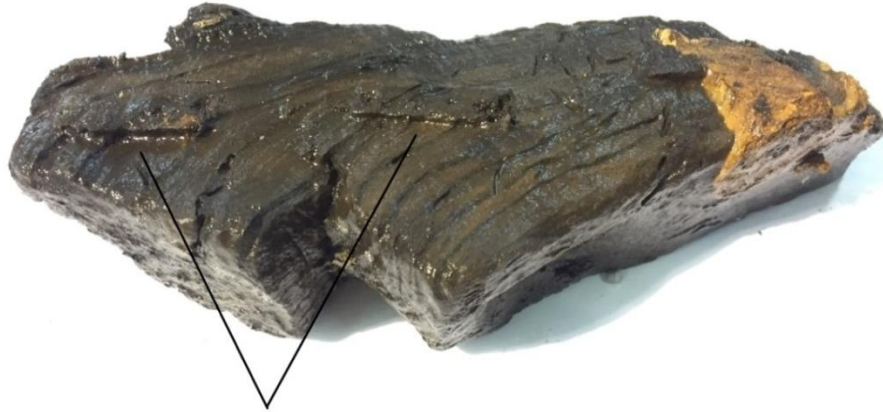
Şekil 3.30: *Asellus sp.* canlısının suya doymuş ahşap üzerindeki görüntüsü.



Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

YK 16 batığına ait ahşap elemanların depolandığı havuzlarda *Asellus sp.* varlığı tespit edilmiştir. Bu canlı türüne müdahale edilmediği durumlarda ahşap üzerinde yoğun bir tahribata sebep oldukları bilinmektedir (Kılıç, 2017b: 48).

Şekil 3.31: Amorf parça yüzeyinde *Asellus sp.* hasarı.



Etiket Altında Kalarak Korunan Bölümler

Kaynak: İÜ Yenikapı Batıkları Projesi arşivi.

Asellus sp. canlısının YK 16 batığına ait ahşap elemanlar üzerinde oluşturabileceği tahribatın oranını belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Amorf yapıdaki suya doymuş ahşap bir parçanın yüzeyinde belirli alanlara etiket kâğıdı sabitlenmiş ve *Asellus sp.* canlısının yoğun olduğu su dolu bir kasa içerisine yerleştirilmiştir. Yapılan görsel incelemeler neticesinde, yaklaşık 24 hafta sonunda ahşap yüzeyindeki etiket kâğıdının bulunduğu alanların

korunduğu, açıkta kalan diğerk kısımların ise bu canlının tahribatına maruz kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.31).

Ayrıca İstanbul Üniversitesi Fen Fakóltesi Biyoloji Bölümü’nden Doç. Dr. Oya Özuluğ tarafından yapılan incelemelerde depolama sürecinde batığa ait ahşap elemanların tahribatına sebep olan Insecta *Diptera Syrphidae* grubuna ait *Xylota sylvarum* ve *Myathropa forea* türleri de tanımlanmıştır (Özuluğ, 2020).

Xylota sylvarum, geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağačların çürümüş öz odunundan ve ağač köklerinden beslenir (Rotheray, 1993: 93; Coe, 1953: 79). Larvalarına çoğunlukla göknar, kayın ve meşe ağačlarının çürüyen gövde kısımlarında, nem oranı yüksek ve mantar gelişiminin görüldüğü alanlarda rastlanılmaktadır. Larvaların ergin hale geldikten sonraki uçuş dönemleri Mayıs ile Eylül ayları olup, Temmuz ayı en yoğun olduğu dönemlerdir. Bu canlıların genel olarak İskandinav yarımadasından İrlanda’nın doğusuna; Kuzey ve Orta Avrasya’dan Pasifik kıyısına; Güney Avrupa’dan İtalya’ya, Yunanistan’dan Türkiye’ye kadar etkili oldukları bilinmektedir (Speight, 2011: 251).

Şekil 3.32: *Xylota sylvarum* canlısının suya doymuş ahşap üzerindeki görünümü.



Kaynak: Rotheray, 1993: 155.

Şekil 3.33: *Xylota sylvarum* larvasının genel görünümü.



Kaynak: Fusari, vd., 2018: 617.

Myathropa florea, çürümüş ağačlardan ve suya düşen ağač yapraklarından beslenir. Ergin olanların yaşam alanları genel olarak ağačların yoğun olduğu sulak alanlardır (Rotheray, 1993: 40-42). Larvalara genel olarak göknar, kayın, meşe, huş,

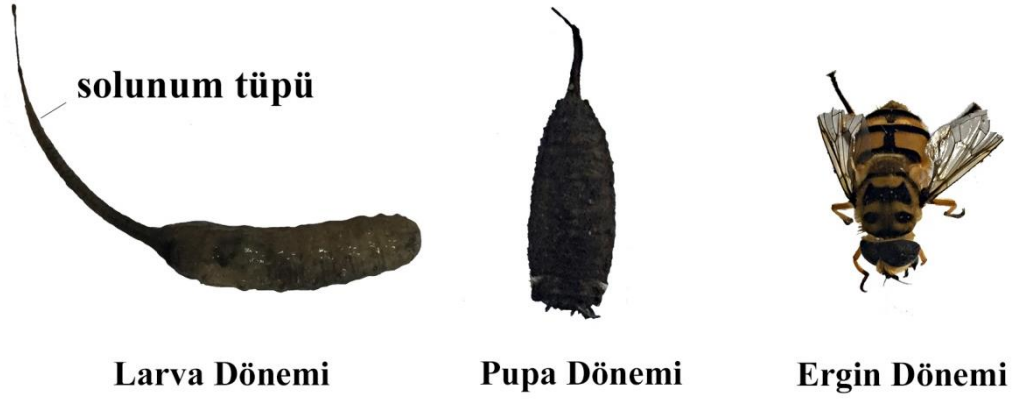
kestane ve kavak cinsi ağaçlarının gövdesinde çürüyen alanlarda rastlanmaktadır. Kuyruk şeklinde uzun tüpleri bulunan bu larvalar su içerisindeyken de solunum yapabilmektedir (Speight, 2011: 153-154). Uçuş dönemleri Mayıs ve Ekim arasında olup, Haziran ve Ağustos ayları en yoğun olduğu dönemdir. Genel olarak İskandinav yarımadasından İberya ve Akdeniz'e; Kanarya Adaları ve Kuzey Afrika'ya; İrlanda'dan Pasifik kıyılarına kadar etkili oldukları bilinmektedir (Speight, 2011: 153-154).

Şekil 3.34: *Myathropa florea* larvasının genel görünümü.



Yenikapı batıklarının depolandığı havuzlarda 2017-2018 yıllarından itibaren *Xylota sylvarum* ve *Myathropa florea* larvalarının varlığına rastlanmıştır. Bu türler üzerinde yapılmış olan daha önceki çalışmalar suya doymuş ahşaplarda öz odun bölümünden beslendiklerini ve bu bölgeleri tahrip ettiklerini ortaya çıkarmıştır (Rotheray, 1993: 93).

Şekil 3.35: Havuzlarda tespit edilen *Myathropa florea* canlısının gelişim evreleri.



3.4. Koruma Önerisi

Suya doymuş ahşap eserlerin konservasyonu için esas olan uygulama sırasında ve sonrasında mevcut boyut ve şeklin korunabilmesidir (Florian, 1990: 20; Grattan, Clarke, 1987: 164; Anita, 2011: 57). Grattan ve Clarke (1987), suya doymuş ahşabın konservasyonu için dört temel ilke belirlemiştir. Bunlar: uygulama sonrası ahşabın boyut ve şeklinde değişimin yaşanmaması, konservasyon kimyasalının ahşapta durağanlığı sağlayabilmesi, geri dönüşümlü olması ve uygulamanın maksimum koruma minimum müdahale ilkesi dâhilinde gerçekleştirilmesidir (Grattan ve Clarke, 1987: 164). Bu ilkelerden ilk iki maddenin sağlanabilmesi için ahşap hücre yapısı içerisinde yer alan suyun kontrollü bir şekilde uzaklaştırılıp, mikro gözenekler de dahil tüm boşluklarda fiziksel ve kimyasal açıdan dayanım sağlayacak konsolidasyon malzemesi ile desteklenmesi gerekmektedir (Grattan, Clarke, 1987: 165-166; Hamilton, 1999: 24; Kılıç, 2013: 38-39). Konservasyon işlemi için kullanılacak olan kimyasallar geri alınabilir olarak kabul edilmesine karşın bunların eserden uzaklaştırılmak istendiğinde kalıcı hasarlar yaratması muhtemeldir. Bu sebeple uygulanacak olan konservasyon metodunun eserin bozulma ve korunmuşluk durumunun göz önüne alınarak belirlenmesi ve uygulanması gereklidir (Christensen, vd., 2015; Giachi, vd., 2010).

Suya doymuş ahşap konservasyonunda pek çok tedavi metodu kullanılmaktadır. Polietilen glikol (PEG), sakkaroz, aseton-reçine, alkol-eter, kâfur-alkol, dondurarak kurutma, silikon yağı ve melamin-formaldehit başlıca kullanılan

konservasyon metotlarıdır. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları bulunup, kullanımı ahşabın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı, boyutları, cins vb. özelliklerine göre değişiklik göstermektedir (Florian, 1990: 20-21; Brunning, Watson, 2010: 29; Kılıç, Kılıç, 2019b: 1-2).

İstanbul Üniversitesi Yenikapı Batıkları Projesi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı, batık ahşaplarının konservasyonunda ağırlıklı olarak PEG ön emdiresi sonrası vakumlu dondurarak kurutma ve melamin formaldehit yöntemlerini uygulamaktadır (Kılıç, 2015: 204). Batık ahşaplarında kullanılacak olan konservasyon metodunu belirleyebilmek için öncesinde bir dizi analiz çalışması gerçekleştirilmektedir (bkz. s. 31). Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucunda ahşapların bozulma durumları hakkında kapsamlı bir değerlendirme yapıp, en uygun tedavi metodu belirlenir (Kılıç, Kılıç, 2018: 3). Genel olarak maksimum su içeriği yüksek, yoğunluğu düşük diğer bir ifadeyle ileri derecede bozulmaya uğramış ahşap elemanlar için melamin formaldehit metodu kullanılmaktadır. Maksimum su içeriği düşük, yoğunluğu yüksek görece olarak daha az bozulmaya uğramış ahşap elemanlar için ise PEG ön emdirmesi sonrası dondurarak kurutma metodu tercih edilmektedir (Kılıç, 2015: 204).

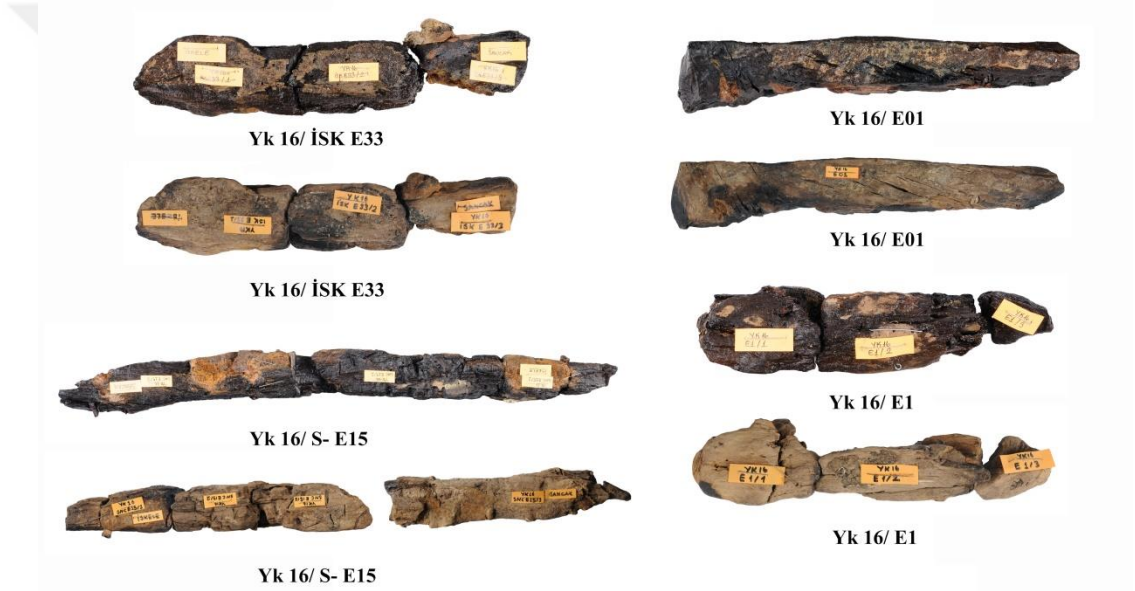
YK 16 batığının konservasyon metodu belirlenmeden önce fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma durumu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu elde edilen veriler, batığın özellikle eğri sisteminin ileri derece bozulmaya uğradığını göstermektedir. Yapılan görsel analizlerde eğrilerin hafifçe bastırıldığında bile parçalanabilir durumda olması analiz sonuçlarını destekler niteliktedir (Kılıç, 2016). Elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi sonucunda YK 16 batığının çınar ve karaağaç cinsinden elde edilmiş, maksimum su içeriği yüksek ve yoğunluğu düşük olan eğri sistemlerinin melamin formaldehit yöntemi ile konservasyon çalışmalarının tamamlanması uygun görülmüştür.

Melamin formaldehit yönteminin geri alınabilir olmaması en büyük dezavantajı olmasına rağmen ileri derece bozulmuş ahşap elemanların konsolidasyonunu sağlamadaki başarısı, uygulamanın kısa sürede tamamlanması, ekonomik oluşu, demir ve bileşikler ile reaksiyona girmemesi, sergileme ve

depolama ortamındaki sıcaklık, bağıl nem gibi koşullarından kolay etkilenmemesi, çözeltinin kimyasal ürünlerle modifiye edilebilmesi vd. özellikleri ile büyük avantajlar sunmaktadır (Hoffmann, Wittköpper, 1999: 163).

Görsel ve ileri analiz metotları, YK 16 batığına ait bir grup eğri üzerinde gerçekleştirilmiş olan melamin formaldehit yönteminin başarısını ortaya koymaktadır (Kılıç, 2016; Kılıç, Kılıç, 2019b).

Şekil 3.36: YK16 batığının bazı eğrilerinin konservasyon öncesi (üst) ve sonrası (alt).



Kaynak: Kılıç, 2016: 92-96.

Görsel analizler çatlama, çökme, çekme gibi fiziksel deformasyonun minimum seviyede olduğunu ve böylece boyutsal stabilizasyonun sağlandığını göstermektedir (Kılıç, 2015: 207). Ayrıca konservasyon işlemi tamamlanmış olan ahşap elemanlardan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen FTIR-ATR analizi ile melamin formaldehit çözeltisinin penetrasyon seviyeleri belirlenebilmiştir (Kılıç, Kılıç, 2019b). Yapılan analiz çalışması sonucu emdirme işlemi gerçekleştirilmiş ahşap elemanların içerisinde triazin varlığı sebebiyle 813 cm^{-1} 'de yeni bir pik noktasının varlığı tespit edilmiş, bu da melamin formaldehit çözeltisinin başarılı bir şekilde emprenye edildiğini kanıtlamıştır (Kılıç, Kılıç, 2019b: 3-4).

YK 16 batığının çam ve göknar cinsinden elde edilmiş, maksimum su içeriği düşük ve yoğunluğu fazla olan kaplamaları ile çınar ve karaağaç cinsinden elde edilmiş ancak nispeten diğerlerine göre daha az bozulmaya uğramış olan ahşap elemanlarının konservasyonu için toplamda %45 konsantrasyonda PEG 3350 ön emdirmesi sonrası dondurarak kurutma yönteminin kullanımı uygun görülmüştür.

Yenikapı batıklarının temel konservasyon yöntemi olarak kabul edilen PEG ön emdirmesi sonrası dondurarak kurutma günümüzde yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir (Ambrose, 1990; Unger, vd., 2001: 56; Schindelholz, vd., 2007: 22-23; Kılıç, 2017b).

Ahşabın gözenekleri içerisinde stabilizasyonu ve konsolidasyonu sağlaması amacıyla emdirilen PEG çözeltisinin demir ve bileşikleri ile tepkiye girmesi, higroskopik olması sebebiyle sergileme ve depolama sırasında sıcaklık, bağıl nem vd. koşullarından kolayca etkilenmesi ve emdirme süresinin fazla olması gibi bazı dezavantajları olmasına karşın pek çok avantajı da mevcuttur (Unger, vd., 2001: 503-505; Kılıç, 2017a: 22-24). PEG' in geri dönüşümü olan bir kimyasal olması, farklı molekül ağırlıklarında üretilmesinden dolayı emdirmede kolaylık sağlaması, boyutsal durağanlığı sağlamada oldukça başarılı olması, ahşabın konsolidasyonunu sağlayabilmesi, kriyoprotektan¹⁰ özelliği sayesinde suyun buza dönüştüğünde genişleme ile yaratacağı etkileri ortadan kaldırması ve uygulama sonrası ahşap renginin doğala yakın olması gibi özellikleri sebebiyle kullanımı sıklıkla tercih edilmektedir (Ambrose, 1990: 243-244; Schnell, Jensen, 2007: 50; Gregory, 2012: 143; Kılıç, 2017b: 119). Ayrıca dondurarak kurutma yönteminde süblimleşme yoluyla ahşabın gözeneklerinde bulunan suyun buzdan buharlaşması yaşanabilecek fiziksel hasarların derecesini düşürmektedir. Böylece sıvı haldeki suyun ahşabın gözeneklerinden buharlaşırken yarattığı kapiler tansiyon sebebiyle oluşabilecek yıkıcı etkiler azalmaktadır (Grattan, Clarke, 1987: 166-167; Ambrose, 1990: Kılıç, 2017b: 125-126; Schnell, Jensen, 2007).

¹⁰ Kriyoprotektan: Ahşabın içerisindeki suyun donması sonucu hücre yapısı içerisinde oluşabilecek zararları önlemek amacıyla kullanılan kimyasal maddelere denir (Schnell, Jensen, 2007: 50).

SONUÇ

Yenikapı kazıları sırasında gün yüzüne çıkarılmış olan YK 16 batığı ¹⁴C analiz çalışmaları sonucunda MS 8-9. yy'a tarihlendirilmiştir. Batığın belgeleme çalışmaları neticesinde mevcut uzunluğu 22,50 m ve genişliği 2,40 m olarak ölçülmüştür (Kocabaş, Özsait-Kocabaş, 2021). Kazı çalışmaları sırasında ender bir örnek olarak kabul edilen bu batığa ait toplamda 239 adet ahşap elemana bütün olarak ulaşılmıştır. Ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen cins-tür analizleri, batığın genel olarak çınar, karaağaç, göknar ve çam ağacından inşa edildiğini ortaya çıkarmıştır.

Batık üzerinde yapılan ilk incelemelerde karaağaç ve çınar ağaçlarından elde edilmiş olan elemanların mevcut durumlarının iyi olmadığı tespit edilmiştir. Yapısal olarak yumuşak ve dağılmaya meyilli olan elemanlar için özel kaldırma yöntemleri kullanılmış. Acil müdahale gerektiren bu elemanlar melamin formaldehit yöntemi kullanılarak koruma altına alınmıştır. Batığa ait diğer ahşap elemanlar için ise uygun olan konservasyon yöntemi belirlenmeden önce bozulma durumlarının tam olarak tespit edilmesi amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, 110 adet ahşap eleman üzerinden örnek alınarak detaylı incelemeleri yapılmış, böylece batığın fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulma durumlarının detaylı olarak açıklanması amaçlanmıştır. Örnekler tuzdan arındırma işlemi tamamlanmış ancak hiçbir konservasyon kimyasalı emdirilmemiş örneklerden oluşmaktadır. Ahşaplar gömülü kaldığı süreçte cins/tür özelliklerine bağlı olarak farklı derecelerde bozulmaya uğradığından genel olarak batıkta kullanılmış olan her ahşap cinsinden örnek edinilmiştir.

Kapsamlı bir inceleme gerçekleştirebilmek için bu çalışma sırasında kimya, biyoloji, orman mühendisliği olmak üzere farklı birçok bilim dalından yararlanılmış ve interdisipliner bir çalışma ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. YK 16 batığı üzerinde daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan elde edilen veriler de dâhil edilerek detaylı bir değerlendirme yapılmıştır.

Batığın fiziksel durumunun belirlenmesi amacıyla alınan örnekler üzerinde hesaplamalar ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak örneklerin maksimum su içeriği, yoğunluk ve ahşap madde kaybı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların sonucunda batığın ahşap elemanlarının maksimum su içeriği %336-1467 arasında belirlenmiştir. Ahşap elemanların yoğunluk değeri 0,07-0,25 g/cm³ arasında hesaplanmıştır. Yapılan tüm bu hesaplamalar çınar ve karaağaç cinsi ahşap elemanların; çam ve göknar cinsi ahşap elemanlardan daha fazla bozulduğunu göstermiştir. Ahşap cinslerinin yaşadığı fiziksel bozulmayı karşılaştırabilmek amacıyla örnek vermek gerekirse: karaağaç ağacından elde edilmiş olan E67 numaralı eğrinin maksimum su içeriği %616, yoğunluğu 0,15 g/cm³; E120 numaralı çınar ağacından elde edilmiş eğrinin maksimum su içeriği %1344, yoğunluğu 0,07 g/cm³; göknar ağacından elde edilmiş olan SÇT 1-1 numaralı kaplamanın maksimum su içeriği %467, yoğunluğu 0,19 g/cm³; SK 3-2 numaralı çam ağacından elde edilmiş olan kaplamanın maksimum su içeriği %473, yoğunluğu 0,18 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar çınar ve karaağaç cinsi ahşap elemanların maksimum su içeriğinin yüksek, yoğunluğunun düşük; çam ve göknar cinsi ahşap elemanların ise çınar ve karaağaç ile karşılaştırıldığında nispeten maksimum su içeriğinin düşük, yoğunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Yaşanan fiziksel bozulmayı daha detaylı olarak anlamak için ayrıca ahşap madde kaybı (%) hesaplamaları da gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda batığa ait ahşap elemanların ahşap madde kaybı %84-842,85 arasında bulunmuştur.

Ahşapların fiziksel bozulma sonucu hücre yapısında meydana gelen değişimini görüntülemek amacıyla SEM analizi gerçekleştirilmiş. İleri derecede bozulmaya uğramış E120 numaralı örnek üzerinde yapılan görüntülemelerde traheid hücrelerinde yaşanan degradasyon tespit edilmiştir. Ayrıca İ-E41 numaralı örnekte kontrolsüz kuruma sonucu oluşan yüzey tansiyonu sebebiyle, hücre yapısı içerisinde çekme, çökme, çarpılma gibi fiziksel deformasyon deformasyonlar gözlemlenmiştir. SK 3-2 numaralı örnek üzerinde yapılan görüntülemelerde fiziksel bozulma ile ilişkili olarak hücre yapısının mevcut form ve dayanımını kaybettiği belirlenmiştir.

Ahşapların kimyasal bozulma durumunun belirlenmesi amacıyla FTIR ve XRF analizleri ile pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. XRF analizi ile batığın ahşap

elemanlarının elementel olarak içeriği tespit edilmiş ve oranları hakkında yarı kantitatif bilgi edinilmiştir. İncelemesi gerçekleştirilen örneklerin içeriğinde yarı kantitatif olarak Fe, S, Ca ve Cl elementleri bulunmuştur. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar yarı kantitatif %Fe ve %S oranlarının korozyon ürünleri ile doğru orantılı olduğunu açığa çıkarmıştır. YK 16 batığından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRF analizi bu ilişkiyi doğrular niteliktedir. Korozyon ürünlerine daha yakın bir bölgeden alınmış olan İ-E61 numaralı örneğin içeriğindeki yarı kantitatif %Fe oranı %16,16 ve %S oranı %7,39 olarak; korozyon ürünlerine daha uzak bir bölgeden alınmış olan SÇT-2 numaralı örneğin içeriğindeki yarı kantitatif %Fe oranı 0,73 ve %S oranı 1,63 olarak belirlenmiştir. Örneklerin içeriğinde Ca elementi tespit edilmiş ve doğal kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ölçümü gerçekleştirilen örneklerin tümünde ayrıca Cl, Zn, K, Mn, Pb, Co, Cr, Ag elementlerinin varlığı belirlenmiştir. Kılıç (2017), Yenikapı batıklarına ait ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen XRF analizi sonucunda bu elementlerin Marmara Denizi'ndeki sediment tabakasından kaynaklı olabileceğini ifade etmiştir. YK 16 batığı örneklerinin içeriğindeki ppm seviyesinde belirtilen elementlerin tespit edilmesi bu kanıyı destekler nitelikte olmuştur.

Yaşanacak olan kimyasal ve biyolojik bozulma sürecinde pH değeri önemli bir etkidir. Bu sebeple YK 16'ya ait toplamda 20 adet ahşap örnek üzerinde belli aralıklarla düzenli pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler indikatör şeritleri ile yapıldığından örneklerin ortalama pH değerleri belirlenebilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler sonucu örneklerin çoğunun pH'ı nötre yakın 6-7 değerlerde bulunmuştur. Örnekler içerisindeki en asidik parça olan İ-E61 üzerinde gerçekleştirilen ölçümlerde ise pH değeri 3 olarak tespit edilmiştir. Bu parça üzerinde gerçekleştirilmiş olan XRF analizi sonucunda yarı kantitatif S ve Fe oranlarının diğer örneklerden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Fors (2008) ve Kılıç (2017) tarafından yapılan çalışmalarda pH değeri asidik olan suya doymuş ahşap elemanların XRF analiz sonuçlarında yarı kantitatif S ve Fe oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu asiditenin sülfür kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır. YK 16 batığına ait örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRF analizi ve pH ölçümleri sonucu elde edilen veriler de bu görüşü destekler nitelikte sonuçlar vermiştir.

FTIR-ATR analizi ile ahşap elemanların bozulma derecesine bağlı olarak kimyasal bileşim miktarının belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Analiz çalışması dâhilinde batığa ait çınar, karaağaç, çam ve göknar cinsi ahşap elemanlar ile aynı cins referans ahşap örneklerine ait spektrumlar incelenmiştir. Örneklere ait spektrumlar incelendiğinde $\sim 1732\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1592\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1502\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1420\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1367\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1105\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$ bantlarının tümünde bulunduğu tespit edilmiştir. Bu bantlar ahşabın selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşenleri ile ilişkilendirilmektedir. Bu bantların yanı sıra suya doymuş ahşap örneklere ait spektrumlar üzerinde $\sim 1216\text{ cm}^{-1}$ bandı da bulunmuştur. Bu bant, ahşabın kimyasal yapısında meydana gelen bozulma ile ilgilidir. Referans ahşap örneklere ait spektrumlar üzerinde $\sim 1235\text{ cm}^{-1}$ ve $\sim 1265\text{ cm}^{-1}$ bantları pik noktaları olarak görülmektedir. Fakat suya doymuş ahşap örneklerde yaşanan kimyasal bozulma bu pik noktalarının ayrılmasına neden olmuştur. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucu maksimum su içeriği %467 olan SÇT 1-1 numaralı örnekten elde edilen spektrum ile referans göknar örneğin spektrumları karşılaştırılmıştır. Kimyasal bileşenlerinde yaşanan degradasyon sebebiyle spektrumlar arasında belirgin farklılıklar ortaya çıkmış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu örneğin SEM görüntüleri incelendiğinde bozulmaya uğrayan hücre yapısı ile korunmuş hücre yapısının bir arada olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda örnekten elde edilen spektrumun bozulmuş hücre yapısına ait olabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan görsel incelemeler ahşap yiycilerin (*Teredo navalis* ve *Limnoridae*) suya doymuş ahşap üzerinde zarar verici etkilerinin olduğunu göstermektedir. Çalışmalar *Teredo navalis* canlısının iyi bir gömülme yaşanmayan bölümlerde nispeten daha fazla tahribat oluşturduğunu açığa çıkarmıştır. İncelemelerde, bu canlının ortalama 0,1 cm kalınlığında ve 0,5-0,7 cm çapında kalsiyum karbonat tünelleri oluşturdukları ve böylece ahşabın mekanik dayanımına zarar verdikleri tespit edilmiştir. Görsel analiz çalışmaları sırasında ayrıca kabuklular grubuna ait *Limnoridae*'lerin yarattığı tahribata ilişkin incelemeler de yapılmış, ancak belirgin bir hasar tespit edilememiştir.

Ahşap elemanların depolama sürecinde tahribatına sebep olan başka canlı türleri de mevcuttur. *Asellus sp.* canlısına müdahale edilmediği durumlarda ahşapta

bu canlıların yıkıcı etkiler yarattığı bilinmektedir. Yapılan gözlemler, YK 16 batığının ahşap elemanlarının *Aselles sp.* canlısının etkilerine maruz kaldığını göstermektedir. Batığın özellikle çınar ve karaağaç cinsinden elde edilmiş ahşap elemanlarında, çam ve göknar cinsinden elde edilmiş ahşap elemanlara oranla daha fazla tahribat yaşandığı belirlenmiştir. Yenikapı batıklarına ait havuzlarda oluşan bu canlı türünü önlemek amacıyla belli oranlarda İzotiazolin içerikli bir biyosit olan Exocite 1012 kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir. Depolama sürecinde ayrıca *Xylota sylvarum* ve *Myathropa forea* canlı türlerinin varlığı da tespit edilmiştir. Bu canlı türleri üzerinde yapılan daha önceki çalışmalar suya doymuş ahşabın özellikle öz odun bölümü üzerinde zarar verici etkileri olduğunu ortaya çıkarmıştır. Havuzlar üzerinde gerçekleştirilen incelemelerde *Myathropa florea* canlısının gelişim evrelerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Ancak bu canlı türünün Yenikapı batıkları üzerindeki etkileri ve tahribatının belirlenmesine ilişkin çalışmalar halen sürmekte olduğundan bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

Batığa ait ahşap elemanlar üzerinde gerçekleştirilen hesaplamalar ve analiz çalışmaları değerlendirildiğinde batık ahşaplarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak ileri derecede tahribata uğradıkları belirlenmiştir. Batığın boyutsal stabilizasyonunu sağlayarak, sergilenebilir ve depolanabilir duruma getirilmesi amacıyla ileri derece bozulmaya uğramış ahşap elemanlar için melamin formaldehit yönteminin; nispeten daha iyi durumda olan ahşap elemanlar için ise %45 konsantrasyonda PEG 3350 ön-emdirmesi sonrası vakumlu dondurarak kurutma yönteminin kullanımı uygun görülmüştür.

Bu çalışma ile Yenikapı 16 batığına ait ahşap elemanlardan elde edilen verilerin, suya doymuş ahşap eserlerin korunması konusuna katkı sağlaması ve böylece daha sonra gerçekleştirilecek olan çalışmalar için referans olması amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

- AKKEMİK, Ü., 2015 **Woods of Yenikapı Shipwrecks, Yenikapı Shipwrecks Volume II/Yenikapı Batıklarının Ahşapları, Yenikapı Batıkları Cilt II**, Ege Yayınları, İstanbul.
- AKKEMİK, Ü., U. KOCABAŞ, 2012 “Woods of the Old Galleys of Yenikapı”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 13(2), s. 31-41.
- ALMKVIST, G.E., 2008 **The Chemistry of the Vasa: Iron, Acids and Degradation**, İsveç Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- ALMKVIST, G.E., 2013 **Iron Removal from Waterlogged Wood**, Swedish University of Agricultural Sciences, SLU Repro, Uppsala.
- ANITA, J., 2011 “Organic Material”, **Conservation of Underwater Archaeological Finds Manual**, Ed. B. Luka, II, Zadar, s. 60-76.
- BABINSKI, L., D. IZDEBSKA-MUNCHA, B. WALISZEWSKA, 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.
- BAŞARAN, S., 2012 “Demirden Yollar ve Marmara Kıyısında Eski Bir Liman”, **The 'Old Ships' of The 'New Gate'/Yenikapı'nın Eski Gemileri**, Ed. U. Kocabaş, Ege Yayıncılık, İstanbul, s. 2-22.
- BJORDAL, G.C., 2012a “Evaluation of Microbial Degradation of Shipwrecks in the Baltic Sea”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 70, s. 126-140.

- BJORDAL, G.C., 2012b "Microbial Degradation of Waterlogged Archaeological Wood", **Journal of Cultural Heritage**, 135, s. 118-122.
- BJORDAL, G.C., T. NILSSON, 1999 "Microbial Decay of Waterlogged Archaeological Wood Found in Sweden", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 43, s. 63-73.
- BJORDAL, G.C., T. NILSSON, 2001 "Observations on Microbial Growth During Conservation Treatment of Waterlogged Archaeological Wood", **Studies in Conservation**, 46(3), s. 211-220.
- BJORDAL, G.C., T. NILSSON, 2002 "Waterlogged Archaeological Wood-A Substrate for White Rot Fungi During Drainage of Wetlands", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 50, s. 17-23.
- BJORDAL, G.C., T. NILSSON, 2003 "Reburial Experiment in the Harbour of Marstrand, Subproject 4: Degradation of Wood", **Manuscript, Department of Wood Science, Swedish University of Agricultural Sciences**, s. 1-10.
- BJORDAL, G.C., T. NILSSON, 2008 "Reburial of Shipwrecks in Marine Sediments: A Long Term Study on Wood Degradation", **Journal of Archaeological Science**, 35, s. 862-872.
- BJORDAL, G.C., Y. FORS, 2019 "Correlation Between Sulfur Accumulation and Microbial Wood Degradation on Shipwreck Timbers", **International Biodeterioration & Biodegradation**, s. 37-42.
- BLANCHETTE, R.A., 2000 "A Review of Microbial Deterioration Found in Archaeological Wood from Different Enviroments", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 46, s. 189-204.

- BLANCHETTE, R.A.,
T. NILSSON, G. DANIEL,
A. ABAD, 1990 “Biological Degradation of Wood”, **Advances in Chemistry**, 225, s. 131-174.
- BODIRLAU, R.C., A. TEACA,
2009 “Fourier transform Infrared Spectroscopy and Thermal Analysis of Lignocellulosic Fillers Treated with Organic Anhydrides”, **Romanian Journal of Physics**, 54(1), s. 93-104.
- BORGES, L.M.S., 2014 “Biodegradation of Wood Exposed in the Marine Environment: Evaluation of the Hazard Posed by Marine Wood-borer in Fifteen European Sites”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 96, s. 97-104.
- BRODA, M., B. MAZELA,
K. KROLIKOWSKA-
PATARAJA, J. SIUDA,
2015 “The State of Degradation of Waterlogged Wood from Different Environments”, **Forestry and Wood Technology**, 91, s. 23-27.
- BRUNNING, R., J. WATSON,
2010 **Waterlogged Wood: Guidelines on the Recording, Sampling, Conservation and Curation of Waterlogged Wood**, English Heritage Publishing, Swindon.
- CALMAN, W.T., 2012 **The Life of Crustacea**, Methuen & Co. Ltd., London.
- CAPLE, C., D. DUNGWORTH,
2012 “Waterlogged Anoxic Archaeological Burial Environments”, **Ancient Monuments Laboratory Report**, 22, s. 1-40.
- CAPRETTI, C., N. MACCHIONI,
B. PIZZO, G. GALOTTA,
G. GIACHI, 2008 “The Characterization of Waterlogged Archaeological Wood: The Three Roman Ships Found in Naples (Italy)”, **Archaeometry**, 50(5), s. 855-876.

CHRISTENSEN, M.,
M. FROSCH, P. JENSEN,
U. SCHNELL, Y. SHASHOUA,
O.F. NIELSEN, 2006

“Waterlogged Archaeological Wood-
Chemical Changes by Conservation and
Degradation”, **Journal of Raman
Spectroscopy**, 37, s. 1171-1178.

CHRISTENSEN, M., F.K.
HANSEN, H. KUTZKE, 2015

“Phenol Formaldehyde Revisited-Novolac
Resins for the Treatment of Degraded
Archaeological Wood”, **Archaeometry**, 57(3),
s. 536-559.

COE, R. L., 1953

**Handbooks for the Identification of British
Insects**, Royal Entomological Society,
London, 10(1).

COLOMBINI, P.M.,
J.L. LUCEJKO,
F. MODUGNO,
M. ORLANDI, E. TOLPPA,
L. ZOIA, 2009

“A Multi-analytical Study of Degradation of
Lignin in Archaeological Waterlogged Wood”,
Talanta, 80, s. 61-70.

CRONYN, J.M., 1990

**The Elements of Archaeological
Conservation**, Routledge, London.

DANIEL, G., T. NILSSON,
1998

“Developments in the Study of Soft Rot and
Bacterial Decay”, **Forest Products
Biotechnology**, Ed. A. Bruce, J.W.
Palfreyman, Taylor&Francis Ltd., London, s.
37-62.

EJECHI, O.B., 2003

“Microbial Deterioration of Partially
Submerged Service Timbers in A Tropical
Intertidal Zone”, **International
Biodeterioration & Biodegradation**, 51, s.
115-118.

ERDİN, N., A.Y. BOZKURT,
2013

Odun Anotomisi, İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi, İstanbul.

ERIKSEN, M.A., 2017

“The Importance of Cellulose Content and

- Wood Density for Attack of Waterlogged Archaeological Wood by the Shipworm, *Teredo Navalis*”, **Journal of Cultural Heritage**, 28, s. 75-81.
- ERIKSEN, M.A.,
D.J. GREGORY,
C. VILLA, N. LYNNERUP,
K.B. BOTFELDT,
A.R. RASMUSSEN,
2016
- “The Effects of Wood Anisotropy on the Mode of Attack by the Wood-borer *Teredo Navalis* and the Implications for Underwater Cultural Heritage”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 107, s. 117-122.
- ESTEVEES, B., A.V. MARQUES,
I. DOMÍNGOS, H. PEREIRA,
2013
- “Chemical Changes of Heat Treated Pine and Eucalyptus Wood Monitored by FTIR”, **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, 15(2), s. 245-258.
- FIX, P.D., 2015
- Archaeological Watercraft: A Review and Critical Analysis of the Practice**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Texas A&M University, Texas.
- FLORIAN, E.M.L., 1987a
- “The Underwater Environment”, Ed. C. Pearson, **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Butterworths, London, s. 1-20.
- FLORIAN, E.M.L., 1987b
- “Deterioration of Organic Material other than Wood”, Ed. C. Pearson, **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Butterworths, London, s. 21-54.
- FLORIAN, E.M.L., 1990
- “Scope and History of Archaeological Wood”, Ed R. M. Rowell, R. J. Barbour, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry and Preservation**, American Chemical Society, Advance in Chemistry Series 225, Washington DC., s. 111-140.

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, Stocholm.

FORS, Y., 2014

“Sulfur and Iron Accumulation in Three Marine-Archaeological Shipwrecks in the Baltic Sea: The Ghost, The Crown and The Sword”, **Scientific Reports**, 4222(4), s. 1-6.

FORS, Y., F.J. ALILEHVAND, M. SANDSTRÖM, 2011

“Analytical Aspects of Waterlogged Wood in Historical Shipwrecks”, **Analytical Sciences**, 27, s. 785-792.

FUSARI, L.M.,G.P.S. DANTAS, L. C. PINHO, 2018

“Order Diptera”, **Thorp and Covich's Fresh Water Invertebrates**, 4(16), s. 607-623.

GELBRICH, J., C. MAI, H. MILITZ, 2012

“Evaluation of Bacterial Wood Degradation by Fourier Transform Infrared (FTIR) Measurements”, **Journal of Cultural Heritage**, 135, s. 5135-5138.

GIACHI, G.C.,C. CAPRETTI, N. MACCHIONI, B. PIZZO, I. D. DONATO, 2010

“A Methodological Approach in the Evaluation of the Efficacy of Treatments for the Dimensional Stabilization of Waterlogged Archaeological Wood”, **Journal of Cultural Heritage**, 11, s. 91-101.

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

“Waterlogged Wood”, **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Ed. C. Pearson, Butterworths, London, s. 55-67.

- GRATTAN, D.W.,
R.W. CLARKE,
1987
- “Conservation of Waterlogged Wood”,
**Conservation of Marine Archaeological
Objects**, Ed. C. Pearson Butterworths,
London, s. 164-206.
- GREGORY, D., P. JENSEN,
2006
- “The Importance of Analysing Waterlogged
Wooden Artefacts and Environmental
Conditions When Considering Their In-Situ
Preservation”, **Journal of Wetland
Archaeology**, 6, s. 65-81.
- GREGORY, D., P. JENSEN,
K. STRAETKVERNI, 2012
- “Conservation and In-Situ Preservation of
Wooden Shipwrecks form Marine
Enviroments”, **Journal of Cultural
Heritage**, 135, s. 5139-5148.
- HAMILTON, L.D., 1999
- Methods for Conserving Archaeological
Material from Underwater Sites**,
Conservation of Cultural Resources I. Nautical
Archaeology Program, Texas A&M
University, Texas.
- HEDGES, J.I., 1990
- “The Chemistry of Archaeological Wood”,
**Archaeological Wood: Properties,
Chemistry and Preservation**, American
Society, Advance in Chemistry Series 225,
Washington DC., s. 111-140.
- HIGH, K.E., K.E.H.
PENKMAN, 2020
- “A Review of Analytical Methods for
Assessing Preservation in Waterlogged
Archaeological Wood and their Application in
Practice”, **Heritage Science**, 8, s. 8-83.
- HOFFMANN, P., M.A. JONES,
1990
- “Structure and Degradation Process for
Waterlogged Archaeological Wood”,
**Archaeological Wood: Properties,
Chemistry and Preservation**, American
Society, Advance in Chemistry Series 225,
Washington DC., s. 35-65.

HOFFMANN, P.,
M., WITKÖPPER,
1998

“The Kauramin Method for Stabilizing Waterlogged Wood”, **Proceeding of the 7.th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference**, Ed. C. Bonnot-Dicconne, X. Hiron, P. Hoffmann, Grenoble, s. 163-166.

HUISMAN, D.J.,
M. MANDERS,
E.I. KRETSCHMAR,
R.K.W.M. KLAASEN,
2008

“Burial Conditions and Wood Degradation at Archaeological Sites in the Netherlands”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 61, s. 33-44.

JENSEN, P., D.J. GREGORY,
2006

“Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for their Determination”, **Journal of Archaeological Science**, 33, s. 551-559.

JONG, J.D., W.EENKHOORN,
A.J.M., WEVERS,
1982

“The Conservation of Shipwrecks at the Museum of Maritime Archaeology at Ketelhaven”, **Rapporten Inzake de Inrichtingen Ontwikkeling Van de Ijsselmeerpolders en Andere Landaanwinningswerken**, Smedinghuis, s. 5-33.

JORDAN, B.A., 2001

“Site Characteristics Impacting the Survival of Historic Waterlogged Wood: A Review”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 47, s. 47-54.

JORDAN, B.A.,
D.J. GREGORY,
E.L. SCHMIDT,
2002

“Examining Environmental Conditions and The Biodeterioration of Historic Waterlogged Wood: The Kolding Cog”, **The International Research Group on Wood Preservation**, s. 1-16.

KILIÇ, A.G., 2017a

Yenikapı Batıklarında Sülfür ve Demir Analizi, Dağılımı ve Ahşaplardan Uzaklaştırılması, Yayınlanmamış Doktora

Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

KILIÇ, A.G., 2018

“Yenikapı 35 Batığına Ait Bir Grup Suyu Doymuş Ahşabın Fiziksel Durumlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of the Physical Condition of A Group of Waterlogged Woods from the Shipwreck Yenikapı 35)”, **Art Sanat**, 9, s. 13-21.

KILIÇ, A.G., 2020

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç ile yapılan kişisel görüşme, Haziran 2020.

KILIÇ, A.G., 2021

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç ile yapılan kişisel görüşme, Mart 2021.

KILIÇ, N., 2013

Yenikapı 12 Batığında Kullanılacak Konservasyon Yönteminin Araştırılması ve Koruma Uygulaması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

KILIÇ, N., 2015

“Preservation of Yenikapı Shipwrecks”, **Proceeding of the Symposium on City Ports from the Aegean to the Black Sea. Medieval-Modern Networks (22nd -29th August 2015)**, Ed. F. Karagianni, U. Kocabaş, Ege Yayıncılık, s. 203-208.

KILIÇ, N., 2016

“Conservation of a Group of Frames from YK 16 Shipwreck (Yenikapı 16 Batığına Ait Bir Grup Eğrinin Konservasyonu)”, **Art Sanat**, 6, s. 85-97.

KILIÇ, N., 2017b

Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- KILIÇ, N., 2017c “YK 3 Batığına Ait İleri Derecede Bozulmuş Bir Grup Suyu Doymuş Ahşabın Konservasyonu (Conservation of A Group of Highly Degraded Waterlogged Wood From YK 3 Shipwreck)”, **Art Sanat**, 8, s. 139-151.
- KILIÇ, N., A.G. KILIÇ, 2018 “Analysis of Waterlogged Woods: Example of Yenikapı Shipwrecks (Suyu Doymuş Ahşabın Analizi: Yenikapı Batıkları Örneği)”, **Art Sanat**, 9, s. 1-11.
- KILIÇ, N., A.G. KILIÇ, 2019a “Physical Properties for the Characterization of Waterlogged Archaeological Wood of Eight Yenikapı Shipwrecks from Byzantine Period”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 19(2), s. 133-148.
- KILIÇ, N., A.G. KILIÇ, 2019b “An Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated with Melamine Formaldehyde”, **Vibrational Spectroscopy**, 105, s. 1-7.
- KILIÇ, N., A.G. KILIÇ, 2020 Doç. Dr. Namık Kılıç ve Dr. Öğr. Üyesi Aslı Gökçe Kılıç ile yapılan kişisel görüşme, Haziran, 2020.
- KILIÇ, N., A.G. KILIÇ, 2021 “Application of FTIR Spectroscopy to the Characterization of Waterlogged Archaeological Woods of Three Galleys from Yenikapı, Istanbul: Contribution to Conservation”, **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, 21(2), s. 93-105.
- KIM, I., 2012 “Damage to the Wooden Objects and the Conservation Treatment”, **Conservation of Wooden Objects**, s. 8-24.
- KIM, Y.S., A.P. SINGH, T. NILSSON, 1996 “Bacteria as Important Decades in Waterlogged Archaeological Woods”,

Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood, 50(5), s. 389-392.

KIM, Y.S., A.P. SINGH,
2000

“Micromorphological Characteristics and Wood Biodegradation in Wet Environments: A Review”, **IAWA Journal**, 21(2), s. 135-155.

KLAASEN, R.K.W.M.,
2014

“Speed of Bacterial Decay in Waterlogged Wood in Soil and Open Water”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 86, s. 129-135.

KOCABAŞ, U., 2012

“Theodosius Limanı'nda Hayat, Batıklar ve Hızlı Bir Gömülme”, **The ‘Old Ships’ of the ‘New Gate’ 1, Yenikapı Shipwrecks, Vol. I/ Yenikapı’nın Eski Gemileri 1, Yenikapı Batıkları, Cilt I.**, Ege Yayıncılık, İstanbul, s. 24-36.

KOCABAŞ, U., 2015a

Geçmişe Açılan Kapı: Yenikapı Batıkları, Ege Yayıncılık, İstanbul.

KOCABAŞ, U., 2015b

“The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, İstanbul, Turkey: A Preliminary Report and Inventory of the 27 Wrecks Studied by İstanbul University”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 44(1), s. 5-38.

KOCABAŞ, U.,
I. ÖZSAİT-KOCABAŞ,
2012

“Yenikapı Batıklarında Teknoloji ve Konstrüksiyon Özellikleri: Bir Ön Değerlendirme”, **The ‘Old Ship’ of the ‘New Gate’/Yenikapı’nın Eski Gemileri**, Ege Yayıncılık, İstanbul, s. 97-176.

KOCABAŞ, U.,
I. ÖZSAİT-KOCABAŞ,
2013

“Gemi Arkeolojisinde Bir Milat: Yenikapı Batıkları Projesi”, **Saklı Limandan Hikayeler: Yenikapı’nın Batıkları**, Ed. Z. Kızıltan, G. Baran Çelik, Koç Üniversitesi Yayınları, İstanbul, s. 35-46.

KOCABAŞ, U.,
I. ÖZSAİT-KOCABAŞ,
2021

“Hull Characteristics of the Yenikapı 16 Galley”, **ARCHAEOLOGICA 21, 15th International Symposium on Boat & Ship Archaeology (22nd-29th October 2018, Marseille)**, s. 77-80 (Baskıda).

KOCABAŞ, U., Z. KIZILTAN,
2015

“Theodosian Harbour: A Crossroad Between Black Sea and the Mediterranean”, **Proceedings of the Symposium on City Ports from the Aegean to the Black Sea. Medieval - Modern Networks (22nd-29th August 2015)**, Ed. F. Karagianni, U. Kocabaş, Ege Yayıncılık, s. 103-118.

KÖSE, C., 2000

Esmer Çürüklük Mantarlarının (Basidiomycetes) Odunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

KÖSE, C., 2013

“Suya Doymuş Ahşaplarda Mikrobiyolojik Bozulmalar: Yenikapı Batık Gemilerine Ait Bazı Ahşap Örnekler”, **Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu**, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, s. 65-72.

KÖSE, C., A. M. TAYLOR,
2013

“Preliminary Evaluation of Degradation Patterns in Wood Samples from the Yenikapı Shipwrecks”, **The International Research Group on Wood Protection** , 1, s. 2-11.

KURTULUŞ. O.C., C. KÖSE,
2015

“Tarihi ve Arkeolojik Ahşaplarda Mikroorganizmaların Mikroorganizmaların Moleküler Tespiti”, **Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 3**, İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, s. 269-281.

LANDY, E.T., J.I. MITCHELL,
S. HOTCHKISS, R.A. EATON,
2008

“Bacterial Diversity Associated with Archaeological Waterlogged Wood: Ribosomal RNA Clone Libraries and

- Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 61, s. 106-116.
- LIPPSON, A.J., R.L. LIPPSON, 2006 **Life in the Chesapeake Bay**, The Johns Hopkins University Press, ABD.
- Li, Q., L. CAO, W. WANG, H. TAN, T. JIN, G. WANG, G. LİN, R. XU, 2018 "Analysis of the Bacterial Communities in the Waterlogged Wooden Cultural Relics of the Xiaobai Jio No.1 Shipwreck Via High-throughput Sequencing Technology", **Holzforschung**, 72(2), s. 609-619.
- Li, Y., 2011 "Wood-Polymer Composites", **Advances in Composite Materials: Analysis of Natural and Man-Made Materials**, Ed. P. Těšinová, InTech, Croatia, s. 229-284.
- MACCHIONI, N., C.CAPRETTI, L. SOZZI, B. PIZZO, 2013 "Grading the Decay of Waterlogged Archaeological Wood According to Anatomical Characterisation: The Case of the Fiavé Site (N-E Italy)", **International Biodeterioration & Biodegradation**, 84, s. 54-64.
- MATRICOLA, D.V., 2014 **In-Situ Conservation of the Shipwreck the Mediterranean Sea**, Tesi di Laurea, Università Ca' Foscari, Venezia.
- MCCONNACHIE, G.R., R. EATON, M. JONES, 2008 "A Re-evaluation of the Use of Maximum Moisture Content Data for Assessing the Condition of Waterlogged Archaeological Wood", **Moisture Content of Archaeological Waterlogged Wood**, 5, s. 29-35.
- MCQUENN, C., H. KUIZKE, S. BRAOVAC, 2015 "Metal Irons in Archaeological Wood from the Oseberg Find-A Complex Issue?", **Conservation and Digitization: Conference Proceedings**, National Maritime Museum,

Gdansk, s. 45-49.

MELLANBY, H., 1963

Animal Life in Fresh Water, Chapman and Hall, London.

MORTENSEN, M.N., 2009

Stabilization of Polyethylene Glycol in Archaeological Wood, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Danimarka Teknik Üniversitesi.

MULLER, G., C. SCHÖPPER,
H. VOS, A. KHARAZIPOUR,
A. POLLE, 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.

NILSSON, T.,
C. G. BJORDAL,
2008

“Culturing Wood-degrading Erosion Bacteria”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 61, s. 3-10.

NILSSON, T., R. ROWELL,
2012

“Historical Wood- Structure and Properties”, **Journal of Cultural Heritage**, 135, s. S5-S9.

NORTH, N.A., I.D. MACLEOD,
1987

“Corrosion of Metals”, **Conservation of Marine Archaeological Objects**, Ed. C. Pearson, Butterworths, London, s. 68-98.

ÖZULUĞ, O., 2020

Doç. Dr. Oya Özuluğ ile yapılan kişisel görüşme, Ocak 2020.

PALLA, F., F.P. MANCUSO,
N. BİLLECİ, 2013

“Multiple Approaches to Identify Bacteria in Archaeological Waterlogged Wood”, **Journal of Cultural Heritage**, 145, s. e61-e64.

PALLA, F., G. BARRESI,
E.D. CARLO, 2014

“Identification of Bacterial Taxa in Archaeological Waterlogged Wood”, **Conservation Science in Cultural Heritage**, 14, s. 247-254.

- PANDEY, K.K., 1999 “A Study of Chemical Structure of Soft and Hardwood and Wood Polymers by FTIR Spectroscopy”, **Journal of Applied Polymer Science**, 71, s. 1969-1975.
- PANDEY, K.K., A.J. PITMAN, 2003 “FTIR Studies of the Changes in Wood Chemistry Following Decay by Brown-Rot and White-Rot Fungi”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 52, s. 151-160.
- POWELL, K.L., S. PEDLEY, G. DANIEL, M. CORFIELD, 2001 “Ultrastructural Observations of Microbial Succession and Decay Wood Buried at A Bronze Age Archeological Site”, **International Biodeterioration & Biodegradation**, 47, s. 165-173.
- POZO, C., 2016 “Characterization of Temporal Biodegradation of Radiata Pine by Gloeophyllum Trabeum Through Principal Component Analysis-Based Two-dimensional Correlation FT-IR Spectroscopy”, **J. Chil. Chem. Soc.**, 61(2), s. 2878-2883.
- PUCETAITE, M., 2012 **Archaeological Wood from the Swedish Warship Vasa Studied by Infrared Microscopy**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Lund Üniversitesi.
- PULAK, C., R. INGRAM, M. JONES, 2014 “Eight Byzantine Shipwrecks from the Theodosian Harbour Excavations at Yenikapı in Istanbul, Turkey: an introduction”, **The International Journal of Nautical Archaeology**, 44(1), s. 39-73.
- RAY, D.L., 1969 “Nutritional Physiology of Limnoria”, **In Marine Boring and Fouling Organisms**, Washington Press, s. 46-60.

- REMAZEILLES, C., K. TRAN, E. GUILMINOT, E. CONFORTO, P. REFAIT, 2013 “Study of Fe(II) Sulphides in Waterlogged Archaeological Wood”, **Study in Conservation**, 5874, s. 297-307.
- RODGERS, B.A., 2004 **The Archaeologist's Manual For Conservation: A Guide to Non-Toxic, Minimal Intervention Artifact Stabilization**, Springer, New York.
- ROTHERAY, G.E., 1993 **Colour Guide to Hoverfly Larvae (Diptera, Syrphidae) in Britain and Europe**, Derek Whiteley, Sheffield, England.
- ROWELL, R.M., R. PETTERSEN, J.S. HAN, J.S. ROWELL, M.A. TSHABALALA, 2005 “Cell Wall Chemistry”, **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, Ed. R. M. Rowell, Boca Raton, CRC Press, s. 35-74.
- SCHINDELHOLZ, E., R. BLANCHETTE, D.C. COOK, M. DREWS, 2007 **An Evaluation of Supercritical Drying and PEG/ Freeze Drying of Waterlogged Archaeological Wood**, The Mariners' Museum, Harpers Ferry, WV.
- SCHNIEWIND, P.A., 1990 “Physical and Mechanical Properties of Archaeological Wood”, **Archaeological Wood: Properties, Chemistry and Preservation**, Ed. R. M. Rowell, R. J. Barbour, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 225, Washington DC., s. 88-109.
- SINGH, A.P., 1997 “Ultrastructure of the Attack of Pinus Radiata Mild Compression Wood by Erosion and Tunneling Bacteria”, **Can. J. Bot.**, 75, s. 1095-1102.
- SINGH, A.P., Y.S. KIM, T. SINGH, 2016 “Bacterial Degradation Wood”, **Secondary Xylem Biology**, 2, s. 169-190.

SLEETER, T., P.J. BOYLE,
A.M. CUNDELL,
R.MITCHELL, 1978

"Relationships Between Marine Microorganisms and The Wood-Boring Isopod *Limnoria Tripunctata*", **Marine Biology**, 45, s. 329-336.

SMITH, C.W., 2003

Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization, Texas A&M University Press, Texas.

SOUTHWELL, C.R.,
J.D. BULTMAN, 1971

"Marine Borer Resistance of Untreated Woods Over Long Periods of Immersion in Tropical Waters", **Association for Tropical Biology and Conservation**, 3(1), s. 81-107.

SPEIGHT, M.C.D., 2011

Species Accounts of European Syrphidae (Diptera), 65, Dept. of Zoology, Trinity College, Ed. M. C. D. Speight, vd., Dublin, Ireland.

STAMM, A.J., L.A., HANSEN,
1937

"The Bonding Force of Cellulosic Materials For Water (From Specific Volume and Thermal Data)", **The Journal of Physical Chemistry**, 41(7), s. 1007-1016.

ŞEN, S., H. SİVRİKAYA,
M. YALÇIN, K. BAKIR,
2010

"Fouling and Boring Organisms That Deteriorate Various European and Tropical Woods at Turkish Seas", **African Journal of Biotechnology**, 9(17), s. 2566-2573.

TAMBURINI, D.,
J.J. LUCEJKO, B. PIZZO,
M.Y. MOHAMMED,
R. SLOGGETT,
M.P. COLOMBINI, 2017

"A Critical Evaluation of the Degradation State of Dry Archaeological Wood from Egypt by SEM, ATR-FTIR, wet chemical analysis and Py(HMDS)-GC-MS", **Polymer Degradation and Stability**, s. 1-54.

TEJEDOR, C.C., 2010

Re-Conservation of Wood from the Seventeenth-Century Swedish Warship the Vasa Alkoxysilanes: A Re-treatment Study Applying Thermosetting Elastomers, Master

of Arts, Texas A&M University, Texas.

TRORE, H.M., J. KAAL,
A.M. CORTIZAS, 2016

“Application of FTIR Spectroscopy to the Characterization of Archaeological Wood”, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 153, s. 63-70.

UNGER, A., A.P. SCHNIWIND,
W. UNGER, 2001

Conservation of Wood Artifacts: A Handbook, Springer, New York.

VIET, D. Q., V.D.S. THO,
2017

“Study on Characteristics of Acacia Wood by FTIR and Thermogrametric Analysis”, **Vietnam Journal of Chemistry**, 55(2), s. 259.

WADA, T., C. KÖSE,
K. IGARASHI, 2014

“Identification of Soft-Rot Fungi Existed in the Samples from the Galley Excavated at Yenikapı”, **The International Research Group on Wood Protection**, 1, s. 2-11.

WATERBURY, J.B.,
C.B. CALLOWAY,
R.D. TURNER, 1983

“A Cellulolytic Nitrogen-Fixing Bacterium Cultured from the Gland of Deshayes in Shipworms (Bivalvia: Teredinidae)”, **Science**, 221, s. 1401-1403.

WERZ, B.E.J.S.,
U.A. SEEMAN, 1993

“Organic Materials from Wet Archaeological Sites: The Conservation of Waterlogged Wood”, **South African Archaeological Bulletin**, 48, s. 37-41.

WIEDENHOEFT, A., 2005

“Structure and Function of Wood”, **Hand of Wood Chemistry and Wood Composites**, Ed. R. M. Rowell, Boca Raton: CRC Press, s. 32.

<http://www.yenikapibatikleri.com>, 11. 6. 2019.

<http://www.woodanatomy.ch>, 13. 3. 2021.